

Im Gegensatz zu einem Linearbeschleuniger wird die Baugröße sehr kompakt, wenn man die Teilchen in Kurven fliegen lässt, dies gelingt mit Hilfe eines Magnetfeldes. Alle jeweils gleich gepolten Röhren des Linearbeschleunigers (also jede zweite) werden dabei zu einem halben Hohlzylinder (D) zusammengefasst.

a) Ein positives Ion wird aus einer Quelle am Rand des linken D's freigesetzt. Markiere im ersten Bild die Polung, mit der das Ion am Spalt nach rechts beschleunigt wird.

b) Im Inneren der D's existiert kein elektrisches, aber ein magnetisches Feld. Zeichne die Bahn des Ions innerhalb des rechten D's.

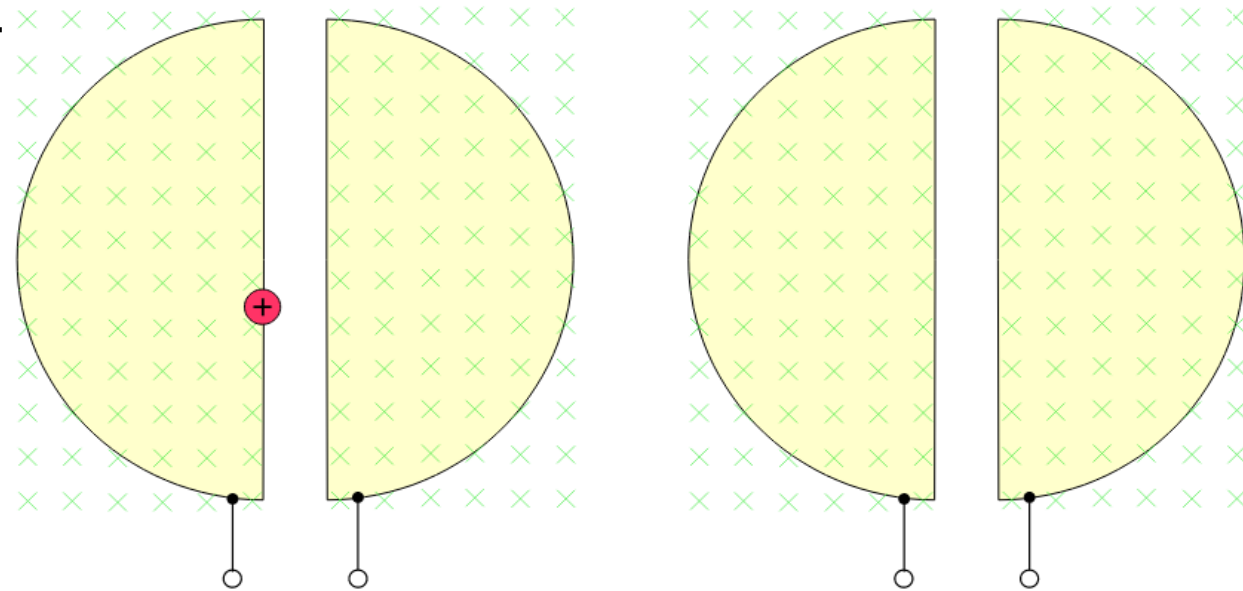
c) Gib im zweiten Bild die nötige Polung an für den Moment, an dem das Ion den Spalt erreicht.

d) Leite aus einer Kraftbetrachtung Formeln für den Radius des Halbkreises und die Flugdauer dafür her.

## 3.7 Teilchenbeschleuniger

### Das Zyklotron

#### Aufbau:



#### Bahnradius:

#### Flugdauer:

***Zeichne die gesamte Flugbahn des Ions (mit mehreren Umläufen) ein. Zum Verlassen erfolgt typischerweise ein elektrostatischer "Kick", der das Ion aus dem magnetischen Feld katapultiert.***

***Im Kapitel 2.3 haben wir relativistische Effekte kennengelernt, die bei hohen Energien (Geschwindigkeiten) auftreten. Erläutere die Probleme, die diese für das Zyklotron mit sich bringen.***

***Die meisten Zyklotrons werden deshalb nur für Geschwindigkeiten bis  $0,1 c$  betrieben. Starke Magnetfelder liegen typisch im Bereich von wenigen Tesla (ca.  $2 - 3 \text{ T}$ ). Schätze die Baugröße eines Zyklotrons ab, wenn man kleinere Ionen (z.B. Sauerstoff) bis  $0,1 c$  beschleunigen möchte.***

## gesamte Flugbahn im Zyklotron

Eine Animation gibt's auf Leifphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre - Bewegte Ladungen in Feldern - Ausblick - Zyklotron.**

## Probleme bei hohen Energien

## Aufgabe: Dimensionierung des Geräts

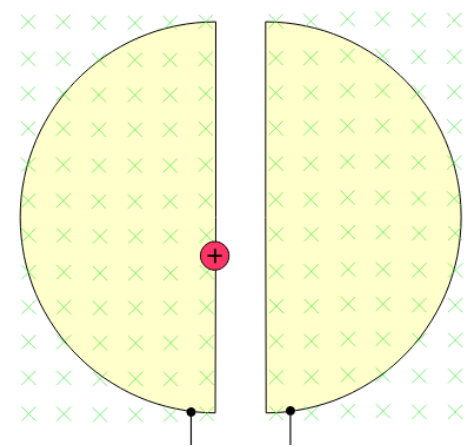


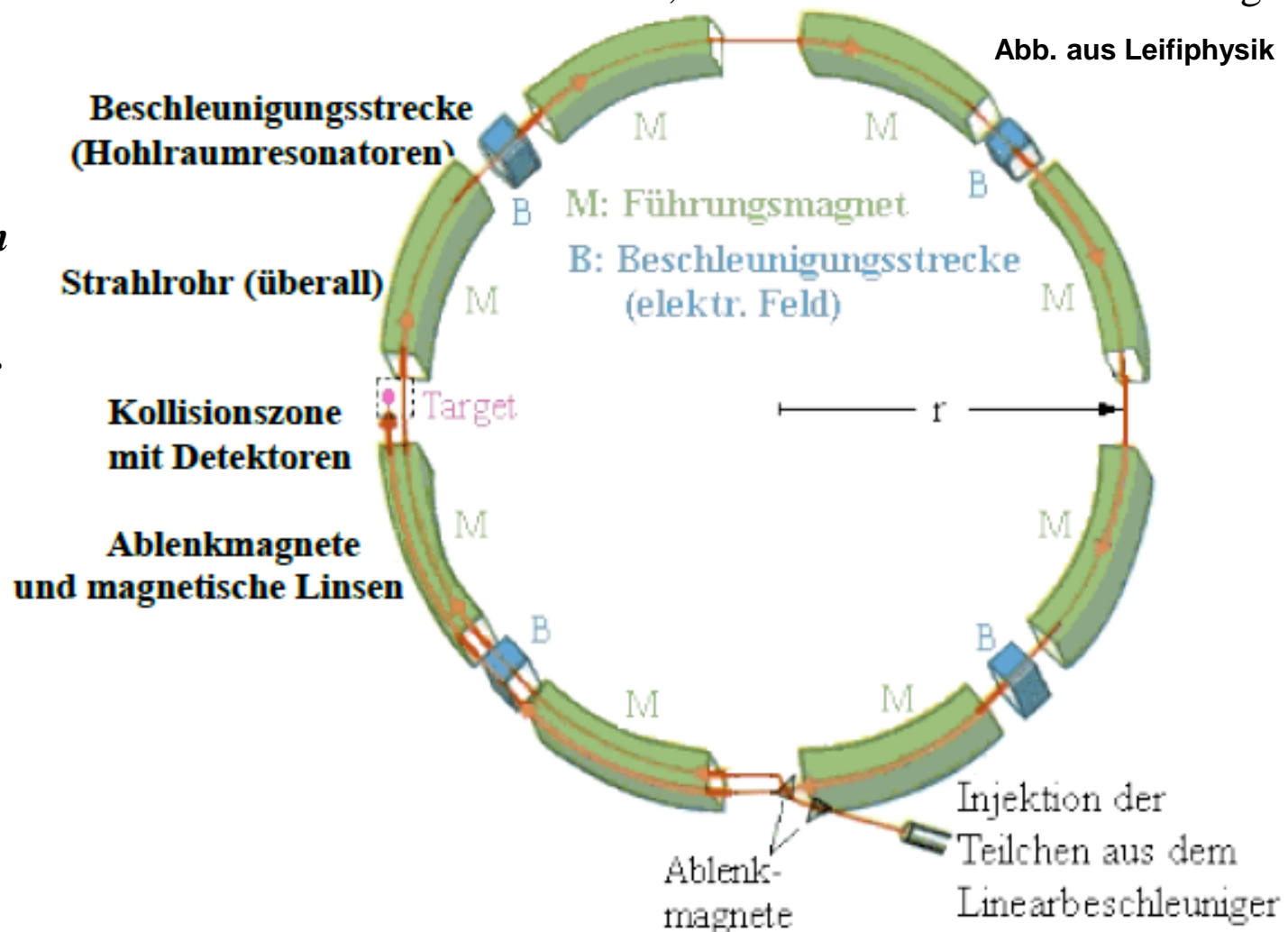
Abb. aus Leifphysik

Man denkt beim Synchrotron zunächst an einen aufgewickelten Linearbeschleuniger. Im Gegensatz zu diesem behalten die Rohrabschnitte hier aber ihre feste Länge, stattdessen wird das Timing für die Beschleunigungsfelder an die zunehmende Geschwindigkeit der Teilchen angepasst (synchronisiert), das gleiche gilt für das Timing und die Stärke der Ablenkmagnete.

1. **Strahlrohr** (etwa handteller-groß): hier bewegen sich die Teilchen im Vakuum.
2. **Injektor**: hier werden die Ionen erzeugt und in das Ringsystem eingebracht.
3. **Beschleunigungsstrecken**: hier werden die Teilchen mit elektrischen Feldern beschleunigt.
4. **Ablenkmagnete**: Die Lorenz-kraft sorgt für Ablenkung.
5. **Magnetische Linsen**: bündeln die Teilchen, die sich abstoßen.
6. **Kollisionszone**: Aufprall der Teilchen auf andere Teilchen erlaubt deren Untersuchung.

## Synchrotron

Für hohe Energien wird es zunehmend ....., die Teilchen auf Kurven abzulenken, da sowohl ....., als auch ..... größer werden. Man macht deshalb den Radius der Flugbahn ..... . Wie beim Linearbeschleuniger verwendet man ....., in denen sich die Teilchen bewegen.



*Diese Aufgabe findest Du auf Leifiphysik unter Suchbegriff*

**Synchrotron.**

*In einem Synchrotron bewegen sich Protonen durch das homogene Feld von Elektromagneten auf einer kreisförmigen Bahn mit Radius  $r = 100 \text{ m}$ . Elektrische Felder beschleunigen die Protonen bei jedem Umlauf, bis sie fast Lichtgeschwindigkeit erreichen.*

*a) Wie kann man erreichen, dass die Protonen trotz zunehmender Geschwindigkeit auf derselben Kreisbahn bleiben?*

*b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit eines Protons, wenn es erstmals  $1,0 \cdot 10^5 \text{ V}$  durchlaufen hat.*

*c) Berechnen Sie die Gesamtenergie, wenn  $v = 2,62 \cdot 10^8 \text{ m/s}$  erreicht ist. Um wieviel Prozent hat sich die Masse erhöht? [Kontr.  $E = 1,93 \text{ GeV}$ ]*

*d) Bestimmen Sie die Flussdichte  $B$  für die Geschwindigkeit in c).*

**Selbst-Check:**

- Aufbau Zyklotron
- Radius und Umlaufdauer
- Aufbau Synchrotron
- relativistische Berechnungen

### Übungsmöglichkeiten:

Auf Leifiphysik findest Du weitere Aufgaben zu Teilchenbeschleunigern unter den Suchbegriffen **Zyklotron** und **Synchrotron**.