

Matilde Marcolli



FOTOS: FELIX BRANDL / MPI FÜR MATHEMATIK

Wer das historische Gebäude in der Bonner Altstadt betritt, taucht ein in die Welt der Zahlen und Dimensionen. Hier, am **MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR MATHEMATIK**, forscht **MATILDE MARCOLLI**. Das Arbeitsfeld der Italienerin sind neuartige Geometrien mit seltsamen Eigenschaften. Vielleicht lässt sich damit die Natur besser beschreiben als mit dem klassischen Bild von Raum und Zeit aus festen rechtwinkligen Säulen.

In ihren schwarzen Trekkinghosen und dem weiten schwarzen Sweatshirt mit buntem Aufdruck sieht Matilde Marcolli eher wie eine sportliche Studentin aus als wie eine Professorin. Eine junge Frau, die gern wandern geht, Bücher verschlingt und mit Freunden über Politik diskutiert. „Eigentlich fühle ich mich auch wie eine Studentin“, sagt die 35-Jährige, „ich versuche ständig, neue Zusammenhänge zu verstehen“. Matilde Marcolli bewegt sich auf dem schwierigen Grat, der mathematische Grundlagenforschung heute mit theoretischer Physik verbindet, und sucht nach neuen mathematischen Werkzeugen für beide Gebiete.

Ihre Arbeiten haben ihr schon viel Anerkennung eingetragen. Im Jahr 2001 erhielt sie den Sofja Kovalevskaya-Preis der Alexander von Humboldt-Stiftung – 1,24 Millionen Mark für ihre Forschung der nächsten drei Jahre. Ebenfalls 2001 verlieh die Deutsche Forschungsgemeinschaft ihr den Heinz Maier Leibnitz-Preis (30 000 Mark). Erst kurz davor hatte die Max-Planck-Gesellschaft sie auf eine Professur am Institut für Mathematik berufen, in dem Don Zagier und andere bekannte Mathematiker an Grundfragen der Mathematik arbeiten. Und davor hatte sie schon drei fruchtbare Jahre an einer der renommiertesten Denkstätten Amerikas verbracht, am Massachusetts Institute for Technology in Boston.

Das Bonner Max-Planck-Institut für Mathematik befindet sich in einem Eckhaus in der Nähe des Münsterplatzes, fünf Minuten Fußweg vom Hauptbahnhof entfernt, mitten in der Altstadt. Nur ein diskretes Schild an dem historischen Gemäuer verweist auf die Existenz der Forscher, die Passanten kennen das Institut nicht. Es liegt mitten im Trubel – und dennoch abgeschieden in einer eigenen Welt. Matilde Marcolli schätzt die Freiheit, die sie als Max-Planck-Professorin genießt.

DIE KÜRZESTE VERBINDUNG IST – KEINE GERADE

Marcolli's Arbeitsgebiet ist eine sehr abstrakte und neue Form der Geometrie: Sie arbeitet mit Räumen, die mit unserer Erfahrungswelt nicht mehr viel zu tun haben. Für Mathematiker muss ein Raum weder drei Dimensionen haben, noch eben sein; Abstände lassen sich nicht immer mit einem starren Zollstock ausmessen. Im Zweidimensionalen, also auf einer Oberfläche, kann man das noch anschaulich zeigen: Die kürzeste Linie auf einer Kugel ist ein Kreissegment, keine gerade Linie. Neben der Kugeloberfläche gibt es noch unendlich viele andere Klassen von Flächen, zum Beispiel ein Torus (ein Reifen, eine Fläche mit einem Loch) oder Flächen mit n Löchern.

Die Kugeloberfläche ist für die Topologie von der gleichen Art wie die

Oberfläche einer henkellosen Teeschale, denn eine Kugel aus Knete ließe sich zu einer Teeschale verformen. Eine Kaffeetasse mit einem Henkel dagegen entspricht einem Torus. Und auch aus einem ebenen Rechteck lässt sich ein Torus herstellen: Man muss nur die gegenüberliegenden Kanten miteinander verkleben. Solche Bastelanleitungen sind hilfreich, um die Verwandtschaft zwischen Flächen aufzuzeigen. Bis hierhin ist alles sehr anschaulich.

Aber es gibt abstraktere Formen der Geometrie und Matilde Marcolli führt sie in ihrem schnellen Englisch, in dem nur leicht ihre italienische Herkunft durchklingt, so ein: Man zeichnet auf einem Torus eine Linie, die sich nicht schließt, sondern nach und nach die gesamte Fläche überstreicht. Dann ordnet man alle Punkte, die auf dieser Linie liegen, auf eine bestimmte Weise einem neuen Raum zu. So entsteht ein Raum aus lauter einzelnen Punkten, die nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern eine Struktur besitzen.

Manchmal wird diese Art von Raum als krümelig oder schaumig beschrieben. Diese Geometrie eignet sich viel besser, um die Struktur von Quantenobjekten zu beschreiben. In der Nähe des Urknalls oder im Zentrum eines Schwarzen Lochs lassen sich Raum, Zeit und Materie nicht voneinander trennen, sondern sind wie ein Gewebe aus Punkten, die



Viele Ideen kann man mit Formeln besser kommunizieren als in natürlicher Sprache: Matilde Marcolli bei der Arbeit.

wiederum eine innere Struktur haben. Raum und Zeit, wie wir sie aus der Alltagserfahrung und der klassischen Physik kennen, sind demnach nur bequeme Konstrukte, um über die Beziehungen zwischen Objekten und Ereignissen im Universum Buch zu führen. Diese Auffassung, die Gottfried Wilhelm Leibniz schon im 18. Jahrhundert gegenüber seinem Konkurrenten Isaac Newton vertrat, hat sich inzwischen in der Physik durchgesetzt.

OHNE QUANTENMECHANIK LÄUFT GAR NICHTS

Die Bastelanleitung für einen krümeligen Raum war allerdings nur ein Krückstock für den lahmen Laien. Allzu weit kommt man damit nicht. Um wirklich zu begreifen, was Mathematikerinnen wie Marcolli untersuchen, muss man einigermaßen über Quantenmechanik und Matrizenrechnung im Bilde sein. In herkömmlichen Geometrien werden Punkte durch einen Satz von Koordinaten beschrieben, die im Grunde Zahlen sind. Solche Geometrien sind kommutativ, denn wenn man Zahlen miteinander multipliziert, ist das Ergebnis unabhängig von der Reihenfolge. Matilde Marcolli ist Expertin auf dem Gebiet der nicht kommutativen Geometrie, in denen Punkte durch einen Satz aus Operatoren oder Matrizen beschrieben werden. Das Produkt von Matrizen oder Operatoren ist jedoch abhängig von der Reihenfolge, in der sie miteinander multipliziert werden.

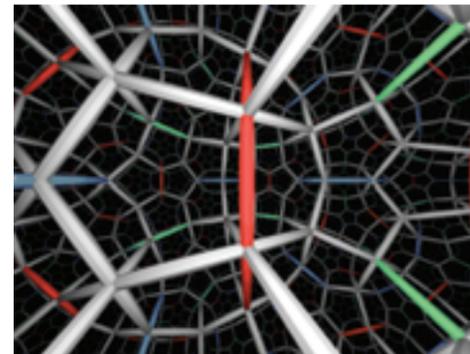
Diese nicht kommutative Geometrie wurde erst vor 20 Jahren von dem französischen Mathematiker Alain Connes beschrieben, mit dem Marcolli seit Jahren eng zusammenarbeitet. Auch in der Quantenphysik werden wichtige Größen wie Impuls und Ort nicht mehr durch Zahlen, sondern durch Matrizen beschrieben. Die nicht kommutative Geometrie erlaubt daher einen viel eleganteren Umgang mit Elementarteilchen, Quanten und Strings und eignet sich gleichzeitig, um gekrümmte Räume zu beschreiben. Vielleicht findet sich in der nicht kommutativen Geometrie sogar der Weg zum heiligen Gral der Physik, der gemeinsamen Beschreibung von Gravitation und Quantenphysik. „Allerdings muss hier noch vieles gründlicher erforscht und entwickelt werden, bevor die Quantenfeldtheorie vollständig in das Bild eingebaut werden kann, das die nicht kommutative Geometrie zur Verfügung stellt“, meint Matilde Marcolli.

Schon als Kind hatte sie sich gewünscht, hinter den Dingen die verborgenen Strukturen zu sehen. Matilde Marcolli kam 1969 in Como, einer kleinen Stadt in Norditalien, zur Welt. Ihre Eltern arbeiteten als Architekten, waren also Experten für Geometrie im klassischen Sinn. Kunst und Politik spielten eine wichtige Rolle in einer Familie, in der Matilde das einzige Kind blieb. Vor allem ihre Mutter interessierte sich sehr für wissenschaftliche Entwicklungen, sie hatte den SCIENTIFIC AMERICAN abonniert und nahm sich gern die Zeit, um die Fragen ihrer Tochter zu beantworten. Mit einem Chemiebaukasten in der Grundschule fing es an, dann kamen die Voyager-Sonden, die an den äußeren Planeten vorbeiflogen und erstaunliche Bilder und Daten zur Erde schickten. Die damals zehnjährige Matilde verfolgte die Mission äußerst fasziniert von dem, was Astronomen über die Entstehung des Sonnensystems zu sagen hatten.

Anfang der 1980er-Jahre kamen auch die ersten Personal Computer

auf den Markt, und Matilde lernte zu programmieren und untersuchte elektronische Schaltkreise, um herauszufinden, wie sie funktionieren. Dabei war sie keine Bastlerin, die mit dem Lötkolben Lichtorgeln und Alarmanlagen in ihrem Zimmer installierte, das fand sie eher langweilig. Sie wollte vor allem die Beziehungen zwischen den Teilen besser verstehen und amüsierte sich mit den mathematischen Knobeilen von Martin Gardner.

Nach dem Abitur studierte Matilde Marcolli zunächst Physik, und während sie die Laborpraktika mit maßvoller Begeisterung absolvierte, tauchte sie immer tiefer in die mathematischen Strukturen der modernsten Physik ein, der Stringtheorie, die mit einigen Erweiterungen oder Abwandlungen heute als beste Kandidatin für ein allumfassendes Weltbild gilt: schwingende Saiten in zehn teilweise aufgerollten Dimensionen als Grundsubstanz der Welt. Nach dem Studienabschluss in Mailand wech-



selte sie an die Universität von Chicago und in die Mathematik. In großen Städten hat sich die Wissenschaftlerin schon immer besonders wohl gefühlt, ihr Orientierungssinn funktioniert auch im konventionellen Raum sehr gut. Sogar in Shanghai sieht sie das Netz aus Wegen und Straßen plastisch vor sich.

Allein durch den urbanen Dschungel zu wandern findet sie entspannender als den klassischen Spaziergang im Wald. Um den Kopf frei zu machen, schaut sie sich auch gern alte Filme an, sie schätzt russische Meister wie Tarkowski, aber auch das

neue indische Kino oder iranische Regisseure. Und sie schreibt gelegentlich auch selbst Geschichten, in denen sie Ideen durchspielt und die sie manchmal ihren Freunden vorliest. Phantasie und Freude an konsistenten Gedankengebäuden sind kein Widerspruch.

WELTEN ZWISCHEN TRAUM UND WIRKLICHKEIT

„Ich träume oft sehr intensiv und farbig“, erzählt Marcolli, und manchmal erhellen diese Träume im Nachhinein etwas, das sie beschäftigt. Als sie ihre Doktorarbeit beendet hatte und als junge Postdoktorandin am MIT in Boston Tag und Nacht arbeitete, fiel ihr ein Buch von Carl Gustav Jung in die Hände: ALCHEMIE UND PSYCHOLOGIE handelte von den Träumen, die Wolfgang Pauli während seiner langen Analyse schilderte. Allerdings wurde der Name Pauli im ganzen Buch nicht genannt, und Marcolli wusste zunächst nicht, dass es sich um die Träume des berühmten Quantenphysikers handelte. Sie erkannte jedoch sofort, dass hier das Innenleben eines kreativen Wissenschaftlers beschrieben wurde.

„Ich stand zu der Zeit unter großem persönlichen Druck und musste etwas tun, aber ich war auch ungeheuer neugierig, den Geist einmal auf eine andere Weise zu verstehen“, sagt

Marcolli heute. Damals verordnete sie sich am Jung-Institut in Boston eine Therapie, eine Reise in die eigene innere Welt. Intuitionen, vage Ideen und Träume, die sich weder genau in Worten noch Bildern beschreiben lassen – so etwas sei es auch, das vielen ihrer neuen mathematischen Ideen zu Grunde liegt, sagt sie.

Mit Yuri Manin, einem der Direktoren am Max-Planck-Institut für Mathematik, entdeckte sie, dass die nicht kommutative Geometrie eine überraschende Verbindung zu einem der ältesten mathematischen Gebiete überhaupt hat, zur Zahlentheorie. „Diese Arbeit mit Manin war ungeheuer inspirierend“, erzählt Marcolli. Es war, als ob sich dadurch neue Fenster öffnen würden, mit Blick auf bislang weiße Flecken der mathematischen Landschaft. Einer Landschaft allerdings, die wie mit einem dichten Nebel bedeckt war – die Konturen konnte Marcolli nur erahnen. Gemeinsam mit Alain Connes begann sie, die zunächst vagen Vermutungen abzuklopfen, und nun schreiben sie ein Buch darüber. Natürlich habe sie auch eine Zeit lang stark an ihrer eigenen Intuition gezweifelt, sagt sie. „Es war schließlich Alain, der gesehen hat, dass ich richtig lag, die Strukturen waren wirklich da.“

Sie lacht, als sie darauf angesprochen wird, dass ihr Lebenslauf wie

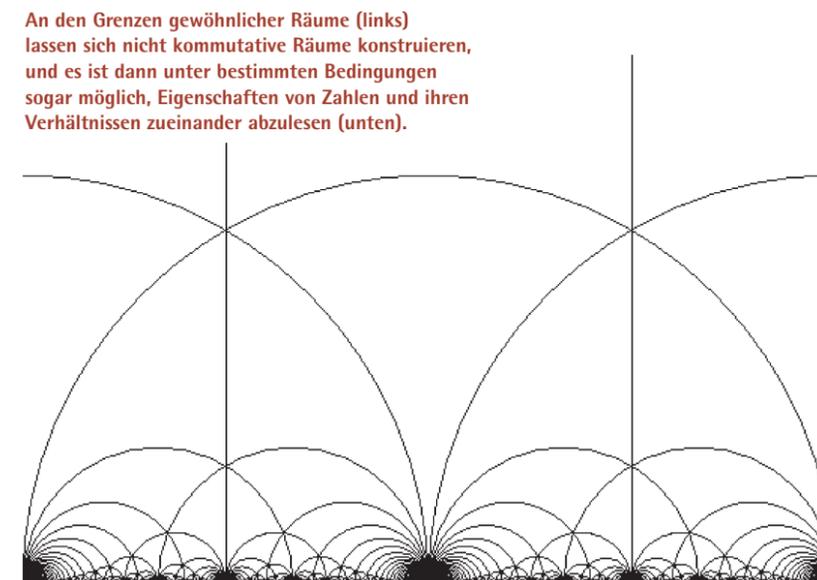


Im Gespräch mit Kollegen testet Matilde Marcolli, wie weit ihre Ideen tragen.

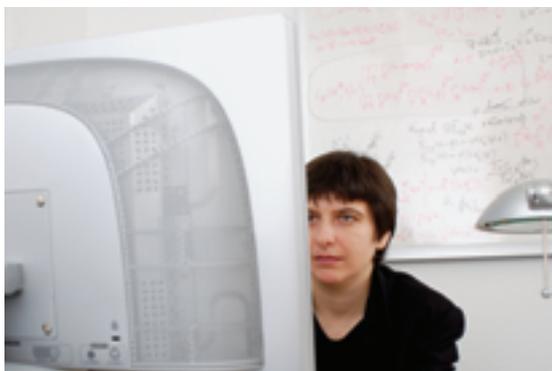
eine Kette von Erfolgen wirkt. Wahnsinnig oft gebe es Zeiten, in denen nichts gelingt, aber immer wenn sie ernsthaft über romantische Ideen nachdenke, wie Schriftstellerin zu werden, „dann fällt mir natürlich auf, dass auch die Künstler solche Zeiten durchmachen“. Mathematik ist eine Kunst, aber gleichzeitig natürlich eine strenge Wissenschaft. „Als Mathematikerin habe ich Phasen, in denen ich eher meinen Intuitionen folge, und da mache ich mir erst mal keine Sorgen. Das ist wie bei der Improvisation in der Jazzmusik. Aber dann kommt die Phase, wo ich das ausarbeiten und nachweisen muss, dass jeder Schritt funktioniert.“ Sie schätzt beide Arbeitsschritte, das freie Flottieren der Ideen, aber auch die Prüfung.

EIN PHASENÜBERGANG IM GEHIRN

Es gibt lange Durststrecken, und dann plötzlich, wie ein Phasenübergang, verändert sich etwas im Gehirn – und der Knoten ist gelöst. „Damit bin ich sehr vertraut. Ich glaube, das ist eine der schönsten Seiten an meiner Arbeit“, sagt Marcolli. Und sie arbeitet meist an mehreren Projekten gleichzeitig, wenn sie bei dem einen nicht weiterkommt, kann sie bei einem anderen Thema Fortschritte machen und so die Frustration im Rahmen halten. Kleine Überlebenstricks beim geistigen Extremsport. Blockaden lösen sich meist nur dann, wenn man die Leine eine Weile locker lässt. Aber



An den Grenzen gewöhnlicher Räume (links) lassen sich nicht kommutative Räume konstruieren, und es ist dann unter bestimmten Bedingungen sogar möglich, Eigenschaften von Zahlen und ihren Verhältnissen zueinander abzulesen (unten).



Forschen und Denken sind oft ein einsames Geschäft, neue Ideen müssen erst mal wachsen können.

locker lassen bedeutet dennoch dranbleiben, und dafür ist auch die Zusammenarbeit mit anderen Mathematikern so wichtig, der Austausch mit Gehirnen auf gleichem Wissensstand, die gemeinsam neues Terrain erkunden.

Natürlich betreut die Forscherin auch eine Reihe von Doktoranden und Postdoktoranden. Sie verteilt jedoch kaum Detailprobleme aus ihrem eigenen Feld an die Studenten. Vielmehr legt sie großen Wert darauf, dass die Studenten ihre eigenen Ideen ausprobieren, einen eigenen mathematischen Stil entwickeln. Sie arbeiten daher an verwandten Themen, und sie begleitet die Arbeiten, braucht sie aber nicht, um selbst weiterzukommen.

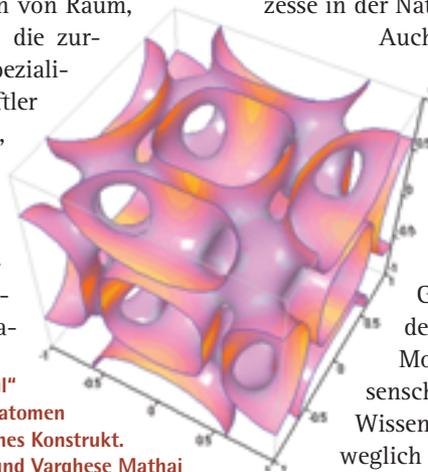
„Ich muss keine Vorlesungen vor hunderten von Studenten halten, sondern habe das Privileg, mit einzelnen, besonders interessierten Menschen zu arbeiten“, sagt Matilde Marcolli. Sie schätzt diese Freiheit sehr und hat auch nach einer Position gesucht, in der sie vor allem Zeit für ihre Forschung hat. „Leider gibt es nur sehr wenige solcher Positionen. Das ist schade. In Frankreich können junge Forscher früher als hier dauerhafte Stellen bekommen, zum Beispiel am CNRS“, sagt Marcolli. Hier in Deutschland dagegen gebe es kaum feste Stellen, und Nachwuchswissenschaftler stehen jahrelang unter extremem Druck. Der Nachteil: Sie müssen das machen, was sie am besten können, damit sie garantiert neue Veröffentlichungen vorzuwei-

sen haben. „Früher wurden die großen Probleme von ganz jungen Leuten gelöst. Heute sind es eher die älteren Wissenschaftler, die wirklich etwas Neues machen, weil nur die es sich leisten können, lange Zeit darüber zu brüten.“

Matilde Marcolli ist viel unterwegs. Aber wichtiger als große Konferenzen sind ihr Ferienschulen für Postgraduierte, in denen die Studenten wirklich von Experten lernen können. Sie organisiert selbst Schulen dieser Art, im kommenden Herbst zum Beispiel in Teheran, nächstes Jahr in China. Auch in Indien hat sie schon unterrichtet. Gerade Schwellenländer sollte man in der Bildung unterstützen, findet sie. Und weil die Studenten extrem motiviert sind, ist es auch jedes Mal ein schönes Erlebnis. Denn: Das Wissen weiterzugeben, vertieft es gleichzeitig.

Vermutlich können Schulkinder in ein paar hundert Jahren die neuen Beschreibungen von Raum, Zeit und Materie, die zurzeit nur hoch spezialisierte Wissenschaftler wirklich begreifen, gut nachvollziehen – so, wie wir heute alle differenzieren lernen, ohne notwendigerweise die ma-

Das „Fußballmolekül“ aus 60 Kohlenstoffatomen ist ein geometrisches Konstrukt. Matilde Marcolli und Varghese Mathai haben gezeigt, dass ein starkes Magnetfeld solche konventionellen Geometrien in einen nicht kommutativen Raum abwandelt.



thematische Begabung von Leibniz zu haben. Es gibt keinen Raum und keine Zeit an sich. Alles existiert nur, weil Materie es definiert. Einstein hat mit der Allgemeinen Relativitätstheorie die Abhängigkeit der Geometrie von der Materie beschrieben. Aber bis ein Konzept gefunden ist, das sowohl die unendlich großen Abstände und Massen als auch die extrem kleinen Abstände umfasst, liegt noch ein langer Weg vor uns.

In der Mathematik lässt sich die Entwicklung überhaupt nicht vorhersagen. Menschen erfinden Mathematik, meint Marcolli. Früher, als Studentin, habe sie eine Zeit lang angenommen, dass Mathematiker nur die verborgenen Strukturen einer platonischen Realität entdecken würden. Heute ist die Wissenschaftlerin davon überzeugt, dass es unendlich viele mathematische Ideen gibt, die keinen Bezug zur Natur oder Realität haben.

Wenn es außerirdische Lebewesen gäbe, dann würden sie höchstwahrscheinlich auch eine vollkommen andere Mathematik erfinden. Nur ein paar Eckpfeiler würden stehen bleiben, eine Primzahl bleibt in jedem System erkennbar. Auch wenn Mathematik nicht unbedingt durch das sorgfältige Studium der Natur entdeckt werden müsse, sondern frei erfunden werden kann, sei sie die effizienteste Form der Sprache, um Prozesse in der Natur zu beschreiben.

Auch privat können wir viele neue Formen entwickeln, meint Marcolli. Die traditionelle Familie und traditionelle Beziehungen sind in einer anderen Gesellschaft entstanden und kein gutes Modell mehr für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die beweglich sein müssen – geistig, aber vor allem auch räumlich. So führt die Max-Planck-Forscherin seit mehr als zehn Jahren eine Fernbeziehung und sieht ihren Partner, einen Mathematiker an der Florida State University, nur in Abständen. Dort hat sie zwar auch eine Gastprofessur, aber das ruhige Bonn ist ihr eigentliches Wirkungsfeld: eine Art Basisstation, von der sie zu ihren häufigen Reisen aufbricht. „Wir müssen heute vieles neu erfinden. Nicht nur Raum und Zeit, sondern auch unsere soziale Vernetzung“, sagt Matilde Marcolli.

ANTONIA RÖTGER