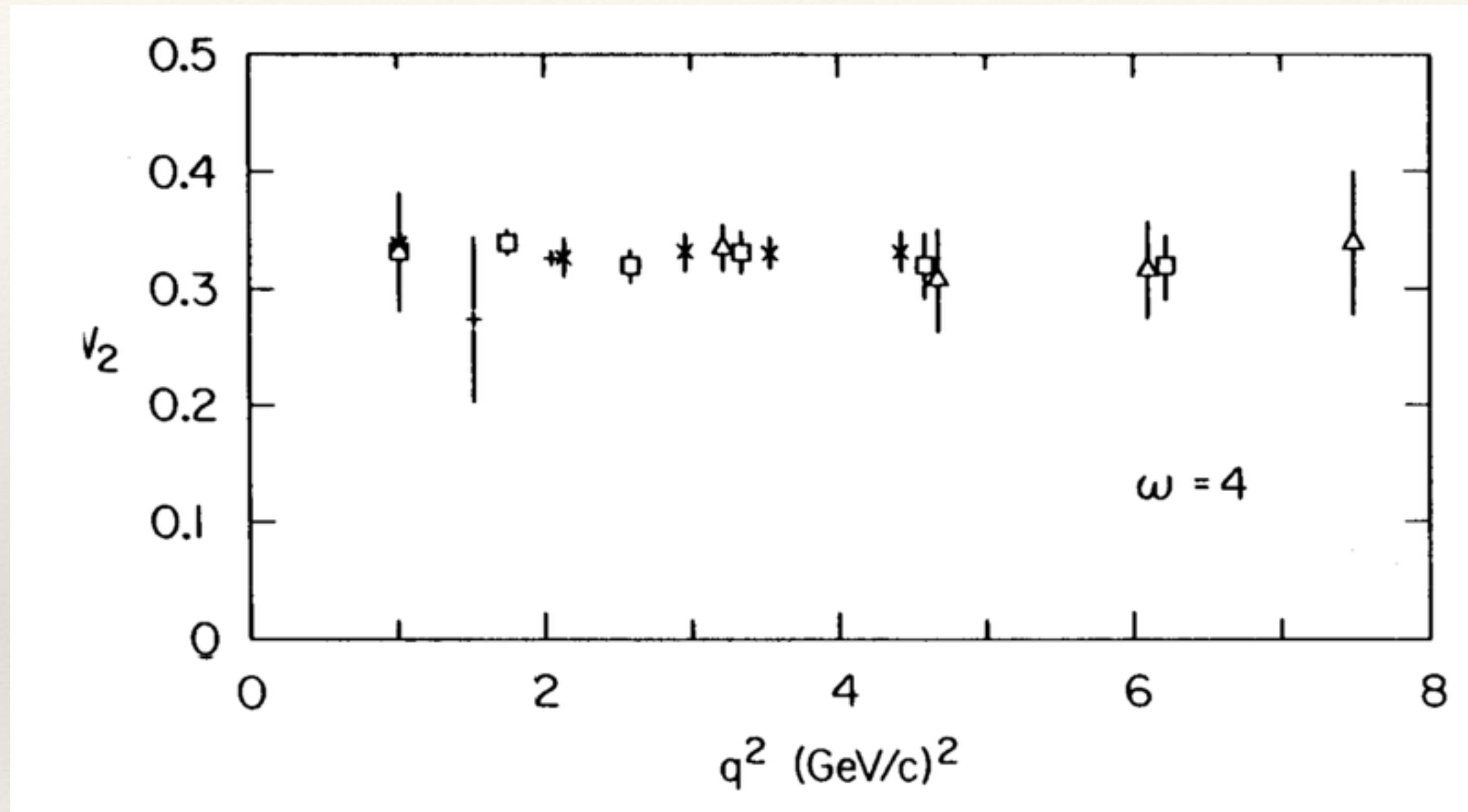


Entdeckung der Partonen



Referent: Lukas Fieber
Fachsemester: 9

Seminar: Schlüsselexperimente der Teilchenphysik
Betreuer: Prof. Dr. Norbert Herrmann
Vortragsdatum: 20.11.2015

Gliederung

1) Historie

wissenschaftliche Entdeckungen

Theorie elastischer Streuung

2) Versuchsaufbau

SLAC

Spektrometer

3) Theorie inelastischer Streuung

4) Messungen und Auswertung

5) aktueller Kenntnisstand

Historie

wissenschaftliche Entdeckungen



Robert Hofstadter [1]

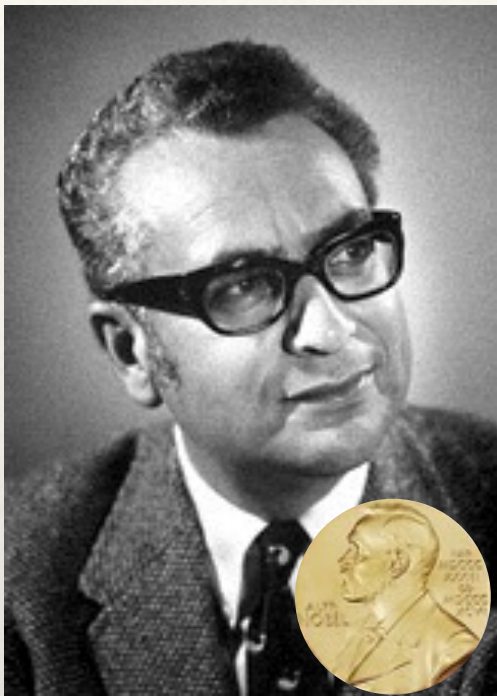
*1915; †1990

Nobelpreis 1961

- Elektron-Nukleon Streuexperimente bis 190 MeV
- Nachweis der Ausdehnung von Nukleonen
- Bestimmung der Radien von Nukleonen (10^{-15} m)
- Untersuchung der Ladungsverteilung
- Beobachtung einer internen diffusen Struktur

Historie

wissenschaftliche Entdeckungen



Murray Gell-Mann[1]

*1929

Nobelpreis 1969

- 1961: Modell zur Klassifikation der Hadronen
- 1964: Entwicklung des Quarkmodells

„It is fun to speculate about the way quarks would behave if they were physical particles of finite mass (instead of purely mathematical entity [...])“ [2]

Historie

wissenschaftliche Entdeckungen

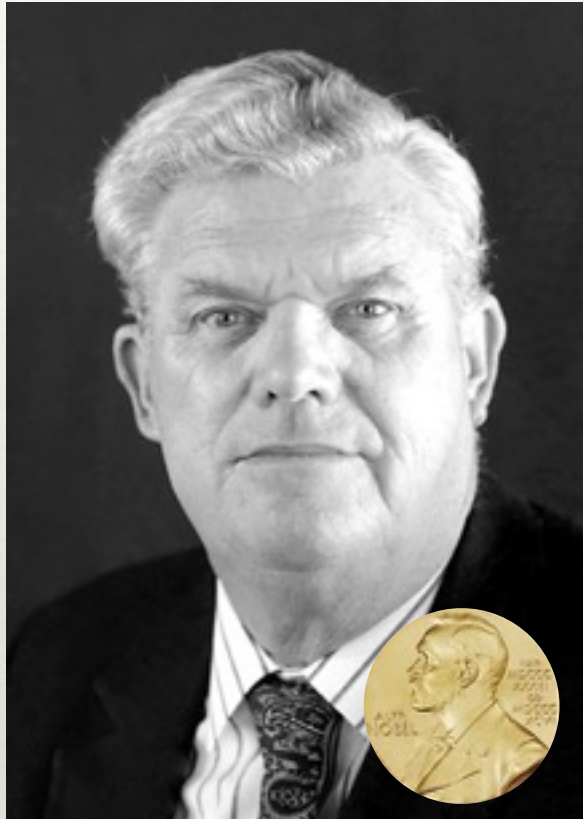
- 1962: Beginn des Baus eines neuen Linearbeschleunigers am SLAC (Stanford Linear Accelerator Center)
- Elektronenenergien bis zu 20 GeV



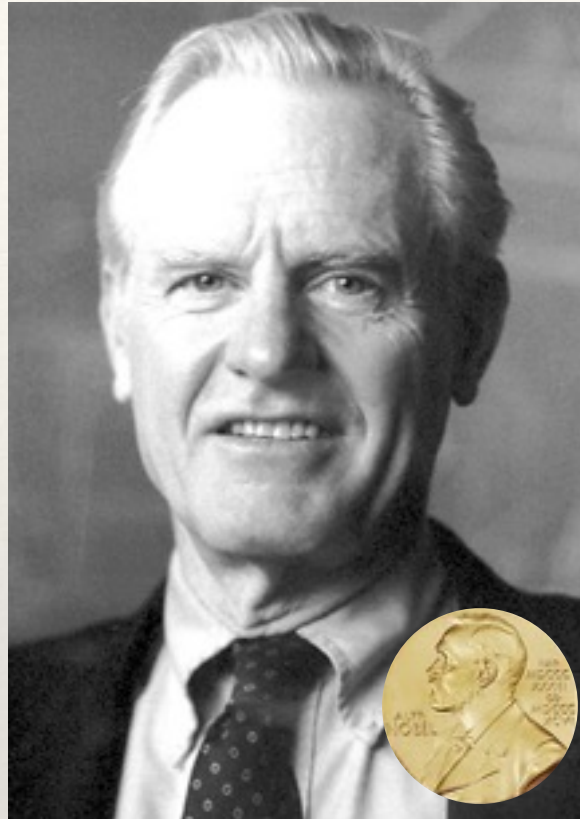
Luftbild des Linearbeschleunigers am SLAC [2]

Historie

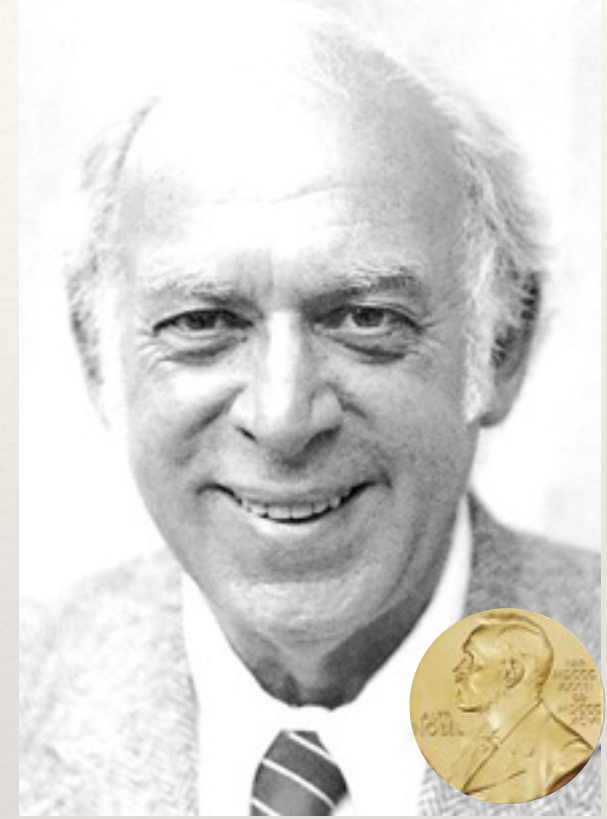
wissenschaftliche Entdeckungen



Richard Taylor [1]
*1929
Nobelpreis 1990



Henry Kendall [1]
*1926; †1999
Nobelpreis 1990



Jerome Friedman [1]
*1930
Nobelpreis 1990

- 1967: Messung inelastischer Elektron-Proton-Streuung

Historie

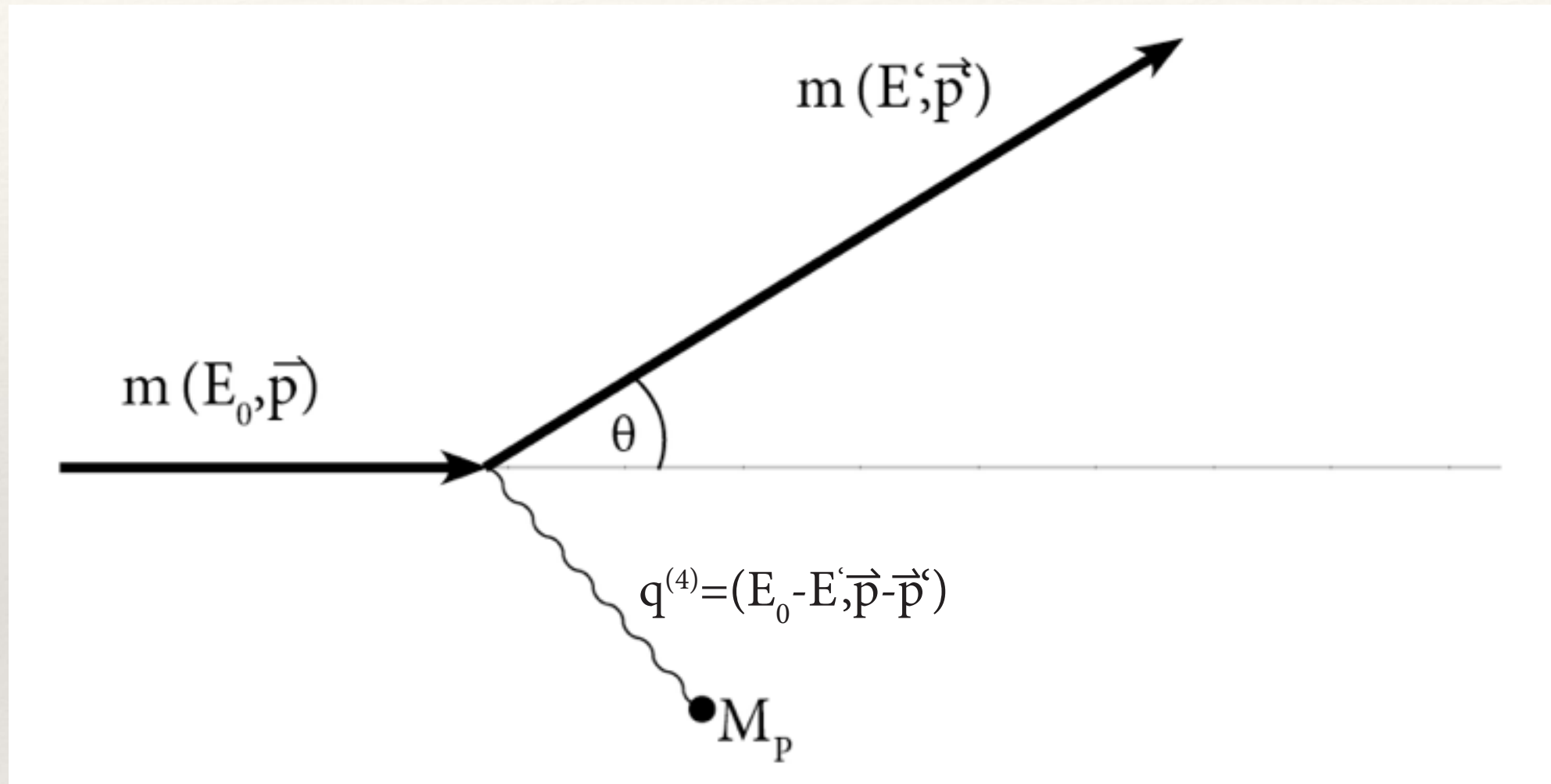
elastische Streuung

$$\sigma = \frac{\text{Zahl der Reaktionen}}{\text{Flächendichte Targetteilchen} \cdot \text{Teilchenstrom}}$$

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\text{Zahl der Reaktionen in } d\Omega}{\text{Flächendichte Targetteilchen} \cdot \text{Teilchenstrom}}$$

Historie

elastische Streuung

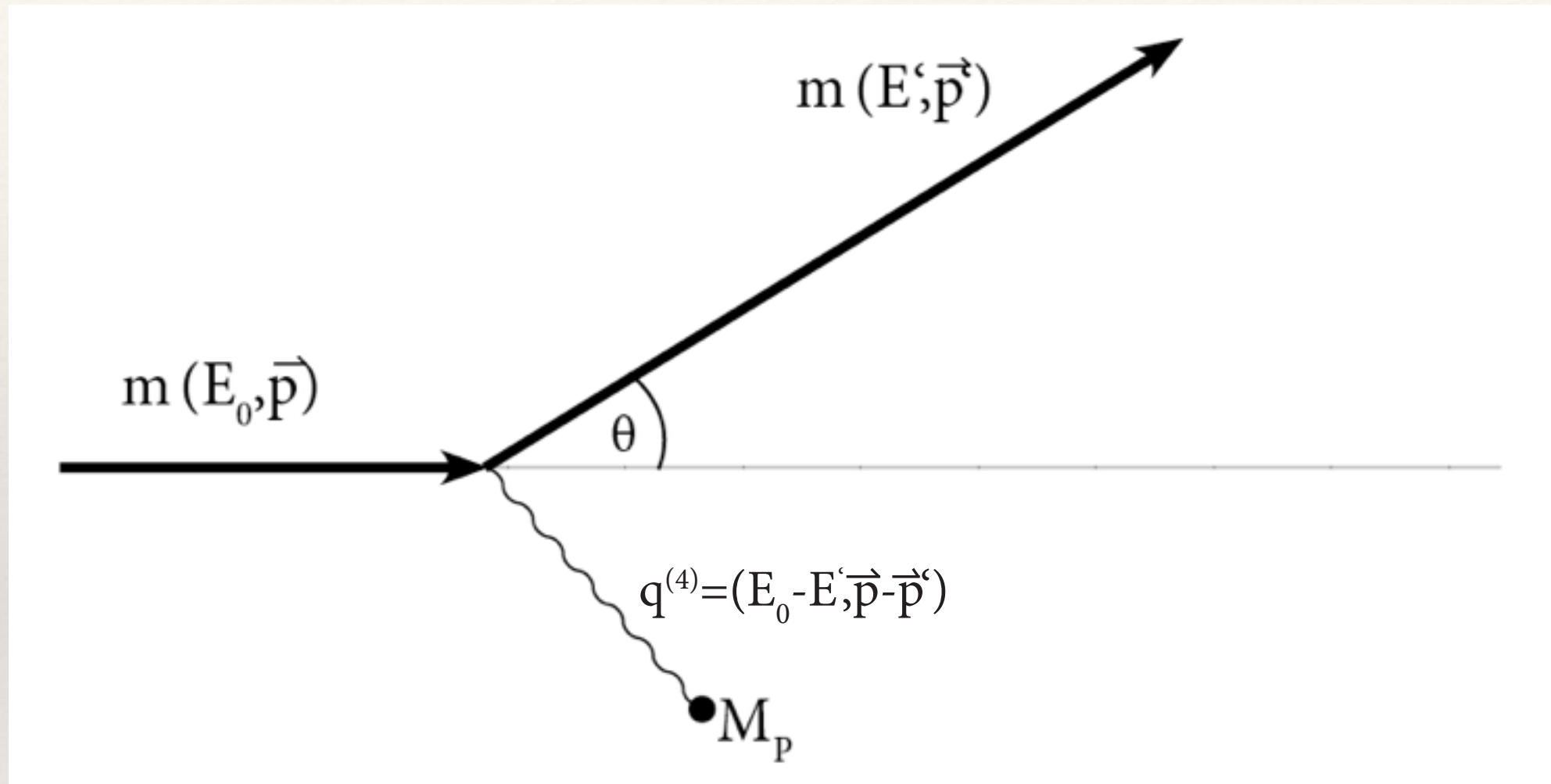


Skizze elastischer Streuung

$$q^2 = -4 |p|^2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

Historie

elastische Streuung

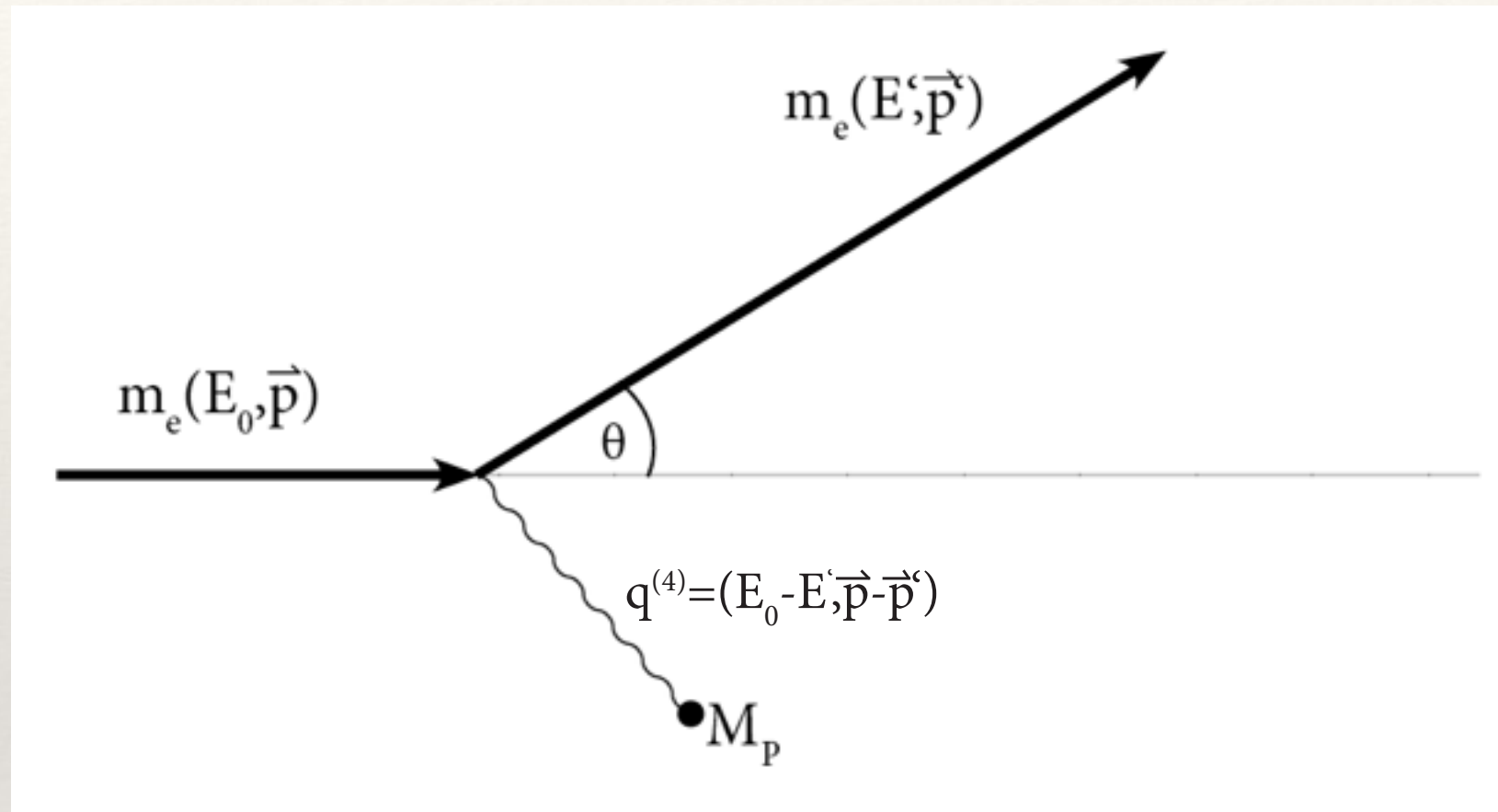


Skizze elastischer Streuung

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{Ruth} = \frac{(zZe^2)^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 \cdot (4E_{kin})^2 \sin^4 \frac{\theta}{2}}$$

Historie

elastische Streuung



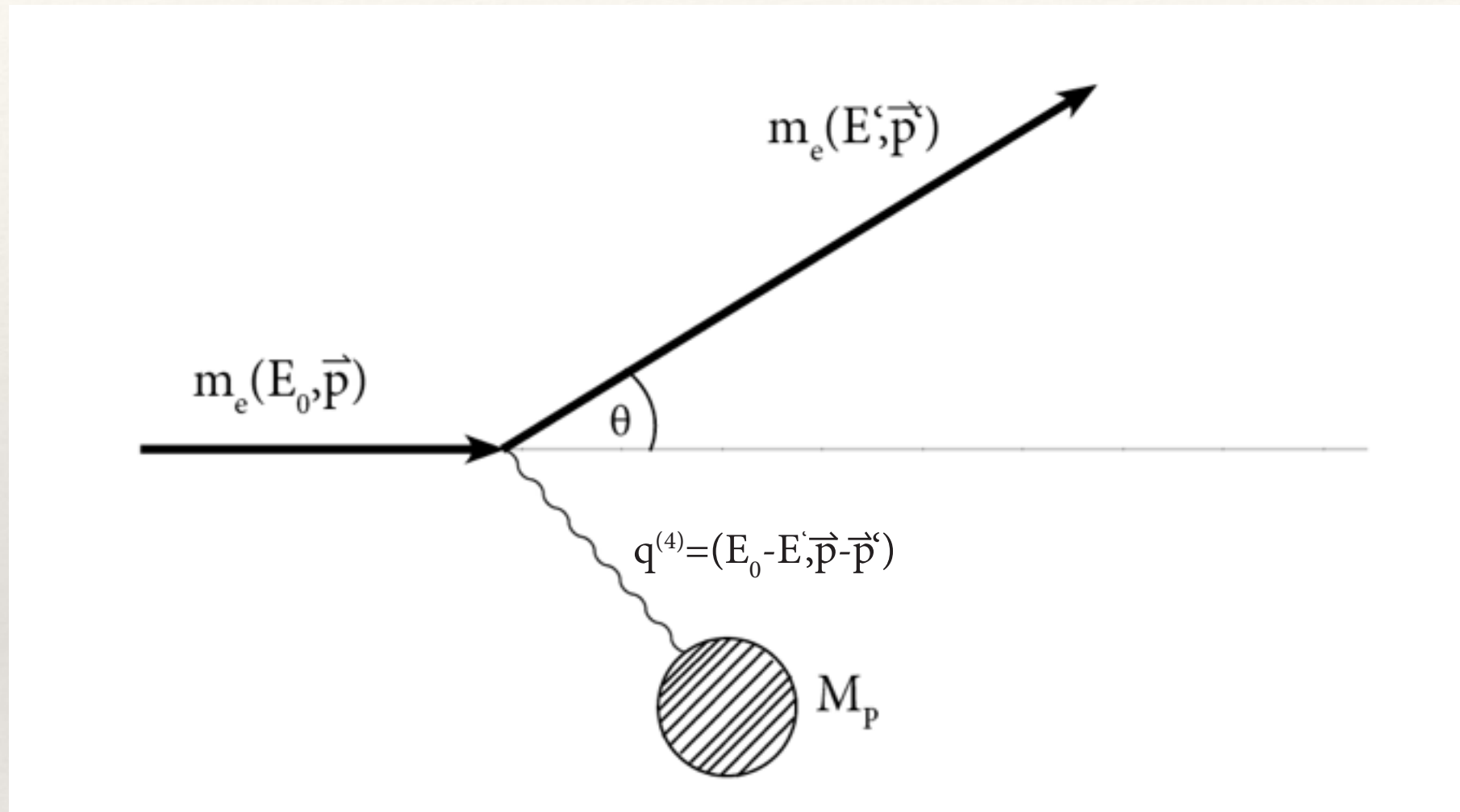
Skizze elastischer Streuung

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{spin} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{ohne Spin} \cdot \cos^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{Mott} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{Ruth} \cdot \left(1 - \beta^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \right) \quad \beta = \frac{v}{c}$$

Historie

elastische Streuung

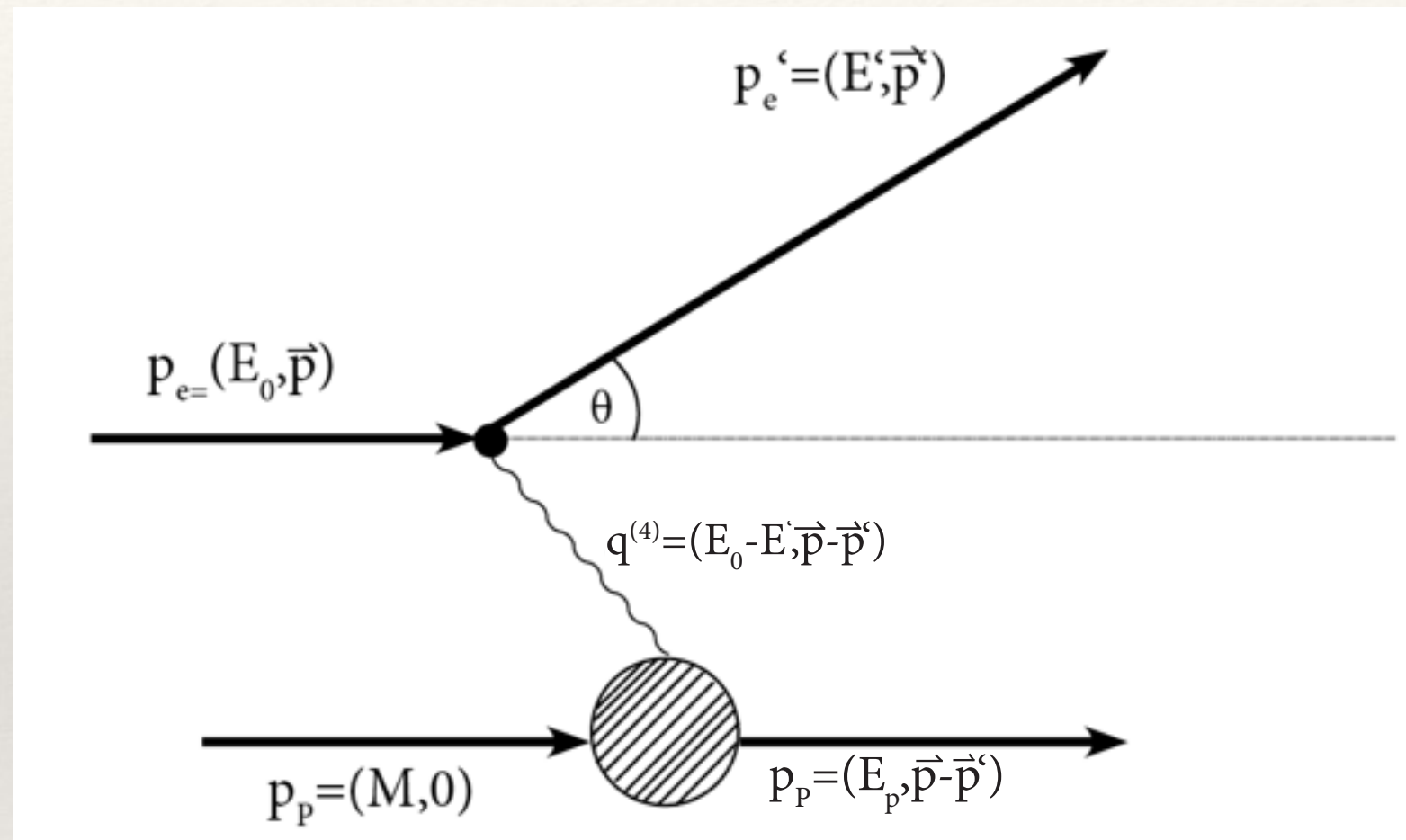


Skizze elastischer Streuung an ausgedehnten Protonen

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right) = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Punkt}} \cdot |F(q^2)|^2$$

Historie

elastische Streuung



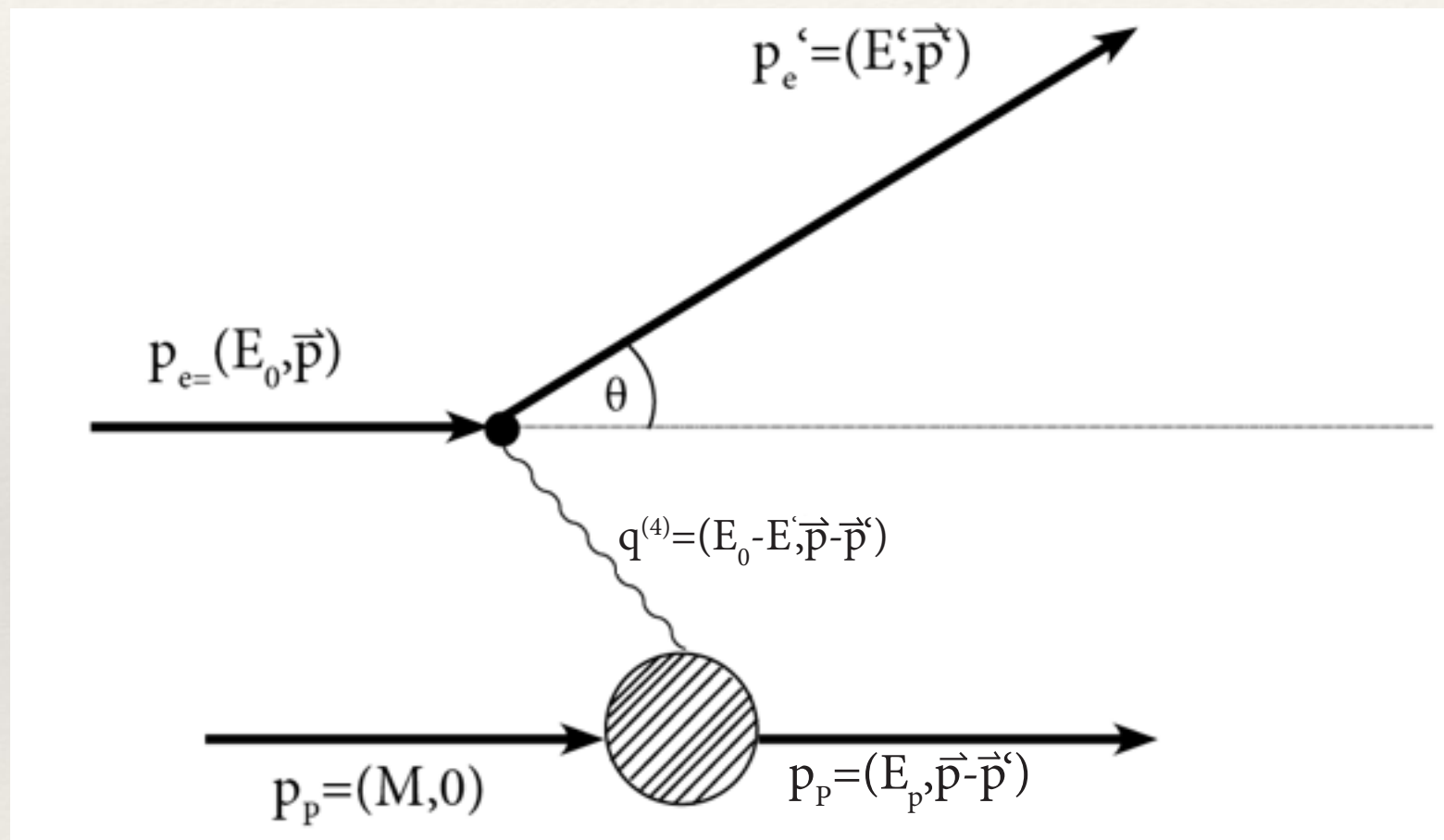
Skizze elastischer Streuung an ausgedehnten Protonen

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Rosenbluth}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Mott}} \cdot \frac{E}{E_0} \left(\frac{G_{Ep}^2 + \tau G_{Mp}^2}{1 + \tau} + 2\tau G_{Mp}^2 \tan^2 \frac{\theta}{2} \right) \text{ mit } \tau = \frac{q^2}{4M^2}$$

Historie

elastische Streuung

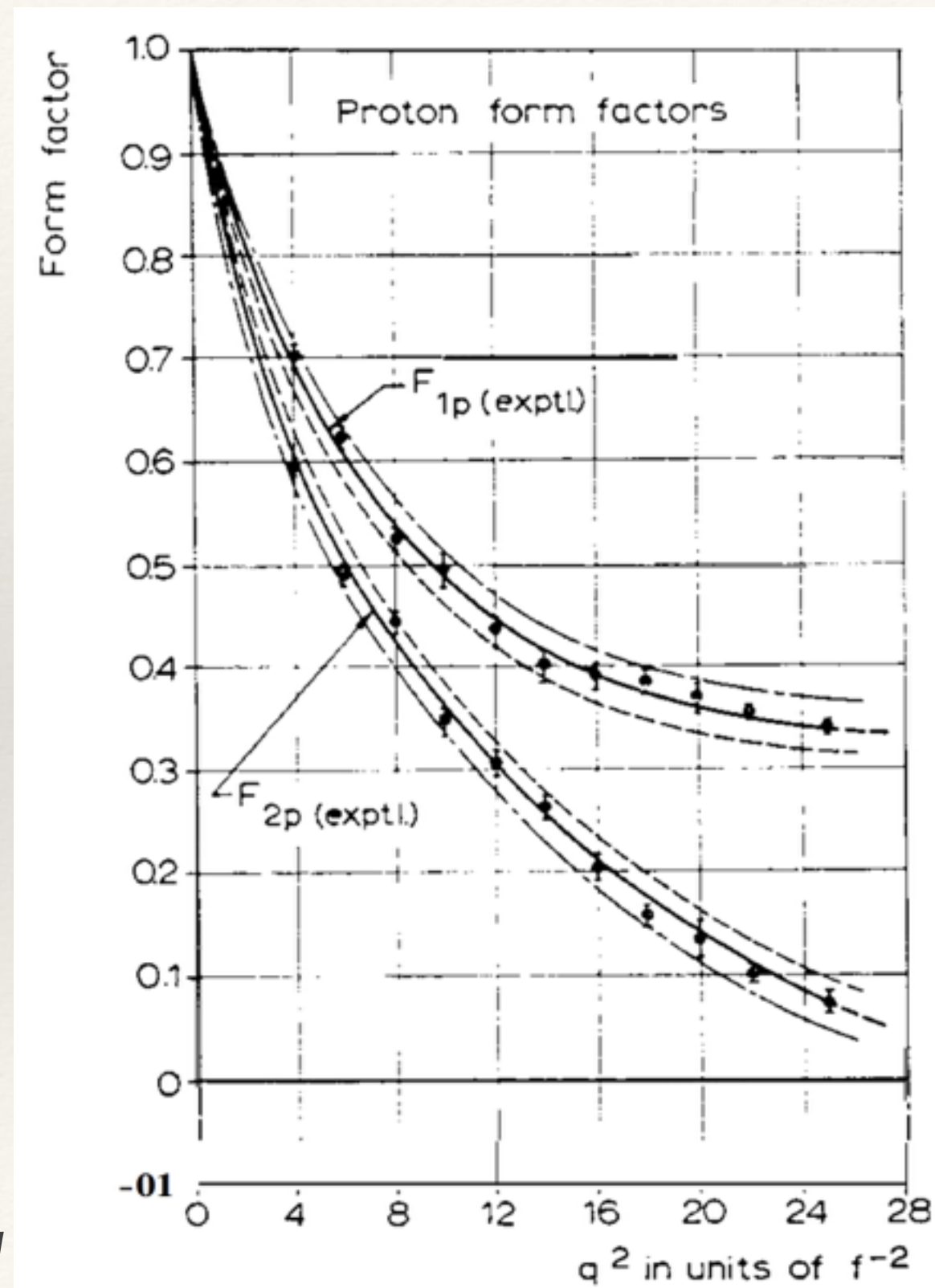
Einführung zweier Formfaktoren, um die Verteilung der elektrischen Ladung und des magnetischen Moments von Spin=1/2 Protonen zu beschreiben



$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Rosenbluth}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\text{Mott}} \cdot \frac{E'}{E_0} \left(\frac{G_{Ep}^2 + \tau G_{Mp}^2}{1 + \tau} + 2\tau G_{Mp}^2 \tan^2 \frac{\theta}{2} \right) \text{ mit } \tau = \frac{q^2}{4M^2}$$

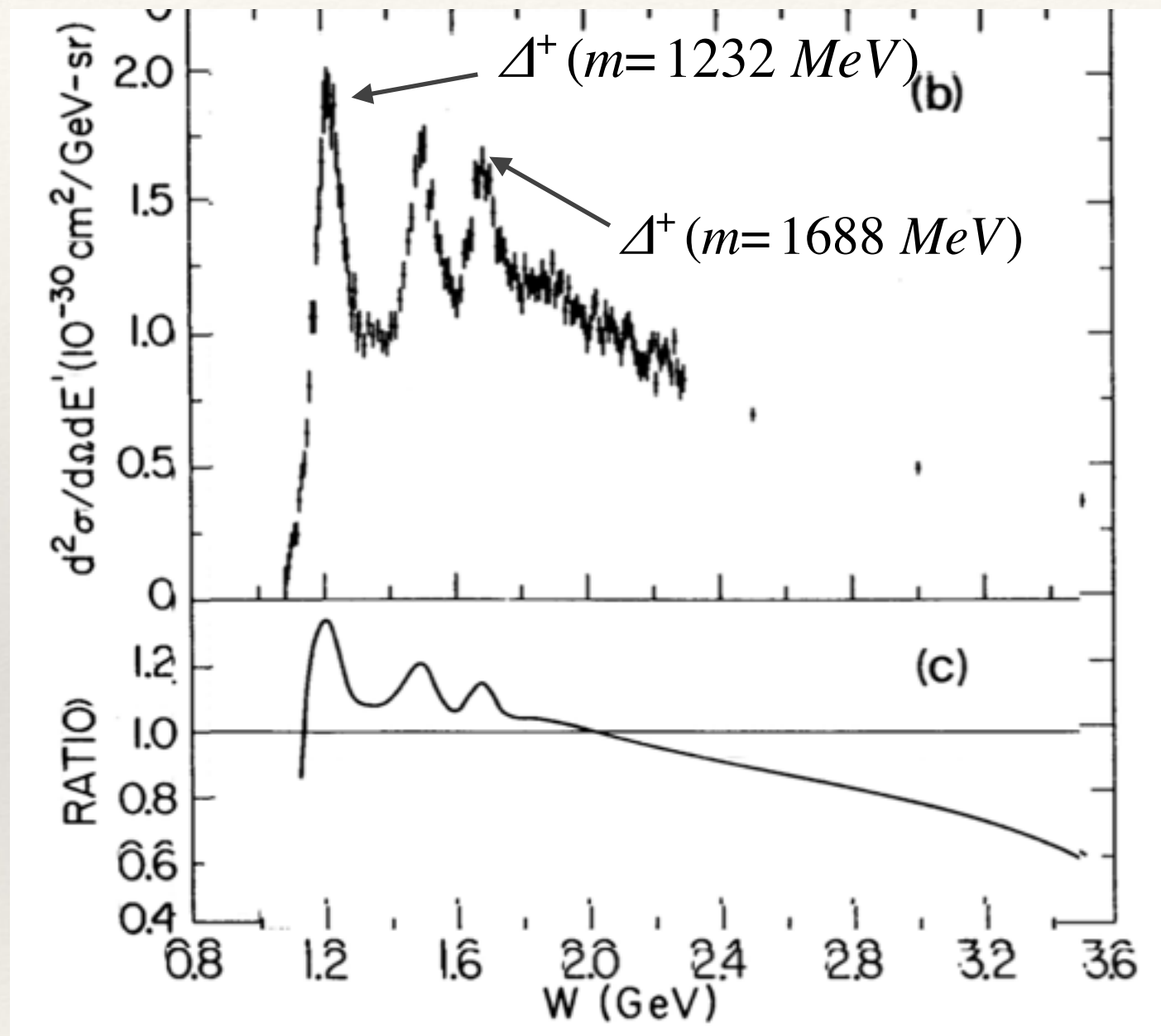
Historie

elastische Streuung



Historie

elastische Streuung



Resonanzen im Proton bei Elektron-Proton-Streuung [5]

- Anregung von inneren Freiheitsgraden als erstes Anzeichen einer inneren Struktur

Versuchsaufbau



Luftbild des Linearbeschleunigers am SLAC [2]

- Elektronenenergien bis zu 20 GeV

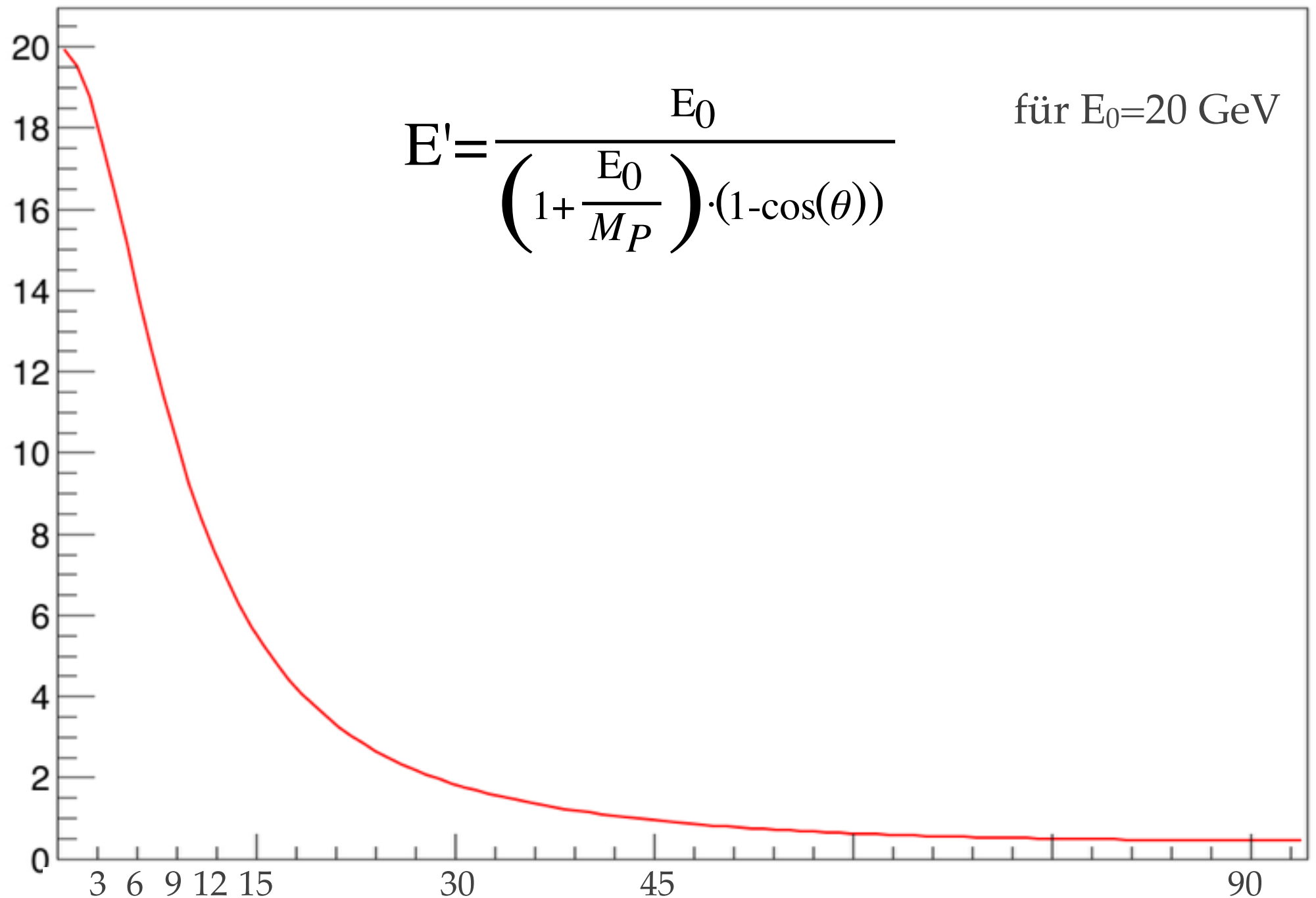
Versuchsaufbau

Was muss gemessen werden?

- Winkel
- Teilchenidentifikation
- Impuls

Versuchsaufbau

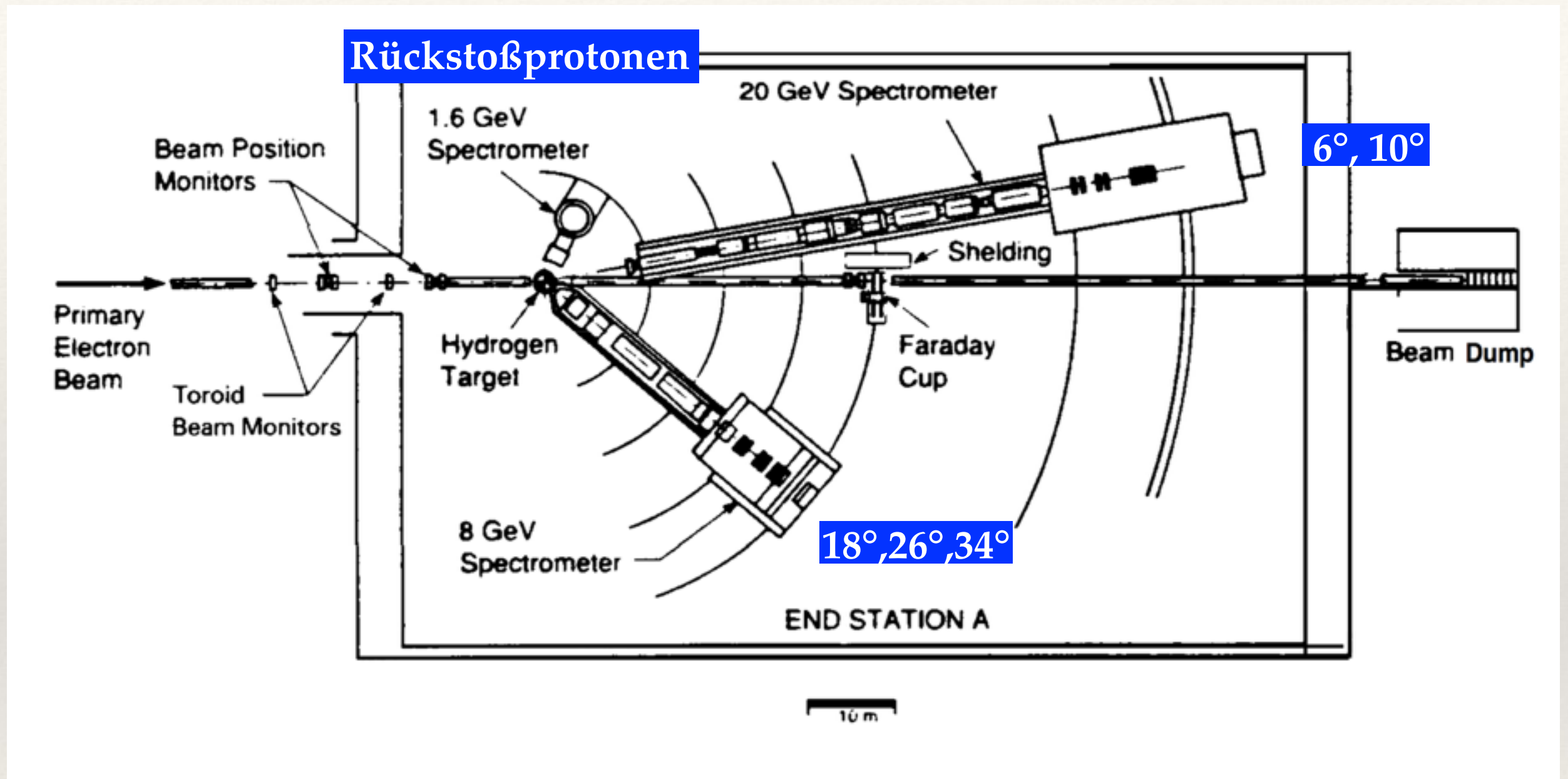
E' [GeV]



Winkelabhängigkeit der Elektronenenergie nach Streuung

Streuwinkel θ

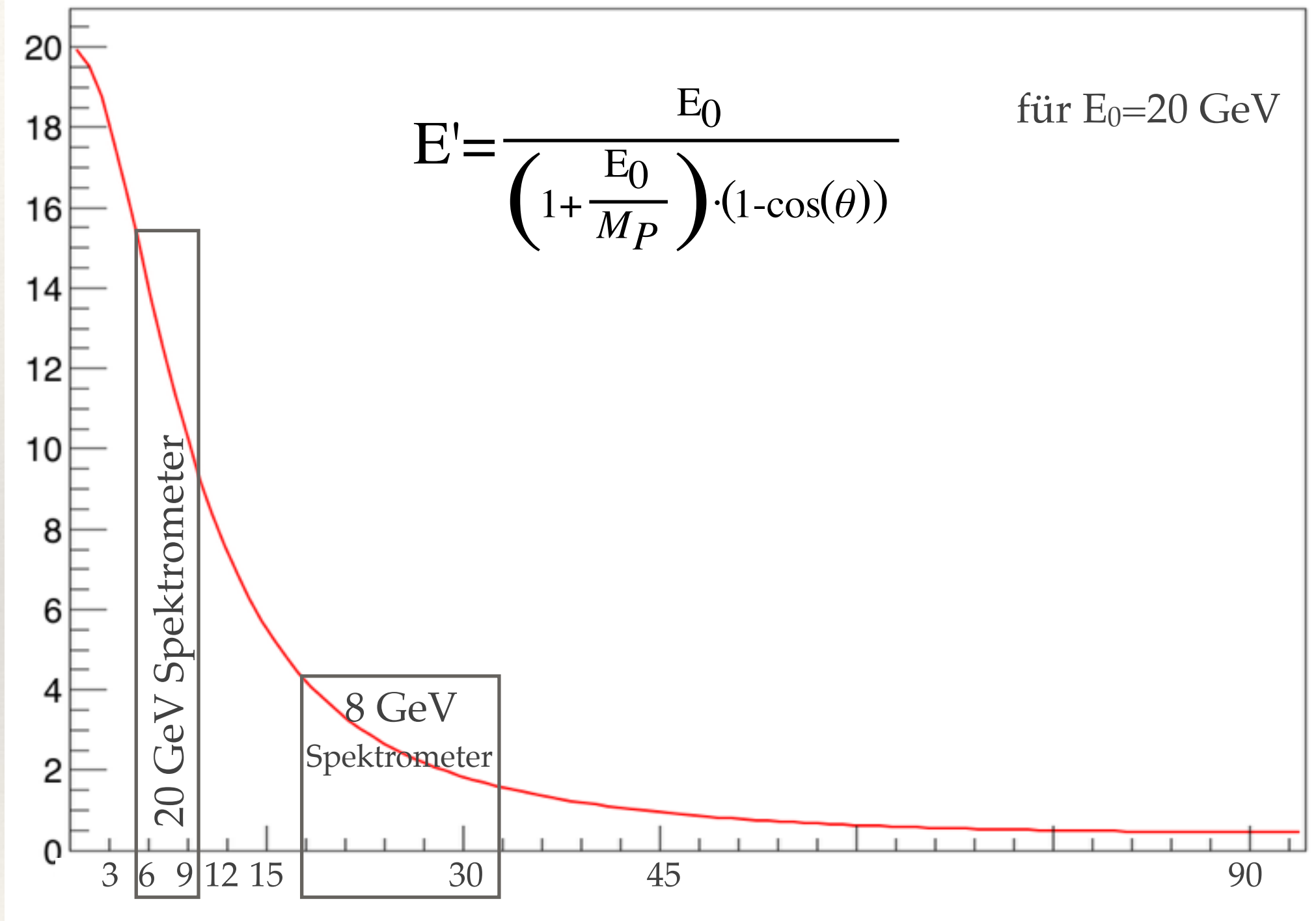
Versuchsaufbau



Übersicht von End Station A [5]

Versuchsaufbau

E' [GeV]



Winkelabhängigkeit der Elektronenenergie nach Streuung

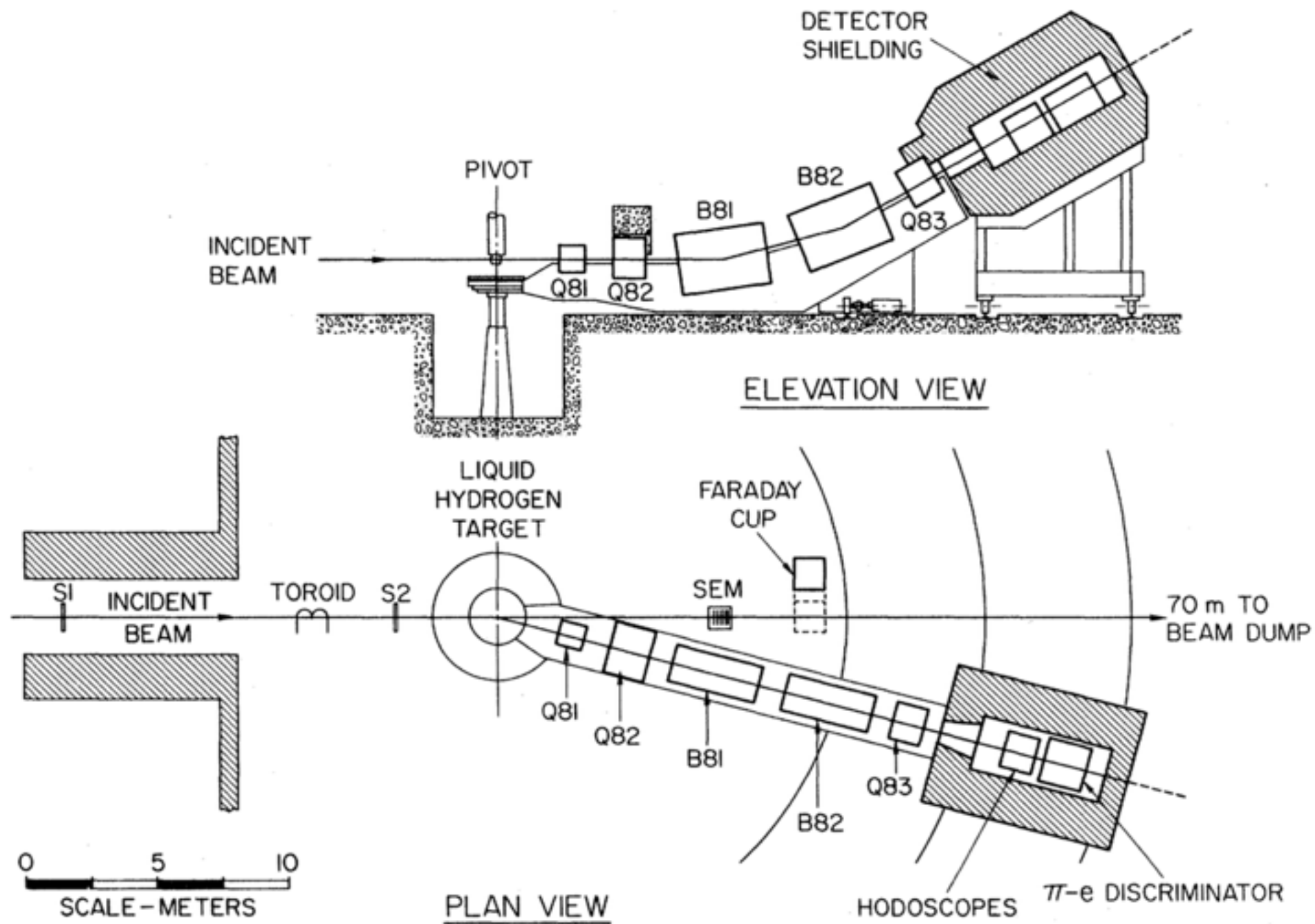
Streuwinkel $[\theta]$

Versuchsaufbau



Foto von End Station A [6]

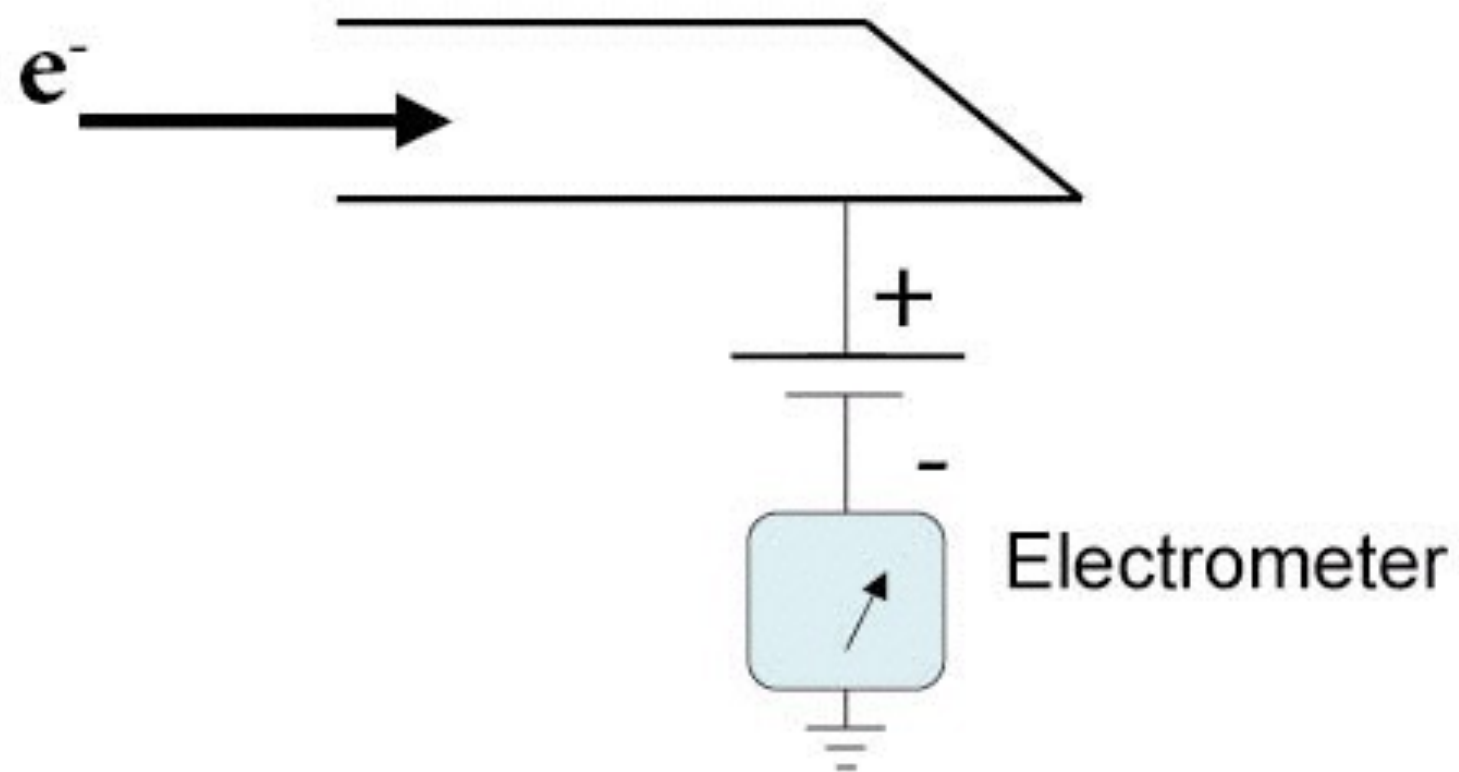
Versuchsaufbau



Skizze des Aufbaus des 8 GeV Detektors [5]

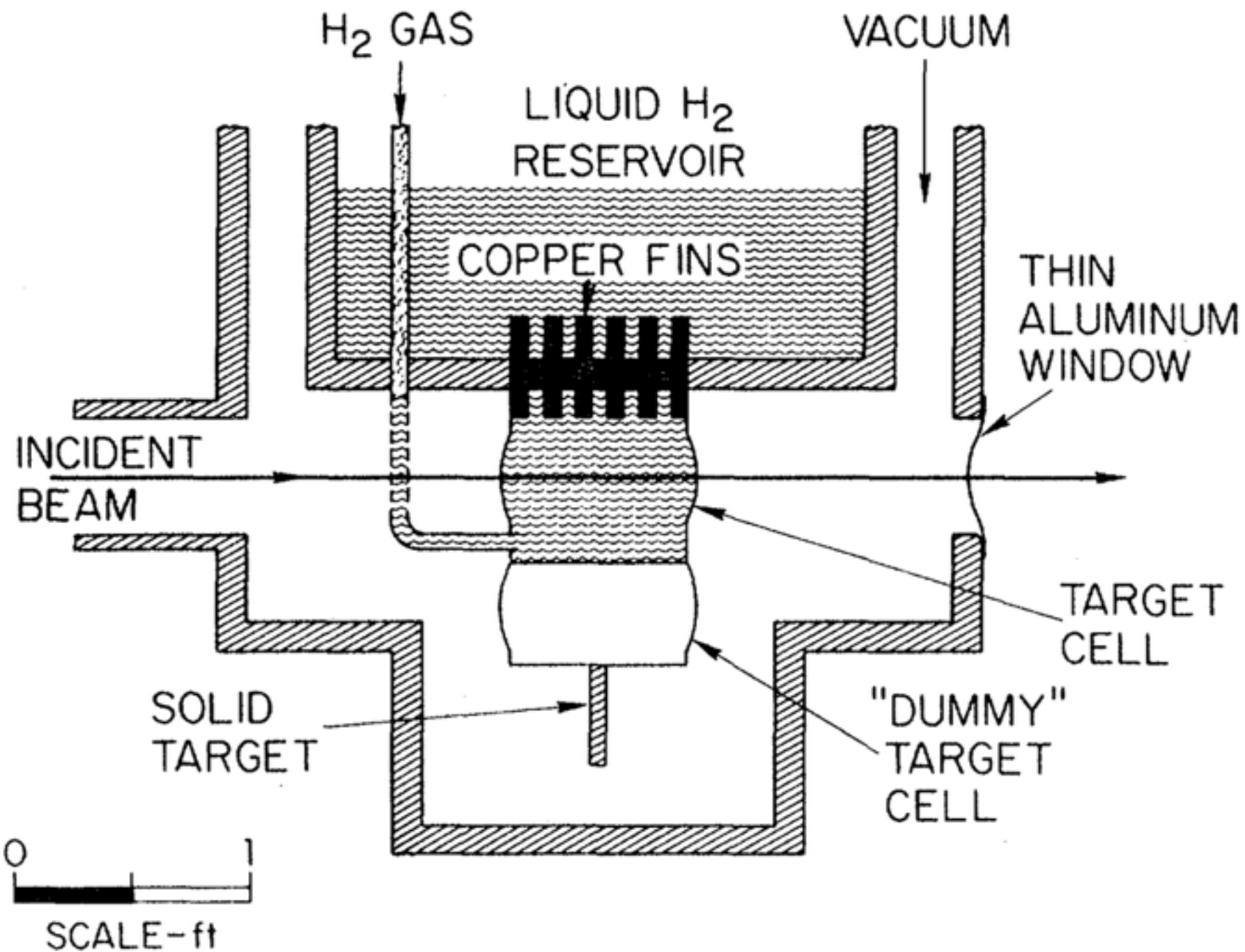
Versuchsaufbau

Funktionsweise Faraday-Cup



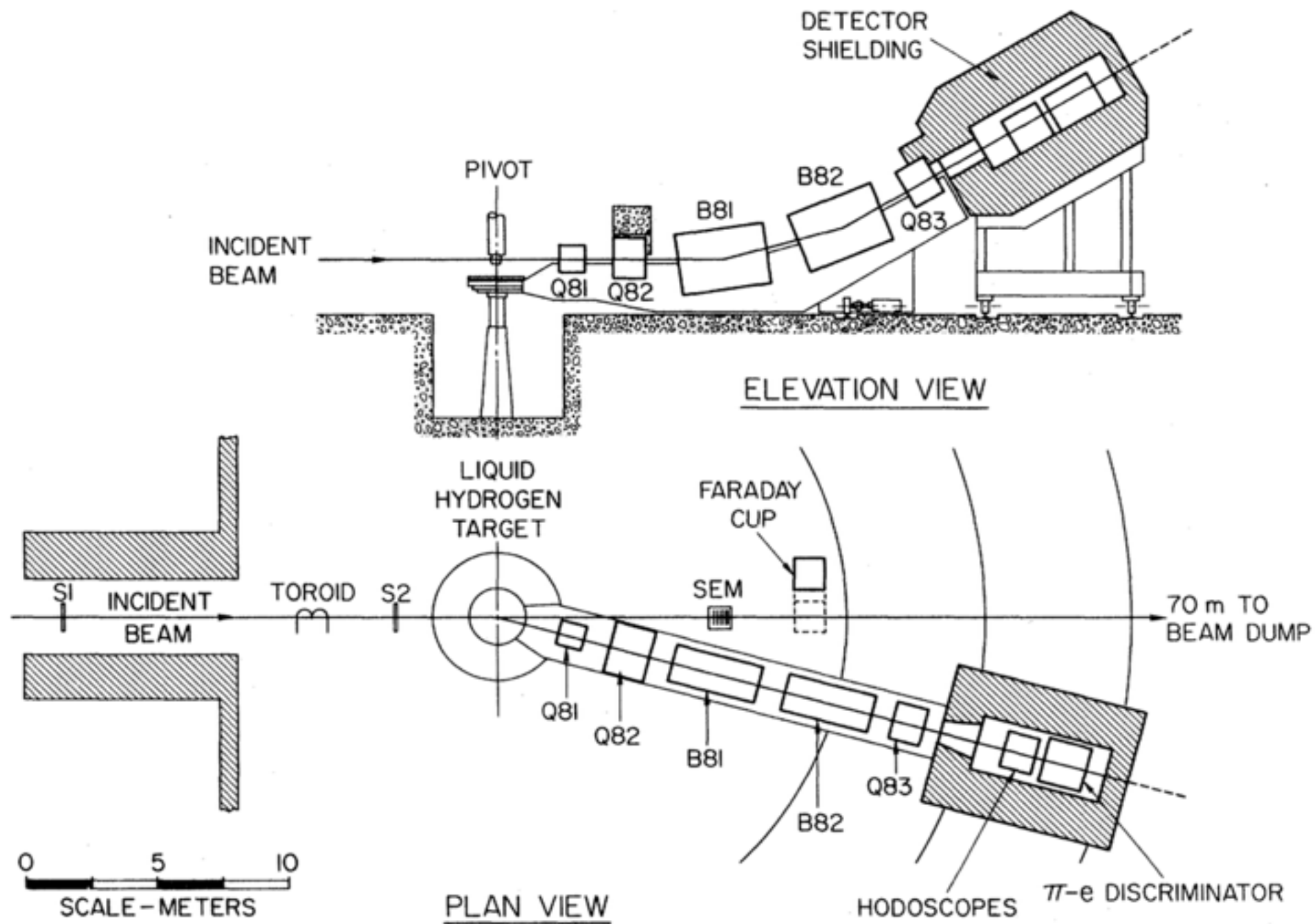
Funktion des Faraday-Cups [6]

Versuchsaufbau



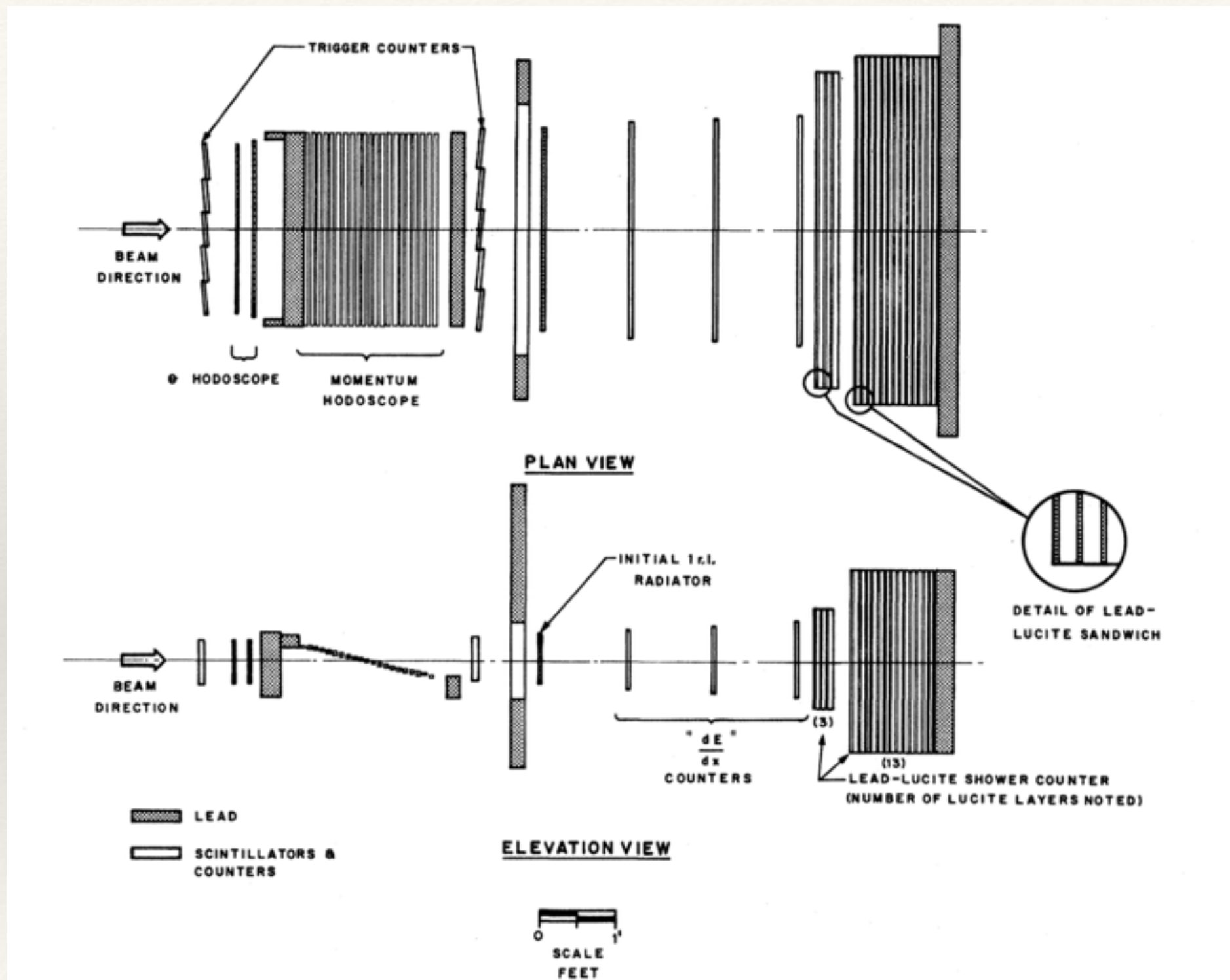
Skizze des Targets [5]

Versuchsaufbau



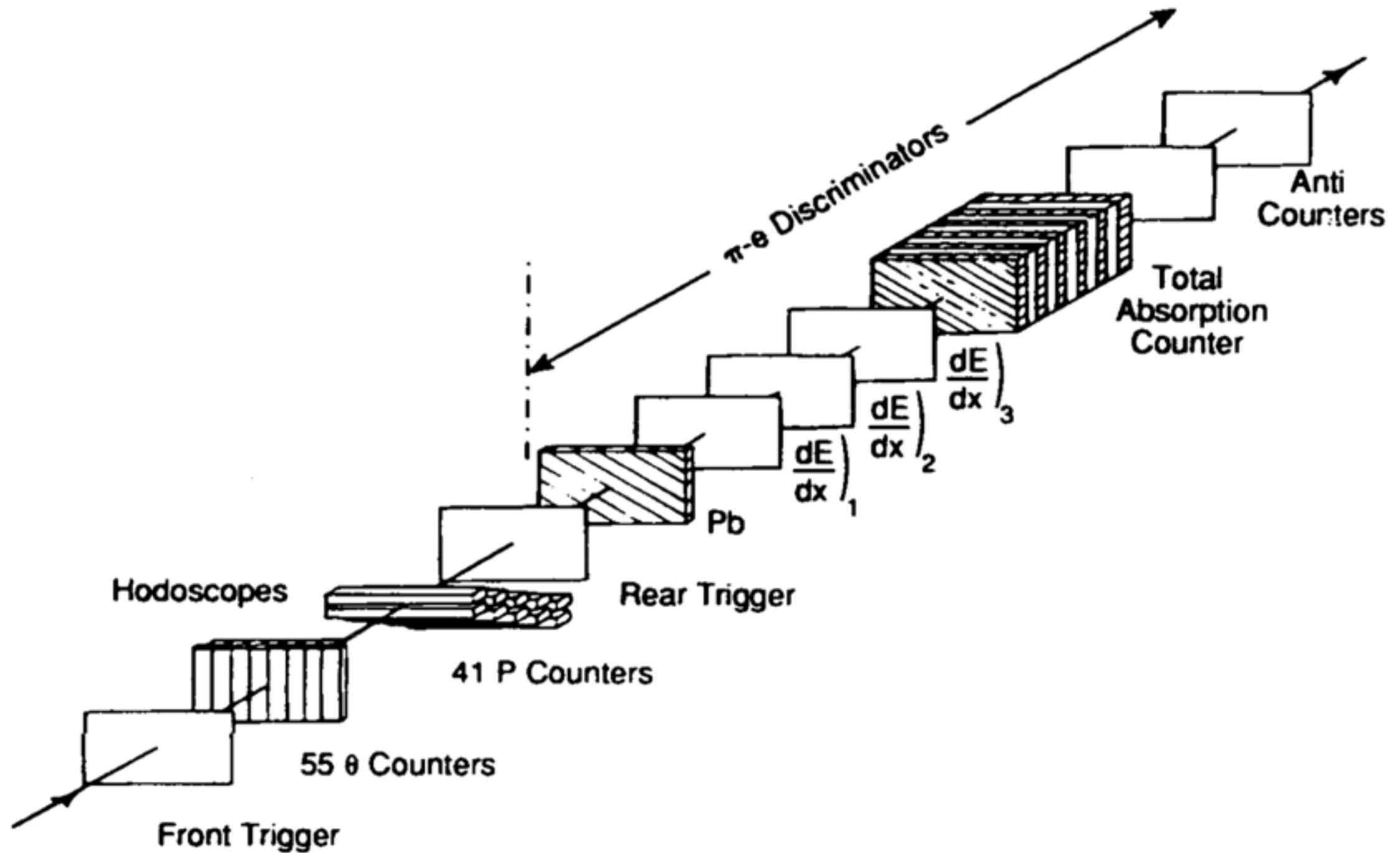
Skizze des Aufbaus des 8 GeV Detektors [5]

Versuchsaufbau



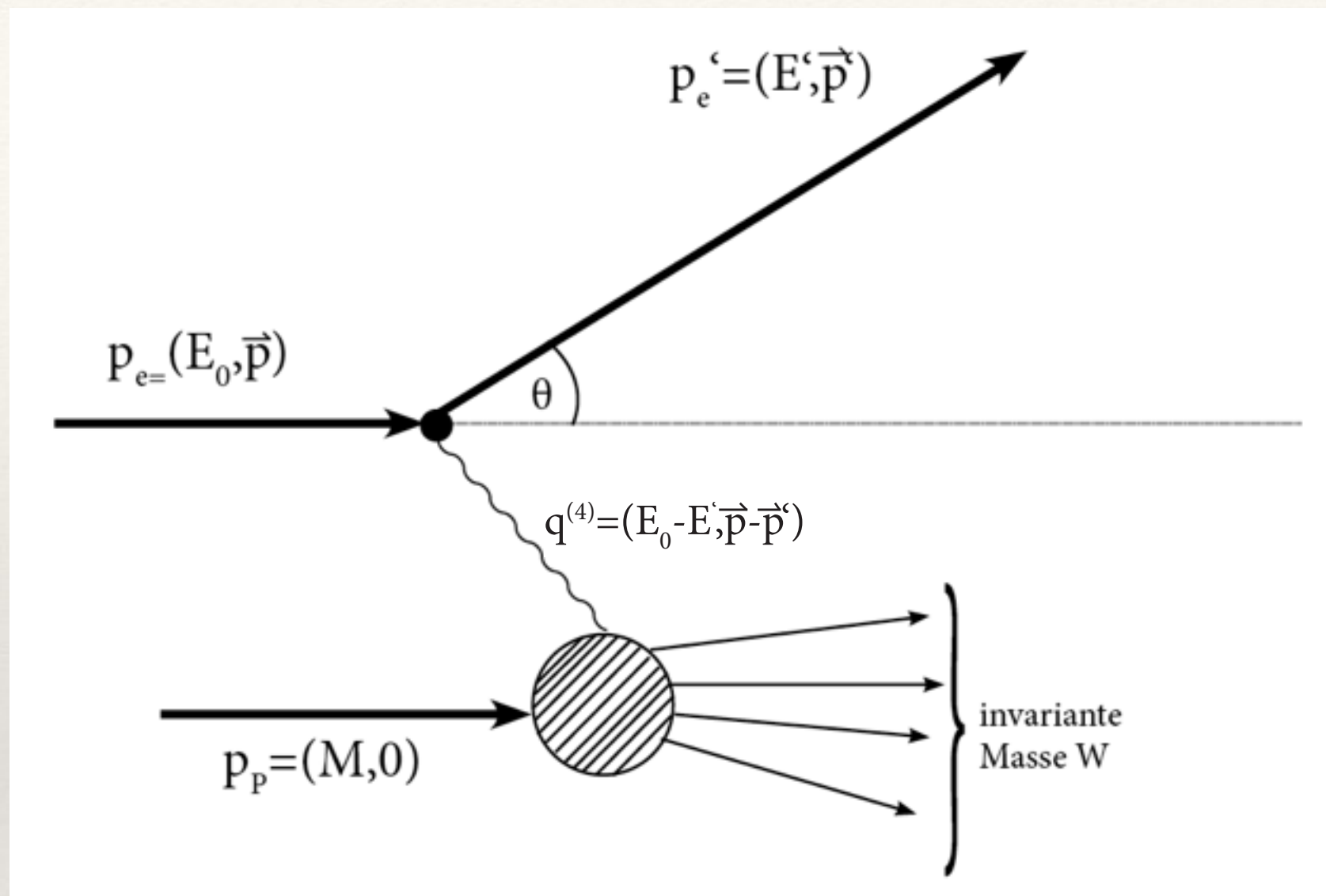
Skizze des 8 GeV Spektrometers [5]

Versuchsaufbau



Skizze des 8 GeV Spektrometers [5]

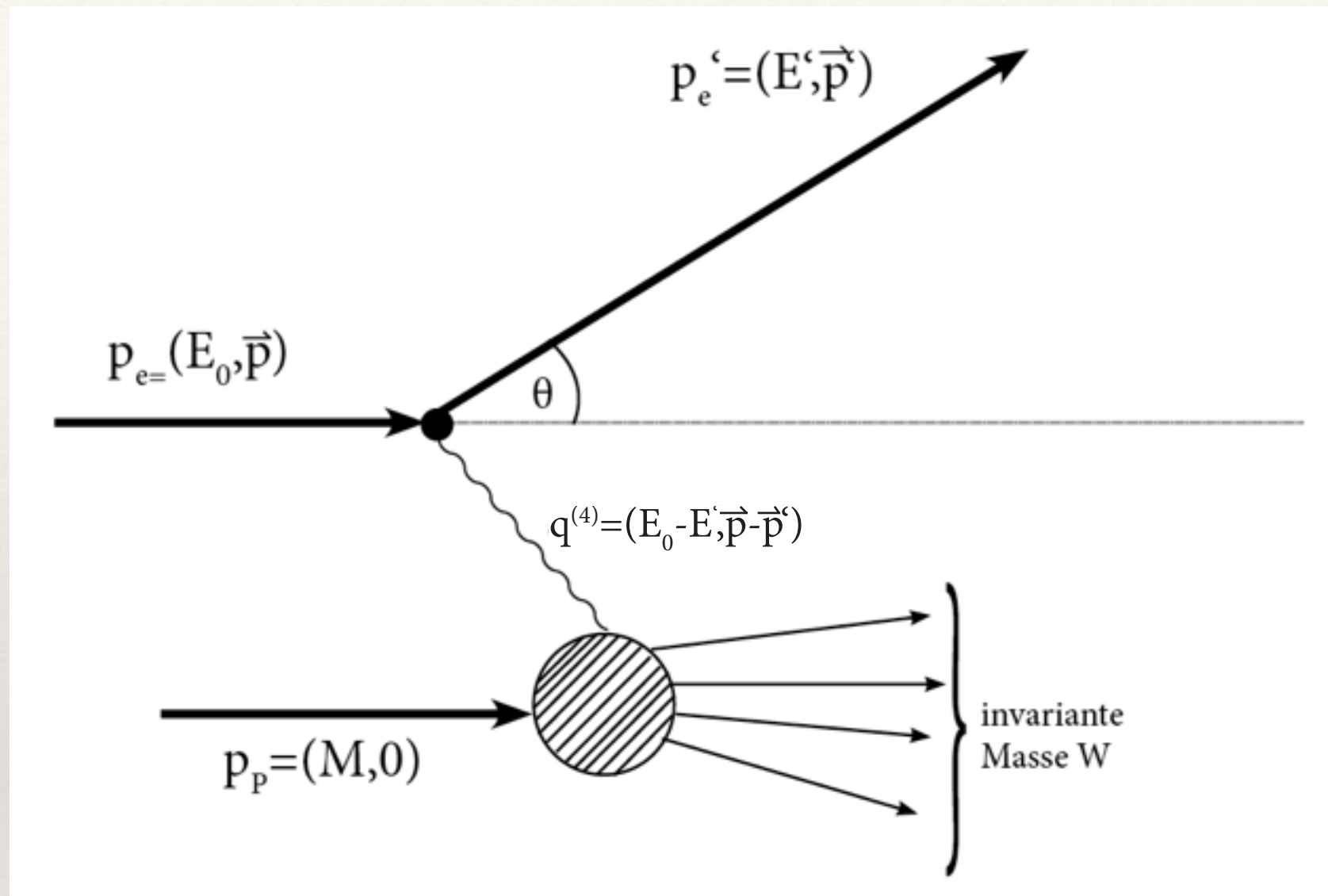
Theorie inelastischer Streuung



Feynman-Diagram für inelastische Elektron-Proton Streuung

$$e + p \rightarrow e + X$$

Theorie inelastischer Streuung



Feynman-Diagram für inelastische Elektron-Proton Streuung

$$x_B = \frac{Q^2}{2M\nu} < 1 \text{ mit } \nu = E_0 - E'$$

[Bjorken-Skalenvariable]

Theorie inelastischer Streuung

Ausgangspunkt elastische Streuung:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Rosenbluth}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} \cdot \frac{E}{E_0} \left(\frac{G_{Ep}^2 + \tau G_{Mp}^2}{1 + \tau} + 2\tau G_{Mp}^2 \tan^2 \frac{\theta}{2} \right) \text{ mit } \tau = \frac{q^2}{4M^2}$$

zusätzlicher Parameter für inelastische Streuung:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Inelastisch}} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\text{Mott}} \cdot \frac{E'}{E_0} \cdot \left[W_2(Q^2, \nu) + 2W_1(Q^2, \nu) \tan^2 \frac{\theta}{2} \right]$$

Theorie inelastischer Streuung

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Inelastisch} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Mott} \cdot \frac{E'}{E_0} \cdot [W_2(Q^2, \nu) + 2W_1(Q^2, \nu) \tan^2 \frac{\theta}{2}]$$



Umformung mit Hilfe von:

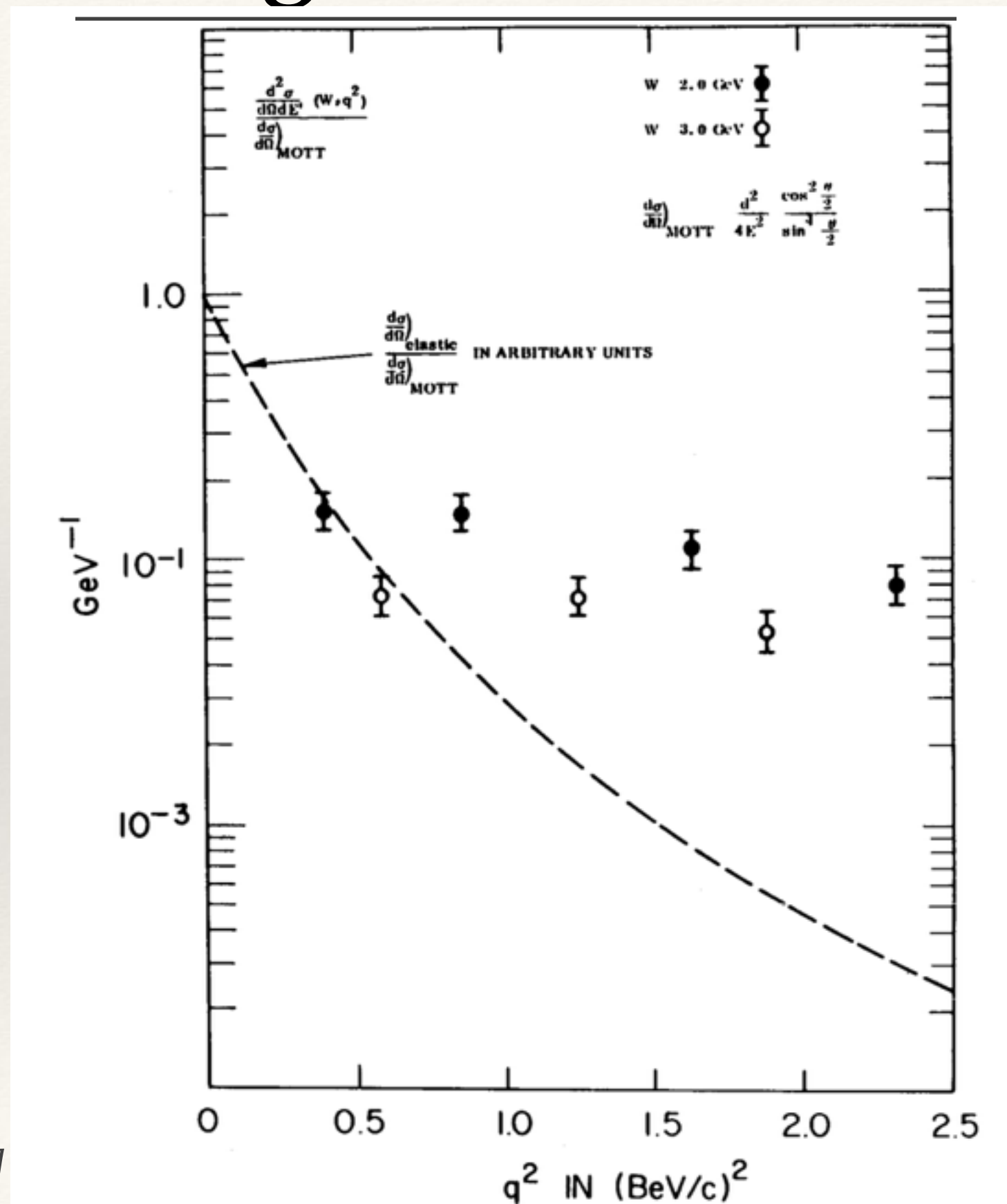
$$x_B = \frac{Q^2}{2M\nu} < 1 \text{ mit } \nu = E_0 - E'$$

$$F_1(x_B, Q^2) = Mc^2 W_1(Q^2, \nu)$$

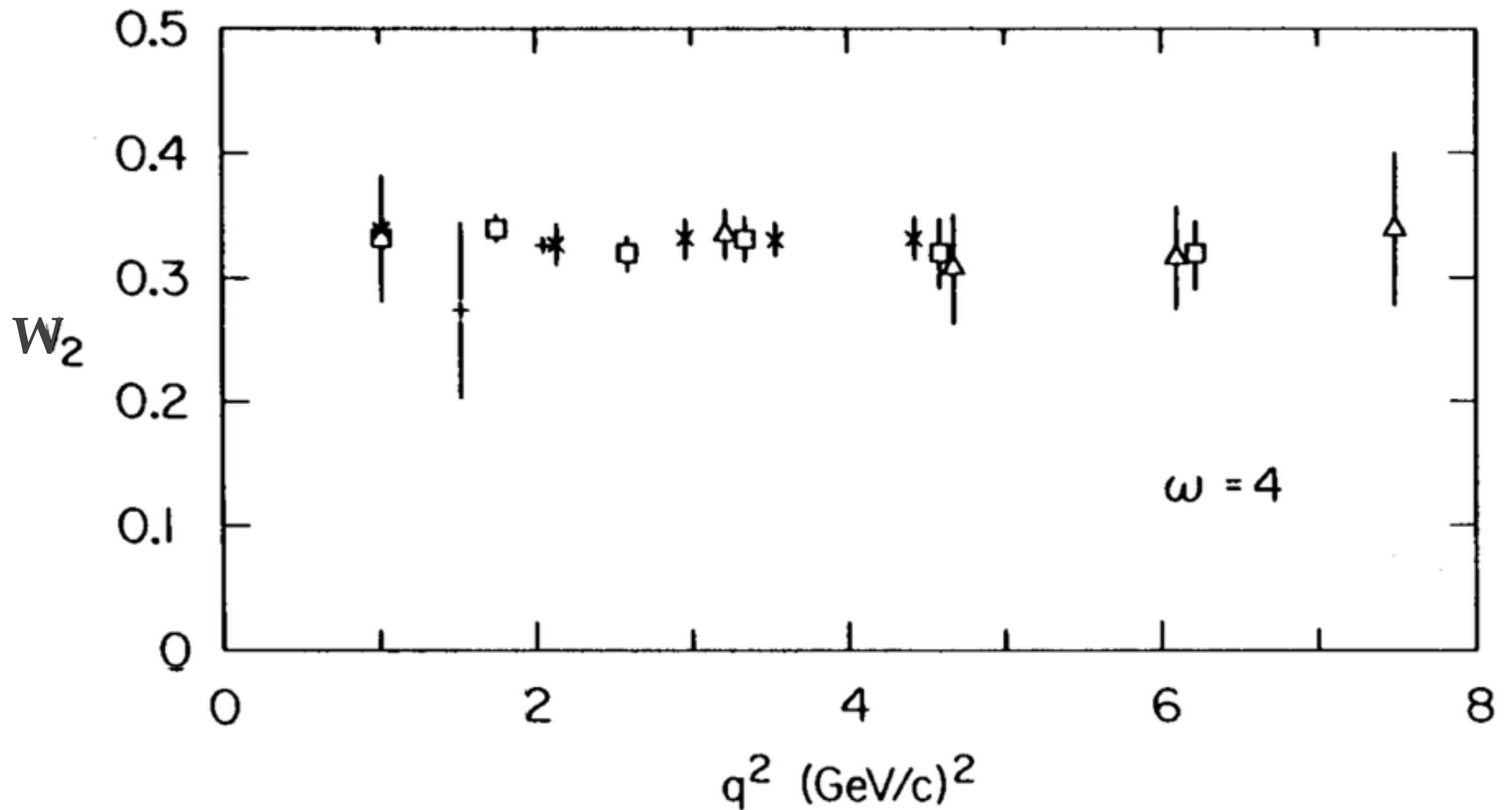
$$F_2(x_B, Q^2) = \nu W_2(Q^2, \nu)$$

} nach Bjorken

Messung und Auswertung

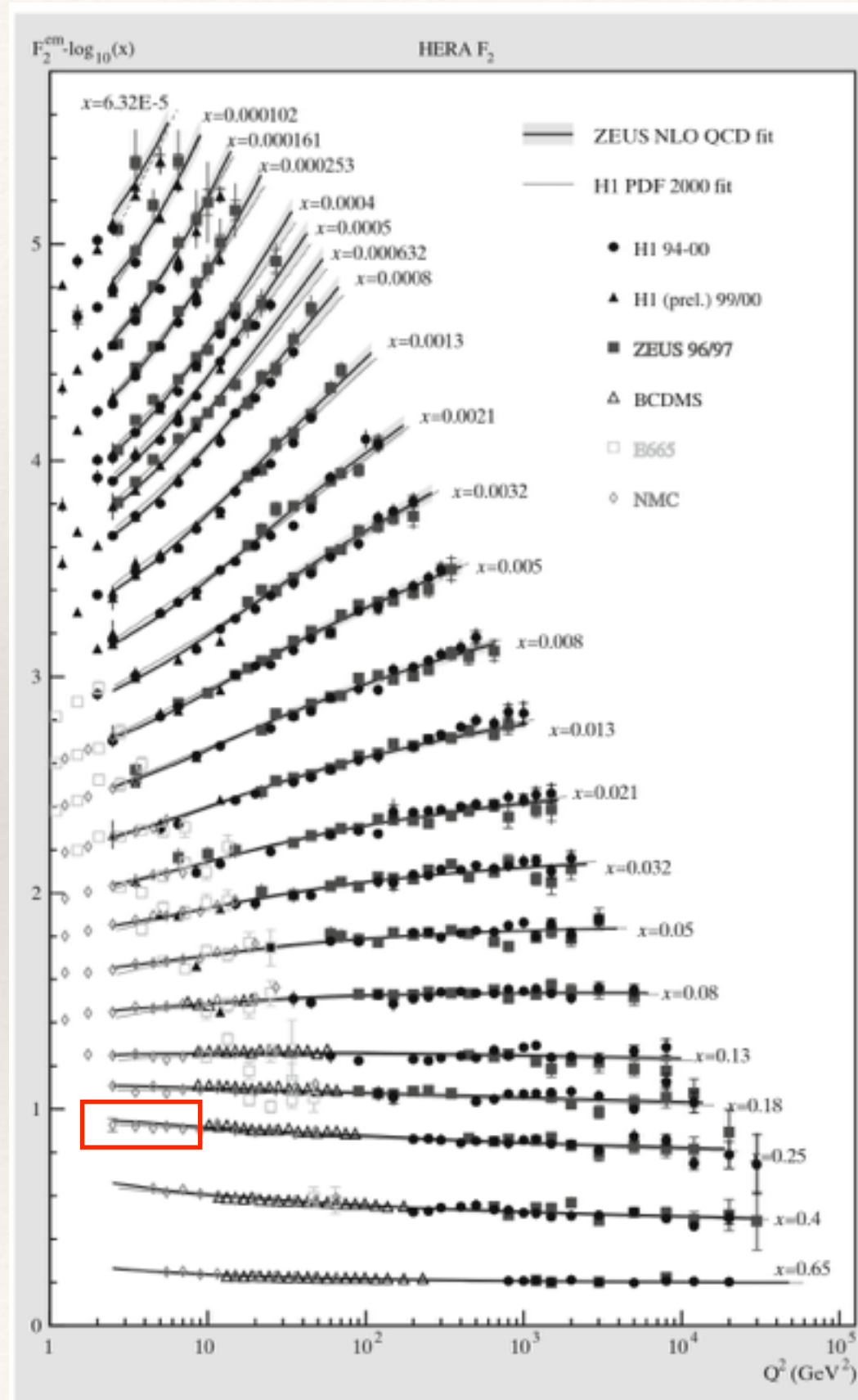


Messung und Auswertung



Messung von $F(q^2)$ [6]

aktueller Kenntnisstand



Quellen

- [1]: Website des Nobelpreises; www.nobelprize.org
- [2] :Luftbild von SLAC; Karten Apple
- [3]: Hofstadter Messung von $F(q^2)$; Noble Prize Lecture (1961)
- [4]: Anregungszustände des Protons; Noble Prize Lecture Kendall (1990)
- [5]: End Station A: Nobel Prize Letter, Richard Taylor (1990)
- [6]: Foto von End Station A; <http://www.slac.stanford.edu/history/images/M2324.gif>
- [7]: Faraday-Cup; www.wikipedia.org
- [8]: HERA-Messung von $F(Q^2)$: Elementarteilchenphysik, Berger