

Neues Phänomen der Radioaktivität

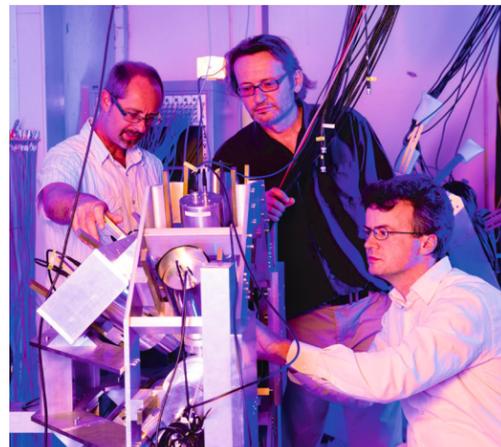
Physikern der TU Darmstadt ist es erstmals gelungen, einen extrem seltenen radioaktiven Zerfall zu beobachten. Das Außergewöhnliche: Der sogenannte Doppelgammazerfall eines angeregten Kernzustandes, der einen Prozess höherer Ordnung darstellt, läuft ab, obwohl der Prozess erster Ordnung nicht durch Energie- und Impulserhaltung oder quantenmechanische Auswahlregeln verboten ist.

— Von Christian Meier

Ein Team um Privatdozent Dr. Heiko Scheit und die Professoren Norbert Pietralla und Thomas Aumann vom Institut für Kernphysik hat ein äußerst schwer beobachtbares radioaktives Phänomen nachgewiesen. Normalerweise ähnelt Radioaktivität einer Geburt: Ein Atomkern bringt ein Teilchen oder ein Photon (Strahlungsteilchen) zur Welt. Äußerst selten gebiert ein Atomkern Zwillinge: Zum exakt gleichen Zeitpunkt kommen zwei identische Teilchen oder Photonen aus dem Atomkern heraus. Dies war bisher nur für den Doppelbetazerfall, bei dem gleichzeitig zwei Elektronen (Positronen) und zwei Antineutrinos (Neutrinos) emittiert werden, und für den Doppelgammazerfall beobachtet worden, einem analogen Phänomen für die energiereiche Gammastrahlung. Diesen Prozess hatte die spätere Nobelpreisträgerin Maria Göppert-Mayer schon 1930 vorhergesagt. Beim Aussenden eines Photons vollzieht der Kern einen Quantensprung und verliert dabei Energie. Diese Energie trägt das ausgesendete Photon vom Kern weg. In sehr seltenen Fällen, so sagte Göppert-Mayer vorher, verteilt sich die Energie auf zwei simultan ausgesendete Photonen im sogenannten Zweiphotonenzerfall.

Scheit erklärt, dass Prozesse mit zwei Photonen, also nicht nur der Zerfall, sondern auch die Anregung eines Atoms in der Atomphysik, inzwischen standardmäßig beobachtet und angewandt werden. Allerdings gelang es in der Kernphysik bisher nur in drei sehr speziellen Fällen, den Doppelgammazerfall nachzuweisen, nämlich dort, wo der einfache Gammazerfall durch quantenmechanische Auswahlregeln verboten ist, wurde dieser Prozess bisher noch nie beobachtet.

„Seit den 1980er Jahren blieben alle Versuche, den Doppelgammazerfall in Konkurrenz zu dem gewöhnlichen einfachen Gammazerfall nachzuweisen, erfolglos“, sagt Pietralla. Zwar gibt es Apparaturen, die Photonen nur dann registrieren, wenn sie gleichzeitig „geboren“ werden. Weil aber in den untersuchten Proben sehr viele Atomkerne gleichzeitig



Norbert Pietralla, Thomas Aumann und Heiko Scheit (v. l.) messen Gammastrahlung.

Abbildung: Katrin Binner

zerfallen, ging das eigentlich gesuchte Phänomen, dass nämlich die Zwillingenphotonen aus demselben Kern kommen, in der Masse unter wie ein echtes Zwillingenpaar in einer Stadt mit einer Million Einwohner. Außerdem kann es vorkommen, dass ein Photon vom ersten Detektor registriert wird und durch einen Streuprozess mit Lichtgeschwindigkeit binnen weniger Milliardstel Sekunden zum zweiten Detektor gelangt, um dort ein zweites Mal detektiert zu werden. Auch das täuscht einen Zwilling vor.

Die Darmstädter Forscher lösten beide Probleme mit neu entwickelten, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Gammastrahlungsdetektoren. Das Besondere an diesen Geräten: Sie können nicht nur die Energie eines Photons sehr genau bestimmen. Sie erkennen zudem Zeitunterschiede von einigen Hundert Pikosekunden (einigen Zehnmilliardstel einer Sekunde). Professor Pietrallas Mitarbeiter Dr. Christopher Walz und seine Kollegen bauten einen Ring aus mehreren dieser Detektoren, in dessen Mitte sie eine Substanz platzierten, die Gammastrahlung genau bestimmter Energie abgibt.

Die Detektoren sprachen an, wenn sie innerhalb eines sehr engen Zeitfensters von wenigen Nanosekunden zwei Photonen registrierten, die zusammen die Energie des Quantensprungs haben. Tatsächlich fanden sie auf diese Weise die Zwillingenphotonen. „Sie entstehen etwa bei jedem millionsten Gamma-Zerfall“, sagt Pietralla.

Weil das Zeitfenster kleiner ist als die Zeit, die ein gestreutes Photon benötigt, um mit Lichtgeschwindigkeit von einem Detektor zum anderen zu kommen, konnten die Physiker ausschließen, dass ihre Messung ein Artefakt ist. Mithilfe seines Kollegen Vladimir Ponomarev konnte Walz die Messwerte auch quantitativ anhand eines theoretischen Modells erklären. Übrigens: Walz ist für die Entdeckung mit den Dissertationspreisen 2014 der TU Darmstadt und der European Physical Society geehrt worden.

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

Winter 2015



Impressum

Herausgeber
Der Präsident
der TU Darmstadt

Redaktion
Stabsstelle Kommunikation und
Medien der TU Darmstadt:
Jörg Feuck (Leitung, Vi.S.d.P.)
Ulrike Albrecht (Grafik Design)
Patrick Bal (Bildredaktion)

Gestalterische Konzeption
conclouso GmbH & Co. KG,
Mainz

Titelbild Katrin Binner

Druck Frotscher Druck GmbH,
Darmstadt
gedruckt auf 100 g/m²
PlanoScript, FSC-zertifiziert

Auflage 6.000

Nächste Ausgabe
15. März 2016

Leserservice
presse@pww.tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506

Möchten Sie die nächste Ausgabe der hoch³FORSCHEN gerne in digitaler Form erhalten? Dann senden Sie bitte eine E-Mail an presse@tu-darmstadt.de

— 1 **Kernphysik**: Neues Phänomen der Radioaktivität entdeckt — 2 **Biologie**: Zellen formen und gleichzeitig mikroskopieren — 3 **Aerodynamik**: Das Vereisungs-Risiko an Flugzeugen verringern — 4 **Strömungssimulation**: Ordnung in Turbulenzen bringen

Publikation:

The experimental proof has been published in the scientific journal „Nature“:
<http://www.nature.com/nature/journal/v526/n7573/full/nature15543.html>

Informationen

Institut für Kernphysik
Prof. Dr. Norbert Pietralla
(Direktor)
Telefon: 06151/16-23540
E-Mail:
pietralla@ikp.tu-darmstadt.de
www.ikp.tu-darmstadt.de

Zellen in Bewegung

Mit einem in Kooperation aus Materialwissenschaften und Biologie entwickelten Gerät lassen sich Zellen ziehen und stauchen und parallel mikroskopieren. Die Technik könnte Medikamententests verbessern und manchen Tierversuch erübrigen.

— Von Uta Neubauer

Unsere Körperzellen sind ständig in Bewegung. Selbst wenn wir auf dem Sofa liegen, pumpt das Herz Blut durch unsere Adern, knetet der Magen-Darm-Trakt unsere Mahlzeiten durch, hebt und senkt sich der Brustkorb beim Atmen. Während sich Muskelzellen dabei aktiv bewegen, werden die Zellen unseres Bindegewebes passiv gedehnt oder gestaucht. „Ruhe herrscht in diesem Sinne eigentlich nur im Innern der Knochen und im Gehirn“, sagt Tobias Meckel, Privatdozent im Fachbereich Biologie und Leiter des Forschungsgebiets Membrandynamik.

Bewegungsreize fördern die korrekte Vernetzung der Zellen untereinander und mit ihrer Umgebung, denn sie liefern den Zellen wichtige Informationen über ihre Position und Ausrichtung. Bewegung, egal ob aktiv oder passiv, beeinflusst die Entwicklung, das Wachstum und das Verhalten von Zellen. „Kultiviert man undifferenzierte Herzmuskelzellen unter einem bestimmten Bewegungsreiz, entwickeln sie sich zu funktionalem Herzmuskelgewebe – fehlt der Reiz oder ist er zu stark, bildet sich Bindegewebe“, erklärt Meckel. Es ist daher erstaunlich, dass Zellversuche – die in der biologischen Grundlagenforschung ebenso unerlässlich sind wie in der Kosmetik-, Lebensmittel- und Pharmaindustrie – meist an ruhenden Zellkulturen durchgeführt werden. Zwar achten Biowissenschaftler bei Experimenten mit lebenden Zellen penibel auf die Zusammensetzung des Nährmediums, auf den pH-Wert und die Temperatur. Zudem setzt sich langsam die Erkenntnis durch, dass 3D-Zellkulturen die Vorgänge in unserem Körper besser simulieren als die üblicherweise verwendeten 2D-Kulturen, sagt Meckel. Der Parameter Bewegung aber spiele in den meisten Zellversuchen noch keine Rolle. Das könnte sich dank einer Erfindung von Meckel und seiner Kollegin Ljubomira Schmitt bald ändern. Sie entwickeln ein

Gerät, mit dem dreidimensional kultivierte Zellen kontrollierten Bewegungsreizen ausgesetzt und dabei gleichzeitig mikroskopiert werden können.

Ljubomira Schmitt ist Materialwissenschaftlerin und Expertin für Piezokeramiken. Mit diesen Materialien, die sich durch Anlegen einer elektrischen Spannung verformen, hat sie sich während ihrer Doktorarbeit beschäftigt; hier liegt auch ihr aktueller Forschungsschwerpunkt. Zurzeit studiert sie außerdem Biologie. Vor zwei Jahren besuchte sie eine Vorlesung von Meckel, in der es um ein Experiment zur Haftung von Zellen an Oberflächen ging. Dem Versuch fehlte jegliche Dynamik und Schmitt fragte ihren Dozenten, wie sich die Zellen denn in einem bewegten System verhalten würden. Damit war die Idee geboren, ein Gerät zu entwickeln, mit dem sich das beobachten lässt.

Nach einem Entwurf von Meckel und Schmitt wurde ein erster Demonstrator in einer Werkstatt der TU gebaut. Sein Herzstück ist ein würfelförmiges Silikongerüst, gefüllt mit einem Hydrogel aus Kollagen, dem Hauptprotein unseres Bindegewebes. In diesem Hydrogel, das größtenteils aus Wasser besteht und Nährstoffe enthält, können Zellen dreidimensional wachsen. An zwei Seiten des Würfels stecken in einer Art Mini-Hosentaschen Piezoelemente, die sich je nach angelegter Spannung reversibel ausdehnen oder zusammenziehen, wobei sie an dem Hydrogel ziehen oder es stauchen. Die darin wachsenden Zellen werden dadurch gedehnt oder gequetscht. „Über die Wahl der Spannung können wir die Auslenkung gezielt einstellen und jede Richtung im dreidimensionalen Raum ansteuern“, erklärt Schmitt. Und nicht nur das: Die Bewegung und das Wachstum der Zellen lassen sich während der Untersuchung in Echtzeit beobachten, denn das System wurde in eine genormte Mikrotiterplatte integriert, die in



Abbildung: Katrin Binner

handelsübliche Mikroskope passt. „Die Mikroskopie ist nicht das Problem“, unterstreicht Meckel. „Moderne hochauflösende Techniken machen extrem kleine Bestandteile von Zellen und sogar die Position einzelner Moleküle sichtbar. Eine Leber oder ein anderes Organ aber werde ich niemals mit der Einzelmolekülmikroskopie analysieren können.“ Man müsse daher die Untersuchungsobjekte an die Mikroskopie anpassen und Körpergewebe möglichst naturgetreu nachbilden.

Das vom Forschungsteam entworfene System eignet sich für Säugerzellen ebenso wie für Pflanzenzellen, Mikroorganismen und andere Zelltypen. Bei der Geräteentwicklung konzentrieren sich die Darmstädter Forscher zunächst aber auf die Kultivierung von menschlichen Zellen sowie auf die Ansprüche der akademischen und industriellen Pharmaforschung. Arzneiersteller müssen neue Wirkstoffkandidaten immer erst an Zellkulturen und Labortieren testen, bevor sie zur klinischen Prüfung an Versuchspersonen zugelassen werden. Da Studien an bewegten 3D-Kulturen realitätsnäher sind als herkömmliche Zellversuche, könnte die Erfindung von Meckel und Schmitt der Industrie Kosten sparen, denn ungeeignete Substanzen ließen sich so schon in einem frühen Stadium der Prüfphase aussortieren. Aussagekräftigere Zellversuche reduzieren zudem die Zahl der Tierversuche.

Für ihre Idee konnten Meckel und Schmitt nicht nur Kollegen aus anderen Fachbereichen begeistern, sondern auch eine Förderung des Forums für Interdisziplinäre Forschung (FIF) gewinnen: Gemeinsam mit Stefan Breuer, Leiter der Arbeitsgruppe Halbleitertechnik im Fachbereich Physik, und Professor Helmut F. Schlaak, Leiter des Fachgebiets Mikroelektronik und Elektromechanische Systeme im Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, soll das Gerät jetzt miniaturisiert und auf Hochdurchsatz getrimmt werden. In dem vom FIF geförderten Projekt wollen die Darmstädter Forscher auch die Herstellungskosten des Gerätes senken, etwa indem sie die Piezoelemente durch preisgünstigere Mikroaktoren ersetzen. Ein Patent haben Meckel und Schmitt schon angemeldet, nun wollen sie ein Unternehmen gründen und suchen, unterstützt von HIGHEST, dem Gründungszentrum der TU Darmstadt, Kapitalgeber. Das Potenzial ihrer Idee haben sie mit Pharmaunternehmen diskutiert und positives Feedback erhalten. Kein Wunder, denn ein Gerät, mit dem sich Geld und Tierversuche sparen lassen, steht ganz oben auf der Wunschliste der Arzneiersteller.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.

Tobias Meckel und Ljubomira Schmitt im Labor.

Geförderte Interdisziplinarität
Das Forum Interdisziplinäre Forschung, kurz: FIF, ist eine zentrale Einrichtung der TU Darmstadt. Neben der Organisation von Vorträgen, Workshops und anderen Veranstaltungen fördert das FIF Forschungsprojekte, an denen sich TU-Wissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus verschiedenen Fachbereichen beteiligen. Bis Dezember 2016 unterstützt das FIF das von Ljubomira Schmitt (Fachbereich Material- und Geowissenschaften) und Tobias Meckel (Fachbereich Biologie) initiierte Projekt „Zellkulturen in Bewegung: Aktiv bewegtes künstliches Zellgewebe unter Beobachtung durch hochauflösende Mikroskopie“.

Weitere vom FIF geförderte Projekte beschäftigen sich zum Beispiel mit Papierhäusern für Katastrophenopfer, mit Kleinwasserkraftwerken oder mit Robotern, die menschliche Bewegungen wie das Putting beim Golfen lernen sollen.

Informationen zum FIF und allen geförderten Projekten unter: www.fif.tu-darmstadt.de



Demonstrator mit Piezoelementen und Zell-Nährlösung.

Informationen

Fachbereich Biologie
Membrandynamik
PD Dr. Tobias Meckel
Telefon: 06151/16-21947
E-Mail:
meckel@bio.tu-darmstadt.de

Eis liegt in der Luft

Markus Schremp und Daniel Kintea von der TU Darmstadt untersuchen, wie Flugzeuge im Flug vereisen. Mit ihren Experimenten und realitätsnahen mathematischen Modellen sollen Risiken und Kosten minimiert werden.

Von Hildegard Kaulen

Als der Air France-Flug 447 in der Nacht zum 1. Juni 2009 auf dem Weg von Rio de Janeiro nach Paris über dem Atlantik abstürzte und 228 Insassen in den Tod riss, ahnte niemand, dass die Vereisung der Geschwindigkeitssensoren die Katastrophe eingeleitet hatte. Durch die Vereisung hatte sich der Autopilot abgeschaltet und die Flugsteuerung war in einen alternativen Modus übergegangen. Anstatt die für diese Situation vorgeschriebene Prozedur einzuleiten, machten die Piloten einen Fehler nach dem anderen. Dadurch kam es zu einem Strömungsabriss am Tragflügel. Es folgte ein Verlust des Auftriebs und die Maschine stürzte ins Meer.

Vereisung ist und bleibt eine ernste Gefahr in der Luftfahrt. Daher muss jeder neue Flugzeugtyp vor der Zulassung beweisen, dass er auch dann sicher fliegt, wenn sich während des Flugs Eisablagerungen bilden. Das geschieht in einem aufwendigen Zertifizierungsverfahren. Dafür sind teure Flug- und Windkanalversuche notwendig. „Es gibt weltweit nur eine Handvoll Anlagen, die für solche Tests geeignet sind“, sagt Dr. Ilia Roisman vom Fachgebiet Strömungslehre und Aerodynamik an der TU Darmstadt, der zusammen mit Dr. Suad Jakirlic die Arbeiten von Kintea und Schremp an diesem Fachgebiet betreut. Leiter des Fachgebiets ist Professor Cameron Tropea. „Wenn wir die Physik der Oberflächenvereisung besser verstehen und in realitätsnahen mathematischen Modellen abbilden können, sollten für die Zertifizierung neuer Flugzeugtypen weniger teure Windkanal-Experimente nötig sein“, sagt Roisman weiter. Genau hier setzen die Arbeiten von Schremp und Kintea an. Beide forschen im Rahmen größerer Projekte. Schremp arbeitet in dem SFB-TRR75 mit, Kintea in dem EU-Projekt HAIC.

Die beiden Wissenschaftler untersuchen zwei verschiedene Formen der Vereisung. Schremp beschäftigt sich mit der Tragflächen-Vereisung durch unterkühlte Wassertropfen während des Steig- und Sinkflugs nach dem Starten oder vor dem Landen. Kin-

tea untersucht die Vereisung von Triebwerken und Sensoren durch Eiskristallwolken auf Reiseflughöhe. Ohne Gegenmaßnahmen hätten beide Vereisungstypen dramatische Konsequenzen für die Flugsicherheit. Eisablagerungen an den Tragflächen verändern die Form der Flügelprofile. Die wachsende Eisschicht erhöht das Gewicht des Flugzeugs, der Auftrieb nimmt ab und der Widerstand wird größer. Ohne Gegenmaßnahmen verbraucht das Flugzeug mehr Kerosin und verliert vielleicht sogar seine Steuerbarkeit. Derzeit werden durch die Beheizung der Tragflächen Vorderkanten Eisschichten angebaut und fallen dadurch ab. Eine Vereisung der Triebwerke in großer Höhe blockiert den Luftstrom, was zu einem Schub- und Effizienzverlust führt und im schlimmsten Fall den Ausfall der Triebwerke zur Folge hat. Auf unterkühltes Wasser treffen die Flugzeuge beim Durchfliegen niedrig liegender Wolken, weil unterkühlte Wassertropfen nur im Bereich bis etwa minus 20 Grad Celsius vorliegen. Schremp untersucht die hydro- und thermo-dynamischen Prozesse beim Aufprall und der Erstarrung unterkühlter Tropfen, um diese Prozesse dann modellieren zu können. „Treffen die unterkühlten Tropfen in den niedrig liegenden Wolken auf die angeströmten Flugzeugprofile, gefriert ein Teil sofort zu Eis“, erklärt Schremp. „Da beim Gefrieren latente Wärme frei wird, gefriert gerade so viel des Tropfens, bis die anfängliche Unterkühlung aufgebraucht ist. Der noch nicht gefrorene Teil breitet sich als Wasserfilm auf den Tragflächen aus und gefriert dann ebenfalls durch die Kälte des Untergrunds“, so der Maschinenbauingenieur weiter. Weil die Lufttemperatur mit steigender Flughöhe sinkt und Wasser spätestens ab minus 40 Grad Celsius nur noch als Eis vorliegt, kann es nur in bestimmten Flughöhen zu einer Vereisung durch unterkühlte Wassertropfen kommen.

Schremp interessiert sich besonders für die kristallinen Strukturen, die beim Gefrierprozess entstehen, die sogenannten Dendriten. Er konnte zeigen, dass die Kristallisationsfront zwar aus vielen



Abbildung: Katrin Binner

wachsenden Dendriten besteht, dass diese Dendriten sich aber nicht gegenseitig beeinflussen. „Die Front von mehreren Dendriten friert genauso schnell wie die Front eines einzelnen Dendriten“, sagt Schremp. „Daher muss nicht jeder einzelne Dendrit modelliert werden, sondern nur die Erstarrungsfront. Das wird die Berechnungen ganz erheblich vereinfachen.“ Schremp konnte auch zeigen, dass die thermischen Eigenschaften der Oberfläche den Gefrierprozess beeinflussen, und zwar über den Winkel, mit dem die Erstarrungsfront wächst. „Wenn man diesen Winkel durch geeignete Maßnahmen maximieren könnte, wäre die Geschwindigkeit, mit der die Oberfläche vereist, minimiert“, resümiert er. „Damit wäre viel erreicht.“

Die Vereisung der Triebwerke in großer Höhe untersucht Daniel Kintea. Dieses Problem kann beim Durchfliegen von Eiskristallwolken oder dem Überfliegen von Gewitterzellen auf Reiseflughöhe entstehen. Bei diesem Prozess beginnt die Vereisung auf einer warmen Oberfläche. Das Problem ist lange Zeit gar nicht richtig wahrgenommen worden, weil man dachte, dass die Eiskristalle an den kalten Teilen des Triebwerks abprallen und an den warmen Teilen vollständig schmelzen. Unter bestimmten Bedingungen entsteht aber ein richtiger Eisansatz. „Das mag zwar paradox klingen“, sagt Kintea. „Aber Sand klebt auch auf einer schrägen Oberfläche, wenn diese nass ist.“ Bei der Triebwerksvereisung fliegen Eiskristalle in die warmen Triebwerke, wo sie schmelzen. Dadurch entsteht ein Gemisch aus Eis und Wasser, welches an den Oberflächen kleben bleibt, ähnlich wie nasser Sand. Das Schmelzen der anhaftenden Partikel entzieht dem Metall weitere Wärme, bis der Gefrierpunkt erreicht ist. Dann gefriert auch der Wasserfilm

auf der Oberfläche, an dem die kalten Eispartikel anhaften.

Nach dem gleichen Prinzip können auch beheizte Sensoren einfrieren, wie bei dem Air France-Unfall. Bisher versuchen die Flugzeuge, Eiswolken und Gewitterzellen zu umfliegen oder in eine wärmere Luftschicht abzusinken, in der das Eis dann wieder schmelzen kann. „Wir wollen diese Vereisungsprozesse präzise modellieren“, sagt Kintea. „Dazu müssen wir wissen, wie die Eispartikel in der Atmosphäre aussehen, wie sie sich verhalten, welchen Luftwiderstand sie haben und wie sie schmelzen. Die bisherigen Modelle gehen davon aus, dass die Eispartikel kugelförmig sind und wie eine Kugel schmelzen. Das ist falsch.“

Kintea hat insgesamt drei Prozesse modelliert: das Schmelzen eines einzelnen Eiskristalls, den Aufprall und das Verhalten einer porösen Eisschicht. „Ob Eispartikel abprallen oder hängen bleiben, hängt von der Aufprallgeschwindigkeit, der Oberflächenspannung und der Größe und Dichte der Eispartikel ab“, erklärt der Maschinenbauingenieur. „Alle vier Größen werden in der dimensionslosen Weber-Zahl zusammengefasst. Unterhalb einer kritischen Weber-Zahl bleiben die Partikel haften.“ Kintea hat auch die zusätzlich auftretenden physikalischen Phänomene berücksichtigt, die beim Schmelzen einer porösen Eisschicht auftreten. Seine mathematischen Modelle bilden die Realität viel besser ab als die vereinfachten und idealisierten Modelle der Vergangenheit.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Biologin.

Experimentieren, um die Flugsicherheit zu erhöhen: Markus Schremp (links) und Daniel Kintea.

Die Projekte

Das EU-Projekt „High Altitude Ice Crystals“ (HAIC) wird von einem Konsortium aus Flugzeug- und Triebwerksherstellern, Universitäten und Forschungseinrichtungen getragen und will die Vereisungsbedingungen in großer Höhe besser verstehen und nachvollziehen: www.haic.eu

Der Sonderforschungsbereich SFB-TRR75 an der TU Darmstadt, der Universität Stuttgart und am DLR Lampoldshausen trägt den Titel „Tropfen-dynamische Prozesse unter extremen Umgebungsbedingungen“:

www.sfbtrr75.de

Publikation

D. Kintea, T. Hauk, I. Roisman, C. Tropea: Shape evolution of a melting nonspherical particle, DOI: 10.1103/PhysRevE.92.033012

Informationen

Strömungslehre und Aerodynamik

Prof. Dr. Cameron Tropea
Telefon: 06151/16-22198
E-Mail: c.tropea@sla.tu-darmstadt.de
www.sla.tu-darmstadt.de

Ordnung für Wirbel

Turbulenzen machen Designern von Autos oder Flugzeugen das Leben schwer. Sie lassen sich nicht präzise genug simulieren. Martin Oberlack vom Fachgebiet Strömungsdynamik will das Problem auf originelle Weise lösen.

— Von Christian Meier

Verschmitzt lächelt Albert Einstein von einem Poster an der Wand von Professor Martin Oberlacks Büro. Vielleicht ahnte der geniale Einstein schon vor Jahrzehnten, dass sein Denken Maschinenbauingenieure wie Oberlack dazu beflügeln würde, scheinbar unlösbare Aufgaben der Aerodynamik zu meistern. Das Problem, das Flugzeug- und Autobauer ärgert, schildert Oberlack anhand einer anderen an der Wand befestigten Darstellung im Gang des Fachgebietes Strömungsdynamik auf der Darmstädter Lichtwiese.

Wie ein knallig buntes abstraktes Gemälde sieht der fünf Meter lange Streifen aus, an dessen linkem Rand noch glatte und gleichmäßige Pinselstriche dominieren, das aber mit jedem Meter nach rechts wirrer wird, als hätte der Künstler immer mehr die Beherrschung verloren. Doch es ist kein Kunstwerk. „Das ist eine Computersimulation von Turbulenzen“, sagt Oberlack. Es zeigt die Verwirbelungen eines Luftstroms, der über eine flache Platte streicht. Nach rechts hin, sprich mit wachsender Entfernung von der Platte, gibt es immer mehr Wirbel. „Das ist der Grund, warum die Business-Class im Flugzeug vorne ist“, sagt Oberlack. Am hinteren Teil des Flugzeuges erzeugen mehr Wirbel ein lauterer Geräusch, erklärt der Maschinenbau-Ingenieur.

Lärm ist nicht das einzige durch Turbulenzen verursachte Ärgernis. Wirbel erzeugen Luftwiderstand und erhöhen so den Spritverbrauch. Die Form eines Fahr- oder Flugzeuges sollte daher so gewählt sein, dass sie möglichst wenig Luftwirbel erzeugt. Dazu probieren die Entwickler viele Varianten in Windkanälen aus. Auch der Computer hilft beim Design. Doch bislang noch nicht ausreichend. „Denn selbst die leistungsstärksten Supercomputer Deutschlands können Turbulenzen nur ungenau simulieren“, erklärt Oberlack. Der Grund: Je weniger zäh ein Medium ist, desto winziger sind die kleinsten Wirbel. Wer das Geschehen mit einem Computer simulieren

will, muss aber Wirbel aller Größen berücksichtigen.

Zwar interessieren sich Ingenieure nicht für jedes einzelne Wirbelchen der Luftströmung, sondern nur für statistische Größen, wie die mittlere Geschwindigkeit der Luft in verschiedenen Abständen von der Oberfläche, da sich aus diesem Profil der Luftwiderstand berechnen lässt. „Es kommt auf kleinste Unterschiede im Geschwindigkeitsprofil an“, sagt Oberlack. Die subtilen Unterschiede in den statistischen Werten lassen sich aber nur aus einer vollständigen Simulation des chaotischen Geschehens ableiten, ähnlich wie es viele Einzelmeinungen braucht, um ein Umfrageergebnis präzise und verlässlich zu gestalten. Die Voraussetzung dafür sind Computer mit gigantischen Datenspeichern und unvorstellbarem Rechentempo. Zwar werden Supercomputer immer schneller und ihre Speicher immer größer. „Dennoch wird es noch 50 Jahre dauern, bis sie Turbulenzen mit einer Präzision berechnen können, die teure Experimente in Windkanälen überflüssig machen wird“, sagt Oberlack.

Um die Rechenzeit zu verkürzen, vereinfachen die Entwickler ihre Rechenmodelle mit Hilfe von empirischen Annahmen, die sich auf Experimente stützen. Doch das macht die Simulationen ungenau. „Für Airlines sind aber kleinste Unterschiede im Kerosinverbrauch entscheidend“, betont Oberlack. Zwischen diesem Bedarf an exakten Ergebnissen und der Präzision der vereinfachten Simulationen klafft eine große Lücke. Besonders traurig scheint Oberlack darüber aber nicht zu sein. Denn die Lücke definiert sein Spielfeld. Er und sein 20-köpfiges Team sind weltweit die einzigen, die es mit einer neuen Methode beackern. Und sie haben Lösungen anzubieten.

Wie kam es dazu? Seit den 1990er Jahren, damals an der renommierten Stanford University in den USA, hat sich Oberlack intensiv mit Physik beschäftigt. Eine Tafel in seinem Büro ist vollgekrizelt mit Formeln, sogenannten Differentialgleichungen.

Diesem Sujet sind auch die meisten Bücher in seinem Büro gewidmet. Sie beschreiben die Turbulenzen mathematisch und ihre Lösung ist schwere Kost.

Und hier kommt Einstein ins Spiel. „Er erkannte, wie wichtig Symmetrien in der Physik sind“, sagt Oberlack. Eine Symmetrie liegt vor, wenn Drehungen, Verschiebungen oder andere Operationen nichts an der physikalischen Beschreibung des Systems ändern: Ein Karussell zum Beispiel sieht von allen Seiten gleich aus, in einer Fichtenmonokultur kann man nicht leicht unterscheiden, ob man am Ort X oder 100 Meter östlich davon ist.

Symmetrien vereinfachen die Lösung komplexer Gleichungen stark. Oberlacks Team nutzt sie, um die Gleichungen für die Beschreibung von Turbulenzen so zu vereinfachen, dass sich statistische Werte leichter und präziser ableiten lassen. So kommt das Team zu genaueren Berechnungen von mittleren Geschwindigkeiten.

Schön und gut. Aber sind Turbulenzen nicht gleichbedeutend mit Chaos, sprich der Abwesenheit von Symmetrie? Oberlack überlegt lange, und antwortet dann bedächtig. Es handele sich um eine versteckte Art von Symmetrie. Ein Vergleich illustriert dies: Frisch in den Kaffee geschüttete Milch bildet ein zufälliges, chaotisches Muster. Macht man jedoch Fotos von vielen solchen Mustern und legt sie übereinander, so ergibt sich ein gleichmäßiges Milchkaffee-Braun. Durch eine statistische Betrachtung wird aus Chaos Symmetrie.

Bei Luftströmungen gibt es einen ähnlichen Effekt: Die Geschwindigkeit der Luft knapp über der Oberfläche eines Körpers, etwa eines Flugzeugrumpfes, schwankt. Doch immer mal wieder hört diese Schwankung für kurze Zeit auf. Diese Pausen im Chaos – Intermittenzen genannt – treten scheinbar willkürlich auf. Wertet man ihr Erscheinen jedoch statistisch aus, stellt man Regelmäßigkeiten in ihrer Häufigkeit und Dauer fest. In der Statistik verteilen sich die Werte oft gleichmäßig um einen Mittelwert herum, wie etwa bei der Körpergröße. So symmetrisch ist die Verteilung der Intermittenzen zwar nicht. Aber es gibt komplexere Symmetrien. „Diese lassen sich nutzen, um statistische Größen wie

Martin Oberlack,
Professor für
Strömungsdynamik.



Abbildung: Katrin Binner

den Luftwiderstand zu bestimmen, ohne alle Details der turbulenten Strömung zu kennen“, erläutert Oberlack.

Nun will Oberlacks Team seine Erkenntnisse in Simulationsmodelle integrieren, um die Rechnungen präziser zu machen. Basierend auf Vorarbeiten von Dr. Marta Waclawczyk, einer ehemaligen Mitarbeiterin Oberlacks, die nun an der Universität Warschau forscht, arbeitet der Doktorand Andreas Zieleniewicz daran. Die Hoffnung, dass bald optimale Designs für Autokarosserien oder Flugzeugrümpfe aus dem Rechner purzeln, dämpft Oberlack allerdings. „Bis jetzt funktioniert unsere Methode nur mit einfachen Systemen“, sagt Oberlack. Dazu gehören Kanal- oder Rohrströmungen.

Der Maschinenbauer mit dem Faible für Physik betont, dass es sich um Grundlagenforschung handelt. Aber das Wissenschaftlerteam erforscht weitere Symmetrien im scheinbaren Chaos, die ihre Methode mächtiger und somit für komplexe Industrieanwendungen interessant machen könnten. Solche Symmetrien seien vorhanden, aber wegen ihrer Komplexität noch unverstanden, sagt Oberlack. „Wir haben die begründete Hoffnung, dass wir sie noch verstehen werden.“ Die unbeugsame Neugier der Darmstädter Forscher könnte dann bald in Flugzeugen stecken.

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

Megaherausforderung Turbulenz

Turbulenzen sind ein wildes Geschehen, das sich mit Computern nur schwer simulieren lässt. Grund dafür ist, dass es Wirbel verschiedenster Größen gibt, die alle berücksichtigt werden müssen. Die Komplexität steigt mit abnehmender Zähflüssigkeit des Mediums. Beim Rühren von Honig entstehen keine so winzigen Wirbelchen wie in Luft, wenn sie ein Auto oder Flugzeug durchschneidet. Um des Chaos' trotzdem Herr zu werden, suchen Forscher um Professor Martin Oberlack vom Fachgebiet Strömungsdynamik der TU Darmstadt Ordnung darin. Und sie werden fündig.

Publikation

Martin Oberlack, Marta Waclawczyk, Andreas Rosteck, Victor Avsarkisov: Symmetries and their importance for statistical turbulence theory; <http://doi.org/10.1299/mer.15-00157>

Informationen

Fachgebiet Strömungsdynamik
Professor Martin Oberlack
Telefon: 06151/16-26200
E-Mail: office@fdy.tu-darmstadt.de
www.fdy.tu-darmstadt.de