


Spinstruktur des Protons

vgl. Erwartung des statischen Quarkmodells:

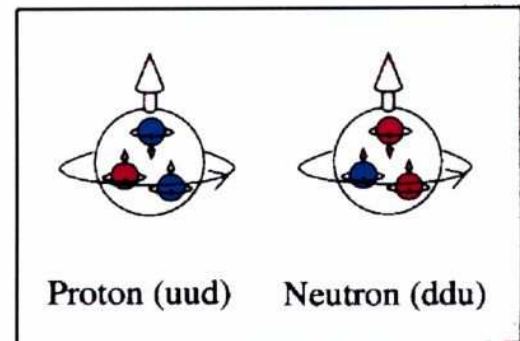
$$|p \uparrow\rangle = \frac{1}{\sqrt{18}} (2 u \uparrow u \uparrow d \downarrow - u \uparrow u \downarrow d \uparrow - u \downarrow u \uparrow d \uparrow) + \text{Permutationen}$$

Auch Gluonen und See-Quarks können zum Gesamtspin beitragen. Tatsächlich zeigen Messungen, dass die Valenzquarks nur ca. 30% des Spins des Protons ausmachen, See-Quarks tragen fast gar nicht zum Protonspin bei. Der Gluonbeitrag ist noch nicht präzise gemessen worden, scheint aber eher gering zu sein. Außerdem kann der Drehimpuls der Valenzquarks zum Spin beitragen (). Präzise Messungen werden von mehreren verschiedenen Experimenten erhofft, u.a. HERMES am HERA-Beschleuniger und COMPASS am CERN.

Quarkmodelle

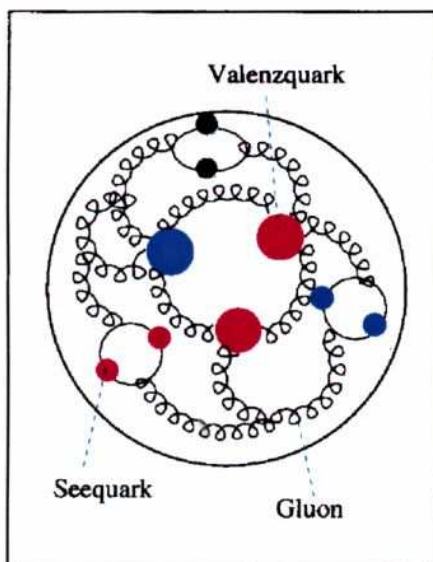


Im einfachsten Bild, dem Quark-Parton-Modell, werden alle Eigenschaften des Nukleons dadurch erklärt, daß man es sich aus drei Quarks aufgebaut denkt, die man **Valenzquarks** nennt.



Das Proton (zwei u-Quarks, ein d-Quark) und das Neutron (zwei d-Quarks, ein u-Quark) verhalten sich fast wie Spiegelbilder. Der Spin jedes Quarks ist $\frac{1}{2}$. Wenn jeweils zwei davon gleich gerichtet sind, das dritte entgegengesetzt, summieren sie sich wie Vektoren zum Nukleonenspin von $\frac{1}{2}$.

Tatsächlich aber tragen die Valenzquarks wenig zum Spin der Nukleonen bei. Ihre Struktur ist komplizierter:

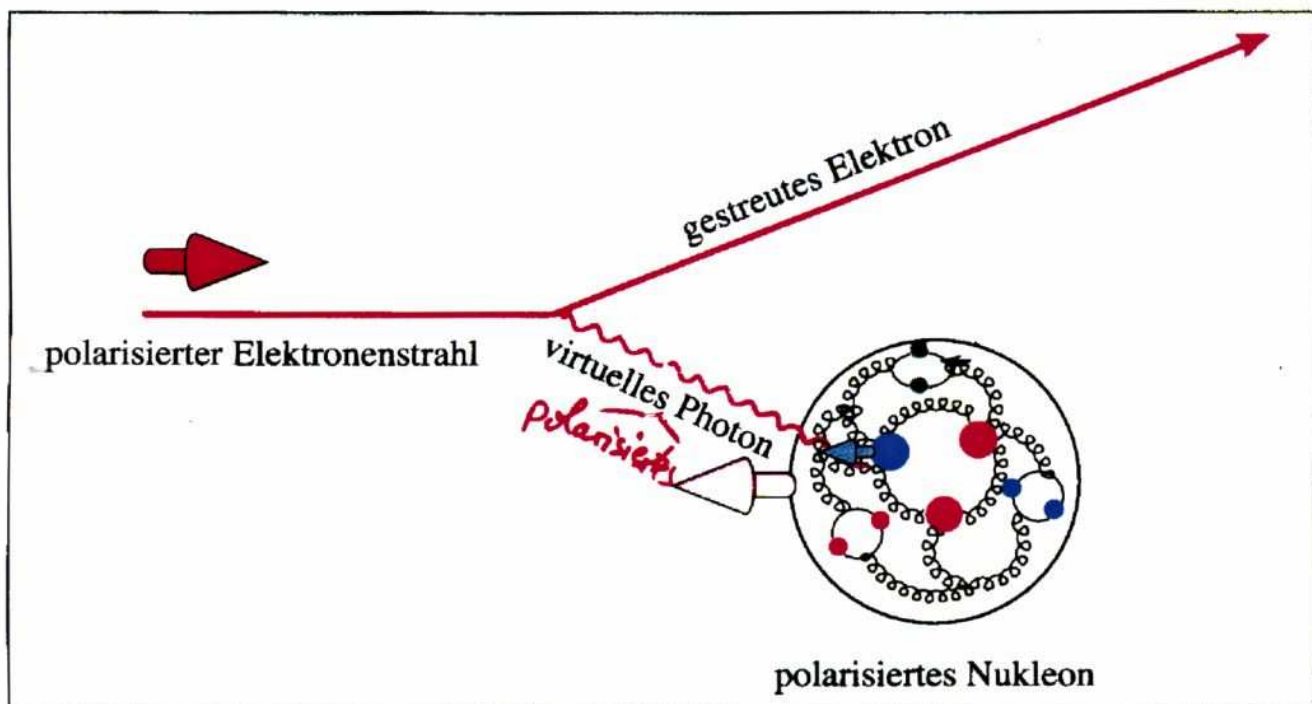


Die Valenzquarks schwimmen gewissermaßen in einem See aus kurzlebigen Quark-Antiquark-Paaren, zwischen denen starke Kräfte durch **Gluonen** vermittelt werden. Die **Valenzquarks**, die **Seequarks** und die **Gluonen** tragen jeweils ihren eigenen Spin. Zusätzlich können sie durch Bewegungen umeinander einen **Bahndrehimpuls** haben.

Aus all diesen Komponenten setzt sich der Spin eines Nukleons zusammen. Sie zu trennen und zu bestimmen ist das Ziel des HERMES Experimentes.

Tiefunelastische Streuung

Die Struktur der Nukleonen untersucht man in der sogenannten **tiefunelastischen Streuung**, die nicht am Nukleon als ganzen Objekt, sondern an einem seiner Quarks stattfindet. Die eigentliche Wechselwirkung geschieht durch ein **virtuelles Photon**, das zwischen Elektron und Quark ausgetauscht wird.

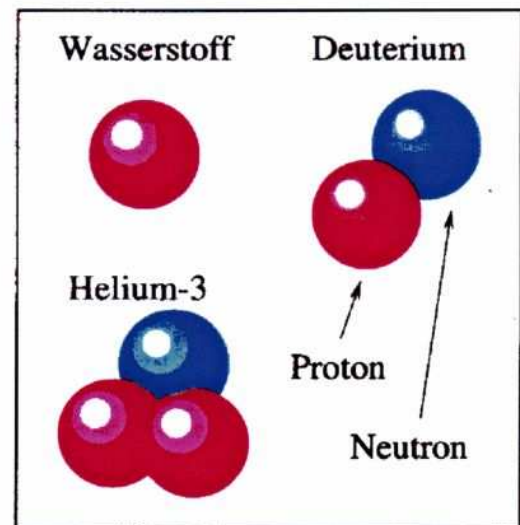


Das Elektron kann nur mit einem Quark wechselwirken, dessen Polarisation seiner eigenen entgegengerichtet ist. Durch das Aussenden des virtuellen Photons wird das Elektron von seiner Bahn abgelenkt und kann im **Spektrometer** nachgewiesen werden.

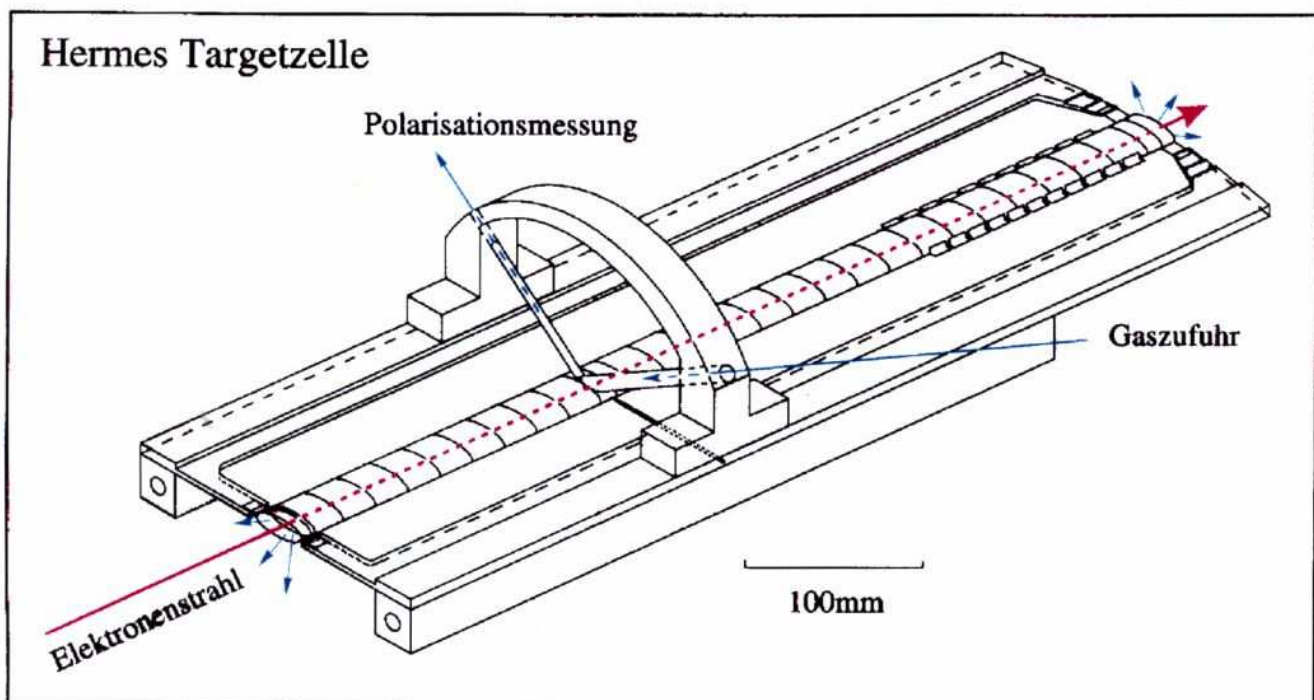
Dreht man die Targetpolarisation um, ändert sich die Wahrscheinlichkeit für die Streuung. So ergibt sich für die beiden Einstellungen der Targetpolarisation eine **spinabhängige Asymmetrie** der Meßwerte, die auf die Verteilung des Spins im Nukleon schließen läßt.

Das polarisierte Target

Um die Spinstruktur des Protons zu messen, verwendet HERMES ein Target aus polarisierten Wasserstoff, dessen Atomkern aus nur einem Proton besteht. Zur Bestimmung der Spinstruktur des Neutrons dienen Deuterium und Helium-3, die je ein Neutron und ein bzw. zwei Protonen enthalten.



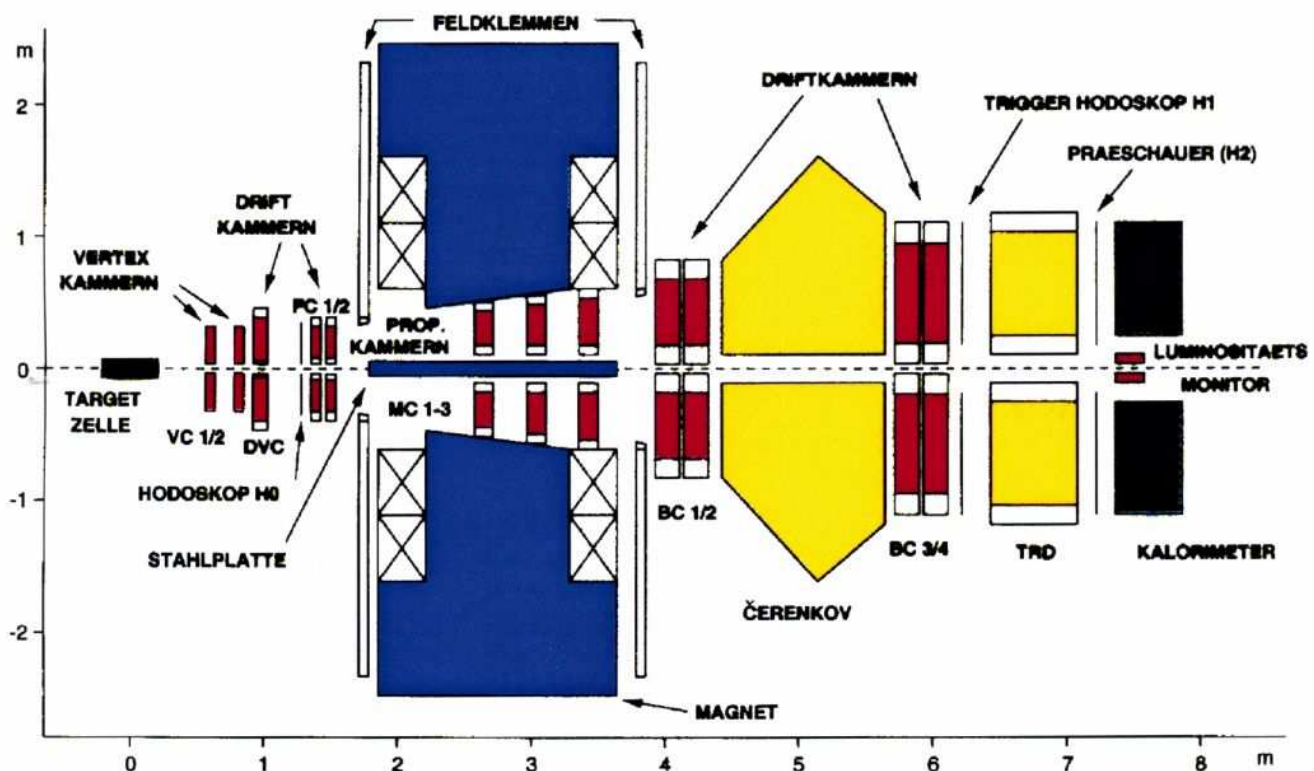
Die Gase werden in einer aufwendigen Apparatur polarisiert und mit sehr geringem Druck in die abgebildete fensterlose **Targetzelle** eingeleitet, die sich im **Vakuum** im Innern des HERA-Strahlrohres befindet und die vom Elektronenstrahl durchquert wird.



Nach einigen tausendstel Sekunden verlassen die Atome die Zelle durch die offenen Enden und werden abgepumpt. Im Betrieb muß darum für einen stetigen Gasfluß gesorgt werden.

Das HERMES Spektrometer

Mit dem Spektrometer wird für jedes gestreute Elektron sein Streuwinkel, seine Ladung, sein Impuls und seine Energie gemessen. Da bei der Streuung auch weitere Teilchen entstehen können, erlauben spezielle Detektoren die Unterscheidung zwischen Elektronen und Hadronen³.



Jeder der Detektoren erfüllt eine der genannten Teilaufgaben:

- **Spurkammern** zur Vermessung der Teilchenbahn
- **Magnetfeld** zur Ladungs- und Impulsbestimmung
- **Kalorimeter** für die Energiemessung
- **Detektoren** zur Teilchenidentifikation
- **Schnelle Triggerdetektoren**

³Hadronen sind alle Teilchen, die sich aus Quarks zusammensetzen.



Structure of Nucleon

■ Nucleon Spin : $\frac{1}{2} = \frac{1}{2} \Delta\Sigma + \Delta G + L_{q,g}$

quark
gluon
orbital angular momentum

A small fraction of nucleon spin is carried by quarks!!
 Where does the rest of the nucleon spin come from?

large $\Delta G = \int \Delta G(x) dx$?

naïve parton model : $\Delta\Sigma=1$
 CERN, SLAC, DESY, JLAB:
 $\Delta\Sigma \sim 0.30$

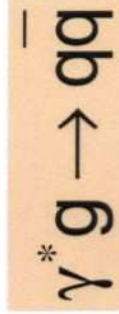
$\Delta G(x) = g_+^+(x) - g_+^-(x)$ $g(x)$: Probability to detect spin+ (spin-) gluon in spin+ proton as a function of Bjorken x.

*(= Impulsanteil des Quarks
 Gluons am Protonimpuls)*



PGF probes gluons

Direct measurement of ΔG is provided by
Photon Gluon Fusion (PGF) in polarized DIS



- Double spin asymmetry

$$A_{LL} = \frac{\sigma^{\leftarrow} - \sigma^{\rightarrow}}{\sigma^{\leftarrow} + \sigma^{\rightarrow}} = a_{LL}^{PGF} \frac{\Delta G}{G} \frac{\sigma^{PGF}}{\sigma^{tot}} + A_{LL}^{background}$$

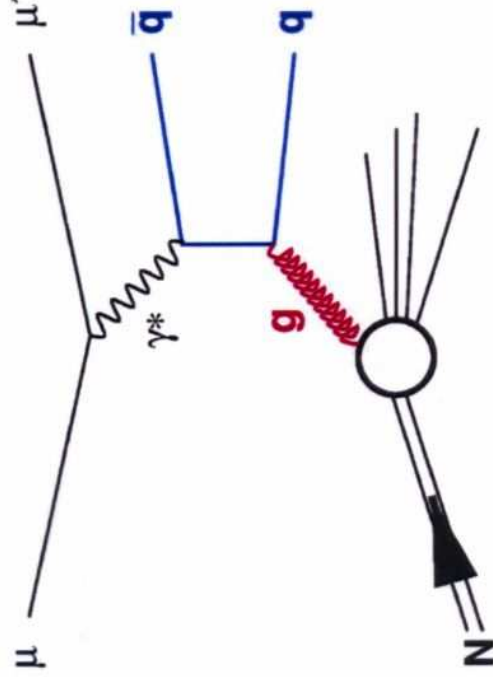
$G :=$ Gluondichte im Proton

- Experiment measure

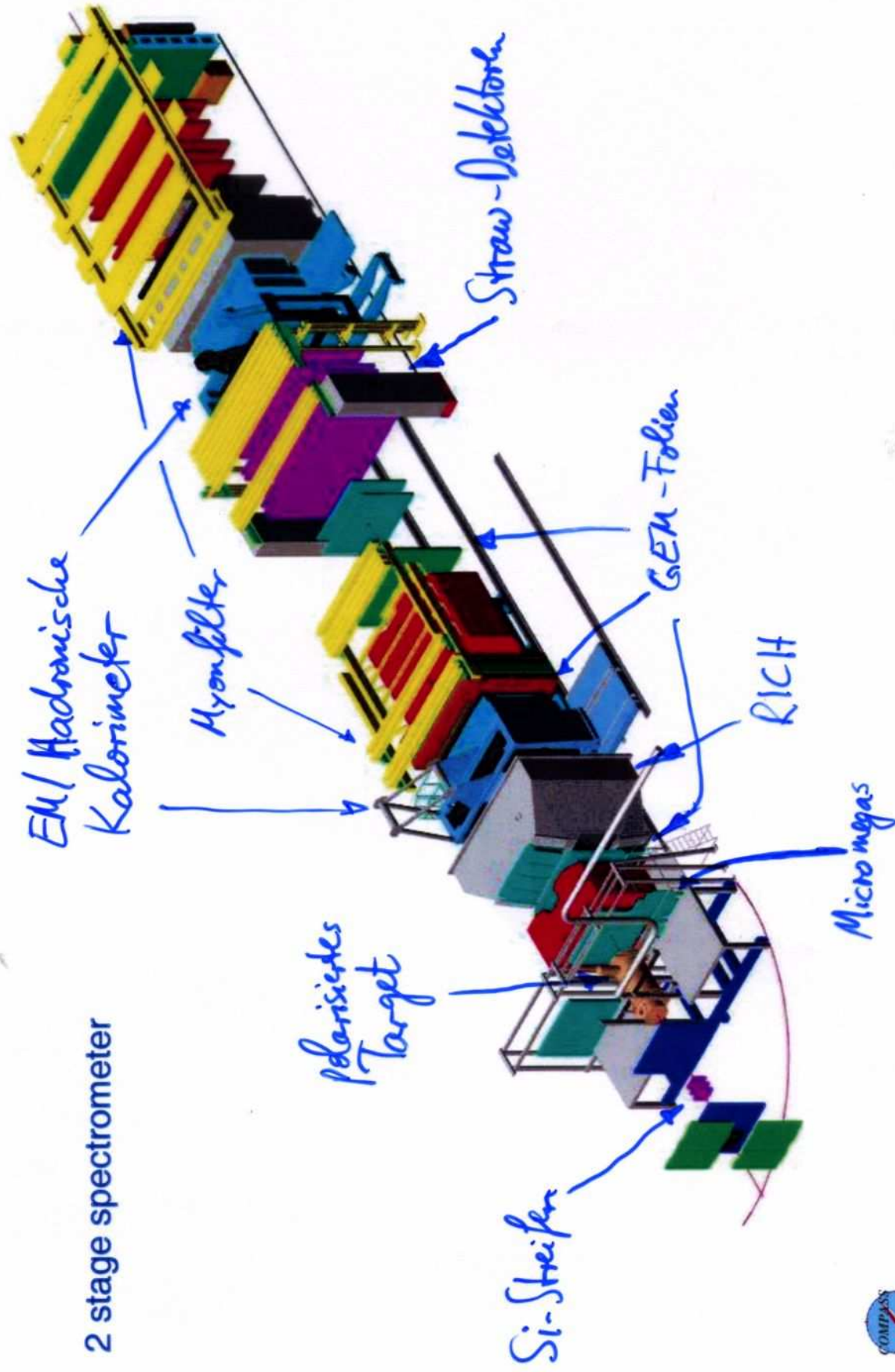
$$A_{exp} = \frac{N^{\leftarrow} - N^{\rightarrow}}{N^{\leftarrow} + N^{\rightarrow}} = P_b P_t f A_{LL}$$

P_b : beam polarization P_t : target polarization

f : dilution factor



The COMMON Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy





Polarized beam and target

160 GeV μ^+ beam ^(*)

- * $2 \cdot 10^8$ μ /spill (4.8 s / 16.2 s)
- * Pb ~ 76 % longitudinally naturally polarised
- * luminosity: $\sim 5 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

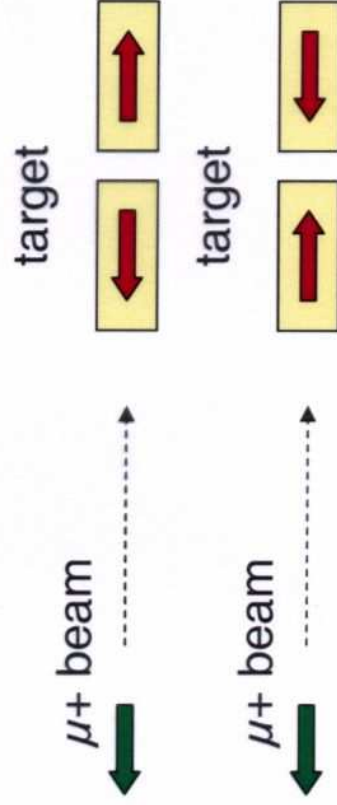
deuteron target (⁶LiD)

- * Pt ~ 50 % longitudinally polarised by DNP
- * cell size: $\phi 30\text{mm} \times 600\text{mm}$ long
- * 2 or 3 cells oppositely polarized at the same time
- * spin orientation can be reversed

$N^{\rightarrow}, N^{\leftarrow}$ simultaneous measurement

Spin orientation is reversed to cancel out the systematic error from detector acceptance difference between the cells

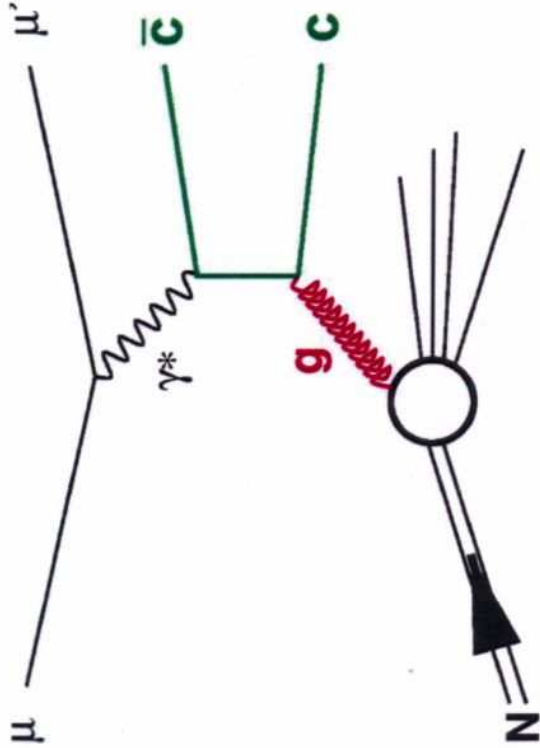
- by magnetic field rotation (3 times /day)
- by DNP microwave frequency change





Open Charm

PGF is the main reaction for charmed pair production in DIS. Most frequently, D mesons are produced in the independent fragmentation of c pair.



$$D^0 \rightarrow K + \pi$$

(BR 4%)

$$(\theta^0 = c\bar{u})$$

- Kaon identification with RICH up to 50 GeV/c
- Kinematical cut to suppress combinatorial background
 - $z(D^0) > 0.25$ $z = E_D/\nu$
 - $|\cos\theta_K^*| < 0.5$

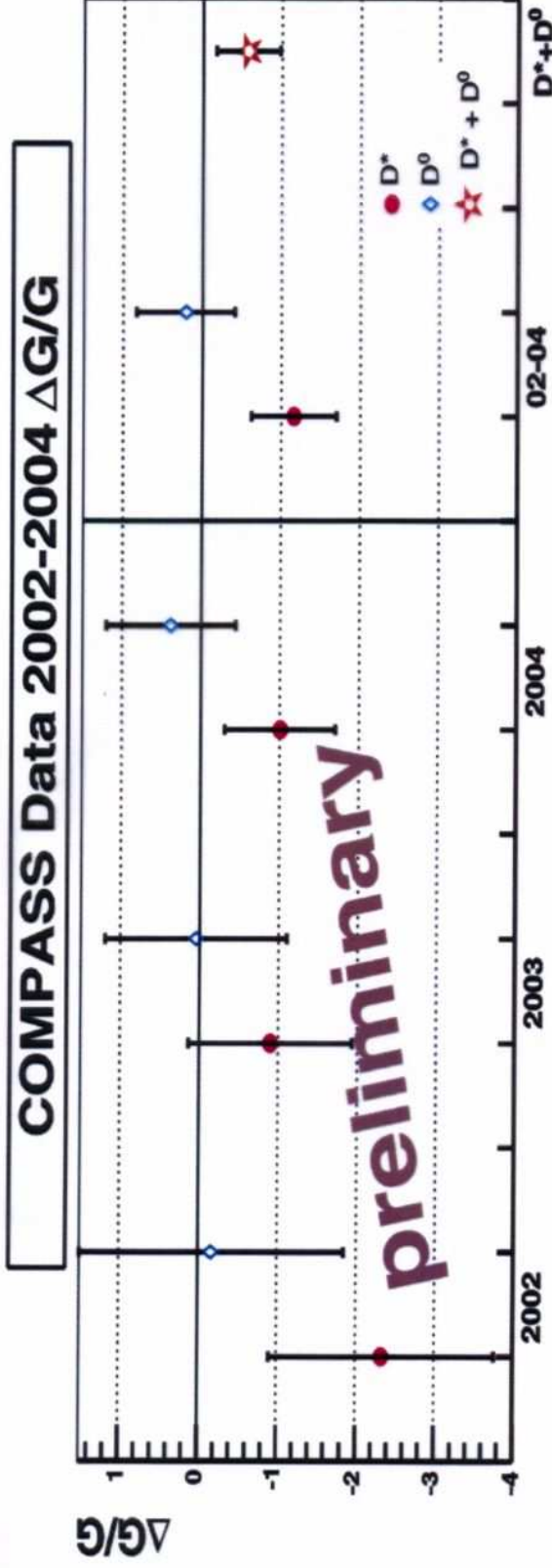
$$D^{*0} \rightarrow D^0 + \pi_{\text{soft}} \rightarrow K + \pi + \pi_{\text{soft}} \quad (\theta^{*0} = c\bar{d})$$

(BR 68%)

- ~30% D^0 comes from D^{*0} decays
- combinatorial background highly suppressed



$\Delta G/G$ result from open charm



D⁰ + D* result 2002 – 2004:

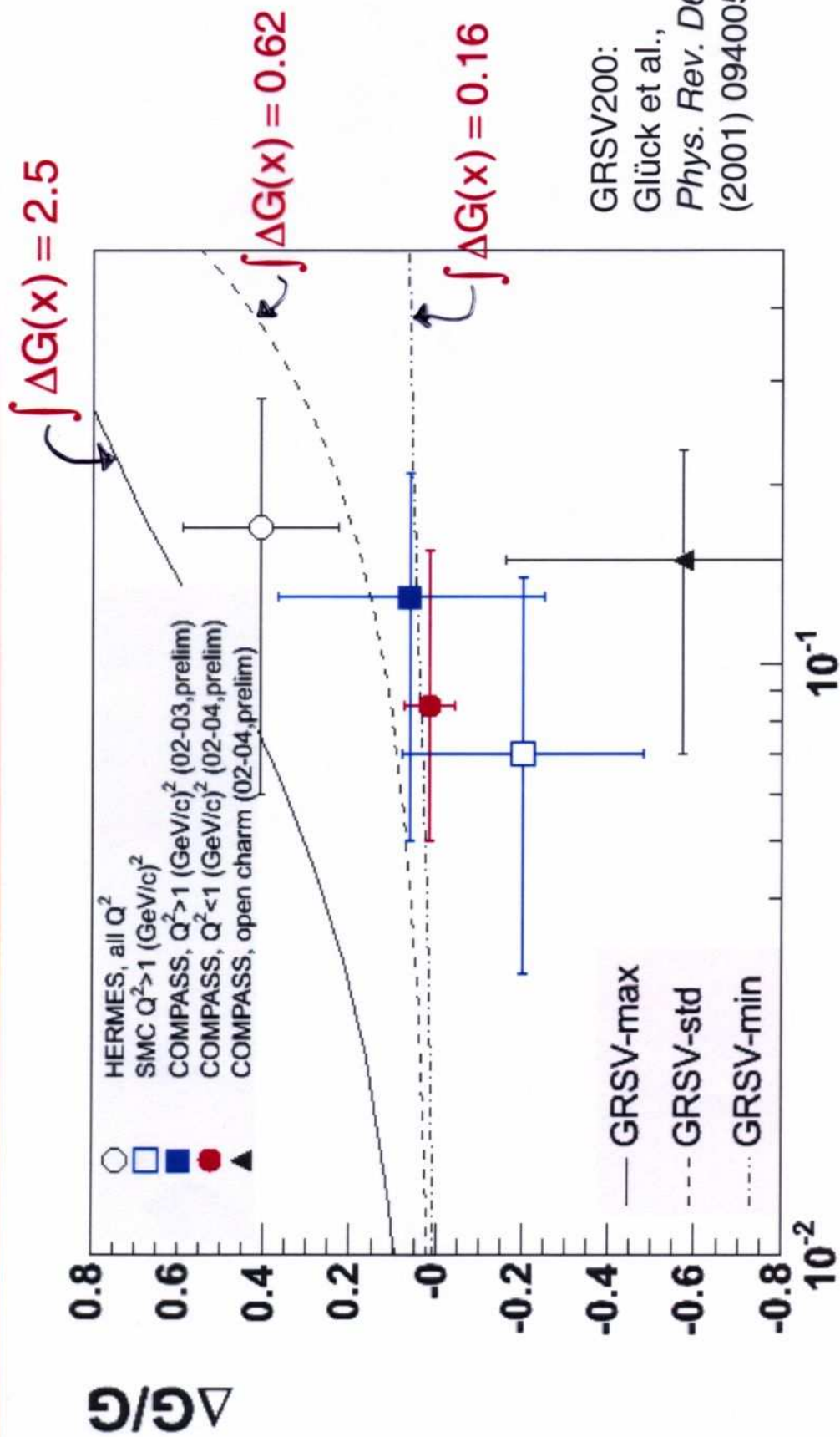
$$\Delta G/G = -0.57 \pm 0.41 \text{ (stat.)} \quad \text{(prelim.)}$$

$$@ < x_G > = 0.15 \text{ (RMS: 0.08)} \quad \mu^2 = 13 \text{ (GeV/c)}^2$$

systematic error under investigation: no clear systematic effect seen
NLO analysis, resolved photon contribution study planned.



$\Delta G/G$ Summary



GRSV200:
 Glück et al.,
*Phys. Rev. D*63
 (2001) 094005

x_G