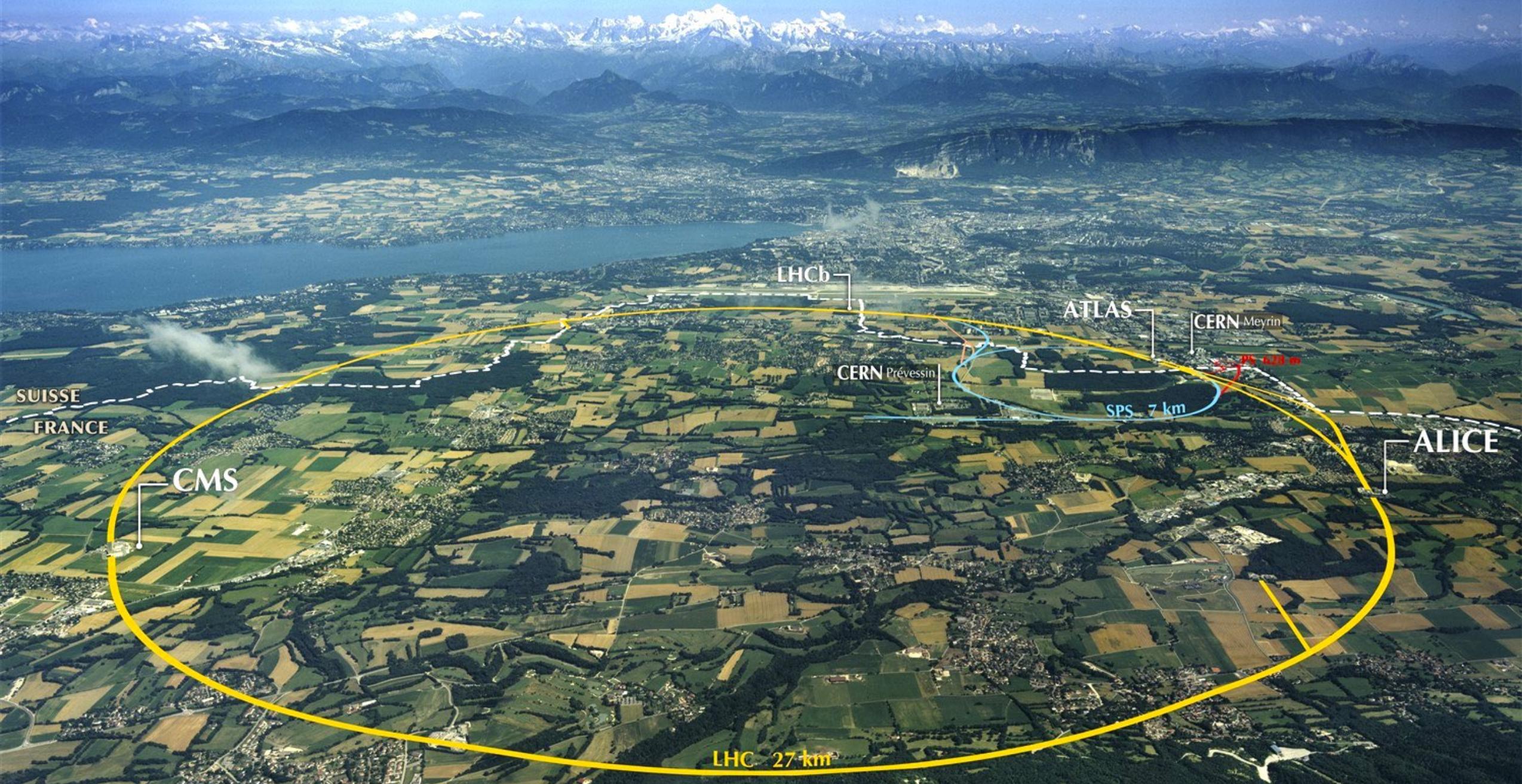
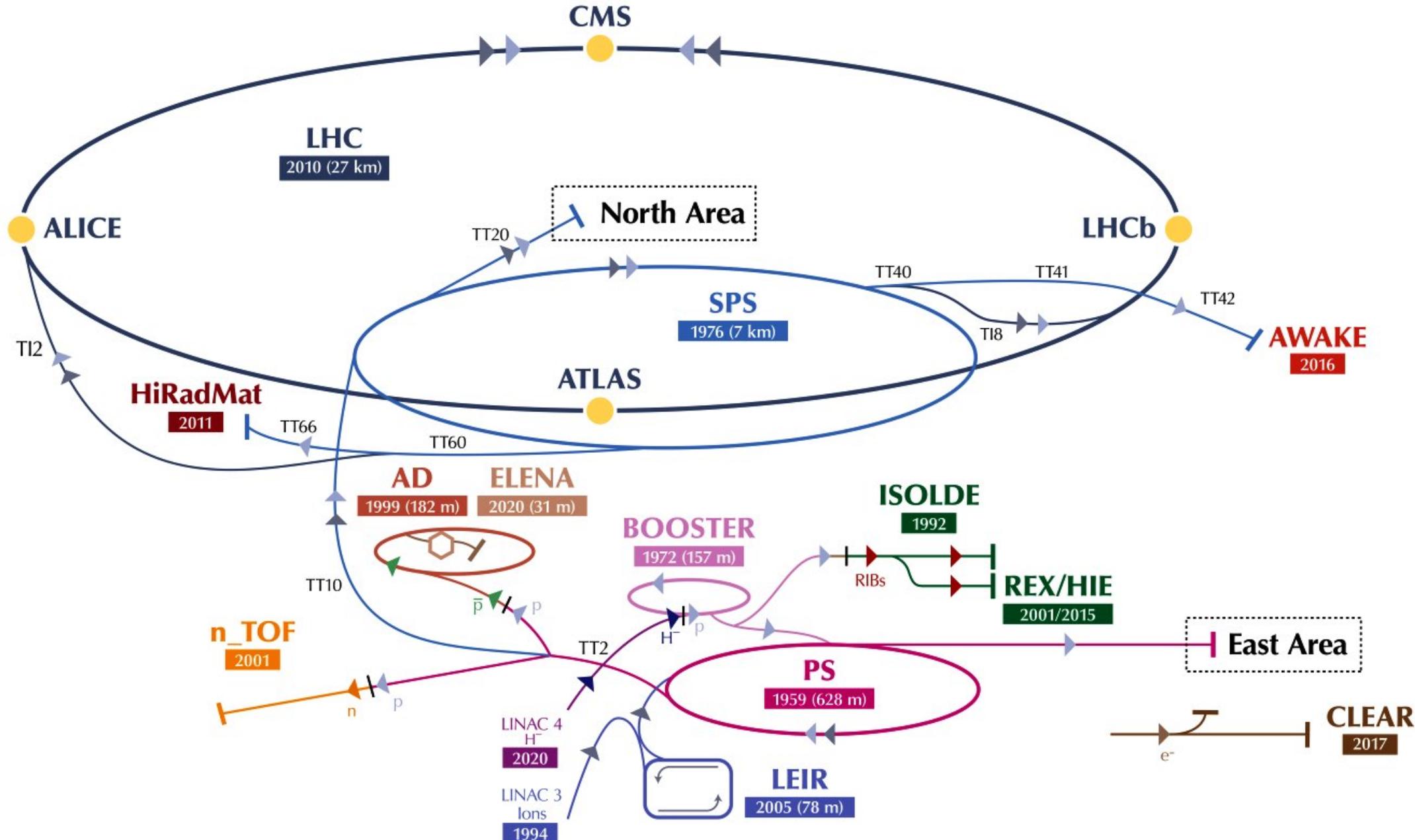


Teilchenbeschleuniger im Unterricht

Dr. Jeff Wiener

13. Juni 2022





Introducing the LHC in the classroom: an overview of education resources available

Gerfried J Wiener^{1,2}, Julia Woithe^{1,3}, Alexander Brown^{1,4} and Konrad Jende^{1,5}

¹ CERN, European Organization for Nuclear Research, Geneva, Switzerland

² Austrian Educational Competence Centre Physics, University of Vienna, Austria

³ Department of Physics/Physics Education Group, University of Kaiserslautern, Germany

⁴ Institut Universitaire pour la Formation des Enseignants, University of Geneva, Switzerland

⁵ Institute of Nuclear and Particle Physics, TU Dresden, Germany



E-mail: gerfried.wiener@cern.ch, julia.woithe@cern.ch, alexander.brown@cern.ch and konrad.jende@cern.ch

Abstract

In the context of the recent re-start of CERN's Large Hadron Collider (LHC) and the challenge presented by unidentified falling objects (UFOs), we seek to facilitate the introduction of high energy physics in the classroom. Therefore, this paper provides an overview of the LHC and its operation, highlighting existing education resources, and linking principal components of the LHC to topics in physics curricula.

Introduction

Early in 2015, CERN's Large Hadron Collider (LHC) was awoken from its first long shutdown to be re-ramped for Run 2 at unprecedented beam energy and intensity. Intense scrutiny was required to verify the full and proper functioning of all systems. This included a special run of the machine to ensure a well-scrubbed LHC [1]. However, due to the increased beam currents, a critical but familiar issue reared its head during the run. Interactions between the beams and unidentified falling objects—so called UFOs—led to several premature protective beam dumps (see figure 1). These infamous UFOs are presumed to be micrometre-sized



Original content from this work may be used under the terms of the [Creative Commons Attribution 3.0 licence](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/). Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI.

dust particles and can cause fast, localised beam losses with a duration on the order of 10 turns of the beam. This is a known issue of the LHC which has been observed before. Indeed, between 2010 and 2011, about a dozen beam dumps occurred due to UFOs and more than 10000 candidate UFO events below the dump threshold were detected [2]. Thus, UFOs presented more of an annoyance than a danger to the LHC, by reducing the operational efficiency of the machine. However, as beam currents increase, so does the likelihood of UFO-induced magnet quenches at high energy, creating a possible hazard to the machine. Therefore, particular care is taken to keep an eye on the timing and frequency of UFO occurrences. As the number of UFOs during Run 1 decreased over time, it is hoped that this will be the same in Run 2.

The recent re-start of the LHC at higher collision energies and rates presents high school

Wie passt der LHC in den Physikunterricht?

G. Wiener, J. Woithe, A. Brown u. K. Jende

1 Einleitung

Anfang 2015 erwartete der Large Hadron Collider (LHC) am CERN aus einem fast zweijährigen Shutdown, um kurz darauf mit bisher unübertroffenen Strahlenergien und -intensitäten seinen „Run 2“ zu beginnen. Mittlerweile wurden bereits jegliche Erwartungen übertroffen und alle Rekorde wie zum Beispiel die durchschnittliche Kollisionsrate oder die maximale Strahlzeit gebrochen. Und auch wenn sich der sogenannte „Di-Photon-Bump“, eine anfangs vielversprechende Anomalie bei 750 GeV, im August 2016 lediglich als statistische Fluktuation erwies, wird die Analyse der bisher gesammelten Daten aller LHC-Experimente die Physikerinnen und Physiker am CERN noch für eine sehr lange Zeit beschäftigen.

Angesichts dieser spannenden Zeit für die Hochenergiephysik kann es daher lohnend sein, den LHC als aktuelles und prominentes Beispiel der Grundlagenforschung im Unterricht zu behandeln. Ziel dieses Artikels ist es, einen kurzen Überblick über die Komponenten und die Funktionsweise des LHC zu geben und gleichzeitig auf nützliche Ressourcen sowie Anwendungen zum Curriculum zu verweisen. [1] Idealerweise finden so die verschiedenen Aspekte des LHC ihren Weg in den aktuellen Physikunterricht.

2 Wie funktioniert der LHC?

Das ultimative Ziel des LHC ist es, elektrisch geladene Teilchen im Inneren von riesigen Teilchendetektoren zur Kollision zu bringen. Dort werden die Kollisionen detektiert und ihre Analyse ermöglicht in weiterer Folge Rückschlüsse auf die subatomare Struktur der Materie, erweitert das Verständnis von Prozessen des frühen Universums und führt idealerweise zur Entdeckung von neuen, unbekanntem Teilchen.

2.1 Teilchenpakete

Die historisch gewachsene Beschleunigerkette am CERN stellt in der Regel beschleunigte Pakete von Protonen zur Verfügung. Zusätzlich werden für etwa einen Monat pro Jahr auch Blei-Ionen beschleunigt, um so entweder Pb-Pb-Kollisionen oder auch

hin und wieder Pb-p-Kollisionen studieren zu können. Mithilfe der miteinander verbundenen Teilchenbeschleuniger kann am CERN momentan eine maximale Teilchenenergie von 6,5 TeV erreicht werden. Der finale Schritt zur Design-Energie des LHC von 7 TeV soll in den kommenden Jahren erfolgen.

Typ: Bei der Diskussion des LHC lassen sich Missverständnisse vermeiden, wenn man bereits frühzeitig zwischen der Teilchenenergie, der Strahlenergie und der Kollisionsenergie unterscheidet. Die Teilchenenergie ist die Energie jedes Teilchens (zum Beispiel jedes Protons) in einem Teilchenpaket. Unter der Strahlenergie versteht man die gesamte Energie der zwei Teilchenstrahlen, also die Summe aller Teilchenenergien. Die Kollisionsenergie hingegen ist die Summe der Teilchenenergien zweier kollidierender Teilchen, zur Zeit maximal 13 TeV.

Am Beginn der Beschleunigerkette befinden sich momentan zwei spezielle „Teilchenquellen“, die separat Protonen oder Blei-Ionen liefern. Im Falle der Blei-Ionen wird Blei abgedampft, welches in den folgenden Schritten gleichzeitig beschleunigt und dabei vollständig ionisiert wird. Um

Protonen zu erhalten, bedient man sich einer simplen Gas-Flasche, in der sich molekularer Wasserstoff befindet. Dieser wird zunächst ionisiert, um dann mittels elektrischer Felder einen kontinuierlichen Protonen-Strahl durch eine Vakuumröhre in den ersten Beschleuniger, den Linearbeschleuniger LINAC2, zu schicken. Beim Durchlauf der darauffolgenden Kreisbeschleuniger Booster und Proton Synchrotron wird der Protonen-Strahl zudem durch Frequenzmodulationen in einzelne Protonen-Pakete aufgeteilt, welche dann in den letzten Vorbeschleuniger, das Super Proton Synchrotron, injiziert werden. Schlussendlich werden im LHC dann zwei in entgegengesetzte Richtungen laufende Protonen-Strahlen, die jeweils aus bis zu 2800 Paketen bestehen, beschleunigt. Jedes Protonen-Paket wird aus etwa 100 Milliarden Protonen gebildet und ist nur wenige Zentimeter lang (Abb. 1). Die Breite der Protonen-Pakete variiert je nach Kollisionsmodus und Konfiguration des LHC zwischen einigen Millimetern und wenigen Mikrometern. Um Teilchenpakete für mehrere Stunden im LHC kreisen zu lassen, ist ein Ultrahochvakuum unerlässlich. In den Strahlrohren des LHC herrscht daher ein Druck von etwa 10^{-14} mbar.

In den vergangenen Jahren wurden bereits mehrere Artikel veröffentlicht, die ver-

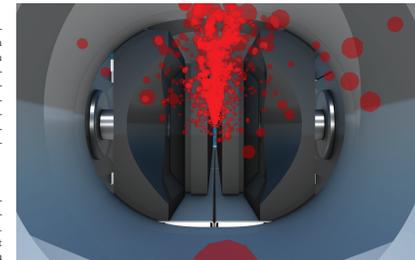
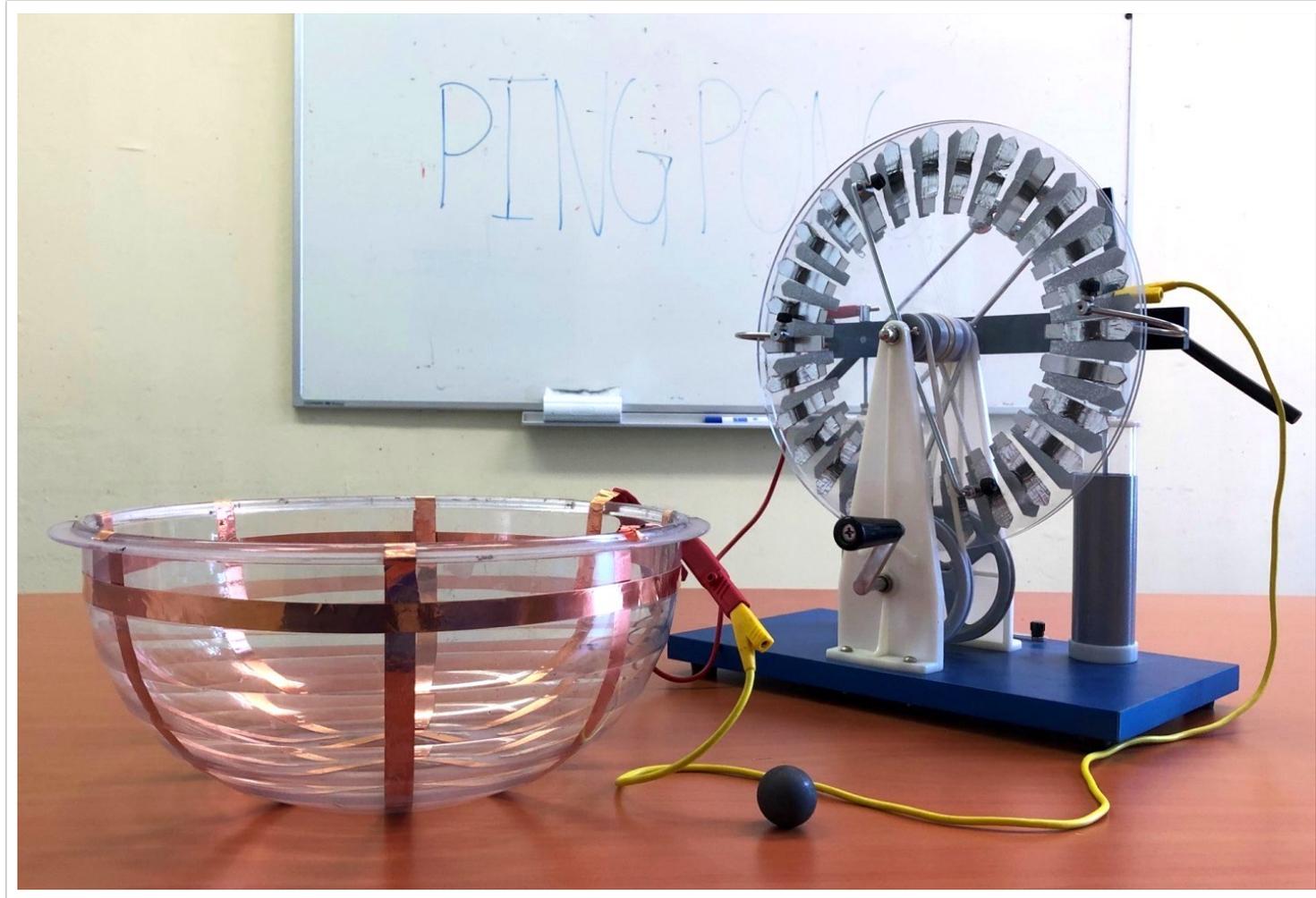
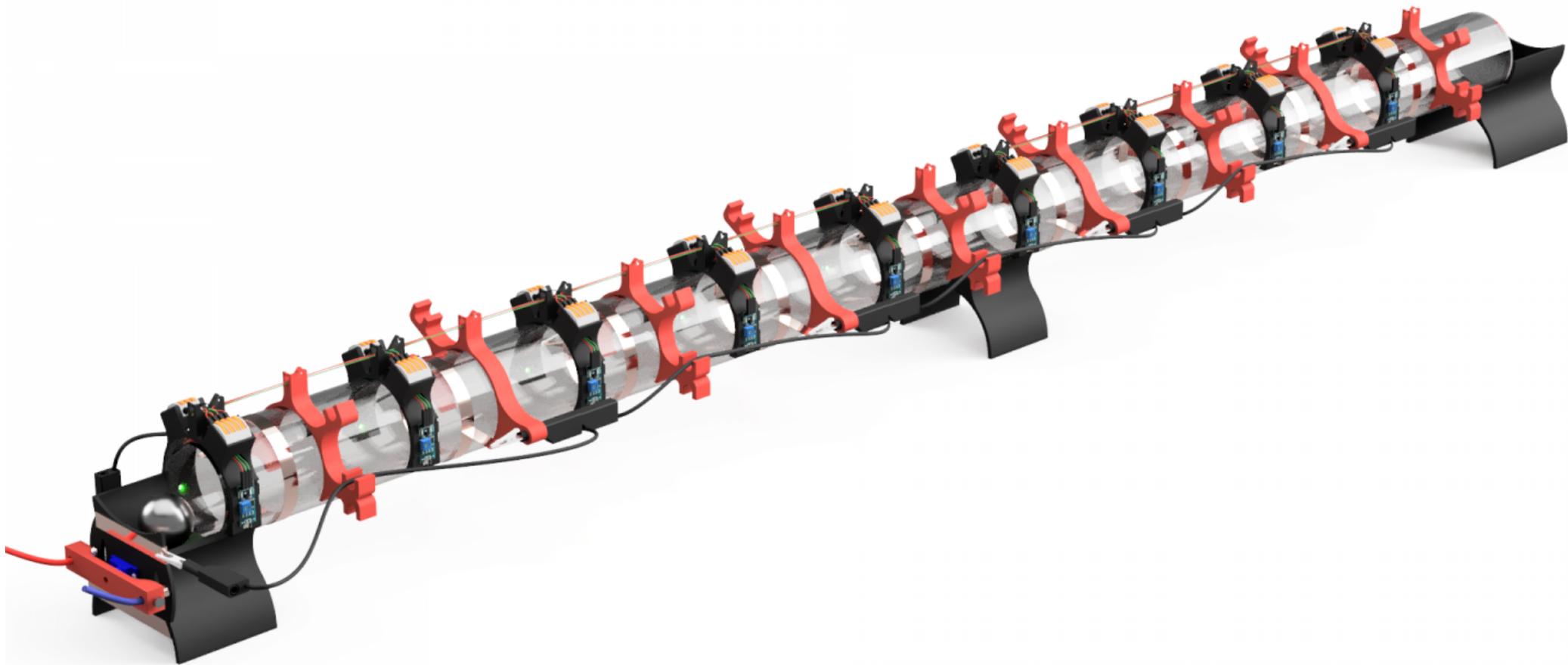


Abb. 1: Graphische Illustration eines Teilchenpaketes. © CERN





Science in School



cern.ch/PER

Merci bien!

Questions?



cern.ch/jeff.wiener