

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 GEROWEIHER

AN INITIATIVE OF
RWTHAACHEN
UNIVERSITY 

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 GEROWEIHER

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
- gekrümmmt
- ausgeprägt
- oder kaum zu sehen
- ...

und zeigen in die unterschiedlichsten Richtungen.



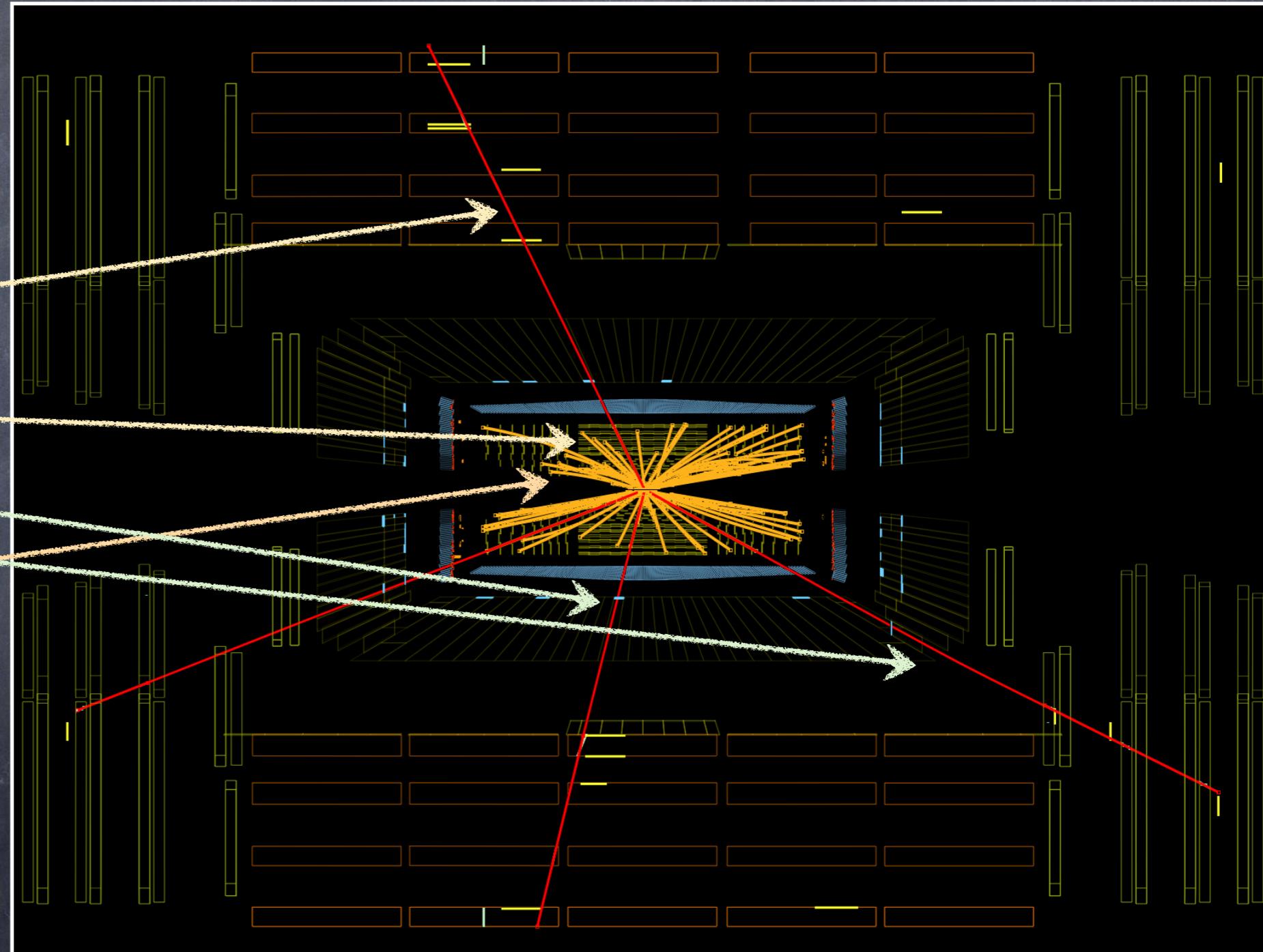
Blick in das Innerste der Welt

CMS Detector

(Foto: CMS)

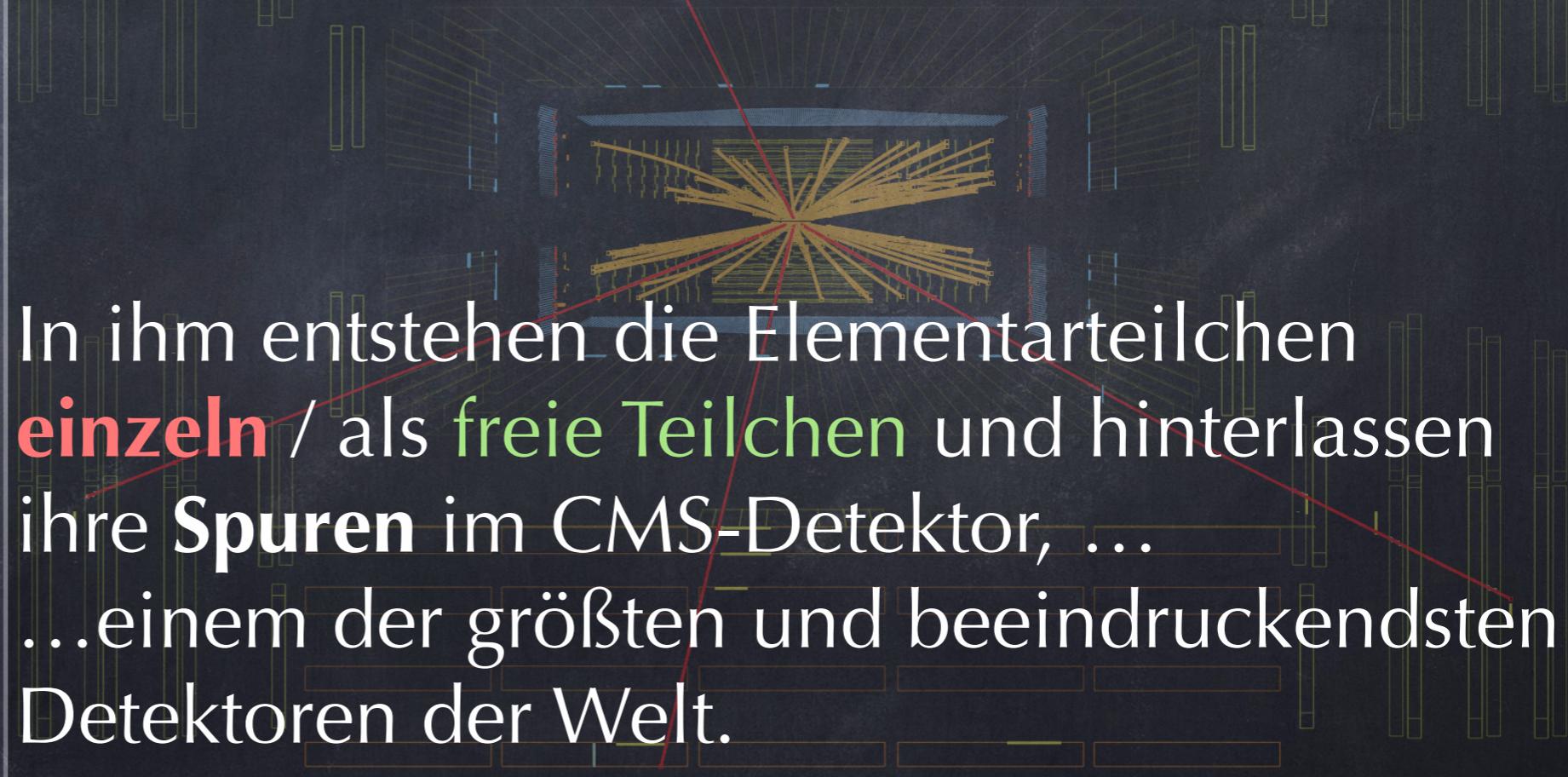
Auch diese Spuren sind

- 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.

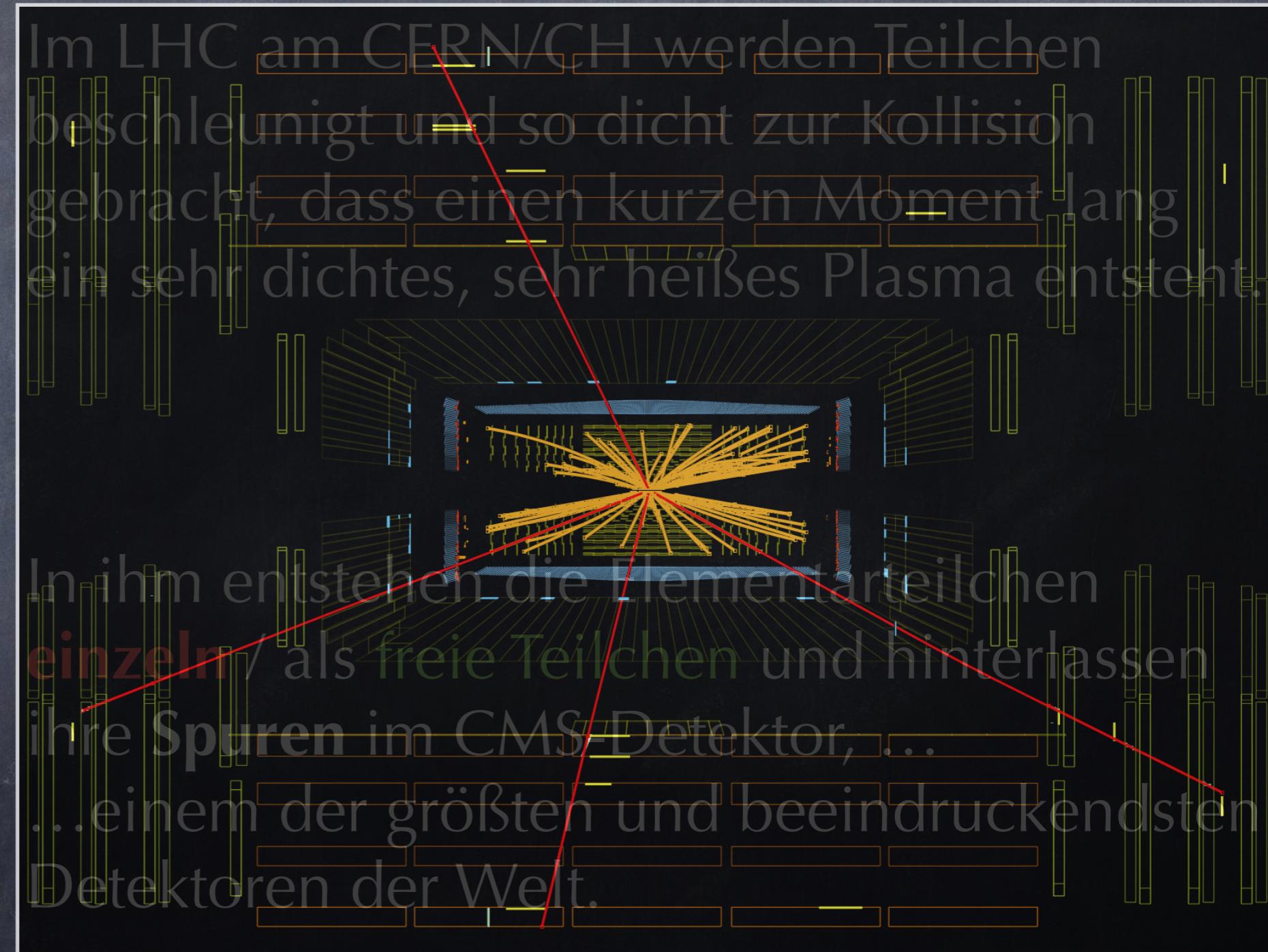


In ihm entstehen die Elementarteilchen **einzel**n / als freie Teilchen und hinterlassen ihre Spuren im CMS-Detektor, ...
...einem der größten und beeindruckendsten Detektoren der Welt.

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 **GAG** GYMNASIUM
AM GEROWEIHER

AN INITIATIVE OF
RWTHAACHEN UNIVERSITY 

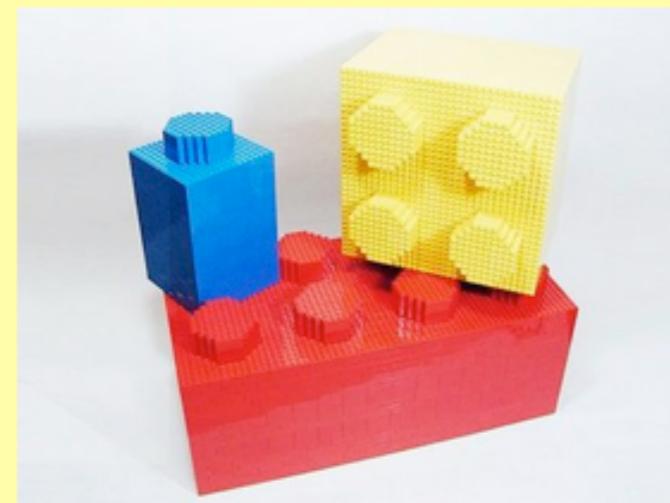
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

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?

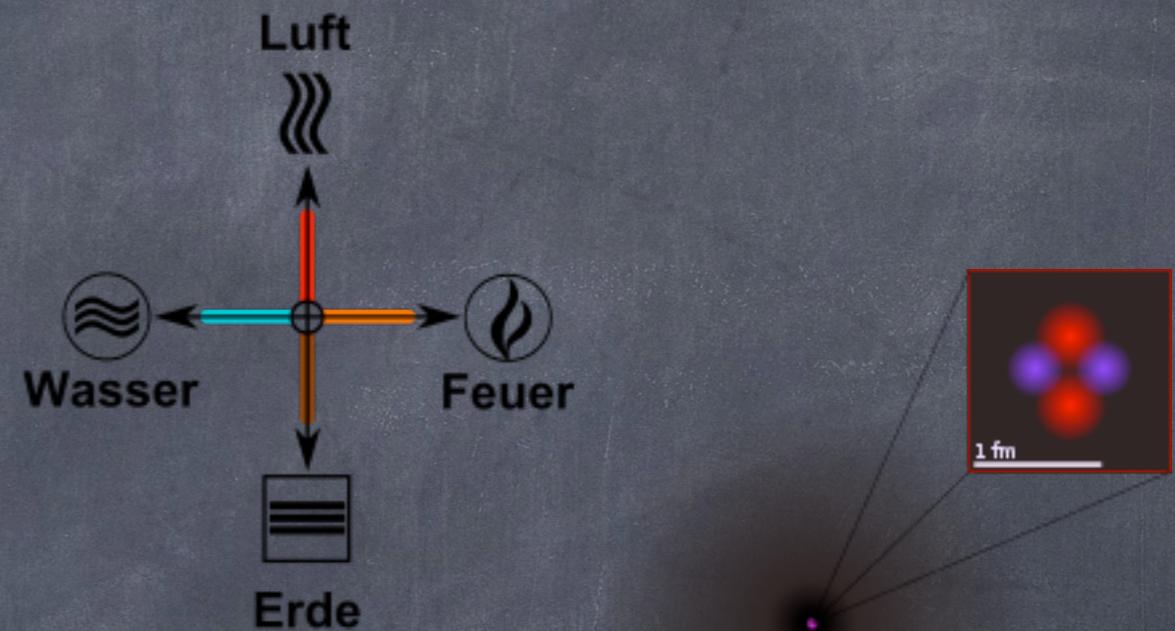
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

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.):

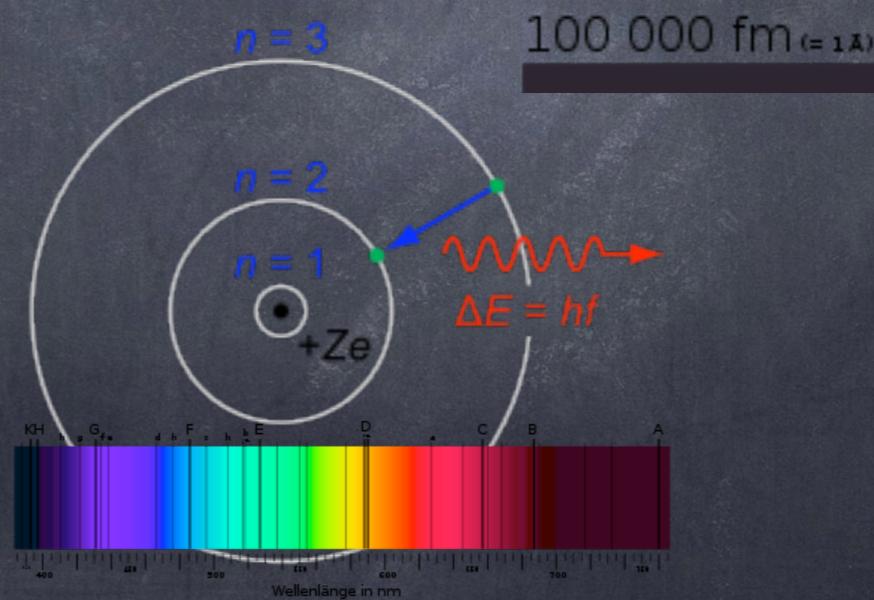
Vier **Elemente**-Lehre Wasser, Erde, Feuer und Luft



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

Atom besteht aus Elektronen, Protonen und Neutronen

Widerspruch?
Nein, Modellwechsel.



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

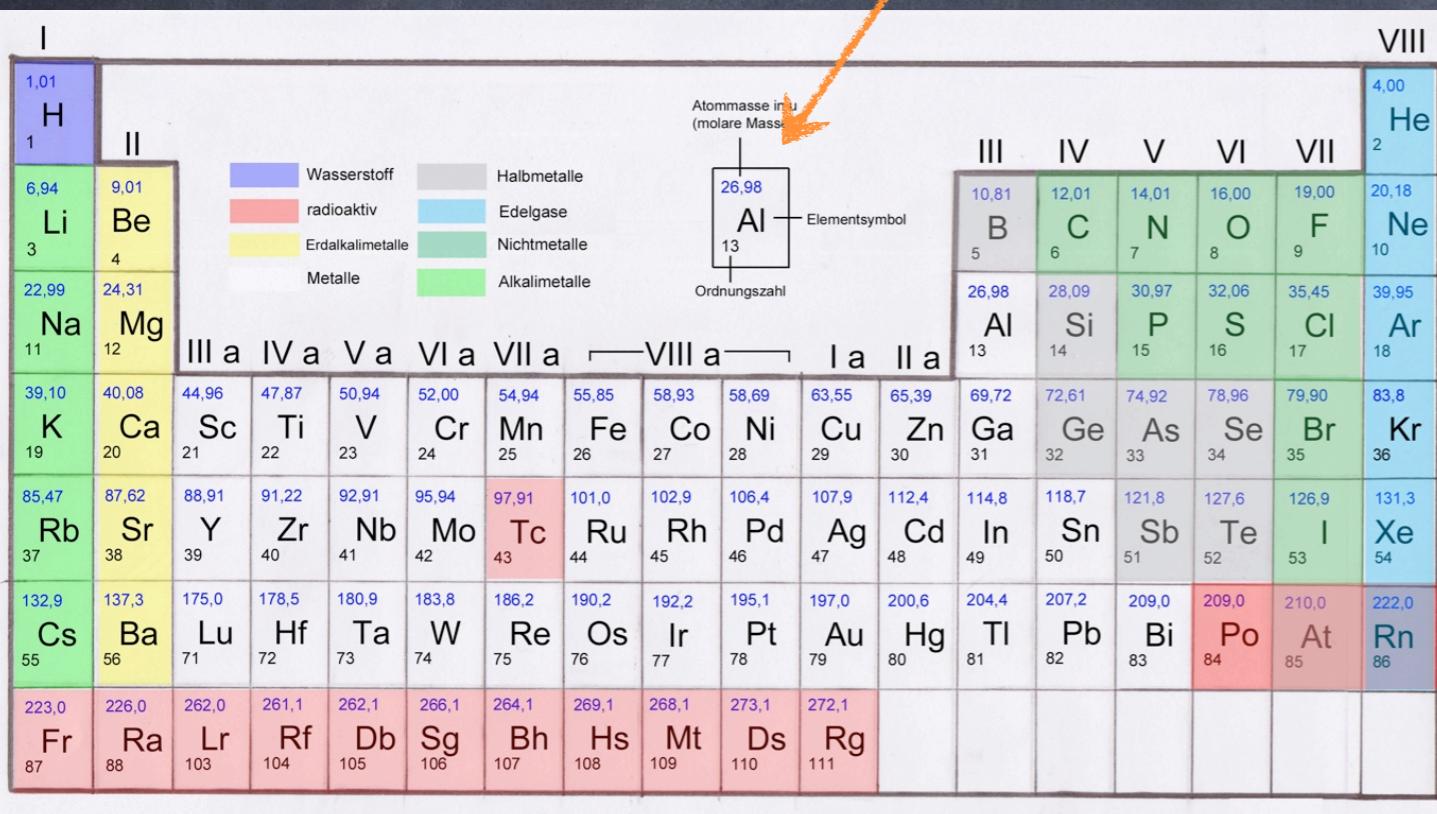
Kapitel 1: Aufbau der Materie

Atom besteht aus Elektronen, Protonen und Neutronen

Elektronen und Protonen haben Ladungen (Elementarladung)

Es gibt Wechselwirkungen zwischen Teilchen

Teilchen haben Masse



I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII											
1,01 H 1	9,01 Be 4	10,81 B 5	12,01 C 6	14,01 N 7	16,00 O 8	19,00 F 9	4,00 He 2											
6,94 Li 3	22,99 Na 11	26,98 Al 13	26,98 Si 14	30,97 P 15	32,06 S 16	35,45 Cl 17	20,18 Ne 10											
24,31 Mg 12	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								

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 <-> 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



Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

Elektrostatik und

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

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



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

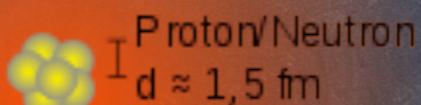


Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

Starke Kraft

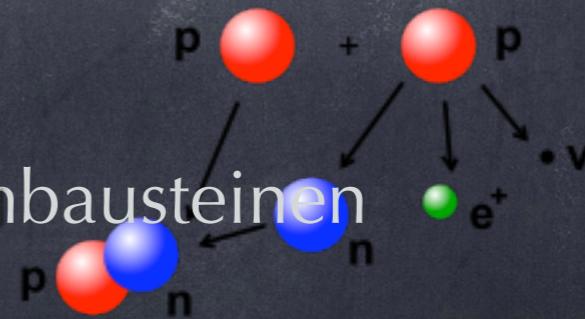
- Hält Atomkerne **zusammen** (Atomkern-Kitt)



Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Atom mit Atomhülle
 $d \approx 100\ 000 \text{ fm} = 1 \text{ Å}$



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen (Niels)

Teil 2: Kraftfelder <-> Austauschteilchen



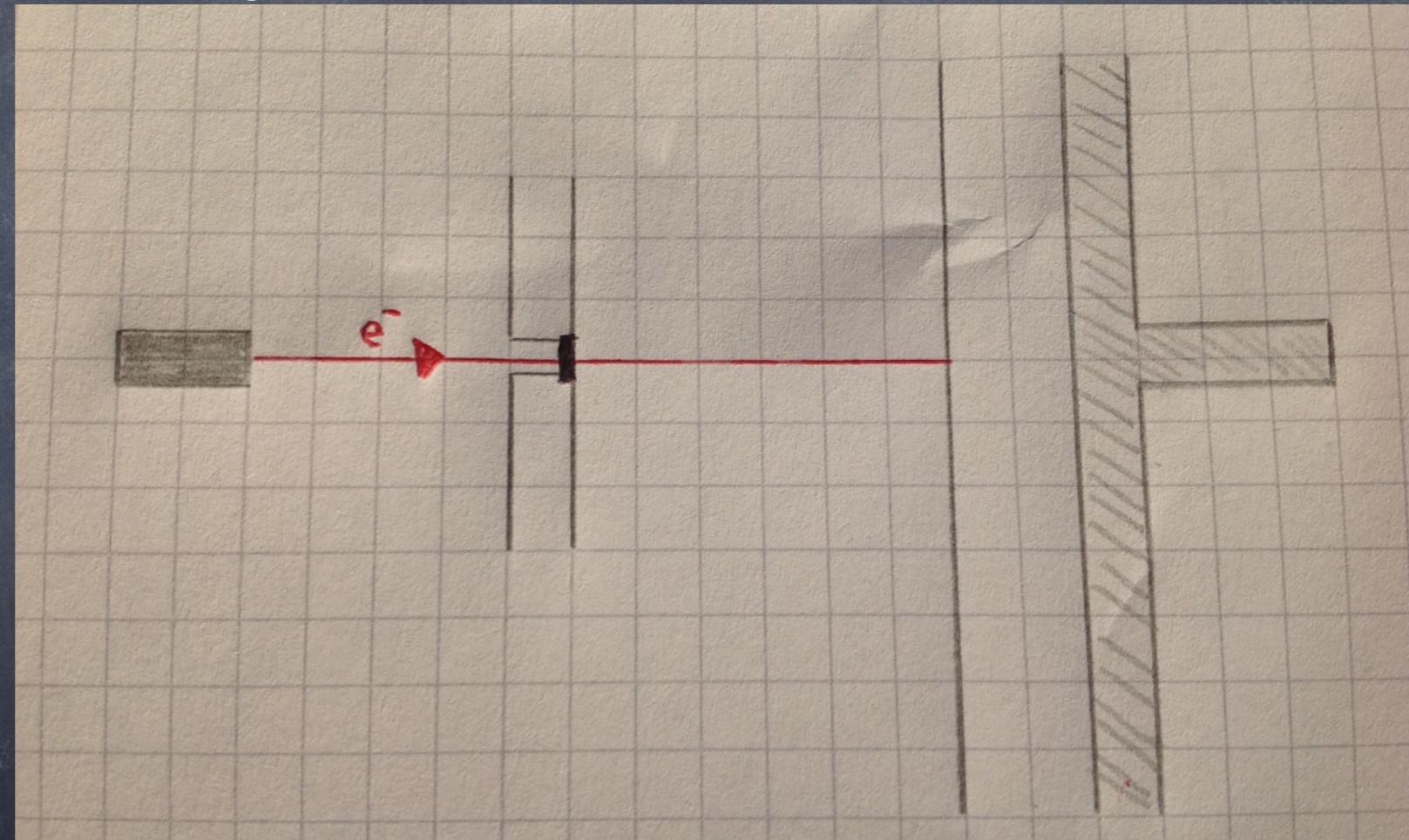
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Louis de Broglie



Erwartung



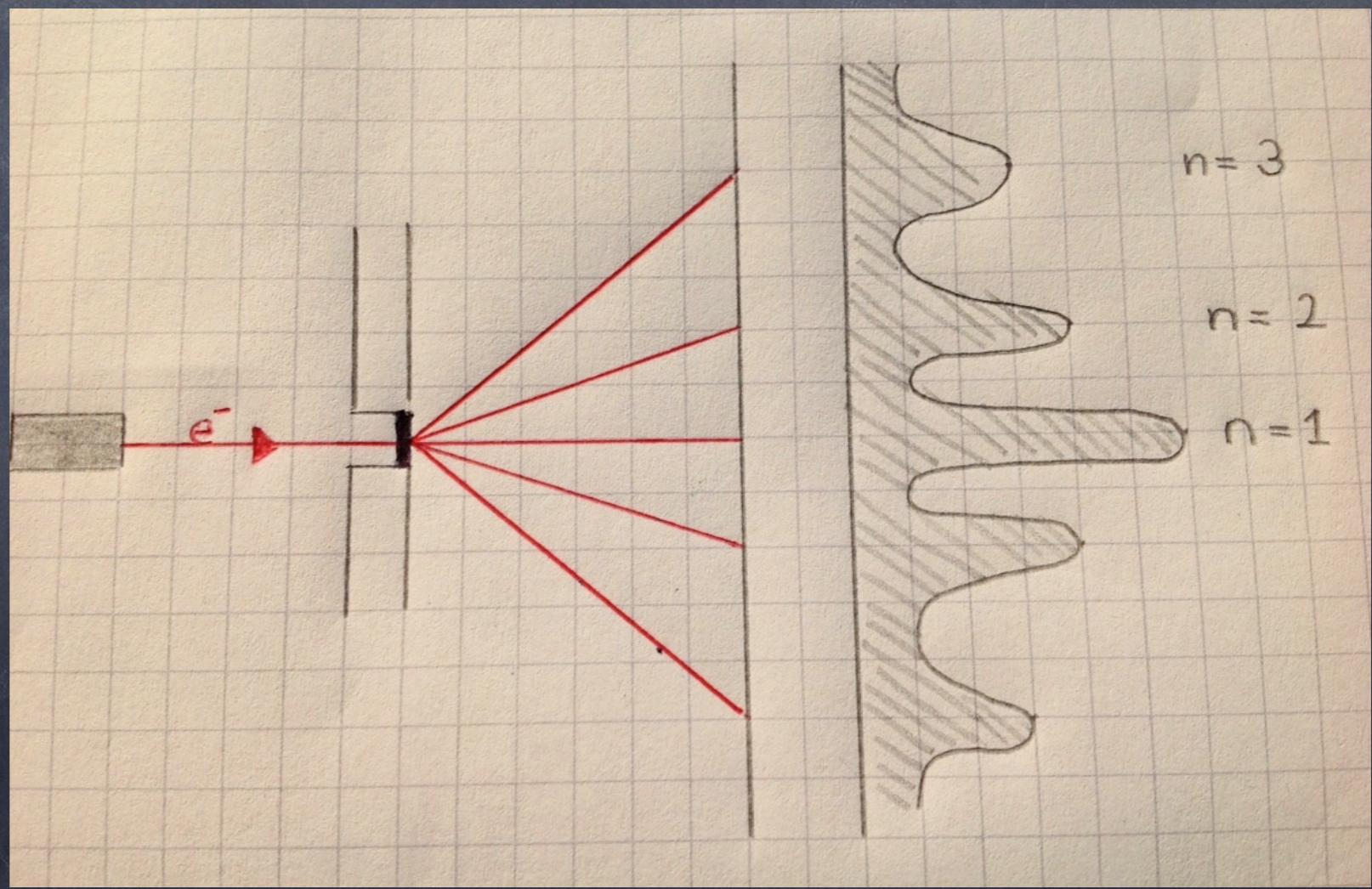
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Louis de Broglie



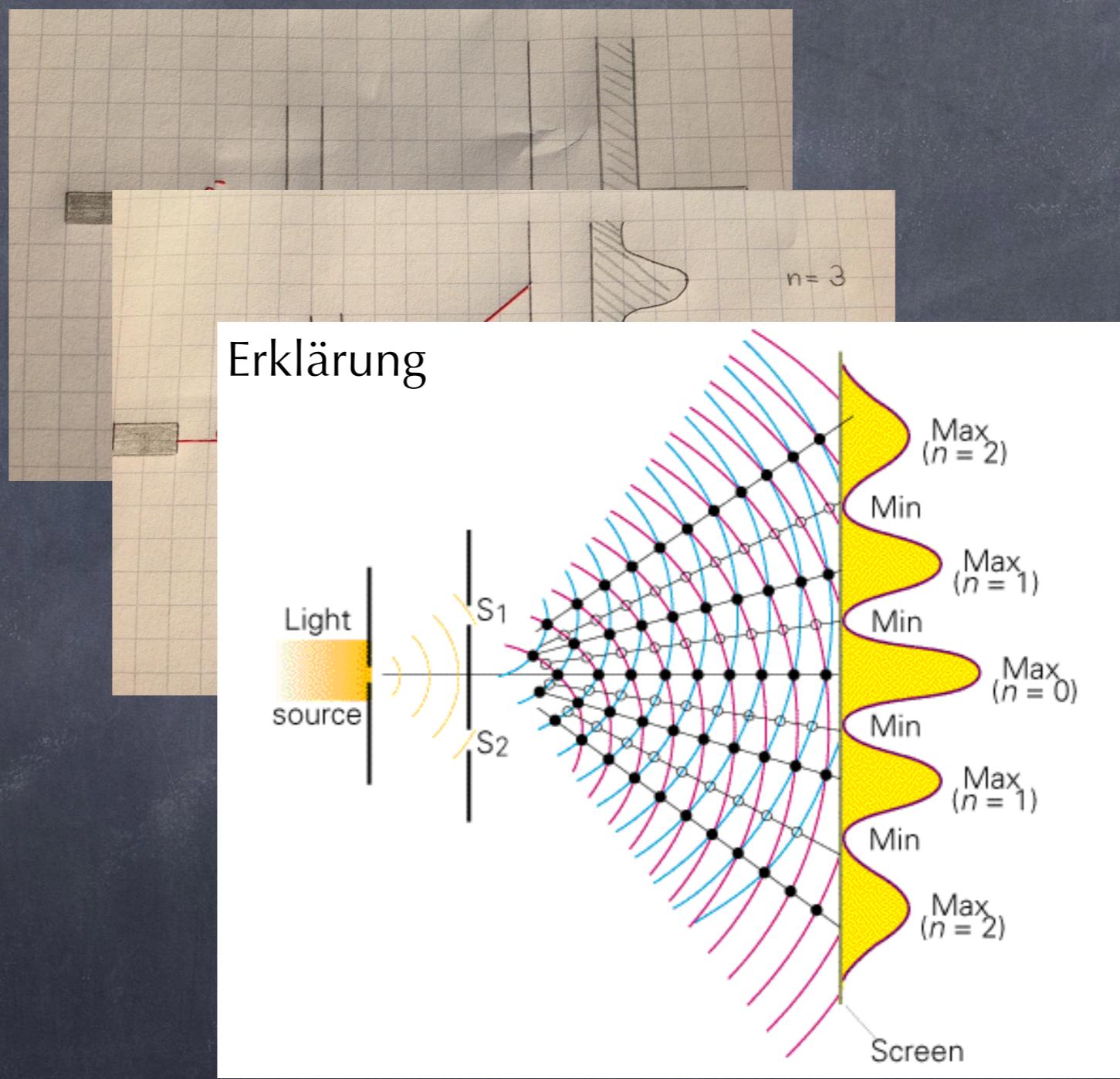
Messung im Experiment



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Louis de Broglie



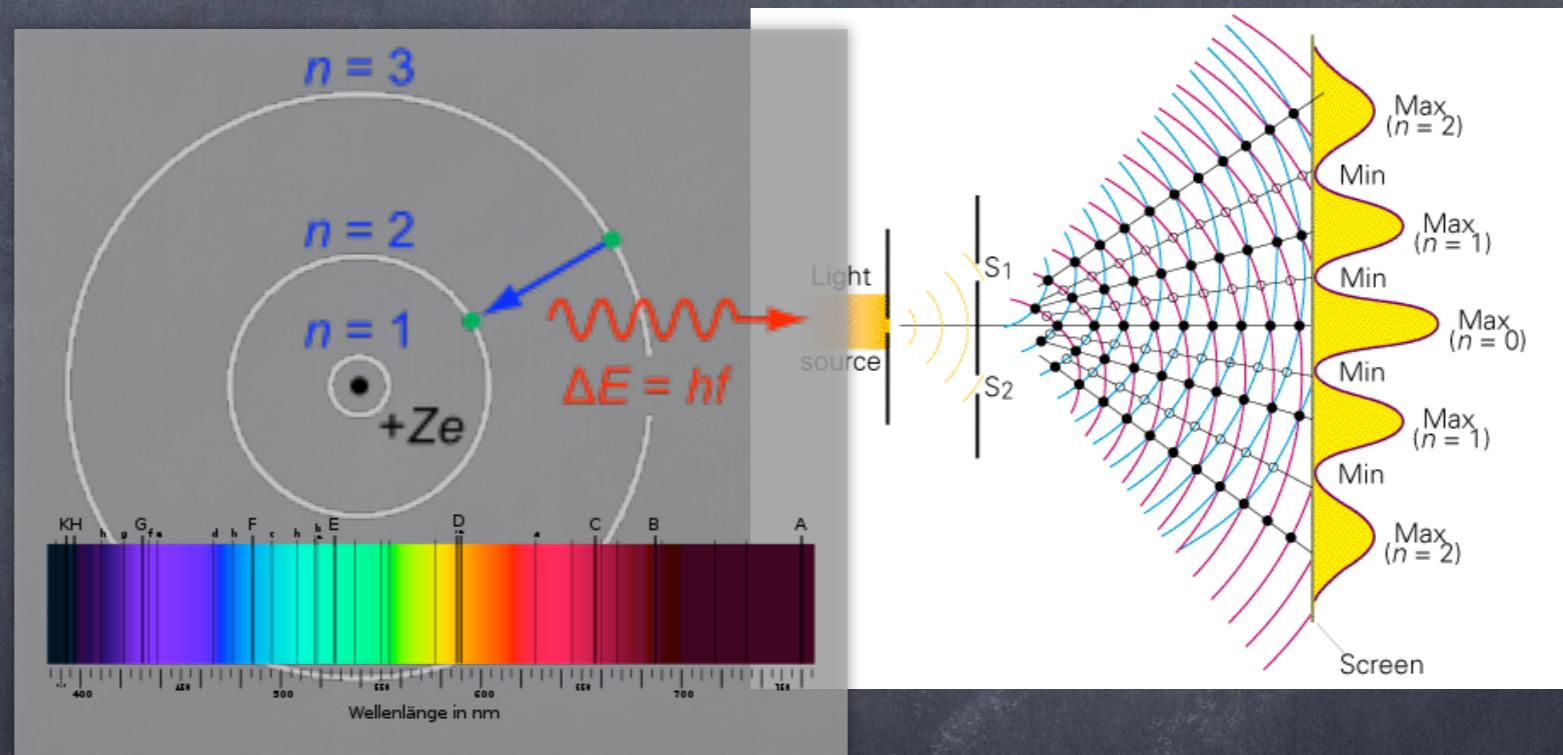
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen (Niels)

Louis de Broglie



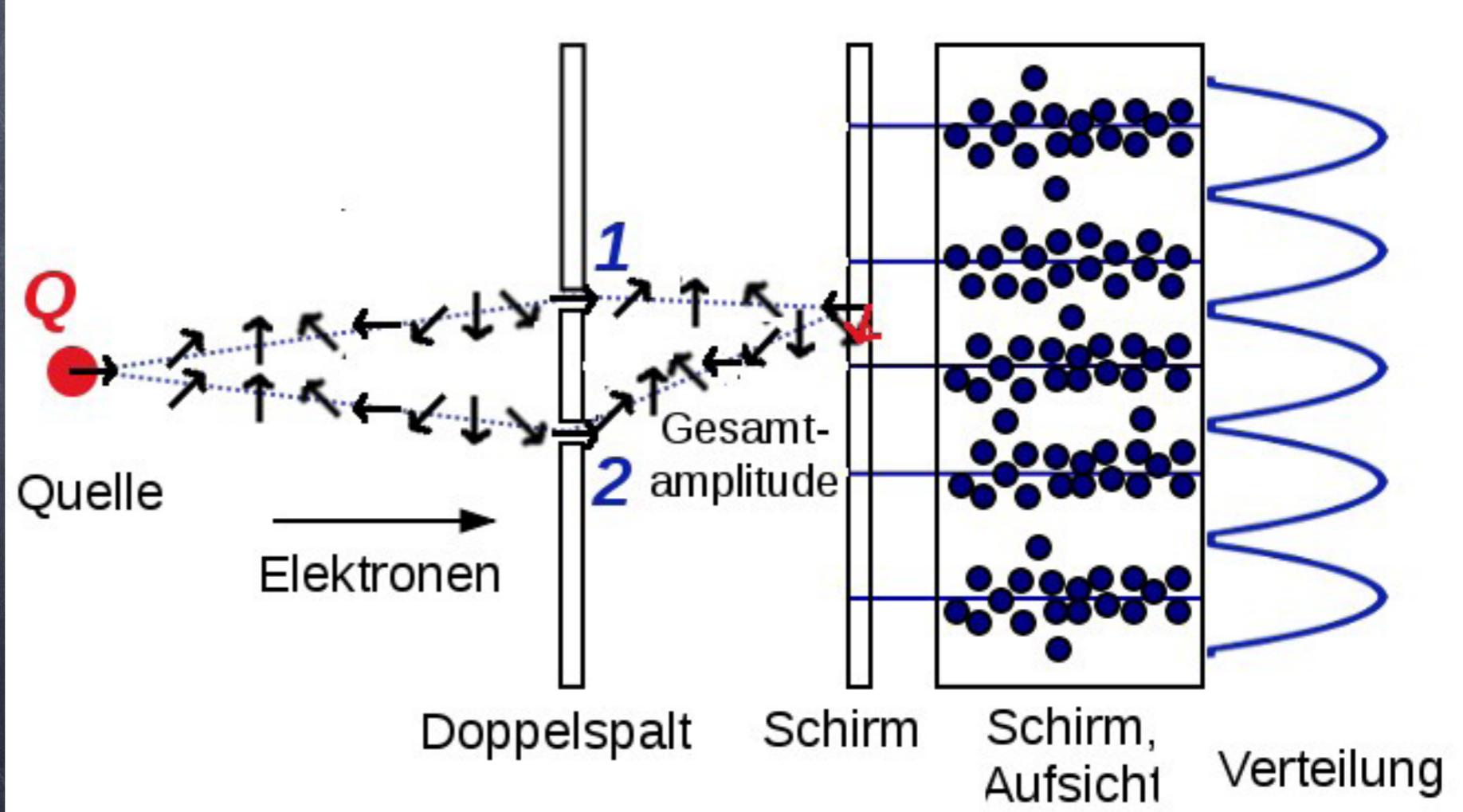
Kräfte, Felder und Austauschteilchen



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

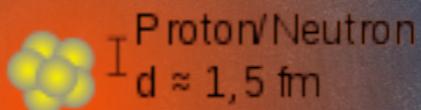


Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

Starke Kraft

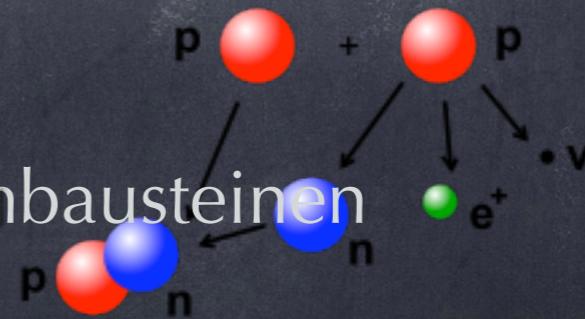
- Hält Atomkerne **zusammen** (Atomkern-Kitt)



Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Atom mit Atomhülle
 $d \approx 100\ 000 \text{ fm} = 1 \text{ Å}$



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

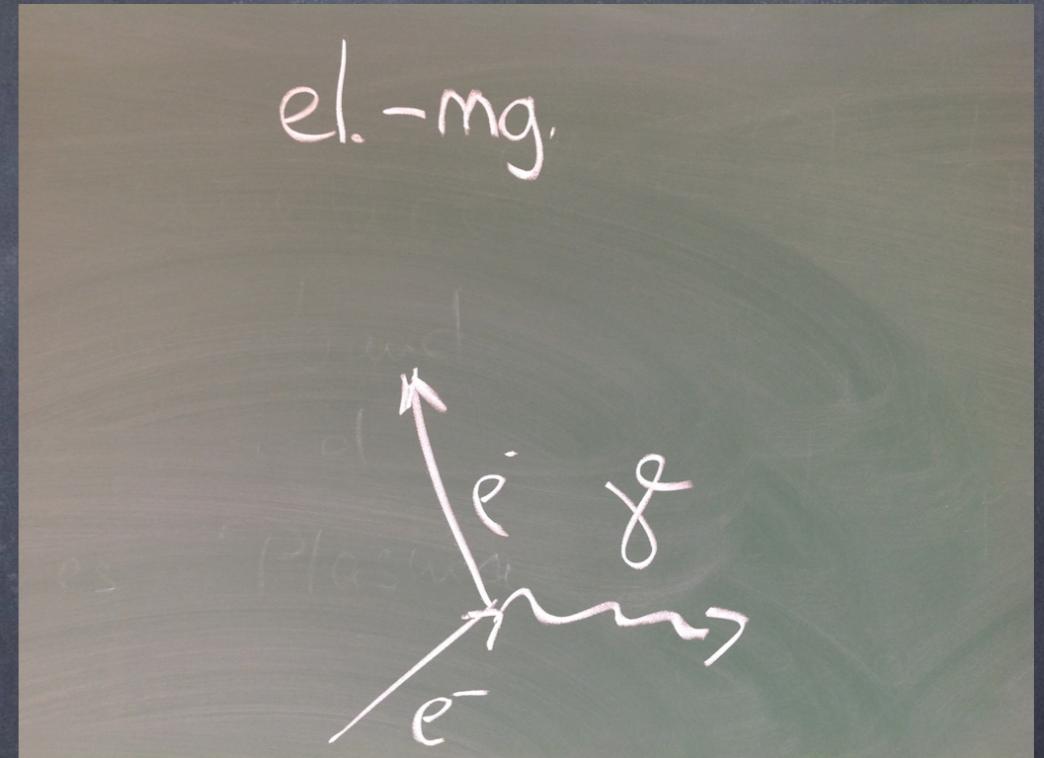
Gravitation

- 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

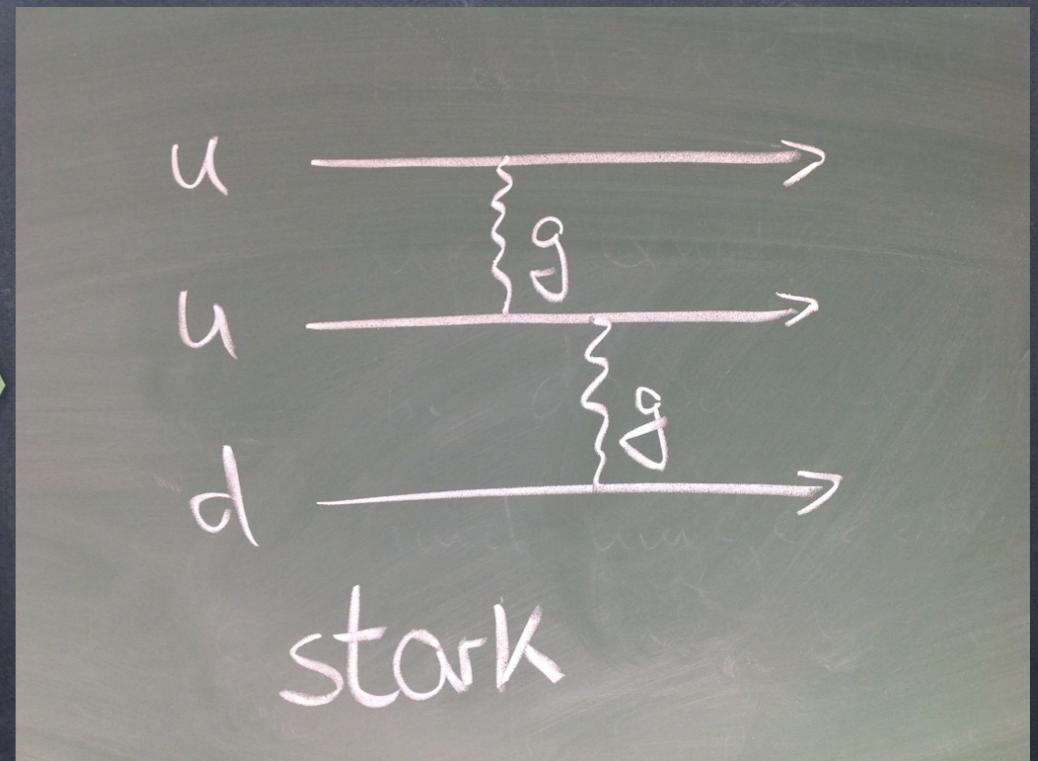
Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Darstellung
Atomkern-Kitt



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 2: Kräfte zwischen den Elementarteilchen

Gravitation

- Bestimmt unseren Alltag
- Wird bei großen Massen spürbar

Elektromagnetische Kraft

- Hält Atome zusammen

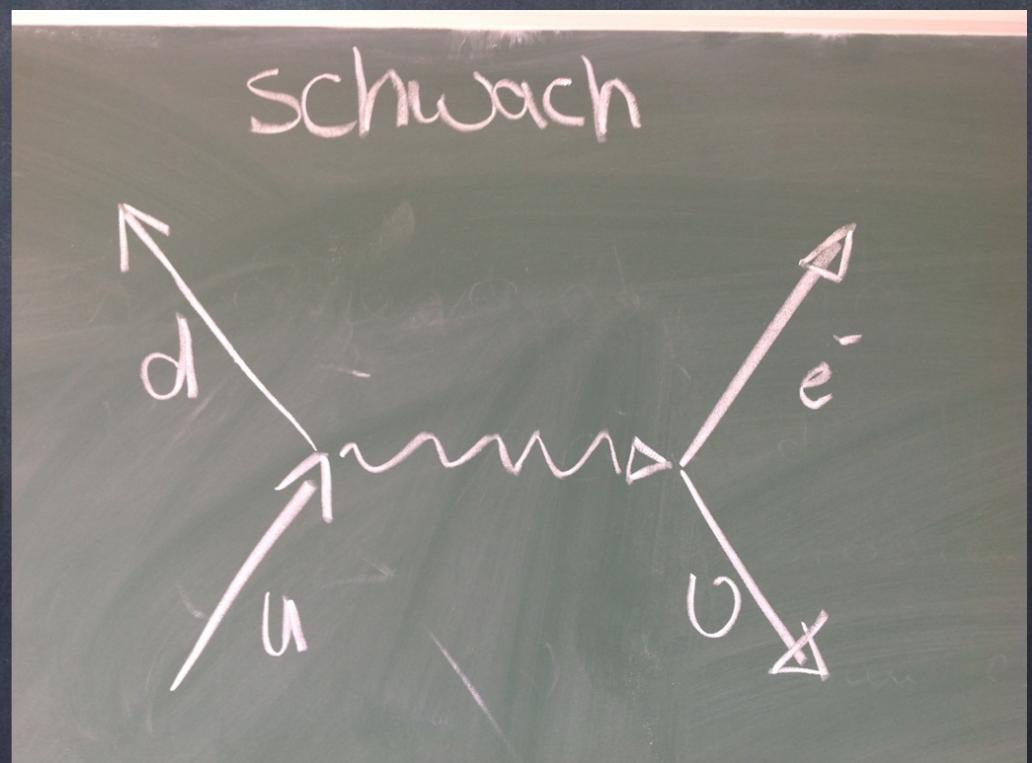
Starke Kraft

- Hält Atomkerne zusammen (Atomkern-Kitt)

Schwache Kraft

- Sorgt für Umwandlung von Kernbausteinen

Darstellung
Kernbausteinen

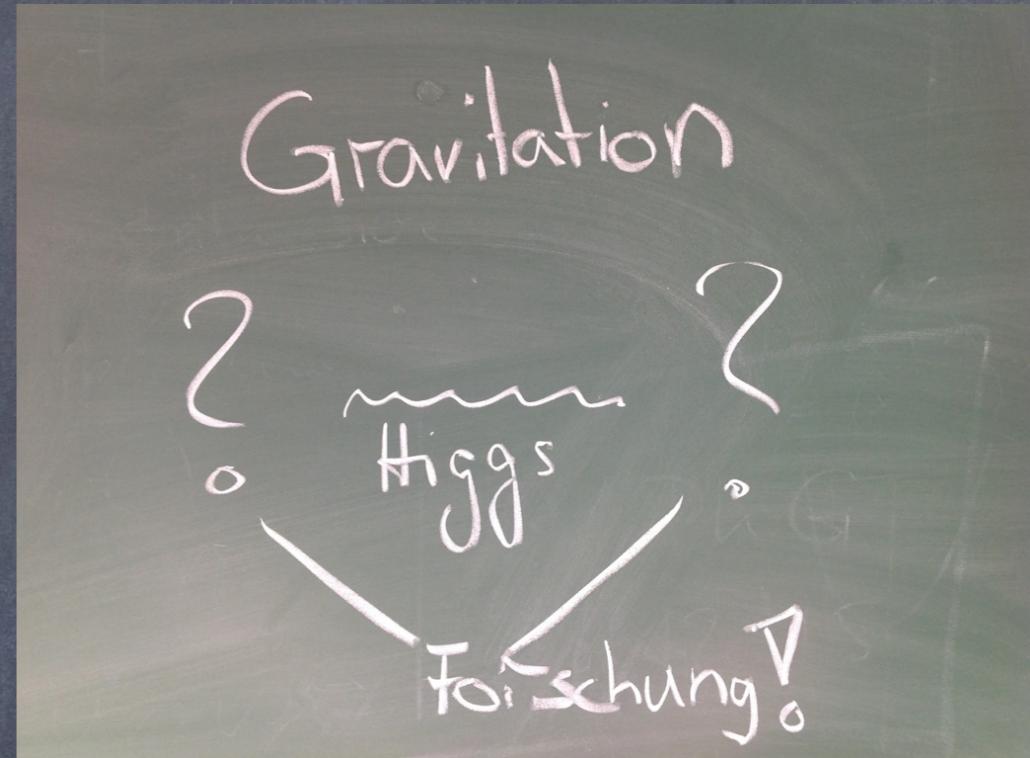


Teilchen- und Beschleuniger-Physik

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

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin
Fragen?

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

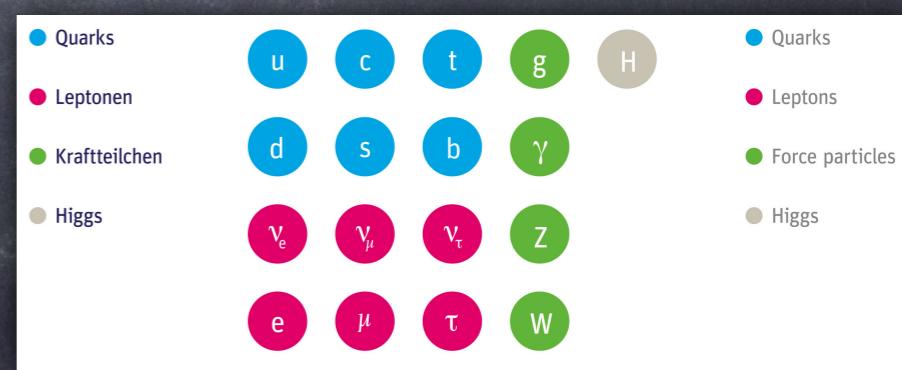
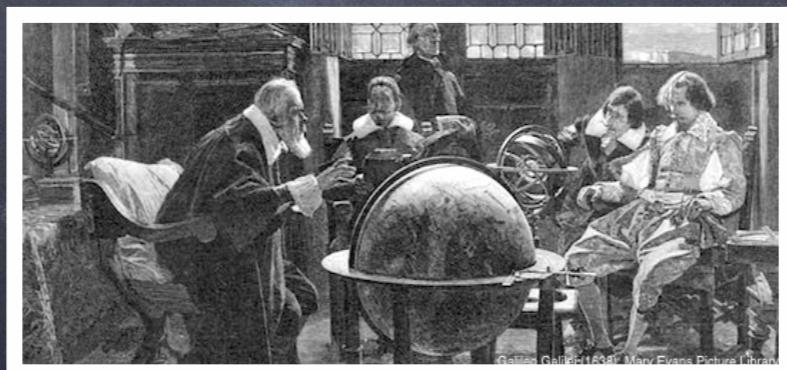
Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo (Marcel)



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

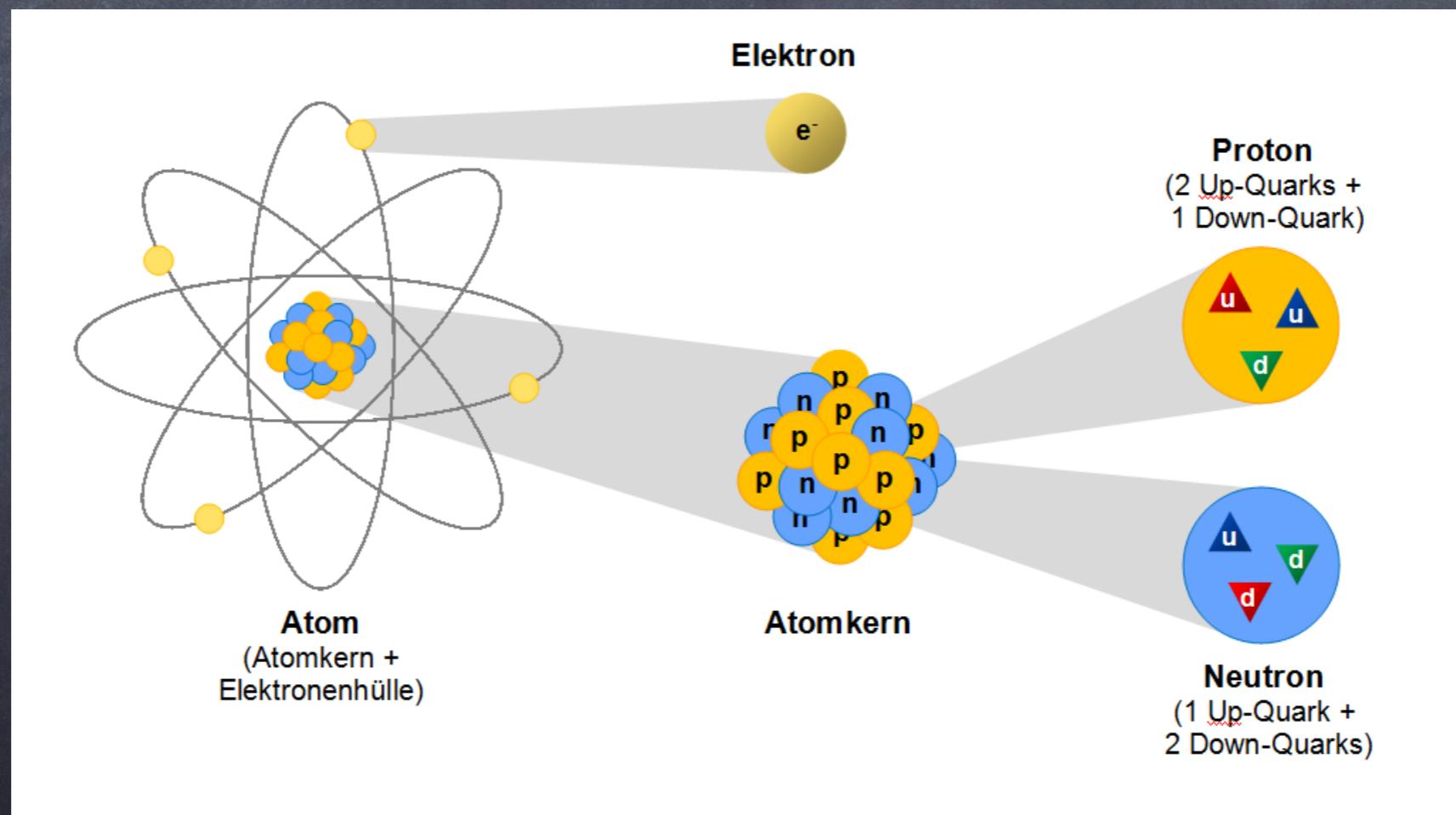


Unser momentanes Modell besagt, dass alles auf der Erde und um uns herum (Materie) aus Elementarteilchen aufgebaut ist.

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

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

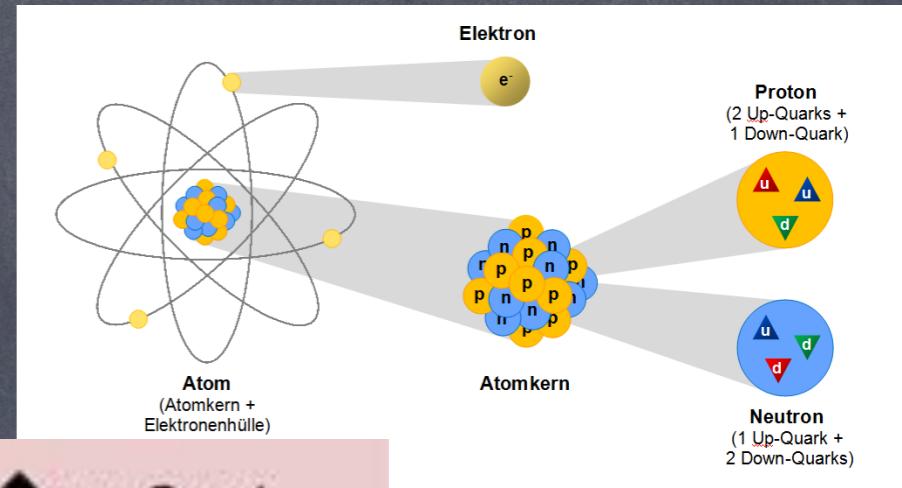


Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo



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



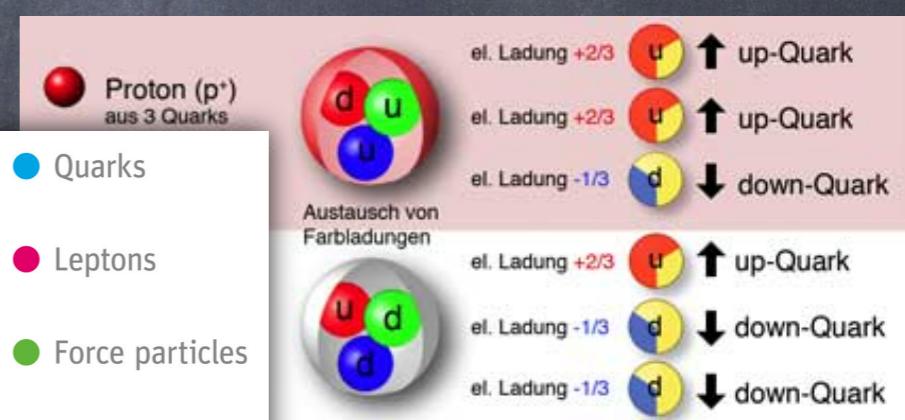
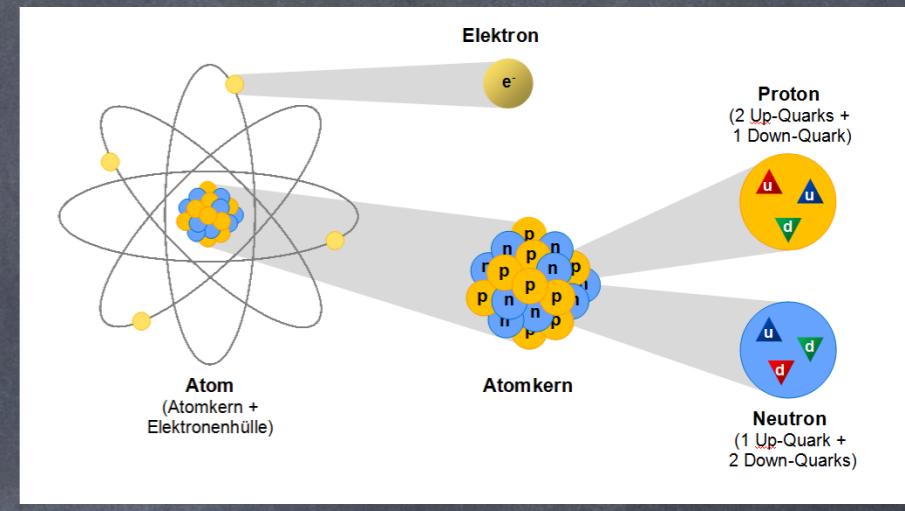
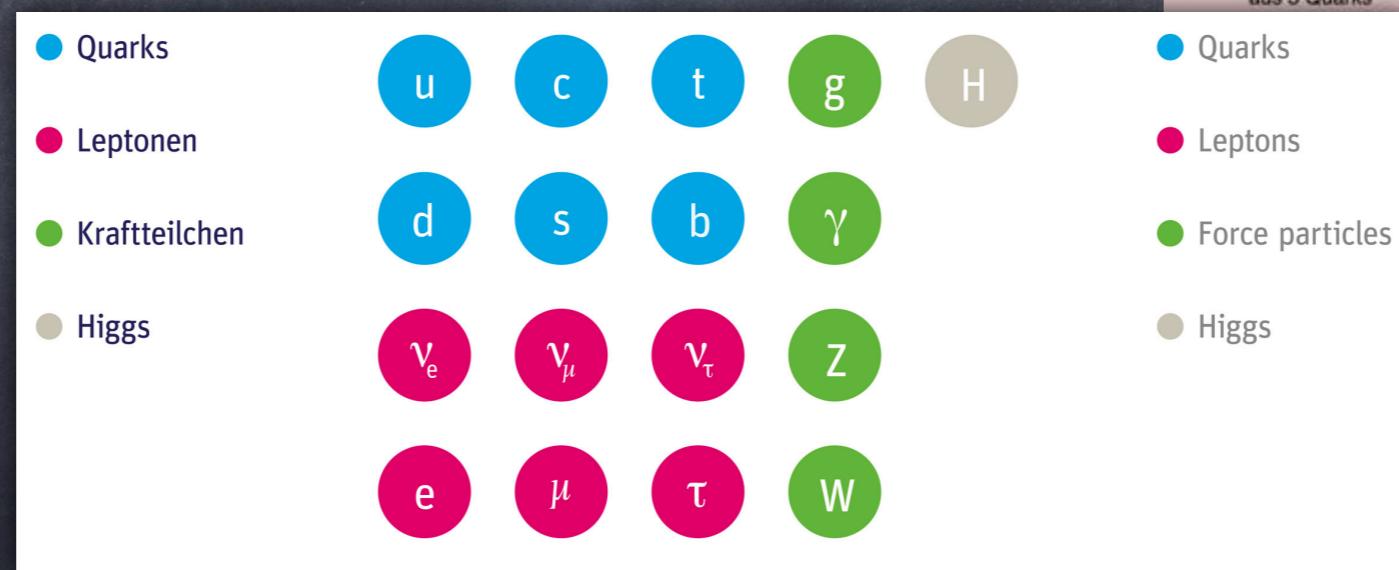
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

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:

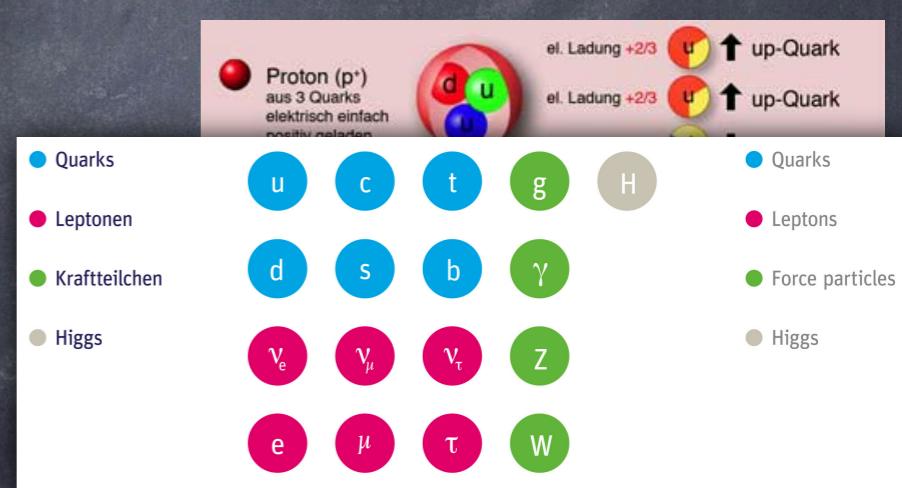
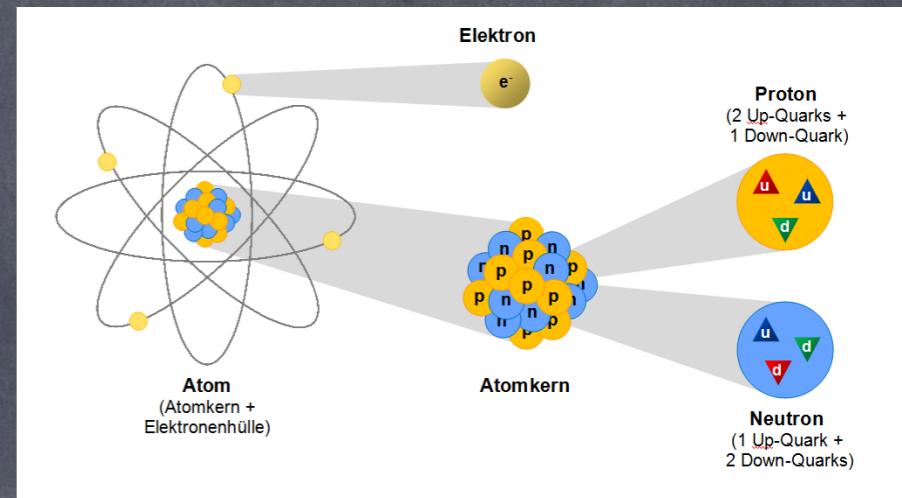
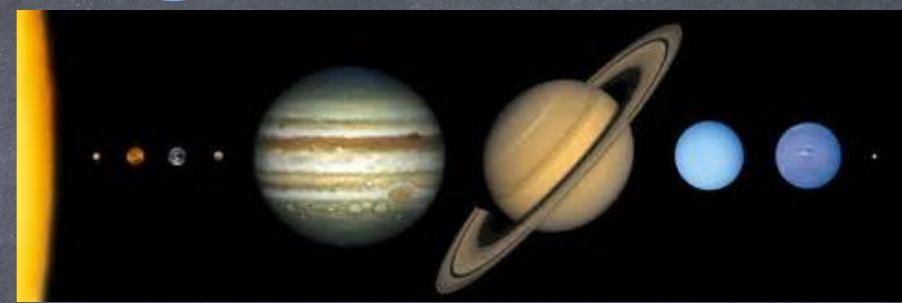


Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

In der Hülle der Atome halten
sich Elektronen auf.

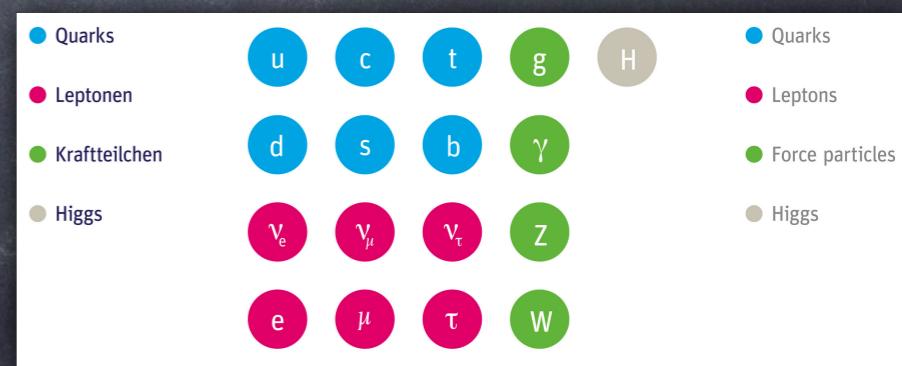
Quarks, Elektronen und noch ein paar andere Teilchen bilden das Standardmodell der Physik:



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

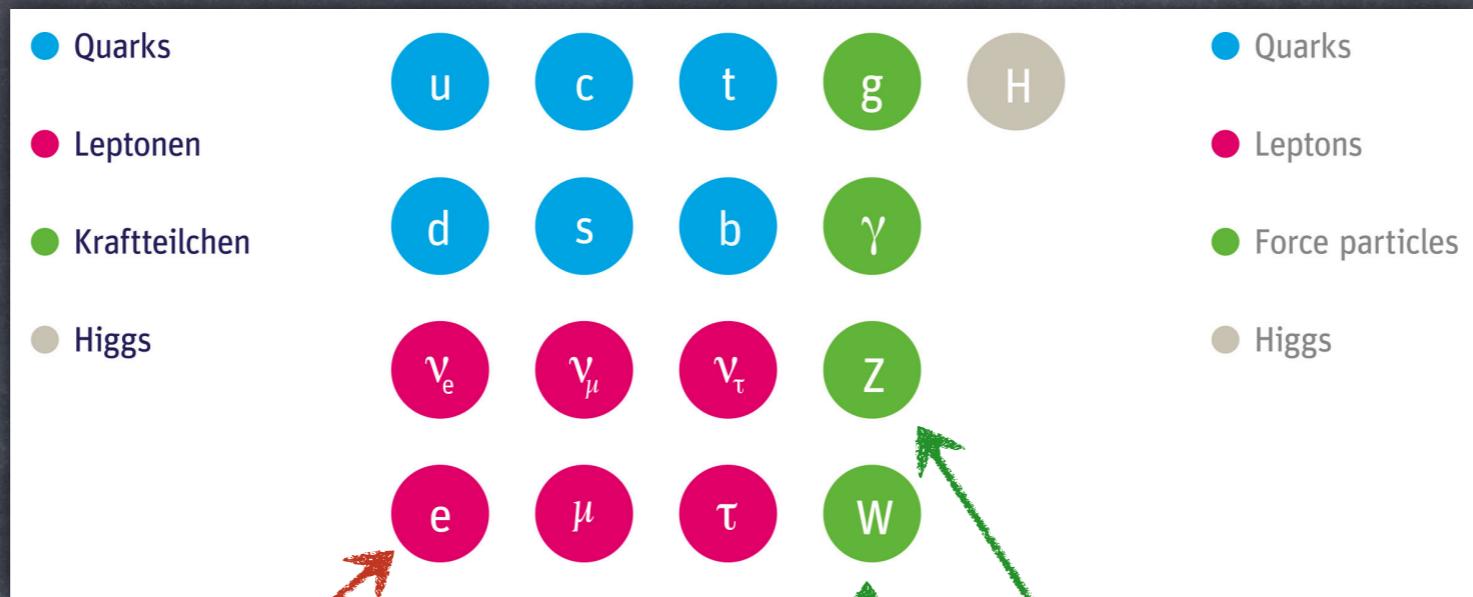
Kapitel 3: Standardmodell und Teilchenzoo

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

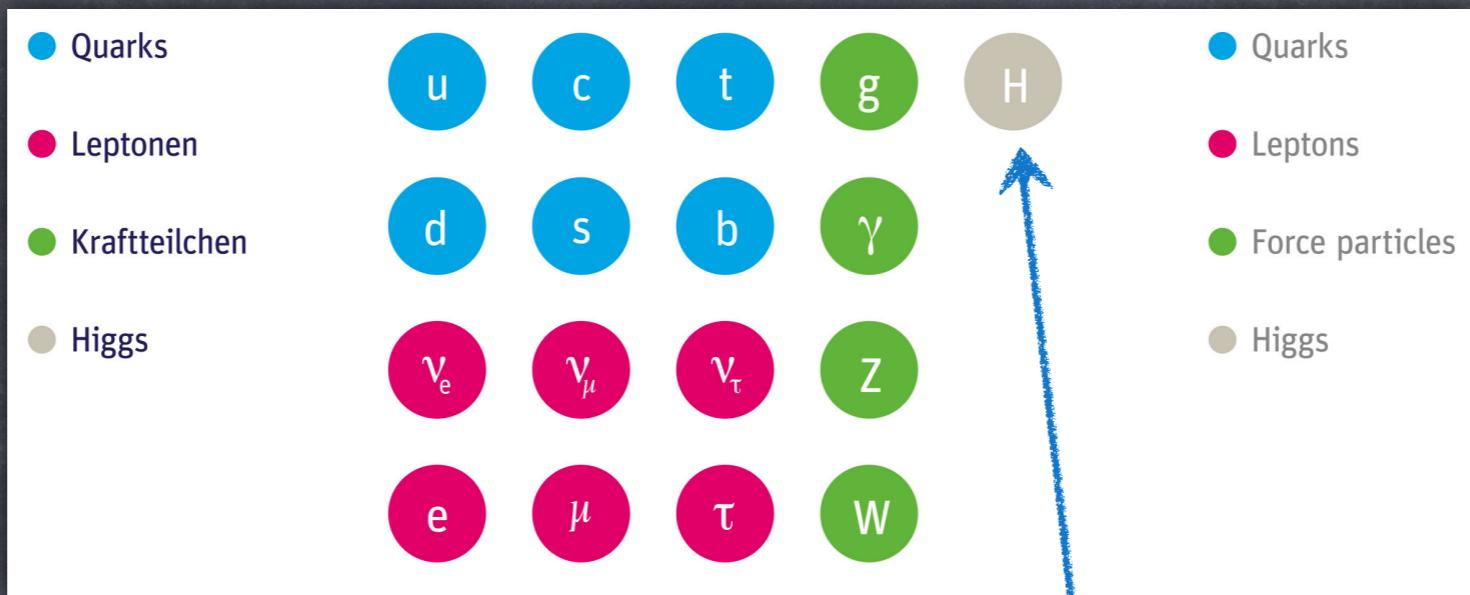


Mit der Entdeckung der
Elektronen verstanden die
Menschen die Elektrizität.

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. Erd-
anziehung) verantwortlich...

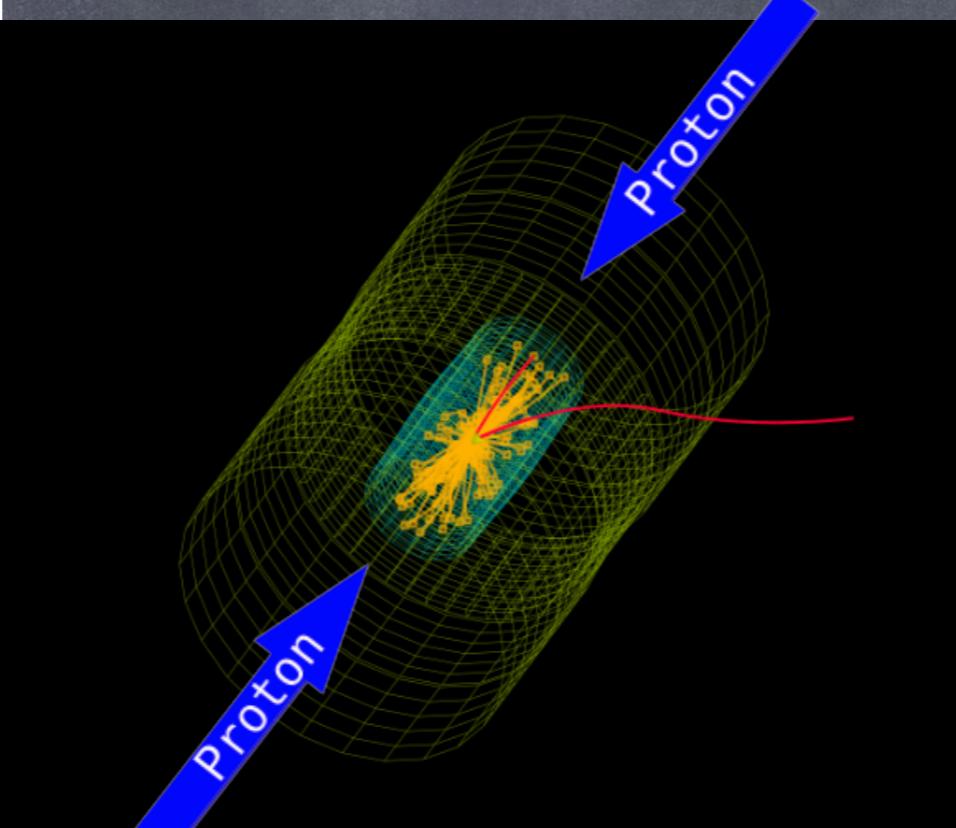
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin
Fragen?

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

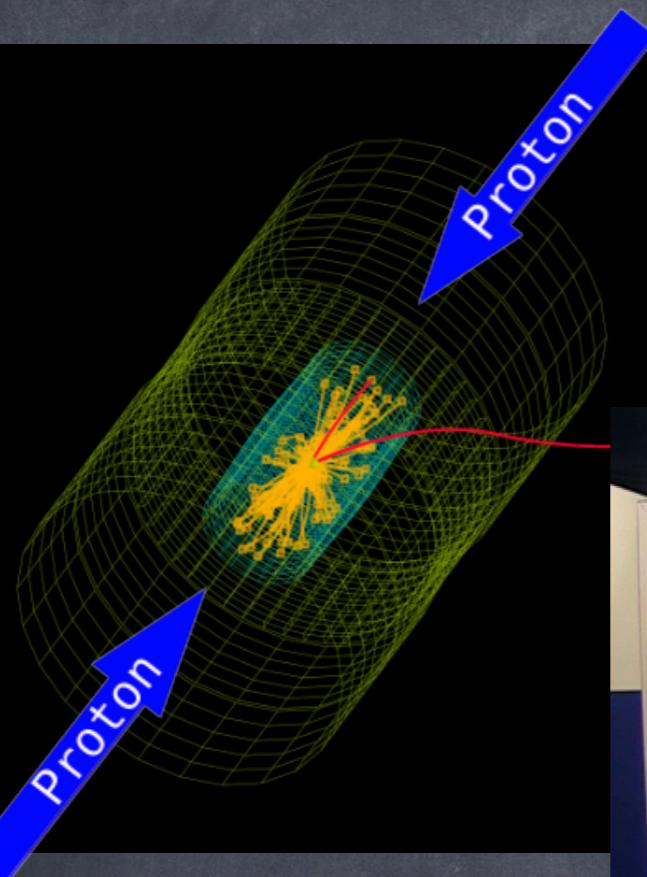
Kapitel 4: Nebelkammer & CMS-Detektor: Spuren detektieren (Ben)



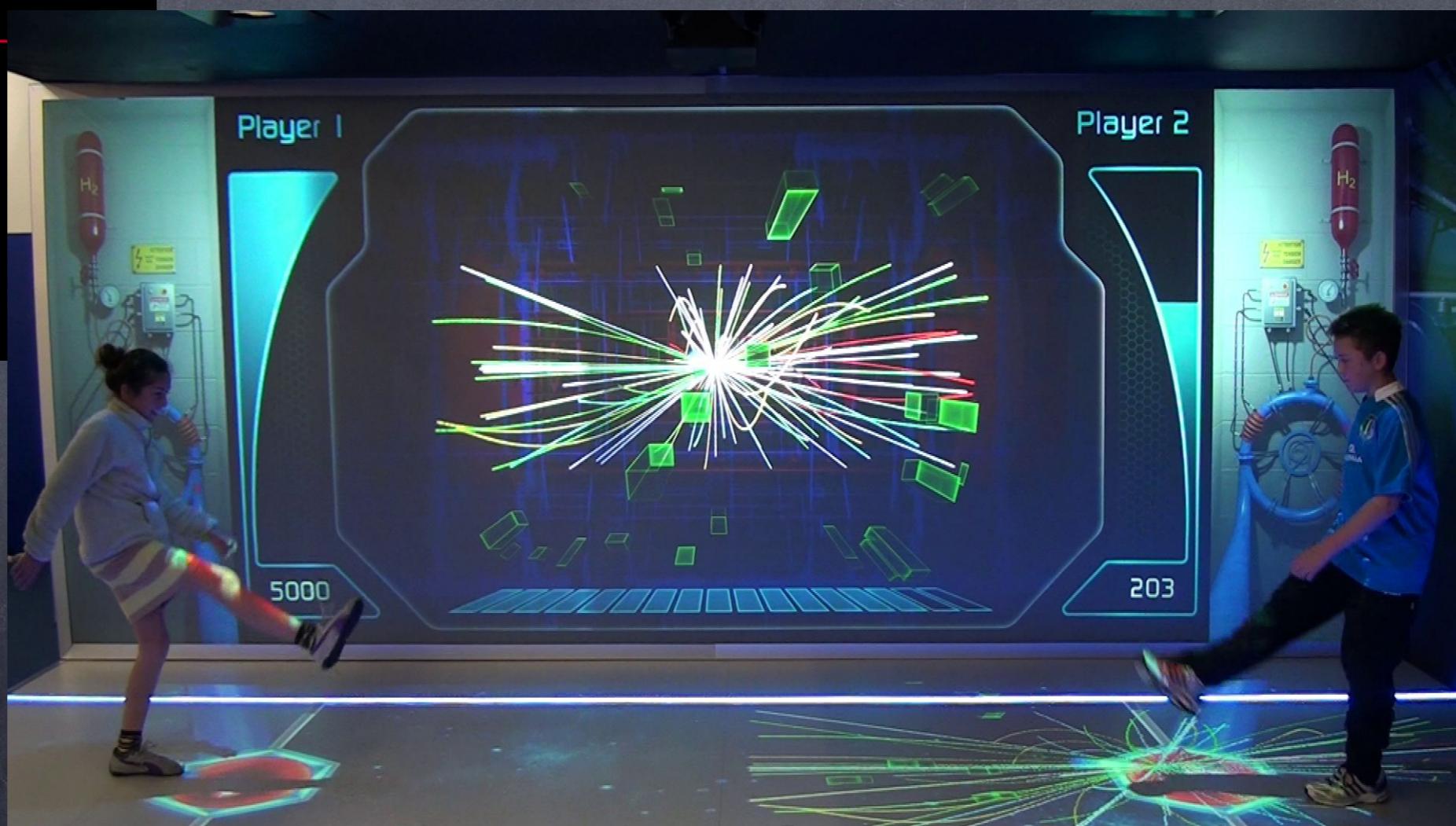
Ähnlich wie in der Nebelkammer werden zunächst Teilchen erzeugt (Zeiger...) und dann ihre Spur beobachtet.

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren

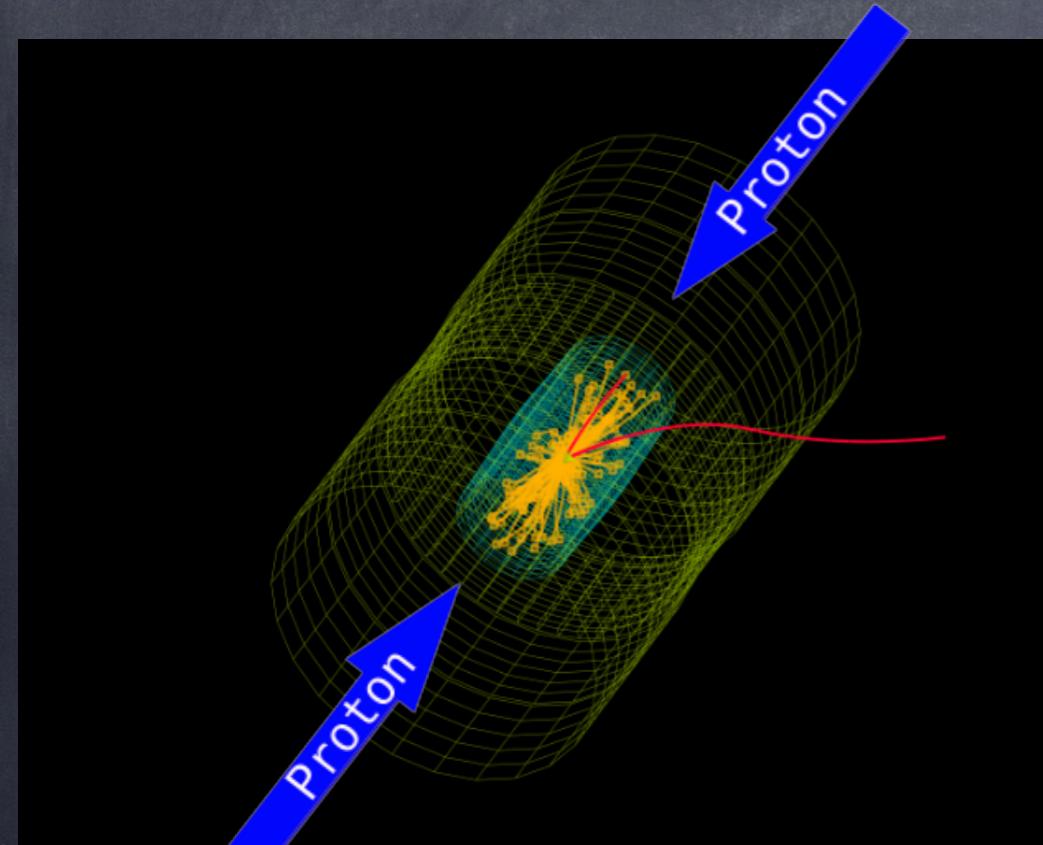


Die Erzeugung neuer Teilchen passiert hier durch den sehr starken Zusammenprall einer Vielzahl von Protonen, die dadurch so **heiß** und dicht werden wie die Materie zu Zeiten des **Urknalls**.

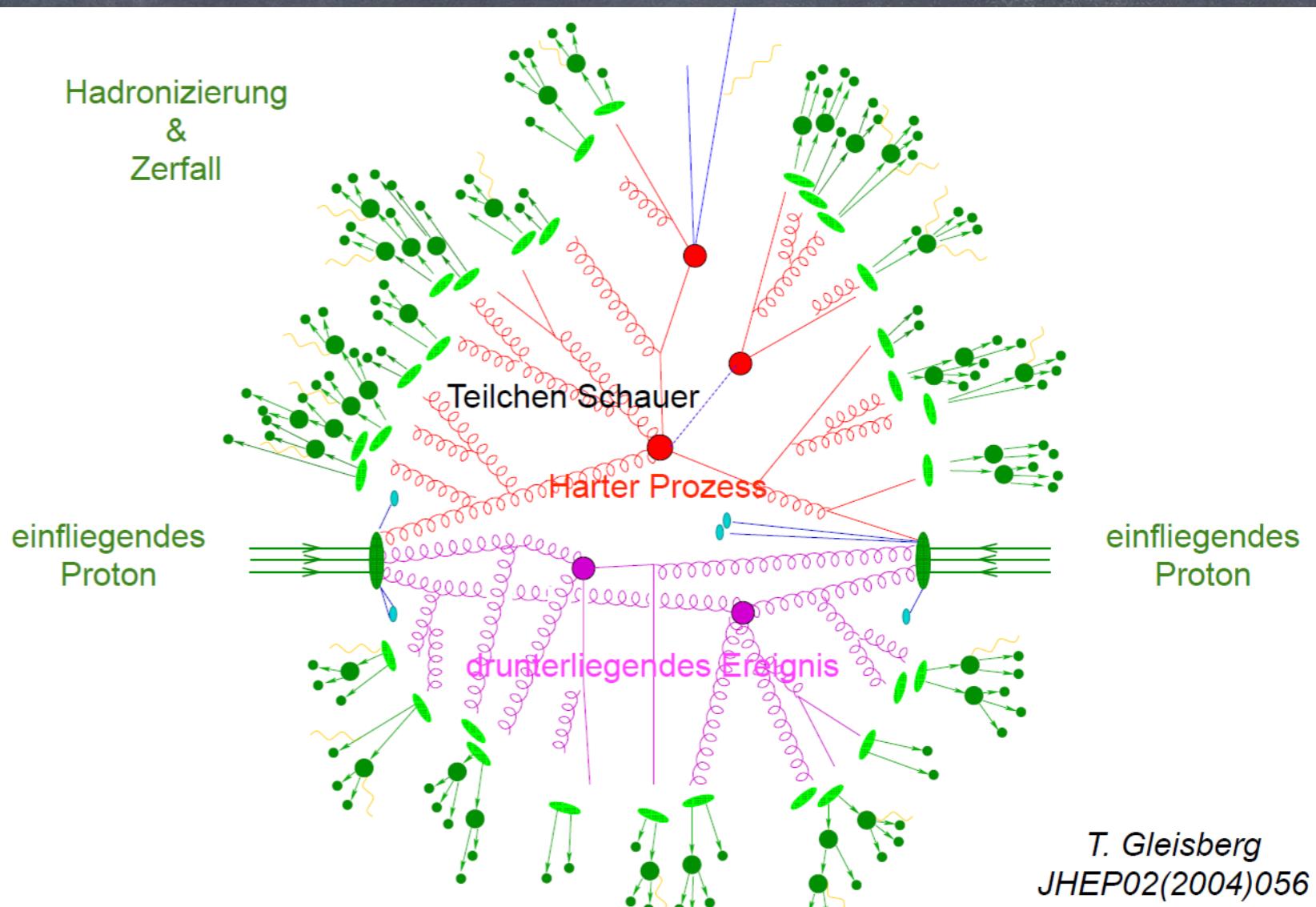


Teilchen- und Beschleuniger-Physik

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.

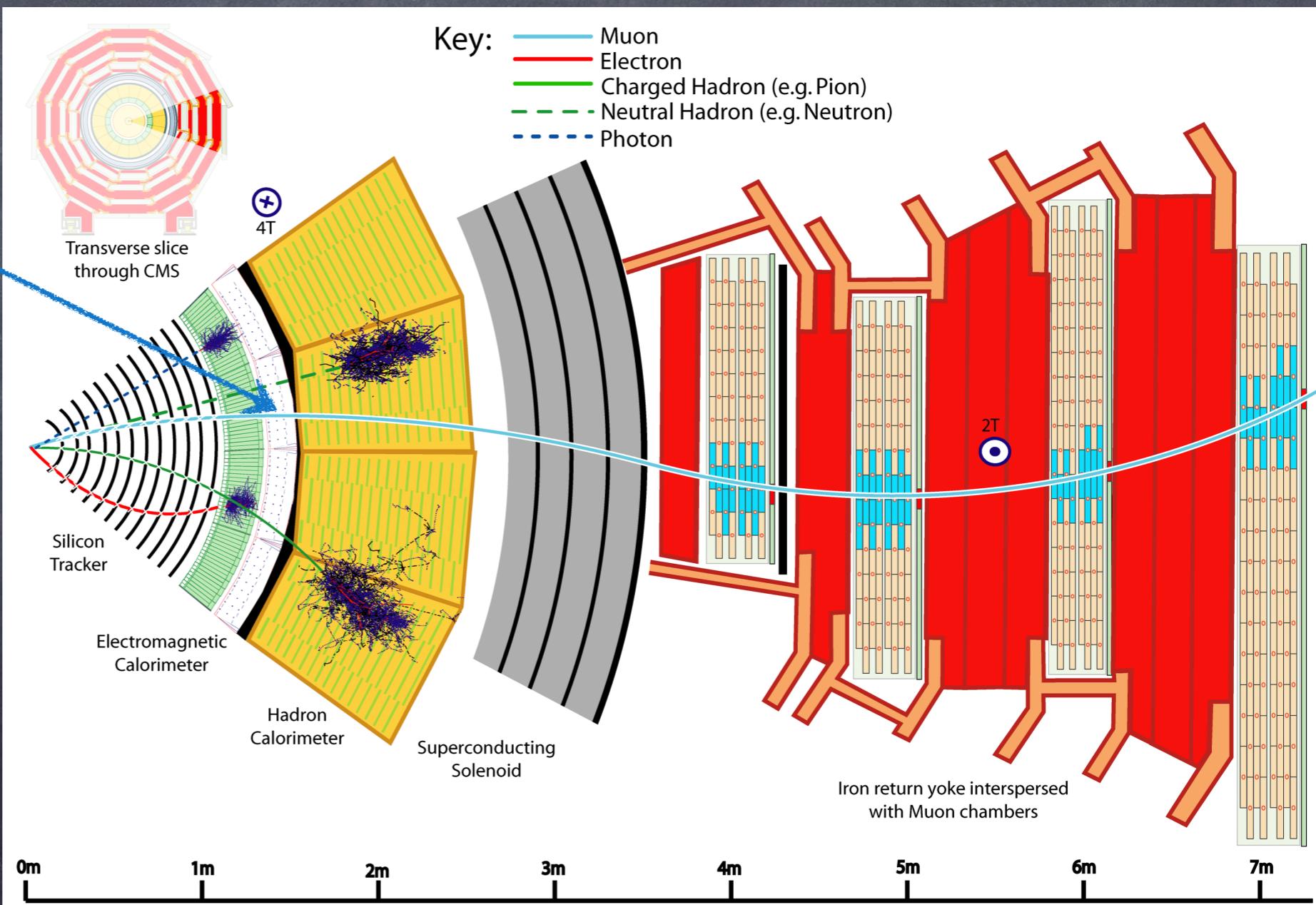


Teilchen- und Beschleuniger-Physik

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

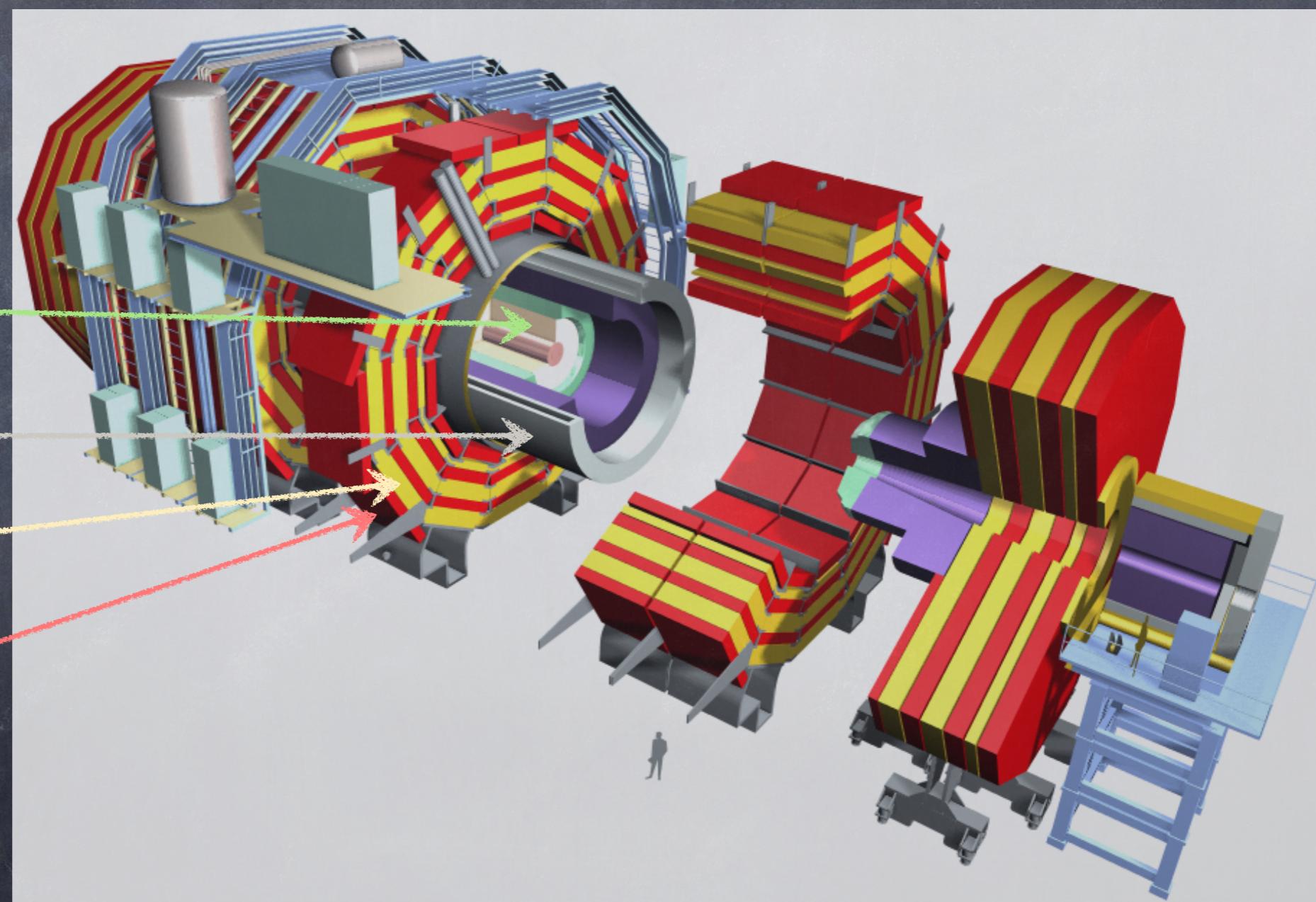
Blick in den
Detektor:

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



CMS Masterclass
Einführung Q2-Ph1LK (Ben)

JARA
Jülich Aachen
Research
Alliance
Kids

(c) 2015 by
Stefan Bechstein

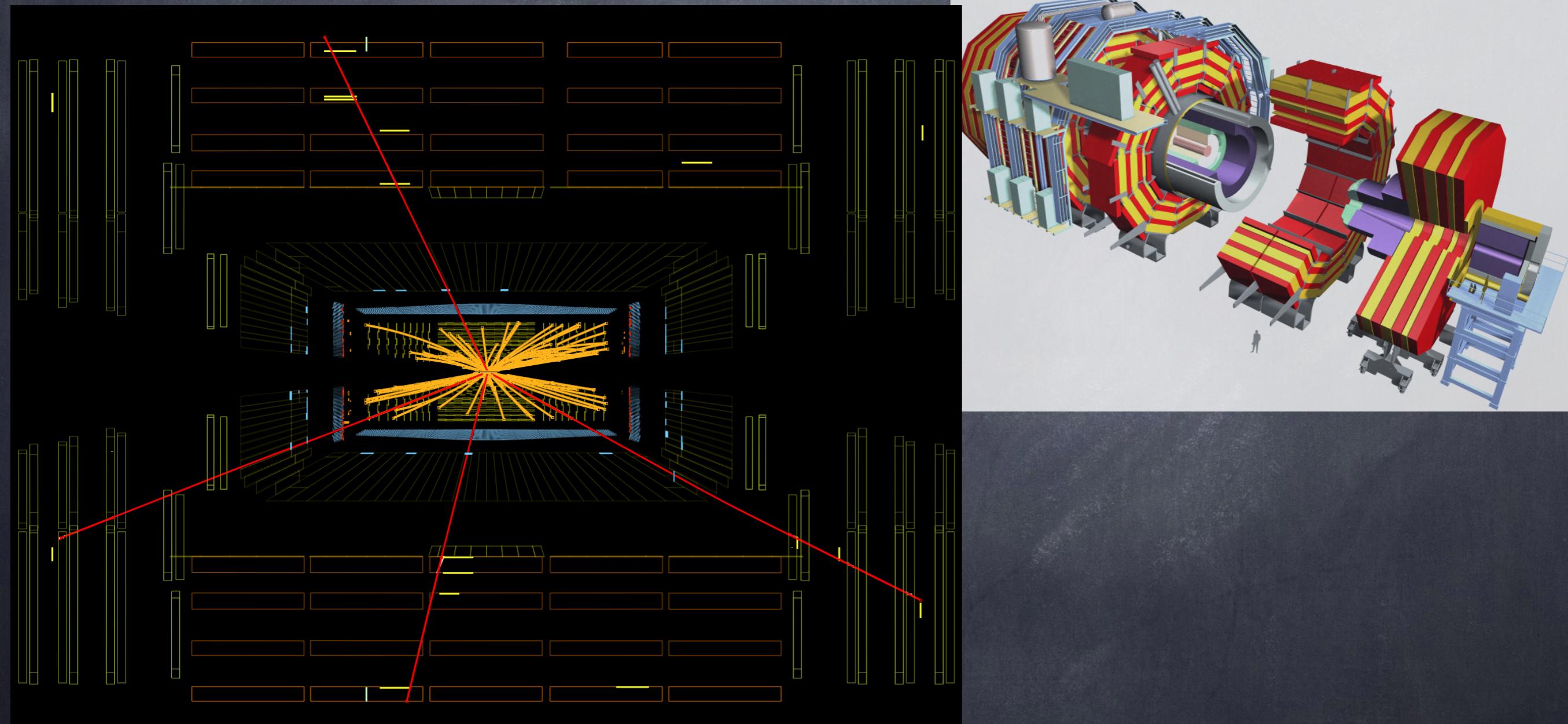
GAG GYMNASIUM
AM GEROWEIHER

AN INITIATIVE OF
RWTH AACHEN
UNIVERSITY
JÜLICH
FORSCHUNGSZENTRUM

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 4: Nebelkammer und CMS-Detektor: Spuren detektieren

Rechner-Bild des Detektors:



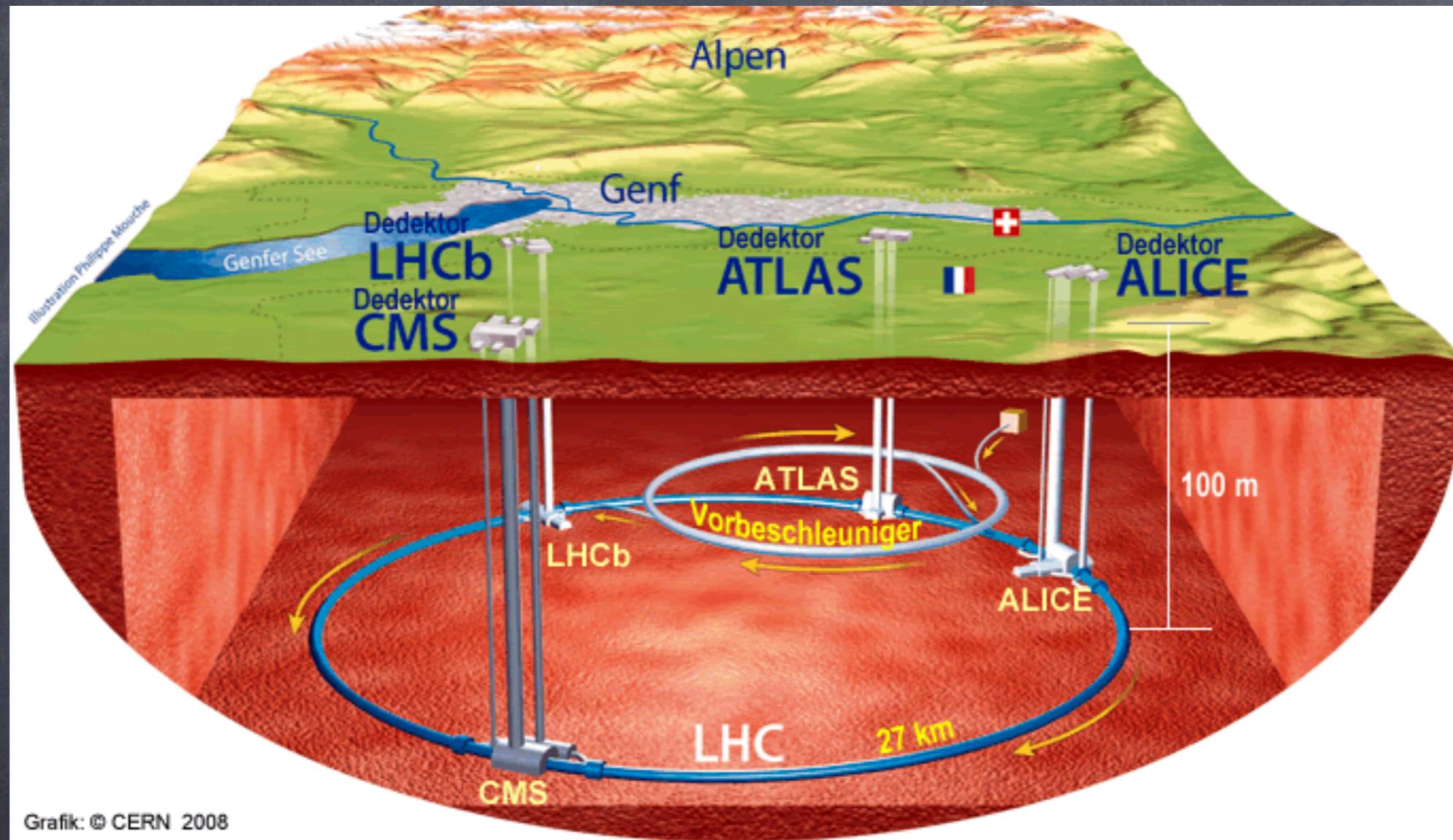
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Ende des Kapitels...

...gibt es bis hier hin
Fragen?

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

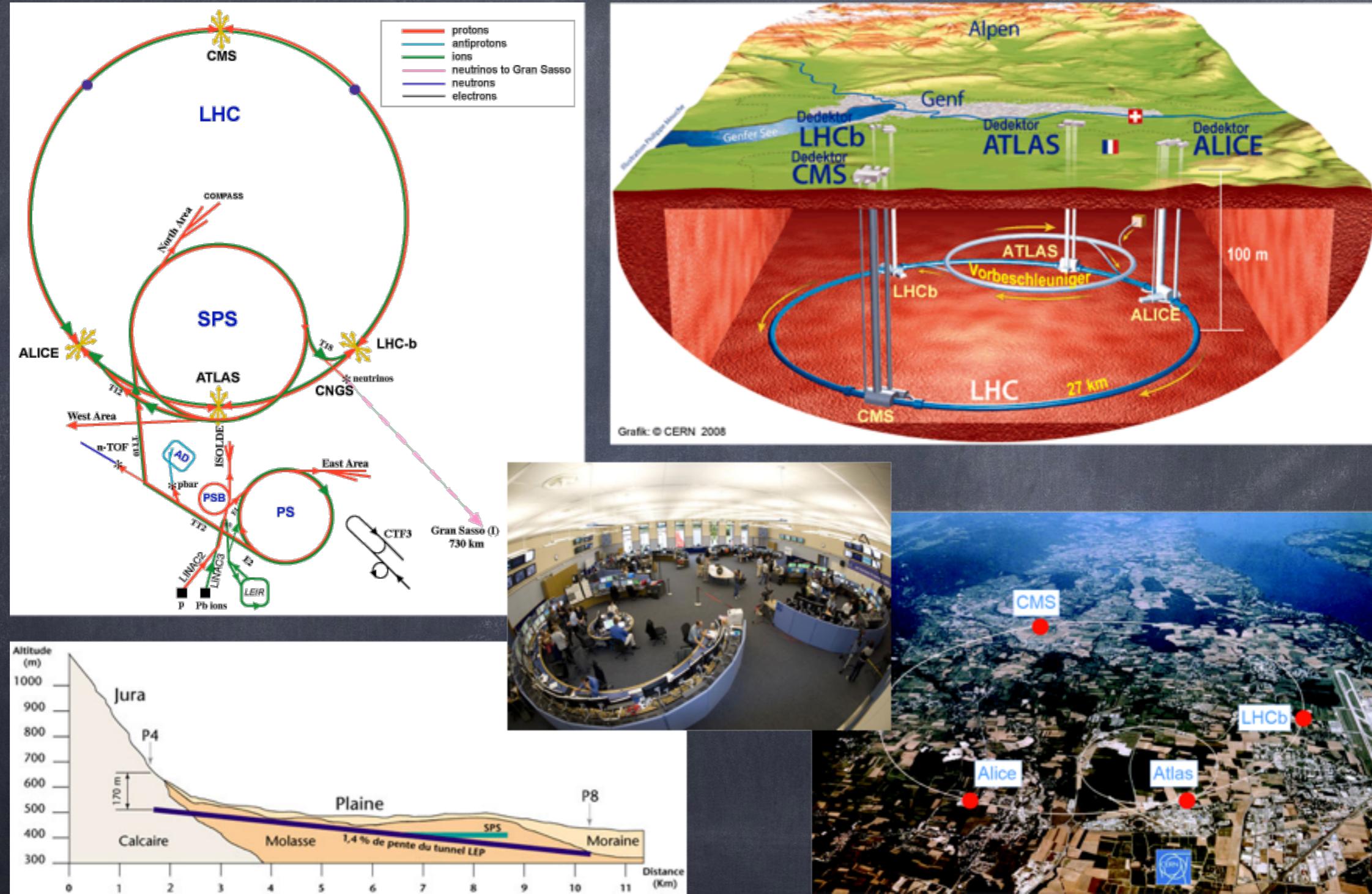
Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter (Jan)



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

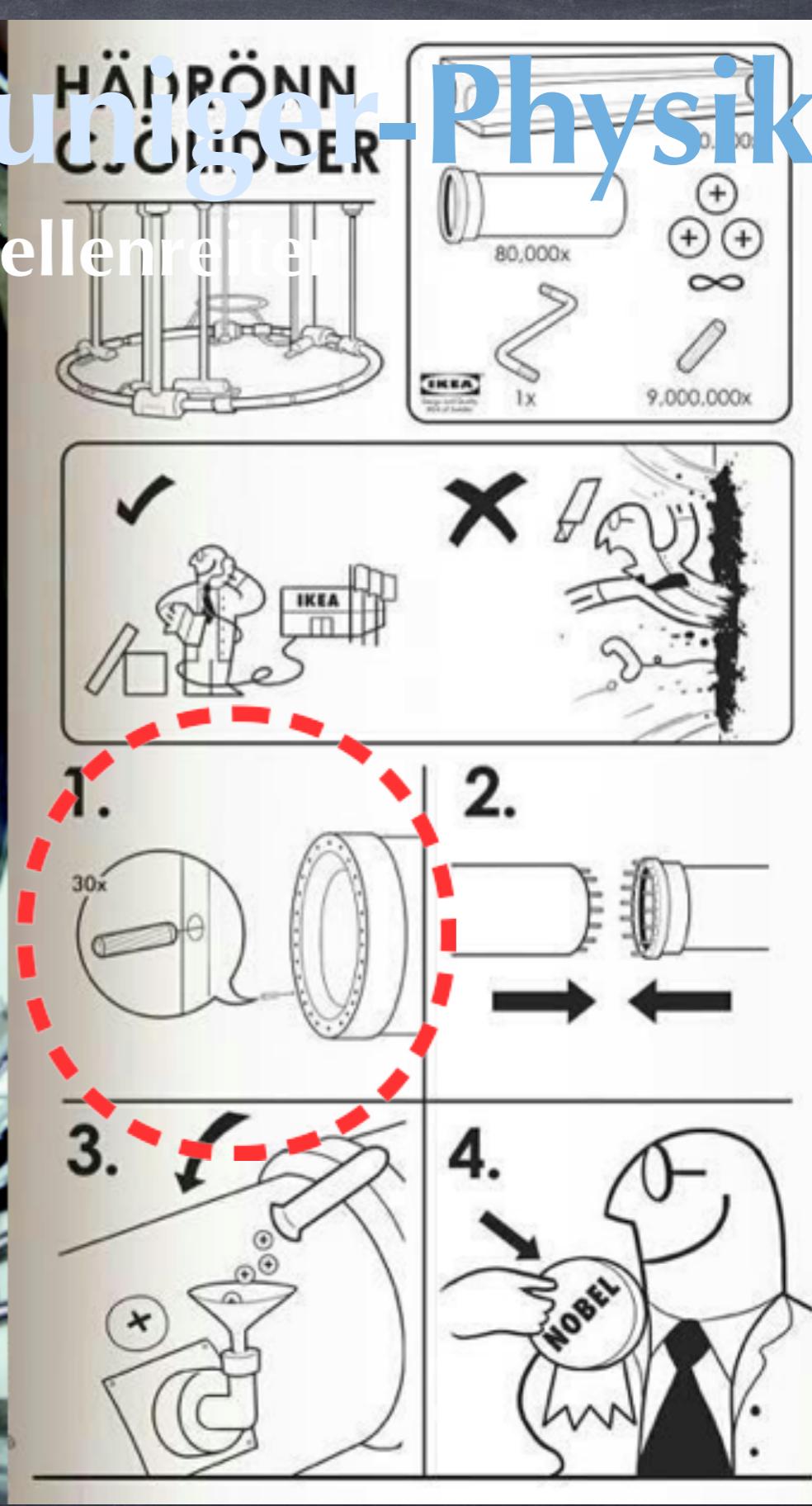
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



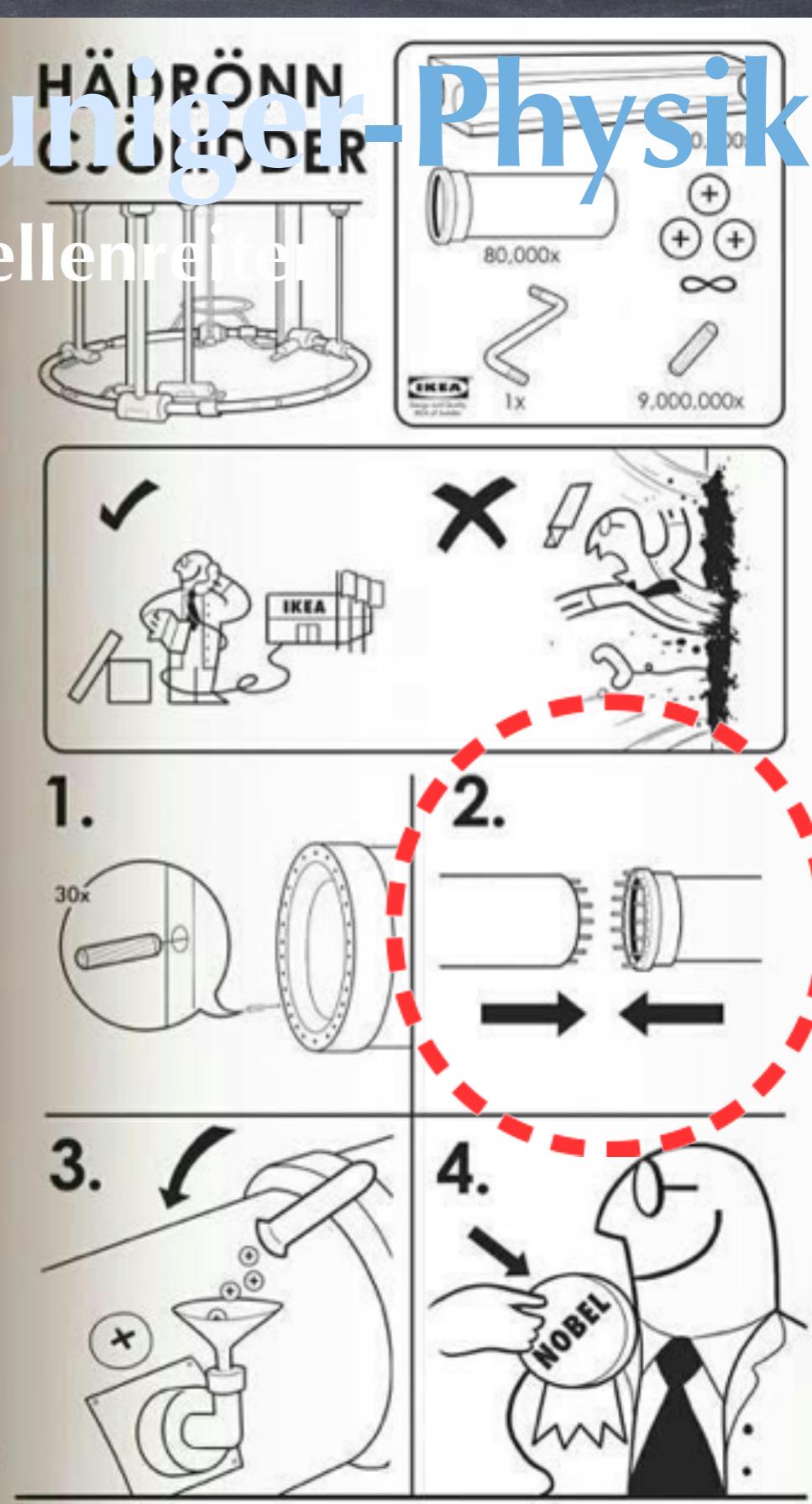
Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenrennen



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

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

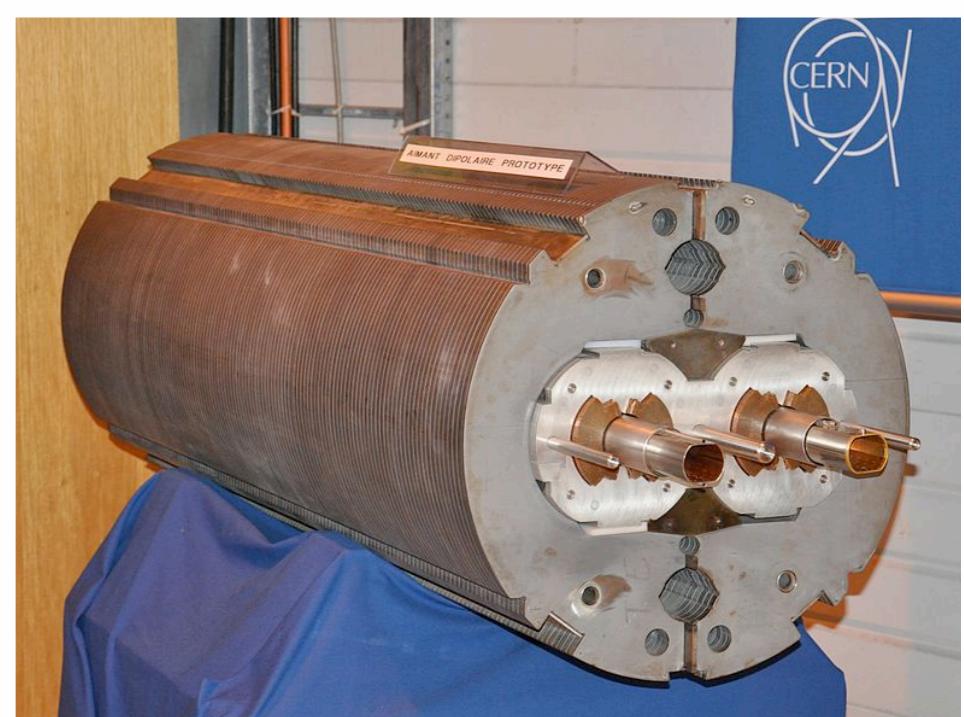
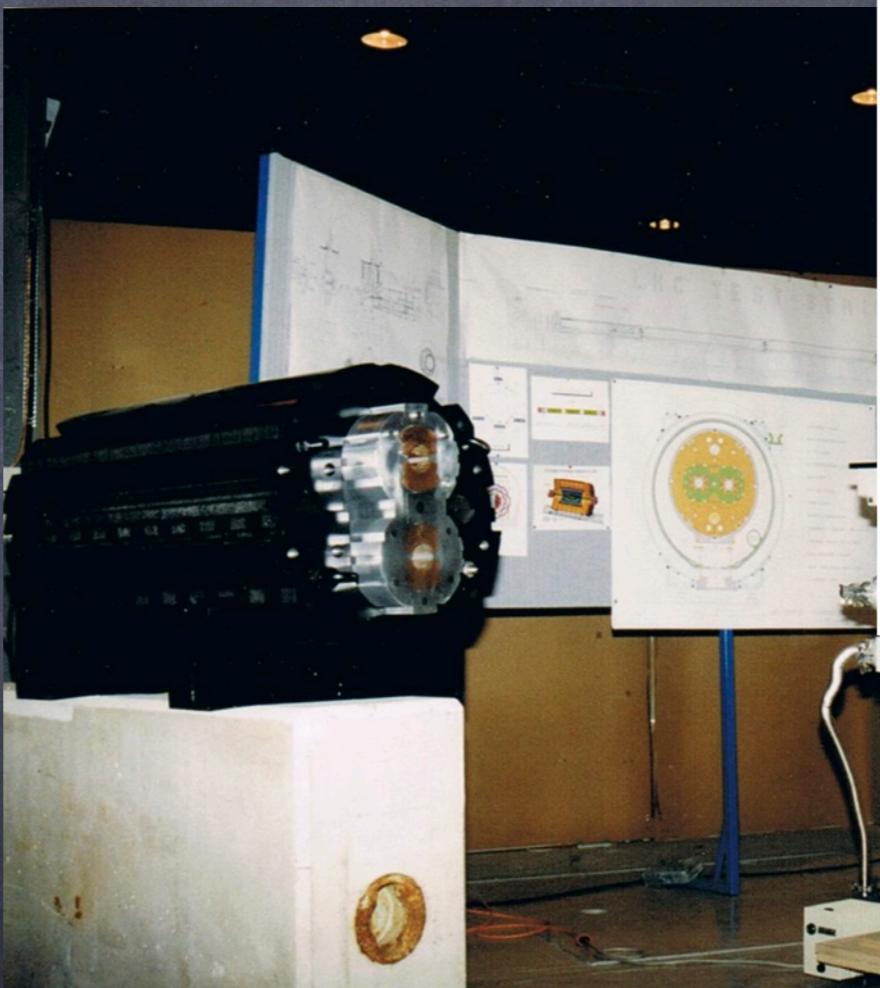
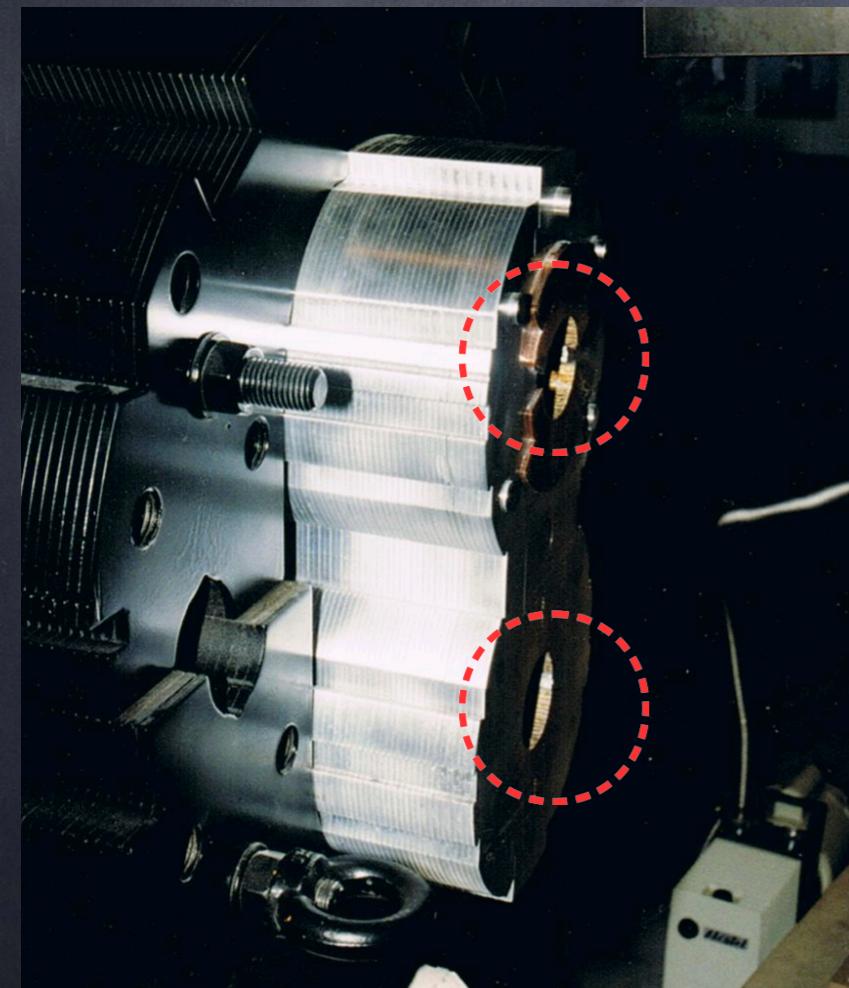


Foto oben:
Wikipedia
Fotos links:
Ben, März 1998

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

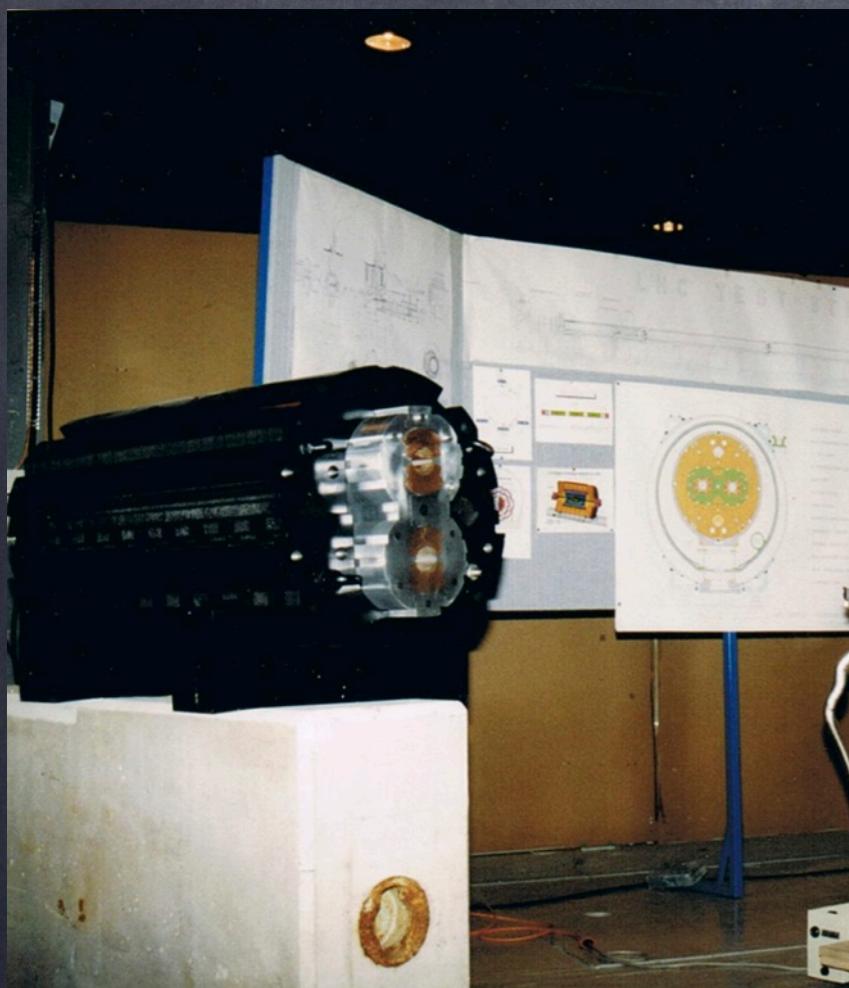
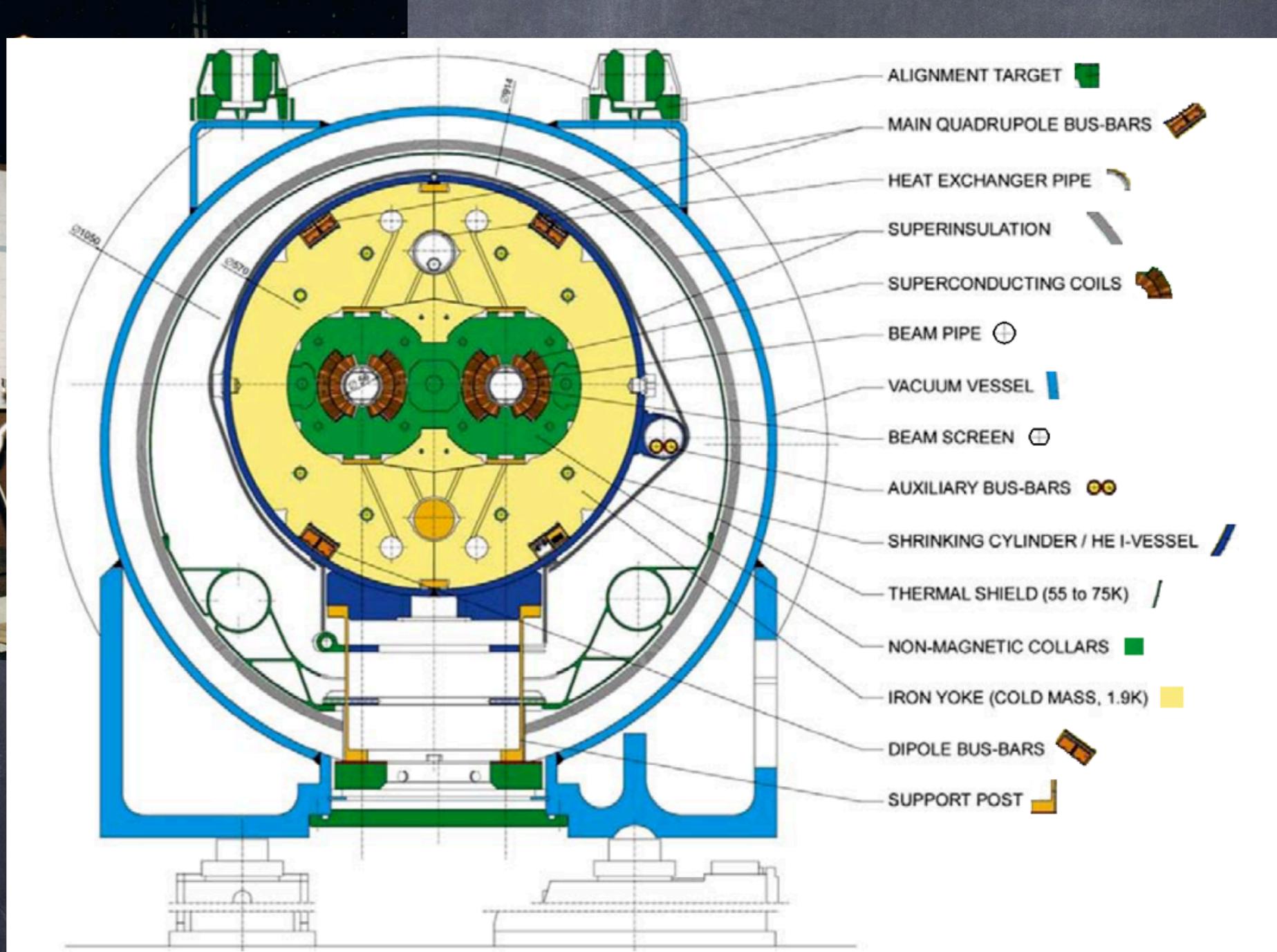


Foto: Ben, März 1998

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



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

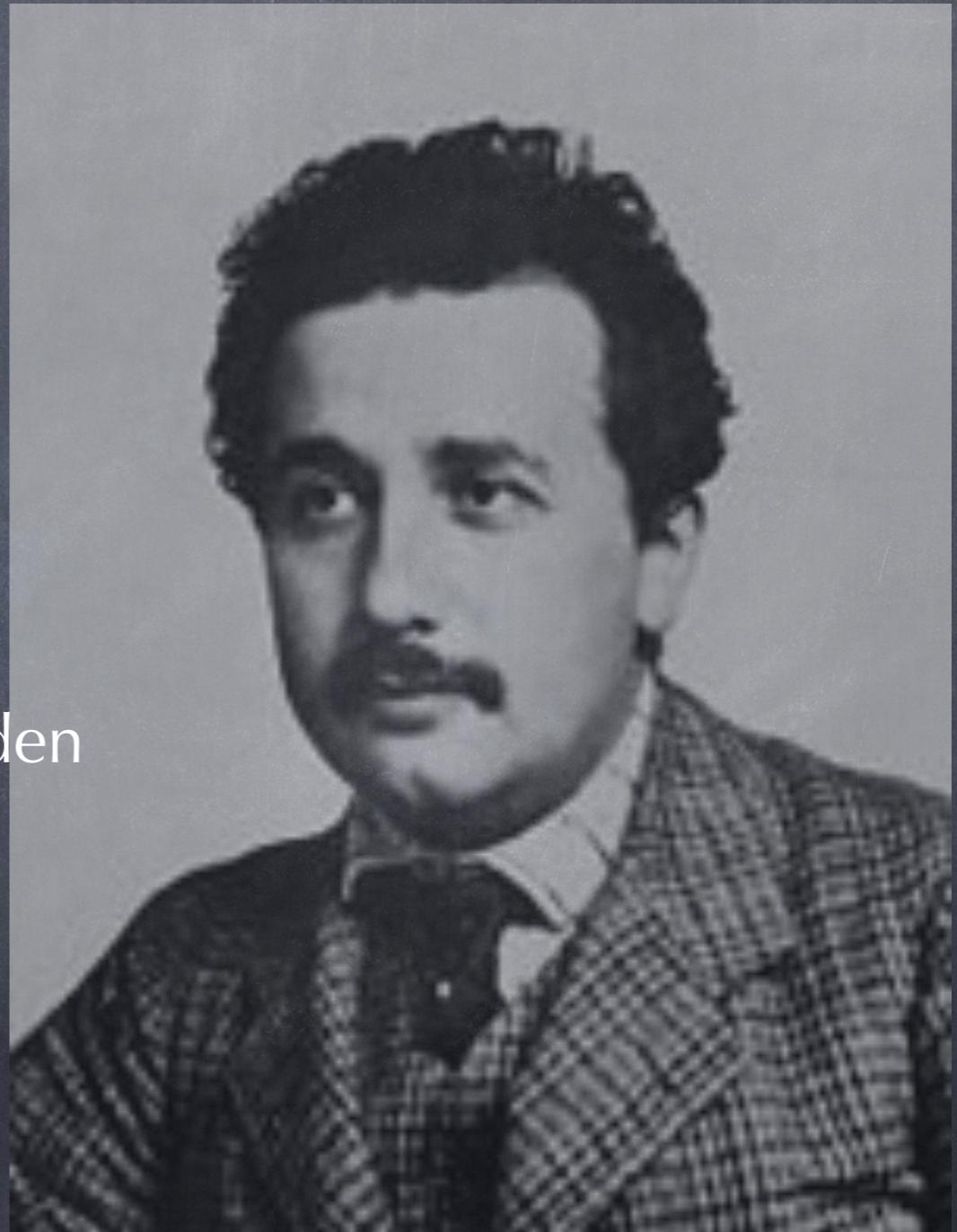
Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

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

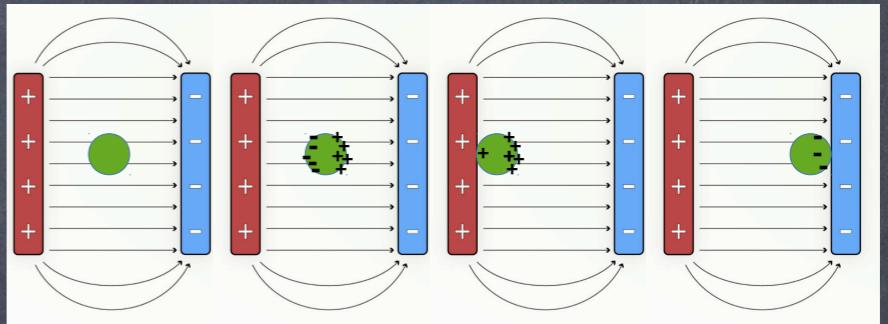
Massenenergie kann umgewandelt werden

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



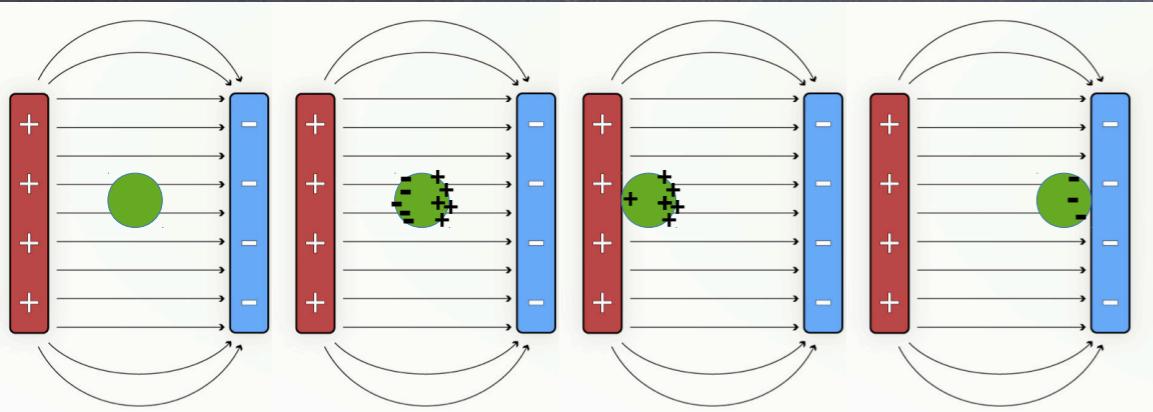
1 eV = Energie eines Elektrons (Ladung e),
das durch eine Spannung von $U = 1V$
beschleunigt wird:

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

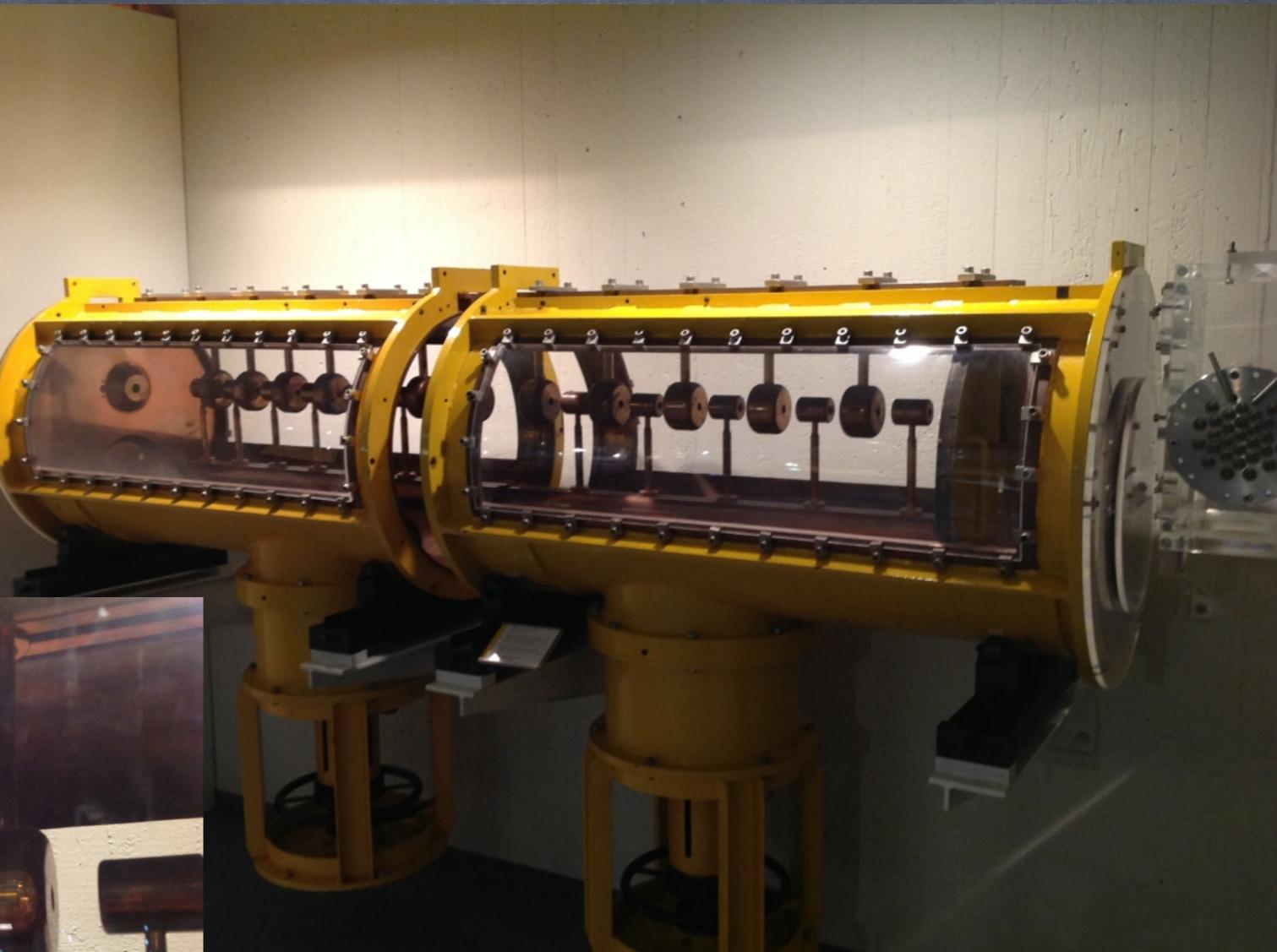
Masse nach $E=mc^2$: $1 \text{ eV}/c^2$
(meist einfach auch 1 eV für $c=1=100\%$)

Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

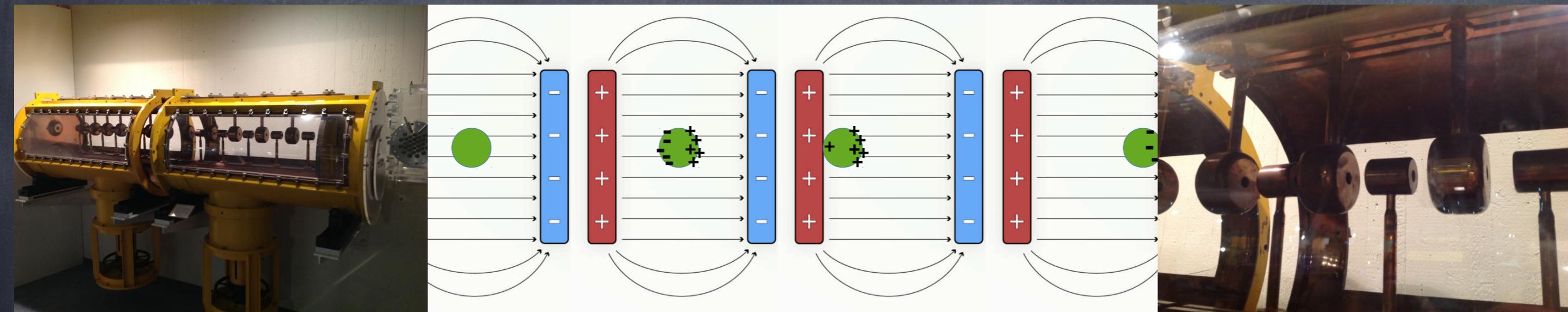


Linearbeschleuniger (Bilder vom Museumsbesuch in Bonn, Physik LK)

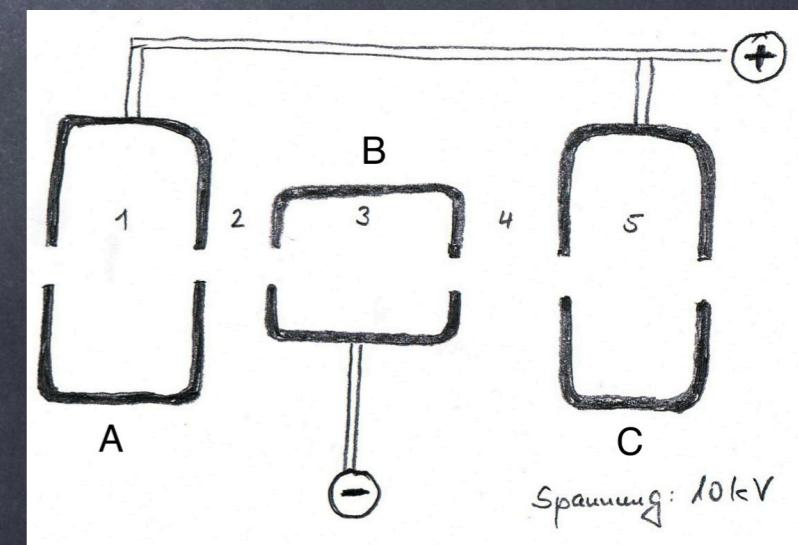
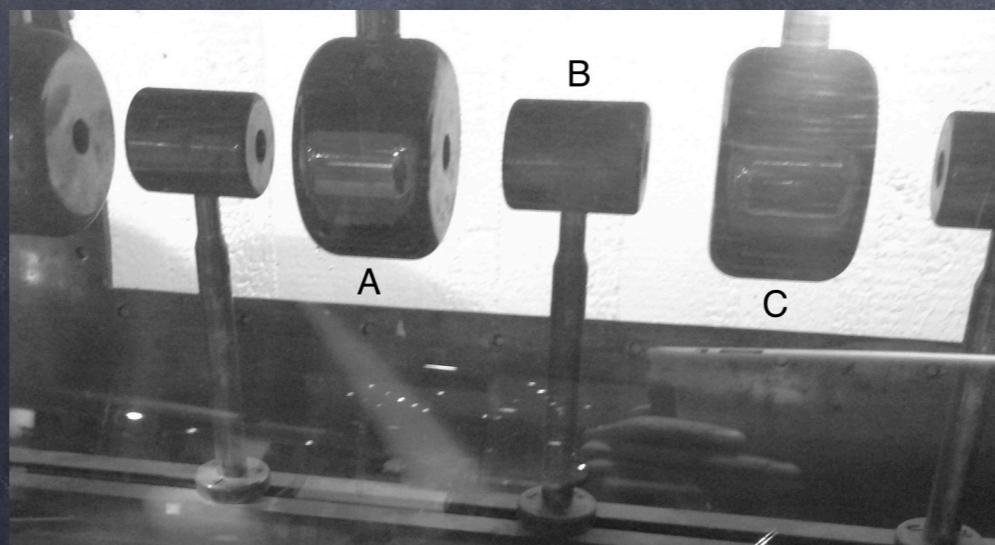


Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

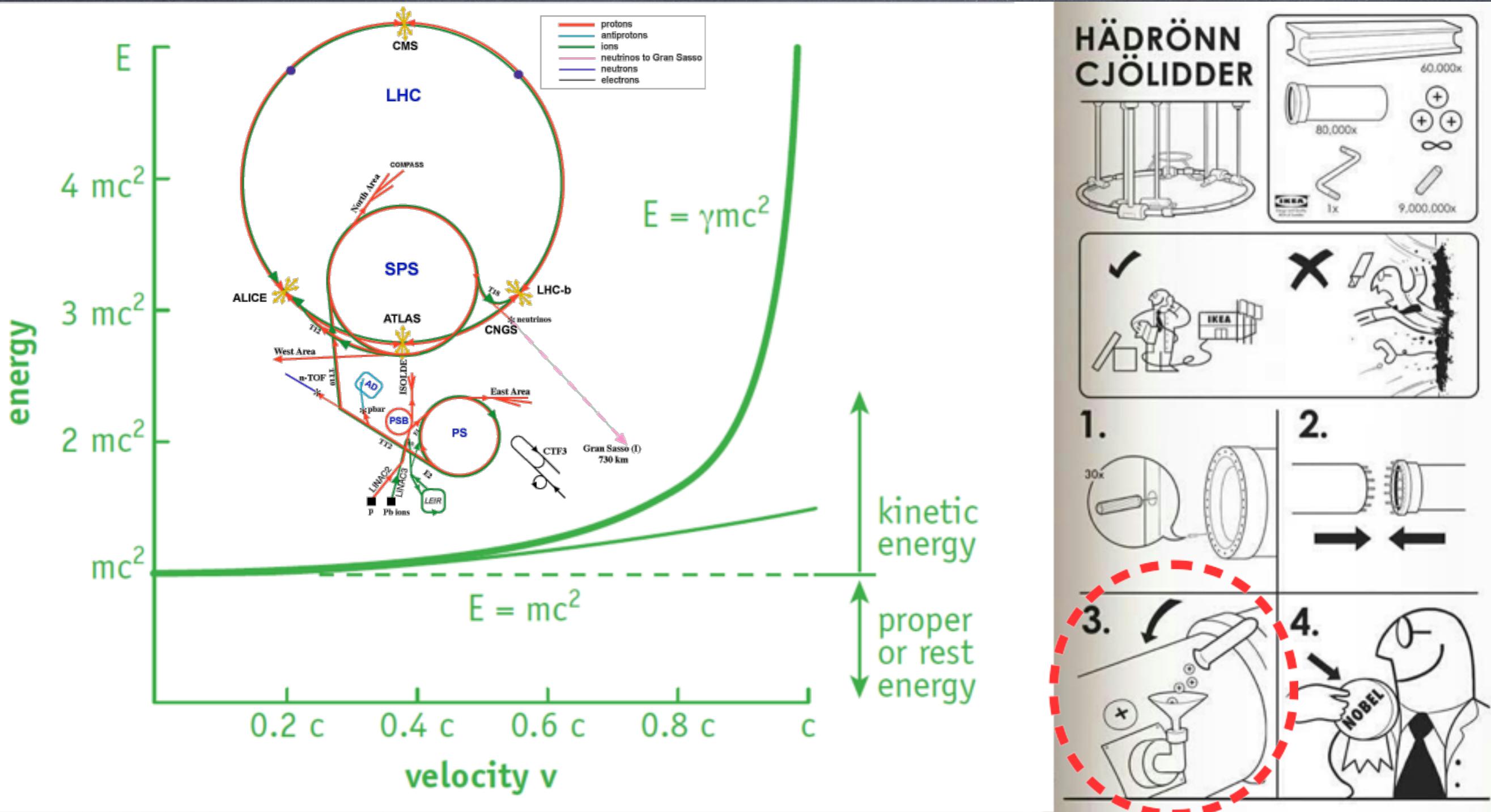


Linearbeschleuniger (Bilder aus der Klausur bzw. vom Museumsbesuch in Bonn, Physik LK)



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

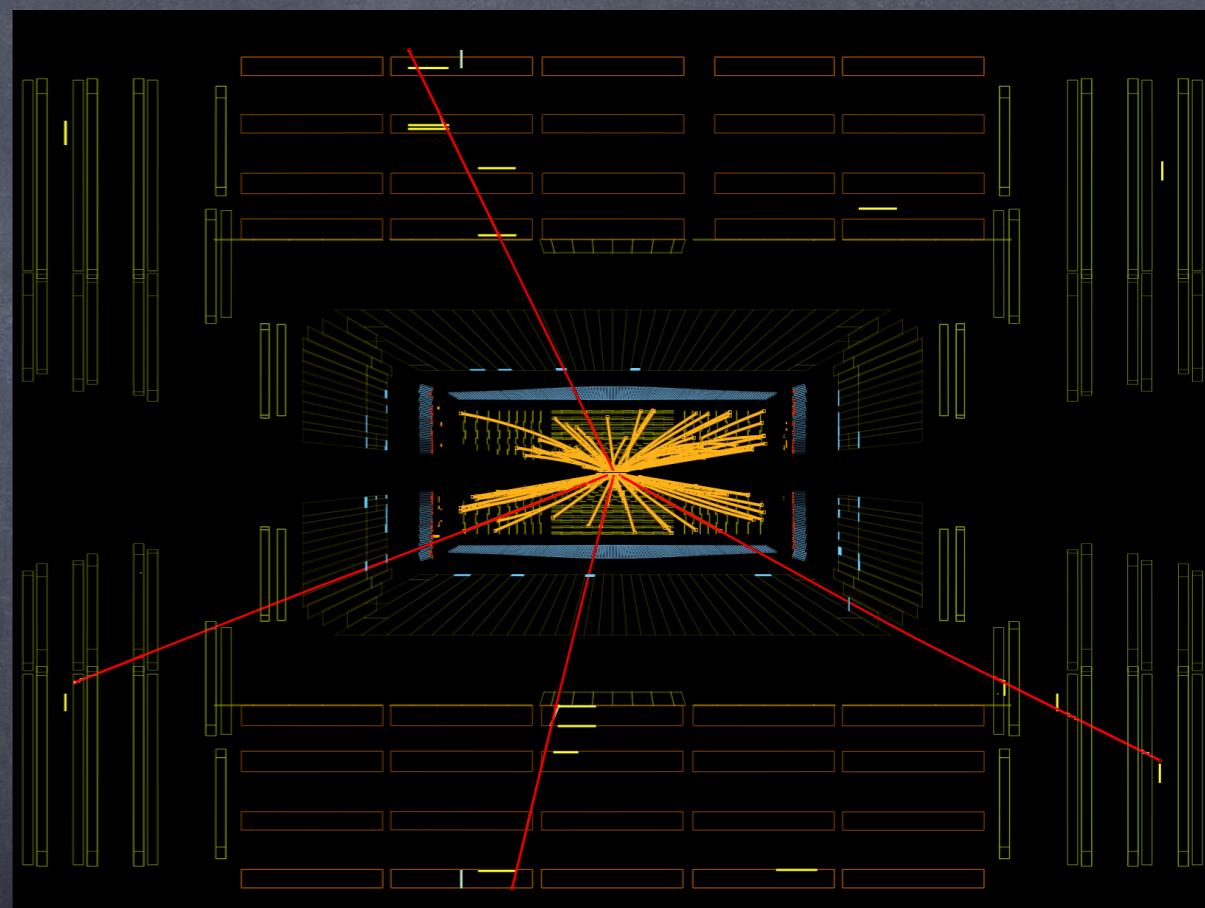
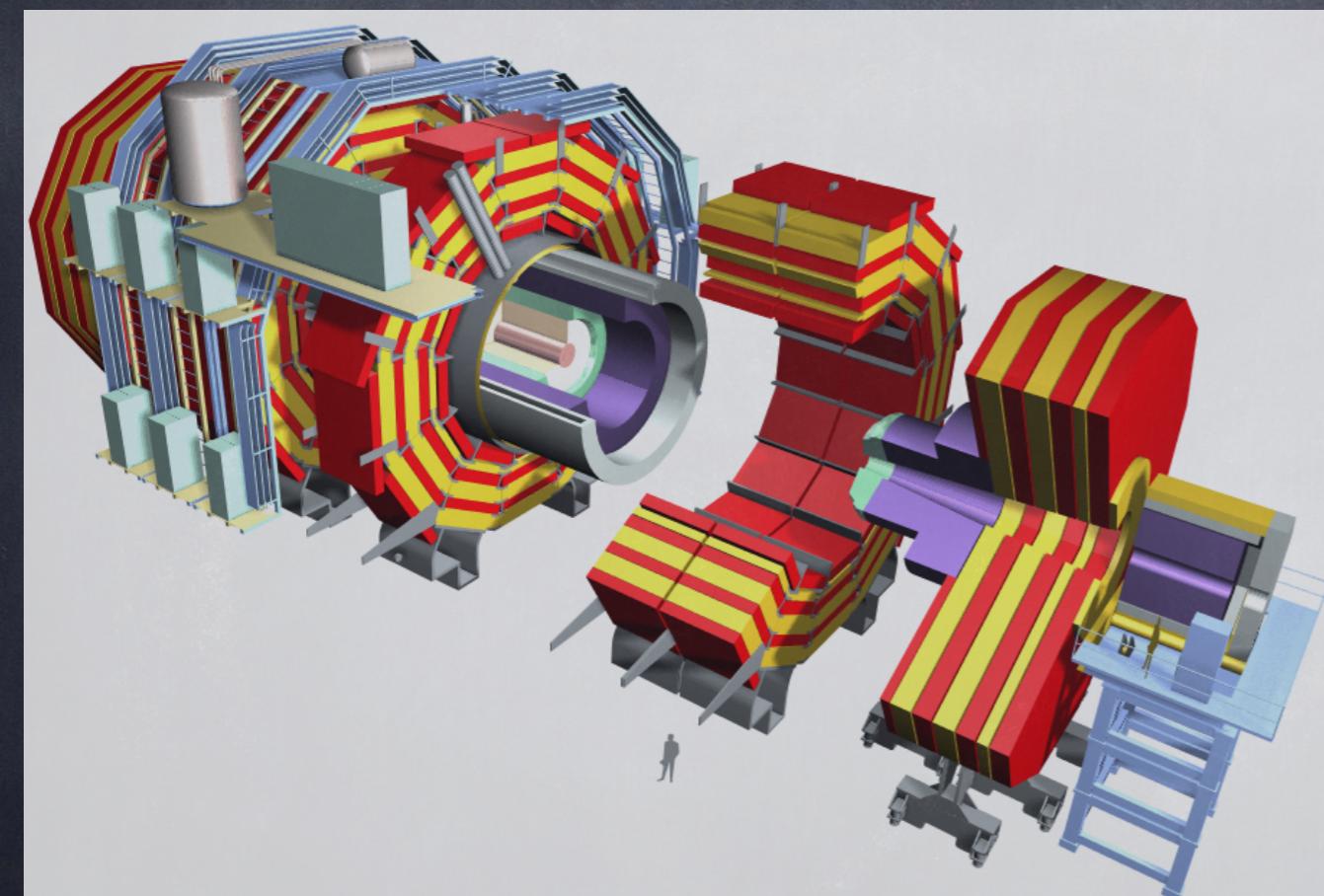
Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter



Teilchen- und Beschleuniger-Physik

Kapitel 5: Mini-Urknall, Supraleiter und Wellenreiter

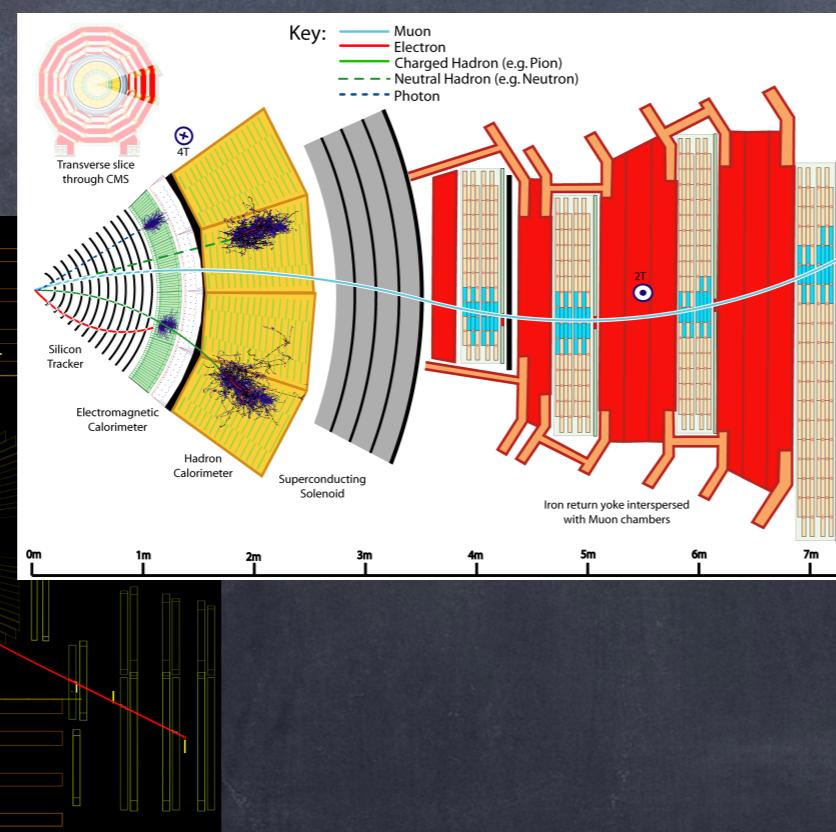
Rechner-Bild des Detektors:



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:

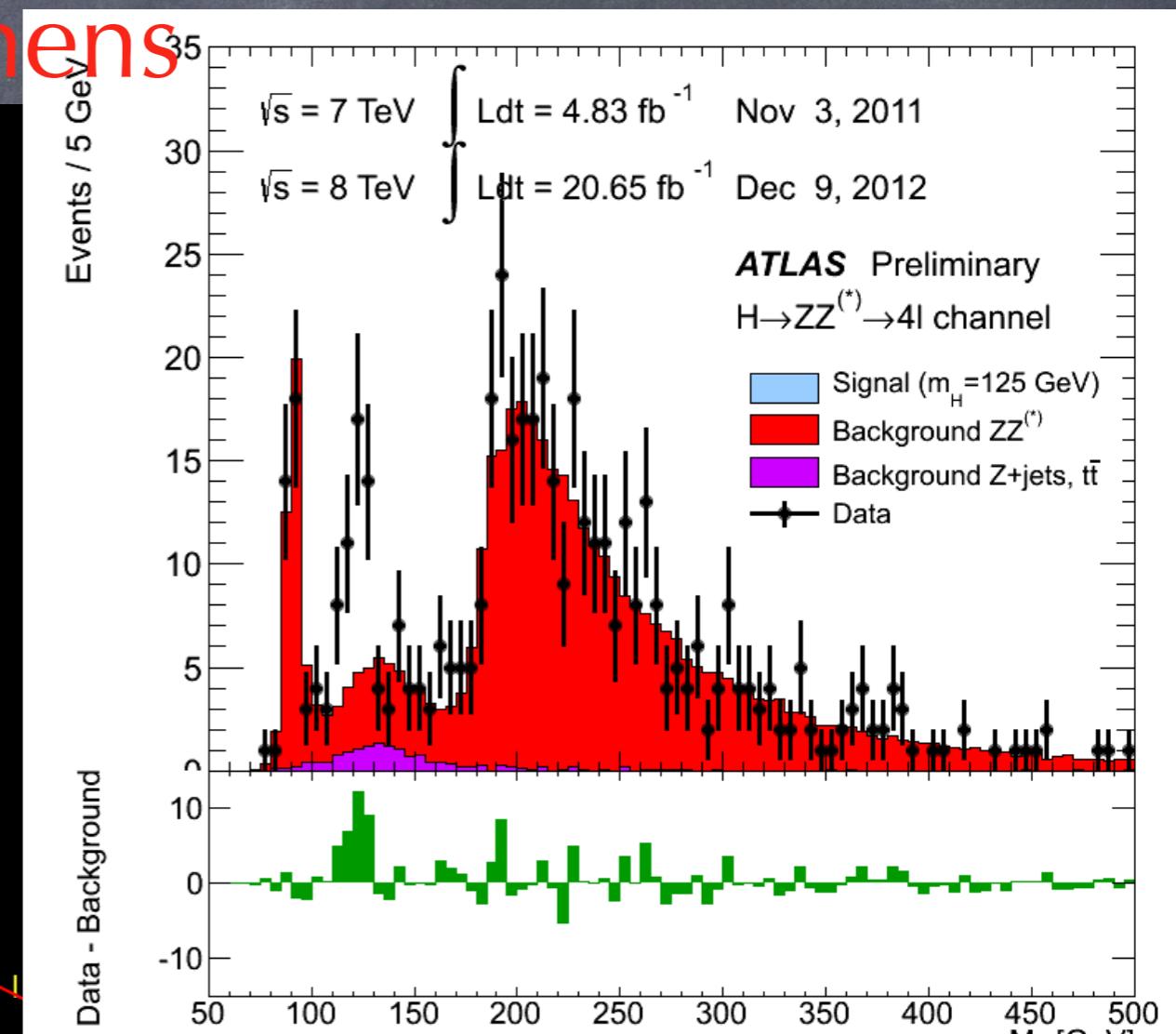
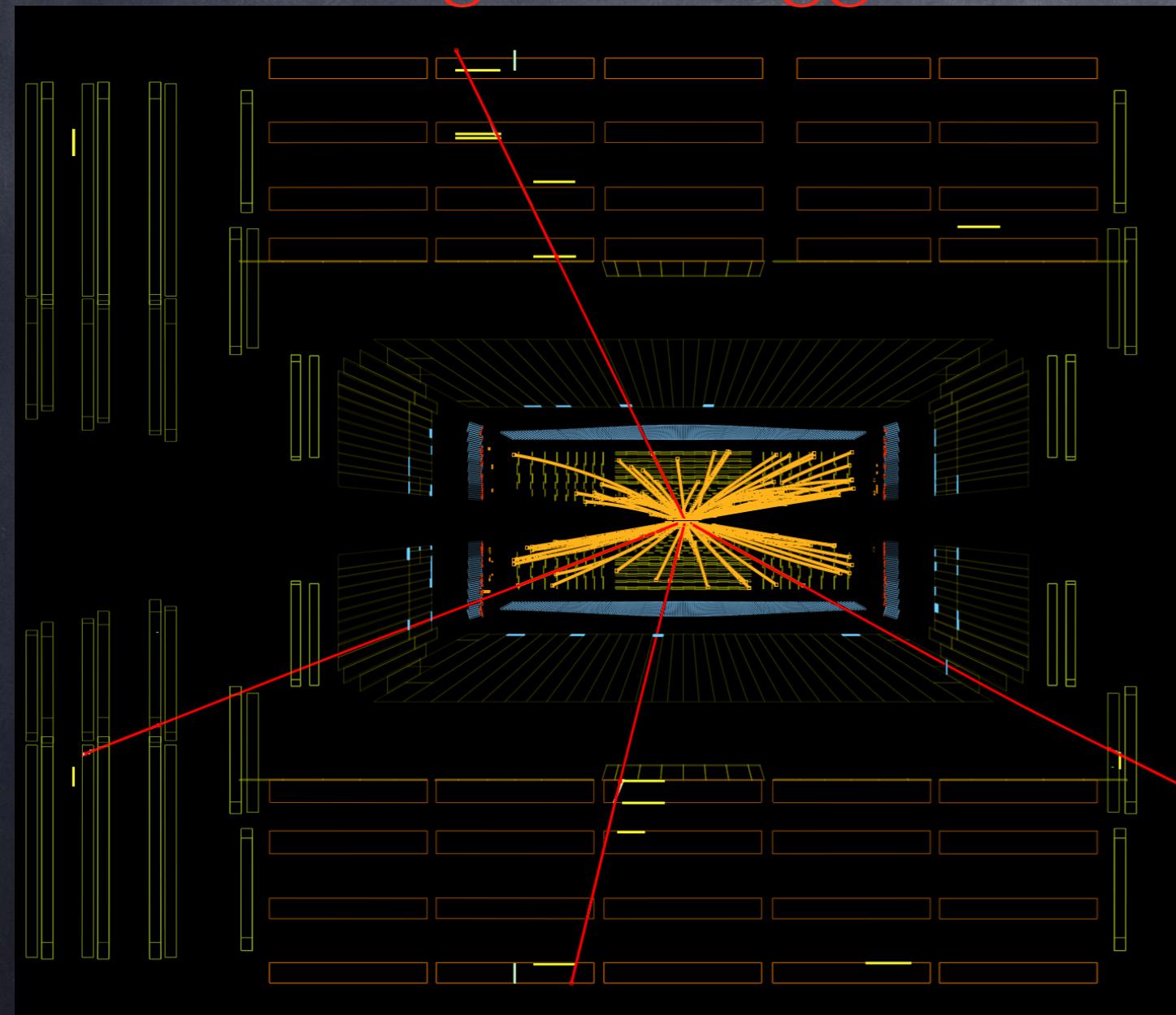


Video:
[4I_FixedScale_NoMuProf2.mp4](#)

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 GEROWEIHER

AN INITIATIVE OF
RWTHAACHEN
UNIVERSITY **JÜLICH**
FORSCHUNGSZENTRUM