

# Wie funktioniert unsere Welt?

Einführung Q2-Ph1LK (Ben)  
**CMS Masterclass**

**Einführungs-Vortrag  
nach der Vorlage von**

**Stefan Schoppmann**

**III. Physikalisches  
Institut der RWTH  
Aachen,  
Stand: Dez. 2015**

Unsere Erde und das ganze Universum besteht aus **Elementarteilchen**.

Wenn wir genau hinsehen, erkennen wir, dass diese Teilchen **Spuren** hinterlassen.

Durch die Erforschung dieser Spuren lernen wir, woraus unsere Erde besteht, wie die Teilchen miteinander wechselwirken und wie letztendlich unsere Erde und unser ganzes Universum funktioniert.

**CMS Masterclass**  
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

**JARA** | Jülich Aachen  
Research Alliance **Kids**

(c) 2015 by  
Stefan Bechstein

**GaG** GYMNASIUM  
AM GEROWEIER

AN INITIATIVE OF  
**RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM



# Wie funktioniert unsere Welt?

Nebelkammer  
(Foto: JARA-Kids 2015)



**CMS Masterclass**  
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

**JARA** | Jülich Aachen  
Research Alliance **Kids**

(c) 2015 by  
Stefan Bechstein

**GaG** GYMNASIUM  
AM GEROWEIER

AN INITIATIVE OF  
**RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM



# Wie funktioniert unsere Welt?

Nebelkammer  
(Film: JARA-Kids 2015)

Video: Zeiger\_Spuren1.mp4



# Wie funktioniert unsere Welt?

## Nebelkammer

(Foto: JARA-Kids 2015)

Die Spuren sind

- lang
- kurz
- gerade
- gekrümmt
- **ausgeprägt**
- oder kaum zu sehen
- ...

und zeigen in die unterschiedlichsten Richtungen.





# Blick in das Innerste der Welt

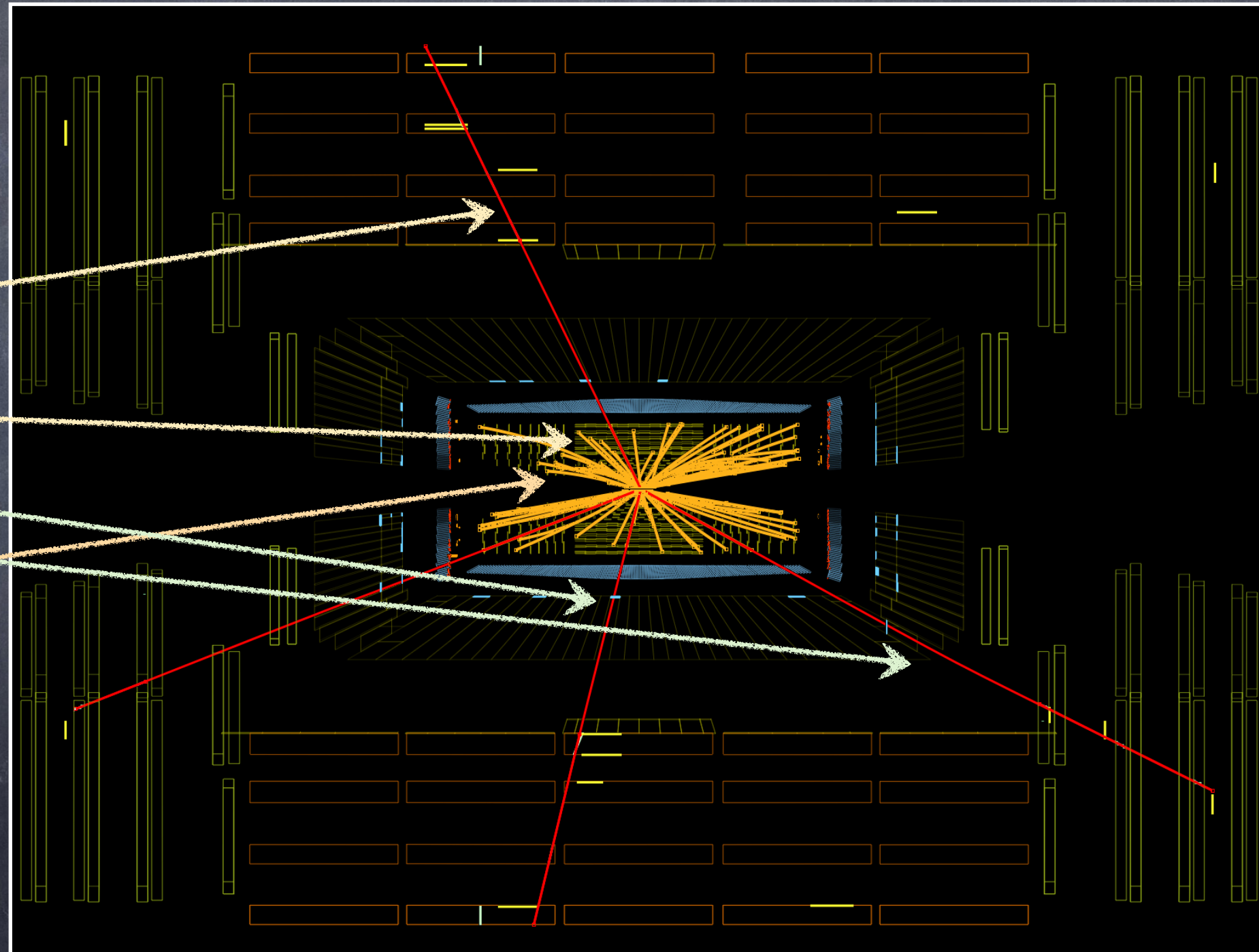
## CMS Detector

(Foto: CMS)

Auch diese Spuren sind

- lang
- kurz
- gerade
- gekrümmt
- **ausgeprägt**
- oder kaum zu sehen
- ...

und zeigen in die unterschiedlichsten Richtungen.





# Blick in das Innerste der Welt

Im LHC am CERN/CH werden Teilchen beschleunigt und so dicht zur Kollision gebracht, dass einen kurzen Moment lang ein sehr dichtes, sehr heißes Plasma entsteht.

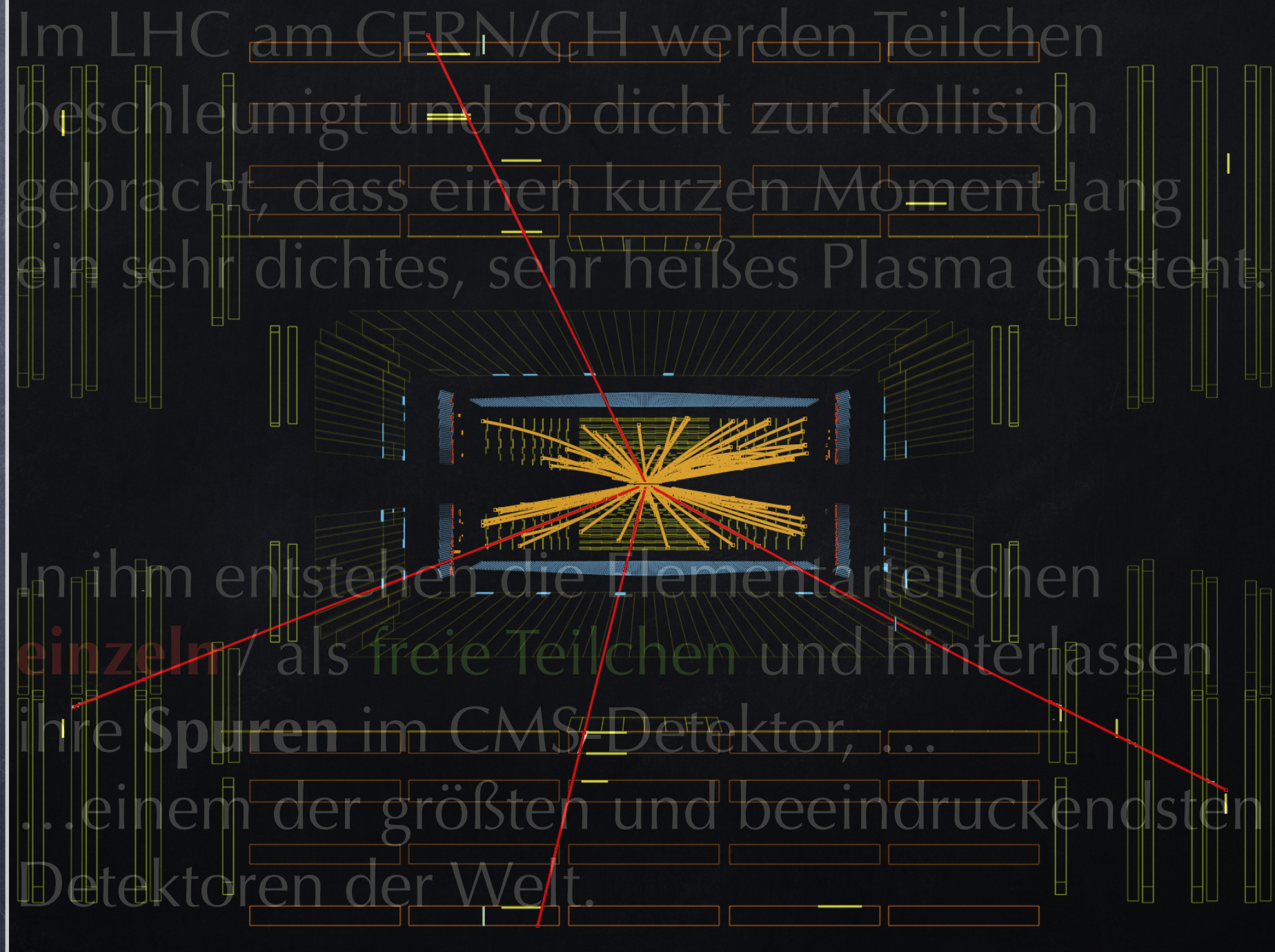
In ihm entstehen die Elementarteilchen **einzeln** / als **freie Teilchen** und hinterlassen ihre **Spuren** im CMS-Detektor, ...  
...einem der größten und beeindruckendsten Detektoren der Welt.



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Programm:

- Aufbau der Materie
- Kräfte zwischen den Elementarteilchen
- Standardmodell und Teilchenzoo
- von der Nebelkammer zum CMS-Detektor: wie werden Spuren detektiert?
- Der Mini-Urknall im Detektor, Beschleuniger mit Supraleitern und wellenreitende (Anti)-Materie





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Nun beginnen die einzelnen Grundlagen-Kapitel.

**CMS Masterclass**  
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

**JARA** | Jülich Aachen  
Research Alliance *Kids*

(c) 2015 by  
Stefan Bechstein

**GG** GYMNASIUM  
AM GEROWEIER

AN INITIATIVE OF  
**RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY  **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM



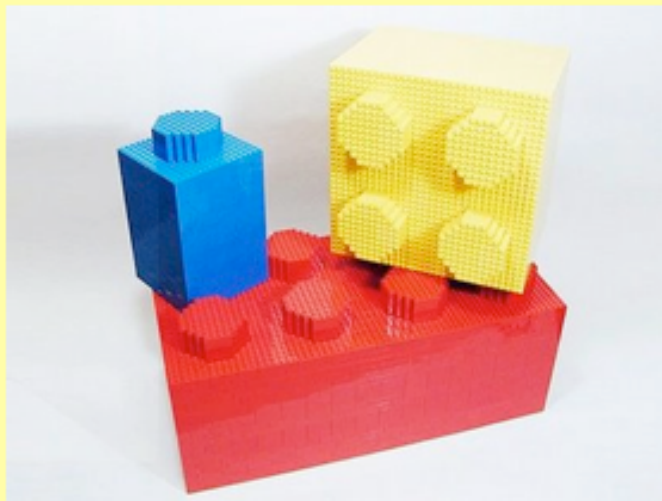
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 1: Aufbau der Materie (Kai, Jan-Ulrich)

Atome sind die Bausteine der Materie  
→ aus ihnen kann alles zusammengebaut werden



Sind Atome die kleinsten Bausteine?



→ kann man Atome zerteilen?



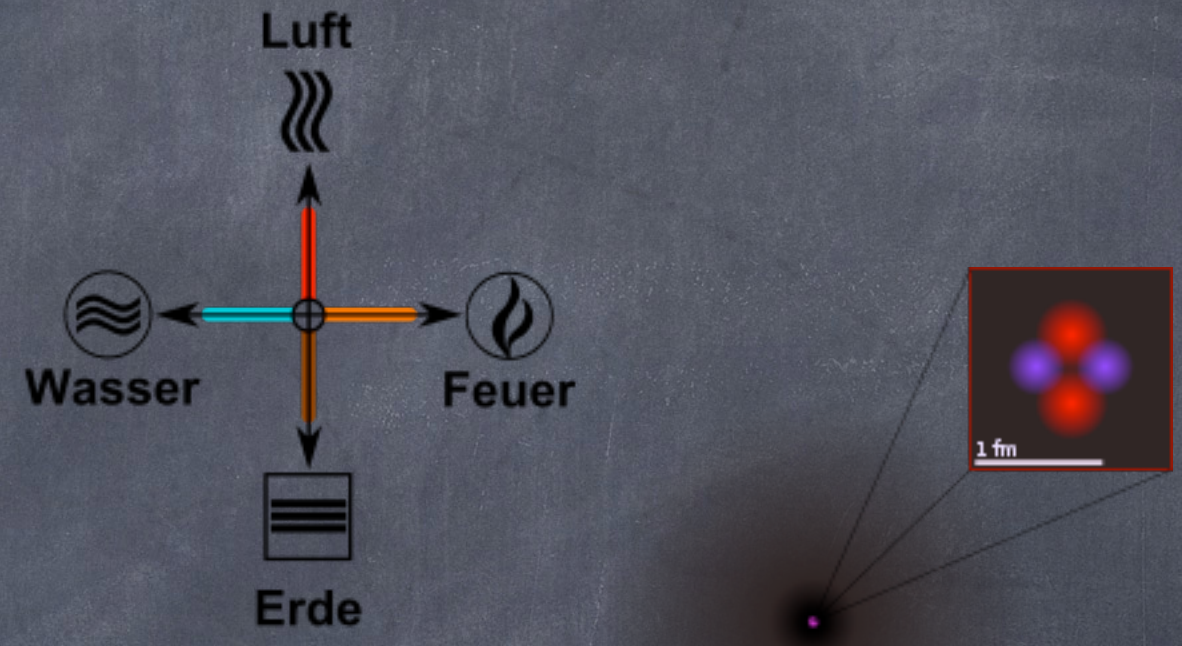
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 1: Aufbau der Materie

### Historische Vorstellungen:

Um 585 v. Chr.: Nach Thales von Milet „ist alle Materie unvergänglich, das Wasser bildet den Urstoff und Urgrund (Arche) für alle Erscheinungen in der Welt.“ Später (um 500 v.Chr.):

Vier **Elemente**-Lehre Wasser, Erde, Feuer und Luft

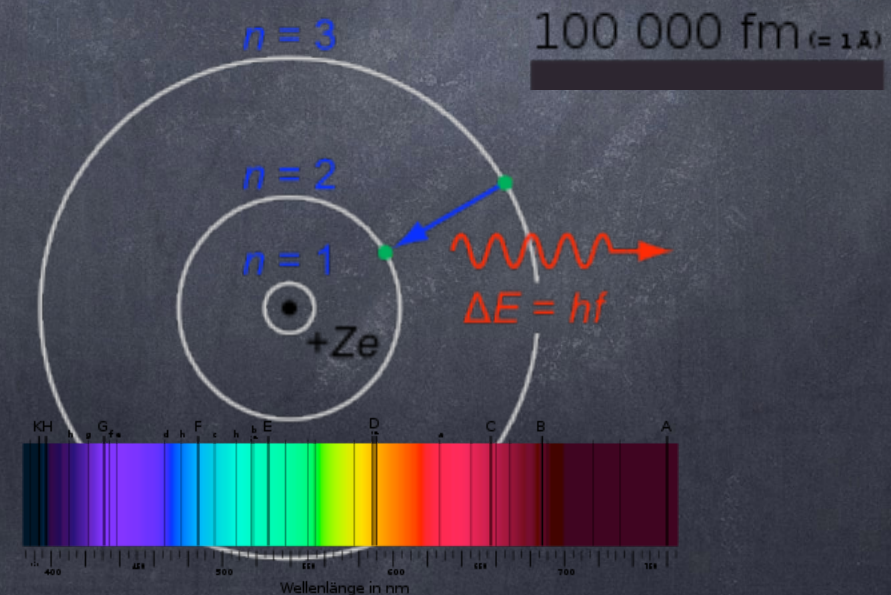


Idee: es gibt kleinste, **unteilbare** Teilchen (**Atom**)

Widerspruch?

Nein, Modellwechsel.

Atom **besteht aus** Elektronen, Protonen und Neutronen





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 1: Aufbau der Materie

Atom **besteht aus** Elektronen, Protonen und Neutronen

Elektronen und Protonen haben **Ladungen** (Elementarladung)

Es gibt **Wechselwirkungen** zwischen Teilchen

Teilchen haben **Masse**

I

VIII

1,01 H 1																	4,00 He 2						
6,94 Li 3	9,01 Be 4																	10,81 B 5	12,01 C 6	14,01 N 7	16,00 O 8	19,00 F 9	20,18 Ne 10
22,99 Na 11	24,31 Mg 12																	26,98 Al 13	28,09 Si 14	30,97 P 15	32,06 S 16	35,45 Cl 17	39,95 Ar 18
		III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a			I a	II a												
39,10 K 19	40,08 Ca 20	44,96 Sc 21	47,87 Ti 22	50,94 V 23	52,00 Cr 24	54,94 Mn 25	55,85 Fe 26	58,93 Co 27	58,69 Ni 28	63,55 Cu 29	65,39 Zn 30	69,72 Ga 31	72,61 Ge 32	74,92 As 33	78,96 Se 34	79,90 Br 35	83,8 Kr 36						
85,47 Rb 37	87,62 Sr 38	88,91 Y 39	91,22 Zr 40	92,91 Nb 41	95,94 Mo 42	97,91 Tc 43	101,0 Ru 44	102,9 Rh 45	106,4 Pd 46	107,9 Ag 47	112,4 Cd 48	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	127,6 Te 52	126,9 I 53	131,3 Xe 54						
132,9 Cs 55	137,3 Ba 56	175,0 Lu 71	178,5 Hf 72	180,9 Ta 73	183,8 W 74	186,2 Re 75	190,2 Os 76	192,2 Ir 77	195,1 Pt 78	197,0 Au 79	200,6 Hg 80	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	209,0 Po 84	210,0 At 85	222,0 Rn 86						
223,0 Fr 87	226,0 Ra 88	262,0 Lr 103	261,1 Rf 104	262,1 Db 105	266,1 Sg 106	264,1 Bh 107	269,1 Hs 108	268,1 Mt 109	273,1 Ds 110	272,1 Rg 111													

Atommasse in u  
(molare Masse)

26,98

Al

Elementsymbol

13

Ordnungszahl

Wasserstoff

radioaktiv

Erdalkalimetalle

Metalle

Halbmetalle

Edelgase

Nichtmetalle

Alkalimetalle



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 1: Aufbau der Materie

**Modellwechsel:** Wieder ein noch detaillierteres Modell:

**Protonen** und **Neutronen** **bestehen aus Quarks**

Das up-Quark hat eine  $+2/3$ -Ladung,  
das down-Quark eine  $-1/3$ -Ladung.

(Proton)  $u+u+d$  haben demnach die  
Ladung  $2/3+2/3-1/3 = 1$

Kann man denn die Ladung des Protons dann  
noch als Elementarladung bezeichnen?

Elektronen und Protonen haben  
**Ladungen** (Elementarladung)

Es gibt **Wechselwirkungen**  
zwischen Teilchen

Teilchen haben **Masse**



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 1: Aufbau der Materie

Oh, toll, ein Eisbär!

Nein, ein Eisbär aus LEGO.

Also viele kleine Steine...

...die aus Plastik bestehen...

...Kohlenstoff-Verbindungen...

...C6 mit 6 Protonen, Neutronen und Elektronen.

Nur zwei Elektronen sind auf der inneren Schale.

Denn sie haben aufgrund ihrer Wellenlänge nur zwei Zustände.

Es sind Fermionen,

deren Energie nicht scharf bestimmbar ist.



Was stimmt denn jetzt? Alles.



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin  
Fragen?



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen (Hanna, Marie)

### Teil 1: Kraft $\leftrightarrow$ Wechselwirkung





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### 1687 Newtonschen Gesetze (Isaac Newton)

1) Wirkt auf einen Körper keine Kraft, dann ändert er seine Bewegung nicht, falls er vorher in Bewegung war oder bleibt in Ruhe, falls er vorher in Ruhe war.

2) Wirkt auf einen Körper eine Kraft, dann ändert der Körper seine Bewegung in die Richtung in die die Kraft wirkt und zwar um so stärker je stärker die Kraft ist

3) Jede Kraft verursacht auch eine Gegenkraft





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

Newtons Gesetze		
Erstes Gesetz	Zweites Gesetz	Drittes Gesetz
		

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

### Elektrostatik

Körper gleicher Ladung stoßen sich ab, ungleiche Ladungen ziehen sich an.

und

### Magnetismus

Gleiche Pole stoßen sich ab, ungleiche Pole ziehen sich an.



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Newtons Gesetze		
Erstes Gesetz	Zweites Gesetz	Drittes Gesetz
		



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Newtons Gesetze		
Erstes Gesetz	Zweites Gesetz	Drittes Gesetz
		

### Gravitation

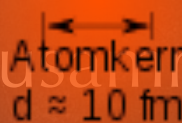
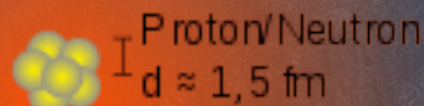
- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

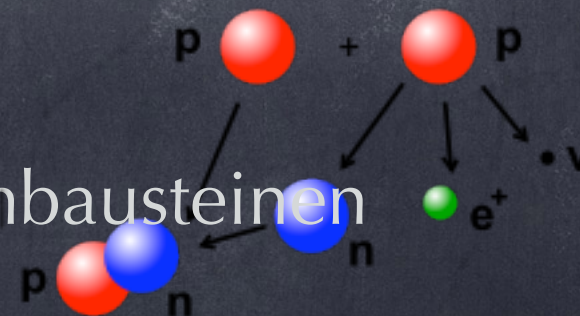
### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)



### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen (Niels)

Teil 2: Kraftfelder  $\leftrightarrow$  Austauschpartikel





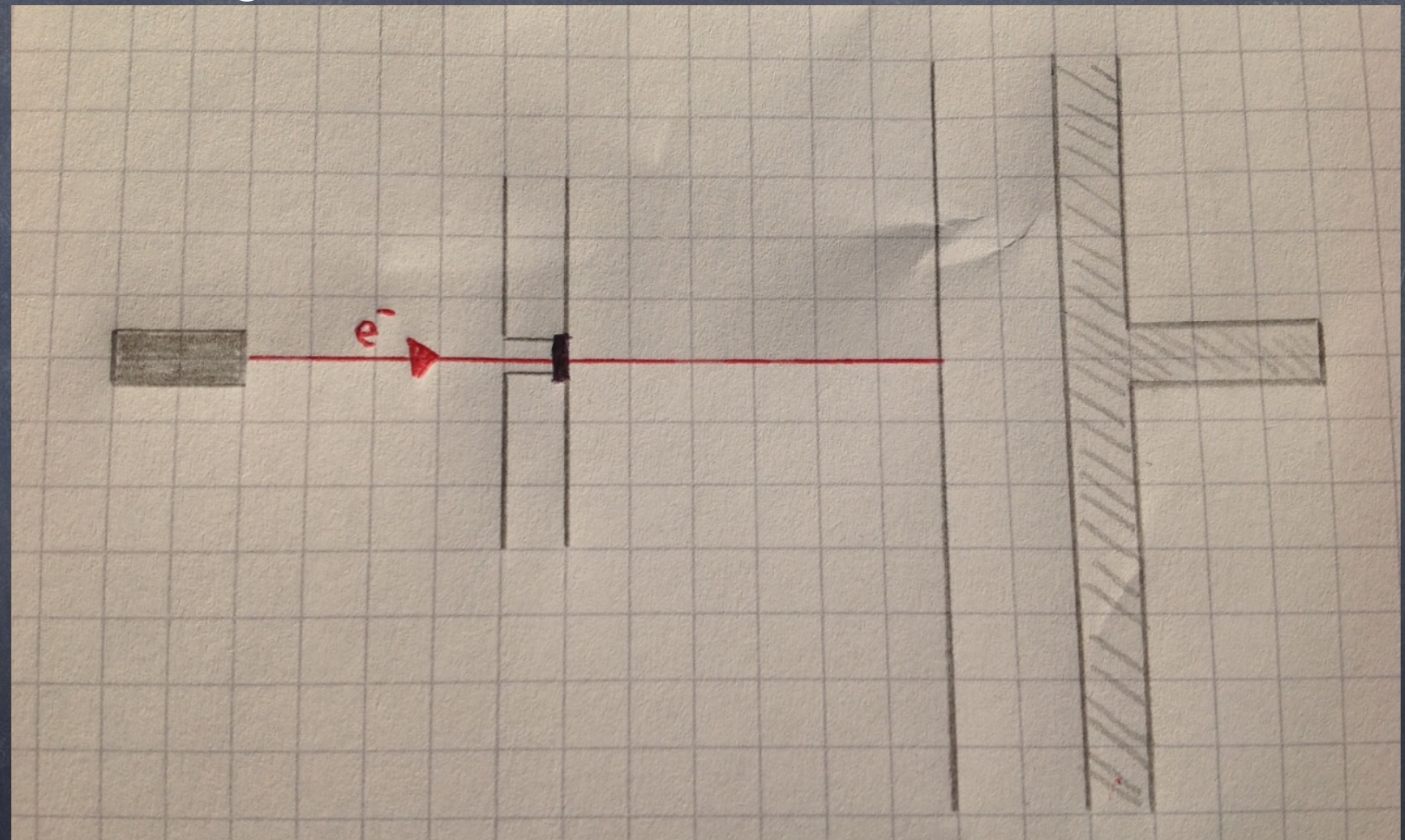
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Louis de Broglie



Erwartung





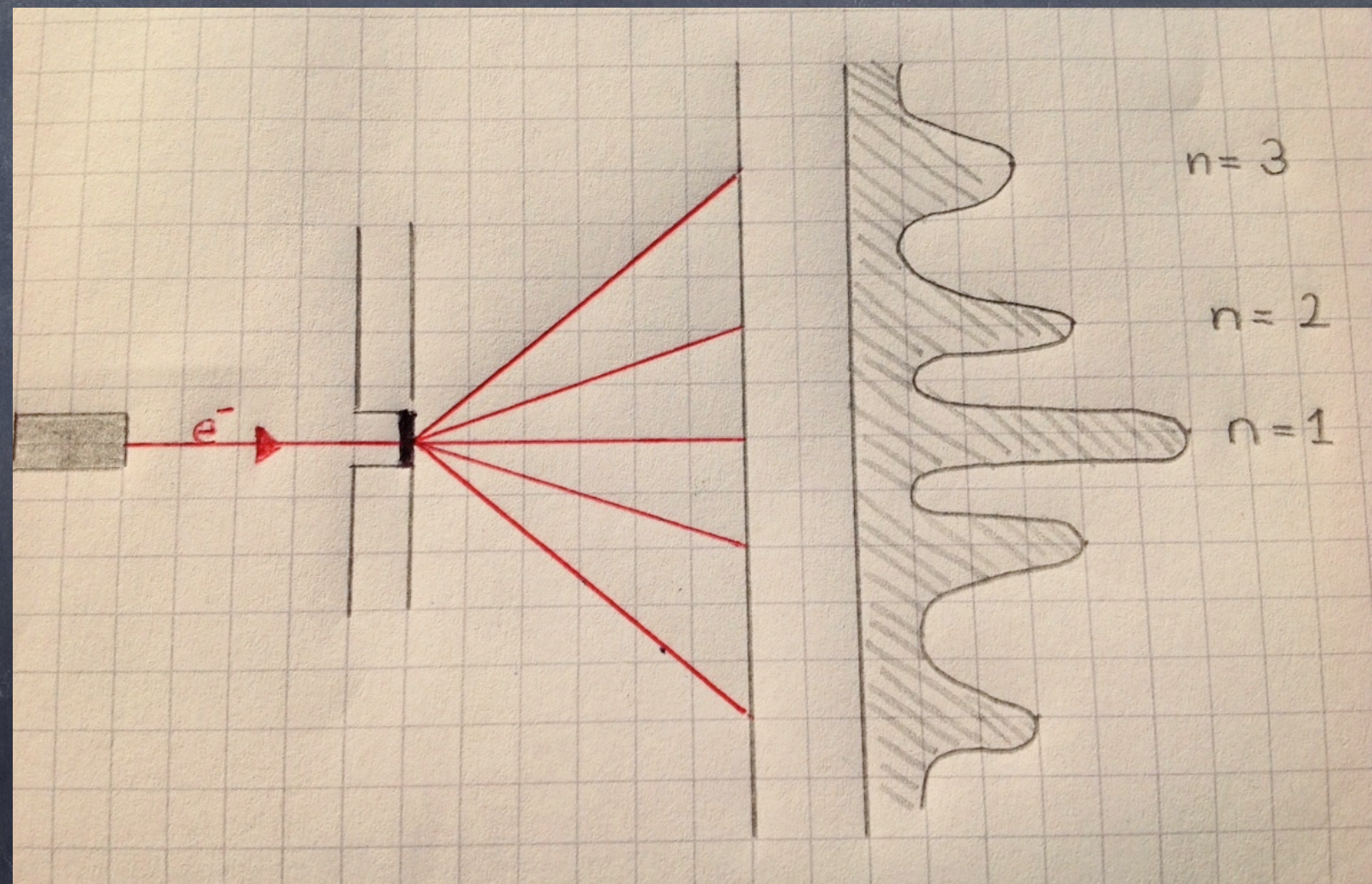
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Louis de Broglie



Messung im Experiment

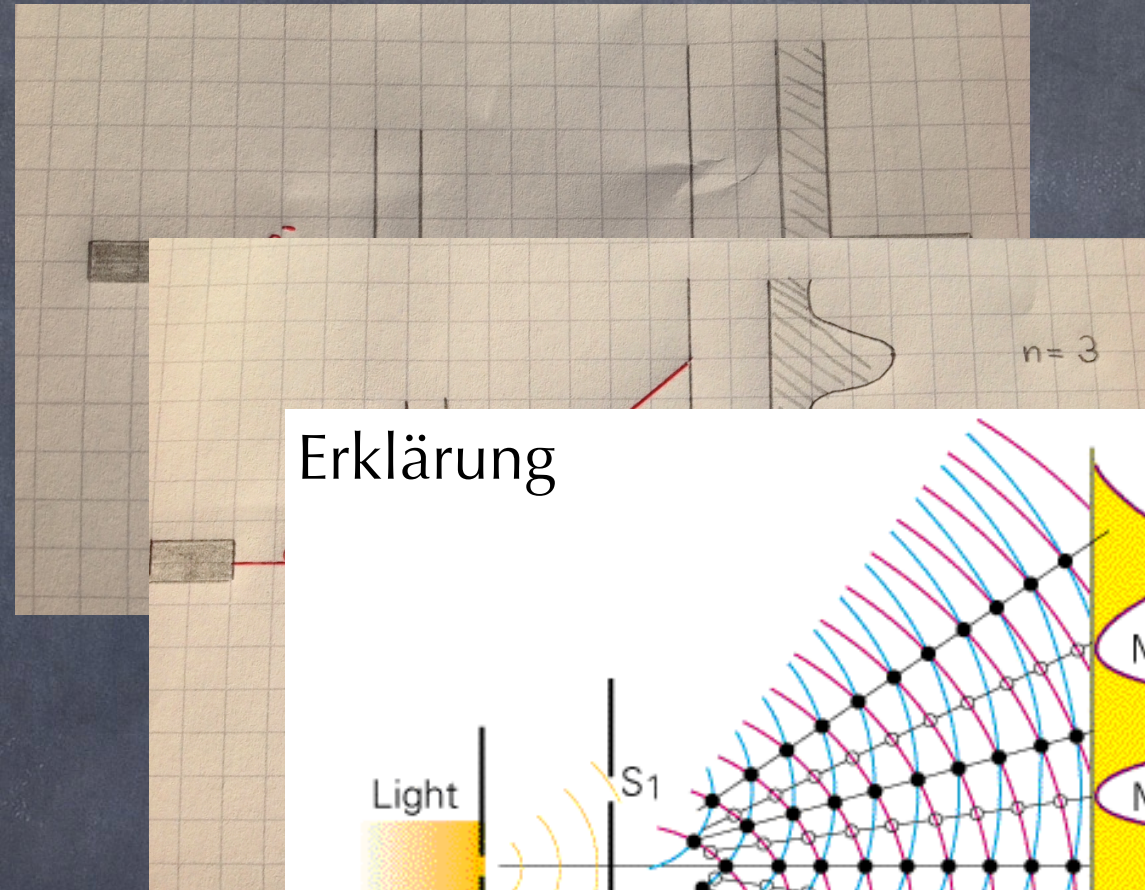




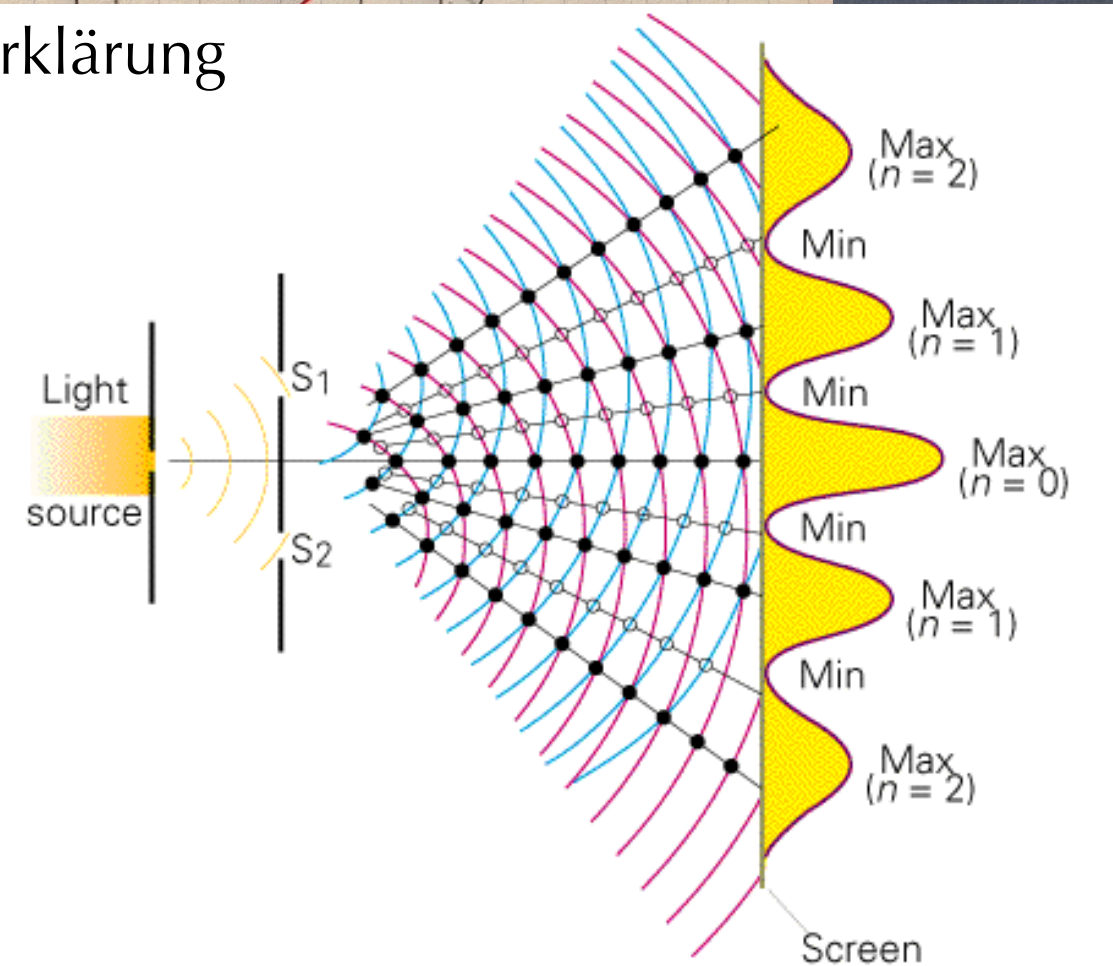
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Louis de Broglie



Erklärung





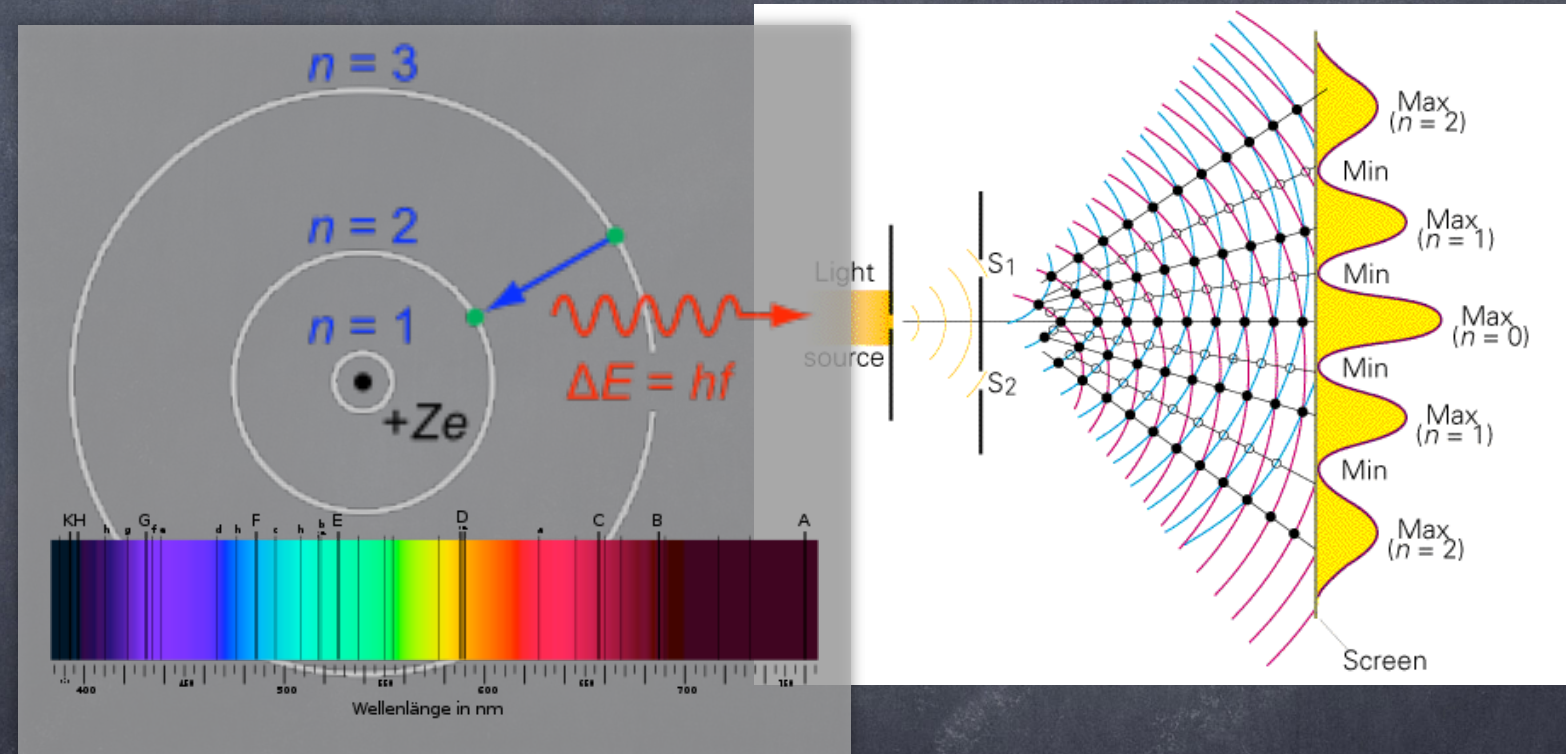
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen (Niels)

### Louis de Broglie



## Kräfte, Felder und Austauschteilchen

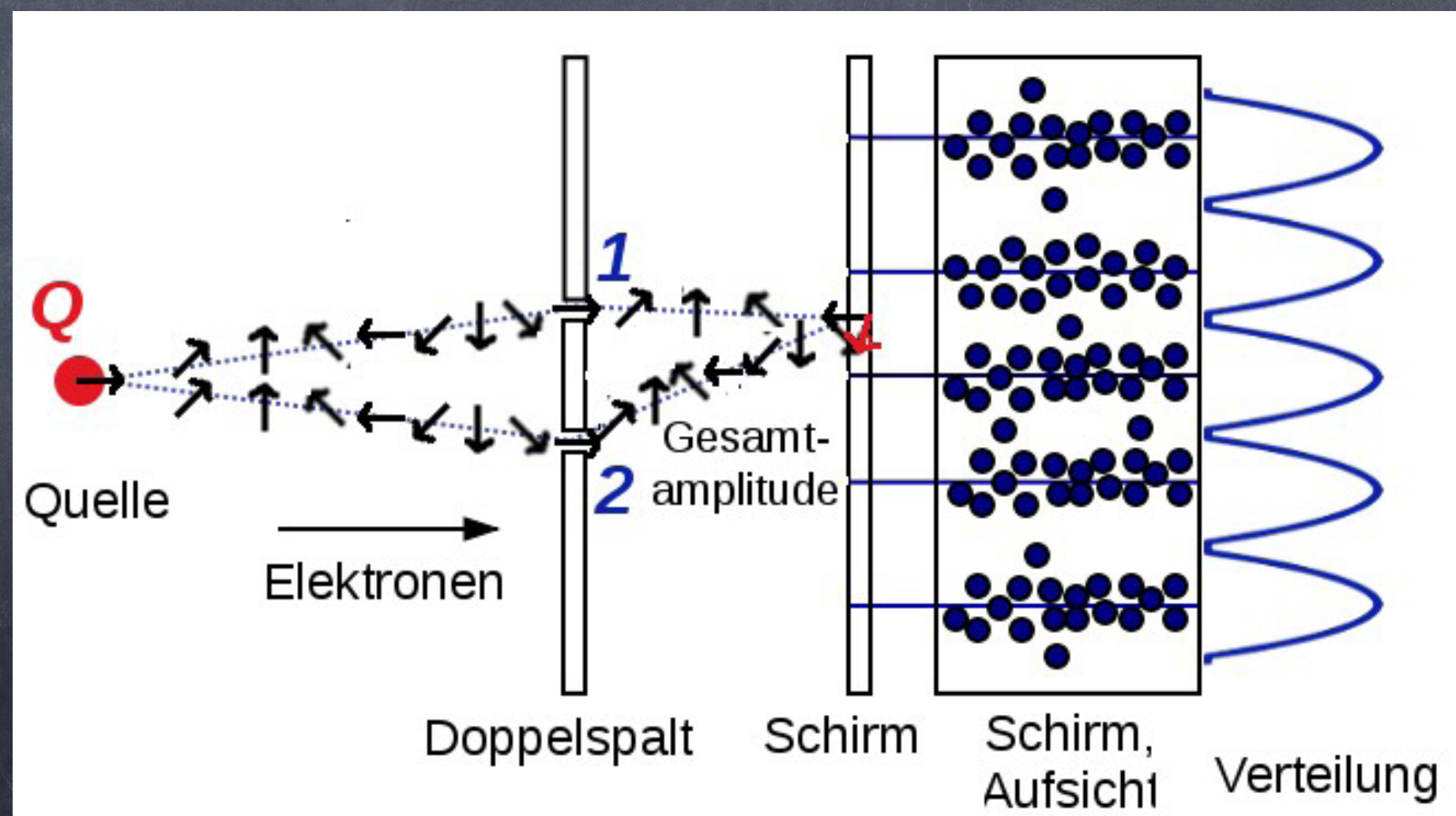




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen (Niels)

Max Born





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

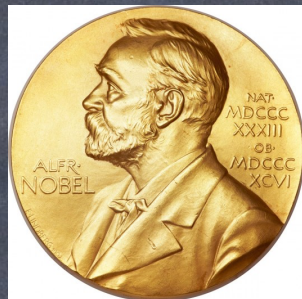
Isaac Newton



um 1687: Die drei  
**Newtonschen Gesetze**



Louis de Broglie



1924: Welle-Teilchen-  
Dualismus - Louis de Broglie

**Teilchen haben  
Welleneigenschaften  
und umgekehrt**

Nobelpreis 1929



Max Born



1926: Statistische  
Interpretation - Max Born

**Verhalten von Teilchen  
nur mit gewisser  
Wahrscheinlichkeit  
vorhersagbar**

Nobelpreis 1954



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Erinnerung  
an Teil 1

### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

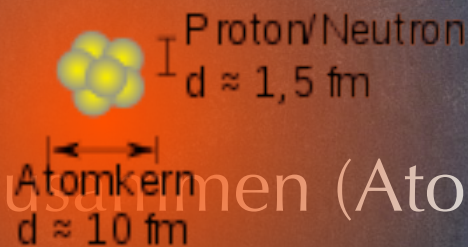
Newtons Gesetze		
Erstes Gesetz	Zweites Gesetz	Drittes Gesetz
		

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)



### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

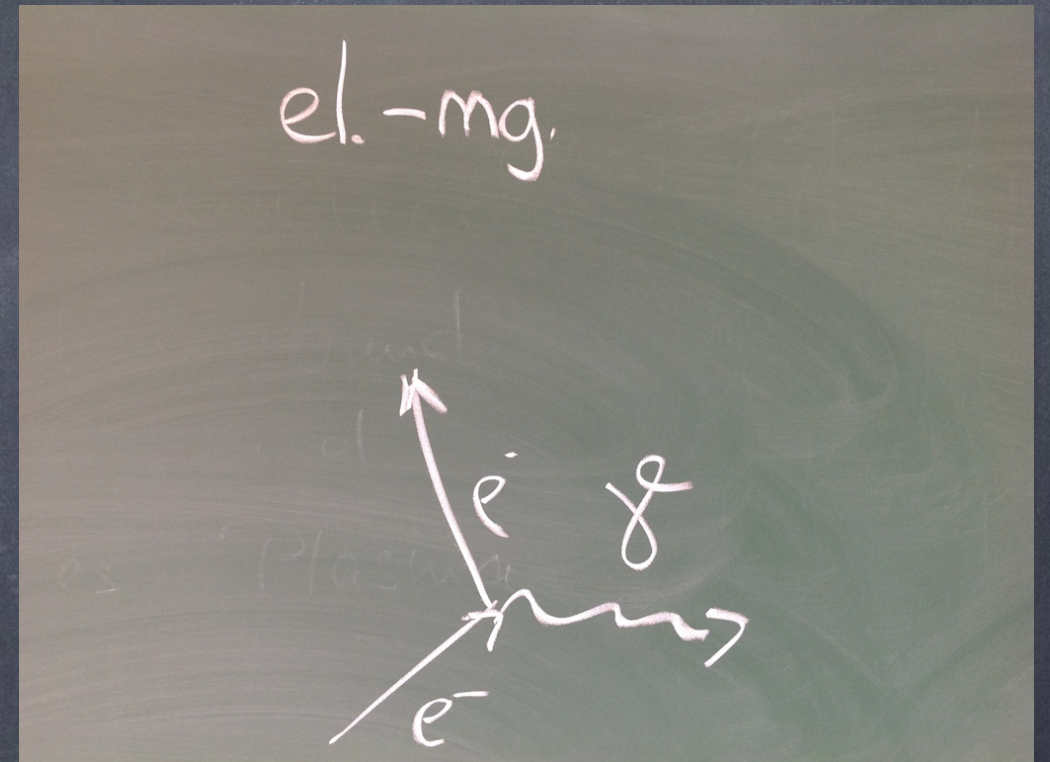
### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

Darstellung



### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

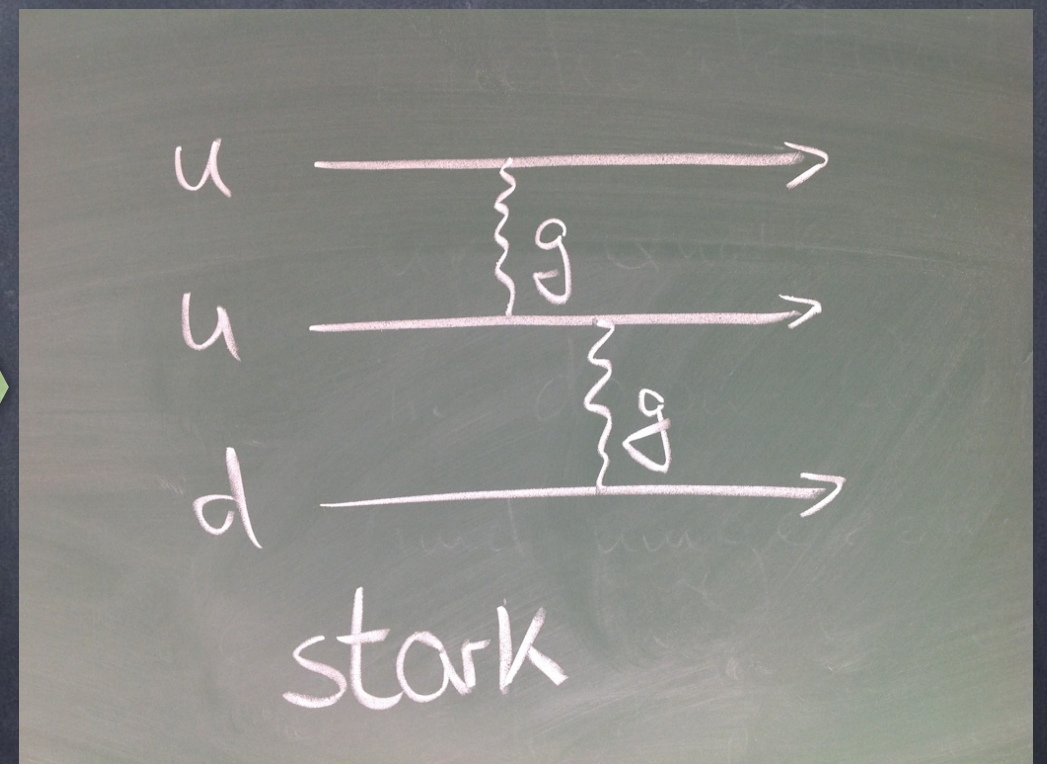
### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Darstellung





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

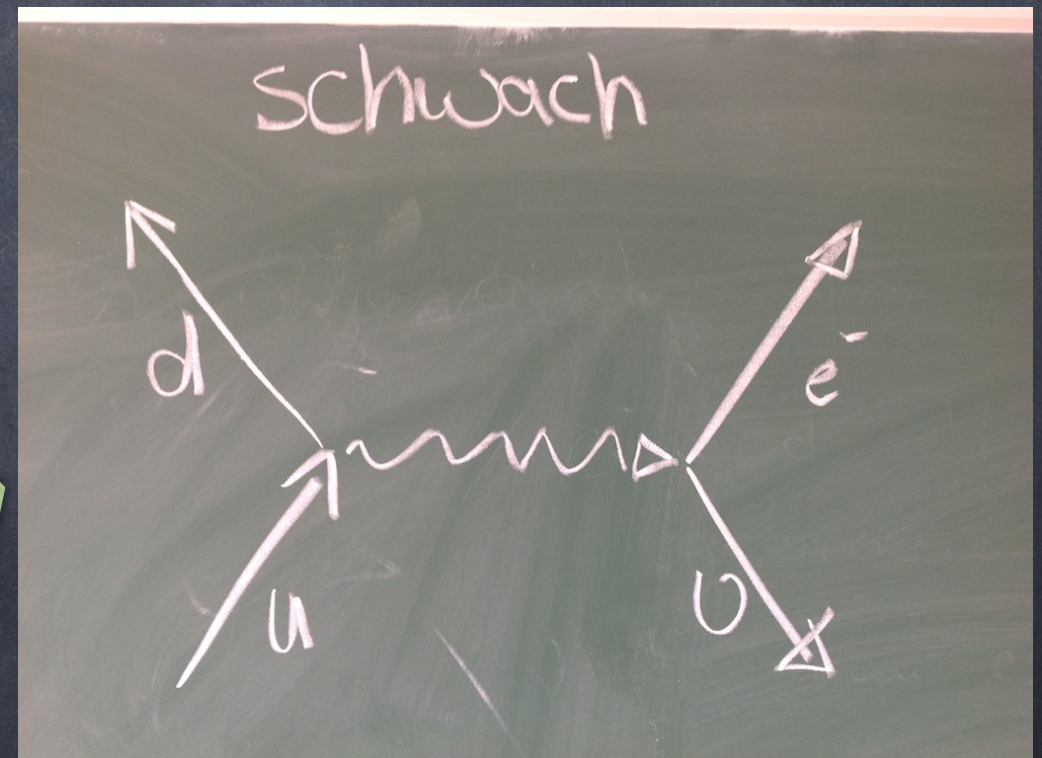
### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Darstellung





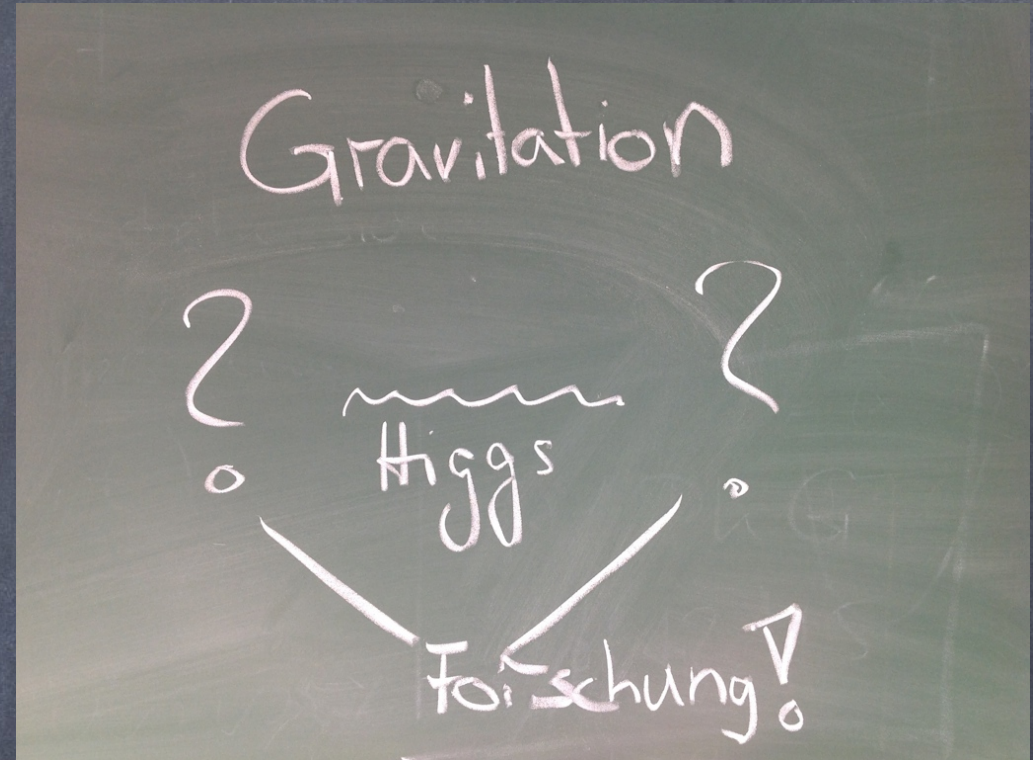
# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

### Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

Darstellung



### Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

### Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

### Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin  
Fragen?



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo (Marcel)

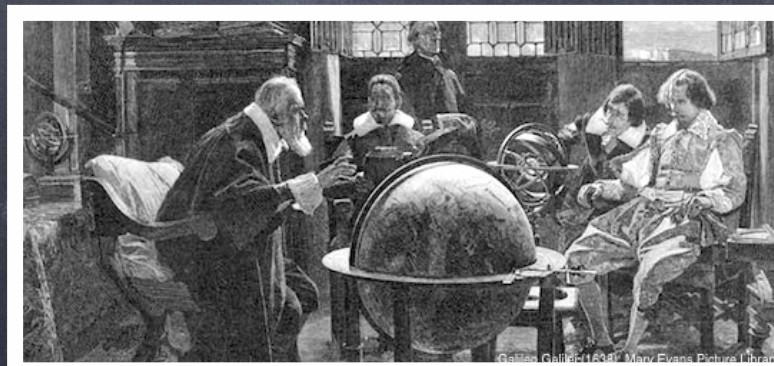




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

Die Menschen hatten schon viele Modelle, mit denen sie sich die Welt, die Natur und alle Prozesse darin erklärt haben.





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo



Unser momentanes Modell besagt, dass alles auf der Erde und um uns herum (Materie) aus Elementarteilchen aufgebaut ist.

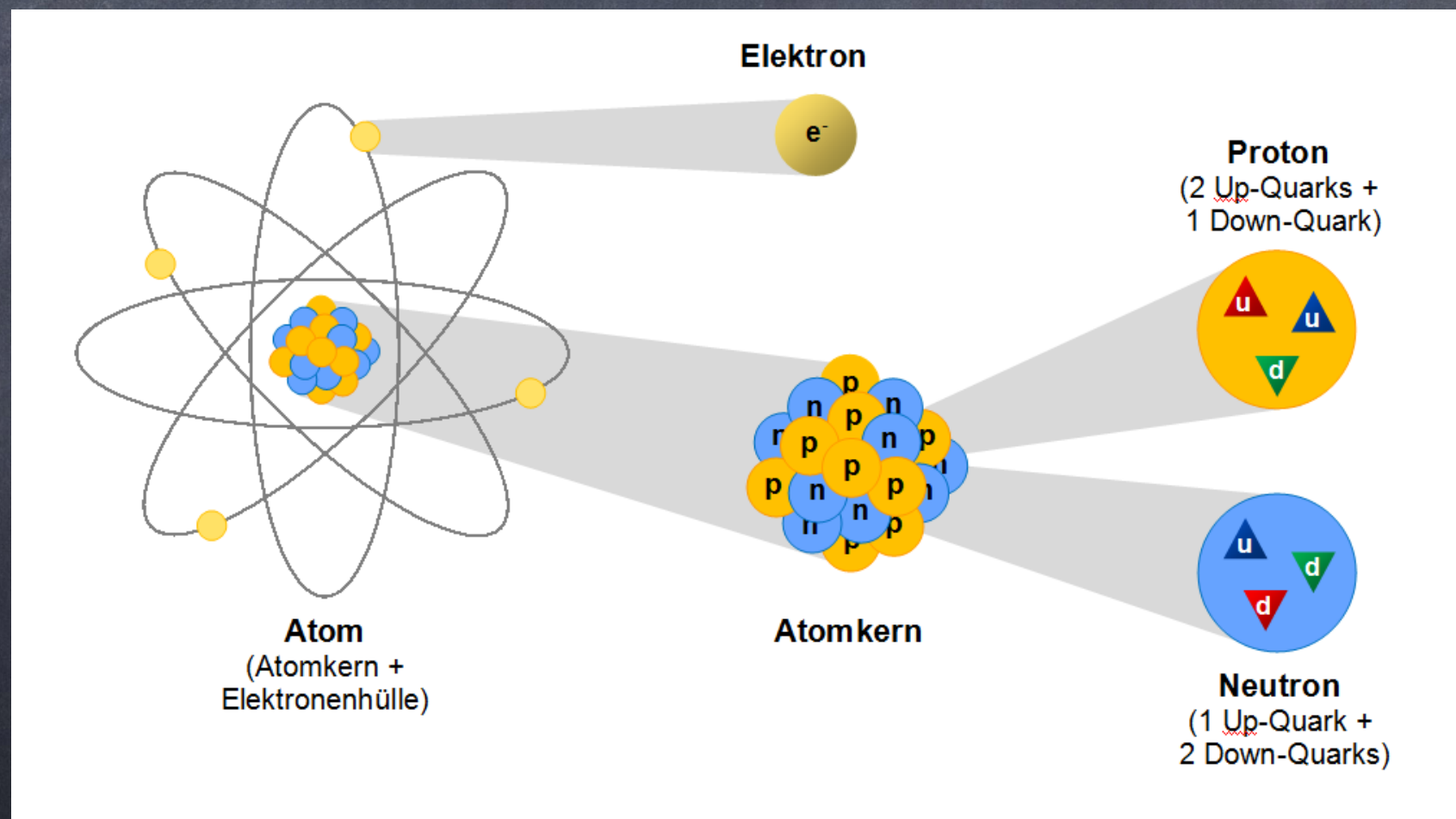


# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo



Atome bestehen aus einer Hülle und einem Kern. Atomkerne bestehen aus up- und down-Quarks:

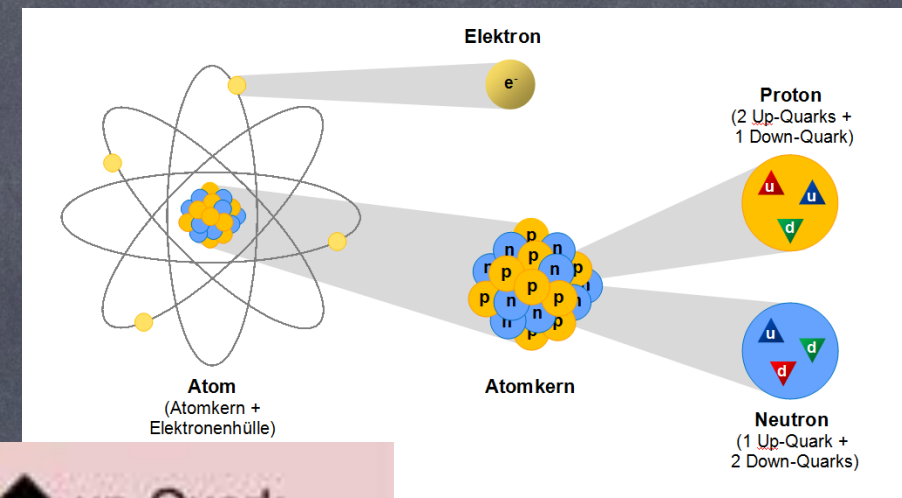




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

denn: up- und down-Quarks  
bilden Protonen und Neutronen:



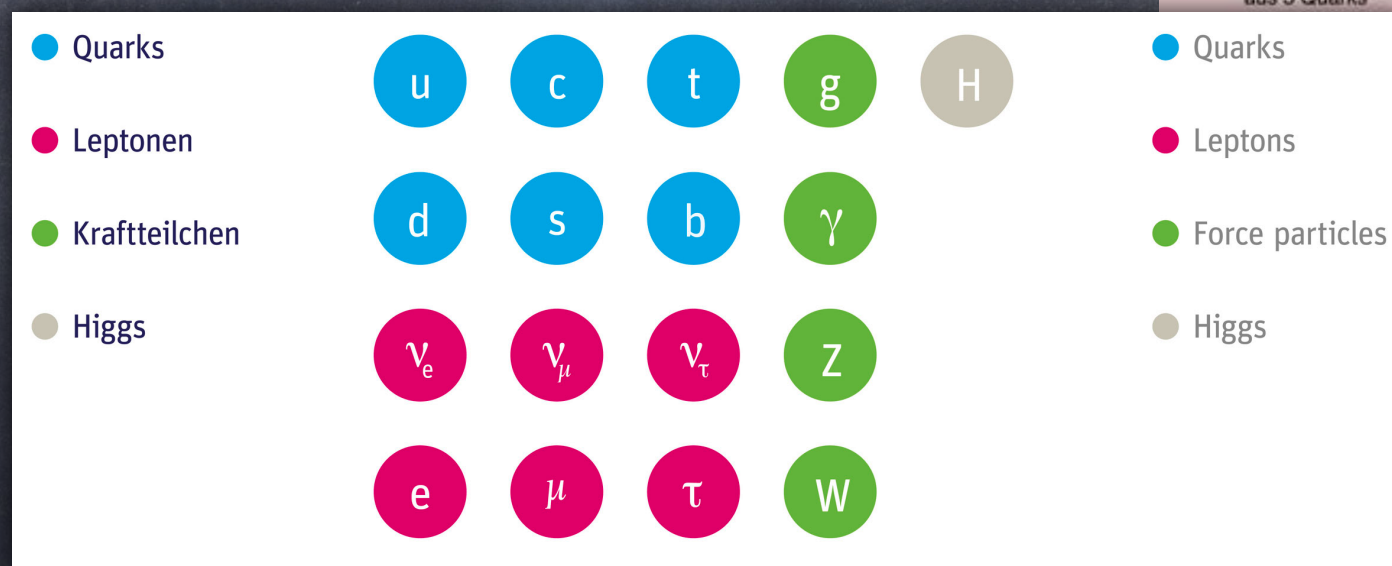
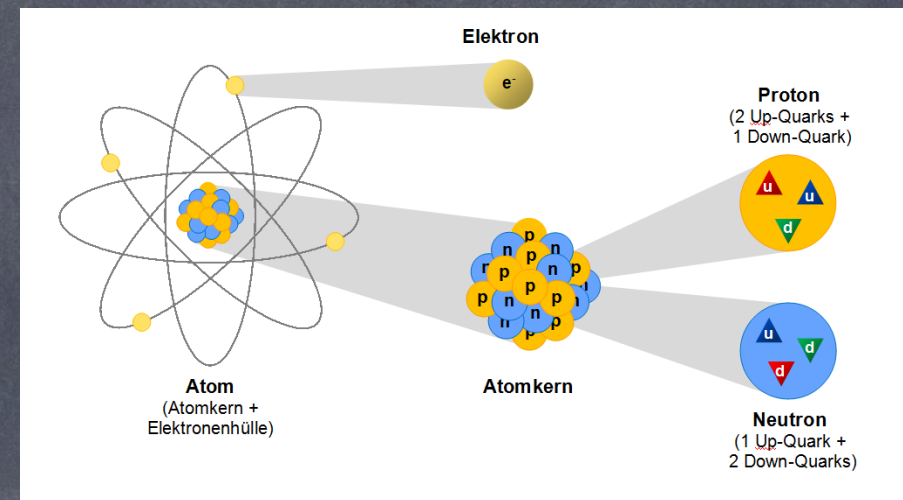


# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

In der Hülle der Atome halten sich Elektronen auf.

Quarks, Elektronen und noch ein paar andere Teilchen bilden das Standardmodell der Physik:



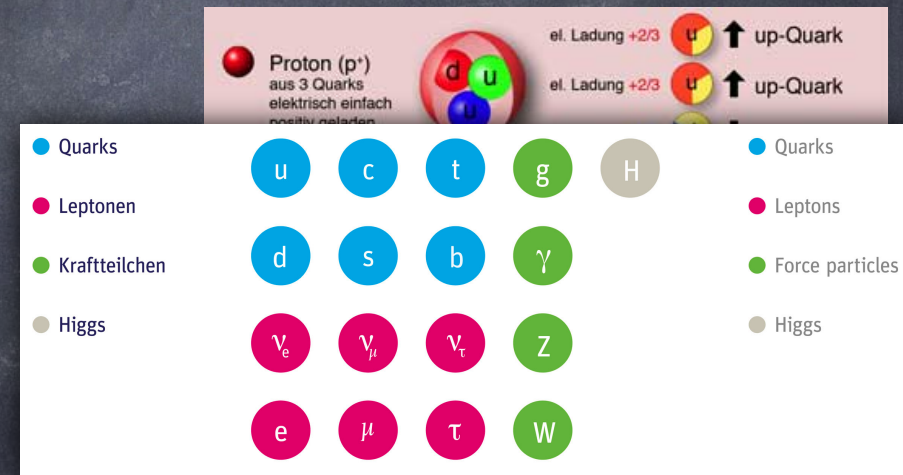
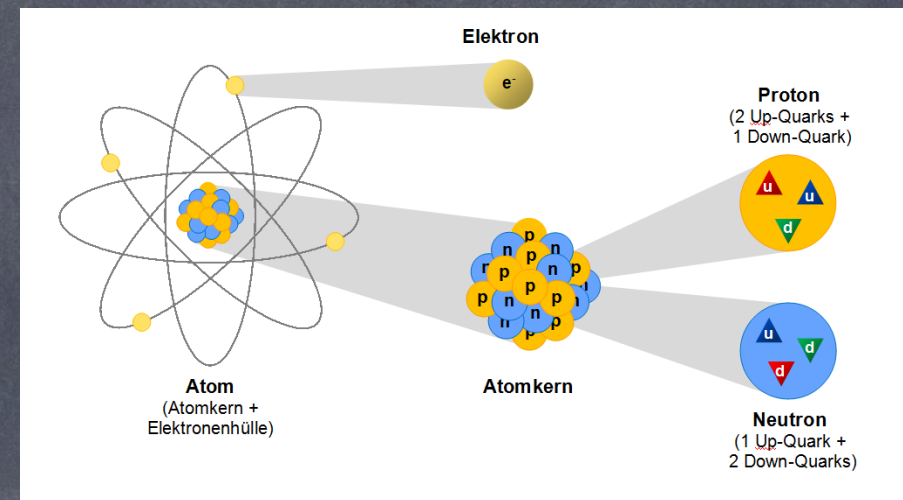


# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

In der Hülle der Atome halten sich Elektronen auf.

Quarks, Elektronen und noch ein paar andere Teilchen bilden das Standardmodell der Physik:

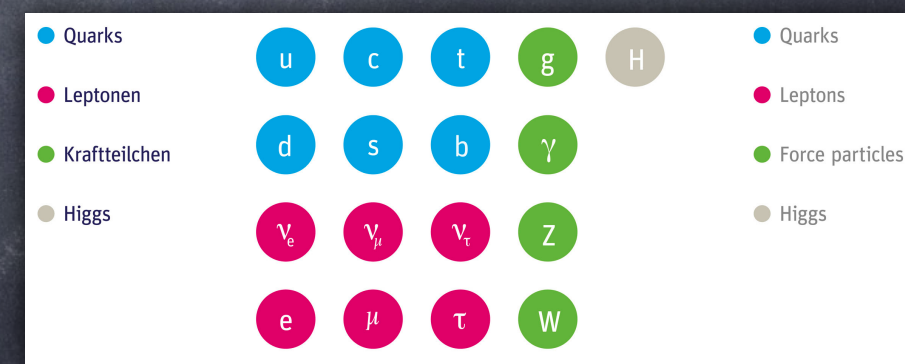




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

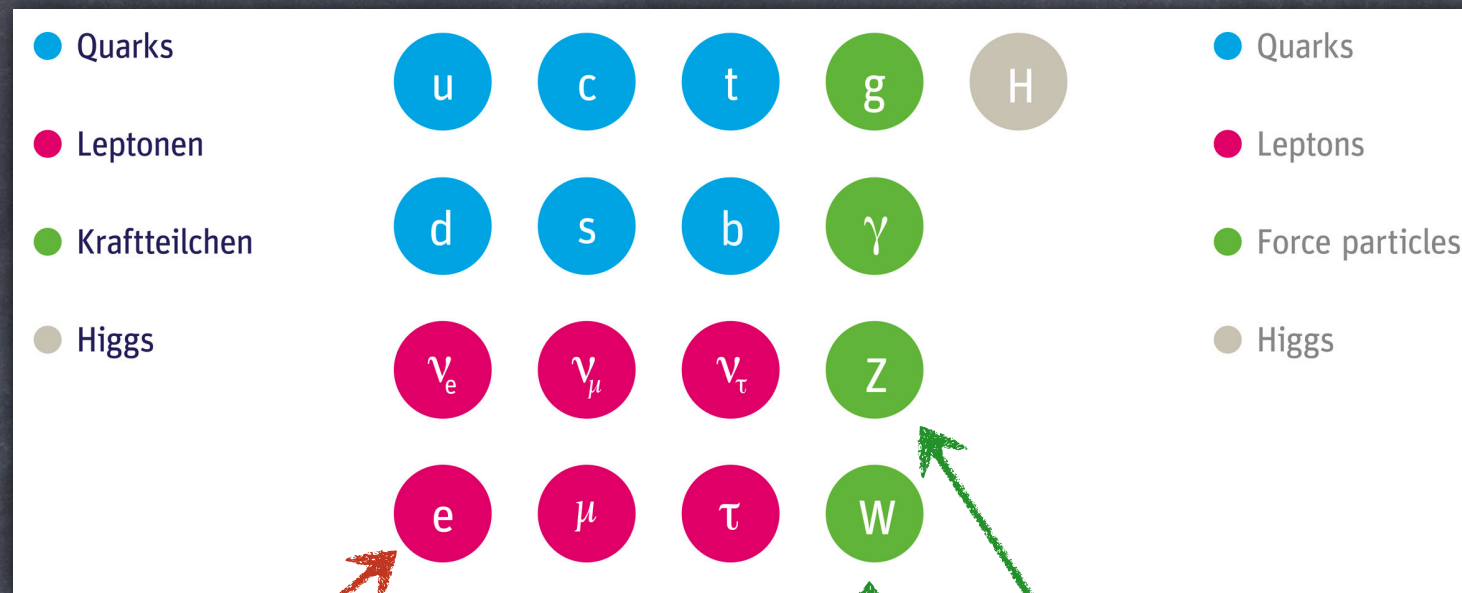
Wenn unser momentanes Modell der Elementarteilchen richtig ist, könnten wir ganz viel erklären und noch mehr neu entwickeln.





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo



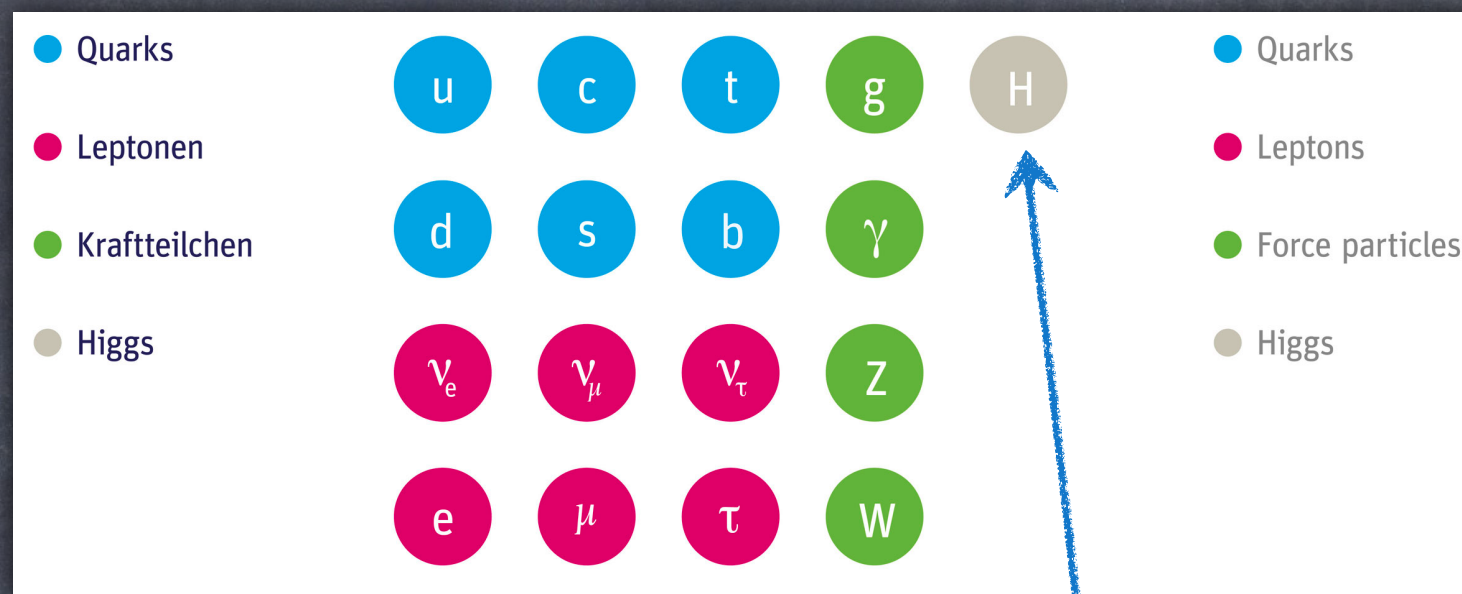
Mit der Entdeckung der **Elektronen** verstanden die Menschen die Elektrizität.

Mit der Entdeckung der **W- und Z- Bosonen** verstanden sie die Radioaktivität.



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo



Nun haben die Menschen das **Higgs-Teilchen** entdeckt - es ist für die **Gravitation** (z.B. Erdanziehung) verantwortlich...



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

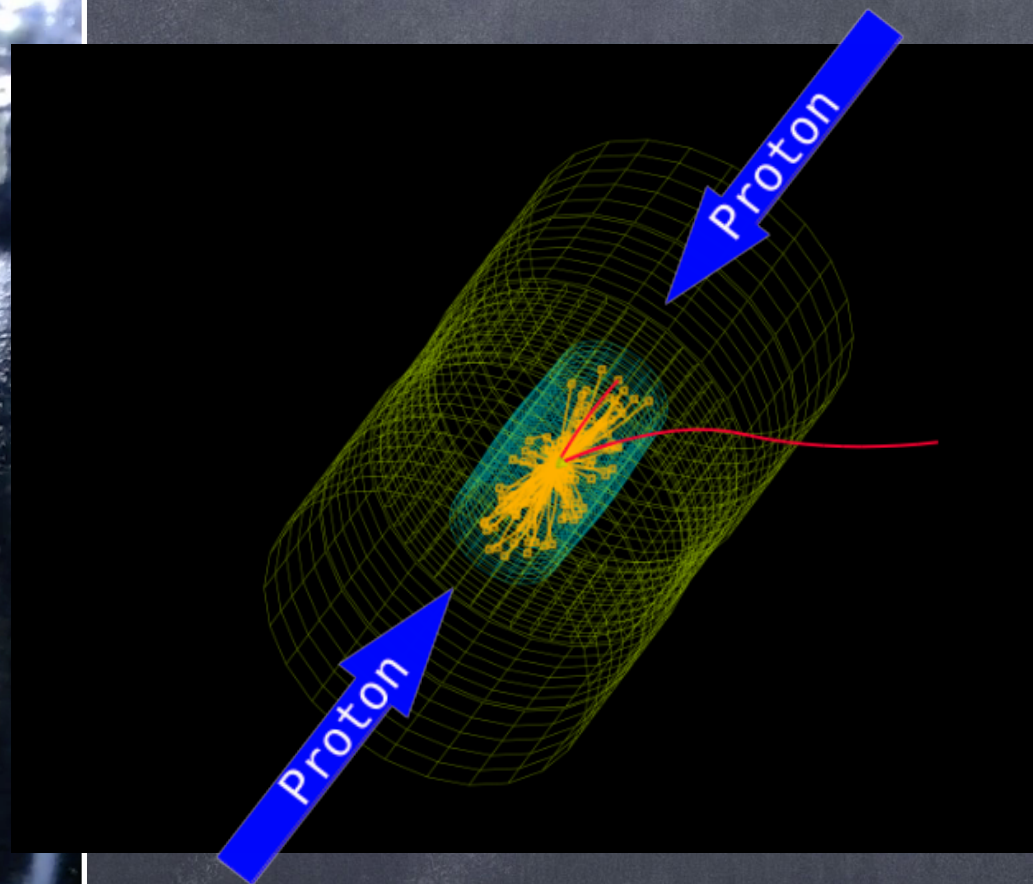
Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin  
Fragen?



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer & CMS-Detektor: Spuren detektieren (Ben)



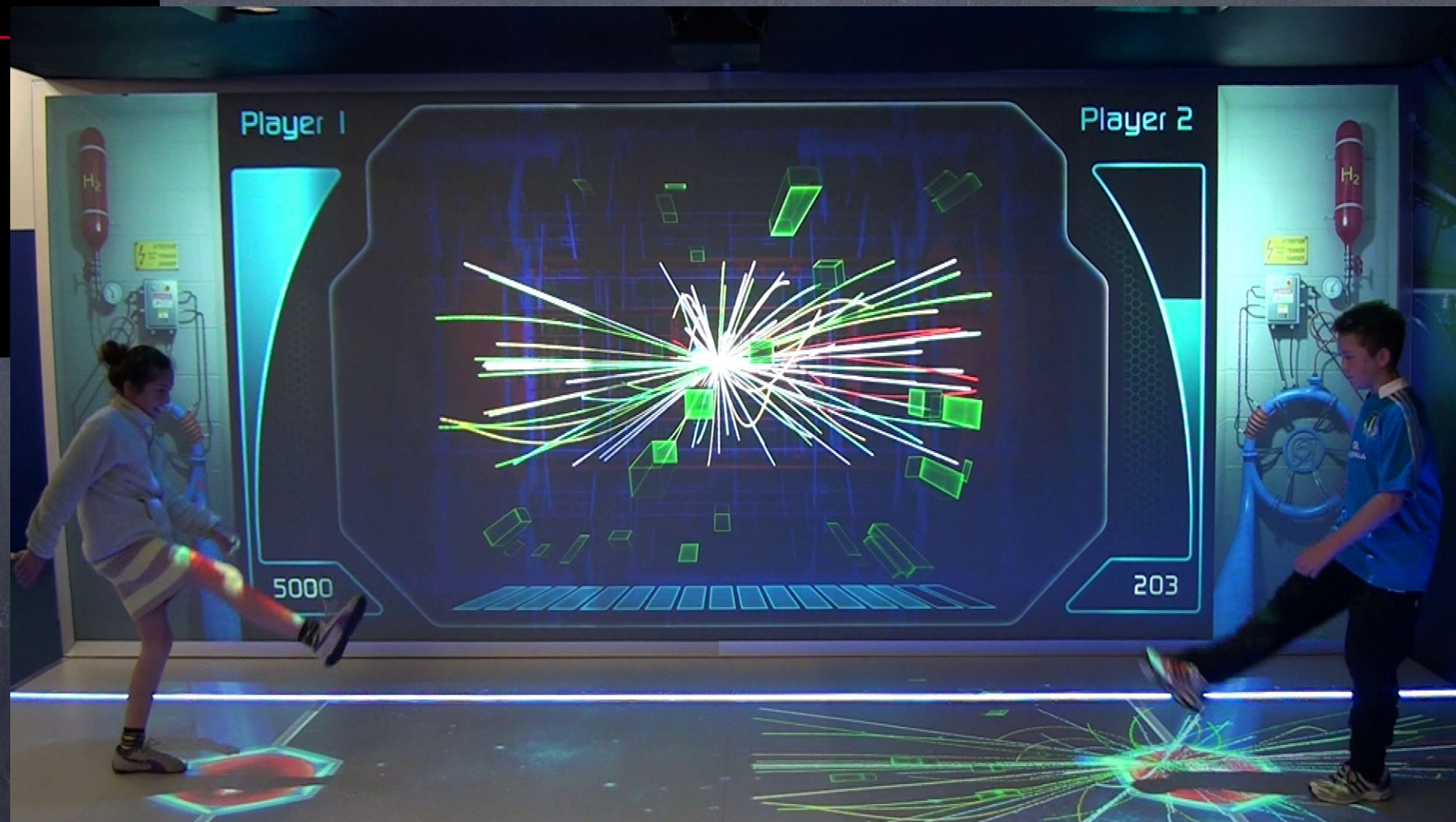
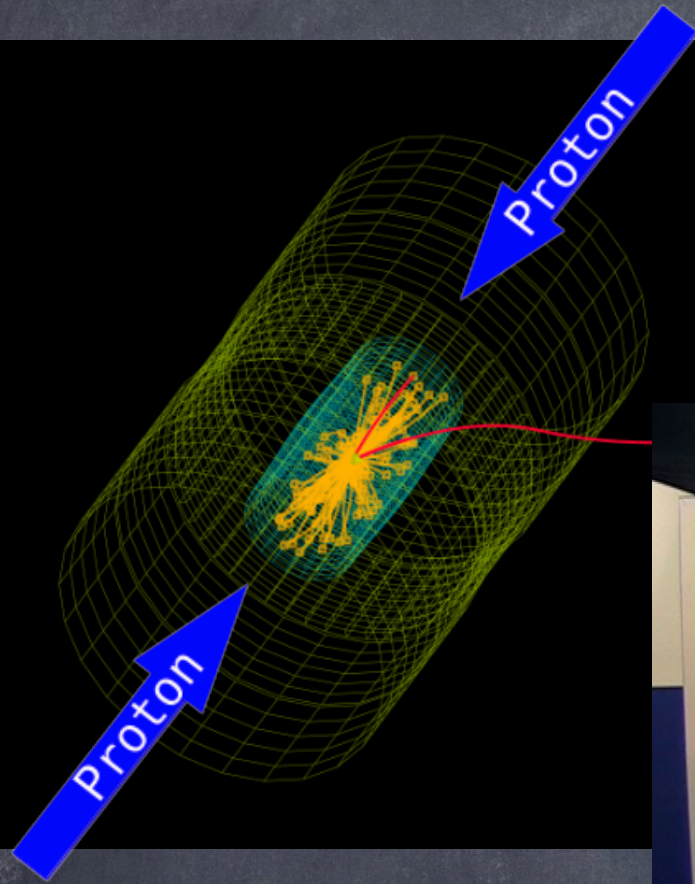
Ähnlich wie in der Nebelkammer werden zunächst Teilchen erzeugt (Zeiger...) und dann ihre Spur beobachtet.



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren

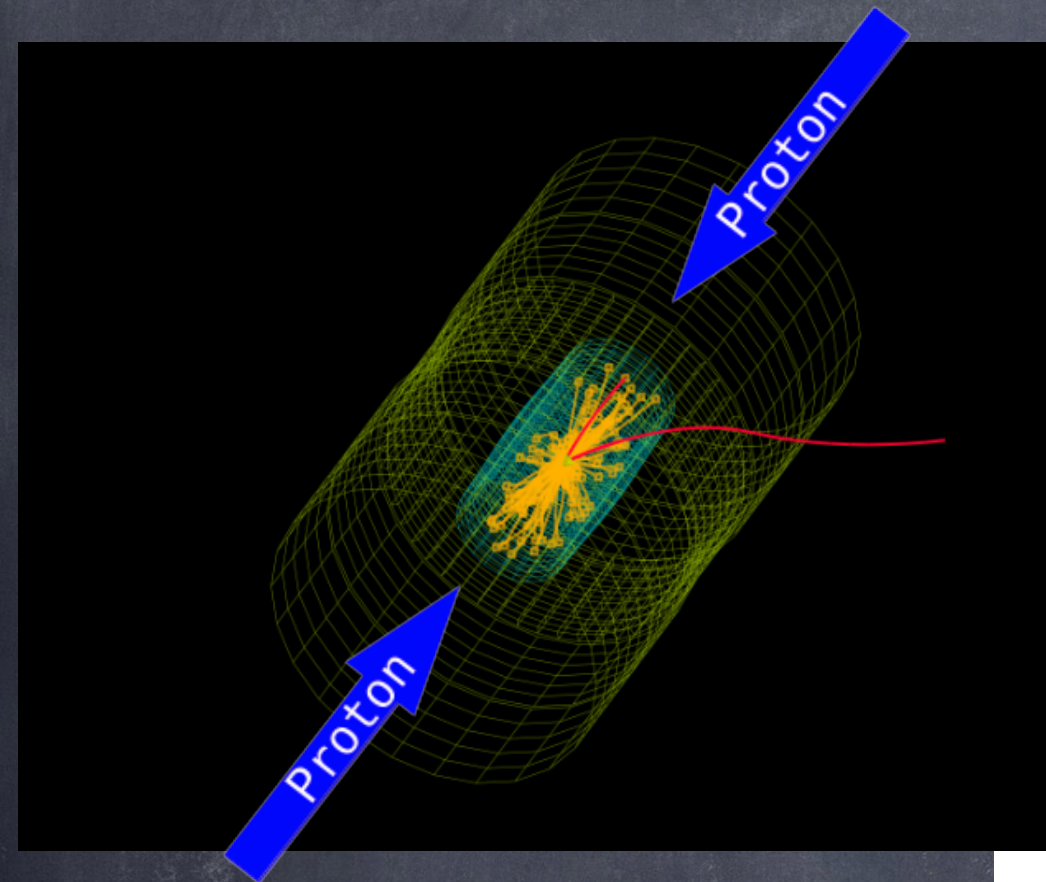
Die Erzeugung neuer Teilchen passiert hier durch den sehr starken Zusammenprall einer Vielzahl von Protonen, die dadurch so **heiß** und **dicht** werden wie die Materie zu Zeiten des **Urknalls**.



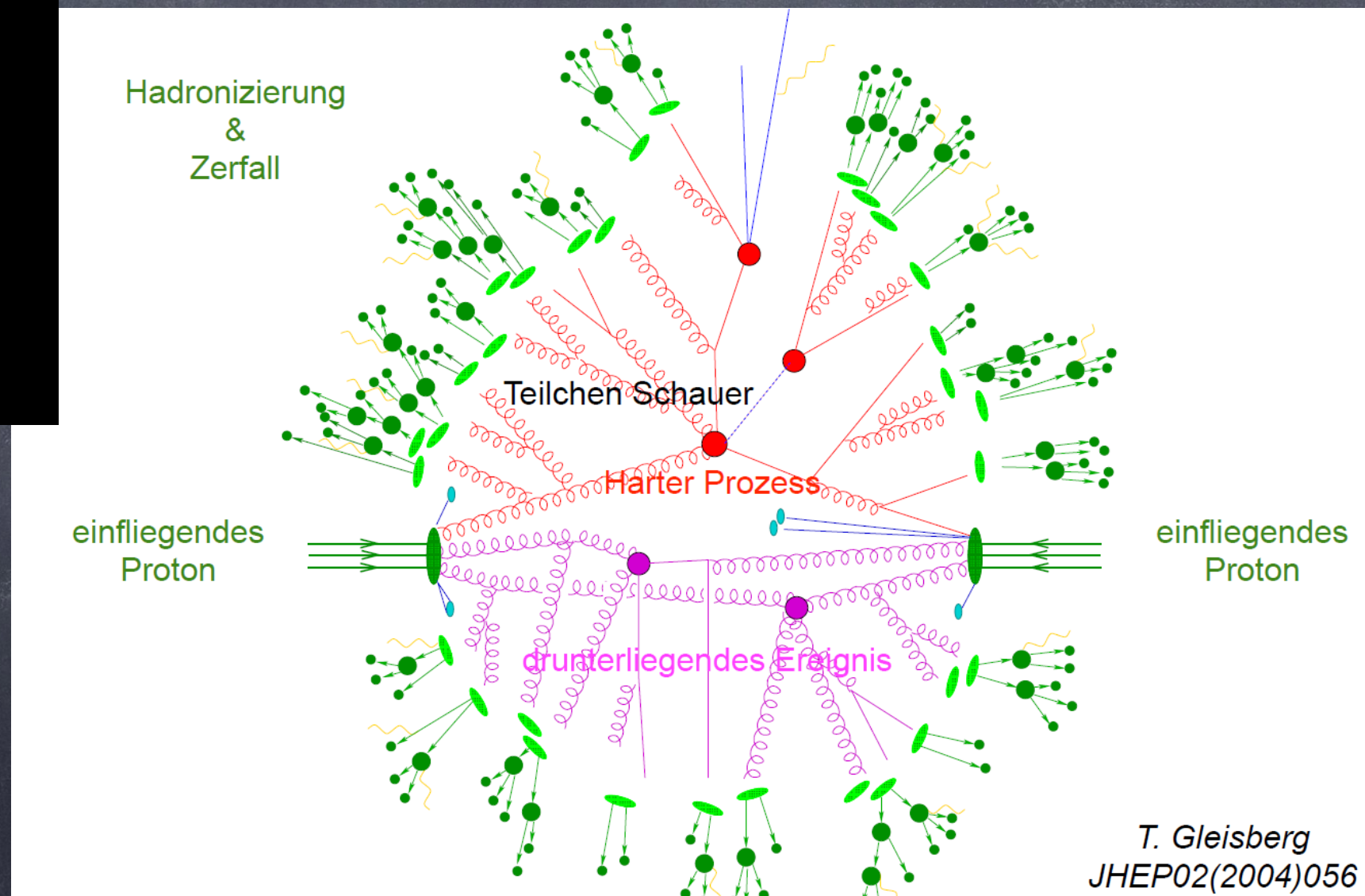


# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren



Es entsteht ein enormer „Regen“ der verschiedensten Teilchen (Teilchenschauer), die man an der Art ihrer Spur voneinander unterscheiden kann.



T. Gleisberg  
JHEP02(2004)056

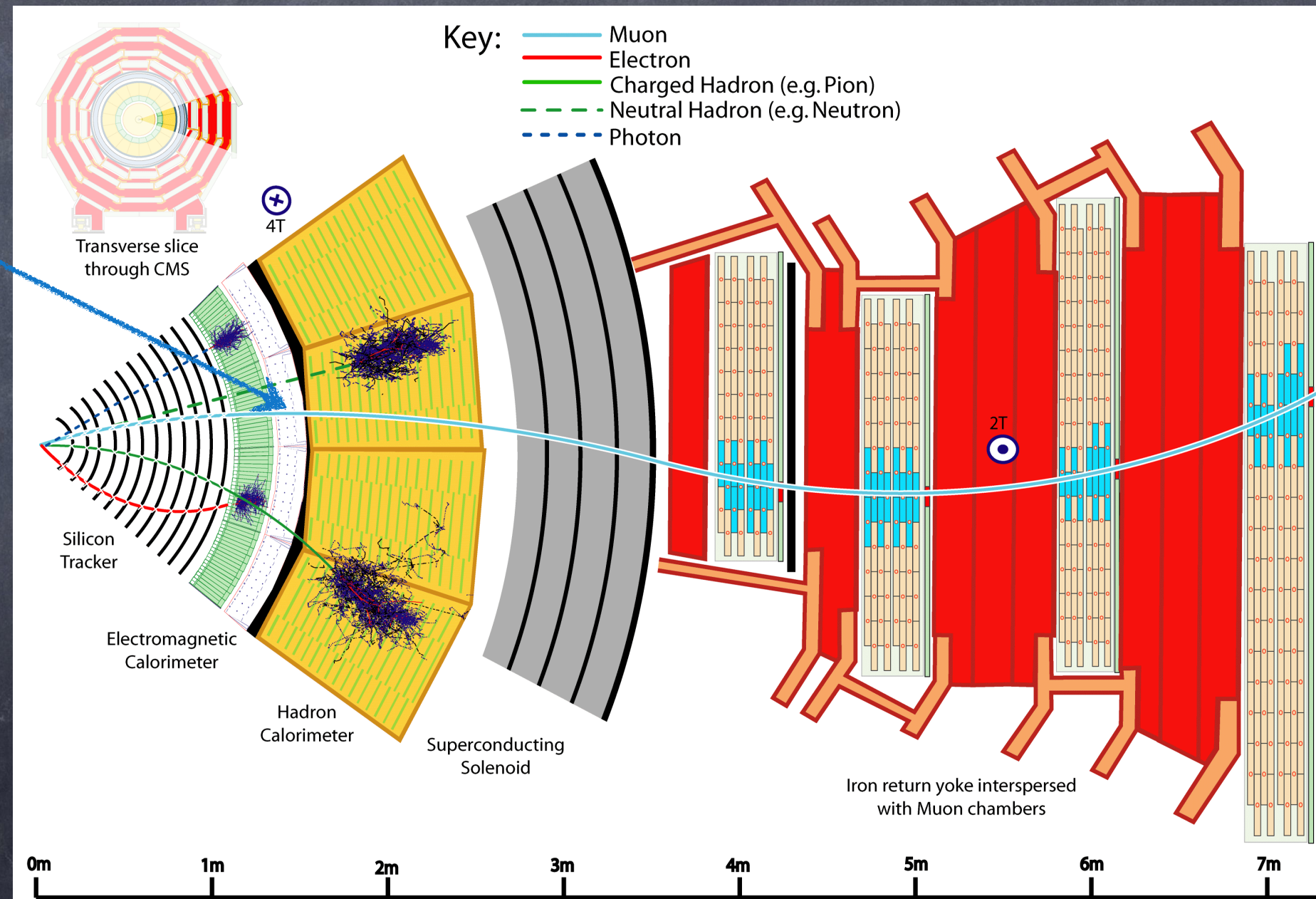


# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren

### Ein Spur-Ereignis

entsteht erst durch  
die Kombination  
der Messungen  
vieler Einzel-  
Detektoren!





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren

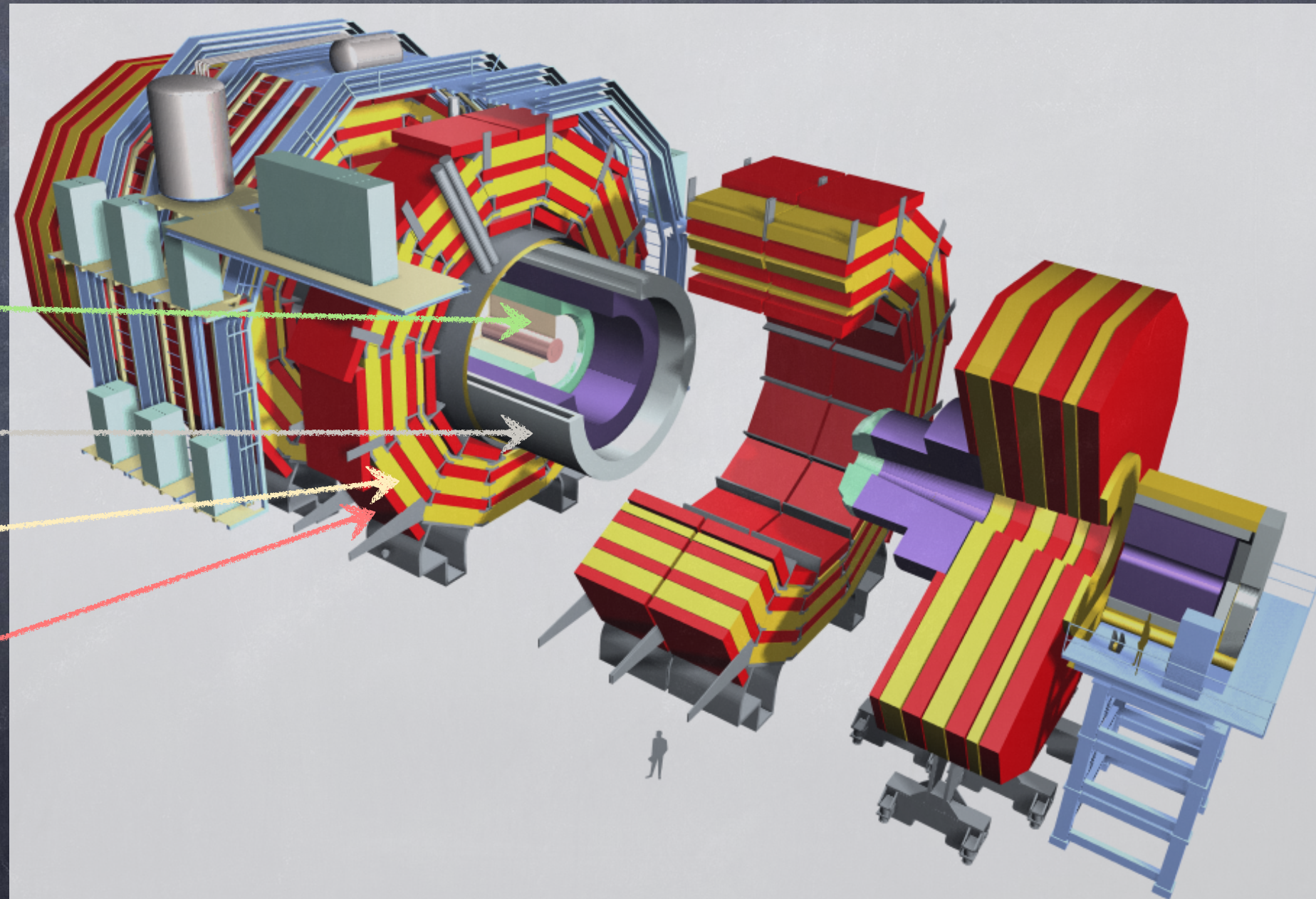
### Blick in den Detektor:

Silizium-Spurdetektor  
(**SiPMs**)

**Supraleiter**-Magnete

Eisen-Joch

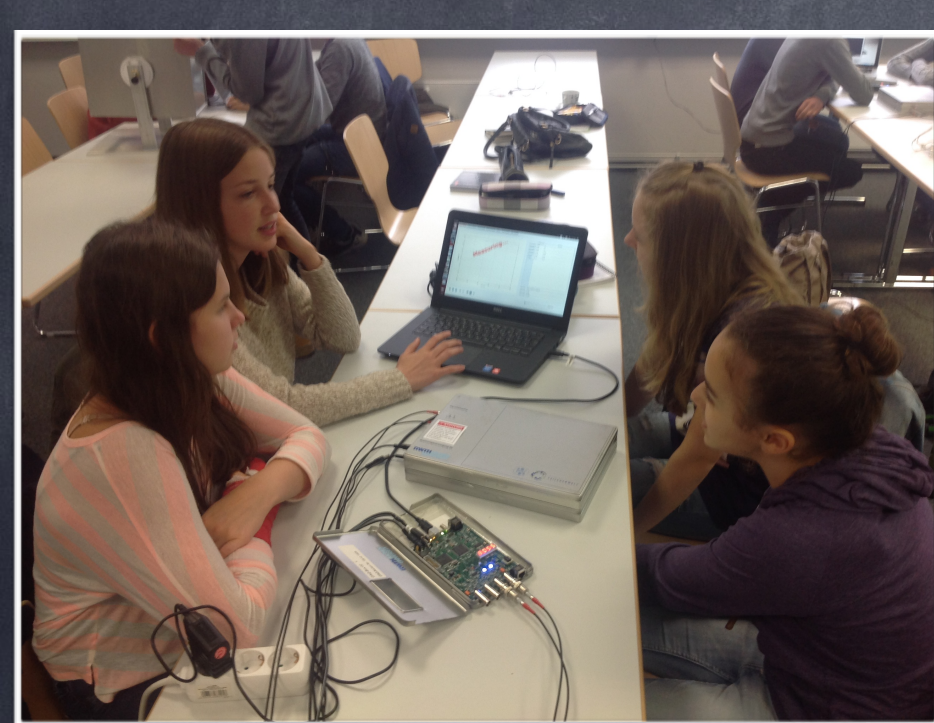
**Myonen**-Kammer





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren



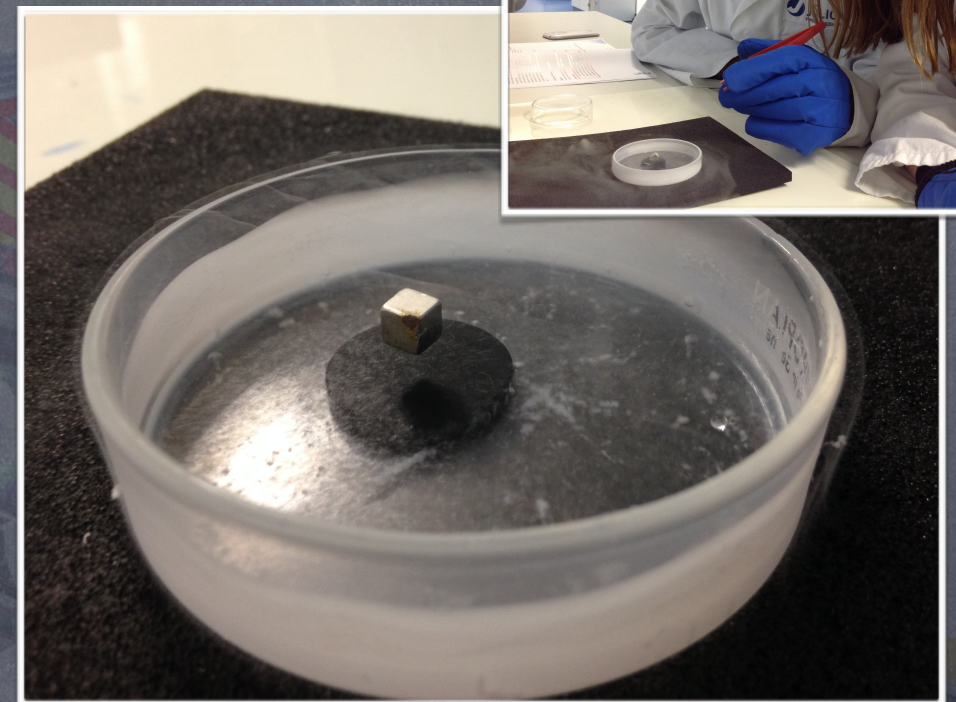
Blick in den  
Detektor:

Silizium-Spurdetektor  
(**SiPMs**)

**Supraleiter**-Magnete

Eisen-Joch

**Myonen**-Kammer

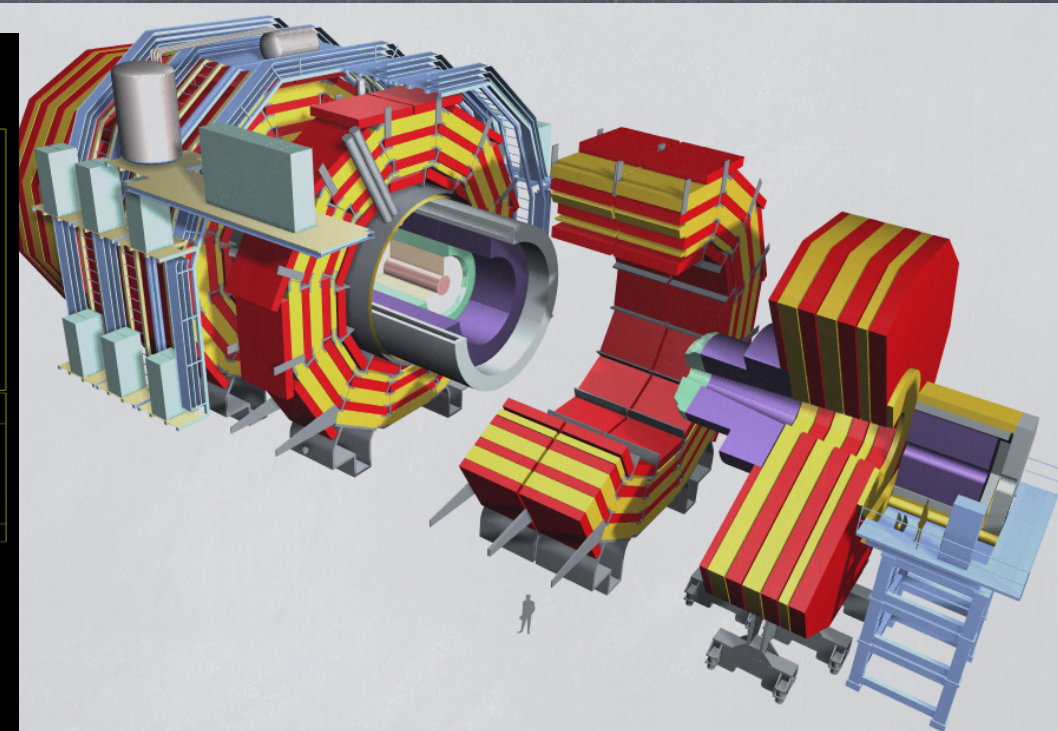
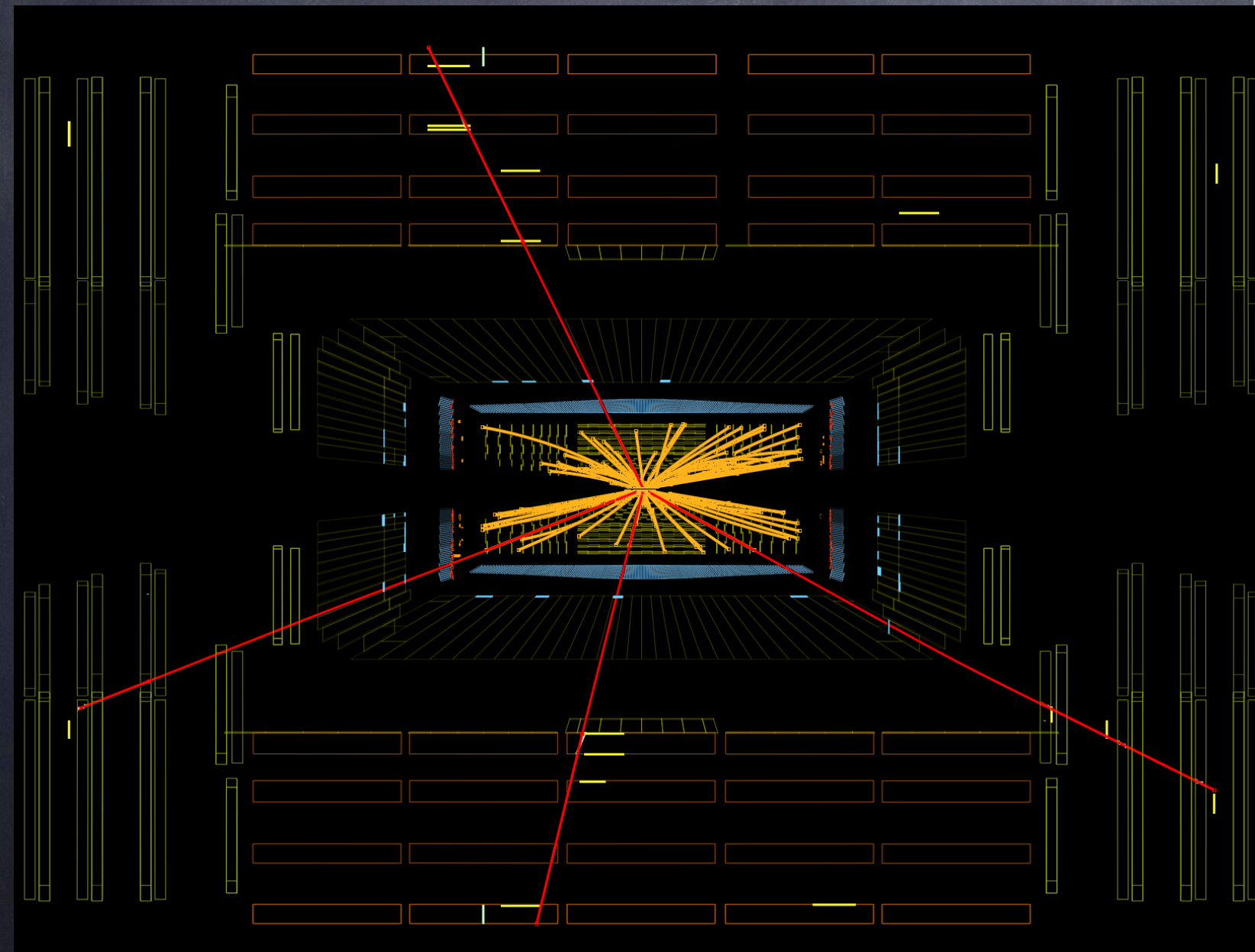




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren

### Rechner-Bild des Detektors:





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

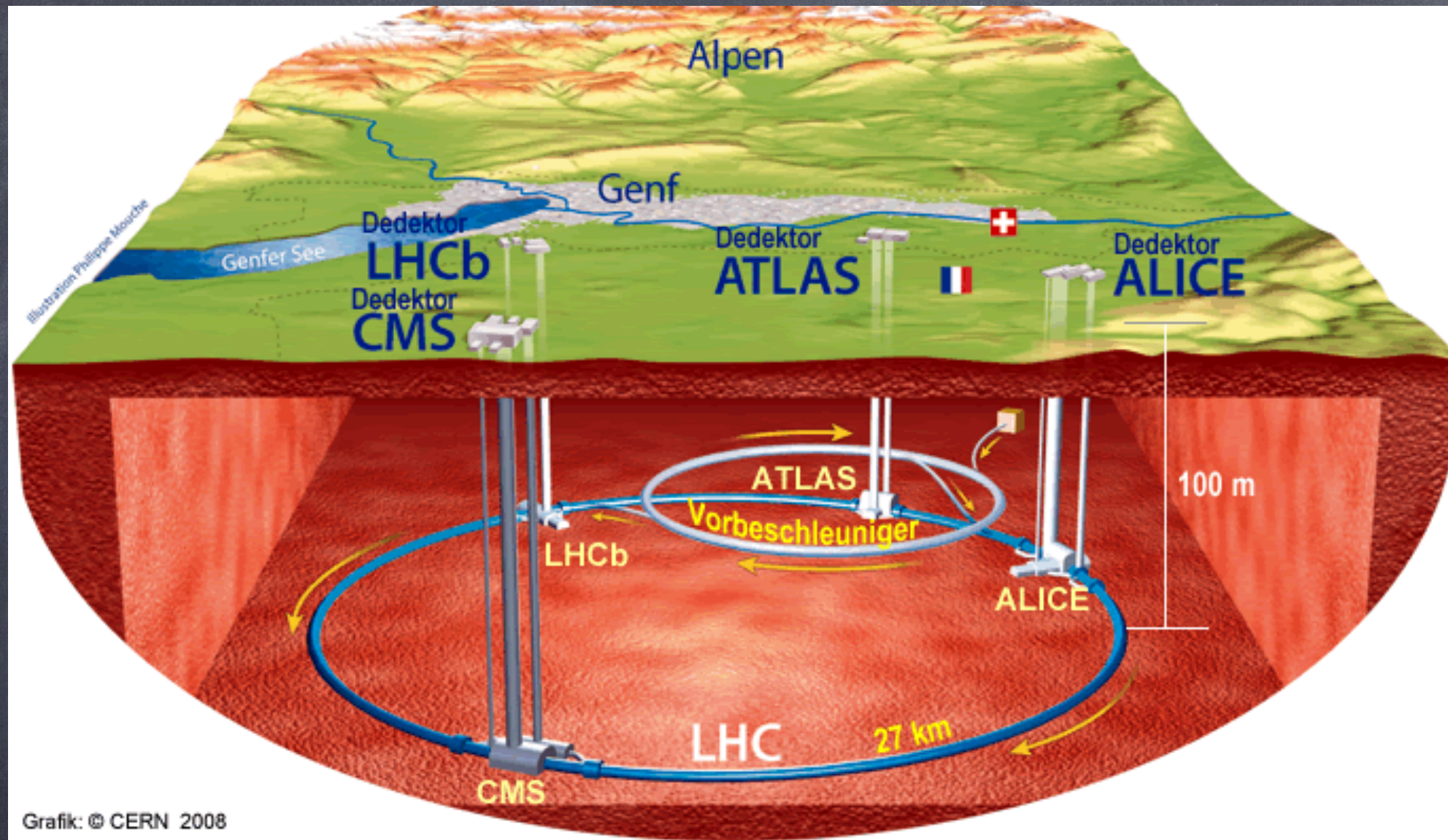
Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin  
Fragen?



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter (Jan)

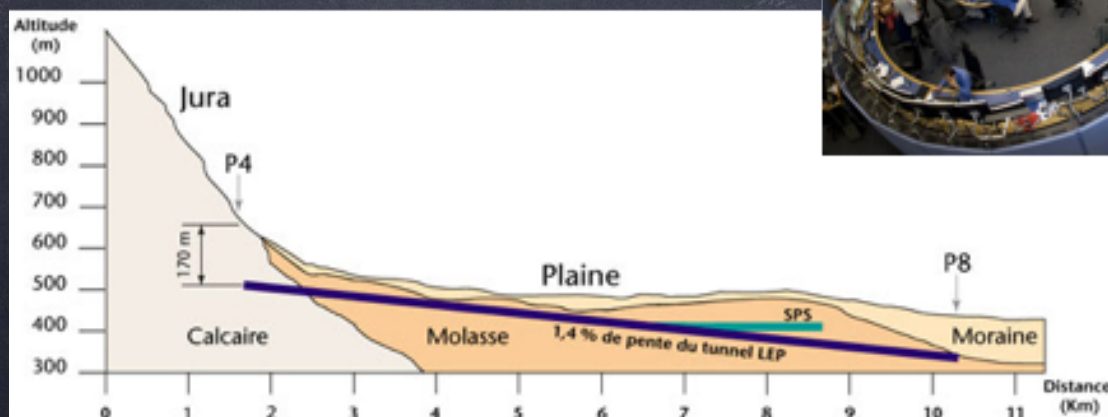
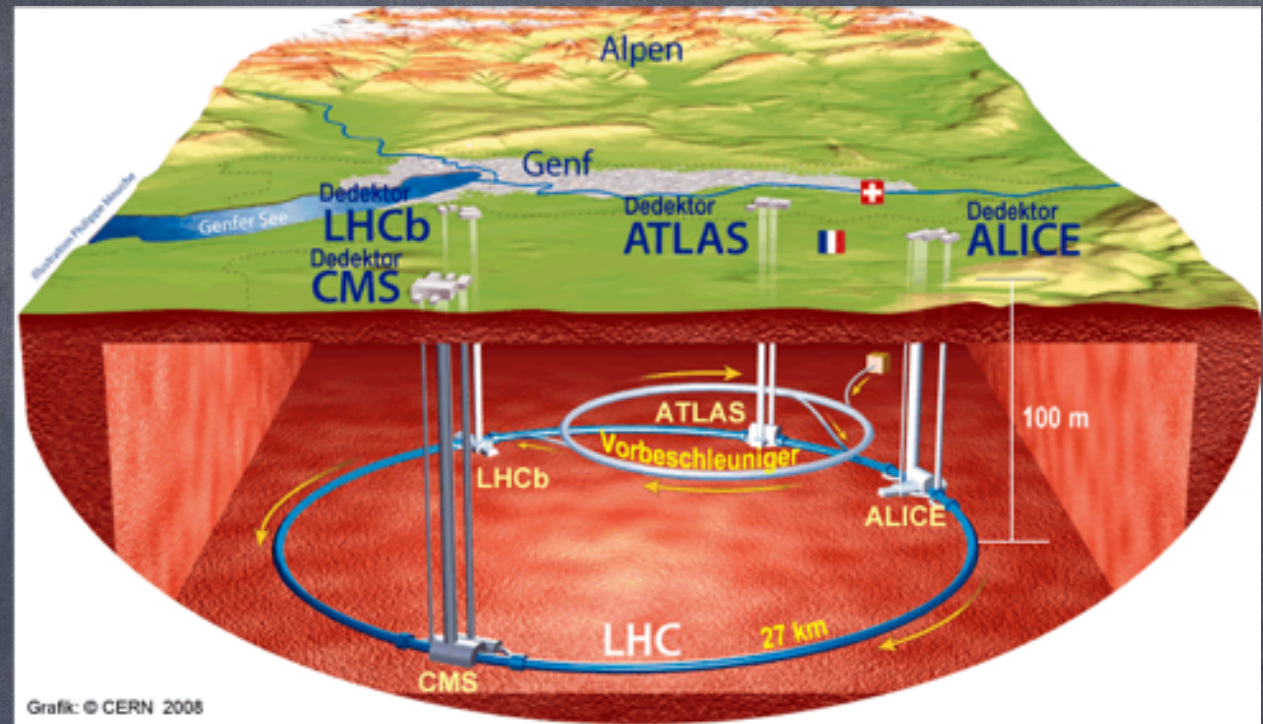
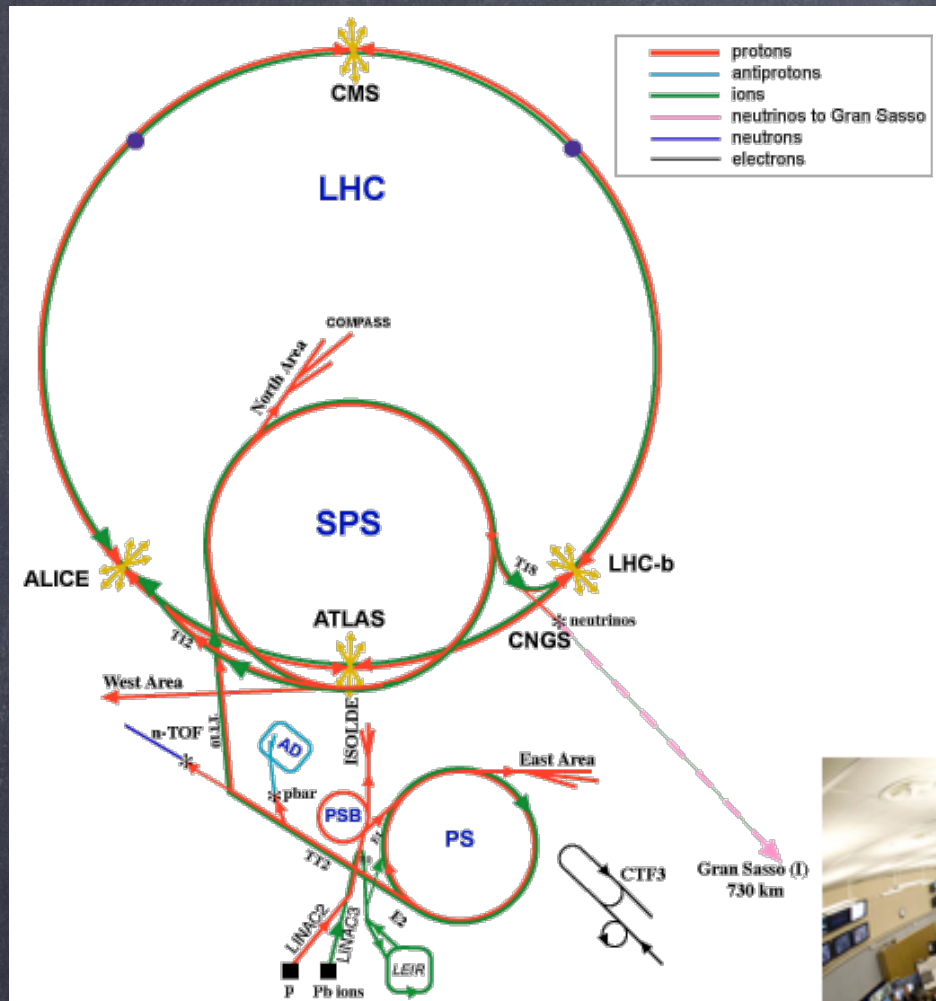


Der LHC mit seinen beiden Detektoren Alice und CMS ist ein riesiges unterirdisches Bauwerk!



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



**CMS Masterclass**  
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

**JARA** Jülich Aachen  
Research Alliance **Kids**

(c) 2015 by  
Stefan Bechstein

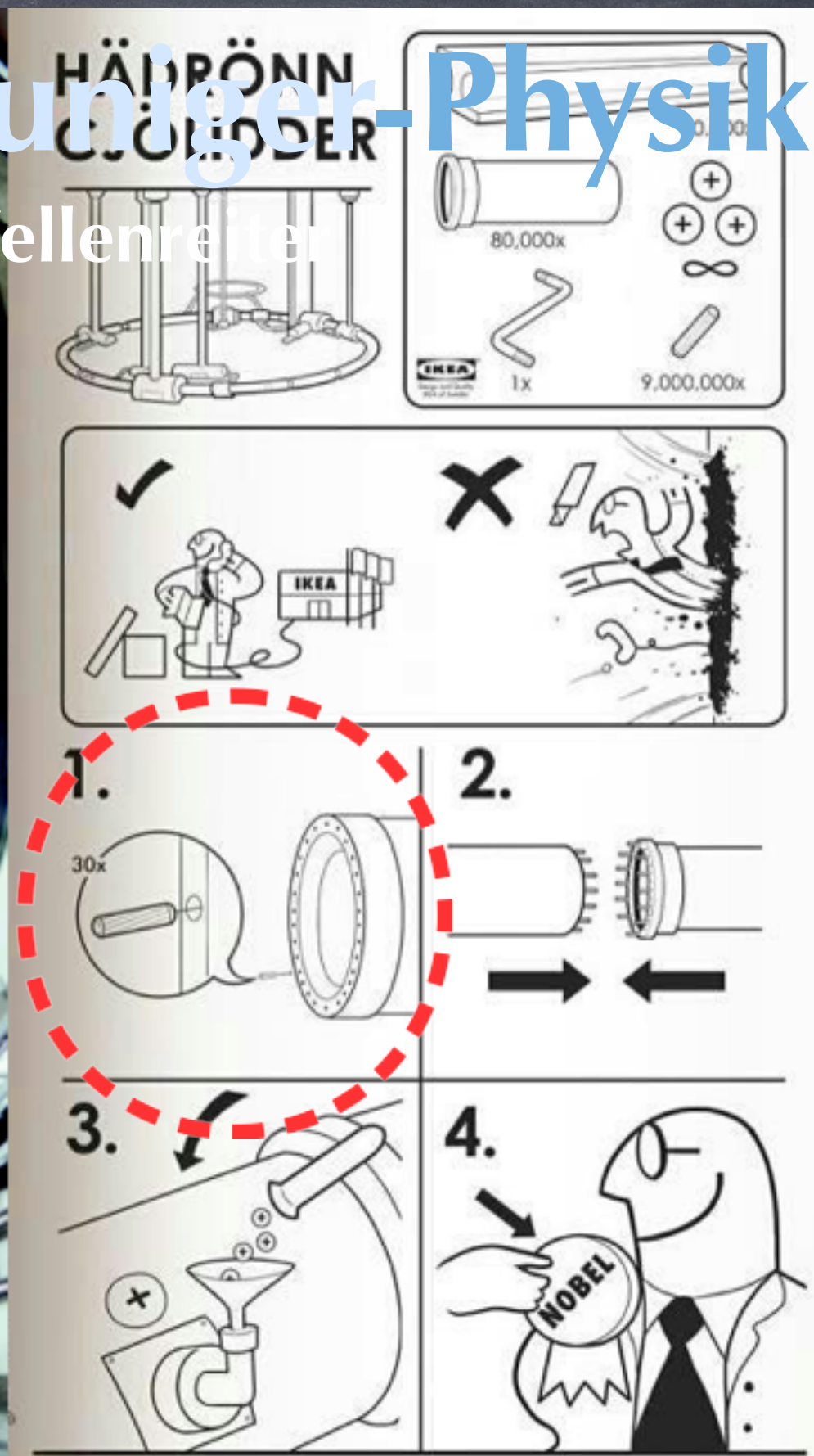
**Gg** GYMNASIUM  
AM GEROWEIER

AN INITIATIVE OF  
**RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

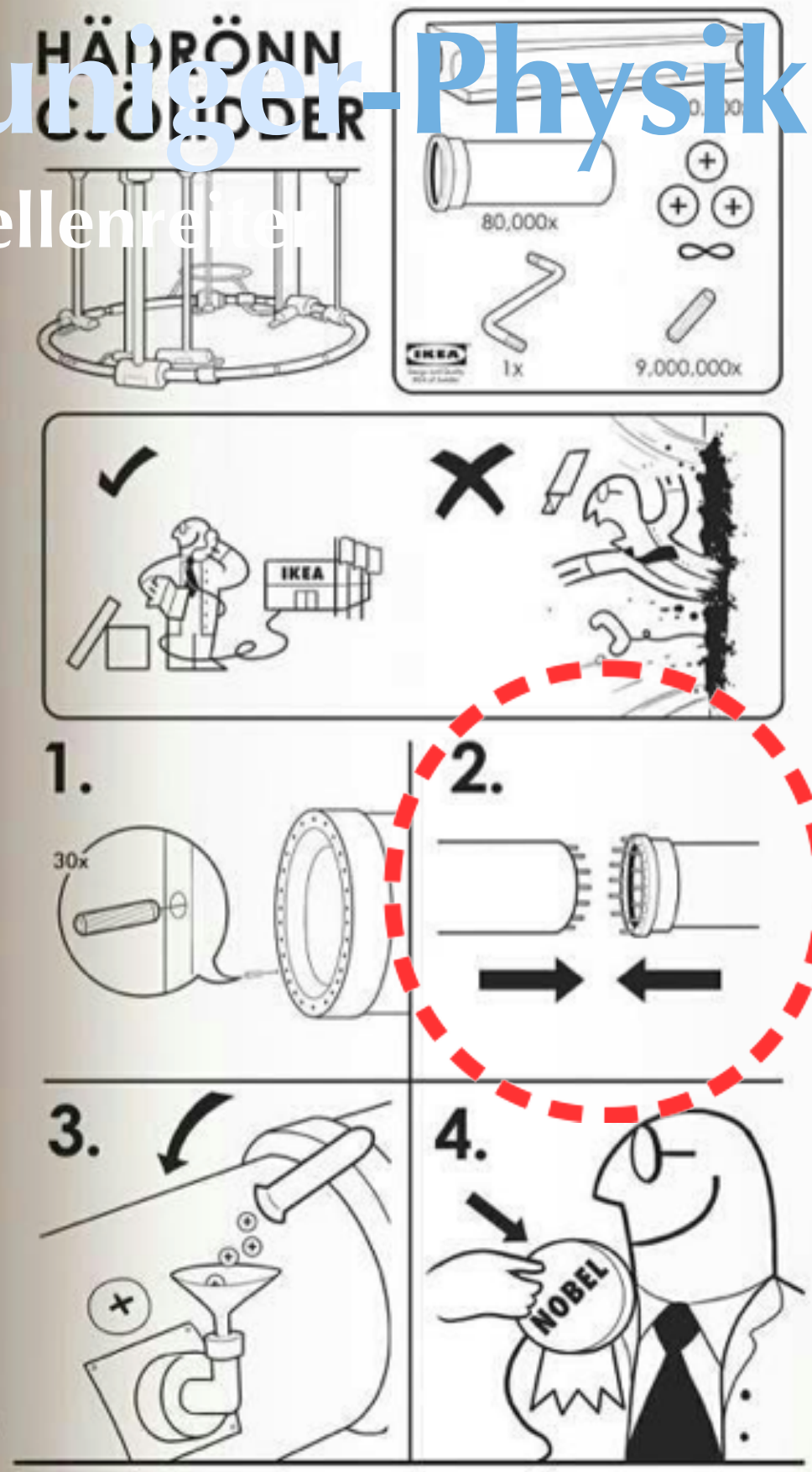
## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenleiter





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenleiter





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

Es werden zwei p+Strahlen gegenläufig durch je eine Röhre geführt

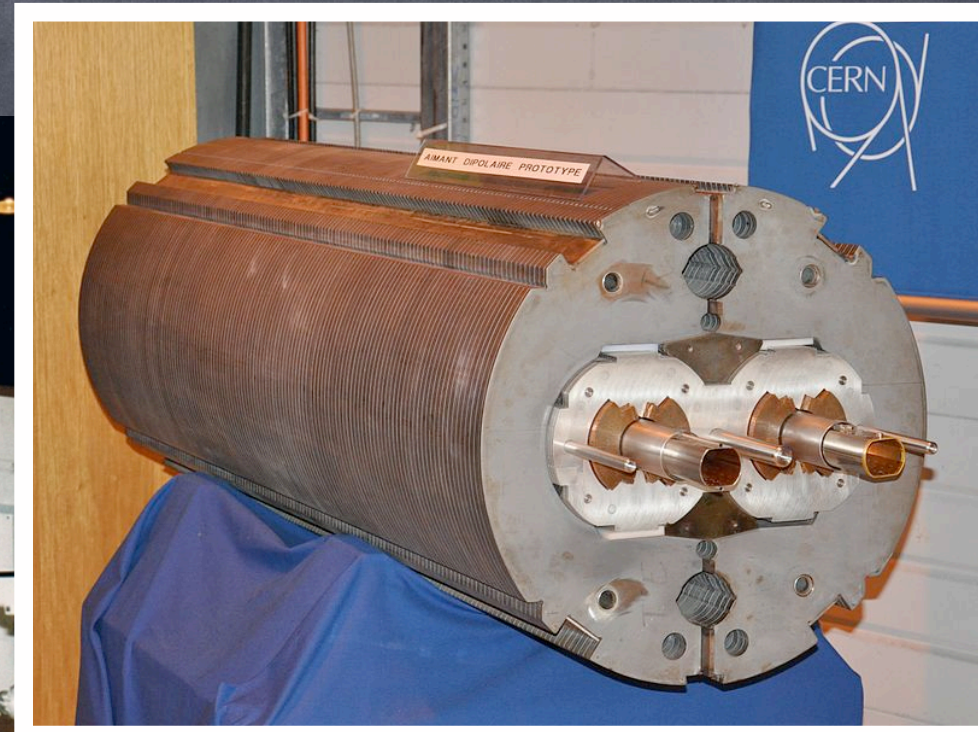
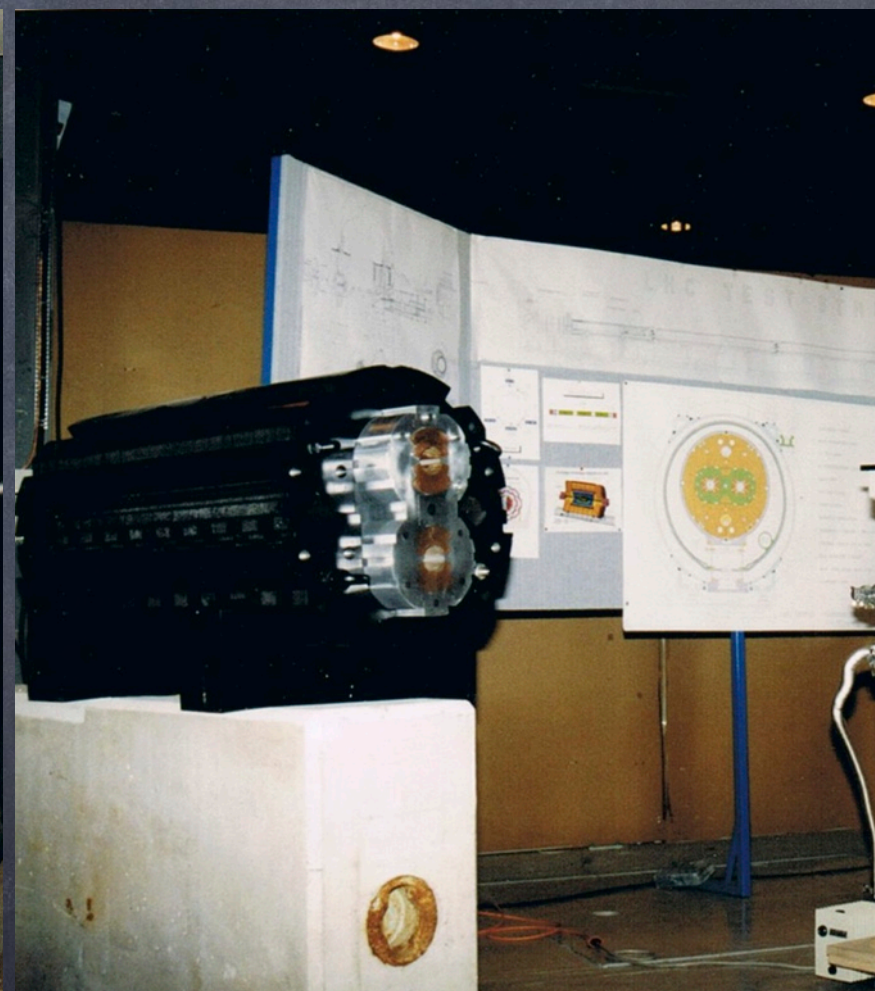
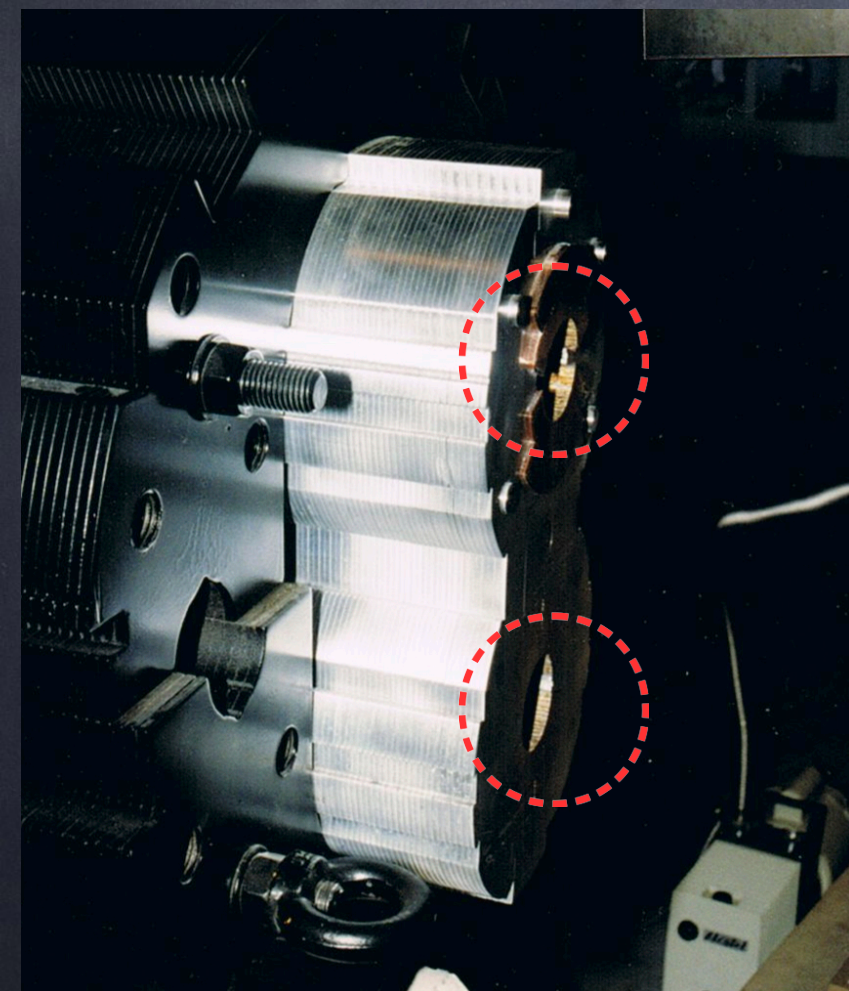


Foto oben:  
Wikipedia

Fotos links:  
Ben, März 1998



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

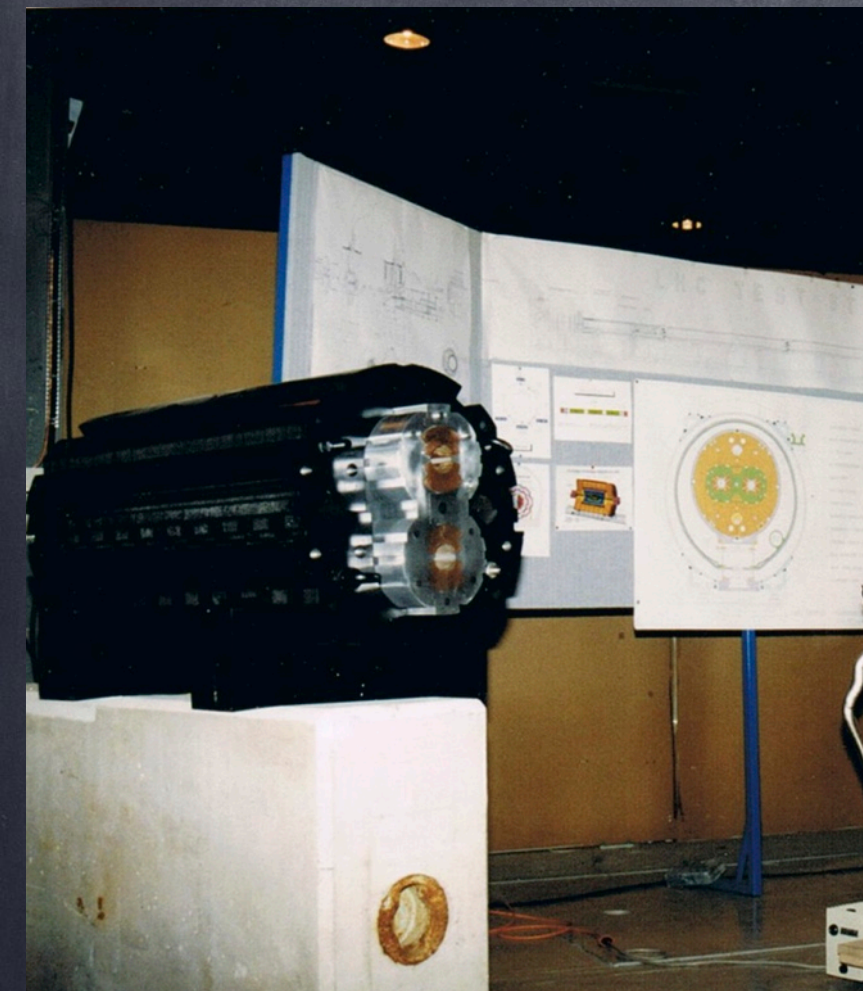
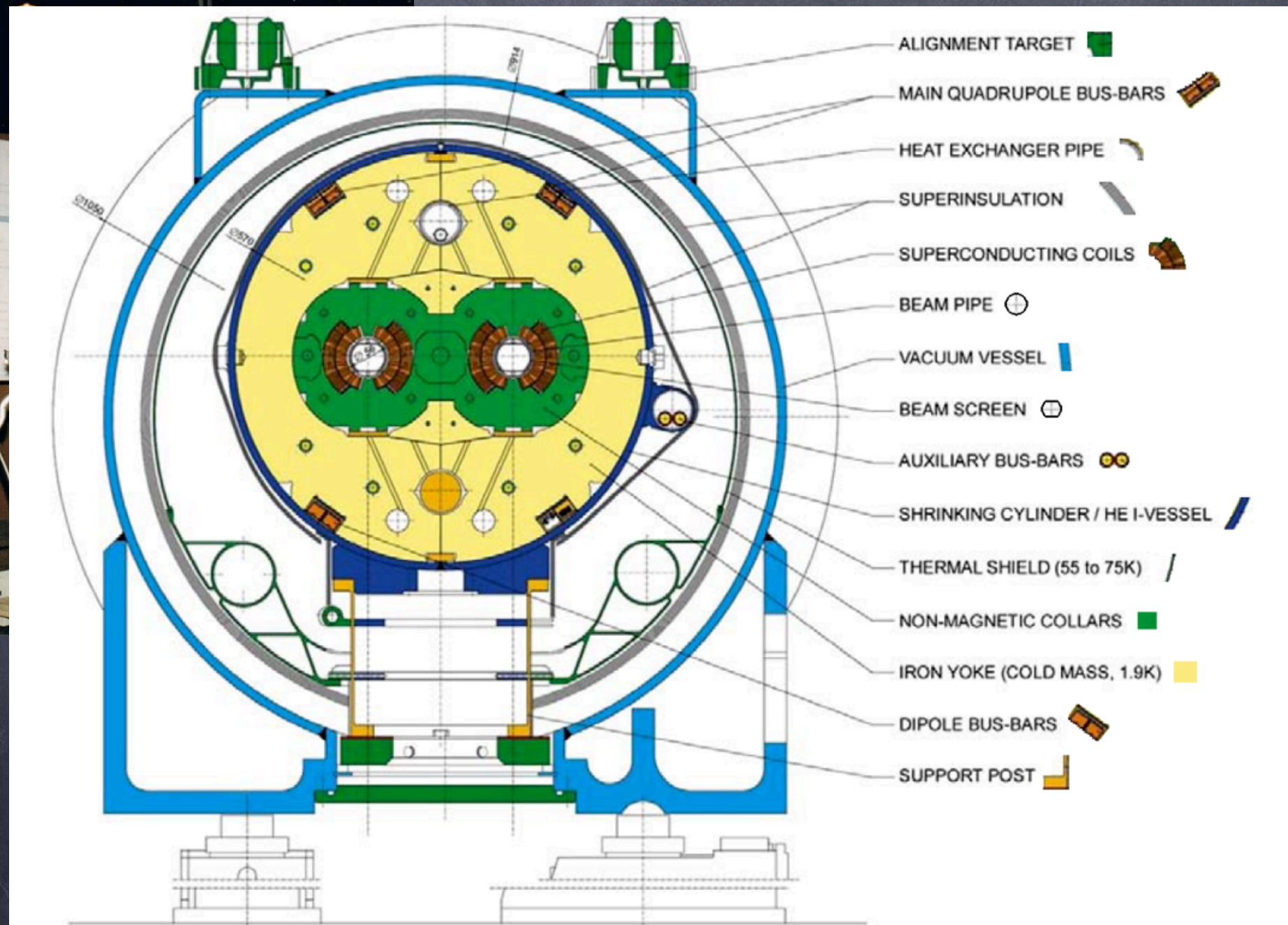


Foto: Ben, März 1998

Graphik: <http://maalpu.org/lhc/>





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

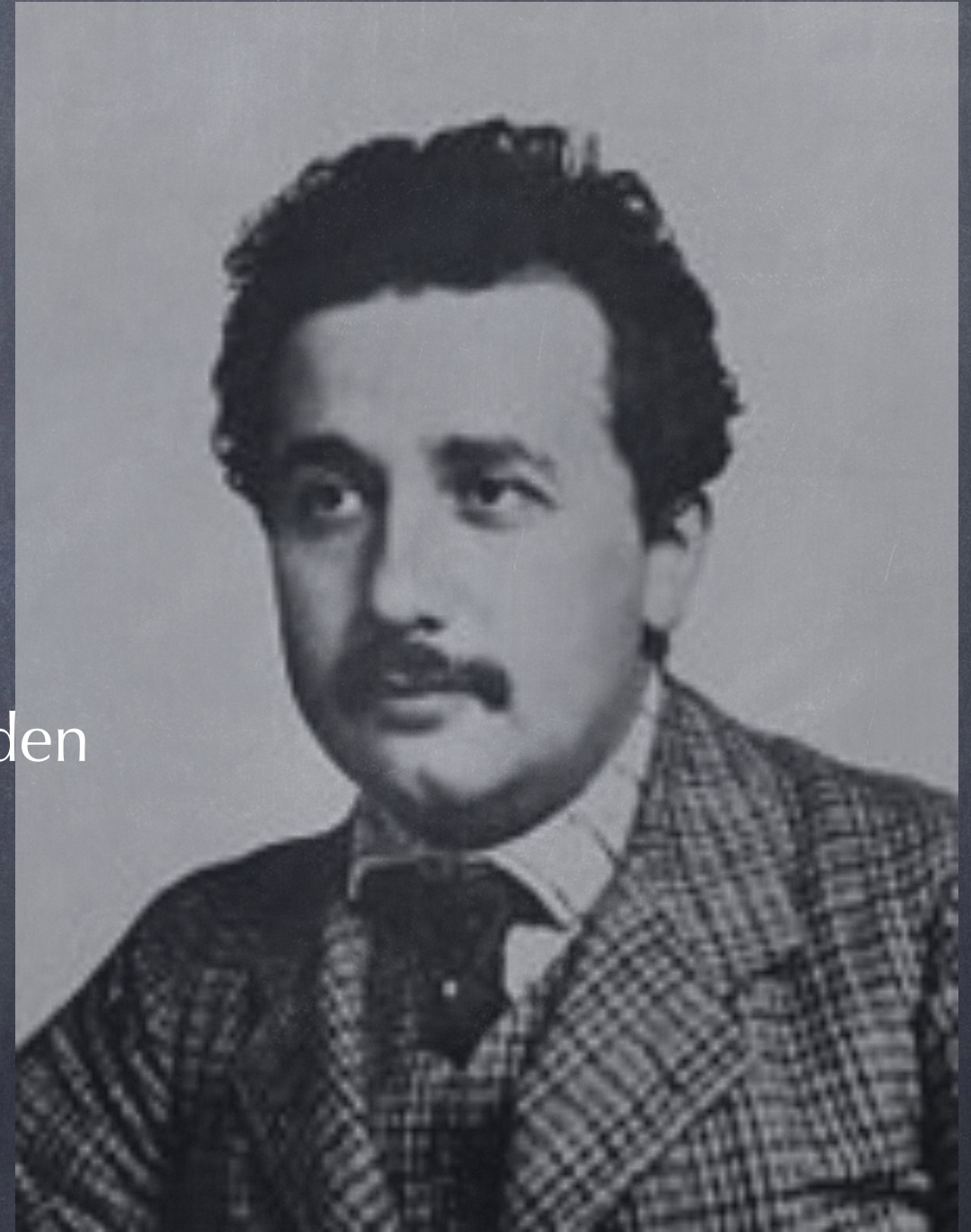
## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

1905: Relativitätstheorie Albert Einstein

Eine wichtige Konsequenz:  $E=mc^2$

**Masse ist eine Form der Energie**

Massenenergie kann umgewandelt werden





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



1905: Relativitätstheorie Albert Einstein

Eine wichtige Konsequenz:  $E=mc^2$

**Masse ist eine Form der Energie**

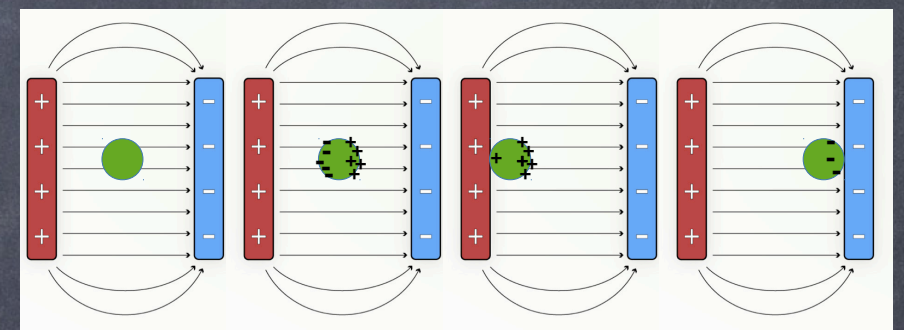
Massenenergie kann umgewandelt werden

Energie-Einheiten in der Teilchenphysik:

1 Elektronenvolt  $\rightarrow$  1 eV

Energie einer Ladung im elektrischen Feld:

$E = q \cdot U \rightarrow$  Energie = Ladung  $\cdot$  Spannung



**1 eV** = Energie eines Elektrons (Ladung  $e$ ),  
das durch eine Spannung von  $U = 1V$   
beschleunigt wird:

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$  (winzig!)

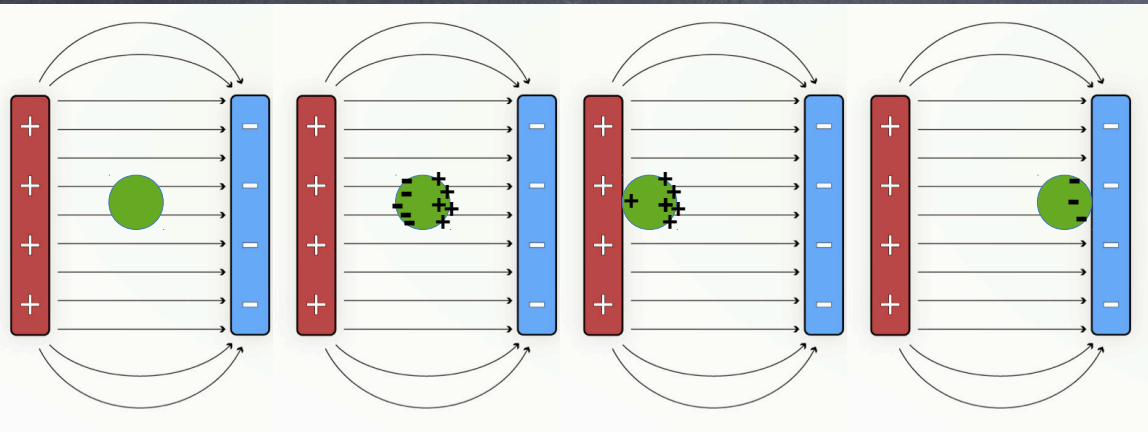
Masse nach  $E=mc^2$ :  $1 \text{ eV}/c^2$

(meist einfach auch 1 eV für  $c=1=100\%$ )



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



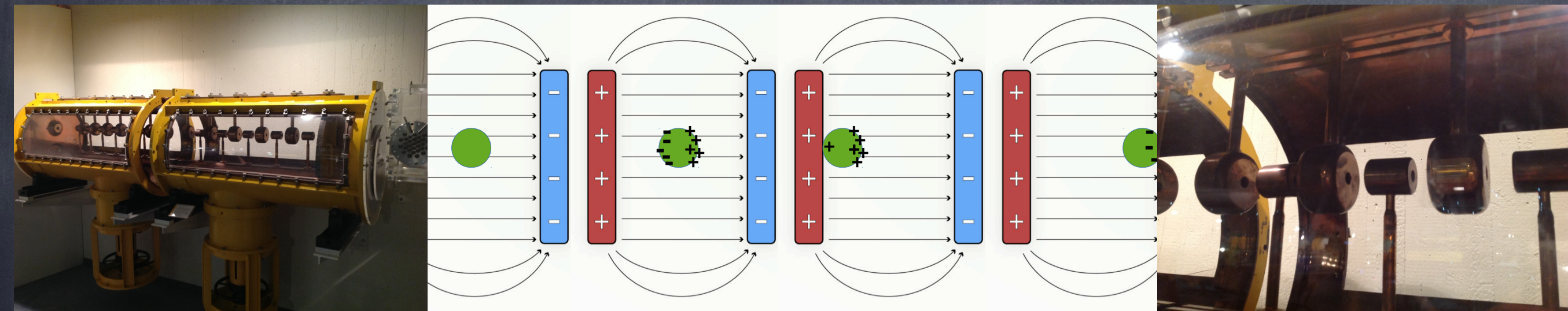
**Linearbeschleuniger** (Bilder vom Museumsbesuch in Bonn, Physik LK)



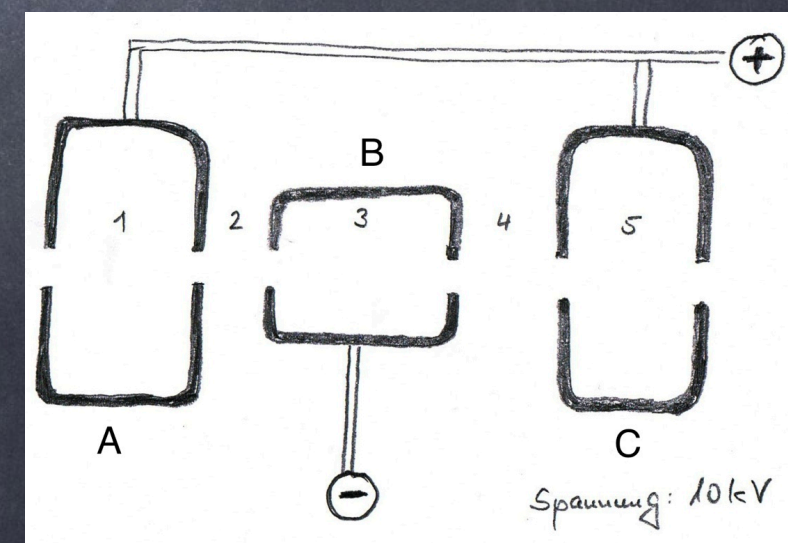
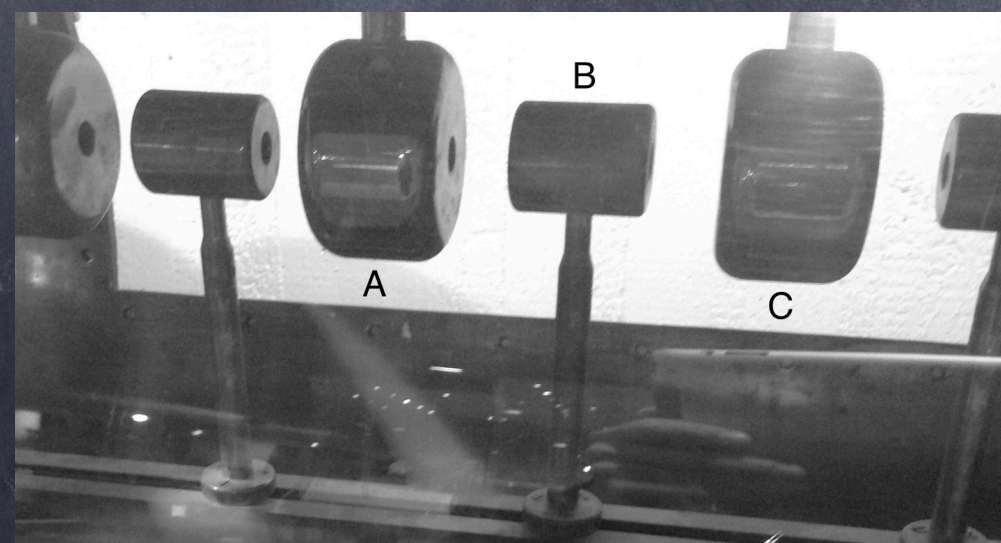


# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



**Linearbeschleuniger** (Bilder aus der Klausur bzw. vom Museumsbesuch in Bonn, Physik LK)



**CMS Masterclass**  
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

**JARA** | Jülich Aachen  
Research Alliance **Kids**

(c) 2015 by  
Stefan Bechstein

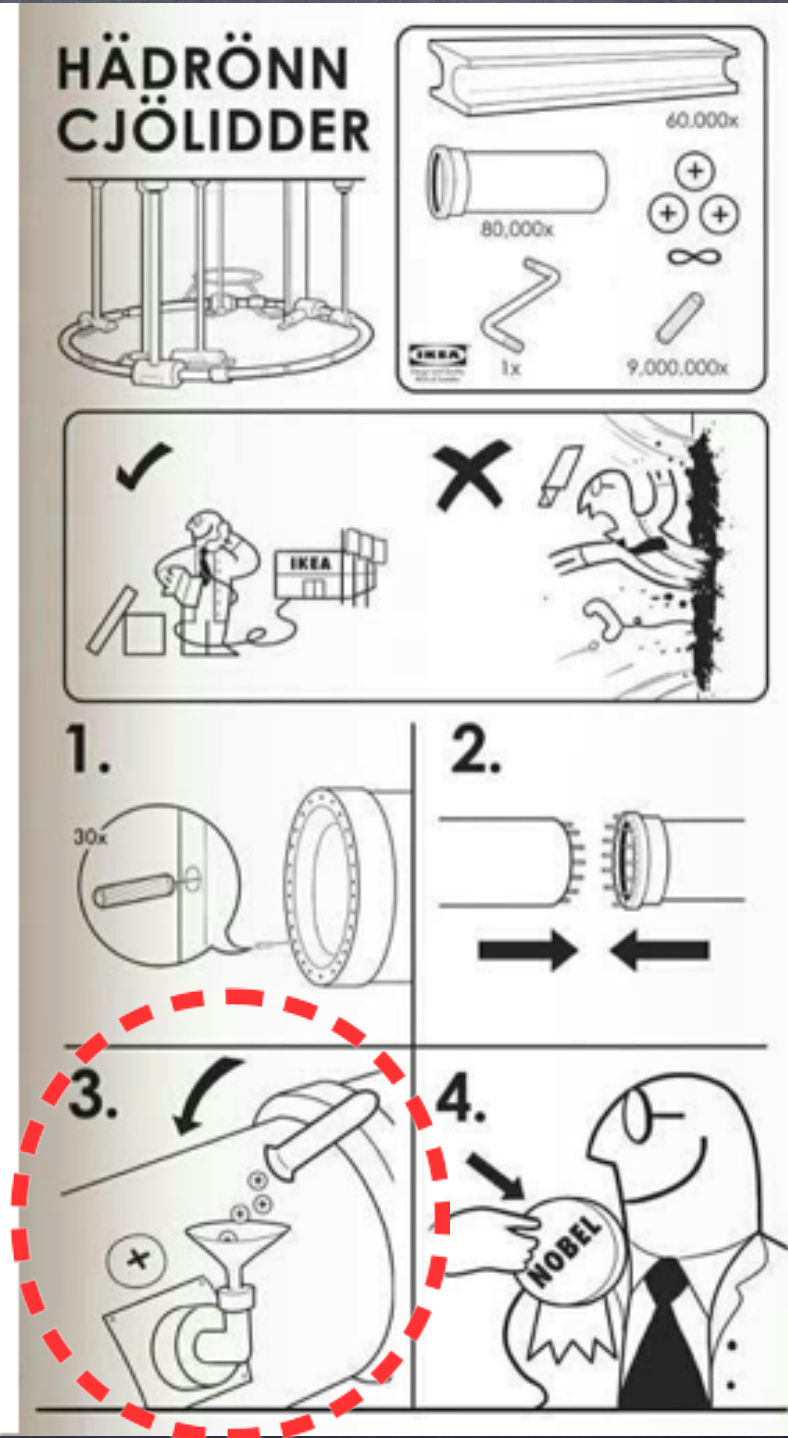
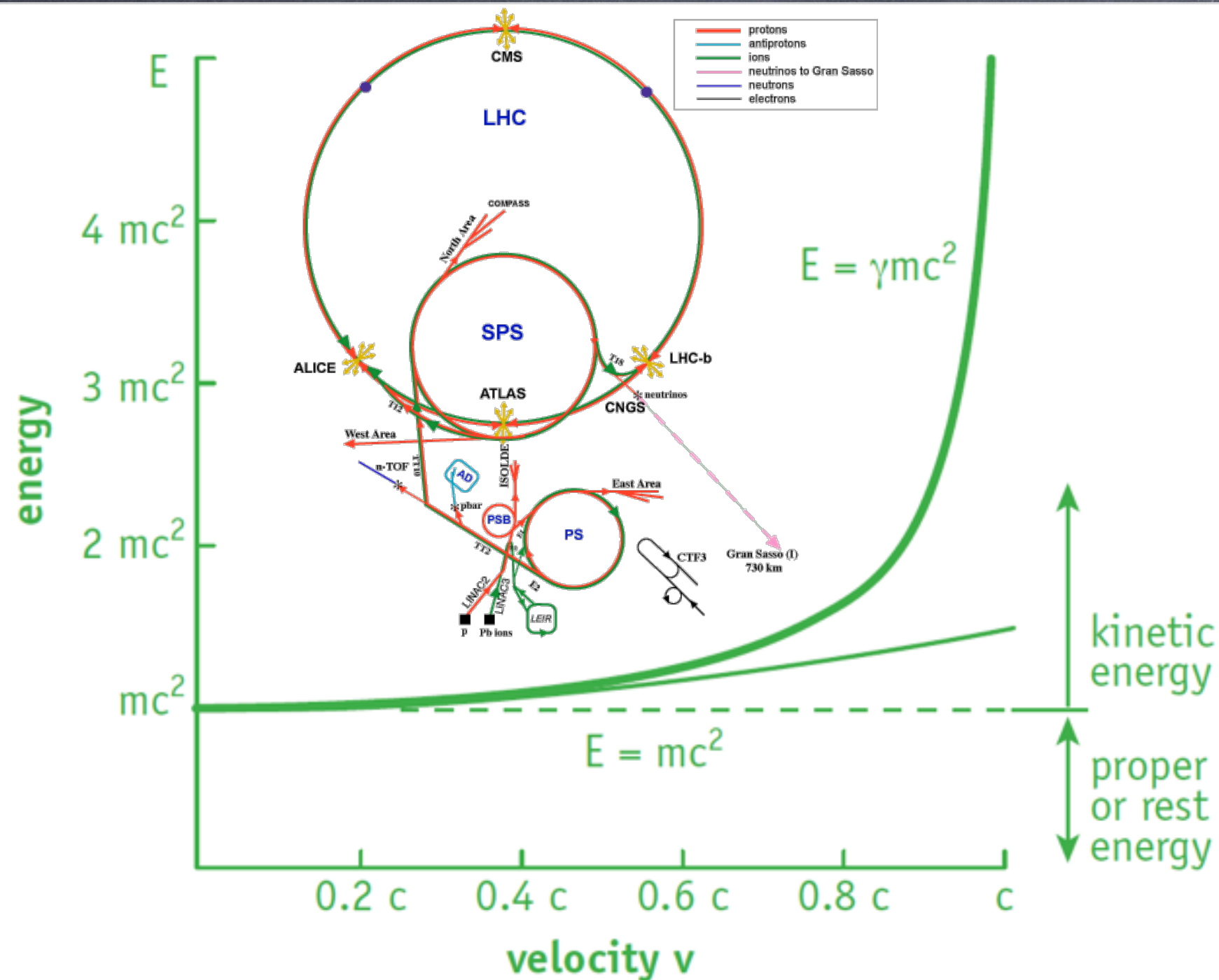
**Gg** GYMNASIUM  
AM GEROWEIER

AN INITIATIVE OF  
**RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

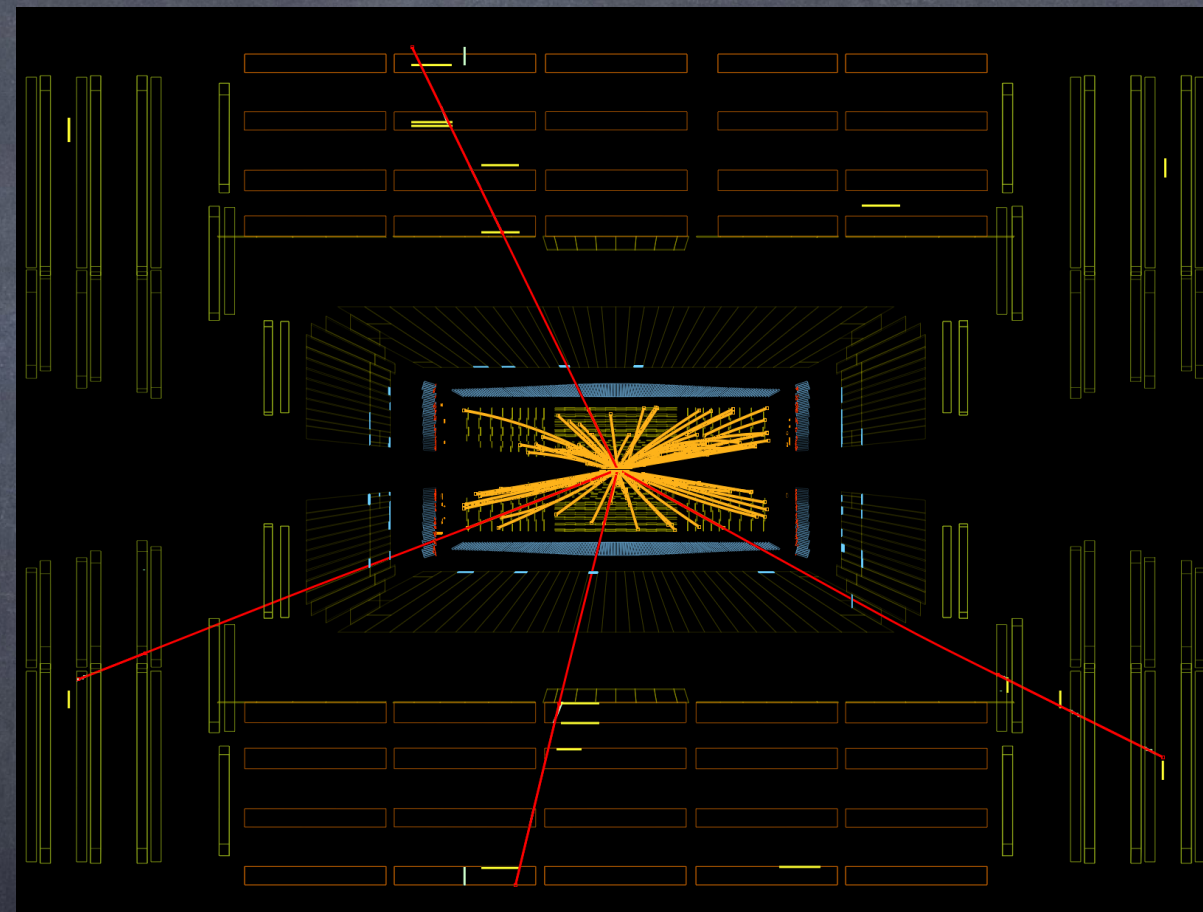
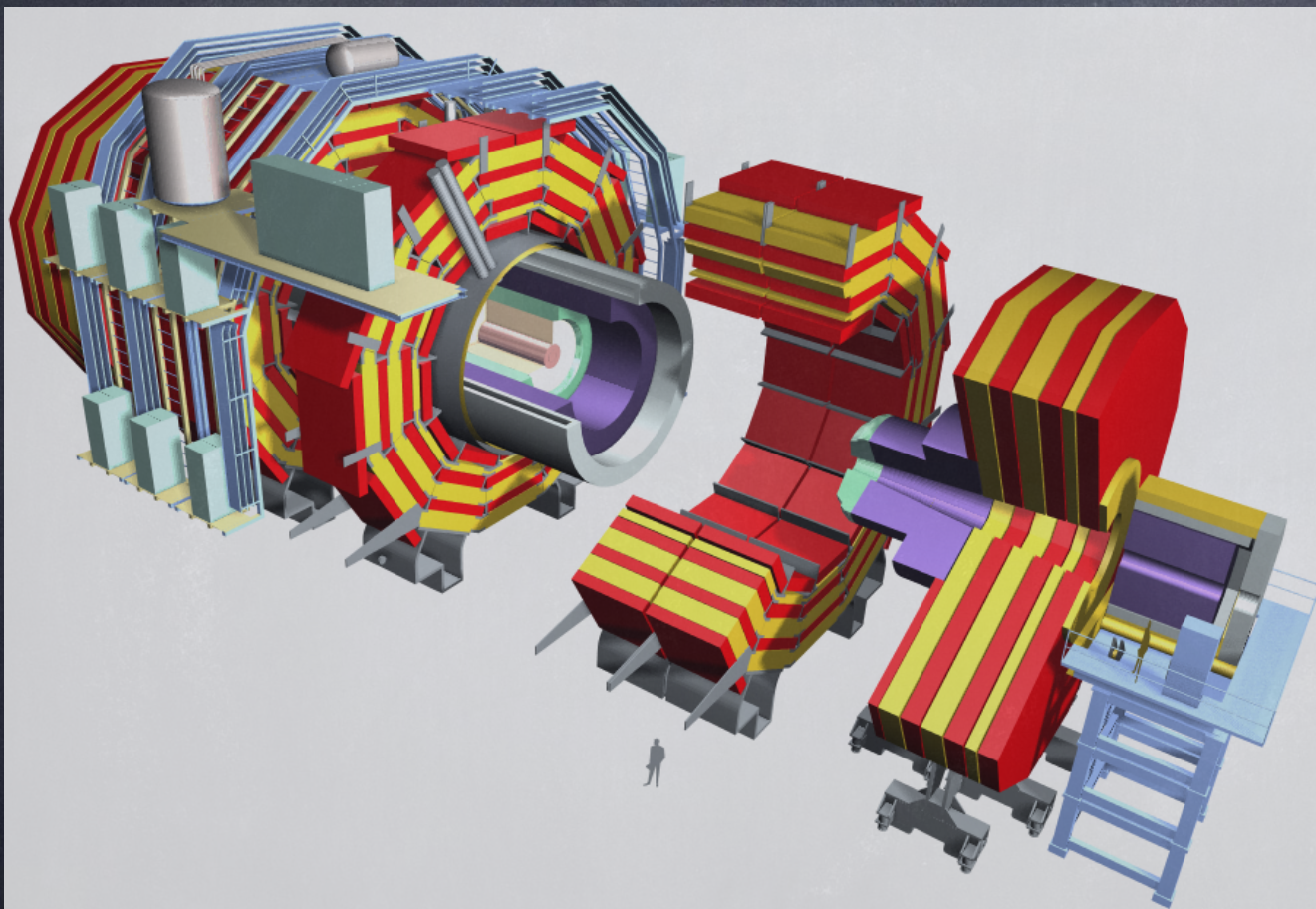




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

### Rechner-Bild des Detektors:

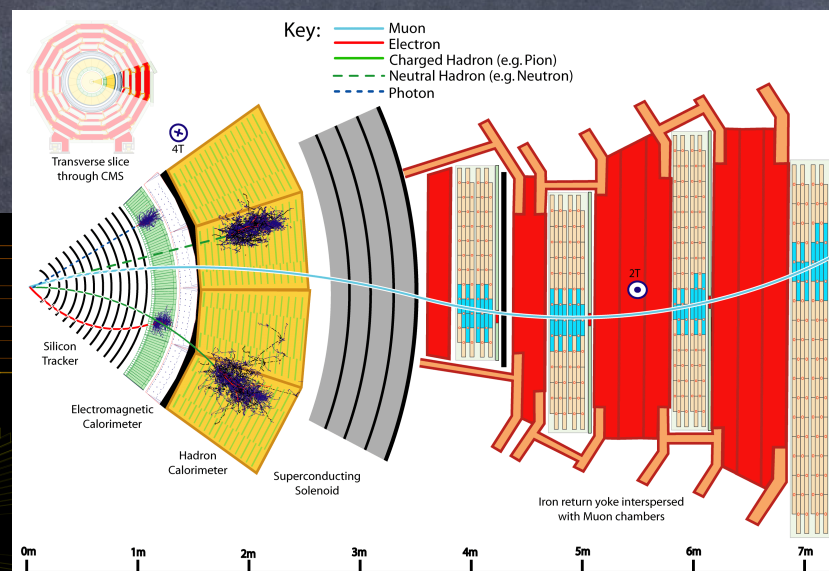




# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

Um sicher zu gehen, dass man keine „Zufälle“ misst, muss man ganz oft messen und die Ergebnisse zusammentragen:



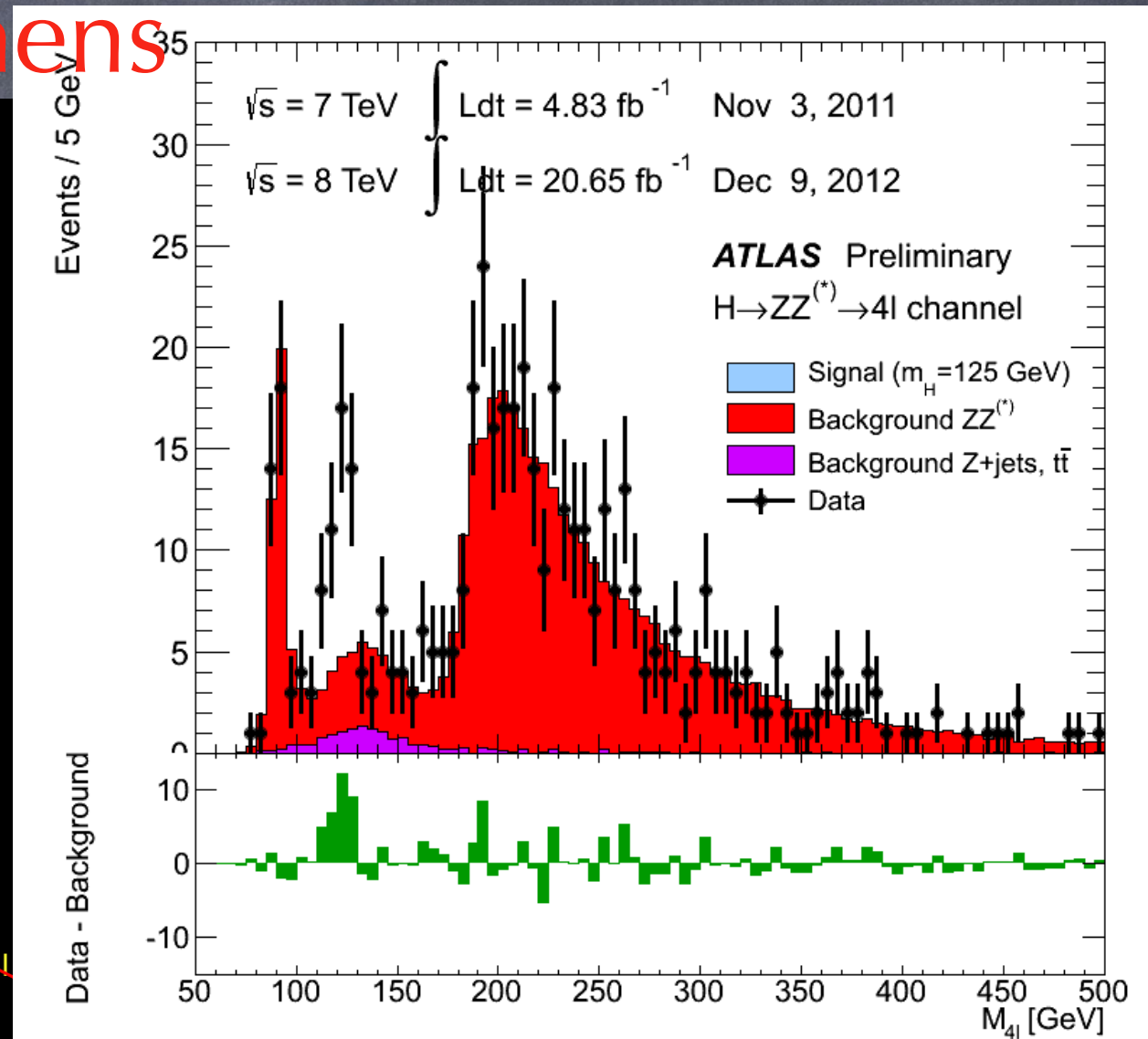
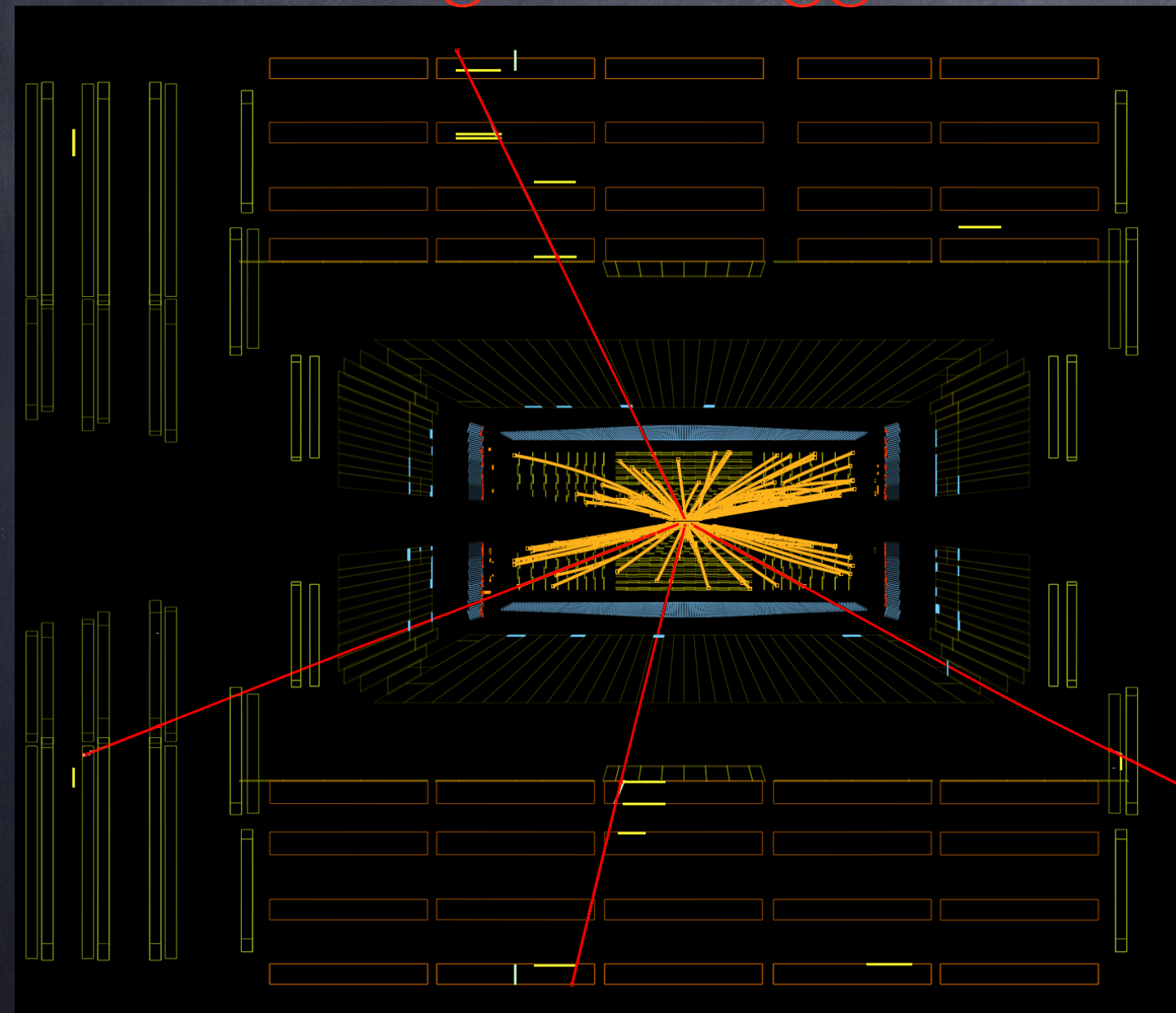
Video:  
4l\_FixedScale\_NoMuProf2.mp4



# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

### Entdeckung des Higgs-Teilchens





# Teilchen- und Beschleuniger-Physik

## Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

### Entdeckung des Higgs-Teilchens



Genf – CERN



Lindau – Nobelpreisträgertagung



Melbourne – ICHEP Konferenz



Hamburg – DESY



# Wie funktioniert unsere Welt?

Einführung Q2-Ph1LK (Ben)  
**CMS Masterclass**

**Danke :-)**  
an  
**Denise Hellwig**  
und  
**Stefan Schoppmann**  
vom  
**III. Physikalisches  
Institut der RWTH  
Aachen,**  
**Stand: Dez. 2015**

Gleich könnt ihr mit den  
Original-Messwerten des  
CMS forschen und erlebt  
gemeinsam, wie die  
Menschen heute den  
Geheimnissen unserer  
Welt auf die Spur kommen.

**CMS Masterclass**  
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

**JARA** | Jülich Aachen  
Research Alliance **Kids**

(c) 2015 by  
Stefan Bechstein

**GaG** GYMNASIUM  
AM GEROWEIER

AN INITIATIVE OF  
**RWTH AACHEN**  
UNIVERSITY **JÜLICH**  
FORSCHUNGSZENTRUM