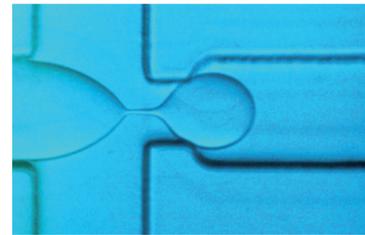


Max-Planck-Forschungsgruppen

Tröpfchen, Membranen und Grenzflächen

Dr. Jean-Christophe Baret

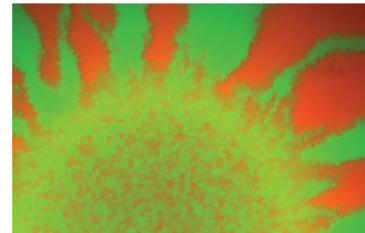
Themenschwerpunkt der Forschungsgruppe sind die Grenzflächen in flüssigen Systemen. Dafür untersuchen die Forscher die Dynamik von Tröpfchen, Blasen und Emulsionen. Mit Methoden der Mikrofluidik lassen sich diese winzigen Gebilde gezielt manipulieren und kontrollieren. Dabei geht es auch um mögliche Anwendungen in Biologie und Medizin.



Biologische Physik und Evolutionäre Dynamik

Dr. Oskar Hallatschek

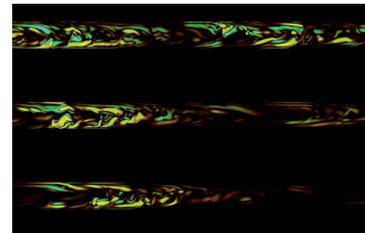
Obwohl die Prinzipien der biologischen Evolution bekannt sind, können wir ihren Ablauf kaum vorhersagen. Rasante biotechnologische Fortschritte ermöglichen aber einen immer besseren Blick auf die zeitlichen Veränderungen im Genom. Die Forschungsgruppe entwickelt hierzu theoretische Modelle, die sie mit Hilfe genetischer Daten oder im Experiment testet.



Komplexe Dynamik und Turbulenz

Dr. Björn Hof

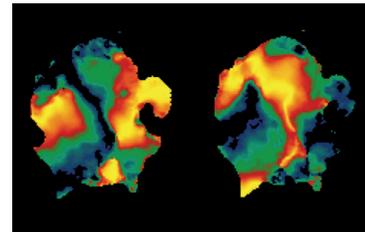
Turbulente und ungeordnete Strömungen treten auf den unterschiedlichsten Größenskalen auf, etwa bei der Geburt von Galaxien und Sternen, in der Atmosphäre, in Flüssen und Blutgefäßen. Dennoch finden sich fast regelmäßige und wiederkehrende Strukturen. Diesem Phänomen, seiner Beschreibung und seiner Kontrolle geht die Forschungsgruppe nach.



Biomedizinische Physik

Prof. Dr. Stefan Luther

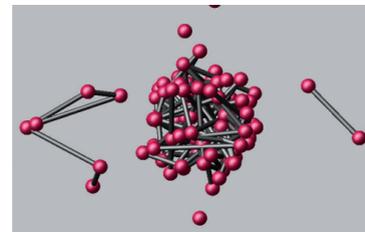
Die Forschungsgruppe untersucht die biophysikalischen Grundlagen des Herzflimmerns. Die Wissenschaftler entwickeln mathematische Modelle, die diesen dynamischen Zustand beschreiben, und simulieren die Krankheit im Experiment. Zudem erforschen sie neue, schonende Behandlungsmethoden wie etwa einen gepulsten Defibrillator, der mit deutlich weniger Energie auskommt als herkömmliche Geräte.



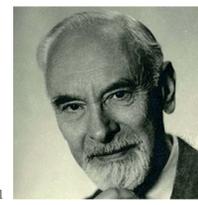
Netzwerk-Dynamik

Prof. Dr. Marc Timme

Mit Hilfe mathematischer Modelle und Methoden erforscht die Forschungsgruppe die Dynamik und Struktur komplexer Netzwerke in Physik, Biologie und Gesellschaft. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf den neuronalen Netzwerken im Gehirn. Weitere Themen sind: statistische Physik ungeordneter Systeme, Robotik, genetische Evolution und elektrische Versorgungsnetzwerke.



Ludwig Prandtl



Von der Strömungsforschung zur Selbstorganisation

Kontinuität und Wandel zeichnen die Entwicklung des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation aus, das seinen Betrieb 1925 als Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung aufnahm. Gründungsdirektor Ludwig Prandtl, der in Göttingen zuvor den ersten deutschen Windkanal errichtet hatte, prägte die frühen Jahrzehnte des Instituts und machte es zu einer führenden Einrichtung der theoretischen und experimentellen Strömungsforschung. Unter anderem begründete Prandtl den Windkanal „Göttinger Typs“, der sich durch einen geschlossenen Kreislauf auszeichnet, und legte den Grundstein für die so genannte Grenzschichttheorie.

Nach dem Zweiten Weltkrieg und der Gründung der Max-Planck-Gesellschaft verlagerte sich der Forschungsschwerpunkt des Instituts mehr und mehr zur Moleküldynamik. 1993 schloss das Institut seine letzte strömungsphysikalische Abteilung.

Einen neuen thematischen Schwerpunkt setzte die Abteilung „Nichtlineare Dynamik“, die drei Jahre später ins Leben gerufen wurde. Dieser folgten 2003 die Abteilungen „Hydrodynamik, Strukturbildung und Nanobiokomplexität“ und „Dynamik komplexer Fluide“. Mit ihnen kehrte auch die Strömungsforschung zurück ans Institut, wurde nun aber in den größeren Zusammenhang selbstorganisierter und dynamischer Phänomene gestellt. Konsequente Folge dieser Neuorientierung war 2004 die Umbenennung des Instituts in Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation. Im Frühjahr 2011 bezog das Institut seinen neuen Standort im Max-Planck-Campus am Fassberg.

Kontakt

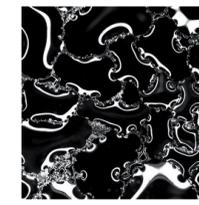
Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation

Am Fassberg 17
37077 Göttingen

Tel.: 0551 5176-0

Fax: 0551 5176-702

E-Mail: info@ds.mpg.de
www.ds.mpg.de



Dynamik und Selbstorganisation – Was ist das?

Auf den ersten Blick haben die Wirbel einer turbulenten Strömung, die Netzwerke aus Nervenzellen im Gehirn und die Tautropfen auf einem Blatt wenig gemein. Sie lassen sich völlig verschiedenen Forschungsgebieten zuordnen. Dennoch gibt es eine Eigenschaft, die Gehirn, Strömung und Tau verbindet: Scheinbar wie aus dem Nichts bilden sich innerhalb dieser Systeme Muster und Ordnungen aus – etwa wenn Nervenzellen zusammenarbeiten, um eine Sinneswahrnehmung zu verarbeiten, wenn sich viele Wirbel charakteristischer Größe ausbilden und miteinander Energie austauschen oder wenn sich Tautropfen ähnlicher Größe auf einer Oberfläche bilden.

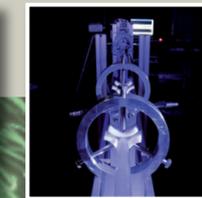
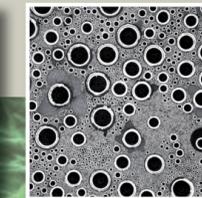
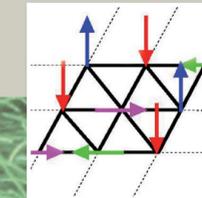
Diese Ordnung wird nicht durch einen Einfluss außerhalb des Systems bestimmt oder erzwungen, sondern entsteht aus dem Miteinander der einzelnen Systembausteine. Ein solches Verhalten bezeichnen Wissenschaftler als selbstorganisiert. Voraussetzung für dieses Phänomen ist, dass das System „lebt“, d.h. es wird von einem Energiefluss gespeist. Ein Beispiel ist die Sonne, die auf der Erde das selbstorganisierte Entstehen von „Strukturen“ bis hin zu Menschen, Tieren und Pflanzen ermöglicht hat. Das innere Miteinander in selbstorganisierten Systemen ist stets ein dynamisches Zusammenspiel. Da diese Systeme von außen mit Energie versorgt werden, befinden sie sich ständig in Bewegung, sind also dynamisch.

Trotz der riesigen Vielfalt dynamischer und selbstorganisierter Phänomene folgen diese Systeme ähnlichen Gesetzmäßigkeiten – und lassen sich somit auf ähnliche Weise erforschen und beschreiben. Das Zusammenarbeiten von Wissenschaftlern vieler Fachrichtungen wie etwa Physikern, Biologen, Chemikern, Geologen, Informatikern und Mathematikern am Institut trägt diesem Grundgedanken Rechnung.



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Max-Planck-Institut
für Dynamik und
Selbstorganisation



Dynamik komplexer Fluide

Prof. Dr. Stephan Herminghaus

Was ist eine komplexe Flüssigkeit und wie verhält sie sich? Eine scheinbar einfache Frage – ohne einfache Antwort: Sand rinnt durch ein Stundenglas wie Wasser. Feuchte Erde, die jahrelang einen sicheren, festen Untergrund bot, kann sich plötzlich zu Schlammlawinen verflüssigen. Und Flüssigkeitsfilme und Tröpfchen auf Oberflächen bilden erstaunlich regelmäßige Muster. Komplexe Flüssigkeiten sind also irgendwie „anders“. Dabei kann diese Andersartigkeit sehr unterschiedlichen Ursprungs sein. So zeigen etwa Stoffgemische wie Emulsionen, Kolloide, Schäume und viele Beispiele biologischer Materie komplexes Verhalten.



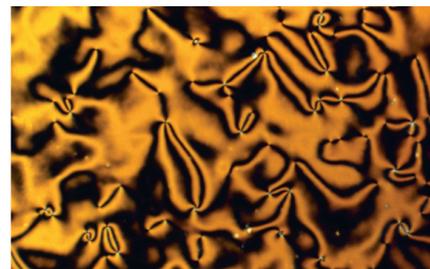
Im Experiment lässt sich das Zusammenspiel granularer Materie - etwa kleiner Kugeln oder regelmäßig geformter Tetraeder - genau untersuchen.

Ein solcher mikroskopischer Ansatz ist auch dann unerlässlich, wenn es um Flüssigkeiten geht, die durch poröses Gestein fließen. In den winzigen Poren von Sandstein etwa bleibt bei aktuellen Methoden der Ölförderung

Stoffgemische wie Emulsionen, Kolloide und Schäume sind irgendwie „anders“. Und auch Ober- und Grenzflächen provozieren völlig neue Phänomene.

Ebenso können Grenz- oder Oberflächen in Flüssigkeiten völlig neue Phänomene wie etwa Selbstorganisation provozieren. Und das Zuführen von Energie kann auch eine einfache Flüssigkeit an den Rand des Komplexen treiben.

Trockene und feuchte Granulate sind eines der Hauptforschungsgegenstände der Abteilung „Dynamik komplexer Materie“. Wie durchmischen sich Granulate verschiedener Größe? Wie platzsparend lassen sie sich anordnen? Und wie verändert sich das System, wenn eine Flüssigkeit die Körner umgibt? Diesen Fragen gehen die Wissenschaftler mit Hilfe von Röntgentomographie, optischer Mikroskopie, Laserspektroskopie und in Modellrechnungen nach.



Schichten aus Flüssigkristallen bilden beeindruckende Muster aus.

ein großer Teil des Öls gefangen. Was hier genau das Zusammenspiel von Stein, Öl und Wasser bestimmt, erforschen die Wissenschaftler. Ähnlich komplizierte Oberflächengeometrien bieten beispielsweise Gewebe und Fasern, die ein dünner Flüssigkeitsfilm umgibt. Vereinfachte Modellsysteme etwa aus langen Zylindern bilden hier die theoretische Grundlage, um das Verhalten nasser Fasern zu erklären.

Doch selbst vergleichsweise einfache Ober- und Grenzflächen können erstaunliches Verhalten zeigen: Auf gerillten und rauen Oberflächen ordnen sich Tröpfchen zu beeindruckenden Mustern, und auch Flüssigkristallschichten weisen an ihrer freien Oberfläche regelmäßig angeordnete Vertiefungen auf, die sich beispielsweise mit dem Rasterkraftmikroskop sichtbar machen lassen. Die komplexen Texturen der Flüssigkristalle lassen sich sogar durch Strömungen in Mikrokanälen kontrolliert ausrichten und manipulieren.

Am Institut versuchen die Forscher zu identifizieren, welche äußeren Einflüsse diese komplexen Verhaltensweisen beeinflussen. In einem zweiten Schritt wird es so möglich, das selbstorganisierte Verhalten der Fluide zu steuern – und sich so die Andersartigkeit dieser Stoffe gezielt zu Nutzen zu machen.

Hydrodynamik, Strukturbildung und Nanobiokomplexität Prof. Dr. Eberhard Bodenschatz

Von den gewaltigen Luftströmen in Wolken bis zu den Bewegungen einzelner Zellen – die Forschungsgegenstände der Abteilung „Hydrodynamik, Strukturbildung und Nanobiokomplexität“ könnten unterschiedlicher kaum sein. Auf den ersten Blick – auf den zweiten Blick verbindet sie ein gemeinsames Prinzip: die Selbstorganisation. Obwohl sich diese Systeme also im Detail unterscheiden, lassen sich ihre zeitliche Dynamik und ihre räumlichen Strukturen durch ähnliche Gesetze beschreiben. Diese Gesetze zu finden und zu verstehen, ist eines der Ziele der Abteilung.

Einer der Schwerpunkte liegt auf der Erforschung turbulenter Strömungen, wie sie etwa in Wolken vorkommen. Entlang welcher Bahnen bewegen sich die Teilchen? Wie wechselwirken sie?

Völlig verschiedene Systeme können auf völlig verschiedenen Größenskalen sehr ähnliche Strukturen hervorbringen.

Welche Rolle spielen Zusammenstöße von Tröpfchen bei der Regenbildung in Wolken? Am Computer lassen sich diese Fragen kaum beantworten. Da sich oftmals in ein und derselben Strömung die größten Strukturen über einige hundert Meter, die kleinsten über wenige Millimeter erstrecken, wären dafür gigantische Rechenleistungen nötig.

Die Abteilung setzt deshalb auf Experimente – entweder beim Feldversuch auf der Zugspitze, wo dichte Wolken die Forschungsstation umschließen, oder in speziellen Anlagen, in denen sich Turbulenz gezielt erzeugen lässt.



Im Sommer umgeben dichte Wolken die Versuchsanlage auf der Zugspitze. Dort lassen sich die turbulenten Vorgänge in Wolken deshalb ganz aus der Nähe untersuchen.

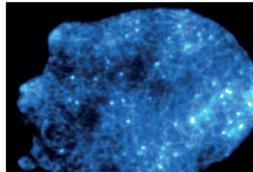


Der sechs Meter hohe und 18 Meter lange Turbulenz-Windkanal ist das Herzstück der Abteilung.

Eine solche Anlage ist der etwa sechs Meter hohe und 18 Meter lange Turbulenz-Windkanal. Dort können die Forscher turbulente Strömungen erzeugen, die den größten in der Natur gleichkommen.

Die Bewegungen einzelner Teilchen lassen sich mit hochentwickelten Methoden der Messtechnik wie etwa Hochgeschwindigkeitskameras aufzeichnen.

Scheinbar wie von Geisterhand ordnen sich auch die Komponenten biologischer Systeme zu dynamischen Strukturen: Die einzelligen Vertreter der Pilzart Dictyostelium discoideum etwa rotten sich, sobald ihnen die Nährstoffe ausgehen, zu Haufen zusammen. Das Strukturprotein Aktin, das Zellwänden Stabilität verleiht, ermöglicht

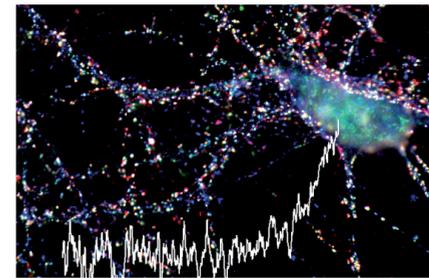


In dieser Zelle des Pilzes Dictyostelium discoideum zeigt sich das Strukturprotein Aktin durch weiße Flecken.

durch systematische Umgruppierung Zellbewegung und -teilung. Und bei der so genannten Chemotaxis spüren einzelne Zellen ganz von selbst auf, wo ein vorteilhafter Stoff in hoher Konzentration vorliegt – und bewegen sich in diese Richtung. Um dieses Verhalten genau zu untersuchen, erzeugen die Forscher in Mikrokanälen winzige Strömungen, denen sie ihre mikroskopischen „Versuchskaninchen“ zufügen. Auf diese Weise entsteht eine genau kontrollierbare Versuchsumgebung.

Nichtlineare Dynamik

Prof. Dr. Theo Geisel



Neuronen in der Großhirnrinde empfangen tausende, synaptische Signale von anderen Zellen.

Nichtlineare Systeme sind „Überraschungspakete“: Ändert sich bei ihnen die Ausgangssituation nur minimal, kann sich das gesamte System völlig verschieden entwickeln. Dies stellt besondere Herausforderungen an

Beispiele für nichtlineare dynamische Systeme sind die neuronalen Netzwerke im Gehirn und Seuchen, die sich geographisch ausbreiten.

ihre mathematische Beschreibung. Ein sprichwörtliches Beispiel ist etwa der Flügelschlag eines Schmetterlings, der einen Orkan auslösen kann. Solche zum Teil chaotischen Systeme, ihre mathematische Beschreibung und Simulation am Computer sind Forschungsgegenstand der Abteilung „Nichtlineare Dynamik“. Dabei ist es das Ziel der Forscher, neue theoretische Methoden zu entwickeln und diese im Vergleich mit Experimenten an speziellen Systemen zu testen.

Besonders das Gehirn ist ein solches System: Es ist das wohl komplexeste Gebilde, das wir kennen. Milliarden Neuronen wirken hier zusammen, um Sinneswahrnehmungen, Emotionen und Handlungen zu ermöglichen und zu steuern. Wie organisieren sich die Zellen, um diese Meisterleistungen zu vollbringen?



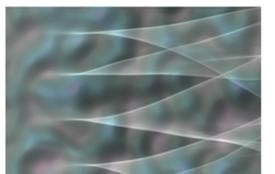
Mit Hilfe von Computersimulationen lässt sich berechnen, wie sich Seuchen ausbreiten. In diesem Fall nimmt eine Epidemie ihren Anfang in der Millionenstadt Los Angeles und breitet sich dann nach und nach in östlicher Richtung aus.

Wie muss der „neuronal Dialog“ zwischen den Nervenzellen aussehen, damit das Gehirn verlässlich arbeitet?

Die Forscher begreifen das Gehirn als dynamisches, selbstorganisiertes System – und beschreiten dabei neue Wege. So gelingt es zunehmend, auch die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Neuronen in die Modelle der neuronalen Netzwerke einzubeziehen. Dadurch ergibt sich nicht selten ein völlig neues Bild und ein tieferes Verständnis neuronaler Prozesse – beispielsweise mit schnelleren Übertragungszeiten oder stabileren Abläufen. Die Forscher profitieren zudem von der Zusammenarbeit mit Biologen und anderen Experimentatoren.

Auch bei der Ausbreitung von Seuchen sind Einzelkomponenten im Spiel, die in komplexen Netzwerken zusam-

menwirken: Jeder Infizierte erzeugt durch seine Reisen – ob zum nächsten Supermarkt oder auf andere Kontinente – ein Netzwerk von Orten, an denen er andere Menschen anstecken könnte. Ausgefällte Modelle erlauben es hier, Ausbreitungswege und -geschwindigkeiten zu berechnen und vorherzusagen.



Beim Transport von Elektronen durch einen Halbleiter können Regionen dramatisch erhöhter Flussdichte entstehen, die sich verzweigen.

Ein weiteres Standbein der Abteilung sind mesoskopische Systeme, also Systeme „mittlerer Größe“, die zwischen den makroskopischen Systemen unserer Alltagswelt und den mikroskopischen Systemen der Quantenwelt angesiedelt sind. Beispiele sind Halbleiter-Nanostrukturen und photonische Kristalle. Auch hier ist oft eine nichtlineare Beschreibung notwendig, um das Verhalten der Grundbausteine zu erklären – etwa wenn sich Elektronen chaotisch durch feinste Halbleiterstrukturen bewegen.