

Die fleißigen Verbindungen

Eine kurze Einführung in die Welt der Tenside



© Verband TEGEWA e. V. 2014

Impressum

Herausgeber

Verband der Hersteller von Textil-, Papier-,
Leder- und Pelzhilfs- und -farbmitteln, Tensiden,
Komplexbildnern, Antimikrobiellen Mitteln,
Polymeren Flockungsmitteln, Kosmetischen
Rohstoffen und Pharmazeutischen Hilfsstoffen
oder verwandten Produkten

Verband TEGEWA e. V. Frankfurt am Main

Satz und Layout

V. Com · 55218 Ingelheim

Foto Titel

Clipdealer Alex Max



Inhalt

Tenside: Die fleißigen Verbindungen Einige einleitende Bemerkungen	4
Geschichte der Tenside	5
Die Chemie der Tenside	8
Wirtschaftliche Bedeutung von Tensiden	15
Anwendungsgebiete von Tensiden	16
Tenside – Relevanz für Umwelt und Verbraucher, umweltpolitische Konsequenzen und Strategien der Industrie	23
Tenside und nachwachsende Rohstoffe	31
Ausblick	34
Anhang	
Umweltverträglichkeit im Test	35
Glossar	42
Literatur	45



Tenside: Die fleißigen Verbindungen

Einige einleitende Bemerkungen

Natürliche und synthetische oberflächen- bzw. waschaktive Stoffe (Tenside) sind im täglichen Leben so wichtig, dass uns meist gar nicht bewusst wird, was wir ihnen alles verdanken. Stellen Sie sich nur einen Tag ohne Tenside vor: Die Zahnpasta wäre keine homogene Paste – sie schäumt nicht während des Zähneputzens und lässt sich nicht richtig verteilen. Rasierschaum gibt es überhaupt nicht. Die Gesichtscreme sieht nicht nur unappetitlich aus, sie zieht auch kaum in die Haut ein. Der PVC-Boden im Büro ist spiegelglatt und der Drucker hat eine maximale Auflösung von einem Zentimeter. Das Geschirr vom Abendessen wird nicht so richtig sauber, von der großen Wäsche ganz zu schweigen. Das entspannende Schaumbad entfällt. Und ohne natürliche Tenside in Ihren Verdauungssäften würde Ihnen das Abendessen so schwer im Magen liegen, dass Sie um Ihren Schlaf gebracht würden. Das sind nur einige Beispiele von vielen, die zeigen, dass die Leistungen von Tensiden in industriellen Prozessen wie im persönlichen Leben schlicht unverzichtbar sind. Schon jetzt zeichnen sich darüber hinaus Zukunftsperspektiven wie die Steigerung der Ausbeute von Öllagerstätten mithilfe spezieller Tenside oder auch die Entwicklung völlig neuartiger Reinigungs- und Lösemittel oder auch Kunststoffweichmachern auf der Basis der Nanotechnik ab. Oder dachten Sie, Tenside seien nur in Waschpulvern enthalten?

Die vorliegende Broschüre soll Ihnen fundierte Informationen über die Chemie und die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Tenside an die Hand geben. Als um die Mitte der achtziger Jahre die erste Print-Ausgabe dieser Informationsschrift erarbeitet wurde, war die Entwick-

lung von Umweltbewusstsein in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft in vollem Gange. Die Tenside rückten damals in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses, weil sie als eine der am weitesten verbreiteten chemischen Stoffgruppen des täglichen Bedarfs eine große Rolle spielen – sowohl im Haushalt als auch bei industriellen Anwendungen. Außerdem stellen sie damit auch eine mengenmäßig bedeutsame Größe dar: Allein in Westeuropa werden heute jährlich mehr als 2 Millionen Tonnen Tenside verwendet, von denen beträchtliche Mengen am Ende des Verwendungszyklus ins Abwasser gelangen. Auch die Wissenschaft beschäftigt sich bis heute ausgiebig mit Tensiden, so dass inzwischen eine Vielzahl von Untersuchungen, aufgrund des soeben genannten Sachverhaltes beispielsweise zu ihrer biologischen Abbaubarkeit, auf dem Markt erhältlich ist.

Der Verband TEGEWA und der von ihm repräsentierte Teil der deutschen chemischen Industrie griffen das kritische Interesse der Öffentlichkeit auf und steuerten u. a. die Informationsschrift „Die fleißigen Verbindungen, Wissenswertes über Tenside“ bei. Der Erfolg übertraf alle Erwartungen: Insgesamt wurden mehr als 150.000 Exemplare dieser Broschüre an Interessierte verteilt. Vor allem für den Chemieunterricht an Schulen wurde sie als wertvoller Beitrag begrüßt.

In dieser Neuauflage sollen neben der Entstehungsgeschichte, den Anwendungsgebieten und ausführlichen Informationen zur Tensid-Chemie auch aktuelle Erkenntnisse und neue Entwicklungen vorgestellt werden. Die Verwendung von Fachbegriffen ist in manchen Fällen unvermeidbar, die wichtigsten werden im Glossar erklärt. Auch über die Chemie der Tenside wird einiges



zu berichten sein, dies jedoch in einer Form, die auch für die „chemiefernen“ Leserinnen und Leser nachvollziehbar und verständlich sein soll. Die Kapitel bauen nicht zwingend aufeinander auf, sondern können in unterschiedlicher Reihenfolge oder auch selektiv gelesen werden. Es empfiehlt sich jedoch, sich ein wenig Zeit zu nehmen und die Broschüre während einer Fahrt im Zug oder einer Flugreise zum Geschäftspartner von Seite Eins bis zum Ende durchzule-

sen. Am Ende angekommen, sollte die neue Mitarbeiterin im Geschäftsbereich Tenside, der Redakteur, der einen Hintergrundbericht zu den Tensiden anfertigen soll oder die Chemielehrerin, die ihre Schülerinnen und Schüler in die Welt einer interessanten Substanzklasse mit hohem anwendungstechnischem Potenzial einführen möchte, ein Grundwissen erlangt haben, das eine weitere Beschäftigung mit den fleißigen Verbindungen erleichtert.

Geschichte der Tenside

Kurzer geschichtlicher Abriss

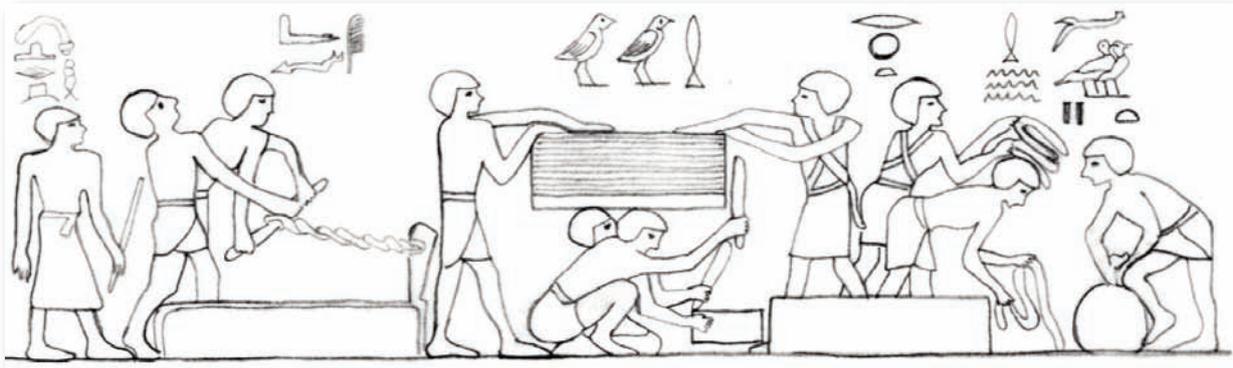
2500 v. Chr.:	„Erfindung“ der Seife durch die Sumerer
7. Jahrhundert n. Chr.:	Die Kunst der Seifenherstellung gelangt nach Spanien
14. und 15. Jahrhundert:	Entwicklung des Handwerks der Seifensiederei in Europa
Anfang des 19. Jahrhunderts:	Entschlüsselung der Struktur der Seife
Anfang des 20. Jahrhunderts:	Entstehung der Tensid-Chemie, ausgedehnte Forschungen und Ausweitung der Anwendungsgebiete

Seife ist das erste, vom Menschen künstlich aus Fett und Alkali (der Begriff kommt aus dem Arabischen für Pottasche oder Aschensatz) hergestellte Tensid. Ein auf die Zeit um 2500 v. Chr. datiertes, auf eine Tonschiefertafel eingeritztes Seifenrezept liefert den Hinweis,

dass bereits die Sumerer in Mesopotamien Seife aus Holzasche und tierischem oder pflanzlichem Fett herstellten.

Im Altertum stand Seife im Ruf eines wirkungsvollen Heilmittels, sie wurde aber auch als





Wäscherei in Ägypten (nach einem Wandbild um 600 v. C.)

„Haarfestiger“ verwendet. Gallier und Germanen verwendeten Seife zum Bleichen und Formen ihrer Haare und stellten beim späteren Reinigen mit Wasser fest, dass sich Schaum entwickelte, der den Reinigungsvorgang förderte. Die dunkelhaarigen Römerinnen besorgten sich Seifenkugeln aus den germanischen Grenzprovinzen, rieben ihre Haare damit ein, setzten sie stundenlang der Sonne aus und erblondeten auf diese Weise. Der Schritt vom Waschen der Haare zum Reinigen des Körpers und der Kleidung war nun nicht mehr weit. Der in Rom lebende Arzt Galenus empfahl bereits im 2. Jahrhundert n. Chr. Seife als Heil-, aber auch als Reinigungsmittel.

Mit den Mauren gelangte im 7. Jahrhundert n. Chr. die Kunst der Seifenherstellung nach Spanien. Dort und im benachbarten Südfrankreich entwickelten sich die ersten europäischen Zentren der Seifenherstellung. Die Seife begann, sich zum Handelsartikel zu entwickeln. Weitere Zentren der Seifenherstellung entstanden in Venedig, Genua, Wien, Augsburg und Nürnberg. Die französischen und italienischen Mittelmeerhäfen waren die ersten großen Umschlagplätze für Seife. Kernseife heißt in Frankreich noch heute „Savon de Marseille“.

Im 14. und 15. Jahrhundert entwickelte sich das Handwerk der Seifensiederei. Es behielt

seine führende Rolle in der Seifenherstellung bis zum Anbruch des Industriezeitalters. Die Fortschritte in der Wissenschaft der Chemie und die Entwicklung industrieller Fertigungstechniken schufen die Voraussetzungen für den Aufstieg der synthetischen Tenside zu einer der bedeutendsten Stoffgruppen in der Hilfs- und Waschmittelchemie.

Dem französischen Chemiker Michel Eugene Chevreul gelang es in den Jahren 1811 bis 1823, die Struktur der Seife, des ursprünglichsten Tensids, zu entschlüsseln. Als Folge davon konnte man einen Zusammenhang zwischen der molekularen Struktur und Reinigungswirkung der Seife herstellen und weitere Substanzen mit ähnlichen tensidischen Eigenschaften synthetisieren.

Da die klassische Seife mit ihrer Alkalität (= Eigenschaften von Basen, wie z. B. die Gefahr der Verätzung), ihrer Anfälligkeit gegenüber hartem Wasser, ihrer Unlöslichkeit in Säuren, ihrer Unbeständigkeit gegen andere Chemikalien sowie ihrer geringen Hautverträglichkeit viel zu wünschen übrig ließ, wurde insbesondere ab Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts intensiv an besseren Lösungen geforscht. Insbesondere deutsche Forscher gaben den Anstoß zu der schnellen Entwicklung in der Tensid-Chemie. Mit der Ausweitung der

Anwendungsgebiete der Tenside wuchs auch deren wirtschaftliche Bedeutung. Die Anzahl der Patente nahm ab 1930 sprunghaft zu. Hohe Investitionen in neu entstehende Märkte wurden getätigt. Alle führenden Chemie-Unternehmen fast aller Industrienationen befanden sich in einem rasanten Wettlauf um die Entwicklung immer besserer Tenside.

Heute gehört die Tensid-Chemie zu den am besten erforschten und wissenschaftlich er-

schlossenen Gebieten. Die Entwicklung neuer Methoden bei der Analyse und Strukturaufklärung von Tensidmolekülen, die unterschiedlichen chromatographischen Methoden, Infrarot- und Ultraviolettspektroskopie, die Messung von Lichtstreuung und Kernspinresonanz, Untersuchungen mit Röntgenstrahlen, Isotopen und Elektronenmikroskopen trugen ganz wesentlich dazu bei.

Tenside – auch in der Natur unersetzbar

Der Name „Tenside“ leitet sich vom lateinischen Namen für ein Phänomen ab, das in der Natur überall zu finden ist – von „tensio“, was so viel heißt wie „Spannung“. Gemeint ist hier die Kraft, die zwei Phasen, wie eine Flüssigkeit und einen Feststoff, die miteinander in Kontakt stehen, zusammenhält und in den Grenzflächen zwischen den Phasen zu Spannungen führt.

Tatsächlich sind Tenside überlebenswichtig: Flora und Fauna (einschließlich des Menschen) produzieren Tenside für ihr Leben und Überleben. Im Organismus von Pflanzen, Tieren und Menschen müssen Flüssigkeiten und Stoffe zahllose Grenzen überwinden – vom Verdauungstrakt zum Blut, aus der Atemluft durch die Lunge zum Blut und umgekehrt, von Zelle zu Zelle – um Leben zu spenden und zu erhalten. Beispiele für solche natürlichen Tenside sind das Lecithin und seine Verwandten: Als Bestandteile der äußeren und inneren Zellmembranen verhindern sie das Eindringen unerwünschter Stoffe in die Zellen. Anderen wiederum ebnen sie den Weg ins Zellinnere.

So sind natürliche Tenside in erheblichem Umfang am Stoffwechsel beteiligt. Ohne natürliche Tenside könnte unser Körper auch eine so wichtige Funktion wie die Atmung nicht bewältigen. Mit ihrer Hilfe wird der Austausch von Gasen über die Lunge ins Blut und umgekehrt ermöglicht und sichergestellt, dass die Lungenbläschen – jene Teile der Lunge, in denen der Gasaustausch zwischen eingeatmeter Luft und Blut stattfindet – beim Ausatmen nicht verkleben, sondern sich für den nächsten Atemzug wieder öffnen. Schließlich würde auch die Fettverdauung ohne Tenside kaum funktionieren: Die am fleißigsten produzierten natürlichen Tenside sind die aus der Leber stammenden Gallensäuren, die nebenbei von Menschen auch als Gallenseife genutzt werden. Sie haben die Aufgabe, Fette aus der Nahrung für die Verdauung vorzubereiten.

Menschliche Leber und chemische Industrie stehen sich in nichts nach: knapp 82 Millionen Bundesbürger produzieren auf natürlichem Wege jedes Jahr in ihrer Leber ungefähr die gleiche Menge an Tensiden, die von der Industrie für den Verbrauch in Deutschland synthetisch hergestellt wird: mehr als 500.000 Tonnen.



Die Chemie der Tenside

Struktur

Alle Tenside, auch die Seife, zeigen eine typische Besonderheit des Molekülbaus. Vereinfacht stellt man ein Tensidmolekül wie ein Streichholz als Stäbchen mit einem dicken Ende dar. Dieser „Kopf“ ist wasserliebend (hydrophil), der Stab dagegen ist wasserab-

weisend (hydrophob) und wendet sich vom Wasser ab. Die widerstrebenden Merkmale der beiden Bauteile des Tensidmoleküls sind der Grund für seine grenzflächenaktiven Eigenschaften: Das Stäbchen wird vom Wasser abgestoßen, der Kopf angezogen.

Darstellung als Streichholzmodell:



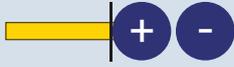
Hydrophobe Baugruppe, d. h. wasserunlöslich bzw. fettlöslich

Hydrophile Baugruppe, d. h. wasserlöslich bzw. fettunlöslich

Der hydrophobe Anteil ist bei allen Tensiden ähnlich und besteht aus einem langkettigen ungeladenen Kohlenwasserstoffrest, manchmal in Verbindung mit einem Benzolring. Der hydrophile Anteil kann sehr unterschiedlich sein, trägt jedoch meistens eine elektrische Ladung. Deshalb werden die Tenside je nach Charakter ihrer hydrophilen Gruppe in vier Klassen eingeteilt: Anionische, nichtionische, kationische und amphotere (= zwitterionische) Tenside. Der

ungeladene (= „unpolare“) Kohlenwasserstoffrest kann, ebenso wie die hydrophile Gruppe, beliebig variiert werden, so dass sich eine fast unendliche Vielzahl möglicher Strukturen ergibt. Die folgende Tabelle stellt einige wichtige Vertreter der gängigen Tenside vor und führt beispielhaft die entsprechenden Anwendungsbereiche für die speziellen Tenside bzw. für Kombinationen von Tensiden (Tensidmischungen) auf.

Tensidklasse	Beispiele	Varianten (Kohlenwasserstoffrest)	Chemische Bezeichnung	Verwendung	Kürzel
Anionisches Tensid (Aniontensid)	 R-CH ₂ COONa	R = C ₁₀ – C ₁₆	Alkylcarboxylat	Körperpflege, Reinigung im Haushalt	Seife
	R-CH ₂ -O-SO ₃	R = C ₁₁ – 13	Fettalkoholsulfate	Kosmetik	FAS
	R-CH ₂ -O-(CH ₂ -CH ₂ -O) _n -SO ₃ Na	R = C ₁₁ – 13 n = 2	Fettalkoholethersulfate	Kosmetik, Reinigung im Haushalt	FAES

Tensidklasse	Beispiele	Varianten	Chemische Bezeichnung	Verwendung	Kürzel
 <p>Amphoterer Tensid (Amphotensid)</p>	$R^1 - \overset{\overset{R^2}{ }}{\underset{\underset{R^3}{ }}{N^{\oplus}}} - CH_2 - COO^{\ominus}$	$R^1 = C_{12-18},$ $R^2, R^3 = CH_3$	Betain	Kosmetik, Spülmittel	

Amphotere Tenside enthalten eine negativ und eine positiv geladene Gruppe im hydrophilen Teil des Moleküls. Wichtigste synthetische Vertreter sind die Betaine. Darüber hinaus gibt es wichtige natürliche amphotere Tenside, z. B. das Lecithin des Eigelbs. Diese Tenside werden,

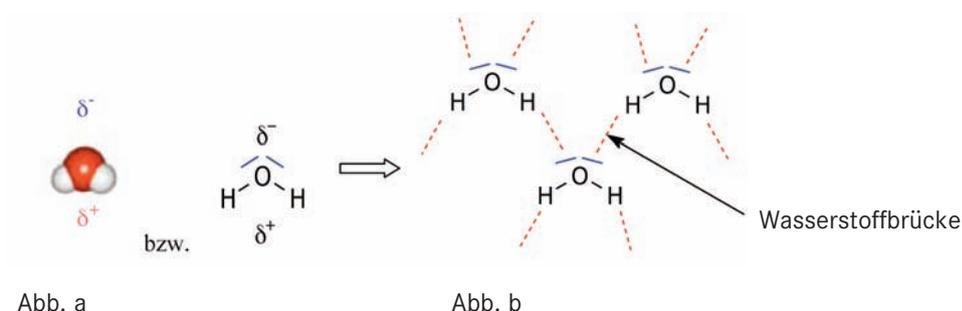
kombiniert mit anionischen Tensiden, in Haarschampoos und in anderen Kosmetikprodukten eingesetzt, da sie die Hautverträglichkeit von anionischen Tensiden wesentlich verbessern helfen und zur Schaumstabilisierung beitragen.

Wirkmechanismen

Herabsetzen von Oberflächenspannung

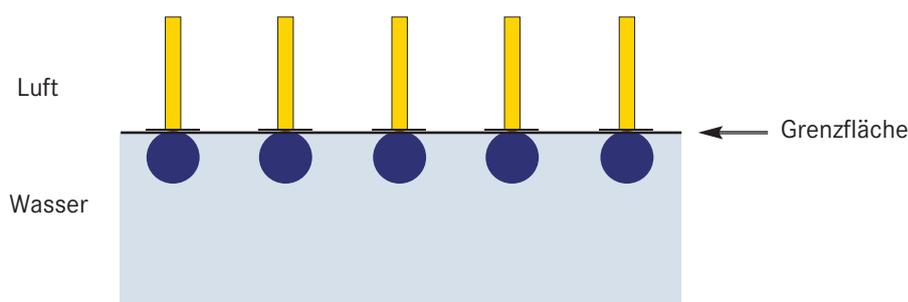
Verantwortlich dafür, dass kleine Insekten auf dem Wasser laufen und eine Rasierklinge oder eine Büroklammer auf der Wasseroberfläche schwimmen können, ist die Oberflächenspannung des Wassers. Dies ist eine Eigenschaft, die dazu führt, dass sich die Oberfläche einer Flüssigkeit wie eine elastische Folie verhält und einen möglichst glatten Zustand mit minimaler dreidimensionaler Ausdehnung anstrebt.

Das Wassermolekül besitzt aufgrund seines gewinkelten Baus zwei polare Enden (Abb. a). Die einzelnen Wassermoleküle lagern sich mit entgegengesetzter Polarisierung aneinander (Abb. b) und die dabei auftretenden elektrostatischen Wechselwirkungen halten die Wassermoleküle zusammen. Diese Art des Zusammenhalts heißt Wasserstoffbrücke.



Die Größe der Oberflächenspannung hängt im Wesentlichen von der Stärke der Anziehungskräfte zwischen den Flüssigkeitsmolekülen ab, also der Stärke der Wasserstoffbrücke. Wasser hat infolge der hohen Polarität der Wassermoleküle und der dadurch bedingten starken Wasserstoffbrücken eine sehr große Oberflächenspannung.

Tensidmoleküle setzen diese Oberflächenspannung deutlich herab. Erklären kann man



Durch Zugabe von Tensiden wird der Zusammenhalt der Wassermoleküle geschwächt und somit die Oberflächenspannung verringert: Jedes unpolare Ende eines Tensidmoleküls strebt in eine unpolare Umgebung (= Luft) und der hydrophile Molekülteil ragt dabei in Richtung polarer wässriger Lösung. Diese Anordnung an Phasengrenzflächen ist für Tenside energetisch günstig, denn der hydrophobe und der hydrophile Molekülteil des Tensids können sich dort so orientieren, dass molekulare Abstoßungskräfte mit der jeweiligen Phase minimiert und molekulare Anziehungs-

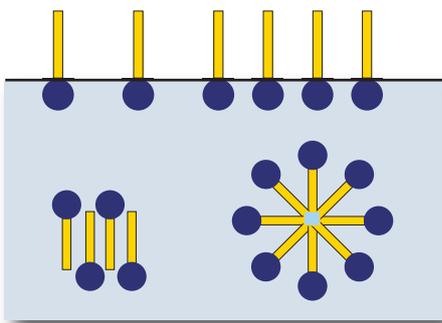
dies mit Hilfe ihrer grenzflächenaktiven Wirksamkeit, was durch den englischen Namen des Tensids „Surfactant = **Surface active agent**“ deutlich zum Ausdruck gebracht wird. Grenzflächen sind die Kontaktstellen zwischen Systemen (Phasen) unterschiedlicher Aggregatzustände (z. B. Grenzfläche Wasser – Luft). Aber auch zwischen zwei flüssigen Phasen, die sich nicht vermischen – wie z. B. Öl und Wasser – liegt eine Grenzfläche vor.

kräfte maximiert werden. An der Wasseroberfläche befinden sich nun zwischen den Wassermolekülen polare Gruppen des Tensids. Die Anziehung zwischen den Wassermolekülen durch die starke Wasserstoffbrücke wird dadurch vermindert und somit ist der Zusammenhalt der Wassermoleküle geschwächt.

Würden daher ein paar Tropfen eines Spülmittels in das Wasser gegeben, so ginge das Insekt, die Rasierklinge oder die Büroklammer augenblicklich unter, das Wasser hätte „keine Haut“ mehr.

Bildung von „Micellen“

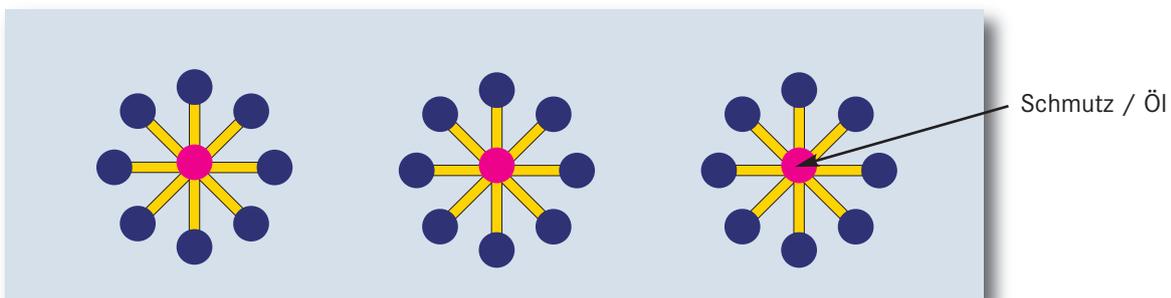
Wenn die Phasengrenzflächen vollständig mit Tensidmolekülen belegt sind, diffundieren die Tensidmoleküle in die Lösung und lagern sich dort kugelig zusammen. Solche Kugeln aus Tensidmolekülen nennt man Micellen (lat.: mica = Körnchen). Dies sind Teilchenverbände von 50 – 1000 Molekülen mit unterschiedlicher Form, abhängig vom jeweiligen Tensid.



Bei den Micellen zeigen die hydrophoben Kohlenwasserstoffketten in das Innere der Kugeln, die hydrophilen Gruppen bilden mit Wassermolekülen Wasserstoffbrücken-Bindungen. Für jedes Tensid gibt es eine spezifische Konzentration, oberhalb derer die Micellbildung

beginnt. Sie wird als kritische Micellbildungskonzentration (CMC) bezeichnet. Da die Micellbildung genau bei der Tensidkonzentration einsetzt, bei der die Oberfläche weitgehend belegt ist, ändert sich die Oberflächenspannung der Flüssigkeit nach einer weiteren Zuführung des Tensids nicht mehr. Viele Eigenschaften von Tensidlösungen, z. B. Schaumbildung, Waschwirkung und Emulgiervermögen kommen erst voll zum Tragen, nachdem die kritische Micellbildungskonzentration erreicht ist.

Der CMC-Wert hängt stark von der Struktur der Tenside ab. Aufgrund ihrer Ladung stoßen sich ionische Tensidmoleküle gegenseitig ab. Die Micellbildung setzt daher bei ihnen erst ab einer recht hohen Konzentration ein. Nicht-ionische Tenside tragen keine Ladung, so dass die für die Micellenbildung erforderliche Konzentration erheblich niedriger ist. Für den praktischen Einsatz in der Anwendung heißt das, dass bei nichtionischen Tensiden geringere Mengen ausreichen, um die volle Wirkung des Tensids zu erhalten. Auch die Form der Micellen hängt von der Tensidkonzentration ab. In verdünnten Tensidlösungen bilden sich bevorzugt Kugelmicellen, bei höherer Tensidkonzentration ergeben sich größere stabförmige Micellen.



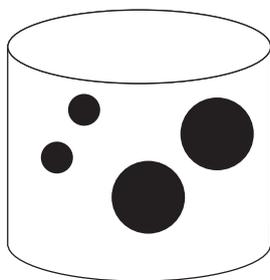
In das Innere solcher Kugelmicellen können hydrophobe Substanzen (z. B. Öle) aufgenommen und auf diese Weise in Wasser gelöst

(= „solubilisiert“) werden. Dies erklärt die emulgierende Wirkung von Tensiden, auf die im folgenden Abschnitt näher einzugehen sein wird.

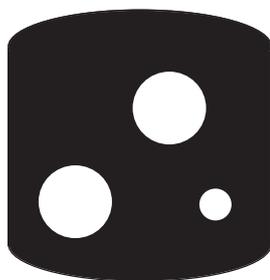
Emulgiervermögen – Dispergiervermögen

Mayonnaise enthält laut Aufdruck auf dem Glas Öl und Wasser. Möchte man Mayonnaise selbst herstellen und gießt zu diesem Zweck Öl in eine Glasschüssel und gibt dann Wasser hinzu, so kann man beobachten, dass die beiden Flüssigkeiten sich nicht miteinander vermischen: unten bleibt das schwere Wasser, oben das leichtere Öl. Auch mit dem Schneebesen lassen sich die beiden Flüssigkeiten nicht vermischen. Zwar wechseln einige Wassertröpfchen zum Öl und einige Öltröpfchen zum Wasser, aber sobald man das Rühren einstellt, kehrt Öl zu Öl und Wasser zu Wasser zurück: Die Phasen trennen sich wieder. Der Trick für selbstgemachte Mayonnaise lautet: Eigelb hinzugeben. Darin sind natürliche, grenzflächenaktive Substanzen – beispielsweise Lecithin – enthalten, die das Vermischen, d. h. das „Emulgieren“, ermöglichen. Emulgatoren haben eine Affinität zu beiden Flüssigkeiten. Sie setzen die Grenzflächenspannung herab, beim Rühren entsteht Mayonnaise. Ihre Ölkonzentration kann 65 Prozent erreichen.

Sind kleinste Öltröpfchen, z. B. Mineralöl, von Wasser umgeben, so spricht man von einer „Öl-in-Wasser“- (O/W-) Emulsion. Wird umgekehrt Wasser in einer nichtwässrigen Flüssigkeit fein verteilt, so entsteht eine „Wasser-in-Öl“- (W/O-) Emulsion.



O/W



W/O

Bei Lebensmitteln finden sich viele Beispiele für Emulgatoren: so ist Kuhmilch eine O/W-Emulsion, in der etwa 3,8% Fett in der wässrigen Phase verteilt sind. Butter dagegen ist eine W/O-Emulsion, in der bis zu 20% Wasser verteilt sein können.

Bei der bekanntesten und am weitesten verbreiteten Anwendung von Tensiden – beim Waschen und Reinigen – werden neben flüssigen Ölen auch feste Rückstände, z. B. Schmutzpartikel, von den Fasern und Oberflächen entfernt und in Lösung gehalten. Dieser Vorgang wird „Dispergieren“ genannt. Das Tensid sorgt dafür, dass die Feststoffe in Lösung bleiben und sich nicht wieder absetzen. Doch nicht nur das, Tensidmoleküle zerkleinern die Schmutzpartikel auch und schließen sie ein, so dass der Schmutz mit der Waschlauge entfernt werden kann.

Benetzen wasserabweisender (hydrophober) Flächen

Viele Anwendungen von Tensiden basieren darauf, dass diese die Benetzung der Oberfläche eines festen Körpers mit einer Flüssigkeit ermöglichen oder verbessern. Der Grad der Benetzung ist abhängig von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit und der Struktur des Festkörpers. Eine geringe Oberflächenspannung der Flüssigkeit und eine hohe Oberflächenspannung des Festkörpers begünstigen eine Benetzung. Weil z. B. Glas eine deutlich höhere Oberflächenspannung als viele Kunststoffe hat, wird Glas von Wasser benetzt, hydrophobe Oberflächen wie Polyester oder Polyamid jedoch nicht.

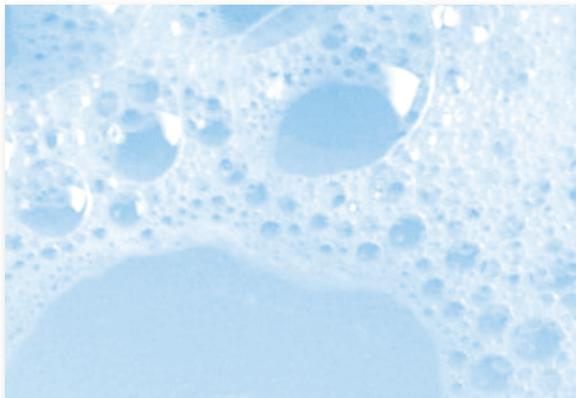
Tenside, die eingesetzt werden, um Oberflächen besser zu benetzen, bezeichnet man als Netzmittel. Das bekannteste Beispiel für die Anwendung der Netzeigenschaften von Tensiden ist sicherlich das Wäschewaschen. Für einen effektiven Waschprozess sollte eine mög-

lichst vollständige Benetzung des textilen Gewebes angestrebt werden, damit nicht nur der Schmutz auf der Oberfläche, sondern auch der tiefer im Gewebe befindliche Schmutz entfernt wird. Weitere Anwendungsbereiche, in denen Tenside in ihrer Funktion als Netzmittel eingesetzt werden, sind zum Beispiel Kosmetik, Malerei, Pharmazie und Pflanzenschutz – Näheres hierzu im Kapitel „Anwendungsgebiete von Tensiden“.

Schaumbildung

Gibt man zerkleinerte Rosskastanien in Wasser und vermischt das Ganze, so entsteht ein feinporiger Schaum. Gibt man Eigelb in wenig Wasser und rührt um, bildet sich ebenfalls Schaum. Eine Schaumbildung erreicht man bekanntlich auch durch Zugabe von Handspülmittel zu Wasser.

Roskastanie, Eigelb und Handspülmittel verbindet eins: Sie enthalten natürliche bzw. synthetische Tenside. Diese ermöglichen die Bildung von Schaum, begünstigen also die Feinverteilung von Luft in Wasser.



Die Fähigkeit der Tenside, Schaum zu bilden, macht man sich bei vielen verschiedenen Anwendungsbereichen zunutze. Beispielsweise werden etliche Reinigungsmittel in Form von Schaum angeboten, etwa die Backofensprays. Schaum wirkt infolge seiner großen Oberfläche stark anziehend (adsorbierend), kann also viele

Schmutzpartikel aufnehmen. So weisen Wollwaschmittel eine hohe Schaumentwicklung auf, damit der Reinigungseffekt auch bei geringerer mechanischer Einwirkung in der Waschmaschine zum Tragen kommt: Auf diesem Wege kann einer Verfilzung der Wäschestücke entgegengewirkt werden, die bei höheren mechanischen Belastungen (Reibung) zu erwarten wäre.

Bei Kosmetika spielen sowohl ökologische und ökonomische Faktoren als auch vor allem dermatologische Eigenschaften – wie Mildheit und Hautverträglichkeit – die Hauptrolle. Auch das Schäumvermögen ist wichtig. Tensid-Restmengen auf gereinigten Haar- und Hautoberflächen dienen als Indikator einer vermeidbaren Überdosierung. Bei einem Schaumbad ist die Schaumbildung erwünscht, weil sie die Entspannung fördert.

Obwohl der Schaum keinen Beitrag zur eigentlichen Reinigungsleistung liefert, ist er bei Handspülmitteln ein wichtiger Indikator für das Schmutzaufnahmevermögen des Spülwassers (Flotte). Reißt die Schaumdecke auf der Spülflotte dauerhaft, so zeigt das in der Regel die Erschöpfung ihrer Reinigungskraft an.

Seifenblasen können aus Wasser, Glycerin und Handspülmittel leicht hergestellt werden. Ihre kurze Lebensdauer erklärt sich unter anderem dadurch, dass die Wassermoleküle zwischen den Tensidschichten nach unten fließen und es so im oberen Bereich der Seifenblase zu einem Aufeinandertreffen der polaren Gruppen der Tensidmoleküle kommt, die sich abstoßen: Die Seifenblase platzt.



Manchmal ist eine Schaumbildung auch unerwünscht. Spülmaschinenreiniger dürfen nicht zu stark schäumen, da die mechanische Reinigungswirkung der Spritzstrahlen vermindert würde. Auch in der Waschmaschine ist eine übermäßige Schaumbildung nicht erwünscht, der Schaum sollte nicht aus der Waschmaschine quellen. Ähnliche Voraussetzungen gelten für Spülstraßen in der Getränkeindustrie. In diesen Bereichen werden wirkungsvoll verschiedene Seifen, Siliconöle oder Paraffinöle als Schaumbremsen (Entschäumer) eingesetzt.

Es ist also vor allem die Neigung der Tenside zur Micellenbildung, die ihre vielfältigen Einsatzmöglichkeiten als Benetzungs-, Emulgier-,

Dispergier- und Schäumungsmittel erklärt. Der Tensid-Forschung ist es gelungen, durch Kombinationen verschiedener Tenside und Additive die für die jeweilige Anwendung gewünschte Wirkung zu erzielen. Die Suche nach neuen Kombinationen und Anwendungsfeldern ist damit jedoch nicht beendet, da immer wieder neue Problemstellungen auch bei bekannten Anwendungen aufkommen, die neue Lösungen erfordern oder weil sich neue Anwendungsgebiete für die Tenside erschließen lassen, an die man vor ein paar Jahren noch nicht dachte.

Wirtschaftliche Bedeutung von Tensiden

Tenside gehören zu den wenigen chemischen Verbindungen, die in Westeuropa in einer Gesamtmenge von jährlich deutlich mehr als 2 Millionen Tonnen für unterschiedlichste Anwendungen eingesetzt werden. Neben preisgünstigen Standardtensiden für die klassischen Anwendungsgebiete finden sich darin auch viele Spezialitäten mit deutlich höherer Wertschöpfung.

Zu den wichtigsten Tensiden zählen Fettalkoholethoxylate, LAS und Alkoholethersulfate. Diese drei Tensidgruppen tragen zu mehr als drei Viertel zu der gesamten westeuropäischen Produktionsmenge bei.

Die gebräuchlichen Tenside werden heute zum allergrößten Teil von global aufgestellten Großunternehmen hergestellt und vermarktet. Nach einer groben Schätzung entfallen etwa

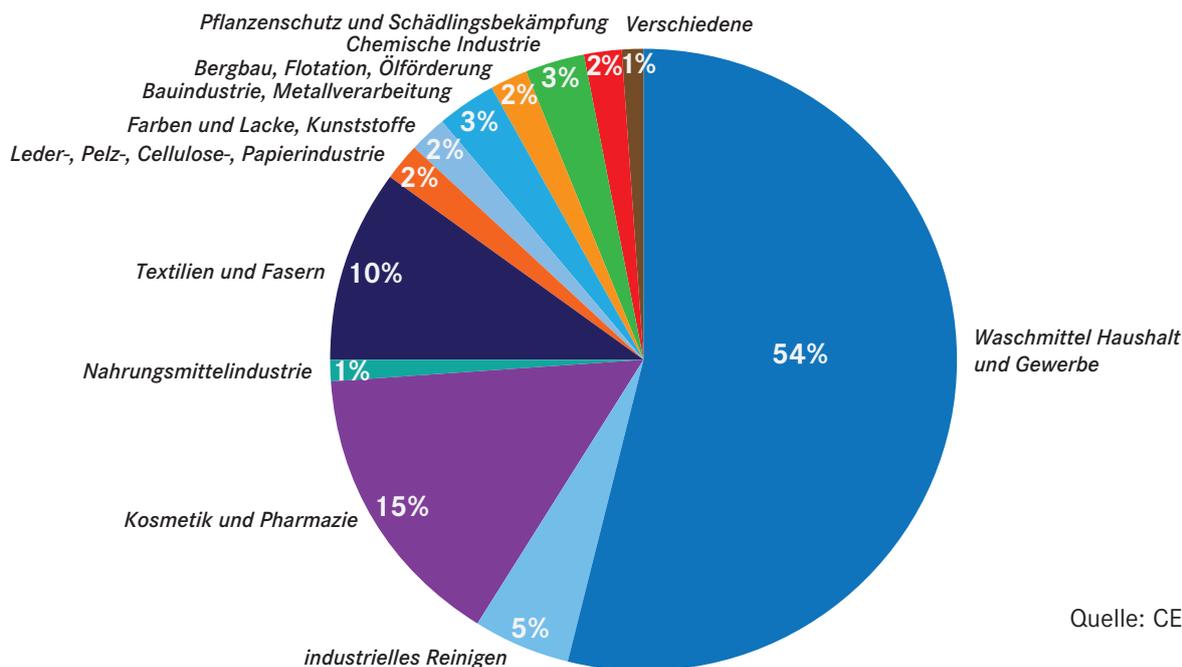
20 Prozent des europäischen Tensidverbrauchs auf Deutschland. Bei einem Gesamtverbrauch von ca. 2,5 Millionen Tonnen in Westeuropa entfallen auf Deutschland ca. 500.000 Tonnen.

Die wirtschaftliche Bedeutung der Tenside lässt sich jedoch nicht allein an dem Ausmaß ihrer Produktion festmachen. Da Tenside in vielen Bereichen und Anwendungsgebieten wichtige Funktionen haben und unerlässliche Systemkomponenten in Gemischen darstellen, sind sie unentbehrlich und weit über ihren substanzspezifischen Wert von wirtschaftlicher Bedeutung für die Industrie und Konsumgüterindustrie. Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Anwendungsgebiete im Überblick und in der gebotenen Kürze vorgestellt.



Anwendungsgebiete von Tensiden

Übersicht: Verwendung von Tensiden in Westeuropa
(Anteil am Gesamtverbrauch in %, Anteile über die letzten Jahre konstant)



Quelle: CESIO

Wasch- und Reinigungsmittel

Waschmittel sind nicht nur das bekannteste der zahlreichen Einsatzgebiete der Tenside: Der Bereich Waschmittel für Haushalt und Gewerbe bestimmt rund 50% des Gesamtverbrauchs an Tensiden in Europa. Tenside mit ihrer Fähigkeit, Fett und Schmutz von den Fasern zu entfernen, sind entscheidender Bestandteil aller modernen Waschmittel. Entsprechend der Vielfalt der Schmutzarten besteht auch der Tensidanteil eines Waschmittels aus einer aufeinander abgestimmten Kombination verschiedener Tenside – in der Regel aus anionischen und nichtioni-

schen Verbindungen. Gemeinsam mit den anderen Inhaltsstoffen müssen sie eine Gesamtleistung erbringen, die sich nicht darauf beschränkt, die Wäsche optisch und hygienisch sauber zu machen. Waschmittel müssen nach dem Öffnen der Packung bis zum letzten Becher rieselfähig sein und bleiben, sollen sich gut lagern lassen, nicht klumpen, müssen sich gut auflösen und in die Waschmaschine einspülen lassen. Um dies alles zu gewährleisten, bedarf die Herstellung von Waschmitteln eines hohen wissenschaftlichen und verfahrenstech-

nischen Aufwandes. Auch die Fähigkeit zur Benetzung spielt bei Wasch- und Reinigungsvorgängen eine wichtige Rolle: Je nachdem, um welche Flüssigkeit es sich handelt, aus welchem Material die Oberfläche besteht und wie deren Beschaffenheit ist – zum Beispiel in Bezug auf die Rauigkeit – benetzt die Flüssigkeit die Oberfläche mehr oder weniger stark.

Tenside haben entscheidend dazu beigetragen, nahezu alle Reinigungsarbeiten im Haushalt zu erleichtern – bei einem Plus an Hygiene, Glanz und Schonung der zu reinigenden Erzeugnisse. Beispiele für ihre überzeugende Leistung bei der Beseitigung von Fett und Verschmutzungen: Geschirrspülen per Hand und mit der Maschine, Säubern in Küche und Bad, die Glanzpflege von Fußböden, das Schuhputzen mit Flüssigpflege und die Autopflege. Hinzu kommt, dass sich mit Tensiden behandelte Materialien leichter pflegen und reinigen lassen, so beispielsweise Teppichböden, die sich durch Tenside nicht mehr statisch aufladen und so keine Staubteilchen anziehen.

Weitere Anwendungsbeispiele

Die Einsatzgebiete von Tensiden sind mittlerweile so vielfältig geworden, dass eine Informationsschrift wie diese keine vollständige Übersicht bieten kann. Streiflichtartig soll ein Eindruck von der enormen Gesamtleistung und Bedeutung der Tenside gegeben werden. Soviel vorweg: Tenside sind nicht nur waschaktiv – sie netzen, verdrängen Öl, Fette und Schmutz, schäumen oder entschäumen, machen Unlösliches löslich (solubilisieren), vermengen nicht mischbare Flüssigkeiten (emulgieren), können feine Teilchen in einer Flüssigkeit beständig schweben lassen (stabilisieren Suspensionen), zerteilen Stoffe in feine Teile (dispergieren), ziehen auf Oberflächen auf und geben diesen neue Eigenschaften und vieles andere mehr. Aus einer solchen Vielfalt von Eigenschaften ergeben sich zahlreiche Verwendungsmöglichkeiten. Zur Illustration einige weitere Beispiele:

Bauindustrie

Als Verflüssiger sind Tenside die Voraussetzung für Fließbeton. Außerdem dienen sie als Luftporenbildner in Leichtbeton, als Betonverdichtungsmittel und Einpresshilfen. Als Mörtelzusatz helfen sie bei der Plastifizierung und als Dichtungs- bzw. Stabilisierungsmittel. Unerlässlich sind sie bei der Formulierung von Schalölemulsionen, bei der Herstellung von geschäumten Gipsplatten und bei Anstrichdispersionen. Auch bei der Bitumenverarbeitung im Straßenbau werden Tenside eingesetzt.

Bergbau

Beim Flotationsverfahren sind Tenside an der Gewinnung von Mineralien, Kohle und Erzen aus gehaltsärmeren und uneinheitlichen Gesteinen beteiligt. Im Kohlebergbau binden sie Kohlestaub, und bei der Herstellung von „Kohle-Wasser-Slurries“ machen sie es möglich, dass fein gemahlene Kohle wie Heizöl gepumpt und dosiert werden kann.

Brandbekämpfung

Tensidhaltige Löschsäume (z. B. Schaumteppich auf Flughäfen) ersticken Feuer durch die Unterbindung der Sauerstoffzufuhr und machen eine Benetzung möglich. Spezielle



Tenside ermöglichen, dass Wasserschum auf brennendem Benzin schwimmt und dieses komplett bedeckt.

Chemische Industrie

Auch dort, wo ihre Leistung für den Verbraucher nicht sofort ersichtlich ist, sind Tenside unentbehrlich, zum Beispiel in der chemischen Industrie:

Tenside bieten Vorteile bei Reaktionen in heterogenen Systemen, beispielsweise wirken sie als Transportmittel bei der Phasentransfer-Katalyse.

Durch das Aufsprühen von Tensidlösungen können staubförmige Chemikalien besser und sicherer verarbeitet werden.

Die Rieselfähigkeit von pulverförmigen Substanzen (z. B. Düngemittel) wird durch Tenside erhöht, weil sie eine Klumpenbildung vermeiden helfen.

Klebstoffdispersionen enthalten Tenside zum Emulgieren der Einsatzstoffe und zur Verbesserung der Benetzungseigenschaften.

Erdölförderung

Bei der Rohölgewinnung kommt es im Laufe der Förderung zu einer zunehmenden Verwässerung des Rohöls, die zur Bildung von Wasser/Öl-Emulsionen führt. Durch den Zusatz von Tensiden (Erdölemulsionsspartern) wird eine schnelle und vollständige Trennung der Emulsion in Öl- und Wasserphase erreicht.

Bei konventionellen Fördertechniken (Primärförderung) bleiben signifikante Rohölmengen in den Lagerstätten zurück. Durch Einpressen von Wasser (Sekundärförderung) kann

der Entölungsgrad verbessert werden – optimiert durch das Auswaschen mit Tensidlösungen (Tertiärförderung). Bei stark gekrümmten Bohrungen werden Bohrspülungen auf Ölbasis eingesetzt, um Reibungsverluste und den Nachfall der Deckschichten zu vermindern. Zur Herstellung der erforderlichen Wasser/Öl-Emulsionen werden Tenside eingesetzt. Bei langwierigen Bohrarbeiten reichern sich in wasserbasierten Spülungen feinste Staubteilchen an, deren Verklebung (Agglomeration) zu unerwünschter Viskositätssteigerung führt. Durch Zusatz von Tensiden werden die Feststoffe redispersiert, die Viskosität der Bohrspülung bleibt konstant.

Farben, Lacke, Dispersionen

Tenside dienen als Dispergiermittel für Farbpigmente sowie für Ruß und ermöglichen deren energiesparende Vermahlung. Sie stabilisieren die Farben und erleichtern das Wiederaufrühren und Homogenisieren. Öllösliche Tenside stabilisieren zudem lösemittelhaltige Lacke, aber auch die modernen Wasserlacke wären ohne spezialisierte Tenside nicht denkbar. Bei Pulverlacken verbessern sie die elektrische Leitfähigkeit und machen das besonders rostsichere elektrophoretische Lackierverfahren – die elektrische Anziehung der Lackteilchen durch elektrisch aufgeladene Werkstücke – möglich, mit dem heute z. B. alle Autokarosserien geschützt werden. Als Entschäumer verhindern sie die Kraterbildung beim Streichen und Spritzlackieren. Als Verlaufsmittel erhöhen sie die Gleichmäßigkeit und den Glanz der Lackoberfläche. In der Malerei muss die aufgetragene Farbe die Leinwand benetzen, um einen einheitlichen Farbfilm zu ergeben – auch dies ermöglichen Tenside.

Gastronomie

Das Geschirrspülen in Gaststätten, Restaurants und Kantinen wird mit Hilfe von Tensiden bewältigt. Durch ihr Netz- und Ablaufverhalten tragen sie entscheidend dazu bei, dass Porzellan und Glas sauber, glänzend und fleckenfrei aus den Maschinen kommen. Um gute Reinigungsleistungen zu erzielen, arbeiten moderne Spülautomaten mit hohem Wasserdruck. Deshalb müssen die Spülmittel besonders schaumarm sein. Es gibt sogar spezielle Spülmittel für Biergläser, denn die üblicherweise in Geschirrspülmitteln verwendeten Tenside hemmen die beim Bier erwünschte Schaumbildung.

Getränkeindustrie

Ohne Tenside wären die Schnellreinigung von Flaschen und die Desinfektion von Rohrleitungen oder Tanks nicht denkbar. Durch ihre Netzwirkung werden die Reinigungsleistung und die Ablösung von Etiketten verbessert. Die gereinigten Flaschen enthalten kein Restwasser und zeigen hohen Glanz. Dies alles geschieht ohne Schaumprobleme trotz hoher Belastung bei Reinigungsleistungen von mehr als 100.000 Flaschen pro Stunde und Spülstraße.

Haushalt

Wie weiter oben bereits erwähnt stellt die Nutzung tensidhaltiger Produkte im privaten Haushalt eines der wichtigsten Anwendungsgebiete dar. Die Schwerarbeit leistet heute die Waschmaschine mithilfe entsprechender Tensidkombinationen. Für die Feinwäsche stehen ebenso wirkungsvolle wie Textilien und Hände schonende Tenside zur Verfügung. Spezielle Tenside dienen als Weich-

spüler von Textilien und verhindern so das Kratzen frisch gewaschener Kleidungsstücke. Gleichzeitig wirken sie der elektrischen Aufladung der Fasern entgegen. So sorgen sie dafür, dass die Reinigungswirkung länger anhält, denn aufgeladene Fasern und Haare ziehen Schmutzteilchen an. Spezielle schwach schäumende Tenside leisten die Hauptarbeit in der Geschirrspülmaschine. Für das Spülen von Hand gibt es dagegen schäumende und gut hautverträgliche Tenside. Für die Reinigung von Böden, Fenstern und Bädern gibt es Tenside mit hoher Reinigungskraft, die kein Nachwischen erfordern.

Kosmetik

Tenside sind wesentliche Bestandteile oder unverzichtbare Hilfsmittel in fast allen kosmetischen Erzeugnissen und Präparaten: Sie reinigen und schäumen in Shampoos und Haarspülungen, Duschgels, Seifen, Flüssigseifen und Badezusätzen.

In den Augen beißende Shampoo-Tenside gehören seit langem der Vergangenheit an. Milde „Baby Shampoos“ mit hautschonenden Tensiden und pflegenden Zusätzen sind auch für die Körper- und Haarpflege der Erwachsenen zum Standard geworden.

Hautverträgliche Tenside wirken als Emulgatoren: Sie stabilisieren die feinen Wasser- bzw. Öltröpfchen in Cremes und dünnflüssigen Lotionen. Emulsionen ziehen schnell in die Haut ein, bilden keinen fettglänzenden Film und verursachen keine Fettflecken in der Kleidung – bei pflegenden Kosmetika genauso wie bei Sonnenschutzpräparaten. Tenside ermöglichen darüber hinaus die feine Verteilung von Farbpigmenten in Make-up und Lippenstift.



Ebenso verteilen sie Parfümstoffe in Duftwässern, Aftershaves und Haarwässern. Tenside sind in Haarfarbe- und Haarpflegemitteln genauso zu finden wie in Rasier- oder Zahncremes.

Das Spektrum der Tenside für Körperpflege und Kosmetik ist außerordentlich breit und reicht von besonders hautverträglich (Babypflege) oder schleimhautverträglich (Zahncremes) über geschmacksneutral, stark oder schwach schäumend bis hin zu stabil gegen überfettende Öle – und das alles flüssig, als Paste, pulverförmig, klar, milchig, mit Perlglanz usw.

Kunststoffe

Die Herstellung von Dispersionen und einigen Kunststoffen wie zum Beispiel PVC ist ohne Tenside nicht möglich. Zur Herstellung des PVC-Polymers aus VC-Monomeren gibt es zwei Verfahren: die Emulsions- und die Suspensionspolymerisation. Beim erstgenannten Verfahren werden die Monomere zusammen mit Initiatoren der Polymerisation mithilfe von Tensiden in Wasser gelöst. Das entstehende Polymer bildet eine Dispersion (Emulsion). Beim zweiten Verfahren wird das in Wasser unlösliche Monomer mithilfe von Tensiden in Wasser suspendiert. Das entstehende Polymer ist perlenförmig.

Bei der Produktion von Schaumkunststoffen spielen Tenside eine wichtige Rolle und ermöglichen so Fortschritte in der Wärme- und Schalldämmung. Tenside helfen bei der Stabilisierung von Kunststoffdispersionen, bei der Herstellung von Mikrokapseln und dienen in der Kunststoffverarbeitung als Formtrennmittel.

Leder

Tenside sind bei der Herstellung von Leder an vielen Arbeitsprozessen beteiligt:

In der sogenannten Wasserwerkstatt einer Gerberei, in der die Rohhäute gereinigt, enthaart und auf die Gerbung vorbereitet werden, verkürzen sie die Weichdauer der Häute und beschleunigen die Wirkung der in der Wasserwerkstatt eingesetzten Äscher- und Entkalkungsmittel.

Bei der Entfettung entfernen Tenside das störende Naturfett, ebnen den Weg für Gerbstoffe und ermöglichen eine gleichmäßige Färbung. Andererseits machen sie Leder dauerhaft weich oder finden sich in „selbstemulgierenden“ Fetten, bei denen Fettkörper und Tensid in einem Molekül vereint sind.

Unentbehrlich sind sie auch als Stabilisator von sogenannten Lickeremulsionen für die Lederfettung und in Polymerdispersionen für die Oberflächenveredlung von Leder.

Metallbe- und -verarbeitung und industrielle Reinigungsprozesse

Auch hier finden Tenside ein breites Einsatzgebiet vor: Sie befreien Metalloberflächen von Oxidschichten und Fetten, wichtig für die Lackierung oder Galvanotechnik, um korrosionsfeste Überzüge zu erhalten. In Walzölemulsionen helfen sie beim Falzen und Ziehen.

Bei der sogenannten spanabhebenden Metallbearbeitung (Schneiden, Fräsen, Bohren) müssen die Werkzeuge zur Vermeidung von Reibungshitze eingefettet werden. Nach der Bearbeitung müssen die Werkstücke wieder entfettet werden. Die dazu erforderlichen Kühlschmiermittel sind durch Tenside erst möglich. Sie dienen beim

Metallguss als Netzmittel und sind unentbehrlicher Bestandteil von Beizen, Abschreckmitteln für die Stahlhärtung, Formtrennmitteln, Korrosionsschutzmitteln und Oxidationsinhibitoren. In vielen Fällen leisten Tensid-Kombinationen anstelle inzwischen verbotener chlorierter Lösemittel gute Dienste. Auch die Druckindustrie benötigt Tenside für das Reinigen der Walzen.

Mineralölindustrie

Aus Umweltschutzgründen werden heute die Abgase aus dem Kurbelgehäuse der Verbrennungsmotoren nicht mehr ins Freie, sondern in das Ansaugsystem für das Benzin/Luft-Gemisch zurückgeführt. Dieses mit Verbrennungsrückständen angereicherte Abgas führt zur Bildung harzartiger Ablagerungen in den Ansaugkanälen bzw. auf den Einlassventilen von Automotoren. Durch ausgewählte Tenside werden solche Ablagerungen vermieden bzw. deutlich reduziert.

Motorenöle sind im Laufe eines Ölwechselintervalls starken thermisch-oxidativen Belastungen ausgesetzt. Die Zersetzungsprodukte des Öls müssen zu jeder Zeit in Dispersion bleiben und dürfen sich nicht an den Metallwandungen bzw. in den Ölfiltern ablagern. Hierzu tragen Tenside und Dispergatoren entscheidend bei. Ohne solche Additive sind moderne Mehrbereichsmotorenöle nicht denkbar.

Nahrungsmittel

Margarine kann ohne lebensmitteltaugliche naturidentische Tenside nicht hergestellt werden, da sich Wasser- und Fettphase unmittelbar voneinander trennen und keine stabile Emulsion bilden würden.

Speiseeis wäre ohne Emulgatoren nicht glatt und cremig, sondern infolge der Bildung großer Wasserkristalle sehr rau.

Mayonnaise kann im Prinzip ohne Zusatz von künstlichen Emulgatoren hergestellt werden, da die Lecithine im Eigelb Tenside darstellen. Wird bei der industriellen Herstellung wegen der Gefahr von Salmonelleninfektionen kein Ei verwendet, müssen synthetische Emulgatoren zugesetzt werden.

Backwaren erhalten durch tensidähnliche Emulgatoren stark verbesserte sensorische Eigenschaften (Krume und Kruste) und bleiben länger frisch.

Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung

Auch hier sind es vor allem die Emulgier- und Dispergiereigenschaften, die an den Tensiden geschätzt werden:

Für viele Pflanzenschutzmittel ist die Benetzung der Blätter unerlässlich, da die Wirkstoffe oft über die Blätter aufgenommen werden müssen. Tenside verhindern ein Abperlen der Spritzlösung von der Blattoberfläche, ermöglichen eine gleichmäßige Verteilung des Wirkstoffs auf dem Blatt und erleichtern das Eindringen des Wirkstoffs durch Spaltöffnungen und Membranen ins Blatt. Tenside erhöhen die Wirkung der Einsatzstoffe.

Pharmazie und Gesundheitswesen

Tenside werden benötigt zur Herstellung von Cremes, Lotionen, Tropfen, Sirups, Zäpfchen und Kapseln. Bei der Herstellung verschiedener Arzneiformen sind sie notwendig, um öllösliche oder wasserunlösliche Substanzen zu verarbeiten. Dabei haben sie in vielen Fällen einen positiven Einfluss auf die Wirkstoff-Freigabe.



Die Benetzungseigenschaften der Tenside sind im Zusammenhang mit Tabletten wichtig: Deren Benetzung ist die Voraussetzung für die Dispersion des Wirkstoffs im Verdauungstrakt.

Textil- und Faserindustrie

Tenside finden in der Textilindustrie ein weites Anwendungsfeld als Wasch- und Reinigungsmittel, zum Entbasten von Rohseide, zum Walken von Wolle, als Entschäumer bei verschiedenen Verfahrensstufen, zum Emulgieren und Dispergieren von Ölen und Wachsen. Beim Präparieren von Fasern und beim Schlichten von Garnen erfüllen Tenside spezielle Funktionen, z. B. als Kettenglättmittel, als Antistatika, als Klebmittel usw. Beim Waschen von Synthefasern werden die aufgebrachten Präparationen und Schlichten emulgiert und dispergiert, womit Flecken bei der Weiterverarbeitung, wie z. B. beim Färben, vermieden werden.

Nach dem Weben fördern Tenside eine rasche Durchnetzung des Gewebes und ermöglichen somit ein Quellen und schnelles Abbauen der Schlichte. Bei der Vorbehandlung von Baumwolle tragen sie zu einer gleichmäßigen Wirkung der textilveredelnden Chemikalien bei und verbessern damit beispielsweise die Gleichmäßigkeit von Färbungen und Drucken. Tenside erleichtern den Einsatz von höchst feinkörnigen Farbpigmenten. Dadurch werden textile Farbmittel wirtschaftlicher genutzt und gleichzeitig Restmengen zur Entlastung der Umwelt reduziert. Beim Färben dienen Tenside gleichermaßen als schaumfreie Netzmittel zur gleichmäßigen Imprägnierung, wirken beim Färbe-

prozess egalisierend und dispergieren beim Nachseifen unfixierten Farbstoff zur Verbesserung der Echtheiten.

Auch bei den dem Färbvorgang folgenden Ausrüstungsprozessen leisten Tenside wertvolle Hilfe. Sie sind in zahlreichen Textilausrüstungen wie Appreturen, Avivagen, Flammschutz- und Wasserfestmitteln enthalten.

Als die vollsynthetischen Fasern aufkamen, mussten zum Teil völlig neue Färbe- und Veredlungsverfahren entwickelt werden. Tenside spielten dabei eine wesentliche Rolle. Schnellere Maschinen für das Verspinnen und Zwirnen verlangten den Abbau elektrostatischer Ladungen und Fasern mit besonders guten Gleit- und Hafteigenschaften. Tenside brachten die Lösung. Die Nadeln extrem schneller industrieller Nähmaschinen laufen bei mehr als 100 Stichen in der Sekunde so heiß, dass sie Löcher in den Stoff brennen. Durch den Einsatz von Tensiden wird dies vermieden, weil sie die Fasern im Gewebe so geschmeidig machen, dass sie der Nadel blitzschnell und nahezu reibungslos ausweichen.

Zellstoff- und Papierindustrie

Tenside dispergieren die harzigen Bestandteile des Zell- oder Holzstoffes. Sie erhöhen die Weichheit und Saugfähigkeit von Papieren, was vor allem im Hygienebereich (z. B. bei Papiertaschentüchern) eine Kernfunktion ist. Tenside halten Siebe und Saugwalzen sauber und sorgen für einen störungsfreien Lauf der Papiermaschine. Beim Recycling von Altpapier sorgen Tenside für die Entfernung der Druckfarbe und bereiten so die Wiederverwendung vor.



Tenside – Relevanz für Umwelt und Verbraucher, umweltpolitische Konsequenzen und Strategien der Industrie

Unter dieser Kapitelüberschrift können lediglich die Meilensteine zur Verbesserung der Umweltbilanz von Tensiden sowie ihrer Humanverträglichkeit von 1960 bis heute dargelegt werden. Dabei stehen von Anfang an bis heute Fragen des biologischen Abbaus im Zentrum des Interesses. Daneben haben sich seit den 90er Jahren zahlreiche Aktivitäten entwickelt, mit denen Risikobewertungen von Tensiden für Mensch und Umwelt durchgeführt wurden. Mit dem Inkrafttreten der europäischen REACH-Verordnung im Jahr 2007 (Verordnung (EG) Nr. 1907/2006) wurde ein umfassendes Prüfprogramm für alle in der EU produzierten bzw. verwendeten Substanzen in Mengen größer eine Tonne pro Jahr und Hersteller bzw. Importeur gesetzlich verankert. REACH steht

dabei gleichsam als Abkürzung für „Registrierung, Evaluierung und Autorisierung chemischer Stoffe“ in der Europäischen Union.

Dieses EU-Gesetz wird in mehreren Etappen bis zum Jahr 2018 umgesetzt. Daneben gibt es zahlreiche Aktivitäten, die die „Nachhaltigkeits-Performance“ der Tenside quantifizieren bzw. verbessern sollen. Dazu gehört u. a. die Bewertung von Tensiden hinsichtlich ihres CO₂-Fußabdrucks, mit dessen Kurzdarstellung dieses Kapitel endet. Tatsächlich ist der ökologische Fußabdruck von Tensiden im Vergleich zum Erhitzen des Wassers bei der Wäsche oder der Dusche aber sehr gering. Tenside können am wirksamsten CO₂-Emissionen senken, indem Reinigungen bei niedrigen Temperaturen durchgeführt werden.

1. Umweltauswirkungen von Tensiden

Die vielseitige Verwendbarkeit der Tenside beruht auf ihrer Grenzflächenaktivität und den daraus resultierenden Eigenschaften. Doch mit ihrer Entspannungswirkung beeinflussen sie auch biologische Oberflächen, weshalb Schädigungen von Organismen in Betracht gezogen werden müssen: Gibt man Tenside beispielsweise in einen See, reduziert sich die Oberflächenspannung des Wassers, wodurch der Luftaustausch nicht mehr richtig funktioniert; die Sauerstoffaufnahme der Fische wird gestört.

Diese aquatische Toxizität spielt bei der Bewertung der Umweltverträglichkeit von Tensiden die entscheidende Rolle, weil Tenside vielfach nach bestimmungsgemäßem Gebrauch in das

Abwasser gelangen. Dieses wird anschließend üblicherweise einer biologischen Kläranlage zugeführt. Das geklärte, biologisch gereinigte Abwasser wird dann in der Regel in Oberflächengewässer, wie z. B. Flüsse und Seen, geleitet. Um die Umweltverträglichkeit von Tensiden gewährleisten zu können, muss daher sichergestellt werden, dass Tenside in Gewässern keine Konzentrationen erreichen, die für die dort lebenden Organismen, von Bakterien über Pflanzen bis zu den Tieren, kurz- oder langfristig eine Gefahr darstellen könnten.

Der biologische Abbau stellt den wichtigsten Vorgang dar, durch den Tenside und auch andere, vom Menschen in die Umwelt eingetragene Substanzen aus dem (Ab-)Wasser (und



auch aus Böden) wieder entfernt werden. Eine gute biologische Abbaubarkeit von Tensiden ist somit die Grundvoraussetzung für die Gewährleistung der Umweltverträglichkeit der Tenside, d. h. Bedingung dafür, dass die Konzentration der Tenside in Gewässern verlässlich unterhalb der ökotoxikologischen Wirkschwelle für Wasserorganismen bleibt.

Der biologische Abbau einer organischen Substanz, z. B. eines Tensids, ist ein natürlicher Vorgang, der von Mikroorganismen wie Bakterien oder Pilzen bewirkt wird. Sie wandeln

die organische Substanz mit Hilfe von Enzymen ihres Stoffwechsels in einem mehrstufigen Prozess in körpereigene Substanz um oder bauen sie zu einfachen anorganischen Verbindungen wie Kohlenstoffdioxid, Wasser und evtl. anorganischen Salzen (vereinfacht: Mineralsalze) ab. Die organischen Substanzen werden von den Mikroorganismen dabei als Energie- und Kohlenstoffquelle für ihre Lebensprozesse und zur Bildung neuer Biomasse genutzt oder dienen als Quelle essentieller (Nähr-)Elemente (Stickstoff, Phosphor, Schwefel).

Die europäische Gesetzgebung zum biologischen Abbau von Tensiden

Der biologische Abbau eines Tensids ist ein mehrstufiger Prozess, der in der Regel in Gegenwart von (Luft-)Sauerstoff (und damit unter sogenannten aeroben Bedingungen) erfolgt.

Der erste Abbauschritt wird als **Primärabbau** bezeichnet. Er führt bei den Tensiden zum Verlust der Grenzflächenaktivität und damit der typischen Tensideigenschaften. Da die Giftigkeit für Wasserlebewesen mit dieser Grenzflächenaktivität zusammenhängt, verringert sich diese bei den meisten Tensiden bereits durch den Primärabbau deutlich.

Das Produkt des Primärabbaus wird nachfolgend in weiteren Abbauschritten in immer kleinere und einfachere Zwischenprodukte zerlegt, bis zuletzt alle Bausteine der Ausgangsverbindung in Kohlenstoffdioxid, Wasser, anorganische Salze und in Biomasse (bakterielle Zellmasse) umgewandelt sind. Man spricht dann vom **End- oder Totalabbau**.

Ein Tensid gilt als **leicht abbaubar**, wenn es in einem sogenannten Screening-Test bei vorgegebener Messmethode und Zeitdauer einen bestimmten Schwellenwert, einen sogenannten Pass level, erreicht oder übersteigt (vgl. die Erläuterungen zu den Screening-Tests und die Darstellung der Methoden im Anhang).

Da sich bei den meisten Tensiden die aquatische Toxizität schon durch den Primärabbau deutlich verringert, hatte dieser für die Umweltverträglichkeit eines Tensids eine große Bedeutung. Aus diesem Grund wurde in den meisten europäischen Ländern in der Vergangenheit für die in Wasch- und Reinigungsmitteln hauptsächlich eingesetzten Tensidgruppen, die anionischen und die nichtionischen Tenside, gesetzlich nur die Primärabbaubarkeit gefordert. Bereits 1964 wurde in der Bundesrepublik Deutschland für die Verwendung von anionischen Tensiden in Wasch- und Reinigungsmitteln eine biologische Mindestabbaubarkeit von 80 Prozent im Primärabbau gesetzlich vorgeschrieben. Auf eben diesen Primärabbau bezieht sich die häufig auf Tenside in Verbraucherprodukten bezogene Aussage „zu mindestens 90 Prozent abbaubar“. Im Zuge des Zusammenwachsens Europas ist Umwelt- und Gewässerschutz längst zu einer euro-



päischen Angelegenheit geworden. In mehreren Stufen wurden die Anforderungen an die biologische Abbaubarkeit von Tensiden, die in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt werden, verschärft, mit dem Ziel, dass langfristig alle chemischen Bausteine des Tensids wieder in den natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt werden. Heute gilt EU-weit die am 8. Oktober 2005 in Kraft getretene europäische Verordnung EG Nr. 648/2004 (Detergenzien-Verordnung), die nur noch biologisch leicht und damit total abbaubare Tenside zulässt.

Der erste Anstoß zur Entwicklung jener umweltfreundlichen Tenside, die heute Standard sind, wurde im Sommer 1959 gegeben: Damals bildeten sich vor allem an Wehren und Schleusen Schaumberge auf der Wasseroberfläche. Der Verursacher – ein Waschmitteltensid, das biologisch schlecht abbaubar war – wurde gleich darauf aus dem Verkehr gezogen, der Einsatz dieser Tensidgruppe gesetzlich verboten.

So war ein Tensid nicht nur ein Anlass dafür, dass die Bundesrepublik Deutschland zu einem Vorreiter in der Umweltgesetzgebung wurde. Es gab auch den Anstoß für den systematischen Wandel, der die technische Entwicklung dieser chemischen Stoffgruppe seitdem maßgeblich beeinflusst hat: Unter Beibehaltung und Verbesserung der positiven Eigenschaften wurde die Verträglichkeit für Gewässer und die darin lebenden Organismen stetig optimiert. Mit dem Erfolg, dass die Tenside von heute eine neue Generation chemischer Stoffe darstellen.

Gemeinsam mit der fortentwickelten Klärtechnik und einer bewussteren Anwendung in Rezepturen und Produkten sind sie ein eindrucksvoller Beweis für die Bereinigung eines Umweltproblems. In internationaler Zusammenarbeit hat die Industrie gemeinsam mit wissenschaftlichen Institutionen sowie nationalen und EU-Behörden ein Beispiel für die Zusammenarbeit zum Nutzen der Umwelt gegeben. Die folgenden Abschnitte sollen dies noch einmal verdeutlichen.

Testverfahren zur Umweltauswirkung von Tensiden

Ein umfangreiches wissenschaftliches Instrumentarium steht heute zur Überprüfung des Abbauverhaltens von Tensiden zur Verfügung. Alle Verfahren zielen darauf ab, die Messwerte vergleichbar zu machen. Neben einfachen standardisierten Testverfahren (Screening-Tests) gibt es wesentlich aufwändigere genormte Kläranlagen-Simulationstests, die praxisnah den Umfang des biologischen Abbaus von Tensiden bestimmen. Klarheit über die Wirkung von Tensiden auf Gewässerorganismen bringen ökotoxikologische Untersuchungen, die in einer ersten Stufe mit der Ermittlung der kurzzeitigen (akuten) Wirkung auf wichtige (Mit-)Glieder der Nahrungskette im Wasser wie Bakterien, Algen, Kleinkrebse (Daphnien) und Fische beginnen. Basierend auf diesen Erkenntnissen schließen sich Untersuchungen zur Langzeittoxizität (subchronische/chronische Wirkung) gegenüber den einzelnen Organismengruppen an. Dabei wird insbesondere die höchste Testkonzentration ermittelt, bei der keinerlei Auswirkungen im Vergleich zu Kontrollen mehr zu beobachten sind (no observed effect concentration, NOEC). Aus all diesen Untersuchungen lässt sich unter Einbeziehung von Sicherheitsfaktoren eine nach heutigem Kenntnisstand sichere Prognose der Stoffkonzentration ermitteln, bei der kein Effekt in der Umwelt mehr auftritt (predicted no effect concentration, PNEC). In dem nachfolgenden Exkurs für besonders interessierte Leser sollen diese Zusammenhänge zwischen tatsächlicher



Stoffkonzentration (predicted environmental concentration, PEC) und einer „tolerierbaren“ Stoffkonzentration (PNEC) etwas näher verdeutlicht werden.

Umwelt-Risikobewertung von Tensiden – Testdaten, Sicherheitsfaktoren und PEC/PNEC-Verhältnis

In der nach dem Inkrafttreten von REACH (s. unten) aufgehobenen Verordnung zur Bewertung der sogenannten Altstoffe (EG Nr. 793/93) hatte die Europäische Union (EU) vor vielen Jahren ein Prüfschema für Chemikalien festgelegt, mit dessen Hilfe man erkennen kann, ob von chemischen Stoffen Gefahren für die Umwelt ausgehen. Der Fachbegriff dafür heißt: Environmental Risk Assessment.

Beim Vergleich der in Umweltmessprogrammen und Monitoringstudien ermittelten bzw. in Rechenmodellen vorausgesagten Tensidkonzentrationen (predicted environmental concentration, PEC) in Fließgewässern mit den auf ökotoxikologischen Untersuchungen basierenden PNEC-Werten (predicted no effect concentration) lässt sich, soweit vorweg das Ergebnis, die folgende Schlussfolgerung ziehen: Mit dem Einsatz von heute gebräuchlichen Tensiden ist nach aktuellem Kenntnisstand keine Gefährdung für die Lebewesen in der aquatischen Umwelt verbunden. Voraussetzung ist aber, dass die guten Abbaueigenschaften der Tenside bei der Abwasserreinigung in biologischen Kläranlagen zum Tragen kommen.

Nun jedoch zum Verfahren der Risikobewertung, das bis heute in dieser grundlegenden Form praktiziert wird:

Bei der Ermittlung der zu erwartenden Konzentration einer Chemikalie in der Umwelt (**PEC**) werden neben experimentellen Daten zur biologischen Abbaubarkeit auch Verbrauchsmengen, Verdünnungseffekte, expositionsrelevante physikochemische Parameter (z. B. Flüchtigkeit,

d. h. Entweichen in die Luft), Adsorptionsfähigkeit an Oberflächen (Adsorption an Klärschlamm) sowie relevante Randbedingungen berücksichtigt, um einen Wert möglichst nahe an der tatsächlichen Stoffkonzentration vor Ort zu erhalten. Die handlungsleitende Frage lautet entsprechend: welche Mengen eines bestimmten Tensids kommen in welcher Konzentration nach Gebrauch in der Umwelt an?

Zur Berechnung der Konzentration einer Chemikalie in der Umwelt, unterhalb derer keine schädigenden Effekte mehr zu erwarten sind (**PNEC**), werden die mit Hilfe von ökotoxikologischen Tests abgeleiteten **NOEC**-Werte noch durch einen sog. Sicherheitsfaktor dividiert. In Abhängigkeit von der Art und der Anzahl der vorhandenen ökotoxikologischen Testdaten werden hierbei unterschiedliche Sicherheitsfaktoren angewandt. Je mehr Untersuchungen vorliegen, umso niedriger der Sicherheitsfaktor, mit dem der PNEC-Wert aus den vorliegenden Daten abgeleitet wird. So wird der PNEC-Wert z. B. beim Vorliegen der akuten Toxizitätswerte von drei Testorganismen (Fische, Daphnien, Algen) ermittelt, indem der niedrigste akute Toxizitätswert durch den (Sicherheits-) Faktor 1.000 geteilt wird. Liegen jedoch z. B. NOEC-Daten zu drei verschiedenen Organismenarten aus chronischen Toxizitätstests (und damit im Vergleich zu den akuten Toxizitätstests höherwertige Informationen) vor, entspricht der PNEC einem Zehntel der NOEC des empfindlichsten Organismus. Im Anschluss an die Berechnungen von PEC und PNEC erfolgt der Vergleich durch Bildung des Quotienten von PEC und PNEC. Ist der Quotient PEC/PNEC kleiner als 1,0, so sind von diesem Tensid keine toxischen Effekte gegenüber Organismen zu erwarten.

In einer Monitoring-Studie, die 1995 in den Niederlanden durchgeführt wurde, wurden u. a. für das Standardtensid LAS (lineares Alkylbenzolsulfonat) und die zum damaligen Zeitpunkt

wichtigsten übrigen Tenside, die Fettalkohol-ethoxylate (FAEO) und die Fettalkoholethersulfate (FAES) die Konzentrationen im Ablauf von sieben Kläranlagen gemessen. Auf der Basis dieser gemessenen Ablaufkonzentrationen konnten unter Berücksichtigung der Verdünnung des Ablaufes im Gewässer und der zu erwartenden Elimination PEC-Werte für diese Tenside ermittelt werden.

Auch hier ergab ein Vergleich mit den PNEC-Werten, dass von diesen Tensiden mit großer Sicherheit keine Gefährdung für die aquatische Umwelt ausgeht, wenn eine dem Stand der Technik entsprechende Reinigung des Abwassers vorgenommen wird.

Tabelle:

<i>Tensidgruppe</i>	<i>PEC [$\mu\text{g}/\text{l}$]</i>	<i>PNEC [$\mu\text{g}/\text{l}$]</i>	<i>PEC/PNEC</i>
LAS	5	30	0,2
FAEO (C ₁₂ -C ₁₅)	0,5	10	0,05
FAES (C ₁₂ -C ₁₅)	1,2	10	0,1

Auf der Basis von Messungen an sieben Kläranlagen in den Niederlanden (durchgeführt 1995) errechnete durchschnittliche PEC-Werte, PNEC-Werte ($\text{PNEC} = \text{NOEC} \times 10^{-1}$) sowie PEC/PNEC-Quotient für verschiedene Tensidgruppen.

Untersuchungen zum Abbauverhalten von LAS (lineares Alkylbenzolsulfonat)

Bei der ökologischen Überprüfung von Tensiden galt in den 90er Jahren den im sauerstofffreien Faulschlamm von kommunalen Kläranlagen nachgewiesenen Restmengen des Standardtensids LAS besondere Aufmerksamkeit. Dass LAS im Wasser – in Gegenwart von Sauerstoff also und damit aerob – schnell und restlos abgebaut wird, ist durch Untersuchungsergebnisse belegt. Stellt sich die Frage, ob dies auch im Boden der Fall ist, wenn Klärschlamm in der Landwirtschaft als Dünger oder Bodenverbesserer eingesetzt wird. Alle bisherigen Ergebnisse lassen darauf schließen, dass der Abbau im Boden in Gegenwart von Sauerstoff mindestens ebenso schnell wie im Wasser von statten geht. Generell spielt bei der Bewertung von Risiken durch chemische Verbindungen auch die Frage nach einer möglichen Anreicherung in Wasserlebewesen (Bionkonzentration) eine wichtige Rolle. Die seit 1991 im Rahmen von ERASM (Environmental Risk Assessment and Management), eines Forschungsverbundes der europäischen Industrieverbände A.I.S.E. (Association de la Savonnerie, de la Détergence et des Produits d'Entretien) und CESIO (Comité Européen des Agents de Surface et de leurs Intermédiaire Organiques) an exemplarischen Tensiden gewonnenen Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass LAS auch in tierischen Organismen leicht abgebaut wird und sich deshalb dort nicht anreichert.

Strittig blieb über längere Zeit das Verhalten von LAS in anaerober (d. h. sauerstofffreier) Umgebung. Die Generaldirektion Unternehmen und Industrie der EU-Kommission hatte im Jahr

2000 das Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) mit der Bewertung der Umweltfolgen eines unvollständigen anaeroben Abbaus von Tensiden beauftragt. Der 2003 vorgelegte Fraunhofer-Bericht stieß auf Einwände des wissenschaftlichen EU-Ausschusses für Gesundheits- und Umweltrisiken (SCHER – Scientific Committee on Health and Environmental Risks). Die im November 2005 veröffentlichte Stellungnahme des SCHER beanstandete die unzureichende Datenbasis des Fraunhofer-Berichts, schloss sich aber dennoch dessen Einschätzung an, dass LAS im Klärschlamm nicht zu Besorgnis Anlass gibt. Daraufhin gab CESIO beim dänischen nationalen Umweltforschungsinstitut zusätzliche Studien in Auftrag, um den offenen Fragen auf den Grund zu gehen. Diese Studien ergaben, dass das PEC/PNEC-Verhältnis bei LAS in allen Umweltmedien (Oberflächengewässer, Kläranlagen, Sedimente und Böden) unter eins blieb.

Im Jahre 2007 haben die europäischen Tensidhersteller im Rahmen des Verbundprojektes HERA (siehe folgender Abschnitt) auf der Basis der dänischen Studien eine umfassende Bewertung des Einsatzes von LAS veröffentlicht. Der HERA-Bericht kam zum Schluss, dass von LAS bei bestimmungsgemäßem Gebrauch weder Umwelt- noch Gesundheitsgefahren ausgehen. Zwar hat SCHER auch gegenüber diesem Bericht und den ihm zugrundeliegenden Studien methodische Einwände erhoben, den allgemeinen Schlussfolgerungen, was Gesundheits- und Umweltgefahren angeht, jedoch zugestimmt. Ein im Mai 2009 veröffentlichter abschließender Bericht der EU-Kommission an das Europäische Parlament und den Rat (KOM(2009) 230 endg.) über den anaeroben Abbau nach Artikel 16 der Detergenzienverordnung EG Nr. 648/2004 kommt zu folgendem Schluss: *„Nach einer systematischen Bewertung der Risiken, die mit dem Auftreten nicht abbaubarer Tenside in verschiedenen anaeroben Kompartimenten verbunden sind, gelangte man zu dem Ergebnis, dass im Gegensatz zu den negativen Folgen, die bei Fehlen des aeroben Abbaus beobachtet wurden, von einem Ausbleiben des anaeroben Abbaus offenbar keine Gefährdung dieser Umweltkompartimente ausgeht. Es lässt sich somit schlussfolgern, dass die anaerobe biologische Abbaubarkeit nicht zusätzlich als ausschlaggebendes Kriterium für die Umweltverträglichkeit von Tensiden wie LAS verwendet werden sollte, die in aeroben Milieus leicht biologisch abbaubar sind.“*

2. Wasch- und Reinigungsmittel: Risikokommunikation entlang der Lieferkette

Im Jahre 1999 haben die europäischen Verbände der Waschmittelindustrie und der chemischen Industrie ein gemeinsames Projekt zur systematischen und schnelleren Bewertung von Waschmittelinhaltsstoffen initiiert. Im Rahmen des zunächst auf fünf Jahre befristeten Projekts namens „HERA“ (Human and Environmental Risk Assessment on ingredients of household cleaning products) wurden Risikobewertungen

für die wichtigsten Waschmittelkomponenten durchgeführt. Ausgangspunkt war die Zielsetzung, eine Bewertungsstrategie zu entwickeln, die sich nicht ausschließlich auf Gefährungsdaten stützt, sondern möglichst frühzeitig das Risiko eines Produktes für den Endverbraucher mit einbezieht. Damit rückten neben den Umweltrisiken auch die potenziellen Auswirkungen auf den Verbraucher ins Zentrum des Inter-



esses. Es widmete sich eigens der Bewertung und Kennzeichnung der mit der Verwendung von Tensiden in Privathaushalten verbundenen Gesundheits- und Umweltrisiken. Mit HERA sollte gleichzeitig aber auch ein Verfahren für die Risikobewertung entwickelt werden, das schnell durchführbar ist und das den Weg zu neuen Bewertungsstrategien öffnet, die sich stärker als bisher an der Realität orientieren.

Für den sicheren Umgang mit Wasch- und Reinigungsmitteln benötigen die Verbraucher insbesondere Informationen über die richtige Dosierung und Handhabung tensidhaltiger Haushaltsprodukte. Im Vordergrund stand deshalb bei HERA die Risikokommunikation entlang der Lieferkette von den Rohstoffherstellern über die Verarbeiter bis zu den Endanwendern. Auch gesellschaftliche Anspruchsgruppen (Stakeholder) wie Umwelt- und Verbraucherschutzverbände wurden einbezogen.

Die Arbeiten vollzogen sich in zwei Phasen: In der ersten Phase des HERA-Projekts wurde eine gemeinsame Methodik entwickelt, auf deren Basis in Phase 2 die Risk Assessments durchgeführt wurden, die alle relevanten Gruppen von chemischen Inhaltsstoffen sowie alle Expositionsszenarien für Mensch und Umwelt abdecken. Insgesamt wurden mehr als 250 Substanzen, die in Wasch- und Reinigungsmitteln eingesetzt werden, geprüft und bewertet. Nach Abschluss der Arbeiten wurden die Ergebnisse der Risikobewertungen sukzessive im Internet unter www.heraproject.com veröffentlicht. Insgesamt musste festgestellt werden, dass fünf Jahre für die volle Bearbeitung nicht ausreichten, denn in manchen Fällen dauerten die Bewertungen noch bis in die Jahre 2009 und 2010. Die Aktivitäten der Industrie im Zusammenhang mit HERA bildeten eine wichtige Vorarbeit und Grundlage für die unter der neuen europäischen Chemikaliengesetzgebung (REACH) geforderten Risikoanalysen und -bewertungen chemischer Stoffe.

3. Die neue europäische Chemikaliengesetzgebung (REACH)

Die Erfahrungen, die europäische Tensidhersteller im Rahmen des HERA-Projekts machen konnten, kommen ihnen bei der Umsetzung der neuen europäischen Chemikaliengesetzgebung zugute, die seit Juni 2007 in Kraft ist. Der Gesetzgebungsprozess zu dieser Verordnung ist im Jahr 1999 mit der Zielsetzung der Europäischen Umweltminister initiiert worden, die Datenbasis zu allen in der Europäischen Union hergestellten und verwendeten Substanzen zu verbessern und die unterschiedliche Bewertung von so genannten Altstoffen und den nach 1981 eingeführten Neustoffen zu beenden. Nur die letztgenannten unterlagen bislang einer einheitlichen und systematischen Risikobewertungs- und Registrierprozedur. Nun müssen auch alle vor 1982 auf den Markt gelangten

Chemikalien einer systematischen Prüfung und Risikobewertung unterzogen werden. Dabei gilt der Grundsatz „No data – no market“.

Das bedeutet: Ohne die Vorlage von Daten über Gesundheits- und Umweltrisiken, die durch standardisierte Testverfahren gewonnen wurden, kann im Prinzip kein Stoff mehr auf den EU-Binnenmarkt kommen. Allerdings gibt es begründete Ausnahmen von der Registrierpflicht für bekanntermaßen ungefährliche Stoffe sowie für Substanzen wie etwa Arznei- oder Nahrungs- und Futtermittel, deren Risikopotenzial bereits aufgrund spezieller gesetzlicher Vorgaben bewertet wurde. Ausgenommen sind zurzeit noch die Polymere (Kettenmoleküle), die der Polymerdefinition der REACH-



Verordnung entsprechen. Ein Teil der Tenside fällt darunter, viele aber auch nicht. Hinzu kommt, dass die zur Herstellung der Polymere benötigten Monomere, und das gilt auch für importierte Polymere, unter REACH registriert werden müssen, wenn sie eine bestimmte Gesamtmenge überschreiten. Das lässt ahnen, welche Herausforderung die Umsetzung von REACH für die betroffenen Unternehmen bedeutet.

Dennoch hat die Tensid-Industrie aufgrund ihrer langjährigen Erfahrungen mit der Bewertung, dem Management und der Kommunikation von Risiken allen Grund zur Annahme, auch diese Herausforderung mit Bravour meistern zu können.

Die gesetzlichen Anforderungen an die Herstellung, die Beschaffenheit und das Umweltverhalten von Stoffen gehen inzwischen immer mehr über klassische Lebenszyklus-Analysen hinaus. Die Klimapolitik fordert nicht nur den Nachweis toxikologischer Unbedenklichkeit, sondern auch die Minimierung des „Carbon Footprint“, d. h. des ökologischen Fußabdrucks von Stoffen oder Fertigprodukten unter dem Blickwinkel des Klimaschutzes. Dabei wird der gesamte Energie- und Materialaufwand zur Herstellung von Rohstoffen und Produkten in CO₂-Äquivalente umgerechnet, um seinen theoretisch möglichen Einfluss auf die Durchschnittstemperatur über den Landmassen der Erde abzuschätzen.

4. Der ökologische Fußabdruck („Lifecycle Assessment 2.0“)

Zur umfassenden Beurteilung der Umweltrelevanz eines Stoffes ist die Erfassung sämtlicher Einflüsse und Auswirkungen interessant, die von der Rohstoffgewinnung für seine Herstellung bis zu seiner Anwendung und Entsorgung reichen. Mit der Klimaschutzdebatte hat sich hier der Bedarf nach einer Kenngröße entwickelt, die eine fundierte Aussage über die Klimarelevanz eines Produktes erlaubt. Die Klimarelevanz soll dabei in CO₂-Äquivalenten zum Ausdruck kommen, so dass am Ende Vergleiche zwischen Produkten hinsichtlich ihres CO₂-Fußabdrucks möglich werden.

Als Basis für die Beantwortung solcher Anliegen dient eine Lifecycleinventory-Studie aus den frühen 90er Jahren, die von zehn europäischen Tensidherstellern durchgeführt wurde. Im Rahmen dieser Studie wurden für wichtige Tensidgruppen (u. a. die weiter oben erwähnten LAS, FAEO, und FAES) entsprechende „cradle to factory gate“-Studien durchgeführt. Die Studie stellt eine so genannte Sachbilanz dar, aus der sich für jeden Hersteller Möglichkeiten

zur Verbesserung des Umweltprofils seiner Produktionsprozesse und der daraus entstehenden Endprodukte ableiten lassen. Dies gilt sowohl für die tensidspezifischen Verarbeitungsschritte als auch für allgemein in der Chemieproduktion wichtige Faktoren wie beispielsweise die Bereitstellung von Strom, Dünger, Hilfsstoffen und Transportkapazitäten. Diese müssten entsprechend um die mit Herstellung und Verwendung verbundenen CO₂-Effekte ergänzt werden.

Die Tensidindustrie arbeitet zurzeit an einer Aktualisierung der früheren Lifecycleinventory-Studien, die dann auch den CO₂-Fußabdruck berücksichtigen werden.



Tenside und nachwachsende Rohstoffe

Unter dem Begriff „Nachwachsende Rohstoffe“ werden land- und forstwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe verstanden, die außerhalb der Nahrungs- und Futtermittelherstellung stofflich oder energetisch genutzt werden. Das Gegenstück sind fossile Rohstoffe. Zu diesen gehören z. B. Steinkohle, Erdöl und Erdgas. Es handelt sich dabei um Rohstoffe, die sich in erdgeschichtlicher Vergangenheit vermutlich teilweise, wenn nicht überwiegend aus abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Organismen gebildet haben. Im Gegensatz zu solchen Rohstoffen, die sich, wenn überhaupt, nur in langen erdgeschichtlichen Zeiträumen erneuern können, regenerieren sich die nachwachsenden Ressourcen jährlich oder in nach menschlichen Maßstäben überschaubaren Zeiträumen.

Nachwachsende Rohstoffe für die Herstellung von Tensiden

Für die Herstellung von Tensiden finden sowohl fossile als auch nachwachsende Rohstoffe Verwendung. Manche Tenside, z. B. die linearen Alkylbenzolsulfonate (LAS), lassen sich nur auf Basis fossiler Rohstoffe, vornehmlich Erdöl, herstellen. Rohstoffe sind hier Benzol und langkettige Alkane. Andere Tenside wie z. B. die Alkylpolyglucoside (APG) werden vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt. Als Rohstoffe dienen in diesem Fall Stärke (als Quelle für Glucose) für den hydrophilen Teil des Moleküls und Kokosfett (als Quelle für die zweite Komponente, den Fettalkohol) und damit den hydrophoben Teil.

Wieder andere Tenside lassen sich sowohl auf Basis fossiler als auch auf Basis nachwachsender Rohstoffe herstellen. Das gilt z. B. für die Fettalkoholsulfate: Grundlage für deren Herstellung sind Fettalkohole, die durch Reaktion

mit gasförmigem Schwefeltrioxid/Luft-Gemisch und anschließender Neutralisation mit Natronlauge zu Fettalkoholsulfaten umgesetzt werden. Von den zirka 2 Millionen Tonnen Fettalkoholen, die 2003 weltweit produziert wurden, stammten etwa 50 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen, 45 Prozent aus Erdöl und 5 Prozent aus Kohle.

Tenside mit mindestens einem Baustein aus nachwachsenden Rohstoffen haben heute einen relativen Anteil von zirka 50 Prozent am Gesamt-Tensidmarkt in Europa. Ein Anfang 2010 von vier Chemiefachverbänden vorgelegtes Positionspapier mit dem Titel „Rohstoffbasis im Wandel“ (www.dechema.de) weist darauf hin, dass insgesamt über ein Drittel der von der Industrie verarbeiteten pflanzlichen Fette und Öle der Herstellung von Tensiden dient. In den vergangenen 30 Jahren hat sich bei der Herstellung von Fettalkoholen das Verhältnis zwischen synthetischen und natürlichen Quellen erheblich verschoben. Betrug dieses im Jahre 1980 noch 60 zu 40, so ist es heute genau umgekehrt. Diese Verschiebung geht nur zu einem geringen Teil auf die politisch erwünschte Verdrängung des Rohöls durch pflanzliche Öle und Fette zurück. Vielmehr führten insbesondere Kostenüberlegungen dazu, dass sich die Chemiker in wachsendem Maße kostenlose Syntheseleistungen von Pflanzen zunutze machten.

Argumente für die Herstellung von Tensiden aus nachwachsenden Rohstoffen – eine kritische Betrachtung

Schnell könnte man zu der Auffassung gelangen, der Einsatz nachwachsender Rohstoffe sei per se besser als die Nutzung fossiler und damit endlicher Ressourcen. Beleuchten wir die Argu-



mente „pro“ nachwachsende Rohstoffe einmal näher, um ein ausgewogenes Bild zu erhalten:

Trägt die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen zur Schonung endlicher fossiler Ressourcen, wie Erdöl, Erdgas und Kohle bei?

Dass eine Schonung der fossilen Rohstoffvorräte notwendig ist, ist unbestritten. Denn Erdöl und Erdgas sind auf mittlere Sicht nicht erneuerbare Ressourcen, d. h. was heute verbraucht wird, steht künftigen Generationen nicht mehr zur Verfügung.

Doch auch nachwachsende Rohstoffe sind nicht unbegrenzt einsetzbar. So sind die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen der Erde begrenzt und die Nachhaltigkeit ihrer Bewirtschaftung ist nicht von selbst gegeben (Boden- auslaugung, Erosion).

Zudem gilt es in Bezug auf die Tenside zu bedenken, dass für deren Herstellung nur zirka 0,1 Prozent des jährlich verbrauchten Rohöls verwendet wird (zum Vergleich: In der Energieerzeugung und im Verkehr werden zirka 93 Prozent des jährlich verbrauchten Rohöls eingesetzt). Selbst eine – nur theoretisch vorstellbare – vollständige Substitution von auf Erdölbasis hergestellten Tensiden durch native Tenside würde also nur einen kaum wahrnehmbaren Beitrag zur Ressourcenschonung leisten. In Anbetracht der damit vermutlich verbundenen technischen und ökonomischen Schwierigkeiten bleibt es zweifelhaft, ob das derzeit sinnvoll ist. Eine Life-cycle Analyse unter Miteinbeziehung der Anwendung des Tensids stellt ein gutes Instrumentarium zur Abschätzung der Nachhaltigkeit dar.

Beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe wie Kokos- oder Palmkernöl für die Tensidherstellung war denn auch der Ressourcenschutz meist nicht das Hauptargument. Im Vordergrund stand vielmehr die bessere Verfügbarkeit der für die Tensidherstellung wichtigen Fettsäuren mittlerer Kettenlänge (zwischen 10 und 14 Kohlenstoffatomen) in diesen Pflanzenölen.

Sind Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen CO₂-neutral?

Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen sind weitgehend CO₂-neutral, wenn man die zuvor notwendigen Landveränderungen, wie Abholzung von Regenwäldern, Trockenlegung von Mooren und Torfgebieten, nicht berücksichtigt. Eine Lifecycleinventory Analyse ist letztendlich das geeignete Instrumentarium, um sachgerecht eine CO₂-Bilanz zu erstellen. Daher arbeitet die Tensidindustrie zurzeit an einer Aktualisierung der früheren Lifecycleinventory-Studien, die dann auch den CO₂-Fußabdruck berücksichtigen werden.

Allerdings muss in diesem Zusammenhang berücksichtigt werden, dass der Einsatz nachwachsender Rohstoffe in der chemischen Industrie allgemein und bei der Herstellung von Tensiden im Speziellen zur Lösung der CO₂-Problematik nur unwesentlich beitragen kann: Die derzeit genutzten Mengen sind zu klein. Eine Steigerung durch einen annähernd vollständigen Ersatz der fossilen Rohstoffe durch nachwachsende Rohstoffe ist aber nicht in allen Fällen möglich bzw. sinnvoll, zumindest dann nicht, wenn positive Sekundäreffekte berücksichtigt werden. Unter Sekundäreffekten sind in diesem Zusammenhang die Energie- und damit CO₂-Einsparungen zu verstehen, die aufgrund von Prozessoptimierungen mit Hilfe von Tensiden erreicht werden können. Hierzu gehören z. B. die Absenkung der Waschtemperatur (30°C Wäsche) oder die Reduzierung von Reibungsverlusten in Pipelines. Da das CO₂-Einsparpotenzial der Sekundäreffekte oft wesentlich größer ist als das der primären Substitution, muss sichergestellt sein, dass eine Substitution nicht auf Kosten einer schlechteren technischen Leistung erkaufte wird. Das zitierte Beispiel LAS zeigt, dass es in manchen Fällen nicht möglich ist, ein Tensid auf petrochemischer Basis durch ein natives Tensid zu ersetzen.



Sind Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen (besser) biologisch abbaubar?

Häufig wird von Befürwortern des Einsatzes von nachwachsenden Rohstoffen als weiteres Argument angeführt, dass die Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen im Gegensatz zu Tensiden, die aus fossilen Rohstoffen hergestellt werden, biologisch besser abbaubar sind.

Für die biologische Abbaubarkeit einer Substanz spielt die Herkunft des Rohstoffs jedoch keine Rolle; entscheidend ist vielmehr die chemische Struktur des Moleküls. So weisen zum Beispiel definierte Fettalkoholsulfate auf der Basis fossiler Rohstoffe das gleiche Abbauverhalten auf wie Fettalkoholsulfate, die auf der Basis nachwachsender Rohstoffe hergestellt werden.

Dessen ungeachtet zeigt sich gegenwärtig in der Praxis, dass Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen tatsächlich allesamt gut biologisch abbaubar sind, da sie ausschließlich lineare Kohlenstoffketten aufweisen, die für die Mikroorganismen kein Problem darstellen. Bei den Tensiden aus fossilen Rohstoffen gibt es durchaus einige Vertreter, die gleich gut abbaubar sind, etwa solche mit wenig verzweigten Alkylketten. Handelt es sich jedoch um sehr stark verzweigte Ketten, so zeigen diese oft eine unzureichende Abbaubarkeit – solche Ketten sind die Mikroorganismen aus ihrer natürlichen Umgebung nicht gewohnt.

Dafür weisen Tenside mit verzweigten Ketten jedoch andere technische Eigenschaften auf, die Tenside mit linearen Ketten nicht besitzen. Beispielsweise sind Tenside mit verzweigten Alkylketten grundsätzlich besser löslich, wodurch sich leichter höher konzentrierte flüssige Produkte herstellen lassen, was in Bezug auf Transport und Lagerhaltung von Vorteil ist. Eine einfache Substitution von Tensiden aus fossilen Rohstoffen durch Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen ist deshalb nicht möglich.

Ist die Produktion von Tensiden aus nachwachsenden Rohstoffen weniger umweltbelastend?

Nachwachsende Rohstoffe werden oft in Monokulturen angebaut, die einen erhöhten Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln benötigen. Die Flächen dafür gewinnt man oft durch Abholzung natürlicher Wälder, was eine Verminderung der Artenvielfalt begünstigen kann, wenn die Flächen nicht wieder aufgeforstet werden. Ansätze für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Palm-Plantagen gibt es. Im Rahmen eines Runden Tisches für nachhaltiges Palmöl (RSPO) hat sich ein Teil der europäischen Palmölhändler und Verarbeiter verpflichtet, nur in Zusammenarbeit mit dem World Wide Fund for Nature (WWF) und seinen Partnern geprüftes und als „nachhaltig“ zertifiziertes Palmöl zu kaufen.

Sind Tenside auf Basis nachwachsender Rohstoffe hautfreundlicher und eignen sich deshalb besser für den Einsatz in der Kosmetikindustrie?

Tenside aus nachwachsenden Rohstoffen sind grundsätzlich nicht besser für die Herstellung von Kosmetika geeignet als synthetische Tenside. Auch in der Natur gibt es viele Reiz- und Giftstoffe. Einige davon sind sogar weitaus giftiger als alle jemals von Menschenhand hergestellte Gifte. Andererseits fußen gerade Spitzenprodukte der Kosmetikindustrie auf synthetischen Verbindungen.

Die oben ausgeführten Antworten auf die typischen Fragen zum Vergleich zwischen Tensiden auf petrochemischer und auf Basis nachwachsender Rohstoffe machen deutlich, dass letztlich die Tensidmoleküle mit ihren chemischen Strukturen ursächlich für die Bewertung sind und nicht die Herkunft der Rohstoffe. So ist schließlich eine sachliche Auseinandersetzung mit den Fragestellungen erforderlich – dies jeweils vor dem Hintergrund der vorgesehenen Anwendungen. Die Tensidindustrie hat langjährige Erfahrungen in der Nutzung unterschiedli-



cher Rohstoffquellen sammeln können und Wege gefunden, effektive und rohstoffeffiziente Kombinationen im Hinblick auf die Produktoptimierung zu entwickeln.

Insgesamt bleibt damit festzuhalten, dass sowohl Tenside auf Basis natürlicher Rohstoffe

als auch solche auf petrochemischer Basis gleichwertig einsetzbar sind. Je nachdem, welche Eigenschaften gewünscht und welche Bewertungskriterien herangezogen werden, haben beide Rohstoffgruppen gegenüber der jeweils anderen ihre Vor- und Nachteile.

Ausblick

Bedeutender Wirtschaftsfaktor

Tenside ermöglichen uns rationelle Fertigung, innovative Verfahren, weltweit konkurrenzfähige Produkte. Ein Verzicht auf Tenside würde einem Rückschritt in ein vorindustrielles Steinzeitalter gleichkommen. Gleichzeitig wären wir um viele bewährte Methoden und Chancen ärmer, wichtige Probleme unserer Gegenwart und Zukunft zu lösen: das Einsparen von Energie beispielsweise, das bessere Nutzen unserer fossilen Energiereserven und den Schutz unserer Gesundheit.

Probleme, die im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung der Umwelt durch Tenside in der Vergangenheit aufgetreten sind, wurden schnell gelöst. Die Zusammenarbeit zwischen Gesetzgeber, Behörden und Industrie war zu jeder Zeit am gemeinsamen Erfolg orientiert und hat sich bewährt. Darüber hinaus hat die Industrie in Eigenverantwortung sich abzeichnende Probleme gelöst, bevor gesetzgeberische Maßnahmen notwendig waren. Die selbst auferlegte Verpflichtung, nicht nur leistungsfähigere und wirtschaftlichere, sondern auch immer umweltverträglichere Tenside zu entwickeln, ist ein deutliches Zeichen für die aktive Bereitschaft der Industrie, ihrer Verantwortung gegenüber den Menschen und der gesamten Natur gerecht zu werden.

Auch in Zukunft wird die Industrie mit hohem Forschungs- und Investitionsaufwand den Um-

weltschutz vorrangig in ihre Produktentwicklungen einbeziehen und ein verlässlicher Partner der Wissenschaft, Behörden und Anwender sein.

Die Möglichkeiten der modernen Tenside sind längst noch nicht ausgereizt, das Potenzial für maßgeschneiderte Problemlösungen und intelligente Kombinationen bei weitem nicht ausgeschöpft. Im Augenblick zeichnen sich Perspektiven auf der Basis der allerdings noch umstrittenen Nanotechnik ab. Dabei werden die Grenzen zwischen Chemie und Physik fließend. Denn die Eigenschaften von Teilchen in der Größenordnung von einem Milliardstel Meter Durchmesser hängen nicht mehr von ihrer chemischen Zusammensetzung ab, sondern in erster Linie von ihrer Größe. Es wird dadurch möglich, von vornherein auf biologisch und ökologisch problematische Chemikalien zu verzichten. Dieser Fortschritt gehe allerdings mit der Inkaufnahme neuer, noch weitgehend unbekannter Risiken einher, fürchten Umweltschützer. Diese Sorgen müssen ernst genommen werden. Es ist ohnehin klar, dass es im persönlichen Leben wie auch in Technik und Wirtschaft keine, für alle Zeiten endgültige Lösung geben kann, denn es wird immer wieder neue Erkenntnisse geben, die bereits vorhandenes und bewährtes infrage stellen und neue Wege und Perspektiven aufzeigen.



Anhang

Umweltverträglichkeit im Test

Testverfahren: Wie wird die biologische Abbaubarkeit geprüft?

Die offizielle Prüfung der biologischen Abbaubarkeit organischer chemischer Stoffen erfolgt mit Hilfe gesetzlich vorgeschriebener, standardisierter Testmethoden. Diese Testmethoden geben letztendlich Auskunft darüber, ob ein Stoff als „leicht biologisch abbaubar“ eingestuft werden kann. Diese Kenngröße, die mit Hilfe von sog. Screening-Tests (und ggf. „Inherent“- und/oder „Simulations“-Tests) ermittelt wird, ermöglicht eine orientierende Beurteilung von organischen Stoffen und ist u. a. relevant für die EU-Kennzeichnung „umweltgefährlich“, für die EU-Detergenzienverordnung ab 8.10.2005 und das Chemikaliengesetz.

(1) Screening-Tests

Bei Screening-Tests (OECD 301 A-F) handelt es sich um einfache, aber relativ streng bewertende statische Labortests. Aus Gründen der Praktikabilität und aus Kostengründen wird die biologische Abbaubarkeit eines Tensids übli-

cherweise zunächst mit solchen Screening-Tests untersucht.

Dabei werden in einem Testgefäß einmalig kleine Mengen des zu testenden Tensids in einer wässrigen, mineralsalzhaltigen Lösung gelöst und geringe Mengen eines Mikroorganismen-Gemisches zugesetzt. Die Mikroorganismen stammen im Allgemeinen aus dem Ablauf einer kommunalen Kläranlage oder aus Flusswasser und entsprechen somit in ihrer Vielfalt den in der aquatischen Umwelt vorhandenen Mikroorganismen. Das zugesetzte Tensid ist für sie die einzige Kohlenstoff- bzw. Energiequelle in der Lösung.

Das Testgefäß wird nach Zusatz von Tensid und Mikroorganismen für die Testdauer von maximal 28 Tagen lose verschlossen bei 25 °C gehalten und zwecks Anreicherung mit Sauerstoff, den die Mikroorganismen für den Abbau benötigen, geschüttelt.

In festgelegten regelmäßigen Abständen werden Proben entnommen und die Abbaurrate des Tensids mit Hilfe geeigneter Analysemethoden bestimmt.

Analysenparameter

In welchem Maße ein zu prüfendes Tensid aus der Umwelt entfernt wird, kann je nach Prüfmethode mit Hilfe von drei verschiedenen Analysenparametern gemessen werden:

1. Abnahme der Prüfsubstanz/des Tensids

durch Bestimmung des im flüssigen Kulturmedium gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC = dissolved organic carbon).

Die Abnahme ist umso größer, je besser das Tensid durch Bakterien verwertet/abgebaut werden kann.

(Zusätzlich zum biologischen Abbau wird bei Messung des DOC auch eine Entfernung von organischen Stoffen aus (Ab-)Wasser auf physikalischem oder chemischem Weg mit erfasst, z. B. durch Adsorption an Klärschlamm oder Ausfällung.)



2. Der biochemische Sauerstoffbedarf BSB

Beim Abbau des Tensids verbrauchen die Mikroorganismen Sauerstoff O_2 („oxidativer Abbau“). Daher gibt der Verbrauch an gelöstem, freiem Sauerstoff durch die Mikroorganismen im Rahmen des (aeroben) Tensidabbaus – der sog. **biochemische Sauerstoffbedarf BSB** – Auskunft über die Abbaurate des Tensids.

Die Ermittlung der Abbaurate erfolgt durch den Vergleich des gemessenen BSB mit dem für den vollständigen Abbau der Prüfsubstanz theoretisch notwendigen Sauerstoffbedarf (ThSB). Anstelle des errechneten ThSB wird häufig der experimentell ermittelte Sauerstoffbedarf für die vollständige Oxidation der Prüfsubstanz auf chemischem Wege, der sog. **chemische Sauerstoffbedarf CSB** verwendet.

3. CO_2 -Bildung im Rahmen des Abbaus

Im Rahmen des Abbaus des Tensids entsteht als „Abfallprodukt“ CO_2 .

Daher gibt die Menge an gebildetem CO_2 Auskunft über die Abbaurate des Tensids. Auch in diesem Fall erfolgt die Ermittlung der Abbaurate durch den Vergleich mit einem geeigneten Bezugswert.

Erreicht bzw. überschreitet der Abbau eines Tensids in einem solchen Screening-Test – bei vorgegebener Messmethode und Zeitdauer –

einen bestimmten Schwellenwert, einen sogenannten Pass level, so gilt das Tensid als leicht biologisch abbaubar.

Pass level gemäß EU-Detergenzienverordnung

Die Referenzmethode für die Laborprüfung der vollständigen Bioabbaubarkeit von Tensiden im Rahmen der Detergenzienverordnung basiert auf der Norm ISO 14593: 1999 (CO_2 -Head-space-Test). Tenside in Detergenzien gelten als biologisch abbaubar (gemäß EU Verordnung (EG) Nr. 648/2004), wenn die auf der Grundlage bestimmter Prüfverfahren – insgesamt sechs Methoden stehen zur Wahl – gemessene Rate der biologischen Abbaubarkeit (Mineralisierung) innerhalb von 28 Tagen mindestens 60 Prozent beträgt.

Je nach den physikalischen Eigenschaften des Tensids können auch andere Methoden herangezogen werden (der sog. „DOC Die-Away-Test“ oder ein modifizierter OECD Screening test), wobei bei diesen Methoden eine Rate der biologischen Abbaubarkeit von 70 Prozent innerhalb von 28 Tagen als gleichwertig angesehen wird.

Wird der entsprechende Schwellenwert erreicht, gilt das untersuchte Tensid auch unter Umweltbedingungen als leicht biologisch abbaubar. Erreicht ein Tensid hingegen den vorgeschriebenen Schwellenwert der Detergenzienverordnung nicht, so kann der Hersteller von Detergenzien, die ein solches Tensid enthalten, und die für den industriellen oder institutionellen Bereich bestimmt sind, eine Ausnahme beantragen. Ist das Detergenz für andere Anwendungen bestimmt oder wird der Ausnahmeantrag abgelehnt, so darf das Detergenz mit dem betreffenden Tensid nicht mehr in Verkehr gebracht werden.

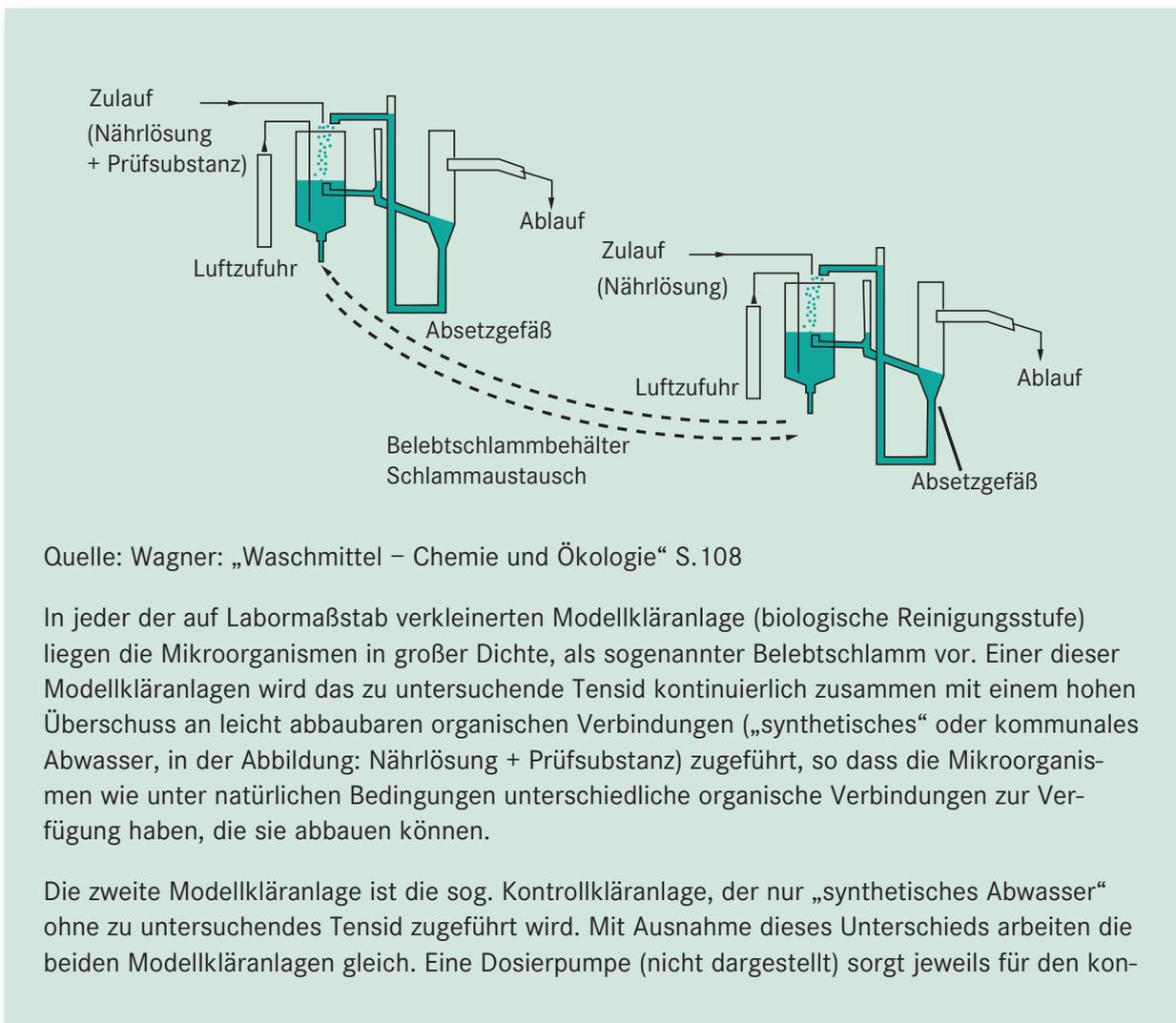


(2) „Simulations“-Tests

„Simulations“-Tests sind Verfahren, mit denen das Abbauverhalten von Tensiden unter realitätsnahen Bedingungen geprüft wird. Das in der Praxis bedeutendste Simulations-Testverfahren ist der Belebtschlamm-Simulationstest (OECD 303 A). Es simuliert den Betrieb der biologischen Reinigungsstufe einer Kläranlage in einem auf Labormaßstab verkleinertem Modell (vgl. auch Kasten). Es arbeitet – gemäß der Bedingungen in einer realen Kläranlage – mit

relativ niedrigen Tensid-, jedoch hohen Mikroorganismenkonzentrationen, wie sie auch in Kläranlagen vorkommen. Neben dem untersuchten Tensid wird **kontinuierlich** (⇒ **dynamisches Verfahren!**) auch synthetisches oder kommunales Abwasser zugegeben, so dass die Mikroorganismen – wie unter den in einer Kläranlage herrschenden Bedingungen – unterschiedliche organische Verbindungen (C-Quellen und Energiequellen!) zur Verfügung haben, die sie abbauen können.

OECD 303 A: der Coupled-Unit-Test



tinuierlichen Zulauf von Untersuchungslösung. Sie wird so eingestellt, dass die Untersuchungslösung und mit ihr ein Teil des Belebtschlammes innerhalb von drei Stunden den Belebtschlammbehälter der Anlage durchläuft. Eine andere Pumpe sorgt jeweils dafür, dass die Mikroorganismen im Belebtschlammbehälter eine ausreichende Sauerstoffmenge für den Abbau, sowohl des Tensids als auch der anderen zugesetzten leicht abbaubaren organischen Verbindungen, zur Verfügung haben (in Abbildung: Luftzufuhr). Der Ablauf des Belebtschlammbehälters wird jeweils im Absetzgefäß aufgefangen. Dort wird der Belebtschlamm durch Sedimentation abgetrennt und mittels einer Pumpe wieder in das Belebungsbecken zurückgeführt.

Im Zu- und Ablauf beider Modellkläranlagen wird während des Untersuchungszeitraums regelmäßig der Gehalt an gelöstem organischem Kohlenstoff, der DOC-Wert, gemessen. Aus der Differenz der Messergebnisse in beiden Anlagen lässt sich der Grad des Abbaus des untersuchten Tensids feststellen.

Damit in beiden Anlagen eine vergleichbare biologische Basis gegeben ist, wird der Schlamm in regelmäßigen Abständen ausgetauscht, daher auch der Name dieses Tests: „Coupled-Units-Test“ (coupled units = „gekoppelte Einheiten“).

(3) „Inherent“-Tests – Tests zur Bestimmung der „grundsätzlichen Abbaubarkeit“

Mit dieser Gruppe von Tests wird die prinzipielle („potenzielle“, „inhärente“) Abbaubarkeit untersucht, vornehmlich bei Tensiden, die nicht der Detergenzien-Verordnung unterliegen.

Neben dem biologischen Abbau werden im Rahmen dieser Tests auch physikalische und chemische Prozesse zur Entfernung des Tensids aus dem (Ab-)Wasser mit erfasst (Nachweis der DOC-Abnahme (vgl. Kasten)). In Deutschland wird vorrangig der Zahn-Wellens-Test (OECD 302 B) angewandt. Es handelt sich wie beim Screening-Test um ein statisches Verfahren, bei dem aber hohe Bakterien- und Prüfsubstanzkonzentrationen eingesetzt werden (sog. Belebtschlammtest, aber ohne jeden Modellcharakter (vgl. (3))).

Eindeutig positive Testergebnisse lassen den Schluss zu, dass das Tensid unter Kläranlagenbedingungen prinzipiell abbaubar ist und deshalb für die Umwelt keine dauerhafte Belastung darstellt.

Da dieser Test zwischen gut und nur mäßig abbaubaren Stoffen allerdings kaum unterscheidet und daher eher falsch positive als falsch negative Ergebnisse erwarten lässt, erfolgt bei unklaren Befunden eine weitere Prüfung des Abbauverhaltens des Tensids in sogenannten Simulationstests. Diese Tests werden auch angewandt, wenn zusätzliche Informationen über das Abbauverhalten erforderlich sind.



Praktische Bedeutung von Labor-Abbautestergebnissen

Die Ergebnisse von Screening-Tests können aufgrund der Verfahrensbedingungen natürlich nicht direkt auf die Umwelt übertragen werden. Doch der Vergleich der Ergebnisse von Screening-Tests mit Simulationstestergebnissen und Umweltmonitoringdaten hat gezeigt, dass im Falle eines positiven Testergebnisses im Screening-Test, z. B. also im Falle des Nachweises der leichten biologischen Abbaubarkeit, eine gute und schnelle Abbaubarkeit auch in der Umwelt gewährleistet ist. In einem solchen Fall kann – aufgrund der strengen Testbedingungen und der begrenzten Testdauer – von einem vollständigen biologischen Abbau in der Umwelt ausgegangen werden, selbst wenn das Tensid im Labortest nicht vollständig abgebaut wurde.

Diese Schlussfolgerung gilt auch für nicht abgebaute Anteile eines Tensids in Kläranlagen-simulationstests. Kläranlagen sind nicht dafür konzipiert, alles organische Material innerhalb der begrenzten Aufenthaltsdauer komplett abzubauen. Sie sollen nur die Belastung des Abwassers mit organischem Material so weit absenken, dass in den natürlichen Gewässern vorhandene Abbauorganismen den Rest problemlos beseitigen können.

Lässt es sich nicht ausschließen, dass die in Tests nicht abgebauten Reste eines Tensids noch stabile bzw. schwer abbaubare Zwischenverbindungen enthalten, bieten sich aufwändigere Untersuchungsverfahren wie z. B. Metabolitentests an.

Die „aquatische Toxizität“

Neben der Beurteilung der biologischen Abbaubarkeit kommt es bei der Umweltrisikobewertung von Tensiden auf die Ermittlung der Giftigkeit gegenüber Wasserorganismen, die sog. aquatische Toxizität, an.

Testverfahren – Grundlagen zur Ermittlung der aquatischen Toxizität

Ein (Oberflächen-)Gewässer ist aus biologischer Sicht ein Lebensraum für eine Vielfalt unterschiedlicher Organismen. Diese verschiedenen Organismen leben in einem solchen Gewässer nicht isoliert voneinander. Sie sind vielmehr voneinander abhängige Glieder einer Lebensgemeinschaft. Daher kann die Beeinträchtigung eines Gliedes einer solchen Lebensgemeinschaft – z. B. durch ein Tensid – die Veränderung der gesamten Lebensgemeinschaft nach sich ziehen. Ein einfaches Beispiel mag das verdeutlichen:

Wird die Entwicklung von einzelligen Algen gestört, dann fehlt den Daphnien (Wasserflöhen) die Nahrung. Sie können nicht wachsen und sich vermehren. Damit fehlt auch den Fischen, die sich von diesen Kleinkrebsen ernähren, die Lebensgrundlage usw.

Da die wissenschaftlichen Kenntnisse über die komplexen Abhängigkeiten und Wirkungsmechanismen innerhalb einer Lebensgemeinschaft noch lückenhaft sind, müssten streng genommen Untersuchungen bezüglich der aquatischen Toxizität einer Substanz mit vollständigen aquatischen Lebensgemeinschaften durchgeführt werden. Da es jedoch – von wenigen Ausnahmen abgesehen – nicht möglich ist, vollständige aquatische Lebensgemeinschaften im Labor zu simulieren und die Auswertung/Bewertung dieser Tests schwierig ist, werden Tests in der Regel mit einzelnen ausgewählten, empfindlichen, ganzjährig verfügbaren und leicht kultivierbaren Vertreter der „klassischen



Nahrungskette“ im Wasser durchgeführt. Es sind dies einzellige Grünalgen als wichtige Vertreter der pflanzlichen Organismen, die Daphnien (Wasserflöhe) als pflanzenfressende tierische Organismen und Fische (in Deutschland meist der Zebraäbrbling) als Vertreter einer der oberen Ebenen der Nahrungskette. Darüber hinaus werden noch Bakterien in die Prüfung mit einbezogen, u. a. weil eine Beeinflussung von Bakterien bei einer Einleitung in eine biologische Kläranlage von Bedeutung ist und die Selbstreinigungskräfte von natürlichen Gewässern mindert (außerdem schließen sie als Destruenten den Stoffkreislauf, indem sie (abgestorbene) pflanzliche und tierische Biomasse remineralisieren).

Die Durchführung von Tests zur Ermittlung der aquatischen Toxizität einer Substanz mit den beschriebenen Organismen ist – mit Ausnahme

der Bakterientests – in EU- bzw. OECD-Richtlinien vorgeschrieben. Die Ergebnisse dürfen – da sie im Labor unter Standardbedingungen an Einzelorganismen erhalten wurden – allerdings nur als Hinweis auf das Gefährdungspotenzial eines Stoffes gewertet werden und sind nicht direkt auf die Umwelt übertragbar.

Beurteilung der aquatischen Toxizität: akute und chronische Toxizität

Zur Beurteilung der aquatischen Toxizität eines Tensids müssen sowohl akute also auch chronische Toxizität berücksichtigt werden. Die akute Toxizität umfasst toxische Effekte, die sich bereits nach einem relativ kurzzeitigen Kontakt der Organismen mit der untersuchten Substanz einstellen. Als Kenngröße wird die letale Konzentration LC_{50} bzw. die Effektkonzentration EC_{50} bestimmt (vgl. Kasten).

Akute Toxizität

Toxische Effekte, die sich bereits nach einem relativ kurzen Kontakt der Prüforganismen mit dem untersuchten Tensid einstellen. Kenngrößen: LC_{50} bzw. EC_{50}

LC_{50} : Konzentration, bei der 50% der untersuchten Individuen sterben (LC: lethal concentration).

EC_{50} : Konzentration, bei der bei 50% der untersuchten Individuen bestimmte negative Effekte, z. B. eine Hemmung der Zellvermehrung (Grünalgen) oder eine Veränderung der Schwimmfähigkeit (Daphnien) auftreten.

Ermittlung der LC_{50} - bzw. EC_{50} -Werte

Eine bestimmte Anzahl der ausgewählten Testorganismen wird unterschiedlichen Konzentrationen der getesteten Substanz ausgesetzt. Nach definierten Zeiträumen (48 Stunden bei Daphnien, 72 Stunden bei Algen, 96 Stunden bei Fischen) kann man auf diese Weise sowohl die höchste Substanzkonzentration ermitteln, bei der noch keine letalen (bei Fischen) bzw. wesentlichen Lebensäußerungen betreffenden Effekte (Schwimmfähigkeit bei Daphnien, Zellvermehrung bei Algen) auftreten (LC_0 - bzw. EC_0 -Wert) als auch die niedrigste Substanzkonzentration, die bei allen Versuchsorganismen zu akuten Effekten führt (LC_{100} - bzw. EC_{100} -Wert). Aus diesen Daten lässt sich der LC_{50} - bzw. EC_{50} -Wert berechnen.



Die chronische Toxizität beschreibt toxische Effekte, die sich erst nach einem längeren Kontakt der Organismen mit der untersuchten

Substanz einstellen. Als Kenngröße wird üblicherweise der NOEC-Wert angegeben (vgl. Kasten).

Chronische Toxizität

Toxische Effekte, die sich erst nach einem längeren Kontakt der Lebewesen mit der untersuchten Substanz einstellen. Kenngröße: NOEC

NOEC: No Observed Effect Concentration – höchste geprüfte Konzentration der untersuchten Substanz, bei der keine negativen Effekte zu beobachten sind.

Ermittlung der NOEC

Die NOEC wird wie die LC bzw. EC (vgl. oben) mit Hilfe von Konzentrationsreihen ermittelt, allerdings sind die Versuchszeiträume in der Regel länger und es steht nicht die Letalität der Substanz gegenüber dem Testorganismus im Vordergrund, sondern der Einfluss auf bestimmte Lebensäußerungen. Bei Daphnien wird z. B. der Einfluss auf die Vermehrungsrate der Tiere bestimmt, bei Fischen der Einfluss z. B. auf das Schwimmverhalten, die Kiemen-deckelbewegung und das Fressverhalten bzw. bei sogenannten Early Life Stage Tests (ELS-Tests) der Einfluss auf die Entwicklung der Eier (Schlupf- und Überlebensrate der Embryonen) und Larven. Chronische Tests sind daher meist deutlich empfindlicher als Akuttests.

Tests bzw. Daten zur akuten sowie chronischen Toxizität sind für die Einstufung und Kennzeichnung nach dem EU-Chemikaliengesetz relevant.

Für die Umweltrisikobewertung von Tensiden bilden hingegen Tests zur chronischen Toxizität bzw. die aus diesen Tests erhaltenen Daten die Basis (vgl. auch Kasten bezüglich der Aussagekraft der jeweiligen Kenngrößen.)



Glossar

aerob

Verhältnisse, die durch die Anwesenheit von Sauerstoff gekennzeichnet sind. Lebensweise von tierischen und pflanzlichen Organismen, die Sauerstoff zur Atmung brauchen.

Agglomeration

Anhäufung, Zusammenballung

A.I.S.E.

Association de la Savonnerie, de la Détergence et des Produits d'Entretien (Europäischer Verband der Wasch- und Reinigungsmittelhersteller)

Alkalien

Substanzen, deren Lösung mit Wasser basische Reaktionen zeigen, d. h., die einen pH-Wert über 7 haben, z. B. Ätznatron, Soda, Natriumsilikat.

amphoter

Amphotere oder ampholytische Tenside sind Verbindungen, die sowohl positiv geladene Ionen – Kationen – sowie negativ geladene Ionen – Anionen – besitzen und daher innere Salze bilden, die je nach Reaktionsmedium sauer oder basisch reagieren.

anaerob

Verhältnisse, die durch die Abwesenheit von freiem Sauerstoff gekennzeichnet sind. Lebensweise von tierischen und pflanzlichen Organismen, die ohne freien Sauerstoff existieren.

Anionen

siehe unter Ionen

Appretur

Appretur bezeichnet die veredelnde Behandlung von Stoffen und Textilien, aber auch Garnen und Fasern sowie Papier und Leder, um ihnen ein besonderes Aussehen und/oder bestimmte Eigenschaften zu geben. Dazu gehören beson-

dere Oberflächenstrukturen, Steifheit, Weichheit, Glanz, Dichte, Glätte, Geschmeidigkeit, aber auch wasserabweisende, antistatische, flammhemmende oder antimikrobielle Ausrüstungen.

Avivage

Textilhilfsmittel zur Verbesserung der Lauf- und Gleiteigenschaften für die Weiterverarbeitung von Chemiefasern in Form von Seifen, Ölen oder Fetten. In der Textilveredlung haben die Ausrüstungsmittel die Aufgabe, den Stoffen (Gewebe, Gewirke etc.) den spezifischen Ausrüstungseffekt zu geben (z. B. Geschmeidigkeit, Griff, Glanz).

beizen

hier: Entfernen von Oxiden (z. B. Rost) u. a. Metallverbindungen von Oberflächen durch chemische oder elektrolytische Behandlung.

biologischer Abbau

Abbau einer organischen Substanz (z. B. im Wasser oder im Boden) durch Einwirkung von Mikroorganismen (z. B. Bakterien).

Bitumen

Aus Erdöl gewonnene hochmolekulare Kohlenwasserstoffgemische. Verwendung als Anstrichstoffe in der Dachpappenindustrie, hauptsächlich aber als Straßenbaumaterialien.

CESIO

Comité Européen des Agents de Surface et de leurs Intermédiaires Organiques (Europäischer Ausschuss der Hersteller von Tensiden und ihrer organischen Vorstufen) mit Sitz in Brüssel.

Detergenzien

Heute: Bezeichnung für Waschmittel. Früher: Bezeichnung für grenzflächenaktive Stoffe, Tenside.



dispergieren

Möglichst feine Verteilung eines Stoffes in einem anderen.

Egalität

Gleichmäßiges Aufziehen z. B. eines Farbstoffes.

Emulsionen, Emulgieren, Emulgator

Disperse Systeme von zwei nicht oder nur teilweise miteinander mischbaren Flüssigkeiten, von denen die eine in der anderen fein verteilt ist, z. B. Wasser/Öl (W/O)-Emulsion, d. h. Wassertröpfchen sind in einer Ölphase verteilt, emulgiert. Andererseits lässt sich Öl in Wasser emulgieren, was zu O/W-Emulsionen führt. Butter ist eine W/O-, Milch ist eine O/W-Emulsion. Emulsionen können über lange Zeit stabil sein. Ihre Stabilität wird u. a. gewährleistet durch grenzflächenaktive Stoffe, Tenside, die man in diesem Zusammenhang Emulgatoren nennt.

Entkalkungsmittel

Sie reduzieren die während des Äschervorgangs zum Hautaufschluss erforderliche alkalische Schwellung und neutralisieren bzw. entfernen die in die Tierhaut eingelagerten Alkalien und Calciumverbindungen. Entkalkungsmittel sind z. B. Salze, Säuren, Komplexbildner.

Erdölemulsionsspalter

Dienen zum Aufbrechen einer Emulsion aus Wasser und Rohöl. Es handelt sich um stark hydrophile Verbindungen, z. B. Salze von Fettsäuren und Sulfonsäuren sowie die Säuren selbst, die in kleinen Mengen zugesetzt werden und schnell die W/O-Emulsion brechen.

Flotation

Aufbereitungsverfahren für Erze, Kohle und Salze (nasses Schaumschwimmverfahren). Nicht benetzbares Erz oder Kohle verbindet sich mit Schaum, das benetzbare taube Gestein sinkt nieder.

Hilfsmittelindustrie

hier: Industriezweig, der die für die Bearbeitung von Textilien, Leder, Pelzen und Papier notwendigen chemischen Erzeugnisse produziert. Aber auch in einer Vielzahl von anderen Bereichen werden Tenside als Hilfsmittel eingesetzt.

Inhibitor

Stoff, der eine Reaktion (Rosten) oder einen Vorgang (Schäumen) hemmt oder verzögert.

Ionen

Atome oder Atomgruppen, die ein- oder mehrfach, positiv oder negativ elektrisch geladen sind. Positiv geladene Ionen: Kationen. Negativ geladene Ionen: Anionen

Kationen

siehe unter Ionen

Kettenglättmittel

Schlichtezusatzmittel zur Verbesserung der Weichheit und Glätte von Kettfäden.

Kohle-Wasser-Slurries

Aufschlammung von fein gemahlener Kohle in Wasser.

Lickeremulsion

Emulsionen aus Fett, Wasser und Emulgatoren. Dienen in der Gerberei als Fettungsmittel, mit denen Leder nach der Gerbung gefettet wird.

Netzmittel

Stoffe, die in Lösungen die Grenzflächenspannung des Wassers oder anderer Flüssigkeiten herabsetzen, so dass diese die Oberflächen von Festkörpern besser erreichen und, falls es sich um durchlässige Oberflächen handelt (z. B. Textilfasern), in die Oberflächen eindringen und sie unter Verdrängung der Luft gründlich benetzen und durchtränken können.

OECD

(Organisation for Economic Cooperation and Development) Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung mit 34 Mitgliedsstaaten.



persistent

anhaltend, dauernd, widerstehend

Phasentransfer-Katalyse

Methode, um Reaktionen zwischen Substanzen zu ermöglichen oder zu beschleunigen, die sich in verschiedenen Phasen befinden (z. B. zwei nichtmischbare Flüssigkeiten). Die Reaktion kommt erst in Gang, wenn dem System eine kleine (katalytische) Menge zugesetzt wird, die einen der Reaktanden (meist ein Anion) durch die Grenzfläche aus der einen in die andere Phase transportiert. Geeignete Verbindungen sind quartäre Ammonium-, Phosphonium-, Oniumverbindungen und Kronenether.

Pigment

Nach DIN ein im Anwendungsmedium praktisch unlösliches anorganisches oder organisches, buntes oder unbuntes Farbmittel.

Polymerisation

Chemischer Vorgang, bei dem sich viele kleine Moleküle eines oder mehrerer Stoffe (Monomere) zu großen Molekülen (Polymere) chemisch verbinden. Der neue Molekülverband besitzt andere Eigenschaften als die Ausgangsverbindungen. Kunststoffe sind Polymere. Es gibt aber eine Vielzahl weiterer Polymere, beispielsweise Cellulose, Stärke, Eiweiß.

Primärförderung

Natürliche Produktivität einer Ölquelle (Öl wird durch Erdgas herausgepresst oder wird abgepumpt).

PVC

Polyvinylchlorid. Kunststoff, Polymerisationsprodukt aus Vinylchlorid

Schlichten

Schlichtemittel verleihen den zum Verweben bestimmten Garnen Glätte, Geschlossenheit, Geschmeidigkeit und Festigkeit, um sie für die Weiterverarbeitung auf dem Webstuhl geeigneter zu machen. Bestehen entweder aus makro-

molekularen Naturprodukten (Stärke und -derivate) oder synthetischen polymeren Produkten (z. B. Polyvinylalkohol).

Sekundärförderung

Erhöhung der Ausbeute einer Ölquelle durch Einpressen von Erdgas oder Wasser. Mit den Methoden der Primär- und Sekundärförderung erreicht man jedoch nur eine ca. 30 %ige Ausnutzung eines Öllagers. Siehe auch Tertiärförderung.

Solubilisation

In Tensidlösungen bilden sich Tensidagglomerate, die Micellen. Wasserunlösliche organische Stoffe können in die Micellen eingeschlossen und solcherart in die wässrige Phase eingetragen werden. Obwohl nicht direkt im Kontakt mit dem Wasser, werden sie somit in Lösung gebracht. Das Solubilisationsvermögen ist eine charakteristische Eigenschaft der Tenside.

Suspension

Aufschwemmung kleiner, fester, unlöslicher Teilchen in einer Flüssigkeit.

Tertiärförderung

Weitergehende Maßnahmen zur Förderung von Erdöl

- a) Wärmefluten, d. h. Erhitzen des ölführenden Gesteins mit Heißwasser, Dampf (340 °C).
- b) Lösungsmittelfluten, d. h. Einpressen von organischen Lösungsmitteln, Flüssiggasen oder CO₂.
- c) Chemisches Fluten, d. h. Einpressen von Tensiden und/oder Polymer-Lösungen, die das Erdöl "vor sich her schieben".

Walken

Verfilzen und Verdichten (verstärktes Schrumpfen in Länge und Breite) von Woll- oder fremdfaserhaltigen Woll-Stückwaren im warmen Feuchtzustand.



Literatur

Bertrich, F.:

„Kulturgeschichte des Waschens“, Econ Verlag, Düsseldorf 1966.

Bohmert, F.:

„Hauptsache sauber? Vom Waschen und Reinigen im Wandel der Zeit“, Stürtz-Verlag, Würzburg 1988.

Cutler, W. G., Kissa, E.:

„Detergency“, Marcel Dekker Inc., New York 1987.

Falbe J. (Hrsg.):

„Surfactants in Consumer Products, Theory, Technology, Applications“, Springer Verlag, Heidelberg 1987.

Fonds der Chemischen Industrie (Hrsg.):

„Folienserie Tenside“, Frankfurt 1992.

Fonds der Chemischen Industrie (Hrsg.):

„Folienserie Umweltbereich Wasser“, Frankfurt 1994.

Gawalek, G.:

„Tenside“, Akademie Verlag, Berlin 1975.

Glohuber, C., Künstler, K.:

„Anionic Surfactants, Biochemistry, Toxicology, Dermatology“, Marcel Dekker Inc., New York 1992.

Jakobi, G., Löhr, A.:

„Detergents and Textile Washing, Principles and Practice“, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1987.

Kjellin, M., Johansson, I.:

„Surfactants from Renewable Resources“, J. Wiley & Sons, New York 2010.

Kosswig, K., Stache, H. (Hrsg.), Adam, W.:

„Die Tenside“, Carl Hanser Verlag, München 1993.

Lindner, K.:

„Tenside-Textilhilfsmittel Waschrohstoffe“, Wissenschaft I. Verlagsges., Stuttgart, Bde. 1 und 2, 1964, Bd. 3, 1971.

Richtler, H. J., Knatit, J.:

„World Prospects for Surfactants“, Kongressberichte Welt-Tensid-Kongreß, Paris 1988, Bd. 15, S. 3-58.

Richtler, H. J., Knatit, J.:

„Surfactants in the Nineties“, Seifen, Öle, Fette, Wachse 117 (1991), S. 545-553.

Rosen, M. J. Kunjappu, J. T.:

„Surfactants and Interfacial Phenomena“, 4. Aufl., J. Wiley & Sons, New York 2012.

Schöberl, P. Bock, K. J., Huber, L.:

„Ökologisch relevante Daten von Tensiden in Wasch- und Reinigungsmitteln“ (Sachstandsbericht des Hauptausschusses Detergentien), Tenside Surf. Det. 25 (1988), S. 96-98.

Schöberl, P.:

„Alkylbenzolsulfonat (LAS) – Monitoring“, Tenside Surf. Det. 32 (1995), S. 25-35.

Scholz, N., Müller, F. J.:

„The Riverine Biocoenosis Model“, Chemosphere 25, (1992), S. 563-579.

Schwuger, M. J., Findenegg, G. H.:

Lehrbuch der Grenzflächenchemie“, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2001.

Stache, H., Grossmann, H.:

„Tensid-Taschenbuch“, Carl Hanser Verlag, München, 3. Ausg. 1990.

Stache, H. Grossmann, H.:

„Waschmittel: Aufgaben in Hygiene und Umwelt“, 2. Aufl., Springer-Verlag, Heidelberg 1992.

Stalmans, M. et al.:

„European Life Cycle Inventory for Detergents Surfactants Production“: Tenside Surf. Det. 32 (1995), S. 4-109.

Swisher, R. D.:

„Surfactant Biodegradation“, 2. Aufl., Marcel Dekker Inc., New York 1986.

TEGEWA (Hrsg.): “

„Informationsserie Textilchemie“, Frankfurt 2007.

Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, 4. Aufl.:

„Emulsionen“, Bd.10 (1975), S. 449-473,
„Enzyme“, Bd. 10 (1975), S. 475-561,
„Hautkosmetika“, Bd. 12 (1976), S. 557-567,
„Tenside“, Bd. 22 (1982), S. 455-515,
„Textilhilfsmittel“, Bd. 23 (1983), S. 1-102,
„Waschmittel“, Bd. 24 (1983), S. 63-160.

Ullmanns Encyclopdia of Industrial Chemistry, 5. Aufl. (Aktuell: 7. Auflage):

„Detergents“, Vol. A8 (1987), S. 315-448,
„Disperse Systems and Dispersants“ Vol A8 (1987), S. 577-601,
„Emulsions“, Vol. A9 (1987), S. 297-339,
„Enzymes“ Vol. A9 (1987), S. 341-530,
„Skin Cosmetics“, Vol A24 (1993), S. 219-245,
„Surfactants“, Vol A25 (1994), S. 747-817.

Günter, W:

„Waschmittel: Chemie, Umwelt, Nachhaltigkeit“, 4., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Verlag Wiley-VCH, Weinheim 2010.

Werdelmann, B. W.:

„Tenside in unserer Welt – heute und morgen“, Kongressberichte Welt-Tensid-Kongress, Bd. 1, S. 3-21, München 1984.

