

## 10.6 Durchblick: Zusammenfassung und Übung

### Zu den Aufgaben

**A1** Kugelmicelle in Wasser: Kreis aus Streichhölzern, bei dem die einzelnen Hölzchen zum Mittelpunkt des Kreises ausgerichtet sind, die Köpfchen nach außen (Schulbuch, Kap. 10.1, B8). Seifenblase: Doppelter Kreis aus Streichhölzern, bei dem die einzelnen Köpfchen im Inneren der Doppelschicht liegen. (Schulbuch, Kap. 10.5, B1).

**A2** Im Inneren einer Flüssigkeit ist jedes Teilchen von allen Seiten von Nachbarpartikeln der gleichen Art umgeben. Die Anziehungskräfte zu den Nachbarpartikeln wirken von allen Richtungen und heben sich daher gegenseitig auf. Bei den Teilchen an der Oberfläche fehlen nach außen Nachbarpartikel der gleichen Art. Deshalb wirkt auf diese Teilchen eine Kraft, die ins Innere der Flüssigkeit gerichtet ist. Diese Kraft wirkt einer Oberflächenvergrößerung entgegen. Die Kugel ist der geometrische Körper, der bei gegebenem Volumen die kleinste Oberfläche besitzt. Flüssigkeitstropfen nehmen daher eine Kugelform an, sofern keine weiteren Kräfte wirken, die die Kugel verformen. In der Schwerelosigkeit wirken von außen auf die Flüssigkeit kaum andere Kräfte, insbesondere keine Schwerkraft.

### A3

- a) Kein Tensid, die polare Gruppe ist zu klein.
- b) Kein Tensid, das unpolare Ende des Anions ist zu kurz.
- c) Kein Tensid, die polare Gruppe ist zu klein.
- d) Kein Tensid, der Alkylrest ist zu lang.
- e) Tensid. Lipophiler Teil: mittellange Alkylkette (13-C-Atome); hydrophiler Teil: mehrere kurze Ethergruppen; Tensidklasse: Fettalkoholethoxylate

**A4** Durch Zugabe von Tensiden lagern sich die Tensid-Moleküle mit ihrem polaren Ende an die feinen Partikel aus Metalloxiden und Metallsulfiden; diese werden dadurch hydrophob. Sie lagern sich an den Luftbläschen an und schwimmen als Schaum auf. Die größeren Partikel der Gangart (Begleitgestein) werden vom Wasser benetzt und sinken ab.

### Zusatzinformationen zu A4

#### Flotation

Die Flotation beruht auf der unterschiedlichen Grenzflächenspannung von Feststoffen gegenüber Wasser und Luft, d.h. auf der unterschiedlichen Benetzung von in Wasser suspendierten Teilchen. Es hat sich gezeigt, dass viele Metalloxide und -sulfide, Schwermetalle und Kohle von hydrophoben Stoffen wie z. B. aliphatischen und aromatischen Kohlenwasserstoffen gut benetzt werden, während die Gangart (das erzfreie, aus Quarz, Silicaten sowie anderen anorganischen Salzen bestehende Gestein) leicht von Wasser und anderen hydrophilen Stoffen benetzt wird. Die Trennung erfolgt dadurch, dass vom Wasser benetzte Partikel absinken, während nicht benetzte Partikel mit einem Korndurchmesser unter 1 mm sich beim Einblasen von Luft in die Suspension des zerkleinerten Erzes an den Luftblasen anlagern und an die Oberfläche wandern.

Durch den Zusatz von *Flotationsmitteln* wird der Trenneffekt verstärkt. Zu diesen Mitteln gehören vor allem grenzflächenaktive Stoffe, besonders anionische Tenside (z. B. Alkylsulfonate, Alkylsulfate, FAS, FES, SES und Seifen, Kap. 10.3) sowie Phosphorsäure-, Phosphonsäure- bzw. Fettsäureester. Speziell zur Schaumbildung und Schaumstabilisierung werden Phenole, Kresole, Alkohole, Ketone, Holzteeeröle, die viele dieser Stoffe enthalten, sowie Polyglykole und deren Ether eingesetzt. Zurzeit werden weltweit jährlich mehr als 3 Milliarden Tonnen Erz und Kalisalze durch Flotation gewonnen.

**Flotation im Kupferbergbau.** Der Kupfergehalt der bergmännisch gewonnenen und für die Verhüttung bestimmten kupferhaltigen Erze ist meist sehr gering ( $0,4\% \leq w \leq 2\%$ ). Durch Flotation lässt sich das kupferarme Gestein in Kupfererzkonzentrate überführen, die einen Massenanteil von 20–30% Kupfer haben.

Das fein gemahlene Ausgangsmaterial wird mit viel Wasser und etwas schwerem Buchenholzteeröl angerührt, wobei sich das vom Öl benetzte Kupfererz im Oberflächenschaum ansammelt, während das von Wasser benetzbare Gestein („Gangart“) zu Boden sinkt. Das Öl wird im nächsten Arbeitsgang abgepresst und das Konzentrat anschließend verhüttet.

Das Holzteeeröl fällt bei der Aufbereitung von meist aus Buchenholz gewonnenem Rohholzzessig an. Zur Flotation wird das schwere Öl verwendet, das durch Destillation des Rohöls (Fraktion bis 270 °C) erhalten wird.

**Flotation im Kalibergbau.** Die Anreicherung von Kaliumchlorid erfolgt u.a. durch Flotation. Dadurch werden kaliärmere Rohsalze zu hochangereicherten Kalisalzen, die dann für die Düngung genutzt werden. Ausgangsmaterial zur Gewinnung von reinem Kaliumchlorid ist meist der Carnallit ( $\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  oder  $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ), der in der Regel hauptsächlich mit größeren Mengen

Steinsalz (NaCl), Anhydrit (CaSO<sub>4</sub>) und Kieserit (MgSO<sub>4</sub> · H<sub>2</sub>O) verunreinigt ist.

Im Verfahren wird fein gemahlenes Kalirohsalz (Korngröße zwischen 0,5 und 1 mm) zu einer mit Natrium- und Kaliumchlorid gesättigten wässrigen Tensidlösung gegeben und mit Luft durchspült. Dabei sammelt sich wegen unterschiedlicher Salzbenetzbarkeiten an der Oberfläche der Lösung Kaliumchlorid (w = 96 %) an. Als Tenside werden Fettalkoholsulfate (FAS mit 8 bis 12 C-Atomen) eingesetzt.

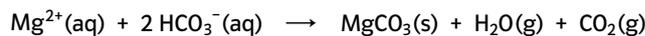
**Flotation beim Papierrecycling.** Auch bei der Wiederverwertung von bedrucktem Altpapier werden im De-inking-Verfahren (von engl. ink, Tinte) die Tinten- und Druckfarbenpartikel durch Schaum aus einer wässrigen Tensidlösung ausgetragen.

#### Modellversuch zur Flotation (Schülerversuch)

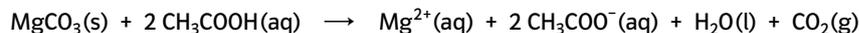
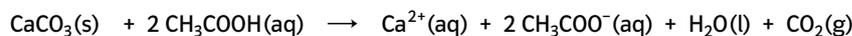
Füllen Sie tensidhaltiges Wasser in eine Waschflasche (250 ml) mit Fritteneinsatz und geben Sie etwas Braunsteinpulver (Mangan(IV)-oxid) dazu. Schließen Sie die Waschflasche und schütteln Sie gut. **a)** Lassen Sie das Gemisch einige Zeit stehen. **b)** Leiten Sie danach Luft durch das Gemisch.

**A5** Die Oberflächenspannung tensidhaltigen Wassers ist viel geringer als diejenige von Leitungswasser. Deshalb ist auch die „Benetzungsfähigkeit“ sehr viel größer. Dieser Effekt ist erwünscht, wenn man mit Wasser einen Brand löschen möchte, d.h. einen brennenden Stoff „nass“ machen möchte. Tensidhaltige Löschschäume (z.B. Schaumteppich auf Flughäfen) ersticken Feuer durch die Unterbindung der Sauerstoffzufuhr und machen allgemein die o.g. Benetzung möglich. Spezielle Tenside bewirken, dass Wasserschäum auf brennendem Benzin schwimmt.

**A6** Hartes Leitungswasser hat einen hohen Anteil an Calcium- und Magnesium-Ionen. Diese bilden beim Eindampfen mit Hydrogencarbonat-Ionen Magnesium- und Calciumcarbonat:



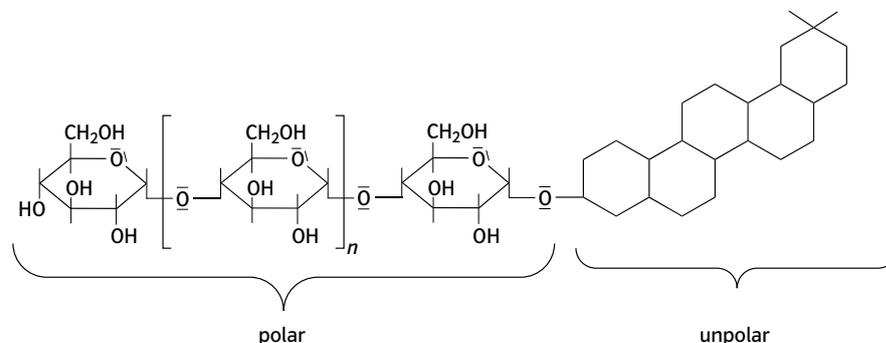
Diese Carbonate sind in Wasser sehr schwer löslich. Sie reagieren aber mit Essigsäure unter Bildung von Acetat-Lösungen und Kohlenstoffdioxid (Aufschäumen):



**A7** In geschmolzener Stearinsäure sind die Moleküle beweglich, sodass sie sich auf dem warmen Wasser mit ihrem polaren Molekülteil (–COOH) fast wie Emulgator-Moleküle (vgl. Seifen-Anionen) anordnen können. Auf der luftzugewandten Seite erfolgt die Anordnung so, dass der unpolare Molekülteil (langer Alkylrest) sich im Wesentlichen an der Oberfläche anlagert. (Luft kann als hydrophober Stoff angesehen werden.) Die dem Wasser zugewandte Fläche ist hydrophil, die der Luft zugewandte Fläche ist hydrophob. Nach dem Erkalten bleibt diese Anordnung erhalten, da sich die Stearin-Moleküle nicht mehr umlagern können. Nur die hydrophile Fläche ist durch Wasser benetzbar.

**A8** Waschnüsse enthalten als waschaktive Substanz Saponine.

Beispiel eines Saponin-Moleküls:



Vorteile:

- Preiswert und sehr ergiebig
- Nachwachsender Rohstoff
- Wirkstoffe (Saponine) sind sehr gut hautverträglich
- Saponine sind antimikrobiell

- Biologisch abbaubar
- Von Wildpflanzen, keine Plantagen

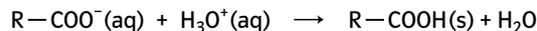
**Nachteile:**

- Nur eingeschränkte Waschwirkung, einige Verschmutzungen werden nicht beseitigt
- Saponine lassen sich nicht vollständig aus der Kleidung entfernen, da die Nüsse bis zum letzten Spülgang in der Trommel bleiben.
- Waschnüsse haben keine Wasser enthärtende oder bleichende Wirkung und geben keine Duftstoffe ab. Sie erfordern daher den Zusatz von Bleichmittel, Wasserenthärter und Duftstoffen.
- Starker Preisanstieg durch eingeschränkte Liefermengen aus Indien; dadurch unerschwinglich für die indische Landbevölkerung

**A9**

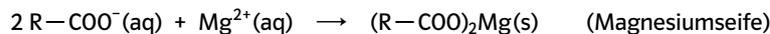
a) Gelöste Seifen-Anionen können mit Wasser-Molekülen und Natrium-Ionen eine Doppelschicht bilden, die Luft-Moleküle einschließt, also eine Seifenblase. Beim Schütteln bildet sich also Schaum.

b) Im sauren Milieu werden die Seifen-Anionen protoniert; es bilden sich ungeladene Fettsäure-Moleküle:



Da die hydrophoben Fettsäuren in Wasser schwer löslich sind, erkennt man zunächst eine Trübung, dann sammelt sich der Feststoff allmählich an der Flüssigkeitsoberfläche. Da die gelösten Seifen-Anionen fehlen, bildet sich fast kein Schaum.

c) Hartes Wasser enthält Calcium- oder Magnesium-Ionen. Diese reagieren mit den Seifen-Anionen zu schwer löslichen Metallseifen:



Es bildet sich ein weißer, flockiger Niederschlag. Da die gelösten Seifen-Anionen fehlen, bildet sich fast kein Schaum.

**A10**

a) Es handelte sich z.B. um Pentanatriumtriphosphat ( $Na_5P_3O_{10}$ , s. Kap. 10.4). Triphosphat-Ionen bilden mit  $Ca^{2+}$ - und  $Mg^{2+}$ -Ionen stabile, wasserlösliche Verbindungen, die mit anionischen Tensiden nicht reagieren. Pentanatriumtriphosphat wirkt somit als Wasserenthärter.

b) Die Triphosphate gelangen ins Abwasser werden in der Kläranlage in Phosphate gespalten. Phosphate sind Düngemittel. Sie führen zu einem übermäßigen Wasserpflanzenwachstum (vor allem Algen, später auch tierisches Plankton) in Flüssen und Seen (Eutrophierung). Abgestorbene Wasserpflanzen werden von aeroben Destruenten abgebaut. Für diesen Prozess wird Sauerstoff benötigt. Dem Gewässer wird also immer mehr Sauerstoff entzogen. Irgendwann ist ein Zeitpunkt erreicht, an dem aerobe Organismen sterben, da zu wenig Sauerstoff im Gewässer vorhanden ist. In diesem Stadium laufen auch die Abbauprozesse anaerob ab, da der Sauerstoff fehlt – Fäulnis spielt nun eine Rolle. Dabei entstehen Ammoniak, Schwefelwasserstoff und Methan. Die genannten Stoffe sind einerseits giftig, wodurch wird die Sterblichkeit der Organismen des Gewässers erhöht wird. Andererseits kommt es durch die genannten Stoffe zu einer Geruchsbelästigung. Werden all die aufgeführten Stadien durchlaufen, so spricht man vom „Umkippen“ des Gewässers.

c) Heute werden vorwiegend Enthärterssysteme verwendet, die nicht nur das Wasser enthärten, sondern auch den Waschvorgang unterstützen. Man spricht deshalb auch von Gerüststoffen oder Buildern. Beispiele sind Zeolithe und Schichtsilicate:

- Zeolithe sind wasserunlösliche Natriumaluminiumsilicate. In den Hohlräumen ihrer Kristalle befinden sich  $Na^+$ -Ionen. Sie enthärten das Wasser, indem sie  $Na^+$ -Ionen abgeben und dafür  $Ca^{2+}$ - und  $Mg^{2+}$ -Ionen aufnehmen (Ionenaustausch).
- Schichtsilicate sind Salze der Kieselsäure. In den Schichtsilicaten liegen die Silicat-Anionen als Schichten von  $SiO_4^{4-}$ -Tetraedern vor, zwischen denen sich  $Na^+$ -Ionen befinden. Wie Zeolithe können sie  $Na^+$ -Ionen gegen  $Ca^{2+}$ - und  $Mg^{2+}$ -Ionen austauschen. Schichtsilicate sind wasserlöslich und können in Kläranlagen schnell abgebaut werden.

**A11**

a)

Komponente	Funktion
anionische Tenside und nichtionische Tenside	Waschaktive Substanzen: Ablösen und Dispergieren der Schmutzpartikel
Zeolithe	Wasserenthärter: Bindung von $\text{Ca}^{2+}$ - und $\text{Mg}^{2+}$ -Ionen, dadurch Verhinderung von Kalkablagerungen; Verbesserung der Tenseideigenschaften
Enzyme (Proteasen, Amylasen, Lipasen)	Entfernung von eiweiß-, stärke- und fetthaltigen Flecken
Farbübertragungsinhibitoren	Polymer-Moleküle, die Farbstoff-Moleküle binden und so das Abfärben auf andere Textilien während des Waschvorgangs vermeiden
Natriumperborat	Bleichmittel: Entfernung von nicht auswaschbaren, farbigen Verschmutzungen (Zerstörung der Farbstoffe durch Oxidation)
Bleichmittelaktivator	erhöht die Wirksamkeit der Bleichmittel bei niedrigen Temperaturen (durch Aktivierung des Perboraterfalls)
Vergrauungsinhibitoren	heften sich an die Faser und verhindern die Wiederablagerung von Schmutz aus der Waschlauge auf die Wäsche
optische Aufheller	Absorption von UV-Licht und Umwandlung der Energie in blaues Licht (Fluoreszenz), dadurch Ausgleich eines Gelbstichs
Duftstoffe	überdecken den Eigengeruch des Waschmittels und geben der Wäsche frischen Duft

**b) A** enthält Farbübertragungsinhibitoren, jedoch keine Bleichmittel und optische Aufheller. Es handelt sich daher um ein Colorwaschmittel.

**B** hat eine einfache Rezeptur. Da es keine Bleichmittel, optische Aufheller und auch keine Farbübertragungsinhibitoren enthält, ist es ein Feinwaschmittel.

**C** ist auch für weiße Wäsche geeignet, da es Bleichmittel, Bleichaktivatoren, optische Aufheller und Vergrauungsinhibitoren enthält. Es handelt sich um ein Vollwaschmittel.

c)

Waschmittel	Tintenfleck	Blutfleck	Fettfleck
<b>A</b>	(-) A enthält keine Bleichmittel.	(+) A enthält Enzyme (Proteasen).	(+) A enthält Tenside und evtl. auch Lipasen.
<b>B</b>	(-) B enthält keine Bleichmittel.	(-) B enthält keine Enzyme.	(+) B enthält Tenside.
<b>C</b>	(+) C enthält Bleichmittel und Bleichmittelaktivatoren.	(+) C enthält Enzyme (Proteasen).	(+) C enthält Tenside und evtl. auch Lipasen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2022. Alle Rechte vorbehalten. [www.klett.de](http://www.klett.de)  
Von dieser Druckvorlage ist die Vervielfältigung für den eigenen Unterrichtsgebrauch gestattet. Die Kopiergebühren sind abgegolten.

**Autorinnen und Autoren:** Prof. Ulrich Bee, Oliver Blauth, Paul Gietz, Prof. Heike Maier, Prof. Karsten Wiese  
Bei der Erstellung dieses Unterrichtswerkes wurde auch auf andere Titel des Ernst Klett Verlags zurückgegriffen.  
Deren Autorinnen und Autoren sind: Prof. Ulrich Bee, Oliver Blauth, Edgar Brückl, Prof. Werner Eisner, Paul Gietz, Heike Große, Dr. Erhard Irmer, Axel Justus, Prof. Dr. Klaus Laitenberger, Prof. Heike Maier, Dr. Martina Mihlan, Peter Nelle, Hildegard Nickolay, Dr. Carsten Penz, Horst Schaschke, Prof. Dr. Werner Schierle (†), Bärbel Schmidt, Andrea Schuck, Michael Sternberg, Dr. Jutta Töhl-Borsdorf, Prof. Karsten Wiese, Peter Zehentmeier, Dr. Thorsten Zippel.

**Illustrationen:** Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart: 2.1