

Wenn Seifenfilme kalte Füße bekommen

Neue Untersuchungen belegen, dass die Verdunstung eine wichtigere Rolle für die Stabilität von Seifenfilmen spielen könnte als bisher angenommen.

Wiebke Drenckhan

Seifenblasen und Seifenfilme faszinieren mit ihrem schillernden Farbspiel. Sie bestehen aus einem etwa 100 Nanometer dicken Wasserfilm, den seifenartige Moleküle stabilisieren. Mit optimierten Seifenlösungen lassen sich heutzutage ohne Probleme Filme oder Blasen erzeugen, die trotz ihrer extrem geringen Dicke viele Quadratmeter groß sind. Der Weltrekord liegt zurzeit bei mehr als 28 Quadratmetern!¹⁾ Diese Höchstleistungen täuschen jedoch über die Tatsache hinweg, dass immer noch nicht genau bekannt ist, welche physikalischen Mechanismen dafür sorgen, dass ein Seifenfilm stabil ist – oder eben nicht. In der Physik und der physikalischen Chemie arbeiten daher seit Generationen Forschende daran, dieses Geheimnis zu lüften [1, 2]. Dabei lag das Augenmerk bisher vor allem darauf, dass seifenartige Moleküle teilweise hydrophob sind. Aus energetischen Gründen lagern sie sich daher an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft an. Die gebildete Molekülschicht sorgt nicht nur dafür, dass sich die Grenzflächen abstoßen, sondern sie beeinflusst auch deren Fließeigenschaften. Die Grundidee bestand darin, dass Grenzflächen, die sich stark abstoßen und eine hohe Viskoelastizität besitzen, zu besonders stabilen Filmen führen sollten. Doch trotz aller Bemühungen ist es nach wie vor nicht gelungen, eine zuverlässige Korrelation zwischen diesen Eigenschaften und der Filmstabilität herzustellen.

Ein französisches Forschungsteam des Laboratoire de Physique des Solides in Orsay könnte endlich den entscheidenden Hinweis zum Verständnis der Filmstabilität erbracht haben. Erstaunlicherweise haben Forschende bislang ignoriert, dass die Wasserverdunstung für die Filmstabilität eine entscheidende Rolle spielen könnte.

1) www.guinnessworldrecords.com/world-records/555078-largest-soap-bubble-net

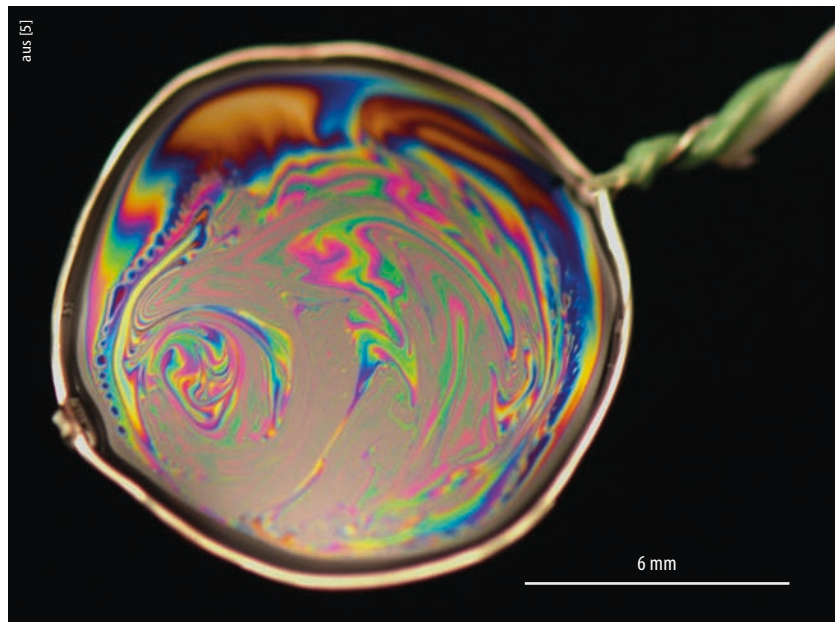


Abb. 1 In dem neuen Experiment verdunstet ein Seifenfilm bei kontrollierter Umgebungstemperatur T_{Umg} und relativer Luftfeuchtigkeit RH zwischen den Drähten eines Thermoelements.

Dieser Fragestellung sind die Franzosen zuletzt auf den Grund gegangen [3, 4]. Ihr neuestes Experiment ist dabei denkbar einfach [5]: Mittels einer Seifenlösung bestehend aus einem kommerziellen Spülmittel erzeugen die Forschenden einen quadratzentimetergroßen, stabilen Seifenfilm zwischen den Drähten eines Thermoelements (**Abb. 1**). Damit können sie verfolgen, wie sich die Temperatur des Films T_{Film} im Vergleich zur Umgebungstemperatur T_{Umg} entwickelt, während er bei kontrollierter relativer Luftfeuchtigkeit RH verdunstet. Hierbei hilft ein kleiner Trick, der auch unter Seifenblasenkünstlern bekannt ist: Die Forschenden fügen ihrer Seifenlösung Glycerol hinzu, das nicht verdunstet und hygroskopisch ist. Bei einer gegebenen Glycerolkonzentration und einer bestimmten Luftfeuchtigkeit verdunstet das Wasser daher nur so lange, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Je höher der Glycerolanteil ist, umso weniger Wasser

verdunstet und umso stabiler ist der Film. Bei sehr hohen Glycerolkonzentrationen nimmt der Film sogar Wasser aus der Umgebung auf. Dieser Trick half kürzlich dabei, „ewig“ lebende Blasen zu erzeugen [6].

Abb. 2 zeigt, wie sich der Temperaturunterschied $T_{\text{Film}} - T_{\text{Umg}}$ zwischen dem Film und der Umgebung entwickelt, während Wasser bei drei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten aus dem Film verdunstet. In den ersten 10 bis 20 Sekunden fällt die Temperatur rapide um einen Maximalwert ΔT_{Exp} . Grund hierfür ist das sehr effiziente Verdunsten über die große Oberfläche des Films. Je niedriger die Luftfeuchtigkeit ist, desto stärker verdunstet der Film und desto höher ist der Temperaturabfall. Dieser verringert sich dann langsam, bis das System ein Gleichgewicht erreicht und der Film wieder die Umgebungstemperatur T_{Umg} annimmt.

Da die Eigenschaften von Mischungen aus Wasser und Glycerol

mittlerweile gut bekannt sind, ließ sich der maximale Temperaturabfall ΔT_{Exp} für verschiedene Glycerolkonzentrationen und Luftfeuchtigkeiten mit theoretisch ermittelten Werten ΔT_{Theo} vergleichen. Die Werte stimmen sehr gut überein (Inset in Abb. 2).

Die Ergebnisse zeigen, dass Filme mit einer geringen Glycerolkonzentration in einem trockenen Umfeld zeitweise bis zu 8 Grad kälter sind als ihre Umgebungstemperatur! Das steht in starkem Kontrast zur bisherigen Annahme, dass ein Seifenfilm in erster Näherung die Umgebungstemperatur beibehält. Für wässrige Seifenlösungen können sich derart stark reduzierte Temperaturen dramatisch auswirken. Denn die Dichte, Viskosität und Grenzflächenspannung nehmen auf nicht vernachlässigbare Weise mit sinkenden Temperaturen zu. Alle drei können das Fließverhalten und damit das Ausdünnen und die Stabilität eines Seifenfilms beeinflussen. So würde etwa eine höhere Viskosität eines nanometerdicken Films das Herausfließen von Wasser aus dem Film sehr stark verlangsamen und damit die Stabilität erhöhen. Außerdem hängt die Löslichkeit der Seifenmoleküle von der Temperatur ab.

Erste Arbeiten des gleichen Forschungsteams deuten darauf hin, dass die Stabilität von Filmen verschiedener Seifenlösungen möglicherweise mehr davon abhängt, wie die Seifen-

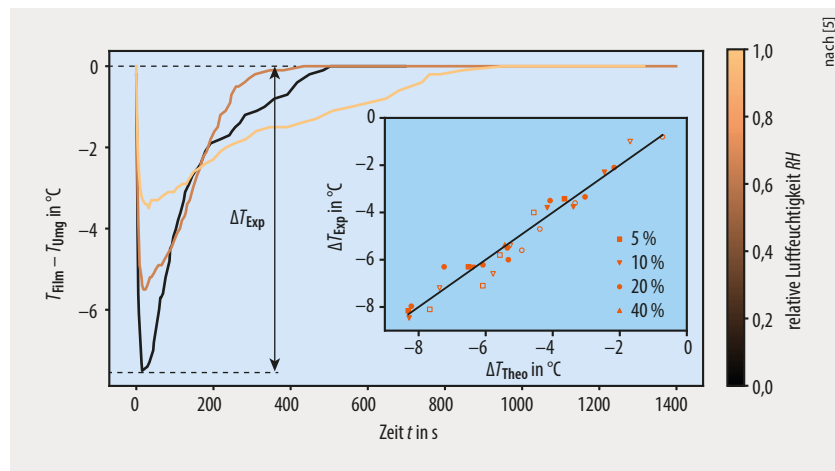


Abb. 2 In den ersten Sekunden des Experiments sinkt die Temperaturdifferenz $T_{\text{Film}} - T_{\text{Umg}}$ zwischen Seifenfilm und Umgebung rapide, während der Seifenfilm bei drei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten (Farbskala) verdunstet. Das Inset zeigt die experimentell gemessene maximale Temperaturdifferenz ΔT_{Exp} als Funktion des theoretisch vorhergesagten ΔT_{Theo} für verschiedene Luftfeuchtigkeiten (Farbskala) und Glycerolkonzentrationen (Symbole). Die offenen Symbole stehen für einen $0,13 \text{ cm}^2$ großen Film, die geschlossenen Symbole für einen $1,13 \text{ cm}^2$ großen Film.

moleküle das Verdunsten der Filme beeinflussen, als von deren Einfluss auf die Grenzflächeneigenschaften der Filme [4]. Diese Beobachtung bricht mit etablierten Vorstellungen und wird wichtige Nachfolgearbeiten anregen, deren Ergebnisse sicherlich nur wenige Physiker:innen kalt lassen werden!

- [1] D. Langevin, *Emulsions, Microemulsions and Foams*, Springer, Cham (2020)
- [2] D. Langevin, *Adv. Colloid Interface Sci.* **275**, 102075 (2020)

- [3] L. Champougny et al., *Langmuir* **34**, 3221 (2018)
- [4] M. Pasquet et al., *Soft Matter* **18**, 4536 (2022)
- [5] F. Boulogne, F. Restagno und E. Rio, *Phys. Rev. Lett.* **129**, 268001 (2022)
- [6] A. Roux, A. Duchesne und M. Baudoin, *Phys. Rev. Fluids* **7**, L011601 (2022)

Die Autorin

Prof. Dr. Wiebke Drenckhan, Institut Charles Sadron, Université de Strasbourg, CNRS UPR 22, Rue du Loess 23, 67034 Strasbourg Cedex, Frankreich

Kurzgefasst

Unerwartete Universalitäten

Gläser verhalten sich beim Übergang von der flüssigen in die feste Phase und umgekehrt anders als kristalline Festkörper. So erstarrten sie kontinuierlich und nicht abrupt; das Schmelzen ergibt sich nicht allein aus stärkeren Vibrationen bei steigender Temperatur (Lindemann-Kriterium). In den Daten von über 200 Gläsern und Flüssigkeiten fanden sich nun aber Universalitäten: Die Glasübergangstemperatur ist antiproportional zum thermischen Ausdehnungskoeffizienten skaliert mit dem Fragilitätsindex. Dieser gibt an, wie korreliert sich die Teilchen bewegen. Außerdem sind die Ausdehnung in der festen und flüssigen Phase proportional. Die Ergebnisse helfen, Gläser mit bestimmten Eigenschaften gezielt zu entwickeln.

P. Lunkenheimer et al., *Nat. Phys.* (2023), DOI: 10.1038/s41567-022-01920-5

Genauigkeit verdoppelt

Ein US-amerikanisches Forschungsteam hat die Genauigkeit des magnetischen Moments des Elektrons mehr als verdoppelt: Der Wert von $-\mu/\mu_B = g/2 = 1,001\,159\,652\,180\,59(13)$ weicht um $4,2\sigma$ von der theoretischen Vorhersage ab. Dazu hat das Team ein Elektron in einer Penning-Falle eingefangen und aus der Zyklotron- und Larmor-Frequenz das magnetische Moment bestimmt. Die höhere Genauigkeit beruht auf einem stabileren Magnetfeld mit besserer Homogenität als bei bisherigen Messungen. Außerdem erlaubte es ein neues Design der Falle, die axiale Bewegung des Elektrons besser zu kontrollieren und die Zyklotronbewegung von resonanten Moden der Falle zu entkoppeln. Die Abweichung könnte auf neue Physik hinweisen.

X. Fan et al., *Phys. Rev. Lett.* **130**, 071801 (2023)

Schmückendes Chaos

Ein Chua-Schaltkreis besteht aus einer Spule, je zwei Kondensatoren und Dioden sowie mehreren Widerständen. Der Strom darin oszilliert chaotisch:

Als Funktion der Spannung ergeben sich abhängig von den Eigenschaften der Bauteile unterschiedliche seltsame Attraktoren. Diese Fraktale lassen sich als Basis für bizarre Schmuckstücke nutzen (Abb.), um damit die Schönheit von Chaos einem breiten Publikum zugänglich zu machen.

F. Bertacchini, P. S. Pantano und E. Bilotta, *Chaos* **33**, 013132 (2023)

