

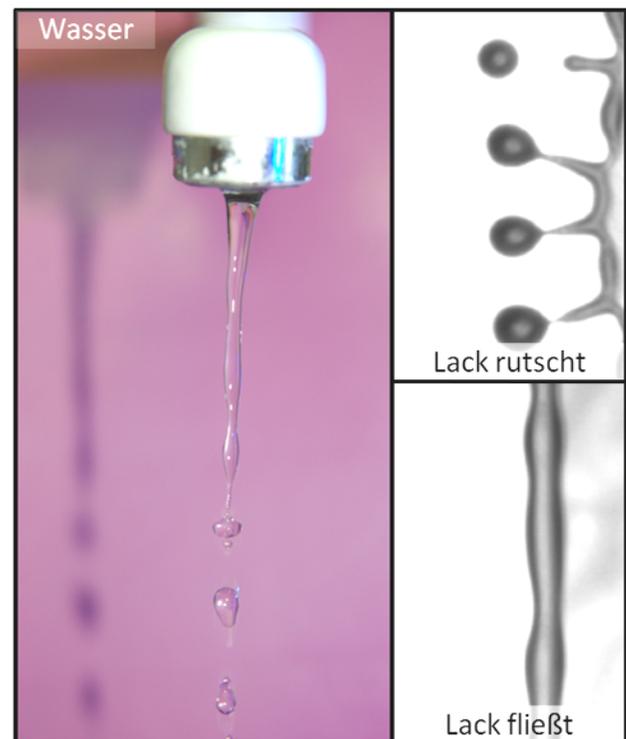


## Physiker gewinnen neue Einsichten über dynamische Eigenschaften dünner Polymerfilme

Oberflächen mit dünnen Lackschichten zu versehen, kann eine schwierige Aufgabe sein. Wer schon einmal Türen oder Fenster gestrichen hat und sich über die auftretenden Lacknasen geärgert hat, weiß das. Gravierendere Folgen als an Fenstern und Türen haben solche Störungen aber, wenn sie in Mikro- oder Nanostrukturen auftreten, in denen molekular dünne Polymerfilme Verwendung finden, zum Beispiel in der Mikroelektronik, in der Biotechnologie und der Prozesstechnik. Dort können Unebenheiten und Instabilitäten die Funktion eines Bauteils einschränken oder die Lebensdauer verkürzen. Ein internationales und interdisziplinäres Team um die Saarbrücker Physikprofessorin Karin Jacobs hat in einer jüngst veröffentlichten Arbeit höchst präzise Erkenntnisse über das Auftreten von Instabilitäten in Polymerfilmen beschrieben. Die Studie wurde in der renommierten Zeitschrift *Physical Review Letters* publiziert.

Dünne Polymerfilme haben vielfältige Anwendungen in Mikroelektronik, Biotechnologie und Prozesstechnik, zum Beispiel als Schutzschicht, Haftvermittler oder Fotolack. Die Stabilität dieser Filme ist daher von großer technischer Bedeutung. Sie hängt von mehreren Faktoren ab, zum einen von der Oberflächenspannung zwischen Polymer und Unterlage, zum anderen von den molekularen Wechselwirkungen, die sehr dünne Filme, die gerade einmal so dick

sind wie ein Polymermolekül lang ist, stabil oder instabil machen können. Diese Wechselwirkungen kennen Wissenschaftler heute sehr genau und können sie gezielt modifizieren.



**Abb. 1:** Links: Nach einer kurzen Fallstrecke bricht ein Wasserstrahl in kleine Tröpfchen auf. Die Abstände der Tröpfchen stehen in direktem Zusammenhang mit dem Radius des Wasserstrahls. Dasselbe trifft auf einen Film zu, der von einer Oberfläche abperlt (rechts oben), jedoch kann die Tropfenbildung unterdrückt werden, wenn der Lack fließt und nicht rutscht (rechts unten).

Fotos: Universität des Saarlandes

Polymerfilme, die instabil sind, müssen aber nicht unbedingt aufreißen, sie können trotz allem recht langlebig sein. Wirklich kritisch wird es erst, wenn ein solch instabiler Film fließt, was immer dann der Fall ist, wenn die Polymerfilme im flüssigen Zustand auf eine Oberfläche aufgetragen werden, zum Beispiel bei der Halbleiterherstellung oder beim Streichen von Fenstern und Wänden. Mithilfe der Rasterkraftmikroskopie (*atomic force microscopy*, AFM) in Kombination mit hochpräziser mathematischer Modellierung ist es Karin Jacobs' Team gelungen, dieses Problem nun sehr detailliert zu untersuchen und zu verstehen.

Was passiert, wenn ein dünner Polymerfilm fließt, kann man anhand einer anderen physikalischen Alltagssituation veranschaulichen, nämlich dem Aufbrechen eines Wasserstrahls in Tröpfchen, das an jedem Wasserhahn beobachtet werden kann (siehe Abb.1). Dieser Vorgang wurde bereits vor fast 150 Jahren von einem britischen und einem belgischen Physiker verstanden, nach denen er als Rayleigh-Plateau-Instabilität benannt wird. Entscheidend für das Auftreten der Instabilität sind die Oberflächenspannung und die Fließgeschwindigkeit des Wasserstrahls.

Beim dünnen Polymerfilm ist die Fließgeschwindigkeit der entscheidende Faktor. Normalerweise ist die Geschwindigkeit einer strömenden Flüssigkeit direkt an der Grenzfläche zu einer festen Oberfläche Null und am höchsten an der Grenzfläche zur Luft hin. Die Geschwindigkeit zur festen Oberfläche kann aber durch eine spezielle Funktionalisierung (z. B. in durch einen Haftvermittler) so verändert sein, dass der Film auf der Oberfläche wie ein Festkörper

„rutschen“ kann. Dadurch kann das Abfließen stark behindert werden, was für manche technische Prozesse sehr störend sein kann.

Die Experimente von Jacobs' Team sowie die Beiträge von Kollegen der Angewandten Mathematik und Theoretischen Physik aus Berlin, Lille (Frankreich) und Oxford (Großbritannien) erlauben es nun, die Rayleigh-Plateau-Instabilität eines dünnen Films zu verstehen, ob mit oder ohne „Rutschanteil“ an der Grenzfläche: Perlt eine flüssige Schicht von einer festen Unterlage ab, so bildet sich eine Front aus, an der sich alle drei Phasen – fest, flüssig, gasförmig – treffen. Diese Dreiphasenkontaktlinie bewegt sich über die Unterlage, „schiebt“ den flüssigen Film über die Unterlage und sammelt dabei die Flüssigkeit in einem stetig anwachsenden, schlauchförmigen Randwulst auf. Geometrisch dem zylinderförmigen Wasserstrahl aus dem Rayleigh-Plateau-Experiment ähnlich, strebt auch dieser Flüssigkeitsschlauch dem energetisch günstigsten Zustand zu: einzelnen Tröpfchen. Jedoch bleiben diese Tröpfchen nur dann auf der Unterlage zurück, wenn die Flüssigkeit einen hohen Rutschanteil aufweist, der oben erwähnte Haftvermittler also entsprechend beschaffen ist. Dies kann bei industriellen Trocknungsprozessen störend sein. Ohne Rutschanteil hingegen, also bei einer Grenzflächengeschwindigkeit Null, bildet der Flüssigkeitsschlauch zwar Flüssigkeitsbeulen aus, aber es werden keine Tröpfchen gebildet.

Eine besondere Leistung der Studie ist der quantitative Vergleich zwischen Experiment, mathematischer Theorie und Simulation. Dies ist in der Regel nur möglich bei gut ausgewählten Modellsystemen, die sich sowohl mit

experimentellen Methoden gut charakterisieren lassen als auch eine genaue mathematische Beschreibung erlauben. Die präzisen Einsichten, die an diesen Systemen gewonnen werden, sind jedoch die Basis zum Verständnis komplexerer Systeme.

Die Studie ist u. a. im Rahmen des Graduiertenkollegs 1276 der DFG entstanden und wurde unter dem Titel „*Influence of Slip on the Rayleigh-Plateau Rim Instability in Dewetting Viscous Films*“ ([Link](#)) in der renommierten Zeitschrift *Physical Review Letters* veröffentlicht.

Oliver Bäumchen, Ludovic Marquant, Ralf Blossey, Andreas Münch, Barbara Wagner und Karin Jacobs.

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.014501>

**Kontakt:**

Prof. Dr. Karin Jacobs  
Universität des Saarlandes  
Experimentalphysik  
Campus E2 9  
66041 Saarbrücken

Tel. 0681 302-71788

Email: [k.jacobs@physik.uni-saarland.de](mailto:k.jacobs@physik.uni-saarland.de)

URL [www.uni-saarland.de/jacobs](http://www.uni-saarland.de/jacobs)