

Nachhaltig waschen für eine saubere Umwelt

Ein Konzept für den weiterführenden Chemieunterricht
(Altersstufe 14 – 18 Jahre)



Einleitung

Das von der Erfurt School of Education zertifizierte Unterrichtskonzept „Nachhaltig waschen für eine saubere Umwelt“ ist 2007/2008 in einem Gemeinschaftsprojekt der Universität Oldenburg, der Universität Rostock und der Henkel AG & Co. KGaA Düsseldorf entstanden und als Ergänzung für den Chemieunterricht gedacht. Die Arbeitsmaterialien sollen dabei besonders für die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten Anregungen geben, die in den traditionellen Unterrichtsmaterialien i. d. R. weniger angesprochen werden als der Bereich Fachwissen.

Ziel dieses Konzeptes ist es, den 14 – 18-jährigen Schülerinnen und Schülern einen Einblick in die Wirkungsweise von Waschmitteln zu vermitteln, wobei der Einfluss von Waschmitteln auf die Umwelt im Mittelpunkt steht. Mit einfachen Versuchen soll den Schülerinnen und Schülern näher gebracht werden, wie sie umweltschonend und energiesparend waschen können und welche Effekte bei falschem Gebrauch in der Umwelt auftreten können. Zudem werden Aspekte der Waschmittel-Entwicklung betrachtet und Methoden vorgestellt, die für die Bewertung der Umweltverträglichkeit eines Waschmittels verwendet werden.



Hinweise zum Aufbau der Unterrichtsmaterialien

Die vorliegenden Unterrichtsmaterialien zum Thema „Nachhaltig waschen für eine saubere Umwelt“ sind als ergänzende Materialien zu den bereits etablierten Unterrichtsmaterialien zu verstehen. Die einzelnen Arbeitsblätter und Experimente können losgelöst voneinander im Schulunterricht eingesetzt oder als Stationenarbeit miteinander verknüpft werden.

Die Unterrichtsmaterialien beinhalten offene und geschlossene Aufgaben. Diese sind jeweils mit den Symbolen  (geschlossene Aufgabe) und  (offene Aufgabe) gekennzeichnet.

Ergänzend befinden sich im Anhang die Zuordnungen der Experimente und Arbeitsblätter zu den vier Kompetenzbereichen der Bildungsstandards (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung) sowie entsprechende Lehrerhinweise zur Durchführung.

Voraussetzungen

Folgende Voraussetzungen sollten für die Bearbeitung dieser Unterrichtsmaterialien gegeben sein:

- Grundkenntnisse zum Stoff-Teilchen-Konzept (einfache Teilchenvorstellung, z. B. von Tensiden)
- Grundkenntnisse zur chemischen Reaktion (Redoxreaktionen, Fällungsreaktionen)
- Grundkenntnisse zum Energiekonzept (Enzyme als Katalysatoren, allgemeine Temperaturabhängigkeit bei chemischen Reaktionen)
- Grundkenntnisse zur Struktur-Eigenschafts-Beziehung (Aufbau einfacher Kohlenwasserstoffe)

Download

Die Materialien können kostenlos auf der Henkel-Internetseite

<http://nachhaltigkeitsbericht.henkel.de/dialog/ausgewaehlte-projekte.html>

heruntergeladen werden.

Bei der Erstellung der Materialien haben mitgewirkt:

Prof. Dr. Ilka Parchmann und Kerstin Haucke (*Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg*)

Prof. Dr. Alfred Flint, Alexander Witt und Katja Anscheit (*Universität Rostock*)

Dr. Romy Becker (*Henkel AG & Co. KGaA*)

Sollten Sie Fragen oder Anregungen zu den Inhalten haben, können Sie uns gern kontaktieren:

Dr. Norbert Stelter
Henkel AG & Co. KGaA
Corporate Scientific Services
D-40191 Düsseldorf
norbert.stelter@henkel.com
Tel. +49-211-797 8992

Prof. Dr. Alfred Flint
Universität Rostock
Institut für Chemie
Abteilung Didaktik der Chemie
D-18051 Rostock
alfred.flint@uni-rostock.de
Tel. +49-381-498 6480

Prof. Dr. Ilka Parchmann
Christian-Albrechts-Universität Kiel
IPN - Leibniz-Institut für die Pädagogik der
Naturwissenschaften und Mathematik
Abteilung Didaktik der Chemie
Olshausenstraße 62
D-24118 Kiel
parchmann@ipn.uni-kiel.de
Tel. +49-(0)431-880-3494

Inhaltsverzeichnis

Einführung in die Unterrichtseinheit und Sicherheitshinweise.....	5
Experiment 1: Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Waschleistung.....	6
Experiment 2: Untersuchung der Waschleistungssteigerung bei Zugabe von Fleckensalz..	9
Experiment 3: Untersuchung der Waschleistung in Abhängigkeit von der Waschmittel- dosierung und der Wasserhärte	12
Experiment 4: Untersuchung des Waschmitteleinflusses auf das Wachstum von Kresse- pflanzen.....	15
Arbeitsblatt 1: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 1	18
Experiment 5: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 2	19
Arbeitsblatt 2: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 3	22
Material 1.....	23
Arbeitsblatt 3: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 4	24
Arbeitsblatt 4: Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen	25
Arbeitsblatt 5: Wirkung von Bleichmitteln	26
Arbeitsblatt 6: Ökologische Auswirkungen durch Phosphate in früheren Waschmitteln	27
Material 2.....	29
Material 3.....	30
Material 4.....	31
Arbeitsblatt 7: Modellierung von Substanz-Konzentrationen im Fluss	32
Arbeitsblatt 8: Einführung in das Modellierungsprogramm GREAT-ER	33
Material 5.....	34
Arbeitsblatt 9: Modellierung mit dem GREAT-ER-Programm	39
Arbeitsblatt 10: Nachhaltiges Denken und Handeln in der Waschmittelindustrie.....	40
Arbeitsblatt 11: Einwicklung von Waschmitteln – vom Labor- zum Produktionsmaßstab	41
Material 6.....	42
Material 7.....	43
Arbeitsblatt 12: Internationale Werbung im Bereich Waschmittel	44
Arbeitsblatt 13: Präsentation der Ergebnisse	46
ANHANG 1: Zuordnung der Aufgaben zu Kompetenzbereichen und Basiskonzepten.....	47
ANHANG 2: Lehrerhinweise zu den Experimenten und Arbeitsblättern	49
Quellennachweise	84

Einführung in die Unterrichtsmaterialien und Sicherheitshinweise

Wäsche waschen ist heute ein alltäglicher Vorgang im Haushalt. Sicher habt ihr auch schon einmal zu Hause beim Waschen geholfen oder selber Wäsche gewaschen. Vielleicht habt ihr Euch dabei auch schon einmal eine der folgenden Fragen gestellt:



Diese Fragen könnt ihr mit Hilfe der nun folgenden unterschiedlichen Arbeitsblätter und Experimente beantworten. Für das Bearbeiten der einzelnen Aufgaben gelten bestimmte Regeln, die unbedingt von Euch eingehalten werden müssen. Dazu gehören beispielsweise das Tragen der Schutzbrille beim Experimentieren, eine fachgerechte Entsorgung der Chemikalien und die Reinigung der Geräte.

EXPERIMENT 1

Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Waschleistung

Stellt Euch vor, ihr habt auf Eurem weißen T-Shirt einen Kakao-Fleck! Lässt sich dieser umso besser entfernen, je höher die Waschtemperatur ist? Zur Untersuchung erhaltet ihr Baumwolltücher mit Kakaoflecken, die bei unterschiedlichen Temperaturen gewaschen werden.



A) Aufgaben

- 1) Plant ein Experiment, mit dem ihr die Waschleistung bei unterschiedlichen Temperaturen überprüfen könnt. Zeichnet zunächst eine Versuchsskizze und beschreibt kurz, wie ihr vorgehen wollt.
- 2) Führt Euer Experiment durch und dokumentiert Eure Waschergebnisse.
- 3) Bei welchen Temperaturen habt ihr das beste Waschergebnis erhalten? Worauf ist das zurückzuführen?
- 4) Recherchiert, wie viel Energie ihr einsparen könnt, wenn ihr statt bei 60 °C bei 30 °C oder 40 °C wascht. Berechnet, wie hoch die eingesparten Stromkosten sind. Welche anderen Elektrogeräte könntet ihr mit der eingesparten Energie betreiben?

B) Aufgaben

- 1) Führt das Experiment entsprechend der Versuchsvorschrift durch.
- 2) Dokumentiert Eure Waschergebnisse.
- 3) Bei welchen Temperaturen habt ihr das beste Waschergebnis erhalten? Worauf ist das zurückzuführen?
- 4) Recherchiert, wie viel Energie ihr einsparen könnt, wenn ihr statt bei 60 °C bei 30 °C oder 40 °C wascht. Berechnet, wie hoch die eingesparten Stromkosten sind. Welche anderen Elektrogeräte könntet ihr mit dieser eingesparten Energie betreiben?

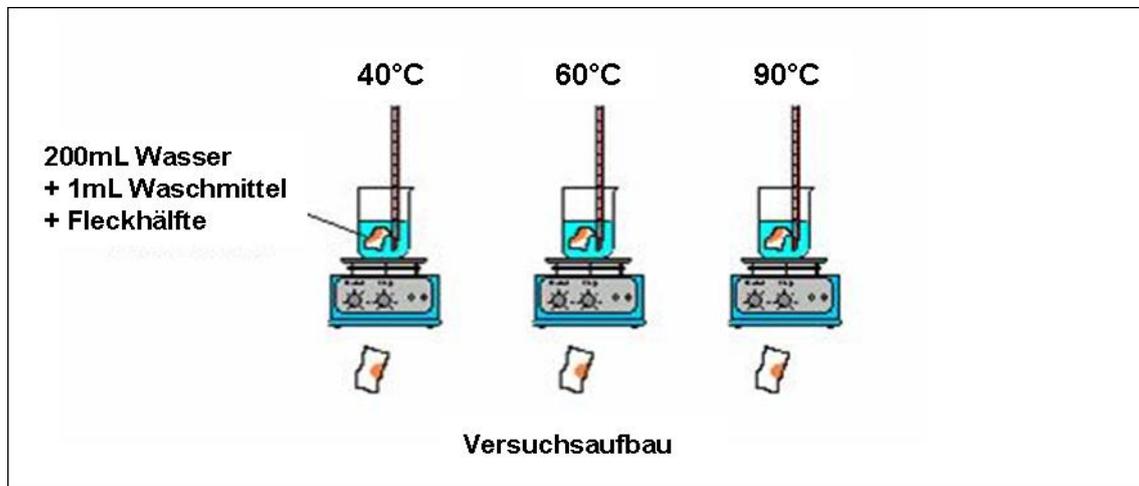
Geräte und Chemikalien

- 3 x 250-mL-Bechergläser
- 200-mL-Messzylinder
- 3 Heizplatten (mit Rührer und 3 Rührfischen oder Glasstäbe)
- 3 Thermometer
- 3 Uhrgläser (zum Abdecken der Bechergläser)
- Stoppuhr
- Pinzette
- Schere
- 1-mL-Messpipette
- Peleusball
- flüssiges Color-Waschmittel
- 3 Kakaoflecken auf Baumwolltuch

Durchführung

- Alle Flecken werden großzügig aus dem Baumwolltuch geschnitten und jeder Fleck halbiert. Eine Fleckhälfte wird gewaschen, die andere dient als Vergleich. Die Fleckhälften können mit Bleistift gekennzeichnet werden.
- In alle drei Bechergläser werden jeweils 200 mL Leitungswasser gegeben und mit je einer Heizplatte auf 40 °C, 60 °C und 90 °C erwärmt. Die Temperaturen müssen konstant gehalten werden. Die Bechergläser werden mit Uhrgläsern abgedeckt.
- Nachdem die Temperaturen eingestellt sind, wird mit der Pipette in jedes Becherglas 1 mL des Color-Waschmittels gegeben. Nachdem das Waschmittel gelöst ist, wird je eine Fleckhälfte in die Waschlauge gegeben und die Zeitnahme von 40 Minuten gestartet. Die Waschlaugen mit den Flecken sollten ab und zu gerührt, oder falls vorhanden, die Rührer auf mittlere Stufe eingestellt werden.

- Nach Ablauf der Zeit werden die Fleckhälften aus der Waschlauge genommen und getrocknet. Sie werden untereinander und mit den ungewaschenen Fleckhälften verglichen.



Entsorgung

- Waschlauge abgekühlt in den Ausguss
- Stoffreste wenn möglich wieder verwenden oder in den Hausmüll

EXPERIMENT 2

Untersuchung der Waschleistungssteigerung bei Zugabe von Fleckensalz

Wie gut ein Waschergebnis ist, hängt u. a. von der eingestellten Temperatur ab. In diesem Experiment soll nun untersucht werden, wie sich die Zugabe von Fleckensalz auf die Waschleistung auswirkt. Zur Untersuchung dienen Euch Baumwolltücher mit Kakaoflecken, die mit Waschmittel, Fleckensalz und einer Kombination aus Waschmittel und Fleckensalz gewaschen werden.



A) Aufgaben

- 1) Plant eine Versuchsreihe, mit der ihr die Auswirkung von Fleckensalz auf die Waschleistung überprüfen könnt. Zeichnet zunächst eine Versuchsskizze und beschreibt kurz, wie ihr vorgehen wollt.
- 2) Führt Eure Experimente durch und dokumentiert Eure Waschergebnisse.
- 3) Bei welchem Experiment habt ihr das beste Waschergebnis erhalten? Erklärt, worauf dieses zurückzuführen ist.

B) Aufgaben

- 1) Führt das Experiment entsprechend der Versuchsvorschrift durch.
- 2) Dokumentiert Eure Waschergebnisse.
- 3) Macht deutlich, in welchem Telexperiment ihr das beste Waschergebnis erhalten habt. Erklärt, worauf dieses zurückzuführen ist.

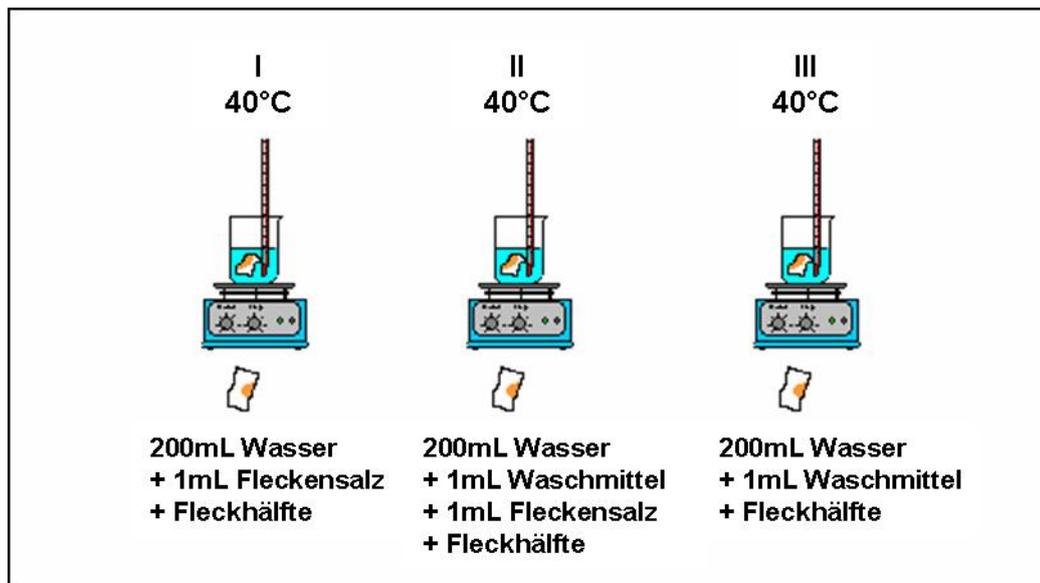
Geräte und Chemikalien

- 3 x 250-mL-Bechergläser
- 200-mL-Messzylinder
- 3 Heizplatten (mit Rührer und 3 Rührfischen oder Glasstäbe)
- 3 Thermometer
- 10 mL-Messzylinder
- 3 Uhrgläser (zum Abdecken der Bechergläser)
- Stoppuhr
- Pinzette
- Schere
- 1-mL-Messpipette
- Peleusball
- flüssiges Color-Waschmittel
- Fleckensalz
- 3 Kakaoflecken auf Baumwolltuch

Durchführung

- Alle Flecken werden großzügig aus dem Baumwolltuch geschnitten und jeder Fleck halbiert. Eine Fleckhälfte wird gewaschen, die andere dient als Vergleich. Die Fleckhälften können mit Bleistift gekennzeichnet werden.
- Nun werden je 200 mL Leitungswasser in allen drei Bechergläsern auf die angegebene Temperatur von 40 °C gebracht und konstant gehalten. Die Bechergläser werden mit Uhrgläsern abgedeckt.
- Anschließend werden mit dem Messzylinder in Becherglas I 1 mL Fleckensalz, in Becherglas II mit der Pipette 1 mL des Color-Waschmittels und 1 mL Fleckensalz, und in Becherglas III 1 mL des Color-Waschmittels gegeben.
- Nachdem das Waschmittel sich gut gelöst hat, wird je eine Fleckhälfte in die Waschlauge gegeben und die Zeitnahme gestartet. Becherglas I und III werden 40 Minuten gewaschen. Becherglas II wird so lange gewaschen, bis der Fleck weitgehend entfernt ist. Das kann zwischen 10 und 20 Minuten dauern.

- Die Waschlaugen mit den Flecken sollten ab und zu gerührt, oder falls vorhanden, die Rührer auf mittlere Stufe eingestellt werden.
- Nach Ablauf der Zeit werden die Fleckhälften aus der Waschlauge genommen und getrocknet. Sie werden untereinander und mit den ungewaschenen Fleckhälften verglichen.



Entsorgung

- Waschlauge abgekühlt in den Ausguss
- Stoffreste wenn möglich wieder verwenden oder in den Hausmüll

EXPERIMENT 3

Untersuchung der Waschleistung in Abhängigkeit von der Waschmitteldosierung und Wasserhärte

Sicher habt ihr zu Hause schon einmal den folgenden Hinweis auf einer Waschmittelpackung gesehen:

So dosieren Sie richtig			
Verschmutzungsgrad	leicht 	normal 	stark 
Wasserhärtebereich			
1 weich (<8,4 °dH)	45ml	65ml	110ml
2 mittel (8,4-14 °dH)	45ml	<u>85ml</u>	130ml
3+4 hart / sehr hart (>14 °dH)	45ml	110ml	150ml

Hier wird eine Dosierungsempfehlung für das Waschmittel in Abhängigkeit von der Verschmutzung und von der Wasserhärte gegeben.

In diesem Experiment soll untersucht werden, wie die Waschleistung von der Waschmitteldosierung und der Wasserhärte abhängt. Die zu untersuchenden Stoffstücke sind mit Kakao-flecken versehen und werden bei unterschiedlicher Dosierung des Waschmittels gewaschen.

A) Aufgaben

- 1) Plant eine Versuchsreihe, mit der ihr untersuchen könnt, wie die Waschleistung von der Waschmitteldosierung und der Wasserhärte abhängen. Zeichnet zunächst eine Versuchsskizze und beschreibt kurz, wie ihr vorgehen wollt.
- 2) Führt Eure Experimente durch und dokumentiert Eure Waschergebnisse.
- 3) Bei welcher Dosierung habt ihr das beste Waschergebnis erhalten? Findet hierfür eine Erklärung – berücksichtigt dabei, bei welcher Wasserhärte ihr gewaschen habt. (Hinweis: Eine Übersicht über die Wasserhärte in Deutschland findet ihr z. B. im Internet unter www.wasser.de).

B) Aufgaben

- 1) Führt das Experiment entsprechend der Versuchsvorschrift durch.
- 2) Dokumentiert Eure Waschergebnisse.
- 3) Bei welcher Dosierung habt ihr das beste Waschergebnis erhalten? Findet hierfür eine Erklärung – berücksichtigt dabei, bei welcher Wasserhärte ihr gewaschen habt. (Hinweis: Eine Übersicht über die Wasserhärte in Deutschland findet ihr z. B. im Internet unter www.wasser.de).

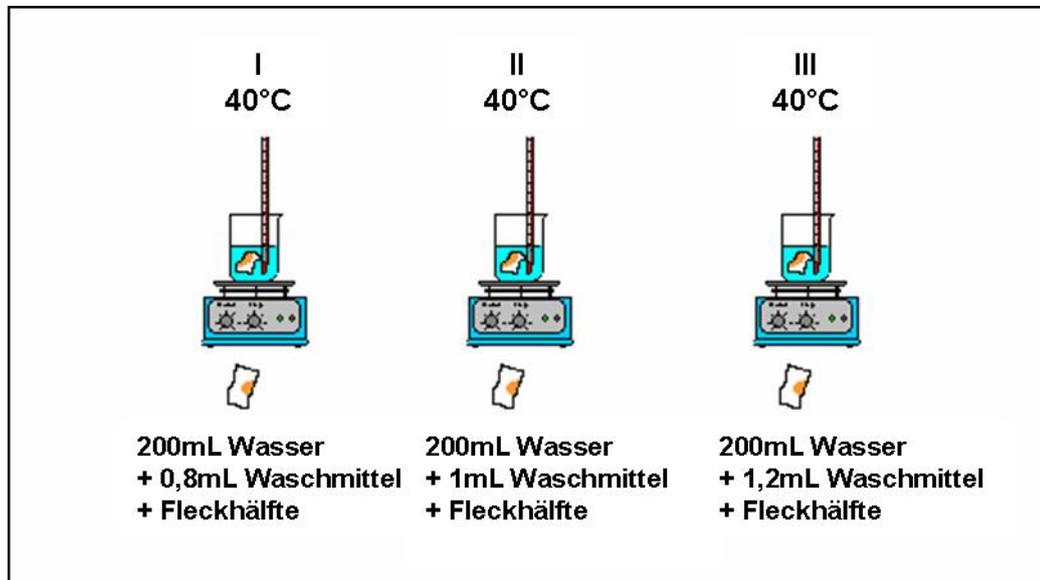
Geräte und Chemikalien

- 3 x 250-mL-Bechergläser
- 200-mL-Messzylinder
- 3 Heizplatten (mit Rührer und 3 Rührfischen oder Glasstäbe)
- 3 Thermometer
- 3 Uhrgläser (zum Abdecken der Bechergläser)
- Stoppuhr
- Pinzette
- Schere
- 2-mL-Messpipette
- Peleusball
- Flüssiges Color-Waschmittel
- 3 Kakaoflecken auf Baumwolltuch

Durchführung

- Alle Flecken werden großzügig aus dem Baumwolltuch geschnitten und jeder Fleck halbiert. Eine Fleckhälfte wird gewaschen, die andere dient als Vergleich. Die Fleckhälften können mit Bleistift gekennzeichnet werden.
- Nun werden je 200 mL Leitungswasser in allen drei Bechergläsern auf die angegebene Temperatur von 40 °C gebracht und konstant gehalten. Die Bechergläser werden mit Uhrgläsern abgedeckt.
- Anschließend werden mit der Pipette in Becherglas I 0,8 mL des Color-Waschmittels, in Becherglas II 1 mL des Color-Waschmittels, und in Becherglas III 1,2 mL des Color-Waschmittels gegeben.
- Nachdem das Waschmittel sich gut gelöst hat, wird je eine Fleckhälfte in die Waschlauge gegeben und die Zeitnahme von 40 Minuten gestartet.
- Die Waschlauge mit den Flecken sollten ab und zu gerührt, oder falls vorhanden, die Rührer auf mittlere Stufe eingestellt werden.

- Nach Ablauf der Zeit werden die Fleckhälften aus der Waschlauge genommen und getrocknet. Sie werden untereinander und mit den ungewaschenen Fleckhälften verglichen.



Entsorgung

- Waschlauge abgekühlt in den Ausguss
- Stoffreste wenn möglich wieder verwenden oder in den Hausmüll

EXPERIMENT 4

Untersuchung des Waschmitteleinflusses auf das Wachstum von Kressepflanzen

Das Abwasser aus dem Haushalt (z. B. aus der Waschmaschine) wird in der Kläranlage aufwändig gereinigt, um anschließend wieder natürlichen Gewässern zugeführt werden zu können. Was aber würde passieren, wenn es diese Abwasserreinigung nicht gäbe und das Abwasser direkt in die Umwelt abgegeben werden würde? In diesem Experiment soll der Waschmitteleinfluss auf das Wachstum von Kressepflanzen untersucht werden. Das Waschwasser ist hierbei stellvertretend als Abwasser zu sehen – die Kressepflanzen stellen die Umwelt dar.



A) Aufgaben

- 1) Entwickelt eine Versuchsreihe, mit der ihr den Waschmitteleinfluss auf das Wachstum von Kressepflanzen untersuchen könnt. Berücksichtigt dabei auch den Einfluss unterschiedlicher Waschmittelkonzentrationen. Zeichnet zunächst eine Versuchsskizze und beschreibt kurz, wie ihr vorgehen wollt.
- 2) Führt Eure Experimente durch und notiert Eure Beobachtungen. Wie haben sich die Kressepflanzen unter dem Waschmitteleinfluss verändert?
- 3) Entwickelt eine zweidimensionale Graphik für die Darstellung Eurer Ergebnisse.

B) Aufgaben

- 1) Führt das Experiment entsprechend der Versuchsvorschrift durch.
- 2) Notiert Eure Beobachtungen. Wie haben sich die Kressepflanzen unter dem Waschmittleinfluss verändert?
- 3) Entwickelt eine zweidimensionale Graphik für die Darstellung Eurer Ergebnisse.

Geräte und Chemikalien

- 7 Schälchen (z. B. Kristallisierschalen)
- Messer
- 50-mL-Becherglas
- 100-mL-Messzylinder
- 2 x 500-mL-Bechergläser
- Rührstab
- 20-mL-Messpipette
- Peleusball
- Stift
- flüssiges Color-Waschmittel
- 4 Schalen Gartenkresse

Durchführung

- Die Kressepflanzen aus jeder Verpackung werden samt Nährboden vorsichtig aus dieser gelöst und mit Hilfe eines Messers in der Mitte halbiert. Anschließend wird je eine Hälfte in ein Schälchen gegeben. Eine Hälfte der Kressepackungen bleibt übrig.
- Für das Erstellen einer Konzentrationsreihe werden die Schälchen in einer Reihe platziert und mit 100 mL Lösung der folgenden Waschmittel-Konzentrationen versehen und entsprechend beschriftet:
1. **Blindprobe**; 2. **0,01 mL/L**; 3. **0,1 mL/L**; 4. **1 mL/L**; 5. **10 mL/L**; 6. **100 mL/L**;
7. **1000 mL/L**.
- Die Blindprobe wird mit 100 mL Leitungswasser versehen. In Schale Nr. 7 werden 100 mL des Color-Waschmittels gegeben.
- Herstellen der Konzentrationen für Nr. 2 bis 6:
 - In einem Becherglas werden 180 mL Leitungswasser mit 20 mL des Color-Waschmittels durchmischt. 100 mL dieser Lösung werden in Schale Nr. 6 gegeben. Die Konzentration entspricht 100 mL/L.

- Von den verbleibenden 100 mL werden mit der Pipette 20 mL entnommen und in ein weiteres Becherglas gegeben. Dieses wird nun wieder mit 180 mL Leitungswasser auf insgesamt 200 mL Lösung aufgefüllt. Diese Lösung hat nun eine Konzentration von 10 mL/L. 100 mL dieser Lösung werden in Schale Nr. 5 gegeben.
- Von den verbleibenden 100 mL werden mit der Pipette wieder 20 mL entnommen und in ein sauberes Becherglas gegeben. Dieses wird nun wieder mit 180 mL Leitungswasser auf insgesamt 200 mL Lösung aufgefüllt. Diese Lösung hat nun eine Konzentration von 1 mL/L. 100 mL dieser Lösung werden in Schale Nr. 4 gegeben.
- Die Konzentrationen für Schale Nr. 3 und 2 erfolgen nach dem gleichen Prinzip der zunehmenden Verdünnung.
- **Achtung! Vor jeder Verwendung der Geräte diese sorgfältig mit Leitungswasser spülen, damit keine höhere Konzentration in eine geringere „verschleppt“ wird.**
- Die Pflanzen werden über einen Zeitraum von 5 bis 7 Tagen bei normalen Lichtverhältnissen stehen gelassen, beobachtet und bei Bedarf der ursprüngliche Flüssigkeitsstand mit Leitungswasser wieder hergestellt (z. B. bei hoher Raumtemperatur im Sommer).

Entsorgung

- Waschlauge in den Ausguss
- Kressepflanzenreste in den Hausmüll

ARBEITSBLATT 1

Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 1

In der Bundesrepublik Deutschland werden pro Jahr etwa **250.000 t** Tenside in Haushalt, Gewerbe und Industrie verbraucht. Dabei zählen die Wasch- und Reinigungsmittel mit ca. 64% zu den Haupteinsatzgebieten von Tensiden. Aber auch in Kosmetika und Pharmaka, in Textil- und Lederhilfsmitteln und in zahlreichen anderen Bereichen finden Tenside Verwendung. Die mengenmäßig wichtigste Tensidklasse bilden die anionischen Tenside (Verbrauch ca. 136.000 t), gefolgt von den nichtionischen Tensiden (Verbrauch ca. 97.000 t).

Die Tenside, die z. B. beim Waschen im Haushalt verwendet werden, gelangen unverändert mit der Waschlauge ins Abwasser. In höheren Konzentrationen haben die Tenside eine toxische Wirkung auf viele Gewässerorganismen (z. B. Fische und Algen). Daher ist eine schnelle Entfernung von Tensiden aus der Umwelt, z. B. durch **biologischen Abbau**, sehr wichtig für die Umweltverträglichkeit.

Beim biologischen Abbau von Tensiden unterscheidet man zwischen dem **Primär-** und dem **Endabbau**.

Beim Primärabbau bleibt die chemische Grundstruktur der Tenside zunächst weitestgehend erhalten, sie verlieren jedoch bereits ihre charakteristischen schmutzlösenden Eigenschaften. Gleichzeitig verringert sich durch den Primärabbau die relativ hohe Giftigkeit der Tenside für Wasserorganismen. Erkennen kann man den Primärabbau z. B. am Verlust der Schaumbildung, die auf den Verlust der Tensidfunktion zurückzuführen ist.

Beim Endabbau wird das Tensid dann in immer kleinere und einfachere Bausteine zerlegt. Dies geschieht durch Stoffwechselvorgänge von Mikroorganismen, die die organischen Substanzen als Nahrungsquelle nutzen. Zuletzt sind alle Bausteine der Ausgangsverbindung in Mineralisationsprodukte wie Kohlendioxid (CO₂), Wasser (H₂O), Salze sowie Biomasse (bakterielles Zellmaterial) umgewandelt. Der Biomasse-Aufbau erfolgt aus kleineren C-H-Bausteinen und ist der Grund, warum ein Stoff genau genommen nicht zu 100 % endabgebaut wird.

1961 trat in der Bundesrepublik Deutschland zum ersten Mal eine gesetzliche Regelung über Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln, das Detergentengesetz, in Kraft. Darin wurde festgelegt, dass ab dem 01. Oktober 1964 anionische und nichtionische Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln eine biologische Primärabbaubarkeit von mindestens 80 % aufweisen müssen. Während die heute eingesetzten Tenside den geforderten Primärabbaugrad leicht erfüllen, stellten sich beim Endabbau erhebliche Unterschiede heraus. Daraufhin wurde im Wasch- und Reinigungsmittelgesetz (WRMG) von 2007, dem Nachfolger des Detergentengesetzes, festgelegt, dass die in Wasch- und Reinigungsmitteln enthaltenen waschaktiven Tenside vollständig biologisch abbaubar, d. h. endabbaubar sein müssen.

Der Primärabbau der Tenside wird beispielsweise mit dem **OECD Corfirmatory Test** und dem **OECD Screening Test** geprüft. Der Endabbau kann unter anderem im **GF-Test (Geschlossener-Flasche-Test bzw. Closed Bottle Test, OECD 301 D)** oder durch den **Coupled-Units-Test (OECD 303 A)** ermittelt werden.

Aufgaben

- 1) Erkläre den Unterschied zwischen Primär- und Endabbau von Tensiden. Warum kann kein Endabbau von 100 % erreicht werden?
- 2) Ende der 50er Jahre konnte man Schaumberge auf Gewässern beobachten. Diese wurden auf die in den damaligen Waschmitteln verwendeten Tenside zurückgeführt. Erkläre, wie die Schaumbildung auf den Gewässern zustande gekommen ist.
- 3) Suche im Internet nach Informationen zu jeweils einer Testmethode der OECD für den Primär- und den Endabbau und beschreibe diese kurz.

EXPERIMENT 5

Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 2

Der größte Anteil an Waschmittel-Inhaltsstoffen wird in der Kläranlage abgebaut oder durch andere Prozesse in der Kläranlage aus dem Abwasser entfernt. Erreichen geringe Mengen z. B. an Tensiden die Umwelt, ist die Natur jedoch nicht völlig machtlos, da auch hier Mikroorganismen in der Lage sind, Tenside und andere Chemikalien abzubauen. In diesem Experiment soll nun untersucht werden, was passiert, wenn geringe Waschmittelmengen in einen belebten Fluss oder See gelangen.



A) Aufgaben

- 1) Plant ein Experiment, mit dem ihr die biologische Abbaubarkeit von Tensiden in Fluss- oder Seewasser untersuchen könnt. Zeichnet zunächst eine Versuchsskizze und beschreibt kurz, wie ihr vorgehen wollt.
- 2) Führt Euer Experiment durch und dokumentiert Eure Beobachtungen. Findet Erklärungen für Eure Beobachtungen.

B) Aufgaben

- 1) Führt das Experiment entsprechend der Versuchsvorschrift durch.
- 2) Vergleicht die beiden Versuchsansätze miteinander. Wie lassen sich die unterschiedlichen Beobachtungen erklären?

Geräte und Chemikalien

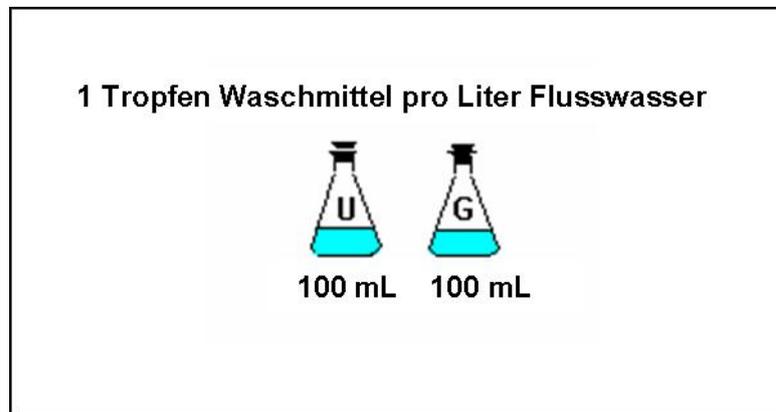
- 2 x 200-mL-Erlenmeyerkolben mit Stopfen
- Heizplatte
- 500-mL-Becherglas (mit Uhrglas zum Abdecken)
- 50-mL-Becherglas
- Glasstab
- 100-mL-Messzylinder
- 1-mL-Messpipette
- 10-mL-Messpipette
- Peleusball
- Stift
- flüssiges Color-Waschmittel
- Flusswasser

Durchführung

- 10 mL Flusswasser werden mit einer Pipette in ein 50-mL-Becherglas gegeben. Anschließend wird mit dem Glasstab 1 Tropfen des Color-Waschmittels hineingetropt. Nachdem sich der Tropfen vollständig gelöst hat, wird 1 mL der Lösung in einen Erlenmeyerkolben gegeben, mit 99 mL Flusswasser aufgefüllt und mit „U“ für ungekochte Probe beschriftet. Der Kolben muss mit einem Stopfen gut verschlossen werden.
- 200 mL Flusswasser werden in einem Becherglas auf der Heizplatte für einige Minuten zum Kochen gebracht. Nachdem das Wasser abgekühlt ist, werden daraus 10 mL in ein 50-mL-Becherglas gegeben. Anschließend wird mit dem Glasstab 1 Tropfen des Color-Waschmittels hineingetropt. Nachdem sich der Tropfen vollständig gelöst hat, wird 1 mL der Lösung in einen Erlenmeyerkolben gegeben, mit 99 mL gekochtem Flusswasser aufgefüllt und mit „G“ für gekochte Probe beschriftet. Der Kolben muss mit einem Stopfen gut verschlossen werden.

Achtung! Vor jeder neuen Verwendung der Geräte diese sorgfältig mit Leitungswasser spülen.

- Über einen Zeitraum von ca. 3-7 Tage wird die Schaumbildung in den Kolben beobachtet. Dazu werden die beiden Kolben gleichmäßig und gleichzeitig 10 Mal aufrecht geschüttelt, anschließend die Schaumdecke bei beiden Lösungen betrachtet und verglichen.



Entsorgung

- Waschlauge in den Ausguss

ARBEITSBLATT 2

Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 3

Seit Mitte der 1950er Jahre werden moderne Tenside in größeren Mengen in Wasch- und Reinigungsmitteln verwendet. Mit Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) wurde erstmals ein Tensid eingesetzt, das biologisch schwer abbaubar war. Ein sichtbares Zeichen waren riesige Schaumberge auf den großen Fließgewässern (Abb. 1).



Abb. 1: Schaumberge auf Gewässern – hervorgerufen durch biologisch schwer abbaubare Tenside in Waschmitteln.

Die Waschmittelindustrie startete darauf hin die Entwicklung und Einführung von leicht abbaubaren Tensiden. Im Zeitraum 1961 bis 1964 wurde TPS in der Bundesrepublik Deutschland stufenweise durch das lineare Alkylbenzolsulfonat (LAS) ersetzt. Darüber hinaus misst die Firma Henkel alle vierzehn Tage in Düsseldorf die Tensid-Frachten im Rhein. Die Ergebnisse werden Wissenschaftlern, Politikern und Behörden zugänglich gemacht und jährlich veröffentlicht. In den siebziger Jahren wurden darüber hinaus die kommunalen Kläranlagen weiter ausgebaut.

Aufgabe

Material 1 zeigt eine Übersicht über den Waschmittelverbrauch in Deutschland ab dem Jahr 1960 und eine Übersicht über die Tensid-Frachten im Rhein bei Düsseldorf von 1958 bis 2007.

- 1) Beschreibe die Kurvenverläufe der beiden Graphiken.
- 2) Wie ist der Verlauf der Tensid-Frachten im Hinblick auf den Einsatz von Tensiden in Waschmitteln zu erklären?

Material 1

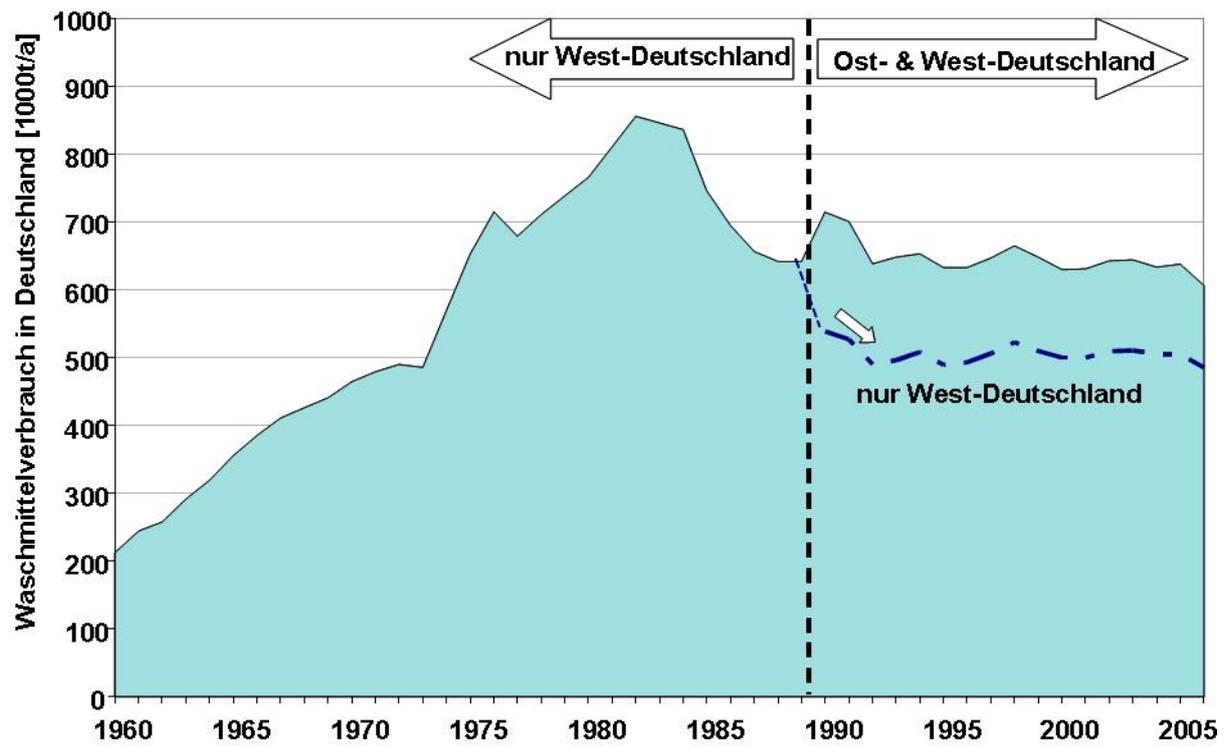


Abb. 1: Waschmittelverbrauch in Deutschland

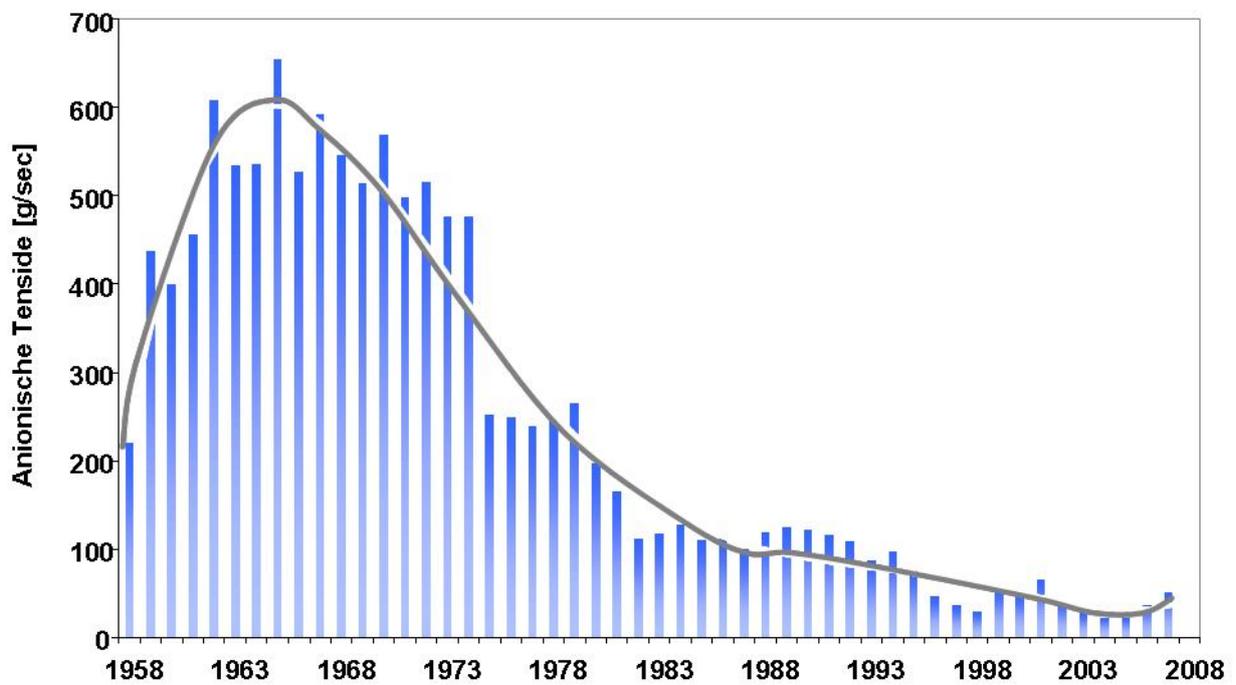


Abb. 2: Tensid-Frachten (Median-Werte) im Rhein bei Düsseldorf (1958 – 2007)

ARBEITSBLATT 3

Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 4

In der Bundesrepublik Deutschland wurde im Zeitraum von 1961 bis 1964 das Tensid Tetrpropylenbenzolsulfonat (TPS) stufenweise durch das Alkylbenzolsulfonat (LAS) ersetzt, da das TPS nur schlecht abgebaut werden konnte.

Die nachstehenden Abbildungen zeigen Dir die Strukturformeln von TPS und LAS:

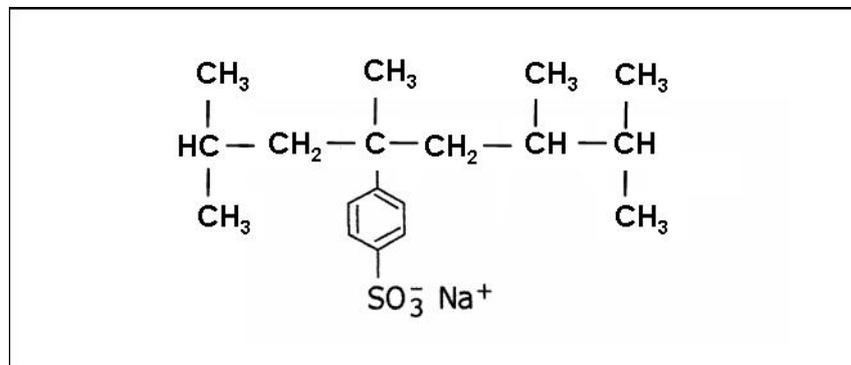


Abbildung 1: Tetrpropylenbenzolsulfonat (TPS)

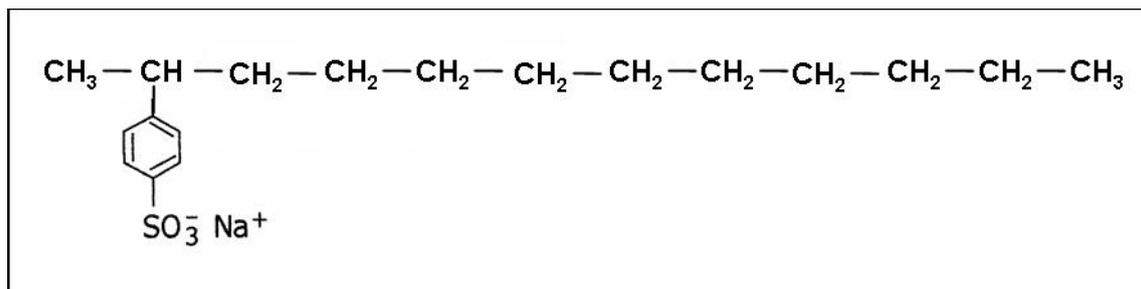


Abbildung 2: 2-Dodecylbenzolsulfonat (ein LAS)

Aufgabe

Worin könnte der Grund für die schlechtere Abbaubarkeit von TPS gegenüber LAS liegen? Bedenke dabei, dass die Tenside in den Gewässern durch Mikroorganismen abgebaut werden.

ARBEITSBLATT 4

Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen

Viele Tenside können heute schon aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden. Der nachfolgende Bericht eines Waschmittelherstellers gibt einen Überblick über den Einsatz dieser nachwachsenden Rohstoffe in der Waschmittelindustrie.

Nachwachsende Rohstoffe

[...] Bei den Wasch- und Reinigungsmitteln stellen nachwachsende Rohstoffe historisch eine der wichtigsten Rohstoffquellen dar. Seife – von jeher auch als Waschmittel verwendet – wird seit Jahrtausenden aus pflanzlichen oder tierischen Ölen und Fetten hergestellt. Heute bestehen die meisten Wasch- und Reinigungsmittel aus einer Vielzahl von Inhaltsstoffen, jeweils mit speziellen Funktionen.

Die meisten der großvolumigen Inhaltsstoffe von Wasch- und Reinigungsmitteln sind anorganisch und können nicht durch Inhaltsstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe ersetzt werden. Eine wichtige Ausnahme bilden Tenside. Sie bestehen aus einem lipophilen – „fettfreundlichen“ – Teil, der aus pflanzlichen oder erdölbasierten Ölen gewonnen wird, und einem hydrophilen – „wasserfreundlichen“ – Teil, der in der Regel erdölbasiert oder anorganisch ist. Tenside, die vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen, wie Alkylpolyglucoside (APG), sind die Ausnahme.

Um optimale Waschleistungen erzielen zu können, setzen wir eine Mischung verschiedener Tenside ein. Bei mehr als der Hälfte basiert der lipophile Teil auf nachwachsenden Rohstoffen – ein Ergebnis der langjährigen Erfahrungen mit Inhaltsstoffen auf Basis nachwachsender Öle, wie zum Beispiel das nur für den industriellen Einsatz nutzbare Palmkernöl, und Fette. Der Anteil nachwachsender Rohstoffe liegt insgesamt bei den Tensiden für Wasch- und Reinigungsmittel bei rund 35 Prozent. Die übrigen 65 Prozent teilen sich auf in anorganische und erdölbasierte Bestandteile. [...]

Aufgaben

- 1) Erkläre den Begriff „nachwachsende Rohstoffe“. Informiere Dich über Vor- und Nachteile des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen. Weshalb gehört Erdöl nicht zu diesen nachwachsenden Rohstoffen? Erläutere Deine Antwort.
- 2) Welcher nachwachsende Rohstoff wird in der Waschmittelindustrie verwendet? Suche im Internet nach einigen Informationen über diesen Rohstoff (Anbaugebiete, Gewinnung etc.).

ARBEITSBLATT 5

Wirkung von Bleichmitteln

Neben den Tensiden als waschaktive Substanzen enthalten Vollwaschmittel häufig noch Bleichmittel. Diese entfernen Verschmutzungen durch Oxidationsprozesse. Bleichmittel waren jedoch nicht immer in Waschmitteln enthalten. Früher wurde die Wäsche in der Sonne ausgebreitet und durch die natürliche UV-Strahlung gebleicht („Rasenbleiche“). Die Waschmittel wurden dann aber immer weiterentwickelt und im Laufe der Zeit wurden unterschiedliche Bleichmittel verwendet.



Aufgaben

- 1) Informiert Euch über verschiedene Bleichmittel und stellt in einer übersichtlichen Form dar, welche Bleichmittel für den Einsatz in Waschmitteln nach Eurer Einschätzung geeignet wären und welche nicht. Begründet Eure Einschätzungen!
- 2) Führt nach Rücksprache mit Eurer Lehrerin/Eurem Lehrer Experimente durch, die die Wirkung verschiedener Bleichmittel zeigen.

ARBEITSBLATT 6

Ökologische Auswirkungen durch Phosphate in früheren Waschmitteln

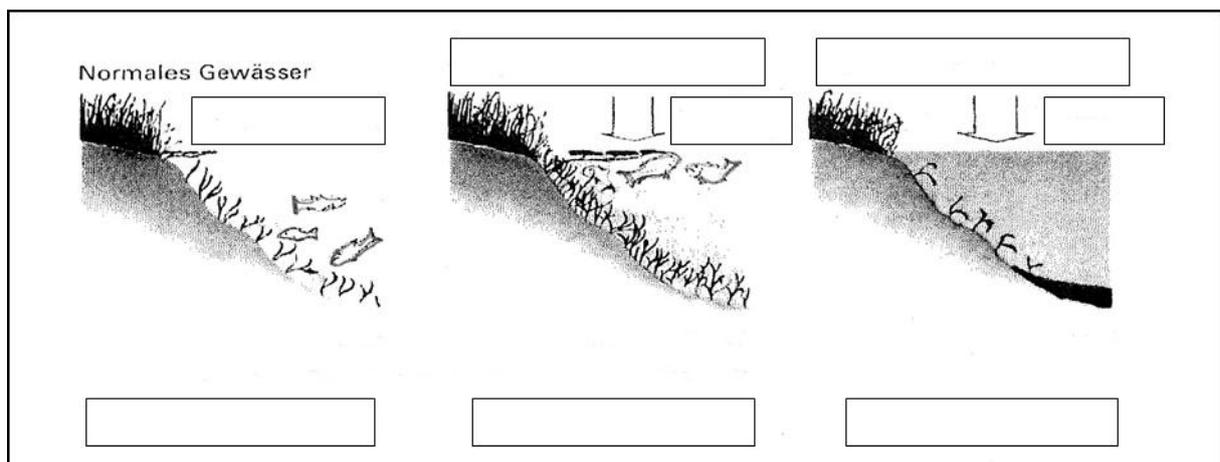
Phosphate sind ubiquitär d. h. überall in der Umwelt verbreitet. Jeder Organismus, so auch der Mensch, benötigt phosphathaltige Verbindungen für den Stoffwechsel.

Wenn phosphathaltige Verbindungen jedoch im Übermaß in die Gewässer gelangen, wie z. B. früher durch die Verwendung von phosphathaltigen Waschmitteln, kann ein schädliches Überangebot an Pflanzennährstoffen in der Umwelt entstehen. Als Folge davon vermehren sich die Algen, die die pflanzliche Hauptbiomasse im Wasser bilden. Auch die davon lebenden Tiere und alle weiteren Folgeglieder der Nahrungskette können sich dadurch stärker entwickeln. In den oberen Schichten des Gewässers kommt es - aufgrund der gesteigerten Photosynthese - zu einem Sauerstoffüberschuss. Mehr Biomasse bedeutet jedoch auch, dass mehr Organismen absterben. Abgestorbene Biomasse sinkt auf den Gewässergrund und wird dort von Mikroorganismen aerob abgebaut. Dies wiederum führt zu einem Sauerstoffmangel in den tieferen Gewässerschichten. Durch diese Sauerstoffarmut können sich anaerobe Bakterien bilden, die giftige Stoffwechselprodukte freisetzen. Diese verursachen das Absterben vieler Lebewesen im Gewässer. Das Gewässer „kippt um“ und kann nicht mehr zur Trinkwassergewinnung genutzt werden.

Die Überdüngung von Gewässern mit Pflanzennährstoffen (C, N, P) wird als „Eutrophierung“ bezeichnet.

Aufgabe

Beschrifte die nachstehende Abbildung so, dass sie die Eutrophierung eines Gewässers zeigt. Verwende die folgenden Begriffe: *Phosphate*, *Faulschlamm*, *starkes Pflanzenwachstum*, *sauerstoffreich*, *nährstoffreich*, *Sauerstoffarmut*, *nährstoffarm*



Der Bodensee – das größte deutsche Binnengewässer – wird bereits seit vielen Jahren hinsichtlich des Phosphatgehaltes untersucht. Die hier gewonnenen Erkenntnisse lassen sich auch auf andere Gewässer, wie die Nord- und Ostsee übertragen. Die nachstehende Abbildung zeigt die Phosphatkonzentration im Bodensee von 1950 bis 2004.

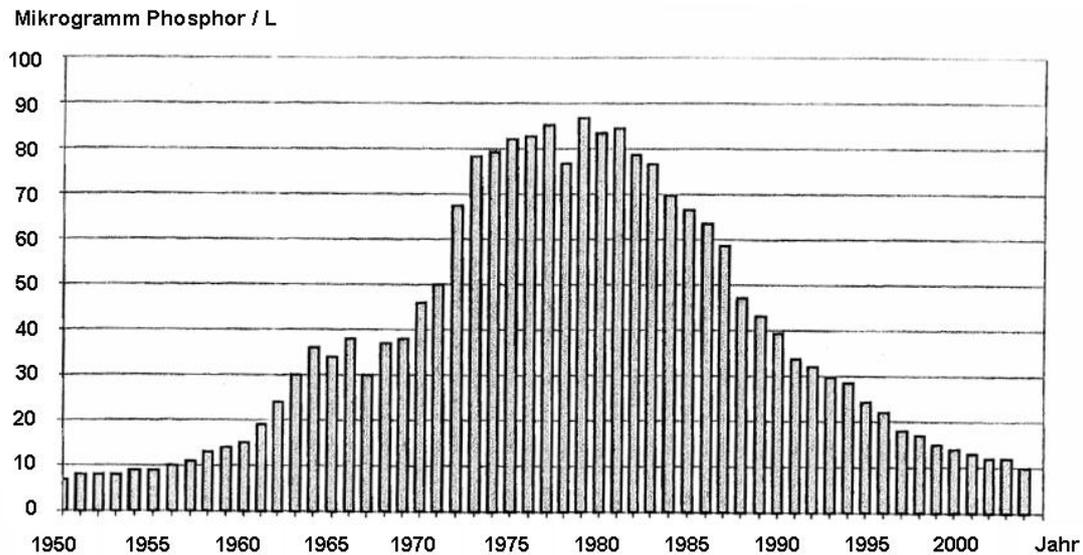


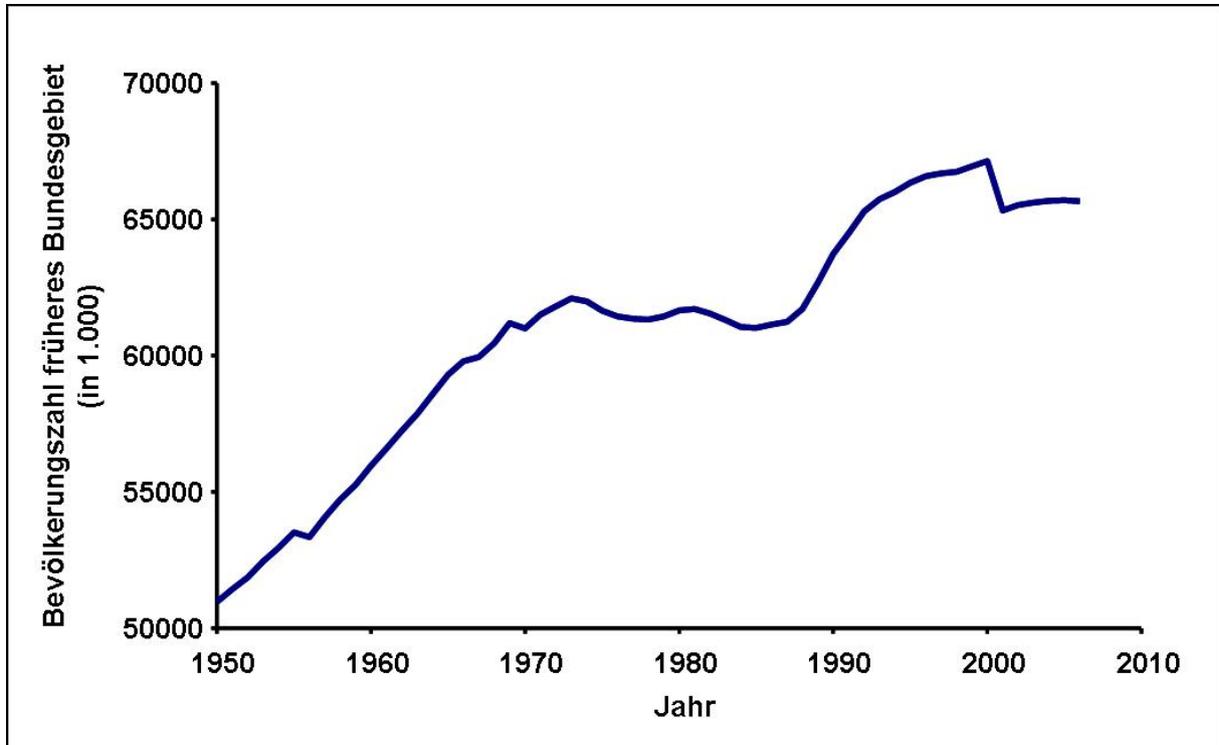
Abb. 1: Phosphatkonzentration im Bodensee von 1950 bis 2004

Aufgabe

Erkläre den Kurvenverlauf bezüglich der Phosphatkonzentration im Bodensee. Beziehe die nachfolgenden **Materialien 2, 3 und 4** in Deine Erklärung mit ein.

Material 2

Die Bevölkerungszahl des früheren Bundesgebietes von 1950 bis 2006:



Quelle: Statistisches Bundesamt Deutschland (www.destatis.de).

Material 3

Die geschichtliche Entwicklung phosphatfreier Waschmittel

Jahr	Ereignis
Seit 1930	Phosphate in Waschmitteln enthalten
1950 – 1959	Neue Rohstoffe, wie z. B. der Enthärter Natriumtripolyphosphat, werden in Waschmitteln eingesetzt.
1966	Es wird erkannt, dass in Waschmitteln enthaltene Phosphate einen maßgeblichen Einfluss auf die Gewässer-Eutrophierung haben. Die Suche nach Phosphatersatzstoffen beginnt.
Ab 1970	Verstärkung der biologisch-chemischen Abwasserreinigung
1973	Der Phosphatersatzstoff Zeolith A (Markenname Sasil®) wird zum Patent angemeldet.
1975	Umweltabsicherung des Phosphatersatzstoffs Zeolith A in Waschmitteln
1977	Das erste phosphatarme Waschmittel mit Zeolith A besteht die Bewährungsprobe.
1983	Das erste völlig phosphatfreie Waschmittel kommt auf den Markt. In den folgenden Jahren setzen sich phosphatfreie Waschmittel in Westeuropa durch.

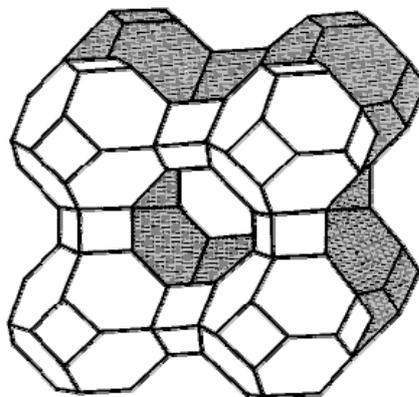


Abbildung: Sasil®-Kristall

Material 4

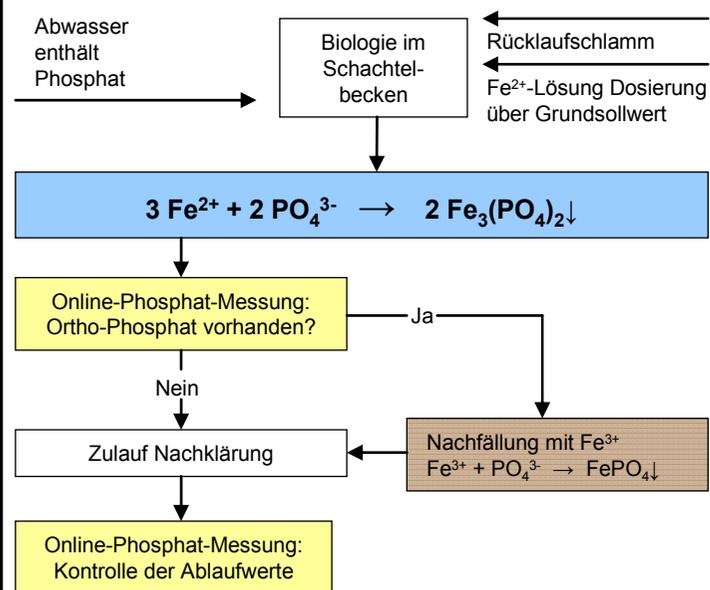
Die Zentralkläranlage Konstanz ist mit 215.000 Einwohnergleichwerten die größte Abwasserreinigungsanlage am Bodensee. Täglich werden bis zu 40 Mio. Liter Abwasser gereinigt. Das entspricht ungefähr dem Inhalt von ca. 2000 Tanklastzügen. Die Fällmittel- und Dosierstation dieser Kläranlage ist in der Abbildung schematisch dargestellt.

(Quelle der Vorlage: Entsorgungsbetriebe Stadt Konstanz, www.konstanz.de/imperia/md/content/ebk/89.pdf)

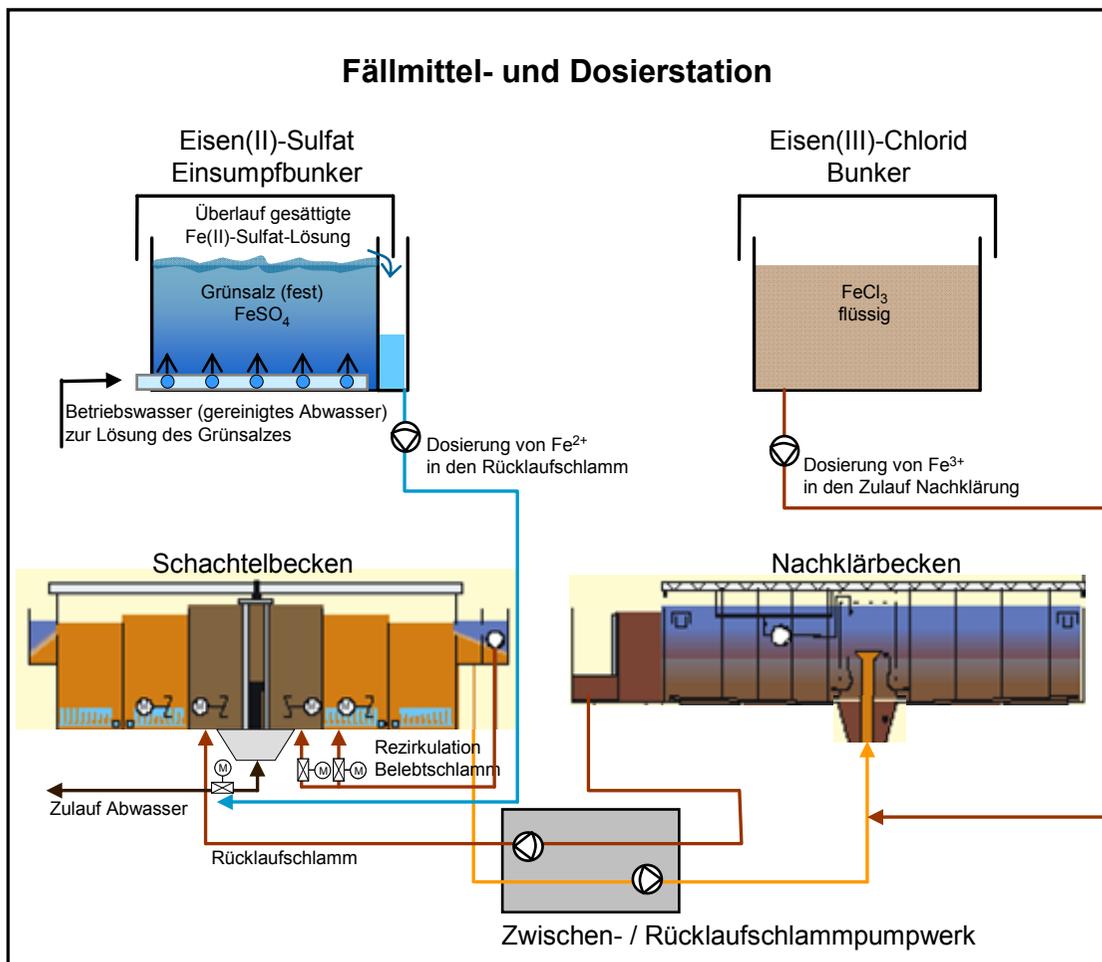
Die Fällmittel- und Dosierstation

In der chemischen Stufe werden die im Wasser enthaltenen Phosphate mit Hilfe von Eisensalzen entfernt. Diese bilden mit gelösten Phosphaten schwerlösliche Eisenphosphate, welche als Klärschlamm abgetrennt werden und die Düngewirkung des Klärschlammes verbessern.

Das Regelprinzip der chemischen Fällung



Fällmittel- und Dosierstation



Technische Daten

Vorat an Eisen(II)-Sulfat 25 Tonnen
 Vorat an Eisen(III)-Chlorid 25 Tonnen
 Verbrauch: 1800 kg Eisensalz pro Tag, das entspricht 5 g Eisensalz / m³ Abwasser

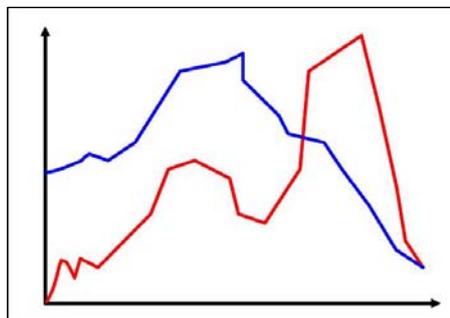
ARBEITSBLATT 7

Modellierung von Substanz-Konzentrationen im Fluss

Substanzen aus Konsumentenprodukten (z. B. Waschmittel) gelangen mit dem Abwasser in die Kläranlage, wo sie abgebaut oder durch physikalische und chemische Prozesse aus dem Abwasser entfernt werden. Anschließend wird das gereinigte Abwasser wieder den Oberflächengewässern (z. B. Flüsse) zugeführt. Einige der Substanzen aus dem Gebrauch von Konsumentenprodukten werden in den Kläranlagen jedoch nicht vollständig eliminiert und gelangen dadurch in die Flüsse. Somit lassen sich auch nach dem Klären noch geringe Konzentrationen dieser Substanzen in den Flüssen feststellen.

Aufgaben

- 1) Erstellt mit Hilfe eines Excel-Datenblattes eine Graphik, aus der die Veränderung der Konzentration eines Tensides oder eines anderen Waschmittelinhaltsstoffes im Verlauf eines Flussabschnittes hervorgeht.
 - a) Überlegt Euch, welche Parameter ihr berücksichtigen müsst (z. B. Länge des Flussabschnittes, Eintrag der Tenside pro Einwohner, angeschlossene Einwohnerzahl pro Klärwerk etc.).
 - b) Informiert Euch ggf. bei einem Klärwerk in Eurer Nähe über genaue Daten zu den von Euch gewählten Parametern.



ARBEITSBLATT 8

Einführung in das Modellierungsprogramm GREAT-ER

Um zu veranschaulichen, wie Substanzen aus Konsumentenprodukten (z. B. Waschmittel) über die Kläranlagen in die Flüsse gelangen und wie sich ihre Konzentrationen im Verlauf der Flüsse verändern, wurde das Programm GREAT-ER (**Geo-Referenced Exposure Assessment Tool for European Rivers**) entwickelt. Das Programm errechnet Umweltkonzentrationen dieser Substanzen und stellt die resultierende Umweltbelastung über Farbkodierungen in einer Landkarte eines Flusseinzugsgebietes dar.

Aufgabe

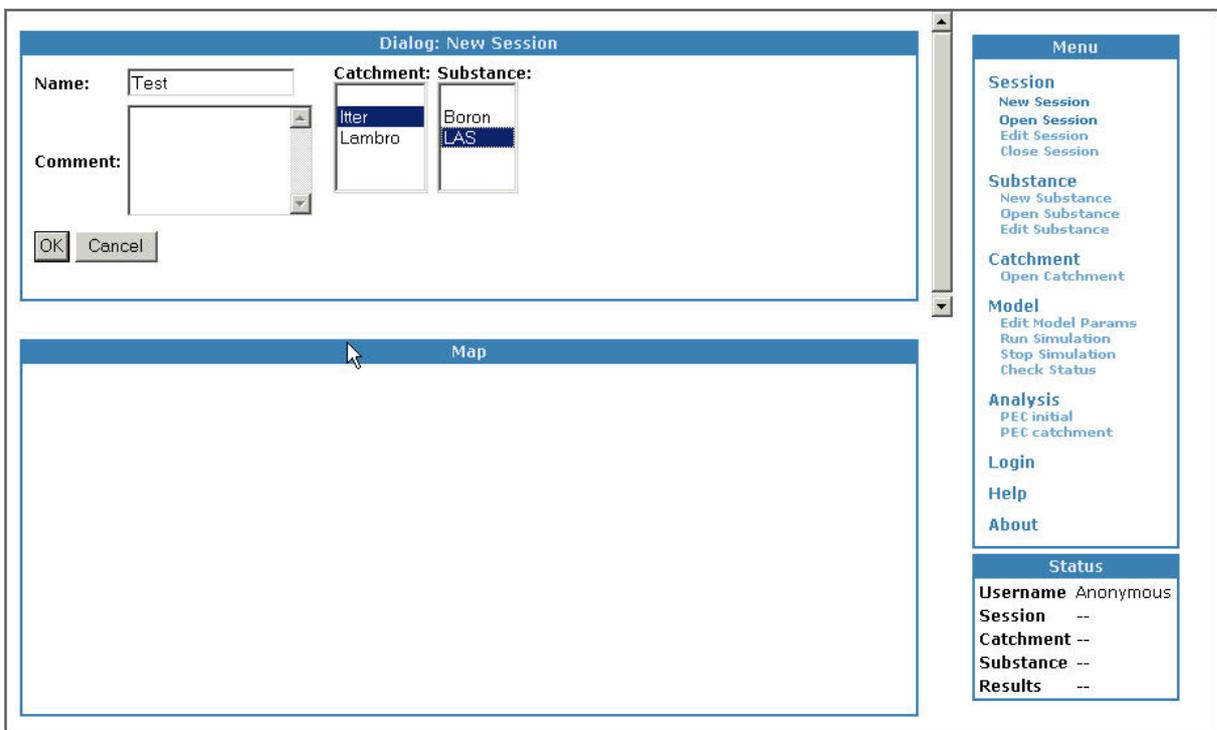
Mache Dich mit dem Programm vertraut, indem Du eine Simulation des Tensidabbaus von LAS (Waschmittelinhaltsstoff) in der Itter (Fluss nahe Düsseldorf) erstellst. Das Programm ist in englischer Sprache; die folgende Bedienungsanleitung in **Material 5** erklärt Dir aber alle notwendigen Schritte und Eingabeparameter.



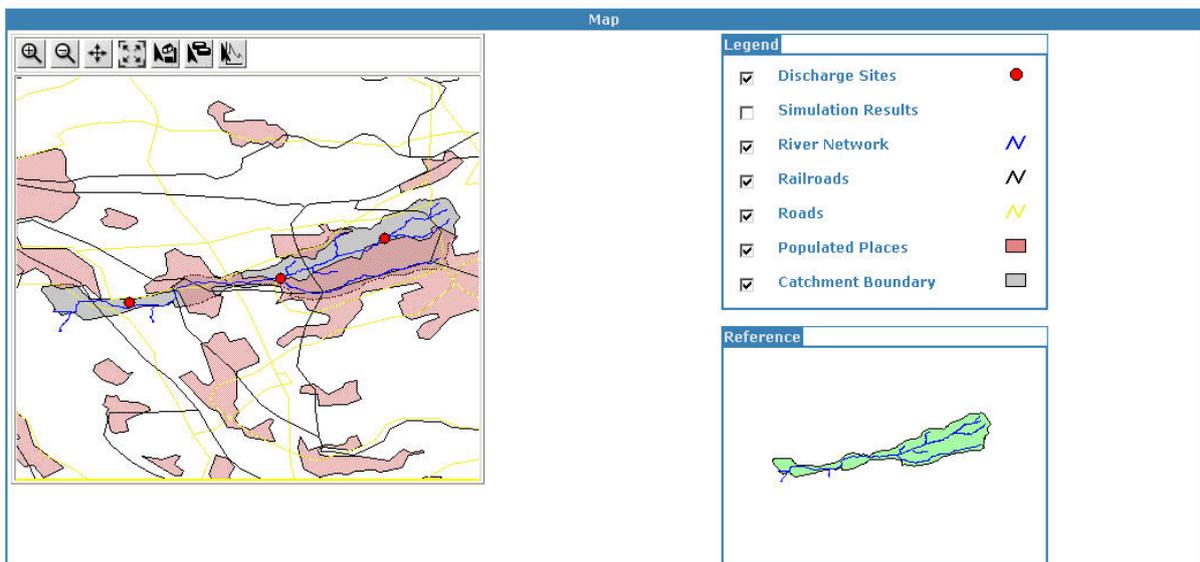
Material 5

Bedienungsanleitung GREAT-ER

1. Rufe im Internet die Seite **<http://greater-web.intevation.org/greater>** auf. Es erscheint ein weitestgehend weißes Blatt mit einer Menüauswahl auf der rechten Seite. (Achtung! Eventuell wird der Link geblockt. Falls die Seite nicht aufrufbar ist, bitte die Sicherheitseinstellungen des Rechners überprüfen.)
2. Klicke zunächst den Menüpunkt „**New Session**“ an. Nun gibst Du folgende Parameter ein:
Name für die Berechnung: **Test**
Catchment (Flusseinzugsgebiet): **Itter** auswählen
Substance (Substanz): **LAS** auswählen



Bestätige Deine Eingabe dann mit **OK**. Du bekommst dann eine Bestätigung, dass das Szenario angelegt wurde. Außerdem wird Dir das ausgewählte Flusseinzugsgebiet graphisch angezeigt.



Auf dieser Seite findest Du in der Legende einige Begriffe. Die meisten Begriffe kannst Du sicher schon selbst übersetzen. Für drei der Begriffe gibt's eine kleine Hilfe:

- Discharge Sites = Kläranlagen
- Simulation Results = Simulationsergebnis
- Catchment Boundary = Umfang des (Fluss)-Einzugsgebietes

3. Nun muss natürlich noch das zu betrachtende LAS eingegeben werden. Unter dem Menüpunkt „Edit Substance“ sind bereits Parameter vorgegeben, die zunächst nicht geändert werden.

Zum besseren Verständnis werden die hier vorgegebenen Parameter kurz erklärt:

- Unter „Identifikation“ ist der Name der chemischen Substanz (**LAS**) sowie die internationale Nummer für diese Substanz CAS (**25496-87-0**) eingegeben.
- Unter „fraction removed (sewer)“ wird angegeben, wie viel von der eingegebenen Substanz bereits vor der Kläranlage im Kanalsystem (sewer) abgebaut werden kann. In diesem Beispiel kann **25 %** der Substanz im Kanalsystem abgebaut werden.
- Unter „Fraction removed (AS)“ und „Fraction removes (TF)“ sind die Eliminationsraten von zwei verschiedenen Kläranlagentypen eingegeben. In

diesem Beispiel beträgt die Eliminationsrate beim Kläranlagentyp **AS 98 – 99,5 %**, beim Kläranlagentyp **TF 94 – 98 %**.

Hinweis zu den Kläranlagentypen:

Typ AS = Activated Sludge = Belebtschlamm

Typ TF = Trickling Filter = Tropfkörper

- Unter „k instream“ wird angegeben, wie viel der Substanz auch nach der Kläranlage (d. h. im Fluss) weiter abgebaut werden kann. In diesem Beispiel sind es **6 % pro Stunde**.
- Unter „Domestic consumption“ ist angegeben, wie hoch die über die Kläranlagen eingebrachte Menge an LAS ist. Diese wird über den pro-Kopf-Verbrauch dargestellt (domestic consumption in kg/Einwohner/Jahr). In diesem Beispiel beträgt die eingebrachte Menge 1,2 kg pro Einwohner und Jahr.

Dialog: Edit Substance

Identification		WWTP Removal	River Removal
Name:	EINECS:	Fraction removed (primary):	k (instream):
LAS		0.0 [-]	0.06/none [1/h]
CAS:	Synonyms:	Fraction removed (AS):	
25496-87-0		0.98;0.995/unit [-]	
		Fraction removed (TF):	Emission
		0.94;0.98/unit [-]	
		Fraction removed (sewer):	Domestic consumption:
		0.25 [-]	1.2/none [kg/(cap * a)]

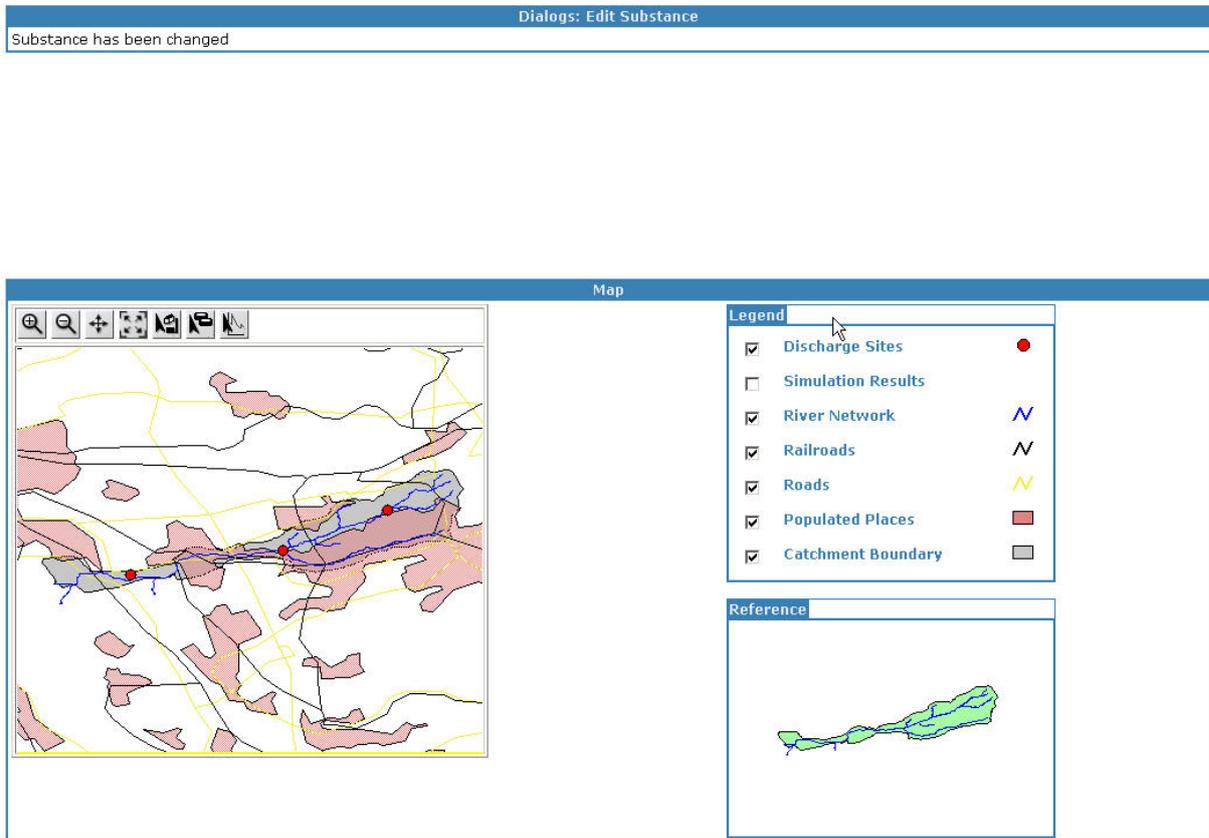
Map

Legend

- Discharge Sites ●
- Simulation Results
- River Network ~
- Railroads ~
- Roads ~
- Populated Places ■
- Catchment Boundary □

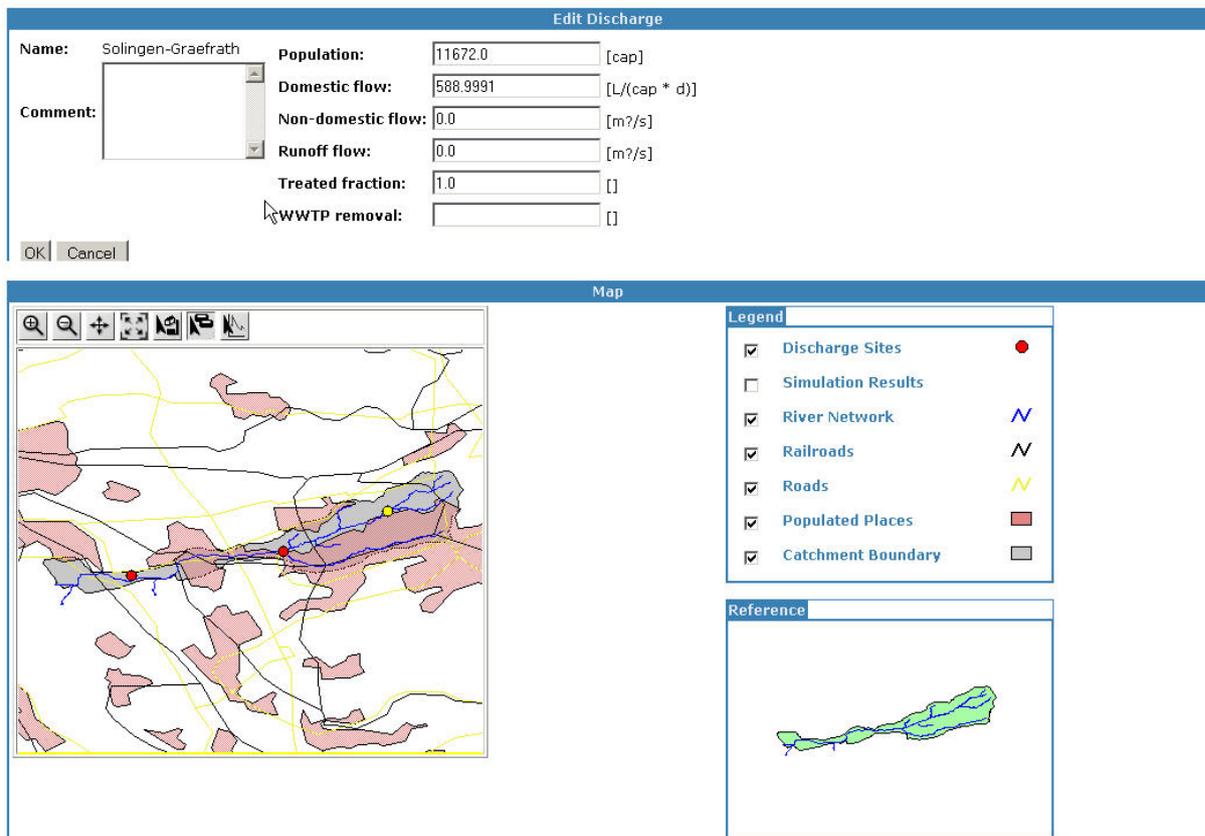
Reference

4. Diese Parameter bestätigst Du wieder mit **OK**; danach kannst Du die Simulation mit „**Run Simulation**“ starten. Folgendes Bild wird Dir dann angezeigt:



Mach Dich nun erst einmal mit der angezeigten Übersicht vertraut. Verfolge den Fluss von seiner Quelle bis zu seinem Ende. Du siehst verschiedene Teilabschnitte des Flusses, die unterschiedlich eingefärbt sind. Diese Farben entsprechen den Konzentrationen des LAS im jeweiligen Teilabschnitt – hieraus wird ersichtlich, inwieweit das LAS in den einzelnen Flussabschnitten bereits abgebaut ist. Du kannst Dir einzelne Teilabschnitte auch vergrößert anzeigen lassen. Klicke dazu auf  und danach auf den entsprechenden Teilabschnitt, den Du betrachten möchtest. Wenn Du wieder zum ursprünglichen Bild zurückkehren möchtest, klicke auf .

5. Die drei eingezeichneten Kläranlagen kannst Du Dir auch näher ansehen. Dazu klickst Du zunächst auf  und anschließend auf einen der roten Punkte, die die Kläranlagen darstellen. Dann erhältst Du folgendes Bild:



Hier wird Dir die Bezeichnung der Kläranlage (hier: **Solingen-Graefrat**), die Zahl der an die Kläranlage angeschlossenen Einwohner als „Population“ (hier: **11672**) und die Kapazität der Kläranlage „Domestic flow“ (hier: **588,9991 Liter pro Einwohner pro Tag**) angezeigt. Mit **Cancel** kommst Du wieder zurück ins Hauptmenü.

ARBEITSBLATT 9

Modellierung mit dem GREAT-ER-Programm

Nachdem Du Dich mit dem Simulationsprogramm vertraut gemacht hast, sollst Du nun mit diesem Programm arbeiten, einige Parameter verändern und Dir die Veränderungen der Umweltkonzentrationen von LAS ansehen.

Aufgaben

- 1) Erkläre, wie die unterschiedlichen Umweltkonzentrationen in den verschiedenen Flussabschnitten zustande kommen. Verwende die Ausgangssimulation. Welche Faktoren musst Du berücksichtigen?

- 2) Wie verhält sich die Umweltkonzentration, wenn z. B. ...
 - a) eine Kläranlage ausfällt?
 - b) die Menge der eingebrachten Substanz (pro-Kopf-Verbrauch) sinkt? Der in der Ausgangssimulation verwendete pro-Kopf-Verbrauch von 1,2 kg pro Einwohner und pro Jahr entspricht nicht mehr den heutigen Verbrauchszahlen. Für LAS ist heute ein Wert von 0,38 kg pro Einwohner und pro Jahr realitätsnaher.

- 3) Vergleiche jeweils mit der Ausgangs-Simulation!

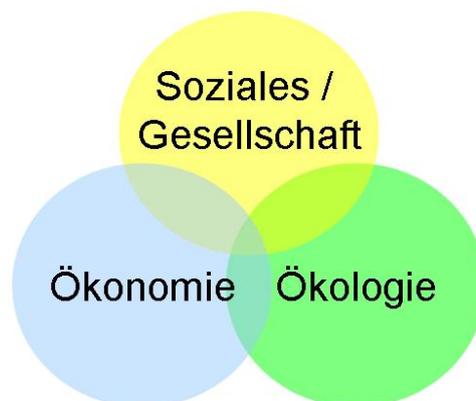


ARBEITSBLATT 10

Nachhaltiges Denken und Handeln in der Waschmittelindustrie

Klimawandel und die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen wie Wasser und Energie sind nur zwei der großen Themen, die uns alle betreffen. Aus diesem Grund haben sich viele Unternehmen verpflichtet, nachhaltig und gesellschaftlich verantwortlich zu denken und zu handeln.

Viele revolutionäre Fortschritte von gestern, wie die des „selbsttätigen Waschmittels“ oder phosphatfreier Produkte, gehören heute schon zum Alltag. Die Entwickler von Waschmitteln können sich jedoch nicht auf den Erfindungen der Vergangenheit „ausruhen“ – heute sind permanente Ideen für immer weiter verbesserte und ganz neue Produkte gefragt. Verantwortungsvolle Unternehmen berücksichtigen dabei alle drei Aspekte, die nachhaltiges Wirtschaften ausmachen:



Aufgaben

1) Im Nachhaltigkeitsbericht der Firma Henkel von 2007 findest Du Beispiele für Innovationen in der Waschmittelindustrie von früher bis heute. Lies Dir die Seiten 3–7 des Nachhaltigkeitsberichts durch. Den Nachhaltigkeitsbericht findest Du auf folgender Internetseite:

<http://www.henkel.de/nachhaltigkeit.htm>

- 2) Finde Beispiele für Innovationen und ordne diese den o. a. Bereichen zu.
- 3) Welche Vorteile ergeben sich aus diesen Innovationen?

ARBEITSBLATT 11

Entwicklung von Waschmitteln – vom Labor- zum Produktionsmaßstab

Du arbeitest in einem Labor einer Herstellerfirma für Waschmittel. Du möchtest nun ein neues Waschmittel entwickeln und gibst Deinen Mitarbeitern zunächst einen Überblick darüber, welche Eigenschaften Dein neues Produkt haben soll und welche Inhaltsstoffe enthalten sein sollen.



Aufgaben

- 1) Entscheide Dich zunächst, welches Waschmittel Du herstellen möchtest und welche Eigenschaften Dein Waschmittel aufweisen soll (z. B. besonders umweltverträglich, preiswert, ohne Duftstoffe etc.). Zur Auswahl stehen drei Waschmitteltypen: Universal-Waschmittel, Color-Waschmittel, Waschmittel für Wolle und Seide.
- 2) **Material 6** enthält Standardzusammensetzungen der drei Waschmitteltypen und **Material 7** enthält eine Auswahl verschiedener Waschmittelinhaltsstoffe mit ihren entsprechenden Identifizierungsnummern (CAS-Nr.). Nutze diese Angaben, um im Internet Informationen zu den von Dir aufgestellten Kriterien für die Inhaltsstoffe Deines Waschmitteltyps zu sammeln und erstelle eine Tabelle. Folgende Webseiten können dabei hilfreich sein:

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| o Wikipedia-Enzyklopädie | http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite |
| o Gefahrstoffdatenbanken (GESTIS) | www.dguv.de/bgia/de/gestis/index.jsp |
| o Waschlexikon | www.waesche-waschen.de |
| o Rohstoffpreise z. B. bei Sigma-Aldrich | www.sigmaldrich.com (Registrierung nötig) |
| o Im interaktiven Waschsalon des SWR kannst Du zudem Dein Wissen zu einigen Waschmittelinhaltsstoffen auffrischen und Dir einen Überblick über deren Waschwirkung verschaffen: http://www.wissen.swr.de/warum_chemie/seife/themenseiten/t2/s1.html | |

- 3) Stelle kurz dar, welche charakteristischen Inhaltsstoffe das von Dir entwickelte Waschmittel enthalten sollte. Berücksichtige hierbei auch, dass Du bei industriellen Produktionen in sehr großen Maßstäben arbeitest. Begründe Deine Entscheidung. Stelle ebenfalls kurz dar, ob es Inhaltsstoffe gibt, die NICHT in dem von Dir entwickelten Waschmittel enthalten sein sollten.

Material 6

Standardzusammensetzungen von Waschmitteln

Waschmittel	Inhaltsstoffe < 5%	Inhaltsstoffe 5% bis 15%	Inhaltsstoffe 15% bis 30%	Inhaltsstoffe > 30%	Weitere Inhaltsstoffe
Universal- Waschmittel	nichtionische Tenside Seife Polycarboxylate, Phosphonate aliphatische Kohlenwasser- Stoffe	anionische Tenside	Bleichmittel auf Sauerstoffbasis Zeolithe		Enzyme (Cellulase, Lipase, Protease) optische Aufheller Duftstoffe
Color- Waschmittel	Seife Polycarboxylate Phosphonate	nichtionische Tenside	anionische Tenside	Zeolithe	Enzyme (Cellulase, Lipase, Protease) Duftstoffe Farbübertragungs- inhibitoren
Waschmittel für Wolle und Seide	Seife Polycarboxylate nichtionische Tenside	anionische Tenside Zeolithe			Pflege-Balsam Duftstoffe Hilfsstoffe Farbübertragungs- inhibitoren

Material 7

Bezeichnung des Waschmittelinhaltsstoffes	CAS-Nr.
Waschaktive Substanzen	
Anionische Tenside	
Seife	8052-48-0
Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)	27176-87-0
Verzweigte Alkylbenzolsulfonate (TPS)	11067-82-6
α -Olefinsulfonate	
Nichtionische Tenside	
Alkohol-Alkoxylate (EO/PO)	69013-18-9
Alkylpolyglucoside (APG)	
Enthärter/Gerüststoffe	
Sodaasche (Na_2CO_3)	497-19-8
Nitrilotriessigsäure (NTA)	139-13-9
EDTA	60-00-4
Natriumtriphosphat	7758-29-4
Zeolith A	1318-02-1
Polycarboxylate	
Phosphonate, z. B. HEDP	2809-21-4
Bleichmittel	
Natrium-Hypochlorit	7681-52-9
N,N,N',N'-Tetraacetylenylendiamin (TAED)	10543-57-4
Natriumperborat	7632-04-4
Natriumpercarbonat	15630-89-4
Enzyme, z. B. Lipase, Protease und Cellulase	
Schaumregulatoren	
Fettsäureamide	124-26-5
Cocoamidopropyl-Betaine	61789-40-0
Optische Aufheller	
Stilben-Derivate	16090-02-1
Naphthalen-Benzoxazole	5089-22-5
Parfüme	
Sandelholzöl	8006-87-9
Linalool	78-70-6
Citronellol	106-22-9
Moschus-Xylol	81-15-2
Farbübertragungsinhibitoren, z. B. Polyvinylpyrrolidon PVP	9003-39-8
Schmutzabweiser, z. B. PET-POET-Polymere	
Vergrauungsinhibitoren, z. B. Carboxymethylcellulose	9000-11-7
Füllstoffe, z. B. Na_2SO_4	7757-82-6
Farbstoffe	
Korrosionsschutzmittel, z. B. Natriumsilikat (Na_2SiO_3)	6834-92-0

ARBEITSBLATT 12

Internationale Werbung im Bereich Waschmittel

Aus: *DIE ZEIT – Chancen-Beilage: Geschmacksgrenzen, C. Weber, Nr.19/2006*

Ob Auto, Pudding oder Waschmittel - Hersteller müssen ihre Produkte regionalen Vorlieben anpassen

[...] Lebensmittel gelten als besonders kultursensible Güter. Das mag jedem noch einleuchten. Aber wieso Spülmittel und Waschpulver? Seit 20 Jahren strömen Mitarbeiter des Düsseldorfer Henkel-Konzerns aus, um Menschen überall auf der Welt bei der Hausarbeit zuzusehen. So haben sie beobachtet, dass die Spanier ihr Geschirr unter kaltem fließendem Wasser spülen und deshalb speziell für den spanischen Markt ein Pril mit anderer chemischer Zusammensetzung entwickelt. »Wir haben früh gelernt, dass wir nicht eine Nation wie Spanien oder gar den gesamten Nahen Osten zu einer Verhaltensänderung erziehen können, deshalb passen wir unsere Produkte an«, sagt Hans-Willi Schroiff, Leiter der Marktforschung bei Henkel. Für ihn kommt es »suizidalem Verhalten« gleich, wenn Unternehmen glauben, ihre Produkte nicht den Konsumenten anderer Kulturen anpassen zu müssen. Sein Rückschluss aus zwei Jahrzehnten Haushaltsforschung: »Wir sehen zwar schon eine Konvergenz von urbanen Lebensstilen, sind aber weit entfernt von einer Homogenisierung.«

So hatte der Konzern zwar mit seinen Konzentratprodukten für Waschmittel in Deutschland und den Niederlanden Erfolg, in Italien aber keine Chance. Jahrelang haben sich die Marketingleute vergeblich bemüht, die Italiener von ihrem neuen umweltfreundlichen Konzentratprodukt zu überzeugen, doch Italiener kaufen nur große Waschmittelpackungen. Basta.

Wie weit die Menschen davon entfernt sind, sich homogen zu verhalten, lässt sich auch am Schmutz beobachten, den sie produzieren. Die Fleckenweltkarte bei Henkel offenbart es: In asiatischen Ländern verschmutzen Sojaflecken besonders häufig die Wäsche, in Lateinamerika eher Chiliflecken, in Italien Tomatenmark. Entsprechend werden die Waschmittel, die weltweit unter der Marke Persil verkauft werden, an diese Fleckenlandkarte angepasst und sind mindestens so unterschiedlich wie die 400 verschiedenen Waschmaschinentypen, die Henkel auf dem Globus eingesammelt und in seine Düsseldorfer Labortrakte gebracht hat, um seine »Flecklösekompetenzen« dem Schmutz der Welt anzupassen.

Noch stärker als ihre Produkte müssen die Unternehmen aber ihre Werbung weltweit variieren, wenn sie nicht einen Flop erleben wollen, empfiehlt Marketing-Experte Schlegelmilch von der Wirtschaftsuniversität Wien. Schlegelmilch warnt gar vor einem »Minenfeld«, in das Unternehmen in fremden Kulturen geraten können. Sogar bei einer echten Weltmarke wie Coca-Cola werbe deshalb der US-Konzern je nach Land und Kultur mit 140 völlig unterschiedlichen Radiospots für sein Getränk. Und auch Coca-Cola ist nicht immer gleich Coca-Cola. Das weltberühmte Rezept sei entgegen aller hartnäckigen anders lautenden Gerüchte nicht überall dasselbe: In arabischen Ländern ist mehr Zucker drin, weil die Menschen es dort eben süßer lieben. [...]

Aus: *WELT ONLINE Wirtschaft – Waschmittel, H. Seidel, 16. Juni 2007*

Der Persil-Duft gibt Kunden ein gutes Gefühl

[...] Doch die Nasen der Welt sperren sich gegen den Einheitsduft. Während die Nordeuropäer Sauberkeit und Frische mit Walddüften wie Fichte verbinden, sollen es bei Spaniern und Italienern Chlor-Noten und bei Afrikanern gar chemisch lederige Düfte sein. Für Franzosen muss es Lavendel sein. Deutsche Nasen entdecken in der Wäsche gerne Orange oder Zitrone. [...]

Aufgaben

- 1) Welche landestypischen Unterschiede in Bezug auf Waschmittel werden in den Zeitungsartikeln erwähnt? Sind Euch weitere Unterschiede bekannt, wie in anderen Ländern gewaschen wird oder was ein gutes Waschmittel ausmacht?
- 2) Seht Euch im Internet unterschiedliche Waschmittelwerbefilme aus dem In- und Ausland an und vergleicht diese miteinander. Welche Kriterien werden in den Filmen besonders deutlich hervorgehoben?

Waschmittelwerbefilme findet ihr z. B. auf www.youtube.com, wenn ihr Begriffe wie „Waschmittel Werbespot“, „detergent ad“, „detergent commercial“, „washing powder ad“ oder „washing powder commercial“ eingibt.

- 3) Wählt ein Land aus und überlegt Euch anhand der gesammelten Informationen, wie eine ansprechende Waschmittelwerbung für dieses Land aussehen müsste. Ihr könnt auch Euer neu entwickeltes Waschmittel von **Arbeitsblatt 11** in Eure Überlegungen mit einbeziehen. Müsstet ihr die Zusammensetzung Eures Waschmittels für dieses Land verändern?
- 4) Präsentiert Eure Vorschläge Euren Mitschülern. Ihr könnt z. B. einen kleinen Werbefilm drehen oder ein Plakat entwerfen.



ARBEITSBLATT 13

Präsentation der Ergebnisse

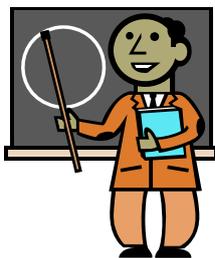
Ihr habt in den vorangegangenen Experimenten und Arbeitsblättern vieles über Waschmittel, deren Wirkungsweise und deren Einfluss auf die Umwelt erfahren. Jetzt sollt ihr – gruppenweise (4 Schüler/-innen) – einen Zeitungsartikel zu dem Thema „**Einfluss von Waschmitteln auf die Umwelt**“ schreiben. Berücksichtigt dabei ausgewählte Ergebnisse und Erkenntnisse aus den Experimenten und Arbeitsblättern.



Überlegt Euch zuvor Fragestellungen, die Euch beim Schreiben und Strukturieren des Zeitungsartikels helfen. Ihr könnt z. B. auf die Fragestellungen zu Beginn der Unterrichtseinheit zurückgreifen. Berücksichtigt beim Verfassen, dass sich der Zeitungsartikel an Personen wendet, die sich nicht so umfassend mit der Thematik beschäftigt haben.

Der Zeitungsartikel soll nicht länger als eine DIN-A4-Seite sein.

Jede Gruppe stellt dann ihren Zeitungsartikel vor.



ANHANG 1

Zuordnung der Inhalte zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards

	Stoff-Teilchen-Beziehungen	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	Chemische Reaktion	Energetische Betrachtung
Fachwissen	<ul style="list-style-type: none">➤ Bindungen und Wechselwirkungen im System „Schmutz-Wasser-Waschmittel“ <p>Experiment 3</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Inhaltsstoffe (Struktur ↔ Eigenschafts-Beziehungen) <p>Experimente 1 + 2 Arbeitsblätter 3, 5 + 11</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Wirkprinzipien (Zwischenprodukte, Produkte)➤ Abbaubarkeit, Abbaustufen <p>Experiment 2 Arbeitsblätter 1, 2, 5, 6 + 11</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Temperaturabhängigkeit (Chemie: Reaktionskinetik, Biologie: Organismen (Keime); mehr/weniger oder Optimum z. B. Enzyme) <p>Experiment 1</p>
Erkenntnisgewinnung	<ul style="list-style-type: none">➤ Modellierung von Transport- und Abbauprozessen (reale Tests), vgl. Messung – Modellexperiment – Modellierung (GREATER) <p>Arbeitsblätter 7, 8 + 9</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Dosis-Wirkungs-Prinzip <p>Experimente 4 + 5</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Experimentelle Untersuchung von Eigenschaften – Visualisierung der Strukturen durch Modelle (z. B. PC)➤ Aussagen standardisierter Tests <p>Arbeitsblatt 1</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Simulation von Wirkmechanismen➤ Wirkung der Inhaltsstoffe im Experiment <p>Arbeitsblatt 5</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Betrachtung der Waschleistung bei unterschiedlichen Temperaturen <p>Experiment 1</p>
Kommunikation		<ul style="list-style-type: none">➤ Nomenklatur + Lewis- und Strukturformeln OC➤ Produktinformationen <p>Arbeitsblätter 5 + 11</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Darstellung von Reaktionen <p>Arbeitsblätter 1 + 6</p>	<ul style="list-style-type: none">➤ Energiediagramme➤ Nachhaltigkeitsaspekte <p>Arbeitsblatt 10</p>

Stoff-Teilchen-Beziehungen	Struktur-Eigenschafts-Beziehungen	Chemische Reaktion	Energetische Betrachtung
<p>Bewertung</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ökobilanzen („chemische Wege“ an ausgewählten Beispielen) <p style="text-align: center;">Rohstoffe - Produktion – Verwendung – Abbau</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Ökotoxikologie, Abbau ↔ Wirkung, Kosten</p> <p>(OECD-Testmethoden)</p> <p>Ggf. Vergleich im zeitlichen Verlauf</p> <p>Werbung im Vergleich</p> <p>Nachhaltigkeitsaspekte</p> <p>Experimente 4 und 5 Arbeitsblätter 2, 3, 4, 5, 6, 10 + 12</p>		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Weg von der Waschmaschine über die Kläranlage in Gewässer; Verdünnung und Abbau; ggf. Gegenüberstellung „Probe nach Aufreinigung“ ↔ „Probe bei Direkteinleitung“

ANHANG 2

Lehrerhinweise zu den Arbeitsblättern und Experimenten

Experiment 1: Untersuchung des Einflusses der Temperatur auf die Waschleistung

Vorbereitung des Experiments

Auf ein weißes Baumwolltuch wird soviel Kakao (Fertiggetränk) gegeben, um 3 etwa 4 cm durchmessende Flecken herzustellen. Die Flecken sollten mehrere Stunden trocknen. Mehrere Wochen alte Flecken zeigen deutlich schlechtere Waschergebnisse und sollten nicht verwendet werden!

Hinweise zur Durchführung

Zur Verbesserung der Waschleistung sollte während der Durchführung häufig gerührt werden. Rühren verbessert die Waschleistung, weil die am Textil strömende Flüssigkeit den Abtransport gelöster Schmutzpartikel verbessert.

Des Weiteren sollten nur „frische“ Waschmittel-Packungen verwendet werden. Ziel dieses Experiments ist es nicht, die Kakaoflecken vollständig zu entfernen, sondern die unterschiedliche Waschleistung zu zeigen.

Auswertung des Experiments



Abbildung 1: Waschergebnis von links bei 40 °C, 60 °C, 90 °C nach 40 Minuten

Der Vergleich der gewaschenen Fleckenhälften mit den jeweils ungewaschenen lässt eine bessere Fleckentfernung bei tieferen Temperaturen erkennen. Je nach eingesetzter Wasserhärte und verwendetem Kakao können die Waschleistungen bei 40 °C zwischen „noch blassem Fleck“ und vollständiger Fleckentfernung schwanken (Abbildung 1).

Kakao ist ein eiweißhaltiger Fleck und lässt sich mit dem Enzym Protease entfernen, welches in verschiedenen flüssigen Color-Waschmitteln enthalten ist. Dabei werden die Proteine in Peptide und Aminosäuren aufgespalten. Die „Reste“ des Kakaoflecks werden dann durch die Tenside aus dem Gewebe entfernt. Die Aktivität der Enzyme ist jedoch

temperaturabhängig, ihre Wirkung zeigen sie zwischen 20 °C und 65 °C. Oberhalb dieser Temperatur werden sie zerstört und können bei schwierigen Flecken wie Kakao nicht wirksam werden. Kakaoflecken können also bei tiefen Temperaturen entfernt werden. Um bei 90 °C den Kakaofleck überhaupt zu entfernen, sind deutlich längere Waschzeiten notwendig, was mehr Energie kostet.

Heutzutage wäscht jedoch kaum noch jemand seine Wäsche bei 90 °C. Man macht dieses nur, wenn man ganz sicher gehen will, auch alle Keime und Bakterien abzutöten. Außerdem muss dann das Wäschestück auch ausdrücklich für Kochwäsche geeignet sein. Betrug der Anteil der Kochwäsche (90-95 °C) im Jahr 1943 noch 40 %, so war der Anteil 2003 nur noch 8 %. Bis 2010 wird vermutlich kaum noch jemand diese Waschtemperatur wählen. Denn moderne Waschmittel ermöglichen es sogar, die Wäsche bei 20 °C zu waschen, wodurch bereits im Vergleich zu einer 60 °C-Wäsche bis zu 70 % der benötigten Energie eingespart werden. Ein geringerer Energieverbrauch bedeutet auch, dass weniger Kohlendioxid (CO₂) emittiert wird.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Eigenschaften der Inhaltsstoffe von Waschmitteln
- Temperaturabhängigkeit von Enzymen

Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Experiment zur Waschleistung bei unterschiedlichen Temperaturen

Weitere Anregungen

Schüler könnten die zum Erwärmen des Waschwassers notwendige Energie berechnen. Daraus sind die Energieersparnisse beim Waschen bei tiefen Temperaturen zugänglich. Mit den entsprechenden Werten können daraus die eingesparte CO₂-Emission, radioaktiver Abfall usw. berechnet werden.

Beispiel:

Um die für einen Waschgang benötigte Wassermenge von 49 Litern (neue Waschmaschine¹) von 20 °C auf die verschiedenen Waschtemperaturen zu erwärmen, ist unterschiedlich viel Energie notwendig (ohne Verluste durch Wärmeübertragung) (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Energie für Waschtemperatur.¹

30 °C	40 °C	60 °C	90 °C
1.152.000 J	1.908.000 J	3.528.000 J	5.652.000 J
0,32 kWh	0,53 kWh	0,98 kWh	1,57 kWh

Bei niedrigeren Temperaturen zu waschen spart so viel Energie, dass andere Elektrogeräte damit längere Zeit laufen könnten (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Energieersparnis beim Waschen und der Einfluss auf die Laufzeit anderer Elektrogeräte.¹

Ersparnis pro Waschgang	30 °C statt 90 °C	40 °C statt 90 °C	60 °C statt 90 °C
Energie	4.500.000 J 1,25 kWh	3.744.000 J 1,04 kWh	2.124.000 J 0,59 kWh
Laufzeit Computer (350 W)	3 h 30 min	3 h	1 h 30 min
Laufzeit Röhrenfernseher (50 W)	25 h	20 h	12 h
Laufzeit Stromsparlampe (11 W)	4 d 17 h	3 d 22 h	2 d 5 h

Die elektrische Energie wird in Deutschland zurzeit noch hauptsächlich aus Kohle gewonnen. Dabei werden große Mengen des Treibhausgases CO₂ frei. Energie sparen bedeutet also auch CO₂ sparen.

Betrachtet man nur einen Waschgang und eine Waschmaschine, ist der CO₂-Spareffekt natürlich nicht sehr deutlich, aber deutschlandweit sieht das schon ganz anders aus. Würden diese CO₂-Mengen in die Atmosphäre gelangen, wären viele Bäume notwendig, um sie durch Photosynthese in Speicherstoffe umzuwandeln (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Gesparte CO₂-Emissionen.

Ersparnis pro Waschgang	30 °C statt 90 °C	40 °C statt 90 °C	60 °C statt 90 °C
Gesparte CO ₂ -Emission ²	643 g 325 L ³	535 g 270 L ³	303 g 153 L ³
Deutschlandweit ⁶ (1 Waschgang)	12.642.500.000 L 58.530 Klassenräume ⁴ voll	10.503.000.000 L 48.625 Klassen- räume ⁴ voll	5.951.700.000 L 27.554 Klassen- räume ⁴ voll
Abbau der täglichen CO ₂ - Menge (deutschlandweit) durch Photosynthese von Bäumen ⁵	11.421 Bäume in 1 Jahr	9503 Bäume in 1 Jahr	5382 Bäume in 1 Jahr

¹ Forum Waschen: Aktionstag 2007 - Nachhaltiges (Ab)-Waschen; Waschrechner unter:
<http://www.haushaltstechnik.uni-bonn.de/washtag/berechnung.html>;

² VDEW – Verband der Elektrizitätswirtschaft: Durchschnittswerte der Stromerzeugung in Deutschland: - Anteil der Energieträger Kernkraft: 29 %, fossile und sonstige Energieträger: 60 %, Erneuerbare Energien: 11 %; Damit verbundene Umweltauswirkungen: radioaktiver Abfall: 0,8 mg/kWh, CO₂-Emissionen: 514 g/kWh;

³ Dichte CO₂: 1,98 g/L;

⁴ Angenommene Klassenraumabmessungen: 72 m² Grundfläche, 3 m Höhe;

⁵ http://www.sdw.de/wald/oekosystem_wald/leistungenderbaeume.htm: 6 kg CO₂ pro Baum und Tag;

In Deutschland wird die elektrische Energie aber auch zu fast 30 % aus Kernkraft gewonnen. Dabei fällt radioaktiver Abfall an, der deponiert werden muss um in Monaten bis tausenden Jahren zu zerfallen. Bei niedrigeren Temperaturen zu waschen spart also auch radioaktiven Abfall (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Eingesparter radioaktiver Abfall.

Ersparnis pro Waschgang	30 °C statt 90 °C	40 °C statt 90 °C	60 °C statt 90 °C
Gesparter Radioaktiver Abfall ²	1,0 mg	0,8 mg	0,5 mg
Deutschlandweit ⁶	38,90 kg	31,12 kg	18,36 kg

Hintergrundinformation

Ein normaler Waschgang dauert 40 Minuten.

1 mL flüssiges Color-Waschmittel in 200 mL Wasser entsprechen einer Dosierung von 75 mL auf der Packungsrückseite (mittlere Wasserhärte bei mittlerer Verschmutzung), denn für einen Waschgang werden durchschnittlich 15 L Waschwasser verbraucht. Mit Vor- und Nachspülung können für einen Waschgang bis zu 50 L Wasser verbraucht werden.

Für die Ausarbeitung des Experimentes wurde Persil®-Color-Gel eingesetzt. Selbstverständlich können auch andere Markenprodukte verwendet werden. Die Dosierung eines anderen flüssigen Color-Waschmittels ist eventuell entsprechend anzupassen.

Experiment 2: Untersuchung der Waschleistungssteigerung bei Zugabe von Fleckensalz

Vorbereitung des Experiments

Auf ein weißes Baumwolltuch wird soviel Kakao (Fertiggetränk) gegeben, um 3 etwa 4 cm durchmessende Flecken herzustellen. Die Flecken sollten mehrere Stunden trocknen. Mehrere Wochen alte Flecken zeigen deutlich schlechtere Waschergebnisse und sollten nicht verwendet werden

Hinweise zur Durchführung

Zur Verbesserung der Waschleistung sollte während der Durchführung häufig gerührt werden. Rühren verbessert die Waschleistung, weil die am Textil vorbeiströmende Flüssigkeit den Abtransport gelöster Schmutzpartikel verbessert.

Des Weiteren sollten nur „frische“ Waschmittel-Packungen verwendet werden.

⁶ http://www.bpb.de/wissen/GLSOS3,0,Bev%F6lkerung_und_Haushalte.html: 38,9 Mio Haushalte deutschlandweit (2003);

Auswertung des Experiments

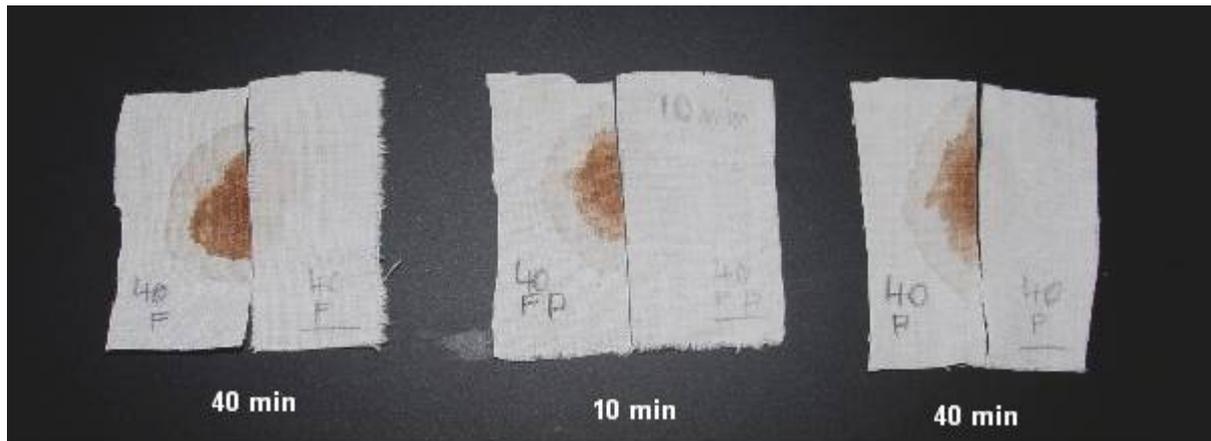


Abbildung 2: Waschergebnis von links: Fleckensalz (40 Min.), Fleckensalz & Color-Waschmittel (10 Min.), Color-Waschmittel (40 Min.), alle bei 40°

Der Vergleich der Fleckhälften „nur Fleckensalz“ und „nur Color-Waschmittel“ zeigt bei bloßem Fleckensalz eine etwas schlechtere Waschleistung (Abbildung 2). Je nach eingesetzter Wasserhärte und verwendetem Kakao können die Waschleistungen zwischen „noch blassem Fleck“ und nahezu vollständiger Fleckentfernung schwanken. Die mit „Color-Waschmittel und Fleckensalz“ gewaschene Fleckhälfte ist im Vergleich mindestens genau so gut, wenn nicht besser, als das Color-Waschmittel allein, jedoch in deutlich kürzerer Zeit. Statt 40 Minuten sind zwischen 10 und 20 Minuten ausreichend. Bei gleicher Temperatur ermöglicht also die Kombination aus Waschmittel und Fleckensalz eine Zeitersparnis und dadurch eine Energieersparnis, ohne die Umwelt zusätzlich zu belasten. Denn das Percarbonat (Natriumcarbonatperoxyhydrat) im Fleckensalz liegt nach dem Waschgang nur noch als Natriumcarbonat vor, welches als ökologisch unbedenklich gilt. Ebenso sind das TAED (Tetraacetylenylendiamin, ein Bleichmittelaktivator), die Enzyme und Silikate ökologisch unbedenklich.⁷ In Fleckensalzen enthaltene Tenside gelten als schnell und leicht biologisch abbaubar. Dennoch könnte man die Dosierung des Color-Waschmittels reduzieren, um die Waschlauge nicht zusätzlich mit Tensiden zu belasten.⁸

Die Zugabe von Fleckensalz zu jeder Wäsche ist jedoch nicht sinnvoll. Nur bei stark verschmutzter weißer Wäsche kann es die Waschzeit deutlich verkürzen und Geld und Energie sparen.

Hintergrundinformationen

40 Minuten entsprechen einem normalen Waschgang. Um die „Zeitersparnis“ durch das Fleckensalz optimal nutzen zu können, kann das Kurzwashgangprogramm der

⁷ <http://www.chemexper.com>

⁸ Sil® Fleckensalz hat eine Dichte von etwa 4,05 g/ml; Persil®-Color-Gel etwa 1,06 g/ml; Bei 1:1 Dosierung von Fleckensalz und Persil enthalten etwa 43 Vol% des Persils eine ähnliche Tensidmenge wie das Fleckensalz.

Waschmaschine genutzt werden. 1 mL flüssiges Color-Waschmittel in 200 mL Wasser entsprechen einer Dosierung von 75 mL auf der Packungsrückseite (mittlere Wasserhärte bei mittlerer Verschmutzung), denn für einen Waschgang werden durchschnittlich 15 L Waschwasser verbraucht. Mit Vor- und Nachspülung können für einen Waschgang bis zu 50 L Wasser verbraucht werden. 1 mL Fleckensalz entspricht in etwa der empfohlenen Dosieranleitung von ca. 80 mL bzw. 3-4 Esslöffeln pro Waschgang.

Für die Ausarbeitung des Experimentes wurden Persil®-Color-Gel und Sil® Fleckensalz eingesetzt. In Anbetracht der Abbaubarkeit sind laut Hersteller die Tenside des Fleckensalzes leicht und schnell biologisch abbaubar (gem. OECD Testmethode 301). Als Bleichmittel dient Percarbonat, was sich vollständig zu Wasser, Sauerstoff und Carbonat abbaut. Selbstverständlich können auch andere Markenprodukte verwendet werden. Die Dosierung eines anderen flüssigen Color-Waschmittels oder Fleckensalzes ist eventuell entsprechend anzupassen.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Eigenschaften der Inhaltsstoffe von Waschmitteln
- Wirkprinzipien der Inhaltsstoffe, Abbau der Inhaltsstoffe

Weitere Anregungen

Eine Waschmaschine mit einem 200 W Elektromotor benötigt 480 kJ oder 133 Wh um diesen 40 Minuten zu betreiben. Bei einem halb so langen Waschgang können 240 kJ oder 67 Wh gespart werden. Umrechnungen in Laufzeiten von Elektrogeräten oder gesparte CO₂-Emissionen deutschlandweit (680.000 m³ CO₂), könnten wie zu Versuch 1 von den Schülern geleistet werden, um den Effekt auf die Umwelt deutlicher zu machen.

Experiment 3: Untersuchung der Waschleistung in Abhängigkeit von der Waschmitteldosierung und der Wasserhärte

Vorbereitung des Experiments

Auf ein weißes Baumwolltuch wird soviel Kakao (Fertiggetränk) gegeben, um 3 etwa 4 cm durchmessende Flecken herzustellen. Die Flecken sollten mehrere Stunden trocknen. Mehrere Wochen alte Flecken zeigen deutlich schlechtere Waschergebnisse und sollten nicht verwendet werden

Hinweise zur Durchführung

Zur Verbesserung der Waschleistung sollte während der Durchführung häufig gerührt werden. Rühren verbessert die Waschleistung, weil die am Textil vorbeiströmende Flüssigkeit den Abtransport gelöster Schmutzpartikel verbessert.

Des Weiteren sollten nur „frische“ Waschmittel-Packungen verwendet werden. Ziel dieses Experiments ist es nicht, die Kakaoflecken vollständig zu entfernen, sondern die unterschiedliche Waschleistung zu zeigen.

Auswertung des Experiments



Abbildung 3: Waschergebnis von links: Dosierungen für weiches, mittel hartes und hartes Wasser; bei 40 °C, 40 Minuten mit hartem Leitungswasser

Der Vergleich der drei Fleckhälften zeigt die Waschleistung in Abhängigkeit von der Waschmittelkonzentration (Abbildung 3). Die richtige Dosierung des Waschmittels ist sowohl abhängig vom Verschmutzungsgrad der Wäsche als auch dem Wasserhärtebereich des Wohnortes. Die Gesamtwasserhärte ist regional unterschiedlich und wird über die Konzentration der gelösten Calcium-Ionen definiert. Nach dem Wasch- und Reinigungsmittelgesetz⁹ unterscheidet man drei Härtebereiche: „weich“ mit weniger als 1,5 mmol CaCO₃ pro 1 L Wasser, „mittel“ mit 1,5-2,5 mmol CaCO₃ pro 1 L, und „hart“ mit mehr als 2,5 mmol CaCO₃ pro 1 L Wasser. Die Gesamtwasserhärte ist wichtig für die Bestimmung der richtigen Waschmittelmenge.

Zu wenig Waschmittel bei zu hartem Wasser führt zu einem schlechteren Waschergebnis, weil durch eine hohe Konzentration an Calcium-Ionen vor allem Seifenmoleküle als schwerlösliche Calcium-Salze ausfallen und somit ihre Waschaktivität verlieren. Um das zu verhindern waren in früheren Waschmitteln Phosphate als Wasserenthärter enthalten, die jedoch erhebliche Umweltprobleme verursachten (zur *Phosphat-Problematik* siehe Arbeitsblatt 6).

⁹ Gesetz über die Umweltverträglichkeit von Wasch- und Reinigungsmitteln (Wasch- und Reinigungsmittelgesetz – WRMG) vom 29.04.2007

Mitte der 1980er Jahre wurden die Phosphate durch Zeolithe ersetzt, die durch die Bindung von Calcium-Ionen das Wasser enthärten und für die Umwelt unbedenklich sind. Wird das Waschmittel jedoch unterdosiert, reicht die Zeolith-Menge darin nicht aus, um das Waschwasser zu enthärten, Tenside fallen aus und die Waschleistung sinkt. Die Unterdosierung führt daher zu Kalkablagerungen auf Wäsche und Maschine. Um die Wäsche dennoch sauber zu waschen, muss die Waschzeit deutlich verlängert werden, was wiederum unnötig Energie kostet. Zuviel Waschmittel hingegen wird nicht nur schlechter ausgewaschen, sondern bedeutet gleichzeitig einen erhöhten Chemikalieneintrag in die Umwelt. Erst die richtige Dosierung des Waschmittels gewährleistet daher eine zufriedenstellende Waschwirkung, schont die Umwelt, spart Geld und Energie, und vermeidet Ablagerungen auf Gerät und Textilien.

Inzwischen werden aber auch die Zeolithe in modernen Waschmitteln durch so genannte wasserlösliche Builder-Systeme ersetzt, die aus einer Kombination von Soda, Silikat, Bicarbonat und einem Co-Buildersystem bestehen. Lösliche Builder verbessern die Löslichkeit der festen Waschmittel und sorgen für weniger Rückstände auf den Textilfasern. Die Waschleistung wird somit erhöht und sowohl die Textilien als auch die Waschmaschinen werden besser geschützt.

Der in Abbildung 3 gezeigte Waschversuch wurde mit hartem Leitungswasser durchgeführt. Becherglas I enthielt die Waschmittelkonzentration für weiches Wasser, Becherglas II die für mittel hartes und Becherglas III die Waschmittelkonzentration für hartes Wasser. Je nachdem mit welcher Wasserhärte die Flecken gewaschen wurden, ergeben sich andere Waschergebnisse.

- Mit **hartem Wasser** zeigt sich eine deutliche Verbesserung der Waschleistung von Becherglas I zu III (von links nach rechts). In Becherglas I und II ist das Waschmittel unterdosiert.
- Mit **mittel hartem Wasser** wäre nur Becherglas I schlechter als II und III. Becherglas III wäre sogar überdosiert, die Waschleistung wäre jedoch nicht deutlich besser.
- Würde mit **weichem Wasser** gewaschen, wäre Becherglas II und III überdosiert.

Da an unvollständig entfernten Flecken die Waschleistung besser zu beurteilen ist als an vollständig entfernten, sollte der Versuch mit hartem Wasser durchgeführt werden. Liegt nur weiches Wasser vor, kann dieses mit entsprechender Zugabe von Calciumsalzen künstlich gehärtet werden.

Hintergrundinformationen

40 Minuten entsprechen einem normalen Waschgang. Für eine schnelle und einfache Bestimmung der Wasserhärte des jeweiligen Standortes empfiehlt sich die Recherche im Internet (z. B. bei den Wasserwerken der Region oder unter www.wasser.de). Zudem wird die Wasserhärte auf der Wasserrechnung angegeben. Es können auch Gesamtwasserhärte-Tests für Aquarien (Zoohandlung), Wasserhärte-Teststreifen hiesiger Wasserenthärtemittel, sowie Wasserhärte-Teststreifen aus der Apotheke (100 Stk./ca. 35 €) verwendet werden.

Tabelle 5: Wasserhärte

Härtebereich	Wasserhärte [mmol/L]*	Härtegrad [°dH]**
Weich	kleiner 1,5	kleiner 8
Mittel	1,5 bis 2,5	8 bis 14
Hart	größer 2,5	größer 14

* Wasserhärte: Anteil an gelöstem Kalk in einem Liter Wasser, angegeben in Millimol Calciumcarbonat (CaCO₃) pro Liter;

** Härtegrad: in Deutschland übliche Angabe der Wasserhärte ist „Grad deutscher Härte“ (1 °dH entspricht ca. 0,19 Millimol CaCO₃ pro Liter Wasser)¹⁰;

Dosierempfehlung:

Für einen Waschgang werden durchschnittlich 15 L Waschwasser verbraucht.

Für die Ausarbeitung des Experimentes wurde Persil®-Color-Gel eingesetzt. Selbstverständlich können auch andere Markenprodukte verwendet werden. Die Dosierung eines anderen flüssigen Color-Waschmittels ist eventuell entsprechend anzupassen.

Tabelle 6: Persil®-Color-Gel Dosierempfehlung

Wasserhärte	Verschmutzungsgrad		
	Leicht	Normal	Stark
Weich	40 mL	60 mL	100 mL
Mittel	55 mL	75 mL	115 mL
Hart	75 mL	95 mL	135 mL

Die Zuordnung des Kakaoflecks als normale Verschmutzung ist sinnvoll, um die Anschaulichkeit der Waschwirkungen für alle Wasserhärtebereiche noch sichtbar zu machen. Bei Dosierung für leichte Verschmutzung sind die Flecken über alle Härte-dosierungen noch sehr deutlich sichtbar. Bei Dosierung für starke Verschmutzung sind die unterschiedlichen Waschleistungen schwerer zu vergleichen.

¹⁰ Broschüre „Richtiges Dosieren bei jeder Wasserhärte“ des Forums Waschen 2007

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Wechselwirkungen im System „Schmutz-Wasser-Waschmittel“
- Wasserhärte und Zeolithe

Weitere Anregungen

Mit den Schülern kann die Wasserhärte sowie der Aufbau und die Funktion von Zeolithen bzw. Buildersystemen und der Ersatz von Phosphaten thematisiert werden.

Experiment 4: Untersuchung des Waschmitteleinflusses auf das Wachstum von Kressepflanzen

Auswertung des Experiments



Abbildung 4: Konzentrationsreihe von links nach rechts nach 5-7 Tagen:
1. Blindprobe; 2. 0,01 mL/L; 3. 0,1 mL/L; 4. 1 mL/L; 5. 10 mL/L; 6. 100 mL/L; 7. 1000 mL/L



Abbildung 5: Konzentrationsreihe Nahaufnahme nach 5-7 Tagen

Die Entwicklung der Kressekeimlinge lässt erkennen, dass ihre Schädigung nicht gleichmäßig über die ganze Konzentrationsreihe verteilt ist (Abbildungen 4 und 5). Die Konzentrationen 0,01 mL/L und 0,1 mL/L zeigen im Vergleich zur Blindprobe kaum Veränderungen. Ab 1 mL/L ist eine Schädigung der Pflanzen erkennbar. Schon zwei Schälchen weiter ist die maximale Schädigung erreicht, welche sich nicht mehr steigert. Die Kressekeimlinge ab 100 mL/L sind irreversibel geschädigt.

An diesem Versuch kann man gut erkennen, dass die Wirkung einer Chemikalie, in diesem Fall das Waschmittel, nicht gleichmäßig mit zunehmender Konzentration ansteigt. Vielmehr folgt die Wirkung oder Schädigung in diesem Fall einem charakteristischen Verlauf, der so genannten „Dosis-Wirkungs-Beziehung“ oder „Konzentrations-Wirkungs-Beziehung“ (siehe Abbildung 6). Diese sagt aus, dass bei geringen Konzentrationen so gut wie keine Schädigung der Pflanzen auftritt (Kurvenabschnitt unten links). Selbst wenn in diesem Konzentrationsbereich die Konzentration einer Chemikalie verdoppelt wird, ist eine Schädigung nur minimal oder nicht zu erwarten.

Erhöht man die Konzentration der Chemikalie weiter, kommt man irgendwann in einen Bereich, an dem die Schädigung plötzlich zunimmt (mittlerer Kurvenabschnitt). Je nach Chemikalie und betrachtetem Organismus ist diese Konzentration verschieden und bereits eine geringe Konzentrationserhöhung kann zu einem drastischen Anstieg der Wirkung oder Schädigung führen. Hat die schädigende Wirkung ihren maximalen Wert erreicht (rechter Kurvenabschnitt), verändert sich die Schädigung kaum noch. Selbst die Verdopplung, Verzehnfachung oder Verhundertfachung der Konzentration führt zu keiner gravierenden Veränderung mehr.

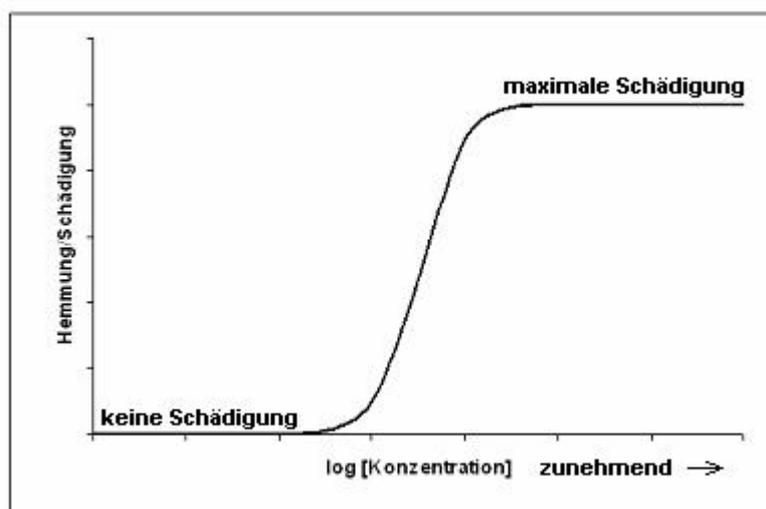


Abbildung 6: Konzentrations-Wirkungs-Beziehung

Was bedeutet das nun für die Kressekeimlinge und das Waschmittel?

Bei geringen Waschmittelkonzentrationen sind die Kressepflänzchen noch in der Lage diese zu „verkräften“. Die Pflänzchen schaffen es trotz des Waschmittels, alle lebensnotwendigen Stoffwechselprozesse aufrecht zu erhalten. Aber ab einer bestimmten Konzentration, in

diesem Versuch 1 mL/L, schafft es die Kresse nicht mehr sich normal zu entwickeln. Sie wird geschädigt. Zwischen 10 mL/L und 100 mL/L erreicht die Schädigung der Kresse ihren maximalen Wert, die Kresse geht ein.

Für die Natur bedeutet das, dass sie eine gewisse Toleranz für z. B. geringe Konzentrationen von Waschmittel hat. Erhöht sich jedoch die Waschmittelkonzentration, so kann sehr schnell eine irreparable Schädigung eintreten. Dann genügt es auch nicht, die Konzentration des Waschmittels in der Natur nur leicht zu verringern, um aus dem maximal schädigenden Bereich herauszukommen.

Im Haushalt liegen die Waschmittelkonzentrationen des Waschwassers üblicher Weise zwischen 1 mL/L und 10 mL/L. Um diese, für die Natur stark schädigend wirkenden hohen Konzentrationen auf ein für sie verträgliches Niveau zu reduzieren, gibt es Kläranlagen. Abbildung 7 soll diesen Sachverhalt verdeutlichen.

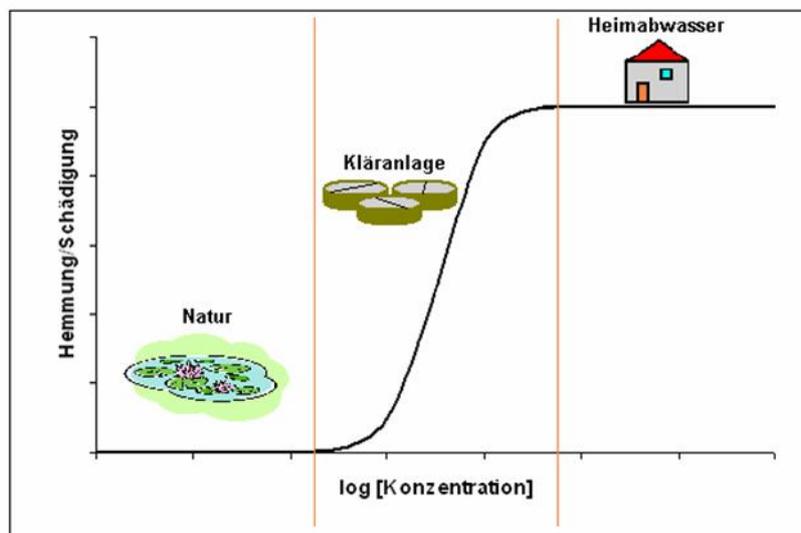


Abbildung 7: Aufgabe der Kläranlage

Um Chemikalien auf ihre Umweltschädlichkeit zu testen, werden ähnliche Tests wie dieser Versuch durchgeführt. Das dabei wichtigste Ergebnis ist der EC_{50} -Wert (EC = Effect Concentration). Mit diesem Wert kann man grob abschätzen, ob ein Stoff z. B. als giftig oder ungiftig gilt. Die nachstehende Tabelle zeigt eine grobe Einteilung:

EC_{50}-Wert [mg/L]	Wirkung
≤ 1	sehr toxisch
1 – 10	toxisch
10 – 100	mäßig toxisch
100 – 1.000	schwach toxisch
1.000 – 10.000	kaum toxisch
> 10.000	nicht toxisch

Bei der Konzentration, die dem EC_{50} -Wert entspricht, zeigen die Testorganismen 50 % der maximalen Schädigung oder eines anderen Effektes (siehe Abbildung 8). Effekte können Wachstumsschädigungen, wie in diesem Versuch, Absterben, Fortpflanzungsschädigung oder Beeinträchtigung der Bewegungsfähigkeit sein. Kresse ist jedoch häufig nicht geeignet, weil sie relativ unempfindlich auf viele Chemikalien reagiert. Stattdessen werden z. B. Bakterien, Algen, Flohkrebse oder kleine Fische eingesetzt. Ist der EC_{50} -Wert einer Chemikalie klein, ist also nur eine geringe Konzentration dieses Stoffes notwendig, um die Testorganismen zu schädigen. Die Chemikalie ist dann relativ schädlich für die Natur.

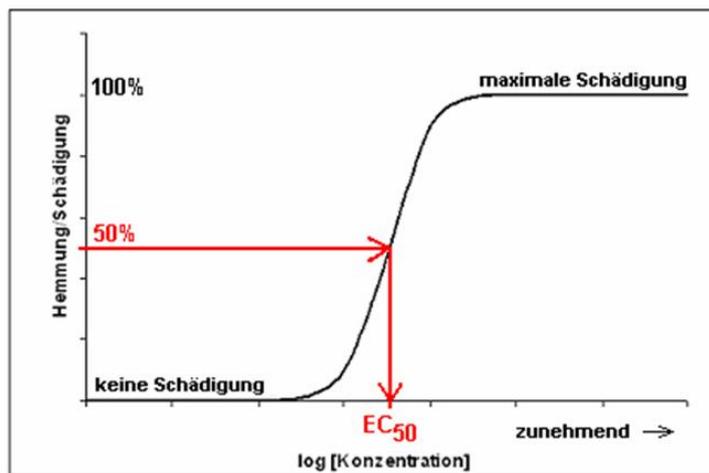


Abbildung 8: Ermittlung EC_{50}

Bei diesem Versuch liegt der EC_{50} -Wert zwischen 1 mL/L und 10 mL/L. Dieser Wert ist jedoch überhaupt nicht realistisch und zeigt nur, wie unempfindlich die Kresse gegenüber den Waschmittelinhaltsstoffen ist. Als „Modellversuch“ ist die Kresse jedoch sehr gut geeignet und außerdem ist sie günstig, ungefährlich und leicht zu handhaben.

Dosis-Wirkungs-Kurven werden z. B. auch in der Pharmakologie angewendet, um den Zusammenhang zwischen der verabreichten Dosis eines Arzneimittels und seiner gewünschten therapeutischen Wirkung graphisch darzustellen. Je steiler der Anstieg des mittleren Kurvenabschnittes ist, desto gefährlicher ist ein Arzneimittel, da schon geringe Dosisänderungen zu drastischen Wirkungsänderungen führen können.

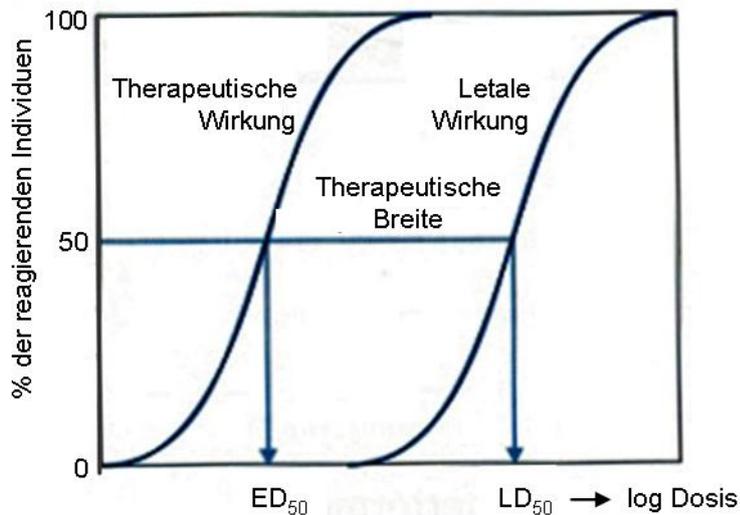


Abbildung 9: Dosis-Wirkungs-Kurve für Arzneimittel. ED_{50} – Effekt Dosis bei der 50 % der Individuen reagieren. LD_{50} – Letale Dosis für 50 % der Individuen.

In Kombination mit der Kurve für tödliche (letale) Wirkungen eines Arzneimittels (siehe Abbildung 9), die die gleiche Form wie die Kurve für die therapeutische Wirkung hat, nur weiter nach rechts zu höheren Konzentrationen verschoben ist, kann ermittelt werden, ab welcher Konzentration ein Arzneimittel für den Patienten tödlich sein kann. Ein Arzneimittel ist umso sicherer, je größer der Abstand der beiden Kurven, die so genannte „therapeutische Breite“, ist. Ein relativ sicheres Arzneimittel ist beispielsweise Penicillin.

Den Zusammenhang, dass die Wirkung oder Giftigkeit eines Stoffes von der Dosis abhängt, hat bereits Paracelsus (1493 – 1541) erkannt. Von ihm stammt der Spruch:

„All Ding’ sind Gift und nichts ohn’ Gift; allein die Dosis macht, dass ein Ding kein Gift ist.“

Demnach ist es sogar möglich, sich mit Wasser zu vergiften!

Hintergrundinformationen

Gartenkresse ist in vielen Lebensmittelgeschäften erhältlich.

Der Versuch kann noch durch weitere Schalen mit Konzentrationen zwischen 1 mL/L und 10 mL/L ergänzt werden. In diesem Bereich liegt für gewöhnlich die Konzentration des Haushaltswassers und der mittlere Kurvenausschnitt kann so experimentell feiner dargestellt werden.

Für die Ausarbeitung des Experimentes wurde Persil®-Color-Gel eingesetzt. Selbstverständlich können auch andere Markenprodukte verwendet werden. Die Dosierung eines anderen flüssigen Color-Waschmittels ist eventuell entsprechend anzupassen.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Dosis-Wirkungs-Beziehung

Kompetenzbereich: Bewertung

- Ökotoxikologie, Wirkung von Waschmitteln auf die Umwelt

Kompetenzbereich: Kommunikation

- Größenordnungen und Größenangaben, Graphiken

Weitere Anregungen

Die Schüler könnten sich über die Umweltgefährlichkeit anderer Stoffe z. B. aus dem Haushalt oder andere Ökoteils informieren. Auch EC₅₀-Werte könnten verglichen werden. Sie könnten Vergleichstests planen und durchführen, in denen sie die Toxizität anderer Stoffe an der Kresse testen und die Ergebnisse mit dem Waschmittel vergleichen.

Arbeitsblatt 1: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 1

In der Teilaufgabe 1) sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst aus dem Informationstext heraus den Unterschied von Primär- und Endabbau von Tensiden erklären. Hierzu ist es erforderlich, dass sie in den vorangegangenen Unterrichtsstunden den Aufbau der Tenside kennen gelernt haben. Anhand einfacher Modelle können sie die unterschiedlichen Abbaueisen graphisch darstellen.

In der Teilaufgabe 2) sollen die Schülerinnen und Schüler das erarbeitete Wissen aus Teilaufgabe 1) anwenden. Sie sollen hier erkennen, dass bei den damals verwendeten Tensiden kein Primärabbau vollzogen wurde.

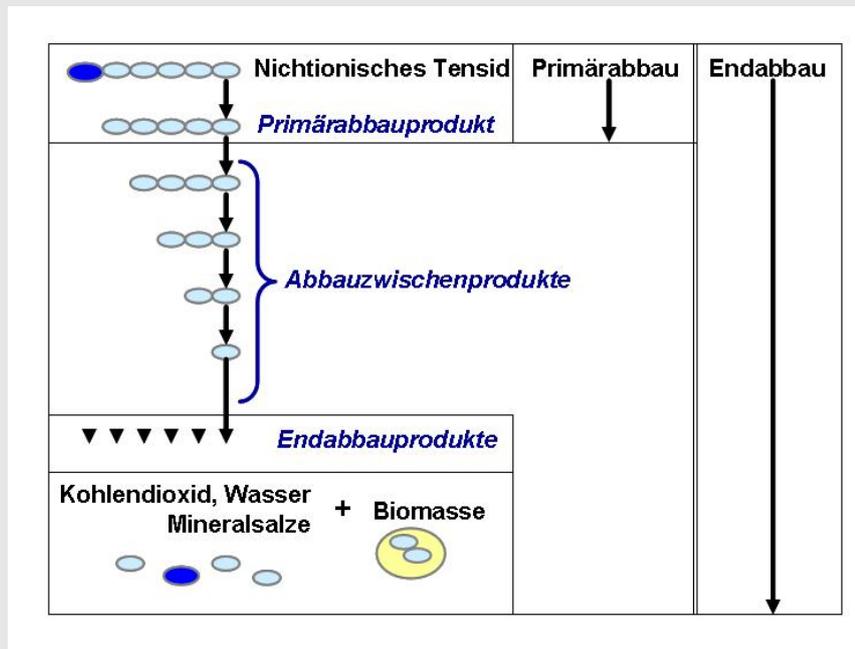
In Teilaufgabe 3) sollen die Schülerinnen und Schüler die Informationen für jeweils eine der Testmethoden der OECD für den Primär- und Endabbau heraussuchen, die nötig sind, um diese Testmethoden - dem Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler entsprechend - erklären zu können.

Beispiel für einen Lösungsansatz von Aufgabe 1):

Der Primärabbau ist dadurch gekennzeichnet, dass das Tensid wesentliche umweltschädigende Eigenschaften verliert (z. B. die Tensidfunktion). Dabei wird der hydrophile Molekülteil verändert – die restliche Struktur des Tensides bleibt weitestgehend erhalten.

Der Endabbau ist durch den vollständigen Abbau der chemischen Struktur gekennzeichnet. Der Abbau wird durch Mikroorganismen vollzogen, die die organische Substanz als Nahrungsquelle nutzen. Durch die Oxidation des Tensides entstehen Mineralisationsprodukte wie Kohlendioxid, Wasser und Salze. Kleinere Kohlenwasserstoff-Fragmente nutzen die Bakterien zum Aufbau von Biomasse, was auch der Grund dafür ist, weshalb eine Substanz genau genommen nicht zu 100 % im Endabbau abgebaut werden kann.

Die folgende Abbildung zeigt den Unterschied zwischen Primär- und Endabbau in vereinfachter Weise:



[...]

Hintergrundinformationen

Der biologische Abbau ist der wichtigste Prozess, der häufig bereits in Abwässern, besonders aber in Kläranlagen, Gewässern und auch in Böden für die endgültige Entfernung von organischen Verbindungen aus der Umwelt verantwortlich ist. Der Abbau erfolgt durch Mikroorganismen am effektivsten in der Gegenwart von (Luft-)Sauerstoff in einem mehrstufigen Prozess. Diese Mikroorganismen sind in der Natur weit verbreitet. Zunächst wird die Ausgangsverbindung in ein Primär-Abbauprodukt überführt und nachfolgend in weiteren Abbauschritten zu immer kleineren und einfacheren Zwischenprodukten zerlegt, bis zuletzt alle Bausteine der Ausgangsverbindung in Mineralisationsprodukte wie Kohlendioxid, Wasser, Salze sowie Biomasse (bakterielles Zellmaterial) umgewandelt sind (Endabbau).

Bei den Wasch- und Reinigungsmitteln sind die Tenside hauptsächlich für die Reinigungswirkung verantwortlich. Im ersten Schritt, dem Primärabbau, gehen die grenzflächenaktiven Eigenschaften der Tenside verloren und somit ihre chemische Identität. Gleichzeitig verringert sich ihre relativ hohe Giftigkeit gegenüber Wasserorganismen (Ökotoxizität). Entsprechend der EU Detergentien-Verordnung müssen anionische und nichtionische Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln einen Primärabbau von mindestens 80 % aufweisen, was im OECD-Screening-Test nachgewiesen werden kann.

Der Total- bzw. Endabbau kann in einem der OECD-Screening-Tests auf leichte biologische Abbaubarkeit, wie z. B. dem so genannten GF-Test (Geschlossener-Flaschen-Test bzw. Closed Bottle Test, OECD 301 D) ermittelt werden. Hierbei handelt es sich um statische Tests, die im Erlenmeyerkolben durchgeführt werden. Einer mineralischen Kulturlösung wird

die zu untersuchende Substanz zugesetzt, schwach mit Klärschlamm (z. B. aus dem Ablauf einer Kläranlage) beimpft und im Dunkeln bei konstanter Temperatur inkubiert. Gemessen wird in festgesetzten Zeitabständen entweder die Abnahme des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC – Dissolved Organic Carbon), der Sauerstoff-Verbrauch oder die CO₂-Bildung.

Eine Substanz gilt als „leicht biologisch abbaubar“, wenn die DOC-Abnahme $\geq 70\%$ beträgt oder der O₂-Verbrauch bzw. die CO₂-Bildung einen Wert von $\geq 60\%$ erreicht, d. h. die Substanz mindestens zu 60% bzw. 70% abgebaut wurde. Der Abbautest dauert normalerweise 28 Tage. Sobald eine Substanz zu 10% abgebaut ist, müssen die Vorgabewerte jedoch innerhalb von 10 Tagen erreicht werden (10-Tage-Fenster). Wird das 10-Tage-Fenster nicht eingehalten, in den 28 Tagen aber dennoch ein Abbau von $\geq 60\%$ bzw. $\geq 70\%$ erzielt, gilt die Substanz als „gut biologisch abbaubar“ (Abbildung 10).

Als „schwer biologisch abbaubar“ wird eine Substanz bezeichnet, für die ein O₂-Verbrauch bzw. eine CO₂-Bildung $< 10\%$ oder eine DOC-Abnahme $< 20\%$ innerhalb von 28 Tagen gemessen wird. Abbauwerte zwischen $10\text{--}60\%$ O₂-Verbrauch bzw. CO₂-Bildung oder $20\text{--}70\%$ DOC-Abnahme entsprechen einer „mäßig biologisch abbaubaren“ Substanz.

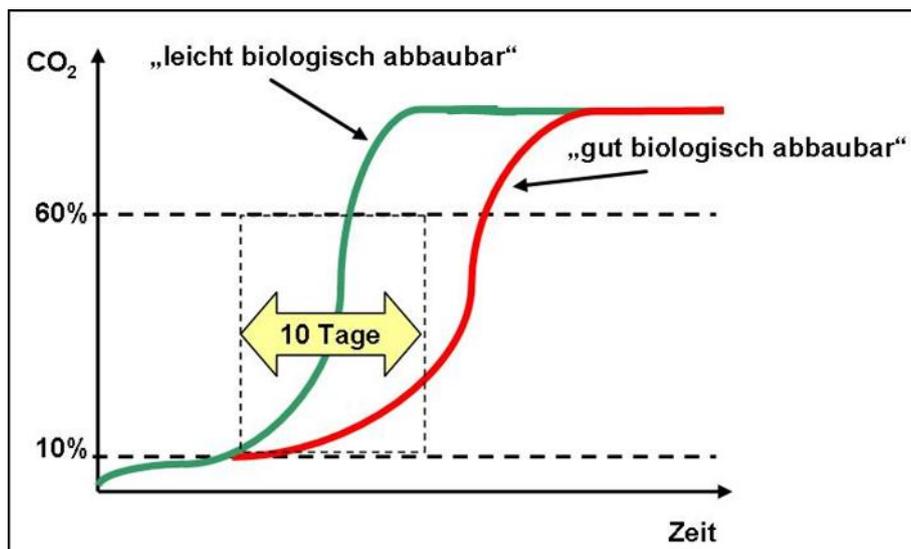


Abbildung 10: Schematische Darstellung der OECD-Tests auf leichte biologische Abbaubarkeit.

Eine weitere Methode zur Bestimmung des Endabbaus einer Substanz ist der Coupled-Units-Test (OECD-Test 303 A). Mit diesem so genannten Simulations-Test lässt sich praxisnah der Totalabbau von Tensiden in einer Modellkläranlage erfassen (Abbildung 11).



Abbildung 11: Beispiel eines Kläranlagen-Simulationstests.

Die hier vorliegenden Verhältnisse entsprechen in etwa den realistischen Bedingungen in Kläranlagen. Der Aufbau besteht aus zwei parallel betriebenen Belebtschlammanlagen. Eine der beiden Belebtschlammanlagen wird mit gemischtem Abwasser (Kontrollanlage) oder Nährlösung (Versuchsanlage) beschickt, die andere Anlage enthält die identische Nährlösung, jedoch mit Zusatz der zu untersuchenden Substanz. Im Zu- und Ablauf beider Anlagen wird der DOC gemessen. Die Bioabbaubarkeit der Untersuchungssubstanz lässt sich dann aus der Differenz der Messergebnisse in den beiden Anlagen feststellen.

Englische Beschreibungen der OECD-Tests sind z. B. auf der OECD-Internetseite www.sourceoecd.org zu finden. Gesetzestexte können unter www.umwelt-online.de nachgelesen werden.

(OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development)

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Abbaustufen bei Tensiden, Zwischen- und Endprodukte
- Erläuterung von Testmethoden zum Abbau von Tensiden

Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Aussagen standardisierter Tests

Kompetenzbereich: Kommunikation

- Darstellung von Reaktionen

Experiment 5: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 2

Vorbereitung des Experiments

Aus einem nahe gelegenen Fluss bzw. See werden ca. 500 mL Wasser besorgt.

Auswertung des Experiments

In Abhängigkeit von der Flusswasserqualität können die Ergebnisse hinsichtlich der Schaumdicke und der Schaumabbauzeit variieren. Direkt nach dem Ansetzen der Lösungen ist die Schaumbildung in Form einer dichten Schaumdecke bei beiden Proben gleich. Nach einigen Stunden bis wenigen Tagen zeigt die ungekochte Lösung nach dem Schütteln eine deutlich dünnere Schaumdecke als die gekochte Lösung (Abb. 12). Zudem reißt die Schaumdecke der ungekochten Lösung schneller auf, als die der gekochten. Der Schaum ist weniger stark ausgeprägt. Verantwortlich für den Rückgang des Schaums ist der biologische Abbau der Tenside durch Mikroorganismen im „belebten“, ungekochten Flusswasser.



Abbildung 12: 3.Tag, links "ungekocht", rechts "gekocht"

Dieser Versuch soll zeigen, dass die Natur mit geringen Waschmittelkonzentrationen, welche die Kläranlagen noch verlassen können, durchaus „zurecht“ kommt und diese „unschädlich“ macht. Aus diesem Grund wurde die Tensidkonzentration viel höher gewählt als es im gereinigten Wasser einer Kläranlage der Fall ist. Dieses schäumt nämlich nicht mehr, seine Tensidkonzentration liegt im µg/L-Bereich.

Würde in diesem Versuch nur ein Tropfen mehr pro Liter Wasser gegeben, wäre auch im ungekochten Ansatz kein Schaumrückgang mehr beobachtbar. Die Mikroorganismen könnten in ihrem Stoffwechsel gehemmt werden oder sogar eingehen.

Hintergrundinformationen

Die verschwindende Schaumdecke im Schülereperiment beweist nur den Primärabbau der Tenside. In wie weit sie vollständig abgebaut werden, ist so jedoch nicht erkennbar.

Für die Ausarbeitung des Experimentes wurde Persil®-Color-Gel eingesetzt. Selbstverständlich können auch andere Markenprodukte verwendet werden. Die Dosierung eines anderen flüssigen Color-Waschmittels ist eventuell entsprechend anzupassen.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Dosis-Wirkungs-Beziehung

Kompetenzbereich: Bewertung

- Ökotoxikologie, Wirkung von Waschmitteln auf die Umwelt

Arbeitsblatt 2: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 3

Der starke Anstieg der Tensid-Frachten im Rhein ist auf den erhöhten Verbrauch an Wasch- und Reinigungsmitteln seit Mitte der 1950er Jahre zurückzuführen. Zu diesem Zeitpunkt kamen Waschmittel mit modernen Tensiden auf den Markt, die die Wascharbeit erleichtern und das Waschergebnis verbessern sollten. Waschmittel, die leicht und viel schäumten, galten damals als besonders gut. Erst in den frühen 1960er Jahren wurde erkannt, dass die vielerorts sichtbaren Schaumberge auf die schlechte biologische Abbaubarkeit des bis dahin eingesetzten Tensids TPS zurückzuführen waren. Da zu diesem Zeitpunkt die Ökologie immer mehr zum bestimmenden Faktor der Waschmittelentwicklung wurde, ersetzte man in der Bundesrepublik Deutschland in der Zeit von 1961 bis 1964 das TPS stufenweise durch das biologisch gut abbaubare lineare LAS. Ab dem Jahr 1966/67 ist ein deutliches absinken der Tensid-Frachten erkennbar. Durch den Ausbau der kommunalen Kläranlagen in den 1970er Jahren konnte eine bessere Reinigung der Haushaltsabwässer erreicht werden. Dies führte zu einem nochmaligen Rückgang der Tensid-Konzentrationen. Seit Anfang der 1990er

Jahre bleiben die Tensid-Frachten im Rhein fast konstant auf einem sehr niedrigen Niveau. Die Abbildung macht jedoch auch deutlich, dass trotz der guten biologischen Abbaubarkeit und der modernen Kläranlagen immer noch geringe Konzentrationen von Tensiden in Gewässern zu finden sind.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Abbaubarkeit von Tensiden

Kompetenzbereich: Kommunikation/Bewertung

- Auswerten einer graphischen Darstellung
- Belastung der Gewässer hängt von Abbaubarkeit der Tenside ab

Arbeitsblatt 3: Biologische Abbaubarkeit von Tensiden – Teil 4

Die Schülerinnen und Schüler sollen in dieser Aufgabe aus der Struktur von zwei unterschiedlichen Tensiden Rückschlüsse auf die Abbaubarkeit dieser Tenside ziehen.

Beim Tetrapropylenbenzolsulfonat (TPS) handelt es sich um ein synthetisches Tensid, das aus Erdölprodukten hergestellt wurde. Die Struktur des Tensids zeigt verzweigte Alkylketten. Die natürlichen Nahrungsquellen der Mikroorganismen enthalten keine verzweigten Alkylketten. Aus diesem Grund konnten die Mikroorganismen diese Tenside nicht abbauen.

Die LAS, die heute zu den meistproduzierten Tensiden gehören, können durch die Mikroorganismen deutlich besser abgebaut werden. Diese Tenside sind den natürlich vorkommenden Verbindungen, die Mikroorganismen als Nahrungsquelle dienen, erheblich ähnlicher. Beim Abbau erfolgt die Oxidation des linearen Alkylrestes in mehreren Schritten zu je zwei Kohlenstoffatomen.

Die Struktur der Tenside ist also ein wichtiges Kriterium für die Abbaubarkeit.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereiche: Fachwissen und Bewertung

- Struktur der Tenside – Einfluss auf die Abbaubarkeit

Arbeitsblatt 4: Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen

Die Aufgaben des Arbeitsblattes 4 umfassen hauptsächlich den Kompetenzbereich Bewertung. Hier sollen die Schülerinnen und Schüler den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen

hinsichtlich der Vor- und Nachteile beurteilen. Voraussetzung hierfür ist, dass sie den Begriff „nachwachsende Rohstoffe“, der immer mehr in der Öffentlichkeit diskutiert wird, definieren können. Palmkernöl soll als ein Beispiel für nachwachsende Rohstoffe in der Waschmittelindustrie dienen. Die Schülerinnen und Schüler sollen hier selbständig Informationen recherchieren und mehr über den Rohstoff erfahren.

Die Aufgaben von Arbeitsblatt 4 bieten zudem die Möglichkeit, das Thema auch unter geographischen, biologischen, politischen und sozialen Gesichtspunkten zu betrachten.

Beispiel für einen Lösungsansatz von Aufgabe 1):

Nachwachsende Rohstoffe sind Stoffe, die aus lebender Materie stammen und vom Menschen zielgerichtet für Zwecke außerhalb des Nahrungs- und Futterbereiches verwendet werden.

Vorteile bei der Verwendung nachwachsender Rohstoffe sind z. B.:

- Sie tragen zur Schonung endlicher fossiler Rohstoffe (z. B. Erdöl, Erdgas und Kohle) bei.
- Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen setzen nach Gebrauch bei ihrer Verbrennung oder bei der Kompostierung immer nur die Menge an CO₂ frei, die sie während des Wachstums der Atmosphäre entnommen haben.
- Durch nachwachsende Rohstoffe kann der ländliche Raum profitieren. Es werden hier Arbeitsplätze erhalten und neue geschaffen.
- Der Land- und Forstwirtschaft werden durch den Anbau nachwachsender Rohstoffe Produktions- und Einkommensalternativen geboten.

Nachteile bei der Verwendung nachwachsender Rohstoffe sind z. B.:

- Die Gefahr von Monokulturen in den Anbaugebieten steigt; Monokulturen beeinflussen auch die angrenzende Landwirtschaft.
- Nachwachsende Rohstoffe sind abhängiger von äußeren Faktoren (z. B. Klima) als fossile Rohstoffe.
- Die gesteigerte Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe führt zur Verarmung der Landschaft.
- Die Nutzung von Tieren und Tierprodukten als nachwachsende Rohstoffe ist tierschutzproblematisch.
- Der Anbau nachwachsender Rohstoffe steht in Konkurrenz zum Anbau von Nahrungsmitteln. [...]

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Bewertung

- Anbau und Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen
- Vor- und Nachteile nachwachsender Rohstoffe

Arbeitsblatt 5: Wirkung von Bleichmitteln

Die auf dem Arbeitsblatt 5 gestellten Aufgaben erfordern von den Schülerinnen und Schülern zunächst die eigenständige Recherche zu verschiedenen Möglichkeiten der Bleiche. Dabei sollen sie mögliche Reaktionen sowie Vor- und Nachteile der Bleichsubstanzen übersichtlich darstellen. Aus dieser Darstellung heraus sollen die Schülerinnen und Schüler entscheiden, ob die einzelnen Substanzen für den Einsatz in Waschmitteln geeignet sind.

Abbildung 13 (Seite 75) zeigt einen Ausschnitt einer möglichen Mind-Map zum Thema „Wirkung von Bleichmitteln“.

Um die Wirkung von Bleichmitteln zu zeigen, eignen sich z. B. die auf den folgenden Seiten vorgestellten drei Experimente.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Wirkungsweise(n) der unterschiedlichen Bleichmittel

Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Wirkung von Bleichmitteln im Experiment

Kompetenzbereich: Kommunikation/Bewertung

- Darstellen von Wirkungsweise(n) sowie Vor- und Nachteile verschiedener Bleichmittel
- Entscheidung über den Einsatz unterschiedlicher Bleichmittel in Waschmitteln

Wirkung von Bleichmitteln – Experiment 1

Beseitigung eines Rotweinfleckens mit einem Oxi-Reiniger

Geräte: Dreifuß mit Ceranfeld, 600-mL-Becherglas, ein mit einem Rotweinfleck verschmutztes, weißes Tuch (ca. 8x8 cm), Pinzette, Thermometer

Chemikalien: Oxi-Reiniger (Xn, O), Rotwein, Holzspan, Spülmittel-Lösung (herkömmliches Spülmittel 1:4 mit Wasser verdünnt, kein Konzentrat!)

Durchführung: Auf dem Ceranfeld erhitzt man in dem Becherglas ca. 150 mL Leitungswasser auf 70-80°C. Dann gibt man ca. 5 g des Reinigers in das Wasser und taucht den verschmutzten Lappen hinein.

Beobachtung: Kurze Zeit nachdem man den Reiniger ins Wasser gegeben hat, kann man eine Gasentwicklung beobachten. Es bildet sich eine Schaumkrone auf der Waschlauge. Der Rotweinfleck verfärbt sich braun-gelblich und verblasst innerhalb der nächsten 10 Minuten. Nach spätestens 15 Minuten ist er völlig verschwunden.

Deutung: Die waschaktive Substanz ist offensichtlich in der Lage, den Rotweinfleck zu entfernen. Die aufsteigenden Gasbläschen und die Bildung von Schaum lassen darauf schließen, dass beim Waschvorgang aus dem Reiniger ein Gas freigesetzt wird. Da schon der Packungsbeilage zu entnehmen ist, dass das Pulver „Aktivsauerstoff“ enthält, handelt es sich bei diesem Gas aller Wahrscheinlichkeit nach um Sauerstoff.

Ergänzung: Dass es sich bei dem entstehenden Gas um Sauerstoff handelt, lässt sich zeigen, indem man mit einem glimmenden Holzspan in die größeren Schaumblasen sticht. Sollte der Schaum zu feinporig sein, gibt man in die Bleichlösung ein bis zwei Tropfen der verdünnten Spülmittellösung und wartet, bis sich größere Schaumblasen bilden.

Entsorgung: Restliche Lösung in den Ausguss geben.

Wirkung von Bleichmitteln – Experiment 2

Beseitigung eines Rotweinflecks mit Wasserstoffperoxid

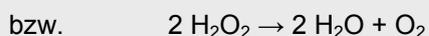
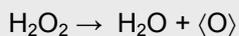
Geräte: 150-mL-Becherglas, ein mit einem Rotweinfleck verschmutztes, weißes Tuch (ca. 8x8 cm), Pinzette, Magnetrührer mit Heizung, Magnetührstäbchen

Chemikalien: Wasserstoffperoxidlösung (w = 3%), Rotwein

Durchführung: In das Becherglas gibt man ca. 100 mL Wasserstoffperoxidlösung. Dann wird der verschmutzte Lappen hineingetaucht. Das Becherglas wird auf den Magnetrührer gestellt und die Lösung auf etwa 60°C erhitzt. Nach ca. 10 Minuten wird das Tuch mit der Pinzette aus der Lösung genommen und die Bleichwirkung beurteilt.

Beobachtung: Nach kurzer Zeit kann man beobachten, dass sich der Rotweinfleck braun-gelblich verfärbt und schließlich verblasst. Nach etwa 10 Minuten ist der Rotweinfleck komplett entfernt.

Deutung: Das Wasserstoffperoxid ist nicht stabil und zerfällt unter Lichteinwirkung bzw. Wärme nach folgender Reaktion:



Der dabei in statu nascendi entstehende Sauerstoff ist sehr reaktionsfreudig und zerstört die Farbstoffe im Rotwein.

Sicherheitsvorschriften: Experiment ist unter dem Abzug durchzuführen. Schutzbrille und –kittel tragen!

Entsorgung: Restliche Lösung in den Ausguss geben.

Wirkung von Bleichmitteln – Experiment 3

Beseitigung eines Rotweinfleckens mit Natriumhypochlorid (DanKlorix®)

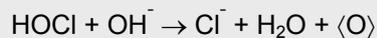
Geräte: 400-ml-Becherglas, ein mit Rotwein verschmutztes, weißes Tuch (ca. 8x8 cm), Pinzette, Glasstab

Chemikalien: DanKlorix® Hygienereiniger

Durchführung: In das Becherglas gibt man 250 ml Wasser und ca. 30 ml DanKlorix. Dann wird der verschmutzte Lappen hineingetaucht und von Zeit zu Zeit mit einem Glasstab umgerührt.

Beobachtung: Nach kurzer Zeit verblasst der Rotweinfleck und ist nach ca. 10 Minuten vollständig entfernt.

Deutung: Die Bleichwirkung von Natriumhypochlorit („Chlorbleiche“) beruht auf der Freisetzung von „aktivem Sauerstoff“ $\langle O \rangle$.



Der in statu nascendi entstehende Sauerstoff ist sehr reaktionsfreudig und zerstört die Farbstoffe im Rotwein. Die Bleichwirkung setzt in wässriger Lösung bereits bei Raumtemperatur ein. Das ist ein wichtiger Vorteil dieser „Chlorbleiche“.

Sicherheitsvorschriften: Schutzbrille und –kittel tragen!

Entsorgung: Restliche Hypochloridlösung in den Ausguss geben.

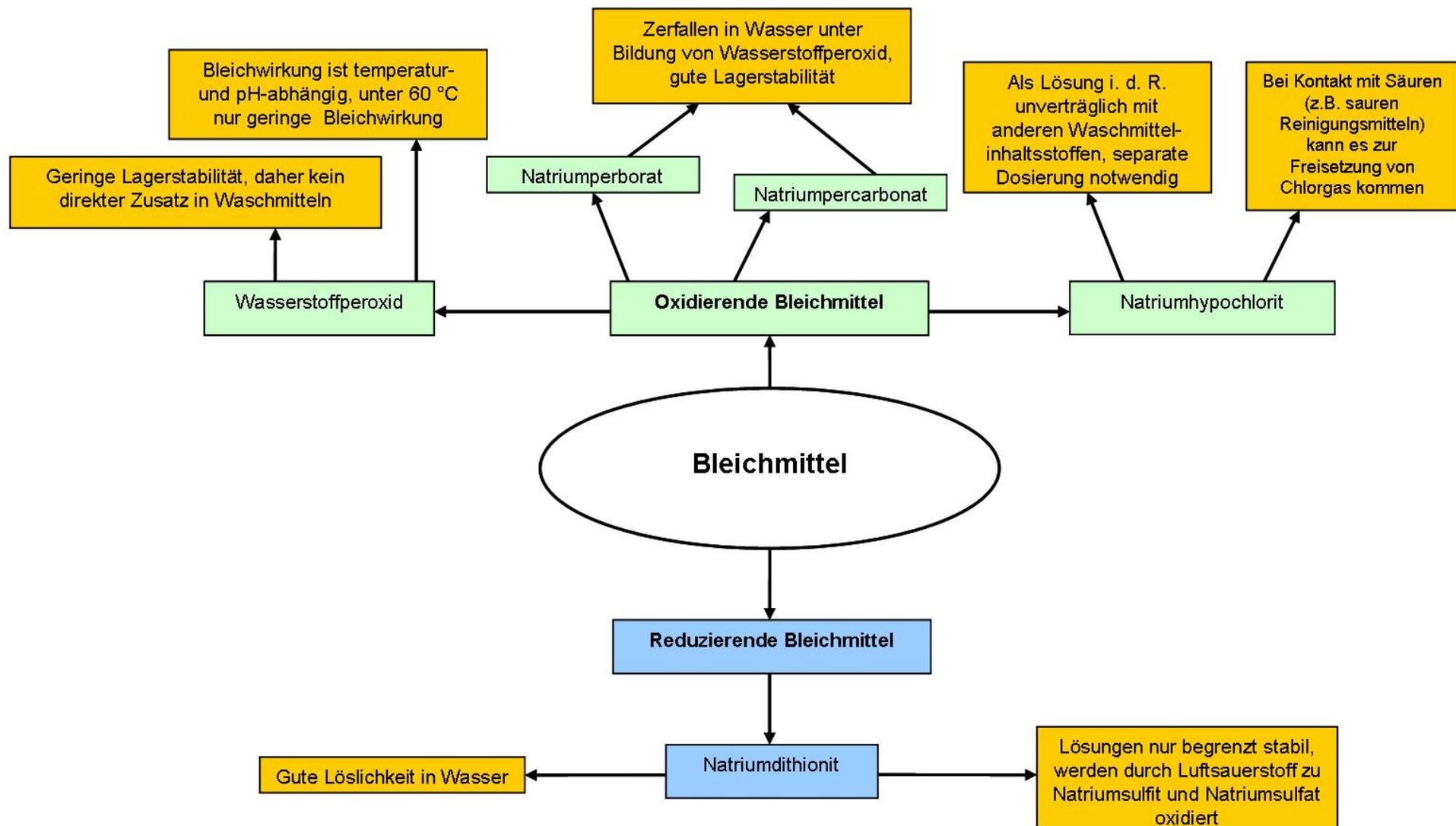
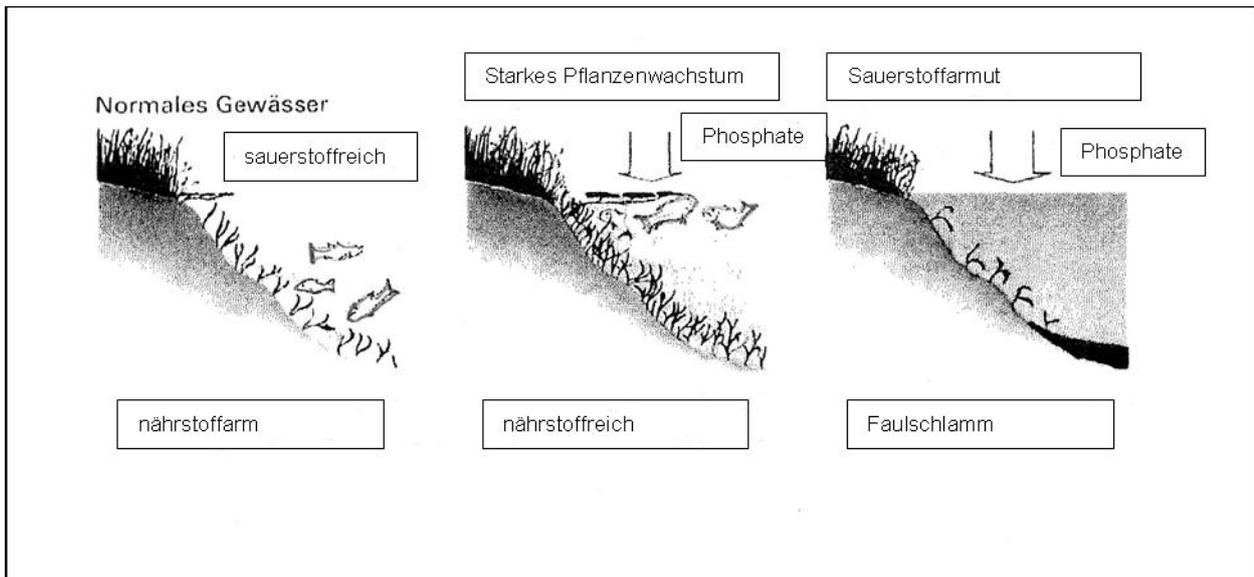


Abbildung 13: Mind-Map zum Thema „Wirkung von Bleichmitteln“

Arbeitsblatt 6: Ökologische Auswirkungen durch Phosphate in früheren Waschmitteln

Die Abbildung ist wie folgt zu ergänzen:



Bei Betrachtung der Phosphatkonzentration des Bodensees ist ein Anstieg der Phosphatkonzentration von etwa 7 µg/L im Jahr 1950 auf etwa 87 µg/L im Jahr 1979 zu erkennen. Dies war gleichzeitig der Höhepunkt der Belastung.

Zurückzuführen ist der Anstieg der Phosphatkonzentration zum einen auf die steigende Bevölkerungszahl im früheren Bundesgebiet: Im Jahr 1950 waren es noch 51 Mio. Einwohner; Anfang der 1970er Jahre war die Bevölkerungszahl auf etwa 62 Mio. Bürger angestiegen. Abwässer wurden über teilweise noch unzureichende Kläranlagen in Oberflächenwässer, wie z. B. den Bodensee, geleitet.

Mit dem Anstieg der Bevölkerungszahl ging auch der erhöhte Verbrauch an Waschmitteln einher, die zu diesem Zeitpunkt noch Phosphate enthielten.

Ab Mitte der 1960er Jahre wurde dann in der Waschmittelindustrie nach einem Ersatzstoff für die Phosphate geforscht. Die Firma Henkel meldete 1973 den Phosphatersatzstoff Zeolith A (Sasil®) zum Patent an. Mit Beginn der 1980er Jahre wurden diese phosphatfreien Waschmittel auf dem westeuropäischen Markt angeboten.

Ein weiterer Grund für den Rückgang der Phosphatkonzentration im Bodensee war die Einführung einer Phosphat-Fällstufe in den Kläranlagen. Dort wurden die Phosphate mit Hilfe von Eisensalzen ausgefällt, so dass sich schwerlösliche Eisenphosphate bildeten.



Diese konnten als Klärschlamm abgetrennt werden. Somit gelangten die Phosphate nicht mehr in die Gewässer.

Die Phosphatkonzentration im Bodensee lag 2004 mit etwa 10 µg/L wieder im Bereich der Werte, die Mitte der 1950er Jahre gemessen wurden.

Anmerkung:

Phosphatersatzstoffe gab es in den 1980er Jahren nur in der Bundesrepublik und Westeuropa, aber nicht in der ehemaligen DDR. Daher wurde im Material 1 nur die Bevölkerungsentwicklung des früheren Bundesgebietes abgebildet.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Chemische Fällung von Phosphaten im Abwasser

Kompetenzbereich: Kommunikation

- Darstellung von Reaktionen

Kompetenzbereich: Kommunikation/Bewertung

- Auswerten einer graphischen Darstellung
- Betrachtung der Phosphatbelastung unter Berücksichtigung der Gesichtspunkte:
Einwohnerzahl, Entwicklung der Waschmittel, Ausbau von Kläranlagen

Arbeitsblatt 7: Modellierung von Substanz-Konzentrationen im Fluss

In Arbeitsblatt 7 sollen die Schülerinnen und Schüler eine graphische Darstellung erstellen, aus der die Veränderung einer eingebrachten Substanz-Konzentration im Verlauf eines selbst ausgewählten Flussabschnittes hervorgeht.

Die Eingabe der Parameter erfolgt über ein Excel-Datenblatt. Folgende Parameter sollten z. B. in die Berechnung einfließen:

- Länge des betrachteten Flussabschnittes
- Lage der Kläranlage
- Anzahl der an die Kläranlage angeschlossenen Einwohner
- Tensideintrag pro Kopf (und Tag)
- Tensid-Abbaurrate im Klärwerk
- Tensid-Abbaurrate im Fluss etc.

Dabei sollten die Schülerinnen und Schüler nach Möglichkeit, bei einem Klärwerk vor Ort genaue Daten zu diesen Parametern erfragen. Die eingegebenen Parameter lassen sich dann beliebig verändern. Somit wird in der graphischen Darstellung der Einfluss verschiedener Parameter auf die Tensidkonzentration sofort erkennbar.

Abbildung 14 zeigt ein mögliches Excel-Datenblatt zu dieser Aufgabe.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Modellierung von Transport- und Abbauprozessen

Arbeitsblatt 8 und 9: Modellierung mit dem Programm GREAT-ER

Die Arbeitsblätter 8 und 9 zeigen einen Ausschnitt der Möglichkeiten, die das Programm GREAT-ER bietet. Neben den dort angesprochenen Parametern können noch weitere verändert werden, z. B.:

- der Eliminationsgrad für die Kläranlage: Der Parameter „Treated Fraction“ kann geringer als 1 (entspricht 100%) sein, wenn die Kläranlage schlecht läuft und z. B. ihre Kapazität bei starken Regenereignissen nicht ausreicht, so dass dann ein bestimmter Anteil an der Kläranlage ungeklärt vorbei läuft.
- Emissionen der Industrie: Bei der Auswahl von  können zusätzlich bekannte Emissionen z. B. industrielle Anteile an einer Emission angegeben werden. Es ist auch möglich, einen regional höheren, d. h. vom Mittel abweichenden Verbrauch einzugeben, der dann speziell nur für diese Kläranlage angenommen wird.

Des Weiteren kann neben der farbkodierten Landkarte auch eine zweidimensionale Darstellung des Konzentrationsprofils angezeigt werden. Dazu wird zunächst  angeklickt und danach eine Fluss-Mündung mit einem Doppelklick ausgewählt.

Für die Auswertung ist zu beachten, dass der Fluss in Segmente unterteilt wird, in denen jeweils eigene Berechnungen durchgeführt werden. Die Definition der Länge der Flussegmente erfolgte hinsichtlich hydrologischer und geologischer Gegebenheiten (z. B. Windungen, zulaufende Bäche, Segment nach Kläranlage etc.).

In der Legende können verschiedene Details der Landkarte (z. B. Bahnlinien, Stadtgrenzen etc.) ein- und ausgeblendet werden.

Alternativ zum direkten Arbeiten mit dem GREAT-ER-Programm können auch vorbereitete Screenshots in den Unterricht gegeben werden, die dann entsprechend von den Schülerinnen und Schülern ausgewertet werden. Diese Screenshots können ebenfalls auf die in Arbeitsblatt 8 gestellten Fragen abgestimmt werden.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Erkenntnisgewinnung

- Modellierung von Transport- und Abbauprozessen, Modellexperiment GREAT-ER

Arbeitsblatt 10: Nachhaltiges Denken und Handeln in der Waschmittelindustrie

Die Befriedigung der Bedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung und die begrenzte Verfügbarkeit von Wasser, Energie und anderen Ressourcen haben dazu geführt, dass sich viele Unternehmen dazu verpflichtet haben, entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette

nachhaltig zu denken und zu handeln. Dabei spielen Innovationen eine entscheidende Rolle, um immer weiter verbesserte Produkte und Technologien auf den Markt zu bringen und deren Herstellung ressourcenschonend zu gestalten.

Abbildung 15 zeigt die Nachhaltigkeitsbilanz¹⁰ der Firma Henkel als Beispiel für nachhaltiges Wirtschaften und Handeln in der Waschmittelindustrie.

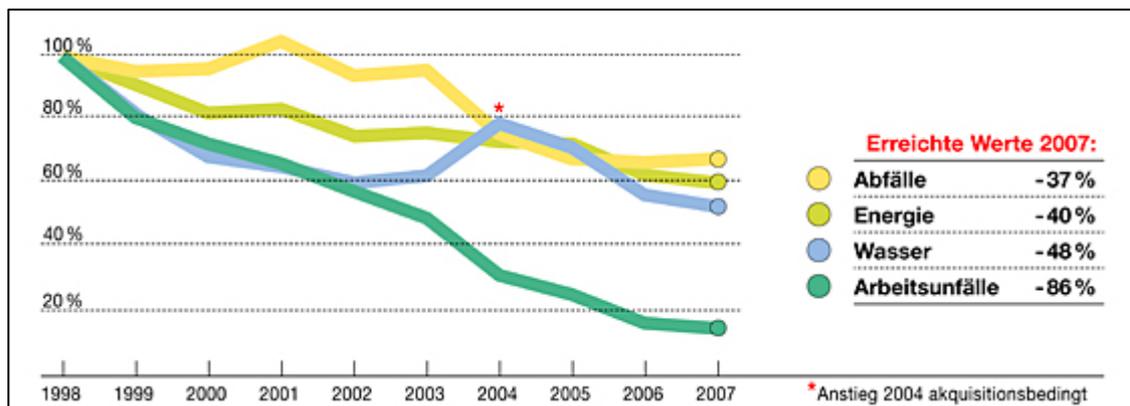


Abbildung 15: Nachhaltigkeitsbilanz 1998 bis 2007: Umweltkennzahlen pro Tonne Produktionsmenge, Arbeitsunfälle pro eine Million Arbeitsstunden

Die Schülerinnen und Schüler sollen mit Hilfe des Nachhaltigkeitsberichtes der Firma Henkel Beispiele für solche Innovationen finden und deren Vorteile beschreiben. Die Tabelle 7 auf der folgenden Seite zeigt eine mögliche Lösung für die Aufgabe.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereiche: Kommunikation/Bewertung

- Darstellung von nachhaltigen Innovationen am Beispiel der Waschmittelindustrie und Bewertung der Innovationen hinsichtlich ihrer Vorteile

¹⁰ Quelle: Nachhaltigkeitsbericht der Firma Henkel (2007), www.henkel.de

Tab. 7: Lösungsbeispiel für Arbeitsblatt 10.

Bereich	Innovations-Beispiel	Vorteile der Innovation
Ökologie	Entwicklung von phosphatfreiem Waschmittel (1986) durch den Einsatz des Phosphatersatzstoffes Zeolith	Keine Überdüngung von Oberflächengewässern, kein verstärktes Algenwachstum, verringerte Gefahr des „Umkippens“ von Gewässern
Ökologie, Ökonomie, Soziales/ Gesellschaft	Einsatz von Enzymen in Waschmitteln	Entfernung von hartnäckigen eiweißhaltigen Flecken auch bei niedrigen Waschttemperaturen, Senkung des Energie- und Wasserbedarfs im Haushalt, Schonung der Wäschestücke insbesondere der synthetischen Gewebe, Verringerung der CO ₂ -Emissionen durch verringerten Stromverbrauch
Ökologie, Ökonomie	Entwicklung von Klebstoffen für Verpackungen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe (stärkebasierte Klebstoffe)	Verantwortungsvoller Umgang mit Ressourcen, Unabhängigkeit vom weltweiten Rohöl-Markt
Ökologie, Ökonomie, Soziales/ Gesellschaft	Reduzierung der Waschmittelmenge pro Waschgang durch Entwicklung neuer leistungsfähiger Rezepturen auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Veränderung der Darreichungsform (Perls statt Pulver)	Weitere Einsparung von Rohstoffen für die Herstellung von Waschmitteln und deren Verpackung, Unabhängigkeit vom weltweiten Rohöl-Markt, besseres Preis-Leistungs-Verhältnis für den Endverbraucher
Ökologie, Ökonomie	Entwicklung von optimierten Verpackungen für Waschmittel	Einsparung von Rohstoffen, Wiederverwendbarkeit von Verpackungsmaterial (Recycling), Verringerung der Abfallmengen
Ökonomie, Soziales/ Gesellschaft	Einstellung von Sicherheitsingenieuren im Unternehmen	Erhöhung der Arbeitssicherheit und Verringerung der Unfallzahlen (Arbeitsunfälle)

Arbeitsblatt 11: Entwicklung von Waschmitteln - vom Labor- zum Produktionsmaßstab

Die auf dem Arbeitsblatt 11 gestellten Aufgaben erfordern von den Schülerinnen und Schülern die Anwendung des zuvor erworbenen Fachwissens über Waschmittelinhaltsstoffe und über deren Nutzen und Wirkung in unterschiedlichen Waschmitteltypen. Die

Schülerinnen und Schüler sollen zudem anhand von selbstgewählten Kriterien (z. B. biologische Abbaubarkeit, nachwachsende Rohstoffe, preiswerte Inhaltsstoffe, allergieauslösende Wirkungen etc.) zusätzliche Eigenschaften von Waschmittelinhaltsstoffen im Internet recherchieren. Die angegebenen Webseiten sind nur ein Vorschlag und können beliebig erweitert werden. Hilfreich wäre auch, wenn die Schule über eine Lizenz für das Online-Chemie-Lexikon RÖMPP verfügt (Infos unter www.roempp.com). Hiermit lassen sich nicht nur Informationen zu Waschmittelinhaltsstoffen einfach ermitteln, sondern auch zu verschiedensten allgemeinen Themen wie Toxikologie, Ökologie, Waschmittel oder biologischer Abbau.

Die Tabelle des Materials 6 enthält eine Übersicht der Standardzusammensetzungen von Universal- und Color-Waschmittel sowie von Waschmitteln für Wolle und Seide. Je nach den selbstgewählten Kriterien der Schülerinnen und Schüler sollten die Inhaltsstoffe entsprechend variiert werden. So sollten in einem „neu-entwickelten“ Waschmittel, das z. B. für Allergiker geeignet sein soll, keine allergieauslösenden Duftstoffe enthalten sein. Ein vollständig biologisch abbaubares Waschmittel sollte keine Phosphonate, Moschus-Verbindungen, EDTA oder TPS enthalten. Natrium-Hypochlorit ist sehr reaktiv und kann zu Bildung giftiger Chlor-Verbindungen führen, was im Produktionsmaßstab erhöhte Sicherheitsvorkehrungen erfordert sowie die Stabilisierung des Stoffes im Waschmittel.

Die Schüler und Schülerinnen sollen die Zusammensetzung ihres „neu-entwickelten“ Waschmittels vorstellen und die Wirkung der Inhaltsstoffe kurz beschreiben.

Beispiel für einen Lösungsansatz von Aufgabe 3) – Ein Color-Waschmittel für Allergiker:

Ein **Color-Waschmittel** enthält zunächst anionische und nichtionische Tenside als waschaktive Substanzen, wie z. B. Seife, LAS und APG. Diese können fetthaltige Flecken von der Kleidung entfernen. Außerdem enthält das Color-Waschmittel verschiedene Enzyme, die z. B. Eiweiß-Flecken entfernen können. Die Eiweiße werden von dem Enzym Protease gespalten. Ein weiterer charakteristischer Inhaltsstoff beim Color-Waschmittel sind die Farbübertragungsinhibitoren wie PVP. Diese dienen dem Schutz der Farben der zu waschenden Textilien. Sie vermeiden während des Waschvorgangs das Abfärben auf andere Textilien. Im Gegensatz zu einem Universalwaschmittel sollten im Color-Waschmittel keine optischen Aufheller und Bleichmittel enthalten sein. Diese würden die Farbe der Textilien aufhellen und somit den Farbeindruck verändern. Da das neu-entwickelte **Color-Waschmittel für Allergiker** geeignet sein soll, wird auf den Zusatz von Duftstoffen wie Citronellol oder Linalool verzichtet. [...]

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Fachwissen

- Aufbau der unterschiedlichen Inhaltsstoffe von Waschmitteln (z. B. Tenside, Bleichmittel, Enzyme)
- Wirkungsweise(n) der unterschiedlichen Inhaltsstoffe (z.B. Bleichmittel: Oxidation)

Kompetenzbereiche: Kommunikation und Bewertung

- Auswerten von Produktinformationen

Arbeitsblatt 12: Internationale Werbung im Bereich Waschmittel

Die Entscheidung für oder gegen den Kauf eines Produktes hängt maßgeblich von der Werbung für das Produkt ab. Diese hebt die für den Konsumenten wichtigen Auswahlkriterien besonders hervor. Dabei können diese Auswahlkriterien regional unterschiedlich sein: So verbinden die Menschen in Nordeuropa Sauberkeit und Frische mit Walddüften, während Menschen in südlichen Regionen (Spanien, Italien) „Chlor-Noten“ bevorzugen. Ähnliche Unterschiede lassen sich auch bei anderen Auswahlkriterien finden.

Mit Hilfe dieses Arbeitsblattes sollen die Schülerinnen und Schüler das regional unterschiedliche Verbraucher- und Konsumentenverhalten analysieren und hinterfragen. Somit kann auf diese Weise ein Beitrag für einen gesellschaftskritischen Chemieunterricht geleistet werden, in dem die Schülerinnen und Schüler eine chemiebezogene Bewertungskompetenz entwickeln.

Abweichend von der Aufgabenstellung könnten die Schülerinnen und Schüler auch persönliche Kontakte in andere Länder nutzen (z. B. über Partnerschulen), um dort direkt die Auswahlkriterien für den Kauf von Waschmitteln zu erfragen.

Bezug zu den Kompetenzbereichen der Bildungsstandards:

Kompetenzbereich: Kommunikation/Bewertung

- Systematische Analyse von Werbefilmen nach bestimmten Kriterien
- Vergleichen und Bewerten der ausgewählten Kriterien

Arbeitsblatt 13

Am Ende der Unterrichtseinheit können die Schülerinnen und Schüler ihre gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse ausgewählter Experimente und Arbeitsblätter zusammentragen und in Form eines Zeitungsartikels präsentieren. Der Schwerpunkt der Präsentation soll auf dem Themenbereich „Einfluss von Waschmitteln auf die Umwelt“ liegen. Es ist hier jedoch möglich, dass die Schülerinnen und Schüler innerhalb dieses Themenbereichs einen Teilbereich auswählen, den sie näher betrachten (z. B. Einfluss von Waschmitteln auf Wasserpflanzen und andere Gewässerorganismen oder Untersuchungsmethoden zur Bewertung von Substanzen hinsichtlich ihrer „Umweltverträglichkeit“).

Die Präsentation dient in erster Linie der Ergebnissicherung. Sie kann aber auch anderen Schülern bzw. Eltern zugänglich gemacht werden – z. B. in Form einer Ausstellung. Die Präsentation der Ergebnisse schult insbesondere die Kommunikationsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler.

QUELLENACHWEISE

- Einleitung:** Foto: Henkel AG & Co. KGaA, Konzernarchiv
- Experiment 1:** Abbildung Waschmaschine: www.herne.de
- Experiment 2:** Foto: Henkel AG & Co. KGaA, Konzernarchiv;
- Experiment 5:** Foto: Henkel AG & Co. KGaA, Konzernarchiv;
- Arbeitsblatt 1:** Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (www.fnr.de);
- Arbeitsblatt 2:** www.henkel.de
Bild: www.uni-essen.de/chemiedidaktik/S+WM/Umweltaspekte/Schaumberge.htm
- Material 1: Diagramme: Henkel AG & Co. KGaA
- Arbeitsblatt 3:** Chemie im Kontext, Cornelsen Verlag 2006
- Arbeitsblatt 4:** www.henkel.de
Mann, Stefan: Nachwachsende Rohstoffe, Verlag Ulmer 1998
Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (www.fnr.de)
- Arbeitsblatt 5:** Foto: ONLINE-Wäschepflegemuseum Rainbach i. M., www.waeschepflegemuseum.at
- Arbeitsblatt 6:** Wagner, G.: Waschmittel, Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit, 3. Auflage, Wiley-VCH 2005.
- Material 2: Statistisches Bundesamt, www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/
- Material 3: Auszug aus der Chronik „130 Jahre Henkel“, Henkel AG & Co. KGaA
- Material 4: Stadt Konstanz – Die Kläranlage, www.konstanz.de/imperia/md/content/ebk/89.pdf
- Arbeitsblatt 8:** www.great-er.org/pages/home.cfm
<http://greater-web.intevation.org/greater>
- Arbeitsblatt 9:** <http://greater-web.intevation.org/greater>
- Arbeitsblatt 11:** Karrikatur: www.oekomarkt.graz.at
- Arbeitsblatt 12:** Karrikatur: www.hinz-bo.de

Lehrerhinweise

- Experiment 1:** VDEW – Verband der Elektrizitätswirtschaft, VDEW-Leitfaden „Stromkennzeichnung“ (18.10.2006), www.strom.de
http://www.sdw.de/wald/oekosystem_wald/leistungenderbaeume.htm
http://bpb.de/wissen/GLSOS3,0,Bev%F6lkerung_und_Haushalte.html
Foto: Katja Anscheit, Universität Rostock
- Experiment 2:** Foto: Versuch - Katja Anscheit, Universität Rostock
- Experiment 3:** Broschüre „Richtiges Dosieren bei jeder Wasserhärte“ des Forum Waschen 2007
Foto: Katja Anscheit, Universität Rostock
- Experiment 4:** Fotos: Katja Anscheit, Universität Rostock
Abbildungen: Alexander Witt, Universität Rostock
- Experiment 5:** Foto: Versuch - Katja Anscheit, Universität Rostock
- Arbeitsblatt 1:** Schema Bioabbau: www.ikw.org/pdf/broschueren/Faltblatt_Detergenzien.pdf
Diagramme und Foto: Henkel AG & Co. KGaA