

## Gravitationsphysik im Untergrund

Ein in China geplanter Gravitationswellendetektor soll Materiewellen nutzen.

Chinesische Physiker planen ein unterirdisches Atomwelleninterferometer, um Vorhersagen der Allgemeinen Relativitätstheorie zu testen und später auch Gravitationswellen nachzuweisen.<sup>1)</sup>

Die Zhaoshan long-baseline Atom Interferometer Gravitation Antenna (ZAIGA) soll 80 Kilometer südöstlich der Stadt Wuhan in der zentralchinesischen Provinz Hubei entstehen. Unter den dortigen Zhaoshan-Bergen wird zunächst ein 300 Meter langer Schacht gegraben. Die dafür veranschlagten Kosten von fast 80 Millionen Euro übernehmen die lokale Regierung und die Chinesische Akademie der Wissenschaften. Zunächst ist vorgesehen, mit zwei

Atom-Springbrunnen, die sich an den Enden des Schachts befinden, das Äquivalenz-Prinzip durch den freien Fall unterschiedlicher Atome zu testen. Laser beschleunigen Atomwolken in den 10 Meter hohen, evakuierten Röhren der „Brunnen“ nach oben. Dort angekommen sinken die Atome im freien Fall nach unten. Vergleichbare Anlagen befinden sich in Wuhan bereits im Laborbetrieb.

Mit Atomuhren, die sich ebenfalls an den Enden des Schachts befinden, wird es möglich sein, die Gangdifferenzen aufgrund der unterschiedlichen Schwerkraft zu messen.

1) Ming-Sheng Zhan et al., arxiv.org/abs/1903.09288 (2019)

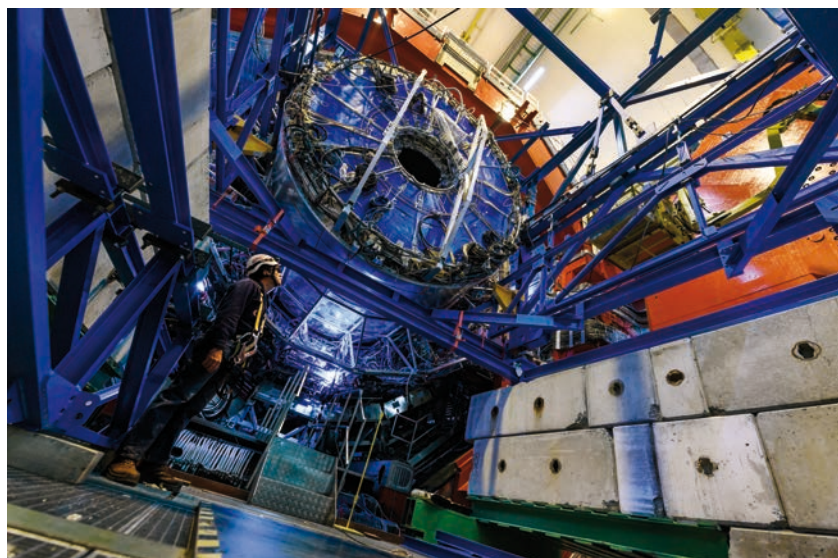
Wenn die für ZAIGA veranschlagten rund 250 Millionen Euro bewilligt sind, könnten die Arbeiten für Tunnel beginnen, die unten am Schacht beginnen und Platz für einen Gravitationswellendetektor bieten. Ziel ist es, mit Materiewellen statt Laserstrahlen Gravitationswellen im Bereich von 0,1 bis 10 Hz nachzuweisen. Das sollen zwei Atominterferometer bewerkstelligen, die drei Kilometer lang sind und die Seiten eines gleichseitigen Dreiecks bilden. Die chinesischen Physiker hoffen, damit die Gravitationswellen messen zu können, die bei der Verschmelzung mittelschwerer Schwarzer Löcher ( $10^2$  bis  $10^5$  Sonnenmassen) entstehen.

Alexander Pawlak

## Geschäftiger Stillstand

Während des Shutdowns am CERN fällt viel Arbeit an: neben dem Umbau der Beschleunigeranlagen auch die Upgrades großer Experimente.

Am CERN stellen die Hauptbeschleuniger seit Dezember keine Teilchenstrahlen mehr bereit, sondern werden während eines 24-monatigen Shutdowns gewartet und überholt.<sup>1)</sup> Nun ist mit dem Large Hadron Collider auch die letzte Stufe der komplexen Anlage warm gefahren – und die Arbeiten sind in vollem Gange, um die Strahlführung und die beschleunigenden Strukturen für die nächste Experimentierphase des LHC ab Frühjahr 2021 (Run 3) vorzubereiten.<sup>2)</sup> So erhalten alle 1236 Dipolmagnete eine zusätzliche Absicherung gegen Kurzschluss beim Quenching. Aber auch für „ungewöhnliche Aktionen“ bleibt Zeit. „Bisher gab es eine Stelle im LHC, an der wir den Strahl bewusst auslenken mussten“, sagt Forschungsdirektor Eckhard Elsen. Nun sei die Ursache klar und behoben: Ein Plastikspan, der bei Betrieb weit



Maximilien Brice / CERN

Die Time Projection Chamber des ALICE-Detektors wird ausgebaut.

in das Vakuumrohr der Strahlführung hineinragt, wurde entfernt.

Die Arbeiten am LHC stellen nur einen kleinen Teil des Vorhabens dar, die Anlage auf höhere Luminositäten ab 2026 vorzubereiten. In diesem

Shutdown gilt es, die Injektoren umzubauen, sodass höhere Strahlintensitäten möglich sind. Beispielsweise ersetzt der Linac4 die erste Beschleunigungsstufe. Dieser arbeitet mit negativen Wasserstoffionen und liefert

1) Physik Journal, Januar 2019, S. 10

2) Alle Berichte zum LS2 unter bit.ly/2Jl0tHn

mehr als die dreifache Energie als sein Vorgänger. Daher muss die Verbindung zum ersten Ringbeschleuniger komplett neu aufgebaut werden. Danach tritt der Protonenstrahl in das 60 Jahre alte erste Synchrotron des CERN ein, das Proton Synchrotron. Von seinen hundert Magneten, die den Strahl auf der Bahn halten, muss die Hälfte überholt werden. Dabei nimmt allein der Ausbau eines Magneten zehn Stunden in Anspruch. Die letzte Beschleunigungsstufe vor dem Large Hadron Collider ist das 1976 in Betrieb gegangene Super Proton Synchrotron (SPS), dessen Umbau einen Schwerpunkt des derzeitigen Shutdowns bildet.

Am SPS müssen z. B. 400 Kilometer Kabel entfernt und neu verlegt werden, um die Hochfrequenzleistung von zukünftig mehr als 3 MW zu den Beschleunigerstrukturen zu transportieren. Die Strukturen selbst sind derzeit ausgebaut und werden neu angeordnet, um höhere elektromagnetische Felder zum Beschleunigen aufbauen zu können. Als Folge der höheren Intensitäten braucht das SPS einen neuen „Beam Dump“, der den Teilchenstrahl bei Bedarf stoppt.

Während des Shutdowns erfolgt ein nahezu vollständiger Umbau aller Beschleunigungsstufen. Daher wird es fast ein Jahr dauern, nach dem Shutdown den Protonenstrahl wieder sauber durch die Anlage bis zum LHC zu bringen.

Die „East Area“, eine der ältesten Anlagen des CERN, in der unter anderem CLOUD untergebracht ist, wird zu einer modernen Experimentierhalle umgebaut. Insbesondere soll hier der jährliche Energieverbrauch für die Strahlführung um 95 Prozent auf 600 MWh reduziert werden. An den vier großen Experimenten des LHC arbeiten die Kollaborationen an Upgrades. ALICE und LHCb wollen die nächste Experimentierphase mit vollständig überholten Detektoren angehen. So soll es die neue Time Projection Chamber von ALICE erlauben, Teilchenspuren mit einer Datenrate von 50 kHz zu messen, während LHCb künftig ohne einen Hardware Trigger auskommen und Datenraten von 40 MHz detektieren wird. Bei ATLAS und CMS sind für Run 3 im

Vergleich kleinere Arbeiten geplant. „Diese beiden Kollaborationen führen Umbauten aus, um die Upgrades für die Zeit des High Luminosity LHC ab 2026 vorzubereiten“, erklärt Eckhard Elsen. In allen Kollaborationen sei das Arbeitspensum auch während des Shutdowns enorm hoch, weil die Analyse der Daten aus Run 1 und Run 2 zu bewältigen sei: „Die Präzisionsanalysen nehmen sicher noch mehrere Jahre in Anspruch.“

Zu den neuen Experimenten nach dem Shutdown zählt FASER (ForWARD Search Experiment), das jetzt eingebaut wird. Der 5 m lange zylindrische Detektor mit einem Durchmesser von 20 cm soll in 480 m Entfernung vom Kollisionspunkt des ATLAS-Experiments auf die Suche nach leichten,

schwach wechselwirkenden Teilchen gehen. Damit ergänzt der relativ kleine Aufbau das Programm zur direkten Suche nach Dunkler Materie.

Derzeit steht die Planung weiterer Shutdowns bis 2030 fest. So soll auf den Run 3 am LHC, der bis Ende 2023 dauern wird, eine Pause von 2,5 Jahren folgen, in denen der Speicherring zum High Luminosity LHC umgerüstet wird. Danach kann die zweite Phase der Experimente beginnen. Neben ATLAS und CMS betrifft dieser Umbau vor allem den LHC, sodass die Vorbeschleuniger wie das Super Proton Synchrotron eventuell eine kürzere Pause einlegen und die beteiligten Experimente früher mit Strahl versorgen könnten.

**Kerstin Sonnabend**

## Brasilien auf Sparkurs

Die neue brasilianische Regierung kürzt den Forschungsetat massiv.

Der Amtsantritt des brasilianischen Präsidenten Jair Bolsonaro von der rechtspopulistischen Sozialliberalen Partei hat im Januar in der Wissenschaft große Besorgnis ausgelöst. Im Wahlkampf hatte er sich gegen Umweltschutzmaßnahmen und Klimaforschung ausgesprochen und sympathisierte offen mit der Militärdiktatur zwischen 1964 und 1985.

Erste Amtshandlungen der Regierung waren die Integration des Umweltschutzministeriums in das von der Agrarindustrie dominierte Landwirtschaftsministerium und die Absage der in Brasilien geplanten UN-Klimakonferenz. Im Wahlkampf hatte Bolsonaro versprochen, die Ausgaben für Forschung und Entwicklung von einem auf drei Prozent des Brutto-sozialprodukts zu steigern. Anfang April sorgte jedoch das weitgehende Einfrieren des Forschungsetats für einen Aufschrei an Universitäten und Forschungsinstituten.

Dabei hat Bolsonaro mit dem Luftfahrtingenieur und bisher einzigen brasilianischen Astronauten Marcos Pontes einen respektierten Fachmann an die Spitze des Wissenschaftsministeriums berufen. Dieser muss nun mit

einem Etat arbeiten, der nach sechs Jahren massiver Kürzungen inflationbereinigt nur noch halb so groß ist wie 2013. Pontes versucht unter anderem, mit Stiftungsfonds privates Kapital zu mobilisieren. Die hierfür vorgesehenen Steuervergünstigungen hat Bolsonaro jedoch unter Verweis auf das Haushaltsdefizit von acht Prozent gestrichen. Das muss aber das brasilianische Parlament noch bestätigen.

In diesem Jahr stehen nur 42 Prozent der 2018 bewilligten Mittel für Forschung und Stipendien zur Verfügung. Wie sich die Kürzungen auf die einzelnen Forschungsagenturen und Institute verteilen, ist noch unklar, die Ausgaben für Infrastrukturprojekte sollen jedenfalls um 80 Prozent zurückgehen. Das gefährdet die Inbetriebnahme der fast fertiggestellten Synchrotron-Strahlungsquelle Sirius. Projektdirektor Antonio Roque da Silva sorgt sich um die Abwanderung der Mitarbeiter ins Ausland und meint: „Selbst mit den härtesten Kürzungen konnten wir bisher die Konstruktion am Laufen halten, aber wir hatten noch nie solche Einschnitte.“

**Matthias Delbrück**