

## DER ATLAS-DETEKTOR

### INFORMATIONSTEXT 1: Halbleiter-Spurdetektoren (Gruppe 1)

Moderne Teilchendetektoren bestehen aus mehreren Detektorkomponenten. Der ATLAS-Detektor (**A Torodial LHC ApparatuS**) am CERN beispielsweise besteht aus den innenliegenden Spurdetektoren (Halbleiter-Spurdetektoren und Übergangsstrahlungsdetektor), dem elektromagnetischen und hadronischen Kalorimetern und mehreren außenliegenden Spurdetektoren (Myonenkammern). Diese sind zwiebelschalenförmig um den Kollisionspunkt herum angeordnet.

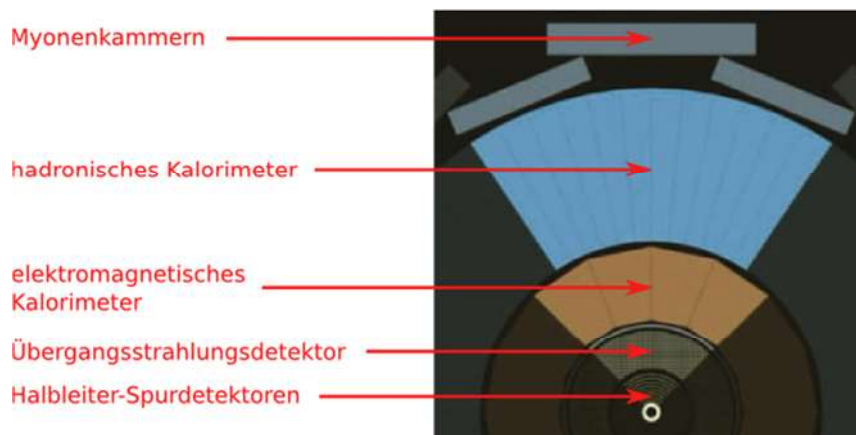


Abbildung: Aufbau des ATLAS-Detektors am LHC  
(Photomontage: Quelle: NTW-Materialien für Lehrkräfte, S. 36)

Unmittelbar um den Kollisionspunkt herum befinden sich zwei **Halbleiter-Spurdetektoren**. Ein Halbleiter-Spurdetektor besteht aus mehreren Lagen von Sensoren, die wiederum aus gitterförmig angeordneten, sogenannten Pixeln aus Silizium bestehen. Jedes Pixel funktioniert ähnlich einer in Sperrrichtung betriebenen Halbleiterdiode: Bei einer Halbleiterdiode bildet sich an der Grenzfläche zwischen der n- und p-dotierten Zone durch Rekombination der freien Elektronen und Löcher eine sogenannte Sperrschicht. Wird die Halbleiterdiode in Sperrrichtung betrieben, so vergrößert sich die Sperrschicht und durch die Halbleiterdiode fließt kein elektrischer Strom. Durchquert ein elektrisch geladenes Teilchen die Sperrschicht, so werden Atome des Halbleiters ionisiert, und es entstehen freie Elektron-Loch-Paare. Aufgrund der angelegten Spannung in Sperrrichtung bewegen sich die freien Elektronen zur n-Schicht und die positiv geladenen Löcher zur p-Schicht, und es fließt ein elektrischer Strom, den man messen kann. Durch das Registrieren eines Stromsignals (auch: elektrisches Signal) an einem Pixel, das von einem elektrisch geladenen Teilchen durchquert wurde, und aufgrund der Kenntnis der einzelnen Pixelpositionen kann die Spur des entsprechenden Teilchens rekonstruiert werden (siehe nachfolgende Abbildung).

# DER ATLAS-DETEKTOR

## ARBEITSBLATT 1: Die Detektorkomponenten

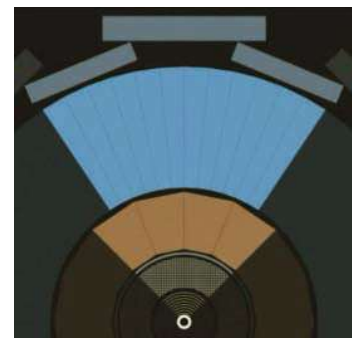
Im Teilchenbeschleuniger LHC am Forschungszentrum CERN bei Genf werden Protonen mit einer Energie von jeweils 7 TeV zur Kollision gebracht. Bei der Kollision entstehen neue Teilchen, die mithilfe von Detektoren nachgewiesen werden.

Der ATLAS-Detektor besteht aus mehreren Komponenten, die zwiebelschalenförmig um den Kollisionspunkt angeordnet sind. In diesen verhalten sich verschiedene Teilchenarten jeweils anders. So können Forscher die aus einer Kollision resultierenden Teilchen unterscheiden und darüber hinaus zur Identifikation der Teilchen mithilfe der Aufzeichnungen des Detektors das Vorzeichen der elektrischen Ladung bestimmen sowie den Impuls und die Energie der Teilchen ermitteln.

- Mit welcher Komponente des ATLAS-Detektors hast du dich beschäftigt?

---

- Zeichne in der Grafik rechts ein, wo sich diese Detektorkomponente befindet:



### 1. Welche Teilchen (sowie deren Antiteilchen) weist man mit diesem Teil des Detektors nach?

- |   |  |                                    |                                 |
|---|--|------------------------------------|---------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Elektronen                         | <input type="checkbox"/> Myonen        | <input type="checkbox"/> Neutrinos | <input type="checkbox"/> Pionen |
| <input type="checkbox"/> Protonen                           | <input type="checkbox"/> Photonen      | <input type="checkbox"/> Neutronen | <input type="checkbox"/> Kaonen |
| <input type="checkbox"/> alle elektrisch geladenen Teilchen | <input type="checkbox"/> alle Hadronen |                                    |                                 |
| <input type="checkbox"/> alle elektrisch neutralen Teilchen | <input type="checkbox"/> alle Leptonen |                                    |                                 |

### 2. Was geschieht, wenn diese Teilchen mit dem Detektor-Material in Wechselwirkung treten?

- Sie ionisieren Atome, d.h. sie setzen Elektronen frei.
- Sie erzeugen Photonen.
- Sie erzeugen Teilchenschauer aus Hadronen.
- Sie erzeugen Teilchenschauer aus Elektronen, Positronen und Photonen.

Bei diesen Prozessen entstehen Sekundärteilchen, die elektrische Signale erzeugen. Anhand dieser Signale bestimmen Forscher die Eigenschaften des Primärteilchens.

**3. Nur für Gruppen 2, 3 und 4: Wie erzeugen die Sekundärteilchen elektrische Signale?**

- Ionisation
- Szintillation

**4. Welche Teilcheneigenschaft(en) bestimmt man mit diesem Teil des Detektors?**

- Energie des Primärteilchens
- Impuls des aus einer Kollision resultierenden Teilchens
- Vorzeichen der elektrischen Ladung des aus einer Kollision resultierenden Teilchens

**5. Woraus besteht dieser Teil von ATLAS hauptsächlich?**

- Silizium
- flüssiges Argon
- Gas in Driftröhren
- Blei
- Stahl
- Szintillatoren

**6. Beschreibe kurz in eigenen Worten, was in der Detektor-Komponente geschieht:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# DER ATLAS-DETEKTOR

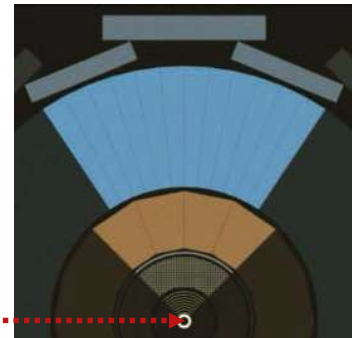
## LÖSUNG FÜR ARBEITSBLATT 1: Die Detektorkomponenten

### Gruppe 1: Halbleiter-Spurdetektoren

- Mit welcher Komponente des ATLAS-Detektors hast du dich beschäftigt?

Halbleiter-Spurdetektoren\*

- Zeichne in der Grafik rechts ein, wo sich diese Detektorkomponente befindet:



\*In dem Ausschnitt aus dem Video „ATLAS Episode II: Die Teilchen schlagen zurück“ werden zwei Detektorteile vorgestellt – der Pixel- und der Streifendetektor. Beide werden als Halbleiter-Spurdetektor(en) bezeichnet, da sich mit beiden die Spuren von elektrisch geladenen Teilchen mithilfe von Siliziumkristallen bestimmen lassen. Nur die Anordnung des Siliziums ist unterschiedlich. Daher beschreibt der Film nur eine der beiden Detektorkomponenten im Detail.

### 1. Welche Teilchen (sowie deren Antiteilchen) weist man mit diesem Teil des Detektors nach?

- |  |  |                                    |  |
|--|--|------------------------------------|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Elektronen                         | <input checked="" type="checkbox"/> Myonen | <input type="checkbox"/> Neutrinos | <input checked="" type="checkbox"/> Pionen |
| <input checked="" type="checkbox"/> Protonen                           | <input type="checkbox"/> Photonen          | <input type="checkbox"/> Neutronen | <input checked="" type="checkbox"/> Kaonen |
| <input checked="" type="checkbox"/> alle elektrisch geladenen Teilchen | <input type="checkbox"/> alle Hadronen     |                                    |  |
| <input type="checkbox"/> alle elektrisch neutralen Teilchen            | <input type="checkbox"/> alle Leptonen     |                                    |  |

### 2. Was geschieht, wenn diese Teilchen mit dem Detektor-Material in Wechselwirkung treten?

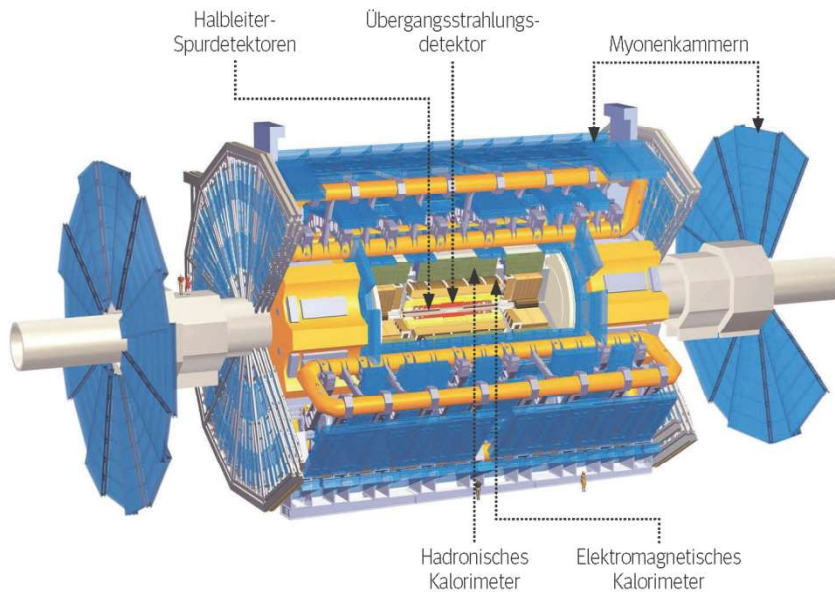
- Sie ionisieren Atome, d.h. sie setzen Elektronen frei.
- Sie erzeugen Photonen.
- Sie erzeugen Teilchenschauer aus Hadronen.
- Sie erzeugen Teilchenschauer aus Elektronen, Positronen und Photonen.

### 3. Die freigesetzten Elektronen erzeugen elektrische Signale.

### 4. Welche Teilcheneigenschaft(en) bestimmt man mit diesem Teil des Detektors?

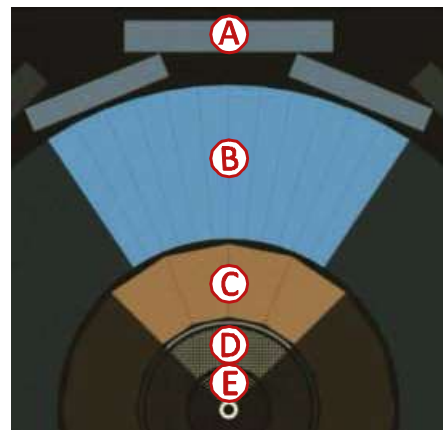
# DER ATLAS-DETEKTOR

## ARBEITSBLATT 2: Zusammenfassung



Beschrifte die einzelnen Komponenten des ATLAS-Detektors in der Querschnittsansicht.

- Ⓐ \_\_\_\_\_
- Ⓑ \_\_\_\_\_
- Ⓒ \_\_\_\_\_
- Ⓓ \_\_\_\_\_
- Ⓔ \_\_\_\_\_

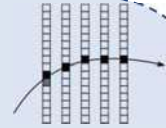


- Wieso besteht der ATLAS-Detektor aus verschiedenen Komponenten?
- Einige Komponenten des ATLAS-Detektors sind von einem Magnetfeld umgeben.
  - Um welche Komponenten handelt es sich?
  - Welche Teilchen werden mit diesen Komponenten nachgewiesen?
  - Welche Auswirkungen hat das Magnetfeld auf die in diesen Komponenten detektierten Spuren?

# DER ATLAS-DETEKTOR

## ARBEITSBLATT 3: Zusammenfassung

### 1. Halbleiter-Spurdetektoren



Nachweisbare Teilchen: \_\_\_\_\_

Bestimmbare Teilcheneigenschaften: \_\_\_\_\_

Beschreibung des Prozesses: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

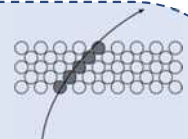
---

---

---

---

### 2. Übergangsstrahlungsdetektoren



Nachweisbare Teilchen: \_\_\_\_\_

Bestimmbare Teilcheneigenschaften: \_\_\_\_\_

Beschreibung des Prozesses: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

---

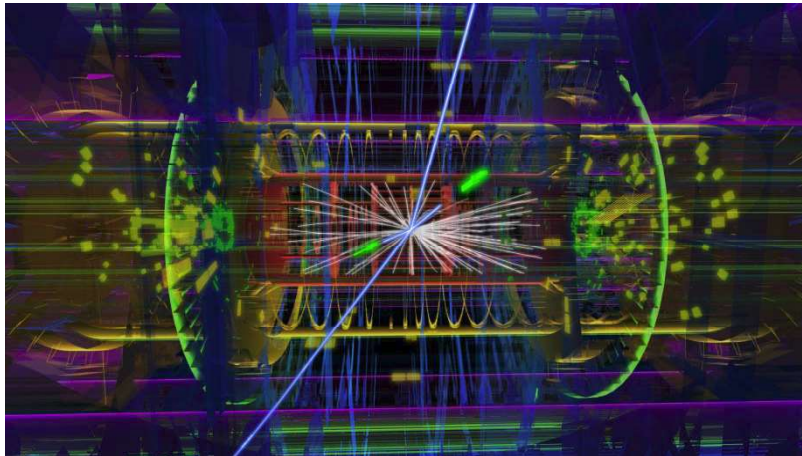
---

---

## DER ATLAS-DETEKTOR

### ARBEITSBLATT 4: Teilchenidentifikation anhand von Originaldaten

Im Teilchenbeschleuniger LHC am internationalen Forschungszentrum CERN werden Protonen auf hohe Energien von bis zu 7 TeV beschleunigt und zur Kollision gebracht.



Visualisierung einer Proton-Proton-Kollision am ATLAS-Detektor. Die weißen und blauen Linien, die vom Zentrum der Kollision radial nach außen führen, sind Spuren neuer Teilchen, die aus der Kollision resultieren.

(Quelle: [http://www.atlas.ch/photos/atlas\\_photos/selected-photos/events/TwoElectronTwoMuon.png](http://www.atlas.ch/photos/atlas_photos/selected-photos/events/TwoElectronTwoMuon.png))

Bei einer Kollision entsteht eine Vielzahl neuer Teilchen. Diese bewegen sich vom Kollisionspunkt aus radial nach außen, und die dabei entstandenen Spuren der langlebigen Teilchen, wie z.B. Elektronen, Protonen, Neutronen oder auch Myonen, werden mit einem Teilchendetektor aufgezeichnet. Kurzlebige Teilchen, wie beispielsweise  $W^{+/-}$  und  $Z^0$ -Teilchen oder das Higgs-Teilchen, können nicht direkt mithilfe eines Detektors nachgewiesen werden. Sie wandeln sich bereits um, bevor sie in den Teilchendetektor gelangen und können daher im Detektor nur indirekt anhand ihrer genügend langlebigen Umwandlungsprodukte nachgewiesen werden.

Im Folgenden wirst du auf der Grundlage von Originaldaten des ATLAS-Detektors Ereignisse analysieren, die bei Kollisionen von Protonen stattgefunden haben. Dabei wird es vor allem deine Aufgabe sein, die stattgefundenen Prozesse anhand der Umwandlungsprodukte der entstandenen  $W^{+/-}$ -Teilchen zu rekonstruieren. Dafür ist es allerdings notwendig, dass du dich zunächst mit dem Programm beschäftigst, mit dem du die Ereignisse betrachten und analysieren kannst. Zudem wirst du erfahren, wie du anhand der Spuren im ATLAS-Detektor Teilchen identifizieren kannst.

#### Das Event Display MINERVA

Die elektronischen Signale, welche die Detektoren bei einer Kollision registrieren, lassen sich in Ereignisbilder umwandeln. Dazu verwenden wir das Programm MINERVA. Bevor du mit diesem Event Display arbeiten kannst, solltest du dich mit den Darstellungen und Funktionen, die für unsere Analyse wichtig sind, vertraut machen. Betrachte dazu die gesamte Bildergalerie auf der Seite

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Übung 1: Teilchen 2**

- |                                    |  |                               |
|------------------------------------|--|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Elektron  | <input type="checkbox"/> Positron        | <input type="checkbox"/> Myon |
| <input type="checkbox"/> Anti-Myon | <input type="checkbox"/> (Anti-)Neutrino | <input type="checkbox"/> Jet  |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Übung 1: Teilchen 3**

- |                                    |  |                               |
|------------------------------------|--|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Elektron  | <input type="checkbox"/> Positron        | <input type="checkbox"/> Myon |
| <input type="checkbox"/> Anti-Myon | <input type="checkbox"/> (Anti-)Neutrino | <input type="checkbox"/> Jet  |

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---