

# **Polarisierte Elektronenstrahlen – ein wichtiges Werkzeug zur Untersuchung der Kernkraft**

*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

**Elektromagnetische  
Wechselwirkung**

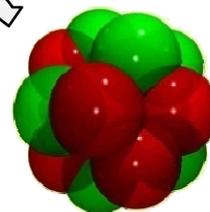
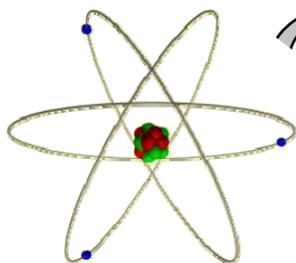
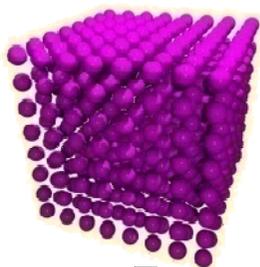
**Starke  
Wechselwirkung**

Kristallgitter

Atom

Atomkern

Hadron



$10^{-9}\text{m}$

$10^{-10}\text{m}$

$10^{-14}\text{m}$

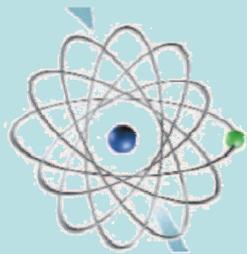
$10^{-15}\text{m}$

**„Nanometer“**

**„Femtometer“**

# Baryonen - Spektroskopie

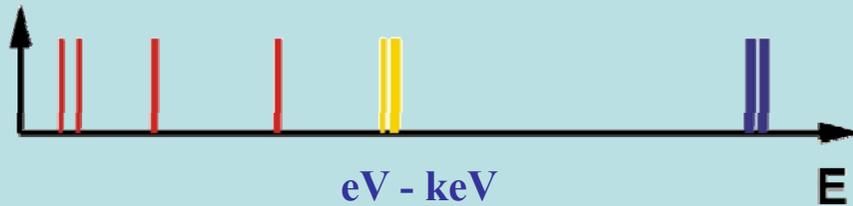
## Atomphysik



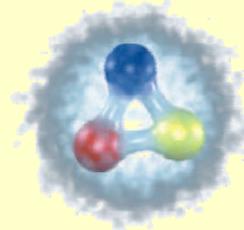
Atom:  $10^{-10}$  m

Anregung mit Photonen:

**Linienpektrum**



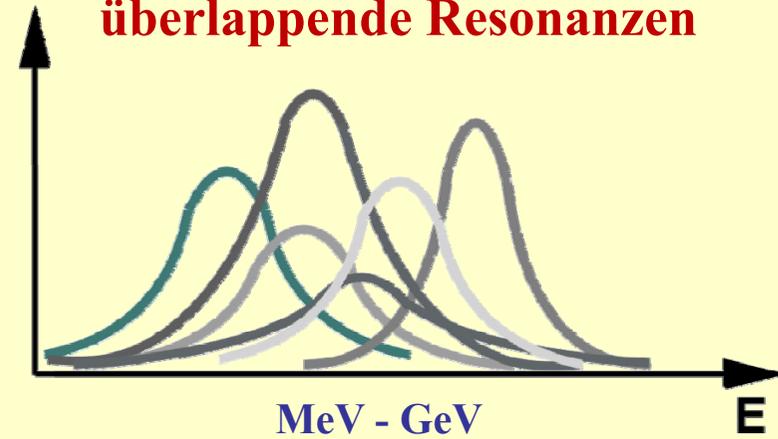
## Hadronenphysik



Hadron:  $10^{-15}$  m

Anregung mit Photonen:

**überlappende Resonanzen**

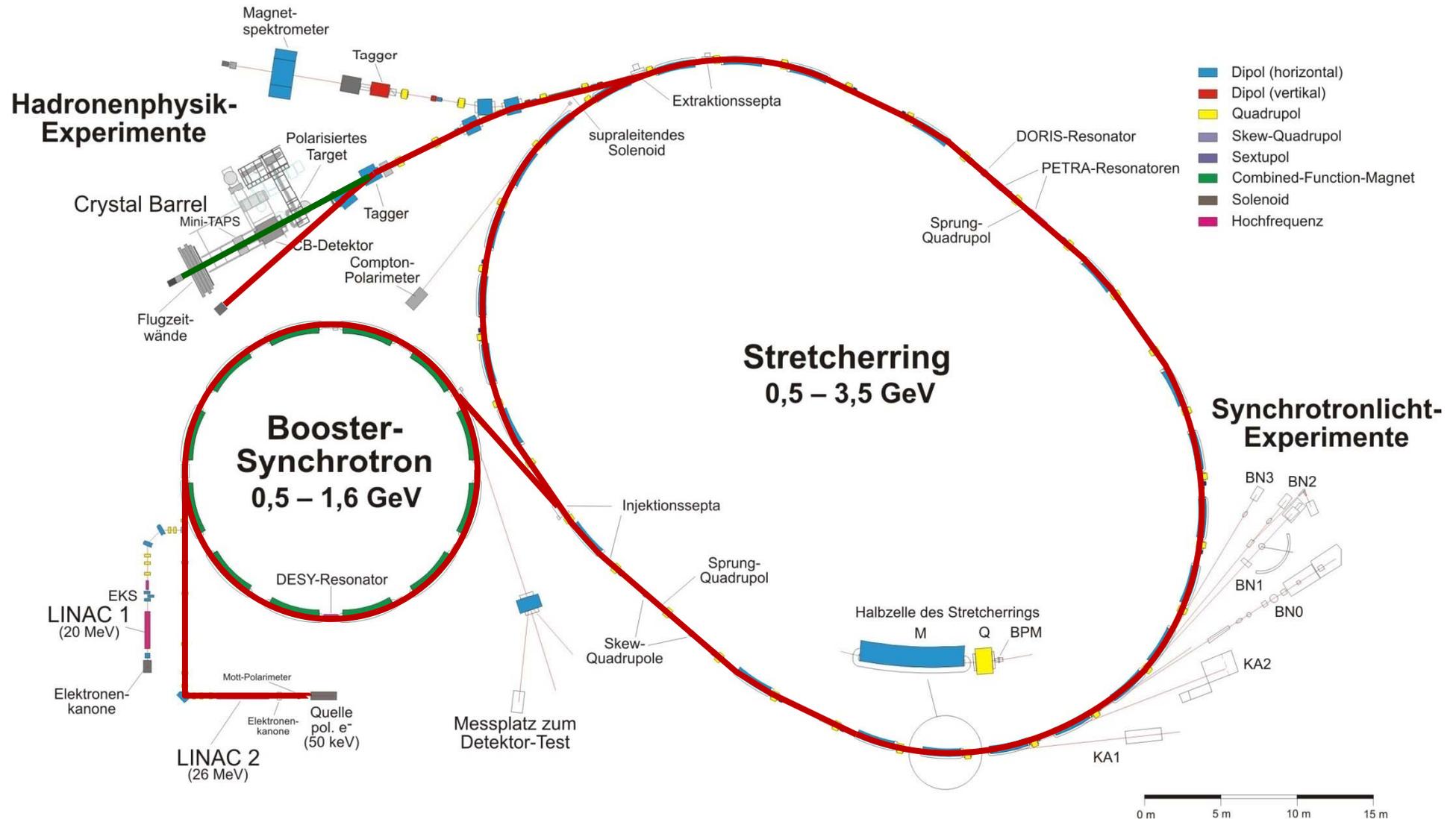


Linienbreite aus  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$

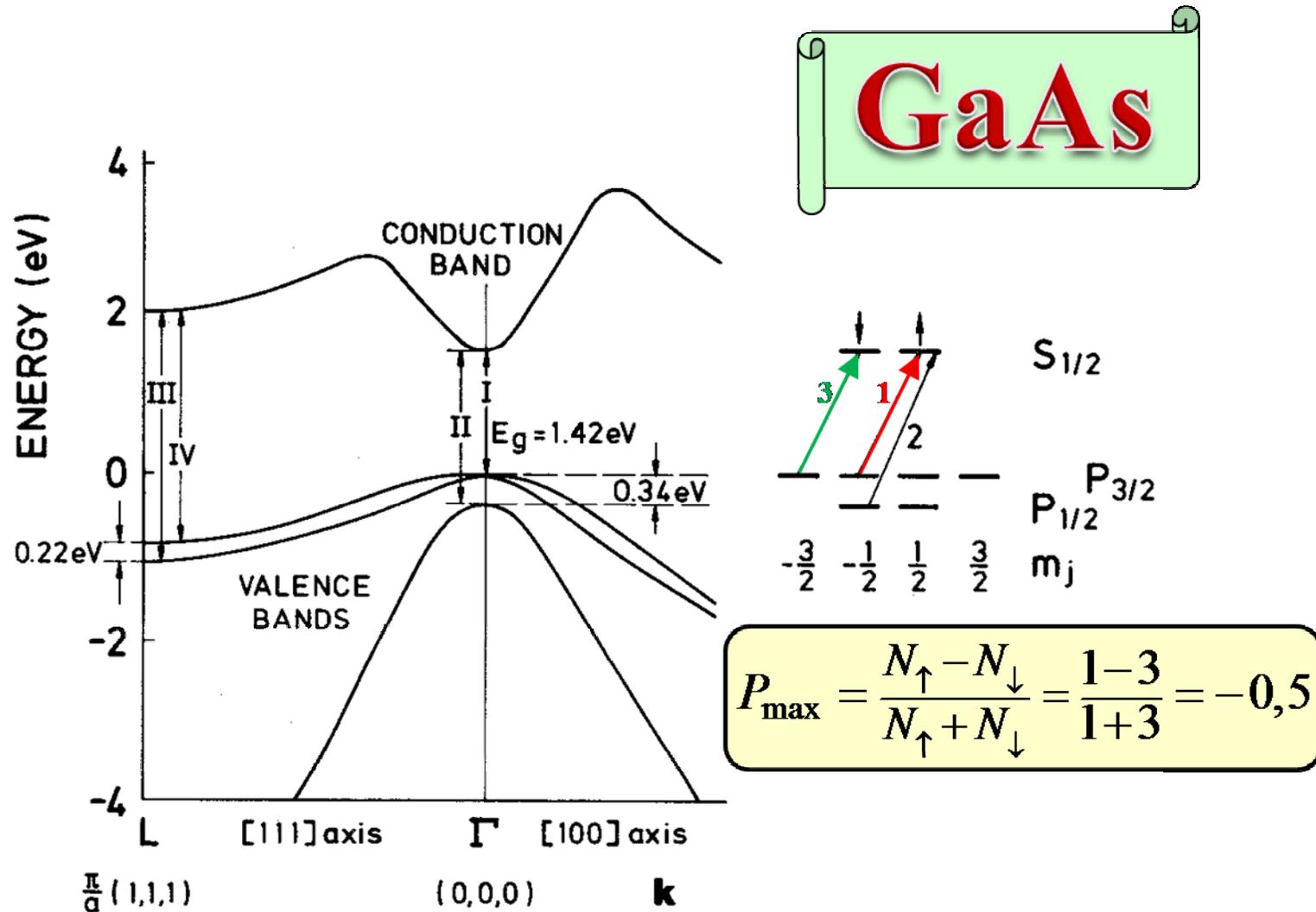
→

**Doppelpolarisationsexperimente**

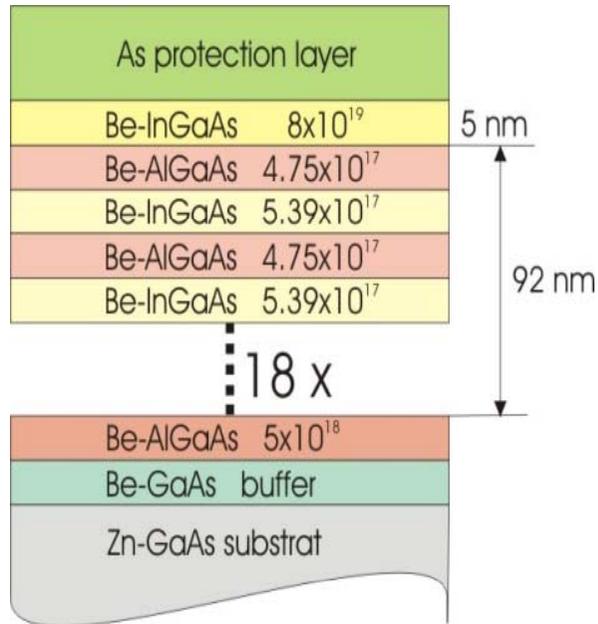
# Elektronen-Stretcher-Anlage (ELSA)



# Erzeugung polarisierter Elektronen

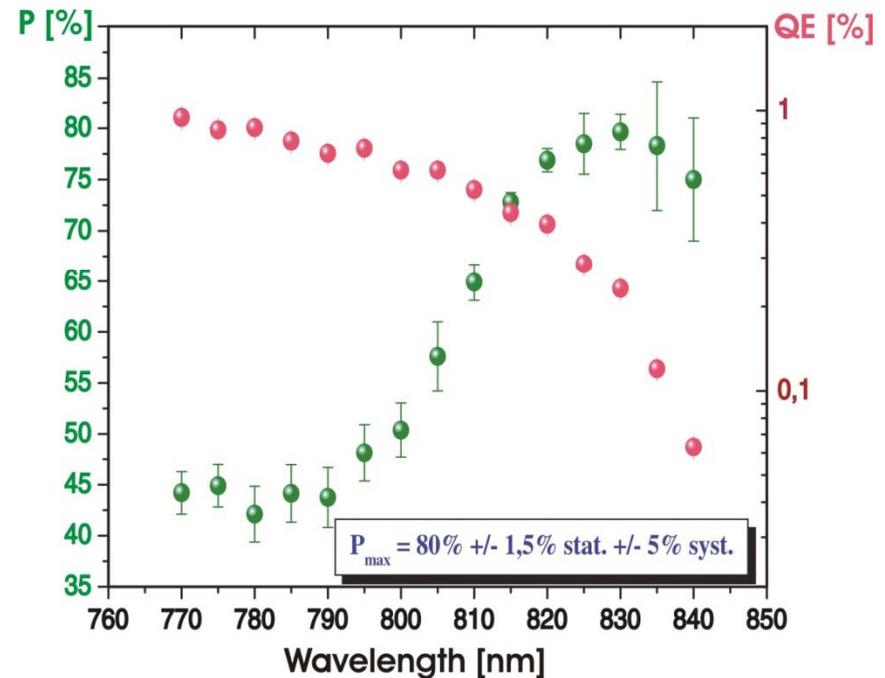


# Erzeugung polarisierter Elektronen



## Be-InGaAs/AlGaAs Superlattice

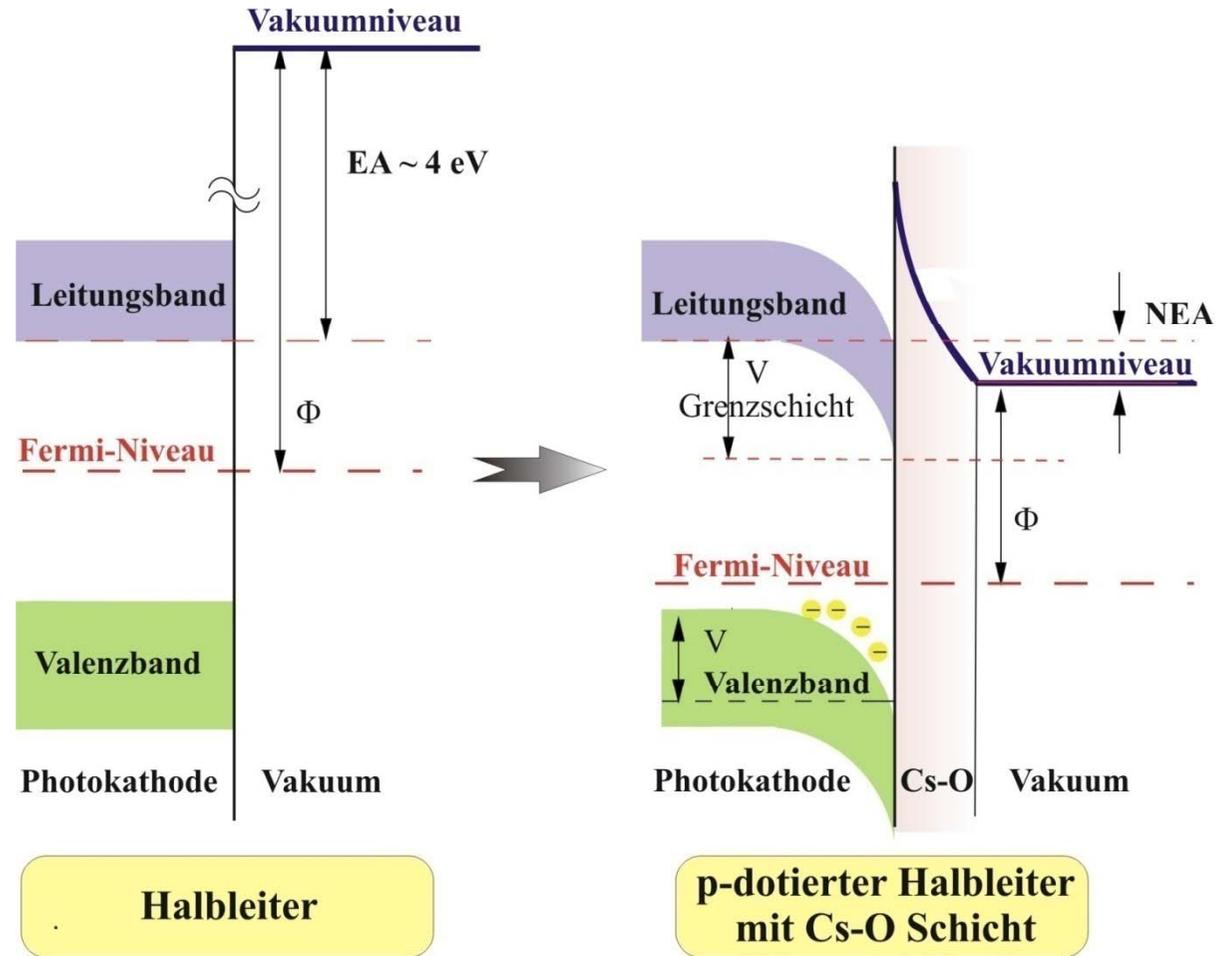
### Polarisation



### Aufhebung der Entartung:

- lokale Gitterverzerrung (strain)
- Mehrschicht-Strukturen (superlattice)

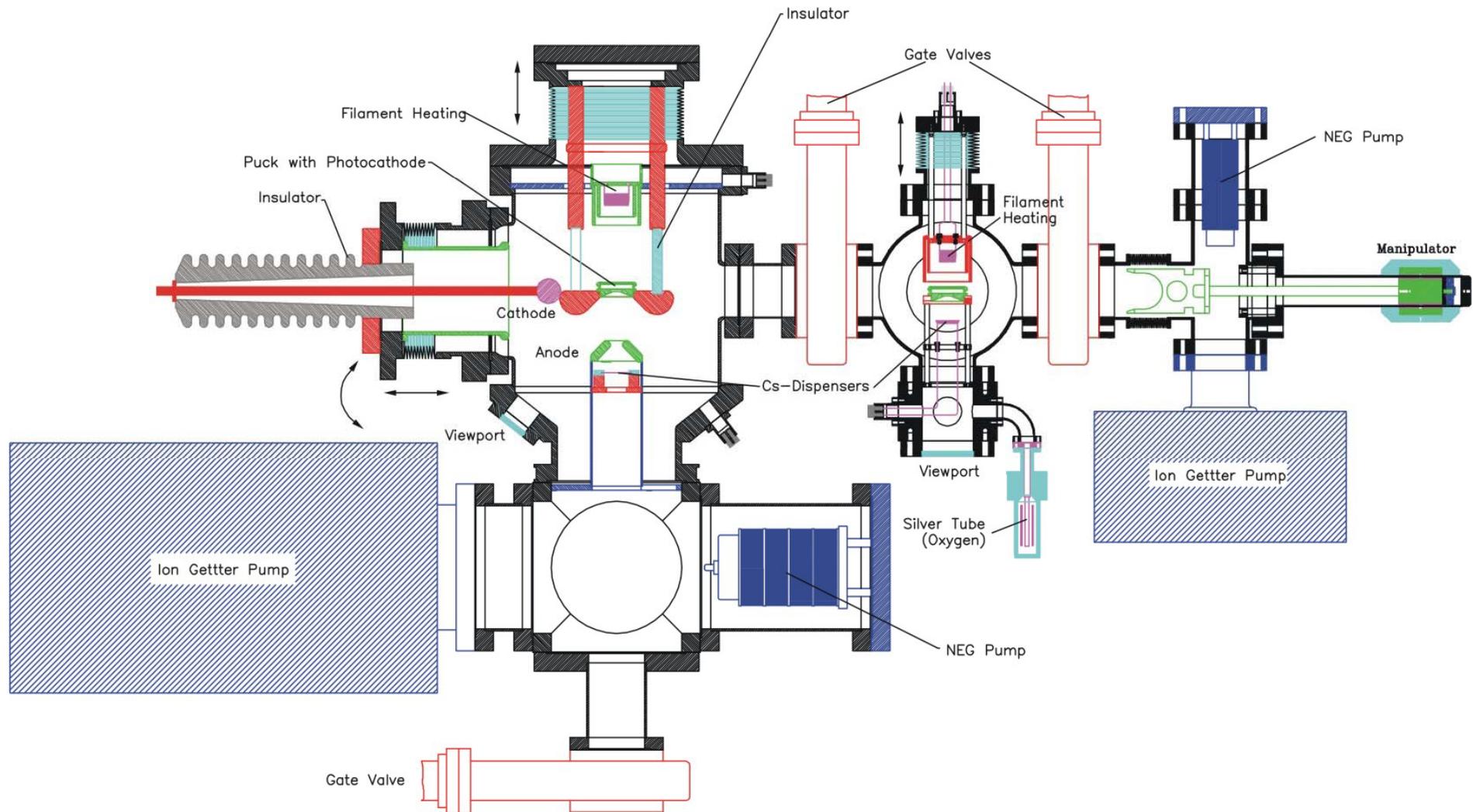
# Erzeugung polarisierter Elektronen



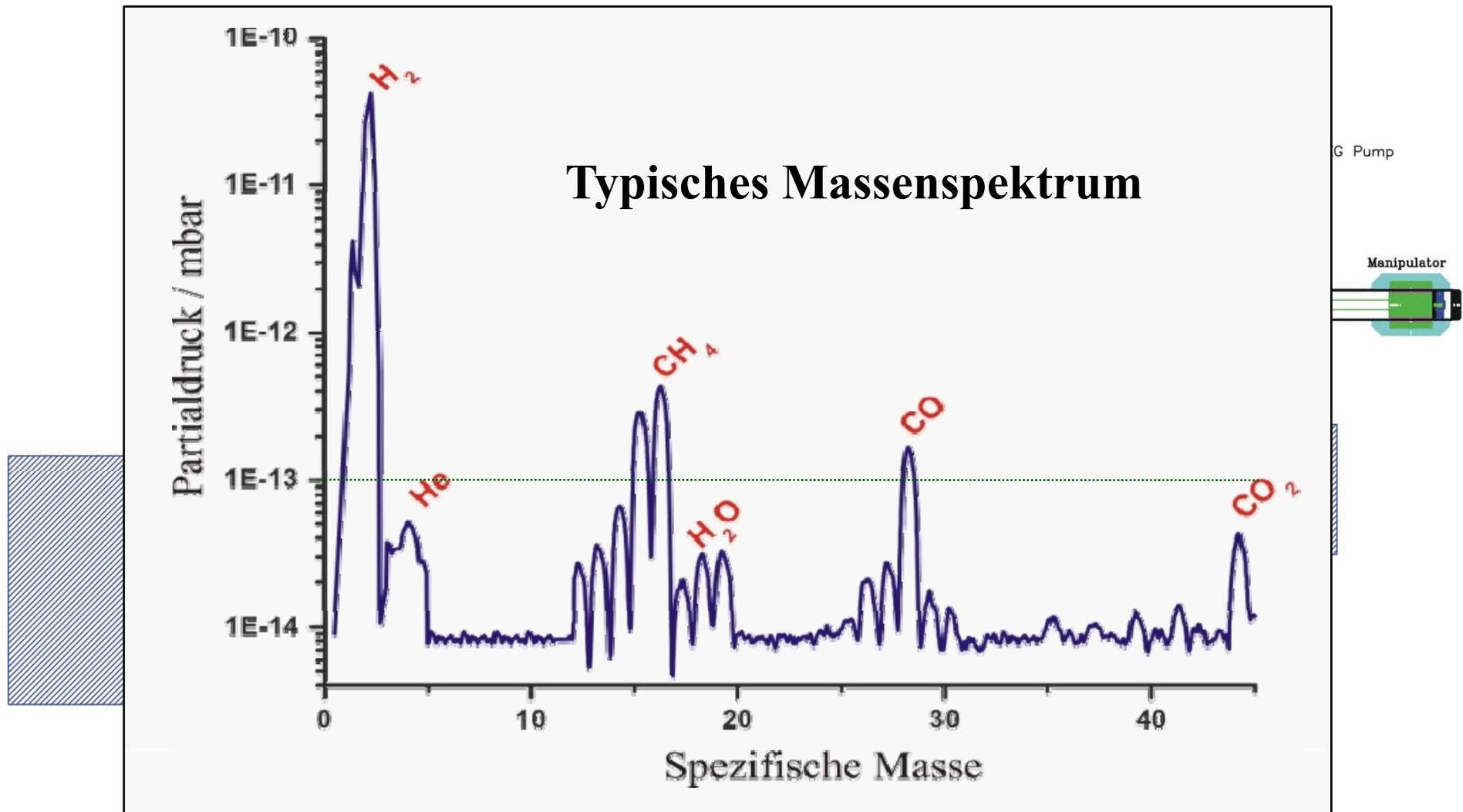
**Reinigung und Bedampfung im extremen UHV**

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

# Elektronenquelle



# Elektronenquelle



# Quelle polarisierter Elektronen



## **Betriebsparameter:**

Strahlenergie: 48 keV

Strahlstrom: 100 mA

Wiederholrate: 50 Hz

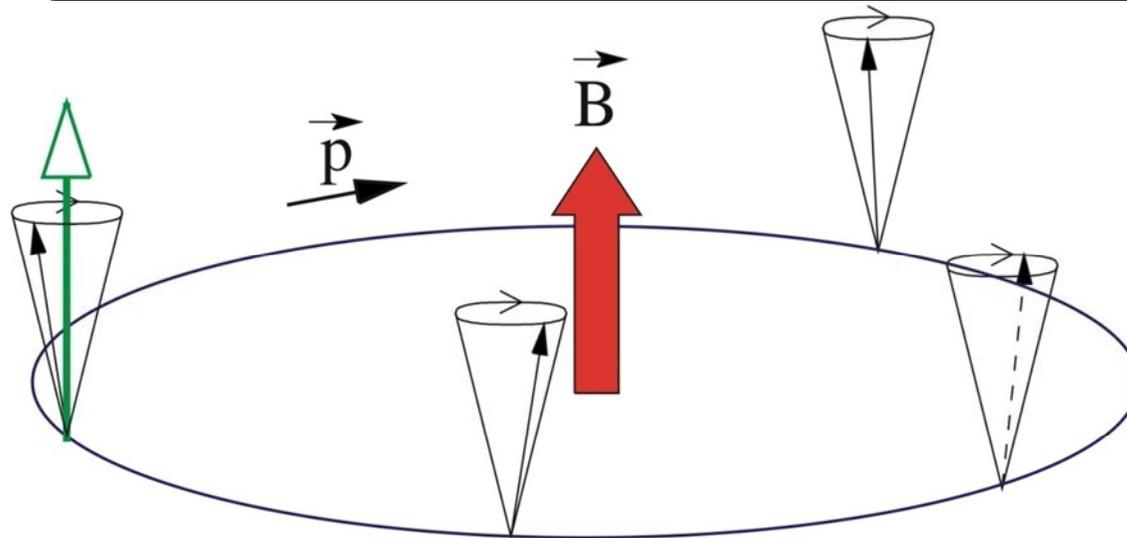
Polarisation:  $\approx 80\%$

Lebensdauer:  $>3000$  h

Kathode: Be-InGaAs/AlGaAs

# Spin-Präzession

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

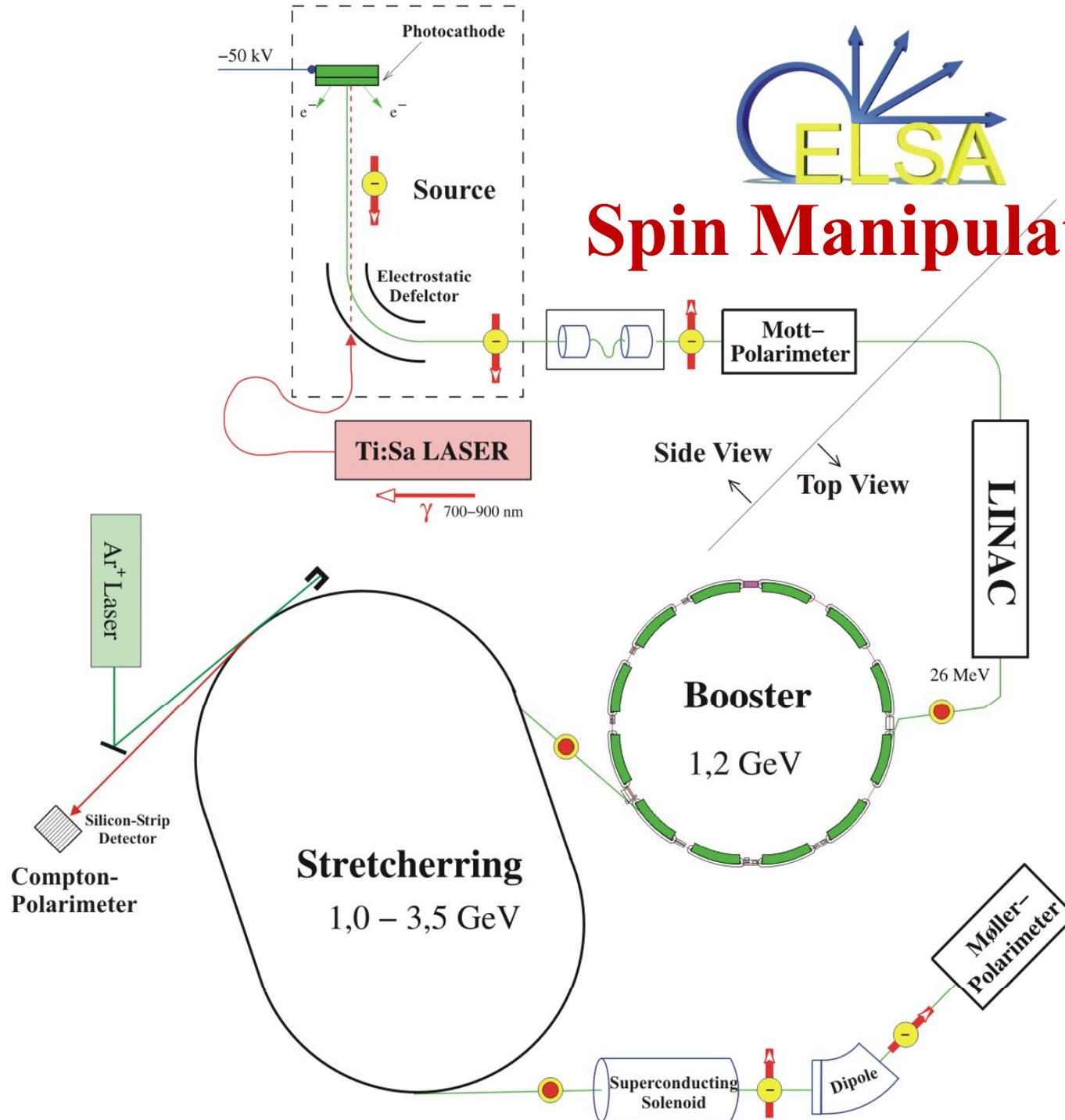


$$\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{S} \quad \vec{\Omega}^* = -\frac{e}{m_0} (1+a) \cdot \vec{B}$$

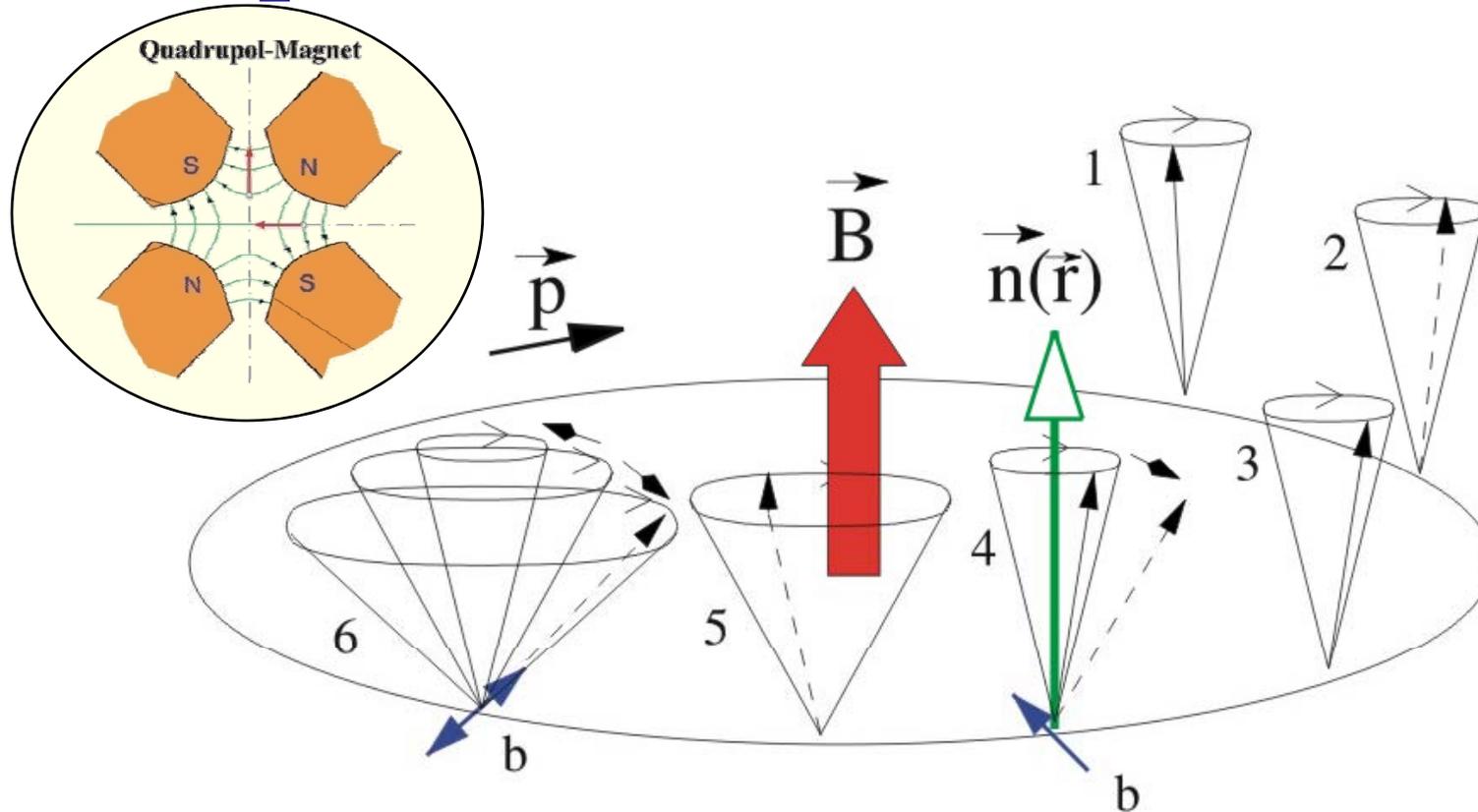
$$\vec{\Omega}_{BMT} = -\frac{e}{m_0 \gamma} \left\{ (1+a\gamma) \cdot \vec{B}_\perp + (1+a) \cdot \vec{B}_\parallel \right\}$$



# Spin Manipulation



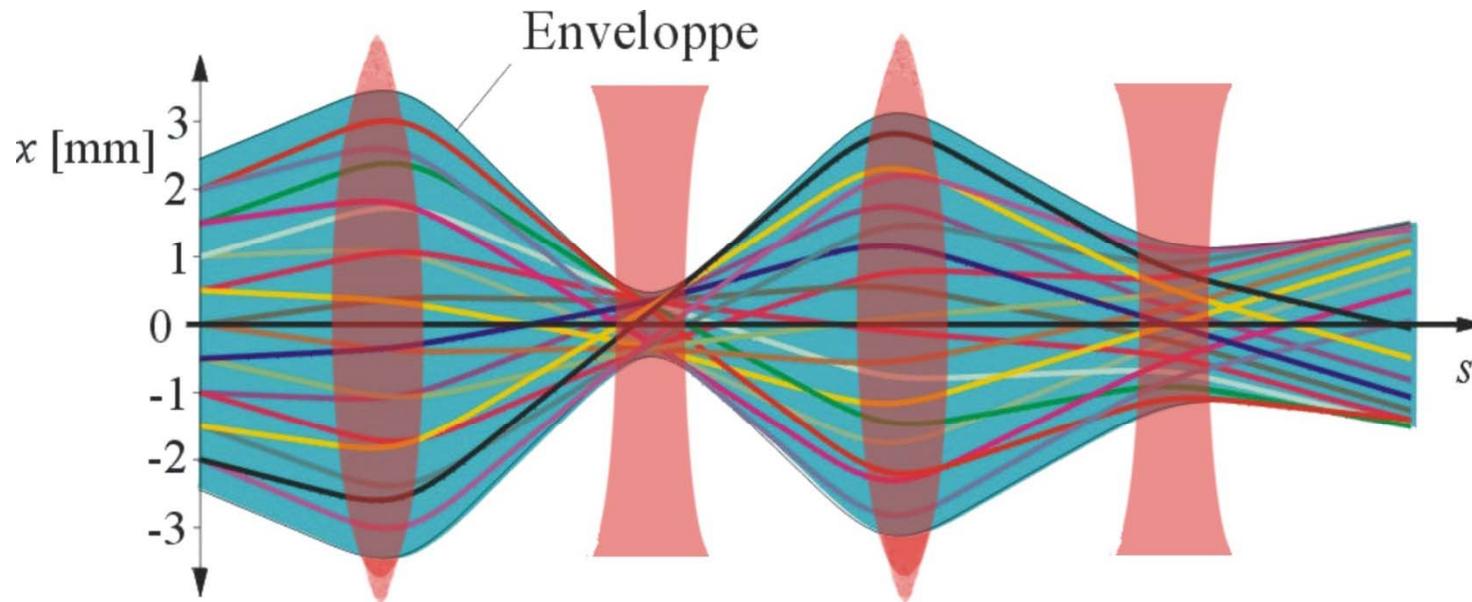
# Depolarisierende Resonanzen



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**

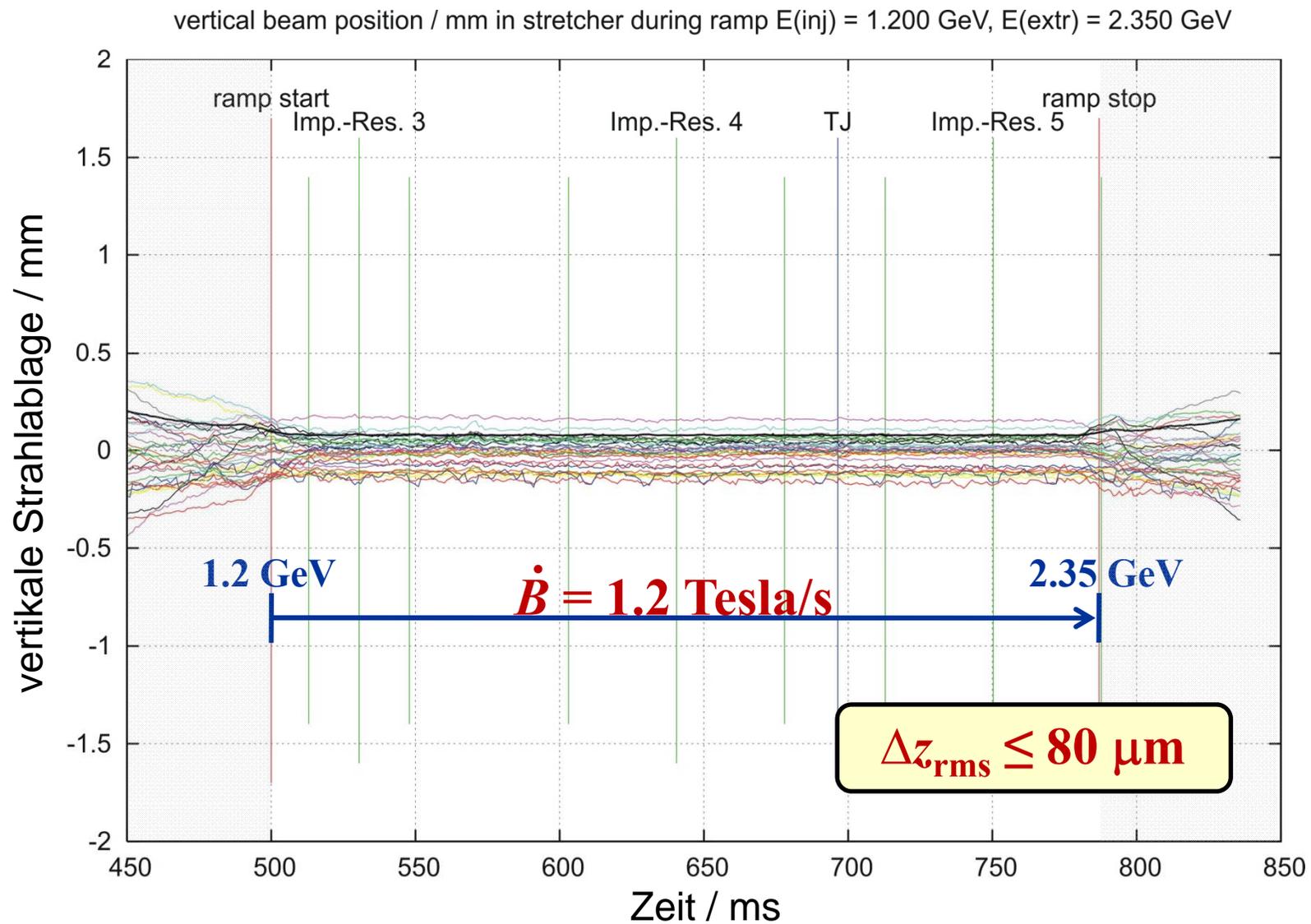
# Korrektur der Gleichgewichtsbahn



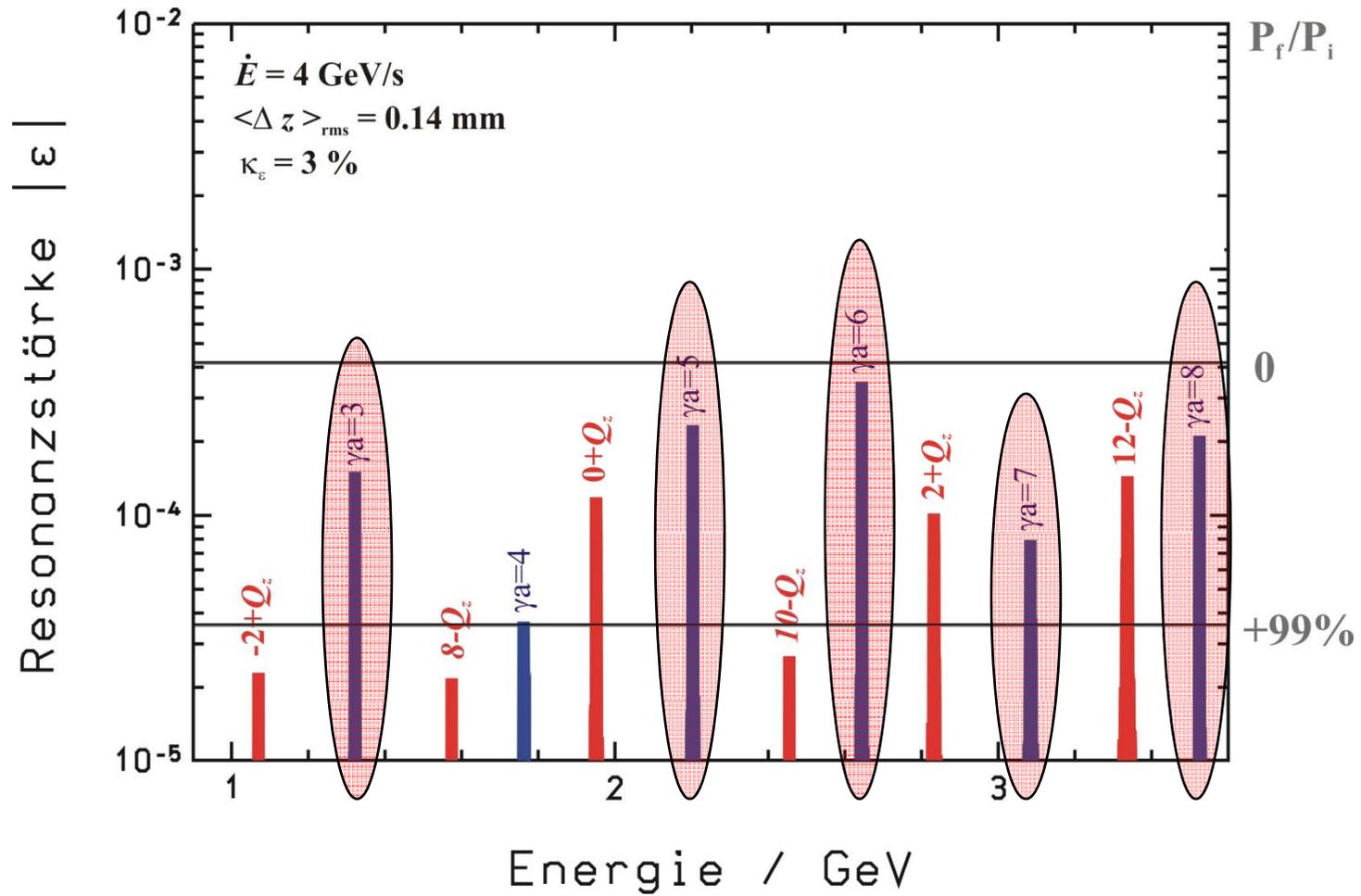
**32 Positionsmonitore für 32 Quadrupol-Magnete**  
**40 Korrektur-Magnete**

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

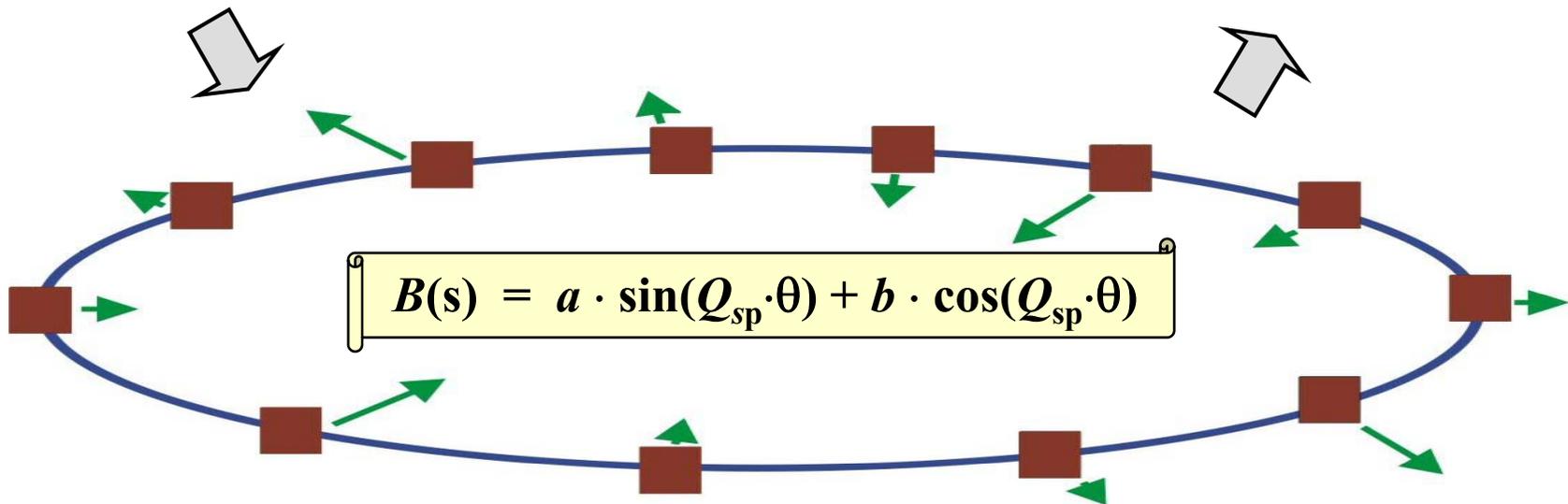
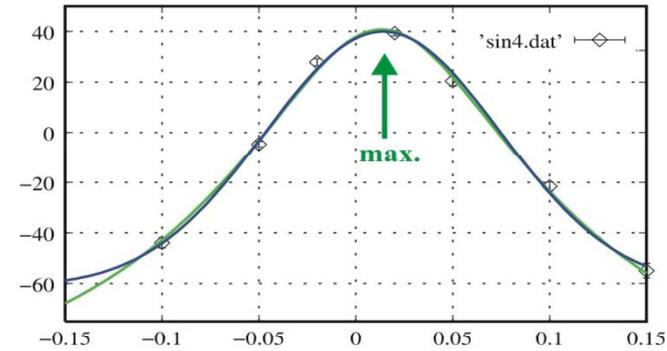
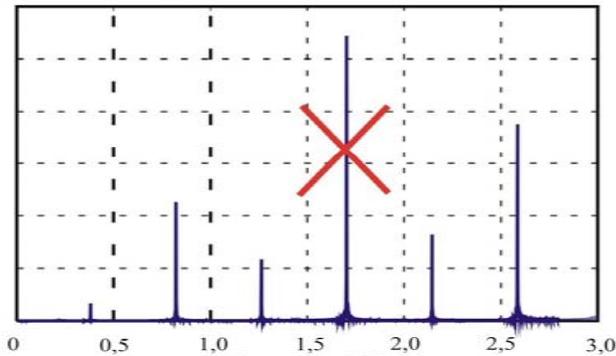
# Orbit-Korrektur auf der Rampe



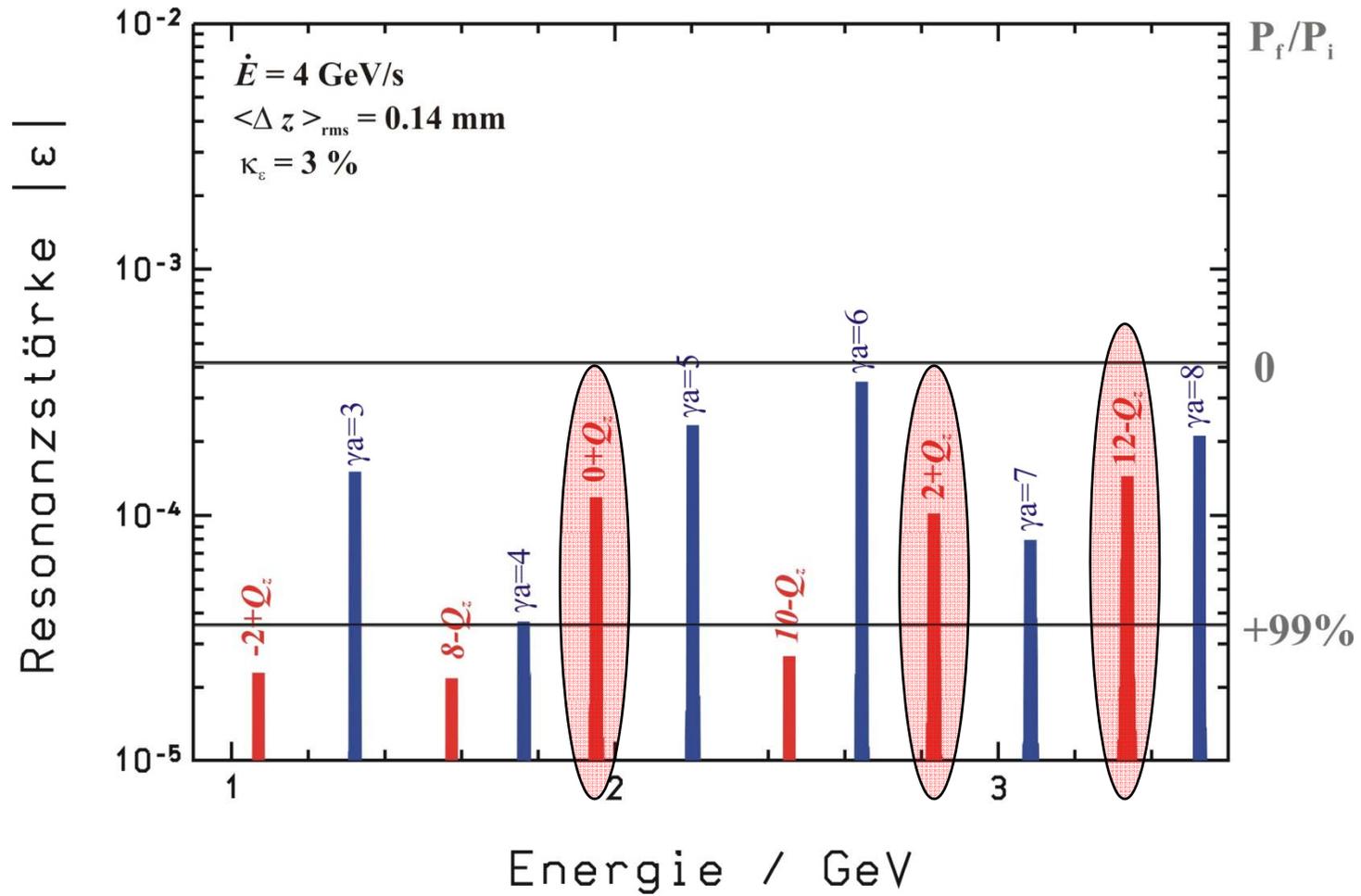
# Resonanzstärken



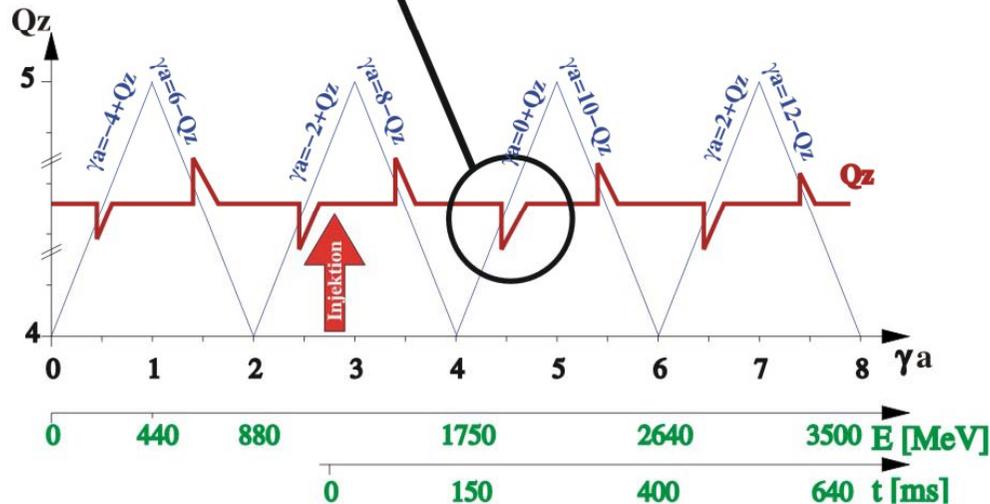
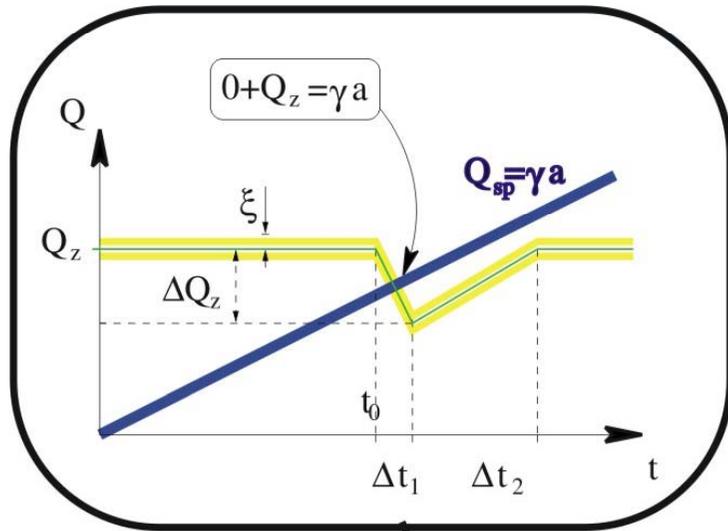
# Harmonischen Korrektur (Imperfektions-Resonanzen)



# Resonanzstärken



# „Arbeitspunktspringen“ (Intrinsische Resonanzen)



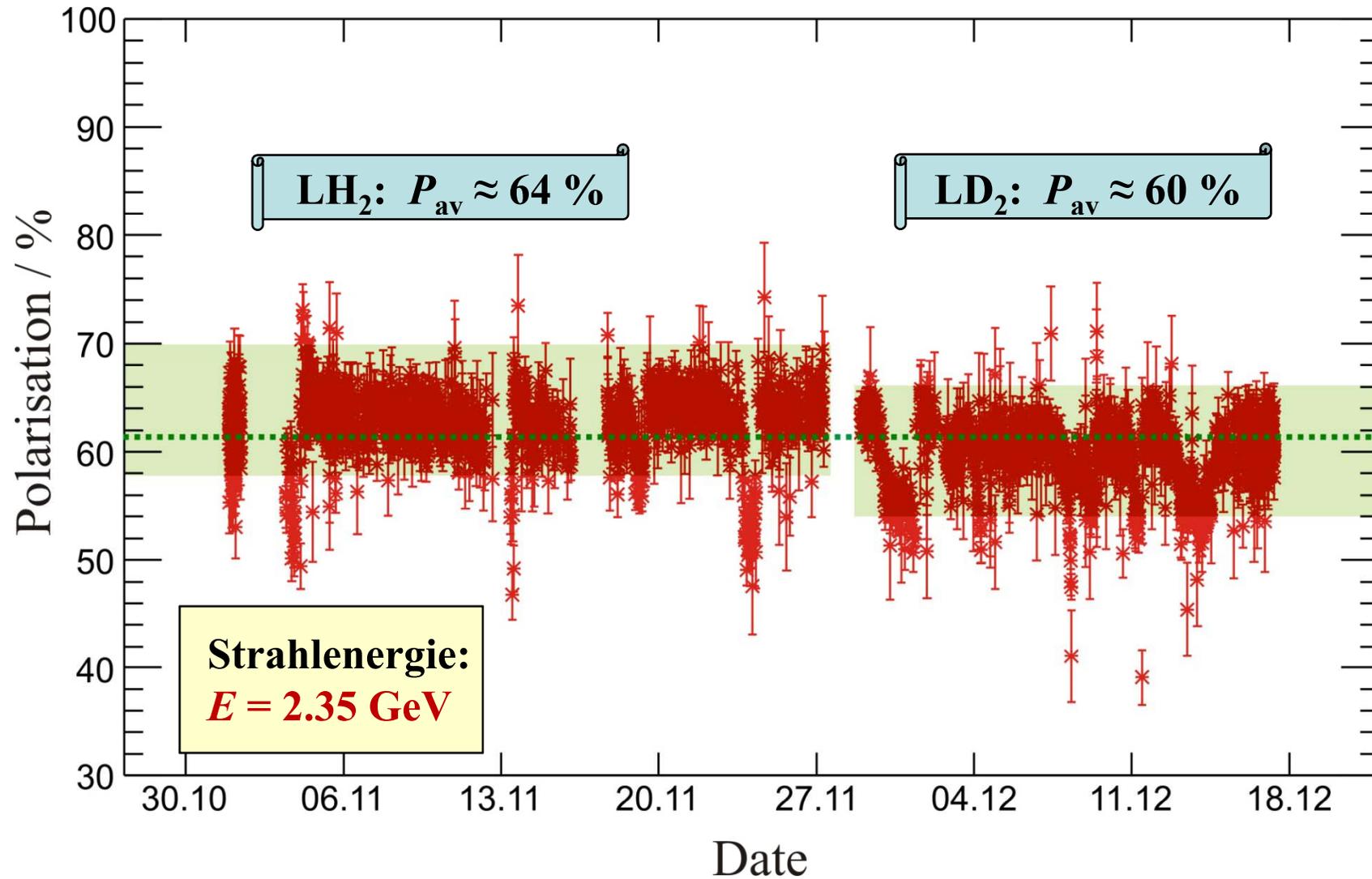
Sprungquadrupol



Panofsky-Typ Quadrupol mit  
Ferrit-Joch

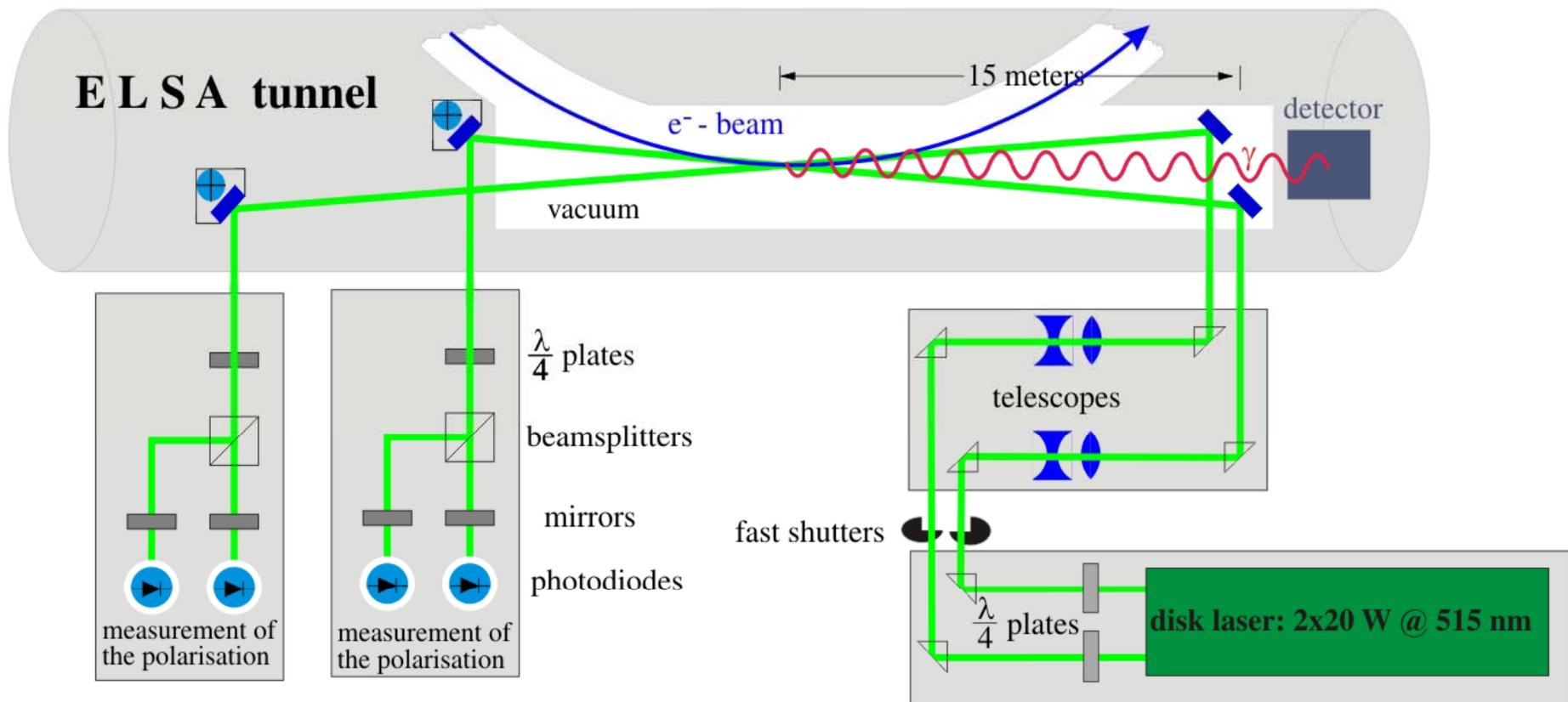
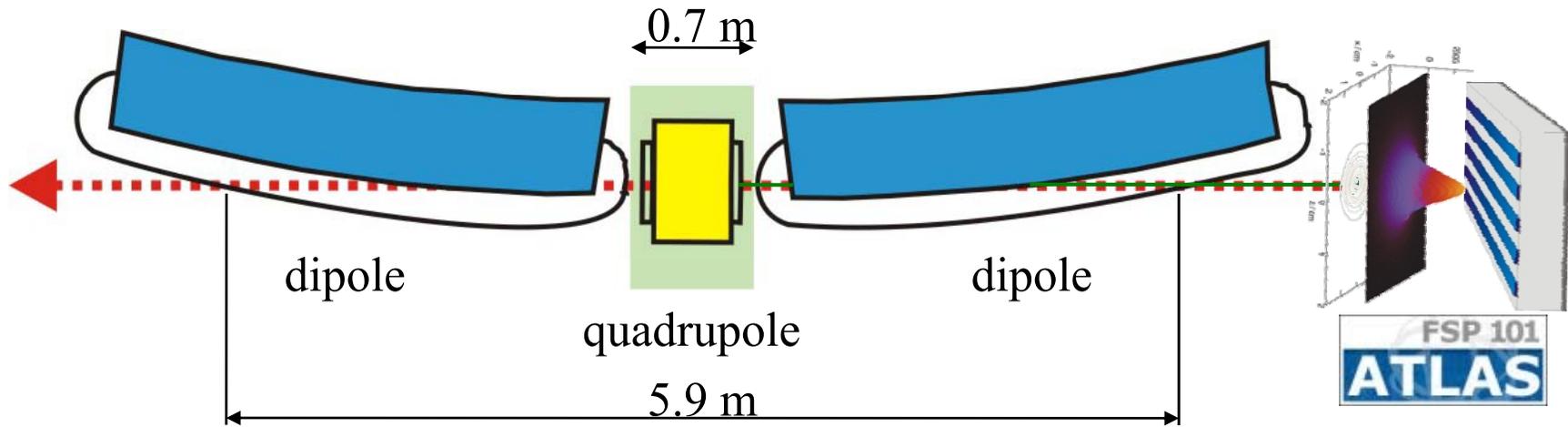
Vakuumkammer:	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Keramik mit 10 μm Titanbeschichtung
Widerstand:	(4,298 ± 0.001) mΩ (DC)
Induktivität:	(9,0 ± 0,1) μH (DC)
max. Pulsstrom:	500 A
max. Feldgradient:	(1,1241 ± 0,005) T/m
steigende Flanke:	4 - 14 μs
fallende Flanke:	4 - 20 ms

# Polarisation Nov. / Dez. 2008

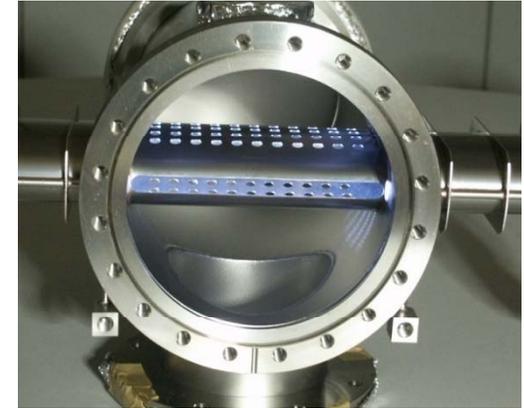


# Aktuelles und Zukünftiges

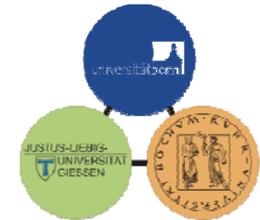
- interne **Polarimetrie**
- höherer und geringerer **Strahlstrom**
- polarisierte Elektronen für die GSI: **ENC@FAIR**



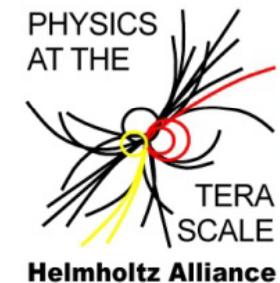
# Höhere Intensität – Betrieb mit $I = 200$ mA:



- Verkleinerung der **Koppelimpedanz**
- Dämpfung der Resonator-**HOMs**
- Aktives **Bunch to Bunch Feedback**
- **Single-Bunch** Betrieb zu Diagnosezwecken
- Erweiterung der **Strahldiagnose**
- Intensitätserhöhung **Photoinjektor**



SFB/TR 16



# Messplatz für Detektortests

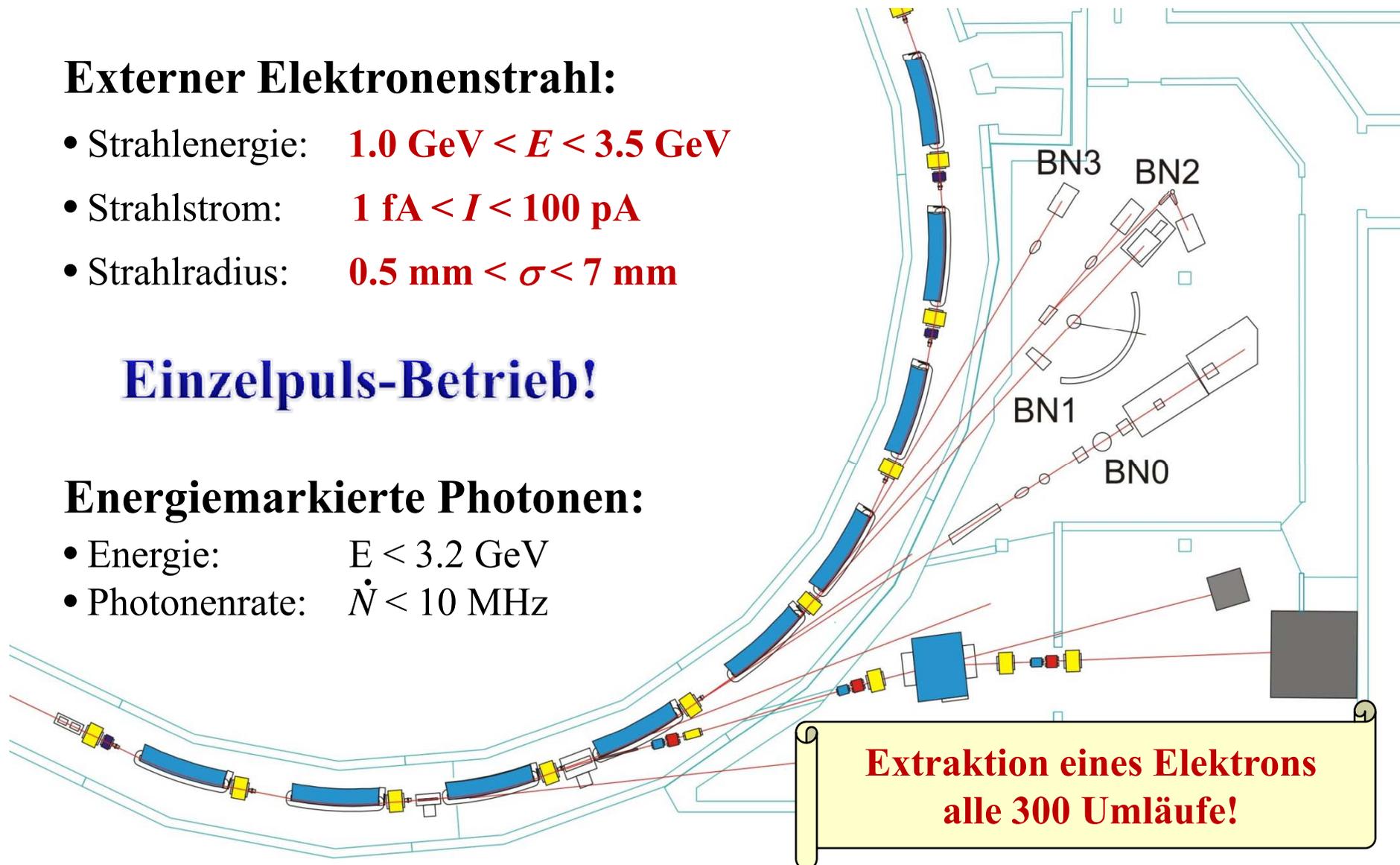
## Externer Elektronenstrahl:

- Strahlenergie:  $1.0 \text{ GeV} < E < 3.5 \text{ GeV}$
- Strahlstrom:  $1 \text{ fA} < I < 100 \text{ pA}$
- Strahlradius:  $0.5 \text{ mm} < \sigma < 7 \text{ mm}$

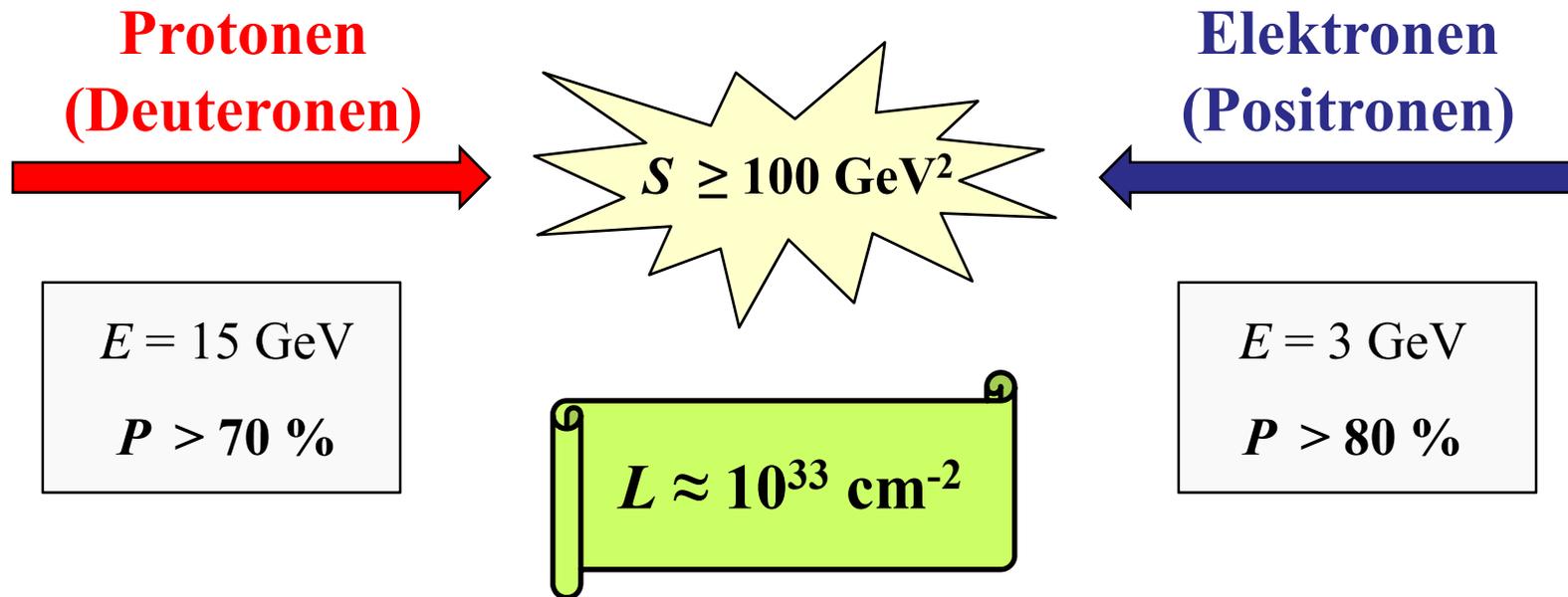
## Einzelpuls-Betrieb!

## Energiemarkierte Photonen:

- Energie:  $E < 3.2 \text{ GeV}$
- Photonenrate:  $\dot{N} < 10 \text{ MHz}$

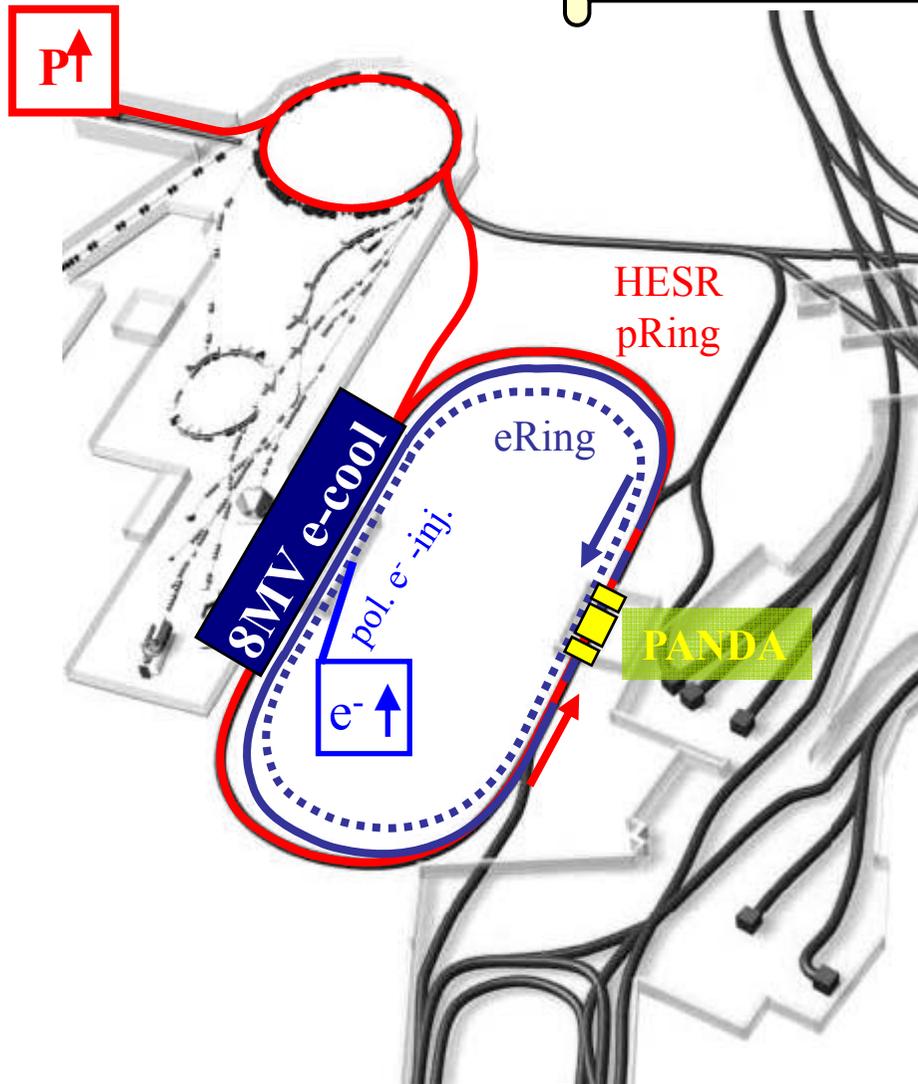


# Elektronen-Nukleonen-Kollider



\* ENC@FAIR: Sommer 2008

# ENC@FAIR



## Hochenergie-Speicherring HESR:

- $R = 30 \text{ m}$ ,  $L = 576 \text{ m}$
- $E = 15 \text{ GeV}$  (Protonen)
- $h = 100$ ,  $n_p = 3,6 \cdot 10^{10}$
- $\varepsilon_n = 2 \text{ mm mrad}$
- $P > 70 \%$



## Elektronen-Speicherring:

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



ENC-Konsortium

K. Aulenbacher, A. Jankowiak,  
W. Hillert, A. Lehrach, T. Weiss

# Spin- und Strahldynamik eines Elektronen-Speicherrings für ENC@FAIR

## Strahldynamik bei $I = 2A$ :

- **Strahlinstabilitäten:** single und multibunch CBIs, HOMs
- **Ioneneinfang,** Vakuum-Anforderungen
- „runde“ Strahlen im IP

## Spindynamik:

- **Spinrotatoren:** longitudinale und transversale Polarisation
- **Depolarisation** durch Spindiffusion
- polarisierte Positronen?

# Zusammenfassung

- **Routine-Betrieb mit polarisierten Elektronen:**
  - gepulster Photoinjektor mit  $I = 100$  mA,  $P = 80\%$
  - Beschleunigung auf  $E \leq 3.2$  GeV mit  $P_{\text{Exp}} \geq 50\%$
- **Polarimetrie und Diagnose: Compton-Polarimeter**
- **Höherer Strahlstrom (intern  $I \leq 200$  mA)**
- **Messplatz für Detektoren:  $100$  pA  $> I > 1$  fA**
- **ENC@FAIR: polarisierte Elektronen bei der GSI?!**

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!

In Betrieb

Im Aufbau