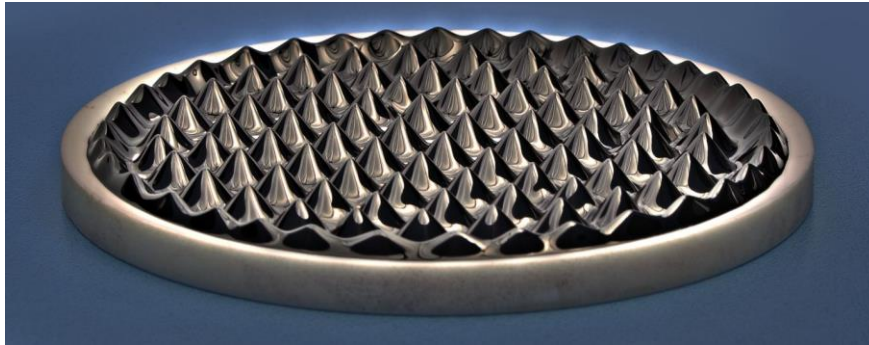




7.042 Zeichen  
Abdruck honorarfrei  
Beleg wird erbeten

Magnetberge in einem Ferrofluid. Der schalenförmige Behälter hat einen Durchmesser von 120 Millimetern.

High-Dynamic-Range-Foto: © Achim Beetz, Universität Bayreuth.

## Eisgekühlt und zäh wie Honig:

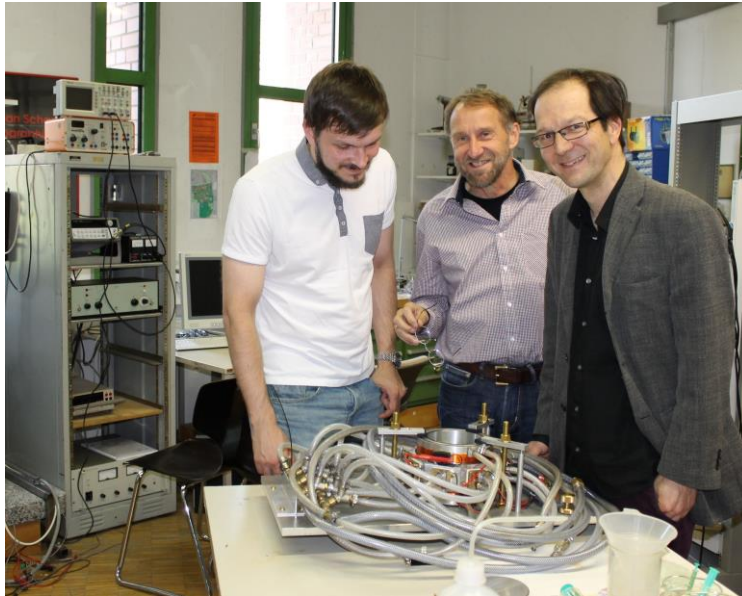
## Neue Einblicke in „Magnetberge“ aus Ferrofluid

**Experimentalphysiker der Universität Bayreuth haben ein Verfahren entwickelt, mit dem sich ungewöhnliche Strukturbildungen in magnetischen Flüssigkeiten erheblich genauer untersuchen lassen, als dies bisher möglich war. Über ihre in der Fachwelt vielbeachteten Ergebnisse berichten sie in der Zeitschrift „Physical Review E“. Die Grundlagenuntersuchung ist im Profildfeld „Nichtlineare Dynamik“ der Universität Bayreuth entstanden, in dem sich Wissenschaftler aus verschiedenen natur- und sozialwissenschaftlichen Disziplinen zusammengeschlossen haben.**

Ferrofluide sind magnetische Flüssigkeiten. Sie enthalten magnetische, mit Tensidhüllen stabilisierte Partikel, die rund 10 Nanometer groß sind und sich in einer Trägerflüssigkeit wie Wasser oder Öl verteilen. Abstoßungskräfte verhindern, dass sich die Nanopartikel darin aneinanderlagern und verklumpen. Da Ferrofluide stark von Magneten angezogen werden kommen sie in vielen technischen Anwendungen zum Einsatz – sei es zur Kühlung von Lautsprechern, zur Abdichtung von Computer-Festplatten, zum Antrieb von Weltraum-Raketen oder zur Erkennung und Therapie von Tumoren.

### **Stabile Magnetberge, erzeugt durch ein externes Magnetfeld**

Schon seit 50 Jahren interessiert sich die Forschung für ein scheinbar rätselhaftes Phänomen: die Fähigkeit von Ferrofluiden, „Magnetberge“ auszubilden. Wird beispielsweise ein



Robin Maretzki M.Sc., Prof. Dr. Ingo Rehberg und PD Dr. Reinhard Richter (v.l.n.r.) in einem Labor der Bayreuther Experimentalphysik. Vorn die Kühlungsapparatur „Octopussy“. Foto: Christian Wißler.

Behälter mit einem Ferrofluid gefüllt, so ist die Oberfläche der Flüssigkeit flach wie der Wasserspiegel eines Sees bei Windstille. Sobald jedoch ein hinreichend starkes Magnetfeld senkrecht zur Oberfläche angelegt wird, entstehen Magnetberge, die als zentimetergroße kegelförmige Stacheln aus der Flüssigkeit herausragen. Hinreichend stark ist das Magnetfeld genau dann, wenn die Feldstärke oberhalb eines kritischen Werts liegt. Solange das Magnetfeld unverändert bleibt, bilden die Magnetberge eine stabile Struktur. Wegen ihrer steilen Höhen und Tiefen steigt zwar die Lage- und Oberflächenenergie, dies wird jedoch durch eine Verringerung der magnetischen Energie mehr als ausgeglichen. Dies ist der Ursprung der Instabilität.

Seit den Untersuchungen, mit denen der U.S.-amerikanische Ingenieur Ronald Rosensweig in den späten 1960er Jahren international bekannt wurde, sind Magnetberge in Ferrofluiden ein viel diskutiertes Thema der Forschung zur Musterbildung. Auch an der Universität Bayreuth befassen sich Experimentalphysiker um Prof. Dr. Ingo Rehberg und PD Dr. Reinhard Richter seit vielen Jahren mit diesen Strukturen und ihrer Entstehung. Mit ihrem jetzt in „Physical Reviews E“ veröffentlichten Forschungsbeitrag knüpfen sie an ältere, an der TU Dresden entstandene theoretische Prognosen an, die sich auf das Wachstum der Magnetberge beziehen. Deren empirische Bestätigung schien bisher aussichtslos.

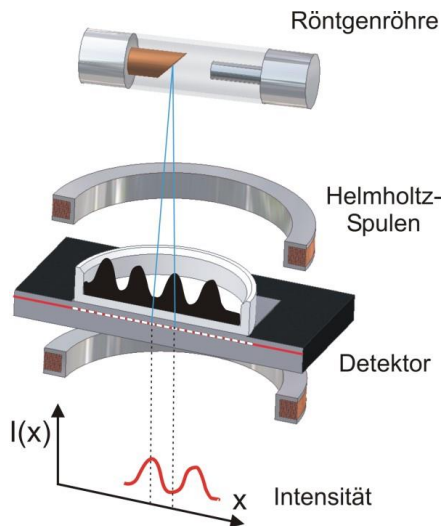
## Wachstumsraten von Magnetbergen: Von der Theorie zur Empirie

Aufgrund theoretischer Berechnungen war prognostiziert worden, dass die Magnetberge bei plötzlichem Anschalten eines hinreichend starken – also den kritischen Wert überschreitenden – Magnetfelds zunächst exponentiell anwachsen. Ihre Wachstumsrate beschreibt, ob das exponentielle Wachstum langsam oder schnell erfolgt. Bereits vor 15 Jahren hat der theoretische Physiker Dr. Adrian Lange an der TU Dresden vorhergesagt, dass sich in Bezug auf die Wachstumsrate zwei Bereiche unterscheiden lassen: Falls das plötzlich angeschaltete Magnetfeld eine Feldstärke hat, die zwischen dem kritischen Wert und einem Schwellwert liegt, hängt die Wachstumsrate *linear* von der Feldstärke ab. Anders verhält es sich bei Feldstärken jenseits des Schwellwertes. Dann hängt die Wachstumsrate *nicht-linear* von der Feldstärke ab.

Diese zweite theoretische Vorhersage konnten die Physiker in Bayreuth und Dresden aufgrund von Messungen bereits 2007 empirisch bestätigen. „Bei der ersten Vorhersage haben wir eine derartige Bestätigung jedoch für aussichtslos gehalten“, erinnert sich Dr. Reinhard Richter. „Denn bei den in der Forschung üblicherweise eingesetzten Ferrofluiden gibt es nur einen winzigen Feldbereich, in dem die lineare Abhängigkeit zu erwarten ist. Deshalb haben wir nicht damit gerechnet, diese Linearität durch Messungen empirisch verifizieren zu können.“ Doch unverhofft kam den Wissenschaftlern die Entdeckung eines Bayreuther Doktoranden entgegen.

### „Magnetischer Honig“

Christian Gollwitzer, der heute an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Berlin tätig ist, entwickelte im Rahmen seiner von Dr. Reinhard Richter betreuten Doktorarbeit einen speziellen Kühler für ein Experiment, das mit der Untersuchung von Ferrofluiden ursprünglich nichts zu tun hatte. Wegen seiner achteckigen Form erhielt das Gerät den Spitznamen „Octopussy“. Es dauerte nicht lange, bis Gollwitzer und Richter erkannten, dass dieser Kühler die experimentell scheinbar hoffnungslose Frage nach der linearen Abhängigkeit lösen könnte. Das Team wählte das zähflüssigste im Handel erhältliche Ferrofluid und kühlte es mit Octopussy, bis es zäh und dickflüssig war, wie Honig aus dem Kühlschrank. Dann legten sie schlagartig ein magnetisches Feld an und beobachteten die Berge beim Wachsen. Der



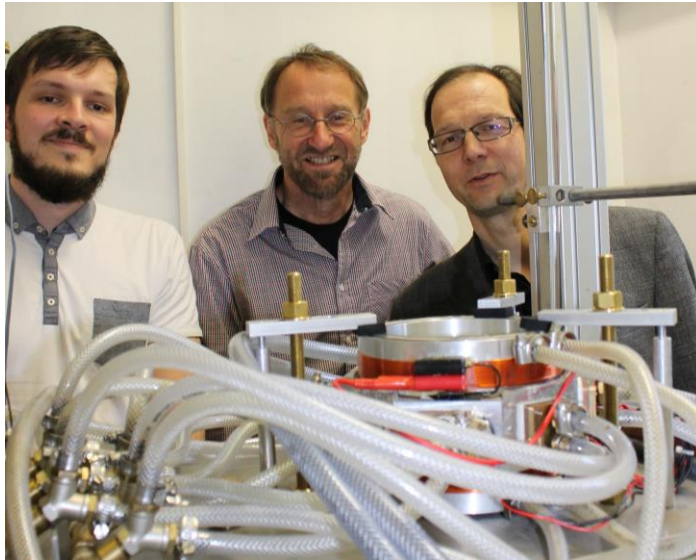
In Bayreuth entwickeltes Röntgenverfahren zur Vermessung der Magnetberge. Röntgenstrahlen, die magnetische Berge durchdringen, werden stärker abgeschwächt als Röntgenstrahlen, die Täler durchdringen.  
Grafik: © Dr. Reinhard Richter, Universität Bayreuth.

gesamte Prozess brauchte nun viel länger als bei Raumtemperatur. Er dauerte 2000 mal so lang wie bei üblichen Ferrofluiden – etwa 60 Sekunden statt wenige Millisekunden. Diese Verwendung von „magnetischem Honig“ hat zwei experimentelle Vorteile:

- Die Forscher sind dadurch in der Lage, den winzigen Feldstärkebereich der linearen Abhängigkeit drastisch zu strecken. Dies ist möglich, weil der Schwellwert, der die lineare und die nicht-lineare Abhängigkeit der Wachstumsraten voneinander trennt, mit der Viskosität des Fluids wächst.
- Darüber hinaus macht es das langsame Anwachsen der Magnetberge möglich, ein langsames und zugleich hochgenaues Röntgenverfahren zu verwenden.

## Röntgenverfahren zur Vermessung der magnetischen Berge

Dieses von den Bayreuther Experimentalphysikern um Prof. Rehberg entwickelte Verfahren ist imstande, die Oberfläche der Magnetberge vollständig zu erfassen. „Röntgenstrahlen, die magnetische Berge durchdringen, werden stärker abgeschwächt als Röntgenstrahlen, die Täler durchdringen. Nach einer Kalibrierung lässt sich das Oberflächenprofil vollständig rekonstruieren.“ so Richter. Infolge dieser kreativen Entwicklungen gelang es den Teams aus Dresden und Bayreuth, die lineare Abhängigkeit der Wachstumsrate zu bestätigen, die 15 Jahre zuvor prognostiziert worden war. An den Forschungsarbeiten war auch der Bayreuther Master-Student Robin Maretzki mit speziellen Messungen beteiligt.



Die Autoren der Studie. Links: Robin Maretzki M.Sc., Prof. Dr. Ingo Rehberg und PD Dr. Reinhard Richter (v.l.n.r.) an der Röntgenanlage zur Vermessung der Rosensweiginstabilität: Im Vordergrund „Octopussy“. Foto: Christian Wißler. Daneben rechts: PD Dr. Adrian Lange, TU Dresden (li.), und Dr. Christian Gollwitzer, vormals Universität Bayreuth, jetzt Helmholtz-Institut Berlin (re.). Fotos: privat.

Von diesem Forschungserfolg schlägt Dr. Reinhard Richter eine wissenschaftsgeschichtliche Brücke zu einem berühmten, bis heute andauernden physikalischen Experiment: „An der University of Queensland wurde im Jahre 1930 ein Trichter mit Pech gefüllt. Dieses Pech ist so hochviskos, dass sich nur etwa alle 15 Jahre ein Tropfen ablöst. Der neunte Tropfen wurde 2014 beobachtet und allseits gefeiert. Unser ‚magnetischer Honig‘ kommt da nicht ganz ran, aber wir möchten unsere Doktoranden ja nicht zu lange beschäftigen“, bekräftigt Richter.

## Veröffentlichung:

Adrian Lange, Christian Gollwitzer, Robin Maretzki, Ingo Rehberg, and Reinhard Richter, Retarding the growth of the Rosensweig instability unveils a new scaling regime, in: Physical Review E 93, 043106 – DOI: 10.1103/PhysRevE.93.043106. Der Artikel wurde von den Herausgebern der Fachzeitschrift ausgezeichnet.

## Besprechung des Artikels im „Physics Buzz“ der American Physical Society:

Mountains Made of "Magnetic Honey" Lead to New Insights,  
<http://physicscentral.com/buzz/index.cfm>



## Informationen zum Profildfeld “Nichtlineare Dynamik” an der Universität Bayreuth:

[www.uni-bayreuth.de/de/forschung/profilfelder/advanced-fields/nichtlineare-dynamik/](http://www.uni-bayreuth.de/de/forschung/profilfelder/advanced-fields/nichtlineare-dynamik/)

### Kontakte:

PD Dr. Reinhard Richter

Lehrstuhl Experimentalphysik V

Universität Bayreuth

95440 Bayreuth

Telefon: +49 (0) 921 – 553344

E-Mail: [reinhard.richter@uni-bayreuth.de](mailto:reinhard.richter@uni-bayreuth.de)

Prof. Dr. Ingo Rehberg

Lehrstuhl Experimentalphysik V

Universität Bayreuth

95440 Bayreuth

Telefon: +49 (0) 921 – 553351

E-Mail: [ingo.rehberg@uni-bayreuth.de](mailto:ingo.rehberg@uni-bayreuth.de)

[@uni-bayreuth.de](mailto:@uni-bayreuth.de)

### Text und Redaktion:

Christian Wißler M.A. und PD Dr. Reinhard Richter  
Zentrale Servicestelle Presse, Marketing und Kommunikation  
Universität Bayreuth  
Tel.: +49 (0)921 55-5356  
E-Mail: [mediendienst-forschung@uni-bayreuth.de](mailto:mediendienst-forschung@uni-bayreuth.de)

### Foto:

In hoher Auflösung zum Download unter:

[www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/pressemitteilungen/2016/063-magnetberge](http://www.uni-bayreuth.de/de/universitaet/presse/pressemitteilungen/2016/063-magnetberge)

## Kurzporträt der Universität Bayreuth

Die Universität Bayreuth ist eine junge, forschungsorientierte Campus-Universität. Gründungsauftrag der 1975 eröffneten Universität ist die Förderung von interdisziplinärer Forschung und Lehre sowie die Entwicklung von Profil bildenden und Fächer übergreifenden Schwerpunkten. Die Forschungsprogramme und Studienangebote decken die Natur- und Ingenieurwissenschaften, die Rechts- und Wirtschaftswissenschaften sowie die Sprach-, Literatur- und Kulturwissenschaften ab und werden beständig weiterentwickelt.

Gute Betreuungsverhältnisse, hohe Leistungsstandards, Fächer übergreifende Kooperationen und wissenschaftliche Exzellenz führen regelmäßig zu Spitzenplatzierungen in Rankings. Die Universität Bayreuth liegt im weltweiten Times Higher Education (THE)-Ranking ,150 unter 50‘ auf Platz 35 der 150 besten Universitäten, die jünger als 50 Jahre sind.

Seit Jahren nehmen die Afrikastudien der Universität Bayreuth eine internationale Spitzenposition ein; die Bayreuther Internationale Graduiertenschule für Afrikastudien (BIGSAS) ist Teil der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder. Die Hochdruck- und Hochtemperaturforschung innerhalb des Bayerischen Geoinstituts genießt ebenfalls ein weltweit hohes Renommee. Die Polymerforschung hat eine herausragende Position in der deutschen und internationalen Forschungslandschaft. Die Universität Bayreuth verfügt über ein dichtes Netz strategisch ausgewählter, internationaler Hochschulpartnerschaften.

Derzeit sind an der Universität Bayreuth rund 13.500 Studierende in 146 verschiedenen Studiengängen an sechs Fakultäten immatrikuliert. Mit ca. 1.200 wissenschaftlichen Beschäftigten, 235 Professorinnen und Professoren und etwa 900 nicht-wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ist die Universität Bayreuth der größte Arbeitgeber der Region.