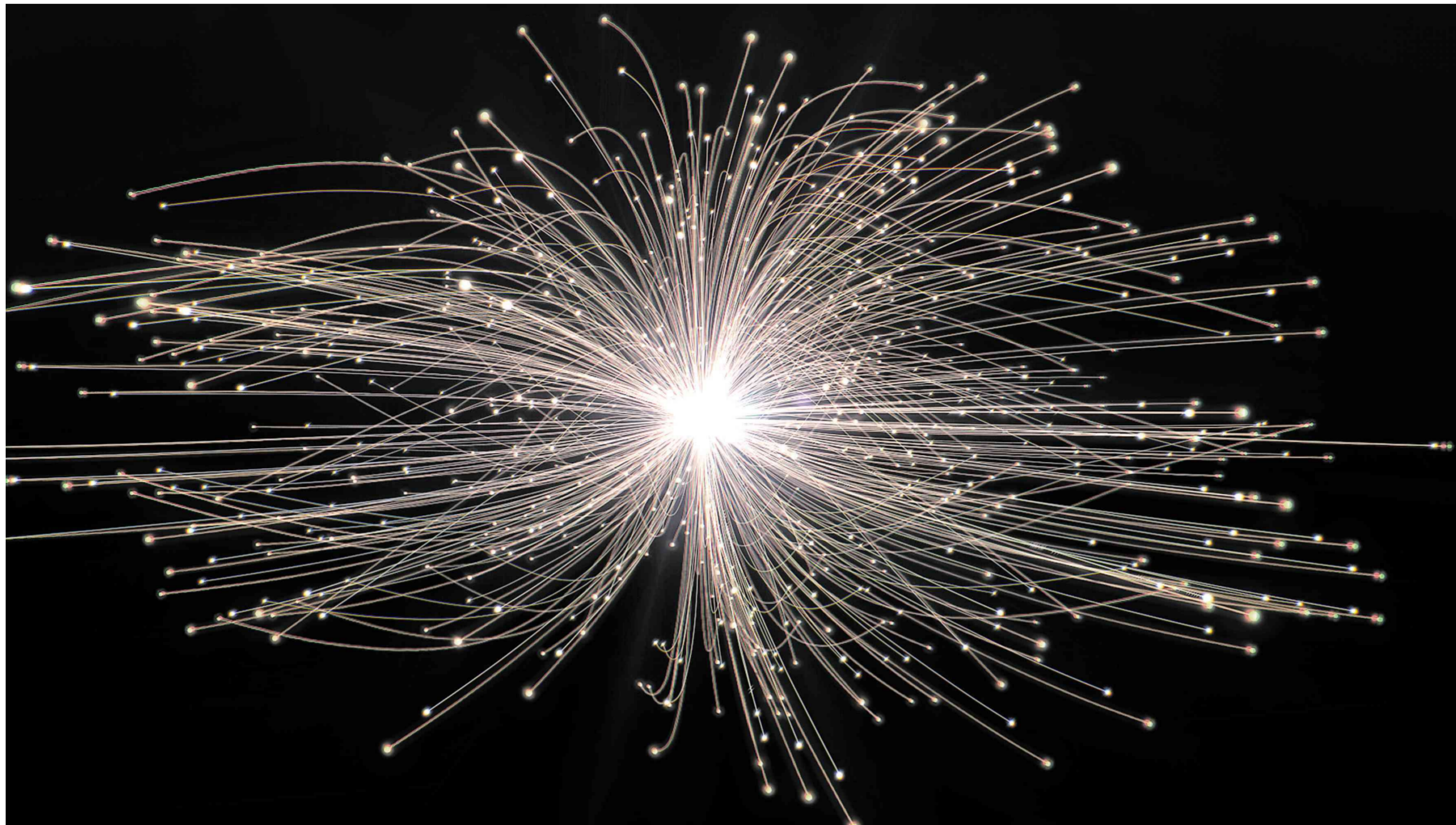


## So prüfet!

Was ein unabhängiger Fachmann ist, wer also als Experte vertrauenswürdig ist, sofern es um die Bewertung von Grenzwerten für die Luftreinhaltung geht, und wo Expertise zu suchen ist, wenn die Gesundheit auch der Schwächsten und Unbeteiligten am Straßenverkehr sicherzustellen ist, darüber versucht die Bundesregierung jetzt Klarheit herzustellen. Es wird höchste Zeit. Erst dann ist überhaupt an eine neutrale Überprüfung der Grenzwerte für Luftschadstoffe zu denken, die jetzt von vielen Seiten gefordert wird. Eine Überprüfung, gegen die im Übrigen niemand etwas einzuwenden haben sollte. Denn nur sie kann wiederherstellen, was nach der gezielten Bagatellisierung von Schadstoffen durch die gut hundert deutschen Lungenärzte und das damit heraufbeschworene Kompetenzgerangel in Trümmern liegt. Die Wissenschaft genoss unbestritten einen Vertrauensvorsprung, der aber heute alles andere als selbstverständlich ist. Die Polarisierer und Aufschneider haben inzwischen leichtes Spiel, Desinformation und Meinungen verbreiten sich schneller als Gewissheiten, Verschwörungsideen und Gerüchte sind zum Spielzeug der sozialen Medien geworden. Zuständigkeiten lösen sich auf oder werden öffentlich radikal in Frage gestellt. Nun soll also die Nationalakademie Leopoldina erst einmal als Schiedsrichter für die Überprüfung der Schadstoffgrenzwerte zuständig sein, nicht unbedingt fachlich, aber die Bundesregierung will mit ihr über eine neutrale Überprüfung der Schadstoffgrenzwerte reden. Als Schlüsselinstanz der Politikberatung im Land ist die Akademie unabhängig genug von ökonomischen Interessen, Lobbyisten, Parteien, Ideologien und selbsternannten Experten, die nötigen Schritte zu empfehlen. Nicht nur die Wissenschaft selbst hat ein Interesse daran, auch die verunsicherte Öffentlichkeit verdient jetzt Expertisen und Evidenzen, die mit Gerüchten aufräumen und trivialer, sachlicher Volkspädagogik („Stickoxide sind in unserem Körper harmlose Naturstoffe“) ein Ende bereiten. Das Ergebnis dieser Überprüfung ist offen. Am Ende könnte es allerdings gut sein, dass die von den Lungenärzten losgetrene Grenzwertdebatte nicht zur Aufweichung, sondern – etwa für Feinstäube – zur Verschärfung von zulässigen Luftkonzentrationen führt. Das wäre die Konsequenz vieler neuer empirischer Befunde – Befunde, die echten Fachleuten nicht entgangen sein sollten. jom



Kann es die Teilchenphysik voranbringen, Elementarteilchen auf noch höhere Energien zu beschleunigen? Künstlerische Darstellung eines Kollisionsereignisses im geplanten Future Circular Collider.

Foto Cern

Am Cern, der europäischen Organisation für Kernforschung, wurde kürzlich ein neues Projekt vorgeschlagen: der Bau eines neuen Teilchenbeschleunigers namens Future Circular Collider (FCC), der die am Large Hadron Collider (LHC) geleistete Arbeit fortsetzen und erweitern soll. Am LHC werden gegenwärtig mehrere große internationale Experimente durchgeführt, darunter Atlas und CMS, die in den vergangenen Jahren die Ergebnisse von Protonenkollisionen erforscht haben, zunächst bei Energien bis 8 und in der zweiten Phase bis 13 Tera-Elektronenvolt (TeV).

Der neue FCC soll die Energie der Kollisionen auf 100 TeV erhöhen. Mit solch einem stärkeren Teilchenbeschleuniger wird man Energiebereiche erforschen können, die außerhalb der Möglichkeiten des LHC liegen. Außerdem soll damit ein breiteres Spektrum an Kollisionen untersucht werden – nicht nur zwischen Protonen (wie mit dem LHC) oder zwischen Elektronen und Positronen (wie mit dem alten Large Elektron-Positron Collider – LEP), sondern auch solche zwischen Protonen und Elektronen. Der FCC ist ein internationales Gemeinschaftsprojekt von 150 Universitäten und Partnern aus der Industrie.

In einer Zeit, da der Klimawandel gefährliche Dringlichkeit erlangt und unsere Gesellschaft sich mit zahlreichen weiteren Herausforderungen konfrontiert sieht, mag die Idee des Baus eines noch größeren Teilchenbeschleunigers am Cern bestenfalls als Schönwetterdenken, schlimmstenfalls aber als nutzlos erscheinen. Dass man Geld für die vom FCC versprochene Suche nach einer neuen Physik jenseits des Standardmodells ausgeben sollte, gehört für die breitere Öffentlichkeit nicht gerade zu den höchsten Prioritäten. Dennoch behaupte ich, wir sollten die gewaltige internationale wissenschaftliche Anstrengung, die hinter dem FCC steckt, sehr ernst nehmen. Im Folgenden werde ich drei Gründe dafür anführen.

Der erste – und profanste – Grund betrifft den breiten langfristigen Nutzen, den die Entwicklung einer ganzen Reihe mit solch einem Projekt verbundener Technologien für die Gesellschaft abwirft. Nicht nur, dass einst das World Wide Web von dem britischen Wissenschaftler Tim Berners-Lee am Cern entwickelt wurde. Auch der allererste Scan mit einem Positronen-Emissions-Tomograph, den man heute routinemäßig unter anderem zur Krebsdiagnose einsetzt, fand 1977 am Cern statt. Noch immer ist das Cern aktiv an der Erforschung neuer Krebstherapien wie der Protonenstrahltherapie beteiligt. Doch lassen wir solche praktischen Gründe für Investitionen in Teilchenbeschleuniger einmal beiseite und wenden uns einigen eher philosophischen und methodologischen Überlegungen zu.

Ich bin Wissenschaftsphilosophin und erforsche, was Wissenschaftler tun, welche Methoden sie wählen, um spezielle Phänomene zu erforschen, wie sie dabei Modelle einsetzen, um neue Teilchen zu finden, und dergleichen. Meine Aufgabe

# Mehr als Vorhersage

Wer den LHC, den derzeit größten Teilchenbeschleuniger, für eine Enttäuschung hält, weil Erwartetes nicht gefunden wurde, besitzt ein veraltetes Bild der wissenschaftlichen Methode.

Eine philosophische Perspektive.

Von Michela Massimi

ist dabei, einen Schritt zurückzutreten und einen genaueren Blick auf allgemeinere Themen wie Evidenz, Fortschritt und Wahrheit in der Wissenschaft zu werfen. Und ich bin bestürzt, wenn ich in sozialen Medien und anderen Nachrichtenquellen wie selbst der „New York Times“ Kommentare lese, wonach wir nicht in einen neuen Teilchenbeschleuniger investieren sollten, weil die Vorhersagen hinsichtlich einer neuen Physik jenseits des Standardmodells sich als falsch erwiesen hätten und auf diesem Gebiet keine ausreichenden Fortschritte gemacht worden seien, um weitere Ausgaben zu rechtfertigen. Lassen Sie mich zwei Anmerkungen zu Vorhersage und Fortschritt in den Wissenschaften machen.

Es ist eine gute Faustregel, dass man bei Philosophen keinen Physikunterricht und bei Physikern keinen Philosophieunterricht nehmen sollte. In beiden Fällen bestünde ein hohes Risiko einer nicht wirklich gut informierten Diskussion. So sei denn den FCC-Kritikern unter den Physikern die Neuigkeit verkündet, dass die Wissenschaft nicht anhand Popper'scher Vermutungen und Widerlegungen voranschreitet – falls dies das jüngste philosophische Buch sein sollte, das ihnen in den Sinn kommt. Es ist faktisch und philosophisch unzutreffend, wenn man sagt, Vorhersagen (bezüglich versprochener neuer Teilchen, ob Kandidaten für die dunkle Materie oder andere) hätten sich als falsch erwiesen.

## Die Popper'sche Methode ist am Cern nicht zu beobachten

Es ist faktisch unzutreffend, weil dabei unberücksichtigt bleibt, wie eine äußerst komplexe wissenschaftliche Gemeinschaft wie das Cern tatsächlich arbeitet. Für mein vom Europäischen Forschungsrat (ERC) gefördertes philosophisches Projekt habe ich das Cern besucht und hatte Gelegenheit, mit theoretischen Physikern und Experimentatoren zu sprechen, die an den Atlas- und CMS-Suchen nach neu-

en Teilchen beteiligt waren. Jeder Besucher kann dort leicht erkennen – schon daran, dass der theoretischen Abteilung am Cern ein einziger Flur zugewiesen ist –, dass weder die Theoretiker noch die Experimentatoren der Ansicht sind, die Theoretiker sollten Hypothesen und Vorhersagen erstellen, die dann von den Experimentatoren mit Daten aus den Protonenkollisionen überprüft würden. Vielmehr gibt es hier eine klare Arbeitsteilung. Die Theoretiker arbeiten an den Grundlagen des Standardmodells und versuchen, für einige der drängenden Probleme und offenen Fragen des Standardmodells Lösungen zu finden. Die Experimentatoren verfolgen dagegen einen eher datenbasierten, modellunabhängigen Ansatz, bei dem sie die großen im Experiment anfallenden Datenmengen sammeln und interpretieren. Die von den Theoretikern produzierten theoretischen Modelle (einer von ihnen sagte mir, er könne „ein theoretisches Modell pro Tag“ produzieren) unterscheiden sich grundlegend von den eher phänomenologischen und datenbasierten Modellen, mit deren Hilfe die Experimentatoren die aus dem LHC kommenden Daten lesen und interpretieren. Die wirklich interessanten Gespräche finden dort statt, wo die beiden Gemeinschaften einander begegnen. Die durch Big Data gestellten Herausforderungen und das starke Wachstum der Zahl der mit dem Standardmodell rivalisierenden theoretischen Modelle haben dazu geführt, dass die Gemeinschaft der Teilchenphysiker es lange schon aufgegeben hat, einer Popper'schen Methode der Prüfung von Hypothesen durch die Falsifizierung von Vorhersagen zu folgen – falls sie dies überhaupt jemals getan hat.

In philosophischer und methodologischer Hinsicht ist es daher zutreffender, das gegenwärtige Vorgehen in der Hochenergiephysik als eine explorative, ergebnisoffene Forschung zu beschreiben. Das zeigt sich in den Untergruppen des Atlas- wie auch des CMS-Projekts, die zum Beispiel an exotischen Teilchen forschen. Ihre Suche konzentriert sich auf mögliche Signa-

turen eines fehlenden transversalen Impulses in einem bestimmten Bereich des Detektors, die auf ein neues Teilchen jenseits des Standardmodells hinweisen könnten, ohne dass es dazu starker theoretischer Vorannahmen hinsichtlich möglicher Funde bedürfte. In meiner Arbeit zeige ich, dass diese explorative Suche am LHC darauf ausgerichtet ist, den Raum dessen zu bestimmen, was in der Natur objektiv möglich ist. Wenn man die Forschung im Bereich der Hochenergiephysik als Erkundungsfahrten in den Bereich des physikalisch Möglichen begreift – statt als überfallartiges Testverfahren auf dem Friedhof der einst als real, inzwischen aber als tot geltenden Kandidaten für eine Physik jenseits des Standardmodells –, hilft uns das zugleich auch, Fortschritte auf diesem Gebiet einzuschätzen.

## Wissenschaftlicher Fortschritt heißt auch Ausschluss von Möglichkeiten

Hat man nun in der Teilchenphysik genügend Fortschritte gemacht, um weitere Ausgaben für einen neuen Teilchenbeschleuniger zu rechtfertigen? Zwar lässt sich durchaus eine gewisse Frustration bei jenen beobachten, die der Ansicht sind, es sei Aufgabe der Teilchenphysik, überprüfbare Hypothesen zu liefern und Vorhersagen zu machen, die bislang nicht eingetreten sind. Ich möchte jedoch ein anderes Bild vom Wachstum der Wissenschaft vorschlagen. Die Hochenergiephysik ist ein wunderschönes Beispiel für ein anderes Verständnis wissenschaftlichen Fortschritts, wonach Fortschritt gemessen wird, indem man Existenzmöglichkeiten ausschließt. Genauer: indem man auf einem hohen Vertrauensniveau (95 Prozent) bestimmte physikalisch vorstellbare Szenarien ausschließt und dadurch den Raum des in der Natur objektiv Möglichen absteckt. In 99,9 Prozent der Fälle schreibt die Physik in dieser Weise voran – und in den verbleibenden Fällen erhält jemand den Nobelpreis für die Entdeckung eines neuen Teilchens. Doch es ist nicht

dieser winzige Bruchteil von Forschung, der darüber entscheidet, ob in der Teilchenphysik ausreichend Fortschritte gemacht worden sind. Der Fortschritt sollte gleichermaßen auf der Basis der restlichen 99,9 Prozent der Fälle beurteilt werden, in denen Physiker Existenzmöglichkeiten ausschließen und den Raum dessen abstecken, was objektiv real sein kann. In der Wissenschaft ist das Fortschritt genug, und dies der Öffentlichkeit und staatlichen Stellen zu vermitteln, gehört auch zu den Aufgaben der Wissenschaftsphilosophen, die sich gemeinsam mit Wissenschaftlern um ein besseres öffentliches Verständnis der Wissenschaft bemühen.

Wir feiern in diesem Jahr den hundertsten Jahrestag von Eddingtons Expedition, die zwei Forschungsteams nach Sobral in Brasilien und auf die vor Westafrika gelegene Insel Principe führte, um dort bei der Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919 die von Einsteins Relativitätstheorie vorausgesagte Ablenkung des Lichts zu beobachten – ein starker Beweis für die Bedeutung internationaler wissenschaftlicher Zusammenarbeit, und dies zu einer Zeit, als ganz Europa gerade erst die blutigen Schrecken des Ersten Weltkriegs hinter sich gelassen hatte. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, dass dieser wunderbaren, erfolgreichen Vorhersage der Einsteinschen Theorie jahrhundertelange vergebliche Versuche zur Schaffung mechanischer Äthermodelle vorausgegangen waren. Einige der besten Wissenschaftler der Zeit, darunter Maxwell und Hertz, befassten sich intensiv mit den ungelösten Problemen der elektromagnetischen Theorie, indem sie immer mehr Modelle des Äthers entwickelten und Experimente entwarfen, mit denen der Widerstand des Äthers nachgewiesen werden sollte.

Diese Probleme wurden schließlich gelöst, als der junge Albert Einstein die elektromagnetische Theorie und die Newton'sche Mechanik auf eine vollkommen neue Grundlage stellte, und der Äther sich damit als verzichtbar erwies. Der Weg zu Einsteins Durchbruch führte gleichwohl auf gewundenen Pfaden durch ein halbes Jahrhundert von Bemühungen, Äthermodelle zu konstruieren und die Existenz des Äthers zu überprüfen, einschließlich des Nullxperiments von Michelson-Morley 1887. Dies ist ein weiterer historischer Hinweis darauf, dass es ein Irrtum wäre, aus der Prämisse, dass man bislang nichts gefunden hat, den Schluss zu ziehen, dass es dort nichts zu entdecken gebe. Vielleicht bedarf es zur Lösung der drängenden offenen Probleme innerhalb des Standardmodells einer ähnlichen Revolution wie derjenigen hinter der Relativitätstheorie, indem die theoretischen Grundlagen einer neuen Physik überdacht werden. Dennoch sind es die fortwährenden und unermüdlichen Bemühungen von Experimentalphysikern an Orten wie dem Cern, die uns in die Lage versetzen werden, diese Frage besser zu beantworten.

Michela Massimi ist Professorin für Wissenschaftsphilosophie an der Universität Edinburgh. In ihrem ERC-Projekt „Perspectival Realism“ befasst sie sich insbesondere mit wissenschaftlicher Modellbildung innerhalb der gegenwärtigen Physik.

Übersetzt aus dem Englischen von Michael Bischoff.



## Eine unheimliche Stille über der Landschaft

Ein Gespräch mit dem Chef-Ornithologen des Max-Planck-Instituts am Bodensee über die dramatischen Einbußen bei den Feldvogel-Populationen. [Seite N2](#)

## „Nature“ unter kritischer Beobachtung

Hat die Zeitschrift bei einem Artikel von David Reich, dem Pionier der genetischen Uraltertumsforschung, ihre Standards missachtet? [Seite N3](#)

## Trotzdem danke!

Was wir aus der Expansion der Danksagungen in akademischen Arbeiten über den Wissenschaftsbetrieb lernen können. [Seite N4](#)