

Polarisationsbestimmung im A4-Experiment

Christoph Weinrich
A4-Kollaboration

Institutsseminar 5.2.2007



Gliederung

- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
- 3 Auswertung und Ergebnisse
- 4 Zusammenfassung

Gliederung

- 1 **Polarisationsbestimmung – Einführung**
 - Warum?
 - Womit?
- 2 **Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter**
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 **Auswertung und Ergebnisse**
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 **Zusammenfassung**

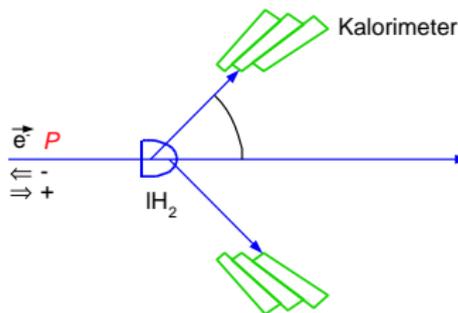
Gliederung

- 1 **Polarisationsbestimmung – Einführung**
 - Warum?
 - Womit?
- 2 **Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter**
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 **Auswertung und Ergebnisse**
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 **Zusammenfassung**

Rolle der Polarisation im A4-Experiment

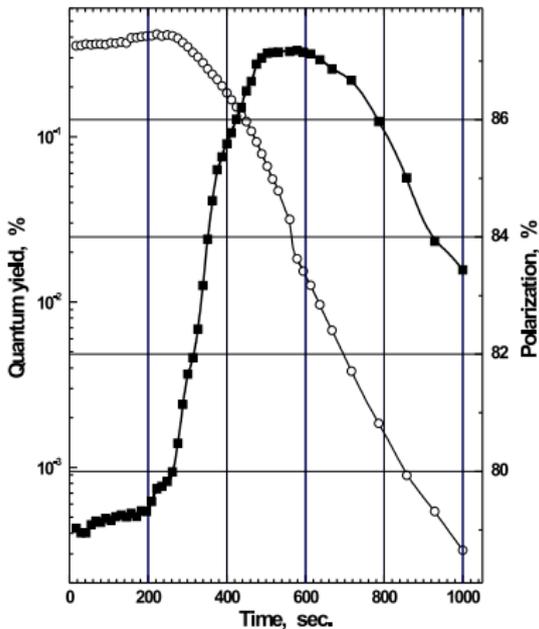
A4

Präzisions-Messung von **Asymmetrien** in der elastischen Streuung **polarisierter** Elektronen an unpolarisiertem Wasserstoff oder Deuterium



- $A_{mess} = \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-} = P \cdot A_{phys}$
- $\Rightarrow P$ muß gemessen werden!
- $(\delta A_{phys} / A_{phys})^2 = \dots + (\delta P / P)^2$

(In)Stabilität polarisierter Quellen



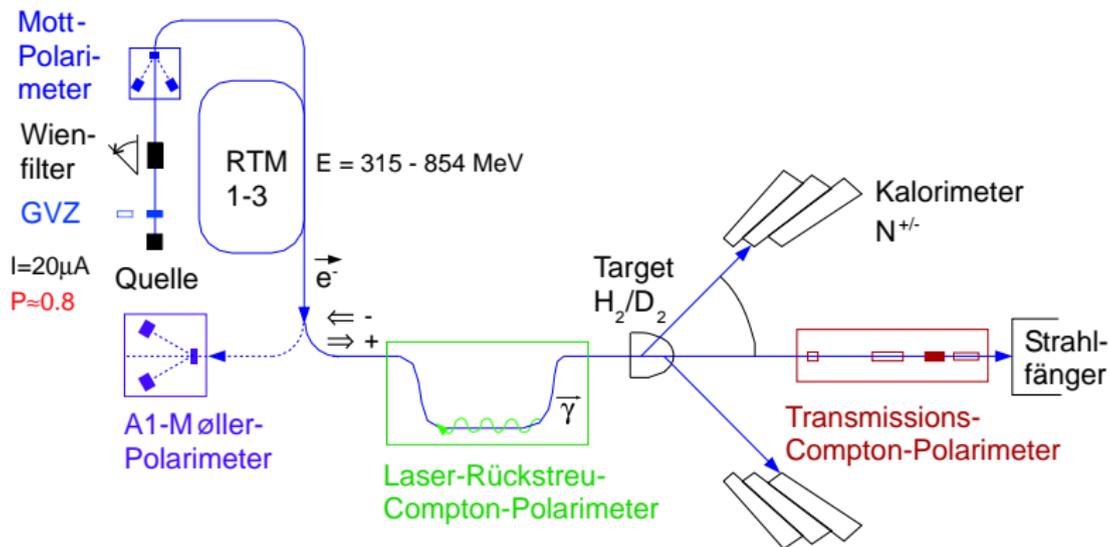
“Strained layer” GaAs-Kristalle

- begrenzte Lebensdauer
- Abnahme der Quanteneffizienz
- Zunahme der Polarisation

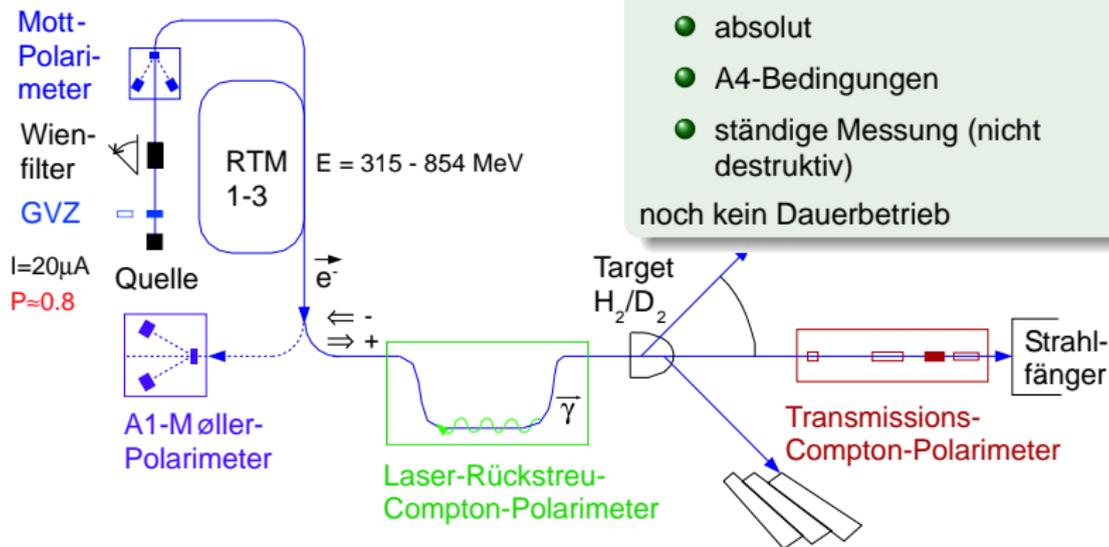
Gliederung

- 1 **Polarisationsbestimmung – Einführung**
 - Warum?
 - **Womit?**
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

Überblick über die Polarimeter



Eigenschaften der Polarimeter



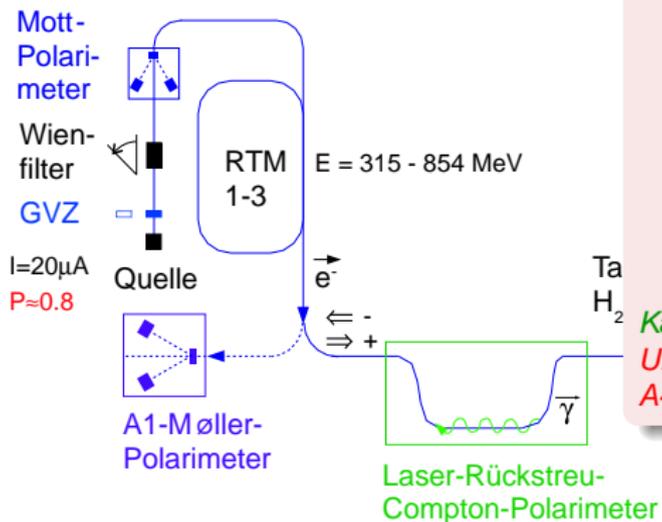
A4-Polarimeter

Laser-Compton-Polarimeter

- absolut
- A4-Bedingungen
- ständige Messung (nicht destruktiv)

noch kein Dauerbetrieb

Eigenschaften der Polarimeter



Polarimeter außerhalb A4

A1-Møller-Polarimeter

- **absolut** (kleine Unsicherheit)
- keine A4-Bedingungen
- aufwendig (etwa 8 Std. je Messung)
- **Einzelmessungen** (alle 1-2 Wochen)

*Kann zur Eichung verwendet werden.
Umrechnung der Ergebnisse auf
A4-Bedingungen nötig!*

Eigenschaften der Polarimeter

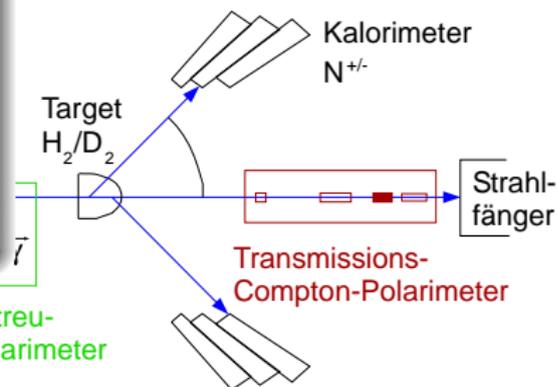
A4-Polarimeter

Transmissions-Compton-Polarimeter

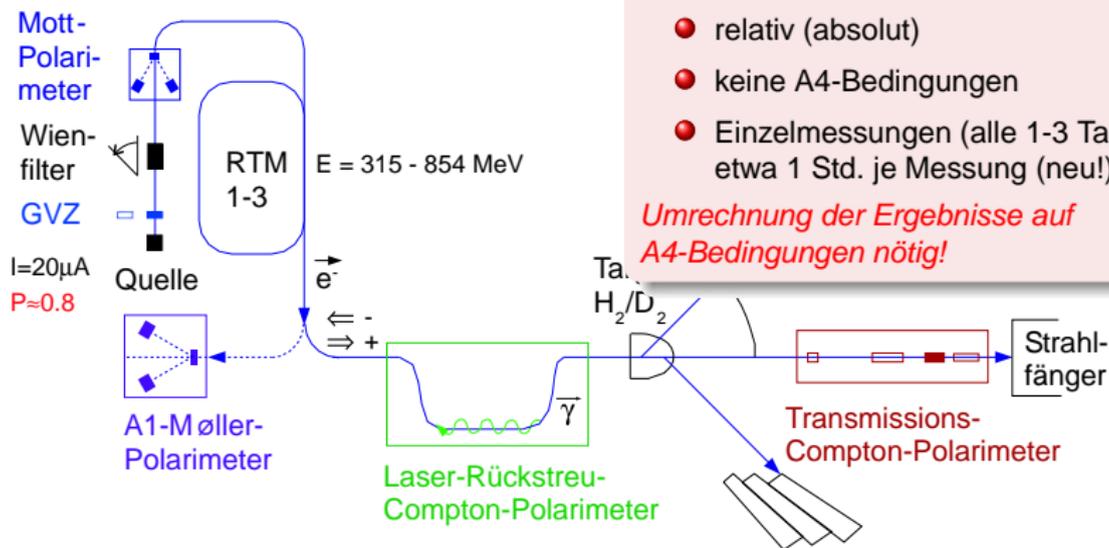
- relativ
- A4-Bedingungen
- ständige Messung (obwohl destruktiv)
- Polarisations-Monitor
- Interpolation zwischen Møller-Messungen
- Spinwinkel-Messungen

Polarimeter

Laser-Rückstreu-
Compton-Polarimeter



Eigenschaften der Polarimeter



Polarimeter außerhalb A4

Mott-Polarimeter

- relativ (absolut)
- keine A4-Bedingungen
- Einzelmessungen (alle 1-3 Tage, etwa 1 Std. je Messung (neu!))

Umrechnung der Ergebnisse auf A4-Bedingungen nötig!

Polarimeter-Nutzung

A1-Møller-Polarimeter

- *Absolutmessung der Polarisation*
- *Unsicherheit $\approx 1.2\%$ stat. + 1.2% syst.*

Mott-Polarimeter

- *weitere "Stützpunkte" im Polarisationsverlauf*
- *Unsicherheit $\approx 1\%$ stat. + 4% syst.*

Transmissions-Compton-Polarimeter

- *ständige Polarisations-Überwachung*
- *Interpolation zwischen Møller-Messungen*

Gliederung

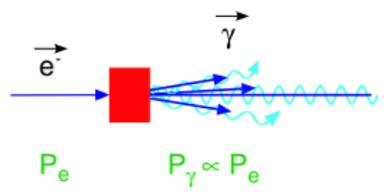
- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

Gliederung

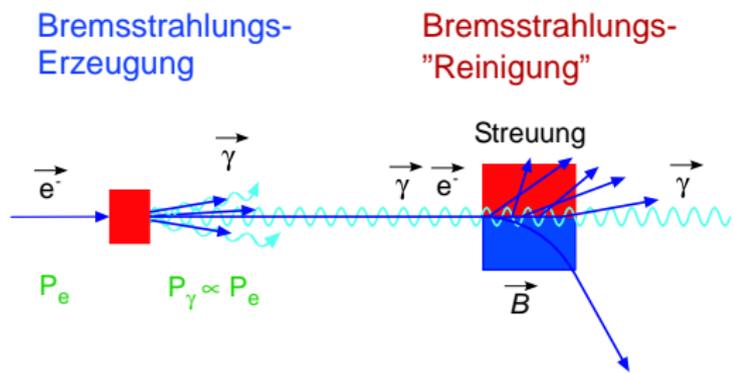
- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - **Meßprinzip**
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

Meßprinzip

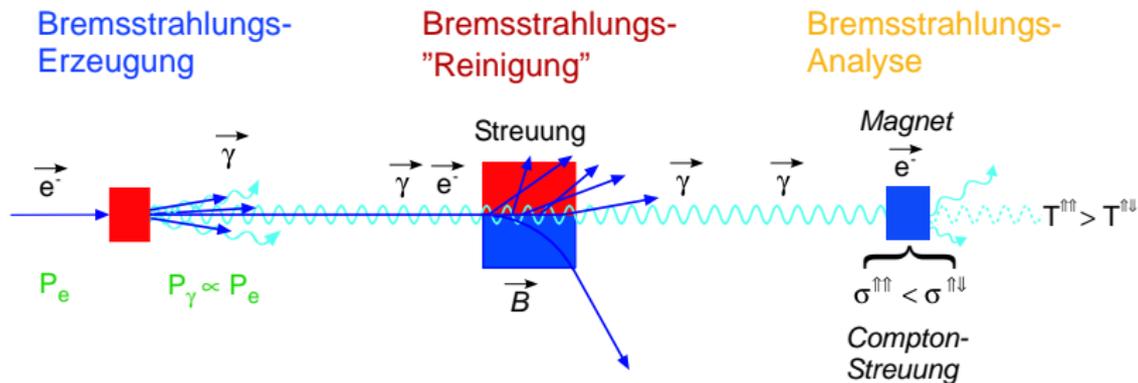
Bremsstrahlungserzeugung



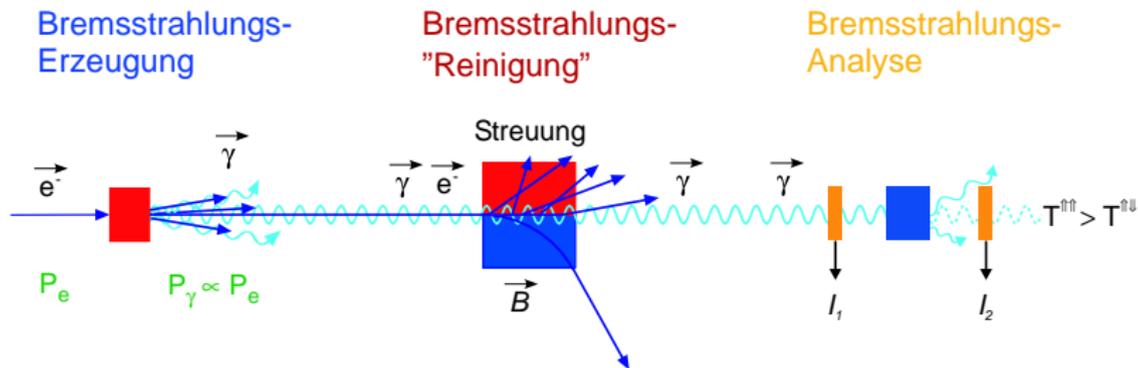
Meßprinzip



Meßprinzip



Meßprinzip



$$T = \frac{I_2}{I_1}, \quad A^{\text{Pola}} = \frac{T^{\uparrow\uparrow} - T^{\downarrow\downarrow}}{T^{\uparrow\uparrow} + T^{\downarrow\downarrow}} \propto P_e$$

Gliederung

- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

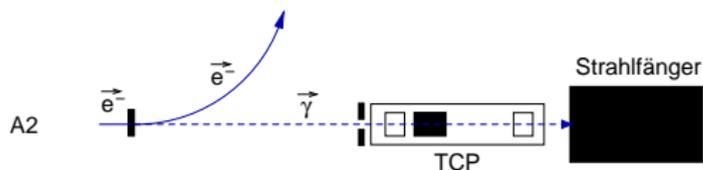
Anordnung im A4-Aufbau



Rahmenbedingungen bei A4

- Einbau **vor** dem Strahlfänger im Vakuum
- keine magnetische Auslenkung der Elektronen, "Reinigung" durch Strahlaufweitung
- geringe Streuverluste!

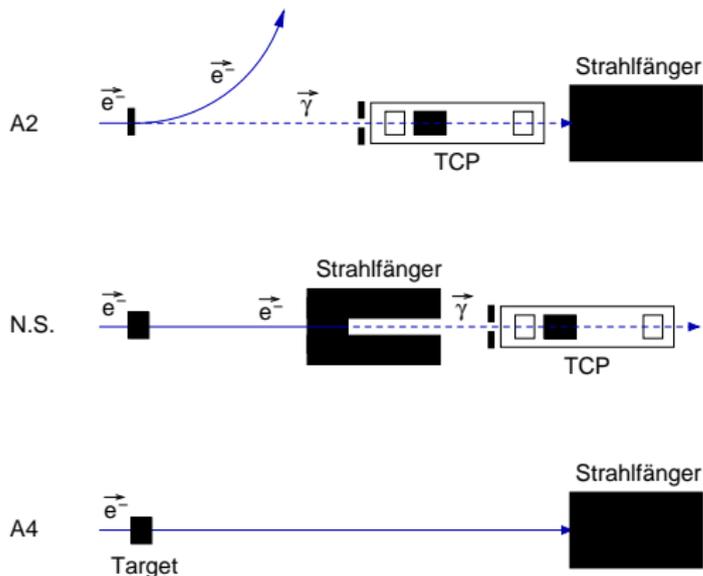
Anordnung im A4-Aufbau



Rahmenbedingungen bei A4

- Einbau **vor** dem Strahlfänger im Vakuum
- keine magnetische Auslenkung der Elektronen, "Reinigung" durch Strahlaufweitung
- geringe Streuverluste!

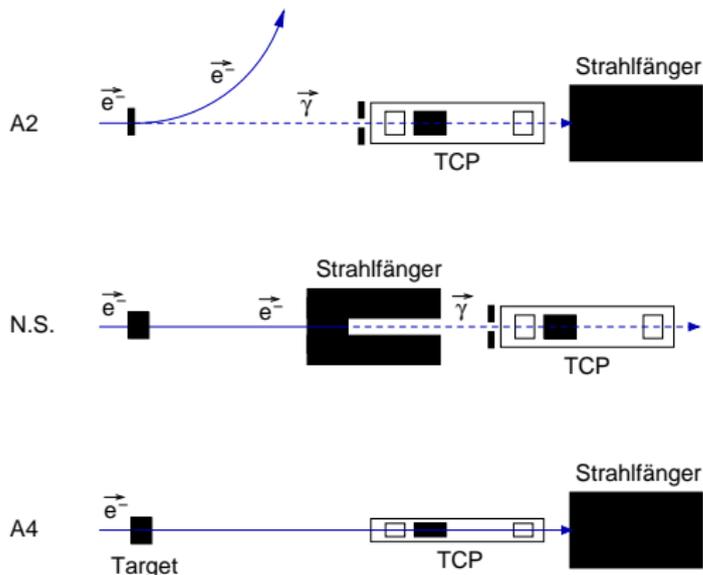
Anordnung im A4-Aufbau



Rahmenbedingungen bei A4

- Einbau **vor** dem Strahlfänger im Vakuum
- keine magnetische Auslenkung der Elektronen, "Reinigung" durch Strahlaufweitung
- geringe Streuverluste!

Anordnung im A4-Aufbau und Rahmenbedingungen



Rahmenbedingungen bei A4

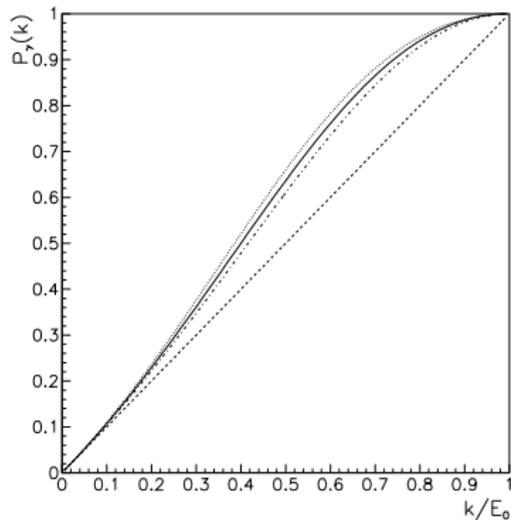
- Einbau **vor** dem Strahlfänger im Vakuum
- keine magnetische Auslenkung der Elektronen, "Reinigung" durch Strahlaufweitung
- geringe Streuverluste!

Anforderungen & Aufgaben

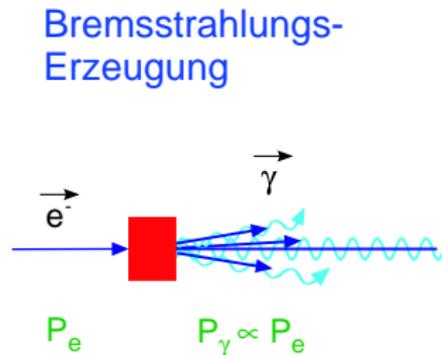
Anforderungen an das Polarimeter

- sehr hoher Strahlungspegel / Leistungsdichte (Strahlleistung bei 854 MeV: 17 kW)
 - um Energieaufnahme und Streuverluste klein zu halten
 - ⇒ kleine Teile (kleine Durchmesser)
 - ⇒ Sekundär-Elektronen-Emission statt Ionisations-Kammern
 - ⇒ Dauermagnet statt Elektromagnet

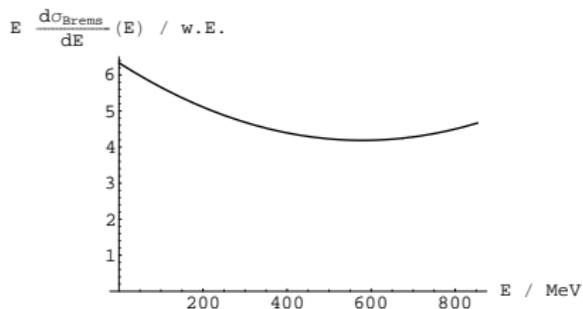
Berechnungen (für 854 MeV)



Polarisationsgrad des
Bremsstrahlungsphotons

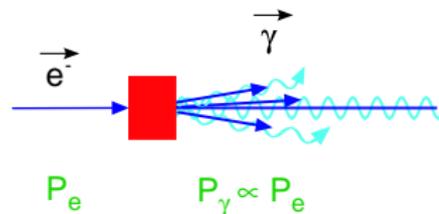


Berechnungen (für 854 MeV)

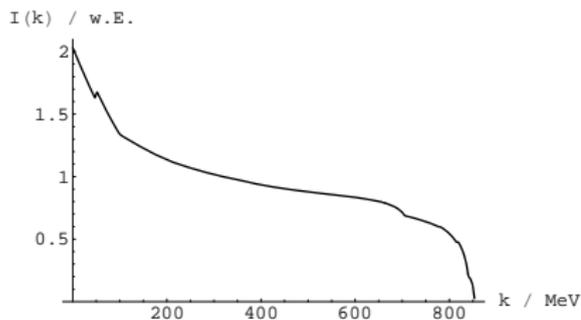


Bremsstrahlungs-WQ nach Tsai 1974

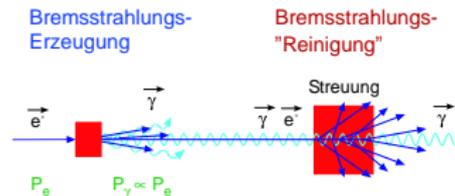
Bremsstrahlungs- Erzeugung



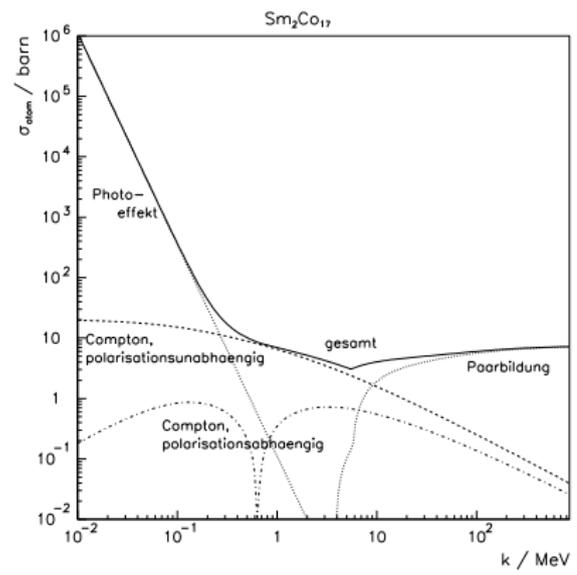
Berechnungen (für 854 MeV)



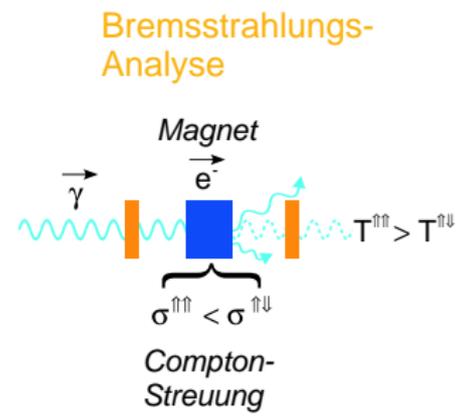
Intensitätsspektrum vor dem Magneten



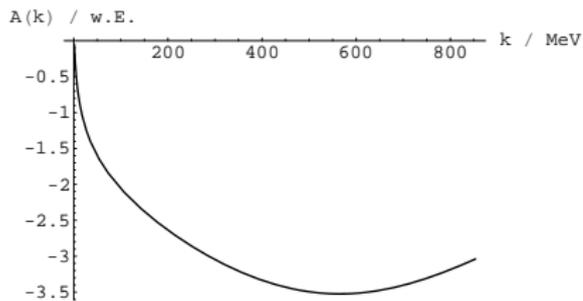
Berechnungen (für 854 MeV)



WQ für Photonen im Magneten

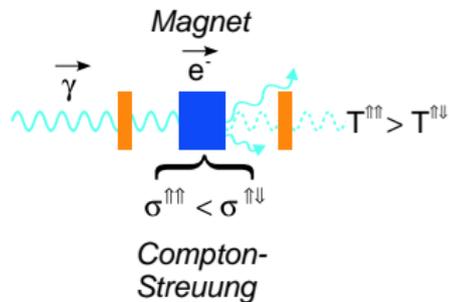


Berechnungen (für 854 MeV)

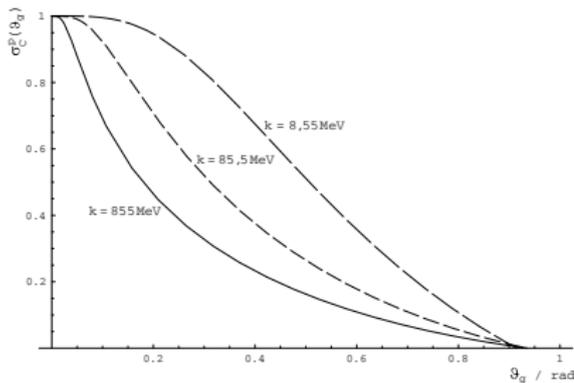


Transmissions-Asymmetrie für Photonen
der Energie k

Bremsstrahlungs- Analyse



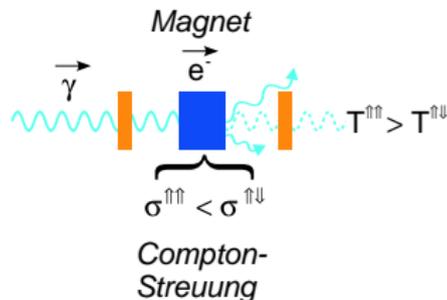
Berechnungen (für 854 MeV)



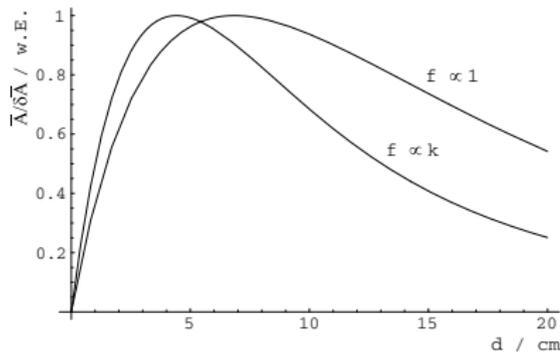
Compton-WQ außerhalb Grenzwinkel

Abstand Magnet-Wandler \Leftrightarrow 30 mrad
Öffnungswinkel (entspr. 96% des max WQ)

Bremsstrahlungs-Analyse



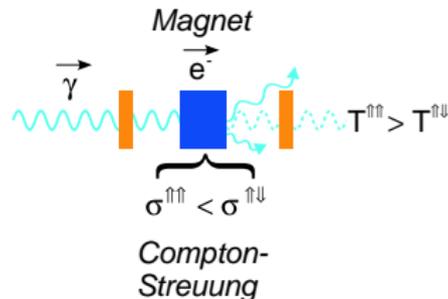
Berechnungen (für 854 MeV)



Magnetlängenbestimmung

Magnetlänge 4-7 cm (entspricht > 90% des Maximalwertes) (Antwortfkt. des Wandlers unbekannt)

Bremsstrahlungs-Analyse

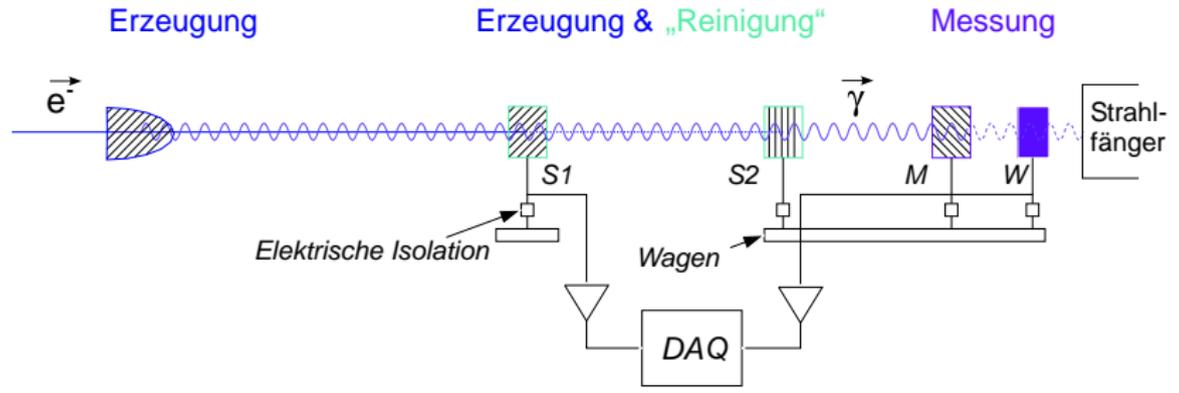


Ergebnis der Rechnungen (854 MeV, mit Target)

- 40 W Photonleistung vor dem Magneten (davon $\approx 8\%$ durchgelassen)
(Bei 315 MeV: 1.3 W)
- 6 W Elektronenleistung vor dem Magneten
(Bei 315 MeV: 0.003 W)
- weniger als 1 % der Elektronen erreichen den Magneten
- 0.004 der Elektronenenergie gehen am SF vorbei (≈ 75 W)

Umsetzung

Bremsstrahlungs-

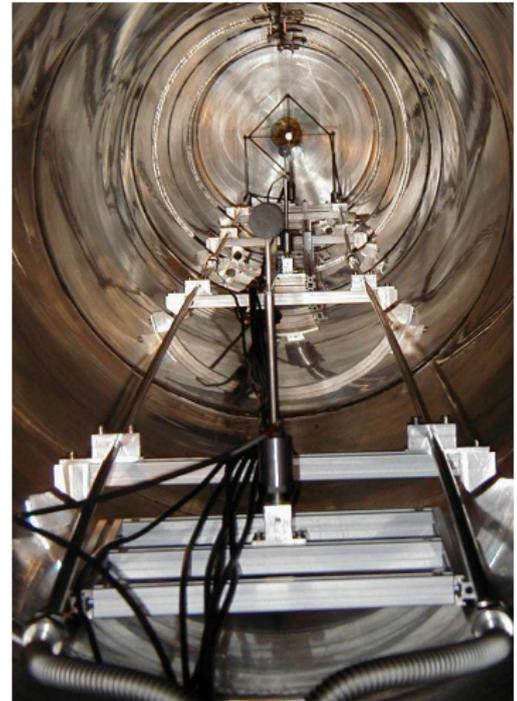
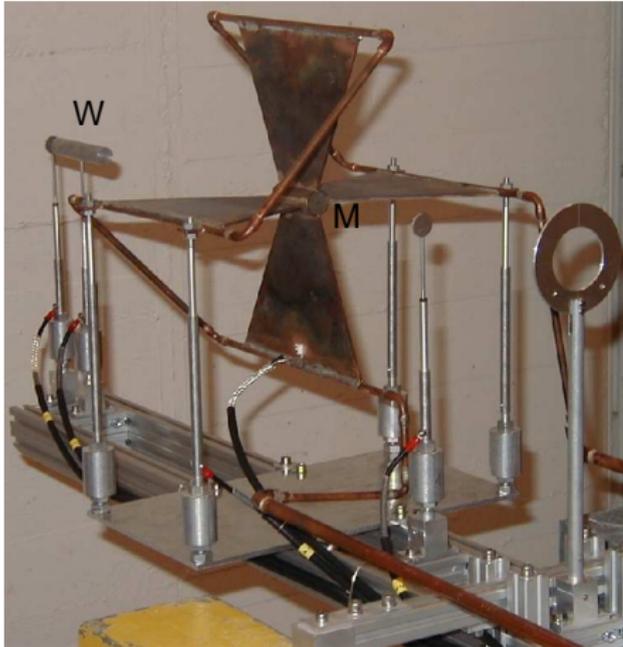


Lichtbilder



Das Polarimeter beim Einrichten

Lichtbilder



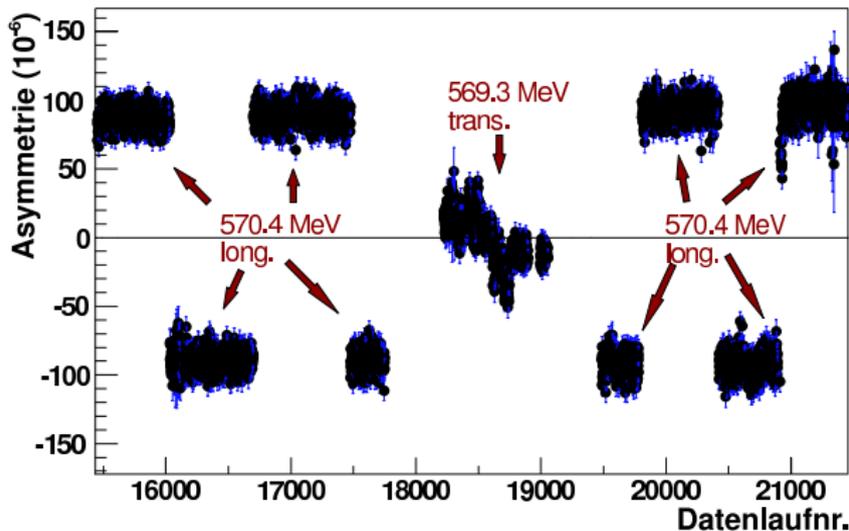
Gliederung

- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

Gliederung

- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

Ergebnisse: Polarimeterasymmetrie



Polarimeterasymmetrie gegen Datenlaufnr.

Auswertung – Asymmetrieberechnung

Aus: Zeitverläufen der Signale $W(t)$, $S1(t)$ und der Polarisationsstellung $p(t)$

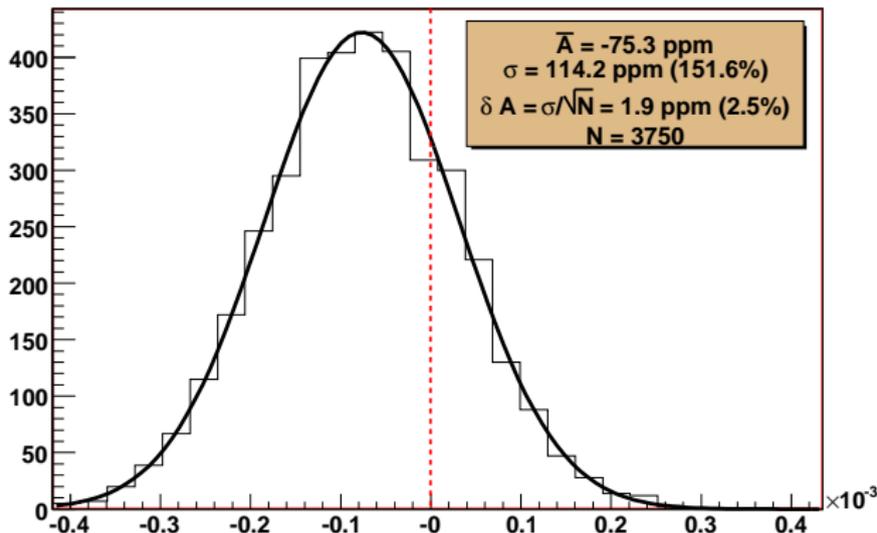
- Transmission als Signalverhältnis berechnen: $T(t) = \frac{W}{S1}(t)$
- Asymmetrieberechnung mit Hilfe von $p(t)$

$$A_i = \frac{T_i^+ - T_i^-}{T_i^+ + T_i^-}$$

- Berechnung von \bar{A} und $\delta A = \sigma/\sqrt{N}$
- ggf. Entkorrelierung der Asymmetrien

Histogramm der Polarimeterasymmetrie A(W/S1)

Run 39210 (wandler/streuer1) Kurzzeit-Asymmetrien, 854 MeV

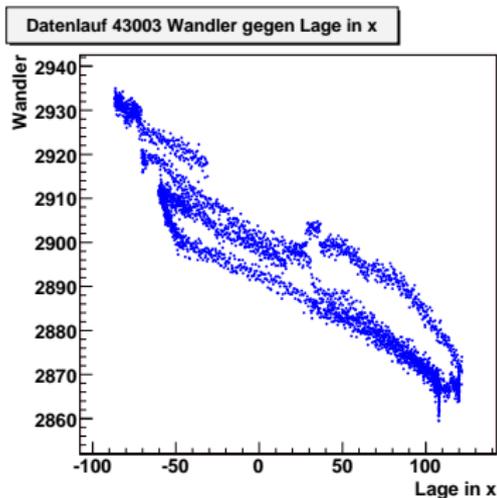


Histogramm der Polarimeterasymmetrie A(W/S1) für einen 5 min. Datenlauf

Analysierstärken

- Analysierstärken $\mathcal{A} = \frac{A}{P_{\text{Moeller}}}$
 - 854 MeV: ≈ 80 ppm
 - 570 MeV: ≈ 115 ppm
 - 315 MeV: ≈ 450 ppm
- statistische Unsicherheiten $(\delta\mathcal{A})_{\text{stat}}$ (5 min.)
 - 854 MeV: ≈ 3 ppm (4 % rel. bei 80 % Polarisation)
 - 570 MeV: ≈ 7 ppm (6 % rel. bei 80 % Polarisation)
 - 315 MeV: ≈ 13 ppm (3 % rel. bei 80 % Polarisation)
- systematische Unsicherheiten $(\delta\mathcal{A})_{\text{syst}}$
 - ≈ 0.5 ppm + 1-5 %

Falsche Asymmetrien



Falsche Asymmetrien

- **Ursache:** Polarimeter-Signale schwanken gekoppelt mit Strahlparametern
- **Wirkung:**

$$\Delta A = \frac{\Delta S}{2S} = \frac{\frac{\partial S}{\partial X} \Delta X}{2S}$$

- **Abhilfe:** Lineare Regressionsanalyse

Ansatz:

$$A = a_0 + \sum_j a_j X_j$$

Berichtigung falscher Asymmetrien

durch Lineare Regressionsanalyse

Ein Datenlauf besteht aus vielen “Kurzzeitmessungen” A_j :

$$A_i = a_0 + \sum_j a_j X_{ji} \quad i = 1, \dots, N$$

Berechnung des des Korrelationsvektors \vec{s}_A und der Korrelationsmatrix \mathbf{s} :

$$(\mathbf{s})_{jk} = \frac{1}{N-1} \sum_i [(X_{ji} - \bar{X}_j)(X_{ki} - \bar{X}_k)] \quad (1)$$

$$(\vec{s}_A)_j = \frac{1}{N-1} \sum_i [(X_{ji} - \bar{X}_j)(A_i - \bar{A})] \quad (2)$$

Daraus Berechnung des Koeffizientenvektors \vec{a} :

$$\vec{a} = \mathbf{s}^{-1} \vec{s}_A \quad (3)$$

Entkorrelierte Asymmetrie:

$$A_{decorr} = a_0 = \bar{A} - \sum_j a_j \bar{X}_j$$

Falsche Asymmetrien – Beispiel

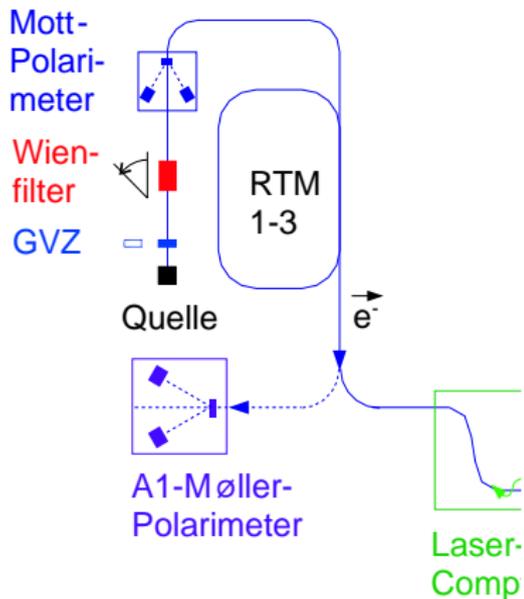
Falsche Asymmetrien bei 570 MeV

- Lage: $\frac{dA}{d\Delta_x} < 30 \text{ ppm}/\mu\text{m}$
- Strom: $\frac{dA}{dA_I} < 0.015 \text{ ppm/ppm}$
- für ein typisches Datenpaket (≈ 500 Datenläufe):
 - Lage-Differenz: $\Delta_x \approx 50 \text{ nm}$ ($\Rightarrow \Delta A \approx 1.5 \text{ ppm}$)
 - Strom-Asymmetrie: $A_I \approx 1 \text{ ppm}$ ($\Rightarrow \Delta A \approx 0.02 \text{ ppm}$)

Weitere Effekte – Spinwinkel

- Polarimeter und Experimente messen Projektionen von P
 - Spin wird in Magnetfeldern relativ zum Impuls gedreht
 - Wienfilter dreht Spin um zusätzlichen Winkel (Unsicherheit $\approx 1^\circ$)
- Spinwinkel α am Ort der Messung muß bekannt sein!
- M. Steigerwald (Diss. 1998): Spinwinkel für alle Hallen als Funktion der Endenergie (Unsicherheit $\approx 3^\circ$) & Endenergie für longit. Spinstellung, Unsicherheit etwa 3°
 - Energiedifferenz zu Listenenergie ergibt Zusatzwinkel
$$\Delta\alpha = \frac{\partial\alpha}{\partial E}\Delta E$$
 - Überprüfung des Spinwinkel in Halle 4 für Spindrehung mit Wienfilter bei bekannter Energie, Polarisationsmessung mit TCP

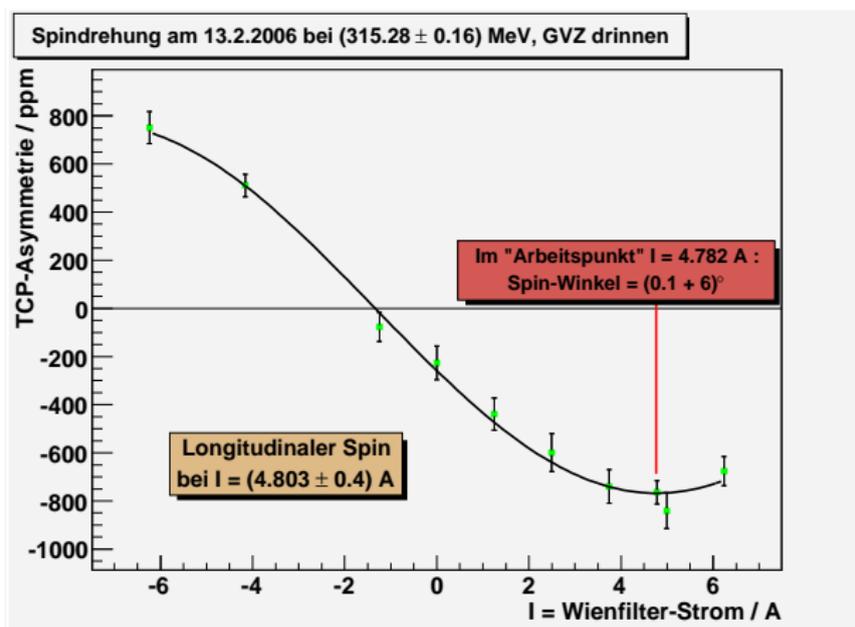
Spindrehung – Messung des Spinwinkels in Halle 4



Wienfilter

- Gekreuzte Felder:
 \vec{B} -Feld dreht Spin, \vec{E} -Feld kompensiert Lorentz-Kraft
- stufenlose Drehung des Spins um $\approx \pm 90^\circ$
- Drehwinkel \propto Magnetspulenstrom

Spindrehung – Messung des Spinwinkels in Halle 4

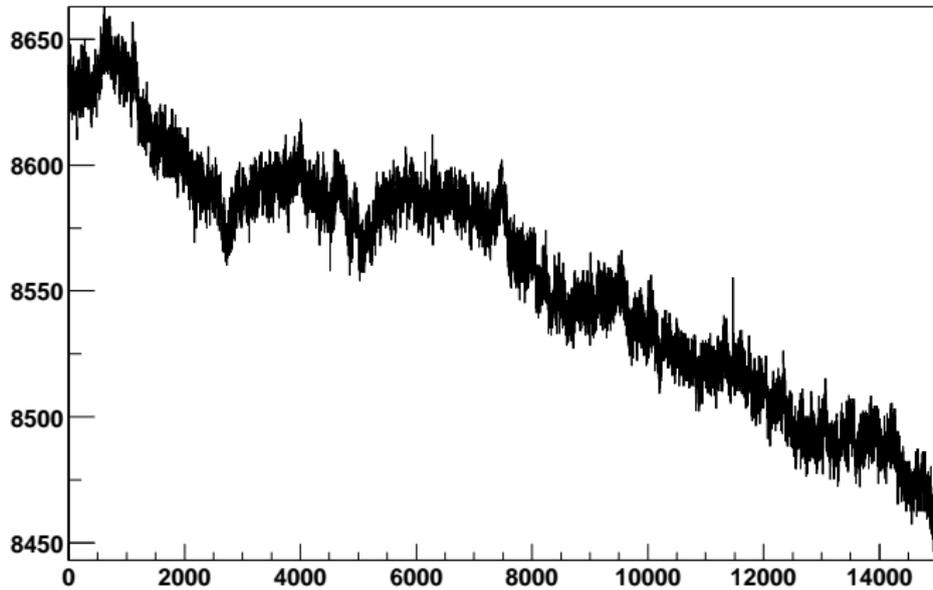


“Nomineller” Spinwinkel: $(2 \pm 3)^\circ$.

Gliederung

- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 **Auswertung und Ergebnisse**
 - Messungen mit dem TCP
 - **Schwierigkeiten und ihre Lösung**
- 4 Zusammenfassung

Nullpunktdrift



Wandlersignal nach Strahlabschaltung gg. Zeit (0 - 5 min.)

Nullpunktdrift

- Nullpunkte von W & SEM2 driften stark
- Asymmetrie hängt vom Nullpunkt ab

$$\frac{(S - S_0)^+ - (S - S_0)^-}{(S - S_0)^+ + (S - S_0)^-} = \quad (4)$$

$$\frac{S^+ - S^-}{S^+ + S^- + 2S_0} \quad (5)$$

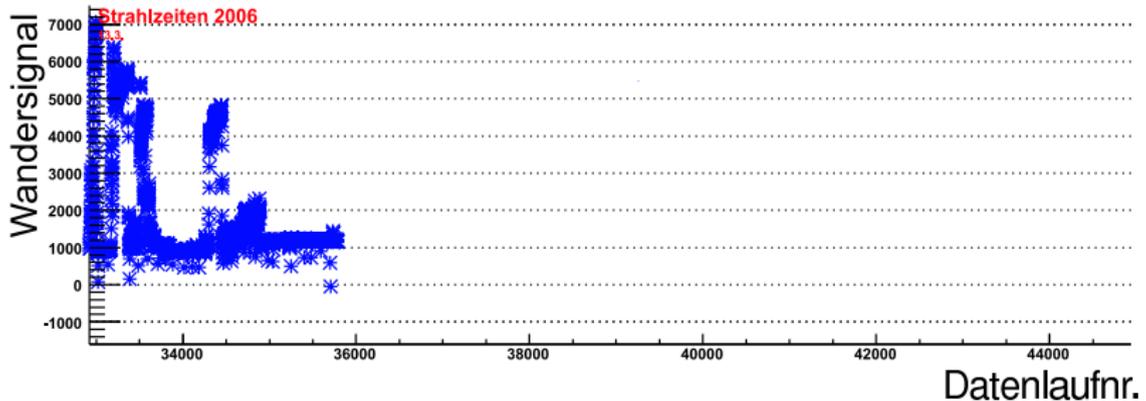
- Berichtigung mit Hilfe des S1-Signals:
Annahme:

$$S_W \approx c \cdot (S_{S1} - S_{S1}^0) + S_W^0 \quad (6)$$

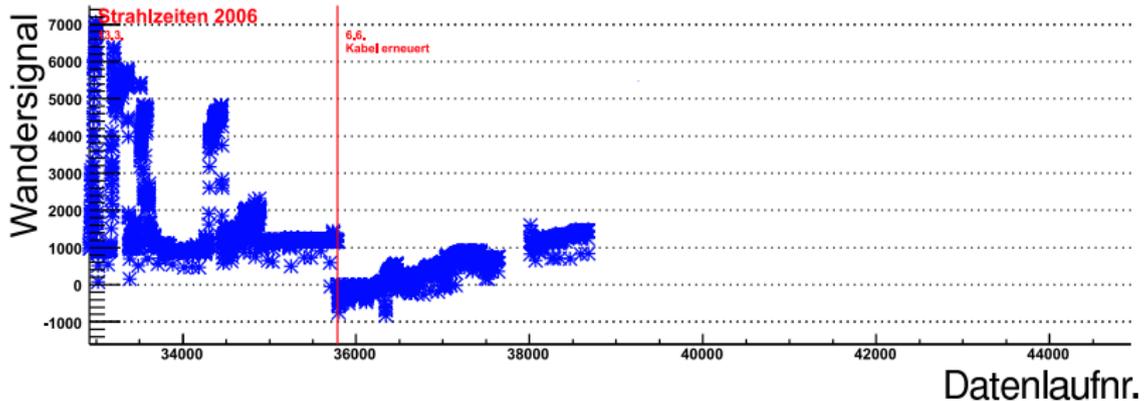
$$\Rightarrow S_W^0 = S_W - c \cdot (S_{S1} - S_{S1}^0) \quad (7)$$

- Signalverhältnisse $c = \frac{\Delta S_W}{\Delta S_{S1}}$ ändern sich (auch strahlageabhängig)
 \Rightarrow Signalverhältnisse regelmäßig messen
 \Rightarrow Lage-Stabilisierung

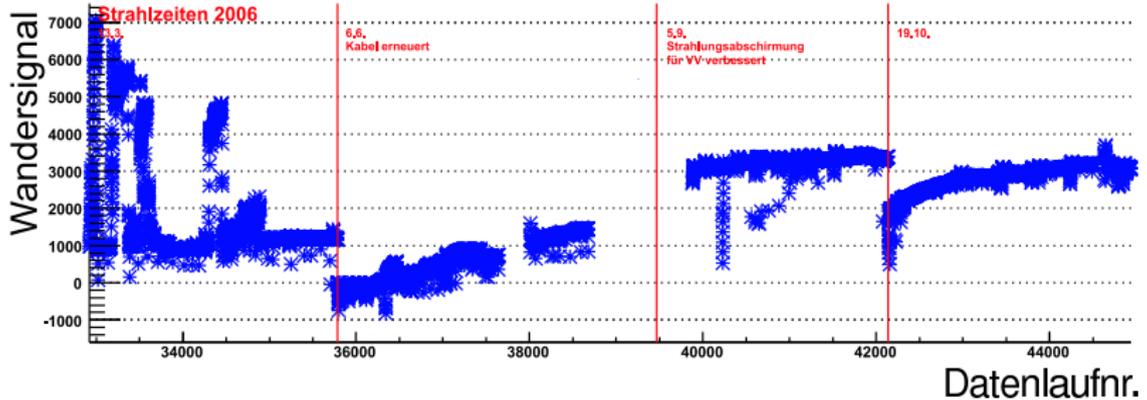
Neue Schwierigkeiten – Signale bei 315 MeV



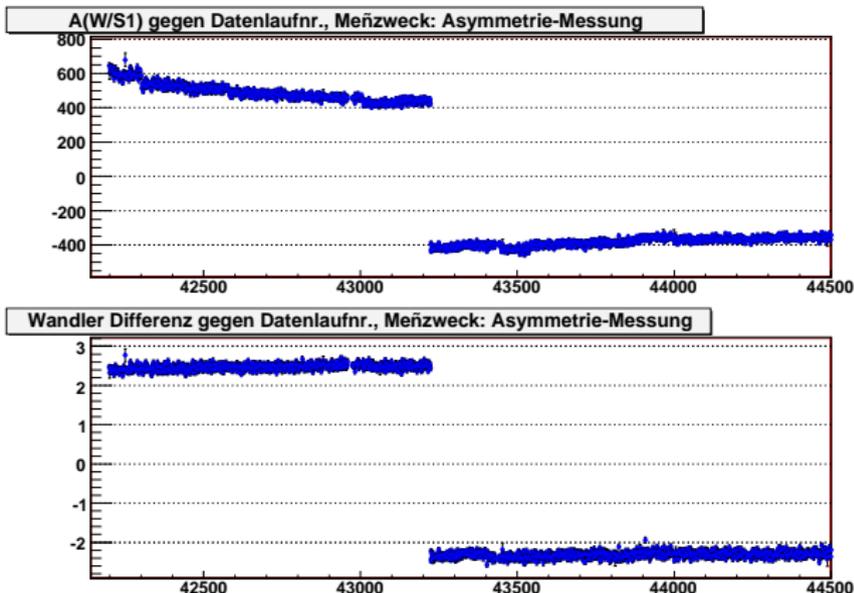
Neue Schwierigkeiten – Signale bei 315 MeV



Neue Schwierigkeiten – Signale bei 315 MeV

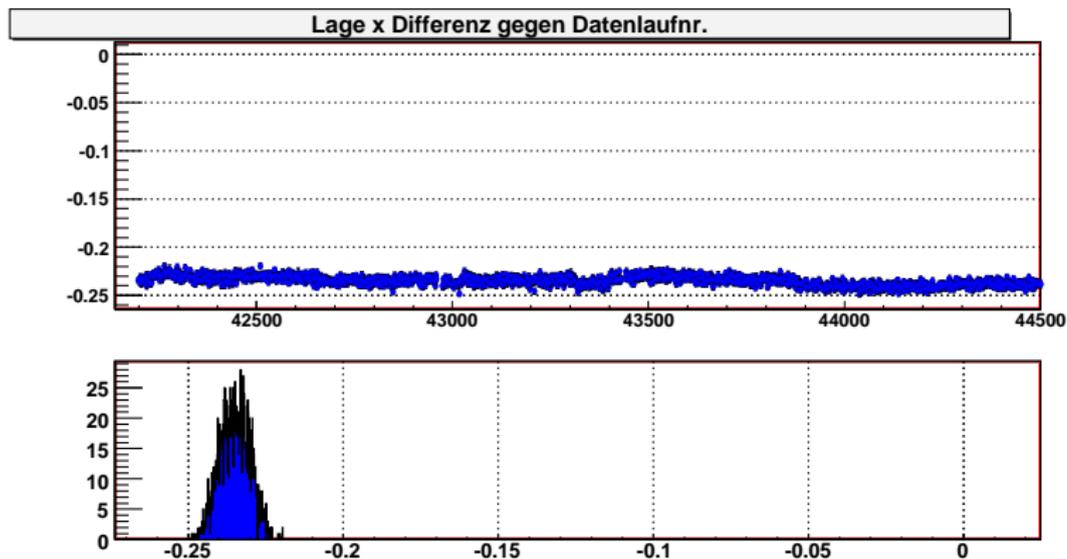


Neue Schwierigkeiten – Signale bei 315 MeV



Benutze Wandler-Differenzen statt Asymmetrien!

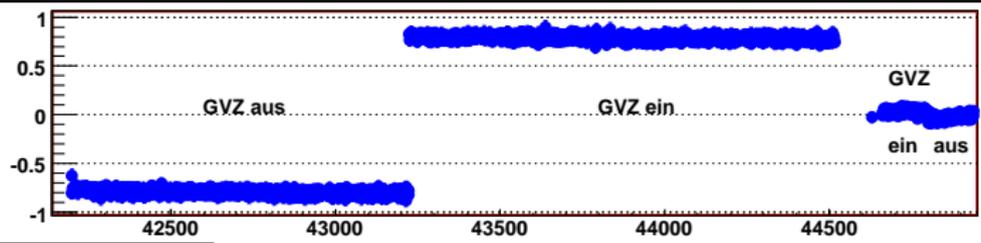
“Falsche Differenzen”



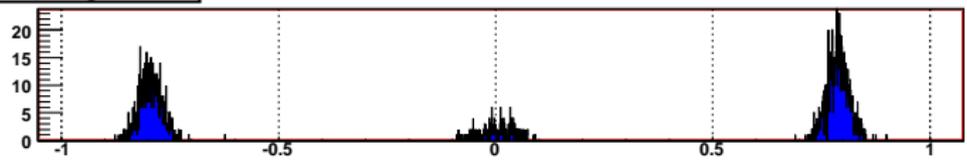
Benutze stromnormierte & entkorrelierte Wandler-Differenzen!

Polarisation

Polarisation (aus stromnorm., entk. Wandler-Differenzen) für DatenlÖufe 42139 bis 44950, Meßzweck: Asymmetrie-Messung

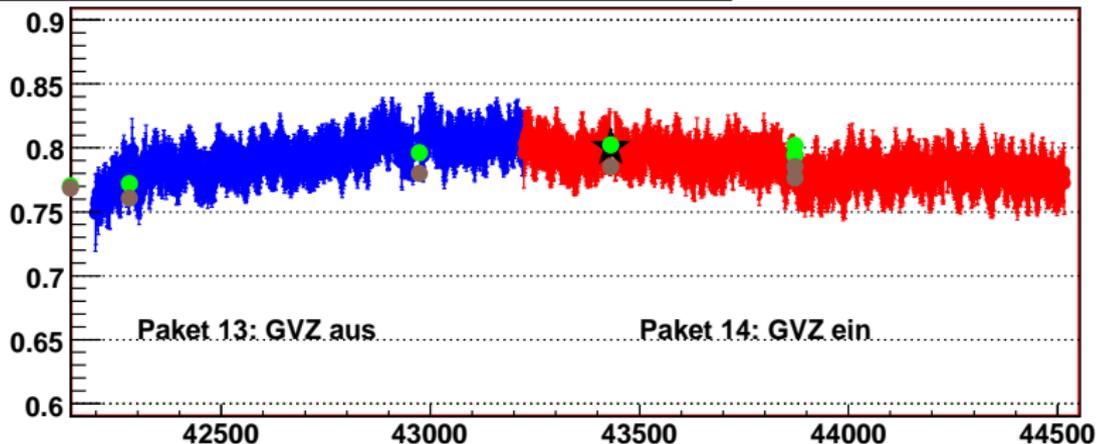


wie oben, histogrammiert



Polarisation

Polarisation (wie oben), 10-er-Mittel, Moeller- & Mott-Messungen



Gesamtergebnis für Polarisation:
Sample 13: $P=79.3\% \pm 0.2$ stat.
Sample 14: $P=78.6\% \pm 0.2$ stat.

Gliederung

- 1 Polarisationsbestimmung – Einführung
 - Warum?
 - Womit?
- 2 Das A4-Transmissions-Compton-Polarimeter
 - Meßprinzip
 - Umsetzung bei A4
- 3 Auswertung und Ergebnisse
 - Messungen mit dem TCP
 - Schwierigkeiten und ihre Lösung
- 4 Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Transmissions-Compton-Polarimeters neuen Typs seit 2002 in Betrieb
- Analysierstärken zwischen 80 *ppm* und 450 *ppm*, bei stat. Meßunsicherheit von 4-8 % innerhalb 5 Minuten
- schneller Polarisations-Monitor, Interpolation der Polarisation, Spinwinkelmessung, Vorzeichen, besseres Verständnis der Polarisation bei A4
- Durch Verbindung von Møller-, Mott-, und TC-Polarimeter Verringerung der Polarisationsunsicherheit auf 2-3 % möglich (bisher 4 %)

Ausblick

- Weitere Untersuchung der Systematik
- mit fertigem Laser-Compton-Polarimeter Polarisationsunsicherheit auf 1-2 % senken

Results from old polarimeter model (854 MeV)

Asymmetries, decorrelated from xymo20

