

# Experimentalphysik VI

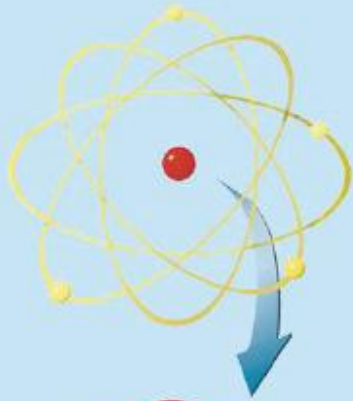
## Kern- und Teilchenphysik

Prof. Markus Schumacher

ALU Freiburg, Sommersemester 2010

### Kapitel 1: Einleitung und Grundbegriffe

# Gegenstand von Kern- und Teilchenphysik



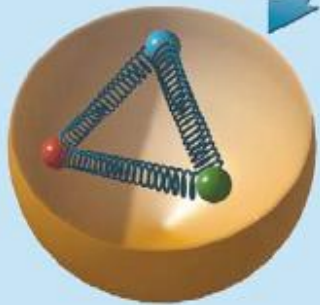
$10^{-10}$  m  
Atom

1/10.000



$10^{-14}$  m  
Atomkern

1/10



$10^{-15}$  m  
Proton

1/1.000

„up“ „up“ „down“

Atom-, Molekül-, Festkörperphysik, Chemie  
Struktur durch elektromagnetische Kraft

Kernphysik

Zusätzlich: starke Kernkraft  
schwache Kraft

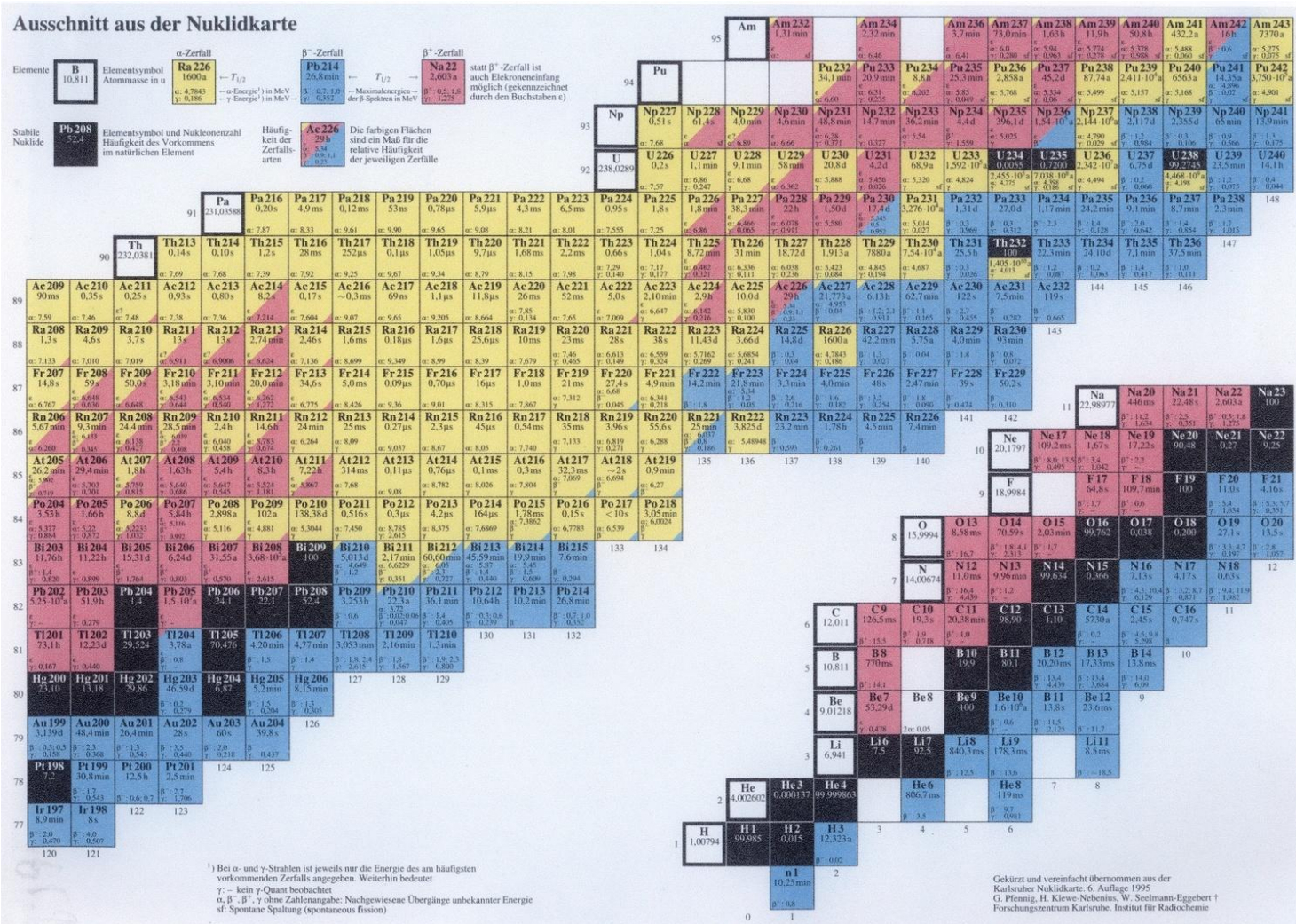
Teilchenphysik:

zusätzlich: starke Kraft

# Historische Meilensteine der Anfänge der Kernphysik

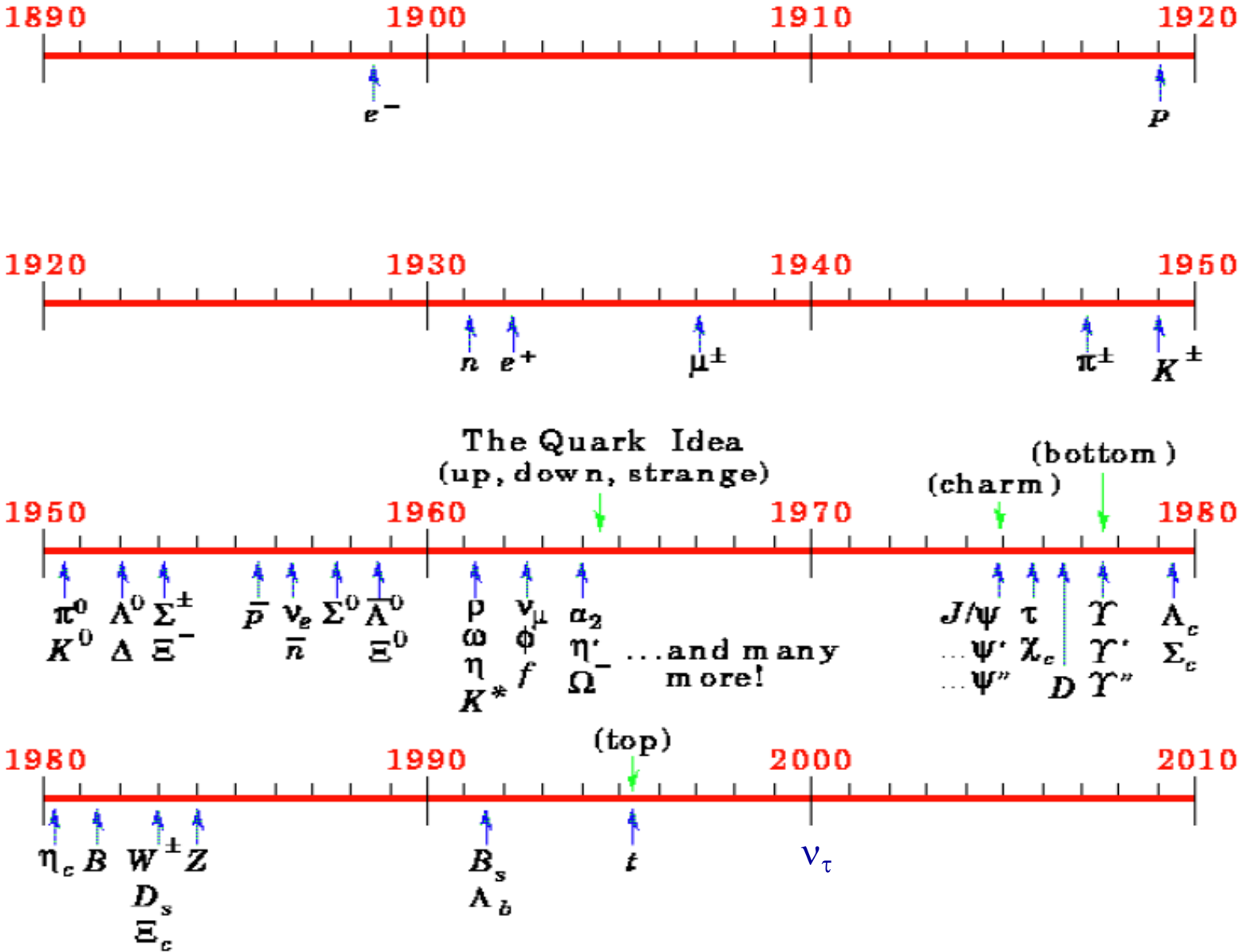
1896	Entdeckung der Radioaktivität durch <b>Henri Becquerel</b> (bei Luminoszenzuntersuchungen an Uransalzen, Schwärzung von lichtabgeschirmten Photoplaten ( $\alpha$ , $\beta$ -Strahlung))
1898	Entdeckung der Elemente Polonium und Radium (1902) durch <b>Maria Sklodowska/Curie und Pierre Curie</b>
1900	Entdeckung eines magnetisch nicht ablenkbaren Anteils radioaktiver Strahlung ( $\gamma$ -Strahlung) durch <b>P.U. Villard</b>
1902	Identifizierung der $\beta$ -Strahlen als Elektronen durch <b>H. Bequerel</b>
1909	Identifizierung der $\alpha$ -Strahlen als ionisierte Helium-Atome durch <b>E. Rutherford und Royds</b> (Ablenkung im Magnetfeld $\neq$ Elektronen, optische Spektren nach $e^-$ -Einfang = He-Spektrum)
1911	<b>Rutherford-Experiment:</b> Untersuchung der Ablenkung von $\alpha$ -Strahlung an einer Goldfolie (Mitarbeiter: <b>Geiger, Marsden</b> ) → <b>Entdeckung des Atomkerns</b>
1919	Erste künstliche Kernumwandlungen durch <b>E. Rutherford:</b> $\alpha + {}^{14}\text{N} \rightarrow {}^{17}\text{O} + \text{p}$ bei der Streuung von $\alpha$ -Teilchen an leichten Kernen ( $\neq$ <b>elastische Streuung</b> ), <b>Identifizierung des Protons</b> (pos. geladenes Teilchen, rel. große Reichweite)
1932	<b>Entdeckung des Neutrons</b> durch <b>J. Chadwick</b>

# Nuklidkarte



Eigenschaften der Kerne: Masse, Größe, Spin ..., Stabilität  
 Ordnungsprinzip der Grundzustände - und angeregten Zustände  
 Struktur der starken Kernkraft

# Geschichte der Teilchenentdeckungen





# Elementare Bausteine der Materie

Fermionen (Spin = 1/2) in drei Generationen/Familien

## Quarks



**Up**  
Masse ~ 4 MeV



**Down**  
Masse ~ 8 MeV



**Charm**  
Masse ~ 1,3 GeV



**Strange**  
Masse ~ 130 MeV



**Top**  
Masse ~ 174 GeV



**Bottom**  
Masse ~ 4,4 GeV

Elektr. Ladung +  $\frac{2}{3}$

Elektr. Ladung -  $\frac{1}{3}$

## Leptonen



**Elektron**  
Masse 511 keV



**Elektron-Neutrino**  
Masse < 3 eV



**Myon**  
Masse 105 MeV



**Myon-Neutrino**  
Masse < 190 keV



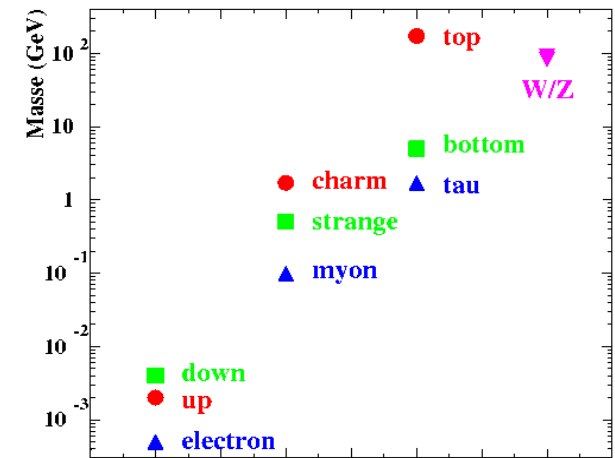
**Tau**  
Masse 1,8 GeV



**Tau-Neutrino**  
Masse < 18 MeV

Elektr. Ladung -1

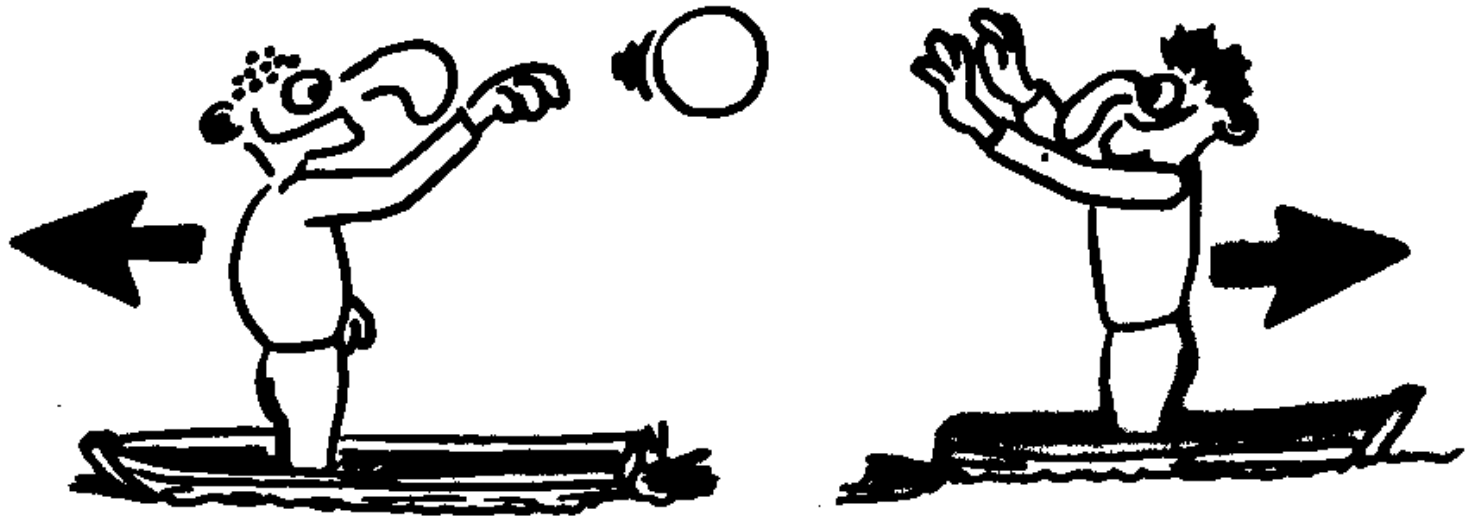
Elektr. Ladung 0



Warum drei Familien mit diesen Eigenschaften?

Woher kommen die Massen, warum so unterschiedlich?

# Gegenstand von Kern- und Teilchenphysik



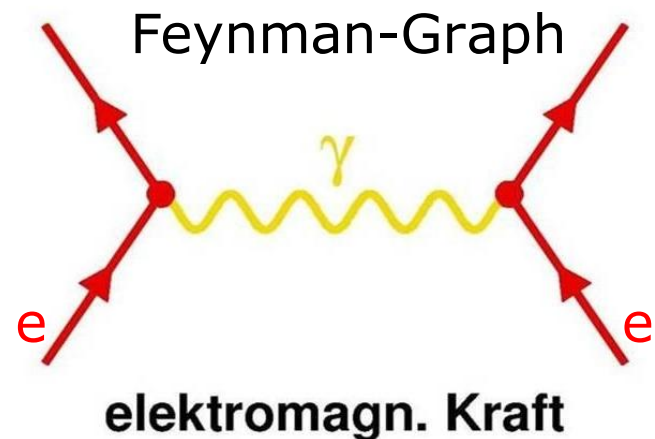
Kräfte = Austausch von Botenteilchen (Spin=1)

z.B. Elektromagnetismus:

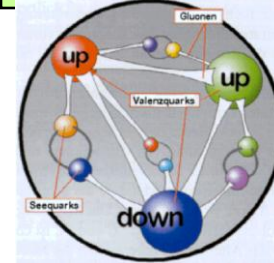
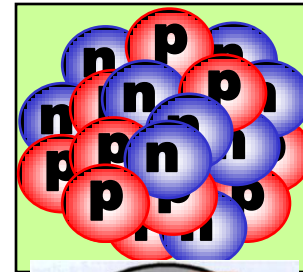
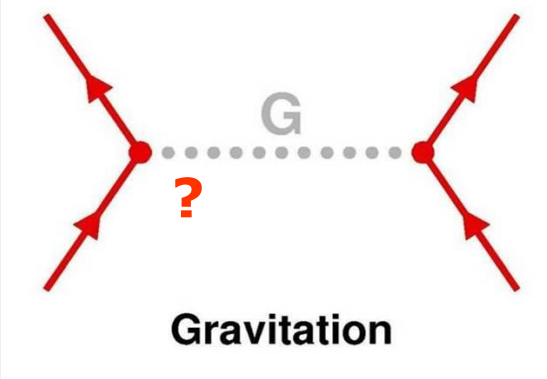
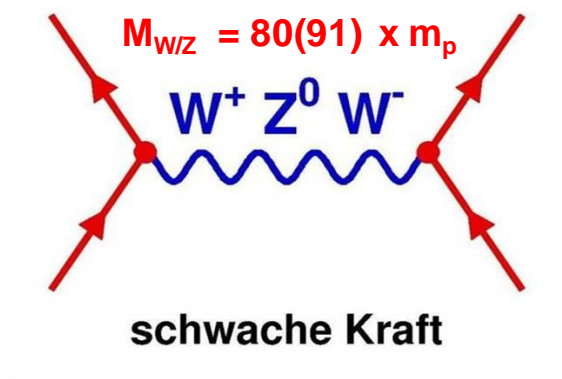
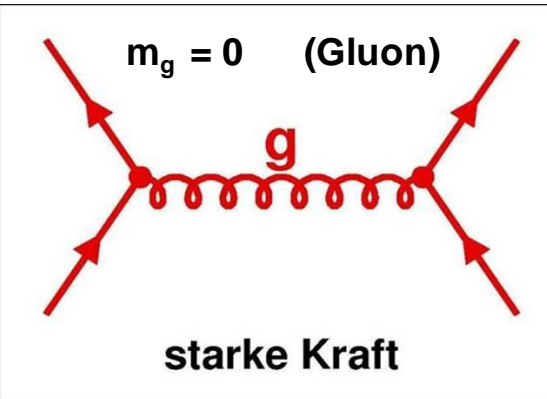
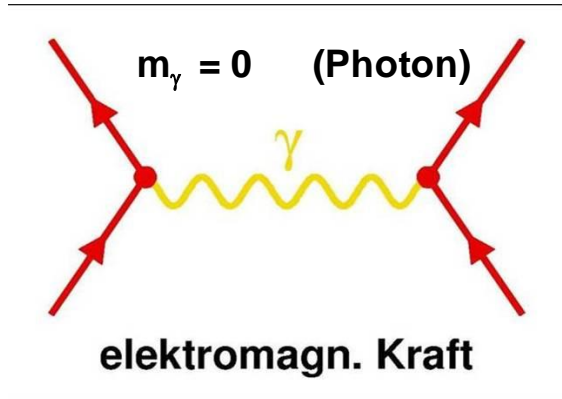
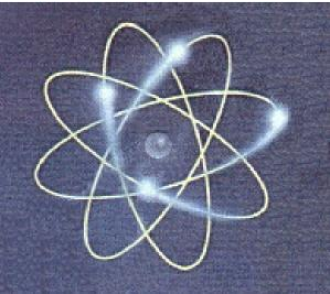
zwei Elektronen tauschen  
ständig Photonen aus.

Stärke hängt von Ladung der  
Materieteilchen (hier  $e$ )

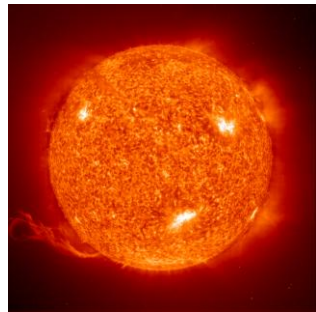
u. Masse des Boten (hier 0) ab



# Die vier fundamentalen Wechselwirkungen



Stärke 1/10000  
x el-mag. Kraft

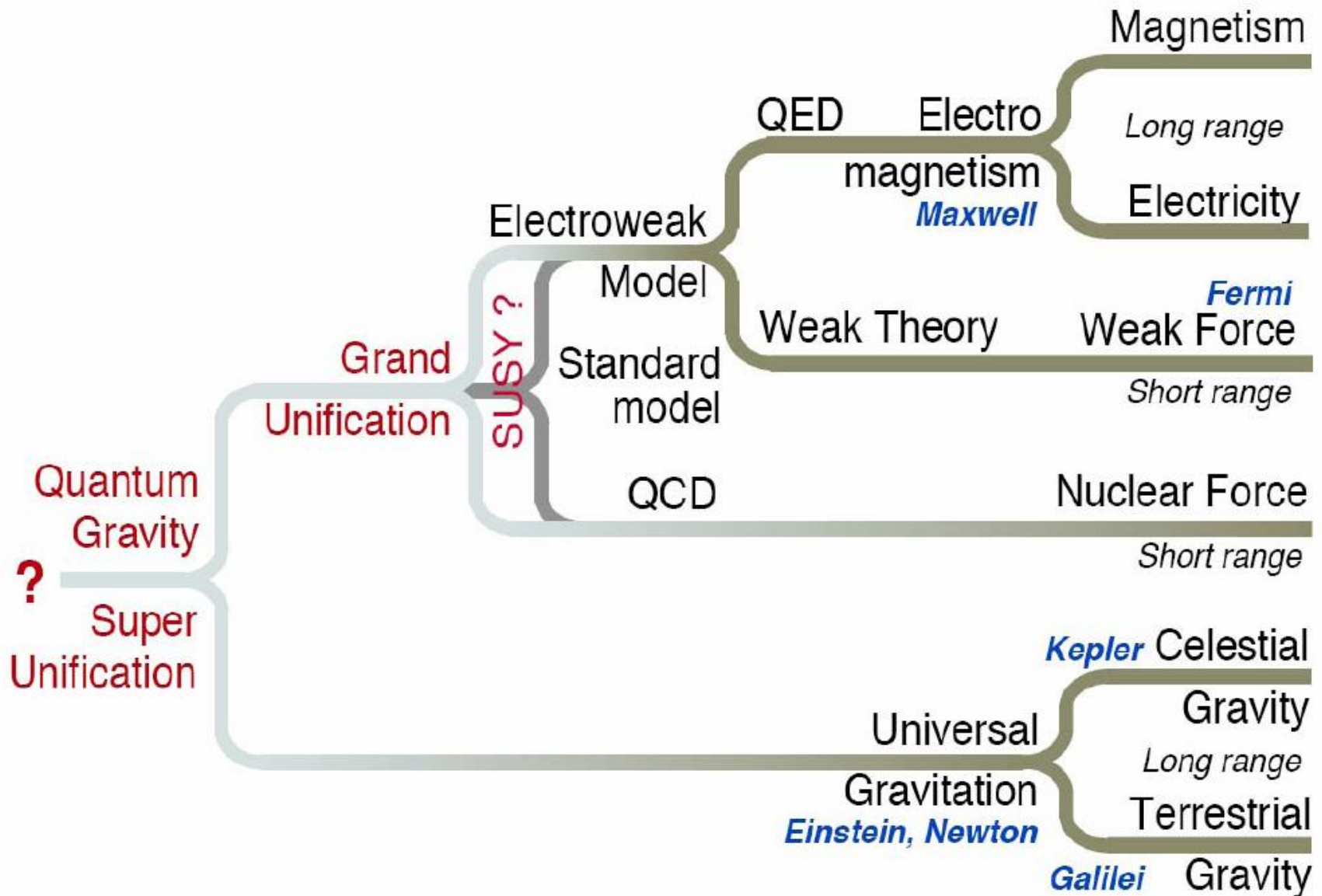


Bosonen	8 Gluonen	$W^+, W^-, Z$	$\gamma$
Gruppe	SU(3)	SU(2)	U(1)
Theorie	starke Kraft	schwache Kraft	elektromagnetische Kraft
	QCD		QED

Beschreibung der Wechselwirkungen  
beruht auf abstrakten Symmetrien  
→ Quantenfeldtheorie

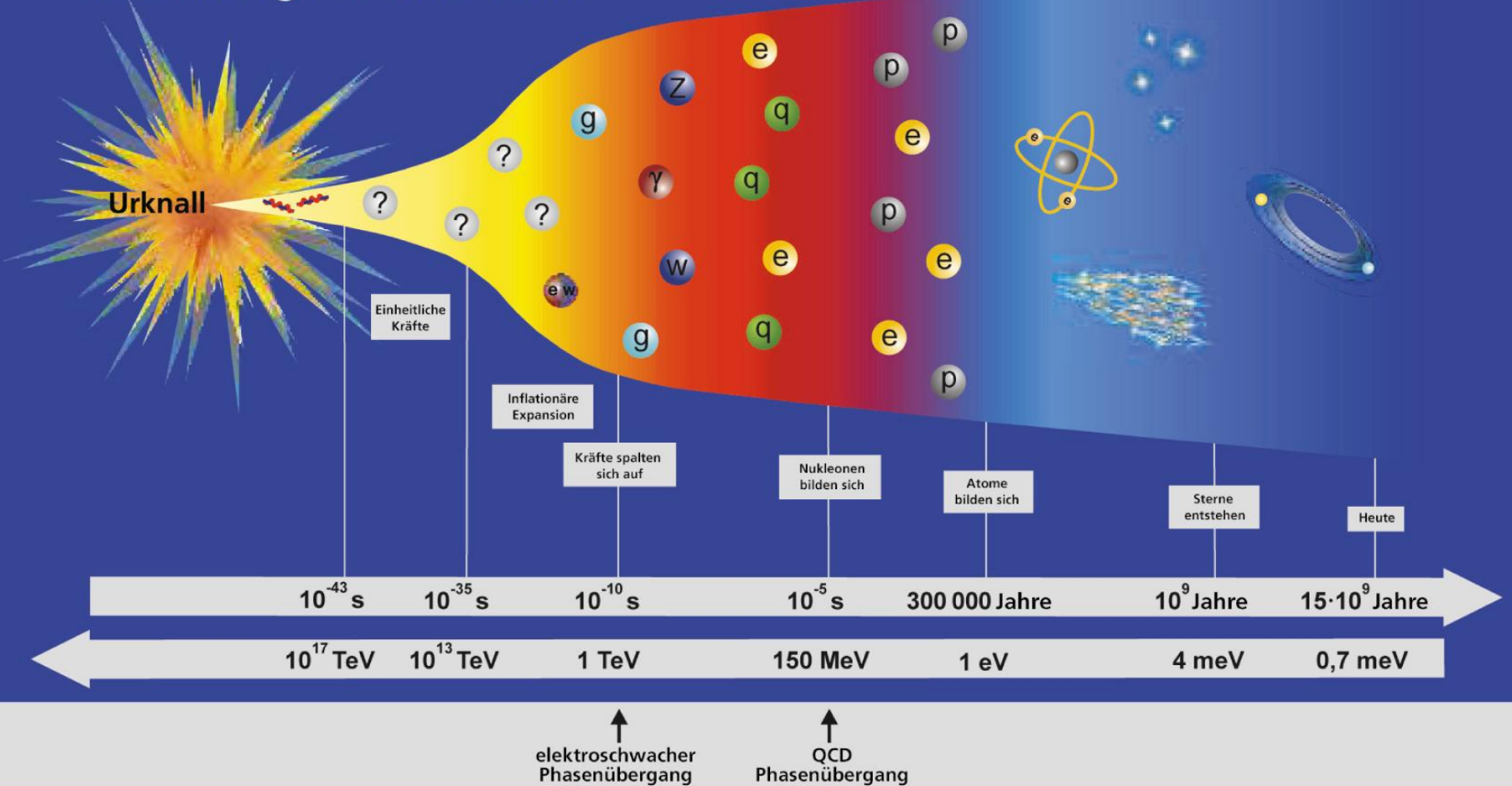


# Einheitliche Theorie: Vereinigung der Kräfte und Weltformel?



# Zusammenhang mit Kosmologie

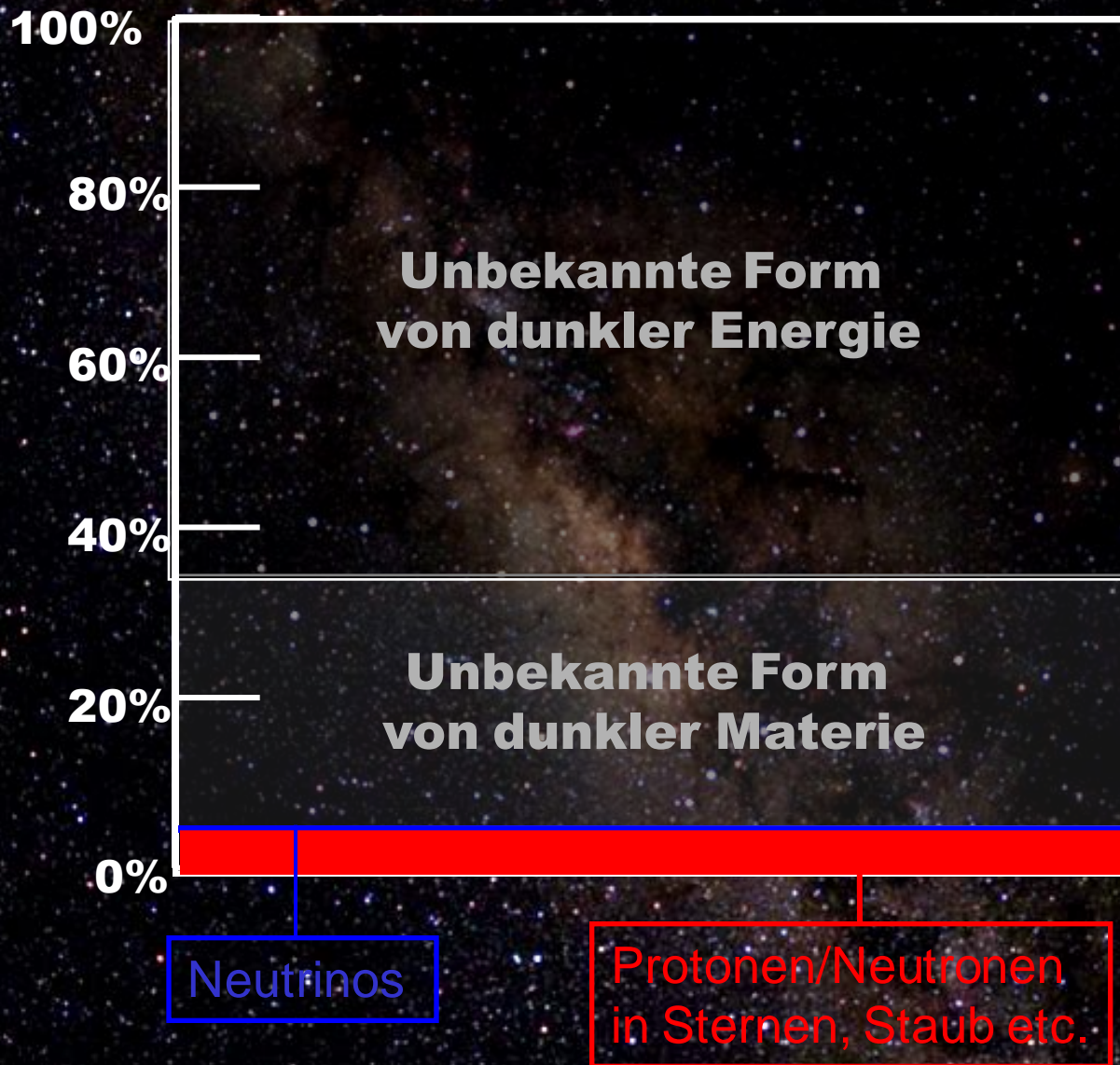
## Entwicklung des Universums



Heisses Universum hat sich ausgedehnt.

Frühes Universum: hohe Temperatur/Energie → neuartige Phänomene

# Energiehaushalt des Universums

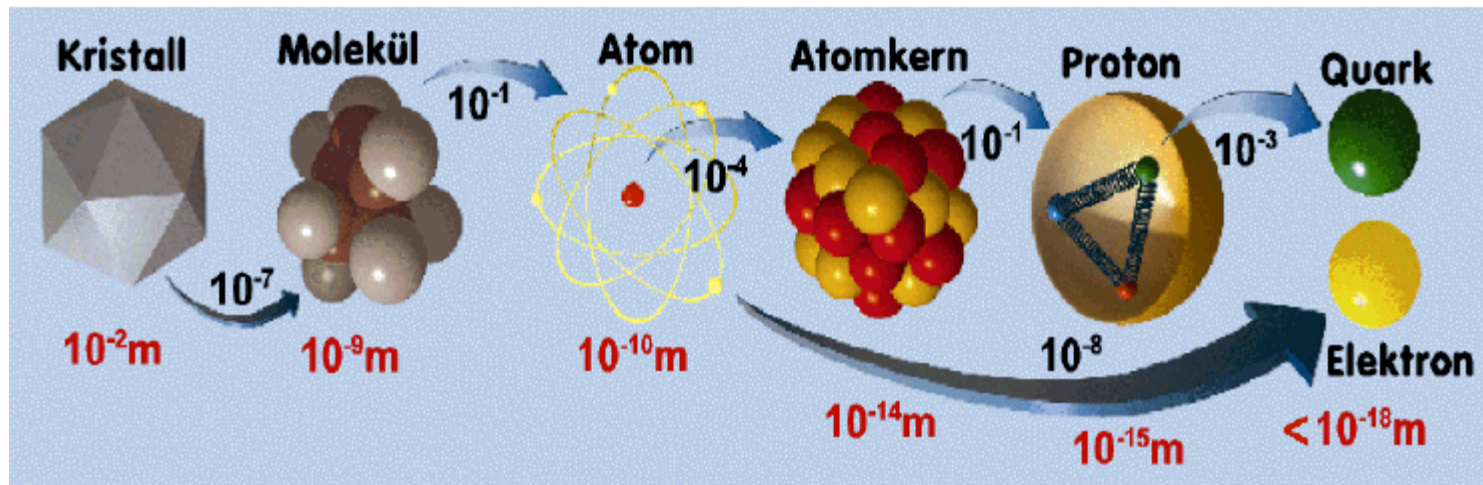
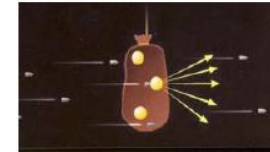




# Experimentelle Methoden

Die räumliche Auflösung wird bei hohen Impulsen besser

$$\Delta x = \frac{\hbar}{p}$$



Auge,  
Mikroskop

Elektronenmikroskop

Hochenergetische  
Teilchenstrahlen

# Forschungslabors der Teilchenphysik (Beispiele)



Deutsches-Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg

SLAC



Stanford Linear Accelerator Center

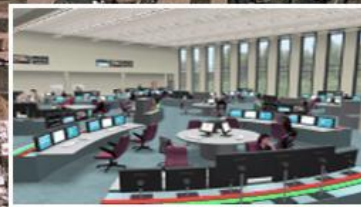
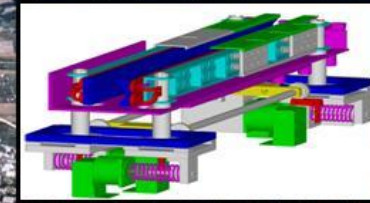
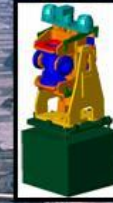
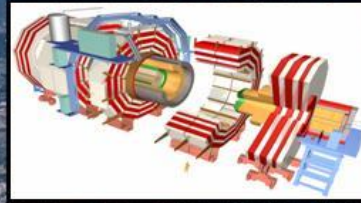
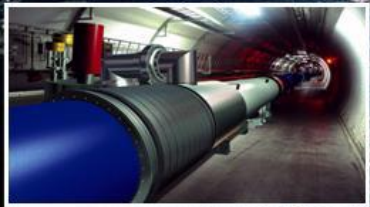
Fermi-National-Accelerator-Laboratory (FNAL), USA



Conseil-Européenne-pour la-Recherche-Nucléaire (CERN), CH/F

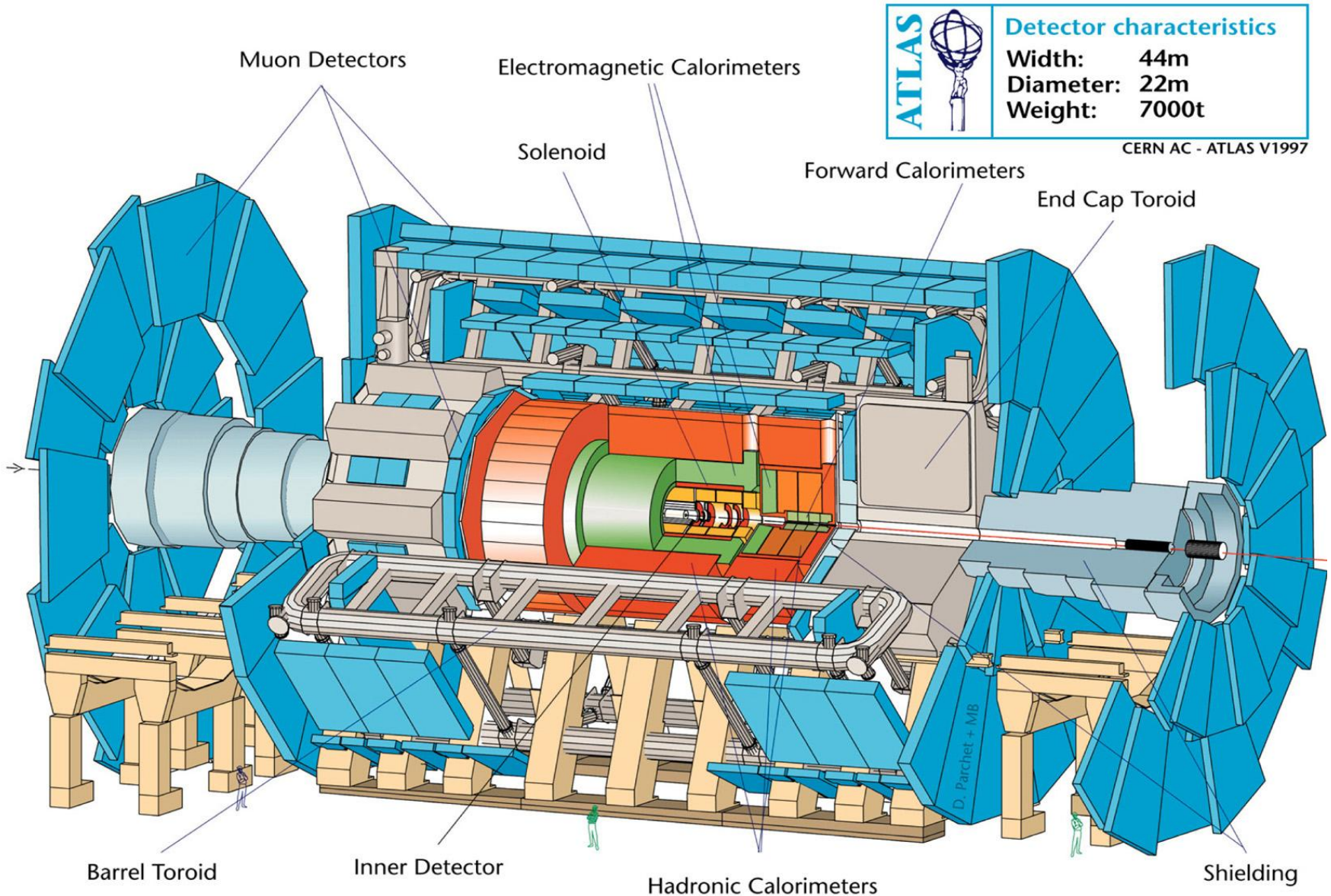


# Beschleuniger z.B, Large Hadron Collider LHC



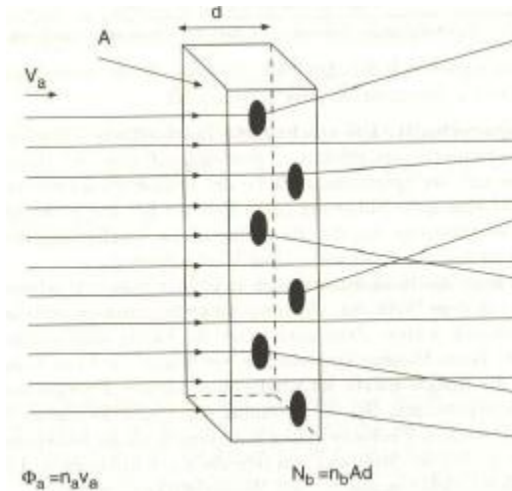


# Detektoren: Beispiel ATLAS am LHC bei CERN



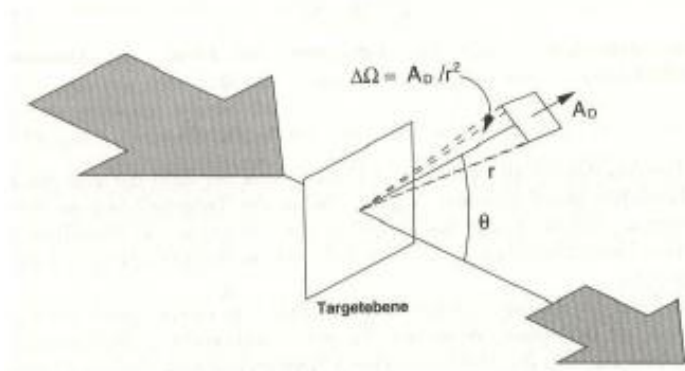
# Totaler und differentieller Wirkungsquerschnitt

Interpretation als geometrischer Wirkungsquerschnitt aus B. Povh et al.



B. Povh, K. Rith, C. Scholz und F. Zetsche, *Teilchen und Kerne*

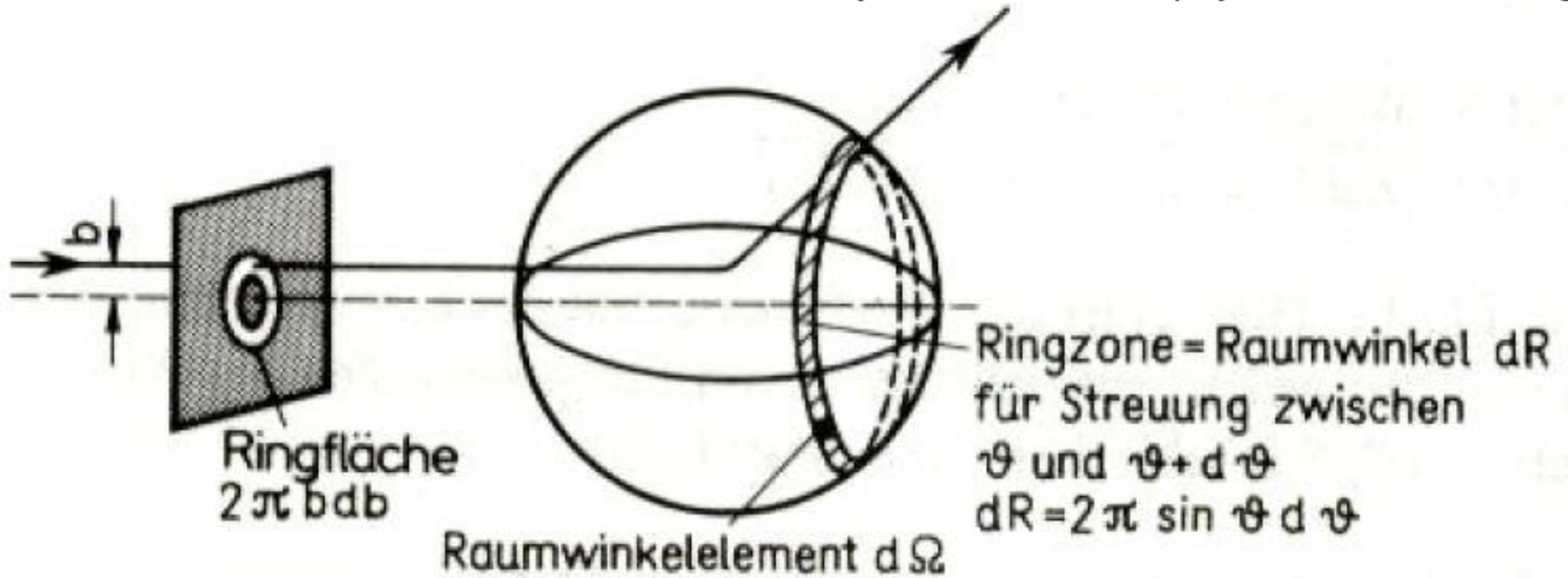
Skizze zum differentiellen Wirkungsquerschnitt aus B. Povh et al.



B. Povh, K. Rith, C. Scholz und F. Zetsche, *Teilchen und Kerne*

# Geometrische Verhältnisse bei elastischer Streuung

Th. Mayer-Kuckuck, *Kernphysik*, Teubner Verlag



Zur Herleitung des Zusammenhangs zwischen  
Stossparameter  $b$  und Streuwinkel  $\theta$