

## II.F.13

### Atom- und Kernphysik

# Physik der flitzenden Teilchen – das Zyklotron und andere Beschleuniger in Forschung und Technik

Ein Beitrag von Dr. Teresa Feldmaier



© xenotari/Stock/Getty Images Plus

Große Teilchenbeschleuniger wie der LHC am CERN faszinieren durch ihre gigantischen Ausmaße und die verheißungsvolle Forschung, die an ihnen betrieben wird. Auf der Suche nach neuen Elementarteilchen, aber auch für Materialforschung und Medizin werden schnelle Teilchen benötigt. Neben dem Zyklotron behandelt dieser Beitrag das Synchrotron sowie die Anwendung in Forschung und Technik.

---

#### KOMPETENZPROFIL

<b>Klassenstufe:</b>	11/12
<b>Dauer:</b>	4 Unterrichtsstunden (Minimalplan 2)
<b>Kompetenzen:</b>	1. Modellieren und mathematisieren; 2. Chancen und Risiken diskutieren; 3. Erkenntnisse dokumentieren und präsentieren
<b>Thematische Bereiche:</b>	Bewegung geladener Teilchen in homogenen elektrischen und magnetischen Feldern, Anwendung von Teilchenbeschleunigern in Forschung und Technik, Relativistik
<b>Medien:</b>	Grafiken, Mediathek, Taschenrechner, Simulation, Film

---

## Didaktisch-methodische Hinweise

### Fachlicher Hintergrund

Kaum ein Experiment fasziniert Laien und Physiker gleichermaßen wie der große Teilchenbeschleuniger LHC (Large Hadron Collider) am CERN in der Schweiz. Dort werden schnelle Teilchen zur Kollision gebracht, um die Entstehung der Materie zu erforschen und neue Elementarteilchen zu finden. Die Vergabe des Physiknobelpreises 2013 an François Englert und Peter W. Higgs für ihre Theorie zum Higgs-Teilchen und der Nachweis desselben am CERN haben der Teilchenforschung zu verstärkter Präsenz in der Öffentlichkeit verholfen.

Einen schülernahen Zugang zu dieser beeindruckenden Forschung ermöglicht das Thema Teilchenbeschleuniger. In ihren Grundkonzepten sind Beschleuniger für Schülerinnen und Schüler einfach zu verstehen und stellen gleichzeitig eine Anwendung ihres Wissens bezüglich der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern dar. Im Zyklotron und Synchrotron werden beide Felder genutzt, um die Teilchen zu beschleunigen und auf einer Kreisbahn zu halten. Ausgehend von diesen Grundlagen können zugehörige Phänomene wie die relativistische Massenzunahme und die Synchrotronstrahlung angesprochen werden.

### Bezug zum Lehrplan

Die Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern ist Pflichtbestandteil der Lehrpläne in der Sekundarstufe II. Das Zyklotron wird dabei in vielen Lehrplänen namentlich genannt und ist teils verpflichtendes Schlüsselexperiment.

Für den Leistungskurs bietet sich mithilfe dieses Beitrags eine Überleitung in die Relativistik und die Teilchenphysik an. Des Weiteren ist der Lerninhalt dieses Beitrags eine ideale Voraussetzung für den Besuch einer Forschungseinrichtung mit Teilchenbeschleunigern.

## Vorschläge für Ihre Unterrichtsgestaltung

### Lehrform

Der Beitrag baut auf einer ausgewogenen Mischung aus Einzel- und Gruppenarbeit auf. In Einzelarbeit können die Schülerinnen und Schüler die Grundlagen in individueller Geschwindigkeit wiederholen und auf die neue Problemstellung anwenden. Die anschließende Besprechung innerhalb der Lerngruppe ermöglicht den wertungsfreien Austausch und schult den konstruktiven Diskurs. Eine abschließende Präsentation der Ergebnisse im Plenum trainiert die Kommunikationsfähigkeiten und das mündliche Darstellen fachlicher Sachverhalte unter Verwendung der entsprechenden Fachbegriffe.

Der Einsatz digitaler Medien bietet sich für diesen Beitrag besonders an. Durch kurze Videos und Bilder kann ein Eindruck des großen technischen Aufwandes für Teilchenbeschleuniger vermittelt werden. Die großen Beschleunigerzentren wie zum Beispiel CERN oder DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) bieten dazu sehr gute Internetseiten an.

### Simulationen als Experimente

Da Teilchenbeschleuniger selbst in ihrer kleinsten Form nicht in einem Klassenzimmer verfügbar sind, wird auf Computersimulationen eines Zyklotrons zurückgegriffen. Durch das Experimentieren mit einstellbaren Parametern und Visualisierung der Teilchenbahnen werden die Zusammenhänge zwischen den Größen für die Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar.

### Aufbau der Einheit

Im Material **M 1** werden die Grundlagen zur Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern wiederholt. Schrittweise wird die Funktionsweise des Zyklotrons hergeleitet und die Teilchenbahn berechnet. Die Anwendung einer Beschleunigersimulation erlaubt die eigenständige Korrektur der Ergebnisse.

Im Material **M 2** wird das Synchrotron anhand einer Grafik erklärt. Die Schülerinnen und Schüler werden mit der relativistischen Massenzunahme konfrontiert und sollen die damit verbundenen Schwierigkeiten für das Zyklotron und das Synchrotron diskutieren.

In **M 3** werden zu drei Themen (CERN und DESY, Teilchenphysik, Synchrotronstrahlung) Leitfragen gestellt, die von den Schülerinnen und Schülern in einer Webrecherche beantwortet und im Plenum präsentiert werden.

Abschließend ermöglicht **M 4** eine Lernerfolgskontrolle durch einen Multiple-Choice-Test.

### Lernvoraussetzungen

Zur erfolgreichen Bearbeitung des Beitrags muss den Schülerinnen und Schülern bekannt sein, welche Kräfte geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern erfahren.

### Mediathek

#### Internetadressen

- ▶ [www.youtube.com/watch?v=wO6FT-s1ys](http://www.youtube.com/watch?v=wO6FT-s1ys)  
Das Video von SPIEGEL ONLINE über den Teilchenbeschleuniger LHC am CERN vermittelt anschaulich die Größe der Forschungseinrichtung und erklärt die zentrale Aufgabe der Detektoren.
- ▶ [www.desy.de/forschung/anlagen\\_projekte/lhc/index\\_ger.html](http://www.desy.de/forschung/anlagen_projekte/lhc/index_ger.html)  
Der Artikel über den LHC am CERN und die Beteiligung des deutschen Forschungszentrums DESY an den Experimenten weckt das Interesse an Teilchenbeschleunigern und thematisiert die Suche nach dem Higgs-Teilchen im Rahmen des Standardmodells.
- ▶ [www.desy.de/forschung/beschleuniger/index\\_ger.html](http://www.desy.de/forschung/beschleuniger/index_ger.html)  
Der Artikel des DESY reißt die Funktionsweise der Teilchenbeschleuniger kurz an und vermittelt einen Eindruck, wo diese in Forschung und Technik genutzt werden.
- ▶ [www.mabo-physik.de/zyklotron.html](http://www.mabo-physik.de/zyklotron.html)  
Das mit einem Klick herunterladbare und direkt ausführbare Programm erlaubt eine Vielzahl an einstellbaren Parametern. Neben der Beschleunigungsspannung, der Magnetfeldstärke und der Teilchenart lässt sich die Abweichung von der Zyklotronfrequenz einstellen. Weiter sind ein Zeit-Geschwindigkeits- und ein Zeit-Energie-Diagramm gegeben sowie die Zyklotronfrequenz, die Endgeschwindigkeit und die Beschleunigungszeit.
- ▶ [www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/ausblick/zyklotron](http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/bewegte-ladungen-feldern/ausblick/zyklotron)  
Die animierte Grafik eines Zyklotrons zeigt die Bahn eines Protons und vermittelt anschaulich, wie sich die Polung der halbkreisförmigen Elektroden (Duanten) ändert. Zeitgleich wird ein Zeit-Energie-Diagramm gezeichnet.
- ▶ <https://virtuelle-experimente.de/b-feld/anwendung/zyklotron.php>  
Die animierte Grafik eines Zyklotrons zeigt die Bahn eines Protons und vermittelt anschaulich, wie sich die Polung der Duanten ändert. Außerdem ist eine Skizze des Querschnitts gegeben.