

# Polarisierte Elektronen

## für die Hadronen- und Kernphysik

*Wolfgang Hillert*

**Elektronen-Stretcher Anlage**

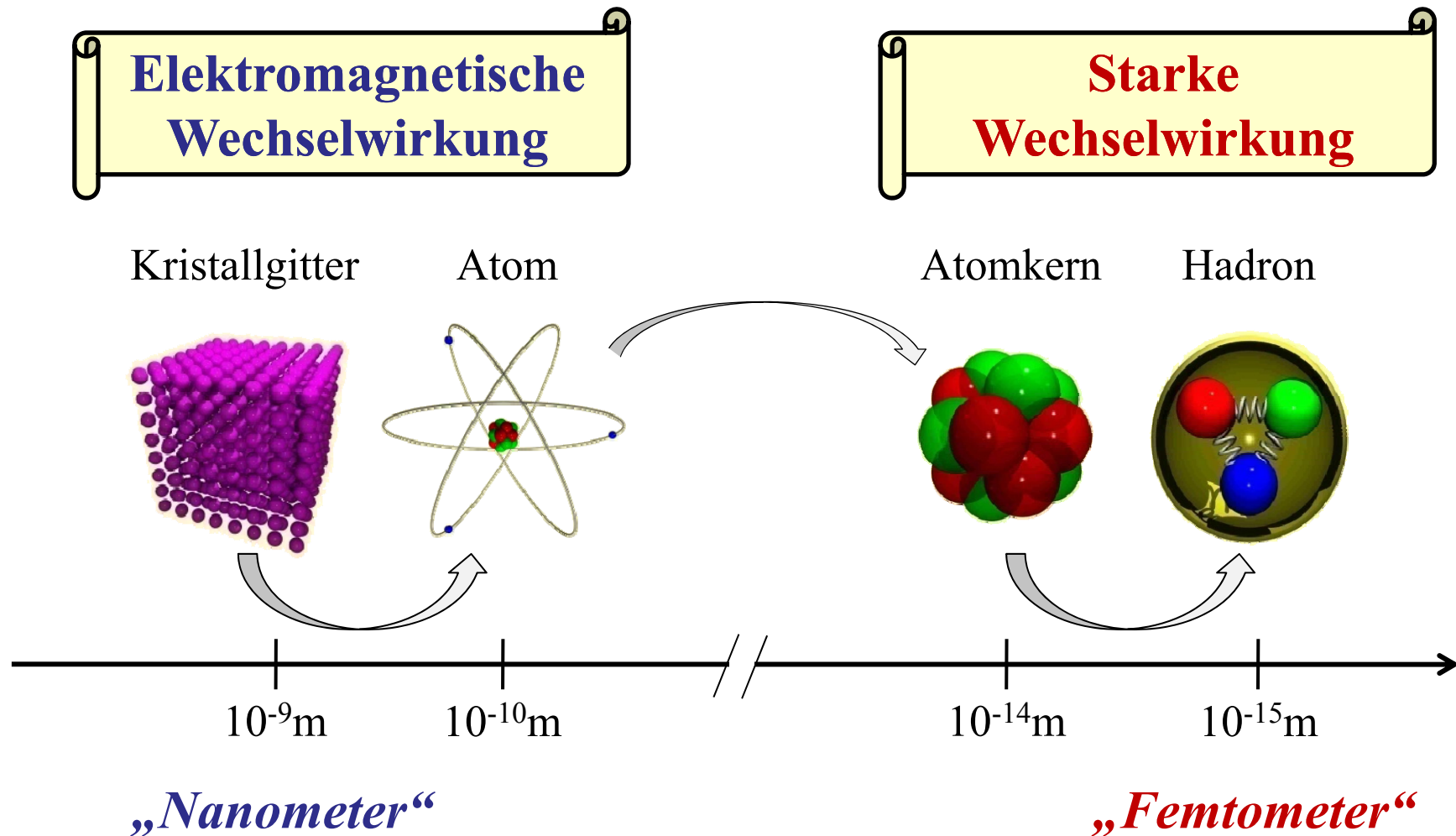


Physikalisches Institut der Universität Bonn

# Drei einfache Fragen:

- **Wozu braucht** man polarisierte Elektronen?
- **Wie erzeugt** man polarisierte Elektronen?
- **Wie beschleunigt** man polarisierte Elektronen?

# Aufbau der Materie



# Baryonen - Spektroskopie

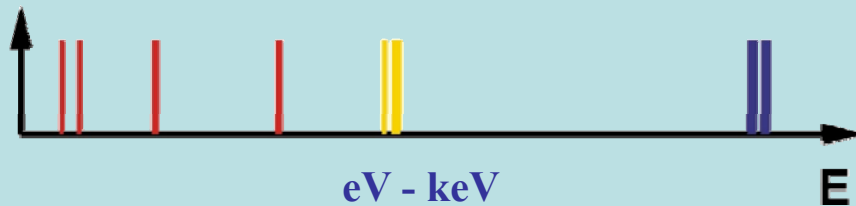
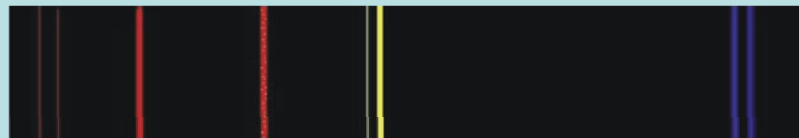
## Atomphysik



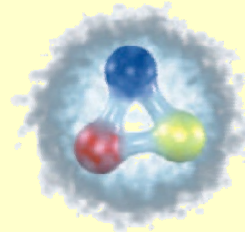
Atom:  $10^{-10}$  m

Anregung mit Photonen:

**Linienpektrum**



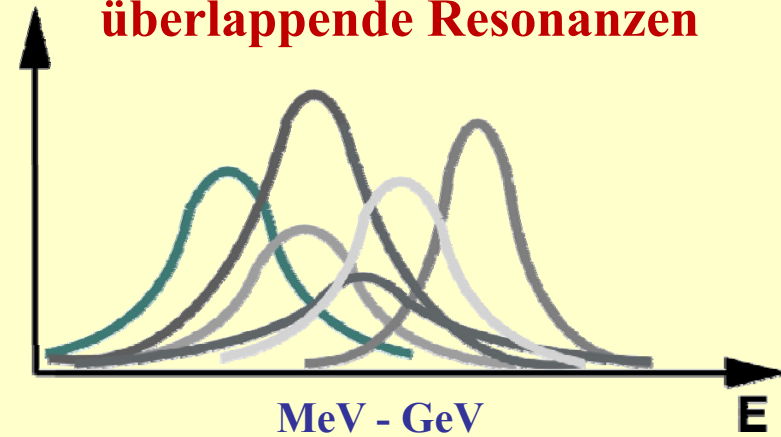
## Hadronenphysik



Hadron:  $10^{-15}$  m

Anregung mit Photonen:

**überlappende Resonanzen**

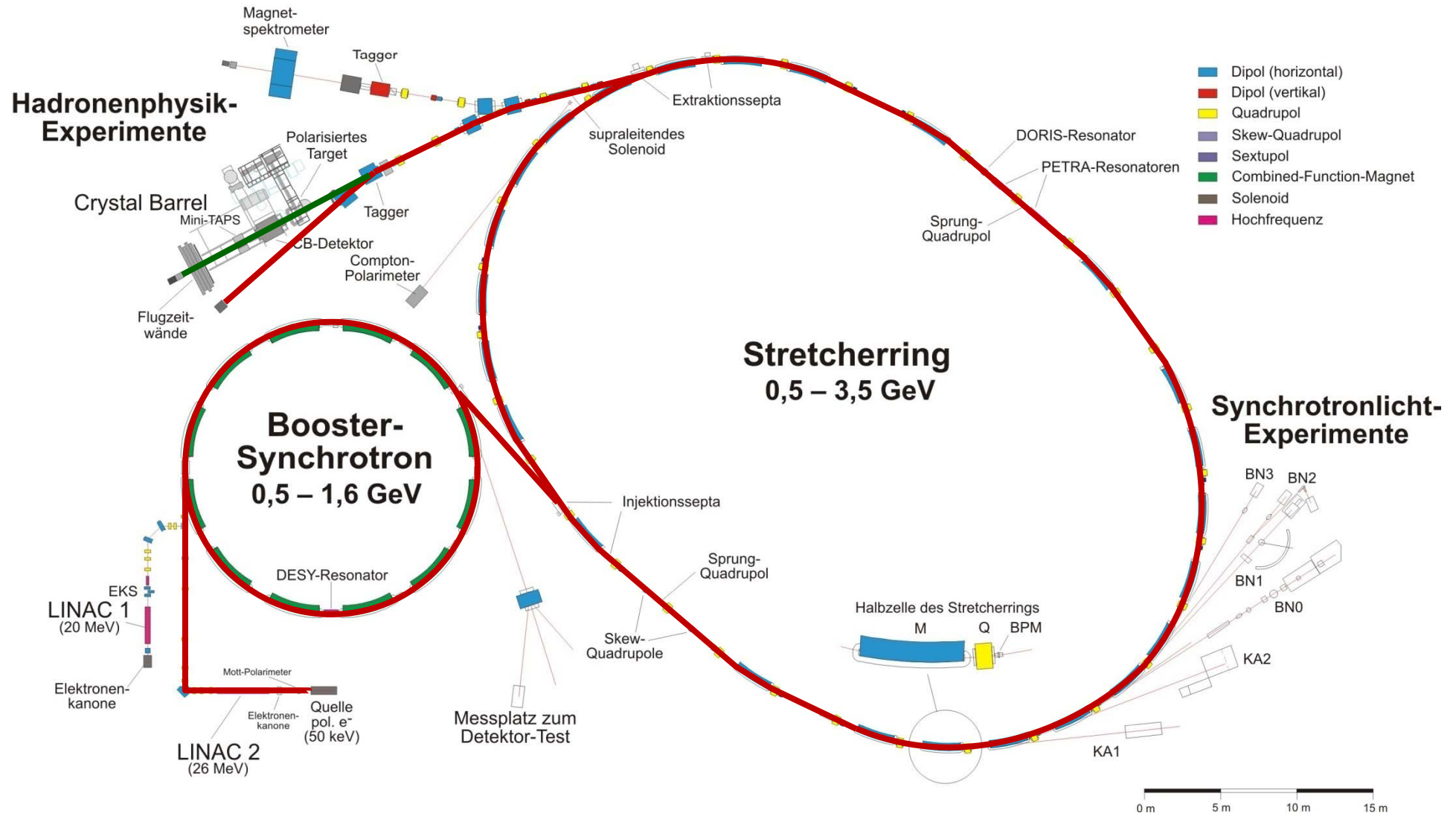


Linienbreite aus  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$

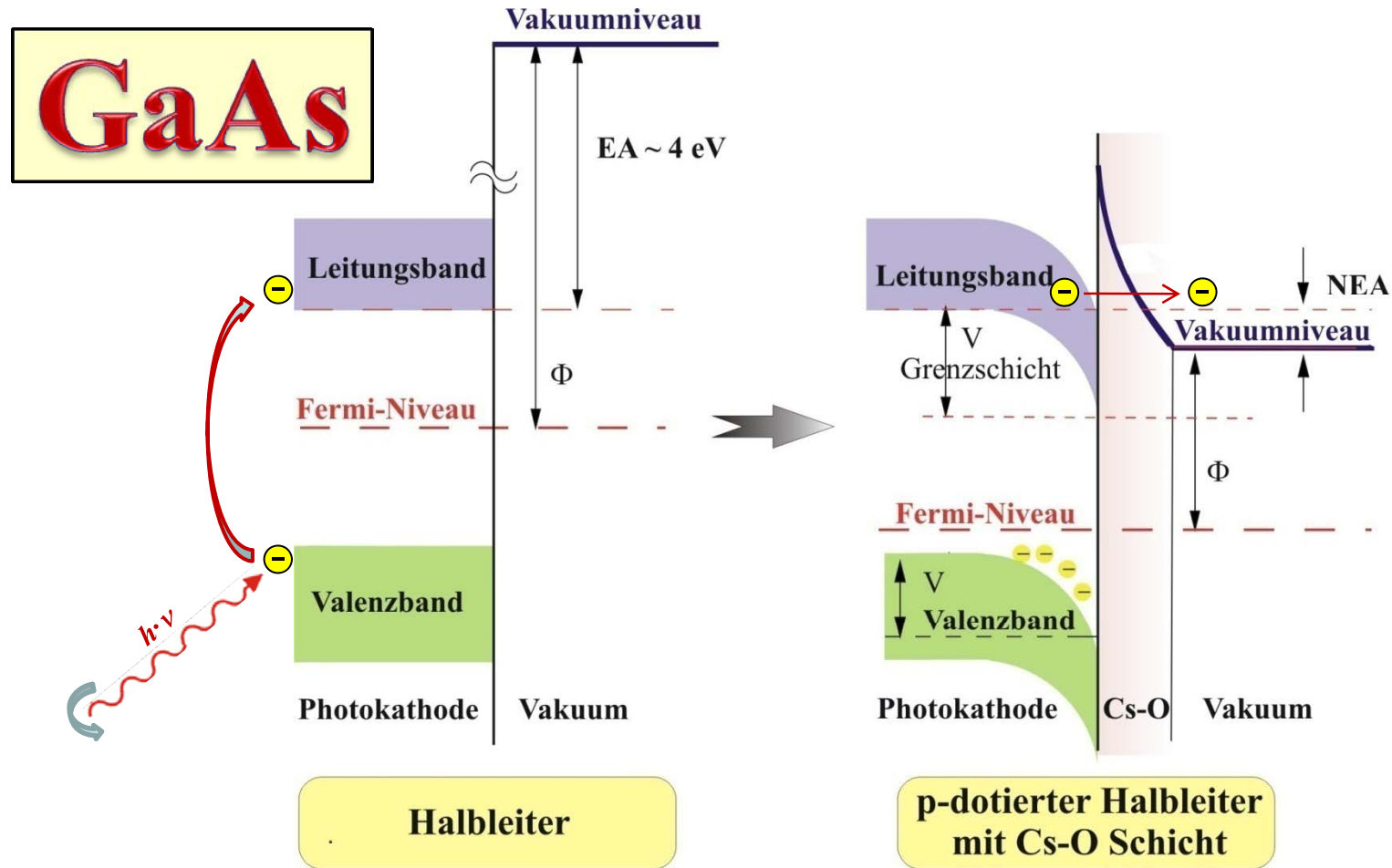
→

**Doppelpolarisationsexperimente**

# Elektronen-Stretcher-Anlage (ELSA)



# Erzeugung polarisierter Elektronen



Reinigung und Bedampfung im extremen UHV

Lebensdauer 100 h  $\leftrightarrow$   $P(\text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2) < 10^{-12}$  mbar

# Quelle polarisierter Elektronen



## Besonderheiten:

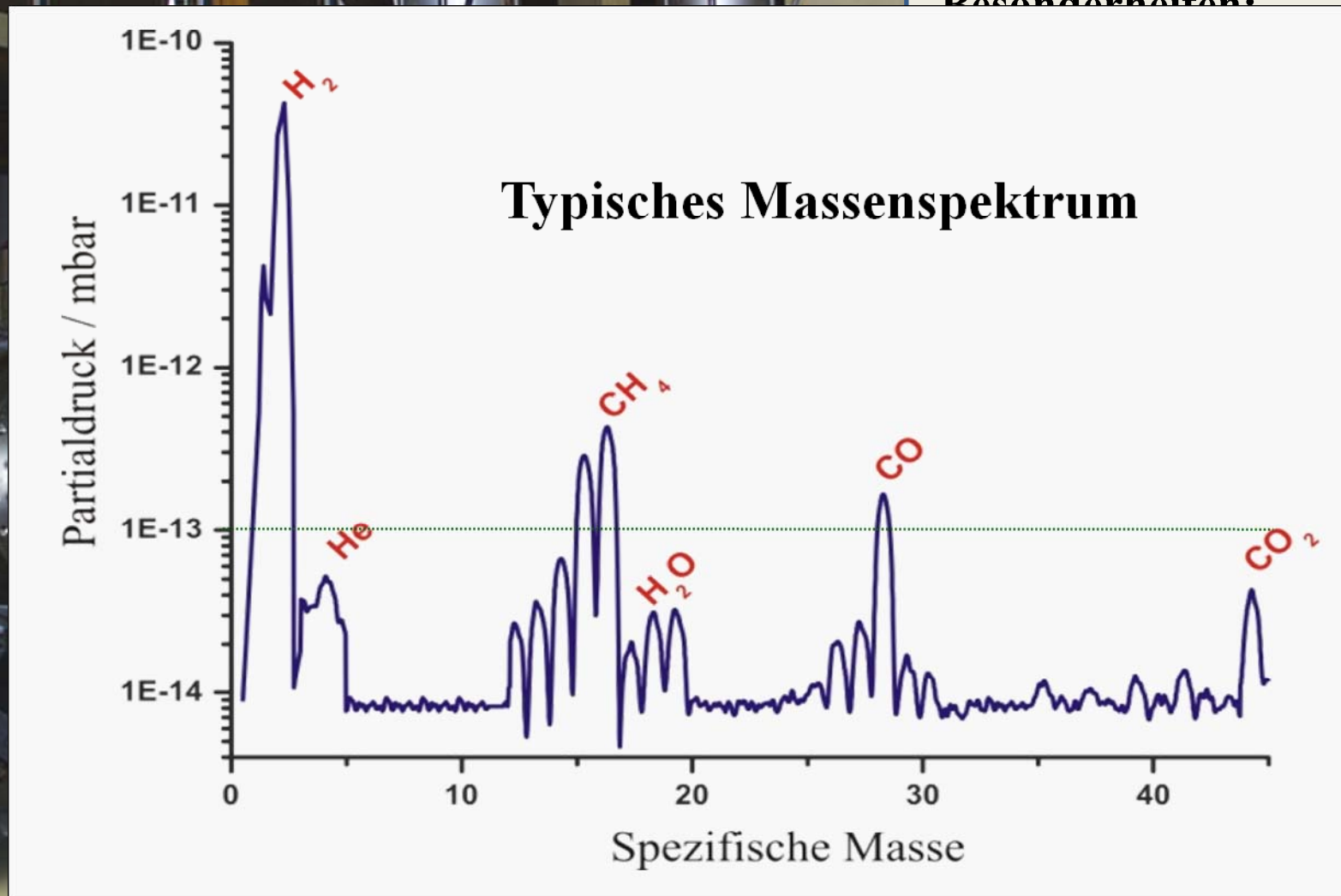
- invertierte HV-Geometrie
- einstellbare Perveanz
- Schleusensystem

## Betriebsparameter:

Strahlenergie:	48 keV
Strahlstrom:	120 mA
Wiederholrate:	50 Hz
Polarisation:	≈80%
Lebensdauer:	>3000 h
Photokathode:	GaAs/GaAsP

# Quelle polarisierter Elektronen

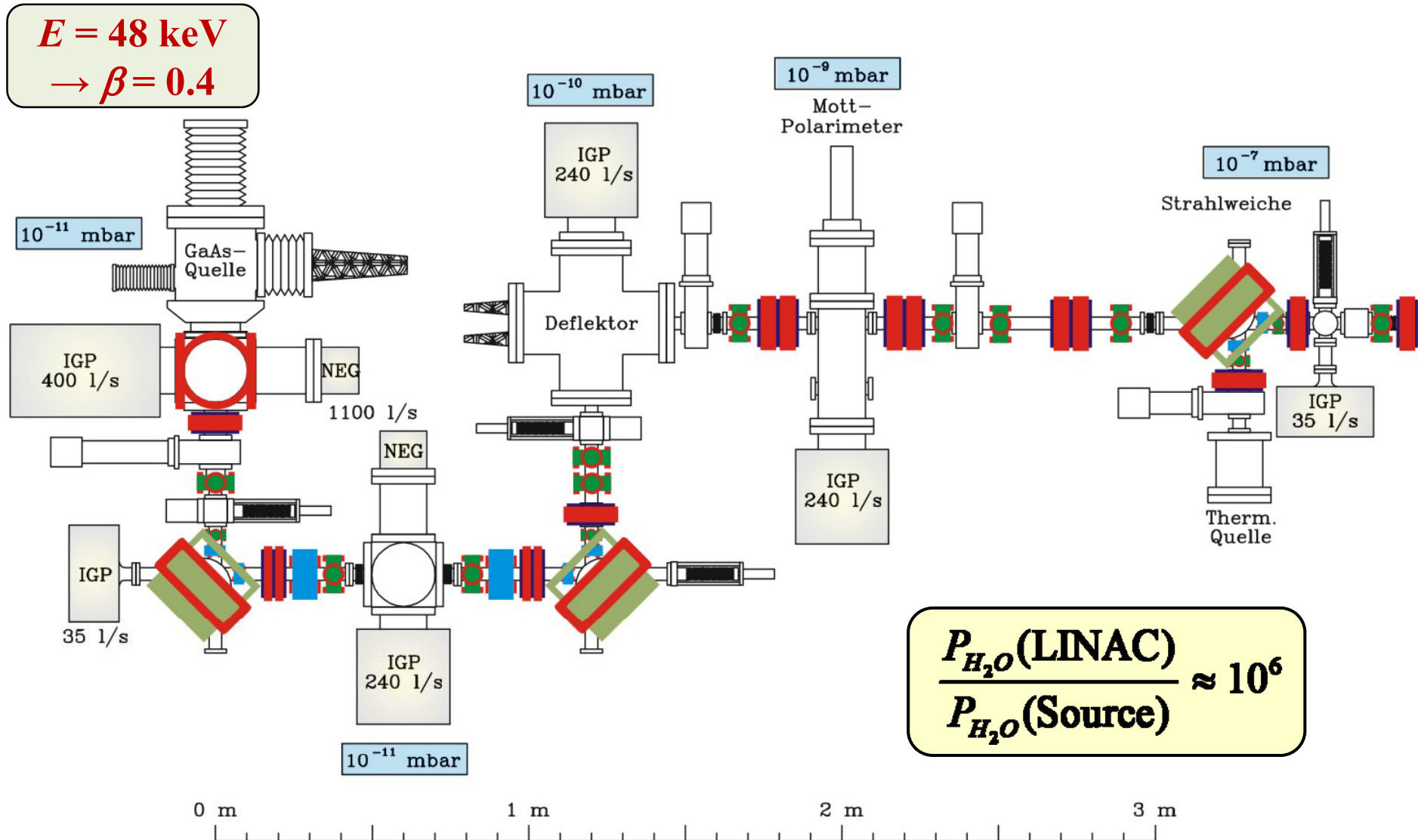
Resonanzen:



Photokathode: GaAs/GaAsP

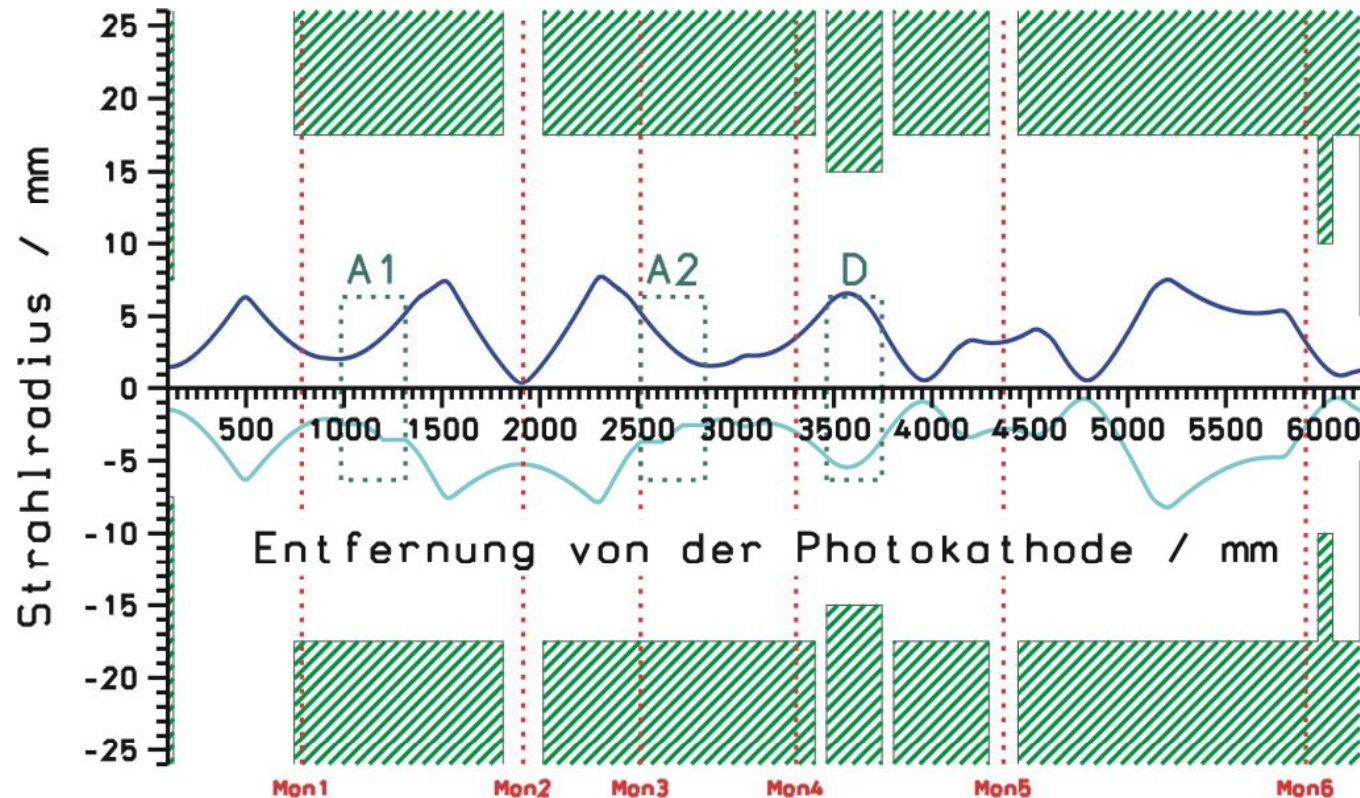


# Strahlführung zum LINAC



# Raumladungsdominierter Strahltransport

Quelle



LINAC

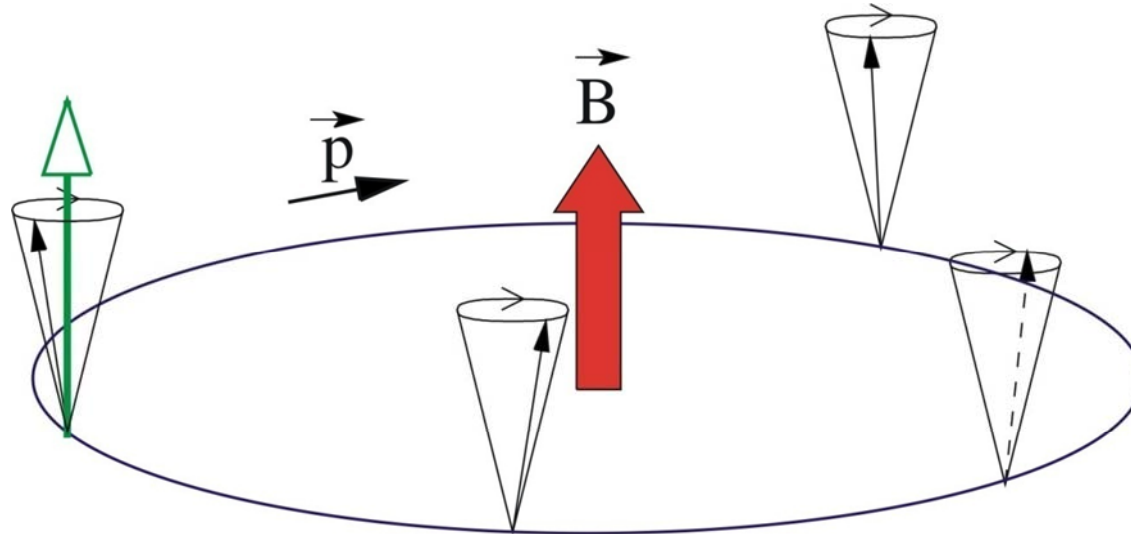
$$\frac{d^2x}{ds^2} + \{k_x(s) + S(s) + T(s)\} \cdot x - \frac{\epsilon_x^2}{x^3} - \frac{2\zeta}{x+y} = 0$$

$$\frac{d^2y}{ds^2} + \{k_y(s) + S(s) + T(s)\} \cdot y - \frac{\epsilon_y^2}{y^3} - \frac{2\zeta}{x+y} = 0$$

**Transfereffizienz**  
**> 99%**

# Spin-Präzession

Spin-Arbeitspunkt:  $Q_{sp} = \gamma a, \quad a = \frac{g-2}{2}$

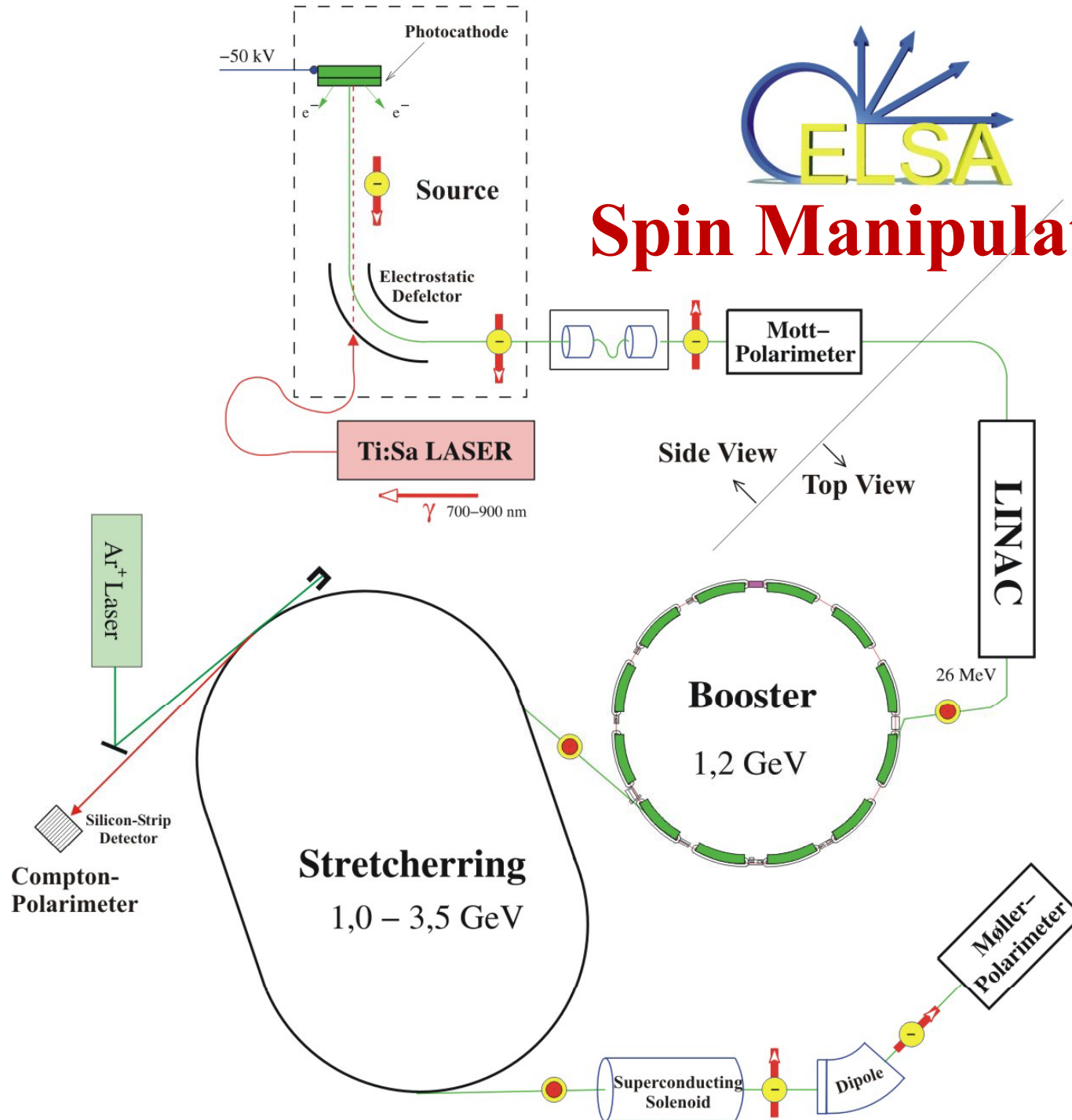


$$\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{S} \quad \vec{\Omega}^* = -\frac{e}{m_0} (1+a) \cdot \vec{B}$$

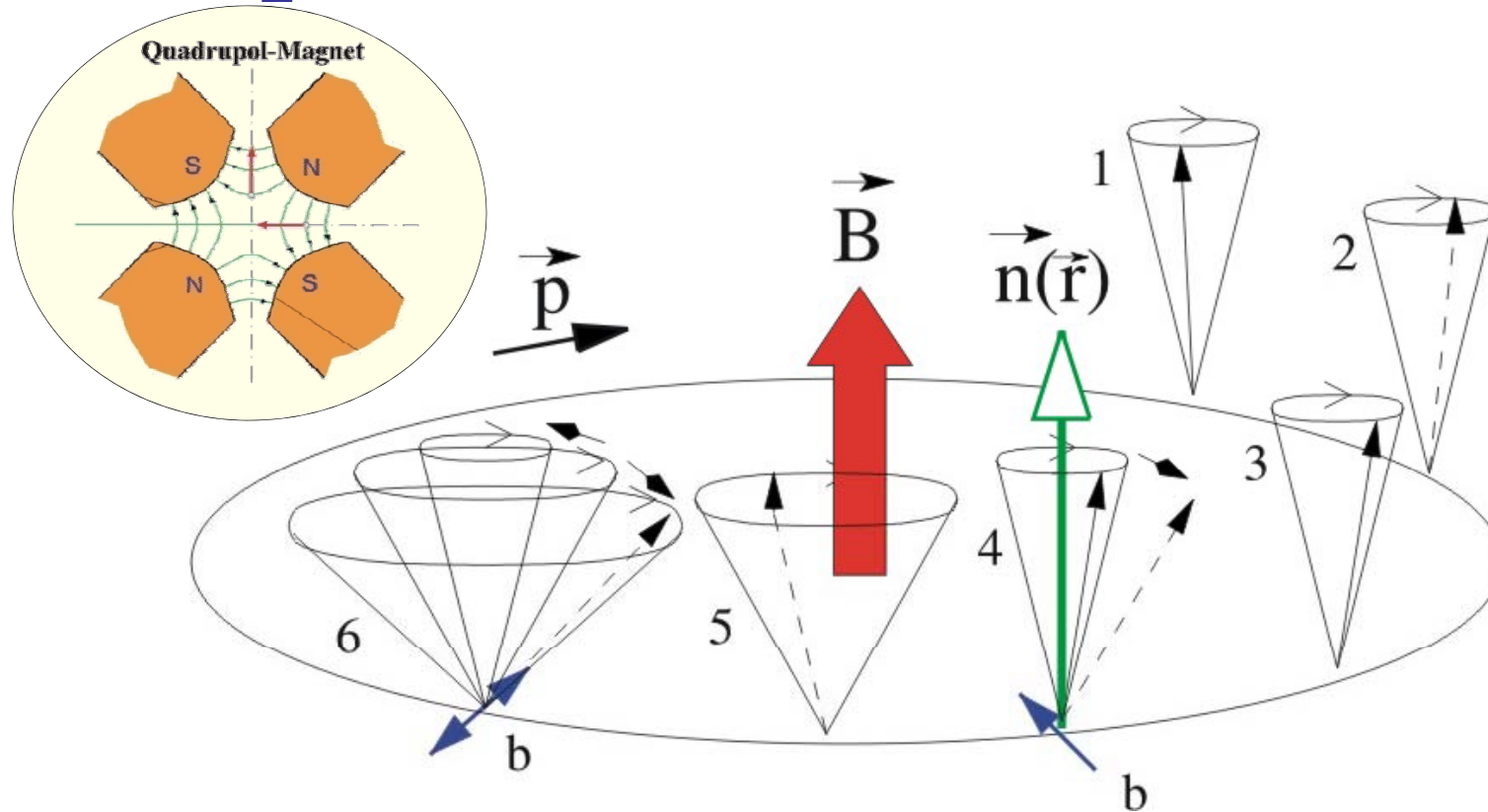
$$\vec{\Omega}_{BMT} = -\frac{e}{m_0 \gamma} \left\{ (1+a\gamma) \cdot \vec{B}_\perp + (1+a) \cdot \vec{B}_\parallel \right\}$$



# Spin Manipulation



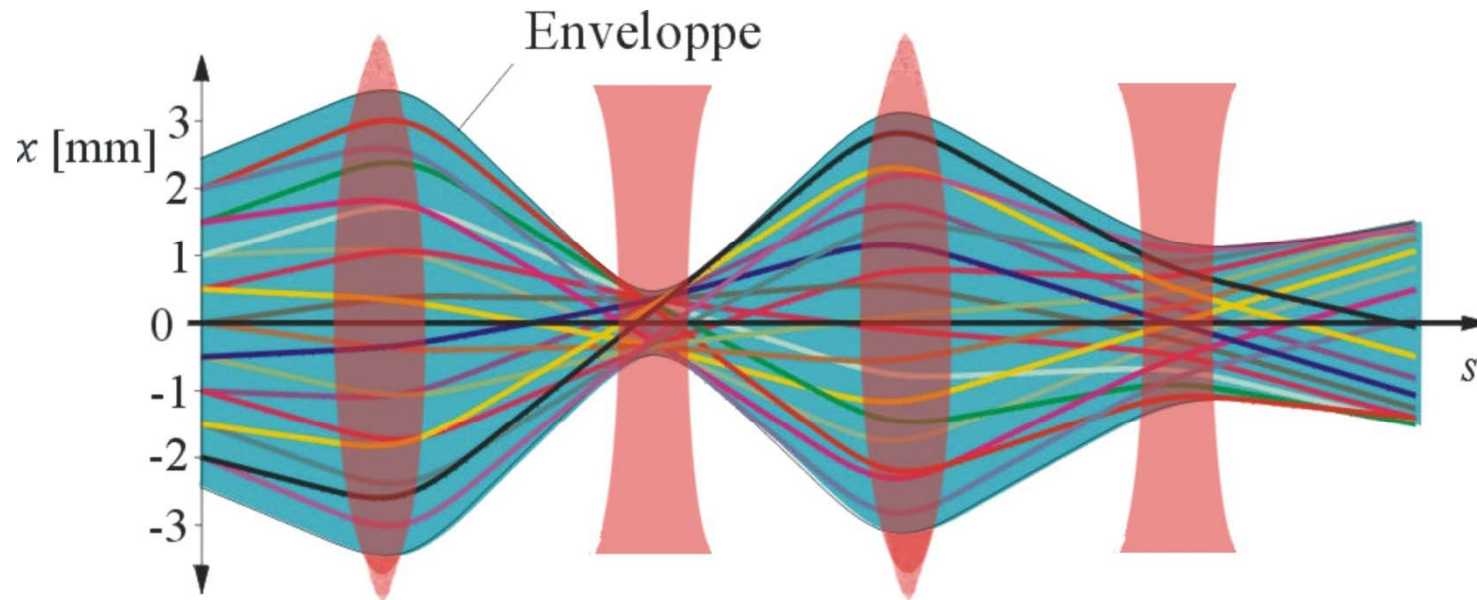
# Depolarisierende Resonanzen



Imperfektions-Resonanz:  $\gamma \cdot a = n, \quad n \in \mathbb{Z}$

Intrinsische Resonanz:  $\gamma \cdot a = n \cdot P \pm Q_z, \quad n \in \mathbb{Z}$

# Depolarisierende Resonanzen



**Starke Fokussierung: Betatronschwingungen!**

Imperfektions-Resonanz:  $\gamma \cdot a = n, \quad n \in \mathbb{Z}$

Intrinsische Resonanz:  $\gamma \cdot a = n \cdot P \pm Q_z, \quad n \in \mathbb{Z}$

# Imperfektions-Resonanzen

Kreuzungsgeschwindigkeit begrenzt, daher

Reduktion der Resonanzstärke nötig:

- Präzise **Justierung** aller Magnete ( $\Delta z \approx 0.1 \text{ mm}$ )
- Korrektur von **Feldfehlern**
- **Strahlzentrierung** in den Quadrupol-Magneten
- Berücksichtigung **dynamischer Effekte**

# Korrektur der Gleichgewichtsbahn

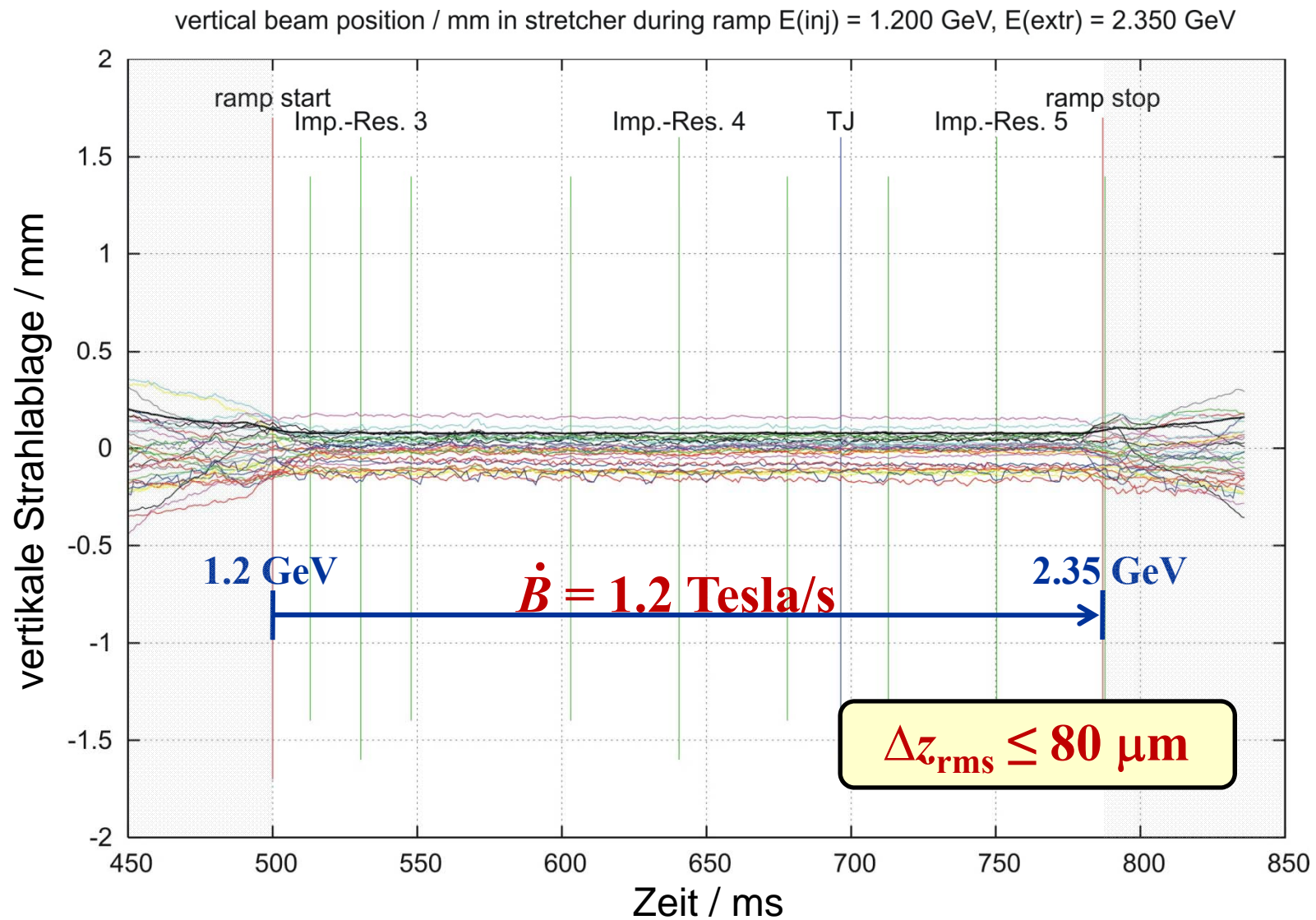


**32 Positionsmonitore für 32 Quadrupol-Magnete**  
**40 Korrektur-Magnete**

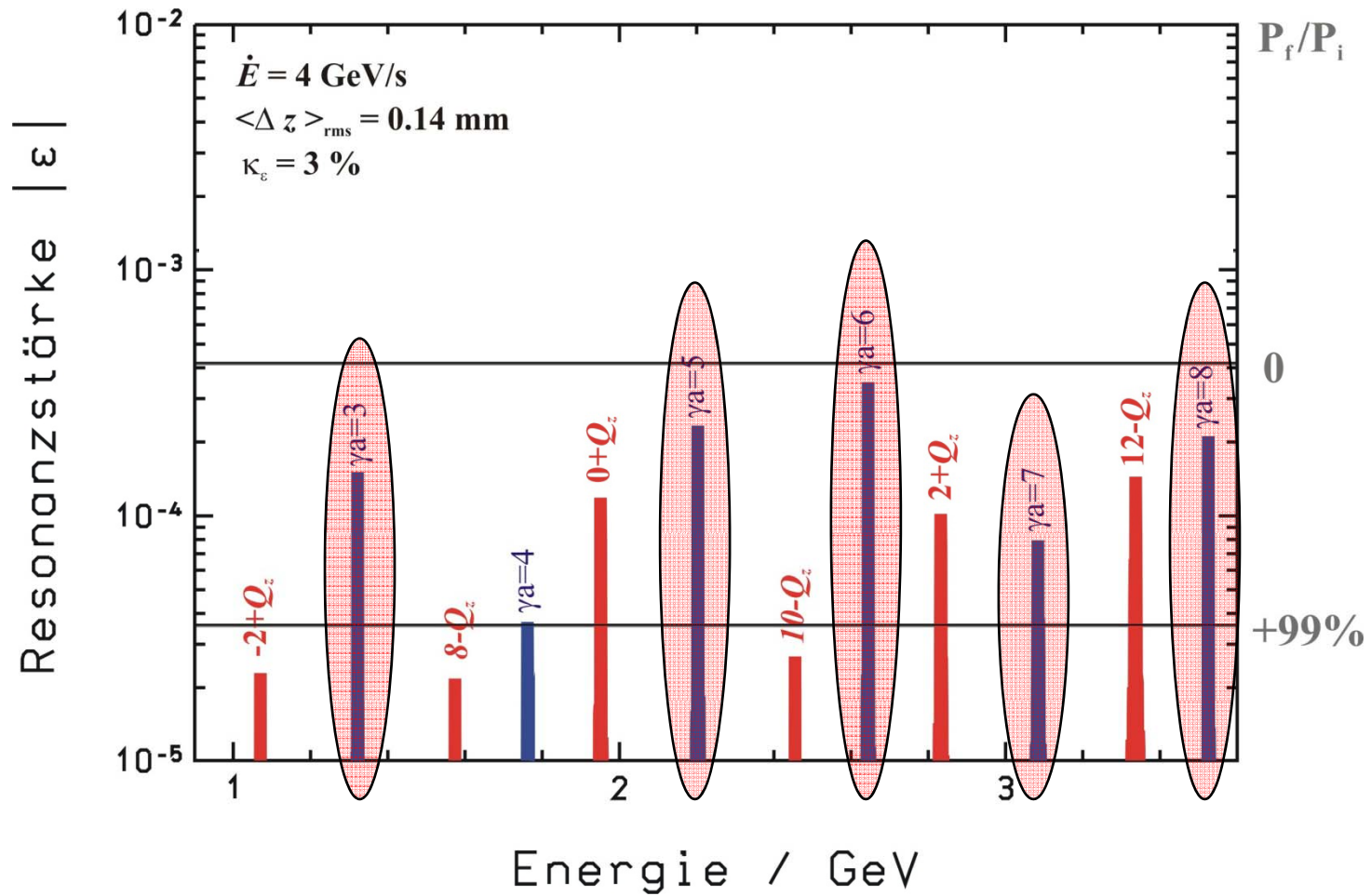
- Messung der Strahllage jede Millisekunde
- Berechnung der Korrekturströme
- Generierung einer Stromrampe für jeden Korrektor



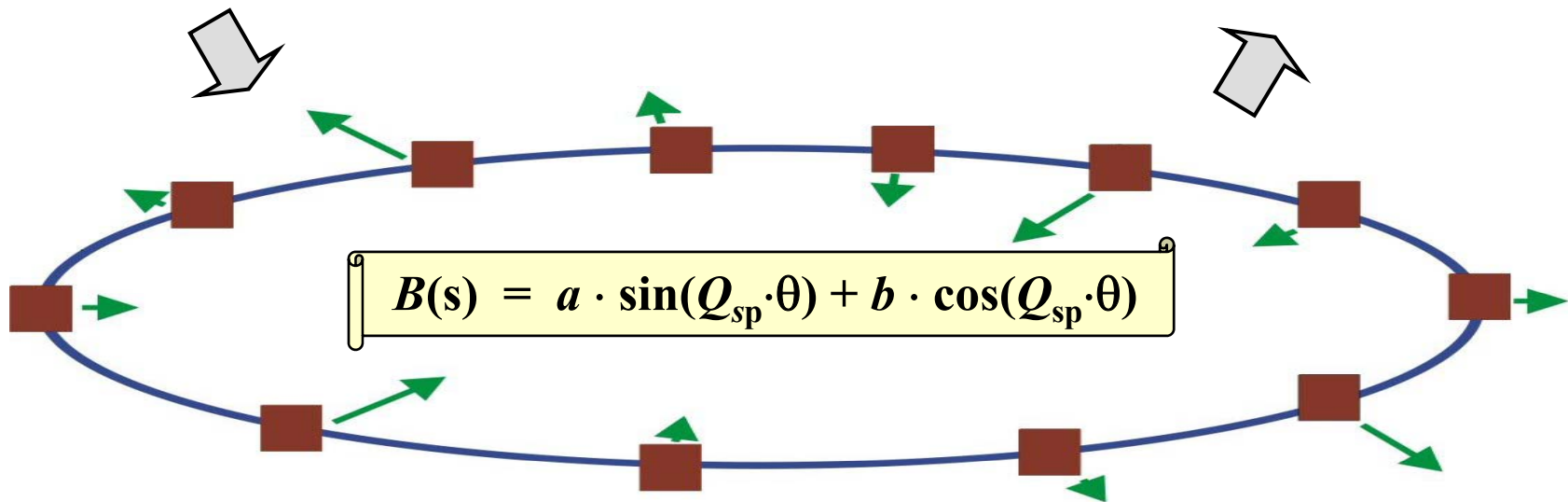
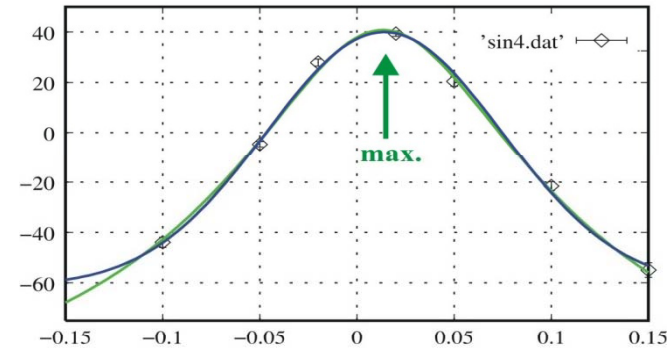
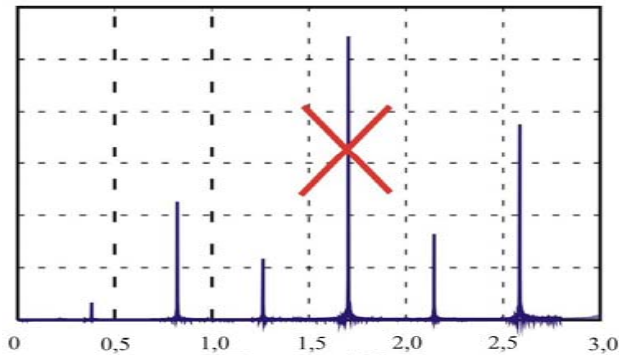
# Orbit-Korrektur auf der Rampe



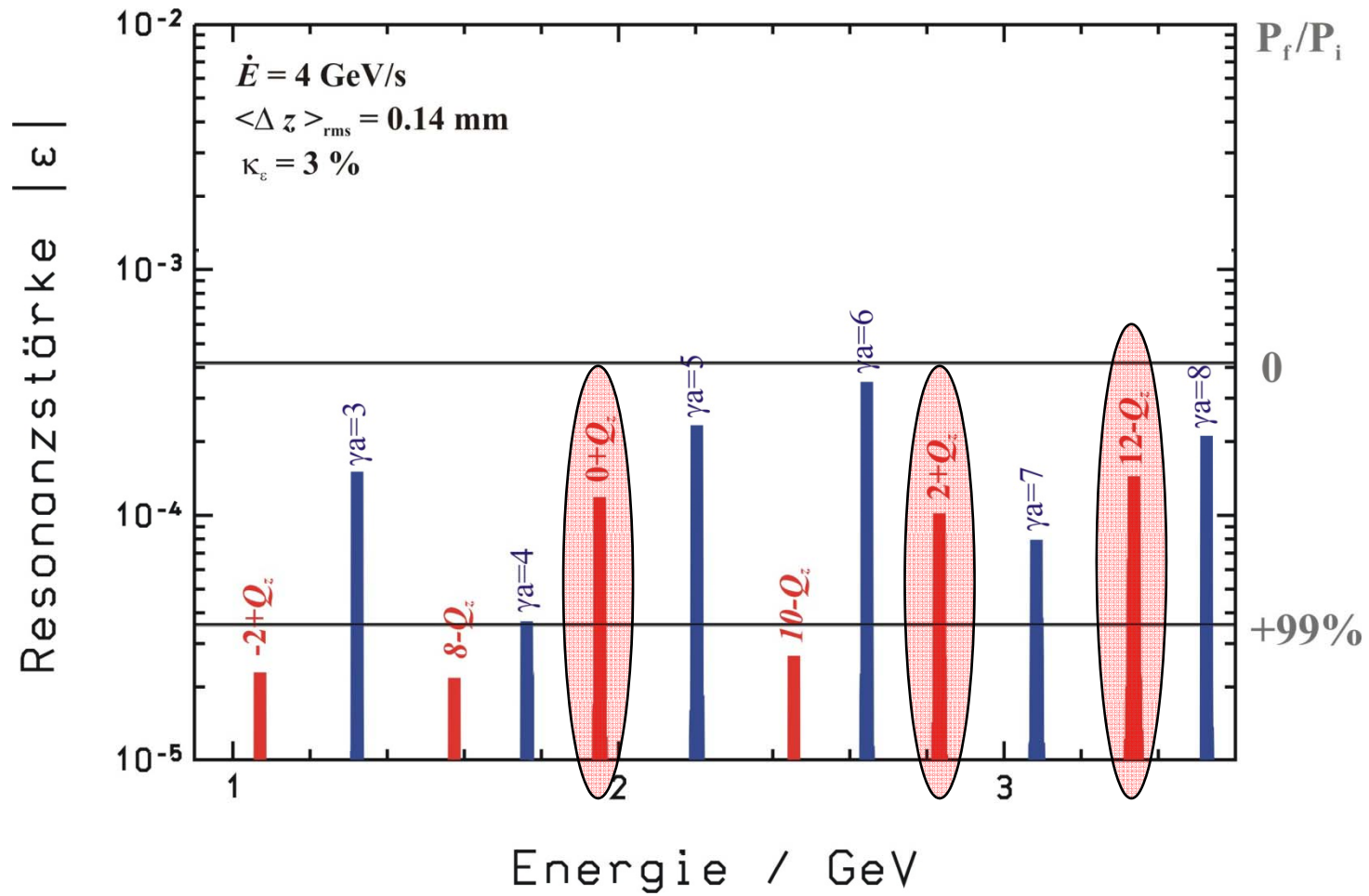
# Resonanzstärken



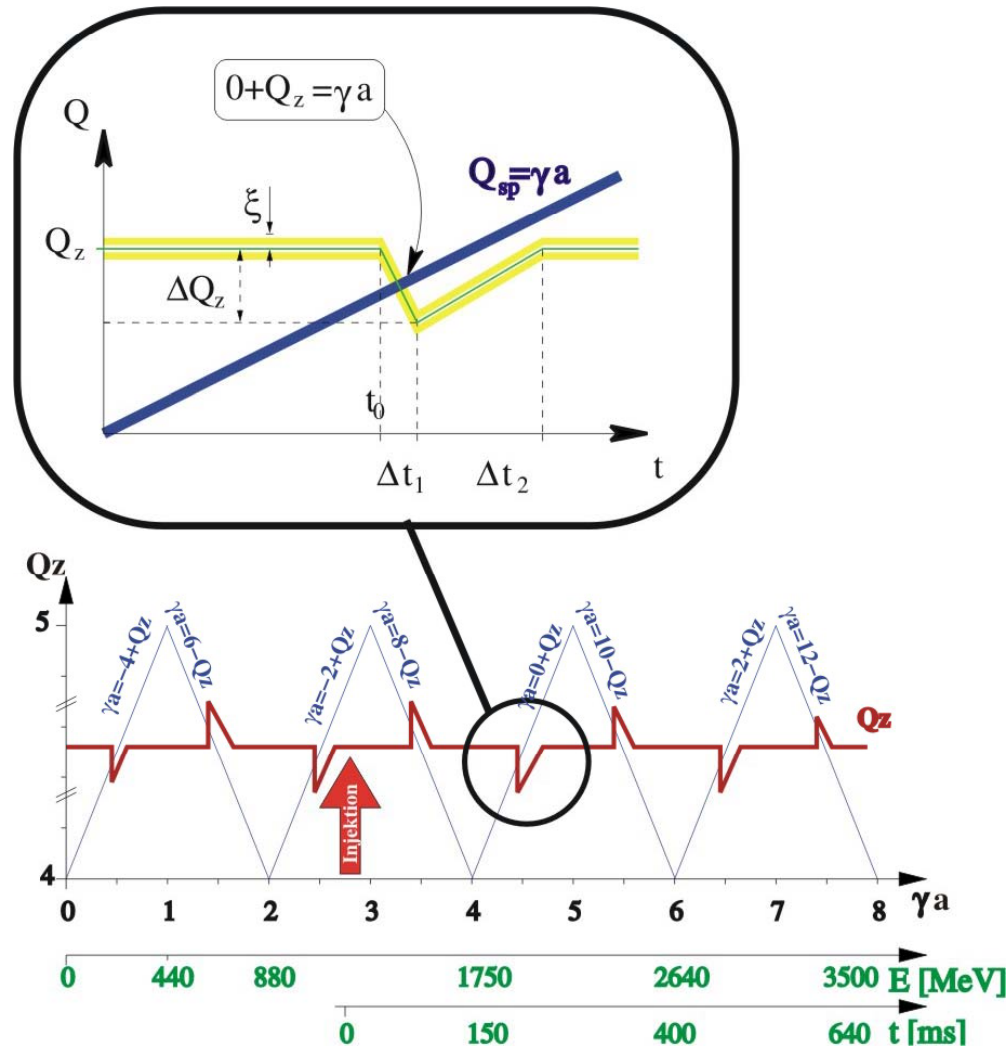
# Harmonischen Korrektur (Imperfektions-Resonanzen)



# Resonanzstärken



# „Arbeitspunktspringen“ (Intrinsische Resonanzen)



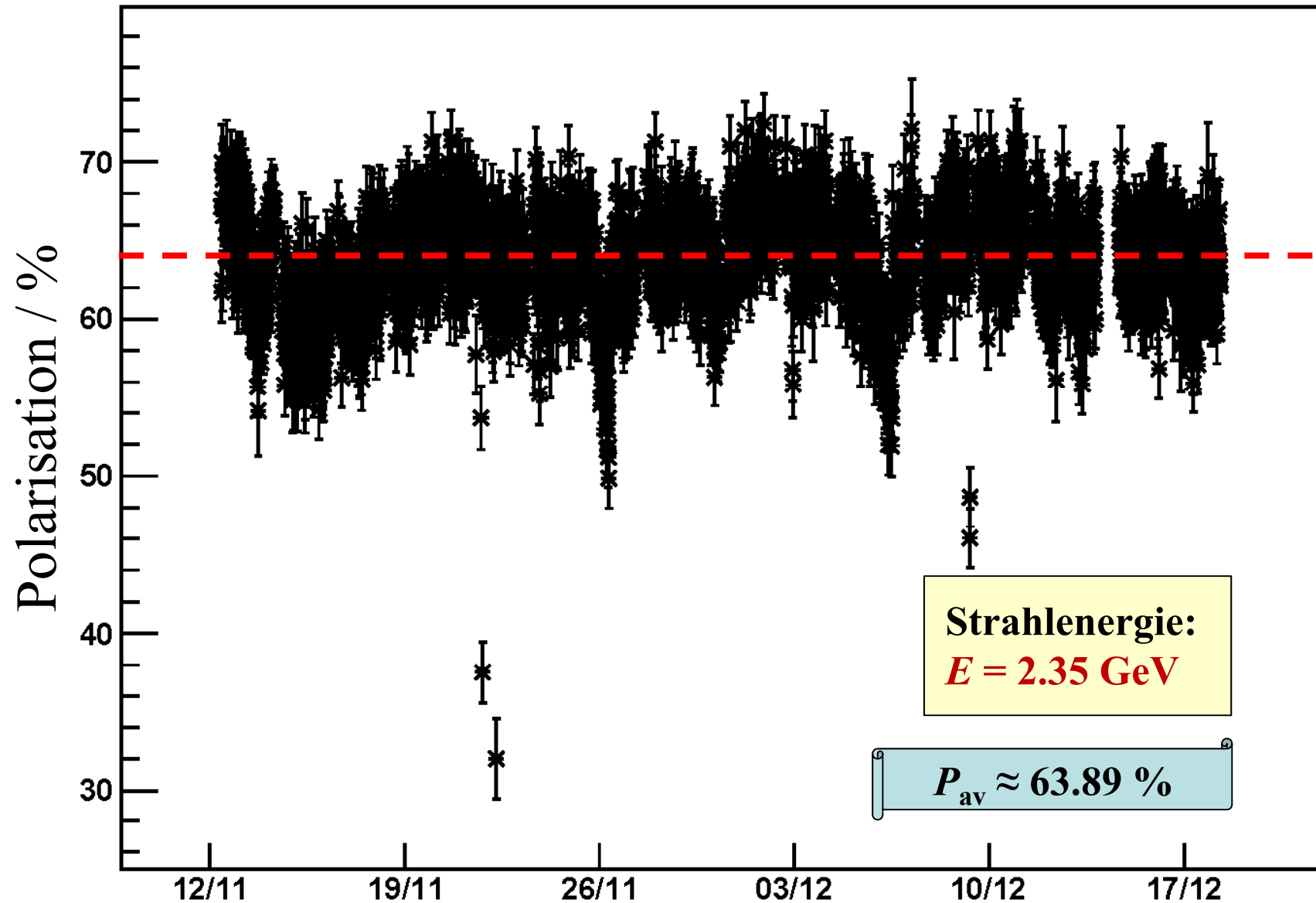
Sprungquadrupol



Panofsky-Typ Quadrupol mit  
Ferrit-Joch

Vakuumkammer:	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Keramik mit 10 μm Titanbeschichtung
Widerstand:	(4,298 ± 0,001) mΩ (DC)
Induktivität:	(9,0 ± 0,1) μH (DC)
max. Pulsstrom:	500 A
max. Feldgradient:	(1,1241 ± 0,005) T/m
steigende Flanke:	4 - 14 μs
fallende Flanke:	4 - 20 ms

# Polarisation am Experiment

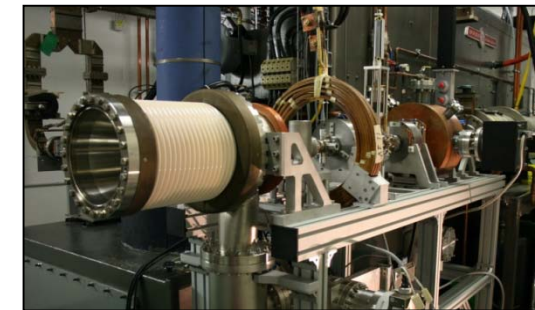
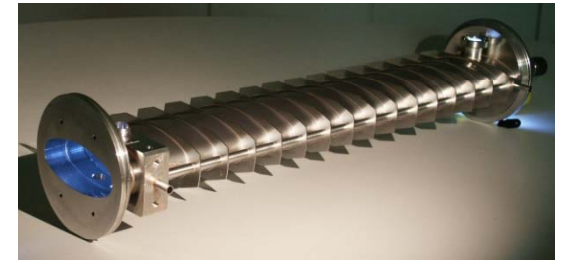
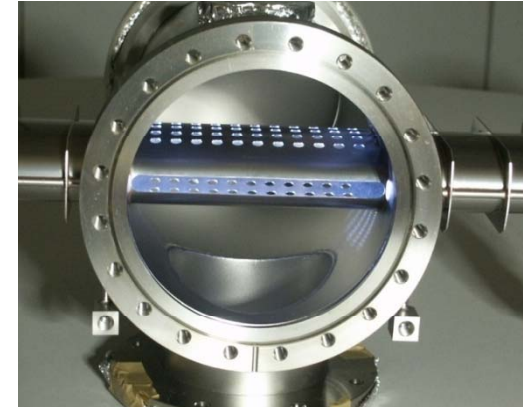


# Aktuelles und Zukünftiges

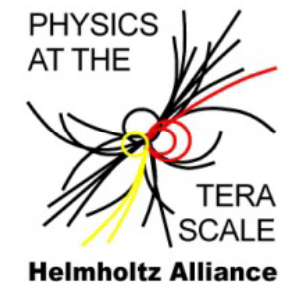
- höherer **Strahlstrom**
- polarisierte Elektronen für die GSI: **ENC@FAIR**

# Höhere Intensität – Betrieb mit $I = 200$ mA:

- Verkleinerung der **Koppelimpedanz**
- **Absaugelektroden** für Ionen
- Dämpfung der Resonator-**HOMs**
- Aktives **Bunch by Bunch Feedback**
- **Single-Bunch**-Betrieb zu Diagnosezwecken
- Erweiterung der **Strahldiagnose**
- Intensitätserhöhung **Photoinjektor**

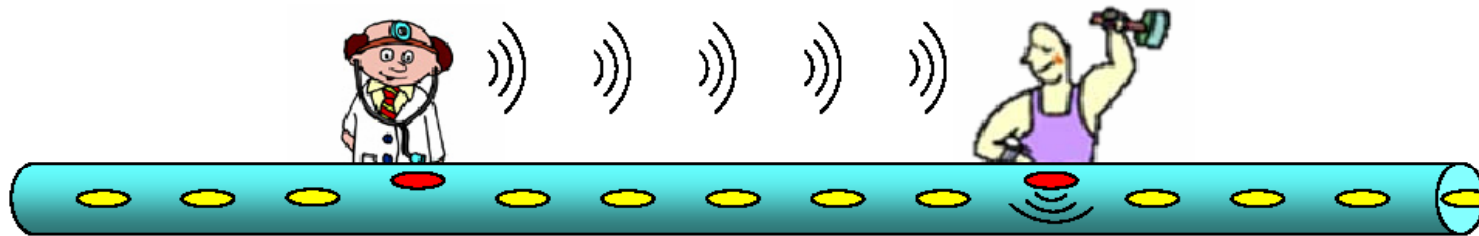


SFB/TR 16

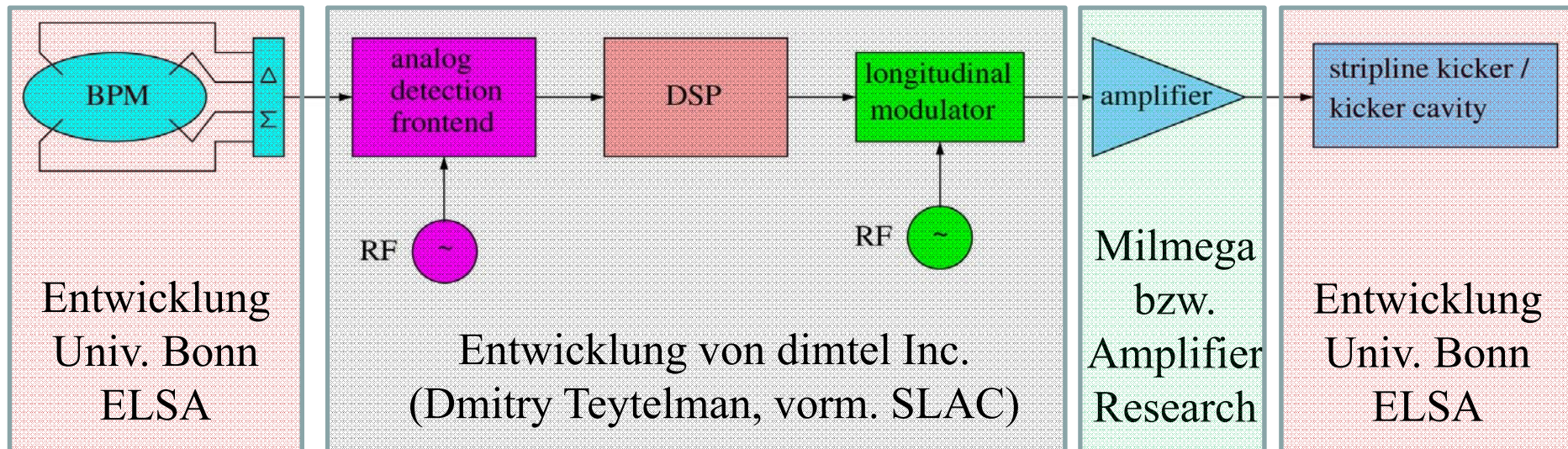




# Bunch by Bunch Feedback

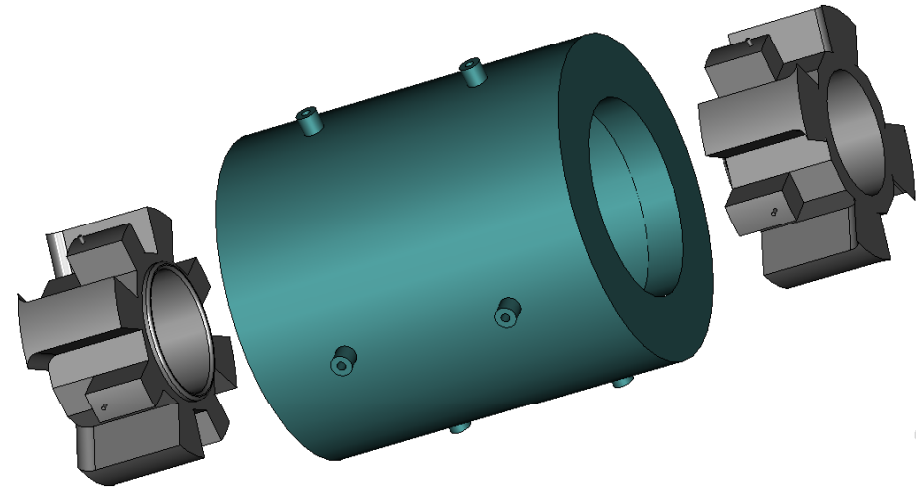
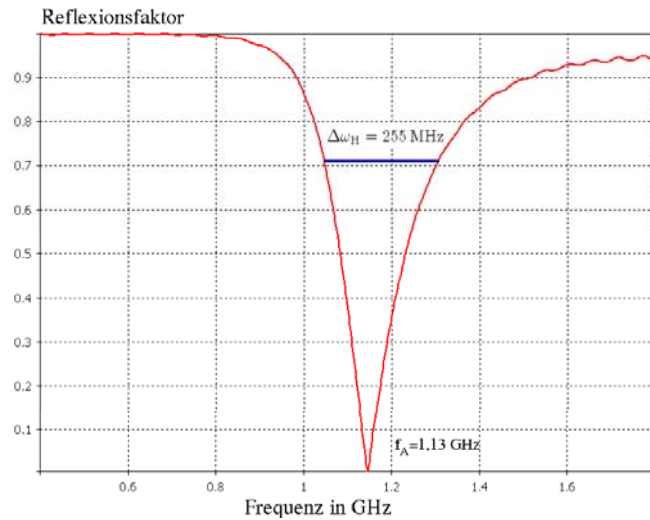


Analoge Bandbreite 250 MHz ( $f_{RF}/2$ )

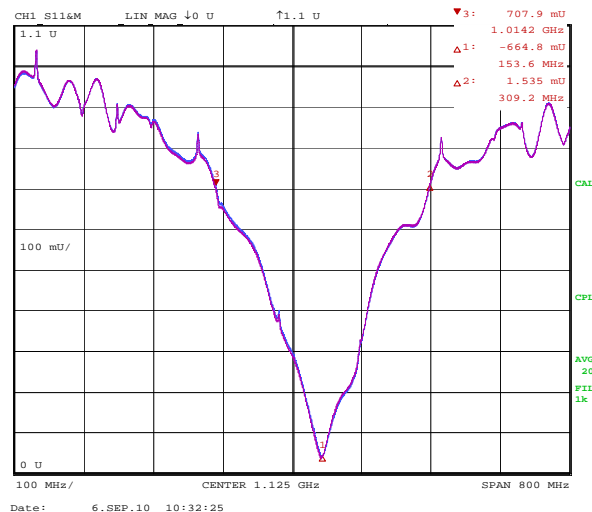


# Breitbandiges Kicker-Cavity

## Simulation (CST Studio™):



## Messung am Prototypen:



$$P = 5.4 \cdot 10^{-7} \text{ mb}$$

$$\nu = 1.13 \text{ GHz}$$

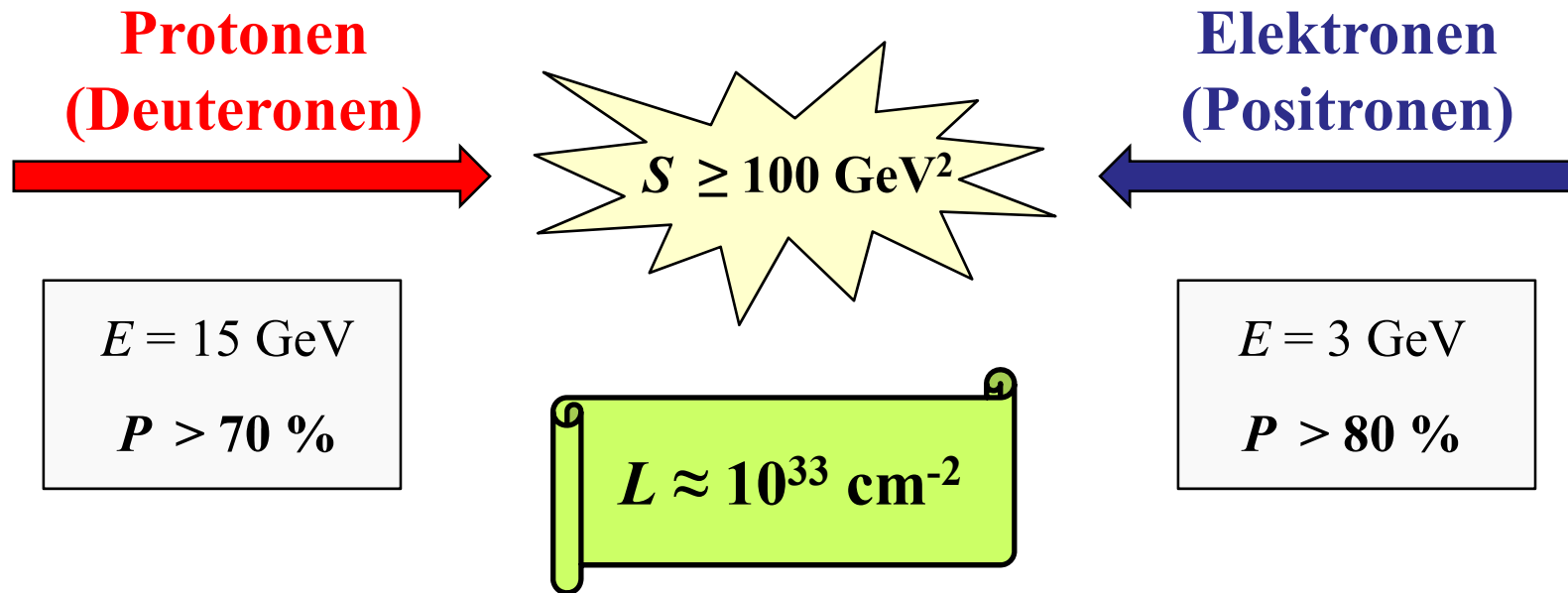
$$Q_L = 3.78$$

$$R_S = 387 \Omega$$

$$\text{BW} = 255 \text{ MHz}$$

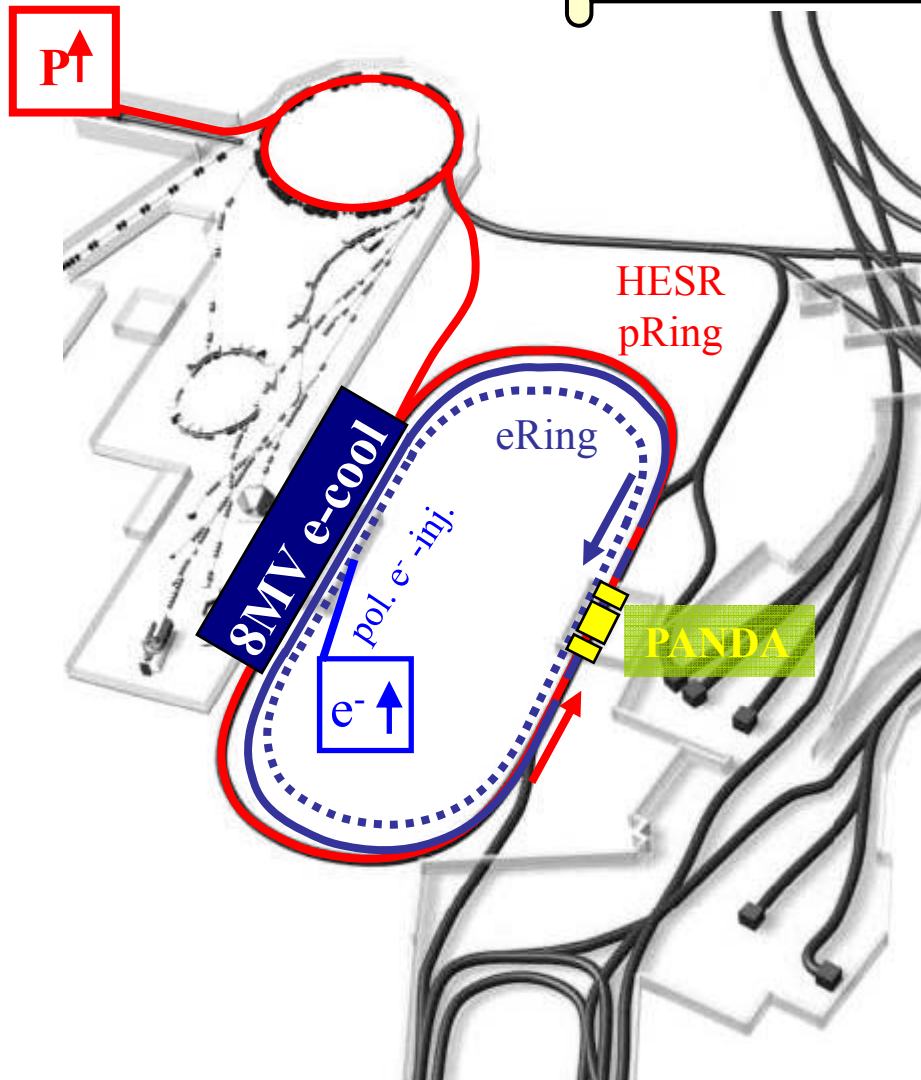


# Elektronen-Nukleonen-Kollider



\* ENC@FAIR: August 2008

# ENC@FAIR



## Hochenergie-Speicherring HESR:

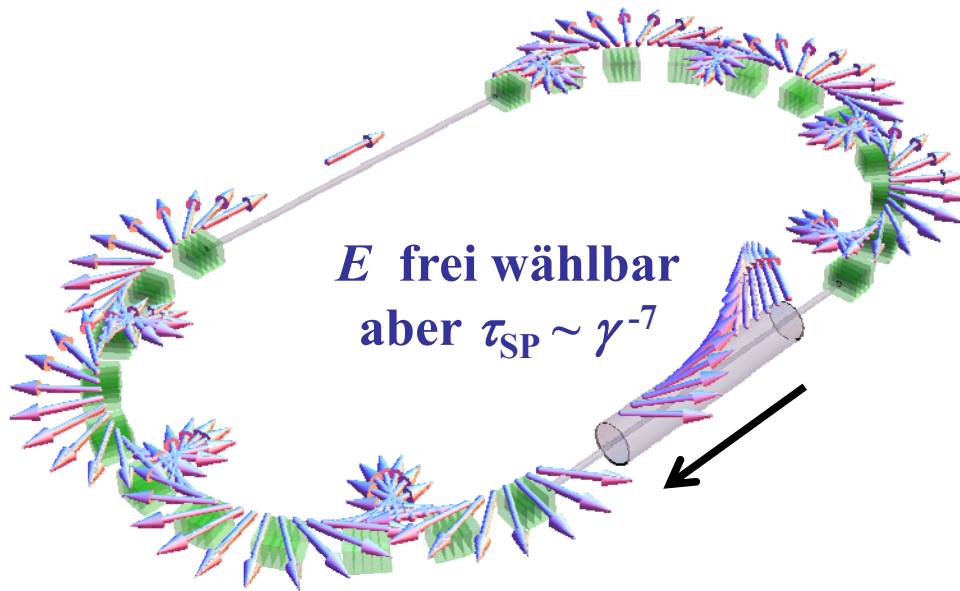
- $R = 30$  m,  $L = 576$  m
- $E = 15$  GeV (Protonen)
- $h = 100$ ,  $n_p = 5,4 \cdot 10^{10}$
- $\varepsilon_n = 2$  mm mrad
- $P > 70$  %

## Elektronen-Speicherring:

- $R \approx 25$  m,  $L = 577.1$  m
- $E = 3.3$  GeV ( $Q_{sp} \approx 7.5$ )
- $h = 100$ ,  $I_e = 2$  A
- $\varepsilon_n = 2$  mm mrad
- $P > 80$  %

# Simulation der Spindynamik

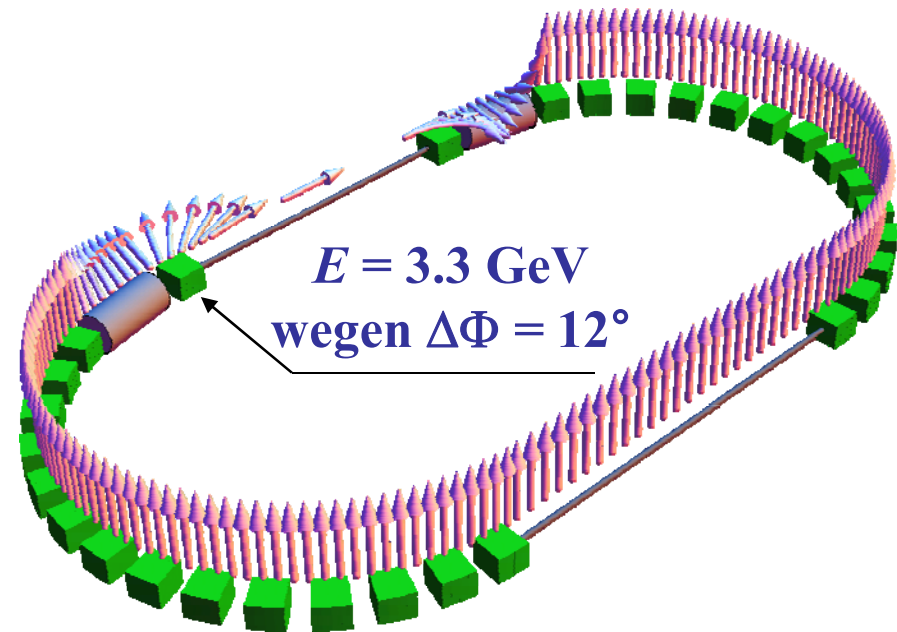
## Konzept 1: Sibirische Schlange



- **FODO**-Anordnung in Bögen
- Missing Magnet →  $D = 0$  in Geraden
- 1 Solenoid,  $\Delta S = 180^\circ$
- $\beta_x = \beta_z$  im Solenoid
- $\varepsilon_x = \varepsilon_z = 1.95$  mm·rad (norm)

$$\tau_{Sp} = 7 \text{ min @ } 2.8 \text{ GeV}$$

## Konzept 2: Spinrotatoren



- **SBA**: 3 Achromate à 6 Dipole
- Bisher nur  $D = 0$  in Gegengeraden
- 2 Solenoid-/Dipolrotatoren,  $\Delta S = 90^\circ$
- $\beta_x = \beta_z$  vor und hinter Achromaten
- $\varepsilon_x = 3.8$ ,  $\varepsilon_z = 3.1$  mm·rad (norm)

$$\tau_{Sp} = 100 \text{ min @ } 3.3 \text{ GeV}$$

# Zusammenfassung

## Polarisierte Elektronenstrahlen:

- **Routine-Betrieb @  :**
  - gepulster Photoinjektor mit  $I = 120 \text{ mA}$ ,  $P = 80\%$
  - Beschleunigung auf  $E \leq 3.2 \text{ GeV}$  mit  $P_{\text{Exp}} \geq 50\%$
- **Höherer Strahlstrom (intern  $I \leq 200 \text{ mA}$ )**
- **ENC: polarisierte Elektronen bei der  ?!**
  - Polarisation  $P = 80\%$  mit long. Ausrichtung am IP
  - Sehr hoher interner Strahlstrom von  $I = 2 \text{ A}$

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!

In Betrieb

Im Aufbau