

Übersicht

Vorlesung

Mittwoch, 2. DS, REC/B214

Freitag, 2. DS, (1. Woche und ungerade Woche), REC/B214

Übung (6-7 Übungsblätter)

Freitag, 2. DS, (gerade Woche), REC/B214, erste Übung 21.4.

Lesende

Prof. M. Kobel, Prof. D. Stöckinger

Homepage:

<https://bildungsportal.sachsen.de/opal/auth/RepositoryEntry/13541310466/>

Mit allen Informationen (Übungen, Folien, Literatur)

Prüfungsleistung Bachelor (unbenotet):

- 50% der Übungsaufgaben

Prüfungsleistung Master:

- Fester Teil der mündlichen Vertiefungsprüfung „Teilchen- und Kernphysik“

MARCH FOR SCIENCE

DRESDEN



22. April 2017 | 13:30 Uhr

Start am Theaterplatz

marchforscience.de/auch-in-deiner-stadt/dresden

@ScienceMarchDD



@ScienceMarchDD

Aufruf zum March for Science in Dresden

Die demokratische Meinungsbildung unserer Gesellschaft und die politische Entscheidungsfindung sollten auf nachgewiesenen Fakten beruhen. Um Informationen einzuordnen und Fakten zu belegen, sind wissenschaftliche Methoden unerlässlich. Dafür steht der „March for Science“, eine überparteiliche Demonstration, die am 22. April 2017 in Dresden ebenso wie in vielen hundert Städten weltweit stattfindet. An diesem Tag soll gezeigt werden, welche wichtige Rolle die Wissenschaft für unser tägliches Leben spielt. Wir möchten den Wert gesicherter Erkenntnisse betonen, die wir durch Forschung gewinnen können.

In der Wissenschaft sind Menschen aller Nationalitäten, Hautfarben, Religionen, Gender, sexueller Orientierungen, sozialer Schichten, politischer Ansichten, mit und ohne Behinderungen vertreten. Diese Vielfalt ist die größte Stärke der Wissenschaft: Eine Fülle von Meinungen, Ansichten und Ideen und eine unersättliche Neugier sind entscheidend für den wissenschaftlichen Fortschritt.

Sachsens Geschichte ist reich an Innovationen und Erfindungen. Viele revolutionäre Innovationen wurden in Sachsen gemacht – sei es die erste deutsche Lokomotive im Jahr 1839 oder ein neuer Ansatz im Kampf gegen AIDS im Jahr 2016.

Wissenschaft ist international: Ein Drittel der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in Dresden und Umgebung und mehr als 5.000 junge Menschen im Studium kommen aus dem Ausland. Fremdenfeindlichkeit und Populismus schaden dieser fruchtbaren Vielfalt.

Wir sehen, wie Wissenschaft überall um uns herum zu finden ist und unser Leben beeinflusst, zum Wohle der Menschen und der Gesellschaft. Wir demonstrieren, um Zeichen zu setzen gegen eine unwissenschaftliche Weltanschauung und „alternative Fakten“, die unsere moderne Lebensweise und die offene, demokratische Gesellschaft in Gefahr bringen.

Daher laden wir nicht nur Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, sondern alle Bürgerinnen und Bürger ein, mit uns gemeinsam am 22. April 2017 für Fakten und wissenschaftliche Evidenz als Grundlage des gesellschaftlichen Diskurses auf die Straße zu gehen.

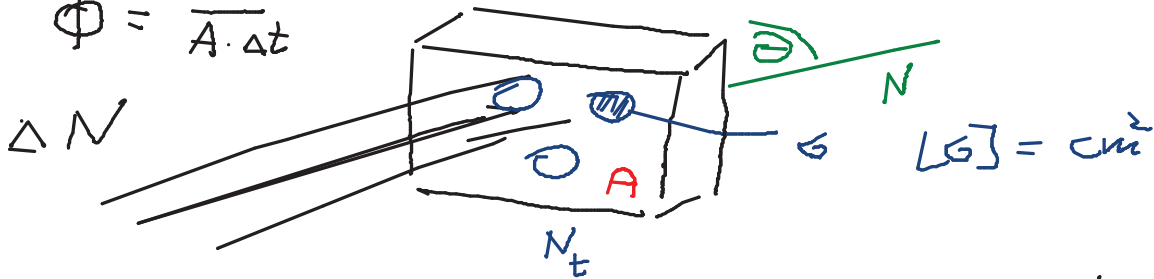
Der March for Science ist eine überparteiliche Veranstaltung für all jene, die sich für den Wert von Fakten und von durch wissenschaftliche Methoden gesicherten Erkenntnissen für die Gesellschaft einsetzen wollen. Alle sind eingeladen teilzunehmen und den March for Science zu unterstützen. Eine regelmäßig aktualisierte Liste unserer Unterstützer findet sich auf unserer Website unter: marchforscience.de/auch-in-deiner-stadt/dresden



2. Wirkungsquerschnitte und Luminositätsmessung

Messe: Reaktionsrate $\cdot \frac{dN}{dt}$ bzw. $\frac{dN}{d\Omega dt}$

$$\phi = \frac{\Delta N}{A \cdot \Delta t}$$



$$\boxed{N = \mathcal{L} \cdot \sigma} \quad \begin{array}{l} \mathcal{L} = \text{Luminosität} \\ \sigma = \text{Wirkungsquerschnitt} \end{array}$$

$$\dot{N} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \cdot \frac{\sigma}{A} \cdot N_t = \phi \cdot N_t \cdot \sigma$$

Fixed Target $\boxed{\mathcal{L} = \phi \cdot N_t = \frac{\Delta N}{\Delta t} \cdot \frac{N_t}{A} = \frac{\Delta N}{\Delta t} \cdot n_t \cdot d}$ Dichte

+zp: $n_t \sim \frac{10^{22}}{\text{cm}^3}$, z.B. $d = 1 \text{ cm}$

Fluss z.B. 1000 Pakete à 10^{11} Teilchen/s

$$\mathcal{L} = \frac{10^{14}}{\text{s}} \cdot \frac{10^{22}}{\text{cm}^3} \cdot 1 \text{ cm} = 10^{36} \frac{1}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$$

Collider: Zahl d. Pakete k
Unkollisionsfrequenz f



$$\boxed{\mathcal{L} = k \frac{N_1 \cdot N_2}{A} \cdot f = \frac{k}{4\pi} \frac{N_1 \cdot N_2}{\Delta_x \Delta_y} f}$$

LEP: $k = 4$, $f = \frac{3 \times 10^5 \text{ km/s}}{30 \text{ km}} = 10^4 \text{ s}^{-1}$

$N_1 = N_2 = 10^{11}$ $\Delta_x = 100 \mu\text{m}$ $\Delta_y = 10 \mu\text{m}$

$$\mathcal{L} = 3 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

LHC = $\mathcal{L} = 10^{33} - 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \leftarrow k = 2000$

Übersicht wichtiger Collider

Labor Strahlen	DESY Deutsches Elektronen Synchrotron Hamburg	CERN Conseil Europ. de la Recherche Nucleaire Genf	FNAL Fermi National Accelerator Center Chicago	SLAC Stanford Linear Accelerator Center Stanford
e^+e^- (GeV)	DORIS (5+5) $b\bar{b}$ PETRA (20+20) g von 1978 - 1989	LEP1(45+45) } W, Z LEP2(104+104) } ee von 1989 - 2000		SLC (45+45) ee P_{ee} PEP1 (15+15) PEP2 (3+9) $b\bar{b}$ bis 2008
$e^\pm p$ (GeV)	HERA (30+900) bis 2007 p			
$\bar{p}p$ (GeV)		SppS W, Z (300+300) von 1978 - 1989	TeVatron t (1000+1000) von 1987 - 2011	
pp (GeV)		LHC $2010 \cdot H$ (3500+3500) seit 2015 $5 \cdot 6500 + 6500$		

DESY, Hamburg, Germany

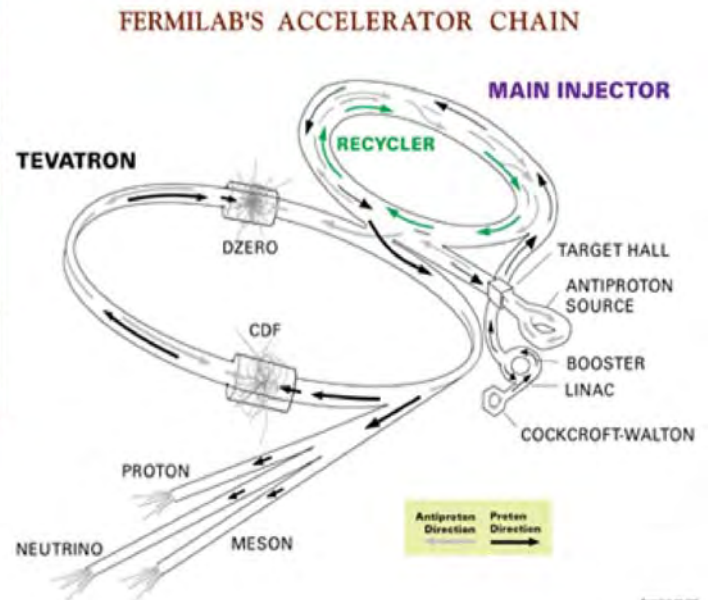


HERA 1992-2007 $e^\pm p$
27.5 GeV e
920 GeV p

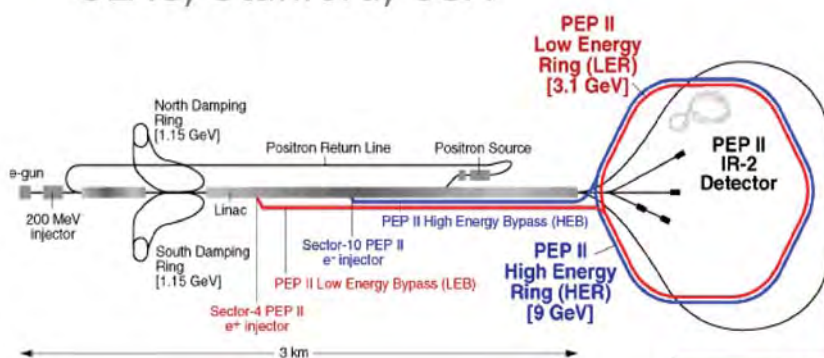
Fermilab, Chicago, USA



Tevatron 1987-2011 1+1 TeV
Proton-Antiproton



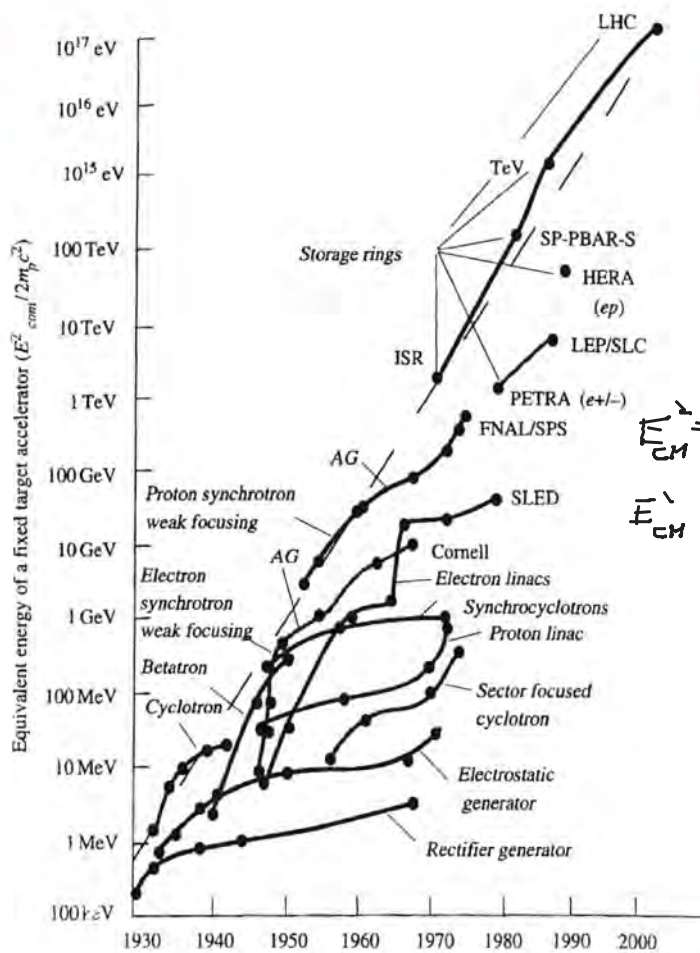
SLAC, Stanford, USA



SLC
 e^+e^-
1989-1999
50+50 GeV

PEP II
 e^+e^-
1999-2008
3.1 GeV e^+
9.0 GeV e^-





$$E_{CM}^2 = S_{coll} \sim E_{st-hl}^2$$

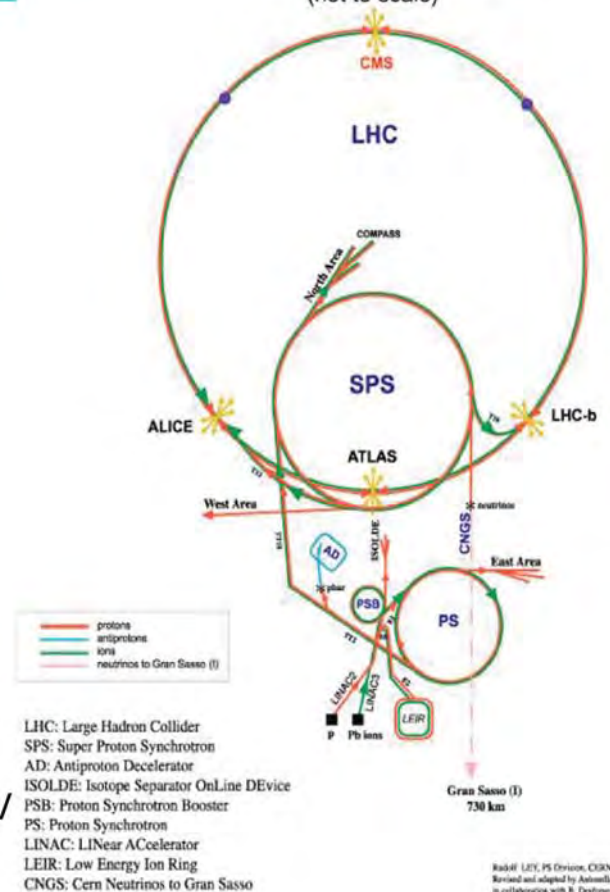
$$E_{CM}^2 = S_{fixedT} \sim E \cdot m_T$$

Collider: CERN, Genf, Schweiz



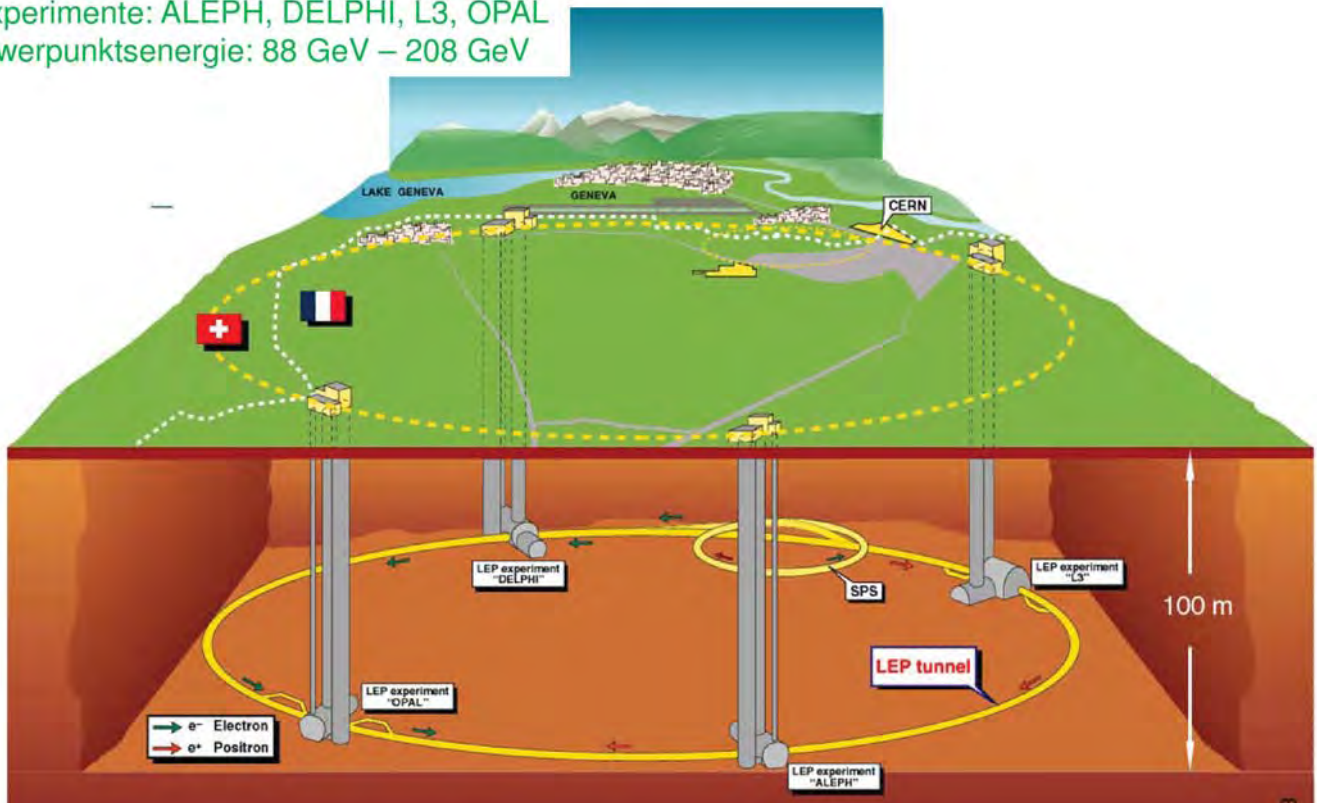
LEP (e^+e^-) 1989-1995 45+45 GeV
1995-2000 bis 104+104 GeV
LHC (pp) >2010 bis 7000+7000 GeV

CERN Accelerators
(not to scale)

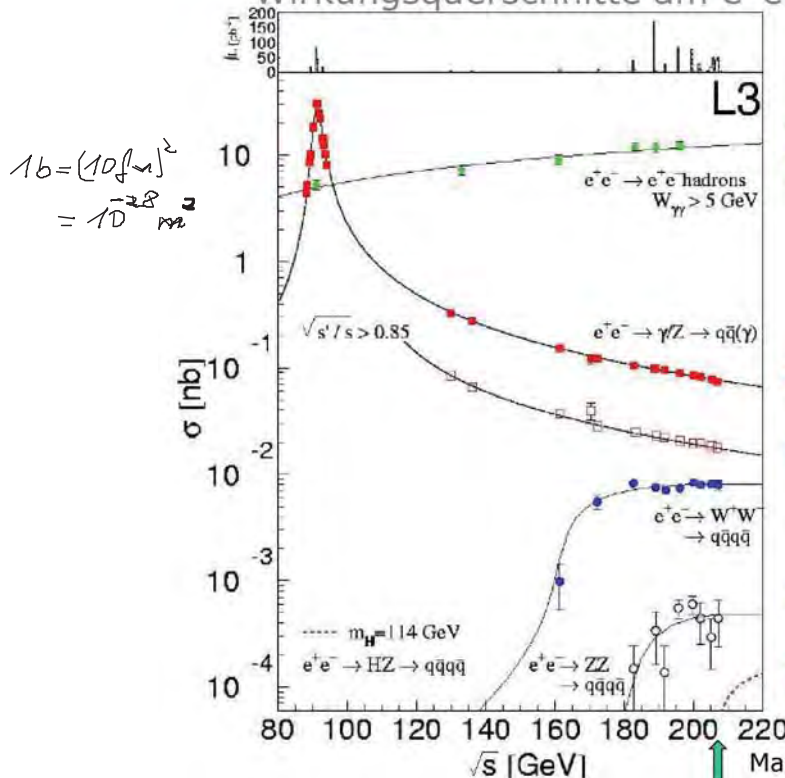


Experimente bei LEP

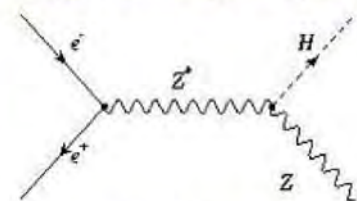
- Large Electron Positron collider (LEP)
- 4 Experimente: ALEPH, DELPHI, L3, OPAL
- Schwerpunktsenergie: 88 GeV – 208 GeV



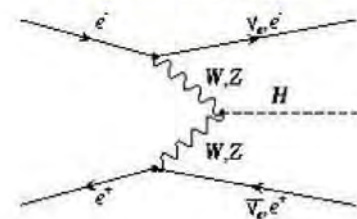
Wirkungsquerschnitte am e⁺e⁻ Collider LEP



Higgsstrahlung Diagram



Fusion Diagram



$\gamma\gamma \rightarrow$
Hadronen

qq

WW
 $W^+ W^-$

ZZ

ZH(114)

Grenze:
 $m_H > 114 \text{ GeV}$

Maximale Schwerpunktsenergie

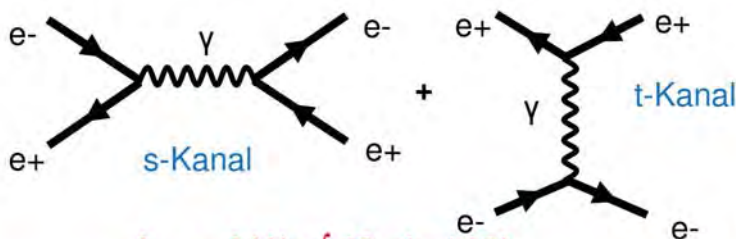
Suchergebnisse vom LEP



Luminositätsmessung mit Bhabha Ereignissen $e^+e^- \rightarrow e^+e^-$

$$t_{IC} = 0,2 \text{ GeV} \quad f_{IC} = 1$$

$$[G] = fm^2 = \frac{1}{GeV^2}$$



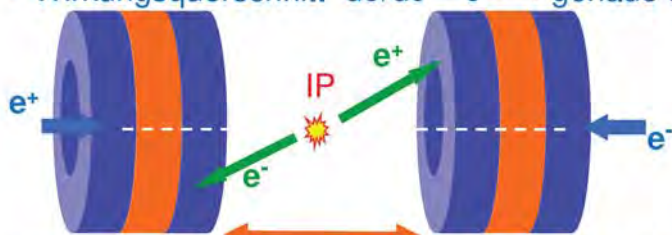
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{4s} \left(\frac{3 + \cos^2 \theta}{1 - \cos \theta} \right)^2$$

$$\approx \frac{16\alpha^2}{s} \frac{1}{\theta^4} \sim \frac{1}{(E \cdot \theta)^4} = \frac{1}{q^4}$$

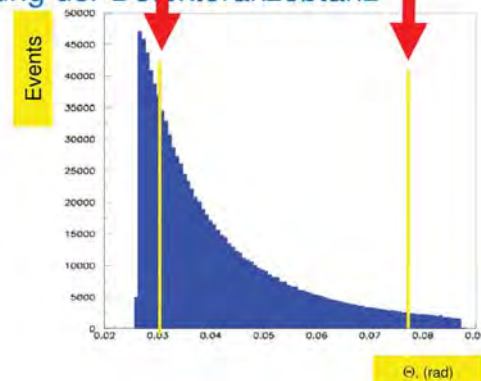
$$d\Omega \approx 2\pi \theta d\theta$$

$$L_{int} \sim N/(\epsilon \int d\theta d\sigma/d\theta)$$

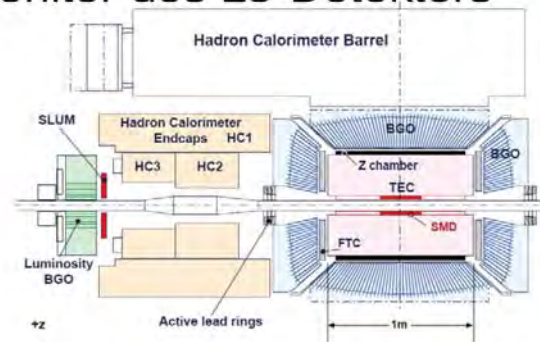
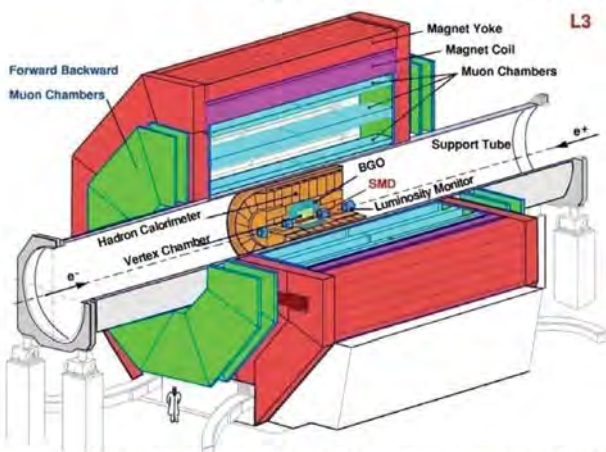
- Wirkungsquerschnitt $d\sigma/d\theta \sim \theta^{-3} \rightarrow$ genaue Messung der Detektorakzeptanz



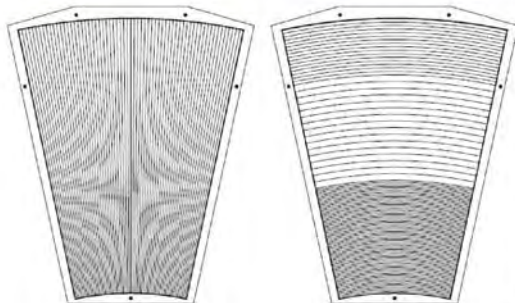
- Kombination aus fein segmentiertem Si-Detektor (genaue Winkelmessung) und Kalorimeter (Energiesmessung)



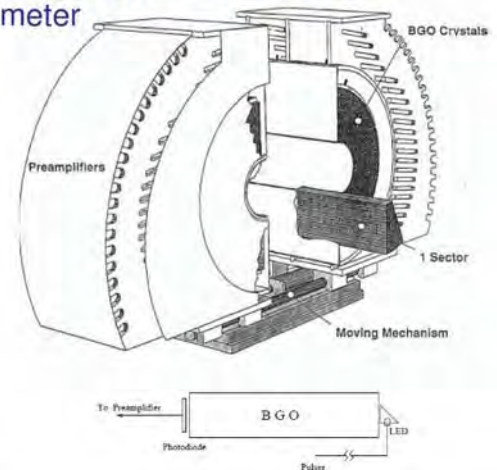
Beispiel: Luminositätsmonitor des L3-Detektors



- genaue Orts- bzw. Winkelmessung mit Si-Streifendetektor



- Messung der $e^\pm$ -Energien mit $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ – Kristall-Kalorimeter



Precision Luminosity for Z0 Lineshape Measurements with a Silicon-Tungsten Calorimeter

The OPAL collaboration, G.Abbiendi, et al

(Submitted on 1 Nov 1999 (v1), last revised 23 Nov 1999 (this version, v2))

The measurement of small-angle Bhabha scattering is used to determine the luminosity at the OPAL interaction point for the LEP I data recorded between 1993 and 1995. The measurement is based on the OPAL Silicon-Tungsten Luminometer which is composed of two calorimeters encircling the LEP beam pipe, on opposite sides of the interaction point. The luminometer detects electrons from small-angle Bhabha scattering at angles between 25 and 58 mrad. At LEP center-of-mass energies around the Z0, about half of all Bhabha electrons entering the detector fall within a 79 nb fiducial acceptance region. The electromagnetic showers generated in the stack of 1 radiation length tungsten absorber plates are sampled by 608 silicon detectors with 38,912 radial pads of 2.5 mm width. The fine segmentation of the detector, combined with the precise knowledge of its physical dimensions, allows the trajectories of incoming 45 GeV electrons or photons to be determined with a total systematic error of less than 7 microns. We have quantified all significant sources of systematic experimental error in the luminosity determination by direct physical measurement. All measured properties of the luminosity event sample are found to be in agreement with current theoretical expectations. The total systematic measurement uncertainty is 3.4×10^{-4} , significantly below the theoretical error of 5.4×10^{-4} currently assigned to the QED calculation of the Bhabha acceptance, and contributes negligibly to the total uncertainty in the OPAL measurement of $\Gamma(\text{invisible})/\Gamma(\text{I+})$, a quantity of basic physical interest which depends crucially on the luminosity measurement.

Comments: 87 pages, 36 figures, submitted to Eur.Phys. J. C. Updated references

Subjects: High Energy Physics - Experiment (hep-ex)

Journal reference: Eur.Phys.J.C14:373-425,2000

DOI: 10.1007/s100520000353

Report number: CERN-EP/99-136

Cite as: arXiv:hep-ex/9910066

Luminositätsmessung im OPAL Experiment

Uncertainty	system	90-2	90-3	90-4	90-5	90-6	90-7	90-8	90-9	90-10
Radial Alignment	2.3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Radial Thermal	2.2	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
Inner Anode	4.4	0.08	0.08	0.08	0.08	0.11	0.25	0.25	0.25	0.25
Outer Anode	4.4	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Z Momentum	2.4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Background	8	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Trigger	8	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Wagon Tagger	6	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Total External (Δt=0)		0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	1.10	1.10	1.10	1.10
Energy	4.3	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Beam parameters	7	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57
Radial resolution	8	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Acquisition bias	8	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Angular resolution	8	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Chamber	8	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
ΔR - Δφ difference	9.3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
M.C. statistics	8	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Total Simulation (Δt=0)		0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Grand Total		1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.29	1.29	1.29	1.29

Table 20: This table summarizes the experimental systematic uncertainties on the absolute L_{int} luminosity measurement for the nine data samples. The lines labeled correlated and uncorrelated refer to errors correlated and uncorrelated among the samples. All errors are in units of 10^{-4} .

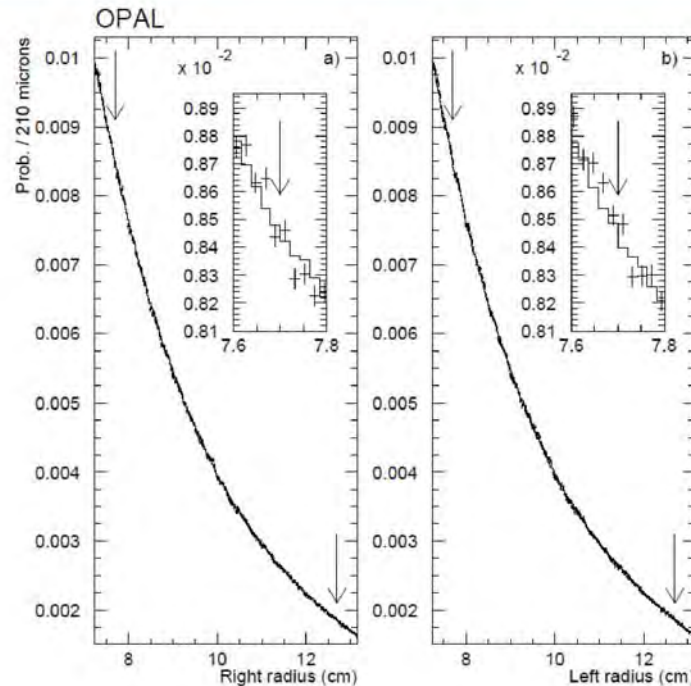


Figure 36: The distributions (after the isolation cuts have been applied) of R_R (a), and R_L (b). The arrows indicate the location of the definition cuts for the SWTR and SWTL selections. The points and error bars are the data and the histogram the Monte Carlo. The insets show fine details near the inner acceptance boundaries.

<https://arxiv.org/abs/hep-ex/9910066>

LHC: Datenmengen und Ereignishäufigkeiten

Für $\mathcal{L} = 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

Steigende Datenmengen:

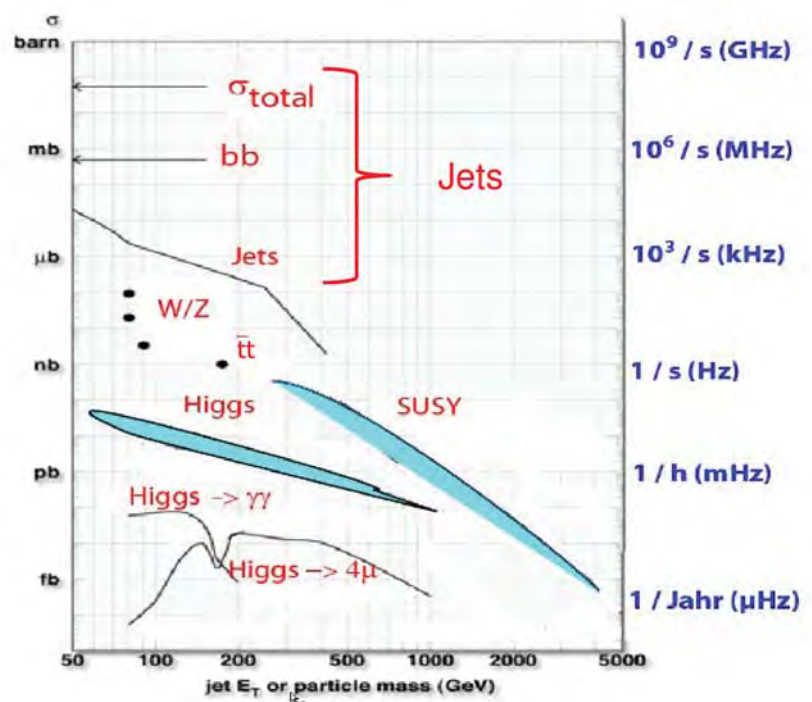
2010:
 $\mathcal{L} \sim 10^{31} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
 $\int \mathcal{L} dt \sim 0.04 \text{fb}^{-1}$

2011:
 $\mathcal{L} = 1-3.5 \times 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
 $\int \mathcal{L} dt = 4.8 \text{fb}^{-1}$

2012:
 $\mathcal{L} = 6-8 \times 10^{33} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$
 $\int \mathcal{L} dt = 20 \text{fb}^{-1}$

2016:
 $\mathcal{L} = 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} ?$
 $\int \mathcal{L} dt \geq 35 \text{fb}^{-1}$ pro Jahr

> 2021:
 $\mathcal{L} \geq 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1} ?$
 $\int \mathcal{L} dt \geq 100 \text{fb}^{-1}$ pro Jahr ?



LHC Design-Parameter

- Luminosität:

$$\mathcal{L} = \frac{f N_1 N_2}{2\pi \sigma_x \sigma_y} F$$

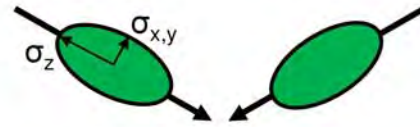
- crossing angle factor

$$F = 1 / \sqrt{1 + \left(\frac{\theta_c \sigma_z}{2\sigma^*} \right)^2}$$

- full crossing angle

- bunch length

- transverse beam size at Π



- Strahlparameter:

$$\sigma_x \approx \sigma_y \approx \sigma^* = 16.7 \text{ } \mu\text{m} \text{ (ATLAS, CMS)}$$

$$f = 11.2 \text{ kHz}$$

$$n_b = 2808$$

$$N = 1.15 \times 10^{11}$$

$$\theta_c = 285 \text{ } \mu\text{rad}$$

$$\sigma_z = 7.55 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \mathcal{L} = 1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$$

- Datennahme etwa $1/\pi$ des Jahres: $t = 1/\pi \cdot 1\text{a} = 1/\pi \cdot \pi \cdot 10^7 \text{ s} = 10^7 \text{ s}$

$$\Rightarrow \mathcal{L}_{\text{tot}} = 10^{41} \text{ cm}^{-2} = 100 \text{ fb}^{-1}$$

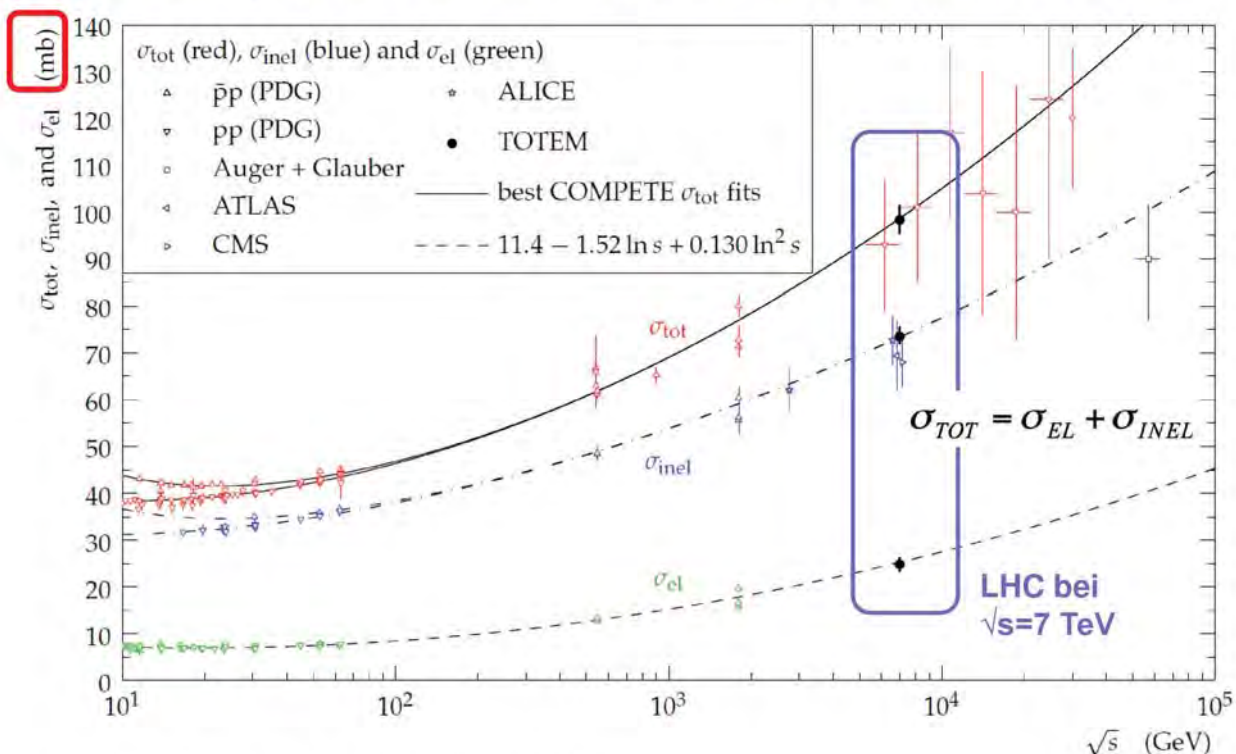
$$[\sigma] = 1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2 = 100 \text{ fm}^2$$

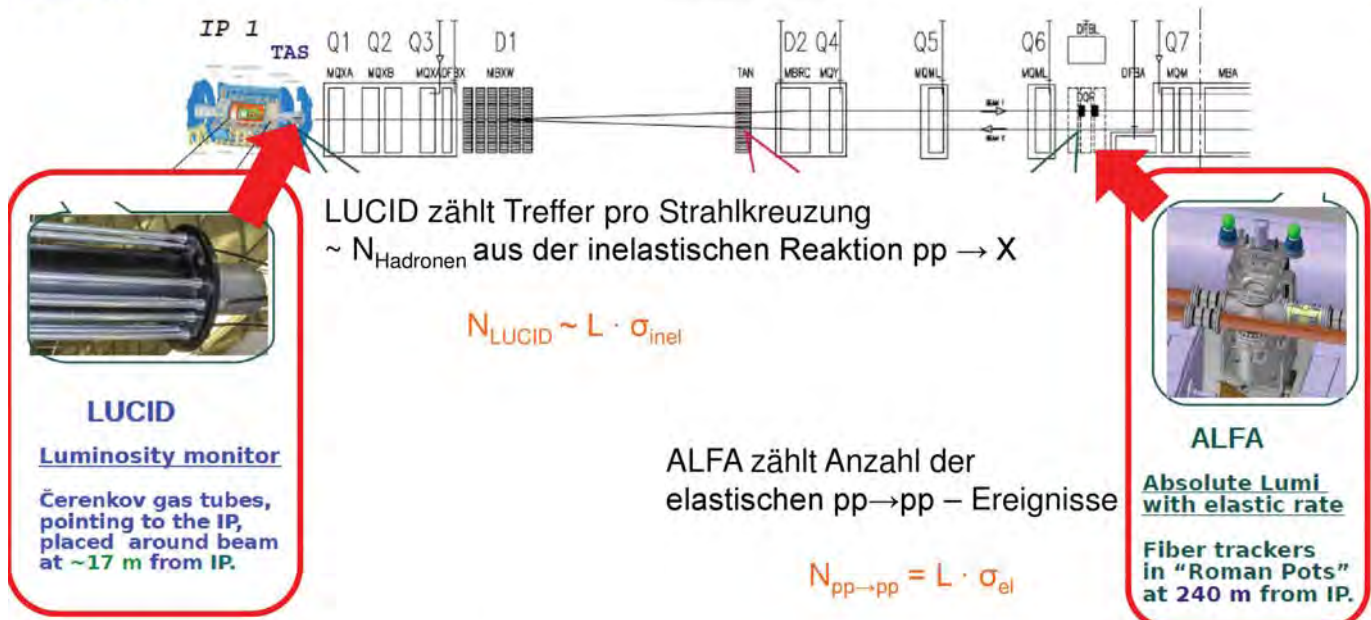
Elastische, inelastische, totale pp-Wirkungsquerschnitte



- Elastischer Wirkungsquerschnitt $pp \rightarrow pp$: gleicher Anfang- und Endzustand
 - Inelastischer Wirkungsquerschnitt $pp \rightarrow X$: X sind meist Hadronen ($\pi^0, \pi^\pm, \dots$)
- $$\left. \begin{array}{l} \text{Elastischer Wirkungsquerschnitt } pp \rightarrow pp : \text{ gleicher Anfang- und Endzustand} \\ \text{Inelastischer Wirkungsquerschnitt } pp \rightarrow X : X \text{ sind meist Hadronen } (\pi^0, \pi^\pm, \dots) \end{array} \right\} \sigma_{\text{TOT}} = \sigma_{\text{EL}} + \sigma_{\text{INEL}}$$

- Beispiel LHC: $N_{\text{el}} \approx 25 \text{ mb} \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} = 2.5 \cdot 10^{-26} \text{ cm}^2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} = 2.5 \cdot 10^7 \text{ s}^{-1}$

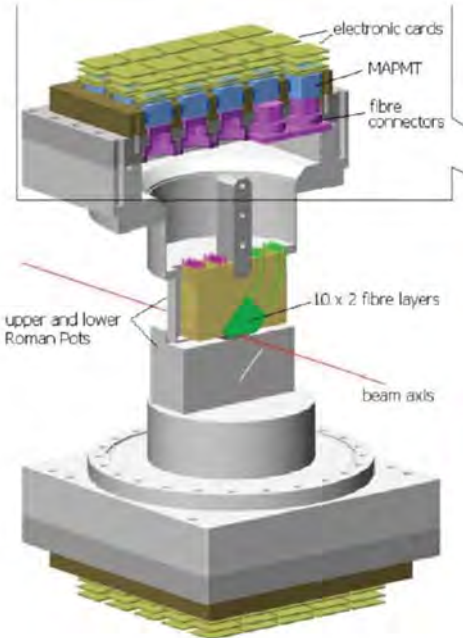
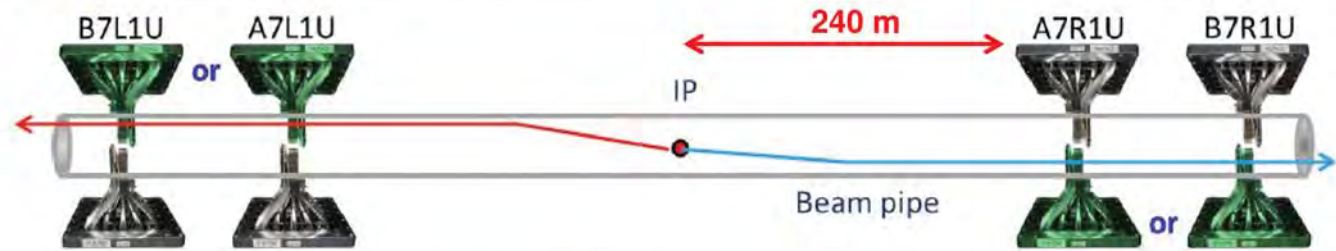




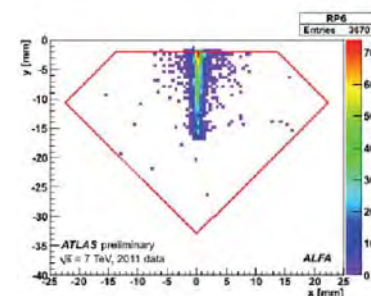
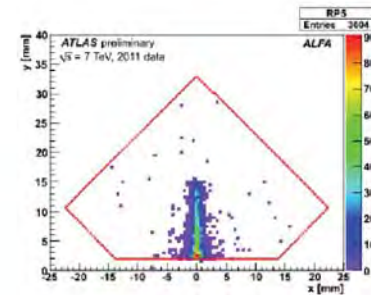
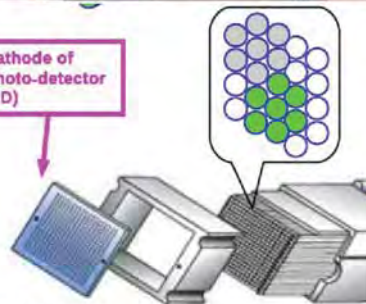
• Strategie:

- ALFA misst elastische pp-Streuung in speziellem Kalibrationsmodus
 $\rightarrow$ elastischer Wirkungsquerschnitt ist theoretisch gut beschrieben $\rightarrow L_{\text{ALFA}} = N_{pp \rightarrow pp} / \sigma_{\text{el}}$
- LUCID misst inelastische pp-Streuung synchron mit ALFA zur Kalibration: $\rightarrow N_{\text{LUCID, Kalib.}}$
- Kalibrierte LUCID-Messung kann dann auch bei normaler Datennahme angewandt werden

$$L_{\text{ATLAS}} = N_{\text{LUCID}} / N_{\text{LUCID, Kalib.}} \cdot L_{\text{ALFA}}$$



Cathode of Photo-detector (PD)



Standardmodell der Teilchenphysik - SoSe 2016

22



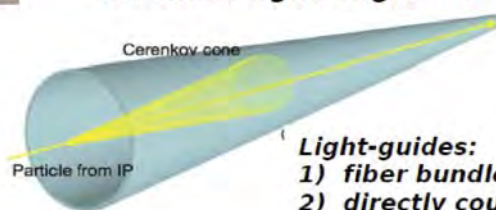
Gas filled tubes around the beam pipe at ~ 17 m from the ATLAS IP.

16 tubes for each side A and side C

LUCID : ATLAS Luminosity using Čerenkov Integrating Detector

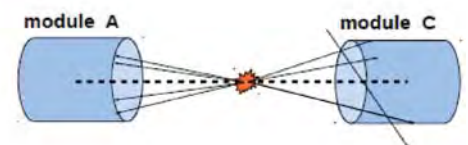
Tube length: 1.5 m

Čerenkov light angle $\approx 3^\circ$



Light-guides:

- 1) fiber bundles
- 2) directly coupled PMTs



Proposed cut: 50 p.e.

Lumi with "hit counting" method
mean number of inelastic pp interactions estimated with the number of detector hits

* **Single side mode:**

at least 1 hit in "module A" or in "module C"

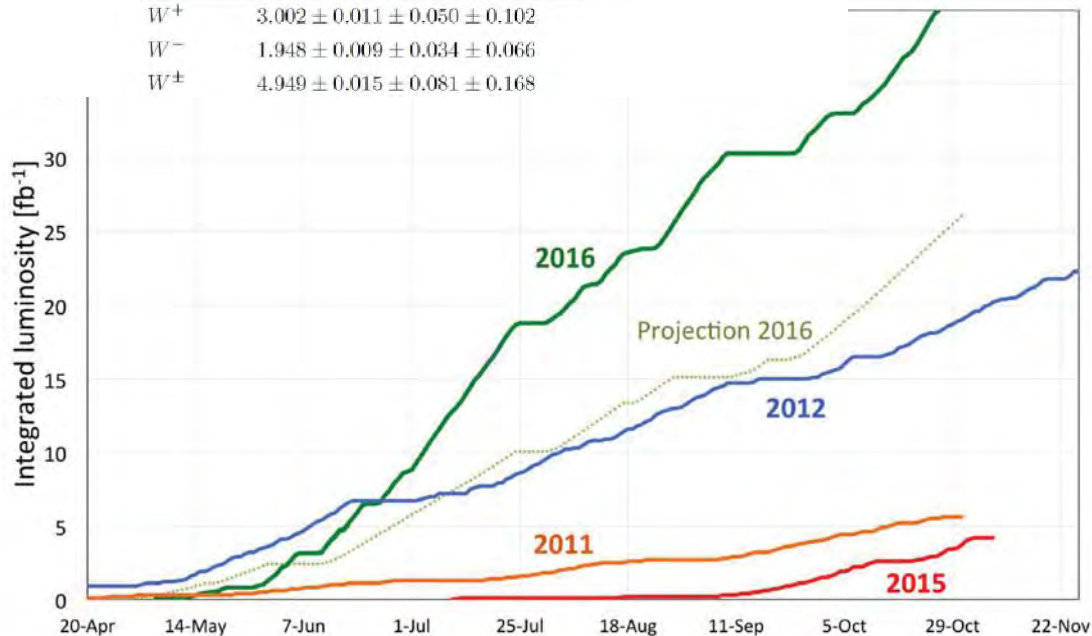
* **Coincidence mode:**

at least 1 hit in both "A" & "C" modules

„Das Standardmodell der Teilchenphysik“, M.Kobel, D.Stöckinger

- Messunsicherheit am LHC dominiert von Messfehler auf Luminosität (3%)
- Beispiel:

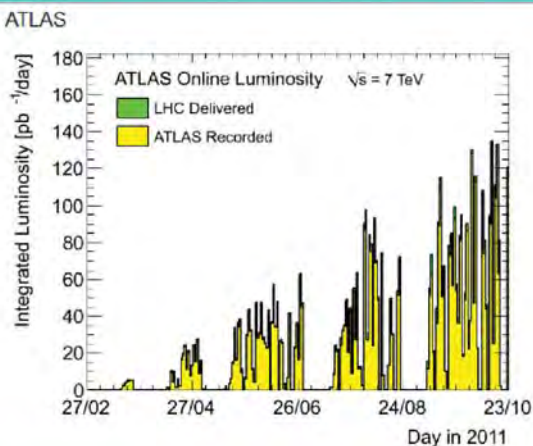
	$\sigma_W^{\text{fid}} \cdot \text{BR}(W \rightarrow \mu\nu)$ [nb]		
	sta	sys	lum
W^+	3.002 ± 0.011	± 0.050	± 0.102
W^-	1.948 ± 0.009	± 0.034	± 0.066
$W^\pm$	4.949 ± 0.015	± 0.081	± 0.168



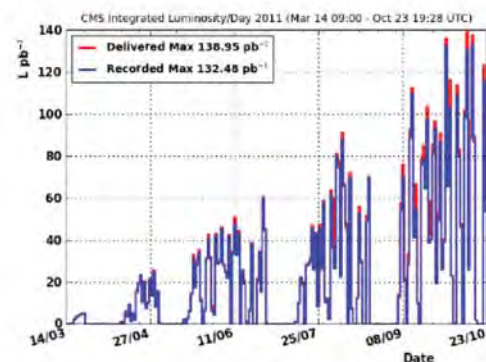
<https://home.cern/cern-people/updates/2016/10/lhc-report-end-2016-proton-proton-operation>

„Das Standardmodell der Teilchenphysik“, M.Kobel, D.Stöckinger

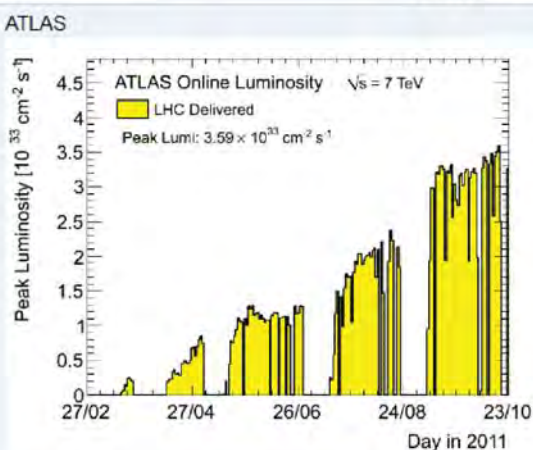
Integrated
Luminosity
per day
2011



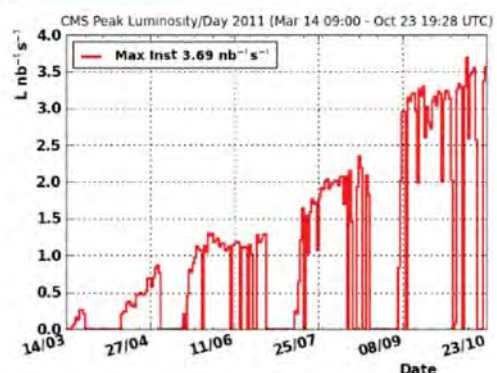
CMS

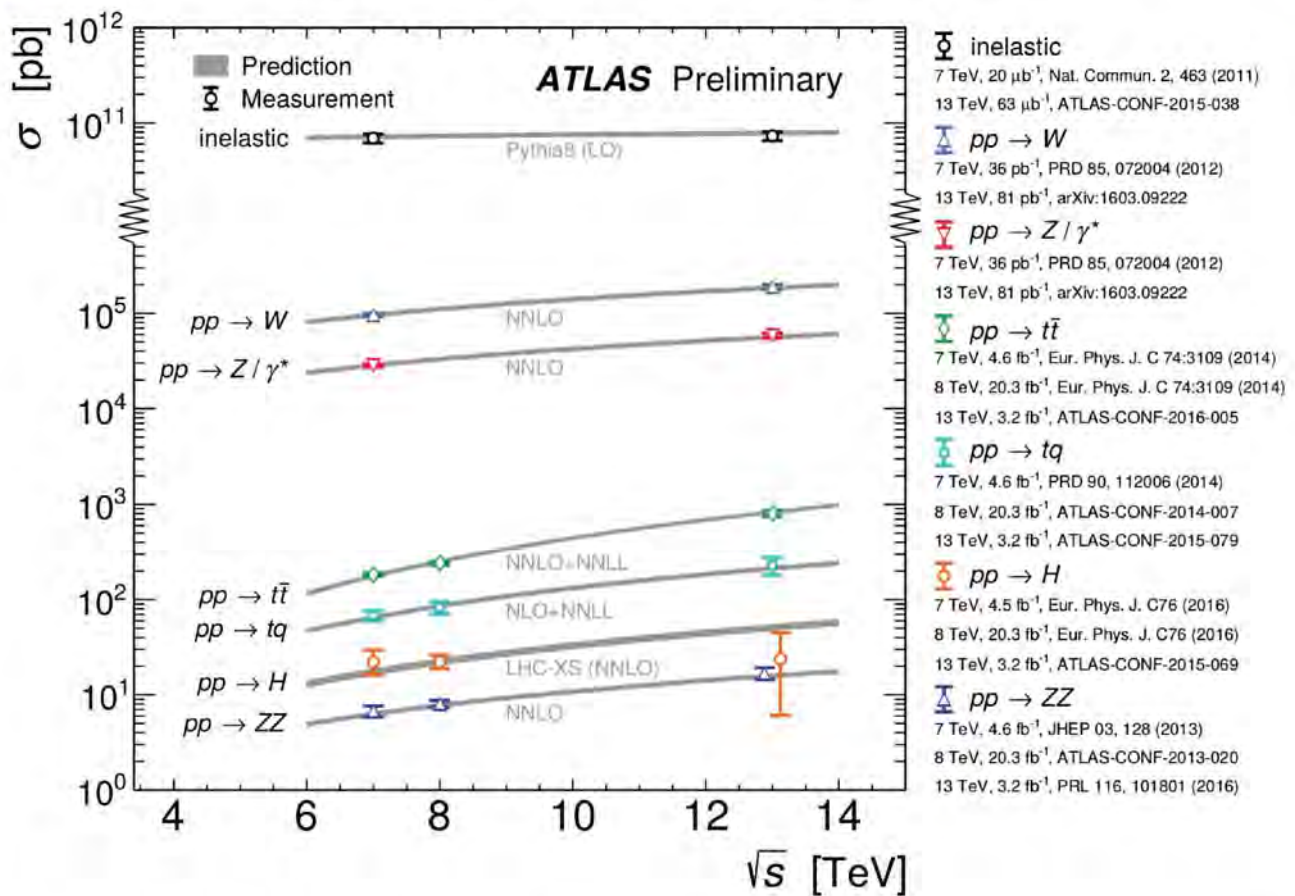


Peak
Luminosity
per day
2011



CMS



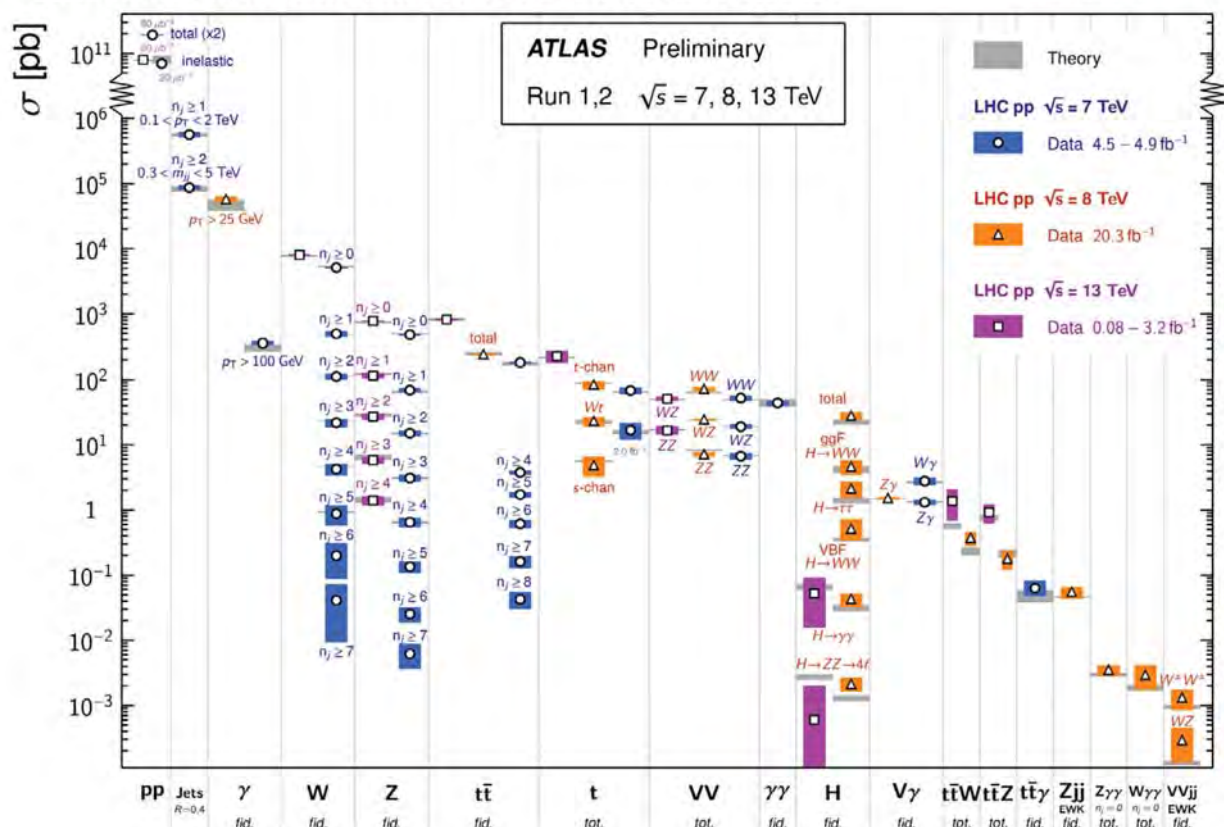


Standardmodell der Teilchenphysik - SoSe 2016

31

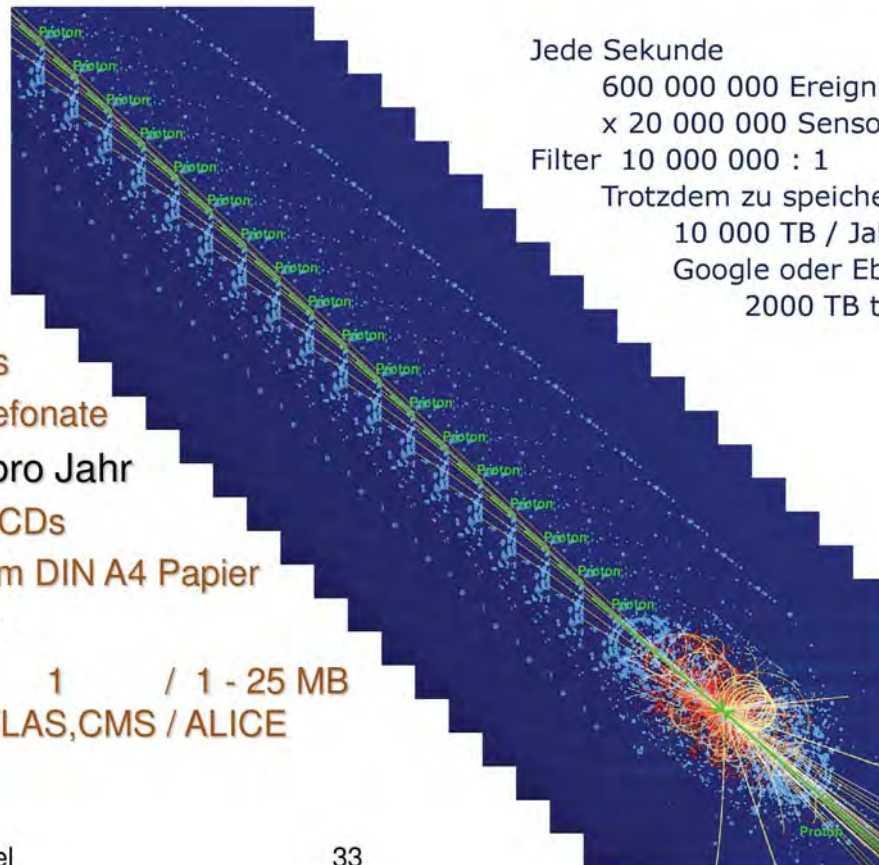
Standard Model Production Cross Section Measurements

Status: June 2016



Datenfluß

- Ungefiltert:
 - 10^{14} Byte/s
 - $\sim 10^{10}$ Telefonate
- Nach Filter, pro Jahr
 - 20 000 m CDs
 - 100 000 km DIN A4 Papier
- Ein Ereignis:
 - 0.1 / 1 / 1 - 25 MB
 - LHCb / ATLAS, CMS / ALICE



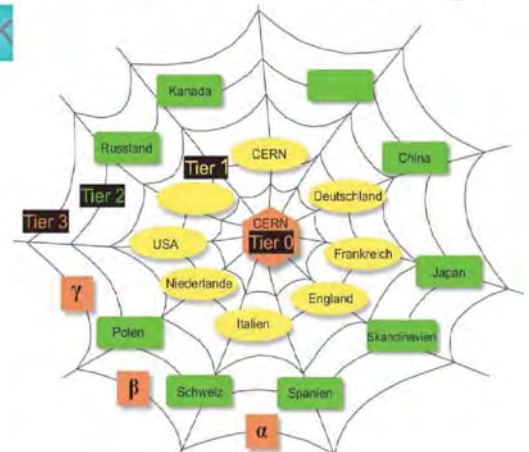
Jede Sekunde
600 000 000 Ereignisse
x 20 000 000 Sensoren
Filter 10 000 000 : 1
Trotzdem zu speichern:
10 000 TB / Jahr
Google oder Ebay:
2000 TB total

Dresden, Michael Kobel

33

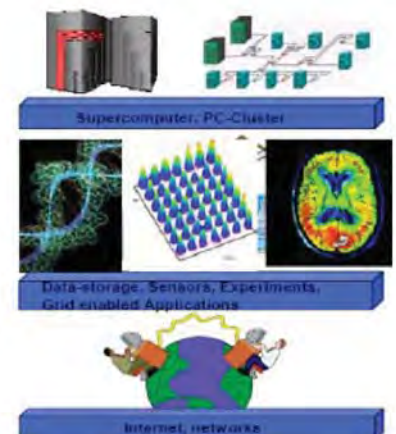
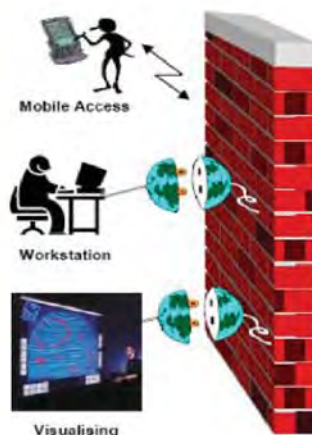
3.07.2007

Lösung: Grid computing



Teilchenphysik betreibt
derzeit größtes Grid,
mit Ausstrahlung in

- Medizin
- Astro- und
Astroteilchenphysik
- Biologie
- Meteorologie
- Industrie
- ...



Dresden, Michael Kobel

Beispiele in Deutschland

Tier 1

GridKa, KIT Karlsruhe

Tier 2

DESY (ATLAS, CMS)

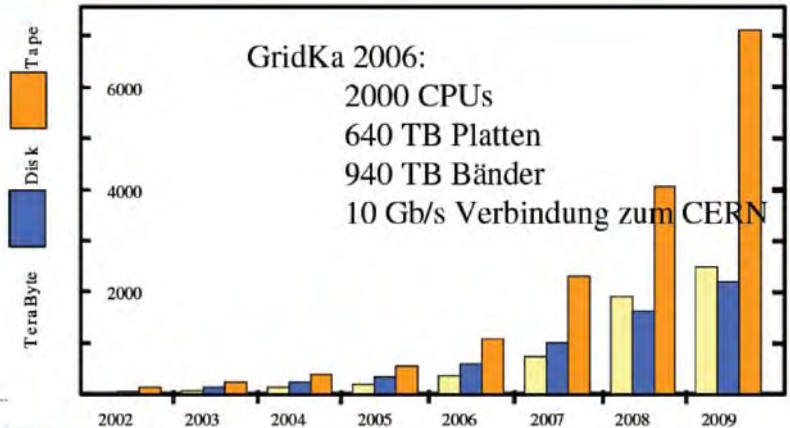
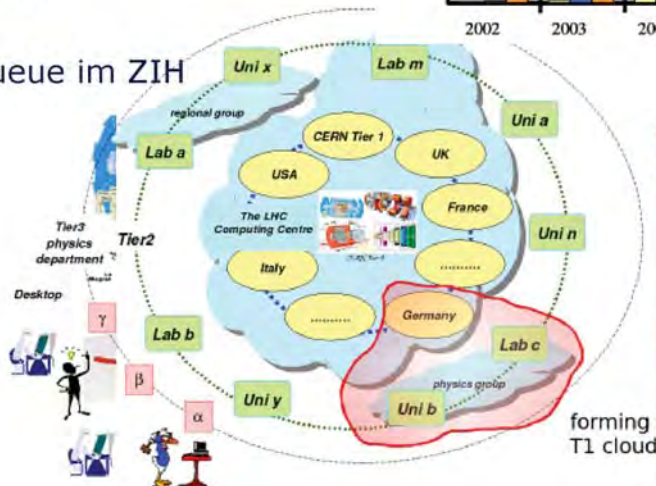
München (ATLAS)

Wuppertal (ATLAS)

Aachen (CMS)

Dresden:

Eigene Queue im ZIH



World-wide LHC Computing Grid im Januar 2007

