



## **Chaos und Strukturbildung. Basiswissen zur nichtlinearen Physik**

*Michael Komorek und Anja Krüger*

Der Basisartikel bietet einen fachlichen Überblick zum Thema „nicht-lineare Physik“. Ein großer Teil des Beitrags ist der Chaostheorie gewidmet: Welche Eigenschaften haben Systeme, die sich „deterministisch chaotisch“ verhalten und was genau verbirgt sich hinter diesen Eigenschaften? Auch Fraktale und selbstorganisierende Systeme werden kurz vorgestellt und Verknüpfungen zu deterministisch chaotischen Systemen skizziert. Insgesamt zeichnen sich nichtlineare Systeme durch drei zentrale Komplementaritäten aus: dynamische Instabilität vs. strukturelle Stabilität, Komplexität vs. Einfachheit, Zufall vs. Gesetzmäßigkeit.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 4

## **Von der Ordnung ins Chaos. Experimente zum deterministischen Chaos**

*Volker Reuter*

Verändert man in den hier vorgestellten Systemen bestimmte Parameter, so lässt sich der Übergang von einer regelmäßigen periodischen zu einer chaotischen Bewegung beobachten. Die Versuche am getriebenen Pendel, am getriebenen Magnetpendel sowie am Taylor-Couette-System lassen sich elektronisch auswerten, sodass die Messdaten am Computer weiterverarbeitet werden können. Eine geeignete Darstellung der Messwerte im Phasenraum lässt tiefere Einblicke in die Struktur deterministisch chaotischer Systeme zu.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 20

## **Chaos und Strukturbildung in der Schule. Bildungswert und didaktische Aspekte des Themas „Nichtlineare Physik“**

*Michael Komorek*

Warum sollte man das Thema „nichtlineare Physik“ in der Schule überhaupt unterrichten? Eine Befragung von Experten ergab fünf Bereiche, die für dieses Thema im Physikunterricht sprechen: nicht nur Konzepte der modernen Naturwissenschaften können vermittelt werden, sondern auch ein adäquateres Bild von der Welt wie von der Wissenschaft. Auch die Beiträge des Themas zur kognitiven Entwicklung sowie die Möglichkeit zu fächerübergreifendem Arbeiten sprechen dafür. Etliche neue Lehrpläne und Schulbücher haben dies bereits berücksichtigt, zudem liegen mittlerweile auch ausreichend fachdidaktische Arbeiten und Vorschläge vor, sodass Unterricht zum Thema kein zu großes Wagnis mehr ist.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 9

## **Wirbel im Unterricht. Laminare Strömungen, Turbulenz und Strukturbildung in Flüssigkeiten**

*Friederike Korneck*

Der Übergang von geordneten zu chaotischen Strukturen lässt sich gut bei Strömungen beobachten: Eine geordnete laminare Strömung geht mit der Bildung charakteristischer Strukturen wie z. B. Wirbeln in eine turbulente Strömung über. Die Autorin skizziert eine umfangreiche Unterrichtsreihe für die 11. Klasse, bei der Schülerinnen und Schüler Einblick in die Strömungsphysik wie auch in Strukturbildungsphänomene erhalten. Teile der Unterrichtseinheit, wie z. B. zum Übergang von laminarer zur turbulenten Strömung, sind auch schon gegen Ende der Sekundarstufe I einsetzbar. Dazu stellt der Beitrag mehrere Arbeitsblätter zur Verfügung.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 24

## **Unterricht zu Chaos und Strukturbildung. Ein modulares Konzept für Klasse 10 und Grundkurse**

*Karin Bobertz, Klaus Vogt und Michael Komorek*

Der Artikel stellt ein umfangreiches, modular aufgebautes Unterrichtskonzept zum Thema „Chaos und Strukturbildung“ vor. Die 6 Module führen Schülerinnen und Schüler über die Einsicht in den Unterschied zwischen schwacher und starker Kausalität sowie das Prinzip der eingeschränkten Vorhersagbarkeit in verschiedenen Systemen u. a. mittels Realexperimenten und Computersimulationen über die Beschäftigung mit Strukturbildungsprozessen letztlich zu einem differenzierteren naturwissenschaftlichen Weltbild.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 12

## **Einfache Experimente zur Selbstorganisation. Strukturbildung bei Sand und anderen Granulaten**

*Volkhard Nordmeier und H. Joachim Schlichting*

Granulate, die in der Natur in vielfältiger Form anzutreffen sind, bilden ganz spezifische Strukturen aus: Lässt man beispielsweise Sand auf einen Haufen rieseln, zeigt sich ein spezifischer Böschungswinkels des Hangs, der durch immer wieder auftretende kleine und große Lawinen stets erhalten bleibt. Führt man einem Granulat Energie zu, indem man es in Schwingungen versetzt, kann man die plötzliche Ausbildung von Strukturen beobachten. Der Artikel beschreibt mehrere Experimente zum Thema, die sich leicht durchführen und auch auf schulischem Niveau erklären lassen.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 28

## **Das chaotische Magnetpendel. Erfahrungen aus dem Unterricht**

*Jens Wilbers, Nils Bucker, Michael Komorek, Reinders Duit und Helga Stadler*

Um sich mit der Entstehung von chaotischen Bewegungen unter deterministischen Bedingungen zu beschäftigen, ist das Magnetpendel ein gutes Objekt, das auch bereits Schülerinnen und Schülern in der Sek. I verständlich ist. Analogien wie z. B. Bergwall und Grat bzw. Analogieobjekte wie die sog. „Chaosschüssel“ helfen, dem Grund für die eingeschränkte Vorhersagbarkeit der Systeme auf die Spur zu kommen. Ein Computerprogramm ermöglicht es zudem, das Verhalten des Pendels in einer störungsfreien Welt zu simulieren. Der Beitrag stellt ein Unterrichtskonzept zum Thema sowie Erfahrungen damit vor.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 15

## **Strukturen: Zufall trifft Naturgesetz. Wie zufällige Prozesse konstruktiv wirken**

*Nils Bucker und Dimitrios Stavrou*

Viele Strukturen in der Natur entstehen durch die Wechselwirkung von zufälligen und gesetzmäßigen Prozessen. Derartige Strukturbildungsprozesse untersuchten die Schülerinnen und Schüler einer 12. Klasse anhand der Beobachtung von Zinkdendriten, von Vorgängen beim viskosen Verästeln sowie von Bénard-Zellen. Im Laufe des Unterrichts gelang es, sie zu einem vertieften Nachdenken über die Rolle des Zufalls anzuregen sowie ihnen die Grundprinzipien von Strukturbildungsprozessen zu vermitteln.

UNTERRICHT PHYSIK\_17\_2006\_Nr. 94, Seite 32