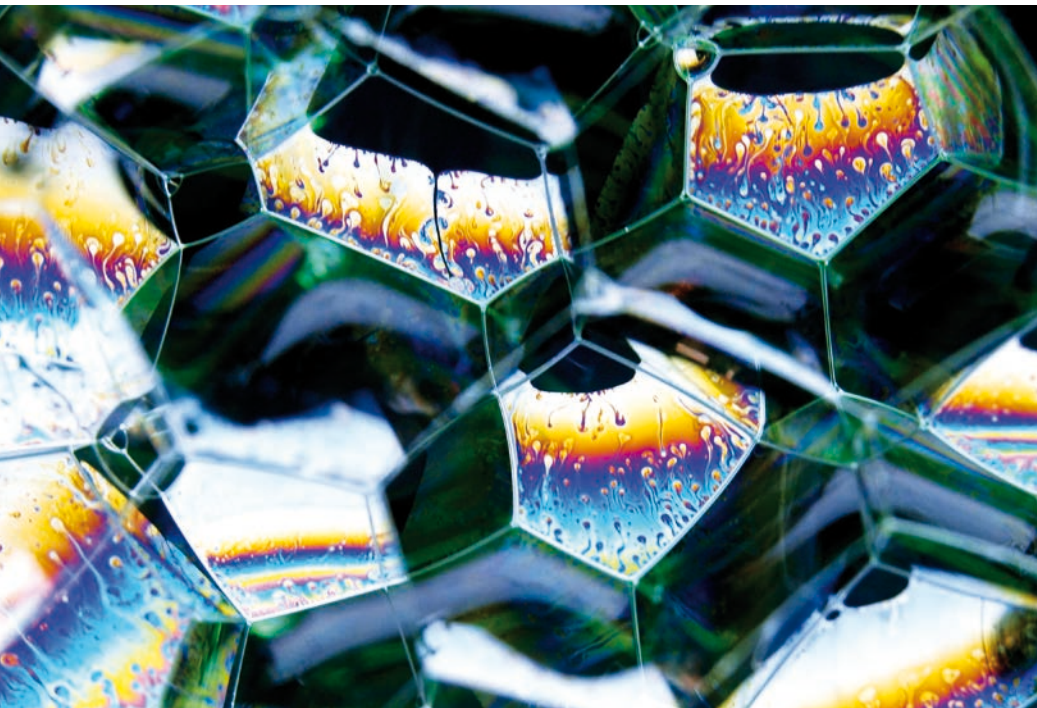


Schaumschläger lüften grenzwertige Geheimnisse

Erstmals lässt sich erklären, warum einige Flüssigkeitsmischungen ohne Stabilisatoren schäumen.

Wiebke Drenckhan-Andreatta



W. Drenckhan-Andreatta

Schäume setzen sich aus zahlreichen einzelnen Seifenfilmen zusammen. Durch die Interferenz an den dünnen Filmen entstehen farbenfrohe Muster.

Seifenblasen ziehen Klein und Groß in ihren Bann, nicht nur aufgrund der schillernden Interferenzen an extrem dünnen Filmen (100 bis 1000 nm), sondern auch wegen ihrer Kurzlebigkeit. Physikalisch betrachtet ist eine Seifenblase ein höchst erstaunliches Gebilde. Aus einem Nanoliter Flüssigkeit wird ein zentimetergroßes Objekt erzeugt, das nahezu ausschließlich aus Wasser-Luft-Grenzflächen besteht. Da dessen Grenzflächenenergie die thermische Energie um viele Größenordnungen übersteigt, kann ein solches Objekt nur kinetisch stabilisiert werden. Beim Versuch, zum thermodynamischen Gleichgewicht des nanolitergroßen Tropfens zurückzukommen, muss die Natur allerdings einen Weg finden, ein Loch im Film der Blase zu erzeugen. Ähnliches gilt für Schäume, die sich aus zahlreichen Seifenfilmen zusammensetzen [1].

Um die Stabilität von Seifenblasen und Schäumen vorherzusagen, gilt es

daher, die physikalischen Mechanismen zuverlässig zu beschreiben, die das Bilden von Löchern in Seifenfilmen kontrollieren [2, 3]. Während theoretisch noch viele Fragen offen sind, hat die enge experimentelle Zusammenarbeit mit Physikochemikern in den letzten Jahrzehnten echte Wunderrezepturen hervorgebracht: Künstler erzeugen stabile Seifenblasen mit etwa hundert Kubikmetern Volumen, und Schokoladenmousse bleibt wochenlang im Supermarktregal stabil. Grenzflächenaktive Substanzen („Tenside“) senken in diesen Rezepturen die Grenzflächenspannung. Vor allem halten sie die beiden Grenzflächen des Films durch abstoßende Wechselwirkungen auf Abstand und verleihen der Grenzfläche viskoelastische Eigenschaften. Diese dämpfen thermische Fluktuationen, verlangsamen die schwerkraftgetriebene Drainage im Seifenfilm und erzeugen selbstheilende „Marangoni-

Effekte“ [3]. Letztere entstehen, wenn die Konzentration der Tenside in der Grenzfläche sinkt, weil sich zum Beispiel die Grenzfläche auf dem Weg zu einem Loch schnell vergrößert. Der temporäre Anstieg der Grenzflächenspannung führt zu einer Triebkraft, die sehr effizient Flüssigkeit aus der Umgebung anzieht und damit das Loch wieder schließt.

Obwohl die komplexen Beziehungen zwischen den Tensideigenschaften und der Schaumstabilität noch nicht vollständig verstanden sind, haben sich grundlegende Ideen mittlerweile etabliert [1, 2]. In dieses Bild wollte jedoch seit langem eine Beobachtung nicht passen: Mischungen bestimmter Flüssigkeiten können ganz ohne Tenside stabile Schäume erzeugen, auch wenn sie einzeln nicht schäumen. Dieses Phänomen tritt häufig als unerwünschter Nebeneffekt industrieller Prozesse auf und ist vor allem aus der Erdölförderung für Mischungen von Ölen bekannt.

Französische Forschende vom ESPCI in Paris und aus der Industrie von TOTAL haben nun eine überzeugende Analyse für eine mögliche Lösung dieses Rätsels vorgelegt [4]. Sie haben das Schaumvermögen vieler polarer und unpolarer Flüssigkeiten und ihrer Mischungen getestet, indem sie Luft mit konstanter Flussrate in die Flüssigkeiten „blubberten“. Dabei beobachteten sie zwei unterschiedliche Verhalten: Je nach Art der Flüssigkeiten schäumten die Mischungen entweder gar nicht (**Abb. 1a**, rot) oder wiesen ein wohldefiniertes Maximum in der Lebensdauer des Schaumes bei einem bestimmten Mischungsverhältnis auf (**Abb. 1a**, blau). Die Abgrenzung beider Gruppen korrelierte exzellent mit dem Verhalten der Grenzflächenspannung. Bei den nichtschäumenden Mischungen hing diese linear vom Mischungsverhältnis ab, während die schäumenden Mischungen eine nicht-lineare Abhängigkeit aufwiesen.

In letzteren Mischungen ist bekannt, dass sich die Komponente mit der niedrigeren Grenzflächenspannung verstärkt an der Grenzfläche anreichert, ohne dass sie selbst grenzflächenaktiv ist wie ein Tensid. Dies ist zum Beispiel für Alkan-Toluol- oder Wasser-Alkohol-Mischungen der Fall [4]. Die Anreicherung einer Substanz an der Grenzfläche spielt in dünnen Filmen eine große Rolle, da das Verhältnis von Grenzfläche und Volumen mit abnehmender Filmdicke stark ansteigt. In einem ausreichend dünnen Film verdünnt sich die Substanz mit der niedrigeren Grenzflächenspannung so stark im Inneren, dass sich das Gleichgewicht zwischen Grenzfläche und Volumen verschiebt (Abb. 1b). Dadurch steigt die Grenzflächenspannung des Films und hängt dann von seiner Dicke ab: je dünner der Film, desto höher die Grenzflächenspannung. Ein dünner Film mit höherer Grenzflächenspannung zieht dadurch sehr effizient Flüssigkeit aus einem dickeren Film mit niedrigerer Grenzflächenspannung an und erzeugt damit wieder selbstheilende Marangoni-Effekte. Ähnliche Verarmungseffekte und deren Einfluss auf die Stabilität von dünnen Filmen sind auch für Tenside bekannt. Bei Mischungen

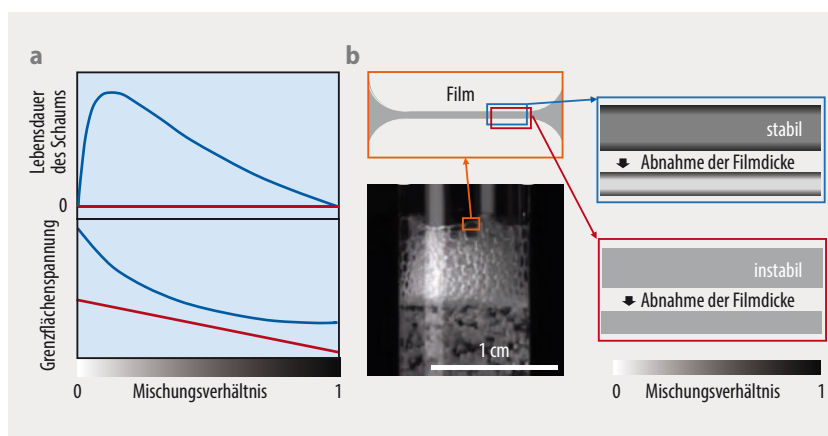


Abb. 1 Die Lebensdauer des Schaums unterscheidet sich zwischen Mischungen, deren Grenzflächenspannung linear (a, rot) oder nichtlinear (blau) vom Mischungsverhältnis abhängt. Die Stabilität des Schaumes (b) geht auf die Stabilität der dünnen Filme zurück. Bei nichtlinearem Grenzflächenverhalten reichert sich eine Komponente an der Grenzfläche an (blau), woraus eine Verdünnung dieser Komponente im Inneren des Films resultiert, die von der Filmdicke abhängt. Dagegen ergeben sich homogene, von der Filmdicke unabhängige Verteilungen für Mischungen mit linearem Verhalten (rot).

mit linearem Verhalten der Grenzflächenspannung bleibt das Mischungsverhältnis und damit auch die Grenzflächenspannung selbst in dünnen Filmen konstant. Das gilt zum Beispiel für Mischungen von Alkanmolekülen verschiedener Länge. Daher kann die Selbstheilung nicht in Kraft treten und sich kein Schaum bilden.

Die französischen Forschenden haben nicht nur den stabilisierenden

Effekt der inhomogenen Mischungen experimentell gezeigt. Sie waren außerdem in der Lage, im Rahmen ihrer Hypothese quantitativ vorherzusagen, welches Mischungsverhältnis für das Bilden von Schaum optimal ist. Das neugewonnene Verständnis zeigt die Relevanz physikalischer Effekte in Systemen mit beschränkten Dimensionen und von Marangoni-Effekten für Grenzflächenphänomene.

Eine praktische Anwendung könnte darin bestehen, die Schaumbildung in industriellen Prozessen je nach Anforderung zu verhindern oder zu verbessern. Allerdings wird das neue Konzept nicht dabei helfen, tensidfreie, umweltschonende Schaumprodukte herzustellen. Denn die charakteristische Lebensdauer dieser Schäume beträgt maximal einige Sekunden.

- [1] I. Cantat et al., *Foams*, Oxford University Press (2013); R. J. Pugh, *Bubble and Foam Chemistry*, Cambridge University Press (2016)
- [2] D. Langevin, *COCIS* **44**, 23 (2019)
- [3] D. Langevin, *Adv. Coll. Interface Sci.* **275**, 102075 (2020)
- [4] H.-P. Tran et al., *Phys. Rev. Lett.* **125**, 178002 (2020)

Die Autorin

Dr. Wiebke Drenckhan-Andreatta, Institut Charles Sadron – CNRS – UPR22, 23 rue du Loess, BP 84047, 67034 Strasbourg Cedex 2, Frankreich

Kurzgefasst

Zerfall eines Schwergewichts

Forschende aus Mainz, Darmstadt und Jyväskylä, Finnland, haben die Eigenschaften des Zerfalls von ^{244}Md am Massenseparator TASCA des GSI Helmholtzzentrums in Darmstadt untersucht. Mendelevium gehört mit 101 Protonen zu den superschweren Elementen. Für alle sieben nachgewiesenen Atomkerne fand ein Alpha-Zerfall statt; die Halbwertszeit ist mit 0,3 s relativ lang. Theoretische Modelle hatten dagegen einen Beta-Zerfall mit anschließender Spaltung bei deutlich kleiner Halbwertszeit erwartet.

J. Khuyagbaatar et al., *Phys. Rev. Lett.* **125**, 142504 (2020)

Supraleitung bei Raumtemperatur

Einem US-amerikanischen Team ist es erstmals gelungen, Supraleitung bei Raumtemperatur zu beobachten. Dazu setzten sie eine Mischung aus Schwefelwasserstoff

(H_2S) und Methan (CH_4) in einer Diamantdruckzelle einem Druck von 267 Gigapascal aus. Das entspricht etwa dem 2,5-Millionenfachen Normaldruck. Bei 287,7 Kelvin, also etwa 14,5 °C, setzte die Supraleitung ein. Die vorherige Höchstmarke beträgt 203 K und trat für reinen Schwefelwasserstoff bei 190 GPa auf. Ursache der hohen Sprungtemperaturen ist in beiden Fällen eine Elektron-Phonon-Wechselwirkung, die in den wasserstoffreichen Verbindungen bei hohem Druck einsetzt.

E. Snider et al., *Nature* **586**, 373 (2020)

Wachsender Katalog

Der zweite Gravitationswellen-Katalog der LIGO-Scientific- und Virgo-Kollaborationen enthält 39 neue Signale. Die Daten für GWTC-2 stammen aus den ersten sechs Monaten des dritten Beobachtungslaufs O3.

R. Abbott et al. (LIGO Scientific Coll., Virgo Coll.), arXiv:2010.14527 (2020)