

Polarisierte Elektronenstrahlen in ELSA

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**

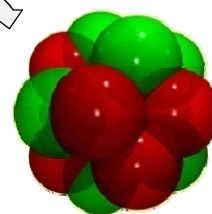
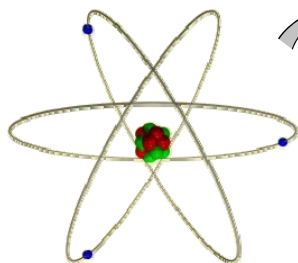
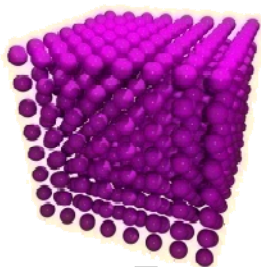
**Starke
Wechselwirkung**

Kristallgitter

Atom

Atomkern

Hadron



10^{-9}m

10^{-10}m

10^{-14}m

10^{-15}m

„Nanometer“

„Femtometer“

Baryonen - Spektroskopie

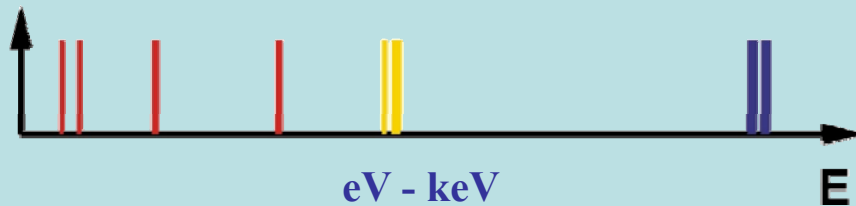
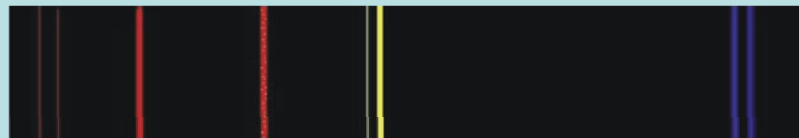
Atomphysik



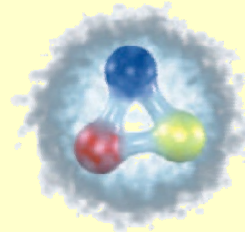
Atom: 10^{-10} m

Anregung mit Photonen:

Linienpektrum



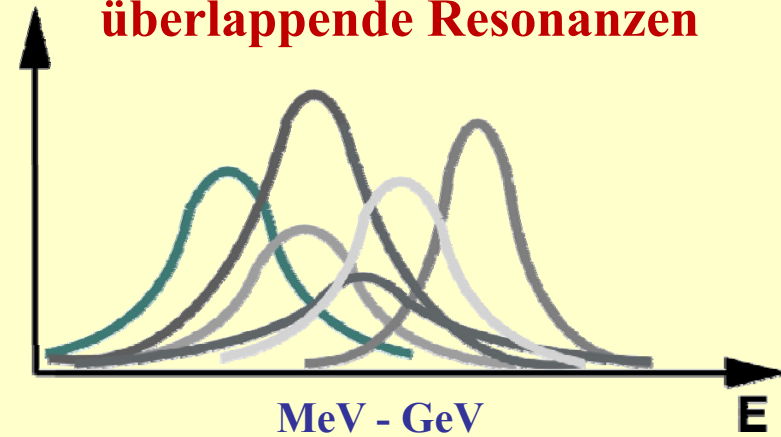
Hadronenphysik



Hadron: 10^{-15} m

Anregung mit Photonen:

überlappende Resonanzen

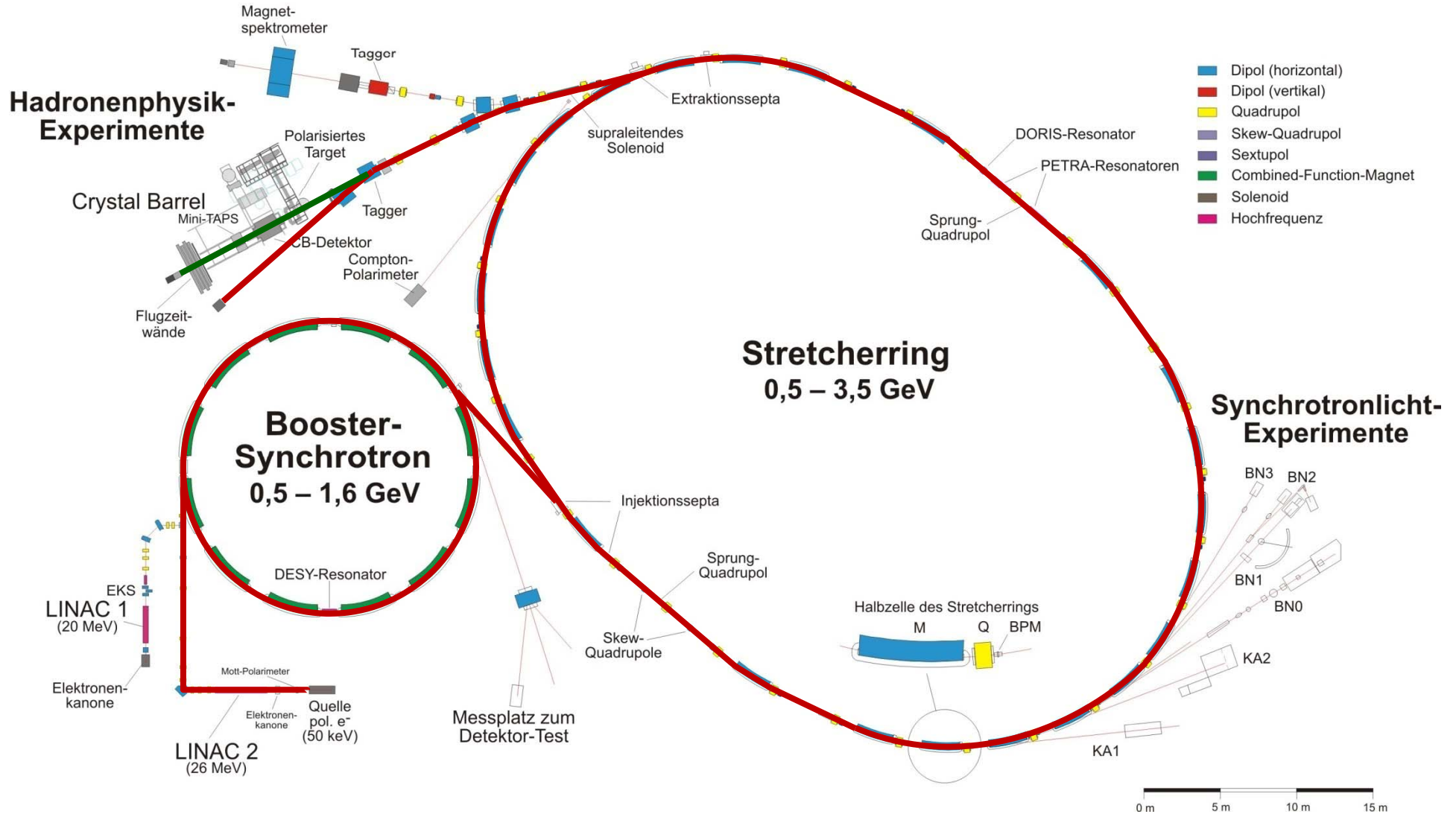


Linienbreite aus $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$

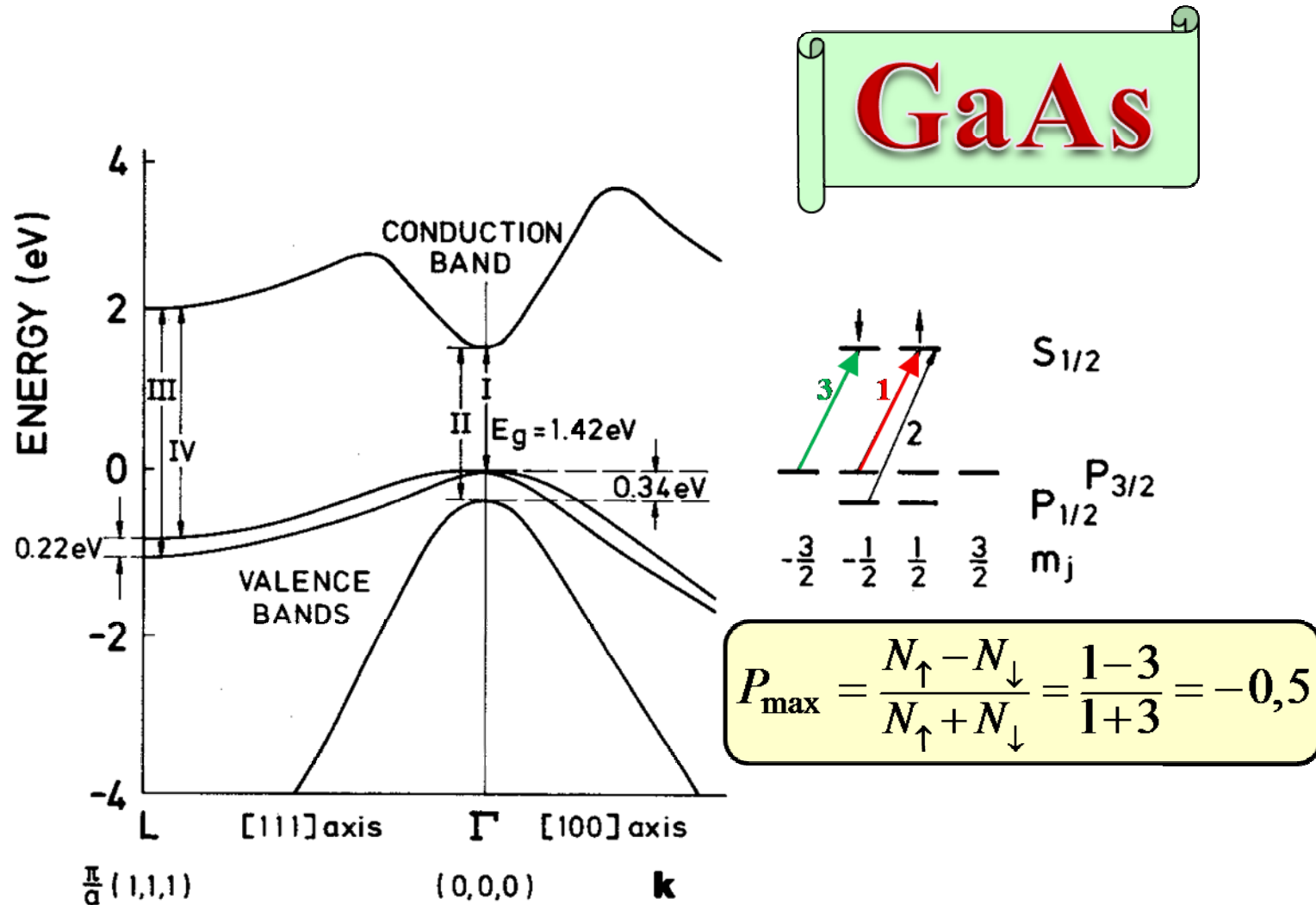
→

Doppelpolarisationsexperimente

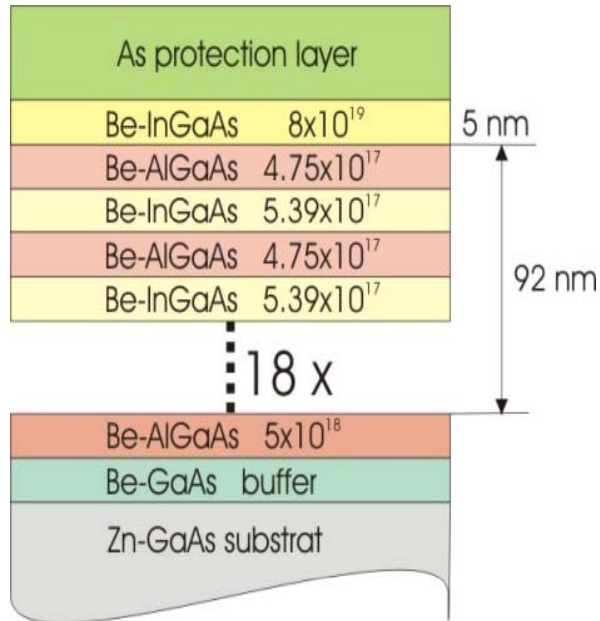
Elektronen-Stretcher-Anlage (ELSA)



Erzeugung polarisierter Elektronen

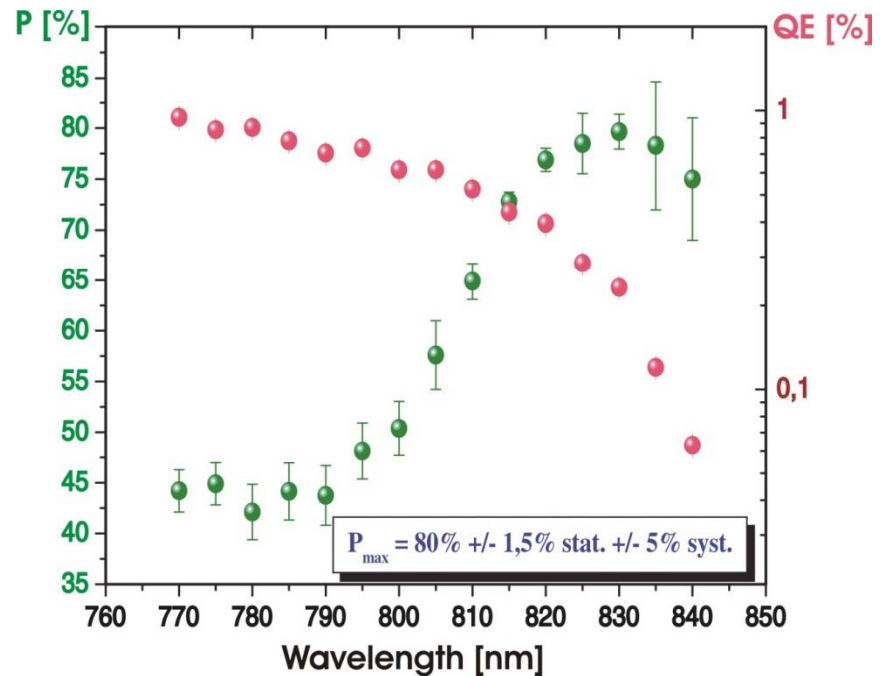


Erzeugung polarisierter Elektronen



Be-InGaAs/AlGaAs Superlattice

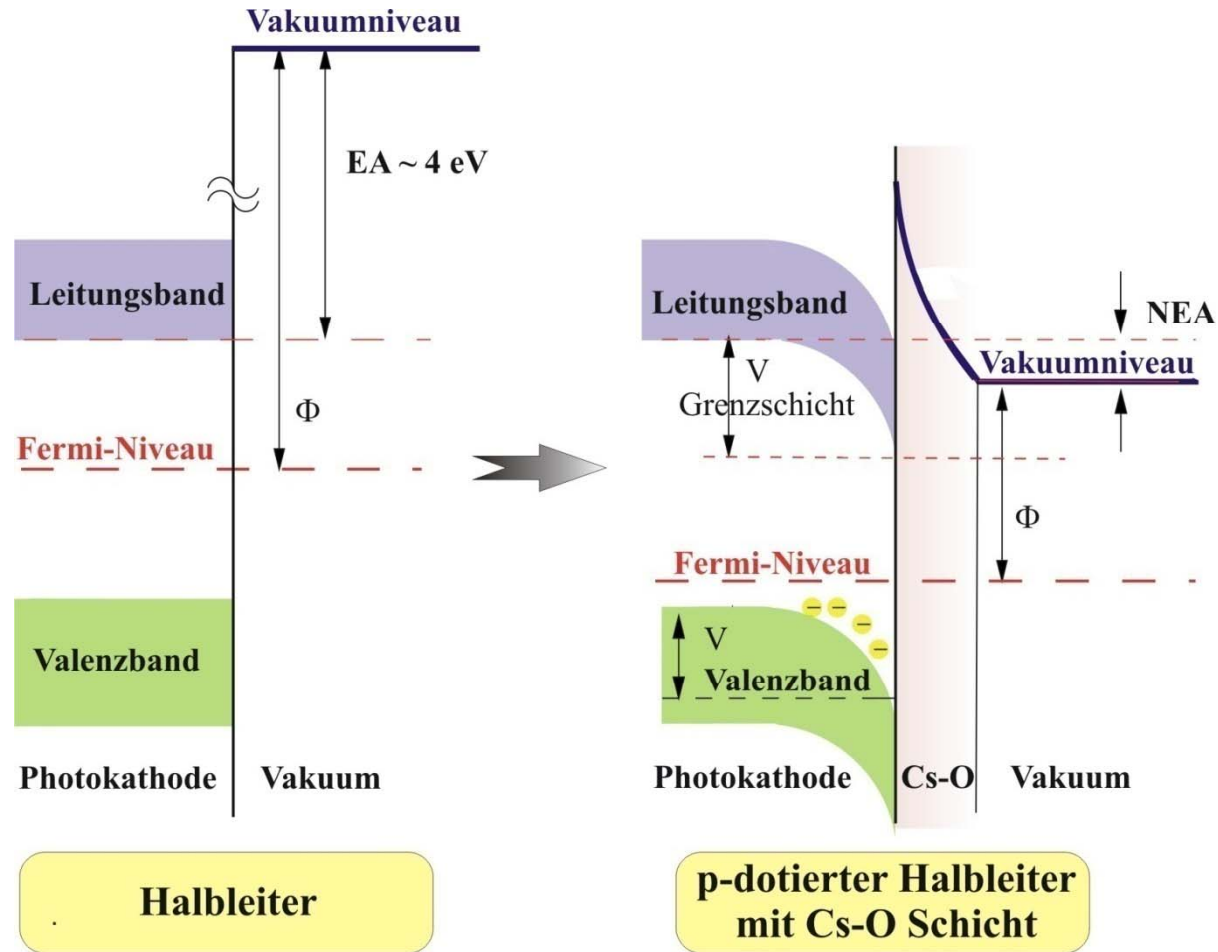
Polarisation



Aufhebung der Entartung:

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

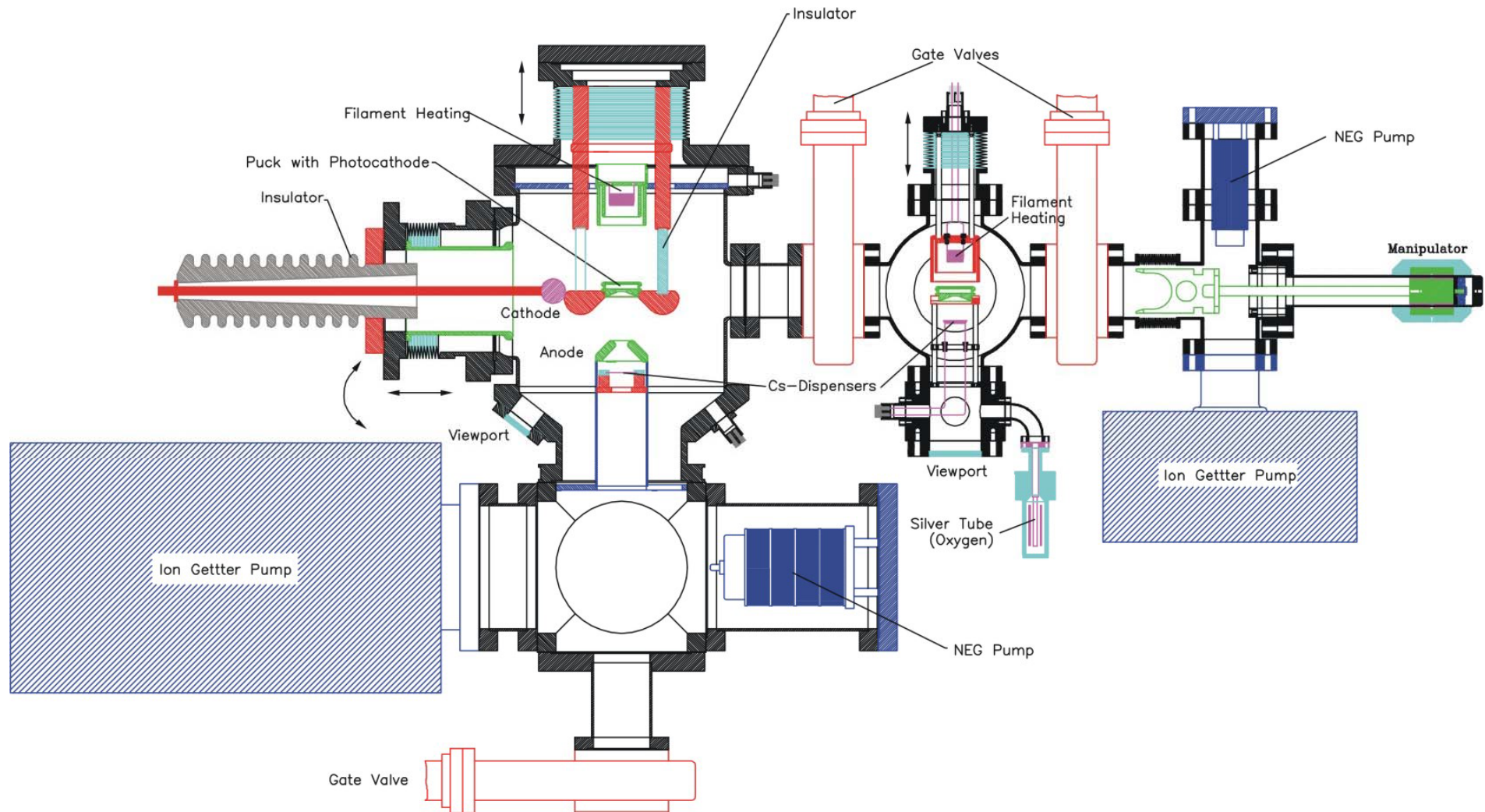
Erzeugung polarisierter Elektronen



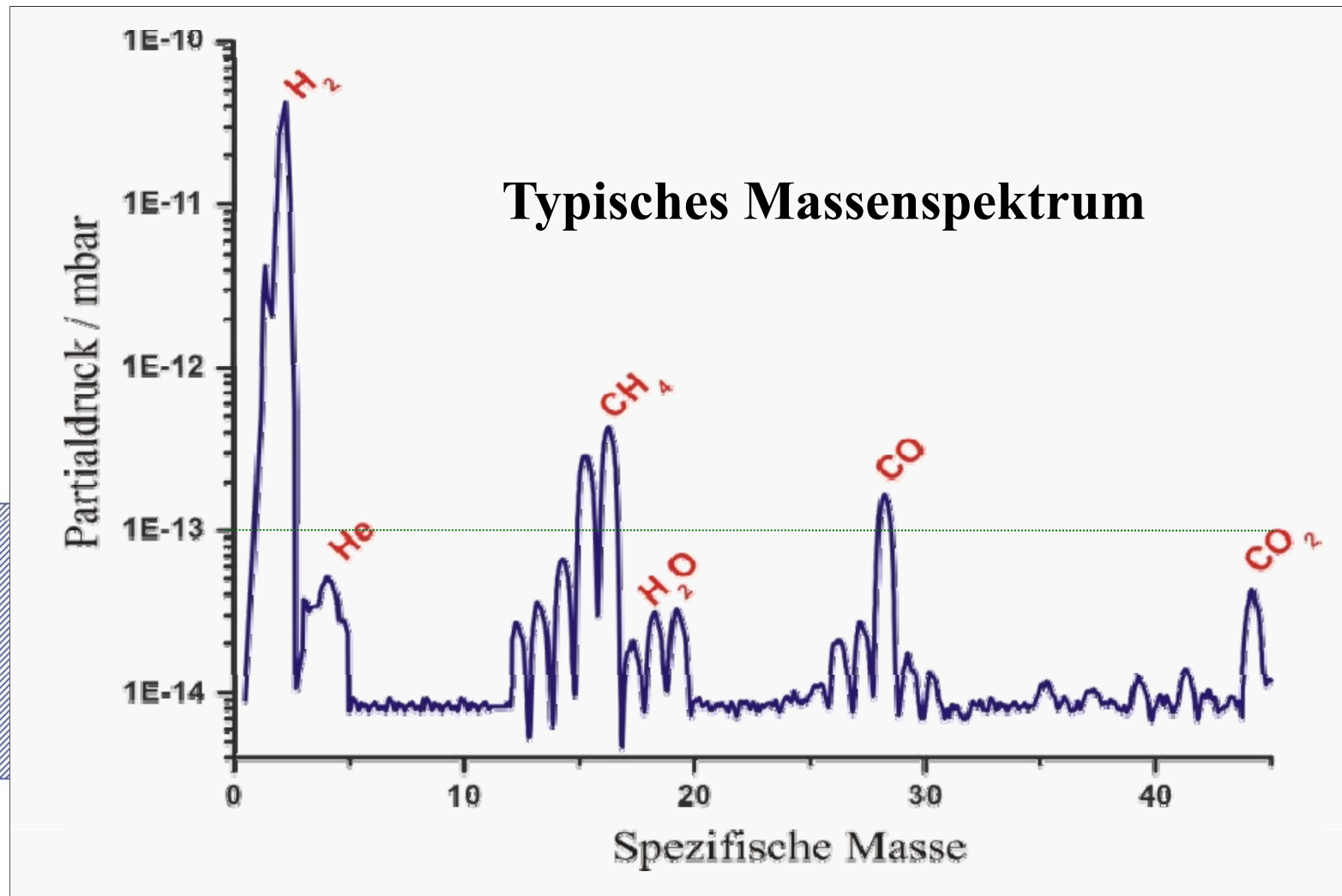
Reinigung und Bedampfung im extremen UHV

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

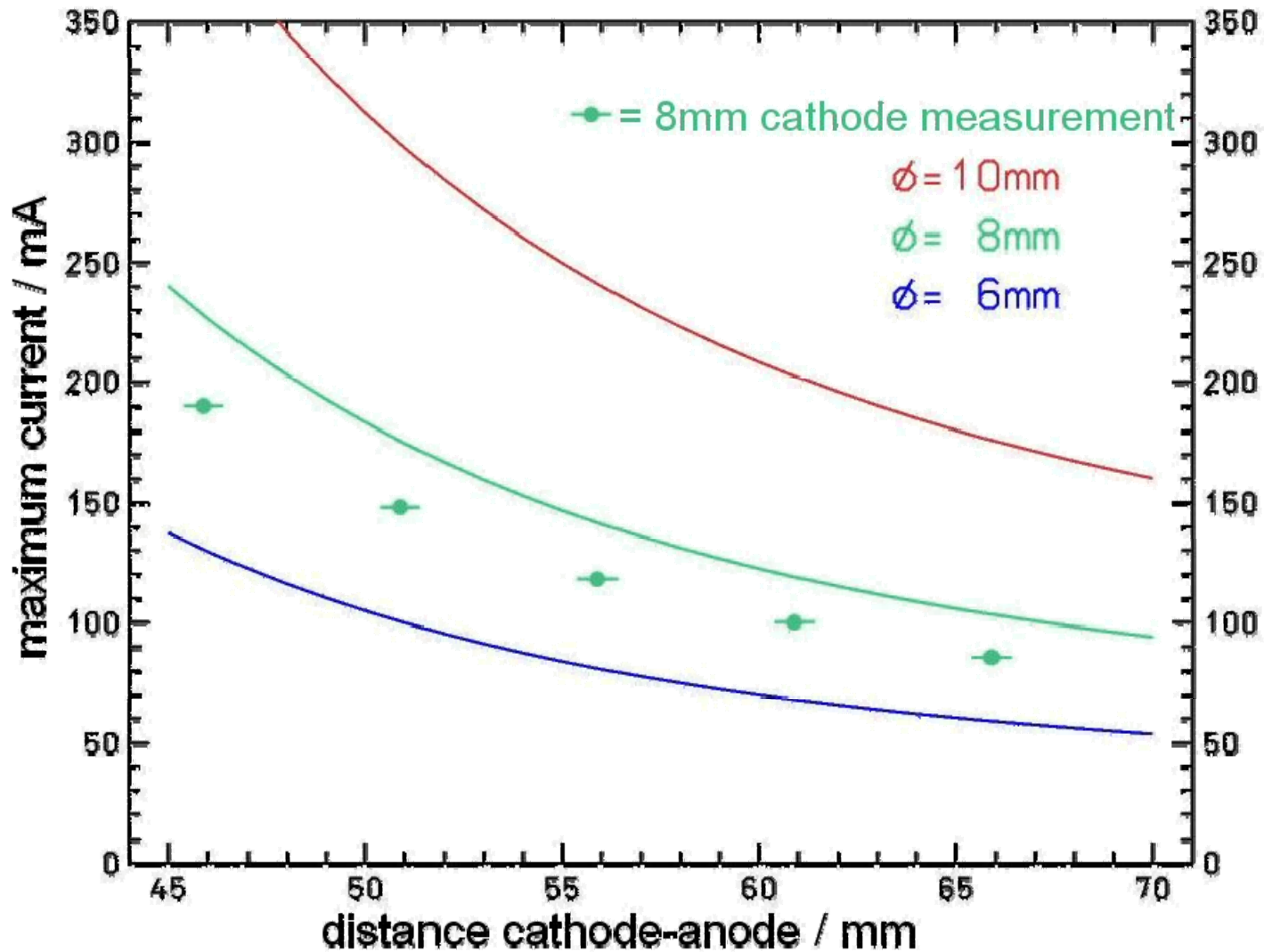
Elektronenquelle



Elektronenquelle



Raumladungsbegrenzung



Quelle polarisierter Elektronen



Betriebsparameter:

Strahlenergie: 48 keV

Strahlstrom: 100 mA

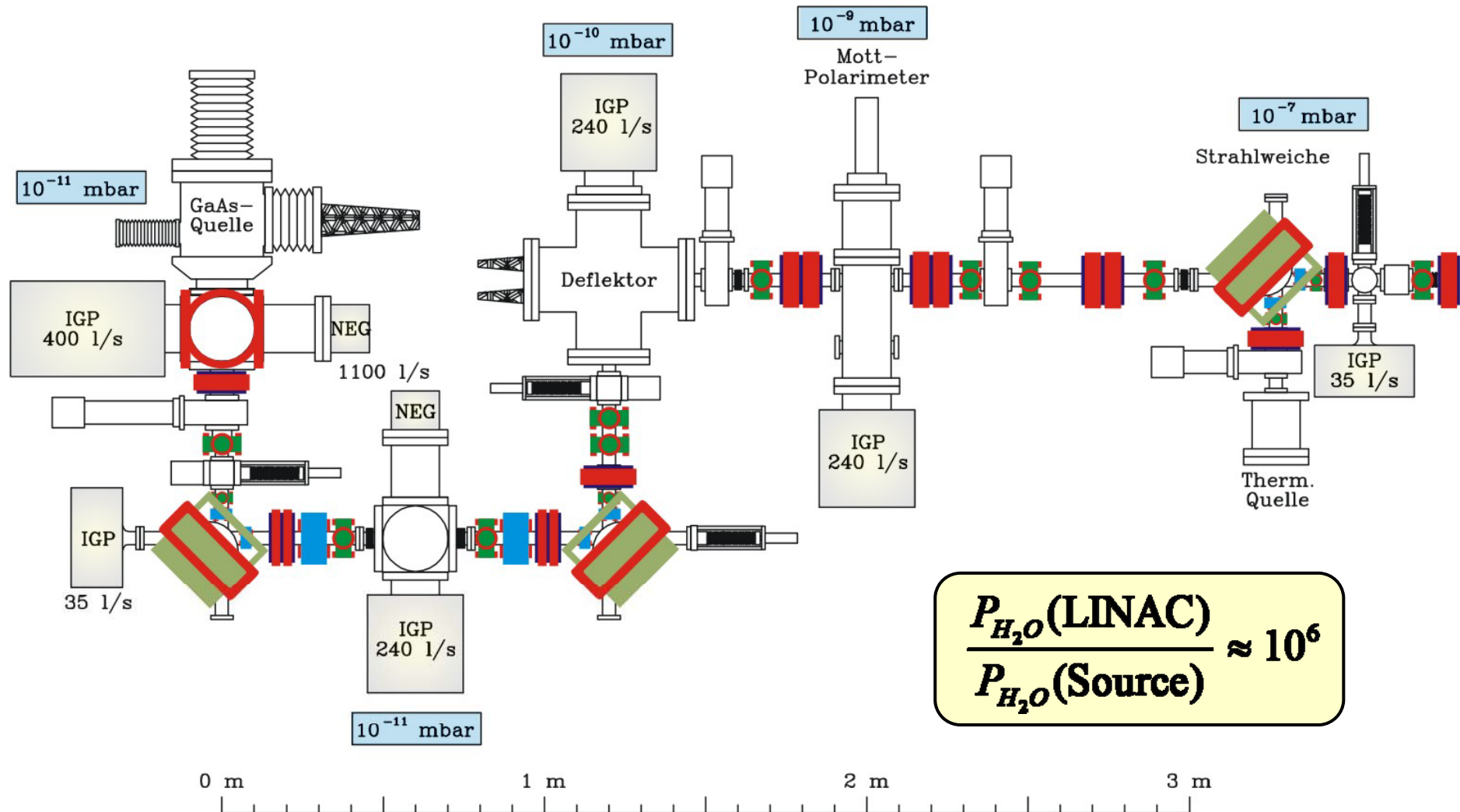
Wiederholrate: 50 Hz

Polarisation: $\approx 80\%$

Lebensdauer: > 3000 h

Kathode: Be-InGaAs/AlGaAs

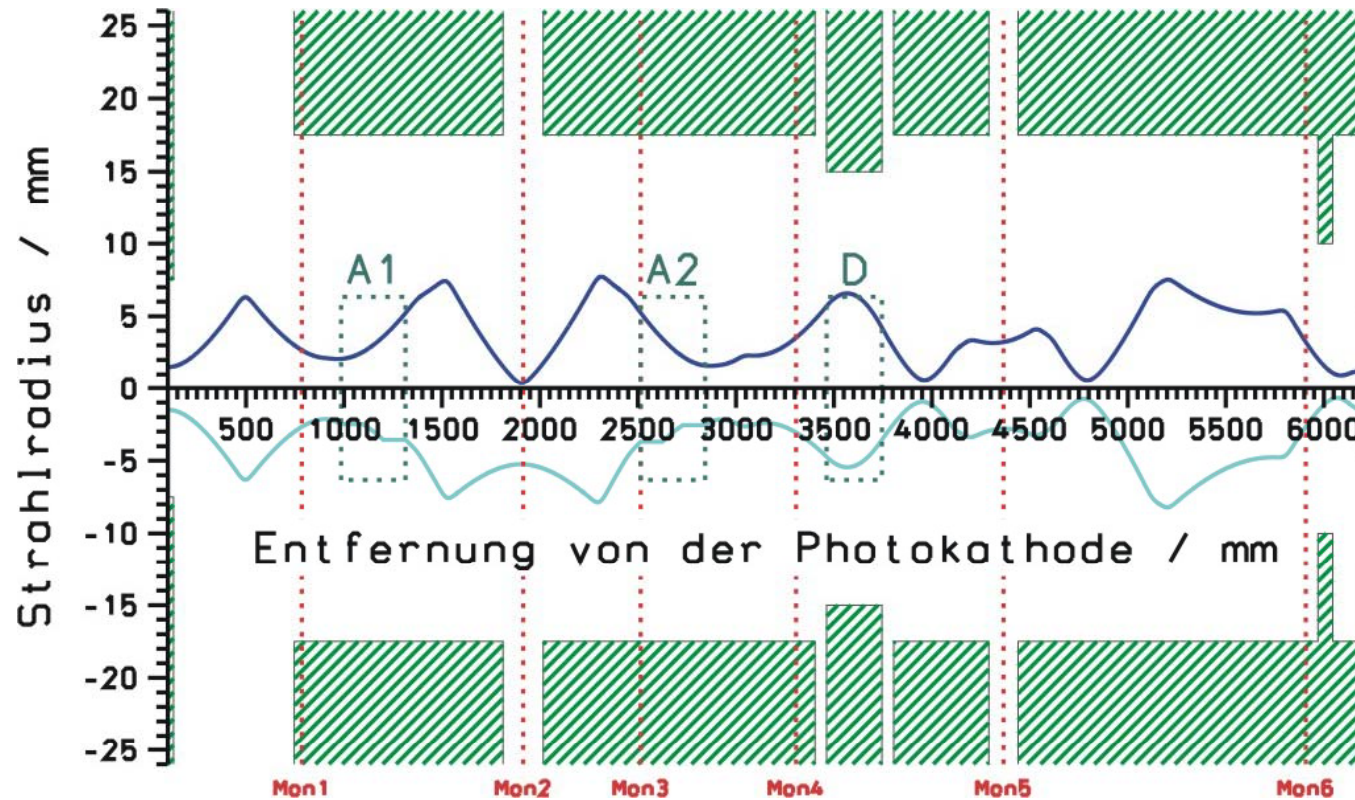
Strahlführung zum LINAC



$$\frac{P_{H_2O}(\text{LINAC})}{P_{H_2O}(\text{Source})} \approx 10^6$$

Strahltransport

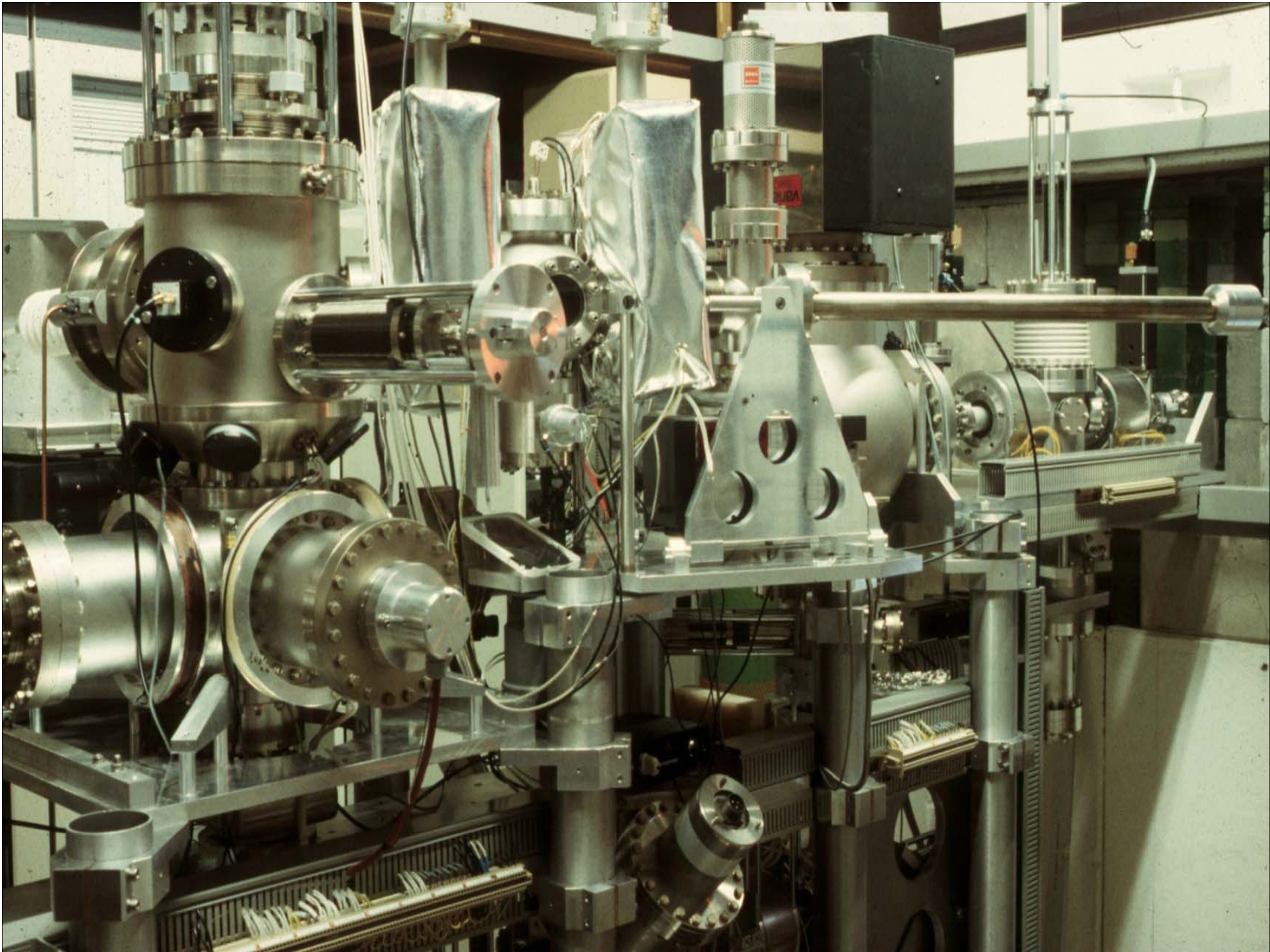
Quelle



LINAC

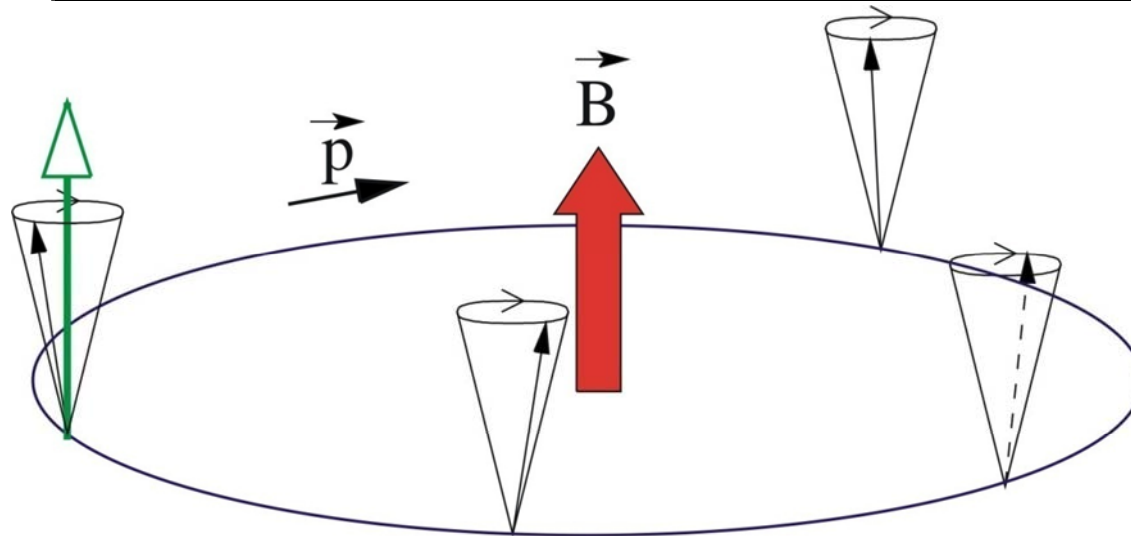
$$\frac{d^2x}{ds^2} + \{k_x(s) + S(s) + T(s)\} \cdot x - \frac{\varepsilon_x^2}{x^3} - \frac{2\zeta}{x+y} = 0$$

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



Spin-Präzession

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

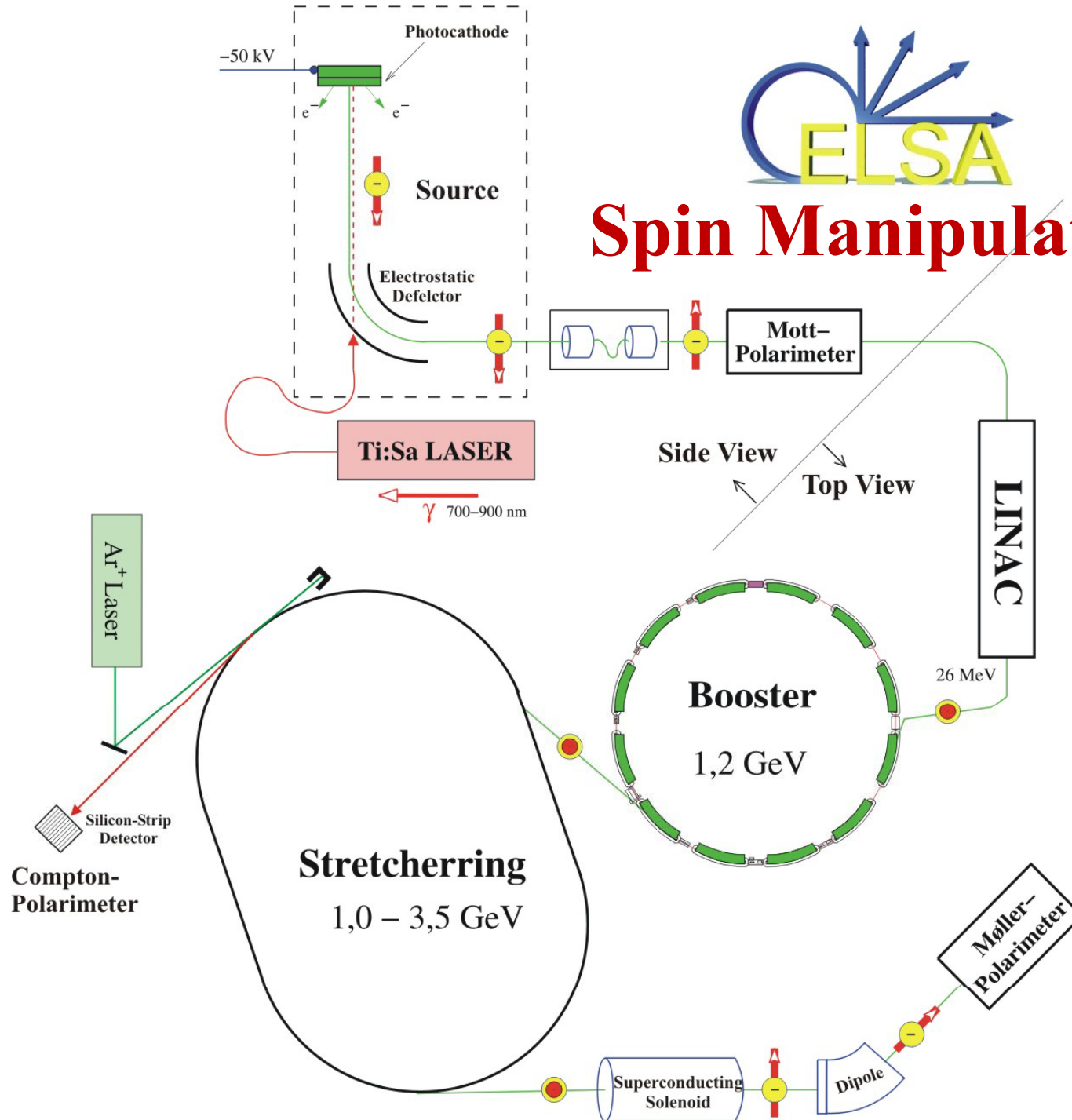


$$\frac{d\vec{S}}{dt} = \vec{\Omega} \times \vec{S} \quad \vec{\Omega}^* = -\frac{e}{m_0}(1+a) \cdot \vec{B}$$

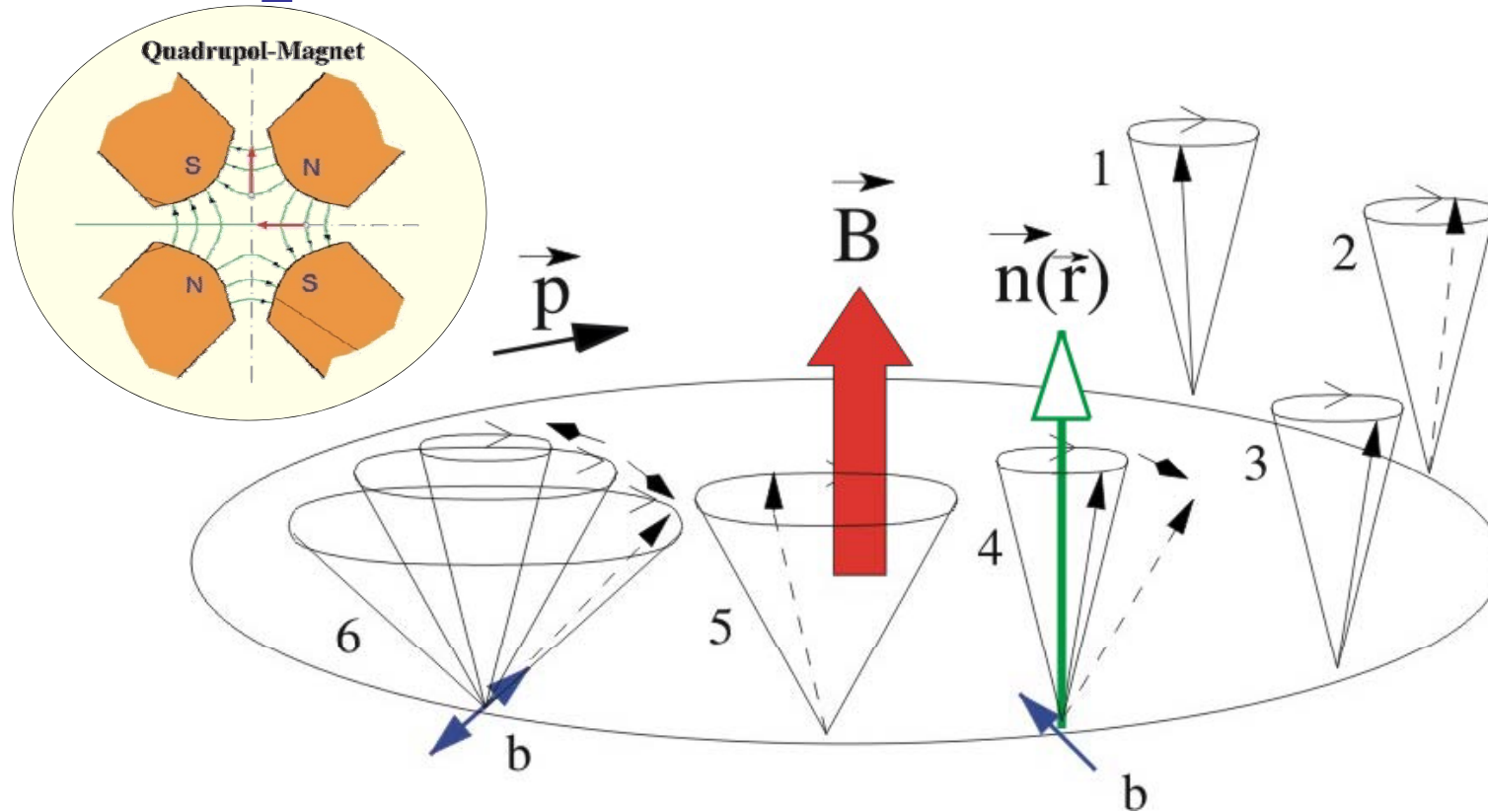
$$\vec{\Omega}_{BMT} = -\frac{e}{m_0 \gamma} \left\{ (1+a\gamma) \cdot \vec{B}_\perp + (1+a) \cdot \vec{B}_\parallel \right\}$$



Spin Manipulation



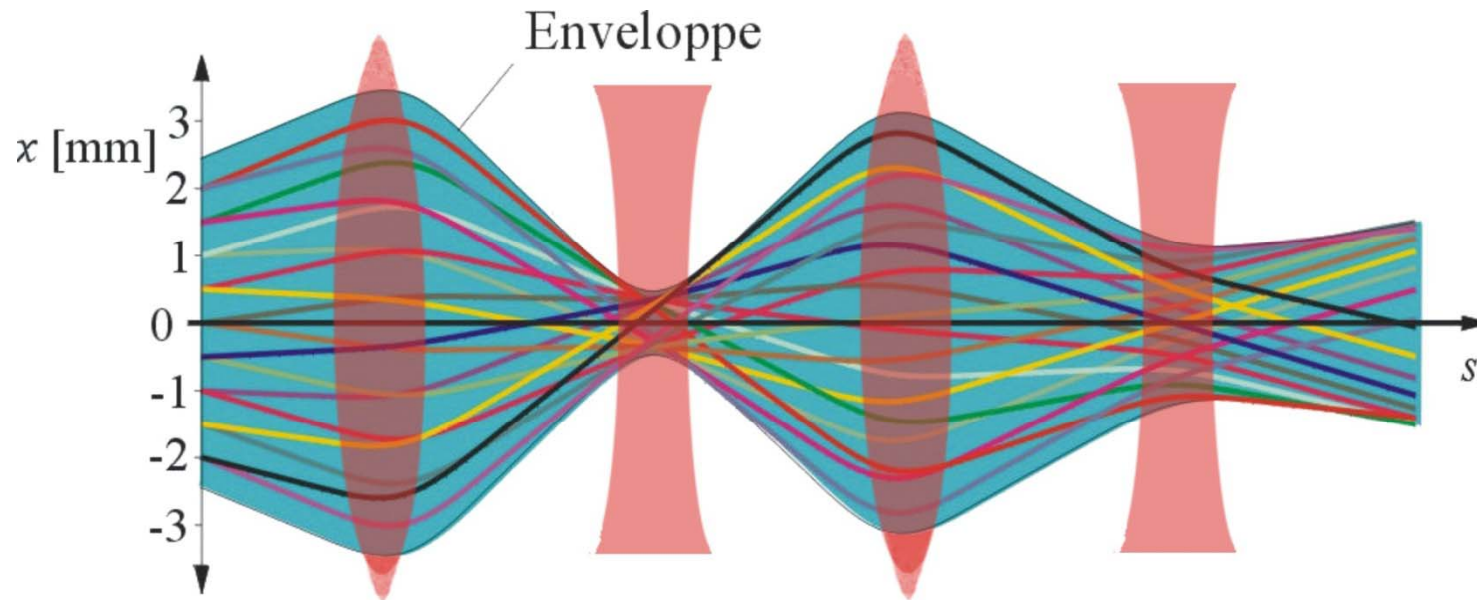
Depolarisierende Resonanzen



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**

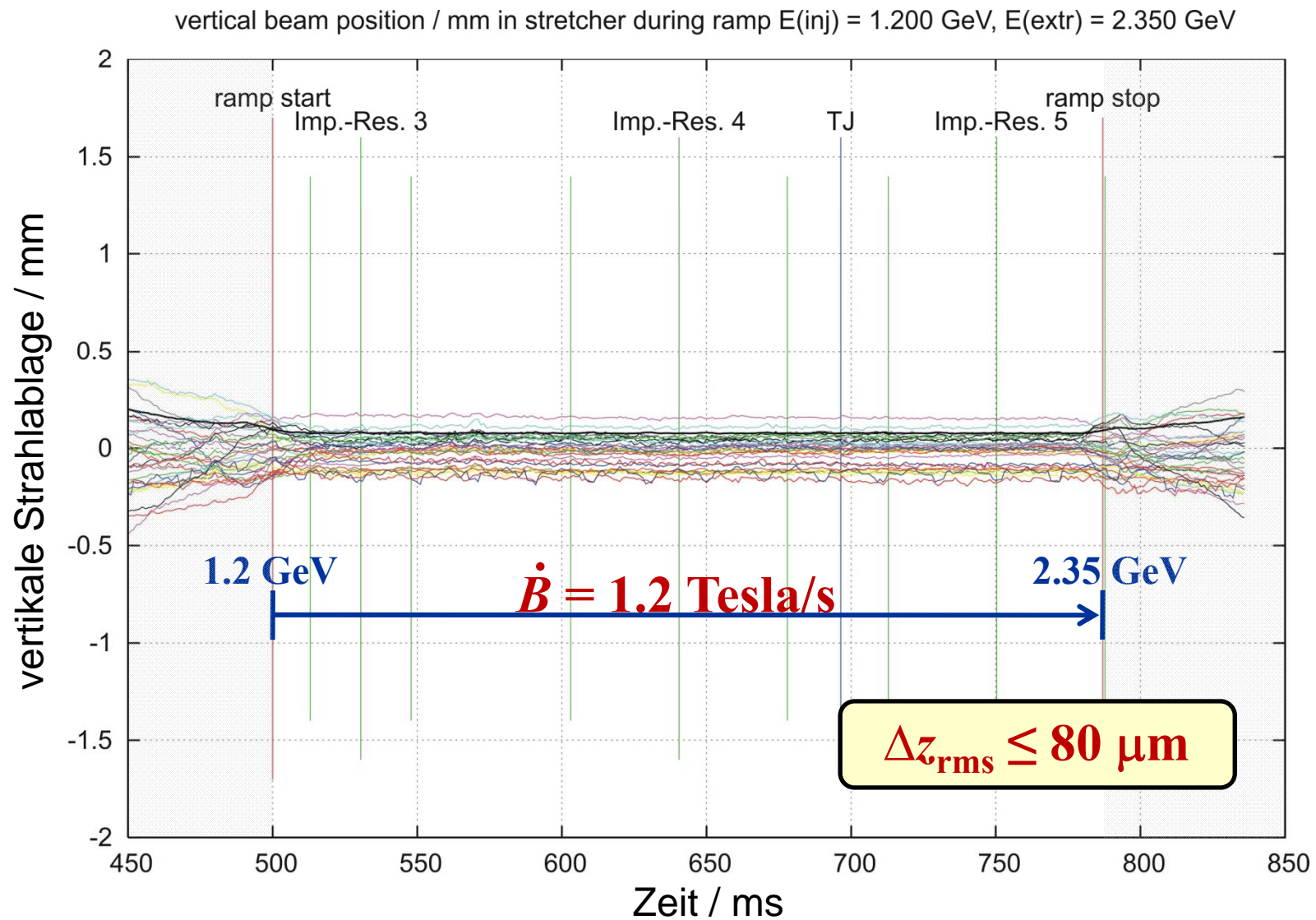
Korrektur der Gleichgewichtsbahn



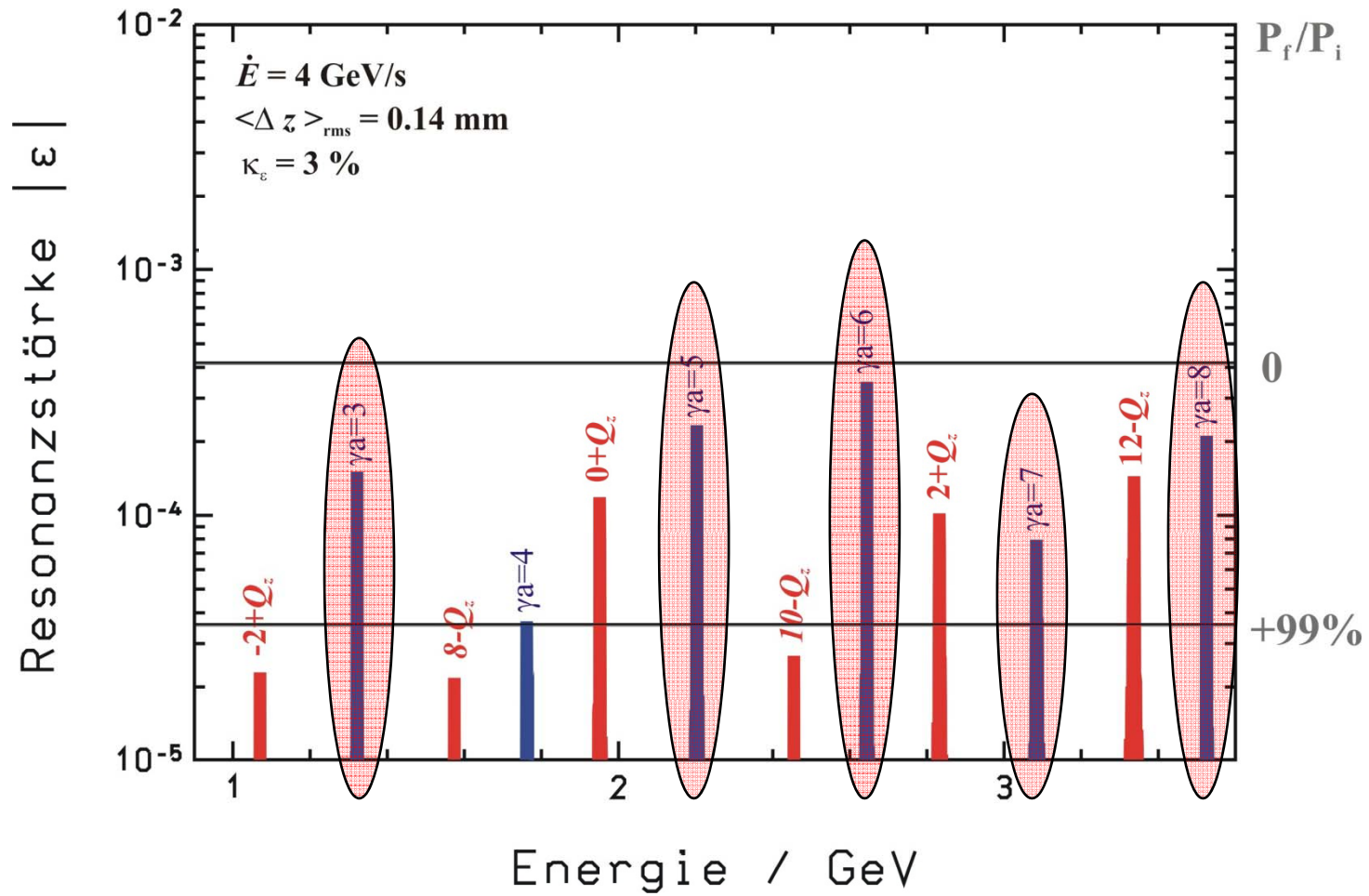
32 Positionsmonitore für 32 Quadrupol-Magnete
40 Korrektur-Magnete

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

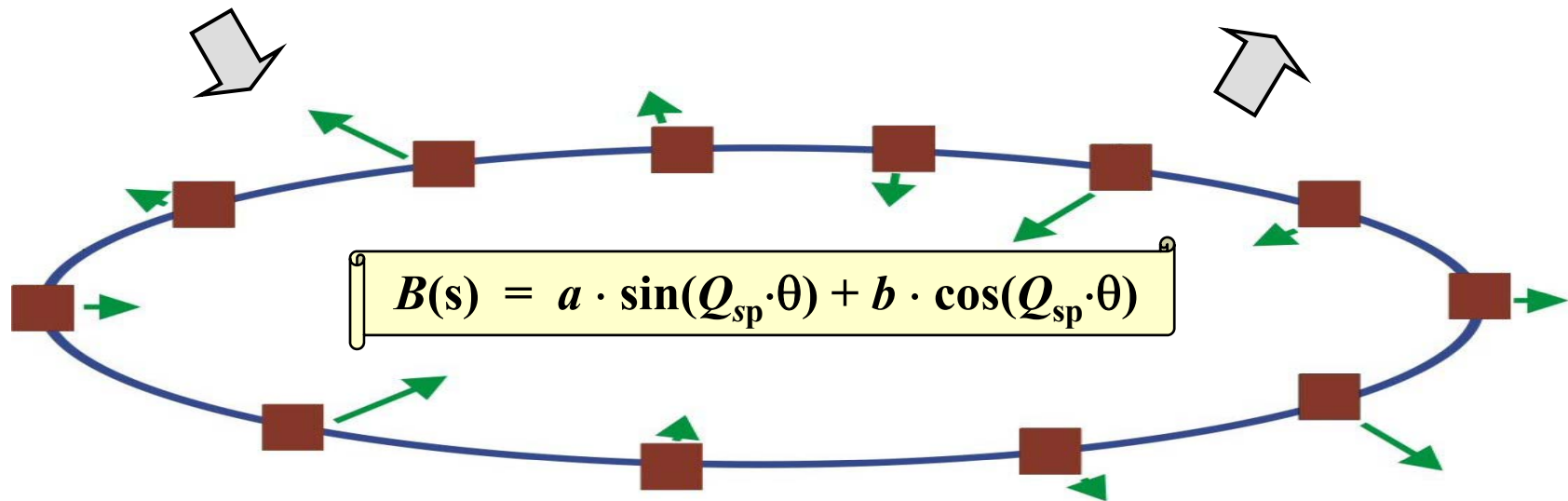
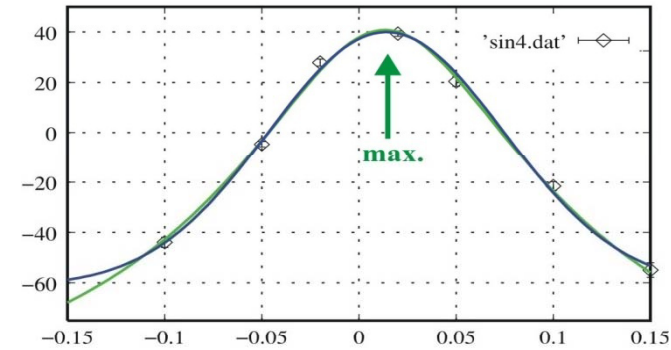
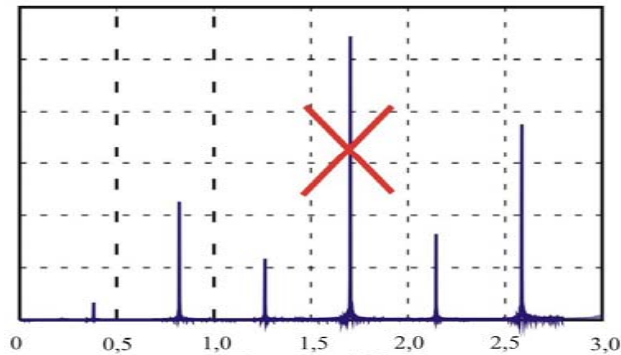
Orbit-Korrektur auf der Rampe



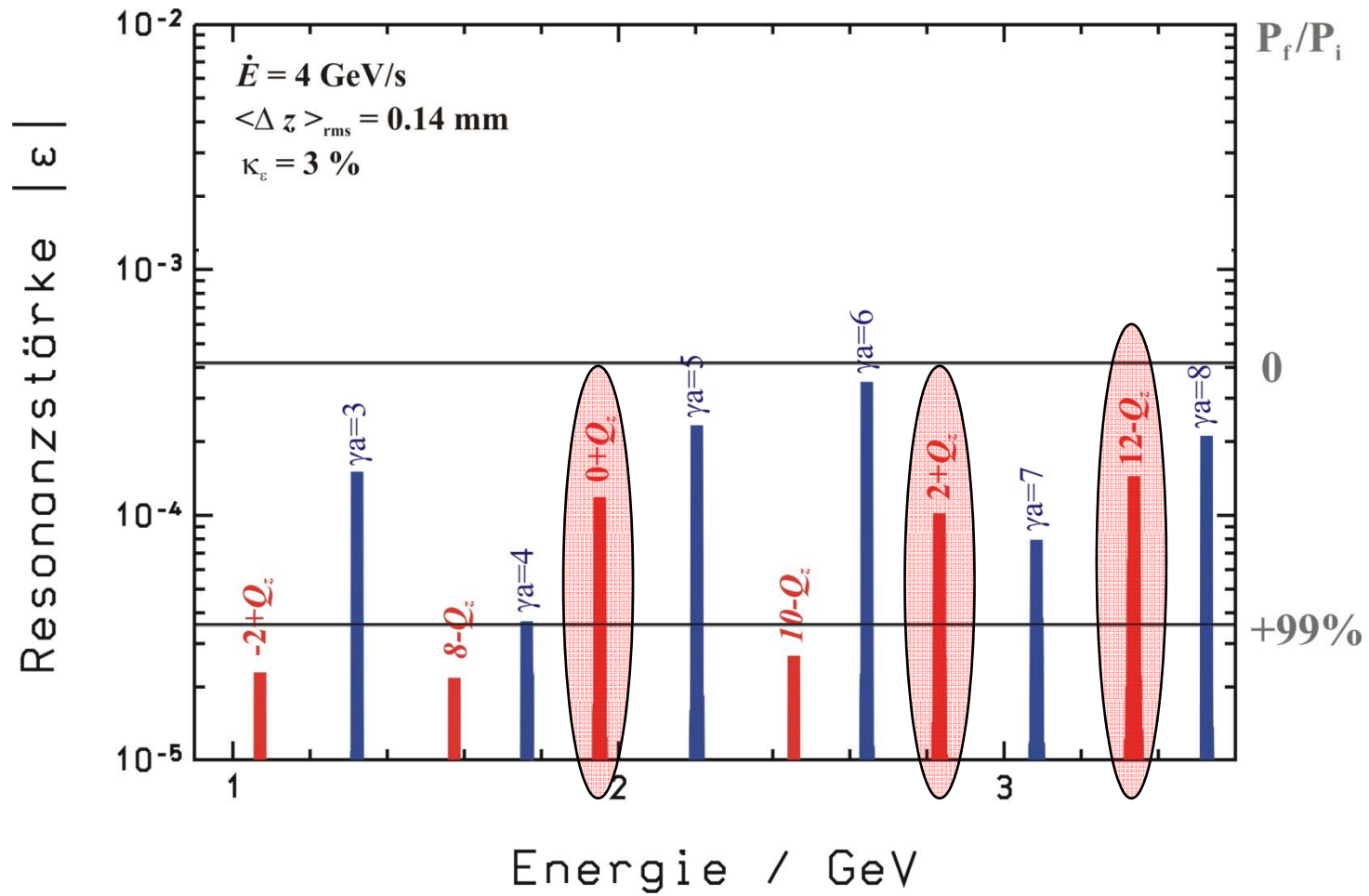
Resonanzstärken



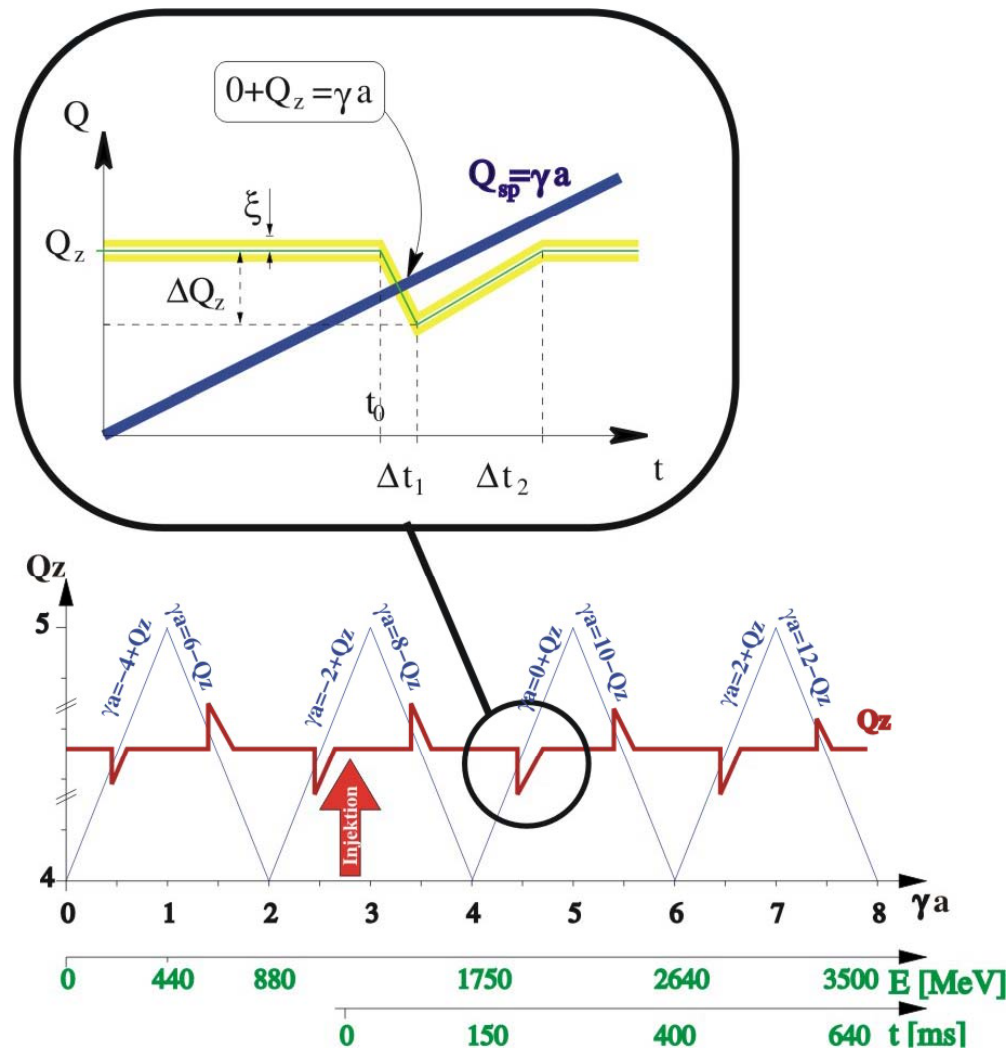
Harmonischen Korrektur (Imperfektions-Resonanzen)



Resonanzstärken



„Arbeitspunktspringen“ (Intrinsische Resonanzen)



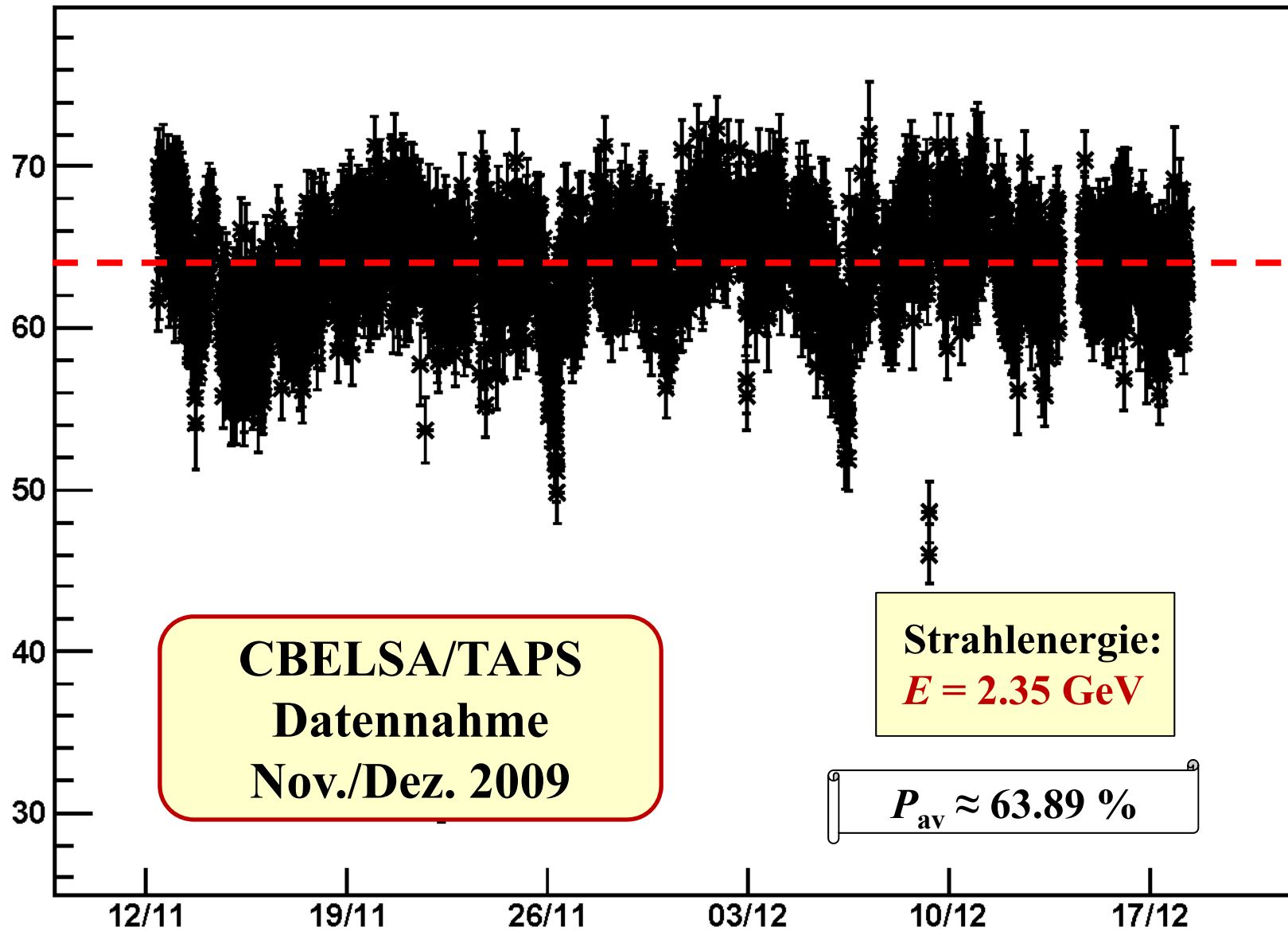
Sprungquadrupol



Panofsky-Typ Quadrupol mit
Ferrit-Joch

Vakuumkammer:	AL ₂ O ₃ 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

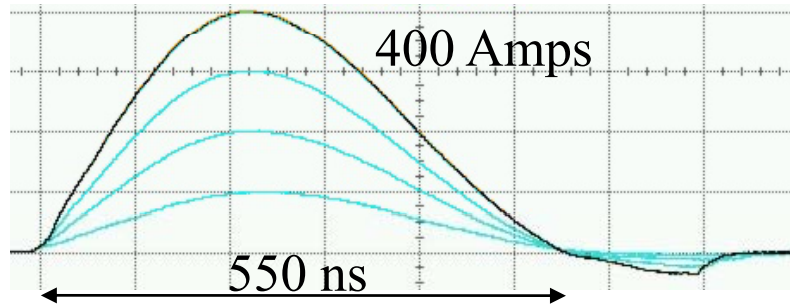
Polarisation @ 2350MeV, 12.11.2009, 10:54 - 18.12.2009, 8:49



Aktuelles und Zukünftiges

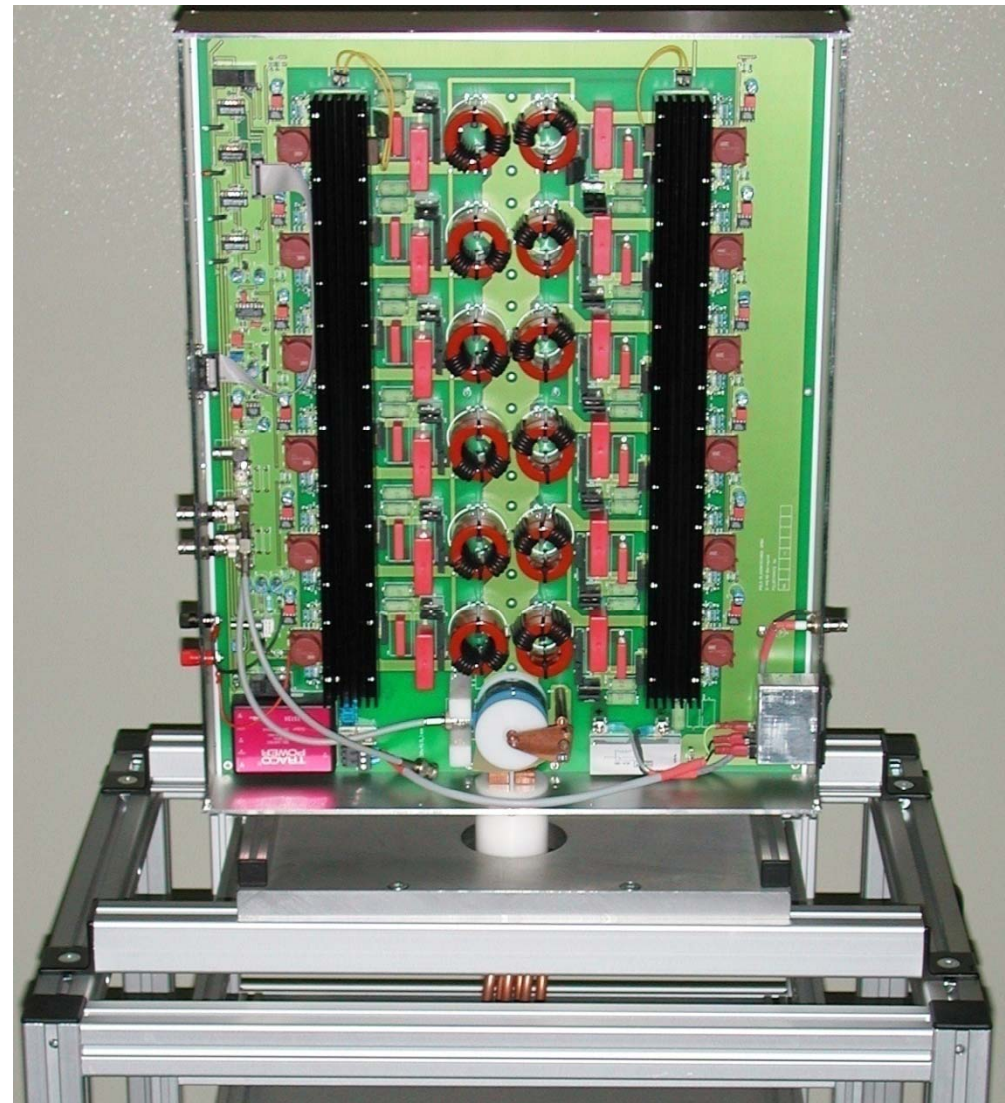
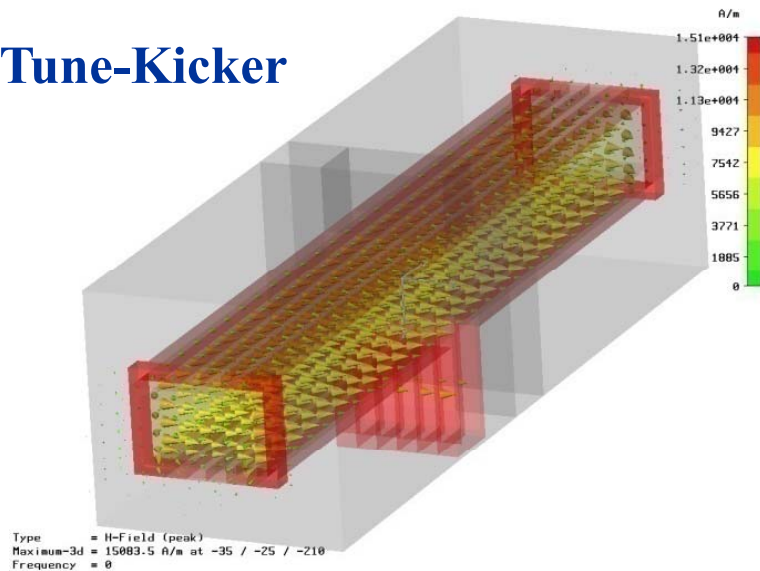
- intrinsische Resonanzen: **Messung von Q_z**
- Imperfektionsresonanzen: **neues Korrektorsystem**
- interne Polarimetrie: **(Compton-Polarimeter)**
- Strahldiagnose mit HF-Resonatoren
- Externe Strahlführung für Detektortests
- Bestrahlung am LINAC I, Einzelpulsbetrieb
- Intensitätserhöhung um ca. Faktor 10, feedbacks

Vertical Tune-Kicker

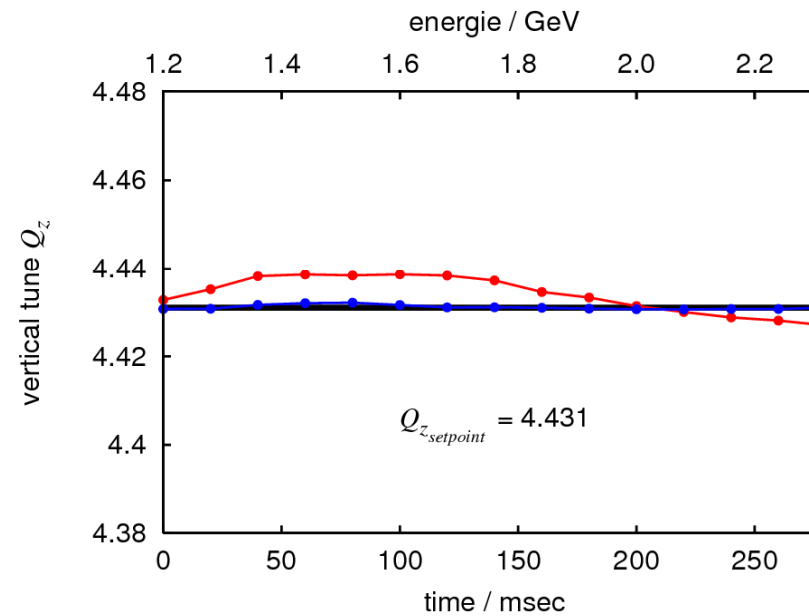
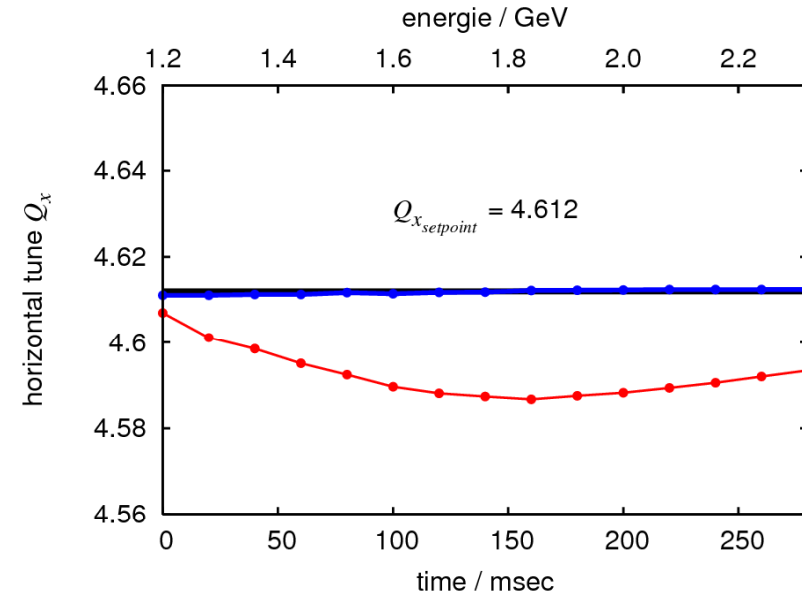
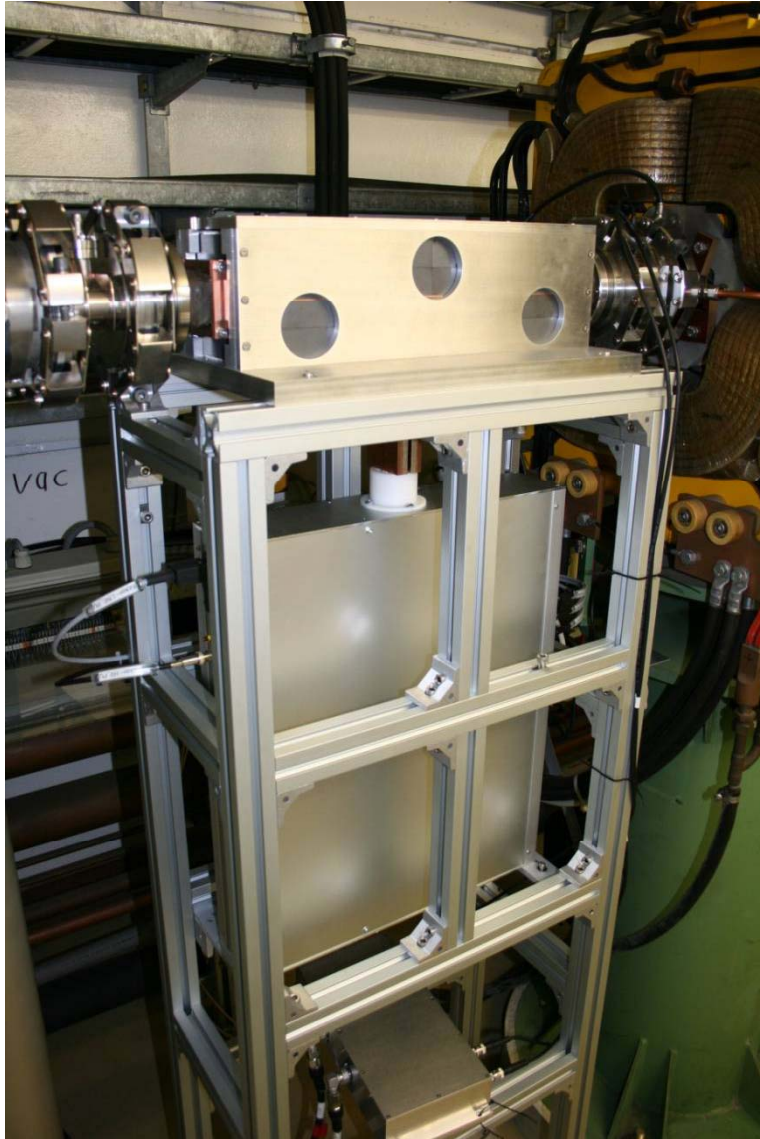


One-Turn Excitation

Tune-Kicker

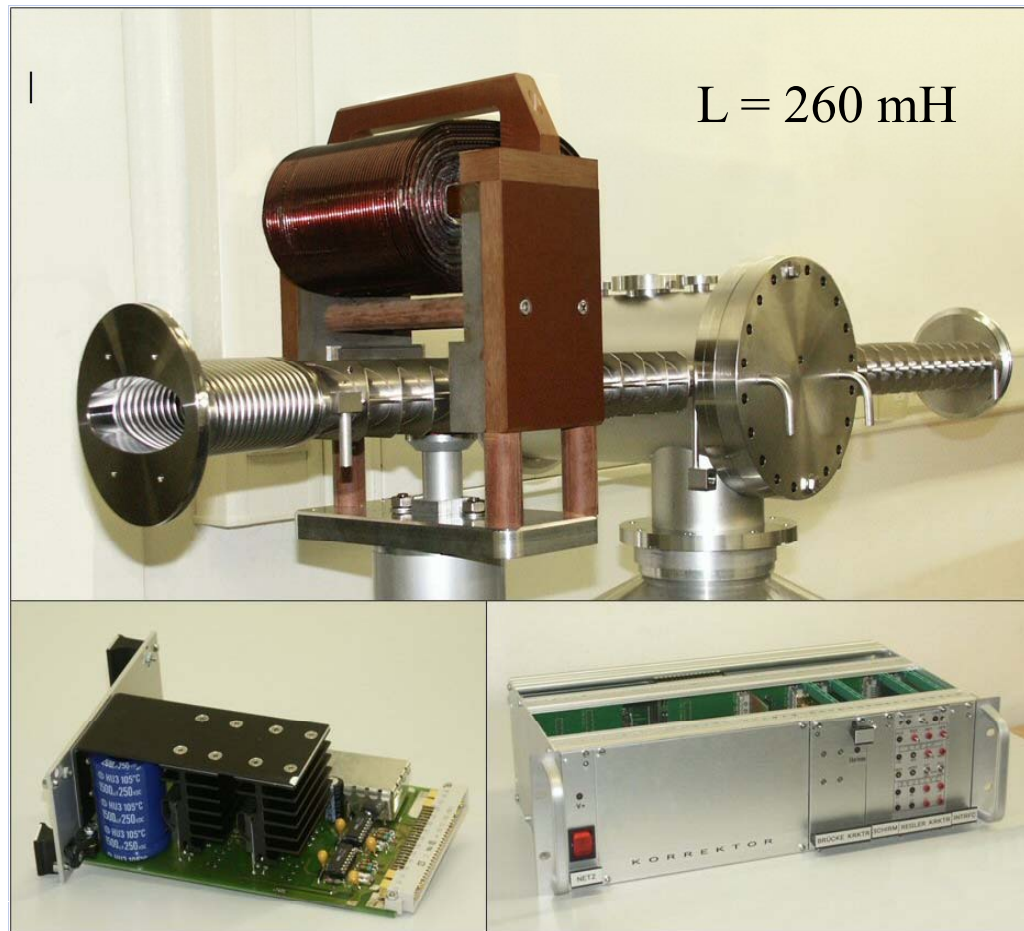


Tune Measurements



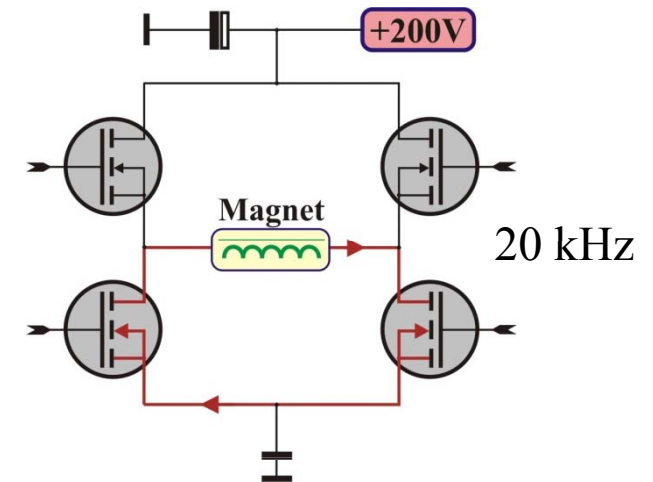
Orbit Correction System

New corrector magnet & fast switching power supply



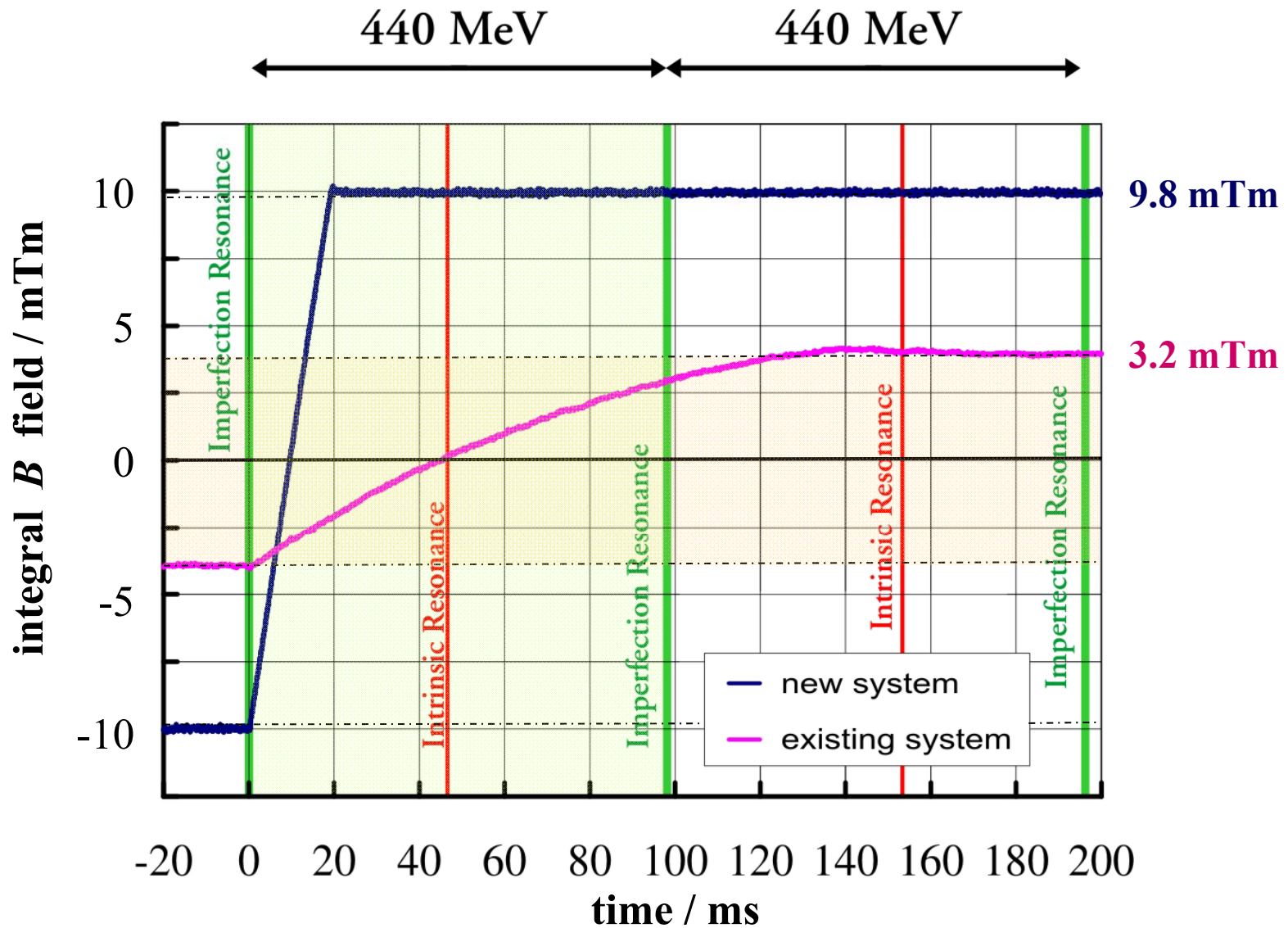
Beam pipe optimized for eddy current suppression

Programmable 4-quadrant power supply with microcontroller



Implementation in 2010

Orbit Correction System





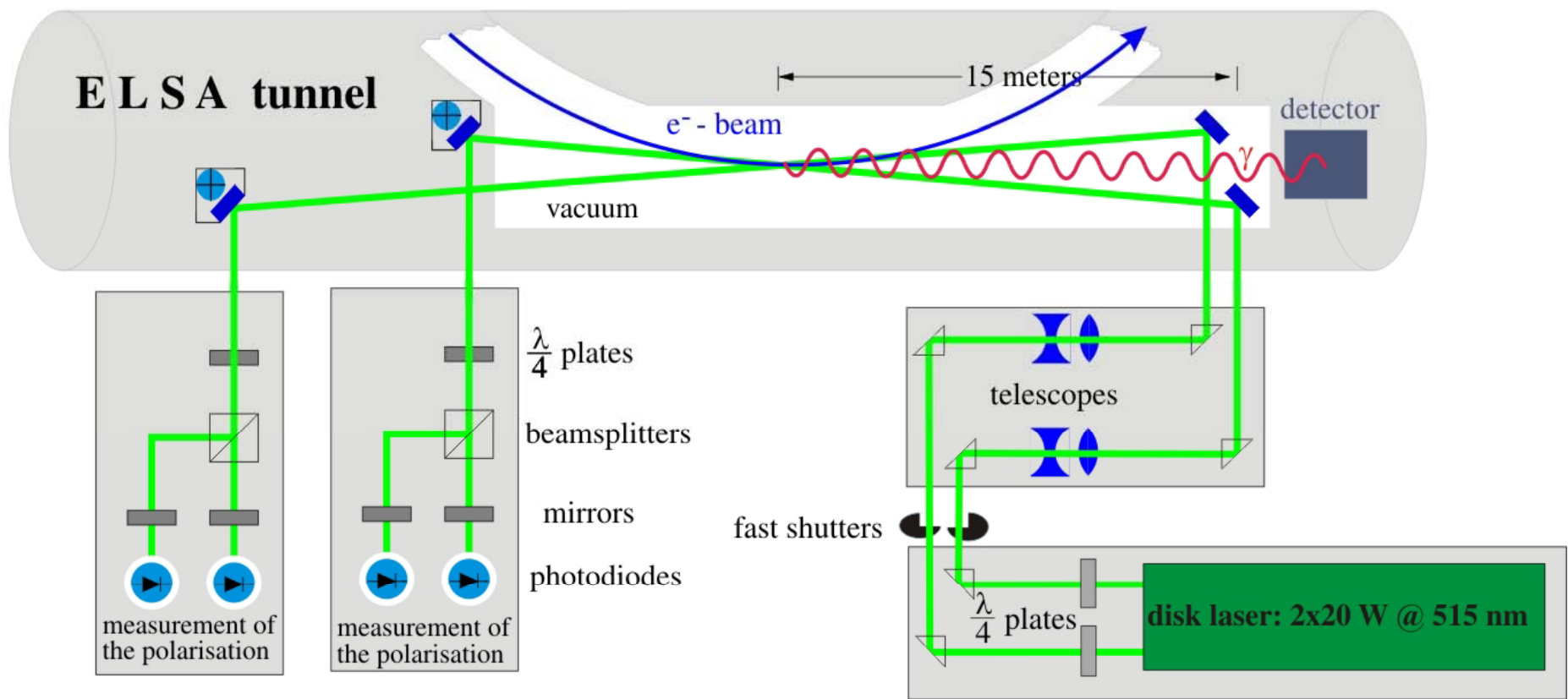
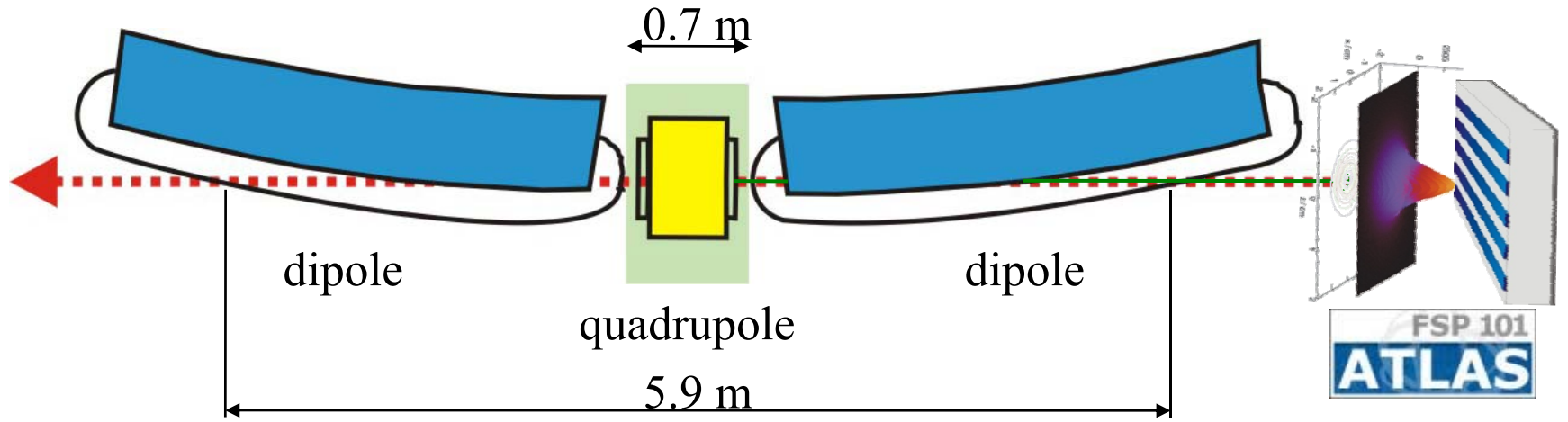
New Correction-System:

24 correction coils
(main dipoles)

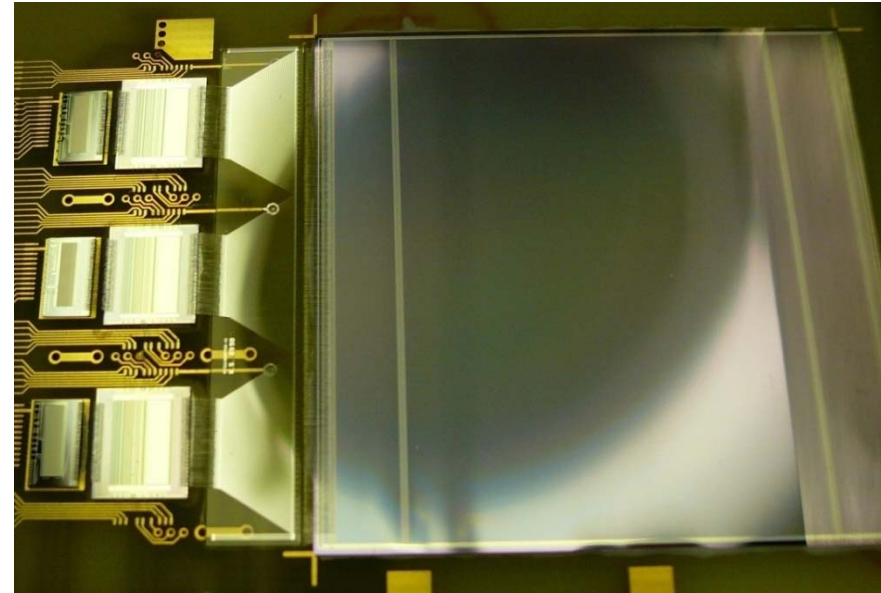
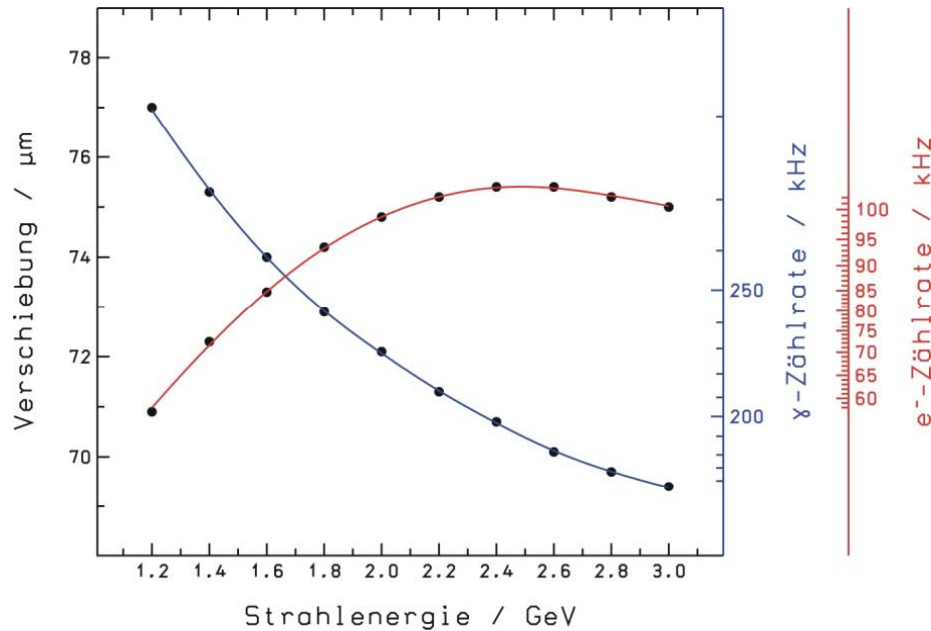
30 new vert.
dipole
correctors

54 new
“pulsed”
power supplies



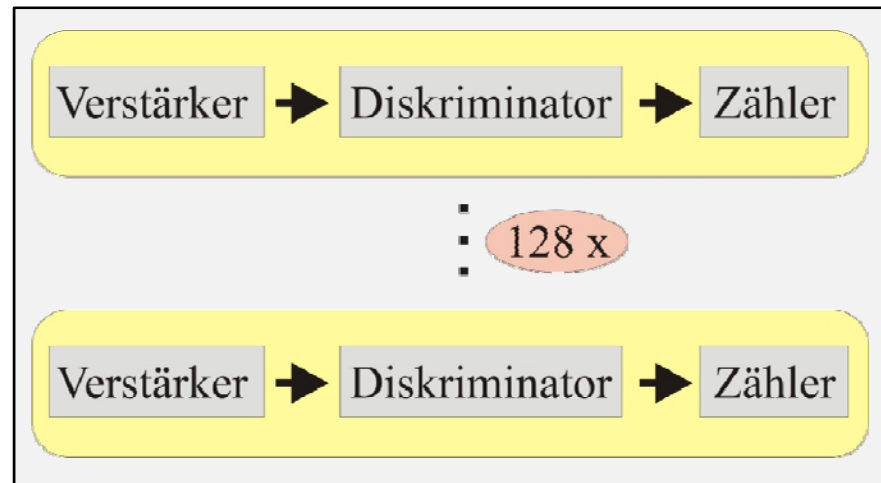


Compton-Detektor

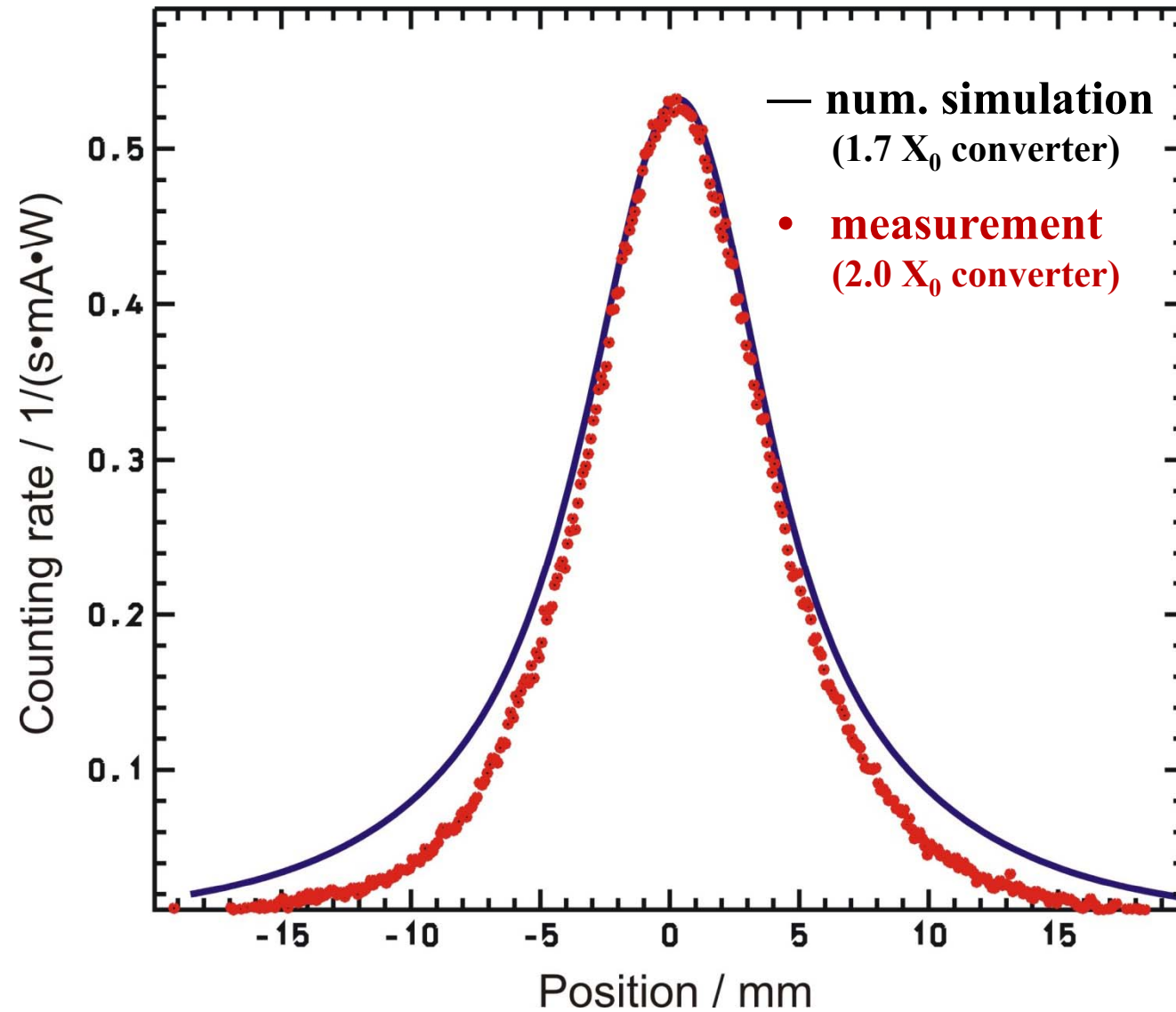


Silizium-Streifendetektor:

- 768 Kanäle
- 50 μm Streifenabstand
- LVDS Technologie
- FPGA / USB Auslese



Intensitätsverteilung



Zusammenfassung

- **Routine-Betrieb mit polarisierten Elektronen:**
 - gepulster Photoinjektor mit $I = 100 \text{ mA}$, $P = 80\%$
 - Beschleunigung auf $E \leq 2.4 \text{ GeV}$ mit $P_{\text{Exp}} \geq 60\%$
- **Neues Korrektorsystem im Aufbau ($E = 3.2 \text{ GeV}$)**
- **Polarimetrie und Diagnose: Compton-Polarimeter**

Intensitätserhöhung um Faktor 10 (2) geplant



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**