

WIE SEHEN WIR TEILCHEN?

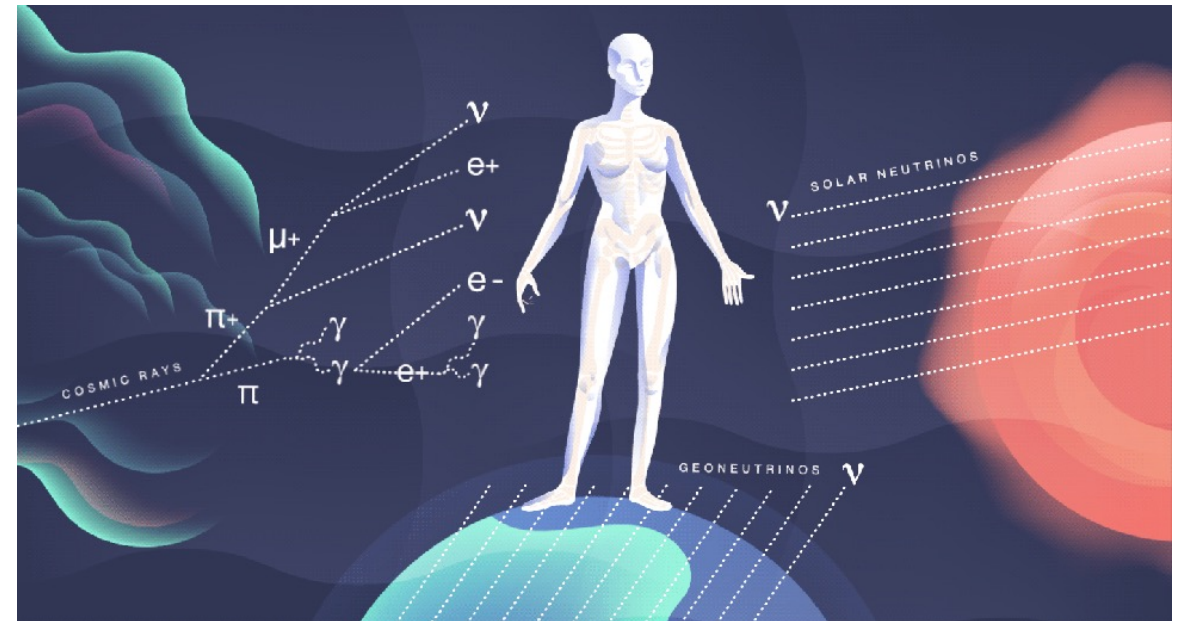
Svenja Granderath

Belle II Masterclass, 19.07.21



WO SEHEN WIR TEILCHEN?

- Wo sind Teilchen?
 - Überall!
- Aber sind meist an bestimmten Teilchen interessiert
- Und wollen diese in kontrollierter Umgebung erzeugen



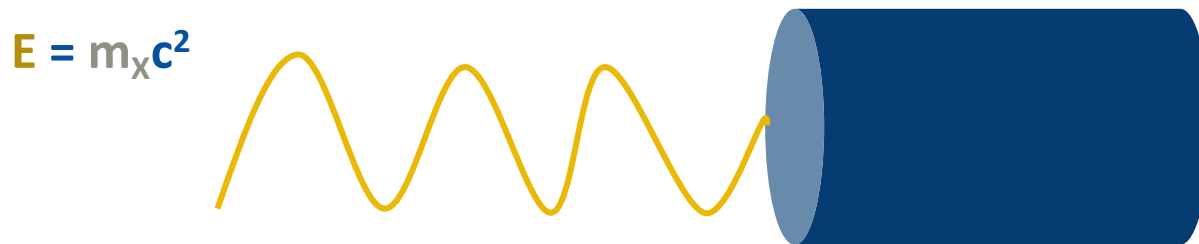
WIE ERZEUGEN WIR TEILCHEN?

- Prinzip am Beispiel Teilchen X:
 - Masse des Teilchens m_X ist bekannt
 - Wollen die Äquivalenz von Energie und Masse nutzen:
$$E = m_X c^2$$
 - Müssen eine Energie E aufbringen



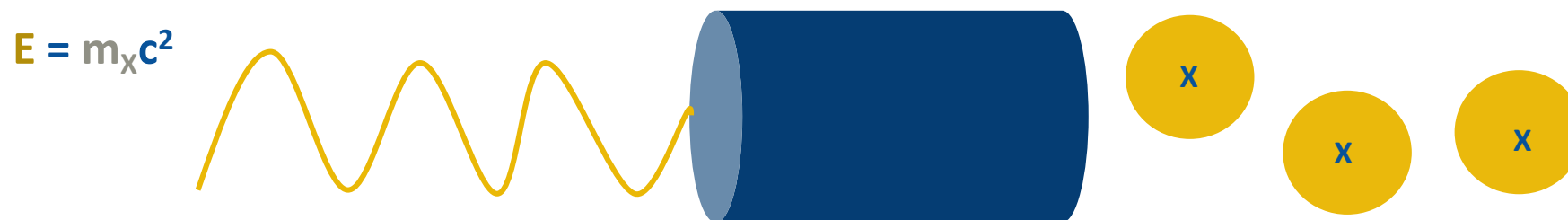
WIE ERZEUGEN WIR TEILCHEN?

- Prinzip am Beispiel Teilchen X:
 - Masse des Teilchens m_X ist bekannt
 - Wollen die Äquivalenz von Energie und Masse nutzen:
$$E = m_X c^2$$
 - Müssen eine Energie E aufbringen



WIE ERZEUGEN WIR TEILCHEN?

- Prinzip am Beispiel Teilchen X:
 - Masse des Teilchens m_X ist bekannt
 - Wollen die Äquivalenz von Energie und Masse nutzen:
$$E = m_X c^2$$
 - Müssen eine Energie E aufbringen



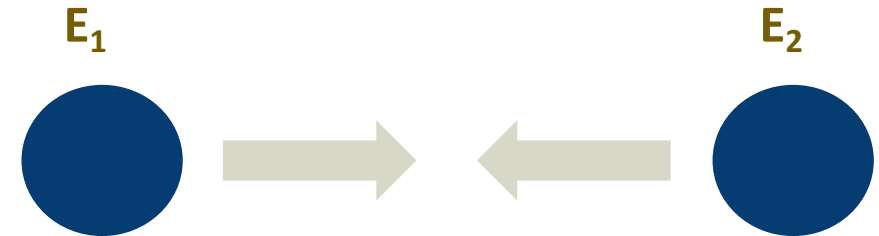
ERREICHEN DER ENERGIE E

– Idee:

– Zwei Teilchen zur Kollision bringen

– $E \approx E_1 + E_2$

– Umwandlung von Energie E in Masse



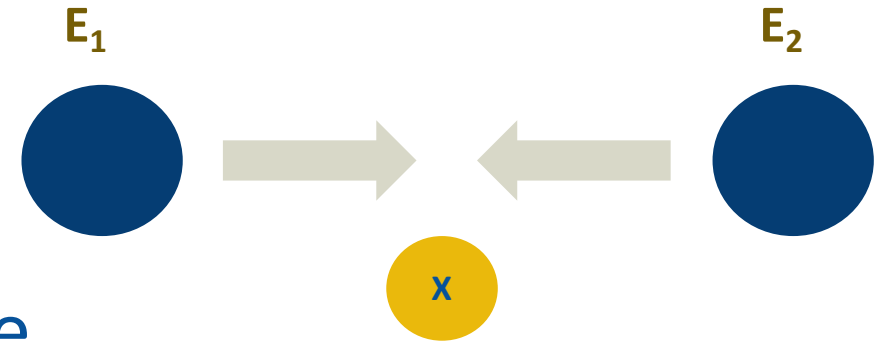
ERREICHEN DER ENERGIE E

– Idee:

– Zwei Teilchen zur Kollision bringen

– $E \approx E_1 + E_2$

– Umwandlung von Energie E in Masse



ERREICHEN DER ENERGIE E

– Idee:

– Zwei Teilchen zur Kollision bringen

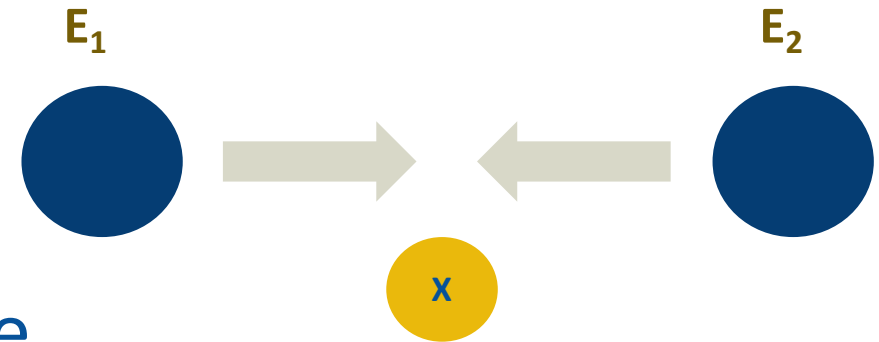
– $E \approx E_1 + E_2$

– Umwandlung von Energie E in Masse

– Müssen allerdings erst E_1 und E_2 anpassen

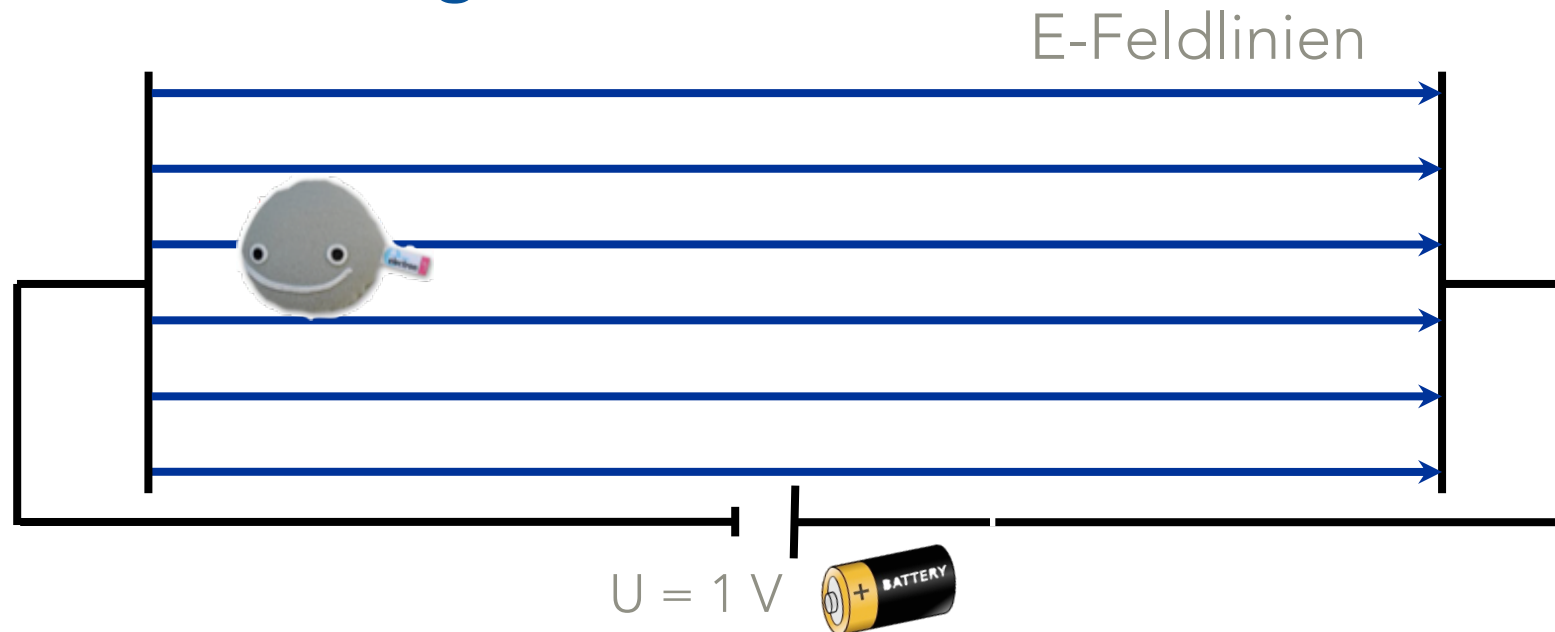
– Die Teilchen beschleunigen

– Erhalten so zusätzliche kinetische Energie



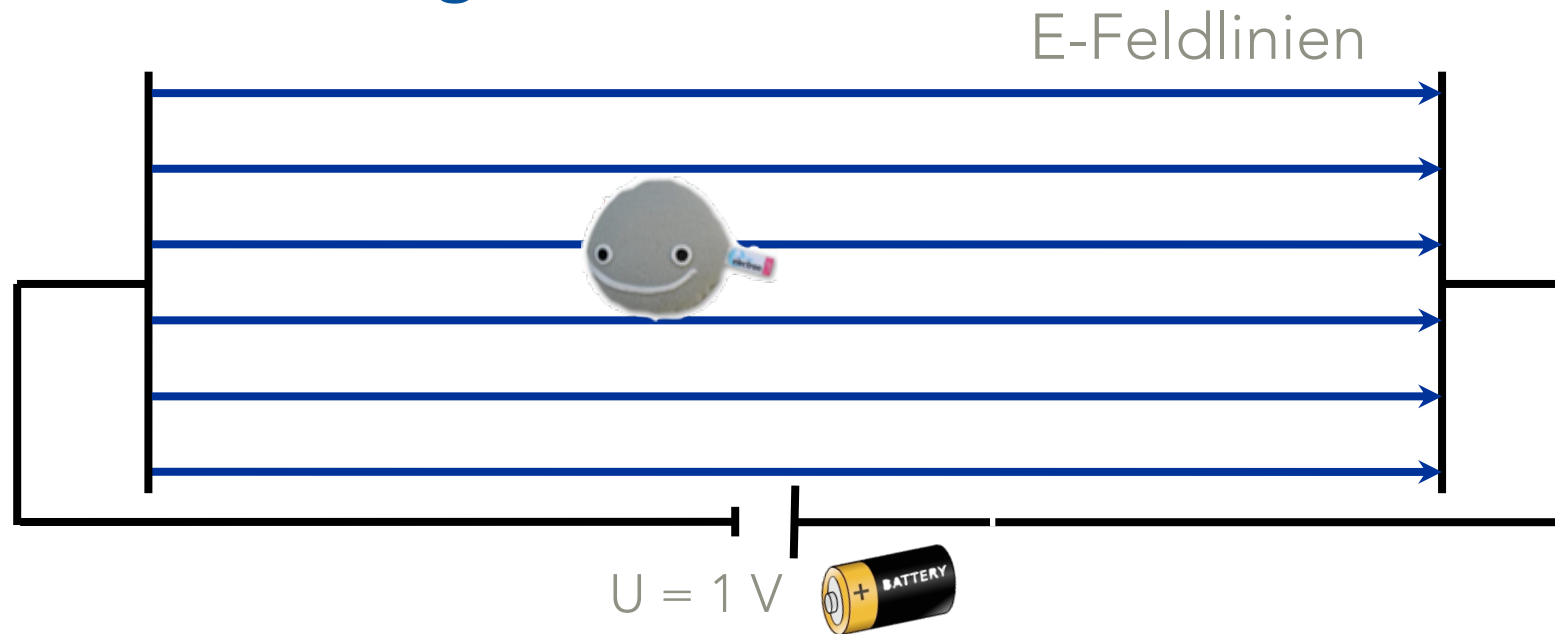
BESCHLEUNIGUNG DER TEILCHEN

- Ein euch bekanntes Prinzip:
 - E-Feld wird angewendet
 - Geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden entlang der Feldlinien beschleunigt



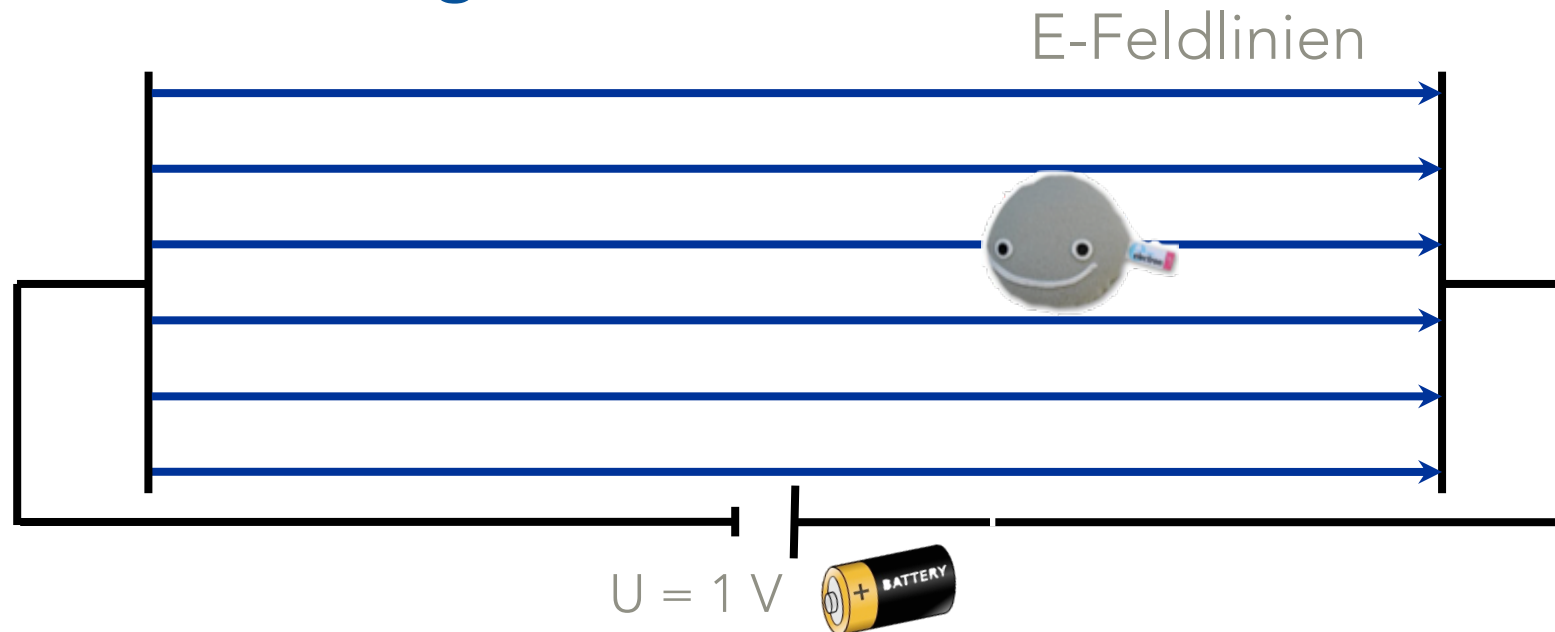
BESCHLEUNIGUNG DER TEILCHEN

- Ein euch bekanntes Prinzip:
 - E-Feld wird angewendet
 - Geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden entlang der Feldlinien beschleunigt



BESCHLEUNIGUNG DER TEILCHEN

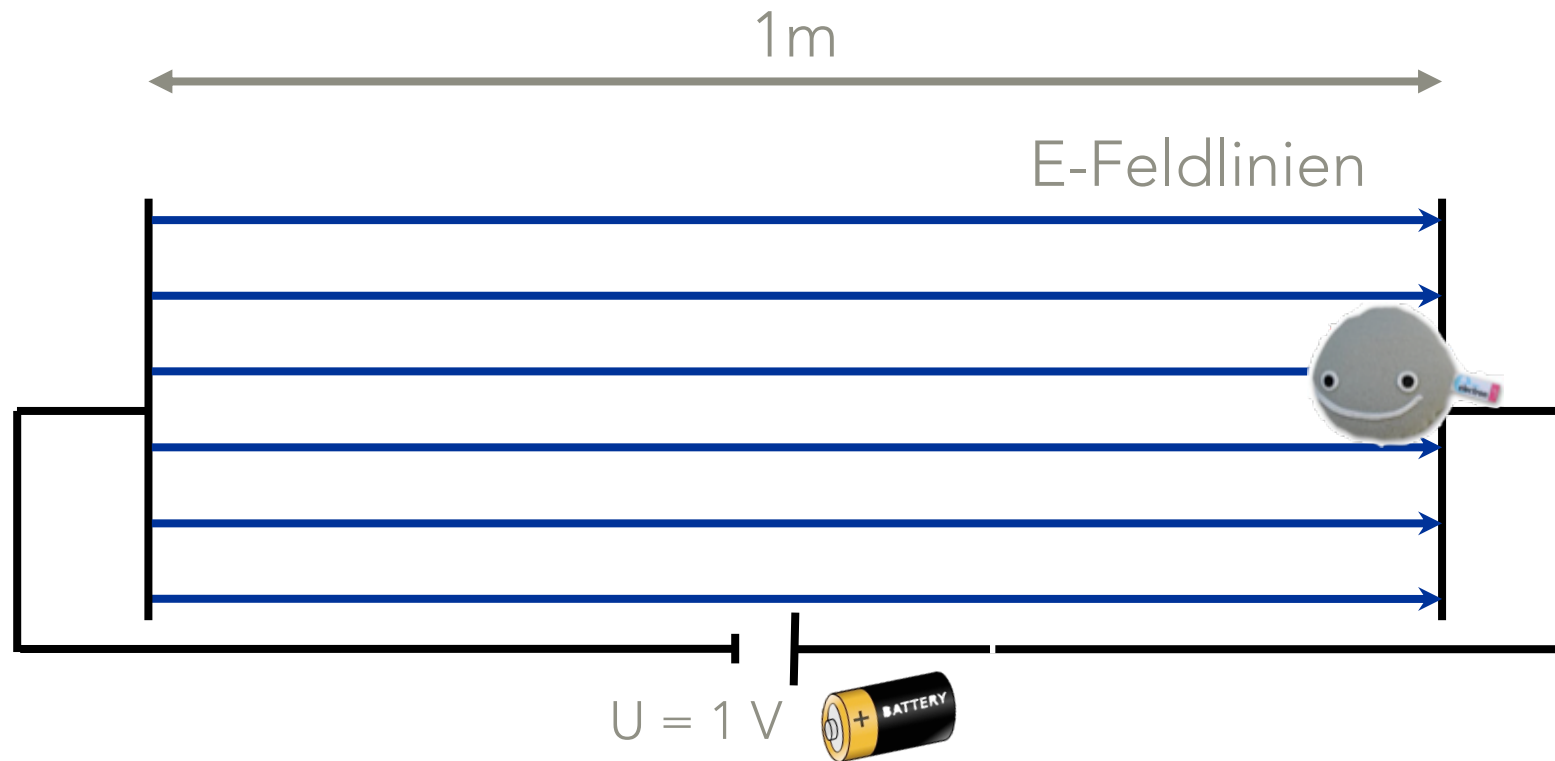
- Ein euch bekanntes Prinzip:
 - E-Feld wird angewendet
 - Geladene Teilchen (z.B. Elektronen) werden entlang der Feldlinien beschleunigt



BESCHLEUNIGUNG DER TEILCHEN

– Erhalten die Energie $E = q \cdot U$

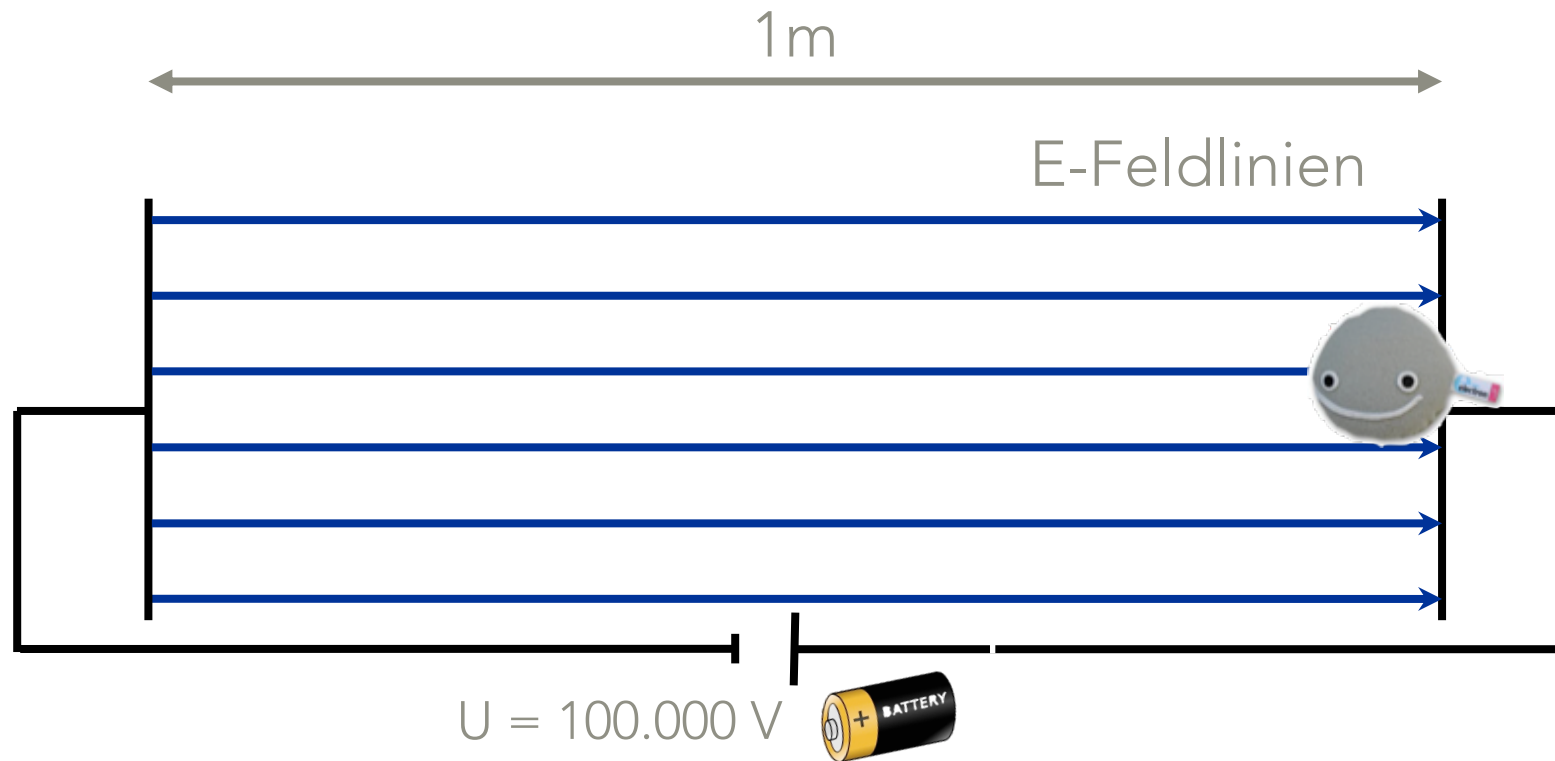
Hier: $E = 1 \text{ eV}$



BESCHLEUNIGUNG DER TEILCHEN

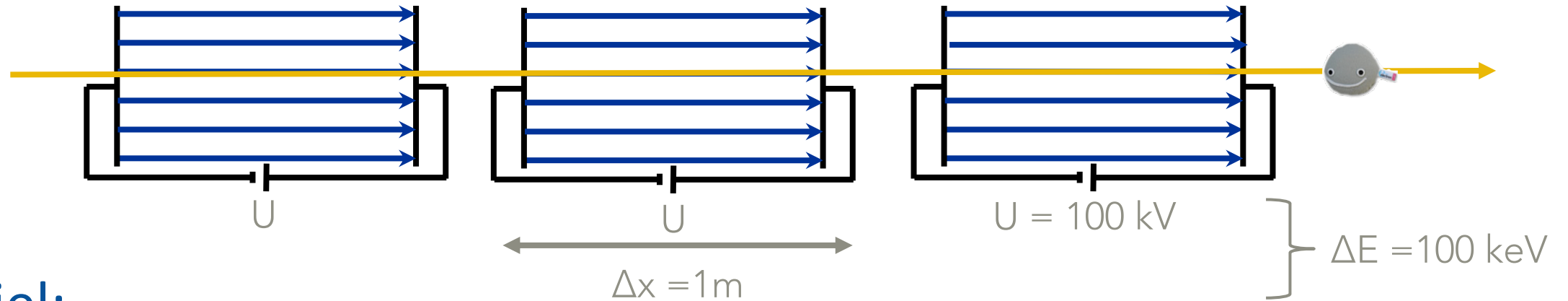
– Erhalten die Energie $E = q \cdot U$

Hier: $E = 100 \text{ keV}$



LINEARBESCHLEUNIGER

– Können viele dieser Zellen hintereinander anwenden

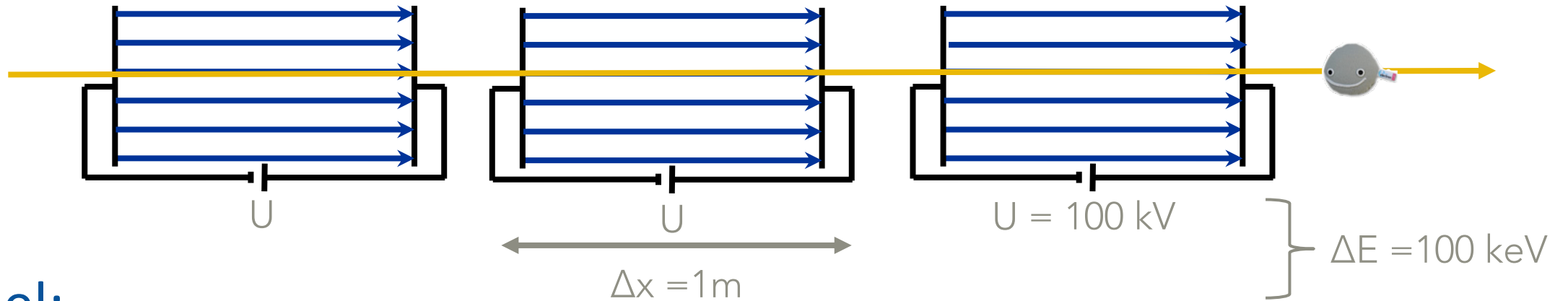


Beispiel:

Teilchen X mit $m_X = 11 \text{ GeV}/c^2 = 11.000.000 \text{ keV}/c^2$. Wie viele Zellen brauchen wir?

LINEARBESCHLEUNIGER

- Können viele dieser Zellen hintereinander anwenden

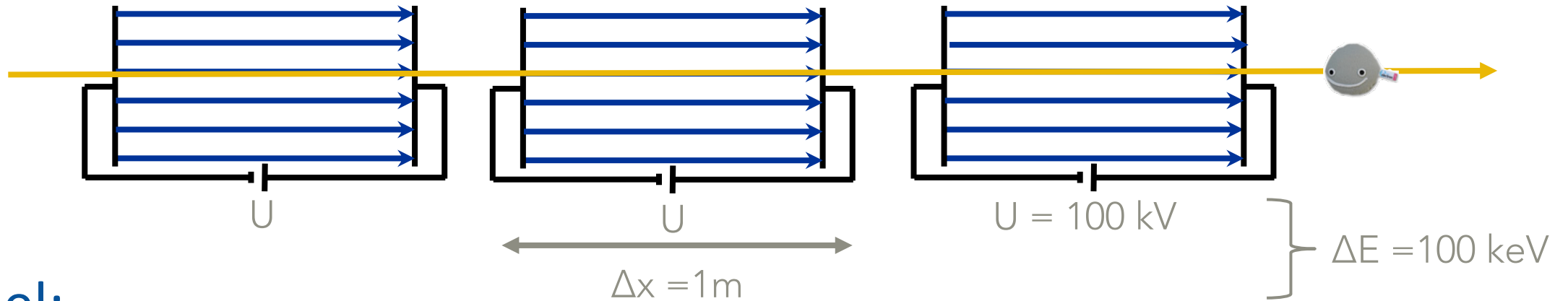


Beispiel:

Teilchen X mit $m_X = 11 \text{ GeV}/c^2 = 11.000.000 \text{ keV}/c^2$. Wie viele Zellen brauchen wir?

- Benötigte Energie $E = m_X c^2 = 11.000.000 \text{ keV}$

- Können viele dieser Zellen hintereinander anwenden

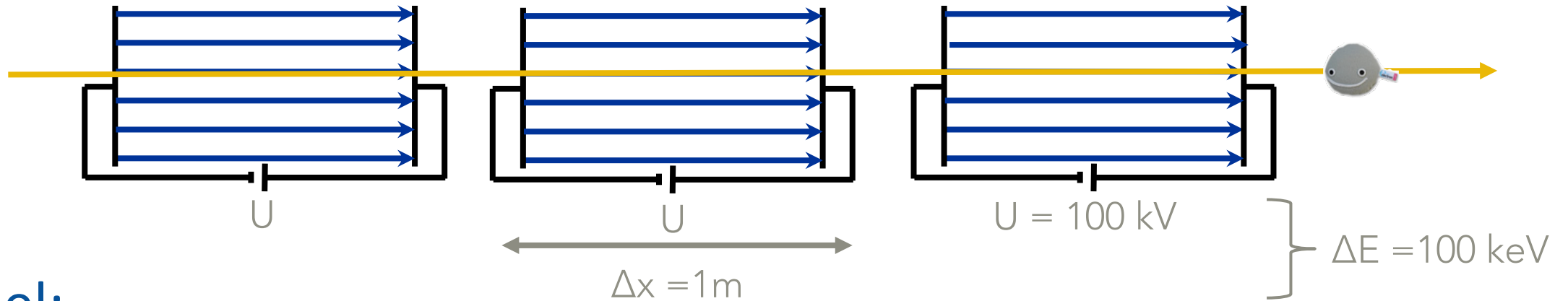


Beispiel:

Teilchen X mit $m_X = 11 \text{ GeV}/c^2 = 11.000.000 \text{ keV}/c^2$. Wie viele Zellen brauchen wir?

- Benötigte Energie $E = m_X c^2 = 11.000.000 \text{ keV}$
- Anzahl Zellen $N = E/\Delta E = 11.000$ Zellen

- Können viele dieser Zellen hintereinander anwenden



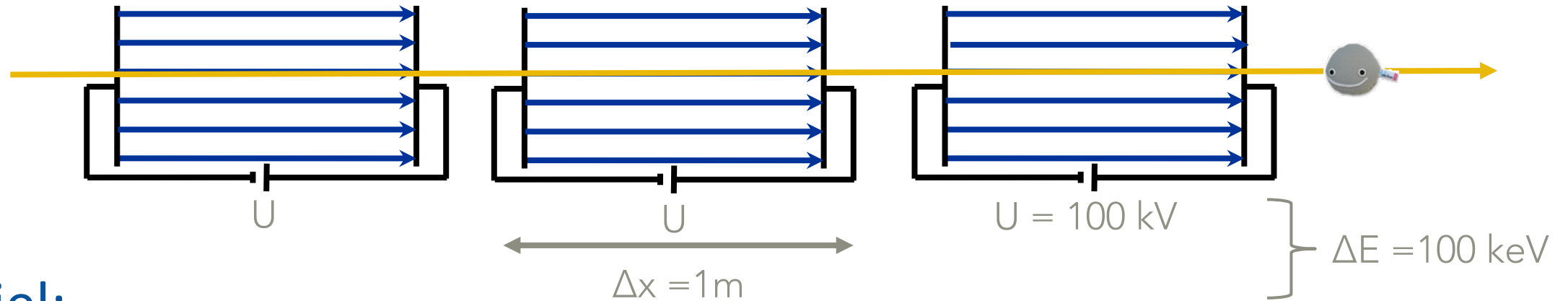
Beispiel:

Teilchen X mit $m_X = 11 \text{ GeV}/c^2 = 11.000.000 \text{ keV}/c^2$. Wie viele Zellen brauchen wir?

- Benötigte Energie $E = m_X c^2 = 11.000.000 \text{ keV}$
- Anzahl Zellen $N = E/\Delta E = 11.000$ Zellen
- Länge $L = N \cdot \Delta x = 11 \text{ km}$

LINEARBESCHLEUNIGER

- Können viele dieser Zellen hintereinander anwenden



Beispiel:

Teilchen X mit $m_X = 11 \text{ GeV}/c^2 = 11.000.000 \text{ keV}/c^2$. Wie viele Zellen brauchen wir?

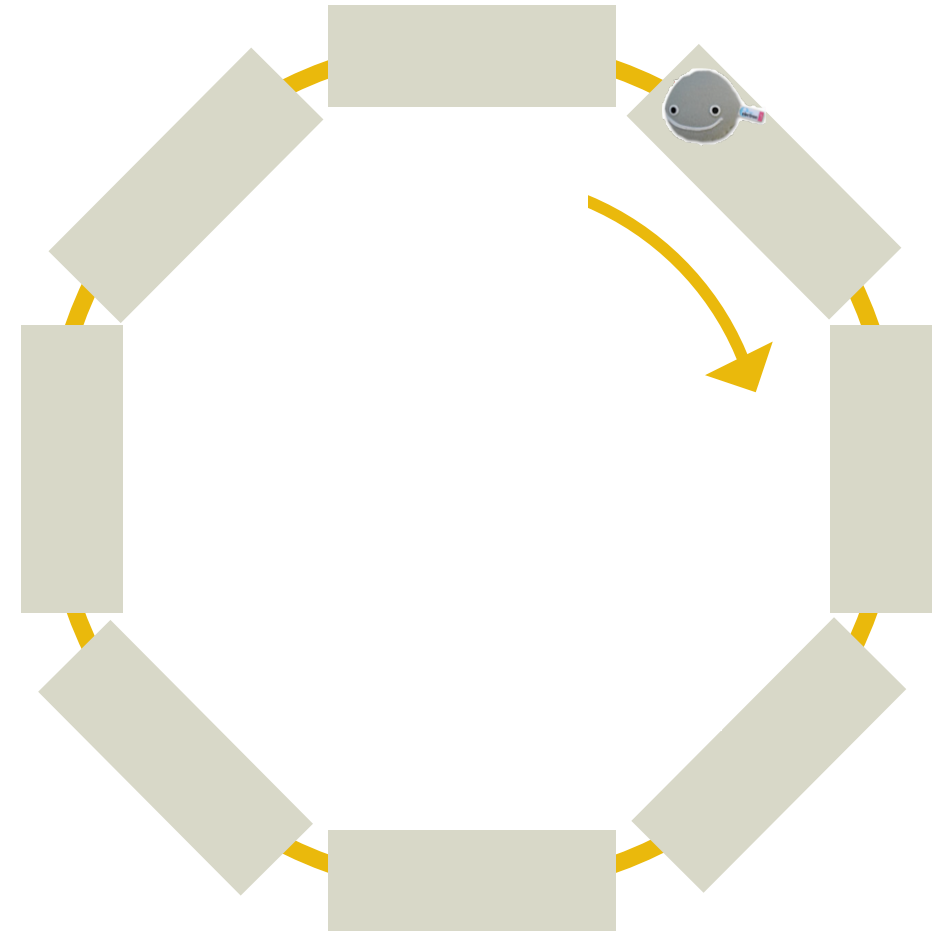
- Benötigte Energie $E = m_X c^2 = 11.000.000 \text{ keV}$
- Anzahl Zellen $N = E/\Delta E = 11.000$ Zellen
- Länge $L = N \cdot \Delta x = 11 \text{ km}$



- Durchlaufen jede Zelle nur einmal
- Hohe Energien brauchen sehr lange Beschleuniger

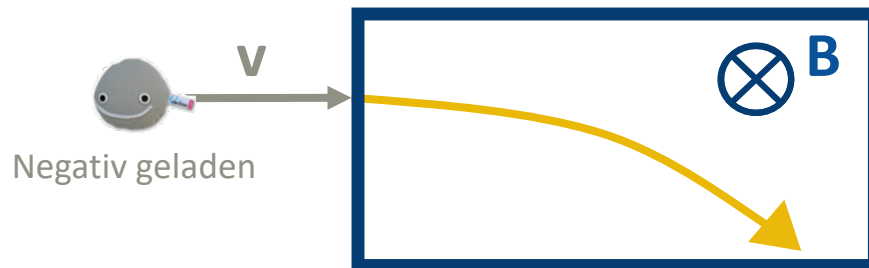
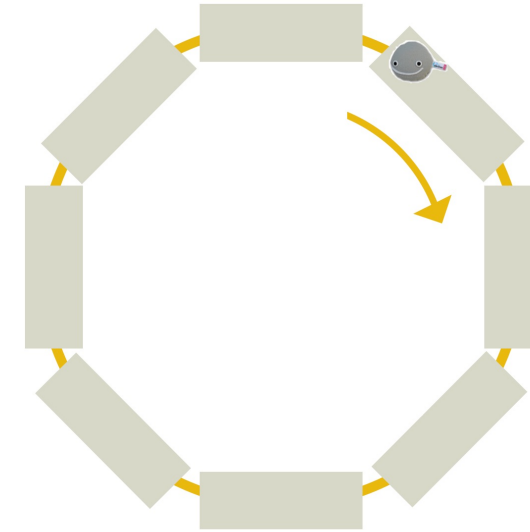
WAS KÖNNEN WIR STATTDESSEN MACHEN?

- Die Zellen kreisförmig anordnen
- Können so mehrmals durchlaufen werden
- Aber wie lenkt man Teilchen auf eine Kreisbahn?

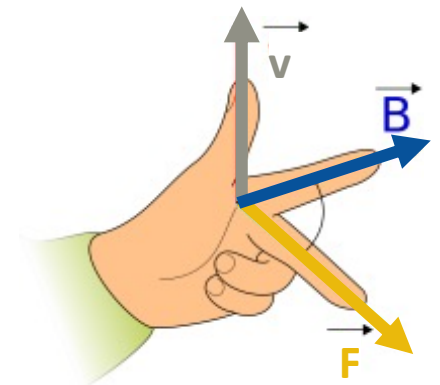


WAS KÖNNEN WIR STATTDESSEN MACHEN?

- Die Zellen kreisförmig anordnen
- Können so mehrmals durchlaufen werden
- Aber wie lenkt man Teilchen auf eine Kreisbahn?
- Lorentzkraft: $F = qv \times B$

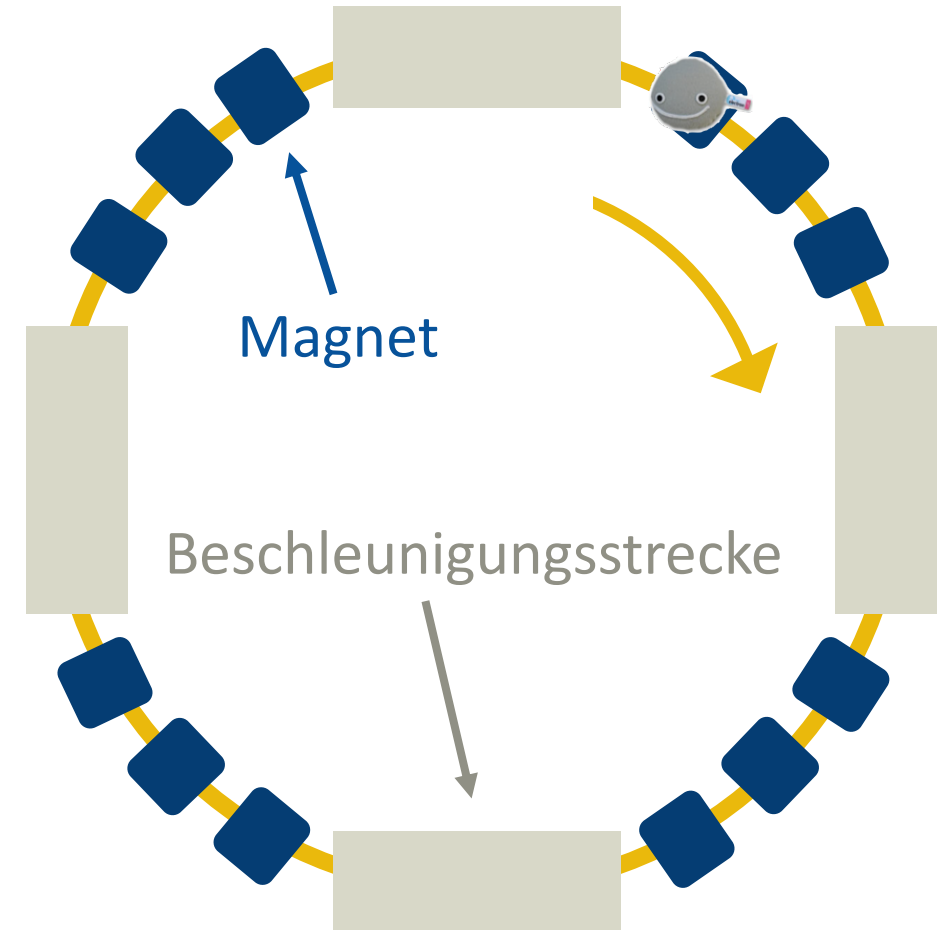


Linke Hand Regel:



- Im Endeffekt:
 - Gerade Strecken zum Beschleunigen
 - Gekrümmte Strecken zum Ablenken

- Kennt ihr Beispiele für Ringbeschleuniger?

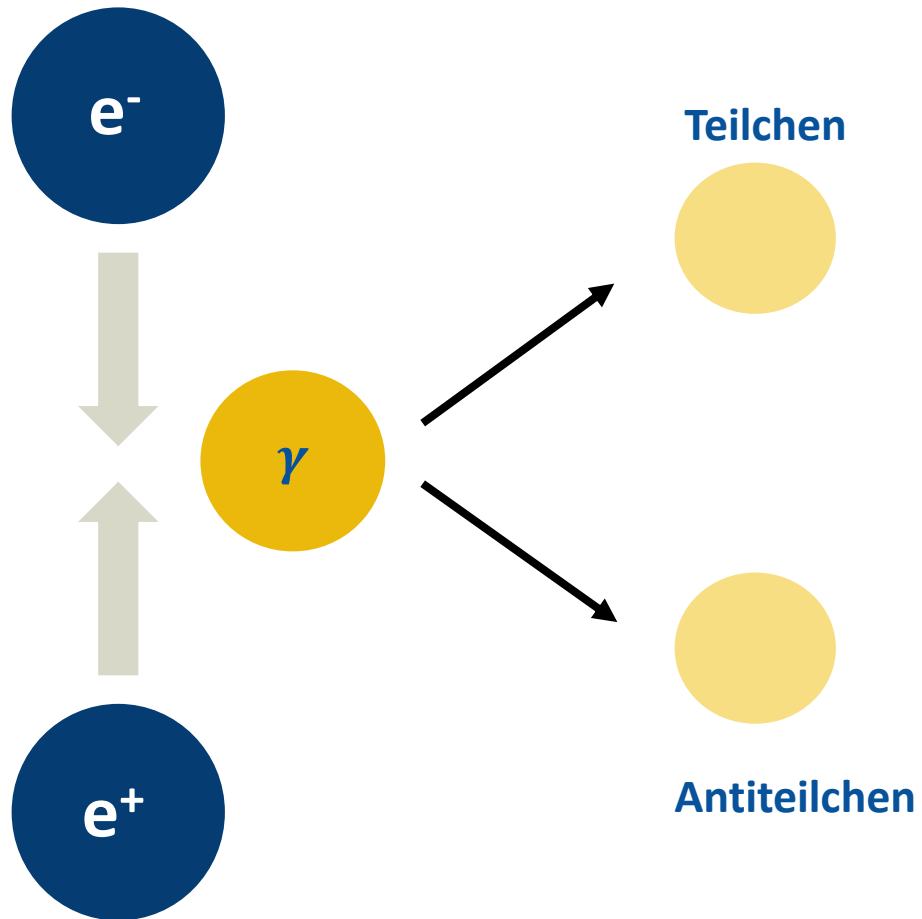


- Beschleuniger am KEK
Forschungszentrum in Tsukuba, Japan
- Ca. 80 km nördlich von Tokio
- Positronen und Elektronen werden
jeweils auf 4 und 7 GeV beschleunigt
- Ringe haben Umfang von 3 km
- Tunnel ist 10 m unter der Erde



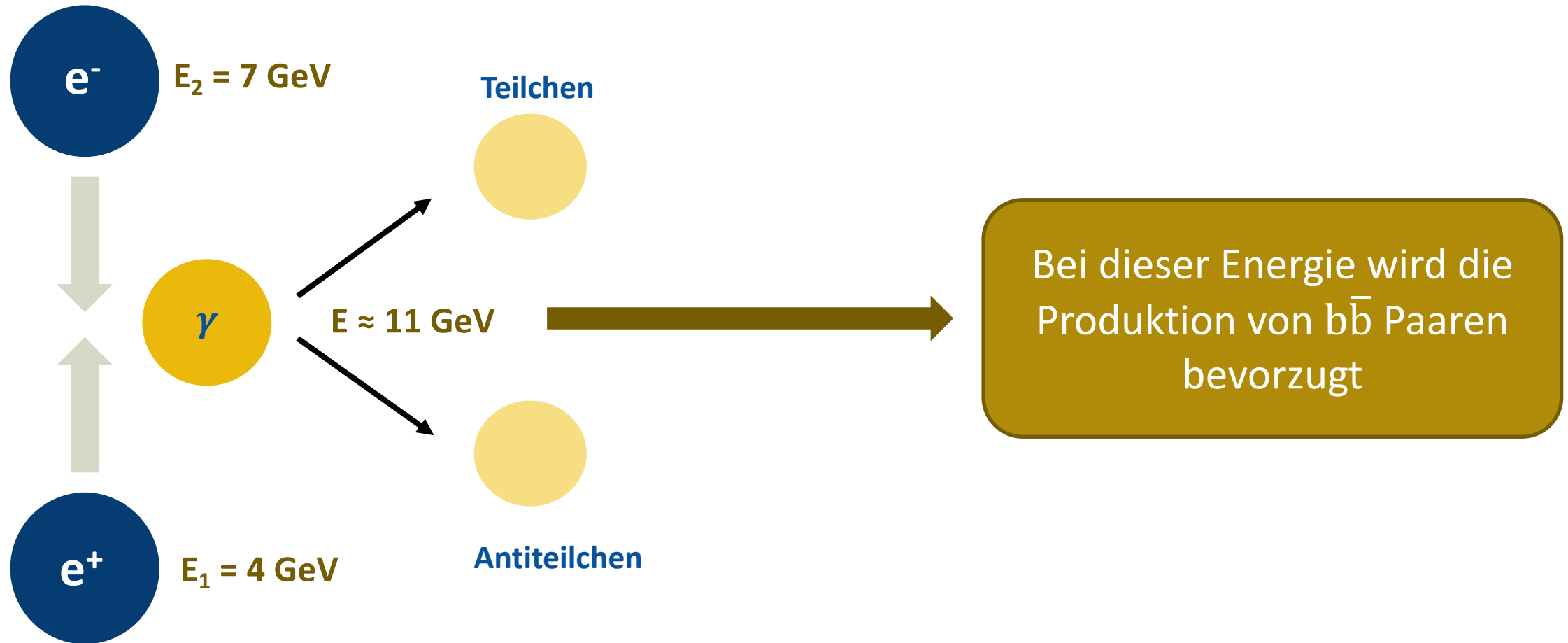
WAS PASSIERT BEI DER KOLLISION?

– Wie eben erklärt:



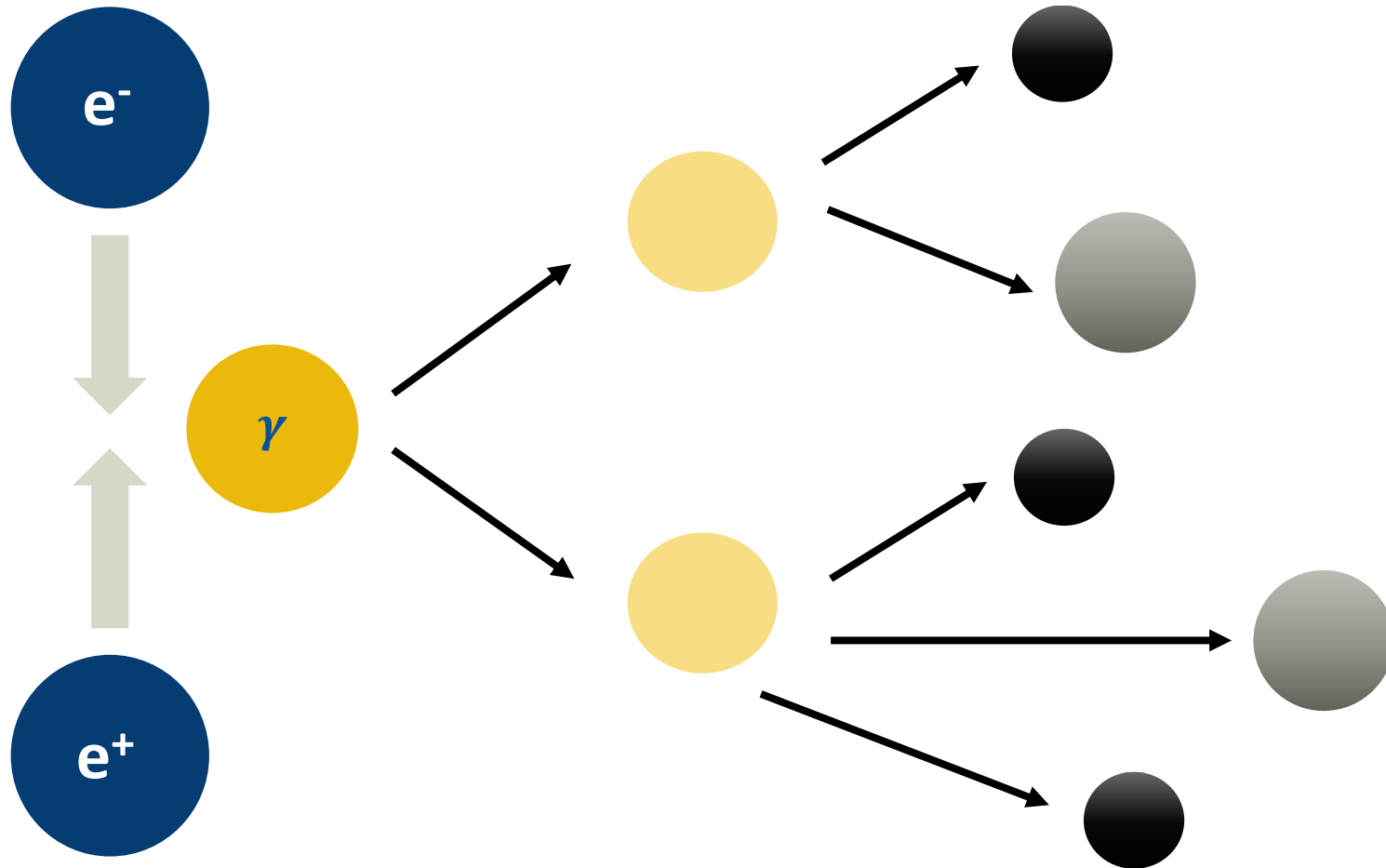
WAS PASSIERT BEI DER KOLLISION?

– Wie eben erklärt:



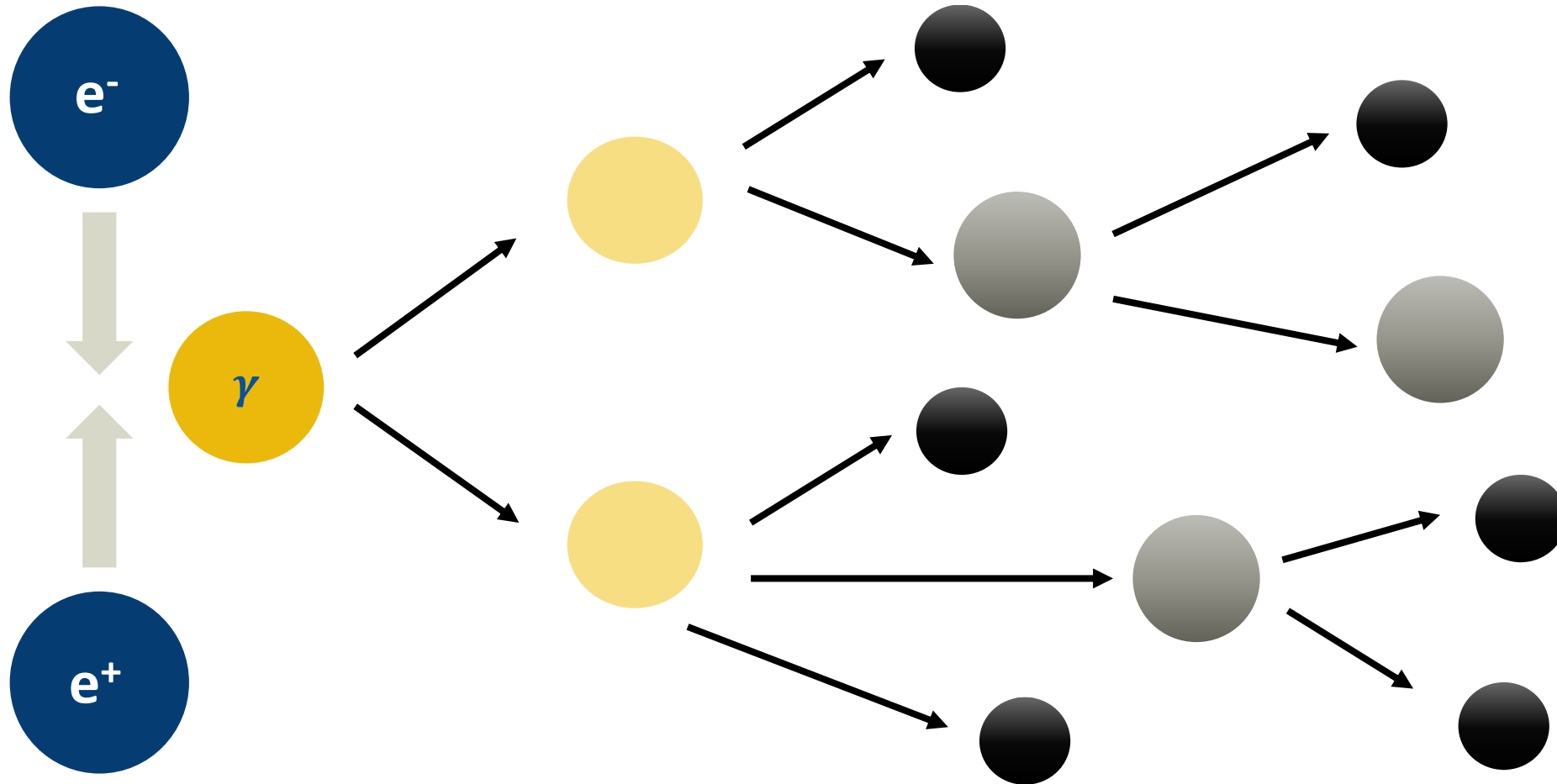
WAS PASSIERT BEI DER KOLLISION?

– Wie eben erklärt:

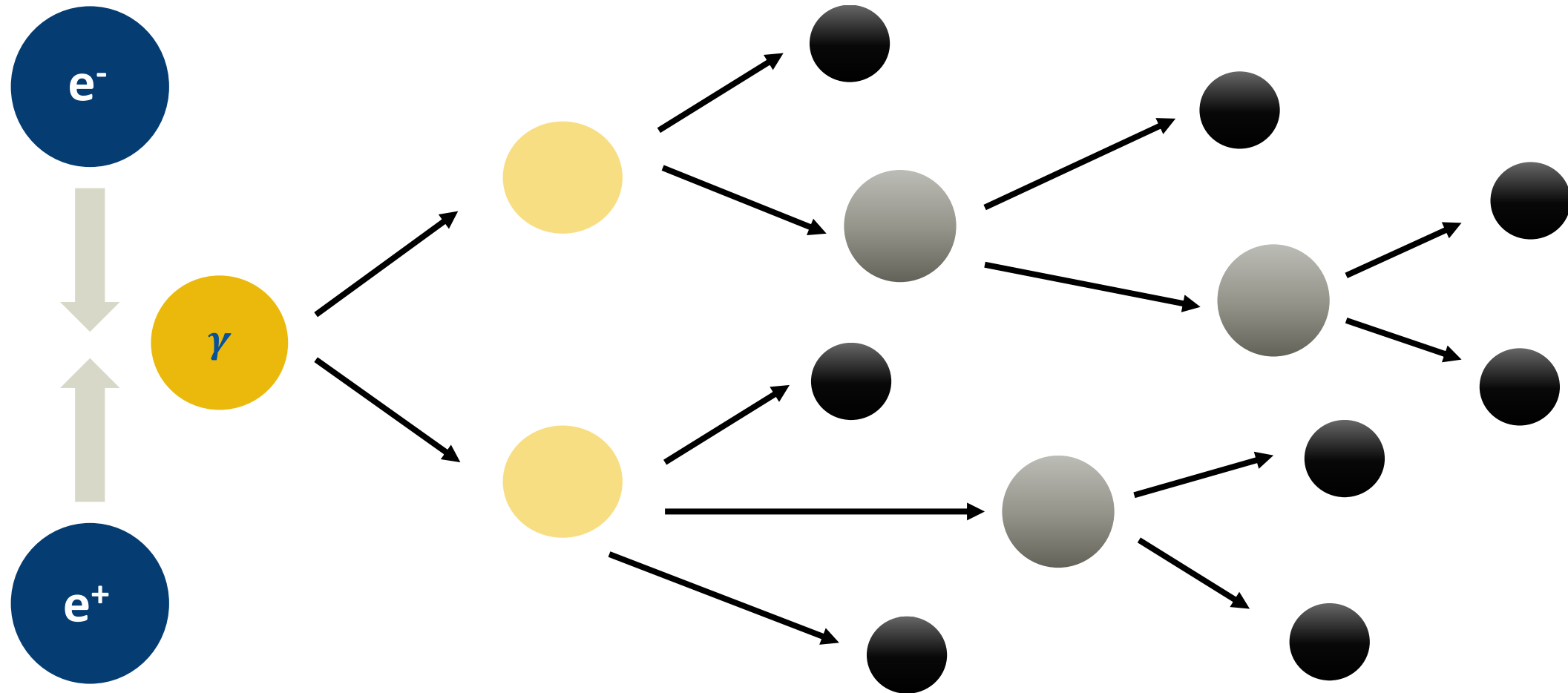


WAS PASSIERT BEI DER KOLLISION?

– Wie eben erklärt:

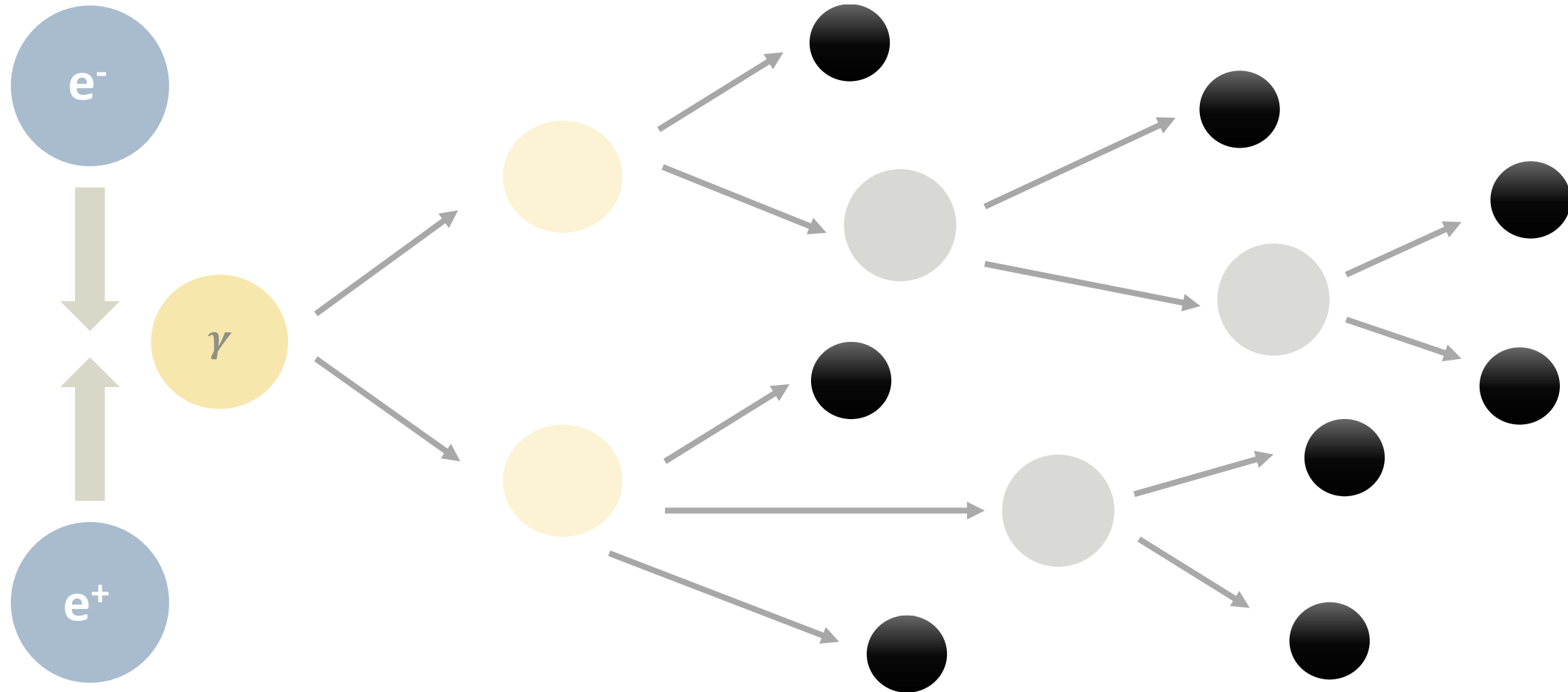


WELCHE TEILCHEN SEHEN WIR?



WELCHE TEILCHEN SEHEN WIR?

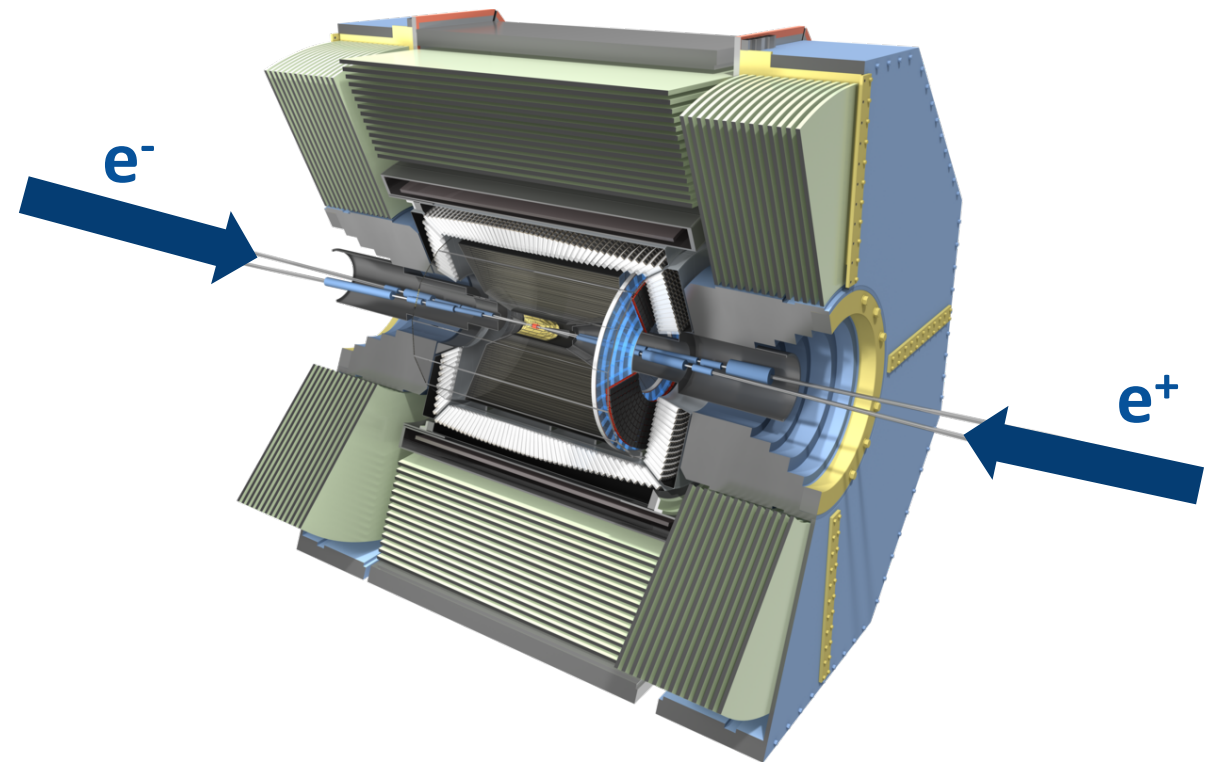
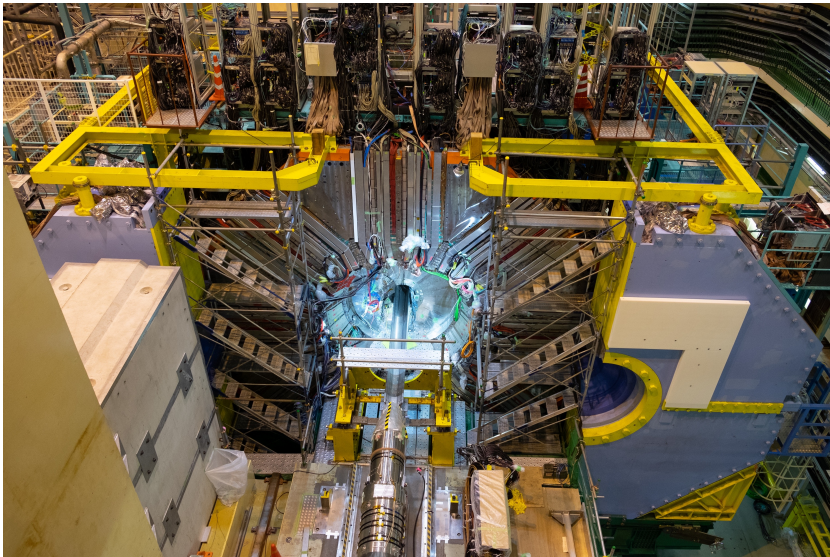
Langlebige Teilchen



WIE SEHEN WIR DIE TEILCHEN?

- Langlebige Teilchen zerfallen nicht im betrachteten Zeitraum
- Bauen also um den Kollisionpunkt einen Detektor

Der Belle II Detektor:



WAS SEHEN WIR DAMIT TATSÄCHLICH?

- Natürlich **sehen** wir die Teilchen nicht im direkten Sinn
- Man muss aus einzelnen Informationsstücken die Teilchen „zusammenbasteln“
- Stellt euch einen Autounfall vor
 - Trümmerteile fliegen durch die Gegend und bleiben irgendwo liegen – aber alles ist noch da
 - Aus der geflogenen Distanz und der Farbe lassen sich die Geschwindigkeiten der Autos bestimmen



– Die Herausforderung:

Die Trümmerteile
sind unsichtbar

Hinterlassen nur
elektrische Spuren
und Signale

Ungefähr 30.000
Kollisionen pro
Sekunde

– Aus diesen Informationen müssen dann

1. Die Teilchen identifiziert werden und
2. Bestimmt werden um was für ein Ereignis es sich handelt

UND IN DER TEILCHENPHYSIK?

– Die Herausforderung:


Die Trümmerteile
sind unsichtbar

Hinterlassen nur
elektrische Spuren
und Signale

Ungefähr 30.000
Kollisionen pro
Sekunde

– Aus diesen Informationen müssen dann

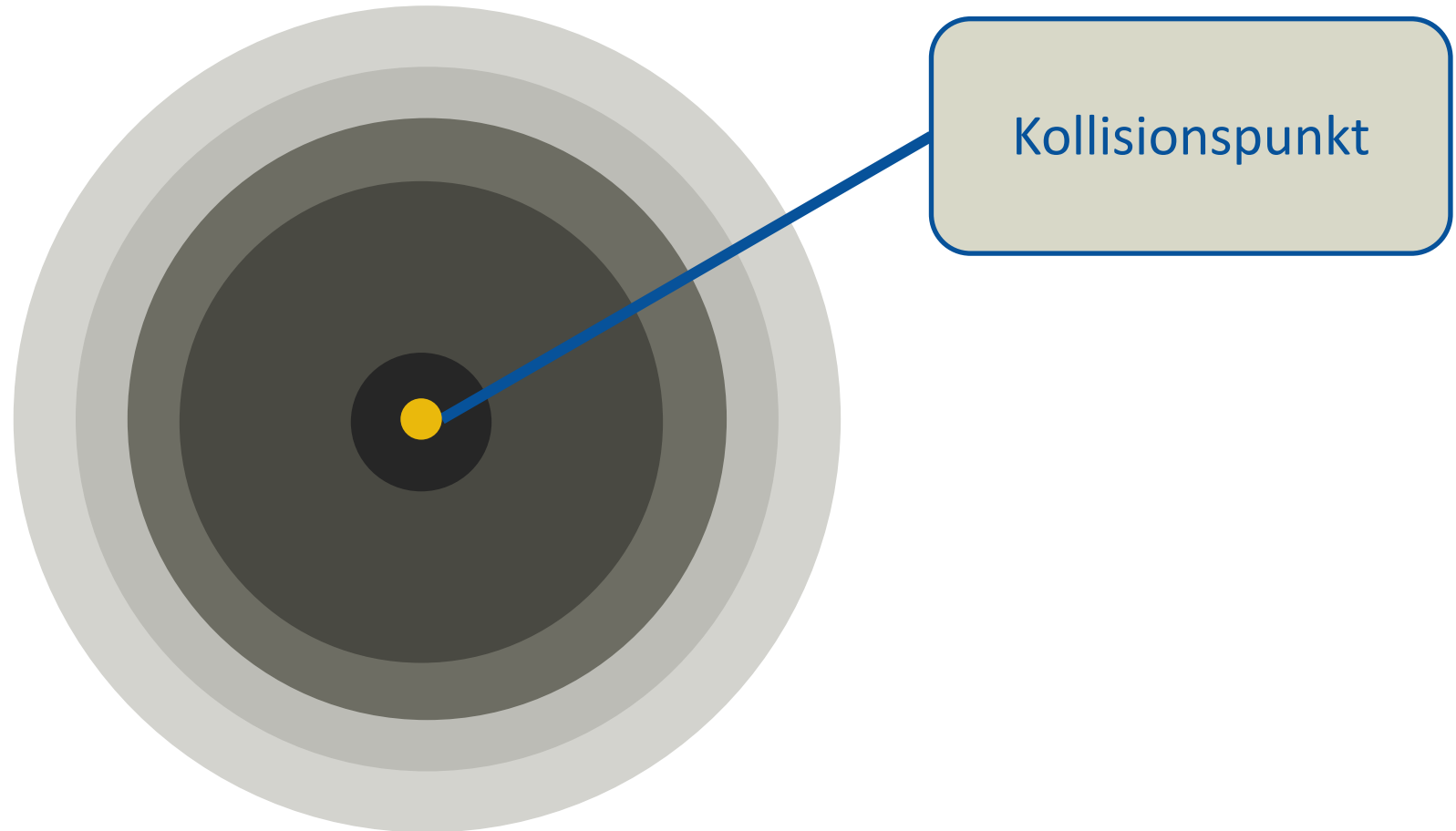
1. Die Teilchen identifiziert werden und
2. Bestimmt werden um was für ein Ereignis es sich handelt



Teil eurer
Aufgabe morgen!

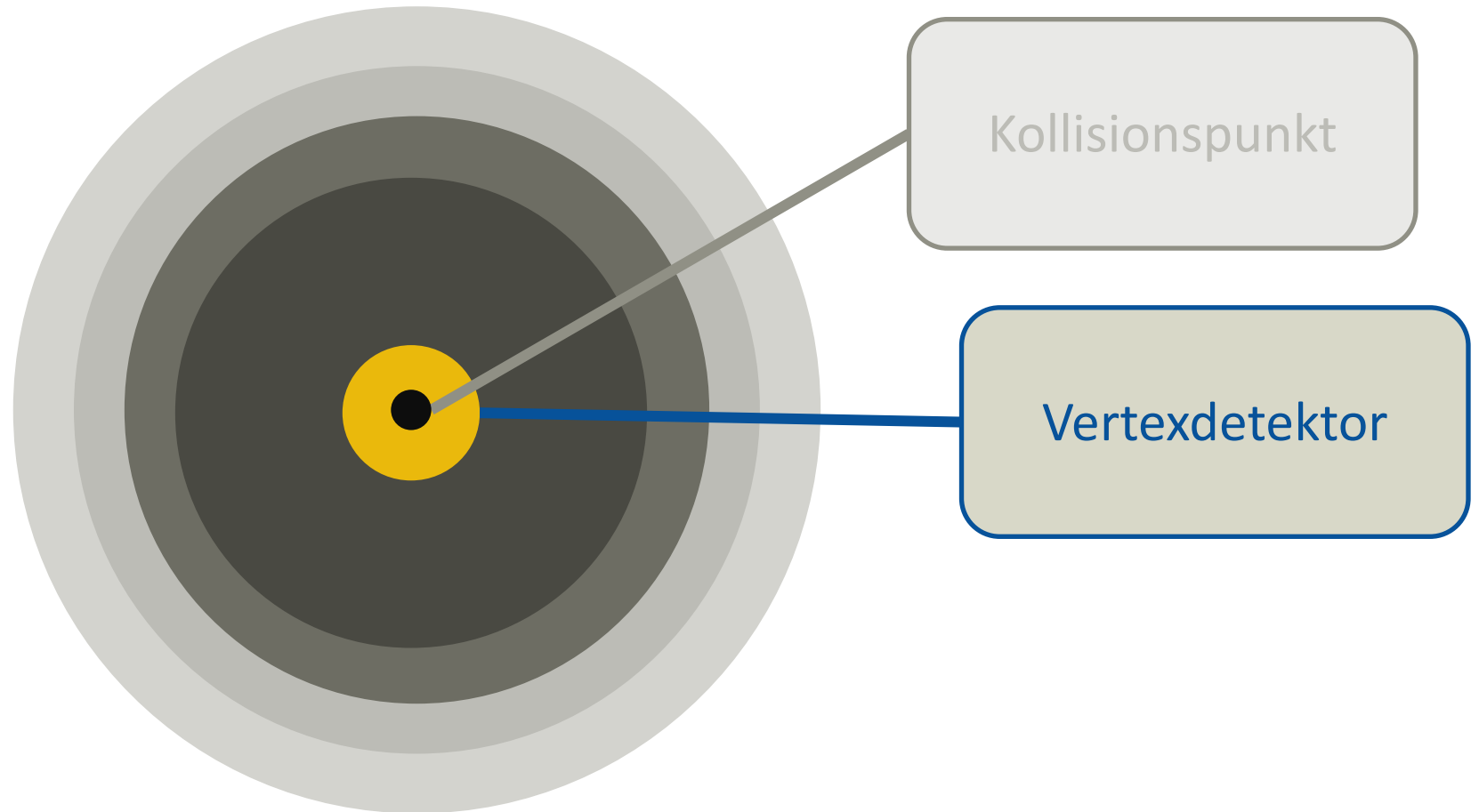
UND WOHER KOMMEN NUN DIESE SIGNALE?

- Detektor im Zwiebelschalenprinzip um den Kollisionspunkt



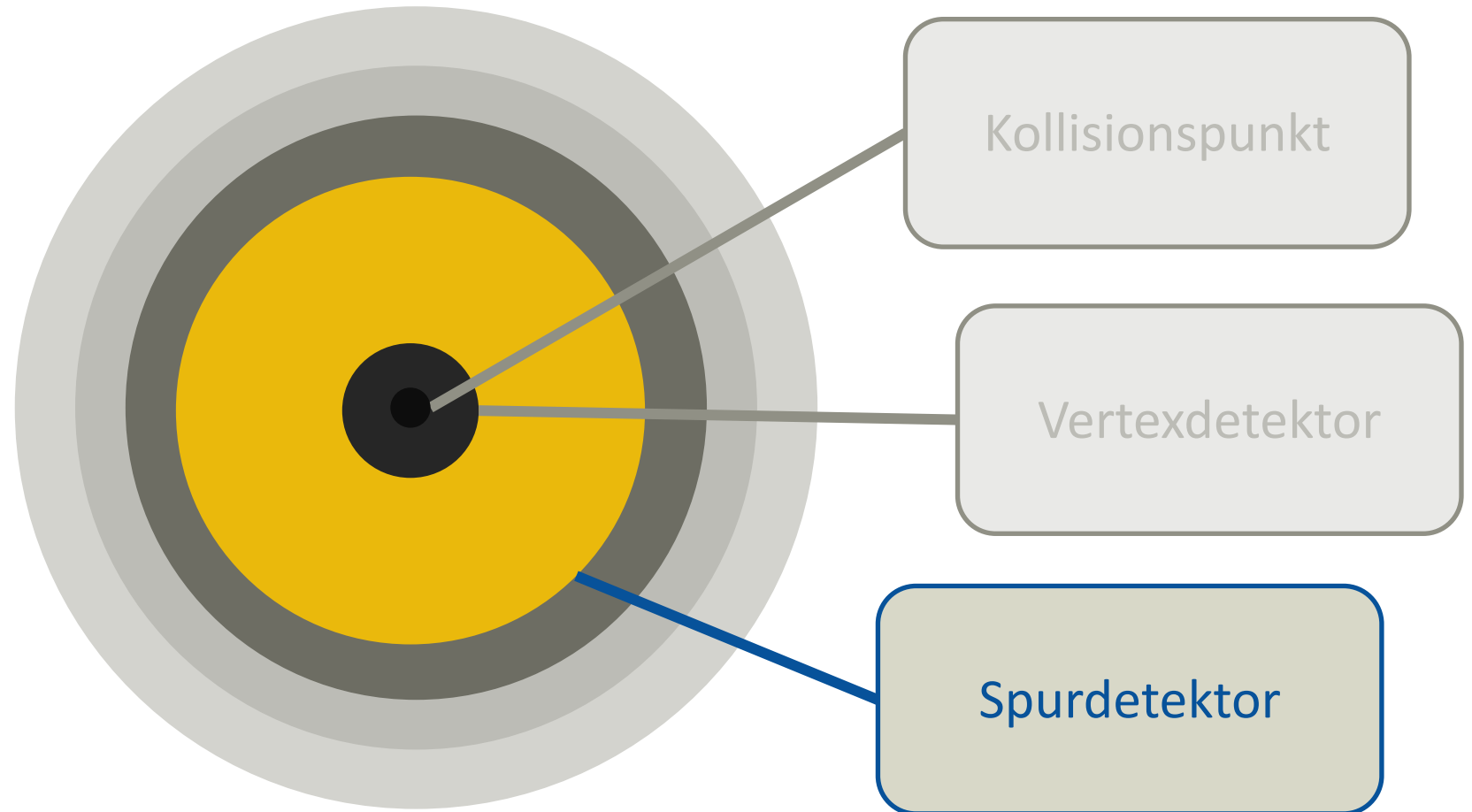
UND WOHER KOMMEN NUN DIESE SIGNALE?

- Detektor im Zwiebelschalenprinzip um den Kollisionspunkt



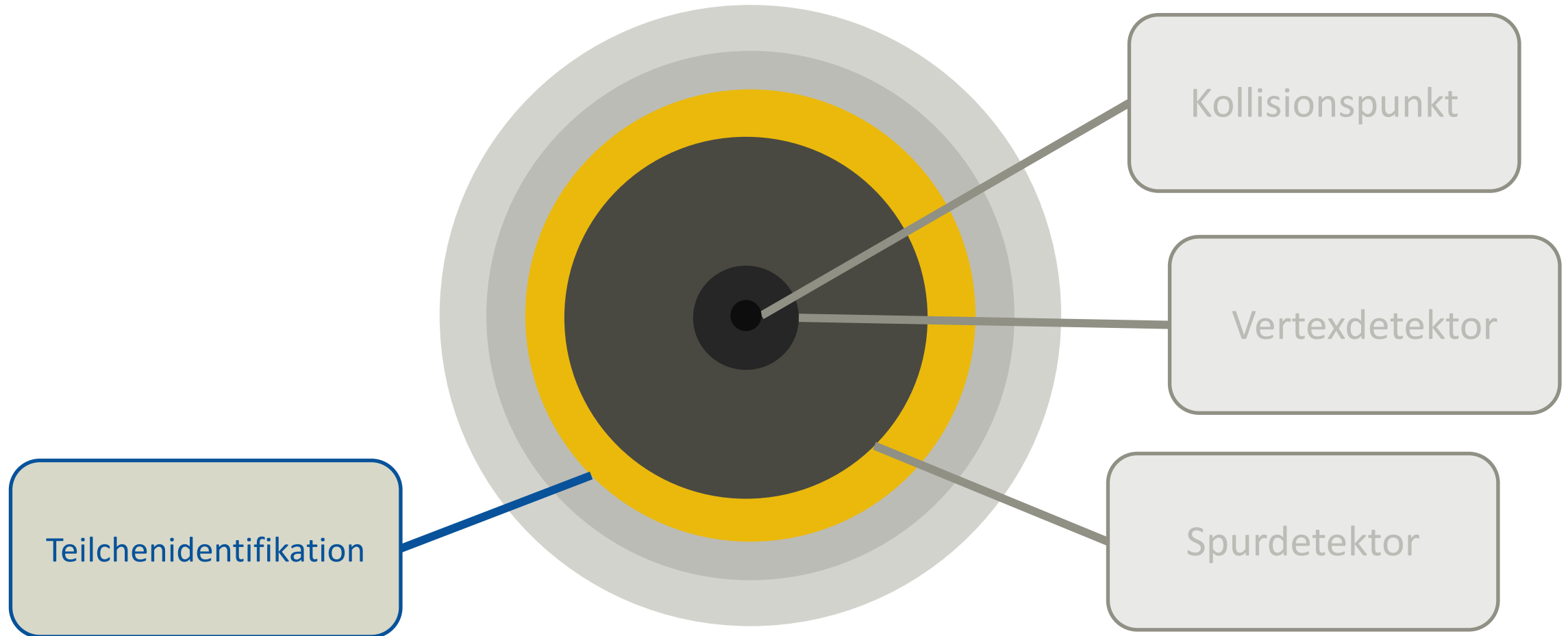
UND WOHER KOMMEN NUN DIESE SIGNALE?

- Detektor im Zwiebelschalenprinzip um den Kollisionspunkt



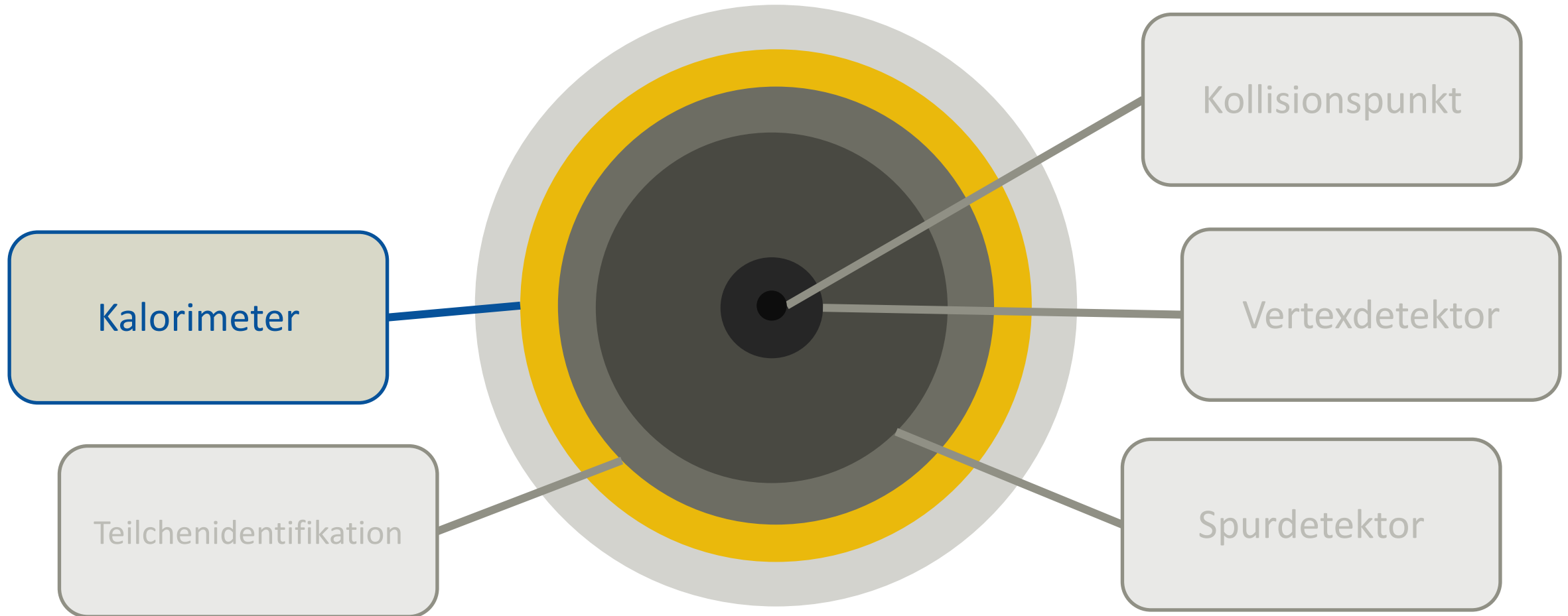
UND WOHER KOMMEN NUN DIESE SIGNALE?

- Detektor im Zwiebelschalenprinzip um den Kollisionspunkt



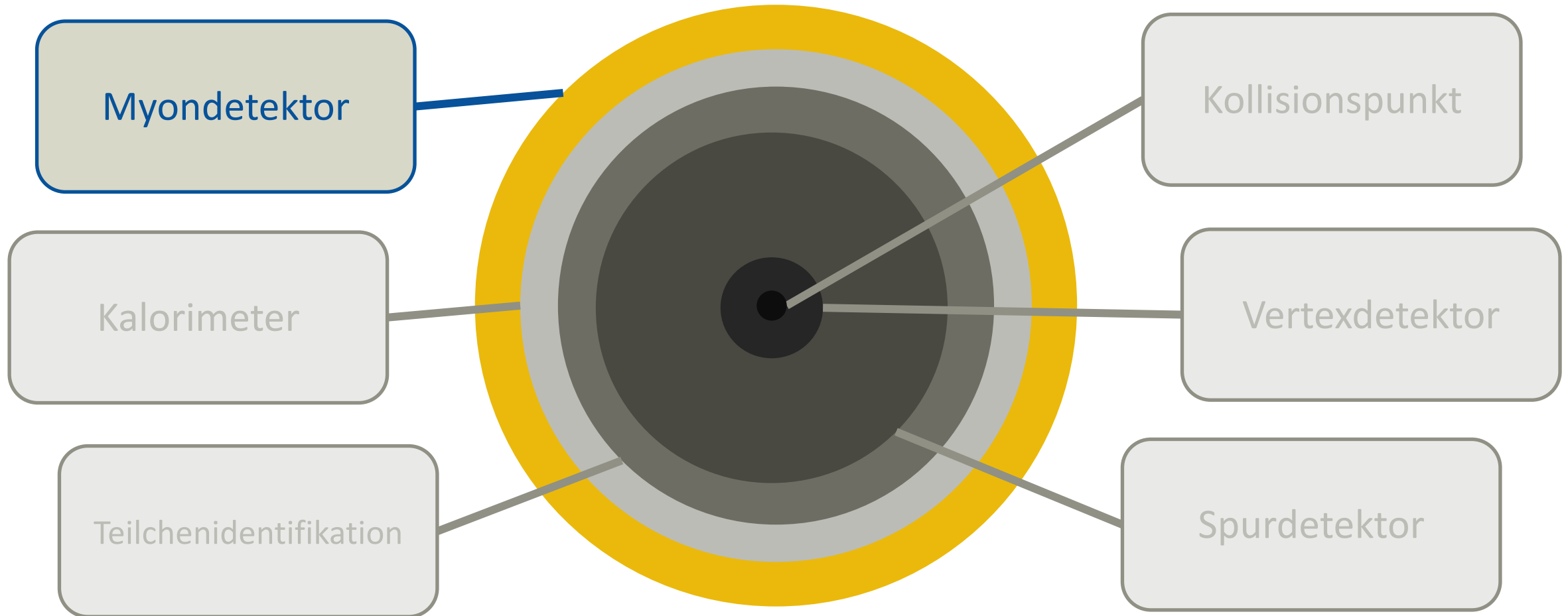
UND WOHER KOMMEN NUN DIESE SIGNALE?

- Detektor im Zwiebelschalenprinzip um den Kollisionspunkt



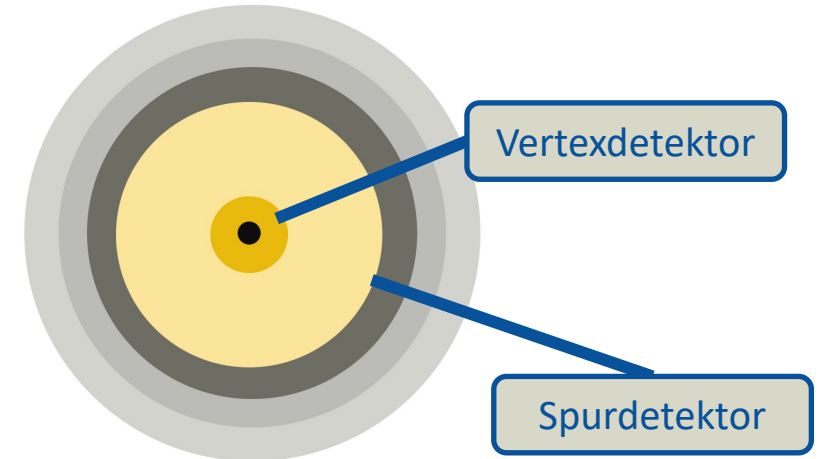
UND WOHER KOMMEN NUN DIESE SIGNALE?

- Detektor im Zwiebelschalenprinzip um den Kollisionspunkt



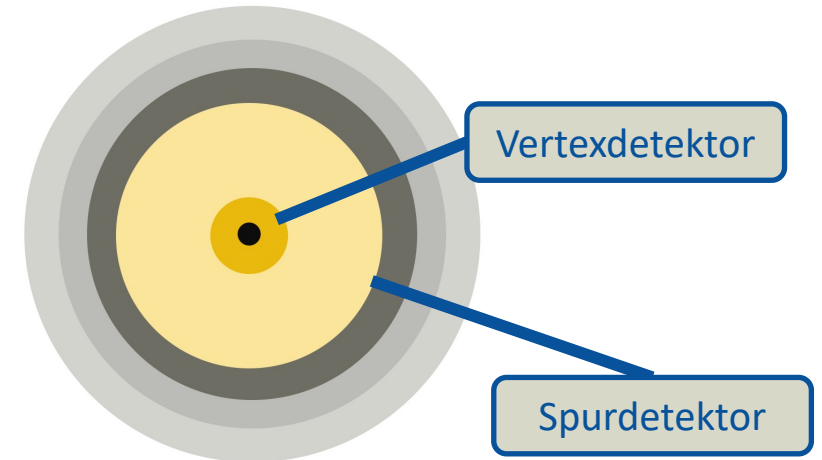
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale



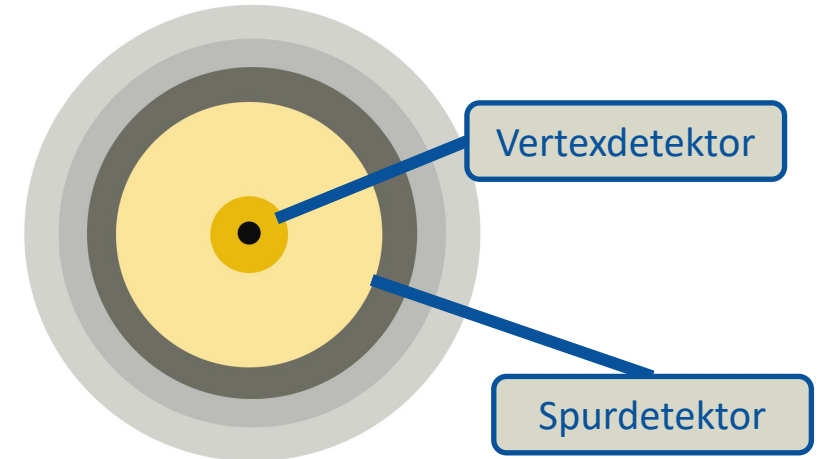
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale



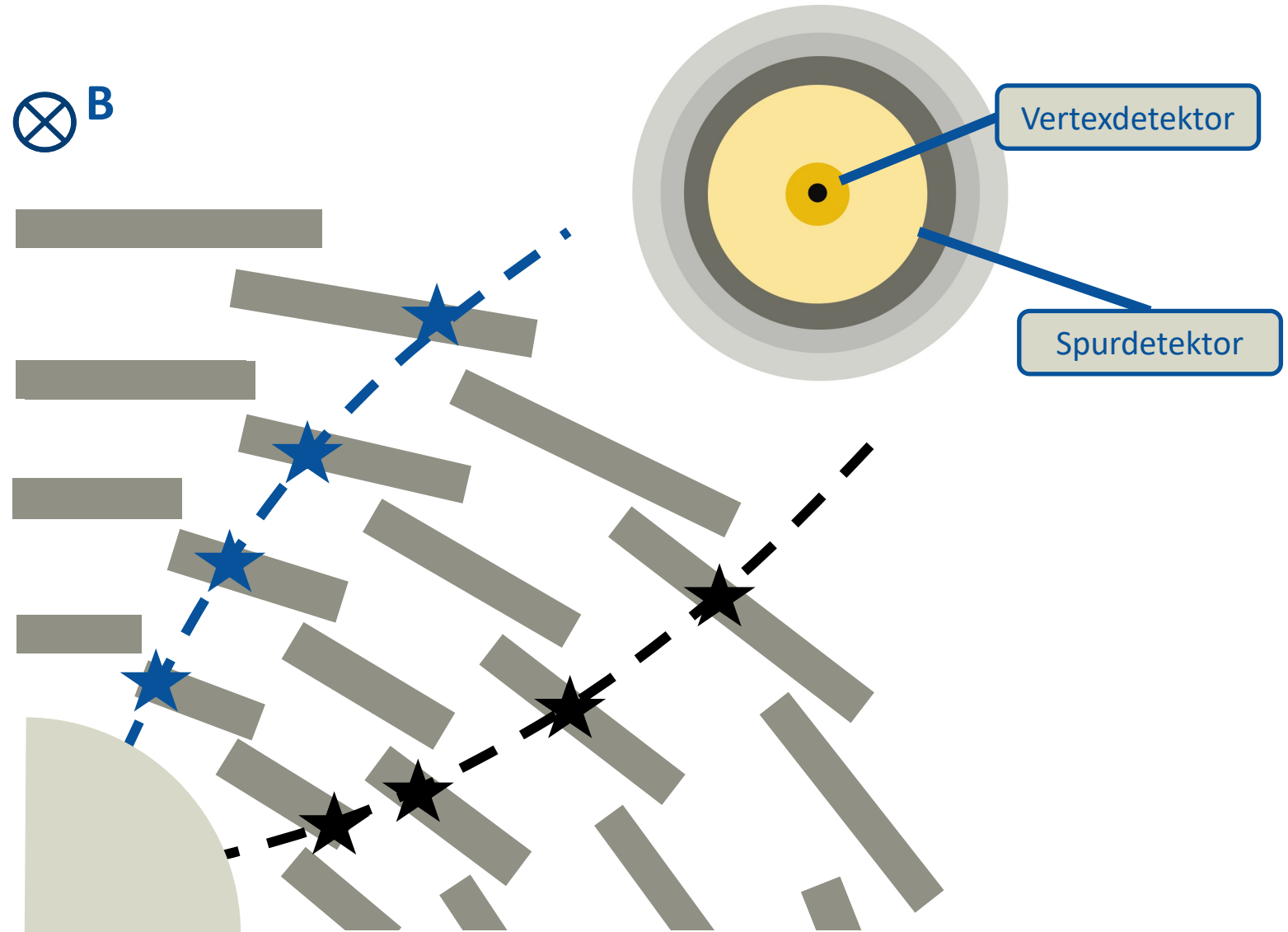
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale



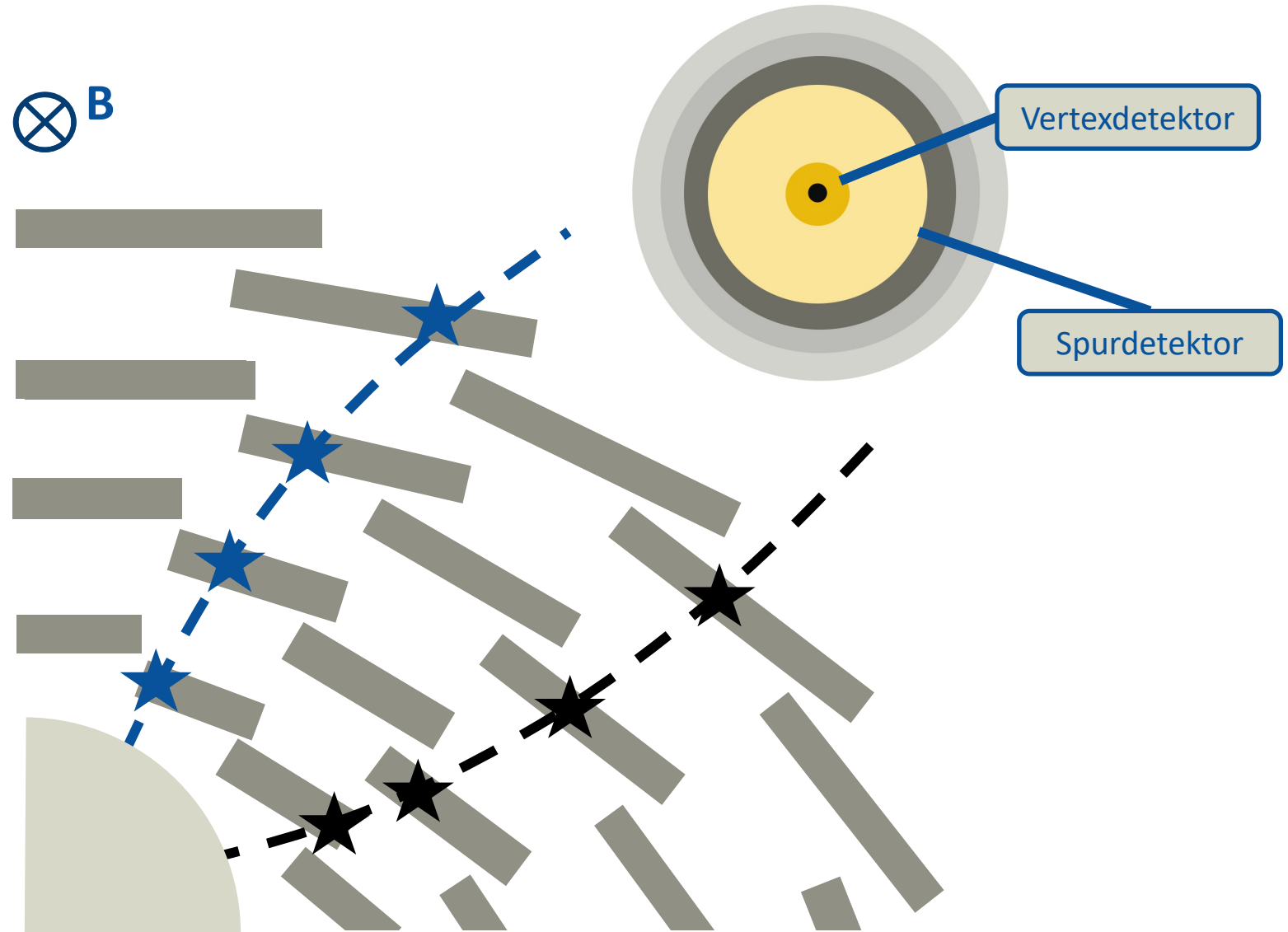
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale
- Daraus können Spuren rekonstruiert werden



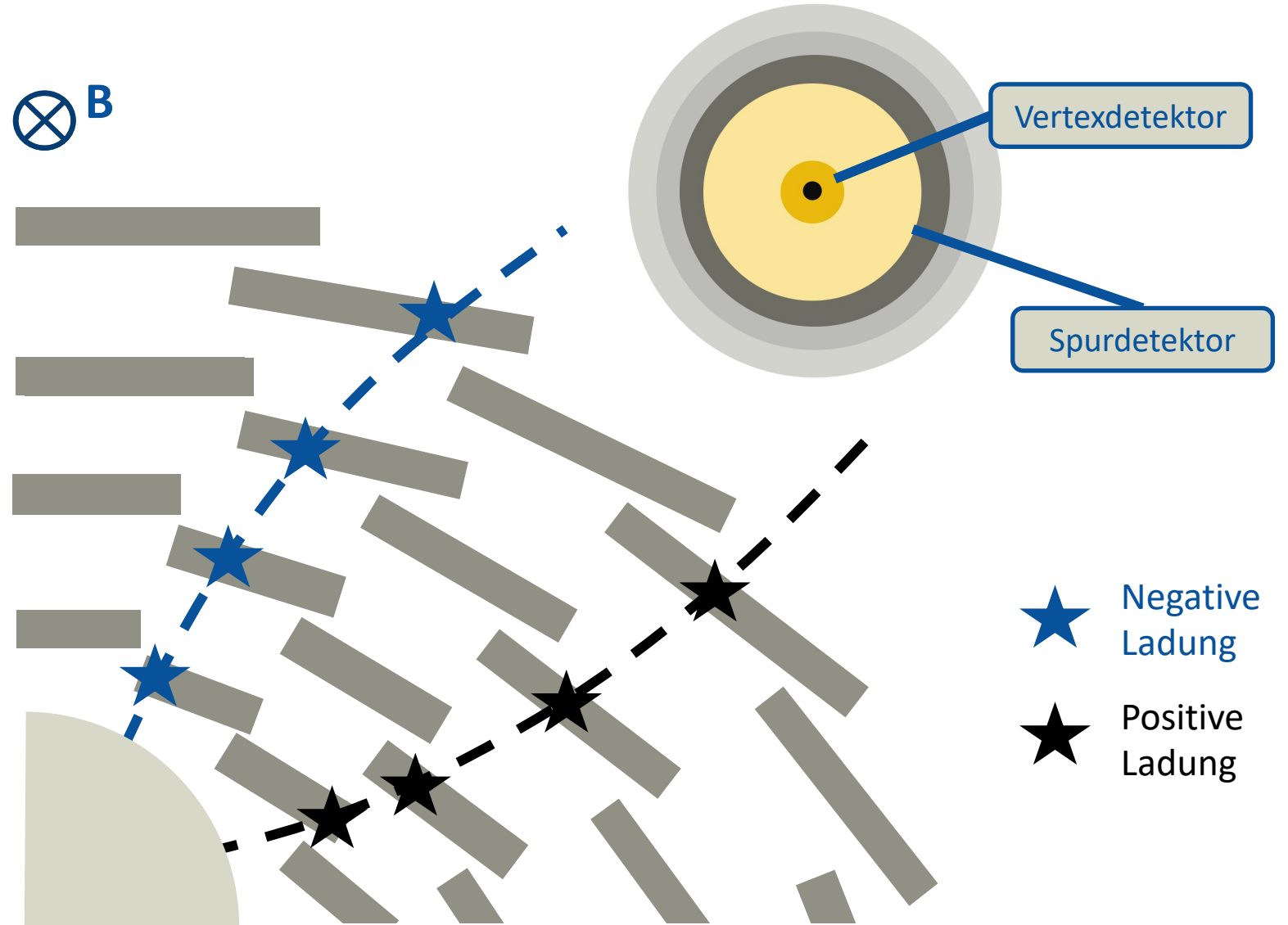
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale
- Daraus können Spuren rekonstruiert werden
- **Welche Ladung hat das blaue Teilchen?**



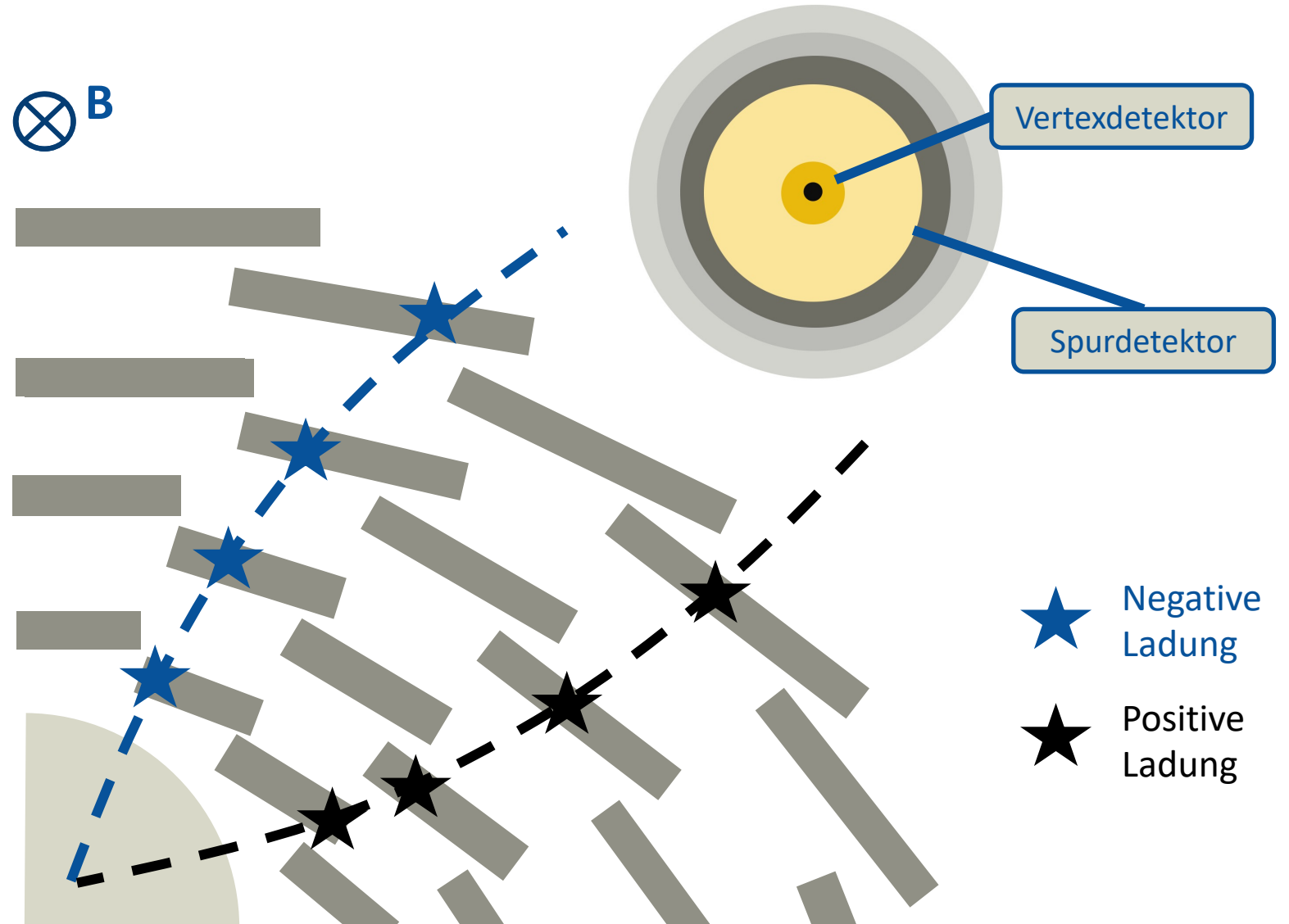
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale
- Daraus können Spuren rekonstruiert werden
- **Welche Ladung hat das blaue Teilchen?**



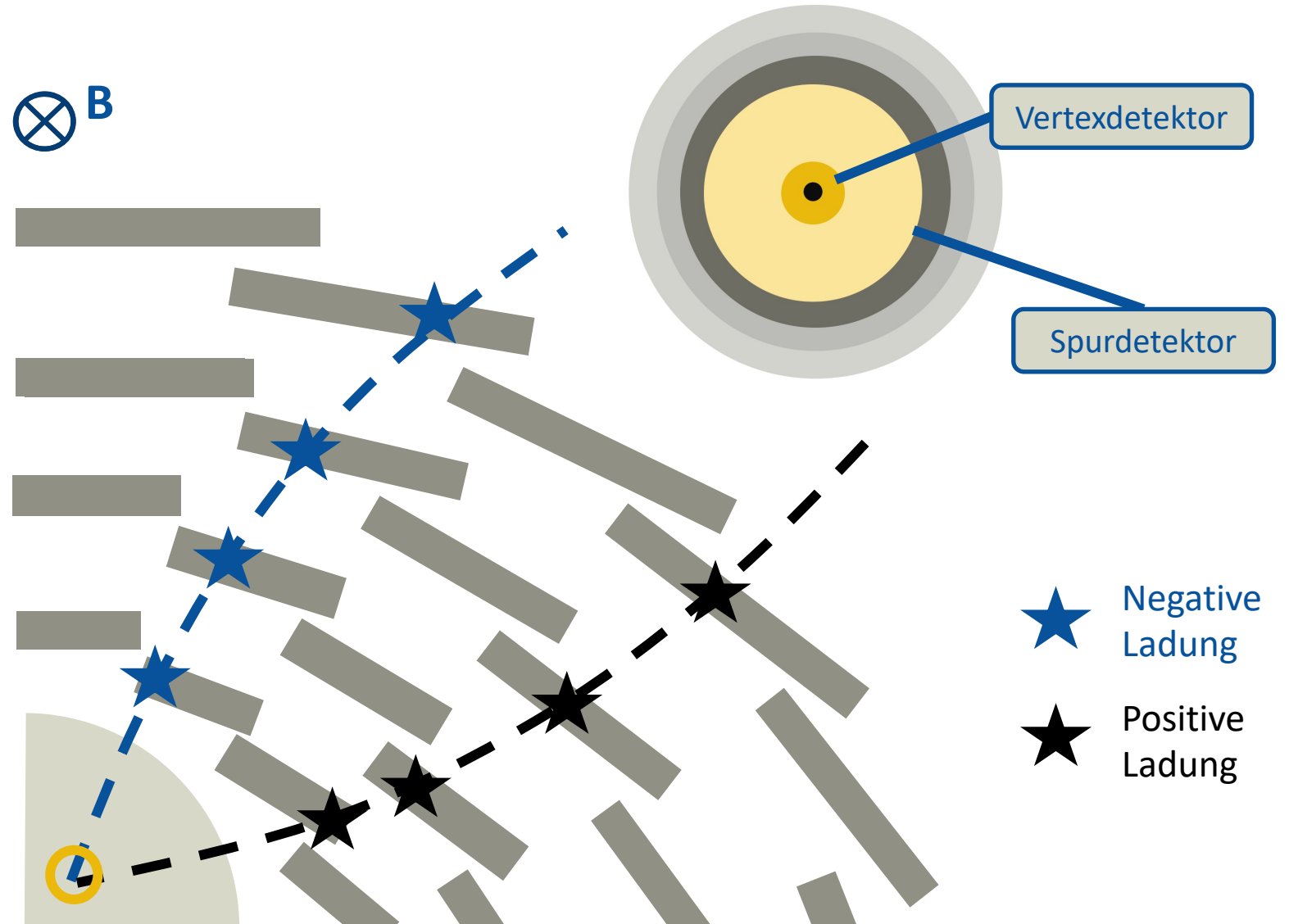
VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale
- Daraus können Spuren rekonstruiert werden
- Zusätzlich kann der Vertex definiert werden

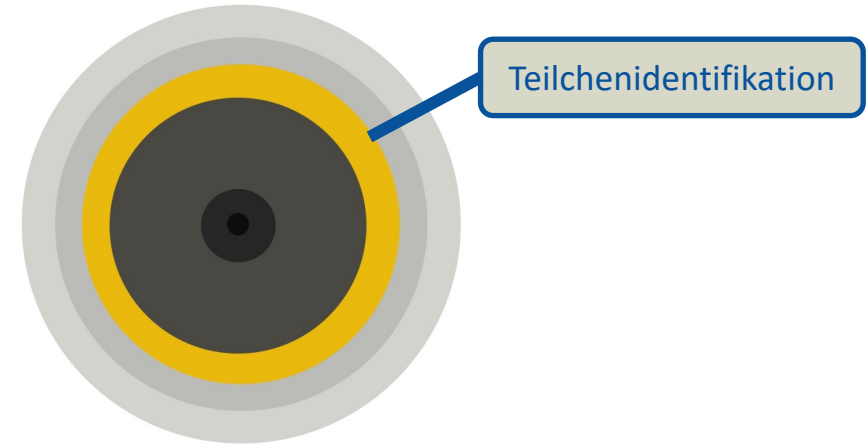


VERTEX- UND SPURDETEKTOR

- Geladene Teilchen hinterlassen elektrische Signale
- Daraus können Spuren rekonstruiert werden
- Zusätzlich kann der Vertex definiert werden



- Teilchen haben unterschiedliche Masse
- Gleiche Geschwindigkeit führt zu unterschiedlichen Impulsen: $p = mv$

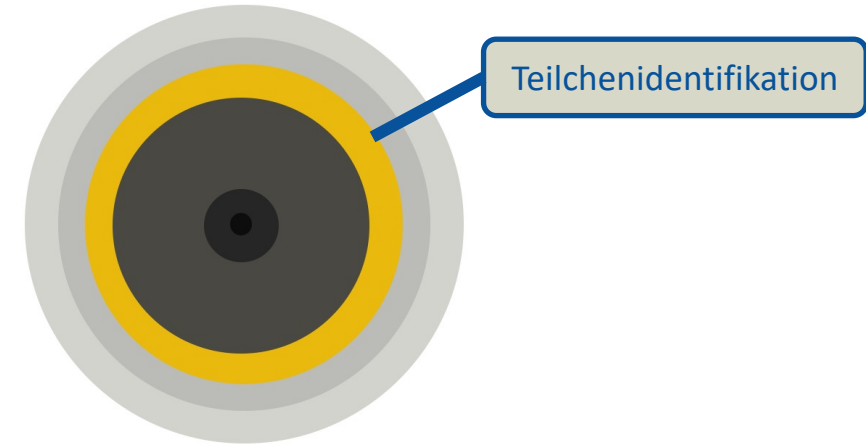


– Beispiel:

- Fußball, Tennisball, Golfball und Tischtennisball treffen eine Glasscheibe
- Bei gleicher Geschwindigkeit ganz unterschiedliche Schäden



- Teilchen haben unterschiedliche Masse
- Gleiche Geschwindigkeit führt zu unterschiedlichen Impulsen: $p = mv$

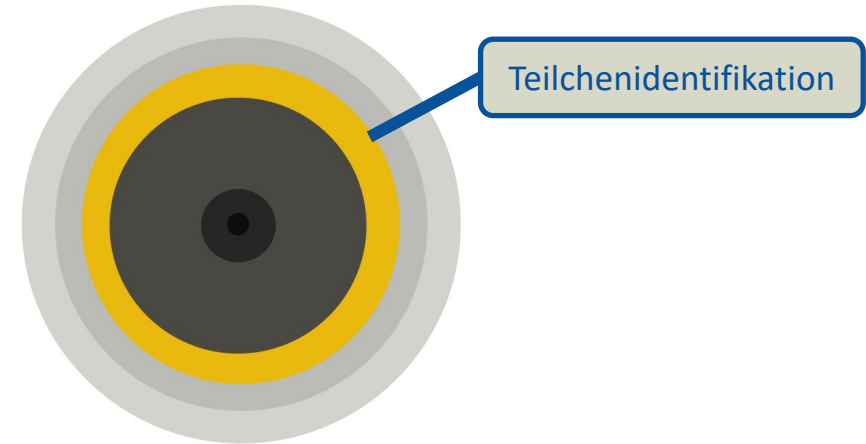


- **Welcher Ball hat wohl welchen Schaden verursacht?**

Fußball, Tennisball, Golfball und Tischtennisball

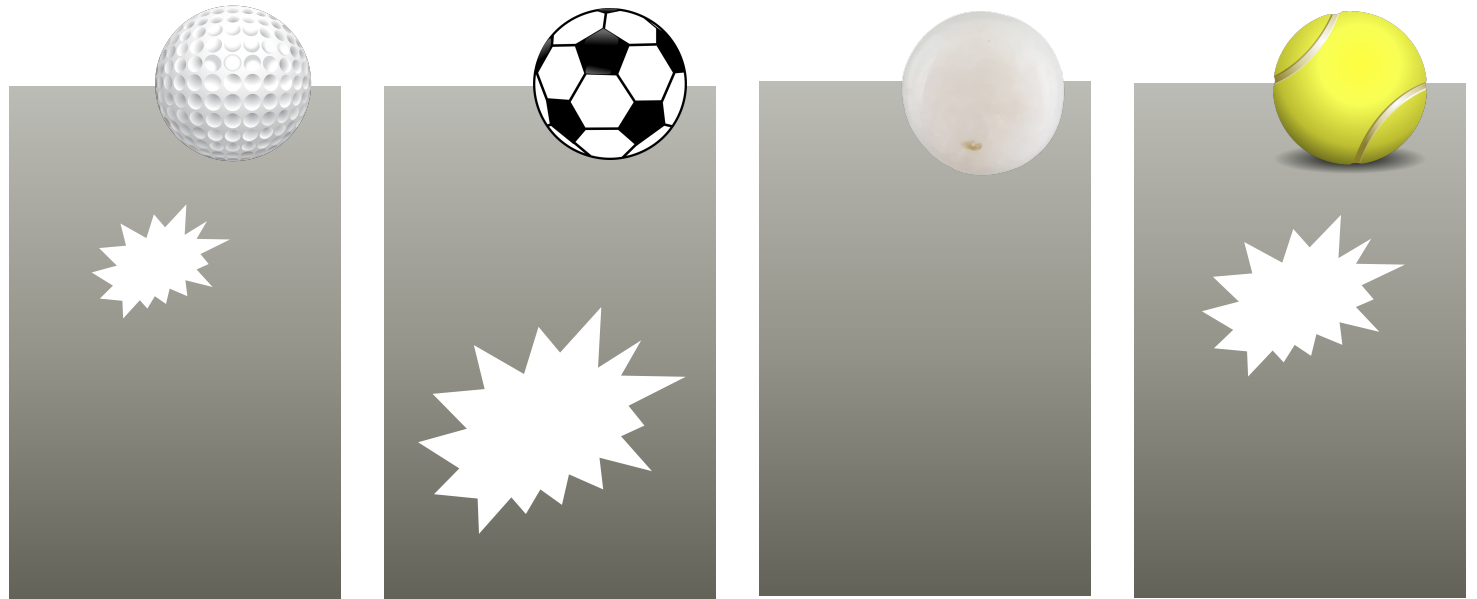


- Teilchen haben unterschiedliche Masse
- Gleiche Geschwindigkeit führt zu unterschiedlichen Impulsen: $p = mv$



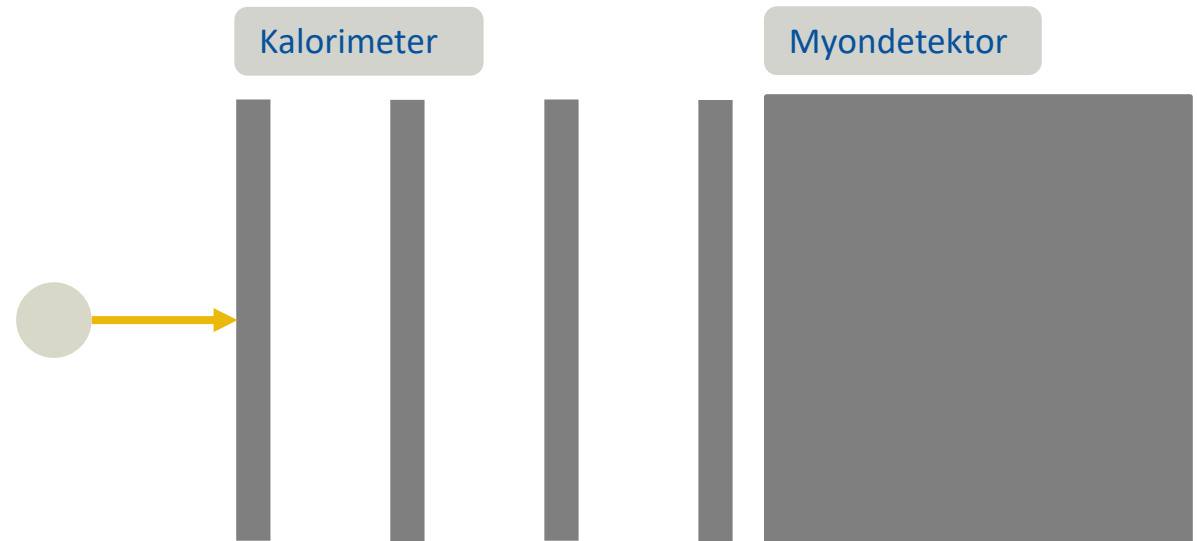
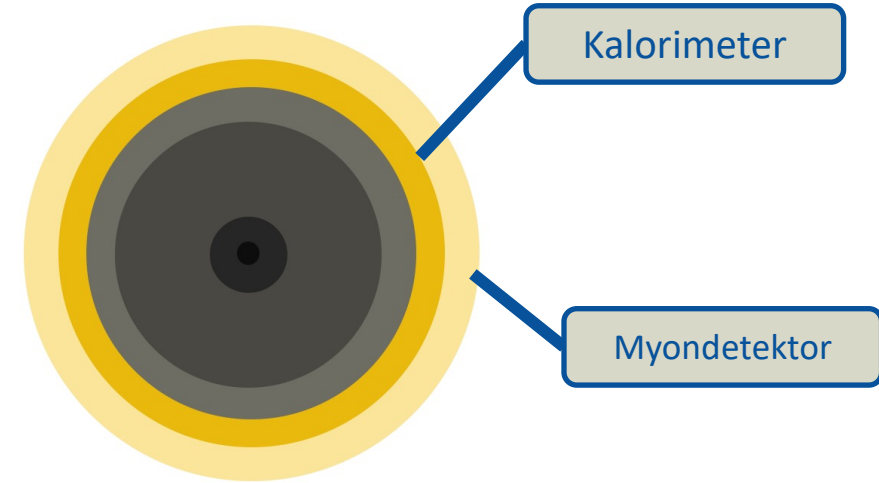
- **Welcher Ball hat wohl welchen Schaden verursacht?**

Fußball, Tennisball, Golfball und Tischtennisball



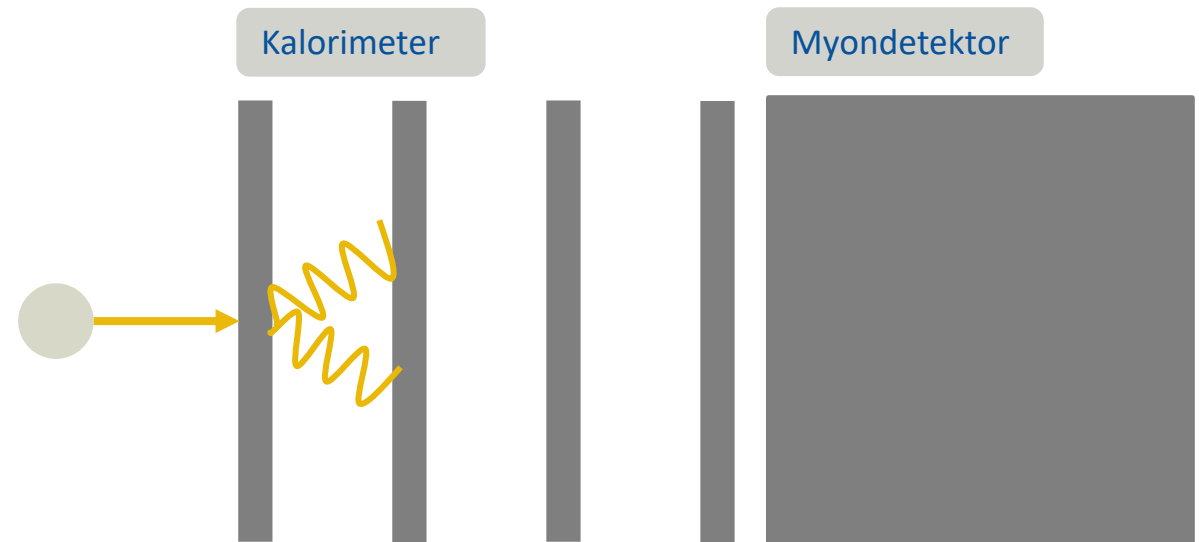
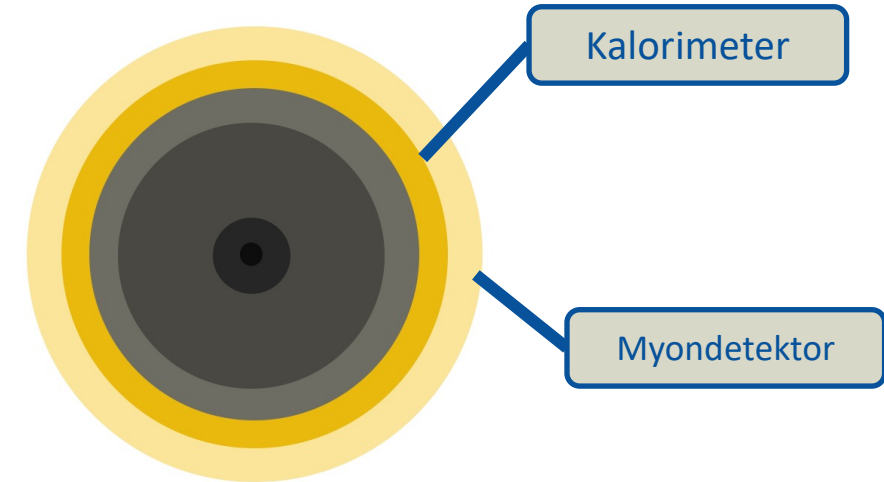
KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie



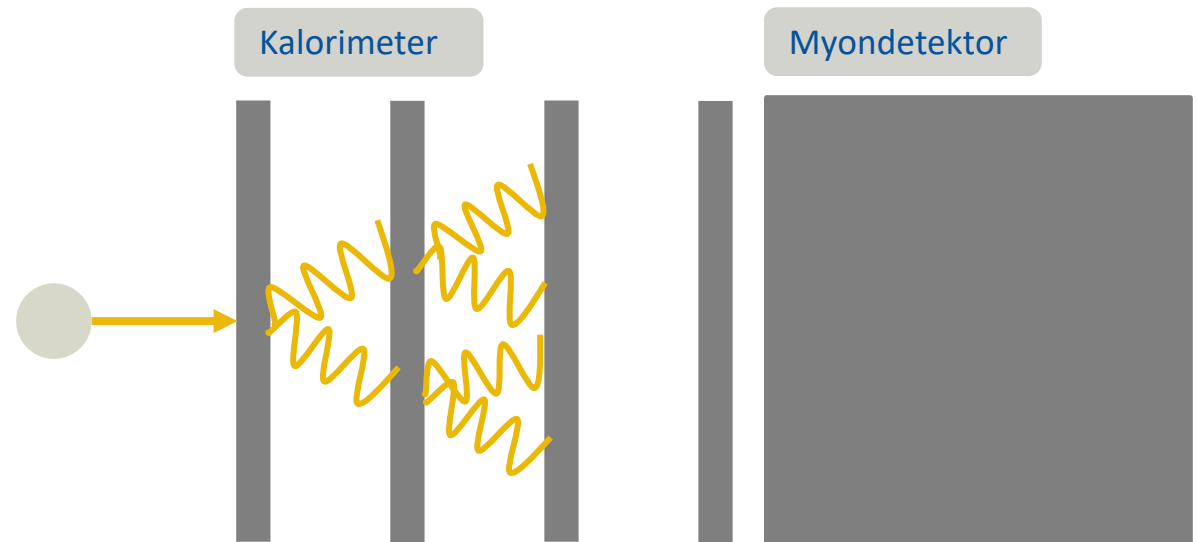
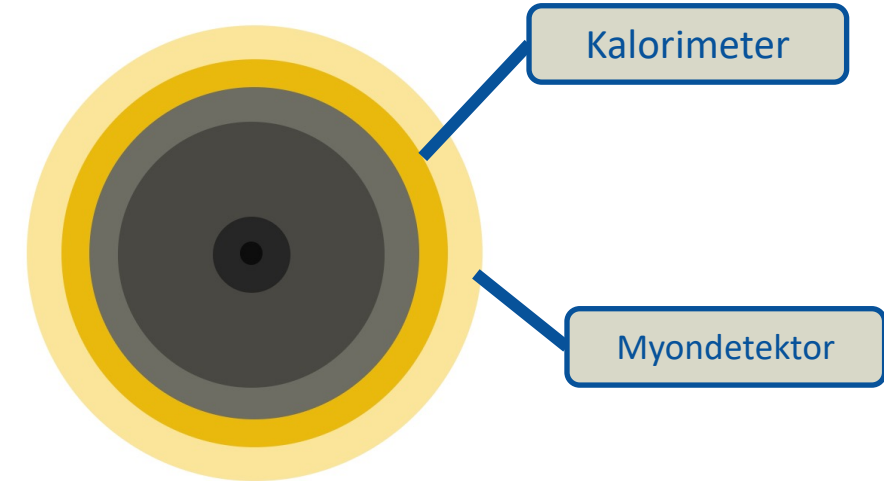
KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie



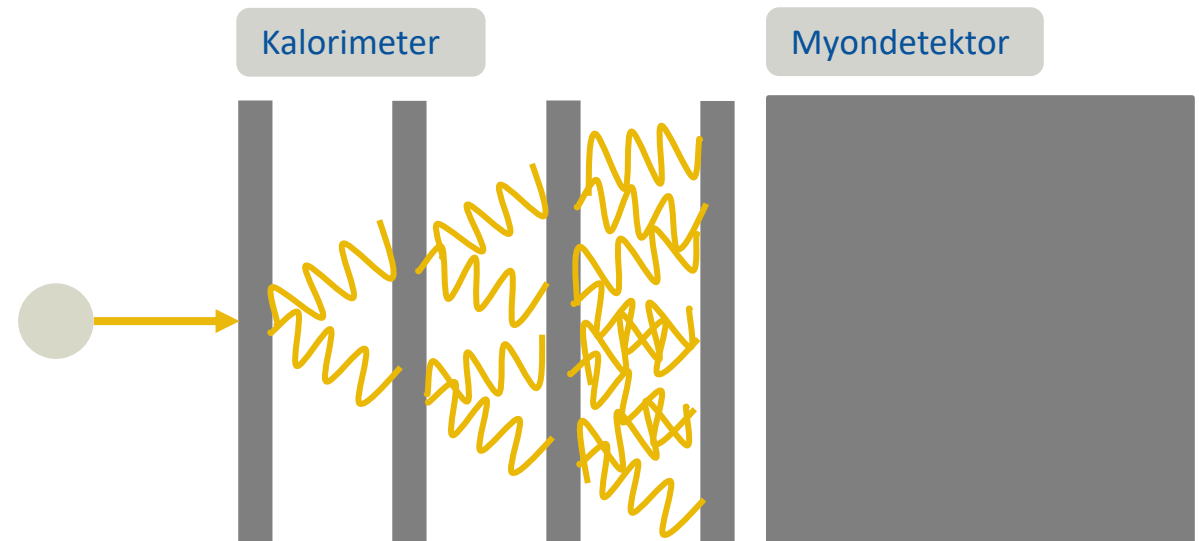
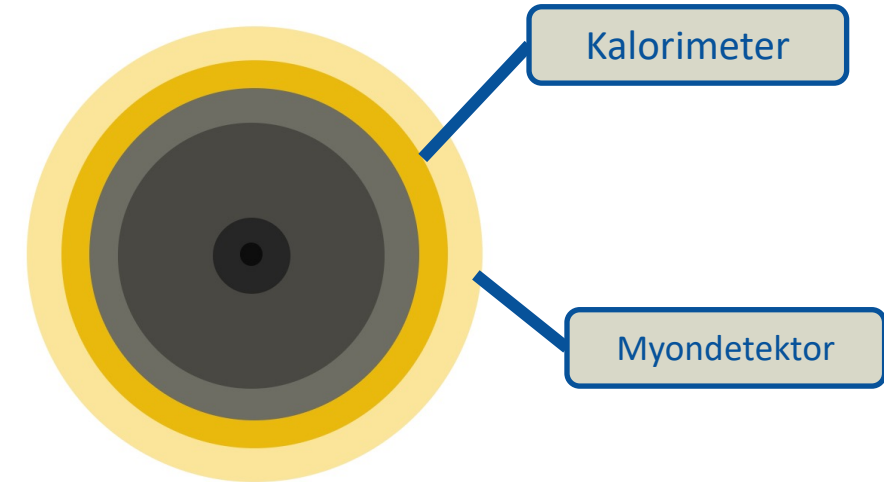
KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie



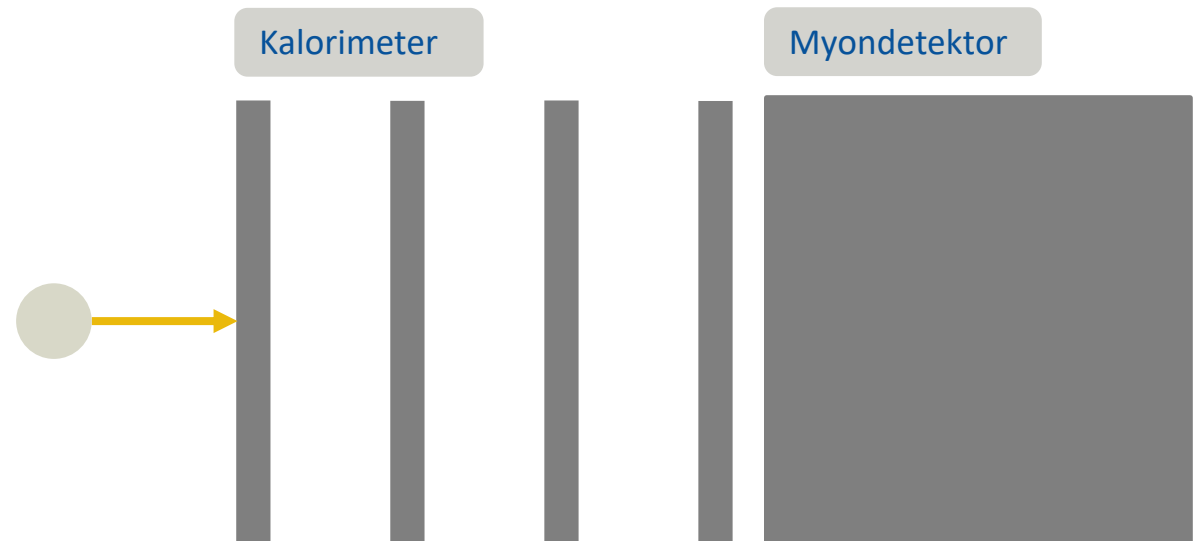
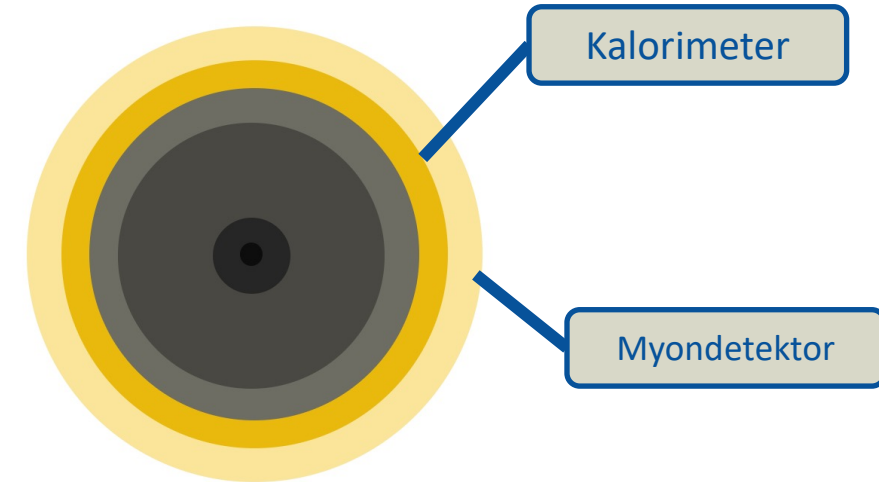
KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie
 - Und werden hier gestoppt



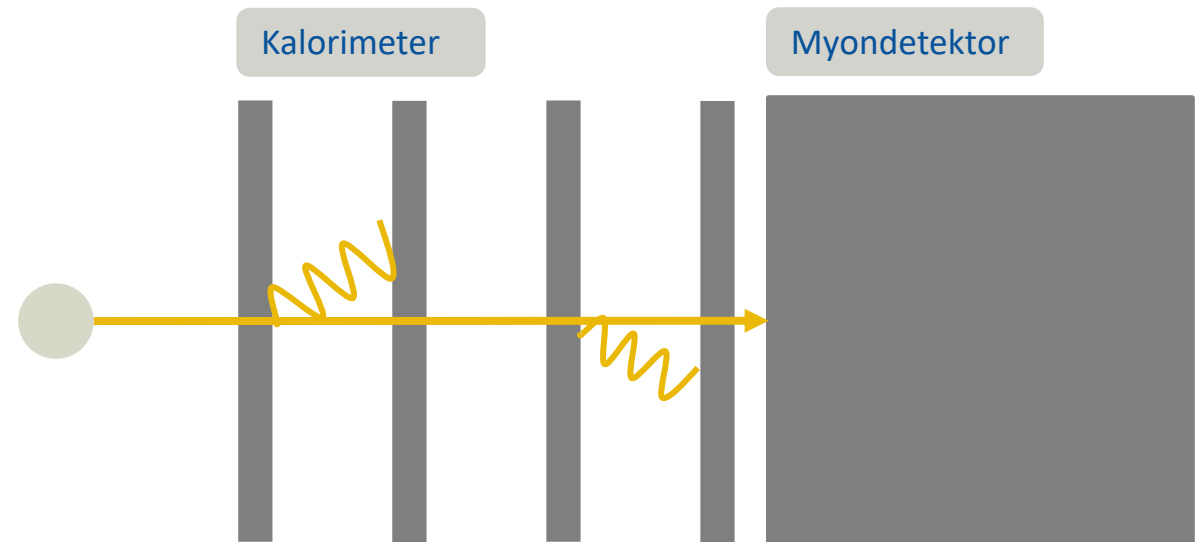
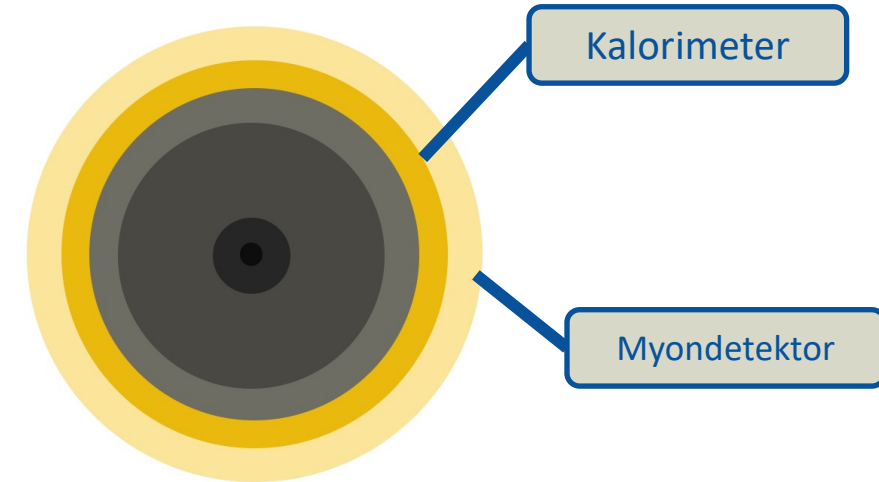
KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie
 - Und werden hier gestoppt
- Myondetektor:
 - Myonen interagieren kaum und verlassen das Kalorimeter



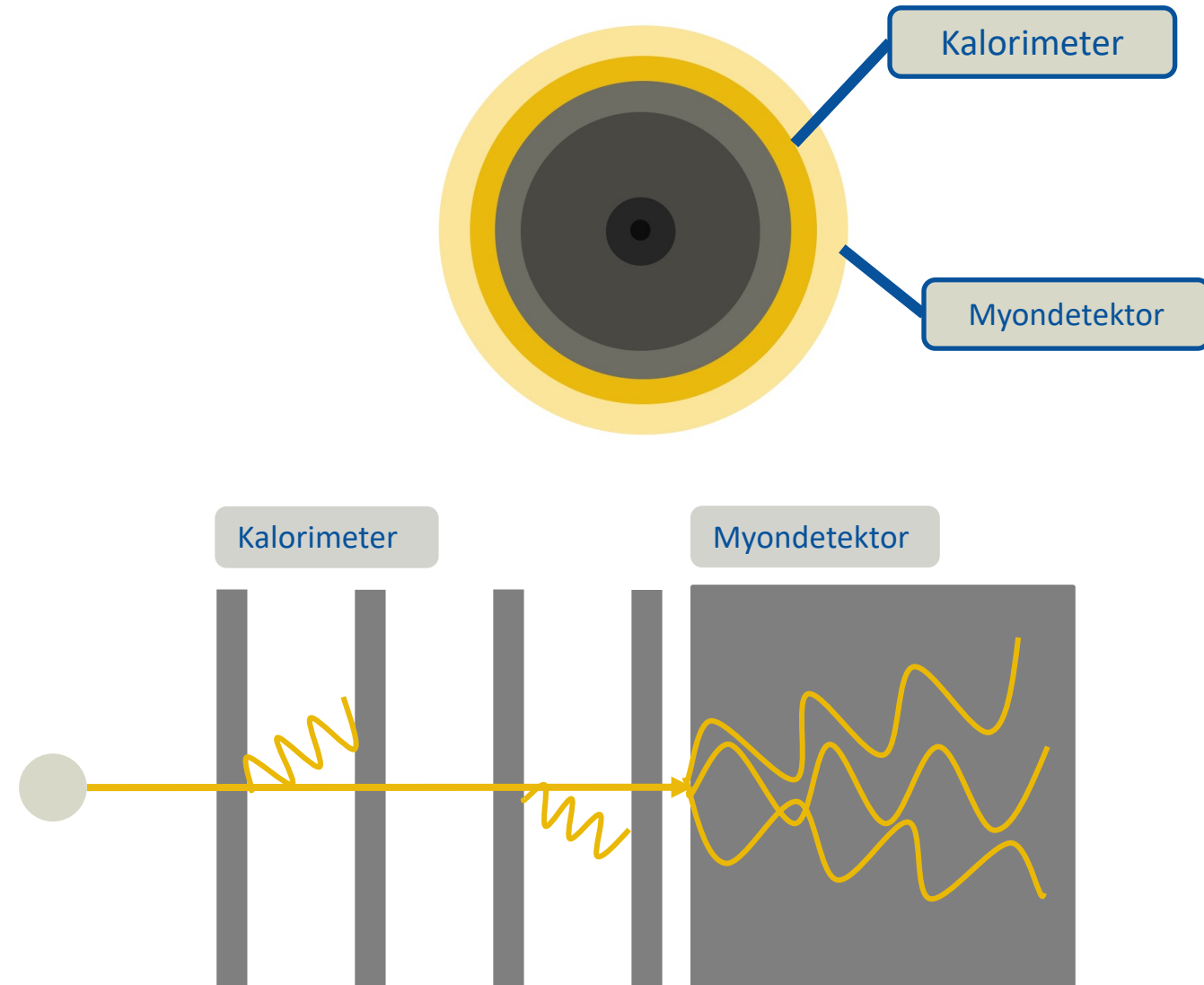
KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie
 - Und werden hier gestoppt
- Myondetektor:
 - Myonen interagieren kaum und verlassen das Kalorimeter



KALORIMETER UND MYONDETEKTOR

- Kalorimeter:
 - Die meisten Teilchen verlieren gesamte Energie
 - Und werden hier gestoppt
- Myondetektor:
 - Myonen interagieren kaum und verlassen das Kalorimeter
 - Hinterlassen Signal im Myondetektor



UND WAS MACHEN WIR MIT DIESEN SIGNALEN?

1. Sammeln die Signale
2. Rekonstruieren das Ereignis
3. Wiederholen dies so oft es geht

Warum reicht es nicht ein Event zu finden?

- Es gibt statistische Schwankungen
- Jede Messung beinhaltet Messfehler
- Je mehr Messpunkte desto kleiner der Fehler

Danke für eure Aufmerksamkeit!
