

ZEUS-Stand und Perspektiven

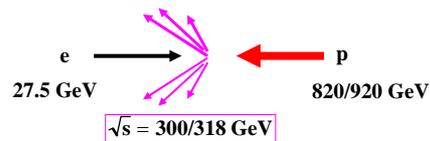
oder
Was Sie schon immer über
ZEUS wissen wollten...

Wolfram Zeuner/ZEUS

- HERA
- Der ZEUS Detektor
- Ein Blick ins Proton

HERA

Der einzige ep-Speicherring der Welt



Umfang: 6.3 Km
Protonstrom: ~100mA
Positronstrom: ~50mA

Bisher meistens mit
Positronen betrieben.

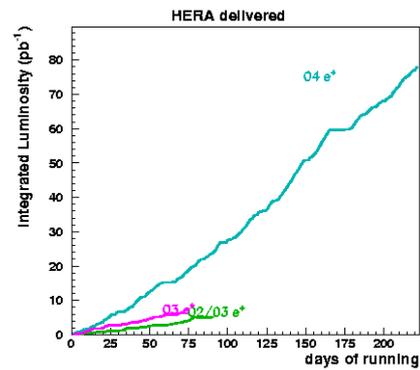
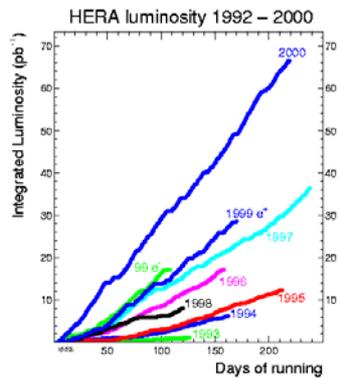
Zur Zeit Umstellung
auf Elektronbetrieb

HERA

HERA I: 1992-2000

Umbau zur Erhöhung der Luminosität 2000/2001

HERA II: 2001-2007 – Polarisierete Elektron/Positronstrahlen



2002/03 technische Probleme

ZEUS Detektor

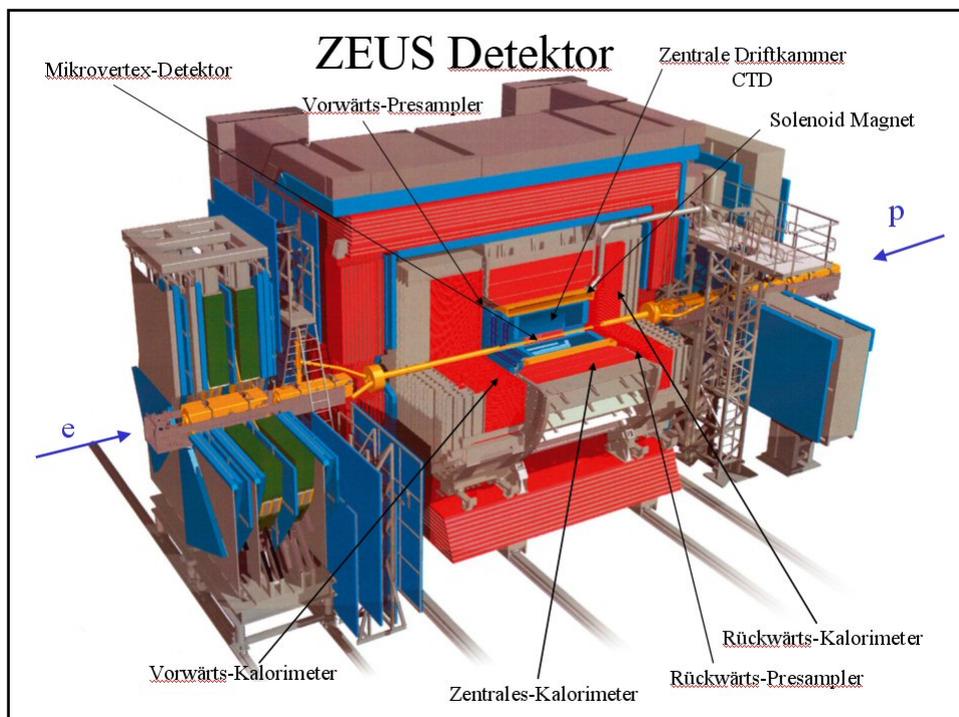
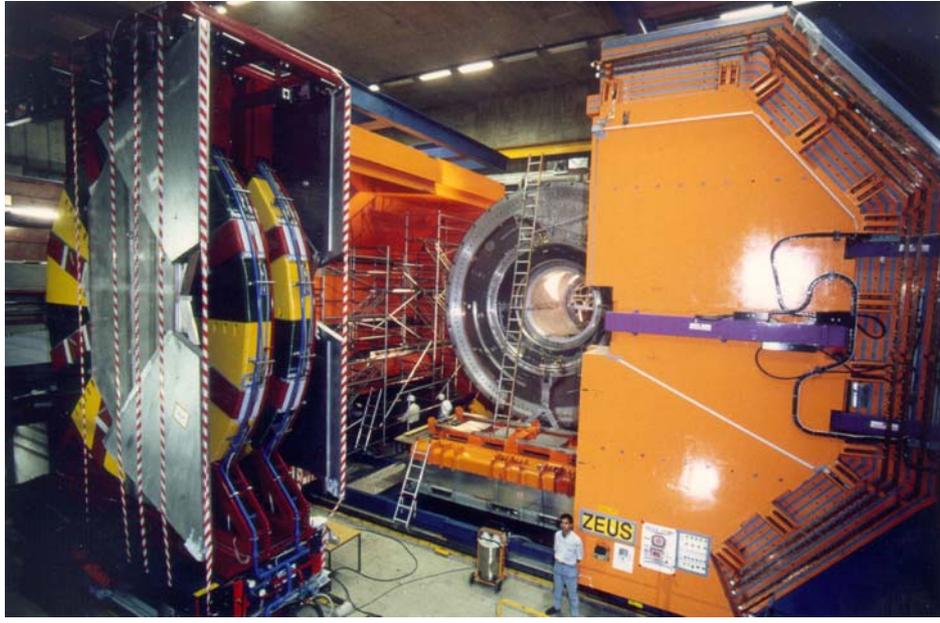


Größe: 19 x 10 x 10 m³
Gewicht: 3600 Tonnen

Detektor ist selbstabschirmend
Halle kann während des
Betriebs betreten werden.

Der innere Teil des Detektors
ist radioaktiver Kontrollbereich
Grund: Kalorimeter aus
abgereichertem Uran

ZEUS Detektor





ZEUS Kollaboration

Ca. 350 Mitglieder aus 55 Instituten aus 13 Ländern

Betrieb: Schichten mit 2 Personen

1 Schichtführer – Datennahme und Steuerung des Experiments
Kommunikation mit BKR und anderen Exp.

1 Deputy – Datenqualität und Sicherheit

Run Koordinatoren – Jährlich wechselndes Team von 4-5 PostDocs
Techn. Koordinator – wenn alles schief geht....

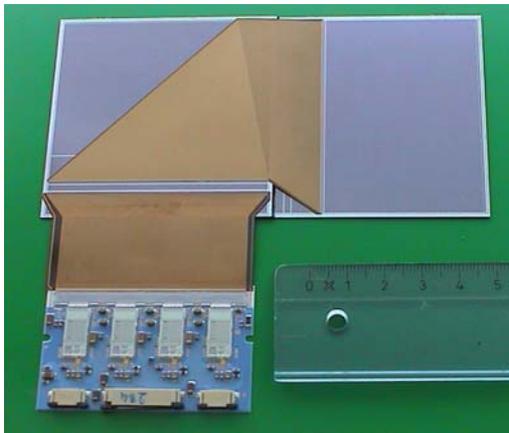
Verantwortlichkeiten:

Einzelne Institute oder Gruppen von Instituten sind für die verschiedenen Komponenten verantwortlich

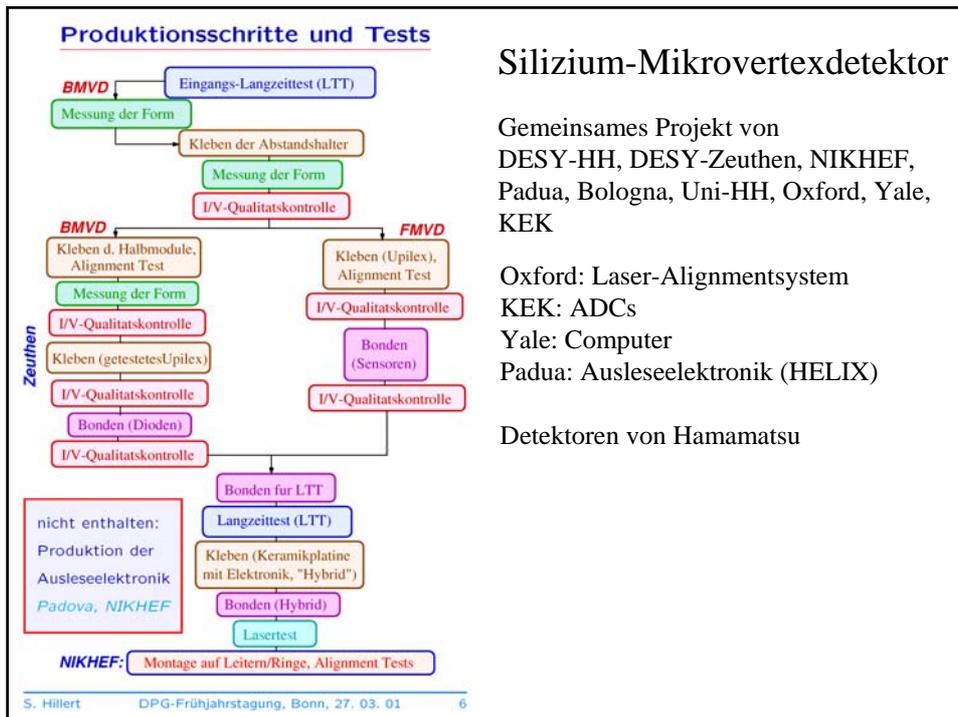
- Überwachung, Wartung, Eichung und Software zur Datenanalyse
- 24-Stunden On-Call Service
- Reparaturen, Umbauten und Verbesserungen

Silizium-Mikrovertexdetektor

- Silizium-Streifendetektor dicht am Strahl zum Messen geladener Teilchen
- Die innersten Detektoren sind nur etwa 4cm vom Strahl entfernt
- Der Detektor ist strahlungsempfindlich



- Siliziumdioden 300 μm dick
- Streifenraster von 20 μm
- Auslese alle 120 μm
- 2 Detektoren mit orthogonaler Streifenorientierung werden zusammengeklebt

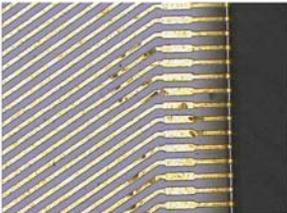


Silizium-Mikrovertexdetektor

Modulbau: Zeuthen kleben der Verbindungskabel

Dünne flexible Kapton- Folien (Upilex) mit Streifenmuster

am Cern produziert (workshop A. Gandi)	<table border="0"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">1.5 µm</td> <td style="background-color: yellow; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td>gold</td> </tr> <tr> <td>5 µm</td> <td style="background-color: red; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td>electroplated copper</td> </tr> <tr> <td>150 nm</td> <td style="background-color: blue; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td>nickel (adhesion layer)</td> </tr> <tr> <td>50 µm</td> <td style="background-color: brown; width: 20px; height: 10px; display: inline-block;"></td> <td>Upilex S</td> </tr> </table>	1.5 µm		gold	5 µm		electroplated copper	150 nm		nickel (adhesion layer)	50 µm		Upilex S	<ul style="list-style-type: none"> • Anfangs erhebliche Probleme mit der Qualität der Folien • Bondbarkeit anfangs unsicher • Plasmaätzung hat Bondbarkeit wesentlich verbessert
1.5 µm		gold												
5 µm		electroplated copper												
150 nm		nickel (adhesion layer)												
50 µm		Upilex S												

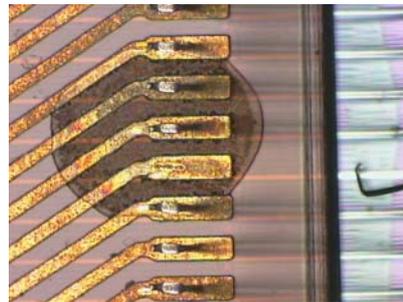
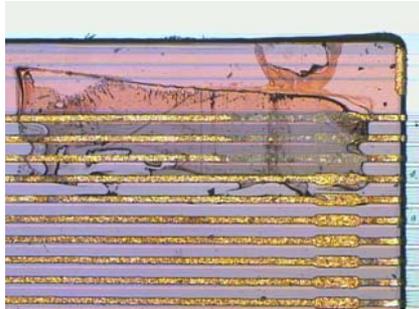



Silizium-Mikrovertexdetektor

Hohe Anforderung an die Klebung

- Sehr gleichmäßig – keine Blasen, keine unverklebten Abschnitte
 - Kein Kleber auf den Pads
 - Massenproduktion 300 Halbmodule mit je 3 Klebungen
-
- Spezielle Vorrichtungen in Zeuthen gebaut

Problemfälle... mit Tricks rettbare



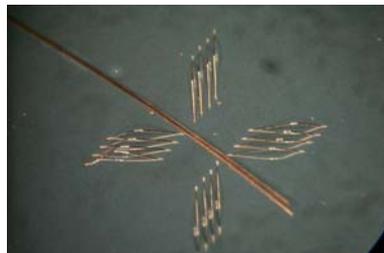
Silizium-Mikrovertexdetektor

Bonden – Schweißen mit Ultraschall

Draht: Aluminium 17 μm dick $\sim 1/3$ eines menschlichen Haares

Massenproduktion: ~ 720000 Verbindungen

- programmgesteuerte Maschine (Delvotec)
- fast zwei Jahre Arbeit (von ersten Versuchen bis zum letzten Modul)



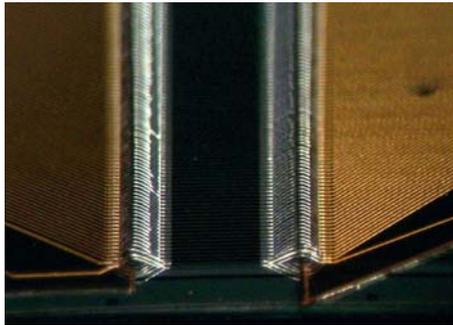
Silizium-Mikrovertexdetektor

Bonden – Schweißen mit Ultraschall

Draht: Aluminium 17 μm dick $\sim 1/3$ eines menschlichen Haares

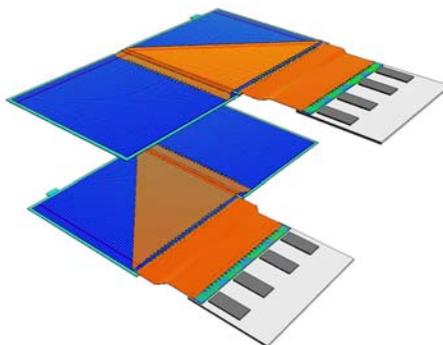
Massenproduktion: ~ 720000 Verbindungen

- programmgesteuerte Maschine (Delvotec)
- fast zwei Jahre Arbeit (von ersten Versuchen bis zum letzten Modul)

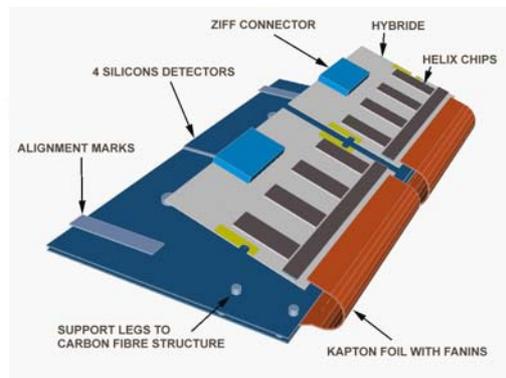


Silizium-Mikrovertexdetektor

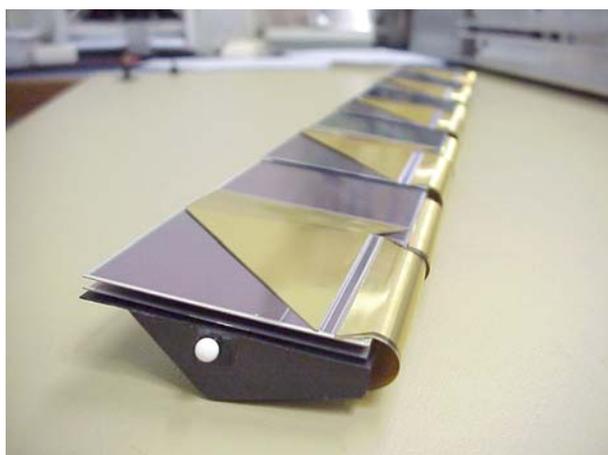
Aufbau - vereinfacht



Silizium-Mikrovertexdetektor Aufbau - vereinfacht



Silizium-Mikrovertexdetektor Aufbau - vereinfacht



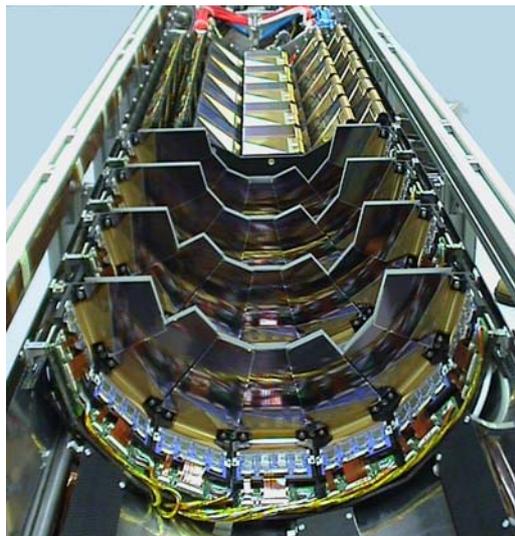
Silizium-Mikrovertexdetektor

Aufbau - vereinfacht



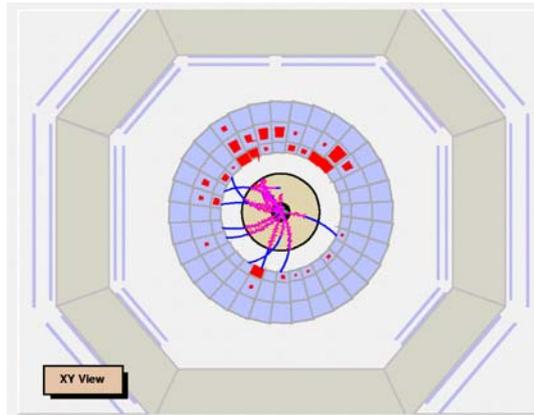
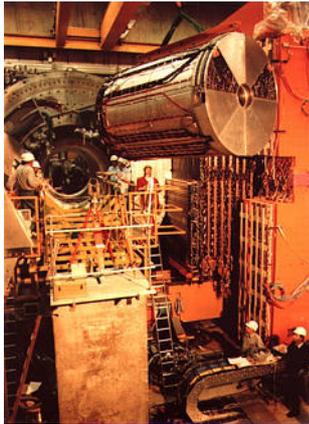
Silizium-Mikrovertexdetektor

Aufbau - vereinfacht



Zentrale Driftkammer - CTD

Prinzip: Viele Drähte in einem Gasvolumen
Mit Hochspannung wird ein elektrisches Feld erzeugt
Geladene Teilchen ionisieren das Gas
Elektronen driften im Feld zu den Drähten → Signal
Spuren geladener Teilchen werden verfolgt



Das Uran-Kalorimeter im ZEUS Experiment

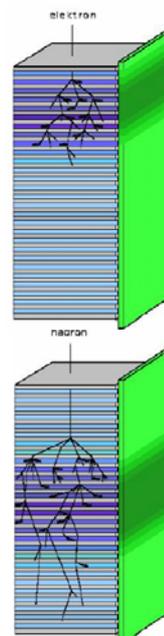
Kalorimeter = Energiemessgerät

ZEUS Kalorimeter
"Sandwich" aus angereichertem Uran und Szintillatoren

Funktionsprinzip

Teilchen werden in einem Absorber abgebremst
Wechselwirkung im Absorber
– es entstehen neue Teilchen mit weniger Energie
Licht im Szintillator
Wechselwirkung in der nächsten Absorberplatte
– es entstehen noch mehr Teilchen
... bis die Teilchen im Absorber stecken bleiben

Die Intensität des **insgesamt erzeugten Lichts** ist
proportional zur Energie des einfallenden Teilchens



Das Uran-Kalorimeter im ZEUS Experiment

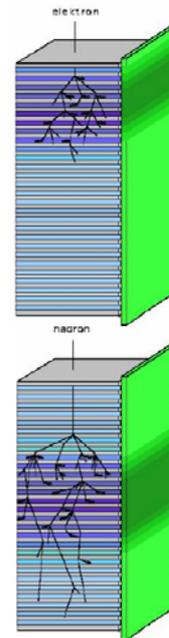
Das ZEUS Kalorimeter ist "kompensierend"
Elektronen und Hadronen der gleichen Energie
erzeugen das gleiche Signal

Elektromagnetische Schauer werden durch
Bremsstrahlung und Paarerzeugung gebildet

Hadronische Schauer werden durch Kernreaktionen ausgelöst.
 π^0 's aus den Kernreaktionen zerfallen in Photonen und
produzieren Licht durch elektromagnetische Schauer.

Neutronen aus der Kernreaktion können neue Kernreaktionen
auslösen, die zusätzliche π^0 's erzeugen.

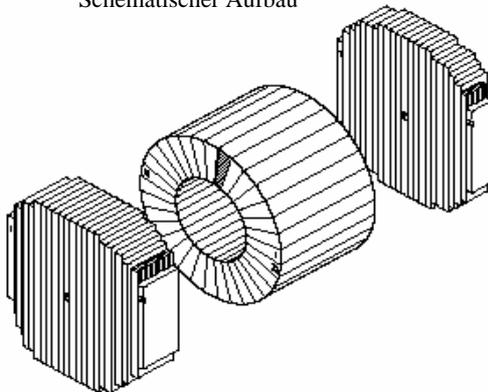
Durch richtige Wahl der Absorberdicke kann die Zahl der
Neutronenwechselwirkungen gesteuert werden.
Dadurch kann die Lichtausbeute von hadronischen Schauern
der Lichtausbeute von elektromagnetischen Schauern angepasst
werden.



ZEUS Kalorimeter

Zentrales Modul

Schematischer Aufbau



Abgereichertes Uran bei ZEUS

- 528 Tonnen abgereichertes Uran – legiert mit 1.7% Niob
- Form: Platten 3.3 mm dick, 20 - 43 cm breit und 2.2 - 4.6 m lang
- Alle Platten sind einzeln in Stahlfolie eingeschweißt

Was ist abgereichertes Uran ?

Uran bei dem der Anteil des Isotops ^{235}U künstlich verringert worden ist, typischerweise als Abfallprodukt der Uran-Anreicherung

Abgereichertes Uran

^{238}U - 99.7 %

^{235}U - < 0.3 %

Natururan

^{238}U - 99.3 %

^{235}U - 0.7 %

Abgereichertes Uran ist in jeder Menge und Anordnung unterkritisch, das heißt selbstunterhaltende Spaltreaktionen können in ihm nicht stattfinden

Problem bei der Energiemessung

Vor dem Kalorimeter befindet sich Material

Die Schauerentwicklung kann schon vor dem Kalorimeter starten

→Energieverlust vor dem Messinstrument

Mit einem Pre-Sampler kann man die “verlorene Energie” messen und die Kalorimetermessung korrigieren

Prinzip: Versuche die Anzahl der Teilchen zu messen, die das Kalorimeter trifft

Szintillatorsignal ~ Zahl der durchgehenden Teilchen

Baue eine Wand aus Szintillatorplatten vor das Kalorimeter

Presampler für Forwärts- und Rückwärtskalorimeter 1995 eingebaut

Zusammenarbeit von DESY-HH, DESY-Zeuthen, Univ. Bonn,

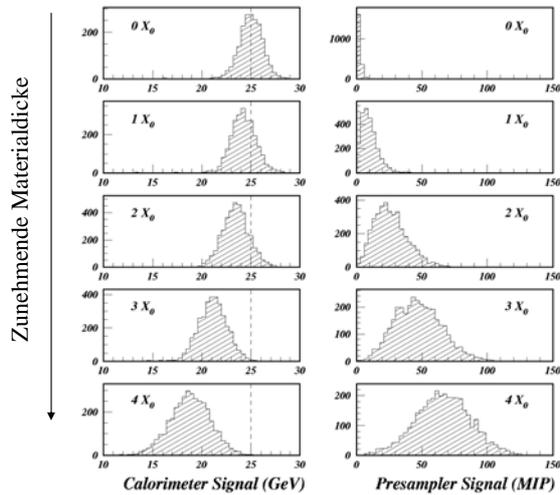
Univ. Freiburg, Univ. Iowa, Univ. HH, Univ. Madrid und NIKHEF

Presampler



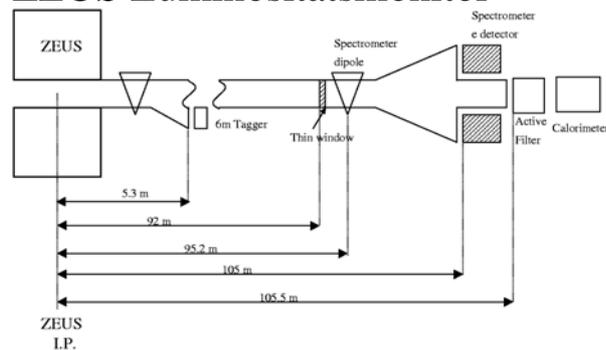
Presampler

Testexperiment: 25 GeV Elektronen



Mehr Material
 → Kleineres Kalorimetersignal
 → Größeres Presamplersignal
 → Korrektur berechenbar

ZEUS Luminositätsmonitor



Grundlage: Messe Rate der Photonen aus der Reaktion $ep \rightarrow e\gamma$

2 Systeme: Klassisches Photon Kalorimeter – Standardmessung
 Spektrometer – Nachweis von e^+e^- -Paaren aus konvertierten Photonen

Luminosität ist der Leistungsparameter des Beschleunigers
 Einheit: $1/(\text{Fläche} \cdot \text{Zeit})$ – HERA II Rekord : $4 \cdot 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

ZEUS Luminositätsmonitor

Photon Kalorimeter – wird an den Strahl gefahren sobald die Positronen bei 27.5 GeV sind

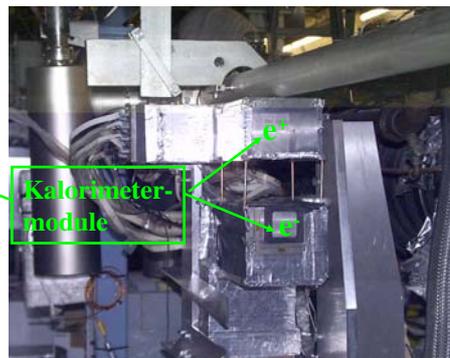


ZEUS Luminositätsmonitor

Spektrometer – Misst immer...



Dipol-Magnet
HERA e-Magnet (BYZ)
Wird vom BKR betrieben

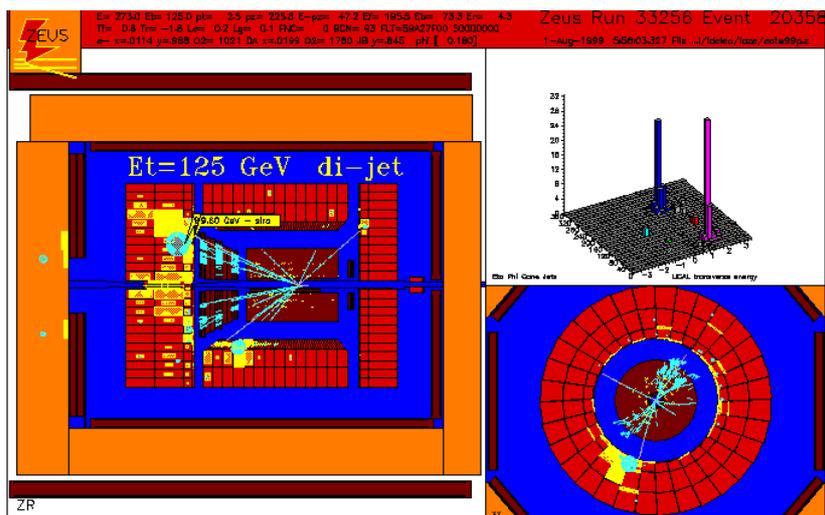


Spektrometer –
Zwei Kalorimetermodule

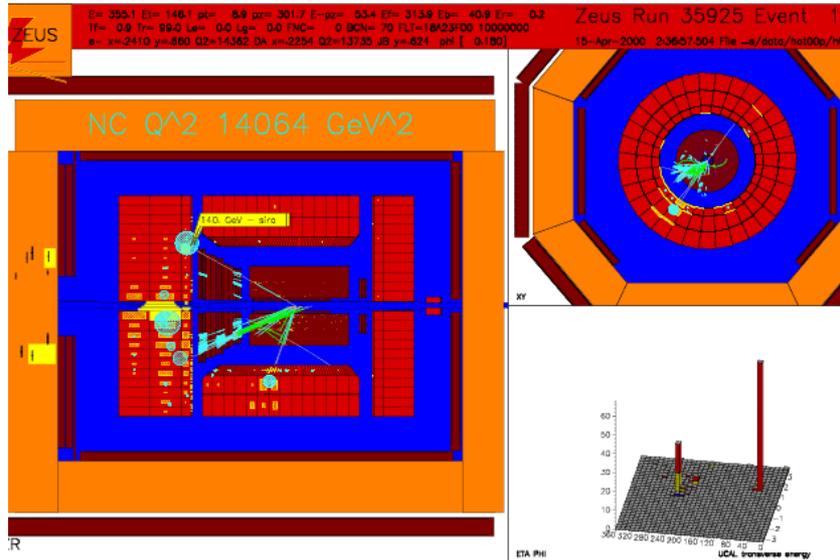
Weitere Beiträge von DESY-Zeuthen zu ZEUS

- Datennahmesystem
Transputerauslese mit optischen Fasern
Module in Zeuthen entwickelt
- wartungsfrei und robust daher immer noch im Einsatz
Histogramme, Kontrolldaten...
Datenauslese mittlerweile via PC und Ethernet
- Erster Eventdisplay (1992-2001)
Erste C++ Programme bei ZEUS
Sehr nützlich zum Verständnis der Ereignisse.
Hilfreich während der Datennahme – Ausfälle sind sofort sichtbar

Weitere Beiträge von DESY-Zeuthen zu ZEUS



Weitere Beiträge von DESY-Zeuthen zu ZEUS



Weitere Beiträge von DESY-Zeuthen zu ZEUS



Physics Chairman 2000 und 2001
Verantwortlich für wissenschaftliche Analysen,
Ergebnisse und Veröffentlichungen

- Von der Analyse zur Veröffentlichung komplizierte Prozedur
- Alle ZEUS Mitglieder haben Mitspracherecht
- Ergebnisse müssen durch 2 unabhängige Analysen bestätigt werden
- Editorial board bereitet Veröffentlichung vor
- ZEUS-öffentliche Lesung jedes Papiers

Strahlungsuntergrund

Das große Problem der Jahre 2001/2002

Positronen

Synchrotronstrahlung

Direkt: Bei korrektem Orbit vernachlässigbar

Reflektiert: z.B. von Absorber 4 – jetzt sehr wenig
bei ZEUS sehr groß 2001/2002

Strahl-Restgas-Wechselwirkungen

Hängt in erster Näherung nur vom Vakuum ab

Strahl-Material-Wechselwirkung

Strahl "kratzt" irgendwo an

Protonen

Strahl-Restgas-Wechselwirkungen

Hängt in erster Näherung nur vom Vakuum ab

Riesenproblem in 2001/2002 für ZEUS und H1

Strahl-Halo, schlechte Tunes, Probleme mit Netzgeräten...

Strahlungsuntergrund

Verbesserungen in 2003



- Neuer, verbesserter Absorber für reflektierte Synchrotronstrahlung
Sitz: 80cm hinter dem Wechselwirkungspunkt

Langes Schild entlang des Strahles mit integriertem Kollimator
Abschirmung maximal mit minimalem Material
→Kein Target für Teilchen aus Proton-Gas Reaktionen.

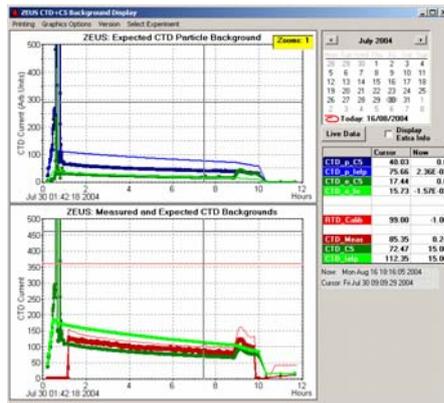
- Verbesserungen am Vakuumsystem von HERA (Pumpen, Kühlung etc.)

- Seit Herbst 2003 sind die Untergrundprobleme kontinuierlich geringer geworden
- Vakuum braucht sehr lange um wirklich gut zu werden.

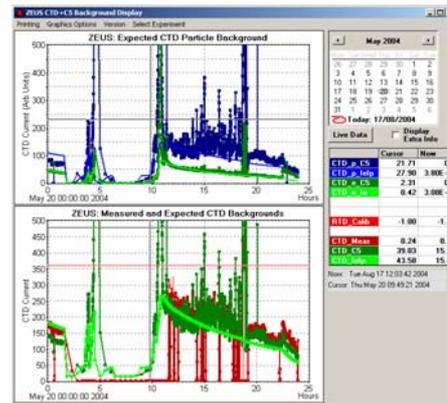
Strahlungsuntergrund

Not macht erfinderisch...
 Online-Vorhersagen, des Driftkammerstromes durch Protonen und Positronen
 mit Hilfe von Szintillatoren
 Erlaubt klare Diagnose von Untergrundproblemen

Perfekter Run



Protonen außer Kontrolle



Strahlungsuntergrund

Sicherheit:
Hoher Strahlungsuntergrund kann Detektoren zerstören

Drahtkammern :

Zu hoher Strom zerstört die Drähte
 Maßnahme: HV schaltet ab – “Kammer tripped”

Siliziumdetektor:

Kann auch abgeschaltet zerstört werden
 Maßnahme: Strahlungsüberwachung – Warnungen – Strahldump
 Si-Dioden → Dump
 Radfets – messen integrierte Strahlung
 TLDs werden in Shutdowns ausgewechselt

Strahlungsuntergrund

Hoher Strahlungsuntergrund beeinträchtigt die Datenqualität

Kollisionsrate ~ 10 MHz

Max. Aufzeichnungsrate ~ 20 Hz

Trigger muss die "guten" Ereignisse herausfiltern

Bei hohem Untergrund

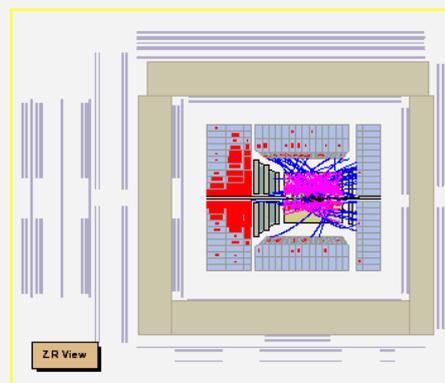
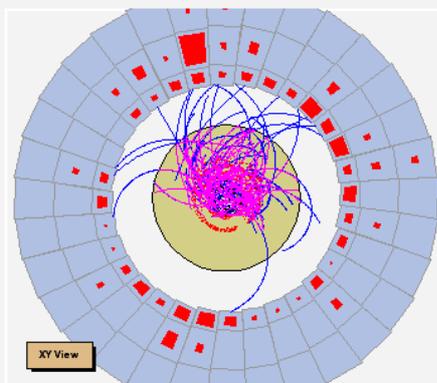
- gelangen viele Untergrundereignisse in die Daten
- gute Ereignisse gehen verloren, da die klare Signatur im Untergrund verschwimmt

Rekonstruktion der Ereignisse wird problematisch wenn die Detektoren voll mit Untergrundsignalen sind.

Strahlungsuntergrund

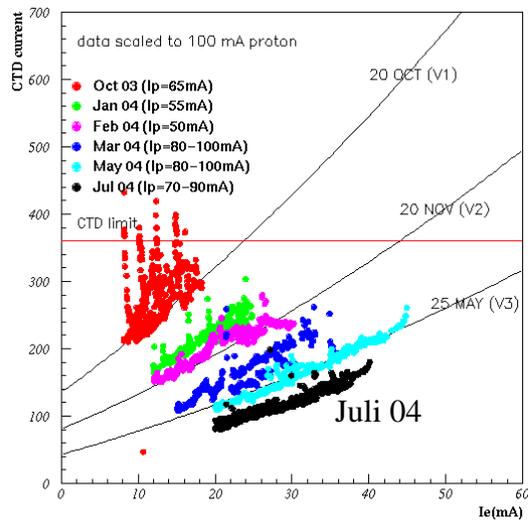
Strahl-Restgas-Wechselwirkung

Zeus Run 45494 Event 2608				date: 16-10-2003 time: 21:55:31	
E=403.06 GeV	E ₊ =119.34 GeV	E-p ₊ = 51.31 GeV	E ₋ =368.93 GeV	E ₊ = 31.62 GeV	E ₋ = 31.62 GeV
E ₊ = 1.52 GeV	p ₊ = 8.49 GeV	p ₊ = 8.49 GeV	p ₋ = 0.00 GeV	p ₊ =351.75 GeV	p ₋ =351.75 GeV
phi= 0.00	t ₊ = -1.21 ns	t ₊ = 4.54 ns	t ₋ = 15.32 ns	t ₊ = -1.08 ns	t ₋ = -1.08 ns



Entwicklung des Untergrundes bei ZEUS

Entspricht der Verbesserung des Vakuums



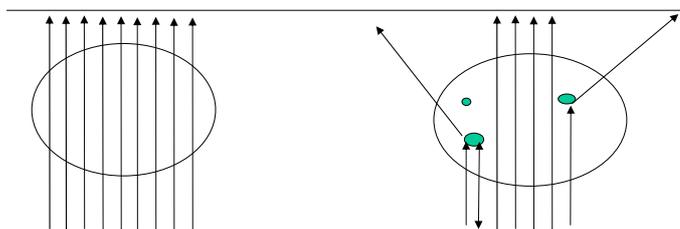
Vakuum wird immer besser
(wenn man kein Leck hat)
Sättigungseffekte bisher nicht
sichtbar

Untergrund durch schlechtes
Vakuum spielt keine Rolle mehr

Streuexperimente zur Strukturuntersuchung

Klassisches Beispiel - nicht ganz realistisch

Schieße auf Sandsack zum Auffinden von Steinen



Keine Steine alle Projektile
durchqueren den Sack ungestört

Streuung an den Steinen ändert
Winkelverteilung der Projektile

Winkel und Energieverteilung der Projektile gibt Aufschluss
über die Struktur des Targets

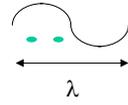
1911-13 Rutherfordsche Streuexperimente
Streuung von α -Teilchen an Goldfolie

→ Atome haben kleinen festen Kern und große leere Hülle

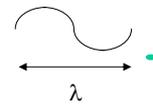
HERA ist ein Super-Mikroskop für Protonen

Analogie zur Optik - Auflösung

- Abstand muss größer sein als Wellenlänge λ



Nicht auflösbar



Auflösbar

Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Energie

$$\lambda \sim 1/\nu \sim 1/E_\gamma$$

- Auflösung feiner Strukturen
 - ↔ Kleine Wellenlänge λ
 - ↔ Hohe Frequenz ν
 - ↔ Hohe Energie

Sichtbares Licht: Auflösung $\sim 0.5 \cdot 10^{-6}$ m - Klassische Physik

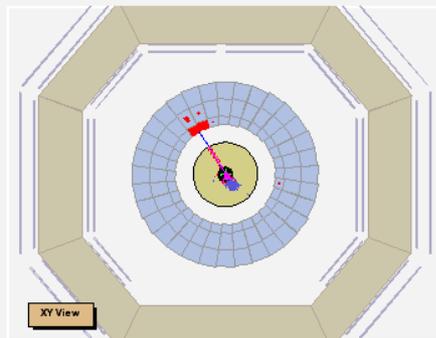
Quantenphysik: Teilchen \sim Wellen – beschreiben Aufenthaltswahrscheinlichkeit

Es gelten dieselben Zusammenhänge

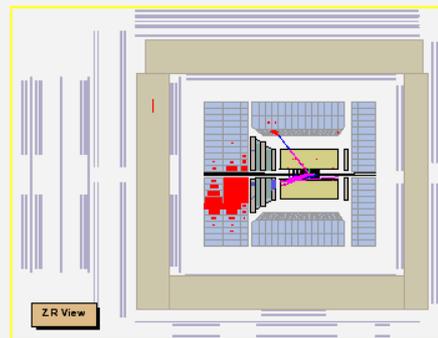
HERA: Auflösung $\sim 10^{-16}$ cm

Ein Blick ins Proton

Zeus Run 46241 Event 10977				date: 29-11-2003 time: 01:43:22	
$E=482.52$ GeV	$E_t=173.49$ GeV	$E_{-p_t}=50.94$ GeV	$E_t=365.16$ GeV	$E_{-p_t}=117.36$ GeV	
$E_z=0.00$ GeV	$p_t=8.86$ GeV	$p_z=-8.82$ GeV	$p_t=0.81$ GeV	$p_z=431.59$ GeV	
$\phi=3.05$	$t_t=-2.28$ ns	$t_b=-2.40$ ns	$t_t=-100.00$ ns	$t_b=-2.30$ ns	
$E_e=117.08$ GeV	$\alpha_e=0.85$	$\psi=2.13$	$x_{e,DA}=0.48$	$y_{e,DA}=0.23$	
$Q_{e,DA}^2=11363.48$ GeV ²					



XY View



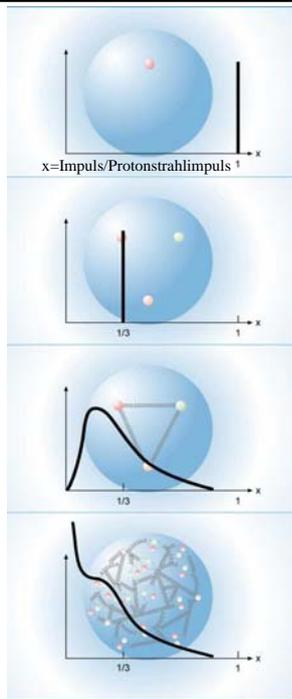
Z-R View

Wir schießen ins Proton, das Positron und ein Jet von Teilchen kommen raus

Woraus besteht das Proton – drei Quarks ????

Wir messen die Häufigkeit dieser Ereignisse als Funktion des Impulses vom Jet

Ein Blick ins Proton



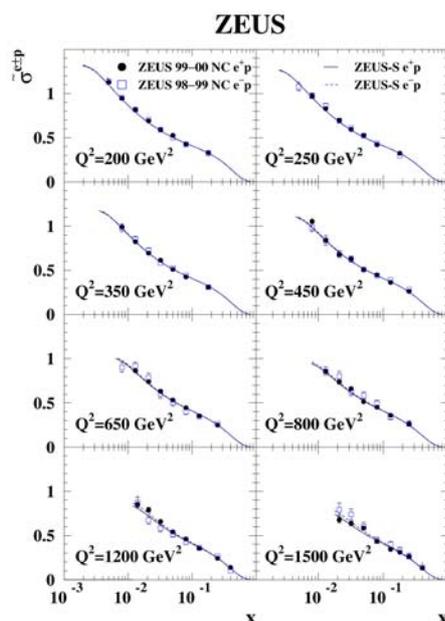
Das Proton besteht aus einem Parton oder Quark

Das Proton besteht aus drei Quarks

Das Proton besteht aus drei Quarks, die irgendwie zusammenkleben
Die starke WW sagt Gluonen vorher über die die Quarks wechselwirken

Das Proton besteht aus sehr vielen Quarks und Gluonen

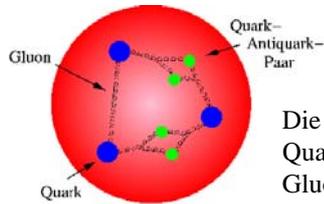
Ein Blick ins Proton



Das Proton besteht aus sehr vielen Teilchen, meistens mit kleinem Impuls.

Kleine Schulter bei 1/3 – irgendwas scheint an den 3 Quarks dran zu sein

Ein Blick ins Proton

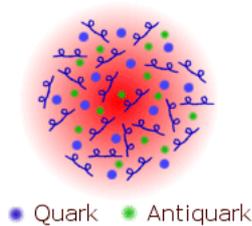


Die Starke Wechselwirkung beschreibt Dynamik im Proton
Quarks können Gluonen abstrahlen
Gluonen können Quark-Antiquark bilden

Das Proton ist eine "Suppe" von Quarks und Gluonen, die entstehen und verschwinden

Die **3 Valenzquarks** sind wie "Knochen in der Suppe"
Sie produzieren die Schulter in der Messung

Die Untersuchung der Dynamik im Proton ermöglicht eine detaillierte Untersuchung der starken Ww.
→ Eine der Hauptaufgaben von HERA !!



Die Stärke der starken Kraft

Nobelpreis 2004



Gross



Politzer



Wilczek

Für die Entdeckung der asymptotischen Freiheit der starken Wechselwirkung

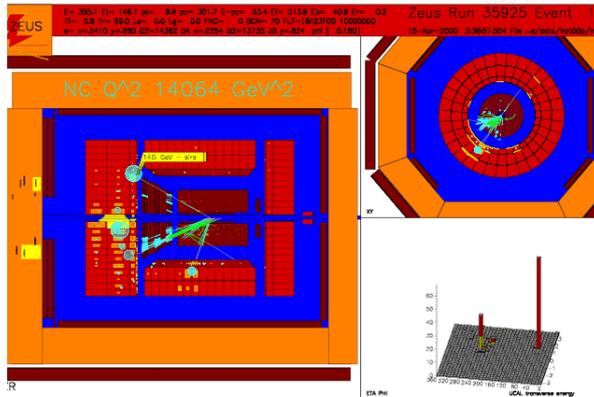
Das bedeutet: bei hohen Energien (= kleinen Abständen) wird die starke Ww. schwach und Quarks sind praktisch frei

Das erklärt: warum Quarks nie einzeln nachweisbar sind

Die Stärke der starken Kraft

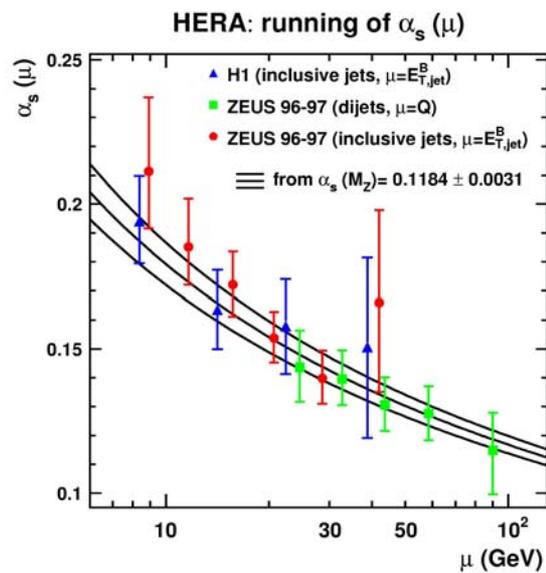
Im Gegensatz zu allen anderen Wechselwirkungen nimmt die starke Wechselwirkung mit der Energie ($\sim 1/\text{Abstand}$) ab

Bei HERA direkt messbar mit Ereignissen mit Gluonen

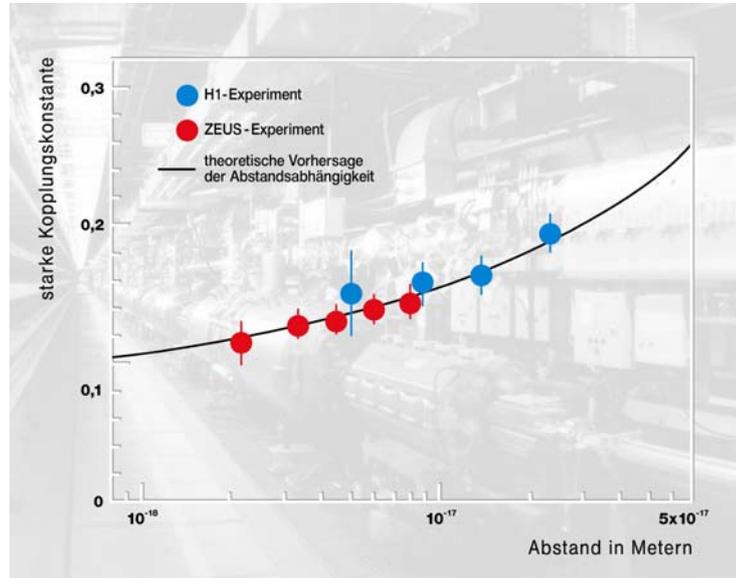


Zwei-Jet Ereignis
Gluonabstrahlung

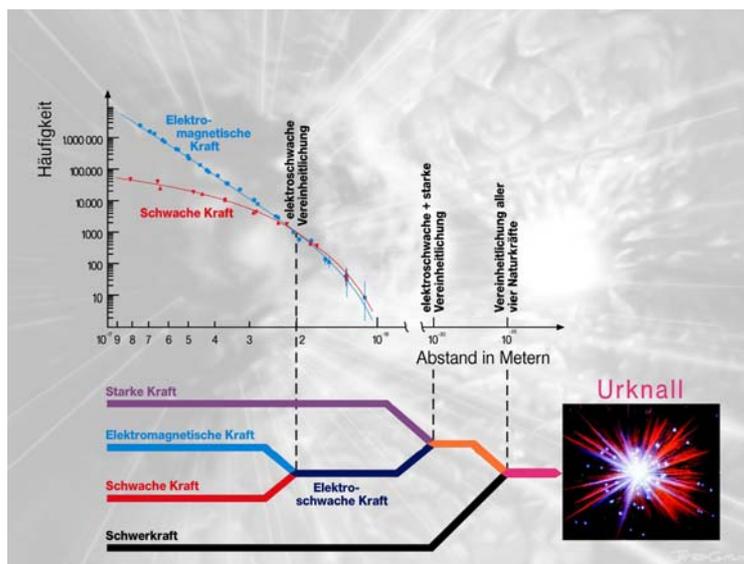
Die Stärke der starken Kraft



Die Stärke der starken Kraft



Vereinheitlichung der Kräfte



Statt einer Zusammenfassung

- ZEUS ist ein technisch interessantes und anspruchsvolles Gerät
- Erlaubt den Zugang zu absolut fundamentalen Fragen an die Natur
- Diese Kombination und die Zusammenarbeit in internationalen Teams machen experimentelle Hochenergiephysik zu einem äußerst faszinierenden Gebiet der Wissenschaft
- HERA und ZEUS werden bis zum Sommer 2007 betrieben
- Es sind interessante Resultate zu erwarten...

Bleiben Sie dran...