

Tröpfchen oder Film auf rauer Oberfläche

Göttinger MPI-Forscher entwickeln neue Theorie über Flüssigkeitsschichten

Flüssigkeitsfilme und -tröpfchen, die eine raue Oberfläche überziehen, sind ein Alltagsphänomen: Allmorgendlich verwandeln etwa Tautropfen Blätter und Gräser in magische Schönheiten, während ein Film aus Regenwasser auf dem Straßenasphalt (spätestens wenn er gefriert) jedem Autofahrer gefährlich werden kann. Doch wie lässt sich verstehen, unter welchen Bedingungen durchgängige Flüssigkeitsschichten oder nur vereinzelte Tropfen entstehen? Bisherige Theorien dazu beschrieben vor allem ideal glatte – und somit unrealistische – Oberflächen. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen haben nun erstmals eine allgemeine Theorie entwickelt, die auf die Frage nach Film oder Tröpfchen auch für raue Oberflächen eine Antwort liefert. Diese kommt mit verblüffend einfachen mathematischen Ausdrücken aus – und könnte etwa vorhersagen, wann es in Umspannwerken zu Kurzschlüssen kommt.

Größere Mengen an Flüssigkeiten sind ausgesprochen wandelbar: Mühelos füllen sie jedes Gefäß, passen ihre äußere Form jeder Oberfläche oder Begrenzung an. Mikroskopisch dünne Flüssigkeitsfilme hingegen sind anders. Sie müssen vermitteln zwischen der rauen Oberfläche des Gegenstandes und der freien Flüssigkeitsoberfläche, die wegen der Oberflächenspannung möglichst glatt sein möchte. Bei dieser Gratwanderung kann es etwa energetisch günstiger sein, dass sich auf einer Oberfläche statt eines Films winzige Tröpfchen bilden – wie beim morgendlichen Tau, der Blätter, Spinnennetze und Windschutzscheiben überzieht.

Forschern des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen ist es nun erstmals gelungen, eine allgemeine Theorie für dieses Verhalten aufzustellen, die für die große Mehrheit

natürlicher Oberflächen gilt. „Bisher haben sich Physiker bei dieser Frage in erster Linie auf sehr spezielle Oberflächen konzentriert, etwa solche mit regelmäßigen, mikroskopischen Ritzern und Rillen“, erklärt Stephan Herminghaus, Direktor am Göttinger Max-Planck-Institut. Diese lassen sich etwa mit Methoden der Lithographie herstellen und erlauben eine vergleichsweise einfache mathematische Beschreibung. „Mit den allermeisten Oberflächen aus unserer Alltagswelt – von der Hauswand bis zur Tischplatte – haben sie jedoch nichts zu tun“, gibt der Physiker zu bedenken. Solche „Alltagsoberflächen“ zeichnen sich durch eine unregelmäßige Verteilung mikroskopischer Hügel und Täler aus, deren Größe und Form statistischen Schwankungen unterliegt. „In der Regel haben die Strukturen Abmessungen von vielen Nanobis zu einigen Mikrometern“, so Herminghaus.

In ihren Rechnungen beschreiben die Göttinger Forscher diese Rauigkeit als statistische Höhenverteilung: Die Berge und Täler treten ungeordnet und ohne Muster auf. Einzige Voraussetzungen sind, dass die Höhen auf der gesamten Oberfläche ähnlich sind und nicht zu stark schwanken. „Dadurch ergeben sich verblüffend einfache Ausdrücke, deren Verständnis kaum mehr als Schulmathematik voraussetzt“, erklärt Herminghaus. In seinem Forschungsfeld, in dem sonst fast ausschließlich komplexe Computersimulationen schwer handhabbarer Gleichungen zum Ziel führen, ist dies eine kleine Sensation.

Die neuen Gleichungen offenbaren, dass das Verhalten von Flüssigkeiten auf einfache



Lotus-Effekt: Dünne Schicht aus Luft füllt die mikroskopische Rauigkeit der Oberfläche aus. Wolf

Weise von zwei Größen abhängt: dem Benetzungswinkel, der angibt, mit welcher Neigung die Flüssigkeitsoberfläche auf den Untergrund trifft, und dem Dampfdruck in der umgebenden Luft (das heißt der Luftfeuchtigkeit). „Bei ideal glatten Oberflächen spielt der Dampfdruck keine so große Rolle“, erklärt Herminghaus. Dort muss sich die Flüssigkeit nicht in an so viele Randbedingungen, wie sie etwa von mikroskopischen Mulden und Tälern vorgegeben werden, anpassen. Bei rauen Oberflächen hingegen ist der Einfluss beträchtlich: Erhöhen sich Druck oder Winkel nur leicht, kann es geschehen, dass sich ein Flüssigkeitsfilm schlagartig in viele einzelne Tröpfchen verwandelt – oder umgekehrt.

Physiker sprechen in solchen Fällen von einem Übergang zwischen zwei Phasen. In der so genannten nassen Phase bildet die Flüssigkeit einen nahezu durchgängigen Film auf der rauen Oberfläche. Fast alle mikroskopischen Täler sind ge-

füllt, nur vereinzelt durchbricht ein besonders hoher Hügel die Wasseroberfläche. In der trockenen Phase hingegen bleiben weite Teile der Oberfläche unbenetzt. Stattdessen klumpt die Flüssigkeit zu Tropfen zusammen. „Das System wählt immer die Lösung, die je nach Dampfdruck und Benetzungswinkel am wenigsten Energie erfordert“, so Herminghaus.

Mit diesen neuen Erkenntnissen können die Wissenschaftler nun prinzipiell berechnen, welche Luftfeuchtigkeit erreicht sein muss, damit eine Oberfläche durchgängig nass wird. Für eine Prognose ist es dann lediglich notwendig, die statistischen Eigenschaften der Oberflächenrauigkeit zu kennen. Interessant könnten solche Überlegungen etwa für die Betreiber von Umspannwerken sein. Überzieht dort ein geschlossener Flüssigkeitsfilm die Isolatoren, kann es zu Kurzschlüssen kommen. „Sobald sie durch Verwitterung rau werden, erfüllen die Keramiken, die dort eingesetzt werden, in

etwa unsere Voraussetzungen“, so Herminghaus. Zum Vorhersagen feuchter Kellerwände seien die neuen Ergebnisse hingegen noch nicht geeignet. Manche Materialien sind dafür zu uneinheitlich: Ziegelsteine etwa sind zu grobporig und zu stark strukturiert. Für diese Stoffe müsste die Theorie erst noch erweitert werden.

Auch für den Lotus-Effekt, bei dem Flüssigkeitstropfen elegant von rauen Oberflächen abperlen, spielen die neuen Erkenntnisse eine Rolle. Dort spielt allerdings ein dünner Luftfilm die Rolle der Flüssigkeit und das Wasser übernimmt den Part der Luft. Füllt ein solcher Film die Täler der Oberfläche aus, können Wassertropfen nicht eindringen. Sie schweben auf einer Art mikroskopischem Luftkissen und perlen ab. Erst wenn diese durchgängige Luftschicht zusammenbricht, weil der Druck des Wassers zu groß wird, kann die Feuchtigkeit in die Vertiefungen eindringen und die Blattoberfläche benetzen. BK/PH

Kathedralen des Wissens

Podiumsdiskussion

Seit über 2000 Jahren sind Bibliotheken Kathedralen des Wissens. An keinem anderen Ort wird Wissen in dieser Breite und Tiefe gesammelt und Nutzern zugänglich gemacht. Inzwischen stellt sich allerdings die Frage, inwieweit elektronische Formate wie E-Books und die Angebote des World Wide Web den Kathedralen des Wissens immer mehr zusetzen. Diesem Thema widmet sich die erste Podiumsdiskussion der Veranstaltungsreihe „Geisteswissenschaft im Dialog“ im Jahr 2013 am Donnerstag, 14. Februar, ab 18 Uhr in der Paulinerkirche, Papendiek 14. Es diskutieren die Direktorin des Zentrums für Angewandte Kulturwissenschaft und Studium Generale (ZAK) der Universität Karlsruhe, Prof. Caroline Y. Robertson-von Trotha, der Kirchenhistoriker Prof. Thomas Kaufmann sowie Dr. Thomas Stäcker, Stellvertretender Direktor der Herzog August Bibliothek Braunschweig und Dr. Michael Kaiser von der Max Weber Stiftung. Um Anmeldung bei Joachim Turré unter turre@maxweberstiftung.de wird gebeten. *chb*

KURZ NOTIERT

Römisches Recht

Zum Thema „Römisches Recht auf englischen Grundstücken?“ spricht am Montag, 11. Februar, Prof. Sebastian Lohse im Foyer des Instituts für Rechtsgeschichte, Auditorium, Weender Landstraße 2. Der Vortrag widmet sich dem Fortleben des römischen Rechts seit dem Mittelalter. Während die kontinentaleuropäischen Rechtsordnungen in weiten Teilen durch das römische Recht geprägt sind, gilt das für England nach heutiger Auffassung nur in geringem Maß. Beginn ist um 20.15 Uhr.

Überwiegend dichte Wolkenfelder mit etwas Schneefall, Tageshöchstwerte um 1 Grad

WETTERLAGE

Von Norden her strömt zunehmend Meeresluft arktischen Ursprungs in unsere Vorhersageregion.

VORHERSAGE

Heute ziehen dichte Wolken mit etwas Schnee durch. Bei mäßigem Wind aus Nordwest liegen die Temperaturen um 1, nachts um -4 Grad. Morgen hält das kalte und wolkgie Wetter an. Örtlich etwas Schnee. Sonntag ruhiges Winterwetter. Bei wechselnder Bewölkung nur vereinzelt Schnee.

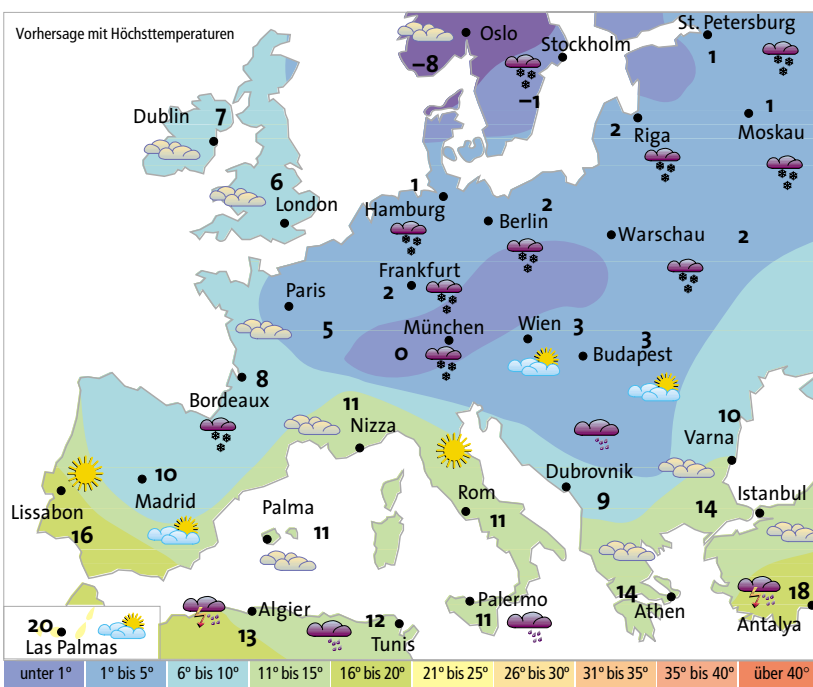
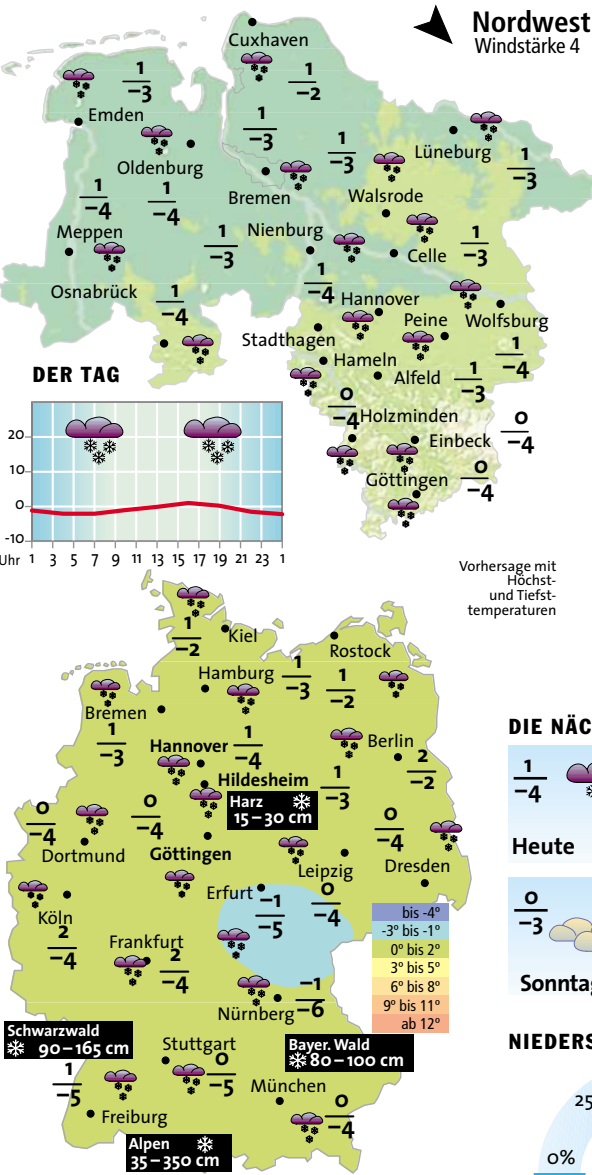
BIOWETTER, POLLENFLUG

Der Wettereinfluss auf das subjektive Befinden ist heute überwiegend günstig. Die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit ist erhöht und auch die Schlafqualität bei den meisten wetterfühlig Menschen gut. Bei einem zu hohen Blutdruck steigt allerdings die Anfälligkeit für Herz-Kreislauf-Beschwerden.

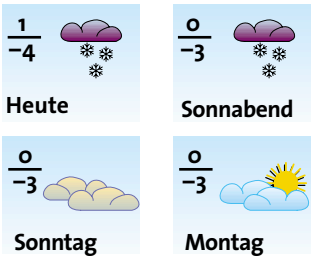
SONNE UND MOND

☀ auf unter ☾ auf unter
8.2.13 7.51 17.23 6.15 15.30
9.2.13 7.49 17.25 6.50 16.50
Neumond 10.2. 1. Viertel 17.2. 1. Viertel 17.2.
Vollmond 25.2. 1. Ltz. Viertel 4.3. 1. Ltz. Viertel 4.3.

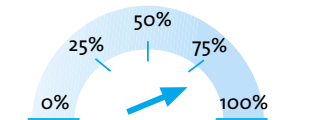
☁ Warmfront H Hochdruck
☁ Kaltfront T Tiefdruck
☁ Okklusion ~ Isobaren in hPa



DIE NÄCHSTEN TAGE



NIEDERSCHLAGSRISIKO



REISEWETTER

Deutsche Küste: Bewölkt, teils Schauer, -2 bis 1 Grad.
Harz: Bewölkt, zeitweiliger Schneefall, -2 bis 2 Grad.
Schwarzwald, Bodenseegebiet: Bewölkt, einzeln Schauer, teils Schneefall, -2 bis 1 Grad.
Südbayern: Verbreitet Schneeschauer, örtlich Auflockerungen, -2 bis 1 Grad.
Österreich, Schweiz: Wechselnd bewölkt, Schneefälle oder Schauer, -1 bis 4 Grad.
Südschweden: Wolken, Südschweden Schnee, -3 bis 2, Oslofjord -8 Grad.
Großbritannien, Irland: Dichte Bewölkung, überwiegend trocken, 6 bis 10 Grad.
Italien: Süditalien und Sizilien Regen, sonst sonnig, Tageshöchstwerte 8 bis 13 Grad.
Spanien, Portugal: Erst Sonne, nachmittags Durchzug von Wolken, 9 bis 17 Grad.
Griechenland, Türkei, Zypern: Bewölkt, gebietsweise Schauer, Temperaturen 11 bis 20 Grad.
Benelux, Nordfrankreich: Wechselnd wolkg, örtlich Regen, Temperaturen 2 bis 8 Grad.
Südfrankreich: Wechselnd wolkg, trocken, 1 bis 10 Grad.
Mallorca, Ibiza: Bewölkt mit Regen, 11 bis 14 Grad.
Madeira, Kanarische Inseln: Teneriffa und Madeira schauerartiger Regen, sonst bewölkt, aber trocken, 14 bis 20 Grad.
Tunesien, Marokko: Sonne und Wolken, meist trocken, 12 bis 17, Südmarokko 20 Grad.