

## Das Universum symbolisch errechnen

SASCHA AUMÜLLER, 5. Juni 2012, 21:50

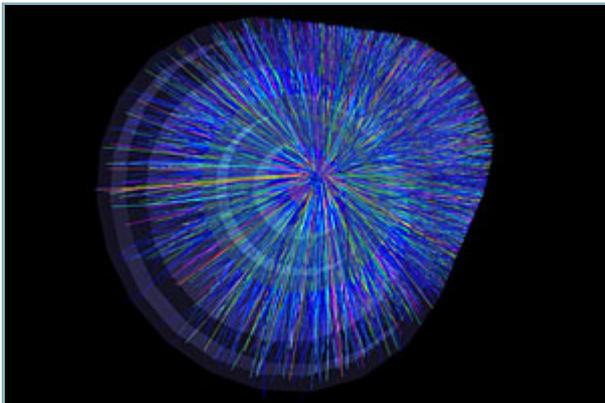


foto: cern

Bei Bleikernkollisionen, wie sie am LHC durchgeführt wurden, sollen ähnliche Bedingungen herrschen wie kurz nach dem Urknall. Um diese Experimente besser interpretieren zu können, sind neue Präzisionsberechnungen in der Quantenfeldtheorie erforderlich.

**In der theoretischen Physik sind auch kreative Mathematiker gefordert: Mit neuen Methoden der Computeralgebra versuchen Forscher immer tiefer in die Welt der Elementarteilchen einzutauchen**

Ringbeschleuniger einschalten - Elementarteilchen zum Kollidieren bringen - dem Universum bei der Entstehung zuschauen: Ganz so einfach funktionieren nicht einmal die größten und teuersten Maschinen der Welt: etwa der Large Hadron Collider (LHC) am Genfer Cern.

Teilchenbeschleuniger erzeugen zunächst bloß gigantische Datenmengen. Und diese müssen erst interpretiert werden - unter anderem gilt es auch neue Phänomene von bekannten zu unterscheiden.

Möglich ist das durch präzise Berechnungen in der Quantenfeldtheorie. Sie sind für das Verstehen der vielschichtigen Reaktionen von Elementarteilchen nötig. Sehr vereinfacht dargestellt wirken hier

schwache und starke Kräfte. Eine wesentliche Frage ist demnach jene, wie die Kopplungsstärke der starken Kraft möglichst genau bestimmt werden kann. Sie ist für die Stabilität der Atomkerne verantwortlich. Eine weitere Frage beschäftigt sich mit der exakten Zusammensetzung der Bestandteile schwerer Elementarteilchen, der Quarks und der Gluonen.

### Integrale im Großrechner

Realisieren lässt sich das Rechnen im Bereich großer Energien - wie sie am LHC auftreten - mithilfe der sogenannten Feynman-Diagramme. Diese stellen in der Teilchenphysik Vorgänge bildhaft dar und vereinfachen dadurch die Berechnung. Um aber präzise Aussagen treffen zu können, muss deren Anzahl oft auf Zehntausende anwachsen. Lösbar werden die Parameter aus den Diagrammen zudem nur, wenn sie vorübergehend in Integrale - die Feynman- Integrale - eingebettet sind. Für Aufgaben dieser Größenordnung benötigen Forscher klarerweise moderne mathematische Methoden und Großrechner.

Seit sieben Jahren erforscht das Institut für Symbolisches Rechnen (RISC) der Johannes-Kepler-Universität Linz mithilfe von Computeralgebra Strukturen und Verhalten der Elementarteilchen. In der Computeralgebra wird unter anderem mit Symbolen gerechnet - das symbolische Rechnen befasst sich wiederum mit dem exakten algorithmischen Lösen von Problemen in abstrakten mathematischen Strukturen. Ein zentrales Hilfsmittel dieser Berechnungen sind demnach Algorithmen, die bereits in einer Gruppe um Peter Paule entwickelt wurden. Paule leitet seit 2009 das 1987 von Bruno Buchberger gegründete Institut.

Die seit zehn Jahren kontinuierlich verbesserte Summationstheorie des RISC-Forschers Carsten Schneider spielt dabei eine weitere entscheidende Rolle. Er erklärt, wofür diese ursprünglich gedacht war: "Deren Methoden wurden entwickelt, um komplizierte Abzählformeln aus der Mathematik - etwa in der Kombinatorik oder in der Zahlentheorie - zu vereinfachen und zu beweisen."

### Mathematische Lösungen

Seit Herbst 2005 arbeiten nun das RISC und das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY), ein Großforschungszentrum der deutschen Helmholtz-Gemeinschaft, auf dem Gebiet der Präzisionsberechnungen von Feynman-Integralen zusammen. Grundlagenforscherinnen und -forscher beider Einrichtungen wollen vorrangig die mathematischen Probleme der Quantenfeldtheorie lösen. Dabei werden die Ausgangsformeln mit mathematisch-formalen - also nicht mit numerischen - Relationen in ihre Endform gebracht. Eine der zentralen Methoden besteht darin, von Integralen zunächst zu Mehrfachsummen überzugehen.

Diese komplizierten Objekte werden danach zu grundlegenden Basissummen wie harmonischen Zahlen und deren Verallgemeinerungen vereinfacht. Erwähnenswert ist zudem, dass sich mit der zunehmenden Komplexität physikalischer Rechnungen auch die Werkzeuge der Mathematik selbst ein wenig verändern: Neue Klassen solcher Basissummen müssen eingeführt werden.

Bei diesen Prozessen entstehen nun selbst in modernen Großrechenanlagen sehr komplexe Zwischenresultate. Rechenzeiten von Wochen und Monaten sind nötig. Der Physiker Johannes Blümlein von der DESY-Theoriegruppe gibt einen Einblick, was das in der Praxis bedeutet: "Bei diesen Berechnungen entstehen Gleichungen, die ein Buch mit etwa 500 Seiten füllen würden. Füttern wir unseren derzeit schnellsten Computer damit, braucht er etwa drei Wochen, um diese Gleichung aufzustellen - und eine weitere, um sie zu lösen." Das Endergebnis bilden dann überraschenderweise sehr einfache Ausdrücke, die nur wenige Druckseiten füllen.

### **Genauigkeit erhöhen**

Die Anwendung dieser Methoden in der Elementarteilchenforschung weckt konkrete Erwartungen: "Unser gemeinsames Ziel ist es, die Genauigkeit der starken Kopplungskonstante zu verbessern. Die Fehlerrate soll weniger als ein Prozent betragen", erklärt Blümlein. Schneider ergänzt, was das in der Umsetzung bedeutet: "Die Ergebnisse dieser Forschung werden in Form von Analyseprogrammen in der Beschleunigerphysik Anwendung finden."

Für die Mathematiker am RISC zählt aber vor allem, dass die neuen Methoden nicht singular für ein bestimmtes physikalisches Problem - oder gar einen einzelnen Teilchenbeschleuniger - entwickelt wurden. Sie lassen sich künftig vielseitig für verschiedene Probleme in der Physik und in anderen Naturwissenschaften verwenden. An all diesen komplexen Aufgaben ist übrigens an beiden Instituten auch ein ganzer Stab junger Forscher - etwa im Rahmen von Dissertationen - beteiligt. Relevant sei aber auch in diesem Bereich die kreative Atmosphäre, die an Instituten herrschen muss, damit Forscher Großes vollbringen, meint Blümlein.

### **Mehr Vorhersagen**

Wenn der Physiker eine Einschätzung über die Spezialitäten der österreichischen Forschungslandschaft wagt, ist sein Befund recht eindeutig: Die mathematischen Tools des RISC stehen auch international in der ersten Reihe.

Aus dieser Sicht merkt Blümlein noch an: "Uns geht es darum, Methoden im Bereich von Präzisionsrechnungen weitestgehend zu formalisieren. Mit diesen Verfahren sollen möglichst viele weitere theoretische Vorhersagen erreicht werden. Moderne Mathematik und Computertechnologie spielen hier eine Schlüsselrolle." (Sascha Aumüller, DER STANDARD, 6./7.6.2012)

### **Links**

- [RISC-Linz](#)
- [DESY](#)