

1. Amphiphile Moleküle: Ein einführender Überblick

Die Amphiphilie beschreibt die chemische Eigenschaft einer Substanz, sowohl hydrophil (also wasserliebend) als auch lipophil (also fettliebend) zu sein. Dies bedeutet, dass diese Substanz sowohl in polaren Lösungsmitteln als auch in unpolaren Lösungsmitteln gut löslich ist. Das Wort Amphiphil kommt aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie beide liebend.

Wichtige amphiphile Stoffe sind:

- Tenside, die als Seifen Verwendung finden. Sie wirken gerade aufgrund ihrer amphiphilen Eigenschaften reinigend
- Emulgatoren in Lebensmitteln wie z.B. Monoglyceride. Aufgabe dieser Stoffe ist die Verhinderung der Entmischung hydrophiler und lipophiler Stoffe in Lebensmitteln wie z.B. Mayonnaise oder Margarine
- Phospholipide, wie z.B. Lecithin, einer der Hauptbestandteile der Zellmembranen.

Im Englischen wird neben „Amphiphiles“ auch von „Surfactants“ (von *surface active agent* also oberflächenaktive Agenzien) gesprochen. Dies deutet schon eine wesentliche Eigenschaft dieser Moleküle an: Ihre Tendenz zur Segregation an der Wasser-Luft-Grenzfläche und daraus resultierend die Erniedrigung der Oberflächenspannung im Vergleich zum reinen Wasser. Dieser Effekt ist ein bestimmender Aspekt der Verwendung dieser Moleküle in Tensiden, die auch als sog. Waschaktive Substanzen bezeichnet werden.

Wie funktioniert nun der Reinigungsvorgang mit Tensiden? Dies soll am Beispiel eines Tensids mit einer negativ geladenen Kopfgruppe (anionisches Tensid) gezeigt werden.

Wie gesagt, verringern Tenside die Oberflächenspannung des Wassers. Damit wird, wie im Kapitel Flüssigkeiten bereits erwähnt, die Benetzungsfähigkeit der Flüssigkeit, in diesem Fall des Wassers heraufgesetzt, der Kontakt der flüssigen Phase mit der festen Phase (in diesem Falle der zu reinigenden Faser, wird verbessert. Grund hierfür ist die Ausbreitung der Tensidmoleküle auf der Oberfläche der Faser (und auch auf dem zu entfernenden Schmutz), wobei die hydrophobe Seite der Tenside an der Faser haftet und die hydrophilen Enden ins Wasser reichen (vgl. dazu Abbildung 1-2a). Nachdem sich viele Tensidmoleküle auf der Oberfläche angelagert haben und damit der Abstand zwischen den Molekülen klein geworden ist, bewirken

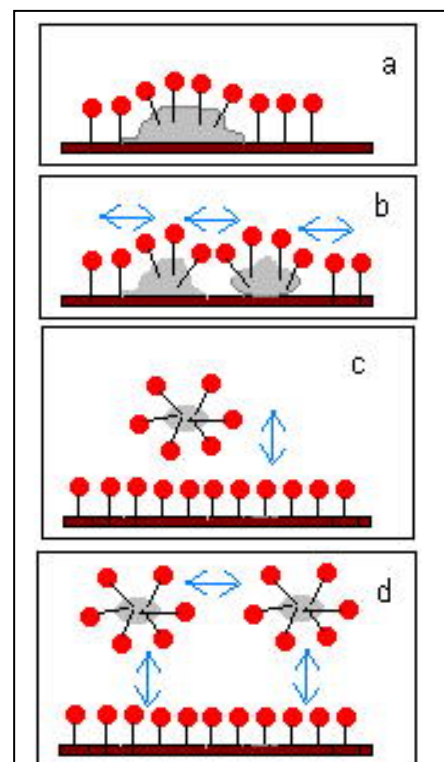


Abbildung 1-1 Dispergiervermögen von Tensiden:

- a) Anlagerung der Tensidmoleküle an Faser und Schmutz
- b) Verminderung der Schmutzhaftung
- c) Ablösen des Schmutzes von der Faser
- d) Halten des Schmutzes in der Waschlösung

die repulsiven Wechselwirkungen der Kopfgruppen einer Zerteilung der Schmutzpartikel (repulsive Wechselwirkung der Kopfgruppen auf dem Schmutzpartikel) und zu einer Lockerung des Schmutzes von der Oberfläche (repulsive Wechselwirkung zwischen den Molekülen auf der Faser und auf dem Schmutzpartikel, siehe auch Abbildung 1-2b).

Diese Lockerung des Schmutzes mündet in eine Loslösung der Schmutzpartikel, da durch die Lockerung der Schmutzpartikel Platz für die Anlagerung neuer Tensidmoleküle geschaffen wird und die repulsiven Wechselwirkungen eine weitere Loslösung bewirken. Letztendlich bildet sich um die Schmutzpartikel eine Monolage von Tensidmolekülen (Abbildung 1-2c).

Die repulsiven Wechselwirkungen der Schmutzpartikel untereinander und mit der Faser bewirken, dass die Teilchen in Lösung verbleiben und so entfernt werden können (Abbildung 1-2d).

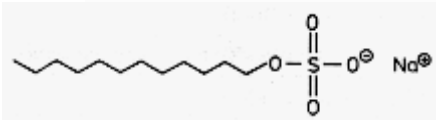
Neben den eben aufgeführten anionischen Tensiden gibt es noch weitere Tenside; grob lässt sich folgende Unterteilung der Tenside vornehmen:

- anionischen Tenside; diese bestehen aus einer anionischen, hydrophilen Kopfgruppe (negative Ladung) gebunden an einen hydrophoben Schwanz
- kationischen Tenside; diese bestehen aus einer kationischen, hydrophilen Kopfgruppe (positive Ladung) gebunden an einen hydrophoben Schwanz
- amphotere Tenside; diese bestehen aus einer amphoteren, hydrophilen Kopfgruppe (negative und positive Ladung) gebunden an einen hydrophoben Schwanz
- nicht-ionische Tenside; diese bestehen bei künstlich hergestellten Molekülen aus einer kurzen Poly(Oxo-ethylen)-Kette gebunden an einer Kohlenwasserstoffkette.

Beispiele für verschiedene Tenside sind in Tabelle 1-1 aufgeführt.

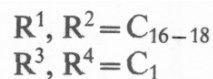
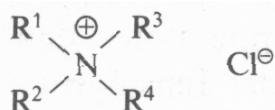
Tabelle 1-1 Chemische Strukturen und Namen verschiedener Tenside

Anionische Tenside		
$R-CH_2COONa$	$R=C_{11-17}$	Seife
$R-C_6H_4-SO_3Na$	$R=C_{10-13}$	Alkylbenzolsulfonat
$\begin{array}{c} R \\ \diagdown \\ CH-SO_3Na \\ \diagup \\ R \end{array}$	$R+R^1=C_{12-16}$	Alkansulfonat
$R-CH_2-CH=CH-(CH_2)_n-SO_3Na$	$R=C_{10-14}$	α -Olefinsulfonat
$\begin{array}{c} R \\ \\ CH-C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow OCH_3 \end{array} \\ \\ SO_3Na \end{array}$	$R=C_{14-16}$	α -Sulfofettsäure-methylester
$R-CH_2-O-SO_3Na$	$R=C_{11-17}$	Alkylsulfat
$\begin{array}{c} R \\ \diagdown \\ CH-O-(C_2H_4O)_2-SO_3Na \\ \diagup \\ R^1 \end{array}$	$R+R^1=C_{10-14}$	Alkylethersulfat

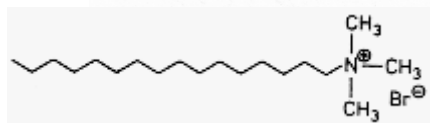


Natrium-dodecylsulfat
(SDS)

Kationische Tenside

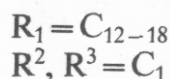
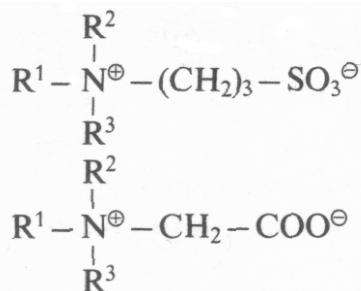


Tetraalkyl-ammonium-chlorid (Quartäre Ammonium-Verb.)

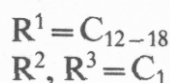


Cetyl-trimethyl-ammonium-bromid(CTAB)

Amphotere Tenside



Sulfobetain

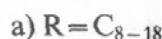
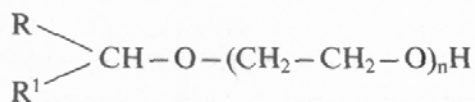


Betain

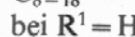


Cocamidopropyl Betain

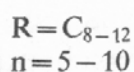
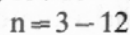
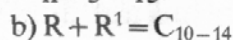
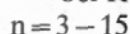
Nicht-ionische Tenside (auch nionische Tenside)



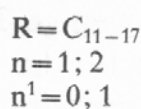
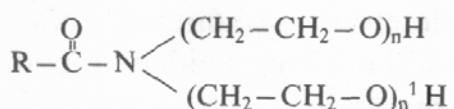
a) prim. bzw.



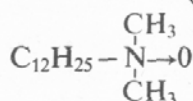
b) sek. Alkoholoxethylat



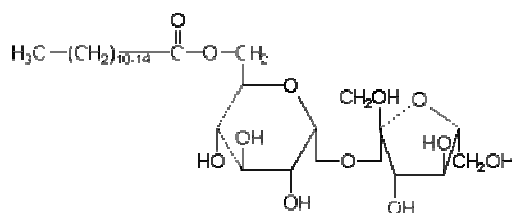
Alkylphenoloxethylat



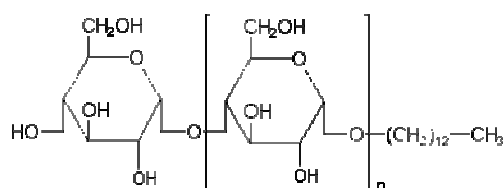
Fettsäureethanolamid



Aminoxid



Saccharosefettsäureester



APG (Alkylpolyglycoside)

Die **anionischen Tenside**, die größte und kommerziell wichtigste Gruppe der Tenside, lassen sich weiterhin in die natürlichen und die künstlichen Tenside einteilen.

Natürliche anionische Tenside sind unter anderem die sogenannten Seifen, Alkalisalze der Fettsäuren, die durch die sogenannte Verseifung von natürlichen Fetten. Diese sind Triester des dreifachen Alkohols Glycerin und verschiedener, überwiegend gradzahliger und unverzweigter aliphatischer Monocarbonsäuren (siehe Abbildung 1-3). Empfohlen wird der Name Triglycerid für diese Substanzklasse.

Unter der Verseifung (oder auch Esterspaltung) versteht man die Umsetzung von Carbonsäureestern (in diesem Fall des Triglycerids) mit Laugen, vornehmlich Natronlauge (in Wasser gelöstes Natriumhydroxid) oder Kalilauge (in Wasser gelöstes Kaliumhydroxid), wodurch Glycerin und das entsprechende Alkalisalz der im Fett vorkommenden Fettsäuren entsteht.

Nachteil dieser Alkaliseifen ist die Tendenz zur Bildung schwerlöslicher Calcium bzw. Magnesiumsalze (die sogenannten Kalkseifen). Diese lagern sich ab und verschmutzen das Waschgut. Außerdem sind sie aufgrund der basischen Eigenschaften im Wasser nicht günstig für die Haut, da sie den natürlichen Säureschutzmantel der Haut angreifen.

Heute werden deshalb vermehrt künstliche anionischen Tenside genutzt, die weniger leicht solche Reaktionen eingehen. Diese enthalten keine Carboxylgruppen als anionische Kopfgruppe (und wirken als solche auch nicht mehr alkalisch in wässriger

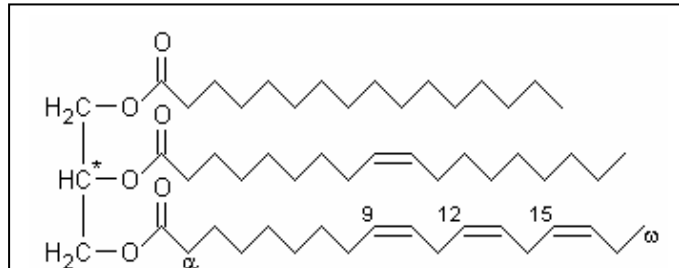


Abbildung 1-2 Beispiel eines Triglycerids, eines Tri-Esters aus Glycerin und drei verschiedenen Fettsäuren (von oben: Palmitinsäure, Ölsäure, Linolensäure)

Quelle: <http://de.Wikipedia.org/wiki/Fett>



Abbildung 1-3 Schaumberge an einem Fluß Anfang der 1960er Jahre in England

Lösung) sondern häufig sulfonat oder sulfat Kopfgruppen wie z.B. Natrium-dodecyl-sulfat (siehe Tabelle 1-1) oder die sehr häufig genutzten lineare Alkylbenzylsulfonate (sogenannte LAS) und werden meist aus Erdöl hergestellt.

Die biologische Abbaubarkeit ist je nach Molekül gut bis schlecht, speziell im Falle der künstlich aus Erdöl hergestellten Tenside. Dabei zeigt sich, dass die Natur Tenside mit verzweigten Alkylstrukturen (wie z.B. Tetrapropylbenzylsulfat) nur

schwer abbaut. In den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts führte dies zu einer bedrohlichen Zunahme der Tensidkonzentration in Gewässern, welcher durch Schaumberge sichtbar wurde. (siehe Abbildung 1-4) Seit 1986 ist gesetzlich geregelt, dass sowohl anionische als auch nicht ionische Tenside eine Abbaurate von mindestens 90% aufweisen müssen. Zu beachten ist, dass es sich hierbei auf den sogenannten Primärabbau bezieht, womit die ersten Abbauschritte gemeint sind, bis

diese Abbauprodukte ihre Grenzflächenaktivität verloren haben. Dieser Primärabbau findet meist schon auf dem Weg zur Kläranlage statt, wesentliche Strukturelemente bleiben beim Abbau allerdings vorhanden.

Kationische Tenside enthalten in den allermeisten Fällen ein positiv geladenes quaternäres Stickstoffatom in der Kopfgruppe mit einem kleinen Gegenion wie Chlorid oder Bromid. Die Waschwirkung dieser Substanzen ist sehr gering. Sie werden vielmehr genutzt um elektrostatische Aufladungen in der Faser zu verhindern. Dies erhöht die Gebrauchseigenschaften sowie die Knickbruchfestigkeit was zu einer längeren Lebensdauer von Textilien führt. Sie werden als Weichspüler verwendet, da sie auf der Faser verbleiben und den Stoff so angenehmer für die Haut machen. Außerdem verringert sich die Trocknungszeit und das Bügeln wird erleichtert. In Haarshampoos dienen sie dazu die negativen Ladungen im Haar abzusättigen und es somit besser kämmbar zu machen, sie werden deshalb auch als Konditioner bezeichnet. Daneben glätten sie das Haar und erhöhen so den Glanz. Gleichzeitig wirken kationische Tenside keimtötend und werden aus diesem Grund auch häufig als Konservierungsstoff zugesetzt.

Diese Tensidgruppe ist häufig recht schwer biologisch abbaubar und wird in Kläranlagen im Klärschlamm ausgefällt. Für die Gruppe der kationischen Tenside gibt es ebenso wie für die amphoteren Tenside keine gesetzliche Regelung, die eine Abbaurate festlegen (siehe anionische Tenside)

Amphotere Tenside enthalten in ihrer Kopfgruppe sowohl eine positive als auch eine negative Ladung, sie werden daher auch als innere Salze bezeichnet und ähneln in dieser Art den natürlich vorkommenden Aminosäuren, die auch aus einer positiv geladenen Ammoniumgruppe und einer negativ geladenen Carboxylgruppe in unmittelbarer Nachbarschaft sowie einem chemischen Rest aufgebaut sind. Sie werden häufig als Co-Tenside beigemischt und tragen in Kombination mit anionischen Tensiden zur Leistungssteigerung und Verbesserung der Hautverträglichkeit bei, da sie die aggressiven Eigenschaften der anionischen Tenside abmildern.

Diese Tensidgruppe zeichnet sich weiterhin durch eine gute biologische Abbaubarkeit bis hin zu mineralischen Bestandteilen und Biomasse hin aus. Wesentlich trägt dazu bei, dass die Kopfgruppe den natürlichen Aminosäuren ähnelt.

Nichtionische Tenside besitzen statt einer ionischen und damit hydrophilen Kopfgruppe eine polare Kopfgruppe. Häufig sind dies sogenannte Polyether, in denen einzelne C2 Einheiten über Sauerstoffbrücken (die sogenannten Ethergruppen) verbunden sind. Gebräuchlich war (und ist in manchen Teilen der Erde) hierbei das 4-Nonylphenolethoxylat. Moderne nicht ionische Tenside besitzen als polare Gruppe mehrere einfache Glucoseeinheiten (z.B. APGs). Diese Moleküle sind besonders bei niedrigen Temperaturen gut wirksam. Sie sind daher sehr gute Waschaktive Substanzen zur Reinigung von Synthetikgeweben. Sie unterstützen die Waschkraft der anderen Tenside, werden als Schaumregulator eingesetzt und dienen zur Erhöhung der Viskosität von Waschmitteln, Shampoos und so weiter.

Vorteil dieser Substanzklasse ist die geringer Härteempfindlichkeit als anionische Tenside (unempfindlich gegenüber Calcium und Magnesiumionen), eine deutlich bessere Hautverträglichkeit und speziell im Falle der neueren Tenside (APGs) eine vollständige Synthese aus nachwachsenden Rohstoffen (Fettsäure und Glucose), keine Toxizität und eine vollständige biologische Abbaubarkeit. Die Fette und Öle sind meist pflanzlichen Ursprungs, speziell Palmöl und Kokosöl, die

Glucoseeinheiten werden aus pflanzlicher Stärke gewonnen. Die industriell aus Erdöl hergestellten nichtionischen Tenside wie z.B. das 4-Nonylphenoethoxylat werden ebenfalls recht schnell abgebaut, wobei zunächst die Ethoxygruppen abgespalten werden. Das zurückbleibende 4-Nonylphenol zeigt schwach östrogene Wirkung und ist deshalb von der EU auf die Liste der „prioritär“ gefährlichen Stoffe eingestuft worden. Wesentlicher Nachteil ist ein gegenüber anionischen Tensiden deutlich höherer Preis. Einsatzgebiet der modernen nicht ionischen Tenside ist speziell der Bereich der Handgeschirrspülmittel.

Tenside werden nicht nur in Waschmitteln, Haushaltsreinigern, Körperpflegemitteln wie Shampoos oder Zahnpasten eingesetzt, sondern finden auch Verwendung in Kosmetika und für technische Zwecke. Hier ist besonders die Erzaufarbeitung zu nennen, wobei hier das Prinzip entgegengesetzt der Schmutzentfernung aus Textilfasern ist. Hier werden Tenside mit Kopfgruppen eingesetzt, die spezifisch mit bestimmten Erzpartikeln in einem gemahlenen Gemisch mit Begleitgestein reagieren und diese Hydrophobisieren. Durch Einblasen von Luft in das Gemisch wird dieses aufgeschäumt, wobei die hydrophoben Partikel sich im Schaum sammeln und mit dem Schaum vom hydrophilen Gestein getrennt. Vorteil dieser Methode ist die wirtschaftliche Ausbeutung von ansonsten aufgrund ihrer geringen Konzentration nicht wirtschaftlich abbaubaren Stoffen. Dieser Prozess wird auch als Flotation bezeichnet und findet daneben auch Anwendung in der Abtrennung von Schwebeteilchen z.B. in der Kläranlage. Daneben finden Tenside auch Anwendung in der Herstellung von Farben und Lacken sowie in der Nahrungsmittelindustrie, wo sie als Emulgatoren die Entmischung von verschiedenen normalerweise nicht mischbaren Stoffen verhindern.

Die thermodynamischen Eigenschaften der Amphiphile in Lösung sind dominiert durch die Tendenz des hydrophoben Schwanzes den Kontakt mit Wasser zu vermeiden (sogenannter „hydrophobic effect“). Diese Tendenz führt zu einer Assoziation der Moleküle zu Mizellen, welche sphärische oder *elonguierte* Strukturen aufweisen. In ihnen ist der hydrophobe innere Kern vom Wasser abgeschirmt durch die Korona aus den hydrophilen Enden der Amphiphile. Wesentliche Voraussetzung der spontanen Formierung solcher Mizellen ist die Überschreitung einer kritischen Konzentration an Molekülen (sog. „critical micelle concentration“).

Diese Formation von Mizellen ist hauptsächlich ein entropischer Effekt, wenn man näherungsweise nur von einem Beitrag von Entropie und Enthalpie zur Gibbschen Freien Energie ausgeht. Der Beitrag der Enthalpie resultiert (teilweise) von einer energetisch bevorzugten Zunahme der intermolekularen Wechselwirkung zwischen den Kohlenwasserstoffketten. Der Beitrag der Entropie erwächst aus der lokalen Strukturierung des Wassers bedingt durch Wasserstoffbrückenbindungen (diese formen eine lose tetraedrische Anordnung der Wassermoleküle). Nicht assoziierte Kohlenwasserstoffketten brechen die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen Wassermolekülen auf und *impose* eine lokale höhere Ordnung der Wassermoleküle, die entropisch wenig begünstigt ist. Da die Mizellenformation zu einer Reduktion dieser hohen Ordnung der Wassermoleküle führt, sind diese entropisch bevorzugt.

Bei hohen Konzentrationen kommt es bei Amphiphilen zur Selbstorganisation in der sogenannten lyotropen flüssigkristallinen Phase. Flüssigkristalline Phasen zeichnen sich durch ein Fehlen der kompletten dreidimensionalen Translation der Ordnung der Moleküle wie in einem Kristall aus. Die lytrope flüssigkristalline Phase der Amphiphile sind mit verschiedenen translatorischen Ordnungen versehen. Eindimensionale translatorische Ordnung der lyotropischen Phase findet sich in der Stapelung von

Doppellagen, welche durch Lösungsmittelmoleküle voneinander getrennt sind; diese werden auch „lamellar phases“ genannt. Eine zweidimensionale Struktur wird durch eine hexagonale Anordnung von Säulenförmigen Mizellen gebildet und eine dreidimensionale kubische Struktur z.B. durch die Anordnung von Mizellen in kubisch-flächen bzw. -innen zentrierten Strukturen.

Die lamellare lyotropische Phase wird oft in Lösungen mit Detergenzien geformt. Unter bestimmten Voraussetzungen (Einfluss von Scherkräften) können sich die Lamellen krümmen und sogenannte Vesikel bilden. In solche Vesikel werden häufig pharmazeutische bzw. kosmetische Substanzen eingebettet, da diese stabiler als Mizellen sind.

Zwei- bzw. dreidimensional geordnete lyotrope Phasen können als Templat für anorganische Materialien (z.B. Synthese von künstlichen porösen Kristallen wie Zeolithe.

Ein gutes Beispiel für die Stabilität von Aggregaten aus Amphiphilen sind Seifenblasen. Beim Einblasen von Luft in eine Tensidlösung bildet sich um die Gasblase herum eine Monolage aus Tensidmolekülen, (siehe Abbildung 1-6) bei denen die hydrophoben Enden in die Gasblase ragen. An der Grenzfläche der Tensidlösung und der Luft hat sich eine weitere Monolage aus Tensidmolekülen ausgebildet. Steigt nun die Blase empor und verlässt die Lösung so bildet sich eine Doppelschicht aus Tensidmolekülen mit einer dünnen Wasserschicht dazwischen um die Gasblase herum aus (siehe Abbildung 1-7). Die Wasserschicht zwischen den beiden Tensidmonolagen verhindert die Abstoßung der beiden geladenen Kopfgruppen. Im Inneren der Seifenblase herrscht ein etwas höherer Druck als in der umgebenden Atmosphäre, der der Oberflächenspannung entgegensteht. Dieser Druck kann relativ einfach

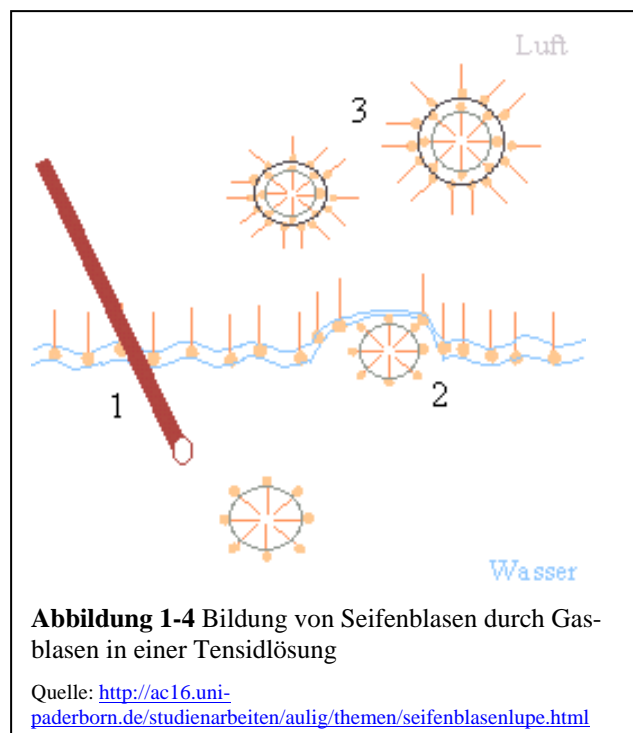


Abbildung 1-4 Bildung von Seifenblasen durch Gasblasen in einer Tensidlösung

Quelle: <http://ac16.uni-paderborn.de/studienarbeiten/aulg/themen/seifenblasenlupe.html>

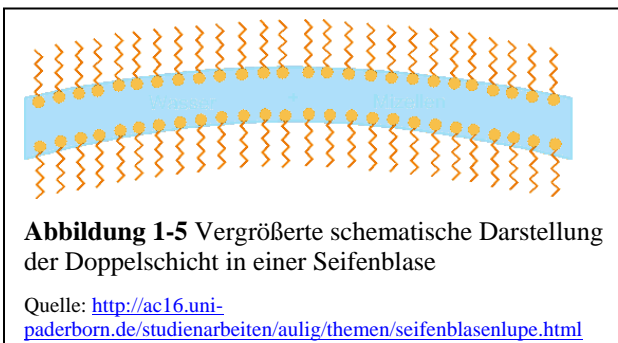


Abbildung 1-5 Vergrößerte schematische Darstellung der Doppelschicht in einer Seifenblase

Quelle: <http://ac16.uni-paderborn.de/studienarbeiten/aulg/themen/seifenblasenlupe.html>

errechnet werden. Die Spannung in der Doppellage $(2\pi r)(2\gamma)$ mit dem Blasendurchmesser r und der Oberflächenspannung γ , muss gleich der Gesamtkraft der Blase $\pi r^2 p$ aufgrund der Druckdifferenz p zwischen Innen und Außen sein, woraus sich für $p = 4\gamma/r$ ergibt. Für eine Natriumoleatlösung mit einer Oberflächenspannung $\gamma = 25\text{mN/m}$ ergibt sich bei einem

Blasendurchmesser von 1 cm eine Druckdifferenz von 100mN/m^2 .

Ähnliches passiert beim „Pustering“: Beim Herausziehen hebt man die Monolage an der Grenzfläche Lösung-Luft heraus, wobei die hydrophilen Kopfgruppen einen Wasserfilm folgen lassen, der wiederum von einer zweiten Monolage Tensid abgeschlossen wird, es bildet sich eine Doppelschicht mit Wasser dazwischen.

Gleichzeitig sammelt sich weiteres Material auf dem Ring. Wird nun durch den Ring auf die Doppelschicht geblasen, so wird die Oberfläche vergrößert, wobei sich zunächst eine Halbkugel und dann weiter eine nahezu geschlossene Kugel bildet, bis die Doppelschicht schließt. In allen Fällen bilden sich Kugeln als Resultat der Bestrebung eine minimale Oberfläche bei maximalem Inhalt zu erreichen.

Die erwähnte Wasserschicht zwischen den beiden Tensidmonolagen ist nun verantwortlich für das Schillern und letztendlich das Platzen der Doppelschicht. Die Dicke der Wasserschicht ändert sich kontinuierlich durch Verdampfen des Wassers und durch die Schwerkraft, die alles Wasser zu untersten Punkt der Seifenblase zieht. Die Variation der Dicke der Wasserschicht lässt die Gesamtdicke der Doppelschicht variieren. Da an beiden Grenzflächen Gas – Doppelschicht das Licht reflektiert wird, erhalten wir Interferenzen, welche je nach Schichtdicke und Wellenlänge des Lichtes konstruktiv oder destruktiv sein kann. (siehe Abbildung 1-8)

Die Blase zerplatzt ohne äußere Einflüsse immer am oberen Punkt der Blase, da hier alles Wasser als erstes verschwunden ist und sich nun die beiden geladenen Kopfgruppen der Tensidlagen aufgrund der elektrostatischen Repulsion abstoßen und somit die Doppelschicht an diesem Punkt zerstört wird.

Beim Berühren platzt die Seifenblase, da an der Stelle der Berührung die Tensidmoleküle verdrängt werden, ihre Konzentration nimmt also ab. Dies führt zu einer Vergrößerung der

Oberflächenspannung. Diesen Anstieg versuchen die Kräfte in der Blase auszugleichen, indem sie eine lokale Kontraktion vollführt. Ist diese Kraft nun groß gegenüber dem Kräftegleichgewicht innerhalb der Seifenblase, so zerplatzt sie.

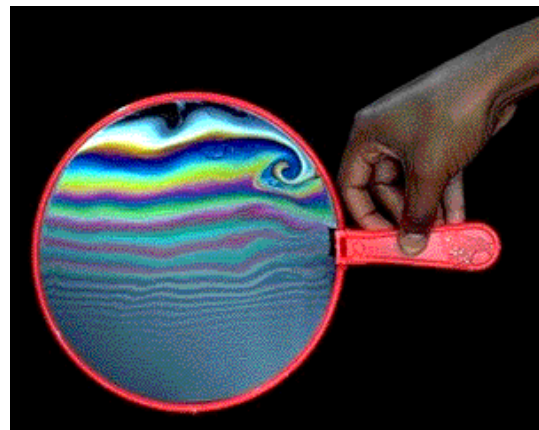
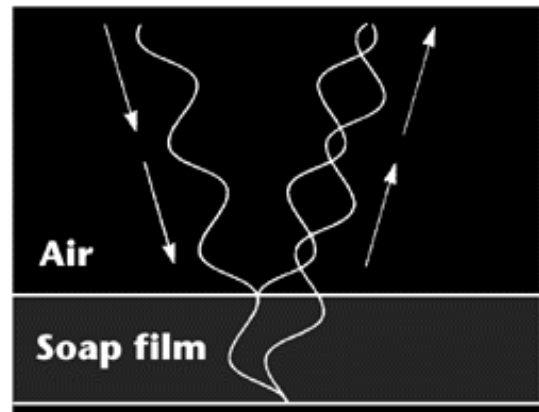


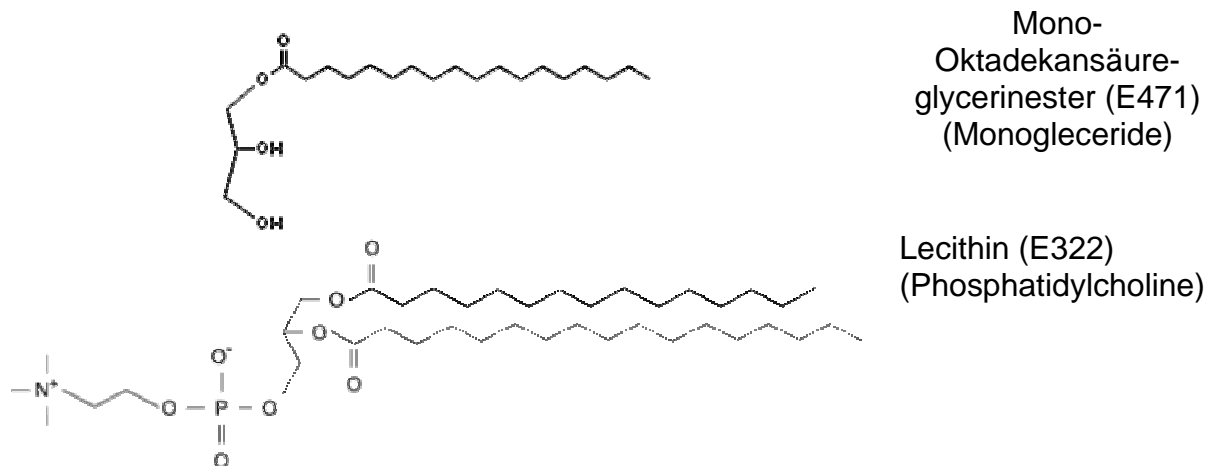
Abbildung 1-6 Interferenz des reflektierten Lichtes an einer Doppelschicht aus Tensidmolekülen mit Wasser a)schematische Darstellung, b) Aufnahme einer realen Doppelschicht.

Quelle: <http://www.exploratorium.edu/ronh/bubbles/bubble->

Emulgatoren sind eine weitere wichtige Klasse der Amphiphilen Moleküle. Diese werden eingesetzt um Emulsionen aus Fetten in wässrigen Medien zu stabilisieren. Das Einsatzgebiet ist inzwischen fast die gesamte industrielle Lebensmittelherstellung. Neben amphiphilen Molekülen werden unter anderem auch Salze der Phosphorsäure (E 338, E 339, E 340, E 341, E 343) als auch nicht-ionische Tenside (E 430, E 431, E 473, E 474) sowie modifizierte Stärke (E 14..) eingesetzt.

Zwei wichtige Vertreter der amphiphilen Emulgatoren sind in Tabelle 1-2 dargestellt.

Tabelle 1-2 Strukturformeln und Namen amphiphiler Emulgatoren.



Lecithin ist ein sogenanntes Phospholipid, eine Klasse von Molekülen, die im Körper eine wesentliche Rolle beim Aufbau der Zellmembranen der sogenannten Lipiddoppelschicht spielt. Es wird im Körper in der Leber produziert. Industriell gewonnen wird es aus Soja (daher manchmal auch die Angabe Sojalecithin), Raps oder Eiern.

Es ist sehr weit verbreitet als Emulgator wie z.B. Mayonnaise, Eiscreme, Salatdressings aber auch Kosmetika und als Hauptbestandteil in Anti-Haft Sprühcoatings beim Kochen. Daneben wirkt es auch als Antioxidanz, reagiert also bevorzugt mit Sauerstoff und verhindert so etwa das Ranzig werden von Fetten.

In diätischen Lebensmitteln wird es außerdem zugesetzt, da es das B Vitamin Cholin enthält.

Monoglyceride werden hergestellt aus den entsprechenden Tri-glyceride (siehe Abbildung 1-3) durch partielle Entesterung. Häufig werden die freien OH – Gruppen des Glycerins mit kurzkettigen organischen Säuren wieder verestert (mit Essigsäure[E472a], Milchsäure[E472b], Citronensäure[E472c], Weinsäure[E472d] und Monoacetyl und Diacetylweinsäure[E472e]) um die Eigenschaften etwas zu verändern. Sie finden ihren Einsatz häufig als Emulgator in unter anderem in Gebäck und Backmischungen, Schokoladenheißgetränken, tiefgefrorenen Pizza, Halbfettmargarine, Schlagsahne und Eiscreme. So erlauben bestimmte Emulgatoren dieser Klasse (insbesondere E472e) einen sehr hohen Lufteinschlag in Gebäck (luftige Brötchen)

Beide Stoffe zeigen wenig bis gar keine schädliche Wirkung und werden sowohl im Körper als auch in der Natur vollständig abgebaut.

Phospholipide sind die Bausteine der Lipiddoppelschicht, welche die Zellmembran bildet. Ganz generell sind es amphiphile Moleküle, die aus Glycerin bestehen, welches zum einen mit zwei Fettsäuren und zum anderen mit einer Phosphorsäure verestert ist. Die drei-Protonige Phosphorsäure ist wiederum mit stark polaren Molekülen wie Ethanolamin, Serin oder auch Cholin verestert. Eine genauere Betrachtung der Lipiddoppelschicht erfolgt am Ende der Vorlesung in einem weiteren Kapitel.

Amphiphile

von amphi = beide und phil = liebend

06.06.2005 Einführung

13.06.2005 Thermodynamische Prinzipien der
Selbstorganisation

20.06.2005 Physik der Aggregation amphiphiler Moleküle zu
Mizellen, Doppelschichten und Vesikeln

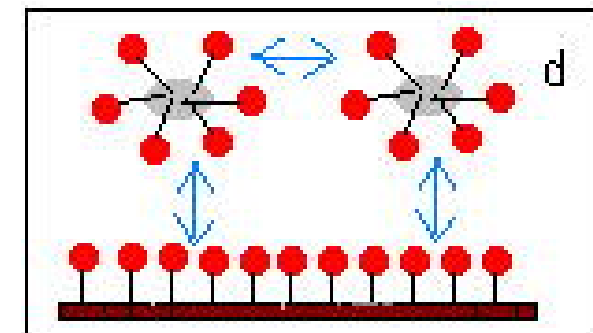
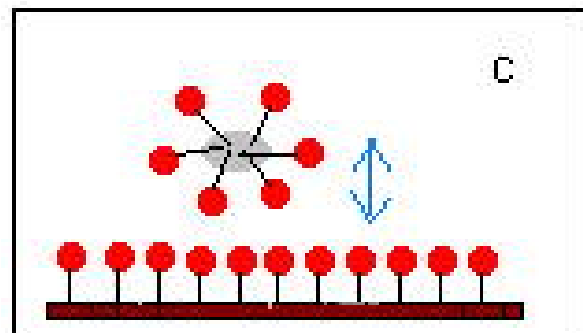
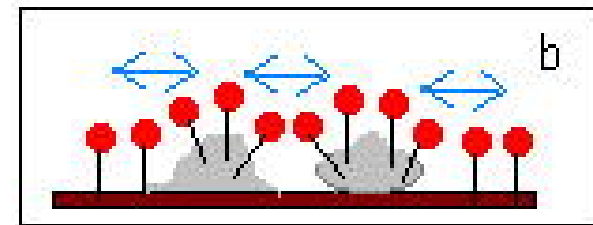
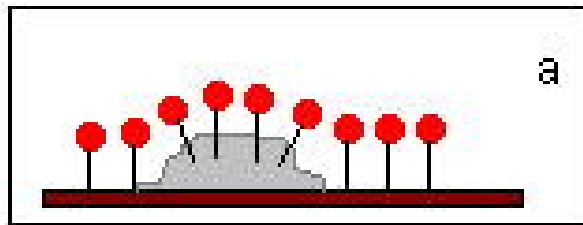
27.06.2005 Beispiele zur Aggregation von Amphiphilen

Was sind Amphiphile?

Die Amphiphilie bezeichnet die chemischen Eigenschaft einer Substanz, sowohl hydrophil als auch lipophil zu sein.

Sie ist daher sowohl in polaren als auch unpolaren Lösungsmitteln löslich

Reinigungswirkung von Amphiphilen

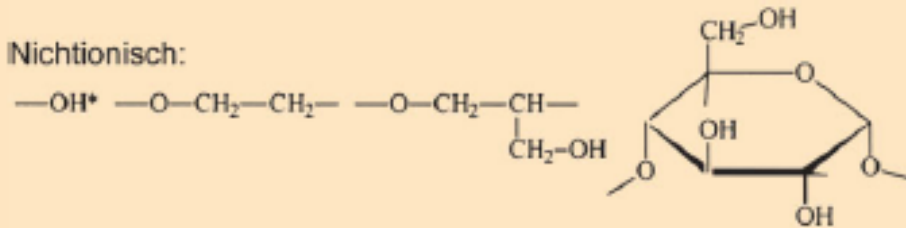


TAB. 2 | RAHMENREZEPTUREN FÜR WASCHMITTEL

Wirkstoffgruppe (%)	Beispiele	Herkömmlich	Kompakt	Tabletten	Flüssig
Anionische // Nichtionische Tenside	Alkylbenzolsulfonat, Alkylsulfat, Seife// Alkoholethoxylat, Alkylpolyglucosid, Alkylglucamid	10 – 15	10 – 25	13 – 18	20 – 55
Gerüststoffe	Zeolith, Schichtsilikate, Natriumsilikat	25 – 50	25 – 40	11 – 35	1 - 4
Cobuilder	Polycarboxylate, Natriumcitrat	3 – 5	3 – 8	2 – 3	±
Bleichmittel	Natriumpercarbonat	10 – 25	10 – 20	13 – 15	–
Bleichaktivator	Tetraacetyl-ethylendiamin	1 – 3	3 – 8	3 – 7	–
Vergrauungsinhibitoren	Carboxymethylcellulose	0 – 1	0 – 1	0 – 1	±
Korrosionsinhibitoren	Natriumsilikat	2 – 6	2 – 6	2 – 6	–
Stabilisatoren	Phosphonate	0 – 1	0 – 1	0 – 1	±
Schauminhibitoren	Seife, Siliconöl, Paraffine	0,1 – 4	0,1 – 2	0,1 – 2	–
Enzyme	Amylasen, Cellulasen, Lipasen, Proteasen	0,3 – 0,8	0,5 – 2	2 - 4	0 – 3
Optische Aufheller	Stilben-Derivat, Biphenyl-Derivat	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,05 – 0,3
Alkohole	Ethanol, Glycerin	–	–	–	8 – 12
Stellmittel	Natriumsulfat	5 – 30	–	–	–
Sprengmittel (Auflösehilfen)	Cellulose-Derivate	–	–	5 – 17	–
Duftstoffe		+	±	+	+
Wasser		Rest	Rest	Rest	30 – 50
+ in geringen Mengen enthalten					

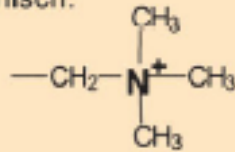
Tensidbausteine und Strukturen

Nichtionisch:

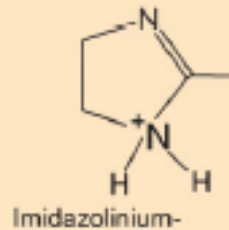


(Fett-)Alkohol- Ethoxylat- (Fett-)Alkohol-Ethoxylat- Glucosid-

Kationisch:

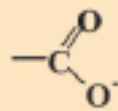


Quart. Ammonium-

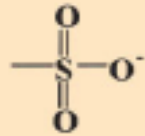


Imidazolinium-

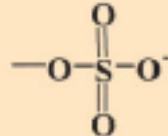
Anionisch:



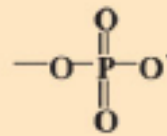
Carboxylat-



Sulfonat-

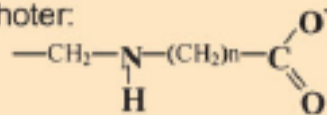


Sulfat-



Phosphat

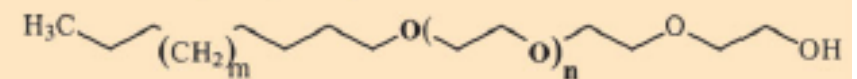
Amphoter:



Alkylbetain-

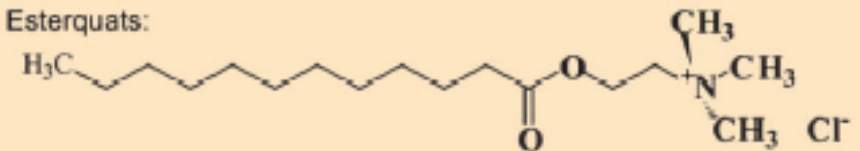
Nichtionische Tenside

Fettalkoholethoxylate (FAEO):



Kationische Tenside

Esterquats:

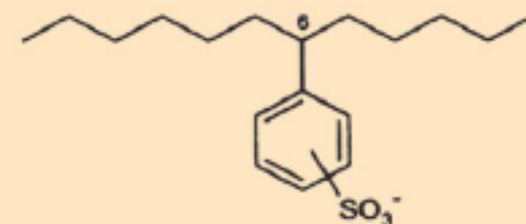


Anionische Tenside

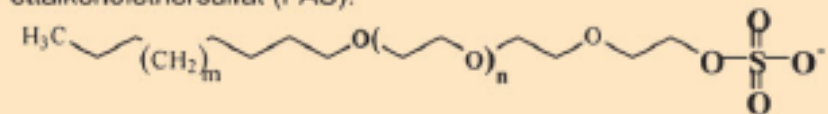
Seife:



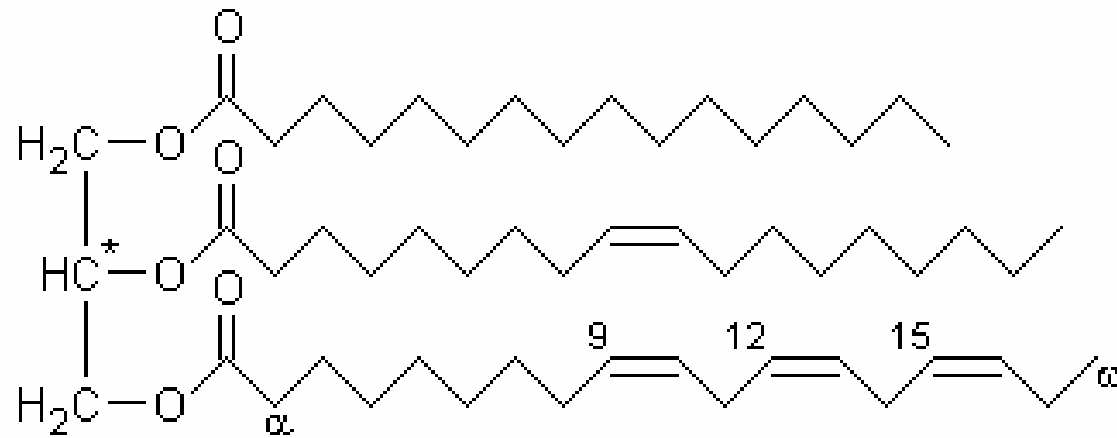
Lineares Alkylbenzolsulfonat (LAS):



Fettalkoholethersulfat (FAS):



Ausgangssubstanz anionischer Seifen



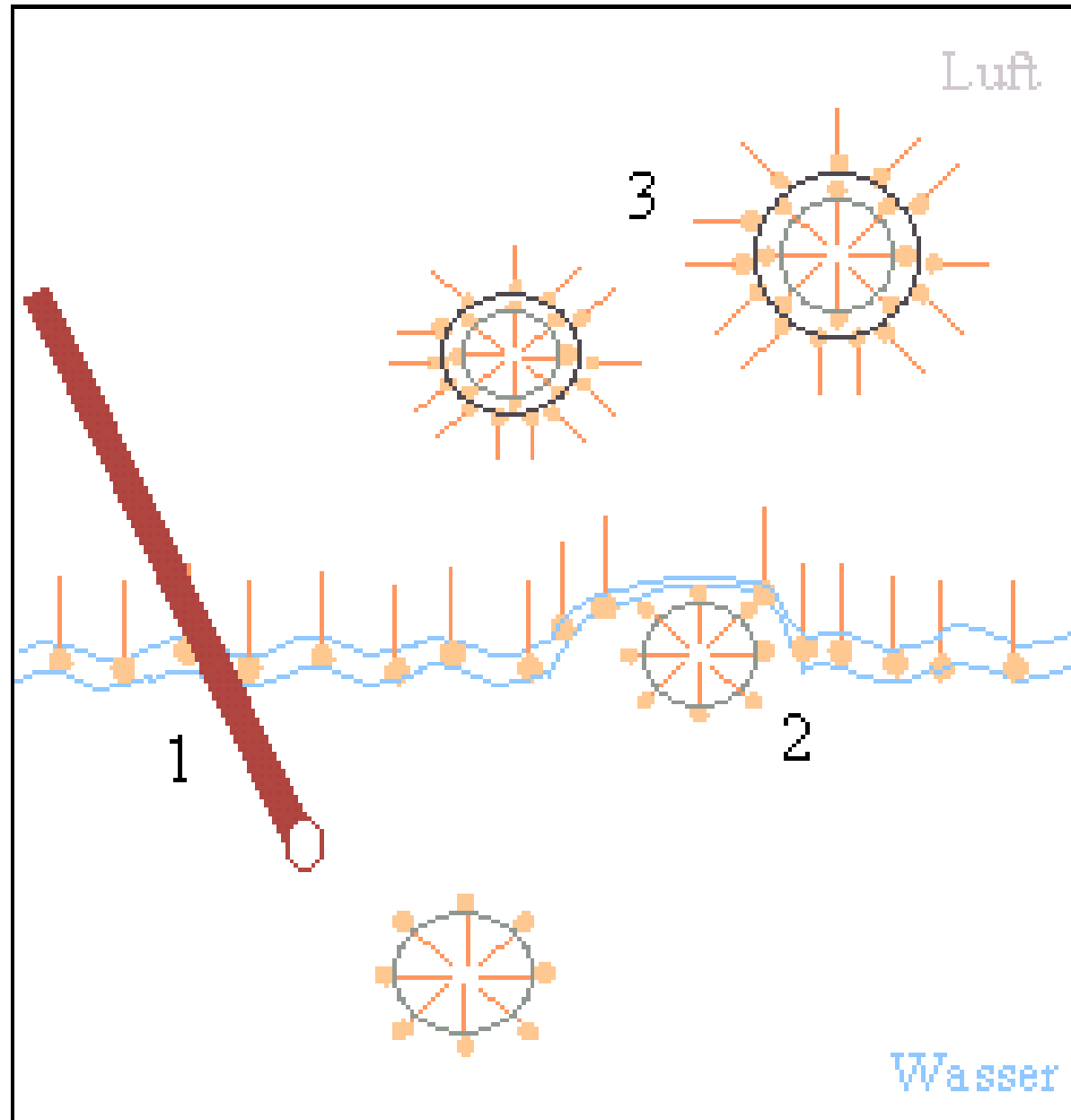
Strukturformel eines Triglycerids

Aus: <http://de.Wikipedia.org/wiki/Fett>

Biologischer Abbaubarkeit von Tensiden

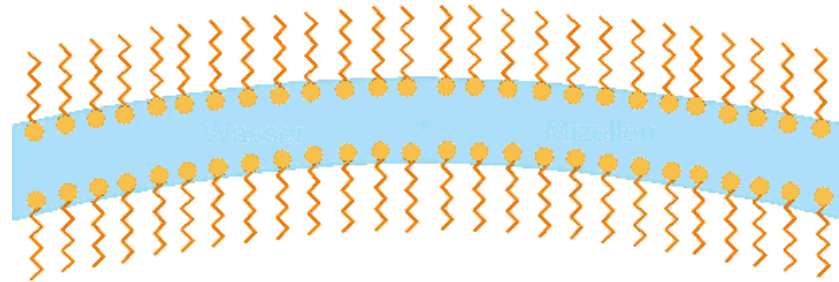


**Bildung
von
Doppel-
lagen
aus
Tensiden
Beispiel:
Seifen-
blase**

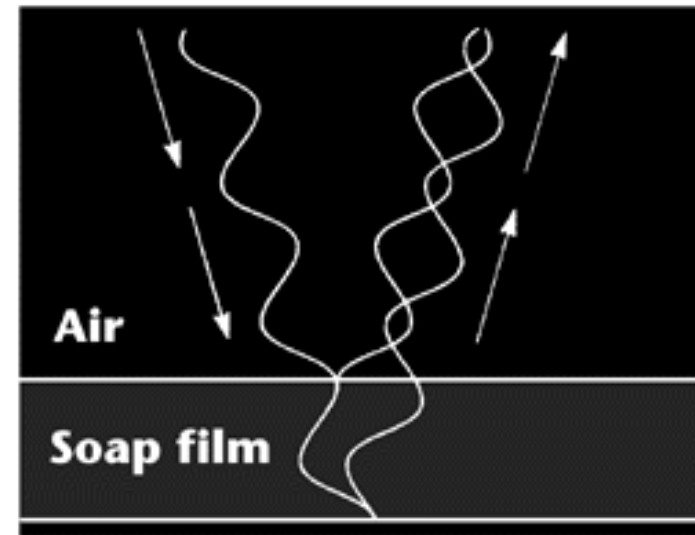
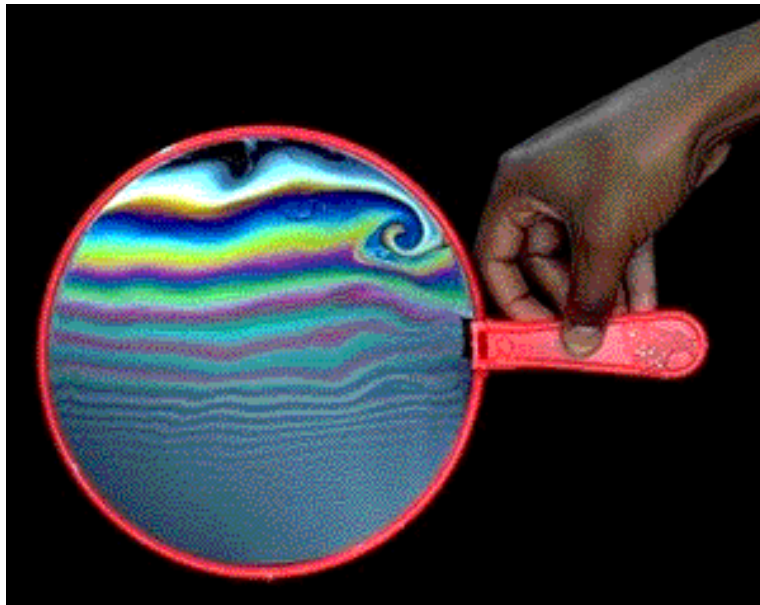


Quelle: <http://ac16.uni-paderborn.de/studienarbeiten/aulig/themen/seifenblasenlupe.html>

Seifenblasenmembran

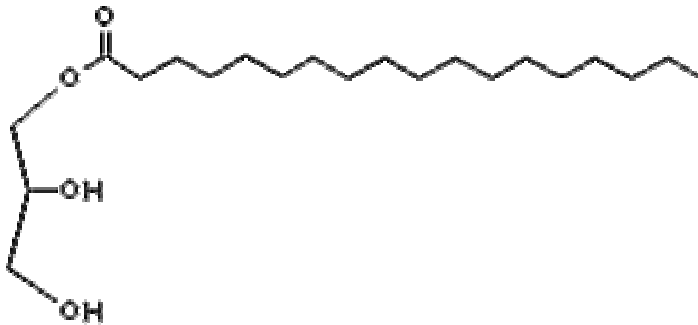


Quelle: <http://ac16.uni-paderborn.de/studienarbeiten/aulig/themen/seifenblasenlupe.html>

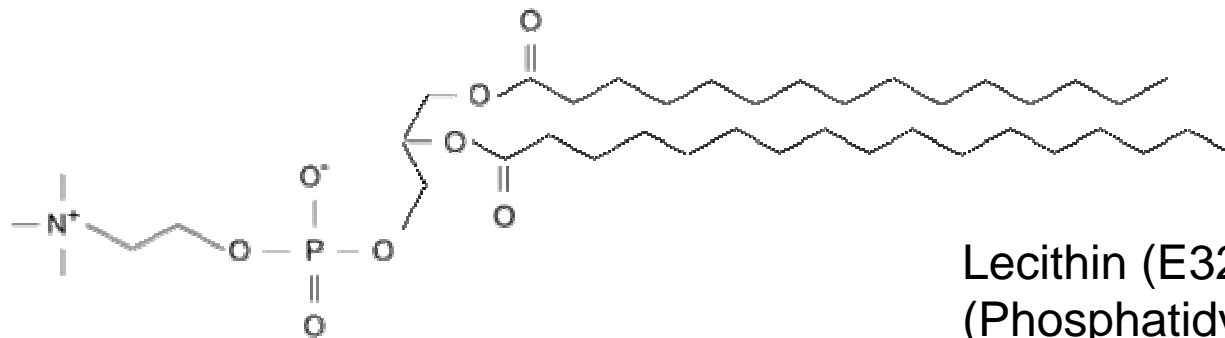


Quelle: <http://www.exploratorium.edu/ronh/bubbles/bubble-colors.html>

Emulgatoren



Mono-Oktadekansäure-
glycerinester (E471)
(Monoglyceride)



Lecithin (E322)
(Phosphatidylcholine)