

Reinigungsmittelrückstände in Mehrwegflaschen

Zur Einführung: Wie viel Seife...?

Schaumberge auf den hiesigen Gewässern machten in den 50er Jahren deren Verschmutzung offensichtlich. Tetrapropylenbenzolsulfat (TPS), die am häufigsten verwendete Grundsubstanz der damaligen Waschmittel, löste Sauerstoffarmut aus. Massenhaft starben die im Wasser lebenden Tiere. TPS ist durch biologische Prozesse nicht abbaubar und reicherte sich dem zufolge immer weiter an. Die starke Verschmutzung der Gewässer folgte auch aus der Überdosierung, die in den privaten Haushalten gang und gäbe wurde. Während professionelle Wäschereien deutlich weniger waschaktive Stoffe einsetzten, war z. B. die Einführung der häuslichen Wasch- und Spülmaschinen ein wesentlicher Faktor für die vermehrte Gewässerverschmutzung.



Es folgten 1965 die gesetzlichen Vorschriften, dass die Wirkstoffe in Waschmitteln zu mindestens 80% abbaubar sein müssen, und seit 1977 gibt es phosphatfreie Waschmittel, die die Überdüngung der Gewässer reduzierten. Dem gegenüber steht allerdings das Problem ihres übermäßigen Einsatzes, der auch noch stetig steigt.

Die Problematik der Schaumberge ist heute weitgehend abgelöst u.a. durch die Plastikmüllhalden und -strudel in Flüssen und Meeren. Unverrottbar, vom Wasser aufgeschwemmt, durch die Zeit klein gemahlen und vom Wind fortgetragen, findet sich Plastik inzwischen in jedem Winkel der Welt und ist zu

einer der bedeutendsten Umweltbelastungen geworden. Umweltverbände wie *Greenpeace*, die *Deutsche Umwelthilfe* und die *Deutsche Meeresstiftung* sehen die Verpackungsindustrie in der Verantwortung hin zu einem radikalen Wandel und fordern die Abschaffung von Einweg-Plastikflaschen und -Getränk kartons.

Einige Zahlen zum Mehrweg von Getränkeflaschen

Zurzeit verzeichnet das Bundesumweltamt noch einen stetigen Rückgang von Mehrweg-Getränkeverpackungen. 2010 lag ihr Anteil bei 48%, 2017 noch bei knapp 43%. Auf das gesamte in Deutschland verpackt umgesetzte Getränkevolumen waren die Verpackungsarten 2018 wie folgt verteilt: Einweg-Kunststoffflaschen 52,2%, Mehrweg-Glasflaschen 29,2%, Mehrweg-Kunststoffflaschen 13,6% Aluminiumdosen 3,2%, Getränkekartons 1,1%. Da Getränkeverpackungen mehr als ein Viertel (!) der deutschen Verpackungsabfälle ausmachen, würde ein höherer Mehrweganteil den Verpackungsabfall auch insgesamt deutlich reduzieren. 40% der Plastikprodukte in der EU werden innerhalb eines Monats zu Abfall.

Mehrweg-Glasflaschen werden bis zu 50-mal und PET-Mehrwegflaschen bis zu 20-mal wiederbefüllt. Je häufiger Mehrwegflaschen wiederverwendet werden, je kürzer die Transportwege und je effizienter die Reinigungsprozesse sind, desto umweltfreundlicher ist der Gebrauch der Flaschen.

Waschanlagen für Wasserflaschen

Immerhin werden in Deutschland pro Tag ca. 3 Millionen Mehrwegflaschen gereinigt. Waschanlagen für Wasserflaschen beginnen mit dem „Sniffer“, der Reste etwaiger Fremdbefüllungen „riechend“ detektiert. Die häufigste Ursache für das Aussortieren gebrauchter Flaschen sind Tee- und Limonadenreste (vor allem in PET-Flaschen, sie werden den Fremdgeruch nicht mehr los). Weitere häufige Ursachen sind wasserfeste Beschriftungen sowie Glasbruch am Gewinde (daher soll man bei der Rückgabe der Flaschen den Deckel aufschrauben!). Rund 1% der Mehrwegflaschen werden insgesamt aussortiert.

Die nicht aussortierten Flaschen gelangen in den Reinigungsprozess. In Tauch- und Spritzstationen werden Tenside eingesetzt. Sie helfen, den Schmutz zu lösen. Der abschließende Spülvorgang findet kopfüber statt. Dabei passieren die Flaschen Spülkaskaden, in denen das Wasser von einer Flasche zur nächsten geleitet wird, während die Flaschen in ihrer Hierarchie nach oben wandern. So kommen sie stufenweise mit frischerem Wasser in Kontakt.

Dabei wird für die Reinigung einer Flasche etwa so viel Wasser benötigt wie diese fasst.

Eigenschaften von Tensiden

„Tensid“ ist ein Sammelbegriff für oberflächen- und grenzflächenspannungsaktive Stoffe. Alle tensio-aktiven Moleküle vereinen einen polaren (Sulfat) und einen nicht-polaren (Alkylrest) Anteil. Aufgrund dieser doppelten Affinität „fühlt“ sich ein Tensid-Molekül in keinem Lösungsmittel „wohl“, sei es polar oder unpolar, da immer eine der Gruppen das Lösungsmittel „nicht mag“. So haben Tensid-Moleküle die Neigung, zu Grenzflächen zu wandern und sich so zu orientieren, dass die polare Gruppe im Wasser liegt, während die unpolare Gruppe aus ihm herausgesetzt wird. Auf diese Weise verbinden sie sich mit allem und jedem, halten es fest und mit dem Wasser in Kontakt. Es ist klar, dass uns genau diese Eigenschaft in Reinigungsmitteln nützlich ist.

Oft sind die eingesetzten Tenside aber nur bedingt definiert. Es ist eine Folge ihres Herstellungsprozesses, dass sie als eine Mischung aus vielen ähnlichen Substanzen mit einer Reinheit von meist weniger als 60 – 70 % (!) vorliegen. In aller Regel hat man es bei Tensiden mit einer Mischung von Stoffen ähnlicher Eigenschaften zu tun.

Zudem werden Tenside aufgrund ihrer Kontaktfreudigkeit bei Gebrauch zu Transportvehikeln für allerlei andere Stoffe, die sie lösen und an sich gebunden weiter transportieren. So bedeutet die Anwesenheit eines Tensid-Restes in Mehrwegflaschen, dass im Konglomerat auch andere Stoffe mit vorhanden sein können. Diese weitreichende Thematik fordert zu Lösungen auf, weil es keine gangbare Alternative ist, ständig neue Flaschen herzustellen.

Tenside im Tropfbildlabor des Strömungsinstituts

Neben den Tensid-Mischungen, deren Rezeptur Betriebsgeheimnis der Hersteller ist, gibt es nur wenige Arten eindeutig definierter Tenside. Das Strömungsinstitut hat 2019 unter ihnen zwei Sorten ausgewählt und in neun Verdünnungsstufen von 1 : 1 000 bis 1 : 100 000 000 (1 000 ppm bis 0,01 ppm) im Tropfbildlabor untersucht. Der Übersichtlichkeit halber beschränkt sich dieser Artikel auf die Darstellung der Ergebnisse von sechs Verdünnungsstufen des einen Tensids SDS (Natriumdodecylsulfat, englisch sodium dodecyl sulfat).

Im Hintergrund dieser Studie steht eine sich intensiv entwickelnde Zusammenarbeit des Strömungsinstituts mit verschiedenen Abfüllern von Mineralwässern. Diese sind insbesondere mit der Schwierigkeit konfrontiert, den Verbrauch von Spülwasser zu minimieren, und zugleich ein Zurückbleiben von Reinigungsmitteln zu verhindern. In zahlreichen Auftragsuntersuchungen hat das Strömungsinstitut Proben untersucht, um Maßnahmen zur Verbesserung der Reinigungs- und Spülprozesse zu vergleichen.

(Anfang der 90er Jahre wurden an Verdünnungsreihen mit dem damals viel verwendeten Tensid TPS am Strömungsinstitut Tropfbild-Untersuchungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind u.a. im Buch „Wasser verstehen lernen“¹ veröffentlicht und korrelieren in vielen Details mit denen der hier beschriebenen Studie. Heute werden statt des schwer abbaubaren, weit verzweigten TPS zunehmend kurzkettige Tenside verwendet.)

Ziel der 2019 vom Strömungsinstitut als unabhängige Studie durchgeführten Untersuchung an Verdünnungen des Tensids SDS war es nun, die Ergebnisse von Tropfbild-Untersuchungen an Proben, in denen eine tensio-aktive Belastung vermutet werden konnte, mit einer definierten Tensidmenge korrelieren zu können.

Wie auch der Begriff „Tensid“ ist der Begriff „Tensio-Aktivität“ ein Sammelbegriff, der sich auf eine Vielzahl unterschiedlicher Substanzen bezieht, alle mit der Eigenschaft, sich an Grenzflächen anzulagern und/oder mit umgebenden Oberflächen Verbindungen einzugehen. Nicht nur die Inhaltsstoffe von Waschmitteln, sondern nahezu alle organischen Verbindungen haben diese „kommunikationsfreudige“ Eigenschaft. Die Tropfbildmethode wird seit Jahrzehnten erfolgreich als Indikationsinstrument für organische Verunreinigungen eingesetzt, da tensio-aktive Inhaltsstoffe die Strömungseigenschaften einer Wasserprobe spezifisch verändern.

Durch die differenzierte Beschreibung der Strömungseigenschaften der Laborproben mit definierter Menge des Tensids SDS wurden nun Aussagen möglich über den Umfang der tensio-aktiven Wirkung organischer Verunreinigung in anderen Proben, und die zunächst bildhaft sprechenden Ergebnisse der Tropfbildmethode können nun hinsichtlich der Quantität einer tensio-aktiven Belastung interpretiert werden.

An einer Auswahl von Beispielen, welche die Abfüllung von Mineralwässern oder die Aufreinigung eines Leitungswassers betreffen, werden derartige Korrelationen in diesem Beitrag vorgenommen.

Zur Einführung in die Auswertung von Tropfbildern

Den Beschreibungen der Tropfbilder dieser Proben und ihrem Vergleich untereinander sind – in Rahmen gefasst – Hinweise beigefügt, die in die Auswertung von Tropfbildern einführen. Damit kommen wir dem oft geäußerten Wunsch nach, Materialien zum „Einlesen“ in die Tropfbild-Auswertung zur Verfügung

¹ „Wasser verstehen lernen – die Erhaltung der Lebensgrundlage Wasser erfordert ein neues Bewusstsein“, Andreas Wilkens et al. 1995, Verein für Bewegungsforschung e.V., vergriffen – Neuauflage in Vorbereitung

zu stellen. Die Tensid-Verdünnungsreihe eignet sich hierbei gut für einen ersten Schritt. Anhand anderer Untersuchungsergebnisse können später weitere Aspekte in den Blick genommen werden.

Beschreibungen der Durchführung eines Tropfbildversuchs finden Sie u.a. im Band 5 der Reihe „Sensibles Wasser“². Kurz gesagt, werden in der Probenflüssigkeit durch einfallende Tropfen destillierten Wassers Strömungsbewegungen angeregt und fotografiert.

Als „Bildschaffende Methode“ geht die Tropfbildmethode über analytische Verfahren hinaus, welche Inhaltsstoffe und ihre Konzentrationen bestimmen, indem sie fragt: „Wie ist ein Wasser als Ganzes? Wie zeigen sich Eigenschaften dieser Wasserprobe in einem Gesamtbild?“ Hier geht es um die Beweglichkeit des Wassers im Zusammenhang mit seiner Fähigkeit, den Lebensprozessen zu dienen, indem es Verwandlung, Werden und Vergehen ermöglicht. Dieser Ansatz ist gerade heute sinnvoll, da in rascher Folge immer mehr Stoffe zusammenkommen, die das Wasser verunreinigen: Mikroplastik, Antibiotika, Röntgenkontrastmittel, Hormone, diverse Medikamente, Pestizide, Imprägniermittel, Nanomaterialien usw., die in ihrem Zusammenwirken auf lebendige Organismen weitgehend unbekannt sind.

Strömungsgeschehen und Strömungsbild

Es ist möglich, vom Strömungsbild zurück zu schließen auf die ihm zu Grunde liegenden Strömungsbewegungen. Die erste, grundlegende Figur ist ein einfacher Ringwirbel. Sein Bild dominiert die Strömungsbilder der Proben mit 1000 und 100 ppm SDS. Das Strömungsgeschehen dieser Proben kommt über das Phänomen Ringwirbel nicht hinaus. Einzelwirbel sind Resultate der Aufgliederung dieses Ringwirbels. Zwischenwirbel haben ihren Ursprung in einem Neben-Ringwirbel des Haupt-Ringwirbels. Das Bild der sog. Dendriten erscheint dort, wo Rückstrombewegungen sich walzenartig ausbilden. Sie behalten die einmal eingenommene Figuration bei und verstärken sich. Im Folgenden verzichten wir darauf, die Prozesse, die zur Formentstehung führen, weiterhin mit zu beschreiben, da dies für die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Reinheit des Wassers nicht ohne Bedeutung ist.

² „Die Versuchstechnik der Tropfbildmethode – Dokumentation und Anleitung“, Andreas Wilkens et al. 2000, Verein für Bewegungsforschung e.V.

Als Referenzprobe dient uns das Wasser der Stutzhofquelle, destilliert.

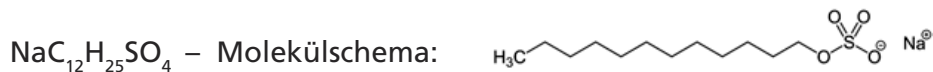
Größenordnungen der Verdünnungsstufen der Laborproben

Bei Verdünnungsreihen geht man mit großen Zahlen um, die kleine Mengen angeben. Ausgedrückt werden diese kleinen Mengen hier in Parts per Million (ppm). Zur besseren Vorstellbarkeit sind nachfolgend ungefähre Korrelationen aufgelistet. Diese Angaben dienen dazu, ein Gefühl für die Größenordnungen zu vermitteln, sie gelten aber nur ungefähr. Als grundlegendes Maß dient ein Tropfen mittlerer Größe. Zwar können Tropfen sehr verschieden groß sein, doch bedienen wir uns hier des in den Standardbedingungen der Tropfbildmethode festgeschriebenen Tropfens, der mit einem Kugelradius von 1,55 mm in seiner Größe genau definiert ist. Ein solcher „standardisierter“ Tropfen wiegt zwischen 15,5 – 15,6 mg. 1 000 dieser Tropfen wiegen also rund 15 g. Umgekehrt entspricht 1 Gramm Flüssigkeit ca. 70 Standard-Tropfen und 1 Kilogramm bzw. 1 Liter ca. 70 000 solcher Tropfen.

Bezogen auf die untersuchten Verdünnungsstufen:

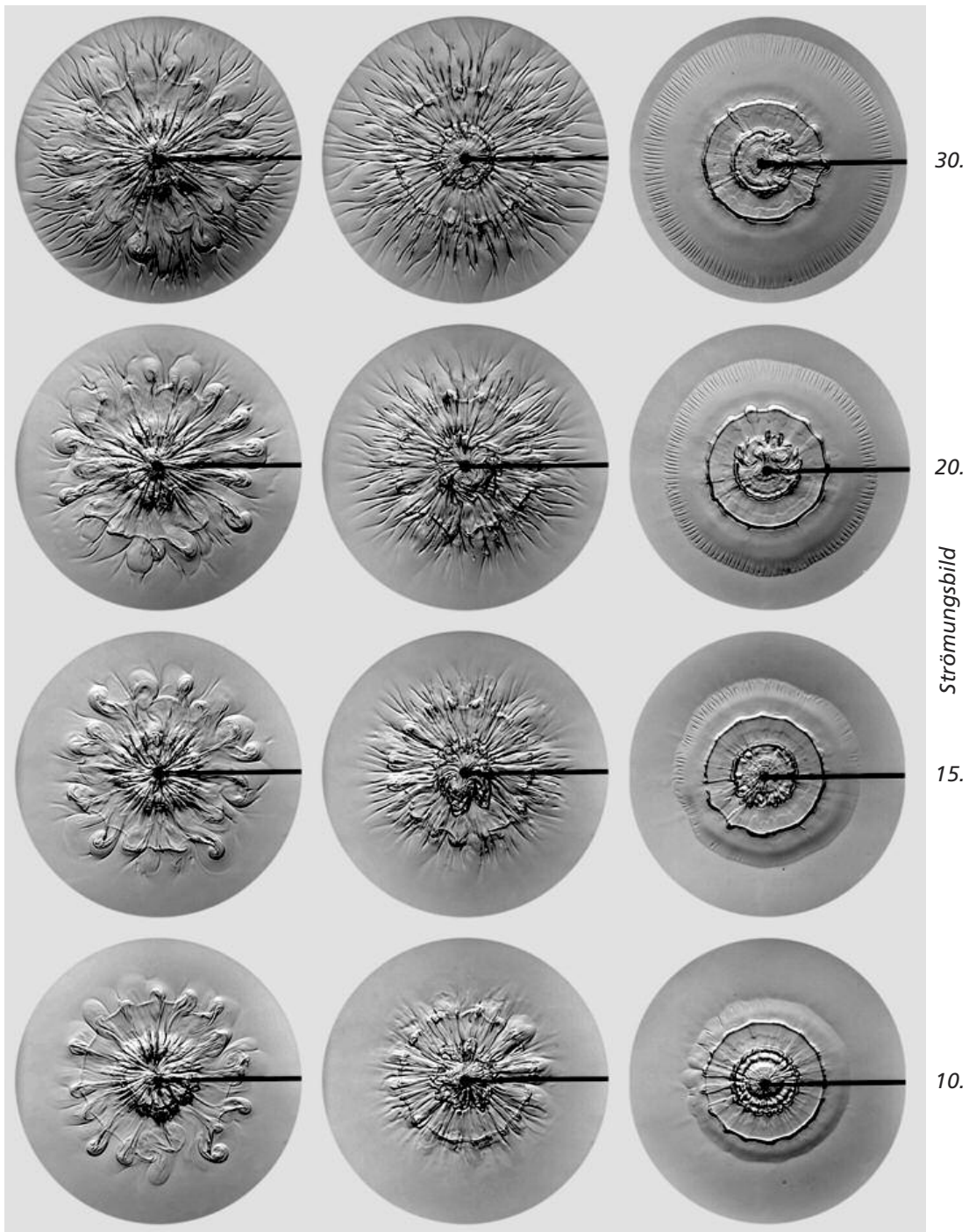
1:1 000	ca. 1 Tropfen pro Schluck	1 000 ppm
1:10 000	ca. 1 Tropfen pro Tasse	100 ppm
1:100 000	ca. 1 Tropfen pro großer Flasche	10 ppm
1:1 000 000	ca. 1 Tropfen pro großem Eimer	1 ppm
1:10 000 000	ca. 1 Tropfen pro ca. zwei volle Badewannen	0,1 ppm
1:100 000 000	ca. 1 Tropfen pro kleiner Tankwagen	0,01 ppm

In einer ersten Versuchsserie wurden diese sechs Verdünnungsstufen untersucht. In einer zweiten Serien untersuchten wir dann die vier höchsten Verdünnungsstufen von 1:100 000 bis 1:100 000 000 (bzw. 10 ppm – 0,01 ppm) nochmals. (Die Ergebnisse einer zweiten Tensidsorte, die den gezeigten in vielen Aspekten ähneln, sind der Übersichtlichkeit halber hier weggelassen.)



Strömungsbilder der Proben mit definierter Menge des Tensids SDS

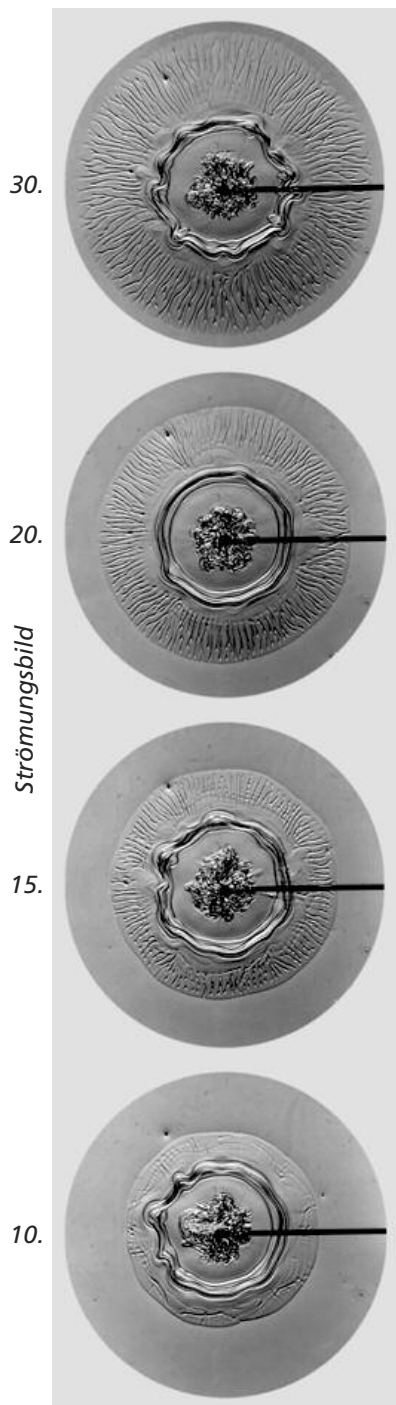




ca. 1 ppm SDS

ca. 10 ppm SDS

ca. 100 ppm SDS



ca. 1000 ppm SDS

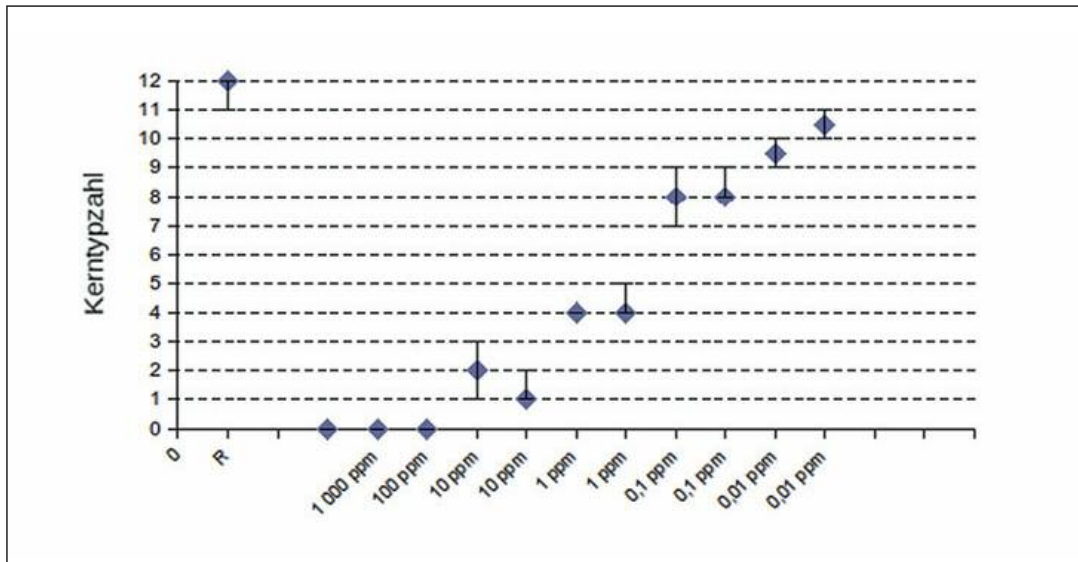
Abbildung 1, auf dieser und den vorigen beiden Seiten:
repräsentative Strömungsbilder der Verdünnungsreihen des Tensids SDS (Natriumdodecylsulfat in den Verdünnungsstufen von 1000 ppm bis 0,01 ppm in der ersten Versuchssreihe bzw. von 10 ppm bis 0,01 ppm in der zweiten Versuchsserie) mit destilliertem Quellwasser als Referenz

Beschreibung der Strömungsbilder der Tensid-Verdünnungsreihe

Veränderung der Abgrenzung zwischen Kern- und Wirbelzone („Kerntyp“)

Eine grafische Darstellung der Kerntypen der untersuchten Proben zeigt Tabelle 1. Nur die Strömungsbilder der Referenzprobe wiesen den „idealen“ Kerntyp 12 auf. Entsprechend dem Anstieg der Tensidkonzentration erfolgte ein steter Rückgang der Kerntypzahl.

Kerntypzahl
Median mit Maximum und Minimum
 Proben der ersten und zweiten Versuchsserie



Tab. 1:

Kerntypen der Verdünnungsreihen des Tensids SDS (Natriumdodecylsulfat in den Verdünnungsstufen von 1 000 ppm bis 0,01 ppm in der ersten Versuchsserie bzw. von 10 ppm bis 0,01 ppm in der zweiten Versuchsserie) mit destilliertem Quellwasser als Referenz

Im Strömungsbild wird der Kerntyp abgeleitet vom Grad der „Steigung der Wand des Kraters“ im Zentrum des Tropfbildes. Am Kerntyp ist die Graduierung vieler organischer Verunreinigungen erfahrungsgemäß gut ablesbar. Eine scharfe Abgrenzung der Kernzone hin zur Wirbelzone beim 12. Tropfbild zeigt ein von tensio-aktiven Stoffen unbelastetes Wasser an (Kerntyp 12). Bei Tensidbelastung erscheint der Kernrand breiter. Die Entwicklung der Kernzone im Verlauf eines Versuchs dient zur Einordnung in einen von zwölf Kerntypen, die anhand morphologischer Merkmale festgelegt sind.

Veränderung der Konturiertheit der Einzelwirbel

Die Strömungsbilder der unbelasteten Wasserprobe hatten scharf konturierte Wirbelformen. Erst zum Versuchsende hin nahm die Konturiertheit etwas ab. Bei Proben mit einer Tensidbelastung von 1 ppm und mehr SDS zeigten die Strömungsbilder verminderte Konturiertheit von Beginn an. Die Wirbelformen wirkten aufgelöst.

Veränderung der Formenvielfalt der Einzelwirbel

Die Strömungsbilder von Proben mit hoher Tensidbelastung von 100 ppm SDS und mehr zeigten keinerlei einzeln stehende Wirbel und keine Formen, die über den im Zentrum des Bildes stehenden Ring hinaus mehr als eine wellige Ausbuchtung bildeten. Bei mittleren Tensidkonzentrationen von 1 ppm SDS war der Formenreichtum der Wirbel stark vermindert. Zwar war das Gesamtbild gegliedert, doch seine Einzelelemente waren gleichförmig, variationsarm.

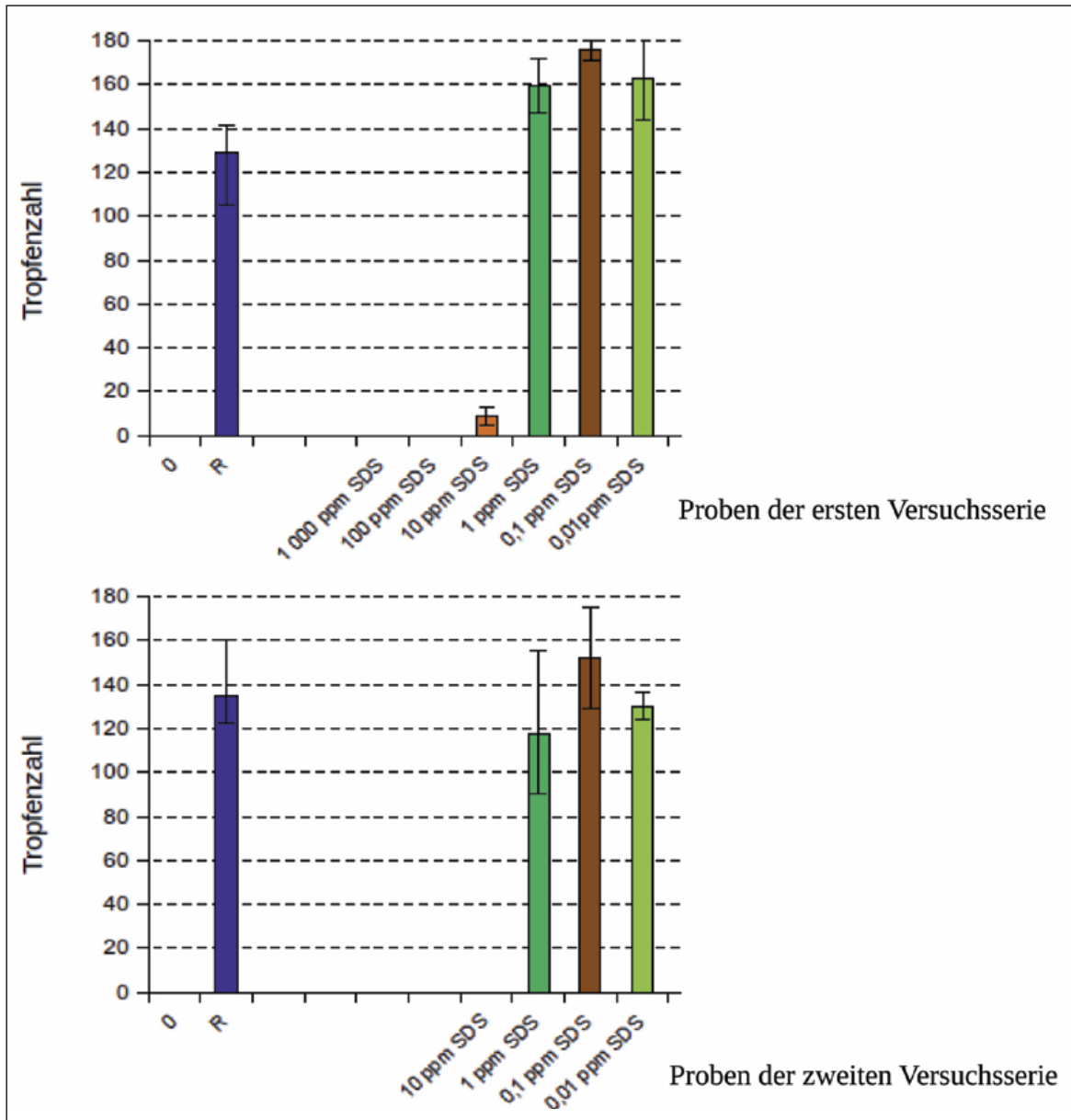
Veränderung der Gliederung der Wirbelzone durch Zwischenwirbel

Tabelle 2 zeigt die Summen der Zwischenwirbel der einzelnen Proben in beiden Versuchsserien, grafisch getrennt dargestellt.

Bei hohen Tensidkonzentrationen von 100 ppm bis 1 000 ppm SDS fehlten, wie gesagt, jegliche Wirbel. Beide Serien zeigten einen rapiden Anstieg der Zwischenwirbelsumme zwischen 10 ppm und 1 ppm SDS und zunächst eine weitere Zunahme der Zwischenwirbel bei fortschreitender Verdünnung der Tensidkonzentration. Eine gegenüber der Referenz erhöhte Wirbeligkeit war insbesondere bei Werten um 0,1 ppm SDS zu verzeichnen. Im Bereich der noch höheren Verdünnung von 0,01 ppm SDS gingen die Werte der Zwischenwirbelsumme wieder zurück und glichen sich an die der Referenz an.

Als Wirbeligkeit bezeichnen wir die Bildung frei stehender Einzelwirbel und die Ausbildung ihrer Formenvielfalt. Zwischenwirbel haben in der Regel einen kürzeren Stiel und einen breiteren Kopf als die langen, schmalen Primärwirbel. In den Strömungsbildern des organisch unbelasteten Wassers (Referenz) wechselten sich oft Zwischenwirbel und Primärwirbel ab und gliederten so die Zone rhythmisch. Die Zwischenwirbelsumme liefert damit ein Maß für die rhythmische Gliederung der Strömungsbilder einer Probe.

**Zwischenwirbelsumme
Median mit Maximum und Minimum**
Proben der ersten und zweiten Versuchsserie



Tab. 2:
Zwischenwirbelsummen der Verdünnungsreihen des Tensids SDS (Natriumdodecylsulfat in den Verdünnungsstufen von 1 000 ppm bis 0,01 ppm in der ersten Versuchsserie bzw. von 10 ppm bis 0,01 ppm in der zweiten Versuchsserie) mit destilliertem Quellwasser als Referenz.

Eine einfache Entwicklung wie beim Kerntyp – dort beinahe linear mit stetiger Annäherung an die Eigenschaften der Referenzprobe im Verlauf der Verdünnungsreihe – zeigte sich betreffend der Zwischenwirbelsumme also nicht. Der zunächst sprunghafte und dann überbordende Anstieg der Zwischenwirbelsumme mit Übertreffen der Referenz und anschließender Normalisierung konnte die Frage aufwerfen, wie die falsche Einstufung eines leicht verunreinigten Wasser als besonders hochwertig vermieden werden kann.

Verschiebung von Zeitpunkten

Tatsächlich zeigt sich bei einer differenzierteren Betrachtung, dass die gegenüber der Referenz vermehrte Wirbeligkeit in den Strömungsbildern gering verschmutzter Proben insbesondere in der frühen Versuchsphase auftritt.

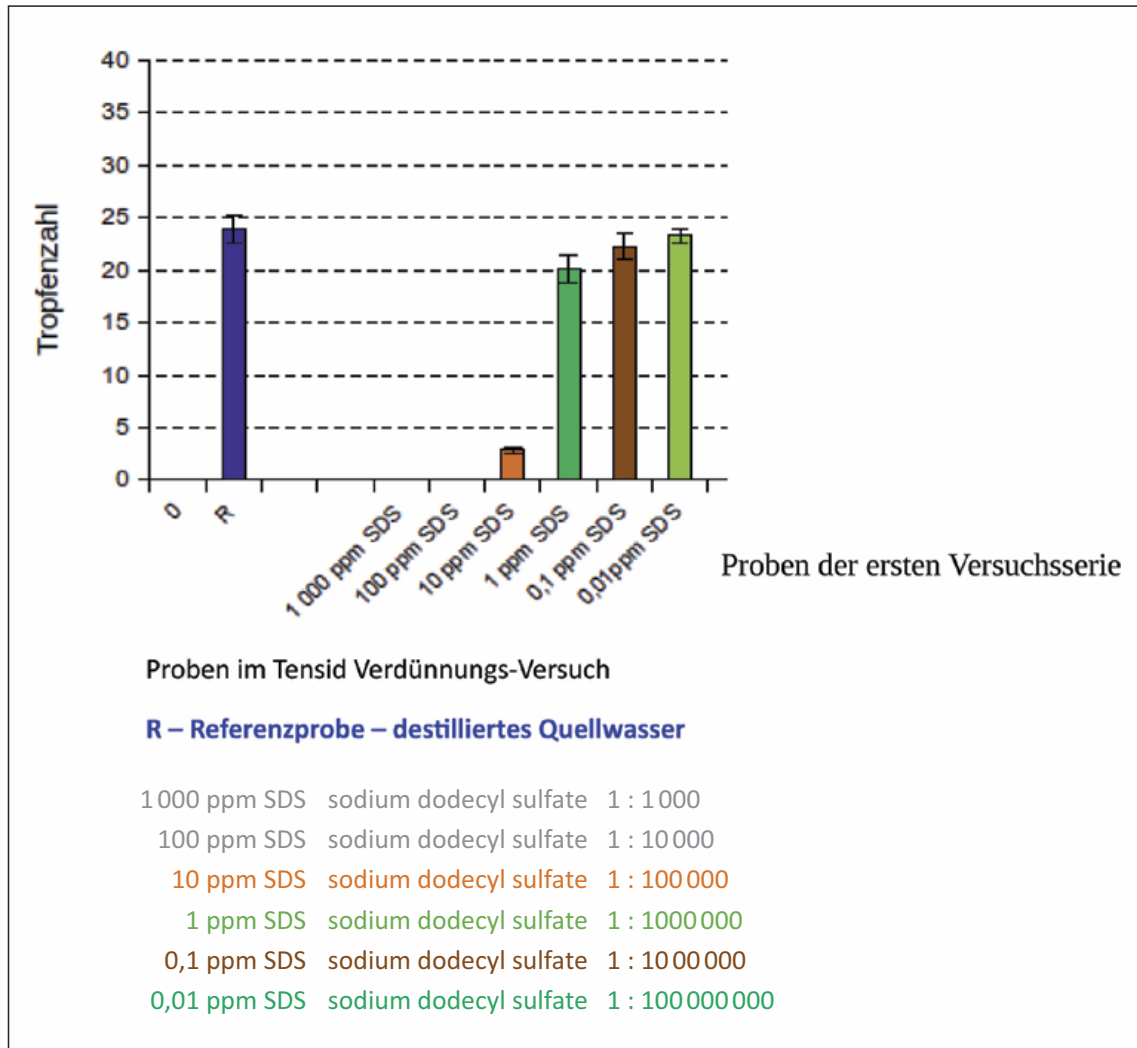
Summiert man die Zwischenwirbel nicht nur auf, sondern betrachtet ihr Auftreten im zeitlichen Ablauf der Versuchs zeigt sich eine Verschiebung. In den Bildserien S. 31 ist zu sehen, dass bei den Proben mit ca. 1 ppm SDS bereits beim 10. Strömungsbild kräftig bewegte Wirbelformen und mehrere Zwischenwirbel auftraten, wo die Referenz beim 15. Bild noch frei von Zwischenwirbeln war. Im Vergleich zwischen den Strömungsbildern der Proben mit 1ppm und denen mit 0,1 ppm SDS ist zu sehen, wie mit zunehmender Verdünnung die frühen Strömungsbilder wirbelärmer wurden. Die Strömungsdynamik der Referenzprobe zeichnete sich dadurch aus, dass sie zunächst „Ruhe bewahrte“, mindestens bis zum 10. Strömungsbild. Solche Verschiebungen betreffend des Zeitpunktes der stärksten Gliederung durch Zwischenwirbel sind ablesbar an der so genannten Schwerpunkt-Tropfenzahl in Tabelle 3.

Im späteren Versuchsverlauf erhielt sich die Referenzprobe ihre Wirbeligkeit wie auch die Konturiertheit der einzelnen Wirbelformen, wohingegen in den Strömungsbildern der Proben mit Tensidbelastung die Konturiertheit der Formen deutlich geschwächt war. Dies betraf auch die Proben mit nur geringer Tensidkonzentration, was anhand der jeweils 30. Strömungsbilder in den Bildtabellen ablesbar ist.

Insgesamt kann die Bestimmung der Zeitpunkte, zu denen ein Aspekt auftritt bzw. verschwindet, die Auswertung von Tropfbildern verfeinern. Auch die Bestimmung des Kerntyps kann über eine Aussage bezüglich eines Zeitpunktes erfolgen, indem protokolliert wird, bis zum wievielten Strömungsbild der Rand klar abgegrenzt ist. Vergleichbares ist auch in der Betrachtung der Zwischenwirbelsummen von Strömungsbildern einer Probe sinnvoll.

Die Schwerpunkt-Tropfenzahl drückt den Zeitpunkt der stärksten Gliederung des Tropfbildes durch Zwischenwirbel aus, angegeben anhand der Ordnungszahl des Eintropfvorgangs, z.B. 24. Tropfen für die Referenzprobe.

Schwerpunkt-Tropfenzahl der Zwischenwirbelsumme
Mittelwerte mit Standardabweichung
 Proben der ersten Versuchsserie



Tab. 3:
 Schwerpunkt-Tropfenzahl der Zwischenwirbelsumme der Verdünnungsreihen des Tensids SDS (Natriumdodecylsulfat in den Verdünnungstufen von 1 000 ppm bis 0,01 ppm in der ersten Versuchsserie) mit destilliertem Quellwasser als Referenz.

Vergleich der Strömungsbilder der Tensid-Verdünnungsreihe mit Strömungsbildern ausgewählter Proben

Im Folgenden werden die Tropfbilder verschiedener Untersuchungsergebnisse anhand der eingeführten Merkmale – Kerntypzahl, allgemeine Wirbeligkeit, Konturiertheit der Einzelformen, Zwischenwirbelsumme und Schwerpunkt-Tropfenzahl der Zwischenwirbelsumme – betrachtet. Die ausgewählten Proben dienen dem Vergleich von Glas- und PET-Flaschen, sowohl aus Einweg- wie auch aus Mehrweg-Gebrauch; andere Proben dokumentieren die Umstellung einer Abfüllanlage eines Mineralwassers; das letzte Beispiel zeigt ein Leitungstrinkwasser vor bzw. nach seinem Durchgang durch eine Destillationsanlage. In jeder dieser Untersuchungen spielte die Frage nach einem tensio-aktiven Einfluss eine Rolle. Dabei gehen die aufgefundenen tensio-aktiven Wirkungen in diesen Proben nicht notwendigerweise auf eine Verunreinigung durch Reinigungsmittelreste zurück.

Korrelierung

Die Korrelierung des Umfangs an tensio-aktiver Substanzwirkung in den angeführten Proben wird anhand des Vergleichs mit den Laborproben mit definierter SDS-Menge in einem groben Maßstab durchgeführt. In den betreffenden Bildtabellen sind dann auch die Konzentrationen an SDS angegeben, die vergleichbare Tropfbilder ergaben.

Strömungseigenschaften der ausgewählten Proben

Die Strömungseigenschaften des Stutzhof-Quellwassers, abgefüllt in Glasflaschen und PET-Flaschen, sowohl aus Einweg- wie auch aus Mehrweg-Gebrauch:

Als erstes Beispiel zeigen wir auszugsweise Ergebnisse einer umfassenden Materialuntersuchung aus dem Jahr 2010. Alle vier Proben sind Kontaktproben von Quellwasser der Stutzhofquelle in Herrischried. Das Wasser kam mehrere Stunden in Kontakt mit einer der vier Flaschenvarianten: Glas-Einweg-Flasche, Glas-Mehrweg-Flasche, PET-Einweg- oder PET-Mehrwegflasche.

(s. auch nächste Doppelseite)

An den Bildbeispielen Seite 40/41 ist in der mittleren Spalte zu sehen, dass der Kernrand beim 20. Strömungsbild bei Quellwasser, das mit PET-Mehrwegflaschen in Kontakt stand, deutlich weicher geformt war als bei Quellwasser nach Kontakt mit PET-Flaschen im Einweg-Gebrauch. In der rechten Spalte ist sichtbar, dass im späteren Verlauf die Konturiertheit der Formen (im Bereich zwischen der Kernzone und den Wirbelköpfen) verwaschen wurde.

So zeigte der Vergleich zwischen Einweg- und Mehrwegflasche aus PET-Material also die Abschwächung der Strömungsqualität des Wassers durch den Tensidrest aus der Reinigungsstraße.

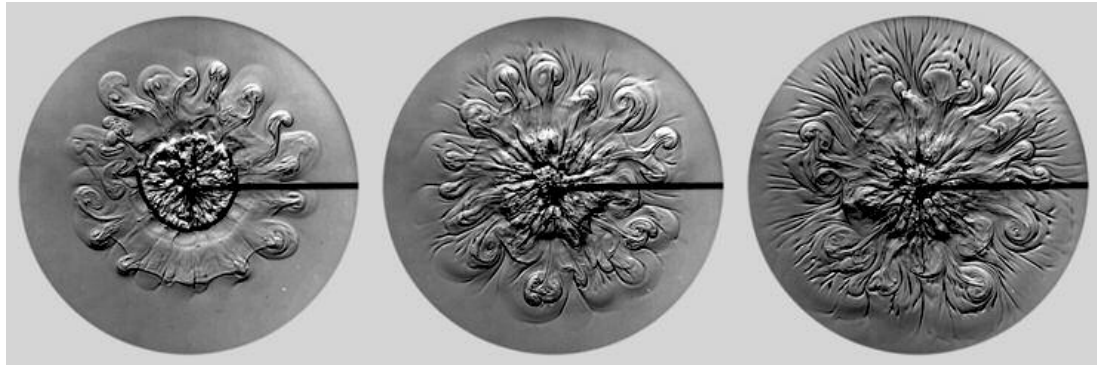
Im Vergleich zwischen Glas- und PET-Flaschen (sowohl Einweg als auch Mehrweg) zeigten die Proben aus den Glasflaschen in den frühen Strömungsbildern die größere Ruhe, jedoch wiesen die Strömungsbilder der Proben aus den Glasflaschen im späteren Versuchsverlauf gegenüber den PET-Proben eine schwächere Kontur auf.

Kontaktproben mit PET-Einwegflaschen zeigten die beste Strömungsqualität, die mit einer tensio-aktiven Belastung von weniger als 0,01 ppm SDS in Beziehung gesetzt werden kann. Die anderen drei Proben wiesen eine tensio-aktive Belastung entsprechend ca. 0,01 ppm SDS auf.

Grund für die beeinträchtigte Strömungsqualität der Glasflaschen in der Untersuchung aus dem Jahr 2010 war das PE-Material (Polyethylen) der damals verwendeten Deckel, die Weichmacher – auch in den Dichtungsringen – enthielten. Nachdem diese und andere Studien nachwiesen hatten, wurde das Material inzwischen verbessert.

Die Bilder zeigen derweil auch, dass der Unterschied zwischen den Varianten Glas-Einweg- und Glas-Mehrweg-Flasche nicht so groß war wie derjenige zwischen PET-Einweg- und PET Mehrweg-Flasche: Im 20. Strömungsbild verursachte Quellwasser nach Kontakt mit PET-Mehrweg-Flasche einen weicheren Kernrand als nach Kontakt mit PET-Einweg-Flasche. Dieser Unterschied ist bei den beiden Glasflaschenvarianten nicht aufgetreten. Somit kann angenommen werden, dass die Glasflaschen die Reinigungsstraßen mit geringerer Tensid-Belastung verlassen als die PET-Flaschen, da das Tensid sich am Glas nicht so leicht absetzt wie am PET-Material.

*Strömungsbilder des Stutzhof-Quellwassers,
abgefüllt in PET-Flasche aus Mehrweg- (oben) und
in PET-Flasche aus Einweg-Gebrauch (unten)*



10.

20.

30. Strömungsbild

PET-Flasche Mehrweg – ähnlich ca. 0.01 ppm SDS



10.

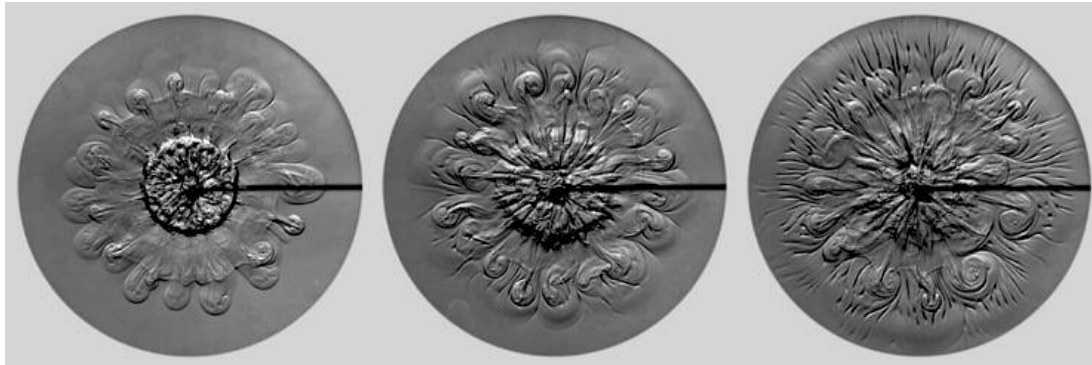
20.

30. Strömungsbild

PET-Flasche Einweg – ähnlich weniger als 0,01 ppm SDS

Abb. 2: Repräsentative Strömungsbilder der Kontaktproben von Quellwasser in PET-Flaschen aus Mehrweg- (oben) und aus Einweg -Gebrauch (unten)

*Strömungsbilder des Stutzhof-Quellwassers,
abgefüllt in Glasflasche aus Mehrweg- (oben) und
in Glasflasche aus Einweg-Gebrauch (unten)*

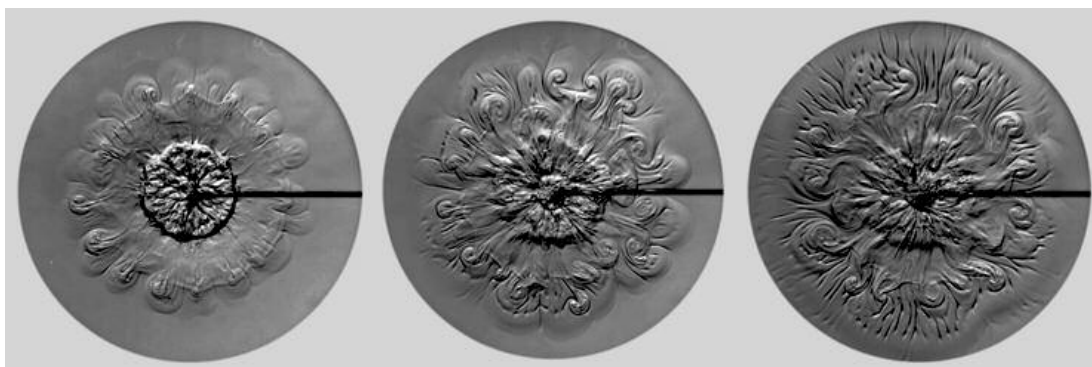


10.

20.

30. Strömungsbild

Glasflasche Einweg – ähnlich ca. 2 – 10 ppm SDS



10.

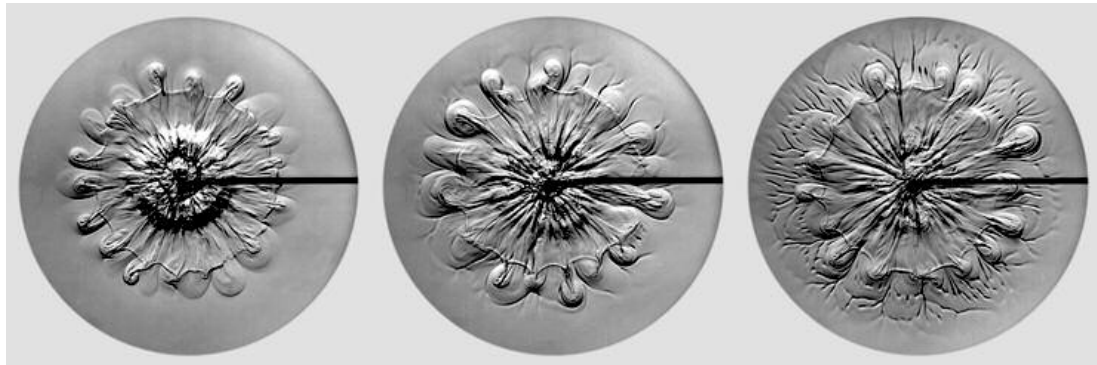
20.

30. Strömungsbild

Glasflasche Einweg – ähnlich ca. 2 – 10 ppm SDS

Abb. 3: Repräsentative Strömungsbilder der Kontaktproben von Quellwasser in Glasflaschen aus Mehrweg- (oben) und aus Einweg-Gebrauch (unten)

**Strömungsbilder eines Mineralwassers,
abgefüllt vor (oben) bzw. nach (unten) der
Umstellung des Abfüllprozesses**

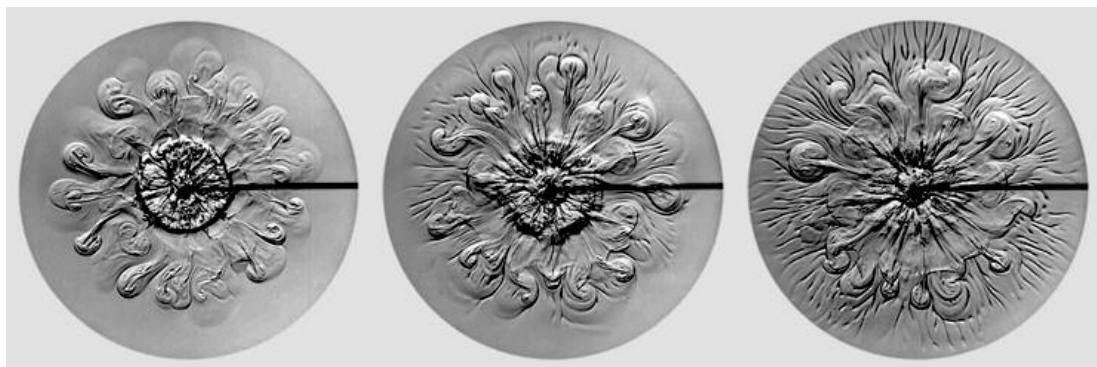


10.

20.

30. Strömungsbild

Entnahme vor Umstellung der Anlage – ähnlich ca. 1 ppm SDS



10.

20.

30. Strömungsbild

Entnahme nach Umstellung der Anlage – ähnlich ca. 0,01 – 0,1 ppm SDS

Abb. 4: Repräsentative Strömungsbilder eines Mineralwassers, abgefüllt vor (oben) bzw. nach (unten) der Umstellung des Abfüllprozesses

Eine wirkungssensorische Prüfung wies auf sehr gute Eigenschaften dieses Mineralwassers hin, während die Tropfbild-Untersuchung eine deutliche Schwächung seiner Strömungsqualität erfasste: Wie im obigen Bild (Abb. 4) deutlich sichtbar, war vor Umstellung der Anlage der Kernrand der frühen Bilder bereits zerflossen, und im gesamten Versuchsverlauf traten kaum einzeln stehende Wirbel auf, deren Formen zudem undifferenziert blieben.

Beim Auftraggeber löste das Ergebnis der Tropfbilduntersuchung den Impuls aus, den Prozess der Abfüllung zu verändern. Die sich anschließende zweite Tropfbilduntersuchung fand das Ergebnis daraufhin deutlich verbessert vor: Aus den Bildbeispielen auf Seite 42 ist ersichtlich, dass nun im 10. Strömungsbild der Kernrand scharf begrenzt war. Die starke und variationsreiche Wirbelbildung beim 20. Strömungsbild wies auf eine gute Strömungsqualität hin. Im weiteren Versuchsverlauf traten weiterhin Einzelwirbel auf, deren Formen allerdings bald monotoner wurden.

Im Vergleich mit der Verdünnungsreihe im Labor zeigten diese Mineralwasserproben einen relativ scharf begrenzten Kernrand bei relativ niedriger Formenvielfalt im Gesamtverlauf. Neben der tensio-aktiven Belastung, die für die Probe vom September (Abb. 4, oben) mit einer Entsprechung von ca. 1 ppm SDS und für die Probe vom Oktober (Abb. 4, unten) mit einer Entsprechung von ca. 0,01 – 0,1 ppm SDS angegeben werden kann, bringt das Mineralwasser natürlicherweise weitere Eigenschaften mit, die zu abweichenden Strömungsbildern führen und hier nicht weiter interpretiert werden.

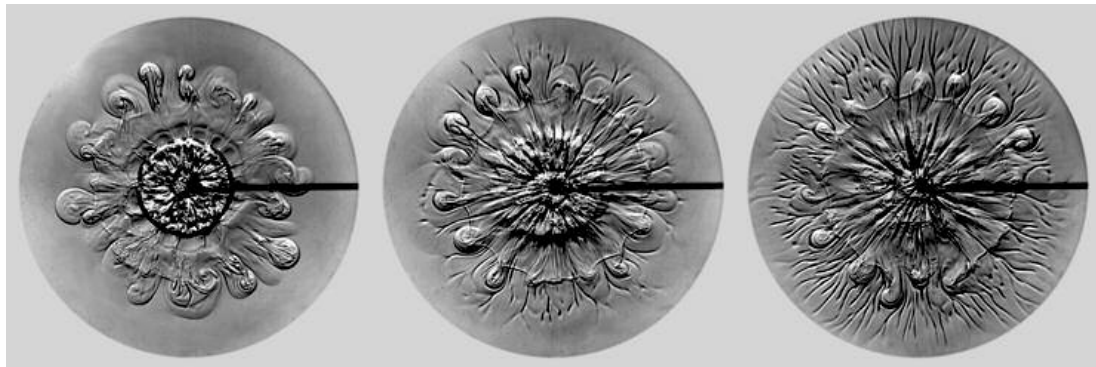
Die Strömungseigenschaften eines gechlorten Leitungswassers vor bzw. nach seinem Durchgang durch eine Destillationsanlage

Auch Leitungswasser kann eine organische Verunreinigung mit Tensioaktivität mitführen.

Das Leitungswasser dieses Beispiels sandte eine Arzneimittelfirma ein, die verschiedene Arten ihrer Aufbereitung von Wasser für pharmazeutische Zwecke vom Strömungsinstitut untersuchen ließ. Aufgenommen sind hier die Bildbeispiele der Leitungswasser-Probe sowie diejenigen desselben Wassers nach dem Durchgang durch eine Destillationsanlage.

Das betreffende Leitungswasser war vorab vom Wasserversorger gechlort worden – eine Maßnahme, die in aller Regel nicht ohne Grund getroffen wird und bereits darauf hinweist, dass vor der Chlorung eine bakterielle Belastung des Wassers vorlag. Die Bakterien stammten entweder aus dem Boden, mit dem das betreffende Grundwasser in Kontakt stand, oder aus den Rohrleitungen, in denen es geführt wurde, und wurden durch die Chlorung getötet. Die toten Bakterien verblieben aber weiterhin im Wasser. Zusammen mit den Abbauprodukten des Chlors führten sie zu einer tensio-aktiven Belastung, wie die Tropfbild-Untersuchung zeigte.

*Strömungsbilder eines gechlorten Leitungswassers,
vor (oben) bzw. nach (unten) seinem Durchgang
durch eine Destillationsanlage*



10.

20.

30. Strömungsbild

Gechlortes Leitungswasser – ähnlich ca. 0,01 – 0,1 ppm SDS



10.

20.

30. Strömungsbild

Gechlortes Leitungswasser, destilliert – ähnlich weniger als 0,01 ppm SDS

Abb. 5: Repräsentative Strömungsbilder eines gechlorten Leitungswassers vor (oben) bzw. nach (unten) seinem Durchgang durch eine Destillationsanlage

Die Strömungsbilder des Leitungswassers waren, insbesondere zum Versuchsende hin, deutlich geschwächt. Sie wiesen nur wenige frei stehende Wirbel auf und eine geringe Vielfalt ihrer Formen.

Das destillierte Leitungswasser strömte zu Versuchsbeginn mit mehr Ruhe und bewegte sich im weiteren Versuchsverlauf vielfältig. Insgesamt war die Strömungsqualität des Wassers durch die Destillation (i.e. die Entfernung der Fremd-

stoffe) stark verbessert worden. Die tensio-aktive Belastung des gechlorten Leitungswassers entsprach in etwa 0,1 ppm bis 0,01 ppm SDS. Die Belastung des destillierten Wassers entsprach weniger als 0,01 ppm SDS.

Ähnlich wie im vorigen Beispiel wich die Strömungsqualität dieses Wassers in manchen Eigenschaften von der der Proben der Tensid Verdünnungs-Reihe ab. Insbesondere waren die Strömungsbewegungen, trotz relativ scharfem Kernrand zu Beginn, zum Versuchsende hin relativ einförmig. Zusammen deutet dies auf weitere Einflüsse hin, die wir nicht als tensio-aktive Belastung einstufen.

Fazit

Das Strömungsinstitut ist für Mineralwasserabfüller und Arzneimittelhersteller vielfach Anlaufstelle für Fragen zur Reinhaltung von Trink- und Prozesswässern. Seine Untersuchungen ergaben in der Zusammenarbeit zielführende Anregungen, die zu Umstellungen der Produktionsprozesse und zur Verbesserung der Produkte beitragen. Die Tropfbildmethode hat dabei ihre zuverlässige Sensitivität auch für geringe Mengen tensio-aktiver Stoffe vielfach bewiesen.

Die Reinigung von Mehrwegflaschen für Mineralwasser ist das „durchsichtigste“ Beispiel, an dem sich der Reinigungsprozess von Gefäßen überprüfen lässt. Auch wenn bei Fruchtsaft, Milch u.a. die Tropfbilduntersuchung keine eindeutigen Ergebnisse zeigen könnte lässt sich vermuten, dass die Problematik der Verunreinigung von Saft-Mehrwegflaschen, Milch-Mehrwegflaschen usf. ähnlich der der wasserbefüllten Flaschen ist. Damit hat die vorliegende Untersuchung Relevanz für die Qualitätssicherung einer umfassenden Mehrweg-Praxis.

Appendix

Schaumberge auf Gewässern stellen heute in Europa kein drängendes Problem mehr dar. Gesetze und Veränderungen in unserem Bewusstsein haben wesentliche Fortschritte gebracht. Das sollte uns positiv stimmen im Hinblick auf die jetzt eminente Problematik des weltweiten Plastikmülls.

Auch hier sind Weichenstellungen, sowohl durch politische Entscheidungen als auch das Annehmen der eigenen Verantwortung jedes Einzelnen, gefordert.

Allerdings herrschen in weiten Teilen unserer Gesellschaften Einstellungen vor, die wichtige Schritte der Verbesserung behindern oder zumindest verlangsamen. Unsere Vorstellungen von Reinheit und Ordnung, wie etwas verpackt sein muss, wieviel und eher: wieviel zu viel vom Waschmittel nötig ist, oder wie „zivilisiert“ Umwelt und Natur sein müssen, damit wir sie ertragen – all dies zwingt uns und unser Handeln ein.

Lassen Sie uns an diesem Punkt uns nochmals die Tropfbildmethode vor Augen

Forschung

halten mit ihren starren, gleichförmigen Bildern von verunreinigtem Wasser einerseits, und mit dem lebendigen, von rhythmisierten Wirbeln durchdrungenen, nicht determinierten Pulsieren andererseits, das Freude, Lust und natürlichen Mut das Offene und letztlich schlicht: das Leben Annehmende ausstrahlt und unser Herz einfängt. Hier geschieht in uns ein Anwachsen, das uns mit uns und mit unserer Verantwortung gegenüber der Umwelt unmittelbar in Verbindung bringt. Die Ordnung reinen Wassers ist Vorbild und Weg.

Eva Wohlleben