



# Bis(s) ins Innere des Detektors

Jugendlichenworkshop NTW, 21.11.2013

Konrad Jende (PH-EDU-TV), +41-22-76 73247  
[konrad.jende@cern.ch](mailto:konrad.jende@cern.ch)

Spannungsversorgung 5V

Signalausgang



TEILCHENWELT

Video auf Folie 1: "ATLAS Built in Five Minutes"

A short video compiled from webcam footage and still photographs over the length of the ATLAS detector's construction. (2009)

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/#atlas-built-5-minutes>



Video auf Folie 3: **“CERN Open Days Cloud Chamber Recording 6”**  
Aufnahme vom 29.09.2013, PHYWE Cloud Chamber PJ-45

Quelle: <http://www.youtube.com/watch?v=hXkUoGWKAuA>



Ilford G 5 emulsion.

PLATE 16-1

DAINTON, FOWLER and KENT (1952).

The tracks were identified by measurements of scattering and  $\delta$ -ray density.



Ilford G 5 emulsion.

PLATE 16-2

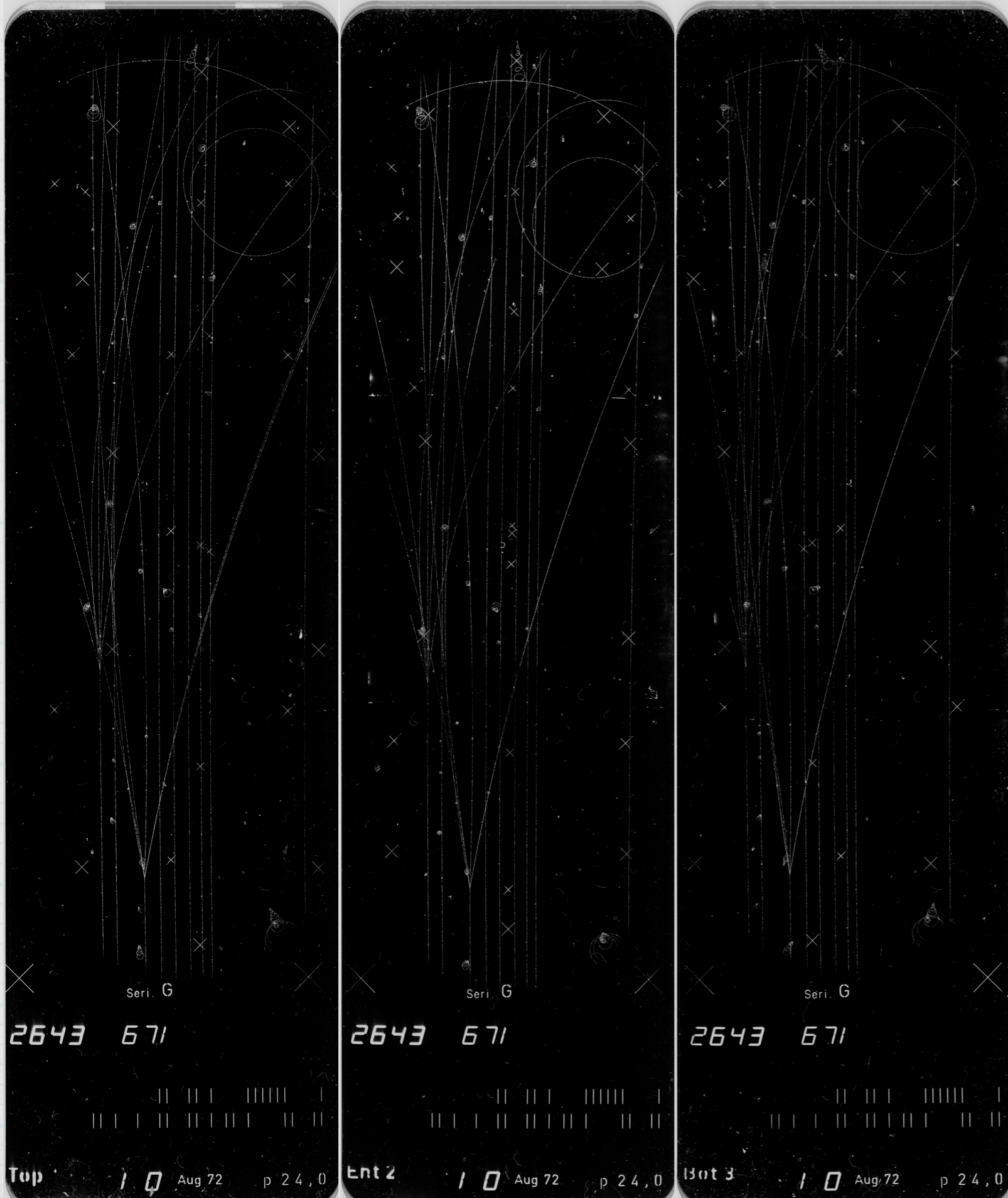
DAINTON, FOWLER and KENT (1952).

The tracks were identified by measurements of scattering ( $\bar{x}$ ), and  $\delta$ -ray density ( $N_\delta$ ).

Bilder auf Folie 4: "ATLAS Built in Five Minutes"

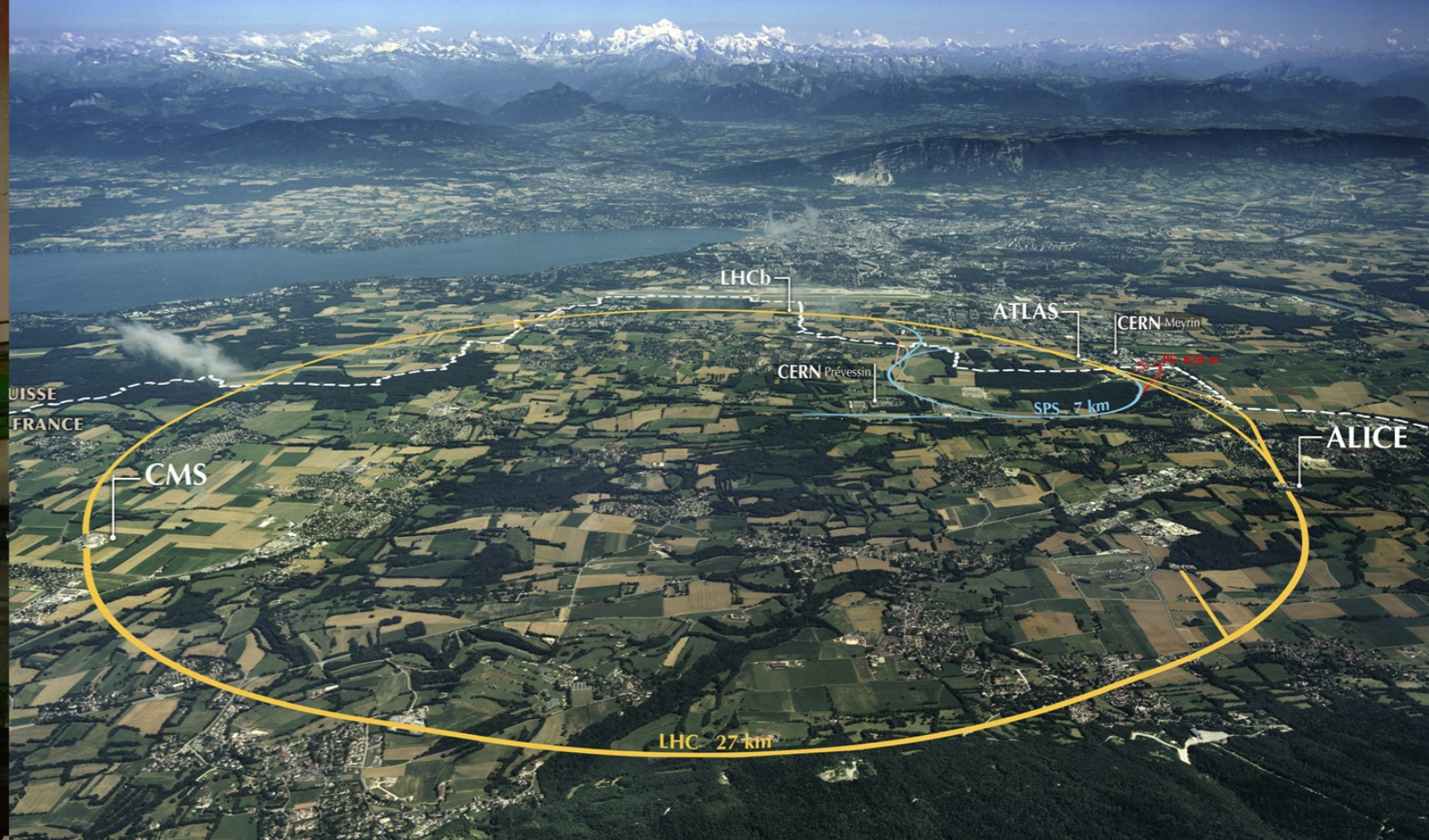
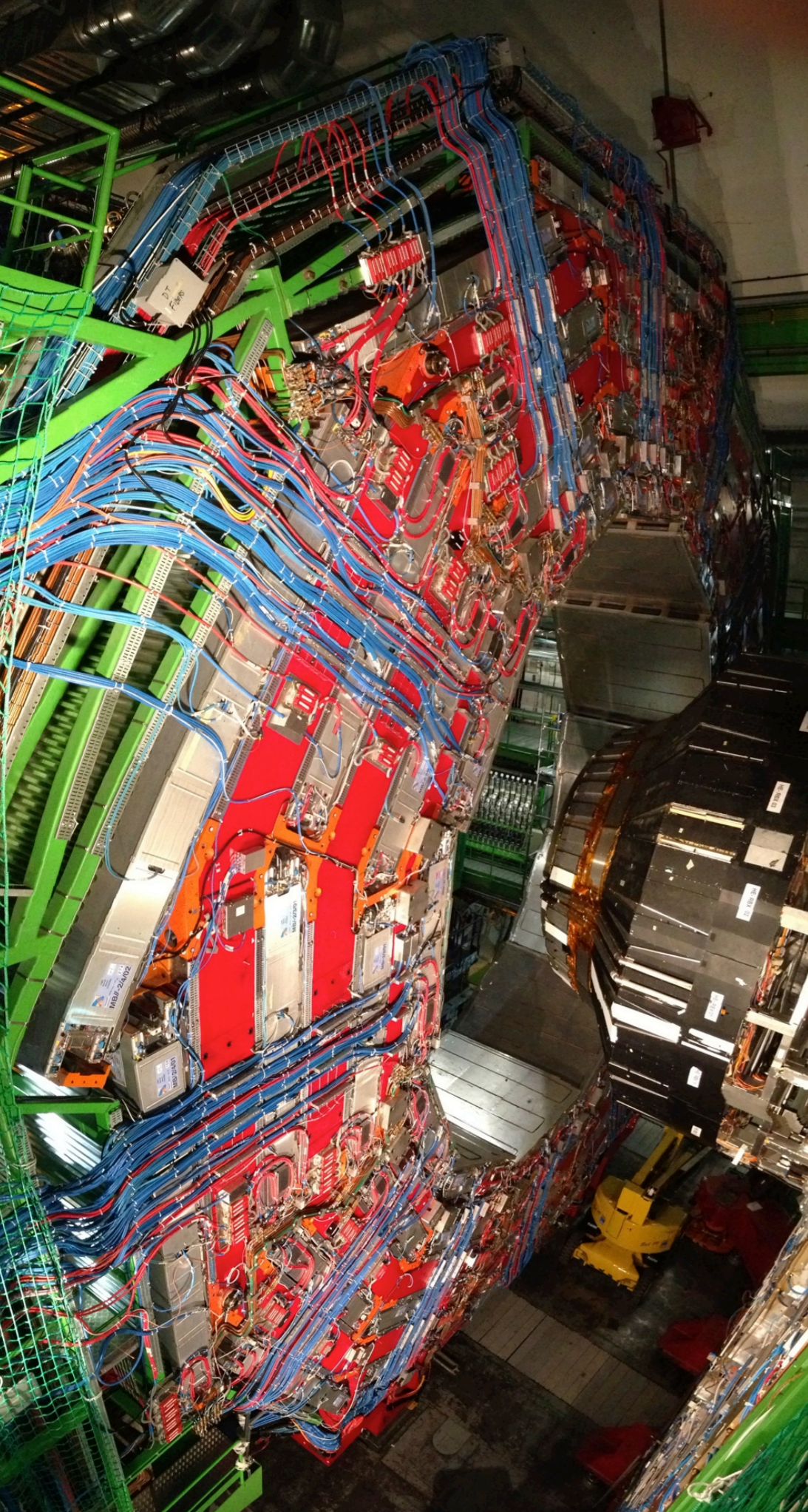
Wechselwirkung von schweren Atomkernen mit Photoemulsionen (Kodak NT4 emulsion) aus der kosmischen Strahlung

Quelle: aus (2)



Bilder auf Folie 5: **“Bubble Chamber Pictures”**

2m-Big European Bubble Chamber (BEBC) am Proton Synchrotron (PS) am CERN, Aufnahme von 1972, Studie von Proton-Proton-Wechselwirkungen bei einem Eingangsimpuls von 24 GeV/c, Quelle: CERN



### CMS DETECTOR

Total weight : 14,000 tonnes  
 Overall diameter : 15.0 m  
 Overall length : 28.7 m  
 Magnetic field : 3.8 T

STEEL RETURN YOKE  
 12,500 tonnes

SILICON TRACKERS  
 Pixel (100x150  $\mu\text{m}$ ) ~16m<sup>2</sup> ~66M channels  
 Microstrips (80x180  $\mu\text{m}$ ) ~200m<sup>2</sup> ~9.6M channels

SUPERCONDUCTING SOLENOID  
 Niobium titanium coil carrying ~18,000A

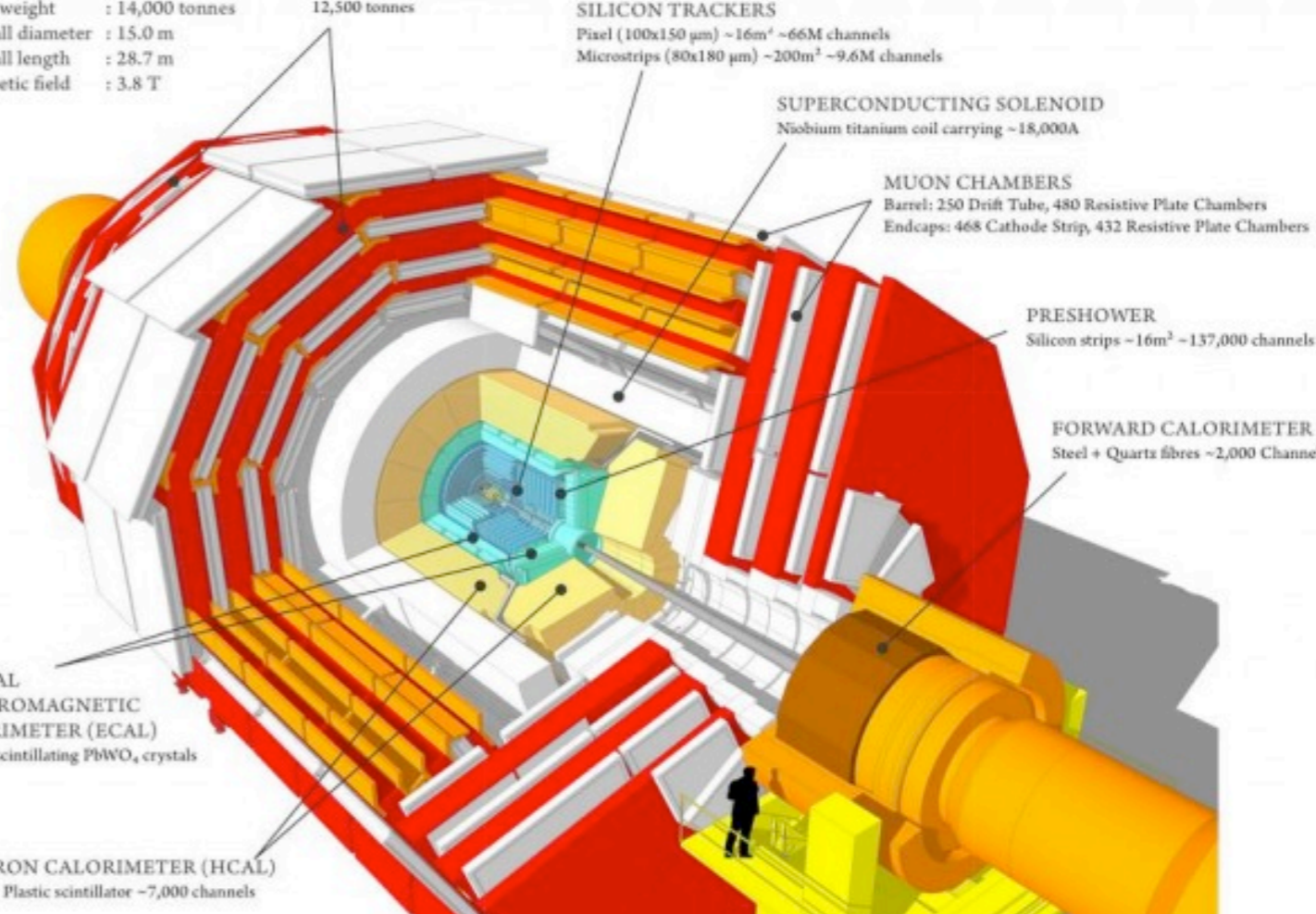
MUON CHAMBERS  
 Barrel: 250 Drift Tube, 480 Resistive Plate Chambers  
 Endcaps: 468 Cathode Strip, 432 Resistive Plate Chambers

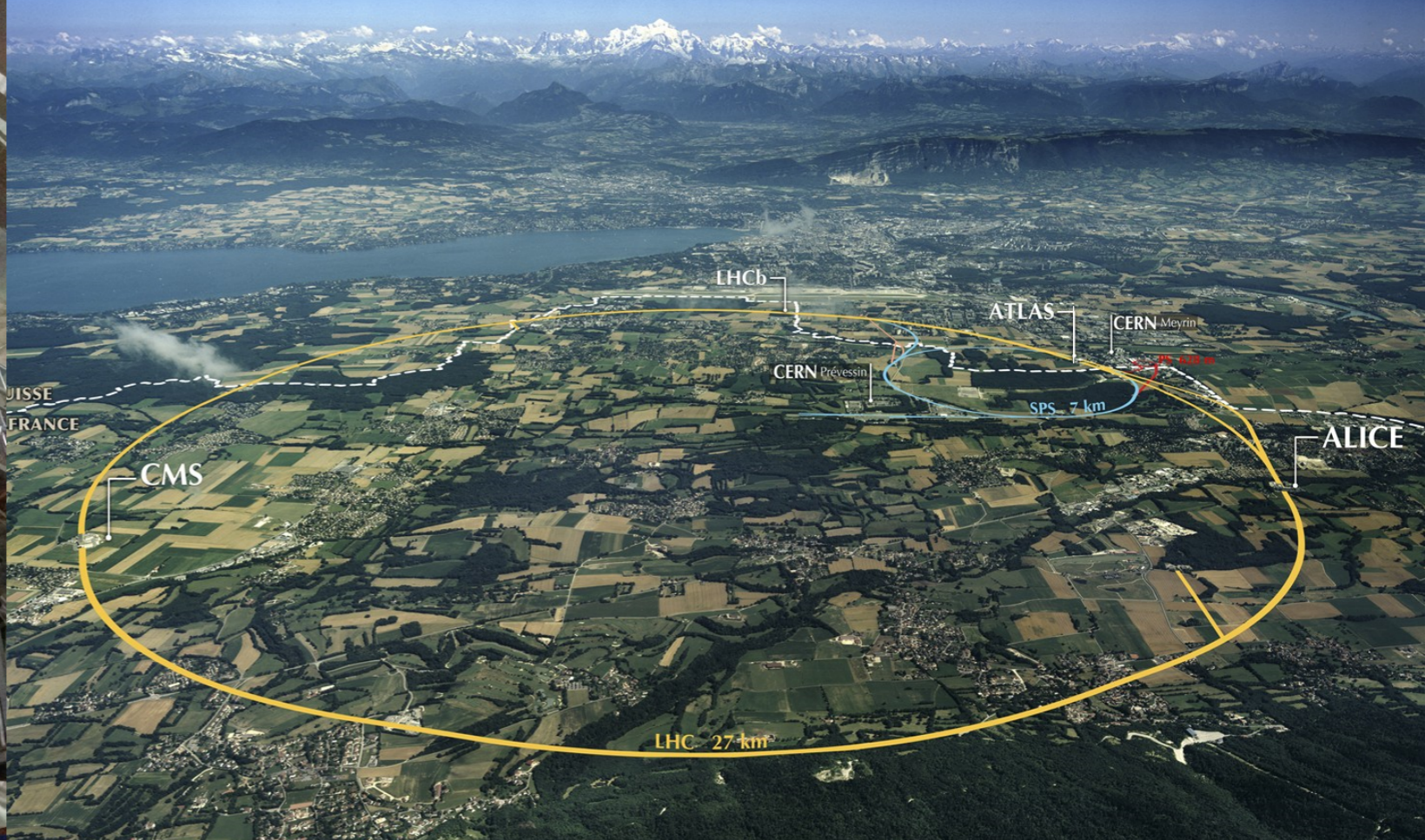
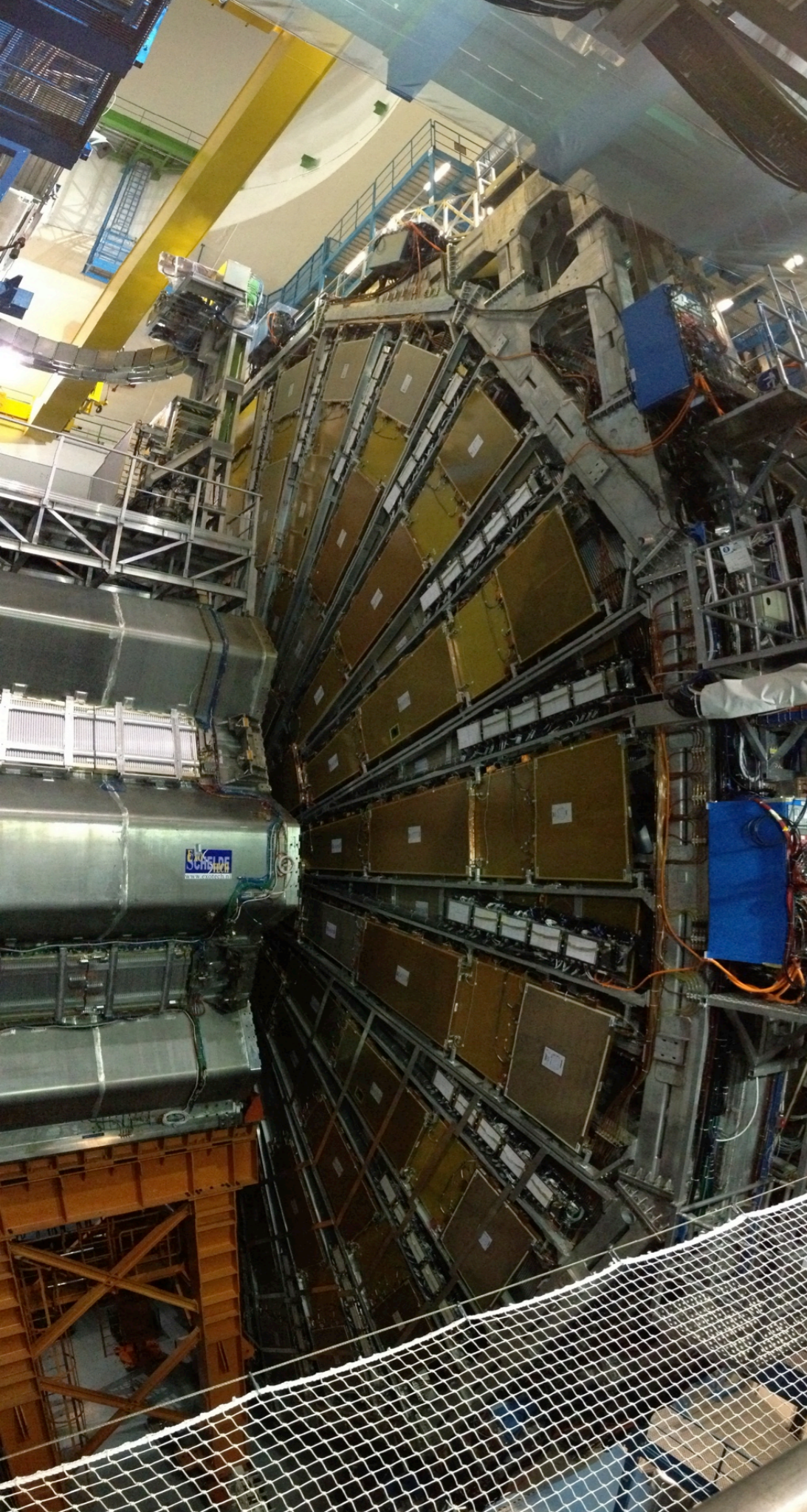
PRESHOWER  
 Silicon strips ~16m<sup>2</sup> ~137,000 channels

FORWARD CALORIMETER  
 Steel + Quartz fibres ~2,000 Channels

CRYSTAL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (ECAL)  
 ~76,000 scintillating PbWO<sub>4</sub> crystals

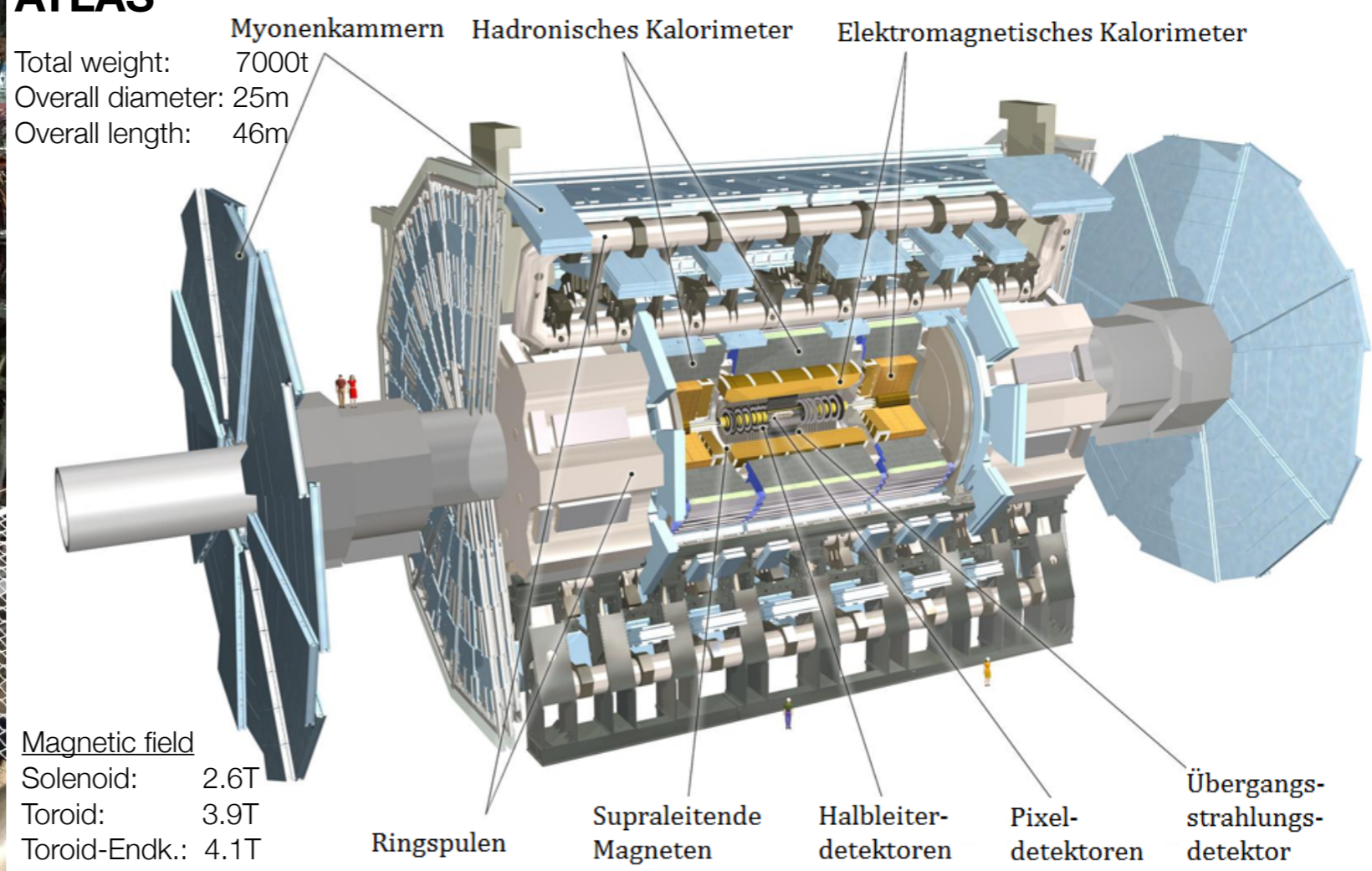
HADRON CALORIMETER (HCAL)  
 Brass + Plastic scintillator ~7,000 channels

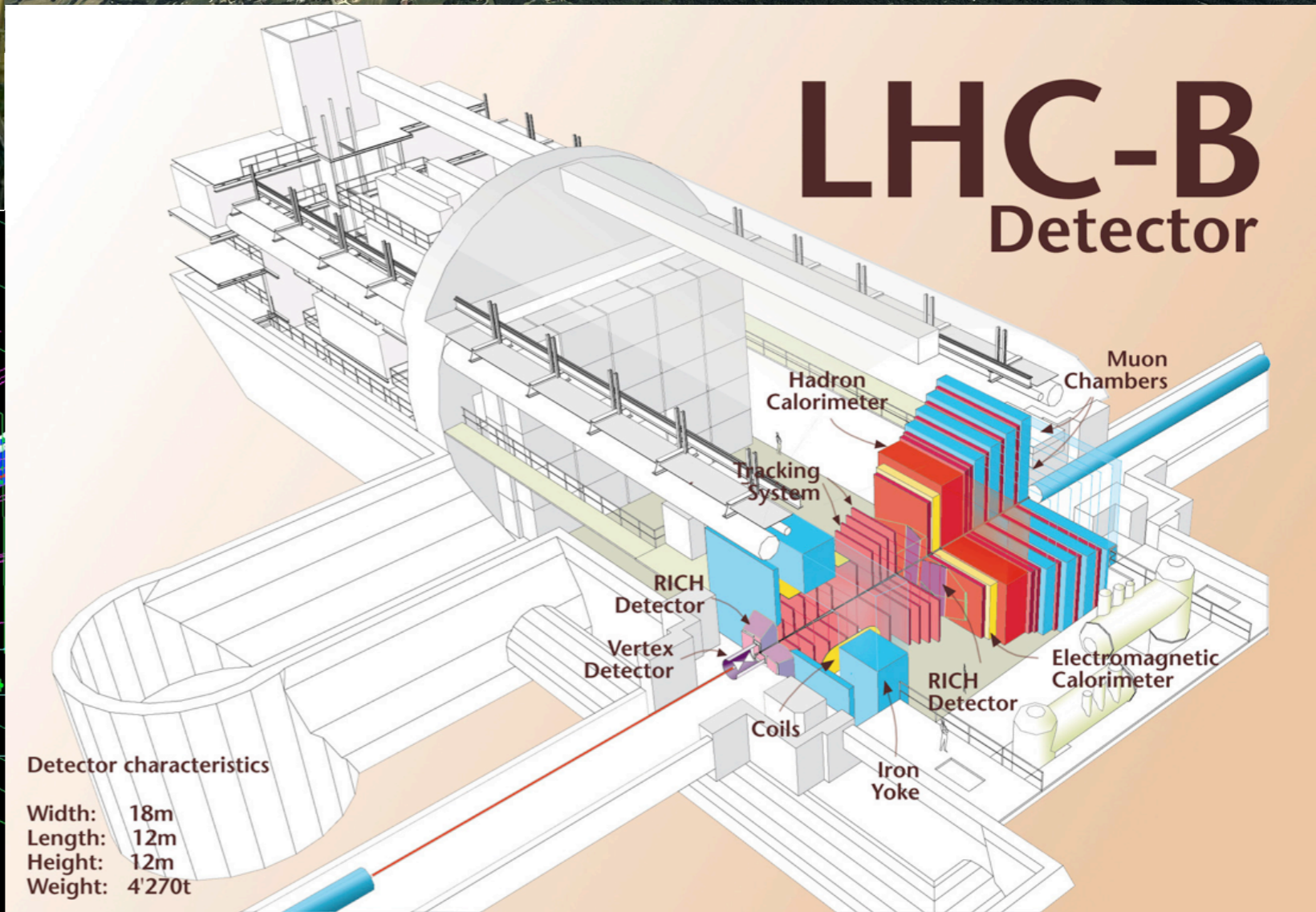
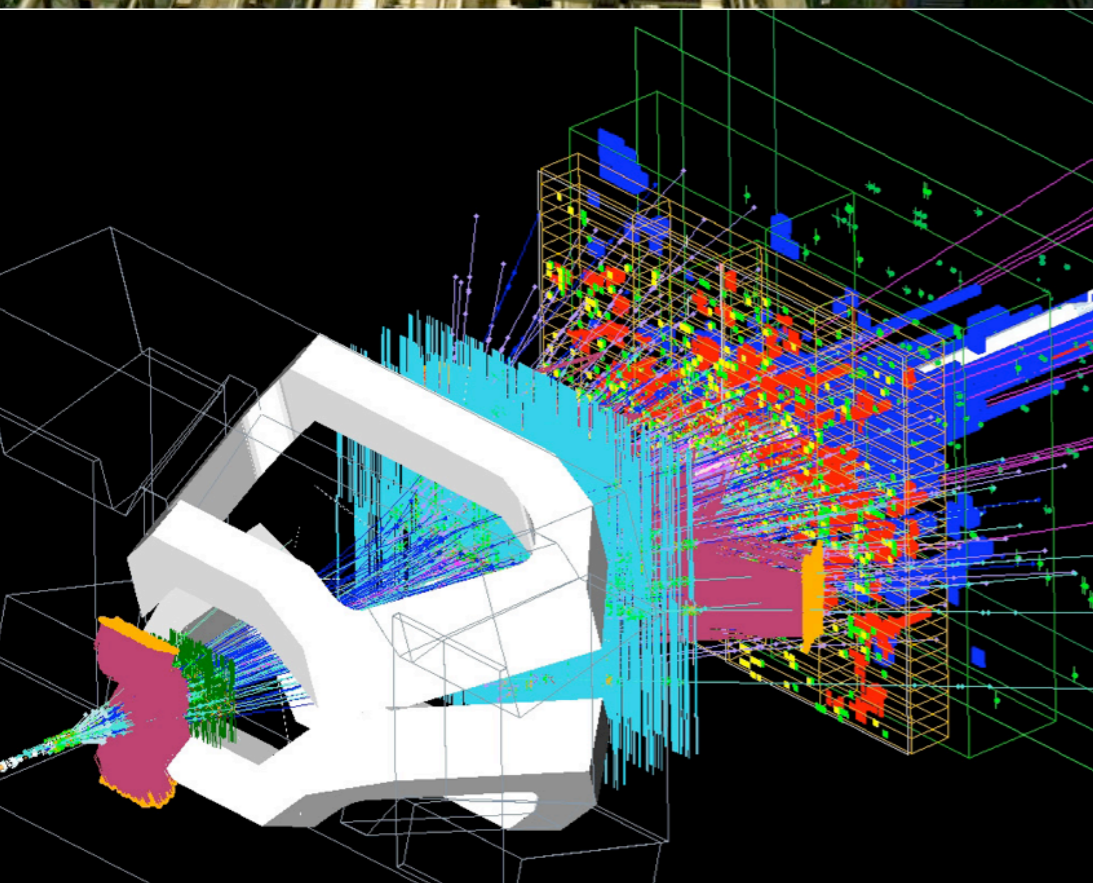
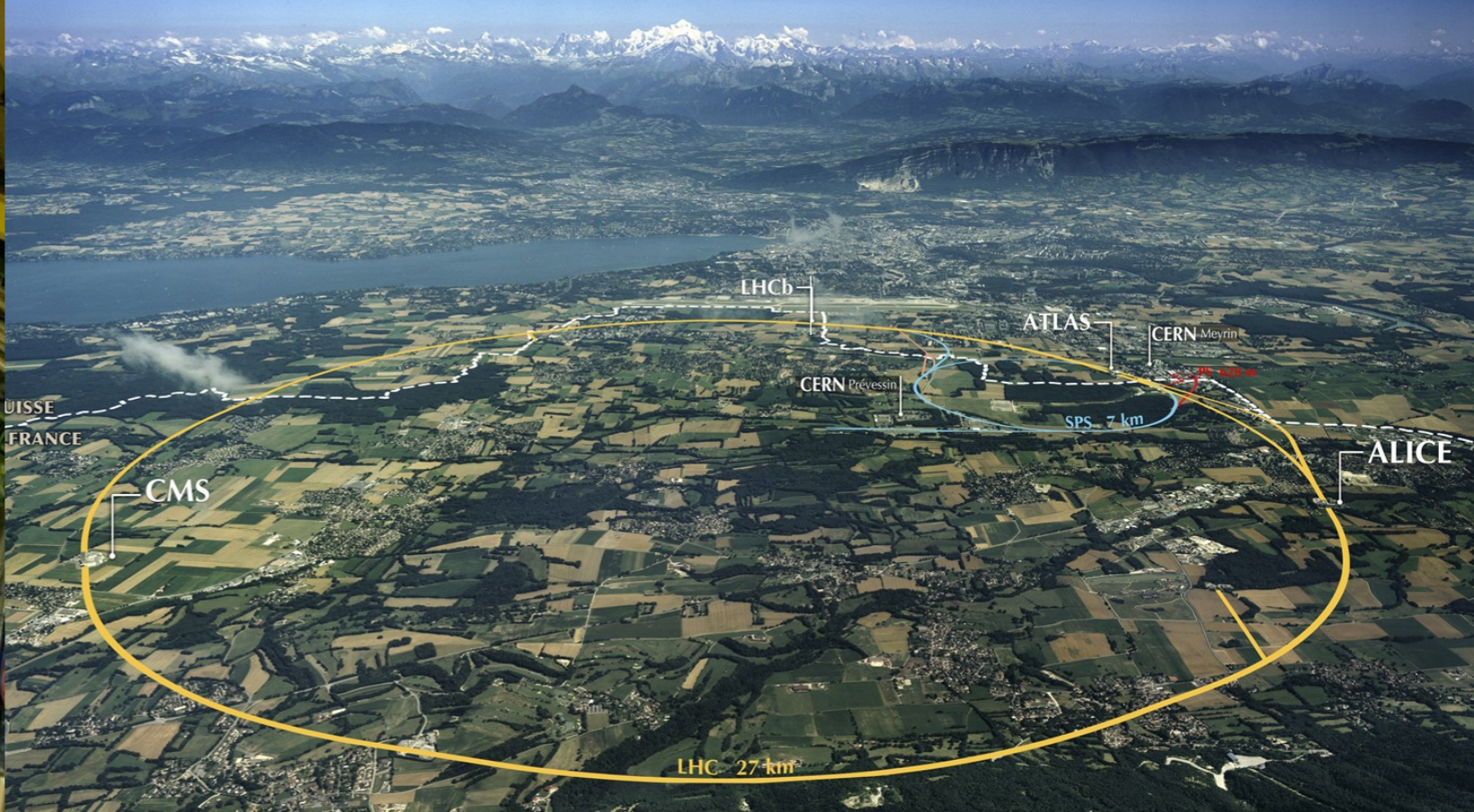
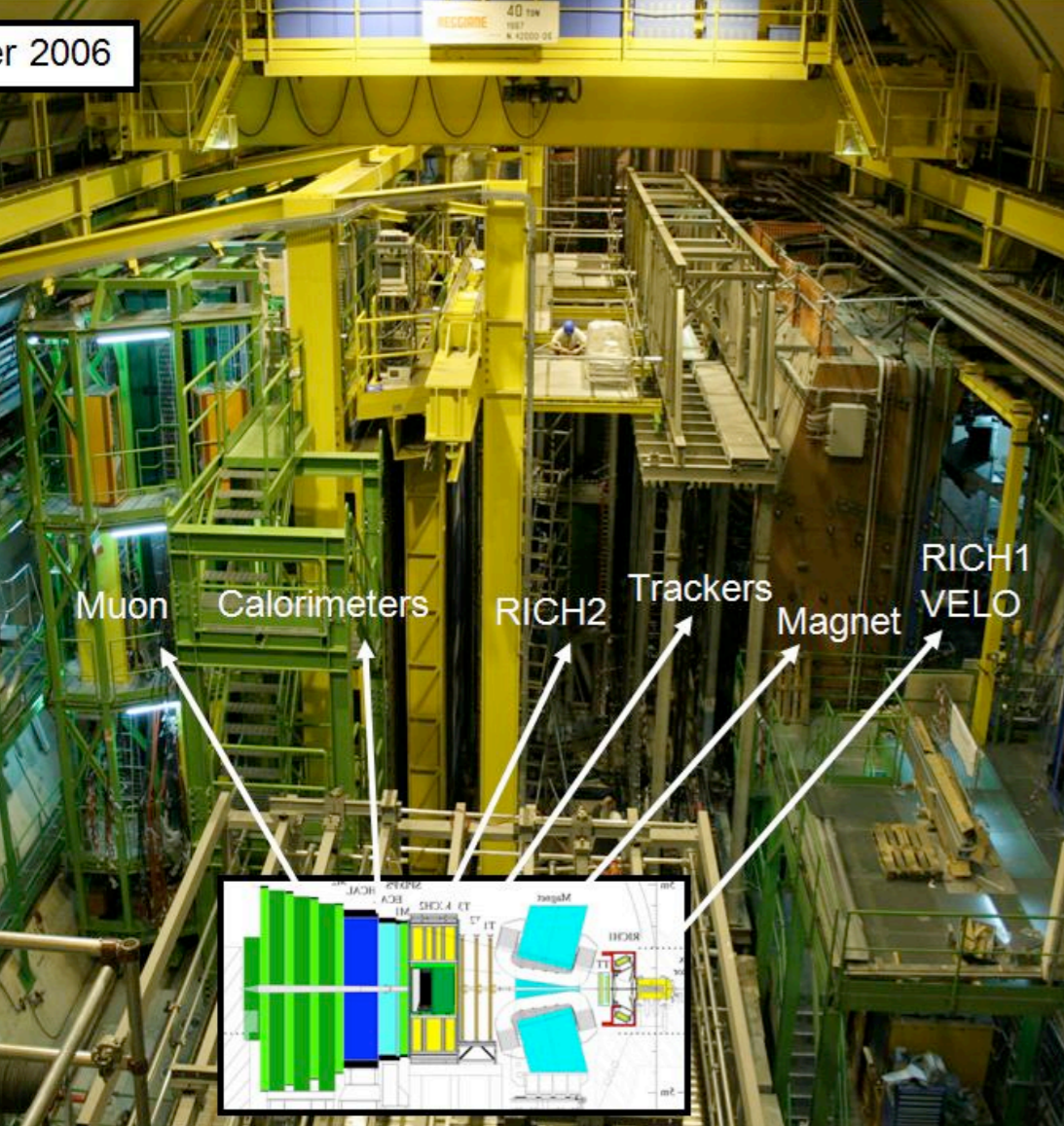




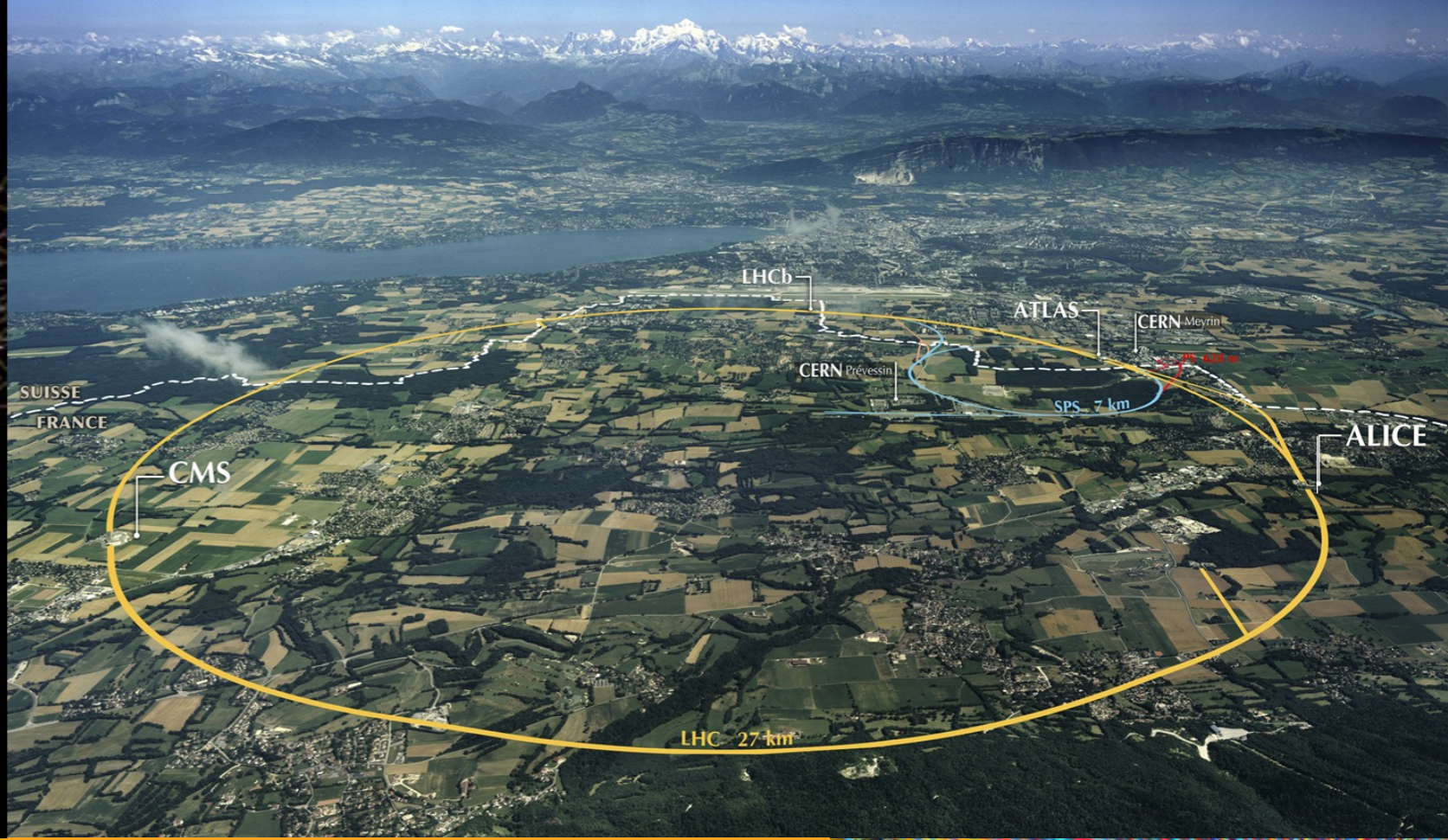
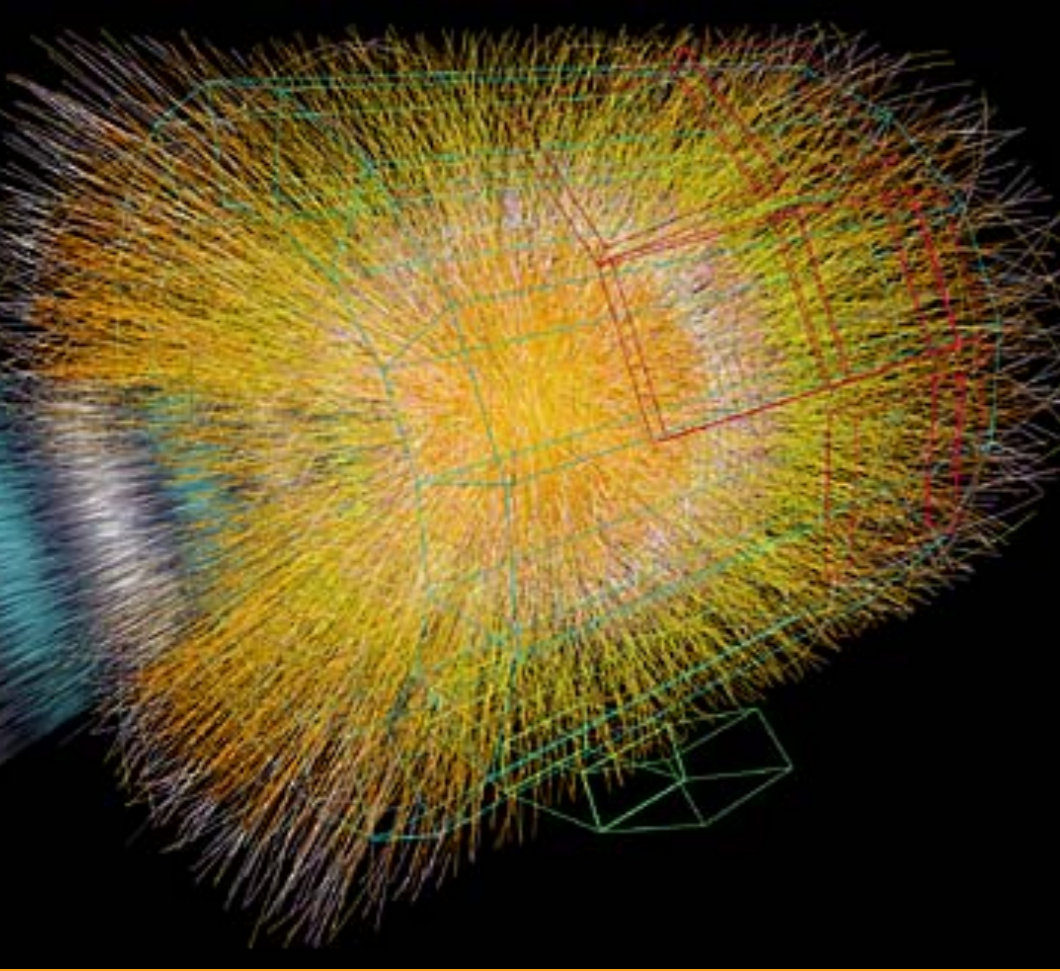
### ATLAS

Total weight: 7000t  
 Overall diameter: 25m  
 Overall length: 46m



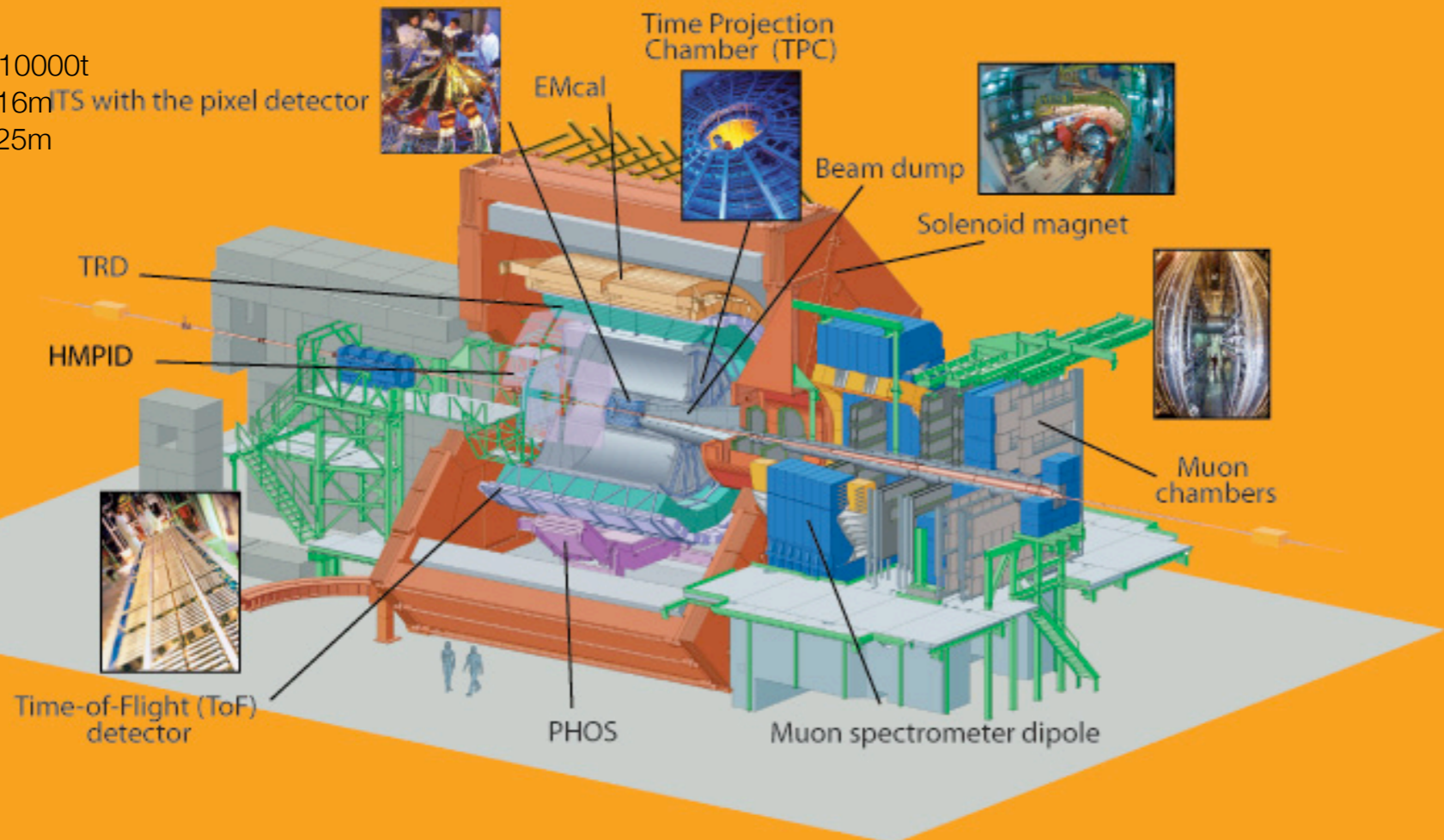






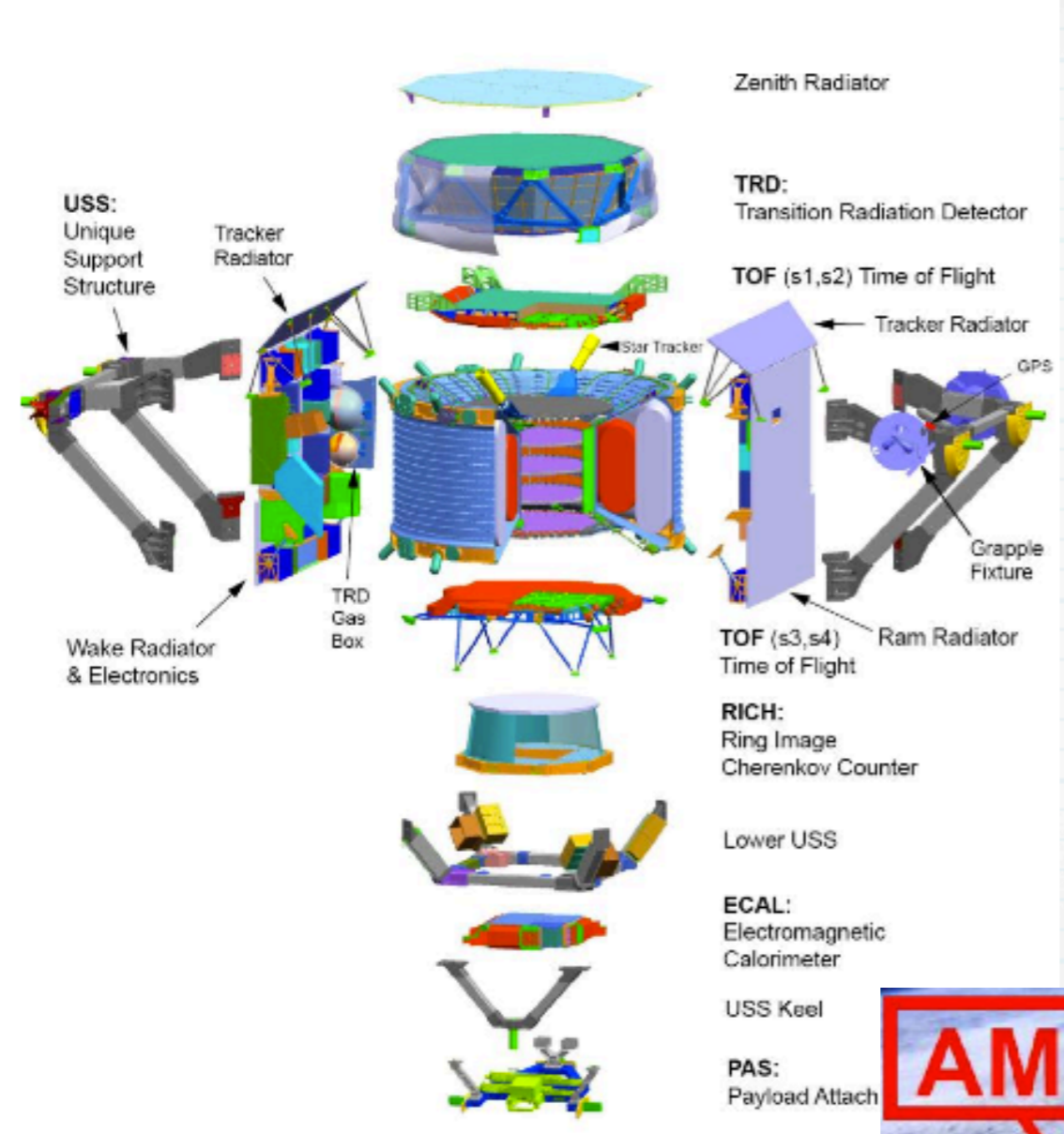
# ALICE

Total weight: 10000t  
 Overall diameter: 16m TS with the pixel detector  
 Overall length: 25m



Magnetic field  
 Dipole: 0.7 T

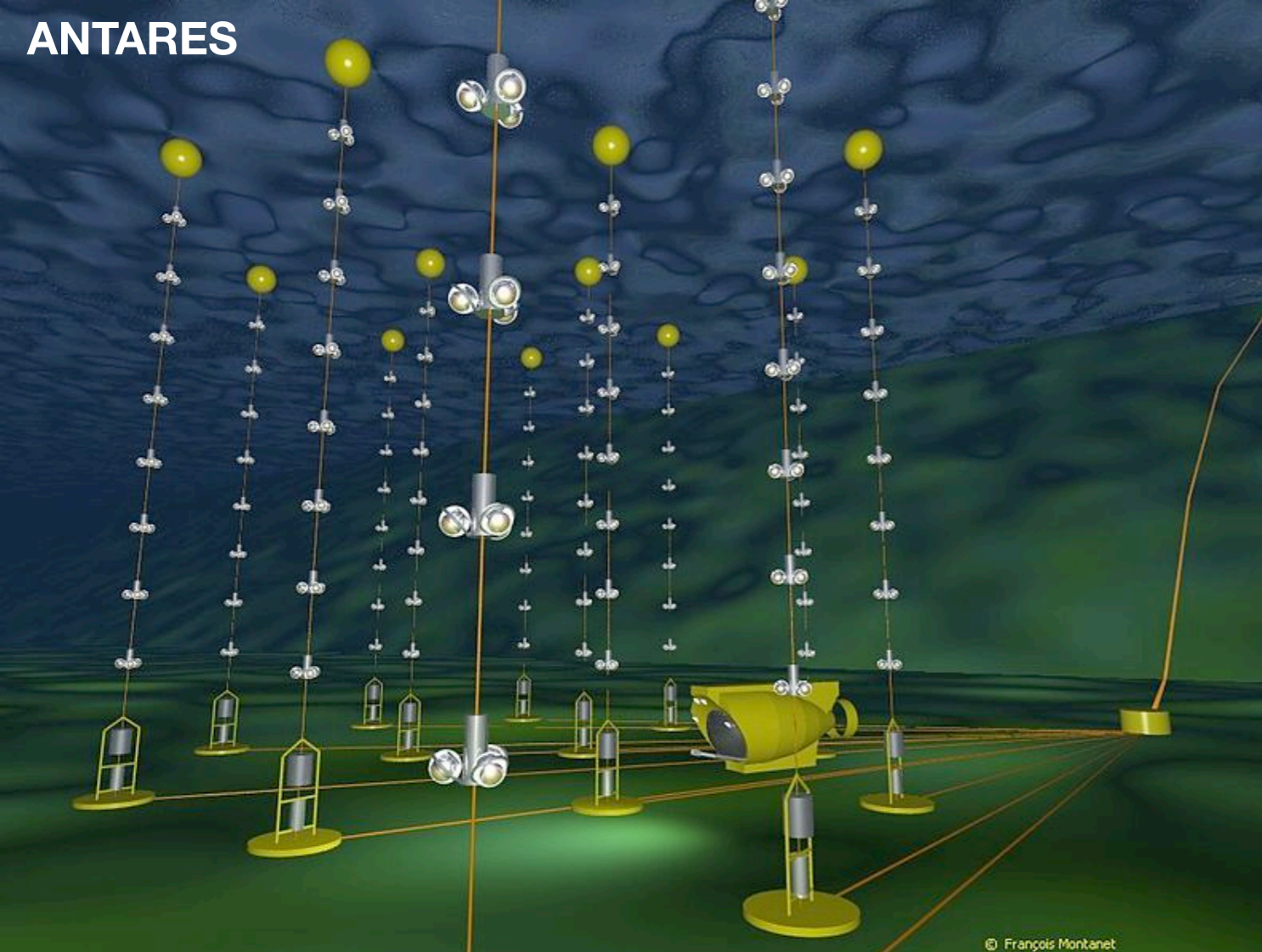




Video auf Folie 10: "STS 134 Space Shuttle Endeavour AMS 02 Install timelapse"  
 © 2013 AMS-02. All right reserved.



## ANTARES



## ANTARES

Ort: vor der Küste Toulons (Frankreich),  
2.5 - 2.15 km unterhalb des  
Meeresspiegels im Mittelmeer

900 photo multipliers  
(Sekundärelektronenvervielfacher) an 12  
Leinen (jede 350m lang)

Lokalisation und Messung des Flusses  
hochenergetischer Neutrinos  
(10GeV-100TeV) kosmischen Ursprungs  
aus der südlichen Hemisphäre

## H.E.S.S.



## H.E.S.S.

Ort: Khomas Highland, Namibia, 1800m

4 Teleskope, 12m im Durchmesser, 120m  
voneinander entfernt, angeordnet im  
Quadrat + 1 Teleskop, 28m im  
Durchmesser in der Mitte

Untersuchung kosmischer Gamma-  
Strahlen-Quellen im Energiebereich 10  
GeV - 100 TeV

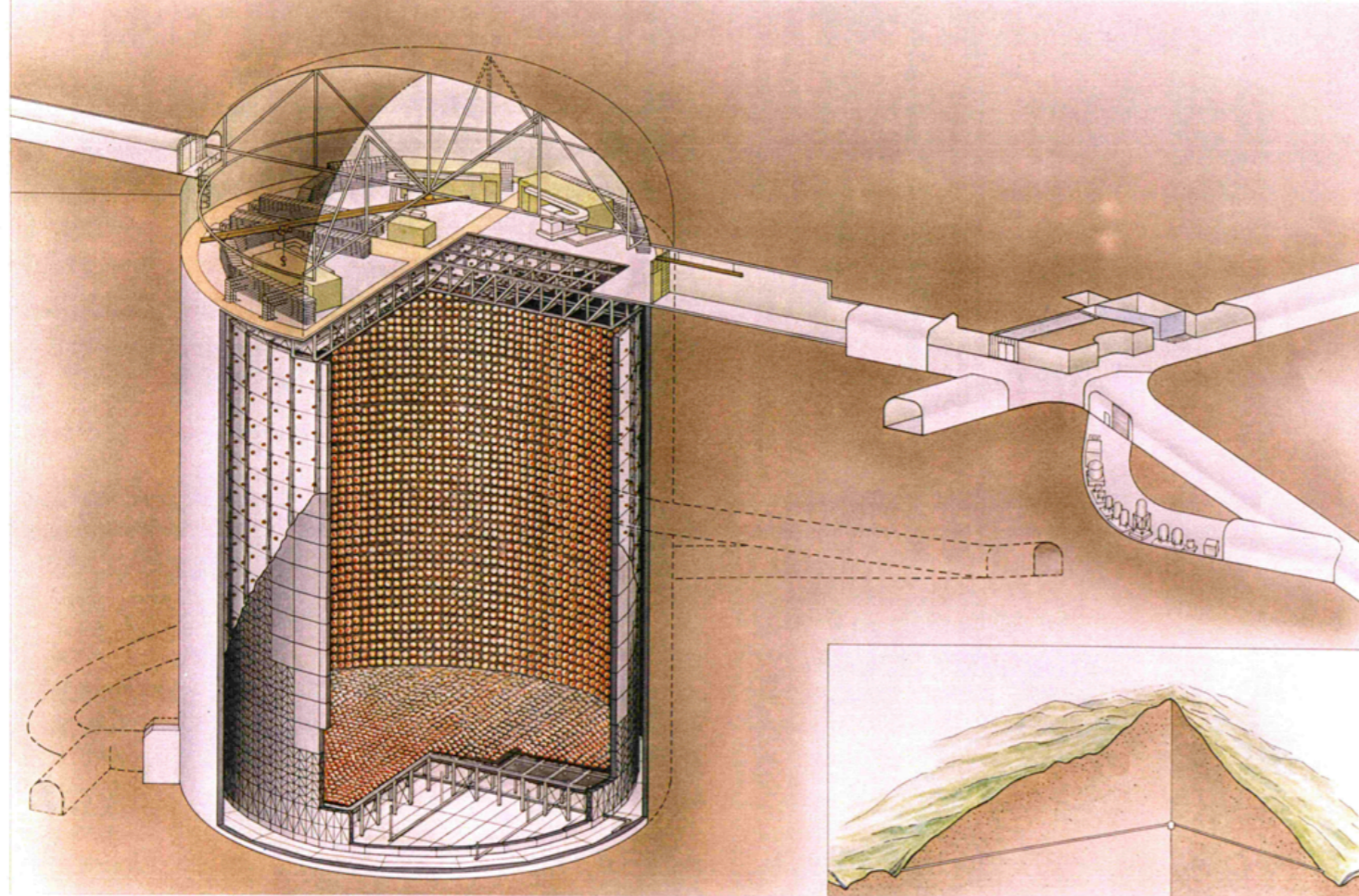
# Super-Kamiokande (Super-K)

Ort: Mozumi-Mine (Hida's Kamioka Area) - 1000m unterirdisch

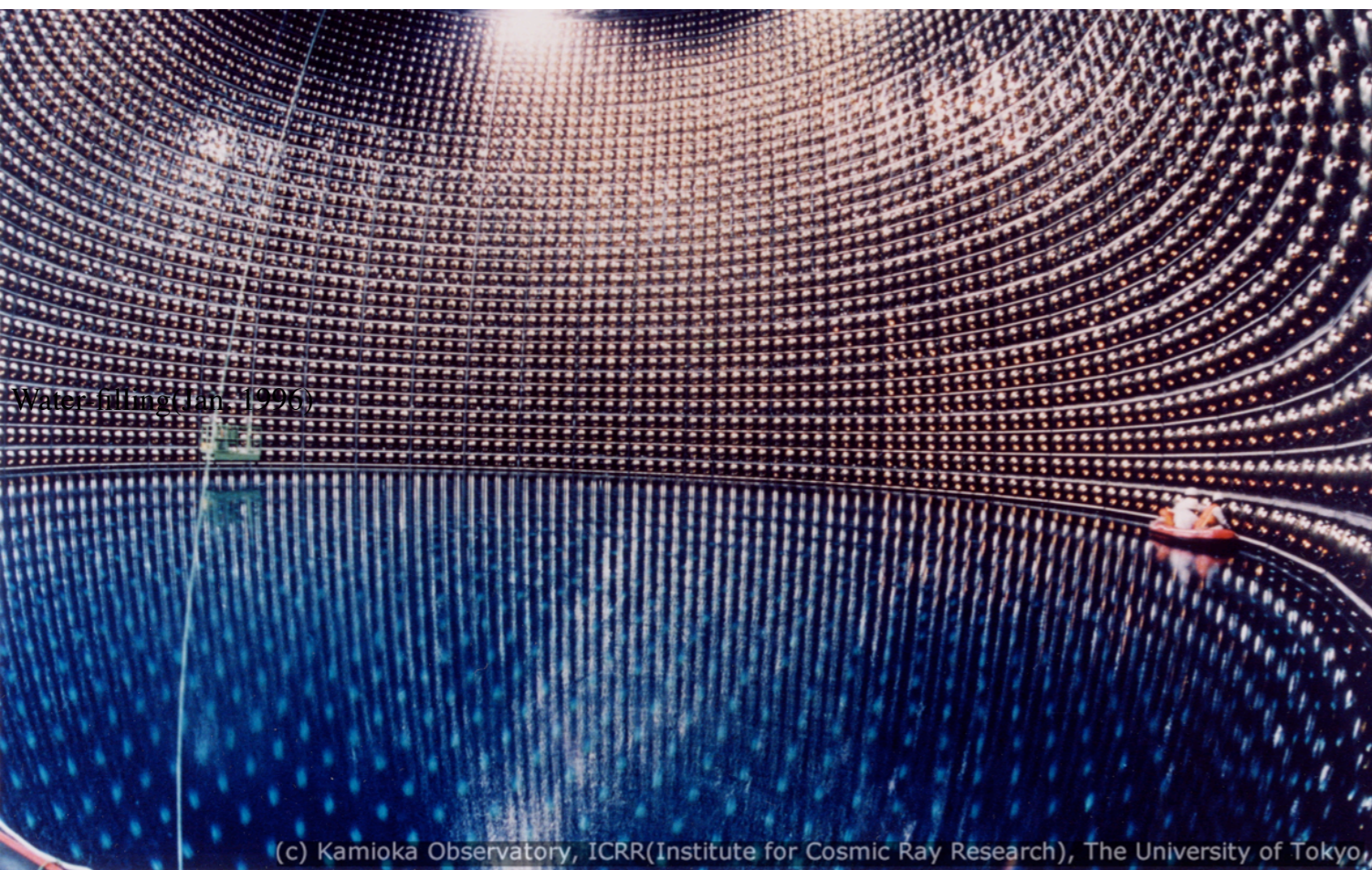
Höhe: 41.4m

Durchmesser: 39.3m

Fassungsvolumen: 50.000 t



SUPERKAMIOKANDE INSTITUTE FOR COSMIC RAY RESEARCH UNIVERSITY OF TOKYO (c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo NIKKEN SEKKEI



Water filling (Jan. 1996)

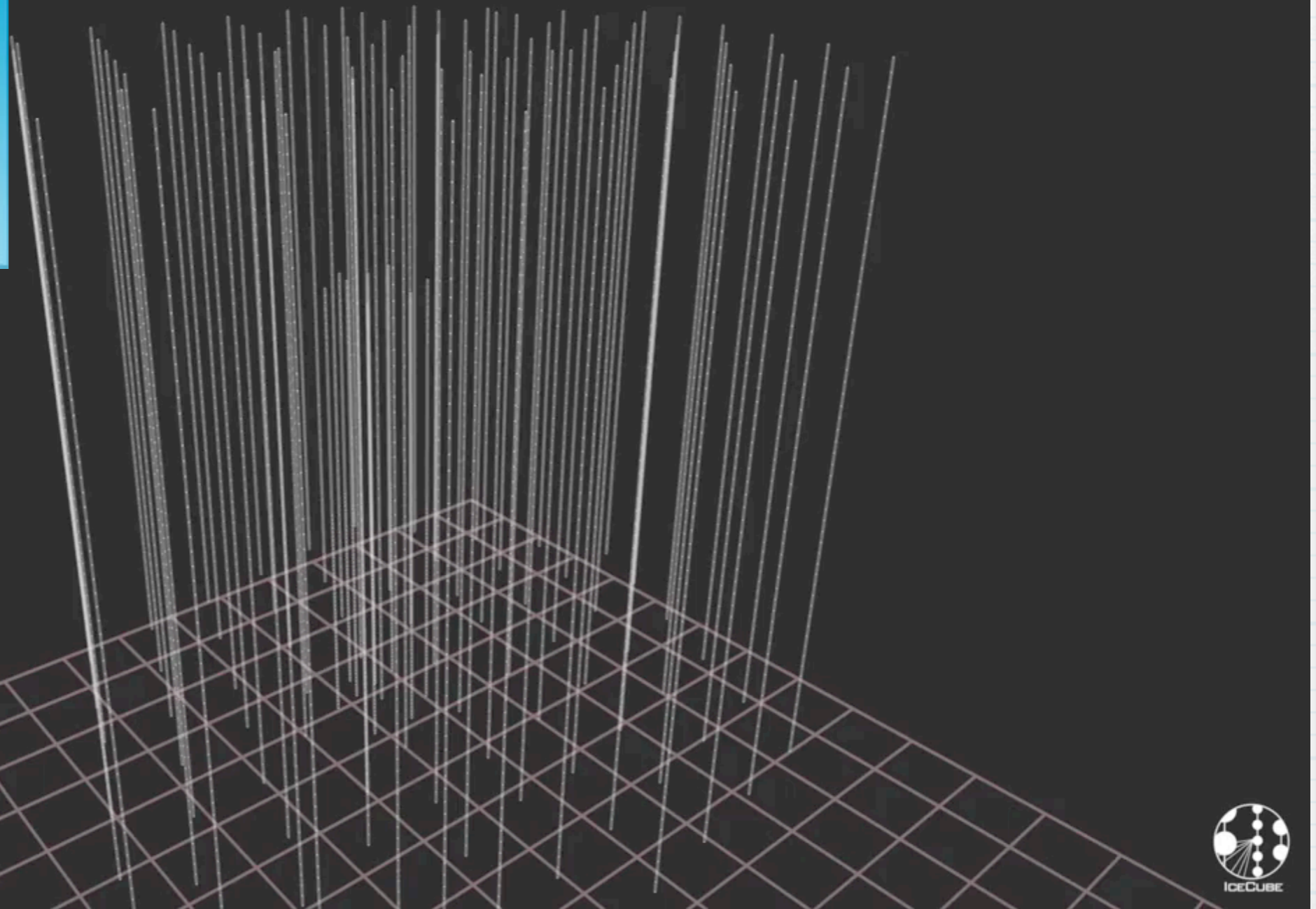
(c) Kamioka Observatory, ICRR(Institute for Cosmic Ray Research), The University of Tokyo

11146 photo multipliers (Sekundärelektronenvervielfacher)

Suche nach Protonenzerfall

Studie solarer und atmosphärischer Neutrinos

Suche nach Supernovae in Milchstraße



Video auf Folie 13: **“High Energy Neutrino "Ernie" Jan 2012”**

One of the two very high energy neutrinos detected in the IceCube neutrino telescope at the South Pole. This one was detected in January 2012 and deposited 1.14 PeV (petaelectronvolts) of energy into the ice. We observe the Cherenkov light generated by the resulting cascade of particles ("particle shower") using photomultiplier tubes (PMTs) deployed in 86 vertical holes drilled into the glacial ice at the South Pole using a hot water drill. The size of the blobs symbolize the amount of light each PMT measures, their color is assigned due to the first light arrival time (red is early, yellow to green is late).

The vertical "strings" of PMTs are 125m apart from each other (there is a denser core in the center of the detector). The IceCube strings go up to 2.5km deep into the ice (they are instrumented with PMTs between depths of 1.5km and 2.5km).

The IceCube South Pole Neutrino Observatory: <http://icecube.wisc.edu>

Many more details can be found in the research article on this: <http://arxiv.org/abs/1304.5356>

Quelle: <http://www.youtube.com/watch?v=y6cmY-ibgys>, Published on Apr 30, 2013

Video auf Folie 14: "**Pierre Auger Observatory**"

Pierre Auger Observatory - Capturing the highest energy cosmic rays

Quelle: <http://www.youtube.com/watch?v=cBgUHPyvjhU>

# Inhalt

1. Beeindruckende Teilchendetektoren in Bildern
2. Forschungsfragen in der Teilchenphysik
3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften
4. Messprinzipien für Teilcheneigenschaften
5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren
6. Detektorkonzepte
- L. Literatur

## 2. Forschungsfragen in der Teilchenphysik





## 2. Forschungsfragen in der Teilchenphysik

**Wie erhalten Elementarteilchen ihre Masse?**

→ Higgs-Mechanismus, Higgs-Teilchen

**Warum ist die Higgs-Masse ( $125.9 \pm 0.4 \text{ GeV}/c^2$ ) so gering?**

→ Hierarchy-Problem, Super-Symmetrie

**Warum gibt es Bosonen und Fermionen?**

→ Super-Symmetrie

**Warum gibt es so viele freie (30!!!) Parameter im Standardmodell der Teilchenphysik?**

**Gibt es magnetische Monopole?**

→ Quantisierung von elektrischer Ladung benötigt dies.

## 2. Forschungsfragen in der Teilchenphysik

**Gibt es eine Vereinigung der drei fundamentalen Wechselwirkungen bei einer bestimmten Energie?**

**Gibt es eine renormalisierbare Quantenfeldtheorie der Gravitation?**

**Woraus besteht *Dunkle Materie*?**

**Warum gibt es die Materie-Antimaterie-Asymmetrie in unserem Universum?**

**Wie sieht es mit dem Teilchenaspekt des Neutrinos aus?**

→ Ist es sein eigenes Antiteilchen ...

**Wie kommt der Spin des Protons zu Stande?**

**Gab es im frühen Universum das Quark-Gluon-Plasma?**

### 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften





# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## 0. Einheiten und Co.

Masse eines Elektrons:  $9.1 \cdot 10^{-31}$  kg

Ruheenergie ( $E_0 = m \cdot c^2$ ) eines Elektrons:  $8.2 \cdot 10^{-14}$  J = 511 keV

Oft liest man daher 511 keV als Angabe für die Masse des Elektrons, es sollte natürlich genauer  $511 \text{ keV}/c^2$  heißen.

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## 0. Teilchenübersicht 1

*Leptonen*<sup>\*)</sup>:

$e^\pm$  (0.511),  $\mu^\pm$  (105.7),  $\tau^\pm$  (1777)

$\nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

*Mesonen*<sup>\*\*)</sup>:

$\pi^\pm$  (139.6),  $\pi^0$  (135.0),  $\eta$  (547.9),  $\sigma$  (400-550),  $\rho$  (770),  $\omega$  (782.7),  $\eta'$  (957.8),  $f_0$  (990),  $a_0$  (980),  $\phi$  (1019),  $h_1$  (1170),  $b_1$  (1229),  $a_1$  (1230),  $f_2$  (1275),  $f_1$  (1282),  $\eta$  (1295),  $\pi$  (1300),  $a_2$  (1318),  $f_0$  (1370),  $\pi_1$  (1400),  $\eta$  (1409),  $f_1$  (1426),  $\omega$  (1400-1450),  $a_0$  (1474),  $\rho$  (1465),  $\eta$  (1476),  $f_0$  (1505),  $f'_2$  (1525),  $\pi_1$  (1662),  $\eta_2$  (1617),  $\omega$  (1670),  $\omega_3$  (1667),  $\pi_2$  (1672),  $\phi$  (1680),  $\rho_3$  (1689),  $\rho$  (1720),  $f_0$  (1720),  $\pi$  (1812),  $\phi_3$  (1854),  $\pi_2$  (1895),  $f_2$  (1944),  $f_2$  (2011),  $a_4$  (1996),  $f_4$  (2018),  $\phi$  (2175),  $f_2$  (2297),  $f_2$  (2339)

$K^\pm$  (493.7),  $K^0$  (497.6),  $K^0_S, K^0_L, K^*$  (891.7),  $K_1$  (1272),  $K_1$  (1403),  $K^*$  (1414),  $K^*_0$  (1425),  $K^*_2$  (1426),  $K^*$  (1717),  $K_2$  (1773),  $K^*_3$  (1776),  $K_2$  (1816),  $K^*_4$  (2045)

$D^\pm$  (1870),  $D^0$  (1865),  $D^*(2007)^0, D^*(2010)^\pm, D^*_0(2318)^0, D_1(2420)^0, D^*_2(2463)^0, D^*_2(2464)^\pm, D^\pm_S$  (1969),  $D^*_{S^\pm}$  (2112),  $D^*_{S0}(2317)^\pm, D_{S1}(2460)^\pm, D_{S1}(2535)^\pm, D^*_{S2}$  (2572),  $D^*_{S1}(2709)^\pm$

$B^\pm$  (5279),  $B^0$  (5280),  $B^*$  (5325),  $B_1(5724)^0, B^*_2(5743)^0, B^0_S$  (5367),  $B^*_S$  (5415),  $B_{S1}(5829)^0, B^*_{S2}(5840)^0, B^\pm_C$  (6275),  $\eta_c(1S)$  (2984),  $J/\psi(1S)$  (3097),  $\chi_{c0}(1P)$  (3415),  $\chi_{c1}(1P)$  (3511),  $h_c(1P)$  (3525),  $\chi_{c2}(1P)$  (3556),  $\eta_c(2S)$  (3639),  $\psi(2S)$  (3686),  $\psi$  (3373),  $X$  (3872),  $\chi_{c0}(2P)$  (3918),  $\chi_{c2}(2P)$  (3927),  $\psi$  (4039),  $\psi$  (4153),  $X$  (4250),  $X$  (4361),  $\psi$  (4421),  $X$  (4664),  $Y(1S)$  (9460),  $\chi_{b0}(1P)$  (9859),  $\chi_{b1}(1P)$  (9893),  $h_b(1P)$  (9899),  $\chi_{b2}(1P)$  (9912),  $Y(2S)$  (10023),  $Y(1D)$  (10174),  $\chi_{b0}(2P)$  (10233),  $\chi_{b1}(2P)$  (10255),  $\chi_{b2}(2P)$  (10269),  $Y(3S)$  (10355),  $\chi_b(3P)$  (10534),  $Y(4S)$  (10579),  $Y$  (10876),  $Y$  (11019)

<sup>\*)</sup>, <sup>\*\*)</sup>: J. Beringer et al. (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition (URL: <http://pdg.lbl.gov>)

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## 0. Teilchenübersicht 2

### *Baryonen*<sup>\*)</sup>:

$p^\pm$  (938.3),  $n$  (939.6),  $N(1440)$ ,  $N(1520)$ ,  $N(1535)$ ,  $N(1650)$ ,  $N(1675)$ ,  $N(1680)$ ,  $N(1700)$ ,  $N(1710)$ ,  $N(1720)$ ,  $N(1875)$ ,  $N(1900)$ ,  $N(2190)$ ,  $N(2220)$ ,  $N(2250)$ ,  $N(2600)$ ,  $\Delta(1232)$ ,  $\Delta(1600)$ ,  $\Delta(1620)$ ,  $\Delta(1700)$ ,  $\Delta(1905)$ ,  $\Delta(1910)$ ,  $\Delta(1920)$ ,  $\Delta(1930)$ ,  $\Delta(1950)$ ,  $\Delta(2420)$ ,  $\Lambda(1116)$ ,  $\Lambda(1405)$ ,  $\Lambda(1520)$ ,  $\Lambda(1600)$ ,  $\Lambda(1670)$ ,  $\Lambda(1690)$ ,  $\Lambda(1800)$ ,  $\Lambda(1810)$ ,  $\Lambda(1820)$ ,  $\Lambda(1830)$ ,  $\Lambda(1890)$ ,  $\Lambda(2100)$ ,  $\Lambda(2110)$ ,  $\Lambda(2350)$ ,  $\Sigma^+$  (1189),  $\Sigma^0$  (1193),  $\Sigma^-$  (1197),  $\Sigma(1385)$ ,  $\Sigma(1660)$ ,  $\Sigma(1670)$ ,  $\Sigma(1750)$ ,  $\Sigma(1775)$ ,  $\Sigma(1915)$ ,  $\Sigma(1940)$ ,  $\Sigma(2030)$ ,  $\Sigma(2250)$ ,  $\Xi^0$  (1315),  $\Xi^-$  (1322),  $\Xi(1530)$ ,  $\Xi(1690)$ ,  $\Xi(1820)$ ,  $\Xi(1950)$ ,  $\Xi(2030)$ ,  $\Omega^-$  (1672),  $\Omega(2250)^-$ ,  $\Lambda_c^+$  (2286),  $\Lambda_c(2295)$ ,  $\Lambda_c(2295)^+$ ,  $\Lambda_c(2625)^+$ ,  $\Lambda_c(2880)^+$ ,  $\Lambda_c(2940)^+$ ,  $\Sigma_c(2455)$ ,  $\Sigma_c(2520)$ ,  $\Sigma_c(2800)$ ,  $\Xi_c^+$  (2468),  $\Xi_c^0$  (2471),  $\Xi_c'^+$  (2576),  $\Xi_c'^0$  (2578),  $\Xi_c(2645)$ ,  $\Xi_c(2790)$ ,  $\Xi_c(2815)$ ,  $\Xi_c(2980)$ ,  $\Xi_c(3080)$ ,  $\Omega_c^0$  (2695),  $\Omega_c(2770)^0$ ,  $\Lambda_b^0$  (5619),  $\Lambda_b(5912)^0$ ,  $\Lambda_b(5920)^0$ ,  $\Sigma_b(5811)$ ,  $\Sigma_b^*$  (5832),  $\Xi_b^0$  (5788),  $\Xi_b^-$  (5791),  $\Xi_b(5945)^0$ ,  $\Omega_b^-$  (6071)

### *Bosonen*<sup>\*\*)</sup>:

$\gamma$  ( $<10^{-24}$ ),  $g$  (0),  $W^\pm$  (80385),  $Z^0$  (91187),  $H^0$  (125900)

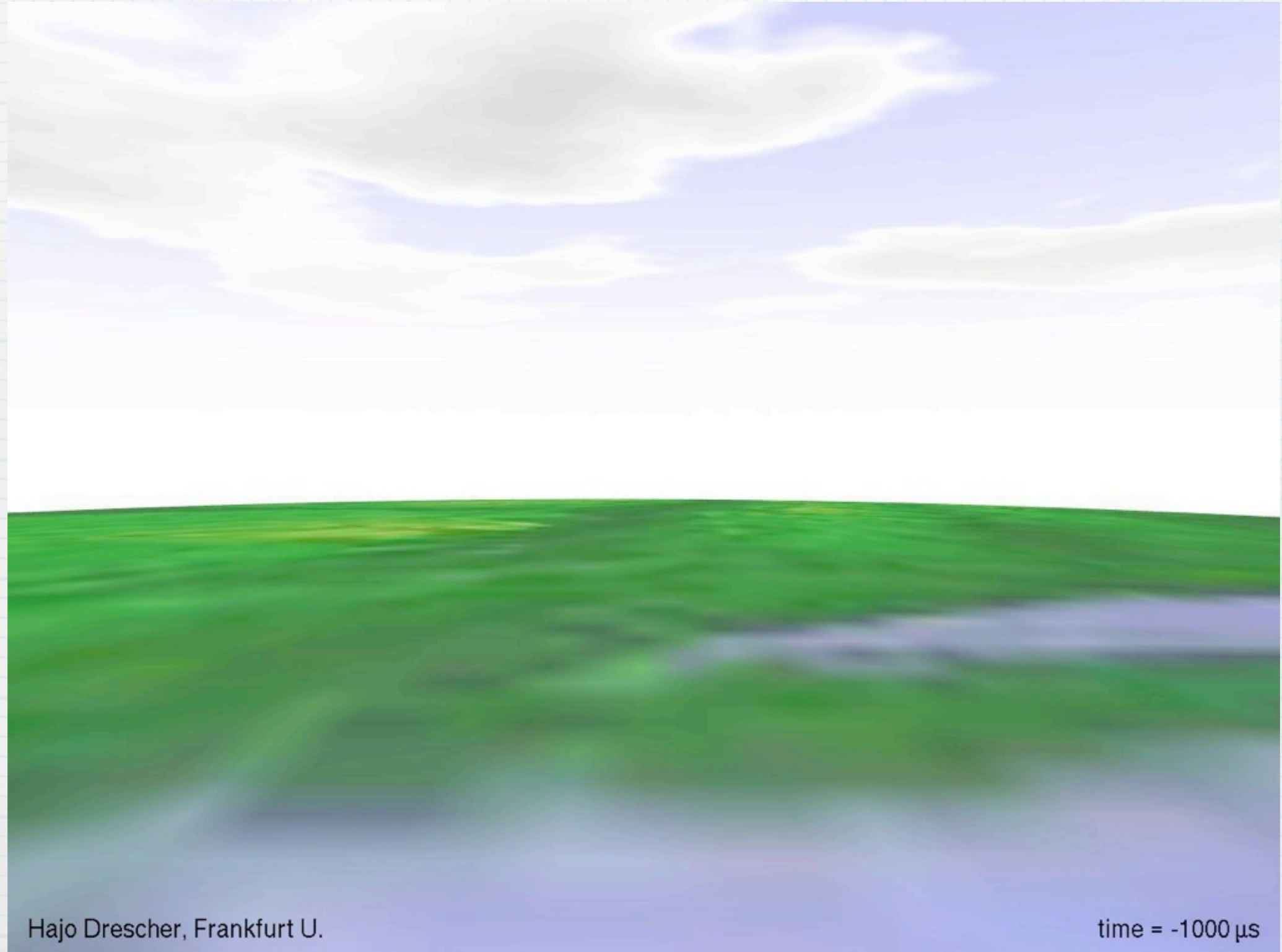
### *Quarks*<sup>\*\*\*)</sup>:

$u$  (2.3),  $d$  (4.8),  $s$  (95),  $c$  (1275),  $b$  (4180),  $t$  (173070)

\*) , \*\*) , \*\*\*) :

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



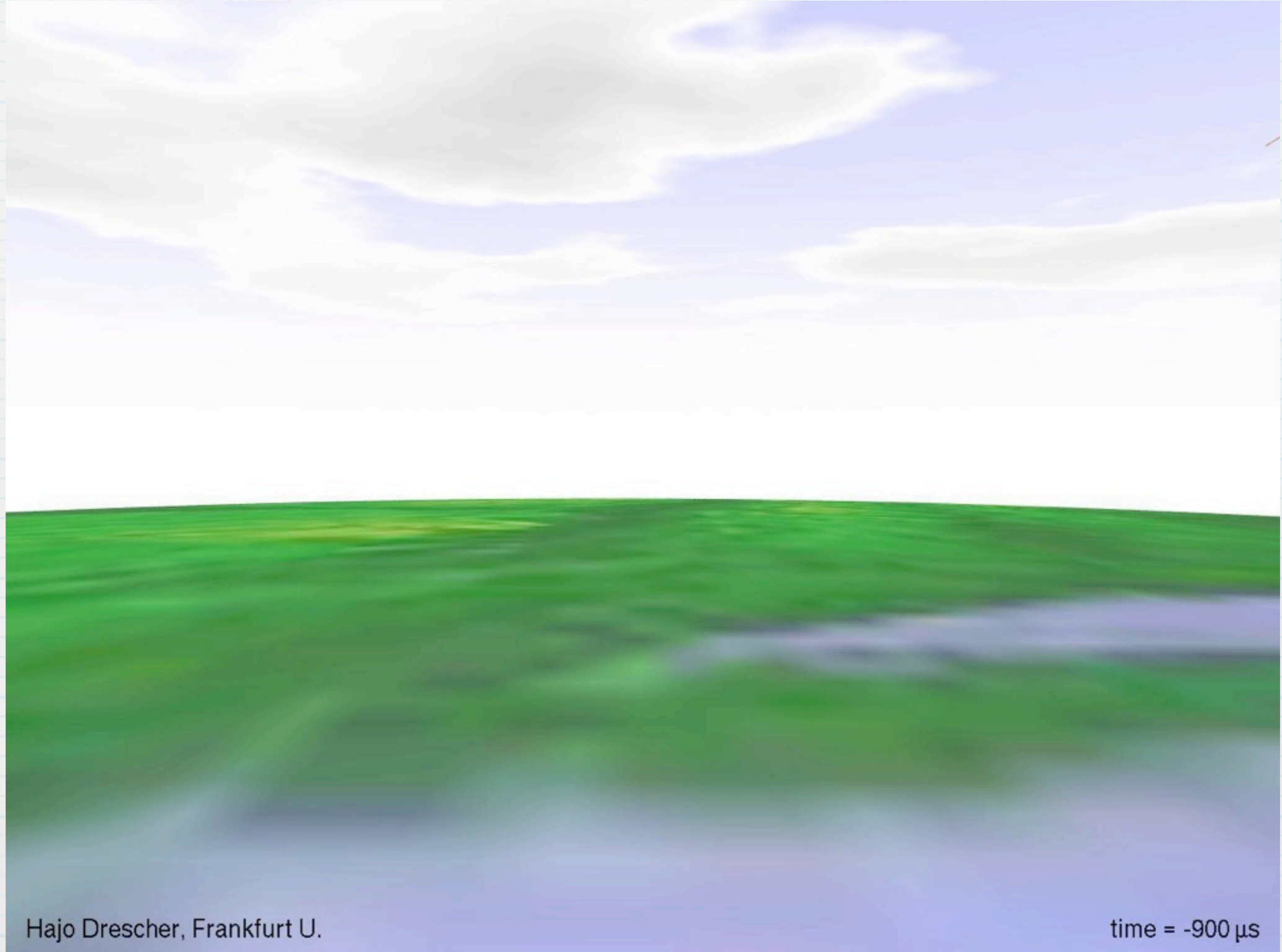
Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -1000  $\mu$ s



# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

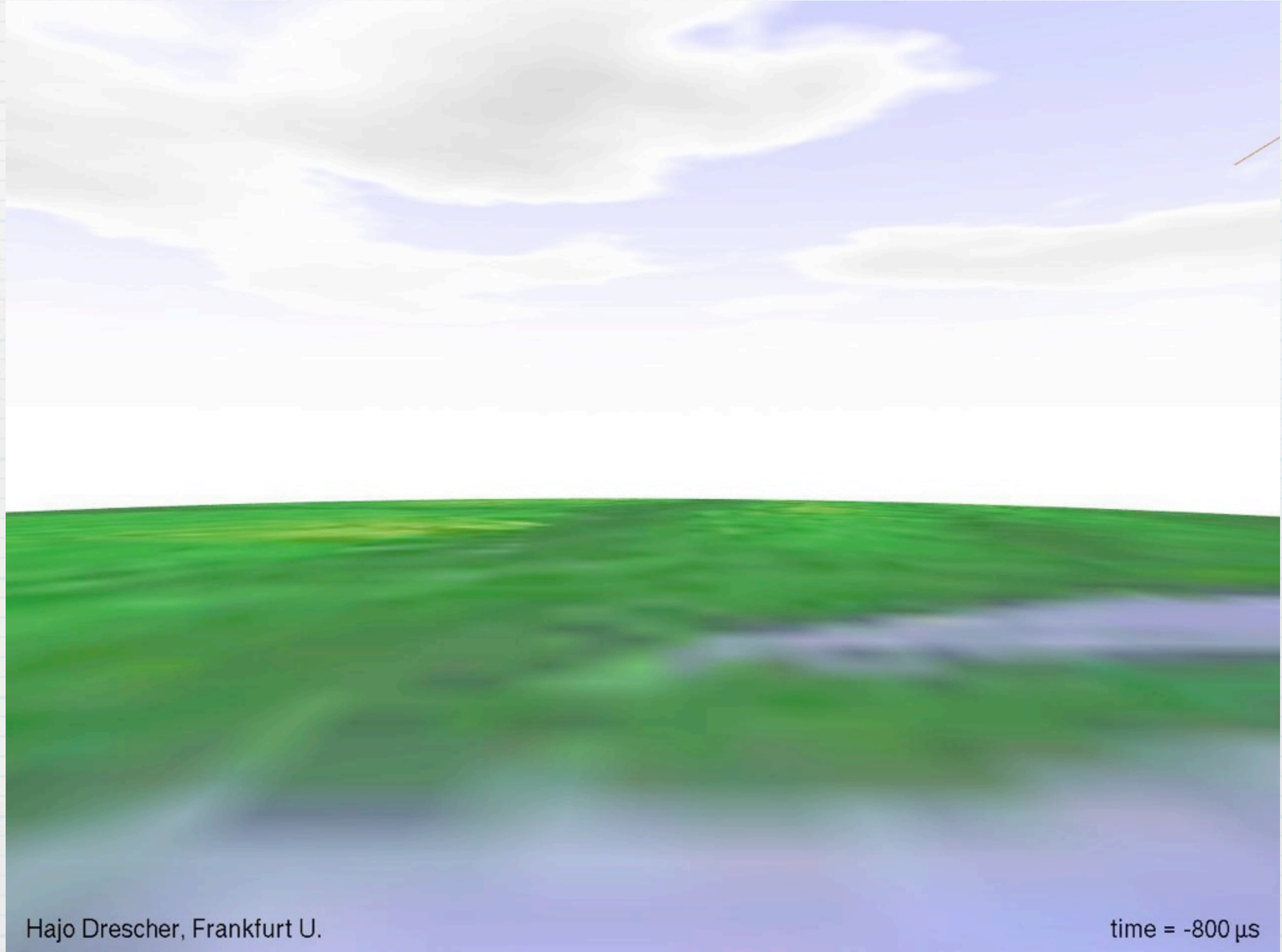


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -900  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

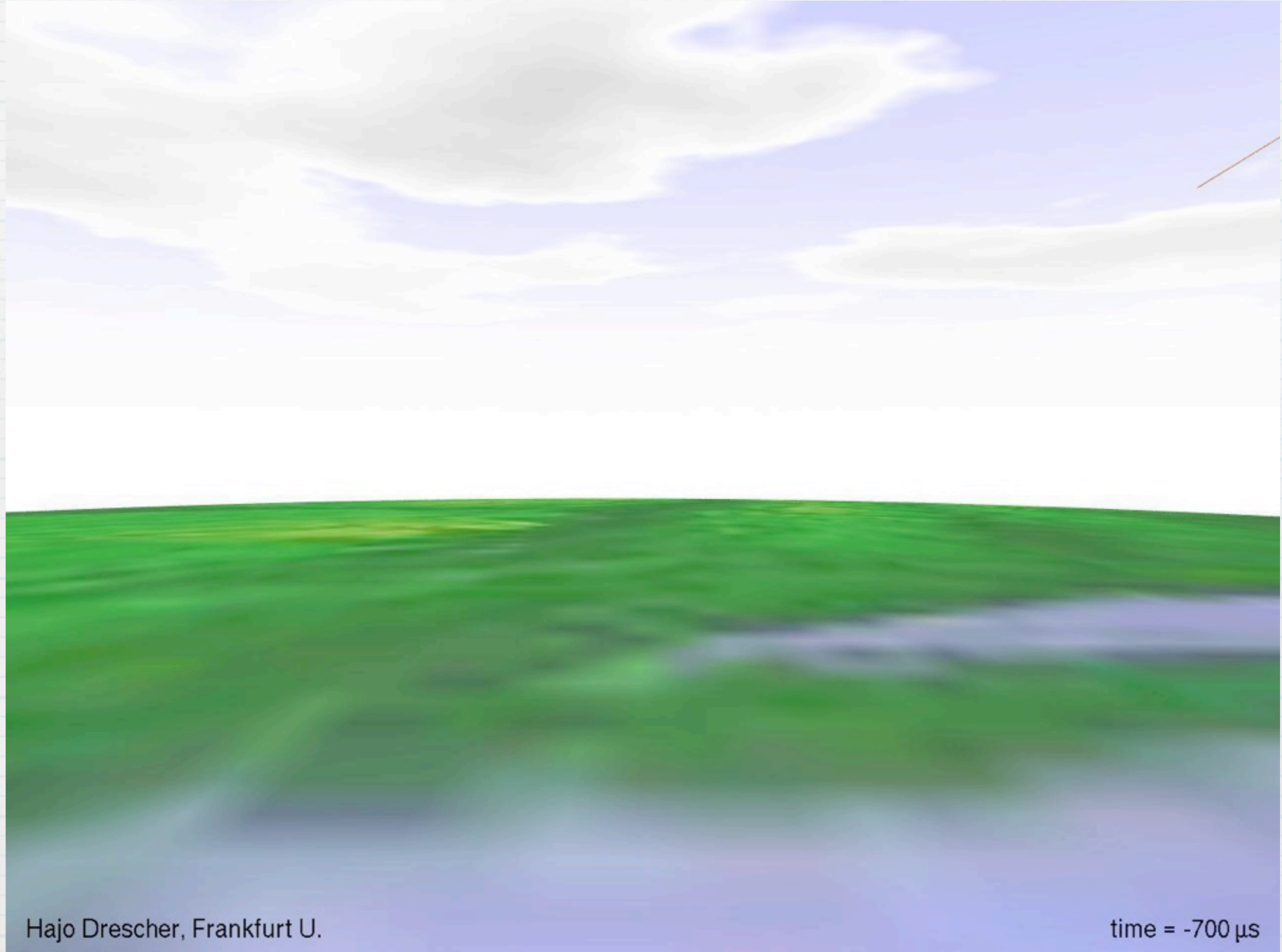


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -800  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

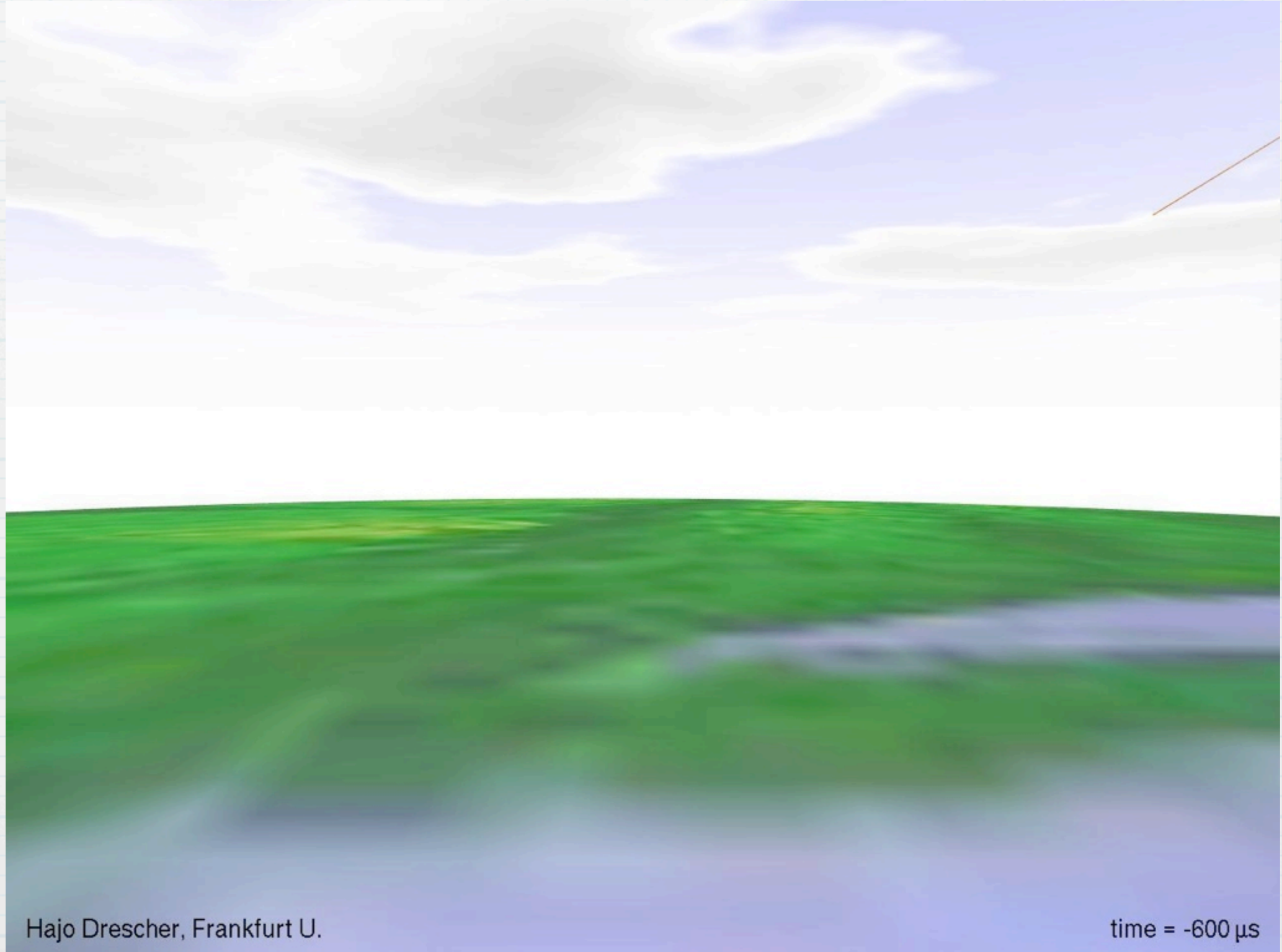


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -700  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

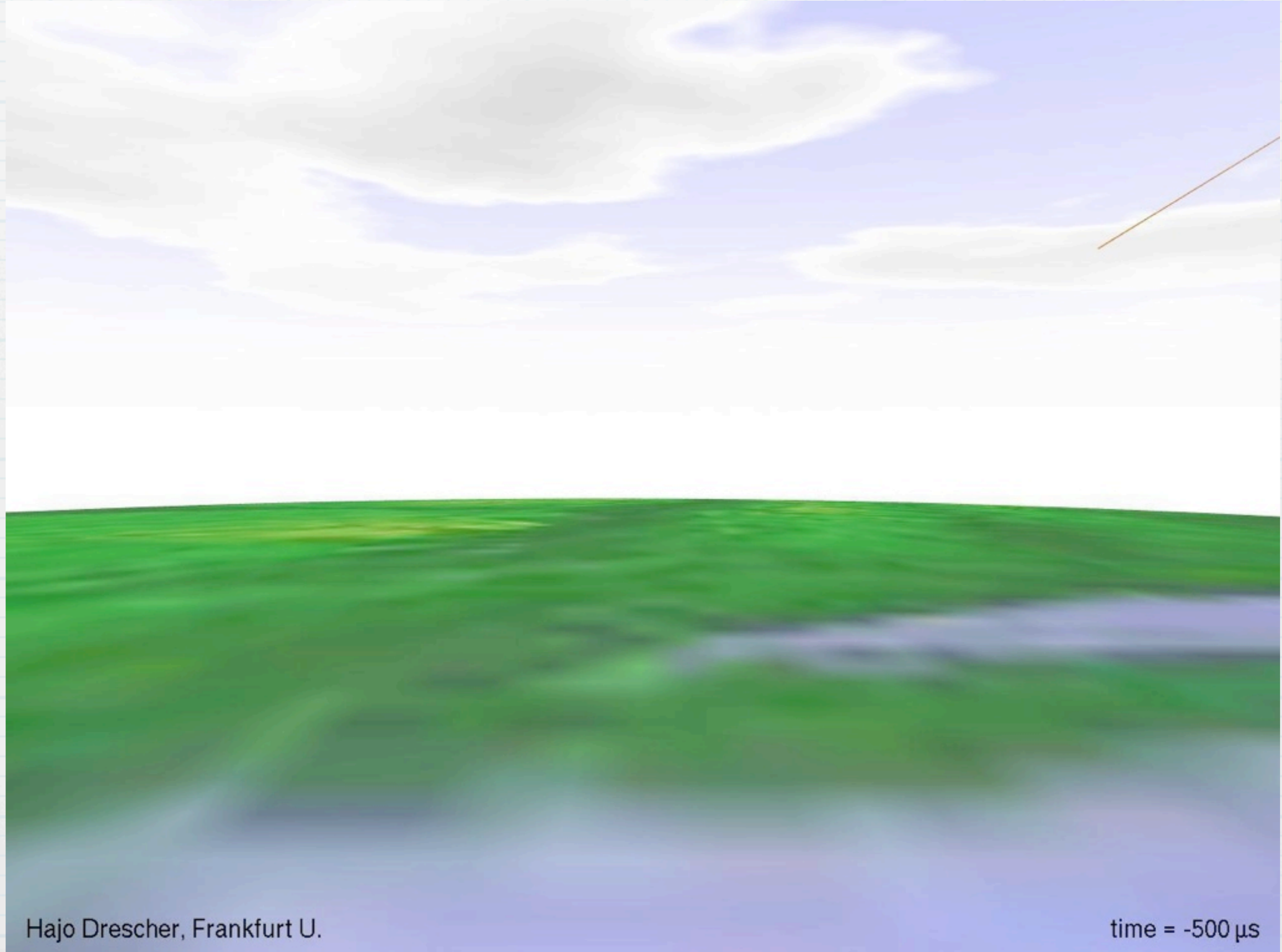


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -600  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

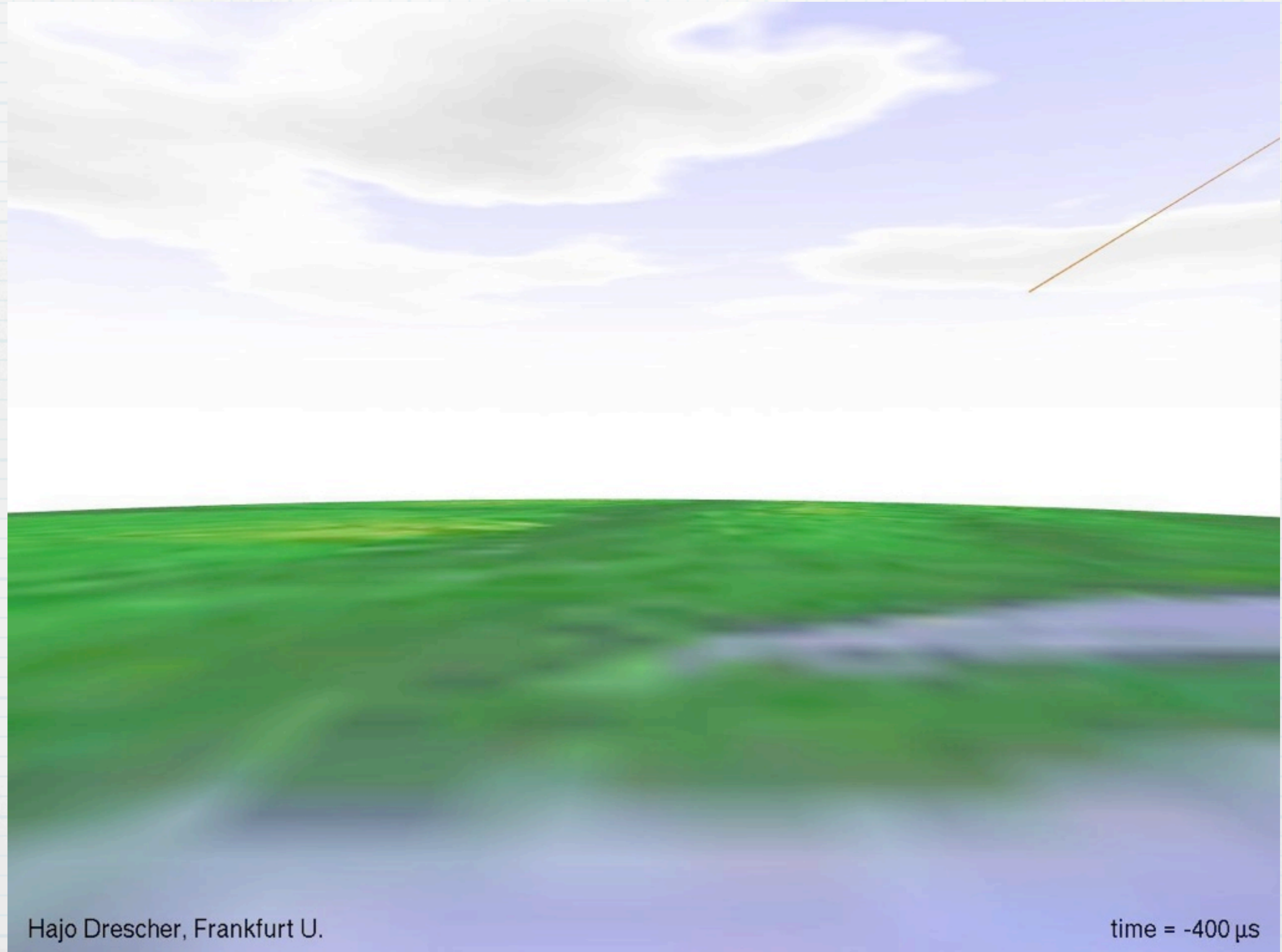


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -500  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

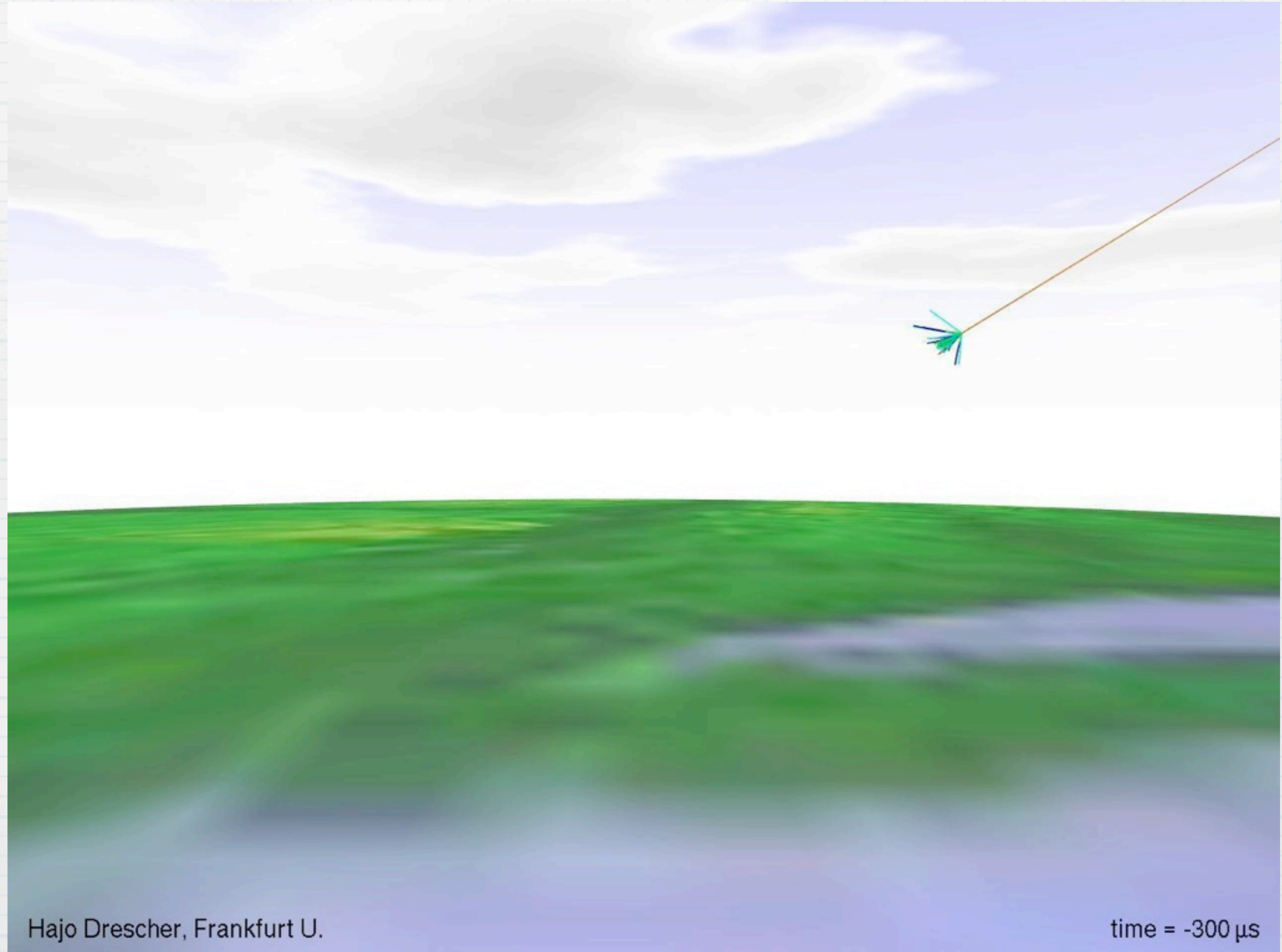


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -400  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

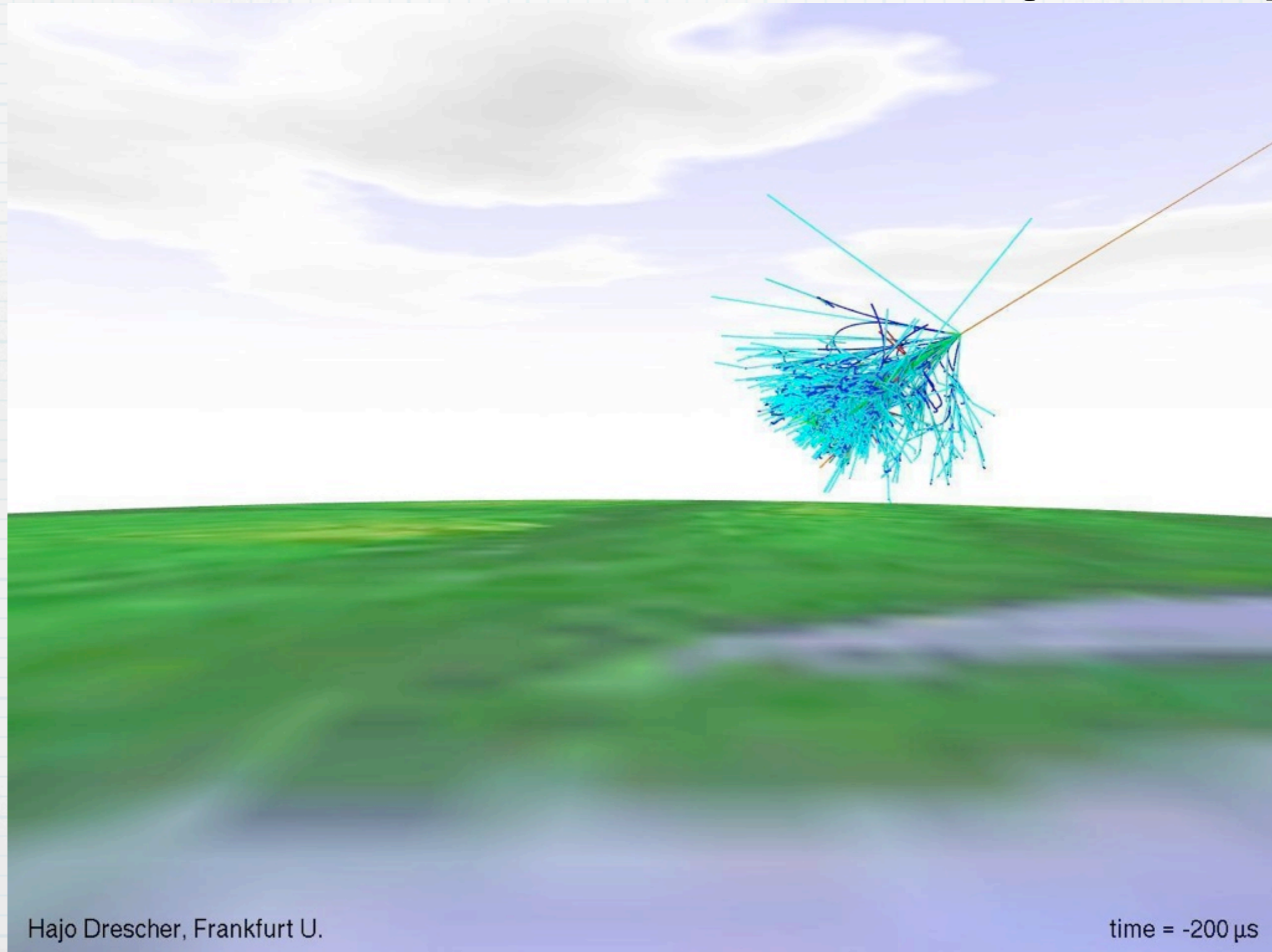


Hajo Drescher, Frankfurt U.

time = -300  $\mu$ s

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

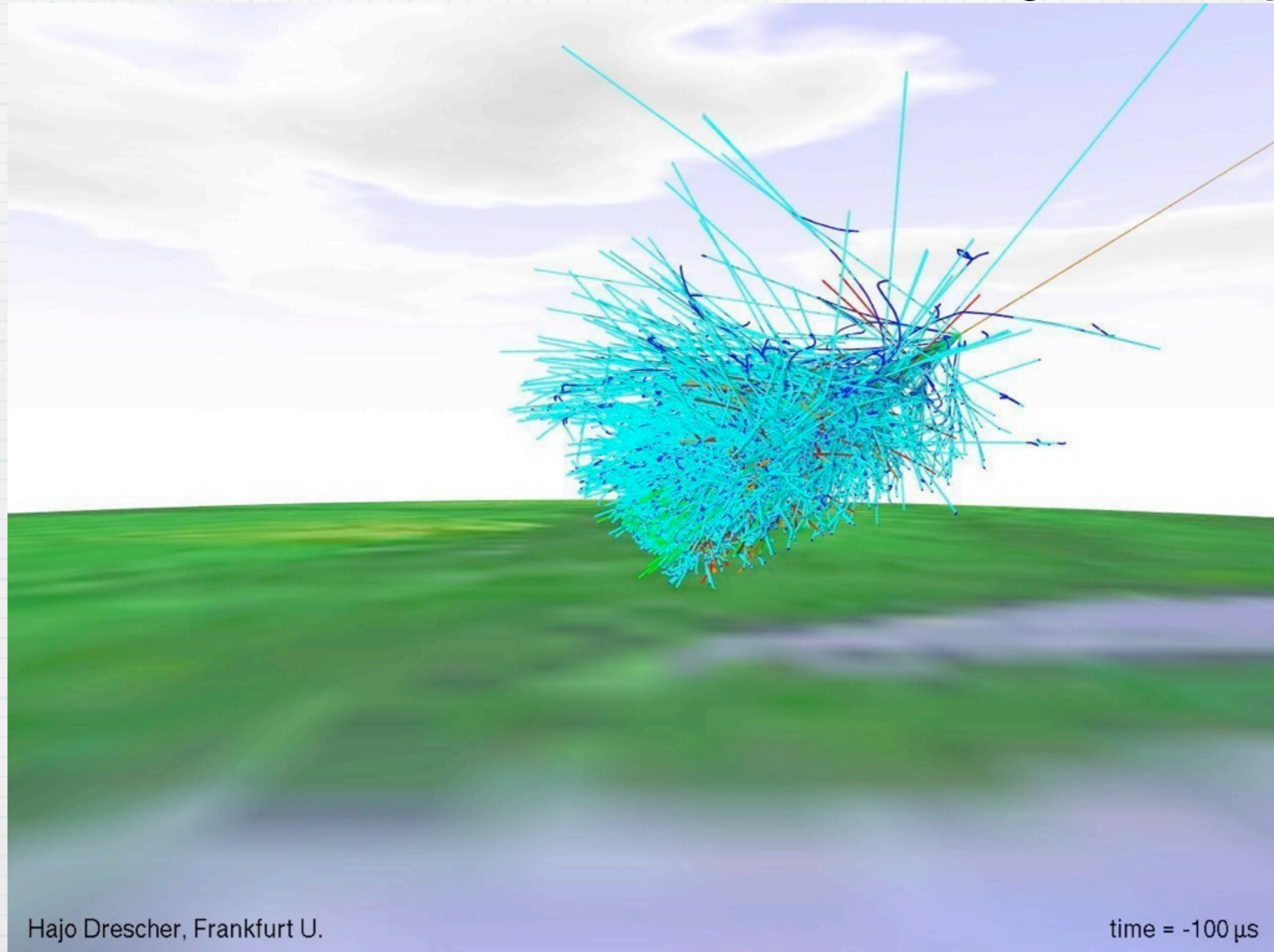
## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel





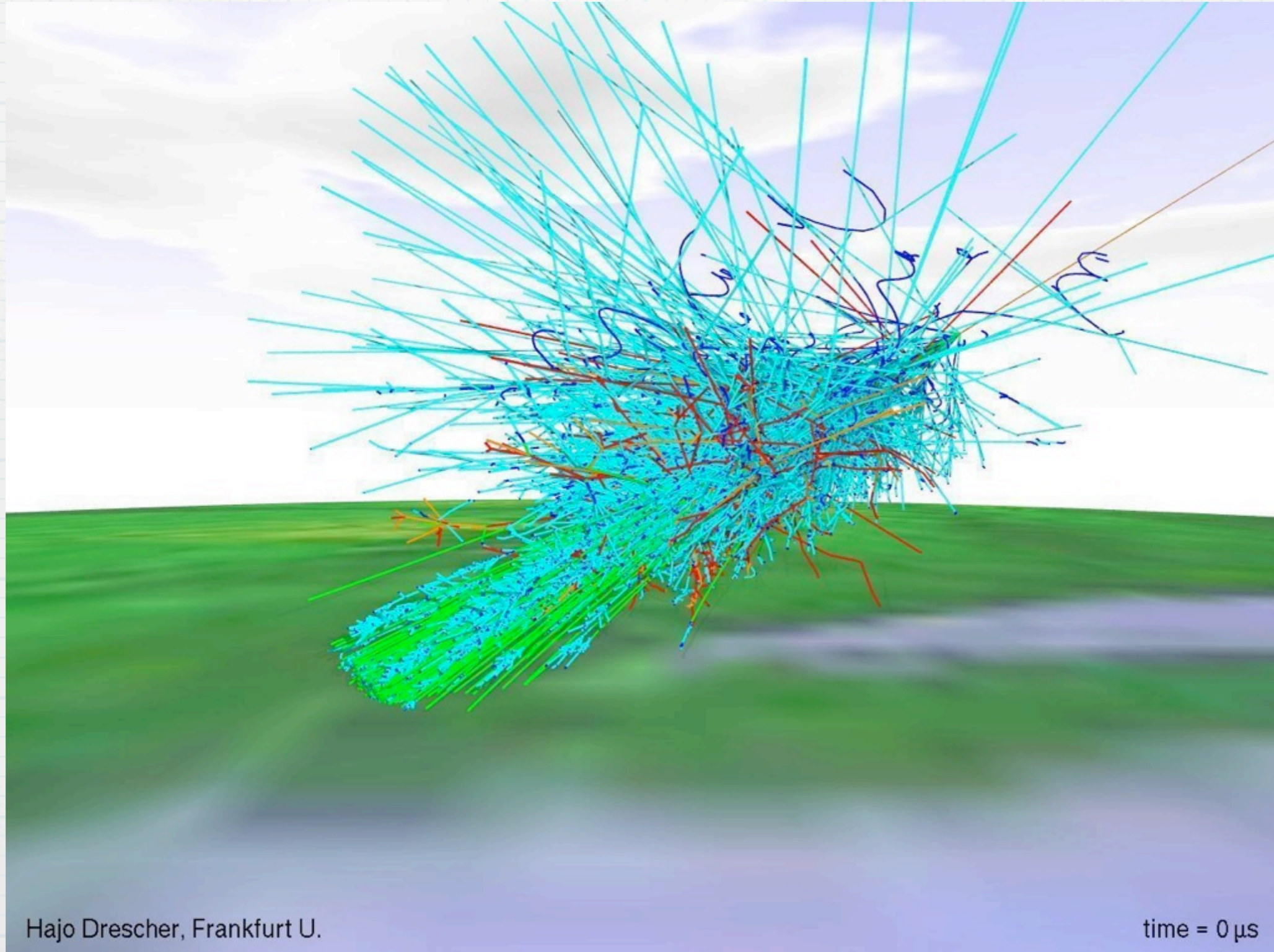
# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



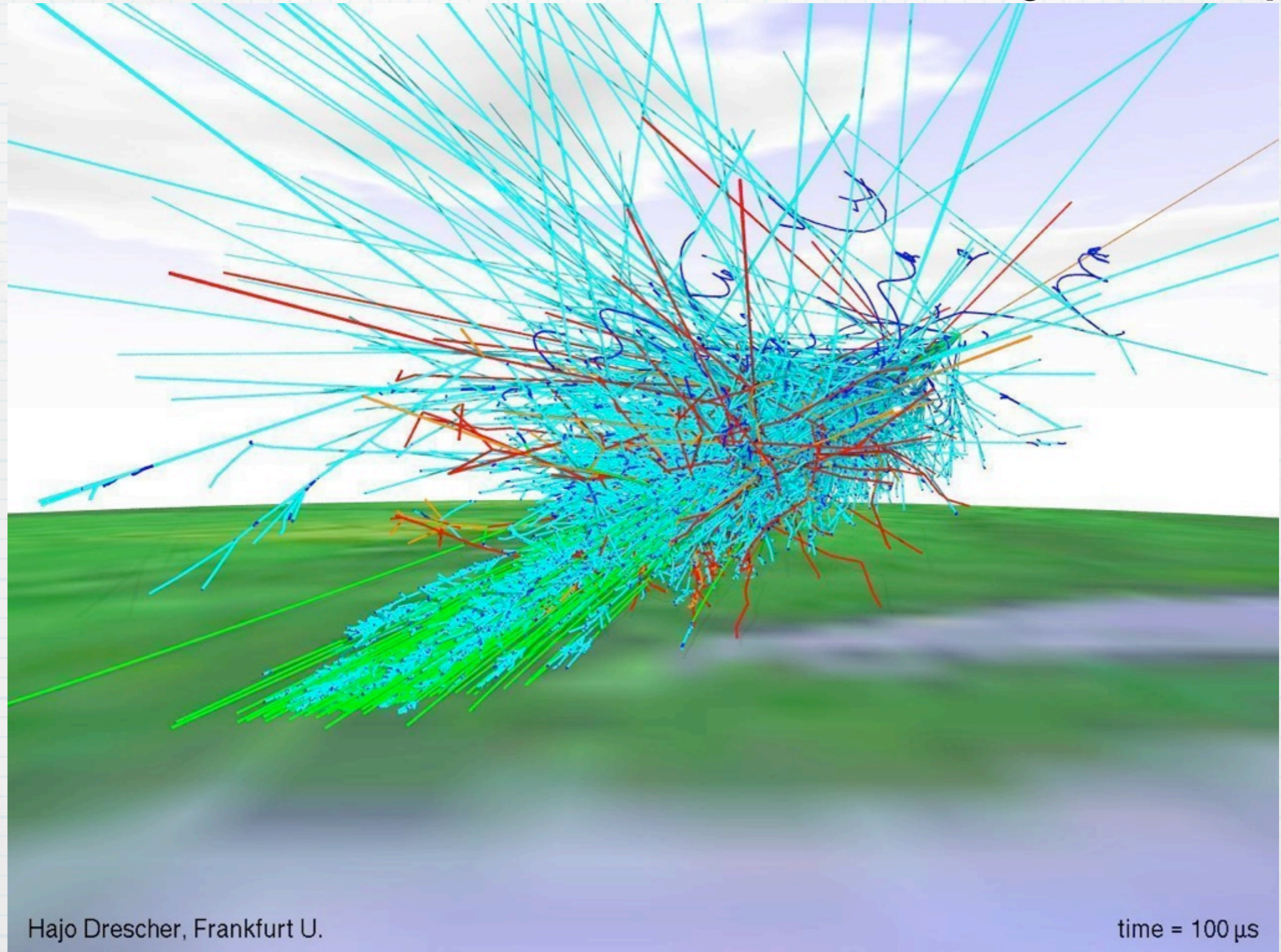
# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



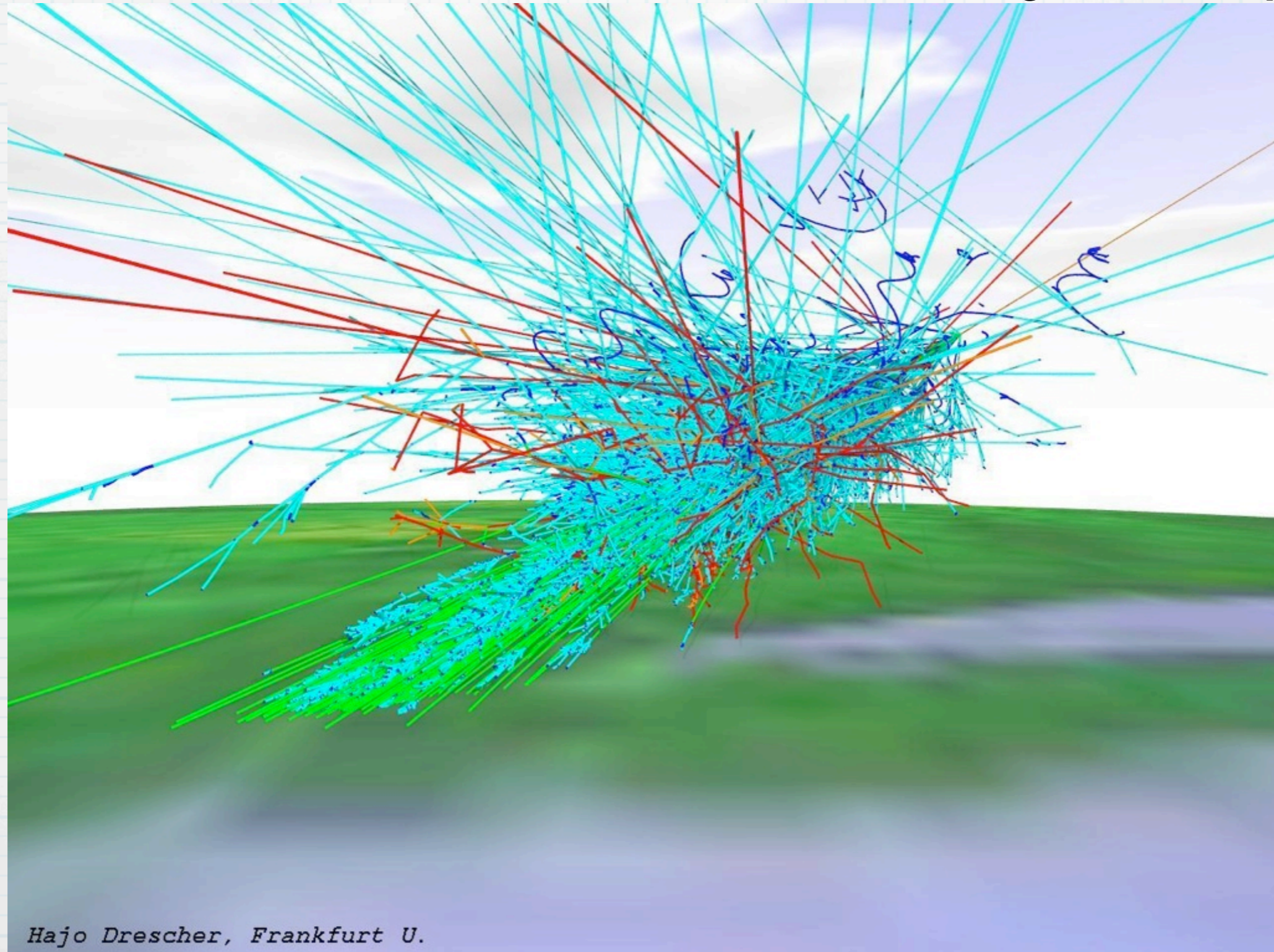
# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

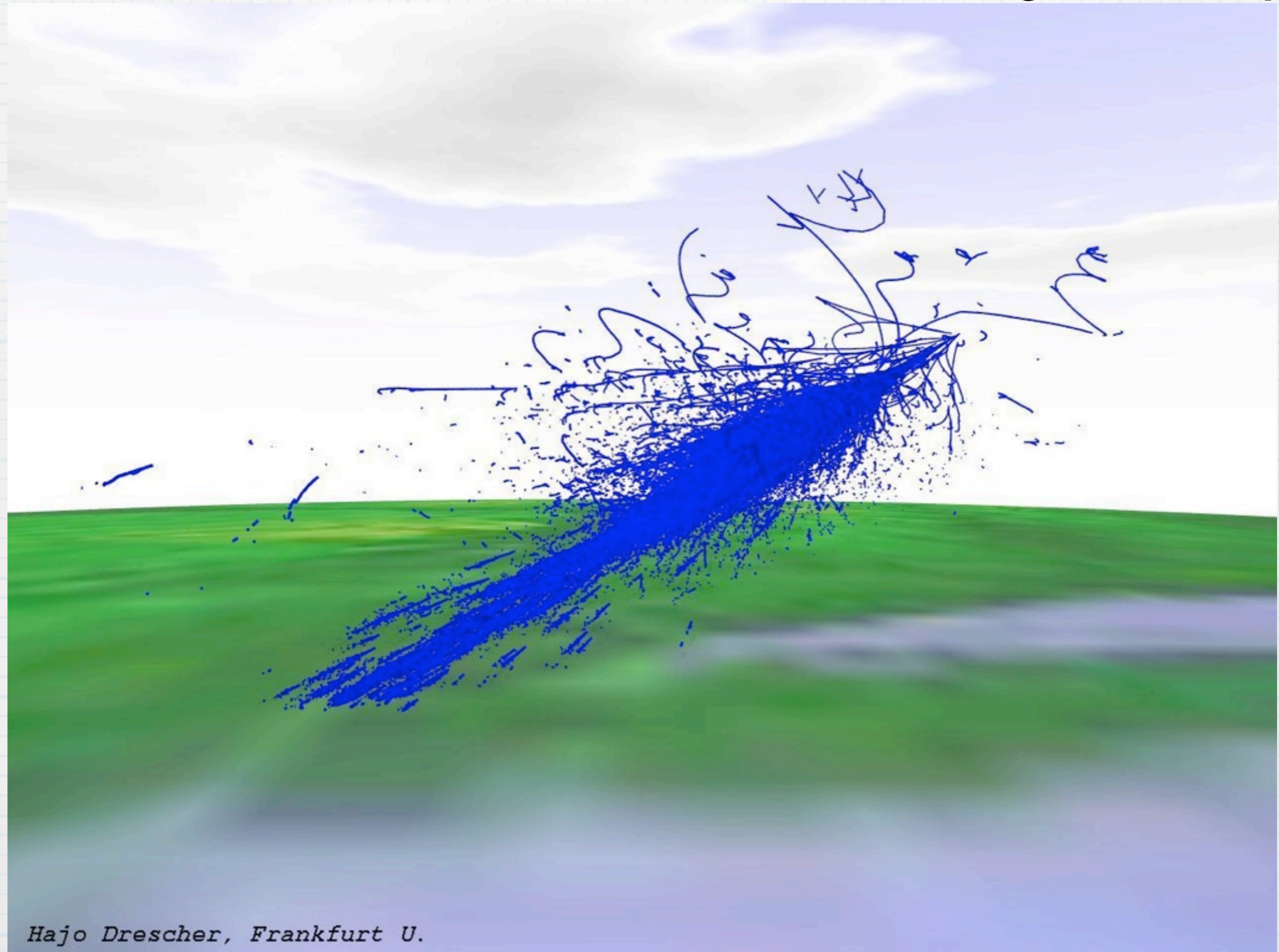
## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



*Hajo Drescher, Frankfurt U.*

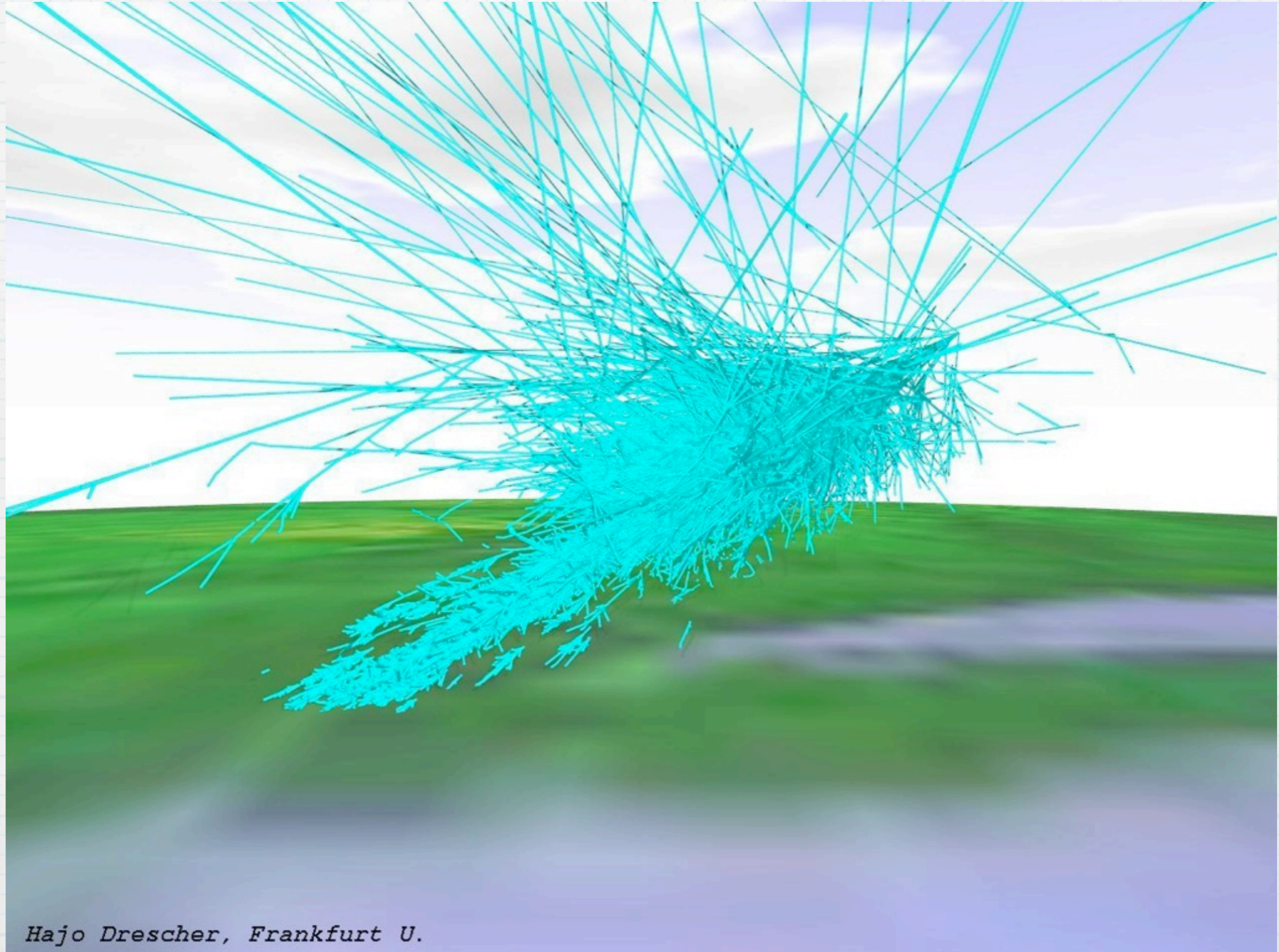
# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

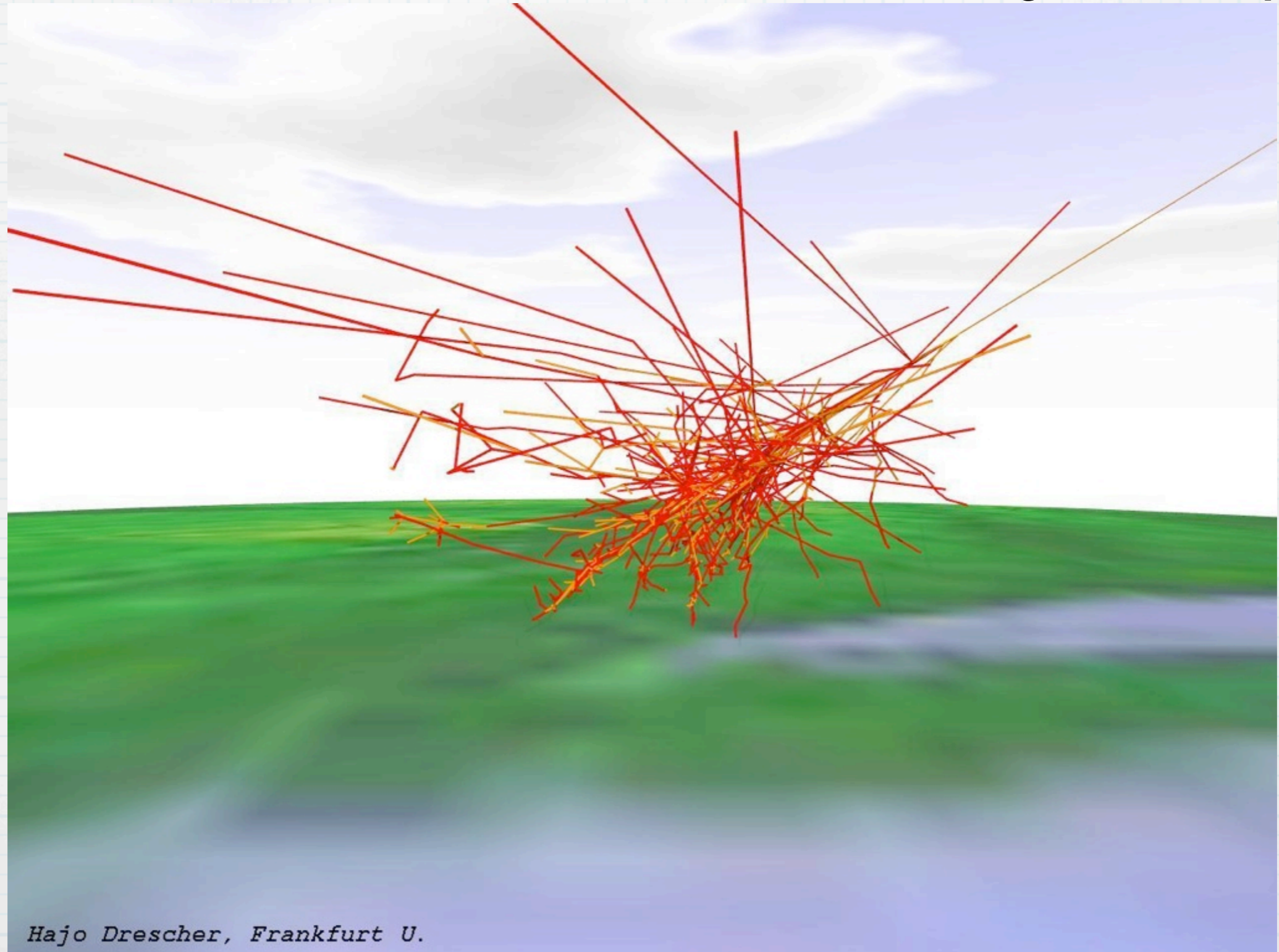
## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



*Hajo Drescher, Frankfurt U.*

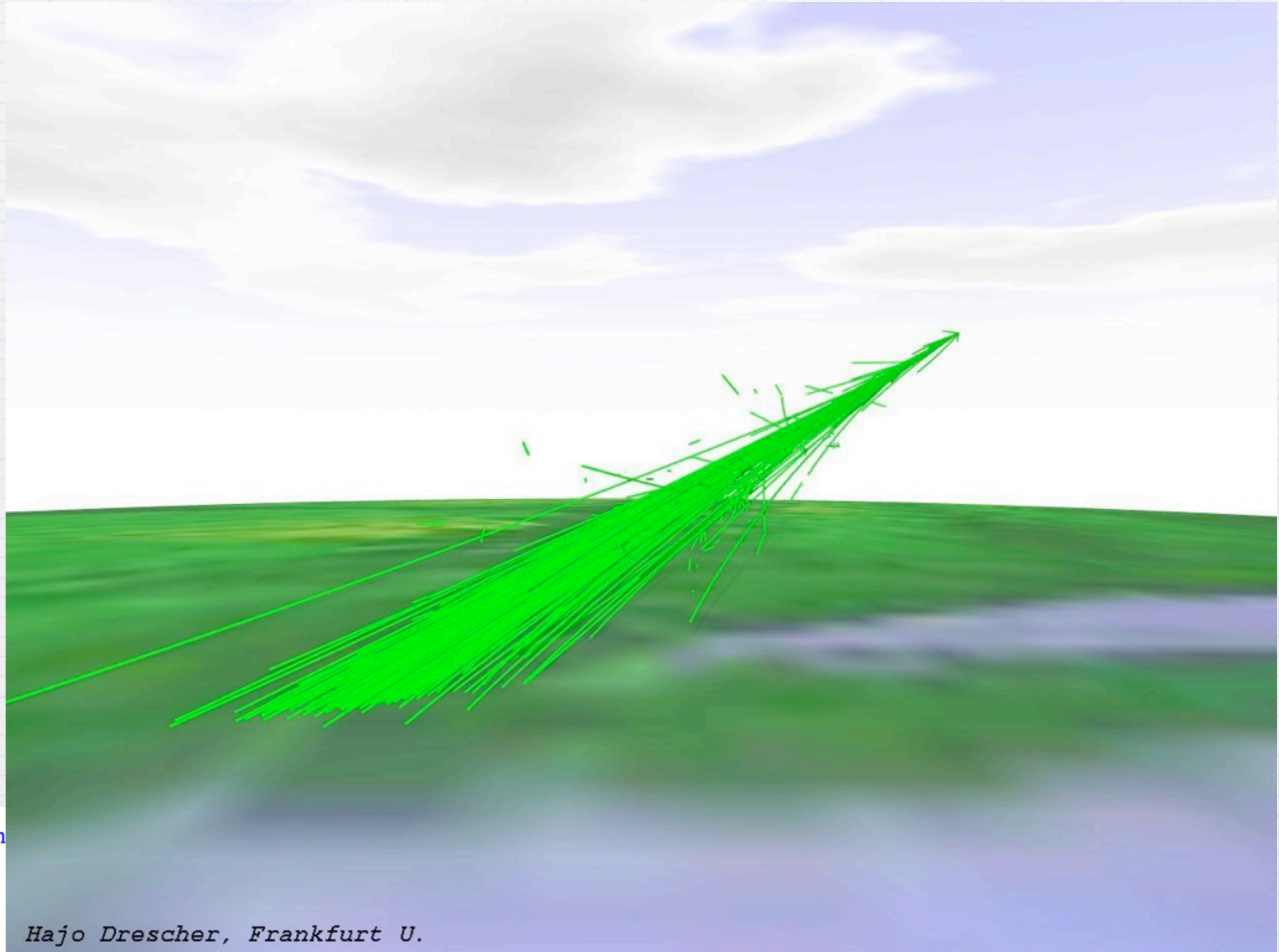
# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel



blue:electrons/positron  
cyan:photons  
red:neutrons  
orange: protons  
gray: mesons  
green:muons

*Hajo Drescher, Frankfurt U.*



# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$p^+ + X \rightarrow \text{hadronization}$   $X \in \{O_2, N_2, CO_2, \dots\}$   
aus einer Kollision entstehen ca.  $10^{12}$  (!!!)  
Teilchen

$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$  (99.99%)  
 $\hookrightarrow e^+ + \nu_e + \nu_\mu$  ( $\approx 100\%$ )

$E(\pi^+) \approx 5 \text{ GeV}/c^2$  ( $\gamma \approx 36$ )  $\tau(\pi^+) = 2.6 \cdot 10^{-8} \text{ s}$   $c \cdot \tau$   
 $= 7.8 \text{ m}$   $\tau'(\pi^+) = 94 \cdot 10^{-8} \text{ s}$   $c \cdot \tau' = 281 \text{ m}$

$E(\mu^+) \approx 2 \text{ GeV}/c^2$  ( $\gamma \approx 19$ )  $\tau(\mu^+) = 2.2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$   $c \cdot \tau$   
 $= 659 \text{ m}$   $\tau(\mu^+) = 42 \cdot 10^{-6} \text{ s}$   $c \cdot \tau' = 12.5 \text{ km}$

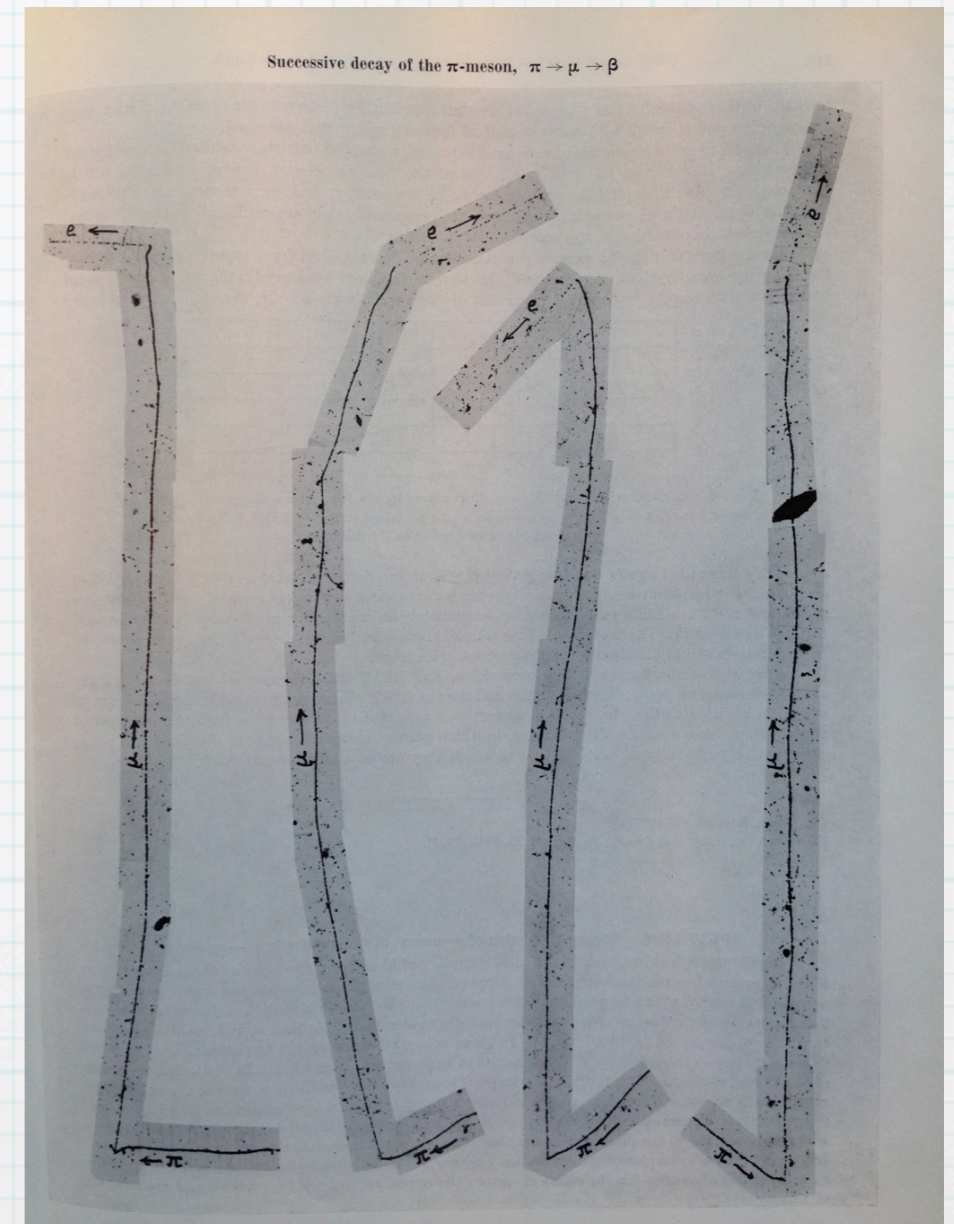


Abb. auf Folie 41 : Zerfall von Pionen in Myonen und anschließend Elektronen, auf Photoemulsionen (Kodak NT4 emulsion) festgehalten

Quelle: aus (2) S. 245

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$e^\pm, \mu^\pm, \tau^\pm, \nu_e, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\mu, \nu_\tau, \nu_\tau$

$\pi^\pm, \pi^0, \eta, \sigma, \rho, \omega, \eta', f_0, a_0, \phi, h_1, b_1, a_1, f_2, f_1, \eta, \pi, a_2, f_0, \pi_1, \eta, f_1, \omega, a_0, \rho, \eta, f_0, f_2, \pi_1, \eta_2, \omega, \omega_3, \pi_2, \phi, \rho_3, \rho, f_0, \pi, \phi_3, \pi_2, f_2, f_2, a_4, f_4, \phi, f_2, f_2$

$K^\pm, K^0, K^0_S, K^0_L, K^*, K_1, K_1, K^*, K^*_0, K^*_2, K^*, K_2, K^*_3, K_2, K^*_4$

$D^\pm, D^0, D^{*0}, D^{*\pm}, D^{*0}_0, D_1^0, D^{*2}_0, D^{*2}_\pm, D^\pm_s, D^{*\pm}_s, D^{*s0}_\pm, D_{s1}^\pm, D_{s1}^{*\pm}, D^{*s2}, D^{*s1}_\pm$

$B^\pm, B^0, B^*, B_1^0, B^{*2}_0, B^0_s, B^*_s, B_{s1}^0, B^{*s2}_0, B^\pm_c, \eta_c(1S), J/\psi(1S), \chi_{c0}(1P), \chi_{c1}(1P), h_c(1P), \chi_{c2}(1P), \eta_c(2S), \psi(2S), \psi(3373), X(3872), \chi_{c0}(2P), \chi_{c2}(2P), \psi, \psi(4153), X(4250), X(4361), \psi(4421), X(4664), Y(1S), \chi_{b0}(1P), \chi_{b1}(1P), h_b(1P), \chi_{b2}(1P), Y(2S), Y(1D), \chi_{b0}(2P), \chi_{b1}(2P), \chi_{b2}(2P), Y(3S), \chi_b(3P), Y(4S), Y(10876), Y(11019)$

$\rho, n, N(1440), N(1520), N(1535), N(1650), N(1675), N(1680), N(1700), N(1710), N(1720), N(1875), N(1900), N(2190), N(2220), N(2250), N(2600), \Delta(1232), \Delta(1600), \Delta(1620), \Delta(1700), \Delta(1905), \Delta(1910), \Delta(1920), \Delta(1930), \Delta(1950), \Delta(2420), \Lambda, \Lambda(1405), \Lambda(1520), \Lambda(1600), \Lambda(1670), \Lambda(1690), \Lambda(1800), \Lambda(1810), \Lambda(1820), \Lambda(1830), \Lambda(1890), \Lambda(2100), \Lambda(2110), \Lambda(2350), \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Sigma(1385), \Sigma(1660), \Sigma(1670), \Sigma(1750), \Sigma(1775), \Sigma(1915), \Sigma(1940), \Sigma(2030), \Sigma(2250), \Xi^0, \Xi^-, \Xi(1530), \Xi(1690), \Xi(1820), \Xi(1950), \Xi(2030), \Omega^-, \Omega(2250)^-, \Lambda^+_c, \Lambda_c(2295), \Lambda_c(2295)^+, \Lambda_c(2625)^+, \Lambda_c(2880)^+, \Lambda_c(2940)^+, \Sigma_c(2455), \Sigma_c(2520), \Sigma_c(2800), \Xi^+_c, \Xi^0_c, \Xi'^+_c, \Xi'^0_c, \Xi_c(2645), \Xi_c(2790), \Xi_c(2815), \Xi_c(2980), \Xi_c(3080), \Omega^0_c, \Omega_c^0, \Lambda^0_b, \Lambda_b(5912)^0, \Lambda_b(5920)^0, \Sigma_b, \Sigma^*_b, \Xi^0_b, \Xi^-_b, \Xi_b(5945)^0, \Omega^-_b$

$\gamma, g, W^\pm, Z^0, H^0$

$u, d, s, c, b, t$

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$e^\pm, \mu^\pm, \tau^\pm, \nu_e, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\mu, \nu_\tau, \nu_\tau$

$\pi^\pm, \pi^0, \eta, \sigma, \rho, \omega, \eta', f_0, a_0, \phi, h_1, b_1, a_1, f_2, f_1, \eta, \pi, a_2, f_0, \pi_1, \eta, f_1, \omega, a_0, \rho, \eta, f_0, f_2, \pi_1, \eta_2, \omega, \omega_3, \pi_2, \phi, \rho_3, \rho, f_0, \pi, \phi_3, \pi_2, f_2, f_2, a_4, f_4, \phi, f_2, f_2$

$K^\pm, K^0, K^0_s, K^0_L, K^*, K_1, K_1, K^*, K^*_0, K^*_2, K^*, K_2, K^*_3, K_2, K^*_4$

$D^\pm, D^0, D^{*0}, D^{*\pm}, D^{*0}_0, D_1^0, D^{*2}_0, D^{*2}_\pm, D^\pm_s, D^{*\pm}_s, D^{*0}_s, D_{s1}^\pm, D_{s1}^\pm, D^{*2}_s, D^{*\pm}_{s1}$

$B^\pm, B^0, B^*, B_1^0, B^{*2}_0, B^0_s, B^*_s, B_{s1}^0, B^{*2}_s, B^\pm_c, \eta_c(1S), J/\psi(1S), \chi_{c0}(1P), \chi_{c1}(1P), h_c(1P), \chi_{c2}(1P), \eta_c(2S), \psi(2S), \psi(3373), X(3872), \chi_{c0}(2P), \chi_{c2}(2P), \psi, \psi(4153), X(4250), X(4361), \psi(4421), X(4664), Y(1S), \chi_{b0}(1P), \chi_{b1}(1P), h_b(1P), \chi_{b2}(1P), Y(2S), Y(1D), \chi_{b0}(2P), \chi_{b1}(2P), \chi_{b2}(2P), Y(3S), \chi_b(3P), Y(4S), Y(10876), Y(11019)$

$p^\pm, n, N(1440), N(1520), N(1535), N(1650), N(1675), N(1680), N(1700), N(1710), N(1720), N(1875), N(1900), N(2190), N(2220), N(2250), N(2600), \Delta(1232), \Delta(1600), \Delta(1620), \Delta(1700), \Delta(1905), \Delta(1910), \Delta(1920), \Delta(1930), \Delta(1950), \Delta(2420), \Lambda, \Lambda(1405), \Lambda(1520), \Lambda(1600), \Lambda(1670), \Lambda(1690), \Lambda(1800), \Lambda(1810), \Lambda(1820), \Lambda(1830), \Lambda(1890), \Lambda(2100), \Lambda(2110), \Lambda(2350), \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Sigma(1385), \Sigma(1660), \Sigma(1670), \Sigma(1750), \Sigma(1775), \Sigma(1915), \Sigma(1940), \Sigma(2030), \Sigma(2250), \Xi^0, \Xi^-, \Xi(1530), \Xi(1690), \Xi(1820), \Xi(1950), \Xi(2030), \Omega^-, \Omega(2250)^-, \Lambda^+_c, \Lambda_c(2295), \Lambda_c(2295)^+, \Lambda_c(2625)^+, \Lambda_c(2880)^+, \Lambda_c(2940)^+, \Sigma_c(2455), \Sigma_c(2520), \Sigma_c(2800), \Xi^+_c, \Xi^0_c, \Xi'^+_c, \Xi'^0_c, \Xi_c(2645), \Xi_c(2790), \Xi_c(2815), \Xi_c(2980), \Xi_c(3080), \Omega^0_c, \Omega_c^0, \Lambda^0_b, \Lambda_b(5912)^0, \Lambda_b(5920)^0, \Sigma_b, \Sigma^*_b, \Xi^0_b, \Xi^-_b, \Xi_b(5945)^0, \Omega^-_b$

$\gamma, g, W^\pm, Z^0, H^0$

$u, d, s, c, b, t$

Teilchen in grün haben eine Reichweite von  $c \cdot \tau \geq 1 \mu\text{m}$  und könnten theoretisch in Teilchendetektoren als "Spuren" gesehen werden

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$e^\pm, \mu^\pm, \tau^\pm, \nu_e, \nu_e, \nu_\mu, \nu_\mu, \nu_\tau, \nu_\tau$

$\pi^\pm, \pi^0, \eta, \sigma, \rho, \omega, \eta', f_0, a_0, \phi, h_1, b_1, a_1, f_2, f_1, \eta, \pi, a_2, f_0, \pi_1, \eta, f_1, \omega, a_0, \rho, \eta, f_0, f_2, \pi_1, \eta_2, \omega, \omega_3, \pi_2, \phi, \rho_3, \rho, f_0, \pi, \phi_3, \pi_2, f_2, f_2, a_4, f_4, \phi, f_2, f_2$

$K^\pm, K^0, K^0_s, K^0_L, K^*, K_1, K_1, K^*, K^*_0, K^*_2, K^*, K_2, K^*_3, K_2, K^*_4$

$D^\pm, D^0, D^{*0}, D^{*\pm}, D^{*0}_0, D_1^0, D^{*2}_0, D^{*2}_\pm, D^\pm_s, D^{*\pm}_s, D^{*s0}_\pm, D_{s1}^\pm, D_{s1}^\pm, D^{*s2}, D^{*s1}_\pm$

$B^\pm, B^0, B^*, B_1^0, B^{*2}_0, B^0_s, B^*_s, B_{s1}^0, B^{*s2}_0, B^\pm_c, \eta_c(1S), J/\psi(1S), \chi_{c0}(1P), \chi_{c1}(1P), h_c(1P), \chi_{c2}(1P), \eta_c(2S), \psi(2S), \psi(3373), X(3872), \chi_{c0}(2P), \chi_{c2}(2P), \psi, \psi(4153), X(4250), X(4361), \psi(4421), X(4664), Y(1S), \chi_{b0}(1P), \chi_{b1}(1P), h_b(1P), \chi_{b2}(1P), Y(2S), Y(1D), \chi_{b0}(2P), \chi_{b1}(2P), \chi_{b2}(2P), Y(3S), \chi_b(3P), Y(4S), Y(10876), Y(11019)$

$p^\pm, n, N(1440), N(1520), N(1535), N(1650), N(1675), N(1680), N(1700), N(1710), N(1720), N(1875), N(1900), N(2190), N(2220), N(2250), N(2600), \Delta(1232), \Delta(1600), \Delta(1620), \Delta(1700), \Delta(1905), \Delta(1910), \Delta(1920), \Delta(1930), \Delta(1950), \Delta(2420), \Lambda, \Lambda(1405), \Lambda(1520), \Lambda(1600), \Lambda(1670), \Lambda(1690), \Lambda(1800), \Lambda(1810), \Lambda(1820), \Lambda(1830), \Lambda(1890), \Lambda(2100), \Lambda(2110), \Lambda(2350), \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Sigma(1385), \Sigma(1660), \Sigma(1670), \Sigma(1750), \Sigma(1775), \Sigma(1915), \Sigma(1940), \Sigma(2030), \Sigma(2250), \Xi^0, \Xi^-, \Xi(1530), \Xi(1690), \Xi(1820), \Xi(1950), \Xi(2030), \Omega^-, \Omega(2250)^-, \Lambda^+_c, \Lambda_c(2295), \Lambda_c(2295)^+, \Lambda_c(2625)^+, \Lambda_c(2880)^+, \Lambda_c(2940)^+, \Sigma_c(2455), \Sigma_c(2520), \Sigma_c(2800), \Xi^+_c, \Xi^0_c, \Xi'^+_c, \Xi'^0_c, \Xi_c(2645), \Xi_c(2790), \Xi_c(2815), \Xi_c(2980), \Xi_c(3080), \Omega^0_c, \Omega_c^0, \Lambda^0_b, \Lambda_b(5912)^0, \Lambda_b(5920)^0, \Sigma_b, \Sigma^*_b, \Xi^0_b, \Xi^-_b, \Xi_b(5945)^0, \Omega^-_b$

$\gamma, g, W^\pm, Z^0, H^0$

$u, d, s, c, b, t$

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$e^\pm, \mu^\pm, \tau^\pm, \nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

$\pi^\pm$

$K^\pm, K^0, K^0_S, K^0_L,$

$D^\pm, D^0, D^{\pm}_s$

$B^\pm, B^0$

$p^\pm, n, \Lambda, \Sigma^+, \Sigma^-, \Xi^0, \Xi^-, \Omega^-, \Lambda^+_c, \Xi^+_c, \Xi^0_c, \Omega^0_c, \Lambda^0_b,$

$\gamma$

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$e^\pm$ ,  $\mu^\pm$ ,  $\tau^\pm$ ,  $\nu_e$ ,  $\bar{\nu}_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\bar{\nu}_\mu$ ,  $\nu_\tau$ ,  $\bar{\nu}_\tau$

$\pi^\pm$

$K^\pm$ ,  $K^0$ ,  $K^0_S$ ,  $K^0_L$

$D^\pm$ ,  $D^0$ ,  $D^\pm_S$

$B^\pm$ ,  $B^0$

$p^\pm$ ,  $n$ ,  $\Lambda$ ,  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^-$ ,  $\Xi^0$ ,  $\Xi^-$ ,  $\Omega^-$ ,  $\Lambda^+_c$ ,  $\Xi^+_c$ ,  $\Xi^0_c$ ,  $\Omega^0_c$ ,  $\Lambda^0_b$

$\gamma$

Teilchen in grün haben eine Reichweite von  $c \cdot \tau \geq 500 \mu\text{m}$  und könnten im GeV-Bereich praktisch in Teilchendetektoren gesehen werden, da  $c \cdot \tau' = c \cdot \tau \cdot \gamma$  ( $\gamma \approx 20-100$ )

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

$e^\pm, \mu^\pm, \nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

$\pi^\pm$

$K^\pm, K^0, K^0_S, K^0_L$

$p^\pm, n, \Sigma^+, \Sigma^-, \Xi^0, \Xi^-, \Omega^-$

$\gamma$

Teilchen in grün haben eine Reichweite von  $c \cdot \tau \geq 500 \mu\text{m}$  und könnten im GeV-Bereich praktisch in Teilchendetektoren gesehen werden, da  $c \cdot \tau' = c \cdot \tau \cdot \gamma$  ( $\gamma \approx 20-100$ )

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## I. Die endliche Lebensdauer von Teilchen - ein alltägliches Beispiel

Teilchen	$c \cdot \tau'$ ( $\gamma=20$ ) in m
$e^\pm$	$\infty$
$\mu^\pm$	13000
$\pi^\pm$	156
$K^\pm$	76
$K^0$	0.54 ( $K_S$ ), 306 ( $K_L$ )
$p^\pm$	$\infty$
$n$	$5 \cdot 10^{12}$
$\gamma$	$\infty$
$\nu$	groß, kleiner $\infty$

Tabelle auf Folie 48: Eigenschaften der Teilchen, die in der Teilchenphysik im GeV-Bereich eindeutig identifiziert werden müssen, ggf. muss auf die schwache Wechselwirkung der Teilchen mit Materie Rücksicht genommen werden.



# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## II. Die Masse (der Impuls und die Energie) von Teilchen

Masse, **Impuls** und Energie hängen in der Hochenergiephysik miteinander untrennbar zusammen:

$$E^2 = m^2c^4 + \mathbf{p}^2c^2$$

Vom 5er Gespann (E, m, **p**) müssen also mindestens 4 Werte gegeben sein, um den 5. zu bestimmen.

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## II. Die Masse von Teilchen

Teilchen	$c \cdot \tau'$ ( $\gamma=20$ ) in m	Masse in MeV/c <sup>2</sup>
$e^\pm$	$\infty$	0.511
$\mu^\pm$	13000	105.7
$\pi^\pm$	156	139.6
$K^\pm$	76	493.7
$K^0$	0.54 ( $K_S$ ), 306 ( $K_L$ )	497.7
$p^\pm$	$\infty$	938.3
$n$	$5 \cdot 10^{12}$	939.6
$\gamma$	$\infty$	0
$\nu$	groß, kleiner $\infty$	$0 < m_\nu < 2\text{eV}$

Tabelle auf Folie 50: Eigenschaften der Teilchen, die in der Teilchenphysik im GeV-Bereich eindeutig identifiziert werden müssen, ggf. muss auf die schwache Wechselwirkung der Teilchen mit Materie Rücksicht genommen werden.

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## II. Die Masse von Teilchen

Ein Teilchendetektor muss demnach in der Lage sein die folgenden Teilchen zu identifizieren sowie deren Energie und Impulse zu messen:

$e^\pm$ ,  $\mu^\pm$ ,  $\nu_e$ ,  $\bar{\nu}_e$ ,  $\nu_\mu$ ,  $\bar{\nu}_\mu$ ,  $\nu_\tau$ ,  $\bar{\nu}_\tau$ ,  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $K^0$  ( $K^0_S$ ,  $K^0_L$ ),  $p^\pm$ ,  $n$ ,  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^-$ ,  $\Xi^0$ ,  
 $\Xi^-$ ,  $\Omega^-$ ,  $\gamma$

# 3. Die Teilchen dieser Welt und ihre Eigenschaften

## III. Die Ladungen von Teilchen (bestimmen deren WW)

Teilchen	$c \cdot \tau'$ ( $\gamma=20$ ) in m	Masse in MeV/c <sup>2</sup>	elektrische Ladung	starke Ladung	schwache Ladung
<b>e<sup>±</sup></b>	$\infty$	0.511	$\pm 1$	nein	ja
<b><math>\mu^\pm</math></b>	13000	105.7	$\pm 1$	nein	ja
<b><math>\pi^\pm</math></b>	156	139.6	$\pm 1$	ja	ja
<b>K<sup>±</sup></b>	76	493.7	$\pm 1$	ja	ja
<b>K<sup>0</sup></b>	0.54 (K <sub>S</sub> ), 306 (K <sub>L</sub> )	497.7	0	ja	ja
<b>p<sup>±</sup></b>	$\infty$	938.3	$\pm 1$	ja	ja
<b>n</b>	$5 \cdot 10^{12}$	939.6	0	ja	ja
<b><math>\gamma</math></b>	$\infty$	0	0	nein	nein
<b><math>\nu</math></b>	groß, kleiner $\infty$	$0 < m_\nu < 2\text{eV}$	0	nein	ja

Tabelle auf Folie 52: Eigenschaften der Teilchen, die in der Teilchenphysik im GeV-Bereich eindeutig identifiziert werden müssen, ggf. muss auf die schwache Wechselwirkung der Teilchen mit Materie Rücksicht genommen werden.

## 4. Messprinzipien für Teilcheneigenschaften

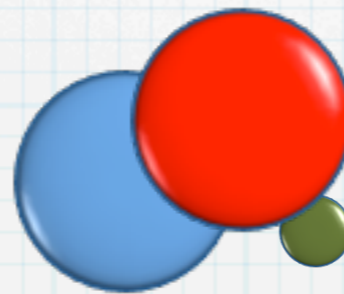


# 4. Messprinzipien für Teilcheneigenschaften

## II. Die Masse von Teilchen

Wie also bestimmt man die Masse eines Teilchens, welches sich in ein System aus Teilchen umwandelt, bevor es detektiert werden kann?

$$E_0, m_0, p_{0,x}, p_{0,y}, p_{0,z}$$



$$E_0^2 = m_0^2 c^4 + \mathbf{p}_0^2 c^2$$

$$m_0 = (E_0^2/c^4 - \mathbf{p}_0^2/c^2)^{1/2}$$

$$E_1, m_1, p_{1,x}, p_{1,y}, p_{1,z}$$
$$E_1^2 = m_1^2 c^4 + \mathbf{p}_1^2 c^2$$

$$E_2, m_2, p_{2,x}, p_{2,y}, p_{2,z}$$
$$E_2^2 = m_2^2 c^4 + \mathbf{p}_2^2 c^2$$

$$m_0 = ((E_1 + E_2)^2/c^4 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2/c^2)^{1/2}$$

Energie und Impuls messen

$$m_0 = (((m_1^2 c^4 + \mathbf{p}_1^2 c^2)^{1/2} + E_2)^2/c^4 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2/c^2)^{1/2}$$

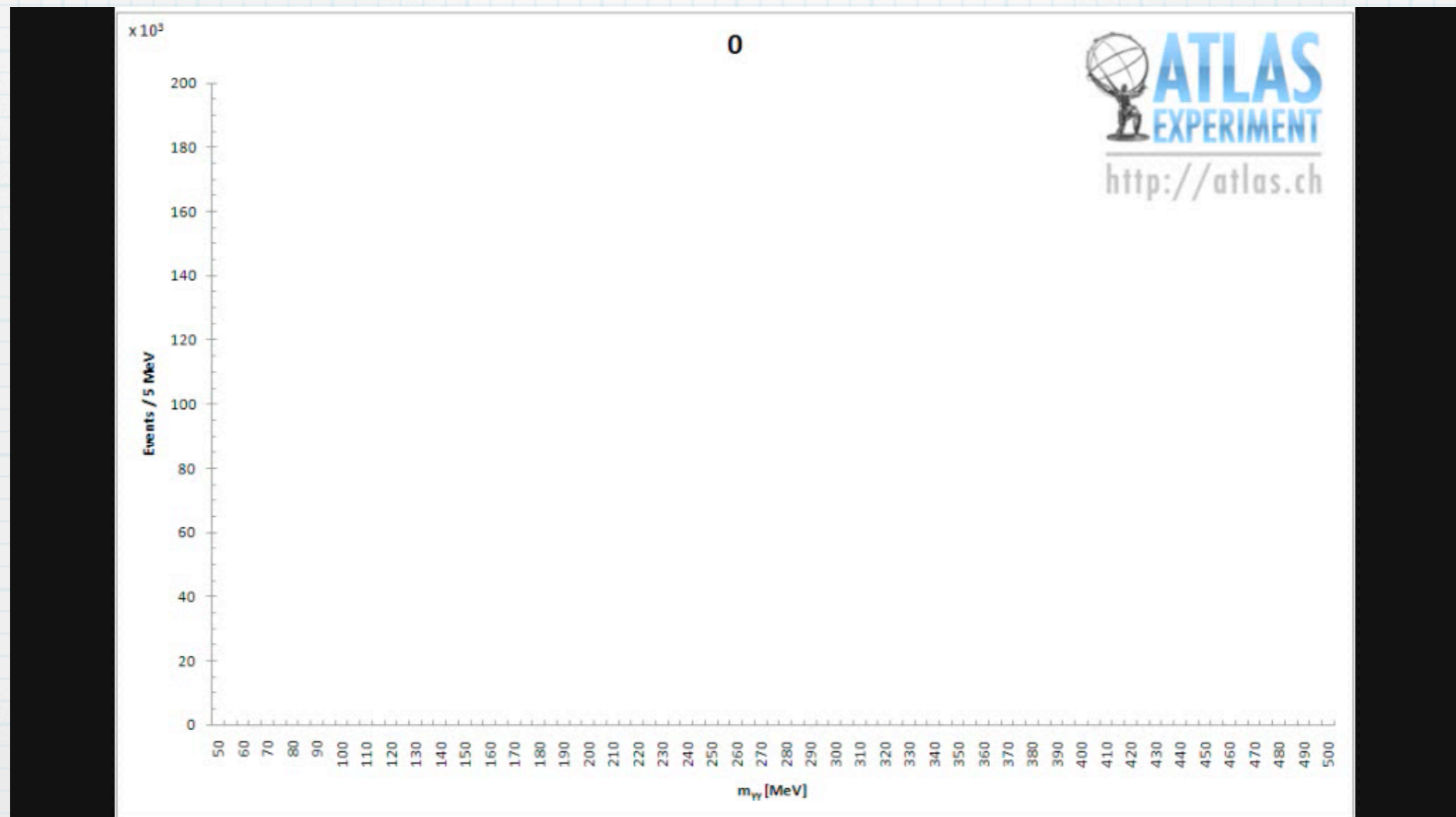
Impuls messen, Teilchen identifizieren

# 4. Messprinzipien für Teilcheneigenschaften

## II. Die Masse von Teilchen - am Beispiel des $\pi^0$ in ATLAS

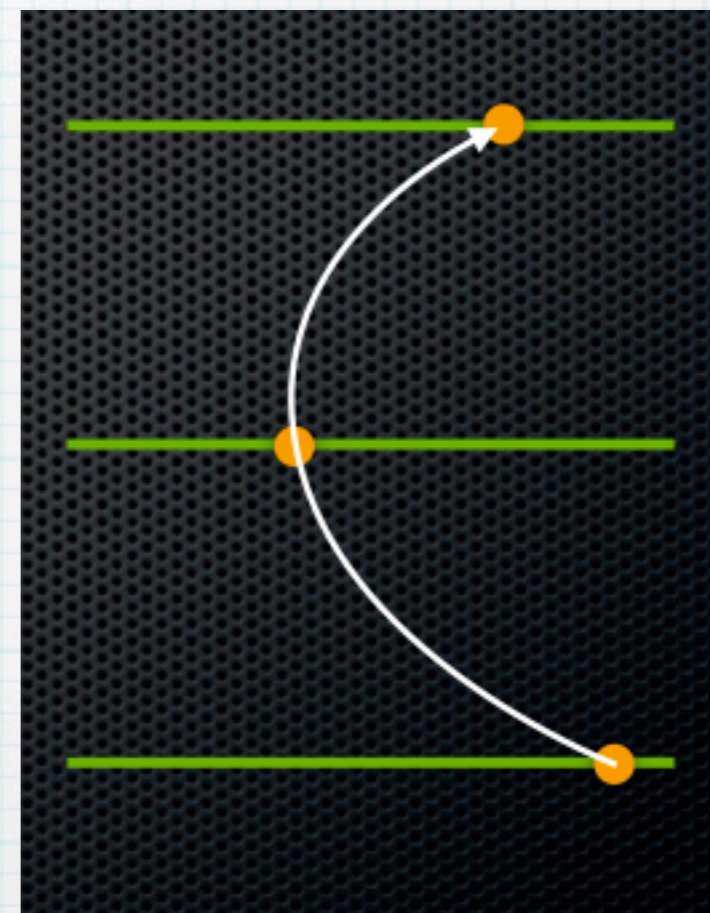
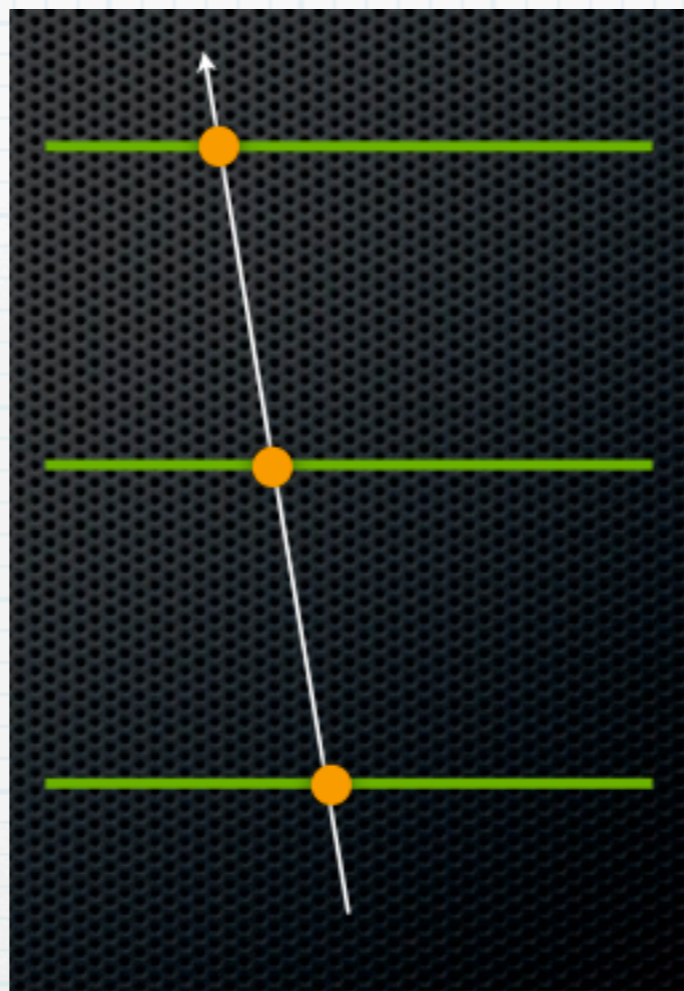
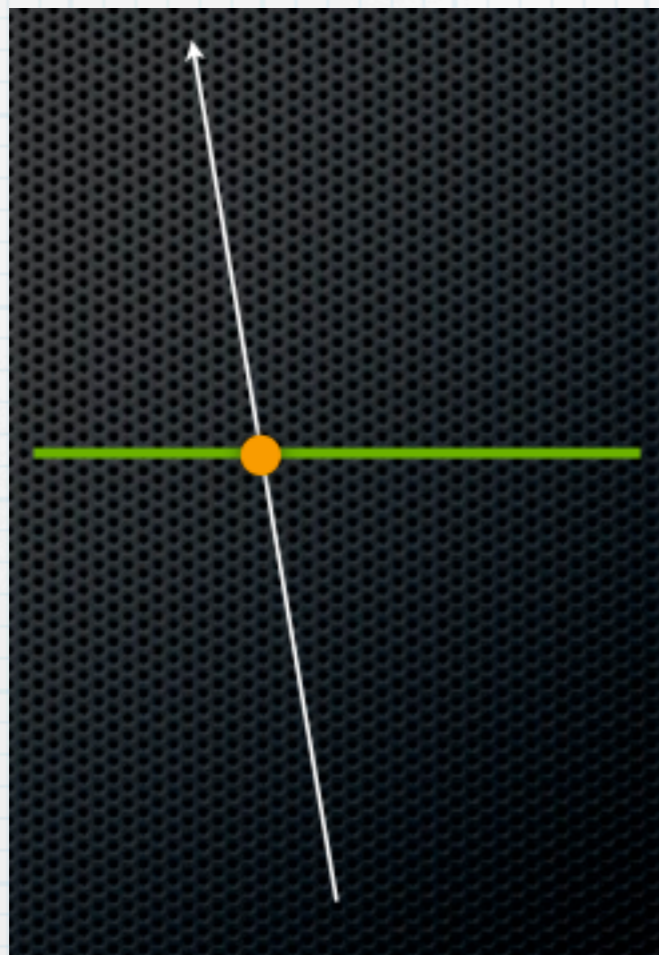
Das Pion zerfällt in zwei Photonen. Die zwei Photonen werden detektiert und es wird die invariante Masse des Zwei-Photonen-Systems bestimmt. Das Video zeigt die mit der Zeit fortschreitende Entstehung des Histogramms

(Anzahl von Teilchen in Abhängigkeit der invarianten Masse des Zwei-Photonen-Systems)



# 4. Messprinzipien für Teilcheneigenschaften

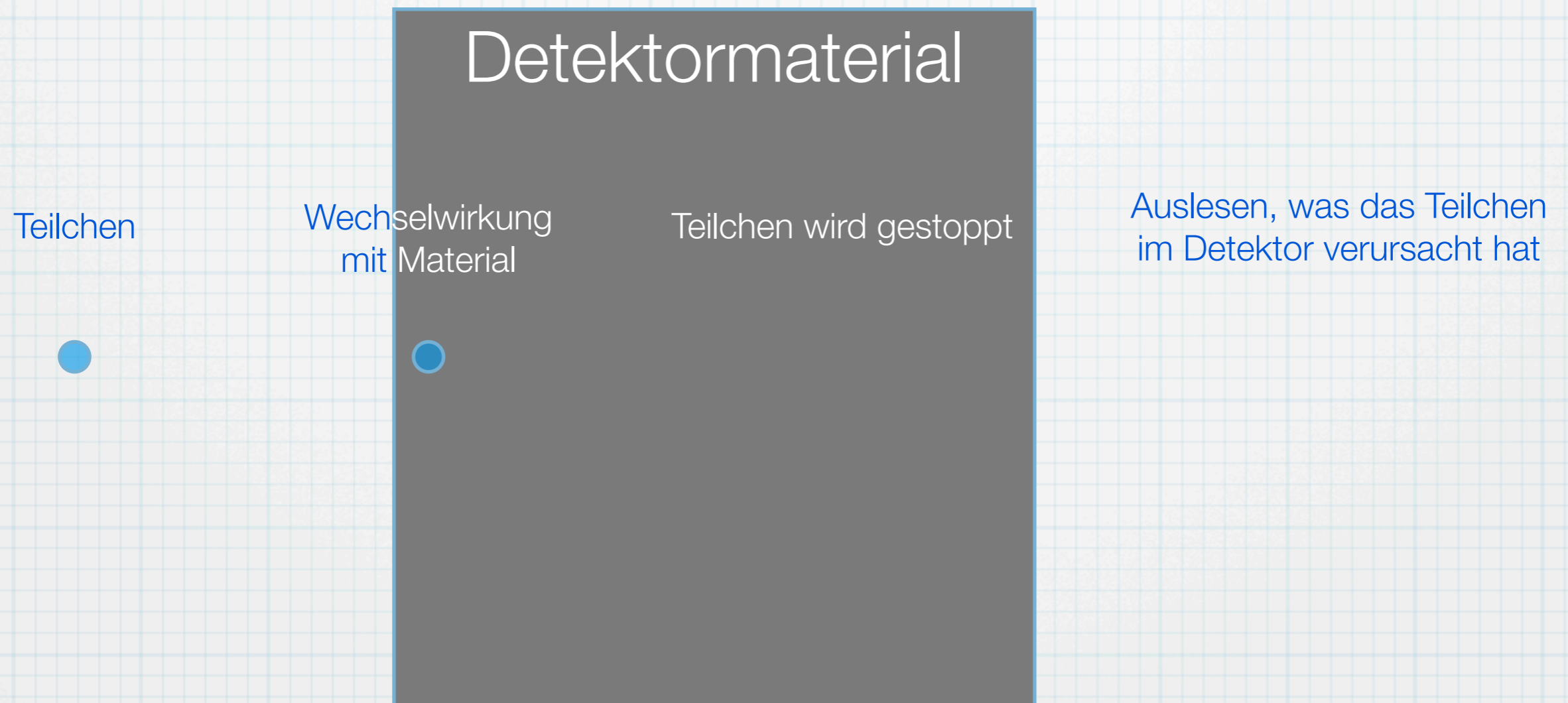
## II. Der Impuls von Teilchen





# 4. Messprinzipien für Teilcheneigenschaften

## II. Die Energie von Teilchen



## 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren



# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

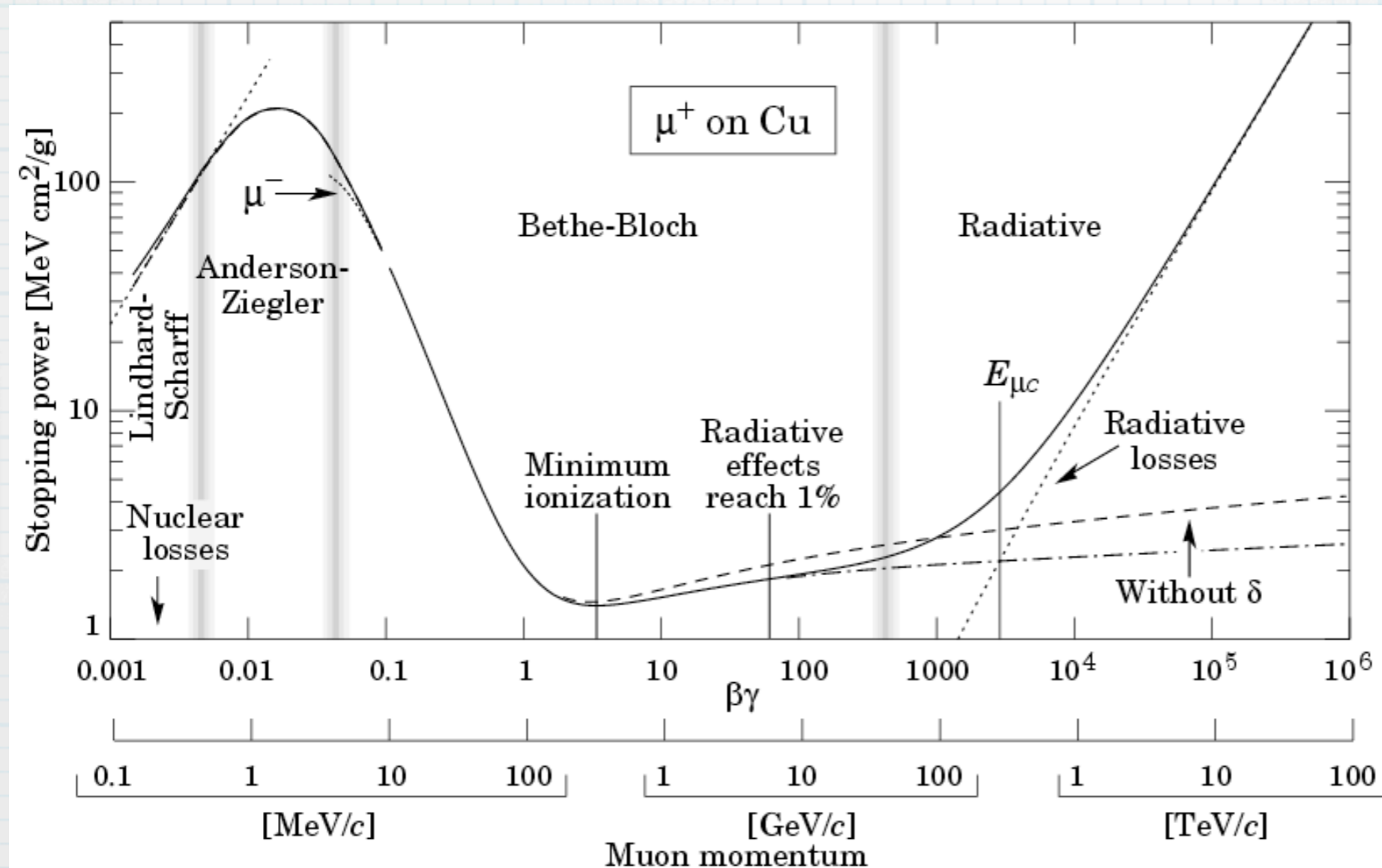
## I. Elektromagnetische WW von **elektrisch geladenen Teilchen** mit Materie

- ▶ Hüllenelektronen des Detektormaterials (Anregung oder Ionisation)
- ▶ Atomkernen des Detektormaterials
- ▶ mit dem gesamten Detektormaterial

# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

## I. Elektromagnetische WW von **elektrisch geladenen Teilchen** mit Materie

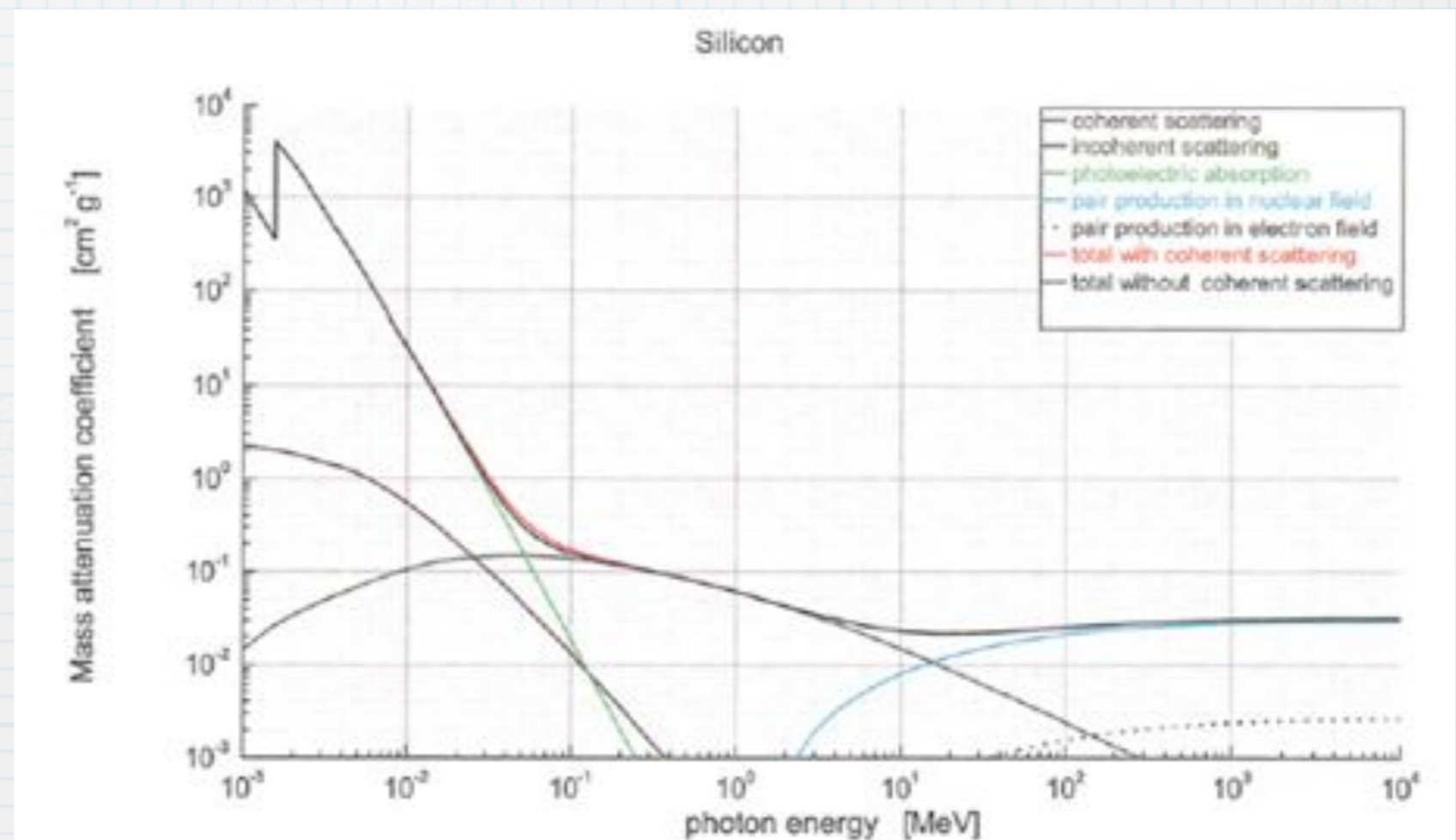
eigentlich müsste man für jedes Teilchen und ein spezielles Material folgende Abhängigkeit bestimmen:



# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

## II. Elektromagnetische WW von **Photonen** mit Materie

- ▶ photoelektrischer Effekt
- ▶ Compton-Streuung
- ▶ Paarerzeugung



# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

## II. Elektromagnetische WW von **Photonen** mit Materie

- ▶ photoelektrischer Effekt
  - ▶ Herauslösen von Elektronen aus Oberfläche eines Leiters oder Halbleiters, Bildung von Elektron-Loch-Paaren innerhalb eines Halbleiters bzw. Ionisation von Atomen/Molekülen
- ▶ Compton- und Rayleigh-Streuung (100keV-10MeV)
  - ▶ Compton: Photon ionisiert Atom, welches Elektron abgibt, ursprüngliches Photon wird gestreut
- ▶ Paarerzeugung
  - ▶ Photon wechselwirkt entweder mit dem elektrischen Feld des Atomkerns oder eines Hüllenelektrons (Tripletbildung) - dabei entsteht ein Teilchen-Antiteilchen-Paar; Energie des Photons muss mind. so groß sein, wie die Summe der Ruheenergien der zu erzeugenden Teilchen

# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

## II. Elektromagnetische WW von **Photonen** mit Materie

In der Hochenergiephysik spielt bei der elektromagnetischen WW von Photonen mit Materie der Paarbildungsprozess die Hauptrolle.

$e^\pm, \mu^\pm, \nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau, \pi^\pm, K^\pm, K^0 (K^0_S, K^0_L), p^\pm, n, \gamma$

# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

## III. Starke WW von **stark geladenen Teilchen** mit Materie

- ▶ elastische Streuung
- ▶ inelastische Streuung
  - ▶ Kernanregung mit darauffolgender Gammastrahlung
- ▶ Neutroneneinfang
- ▶ **Reaktion mit Abstrahlung elektrisch geladener Teilchen**

$e^\pm, \mu^\pm, \nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau, \pi^\pm, K^\pm, K^0 (K^0_S, K^0_L), p^\pm, n, \gamma$



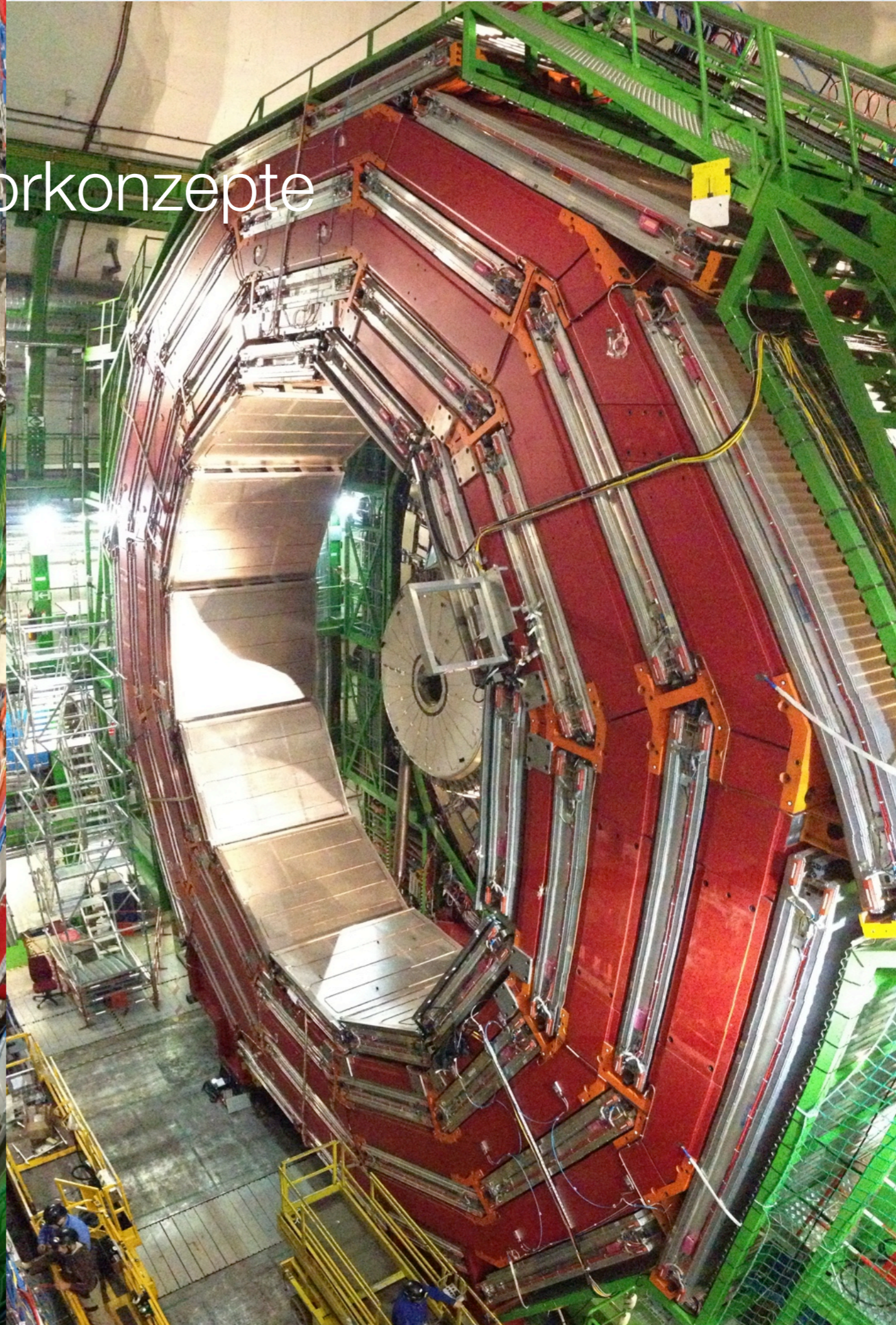
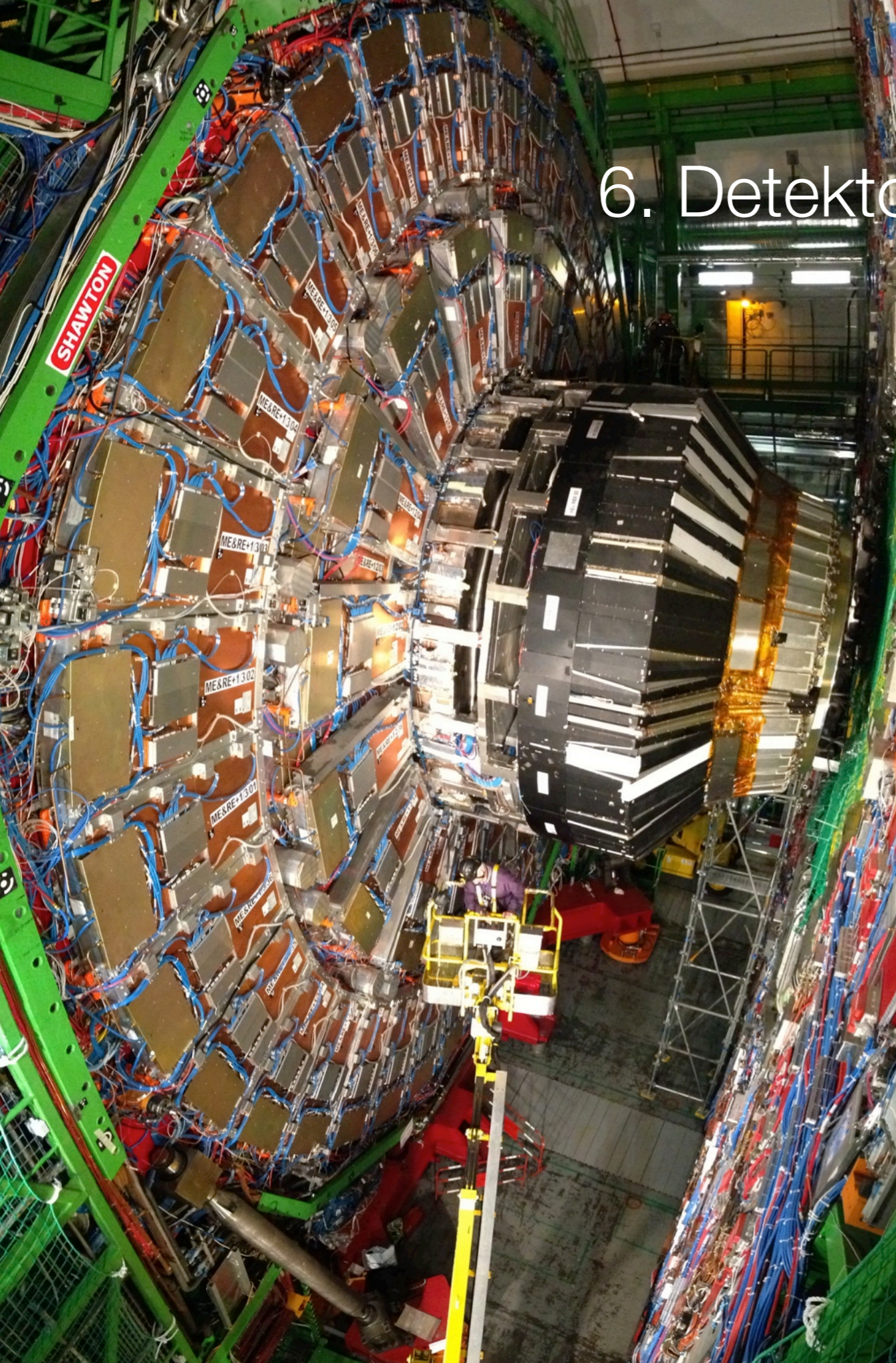
# 5. Wechselwirkungen von Teilchen mit Detektoren

## IV. schwache WW von **Neutrinos**

- ▶ sehr geringe Wahrscheinlichkeit der WW
- ▶ d.h. sehr große und massive Targets bzw. hohe Neutrinoflüsse
- ▶  $\nu_l + n \rightarrow l^- + p^+$  (beachte Leptonen- und Baryonenzahlerhaltung) oder
- ▶  $\bar{\nu}_l + p^+ \rightarrow l^+ + n$

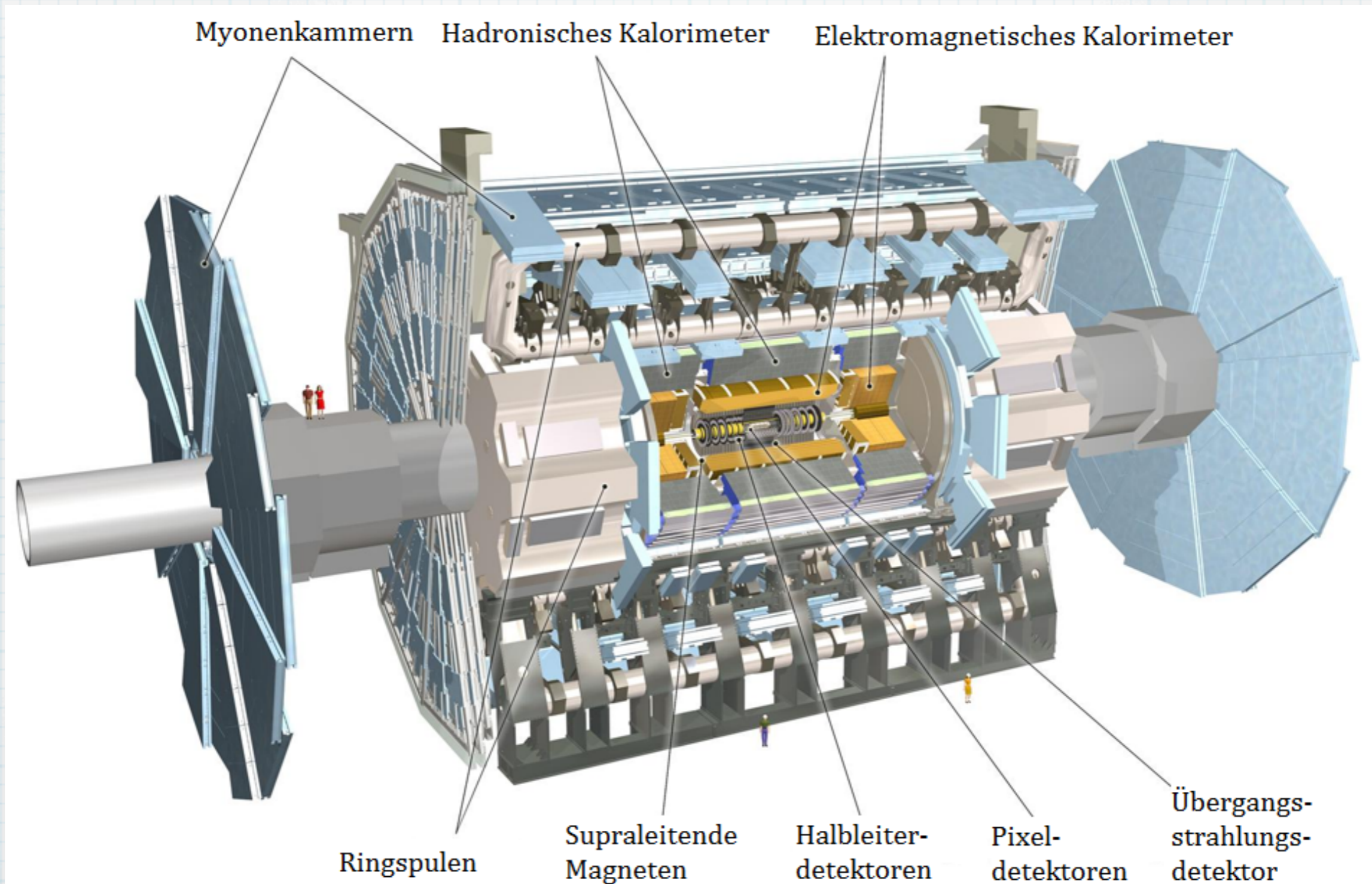
$e^\pm, \mu^\pm, \nu_e, \bar{\nu}_e, \nu_\mu, \bar{\nu}_\mu, \nu_\tau, \bar{\nu}_\tau, \pi^\pm, K^\pm, K^0 (K^0_S, K^0_L), p^\pm, n, \gamma$

## 6. Detektorkonzepte



# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren



# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren

1. Impulsmessung elektrisch geladener Teilchen: Verwendung von Materialien, die wenig Energie absorbieren (Halbleiter: Silizium)
2. Energiemessung elektrisch geladener Teilchen: Verwendung von Materialien, die möglichst schnell das Teilchen stoppen
3. Energiemessung stark geladener Teilchen: Verwendung von Materialien, die möglichst schnell das Teilchen stoppen
4. Impulsmessung und Teilchenidentifikation von Myonen: Nachweismethode elektrisch geladener Teilchen

# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren

Aufeinanderfolgende Lagen von Detektormaterial im

1. Fassbereich (Hohlzylinder von Detektoren)
2. Endbereich (in Vorwärts- und Rückwärtsrichtung angebrachte Lagen)

# 6. Detektorkonzepte

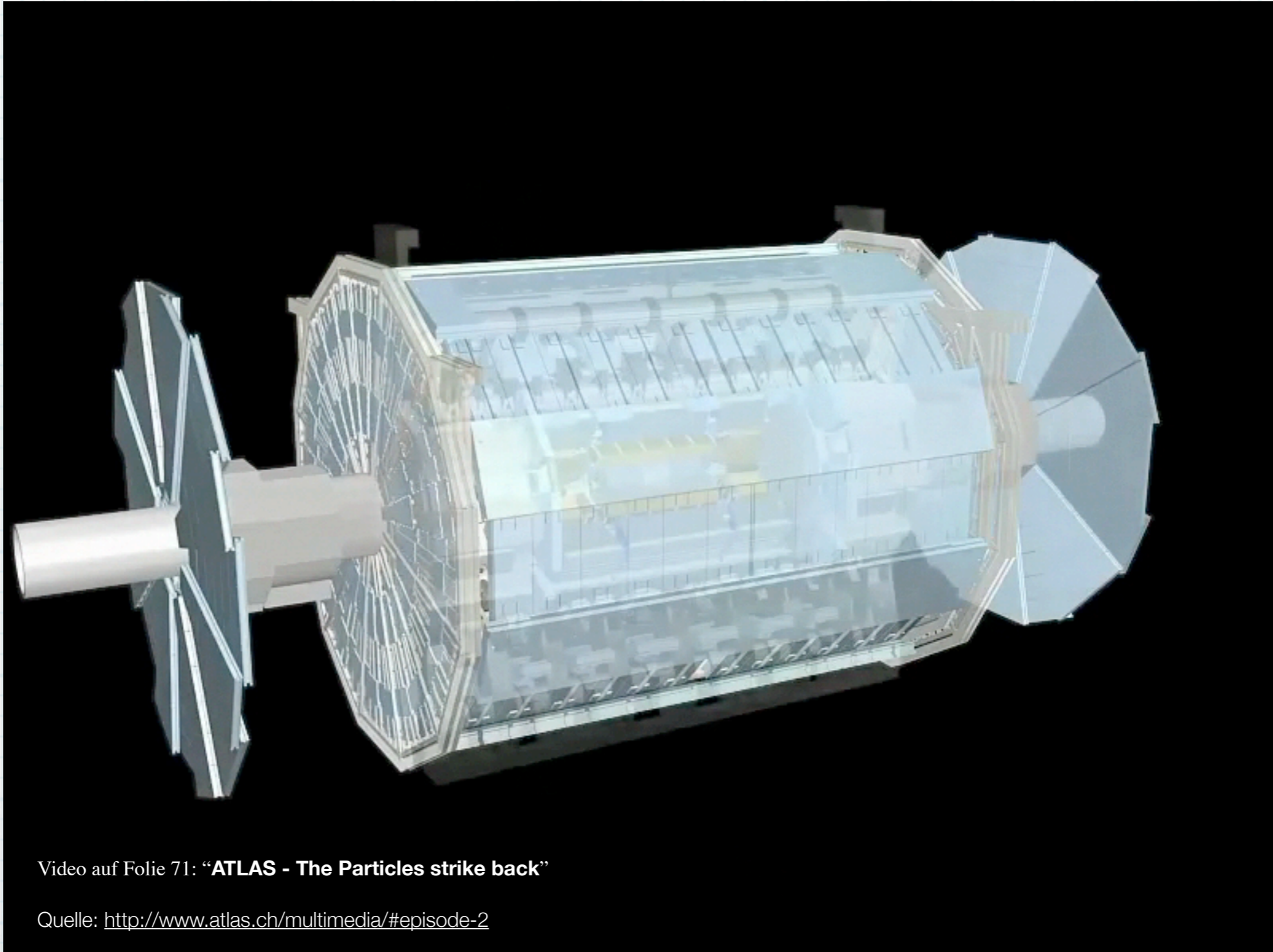
## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

Video auf Folie 70: “**ATLAS - The Particles strike back**”

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/#episode-2>

# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

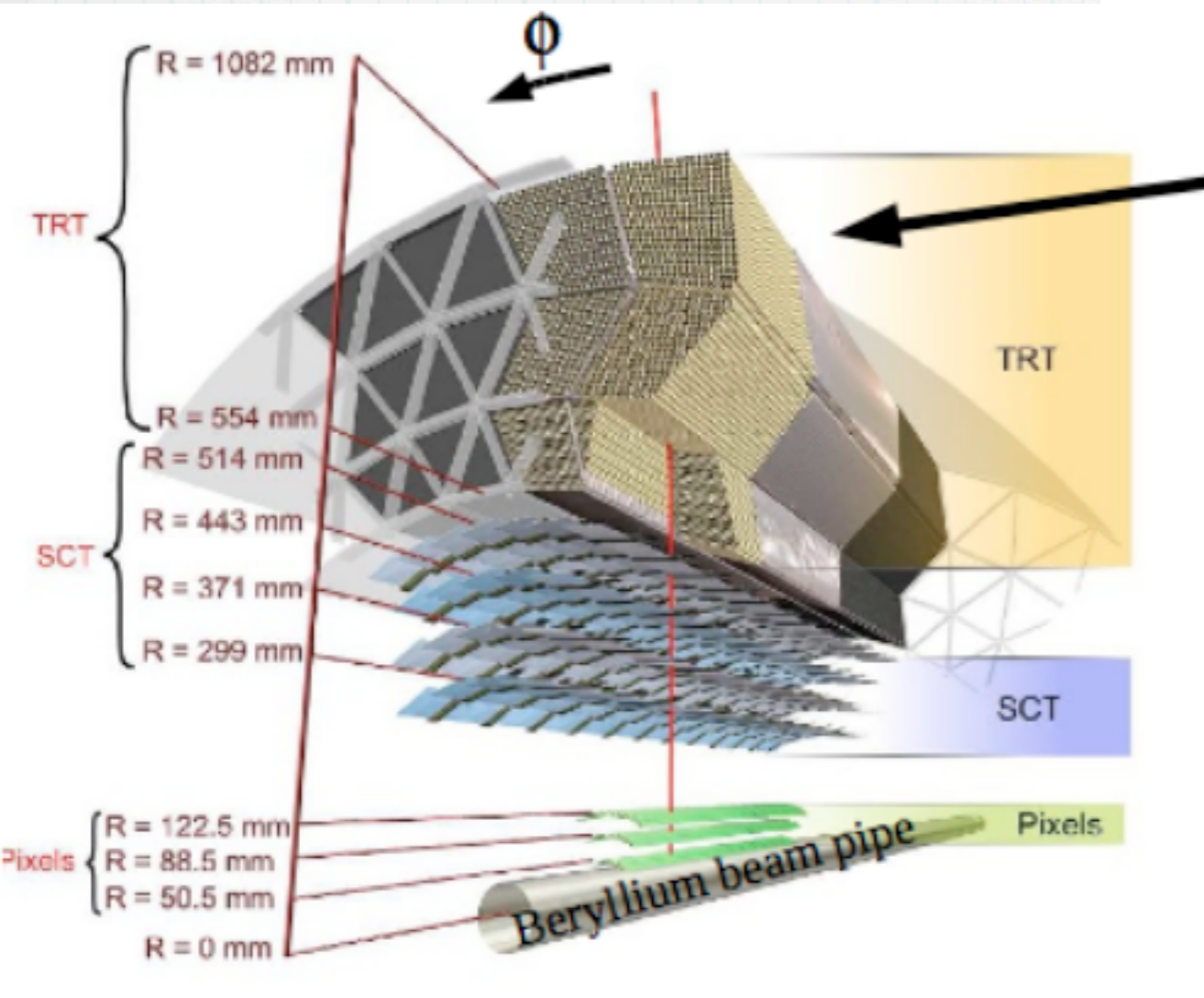
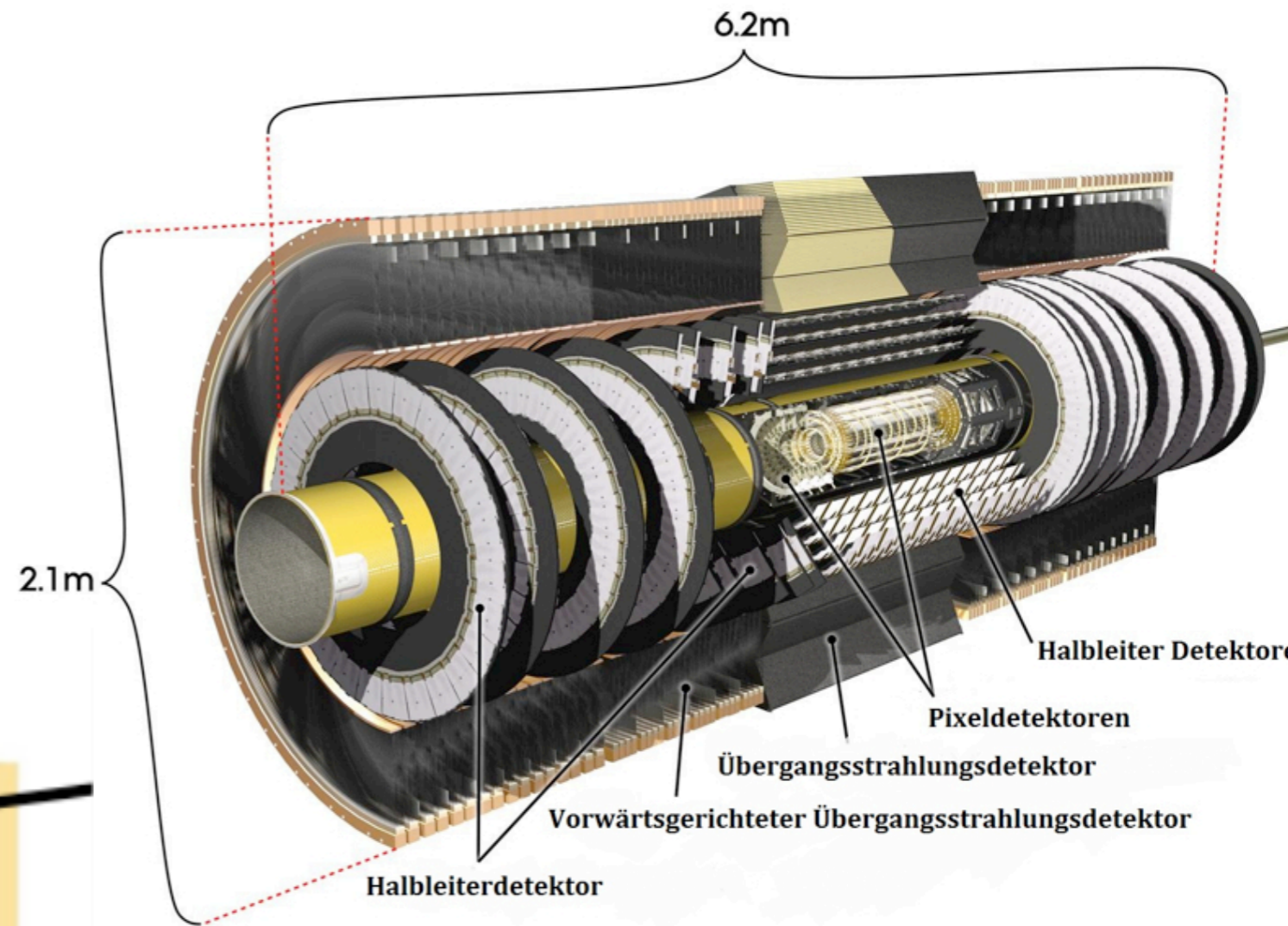


Video auf Folie 71: “**ATLAS - The Particles strike back**”

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/#episode-2>

# 6. Detektorkonzepte

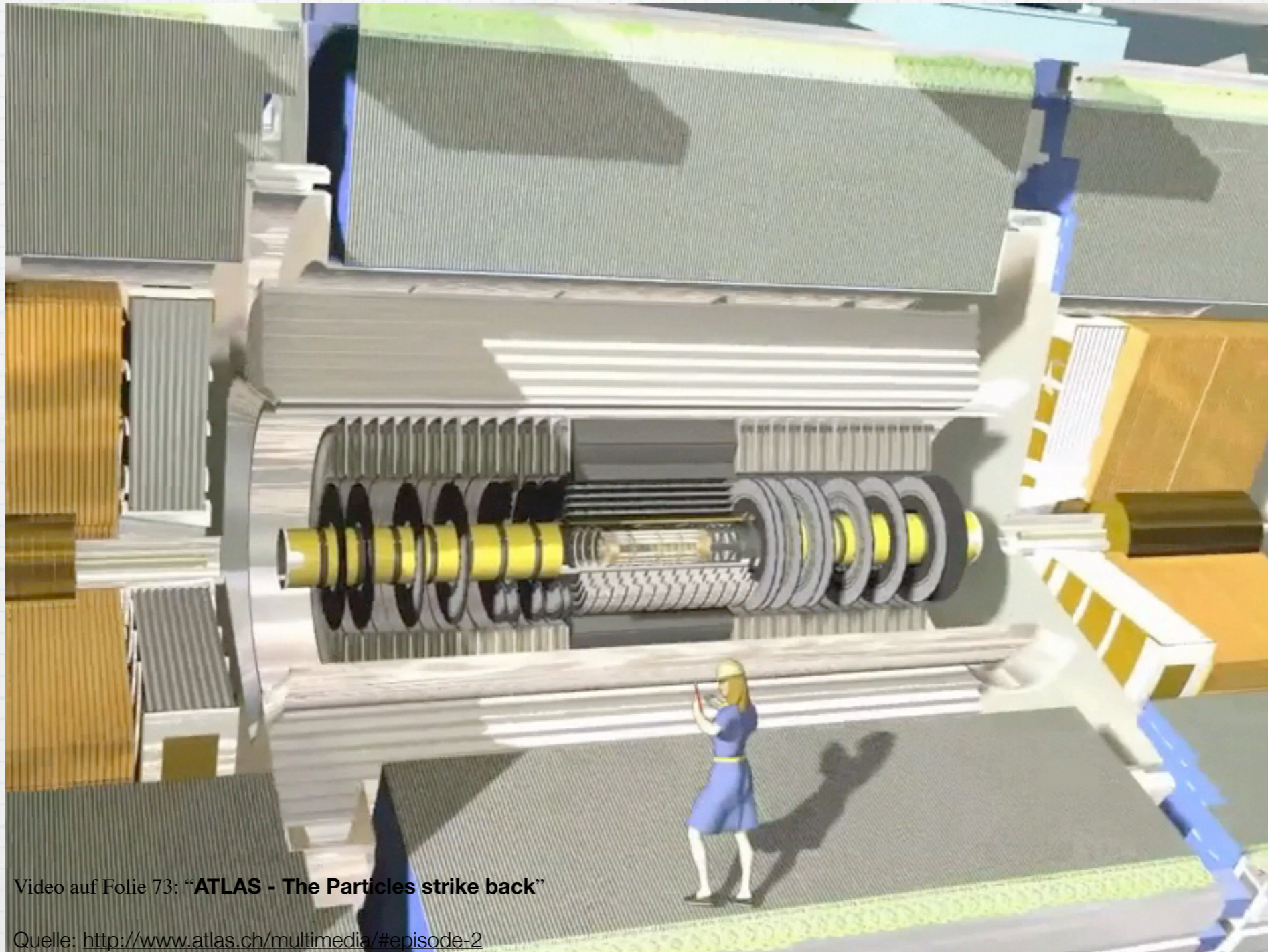
## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS





# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

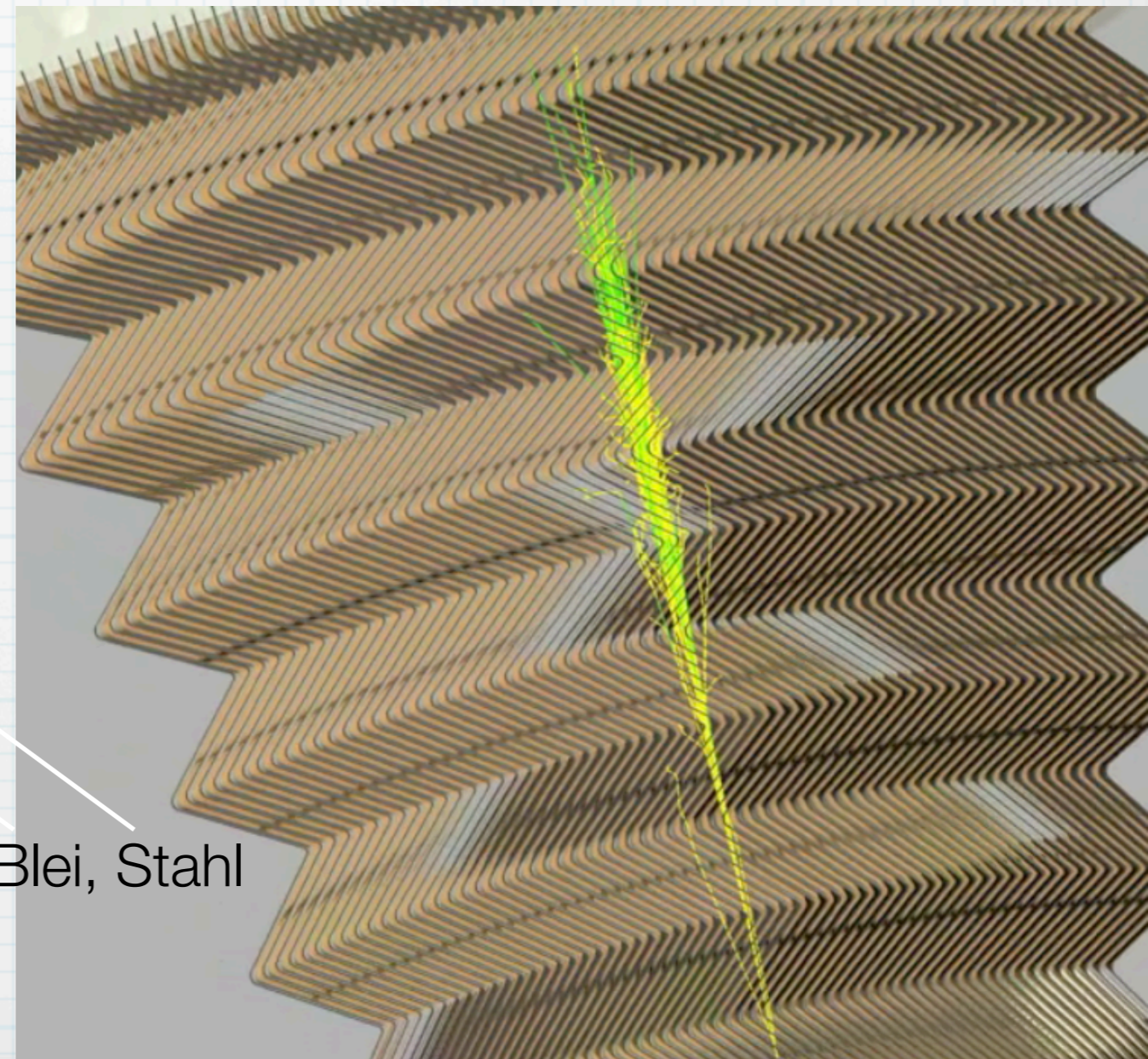
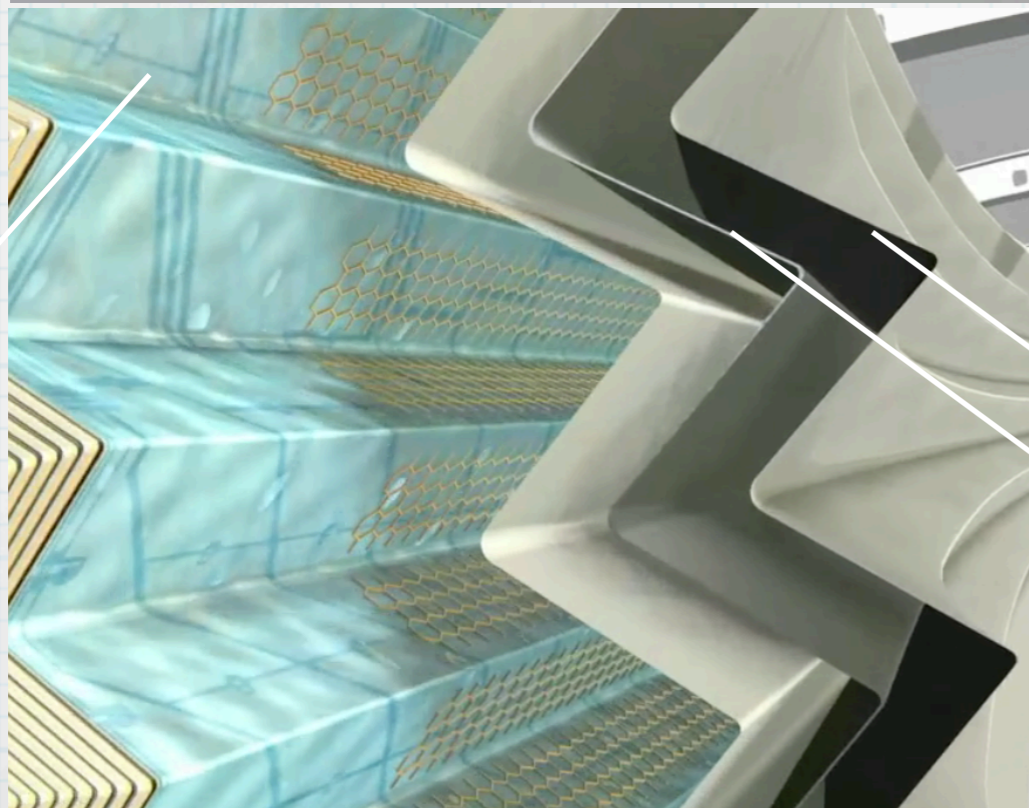
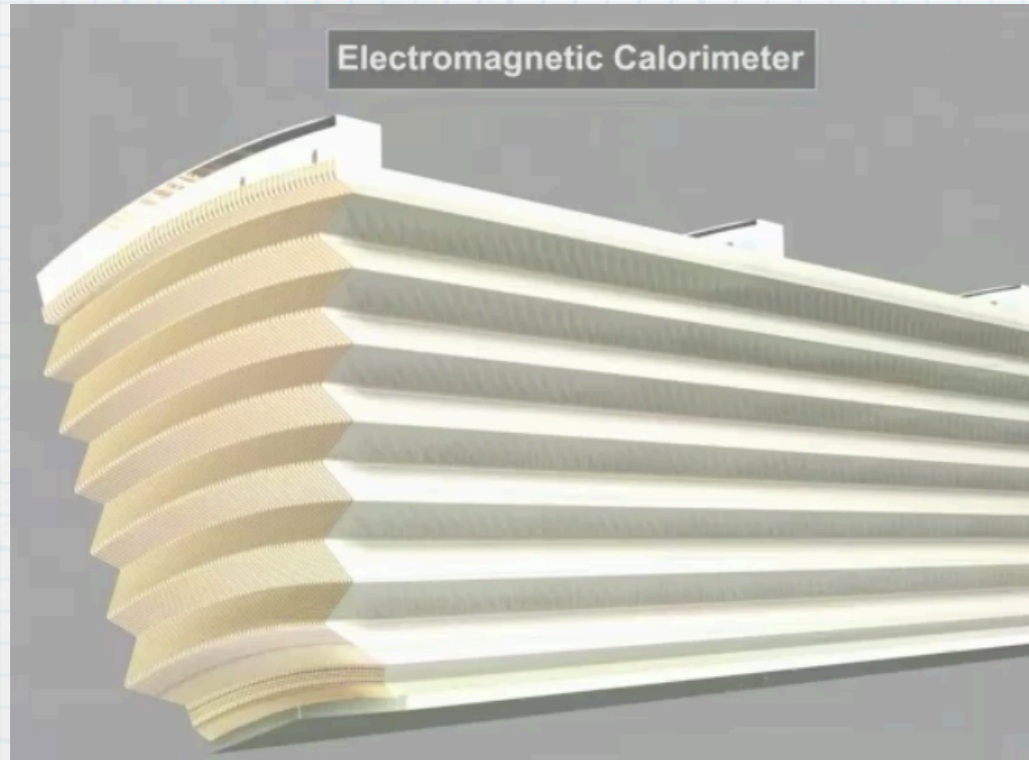


Video auf Folie 73: “**ATLAS - The Particles strike back**”

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/#episode-2>

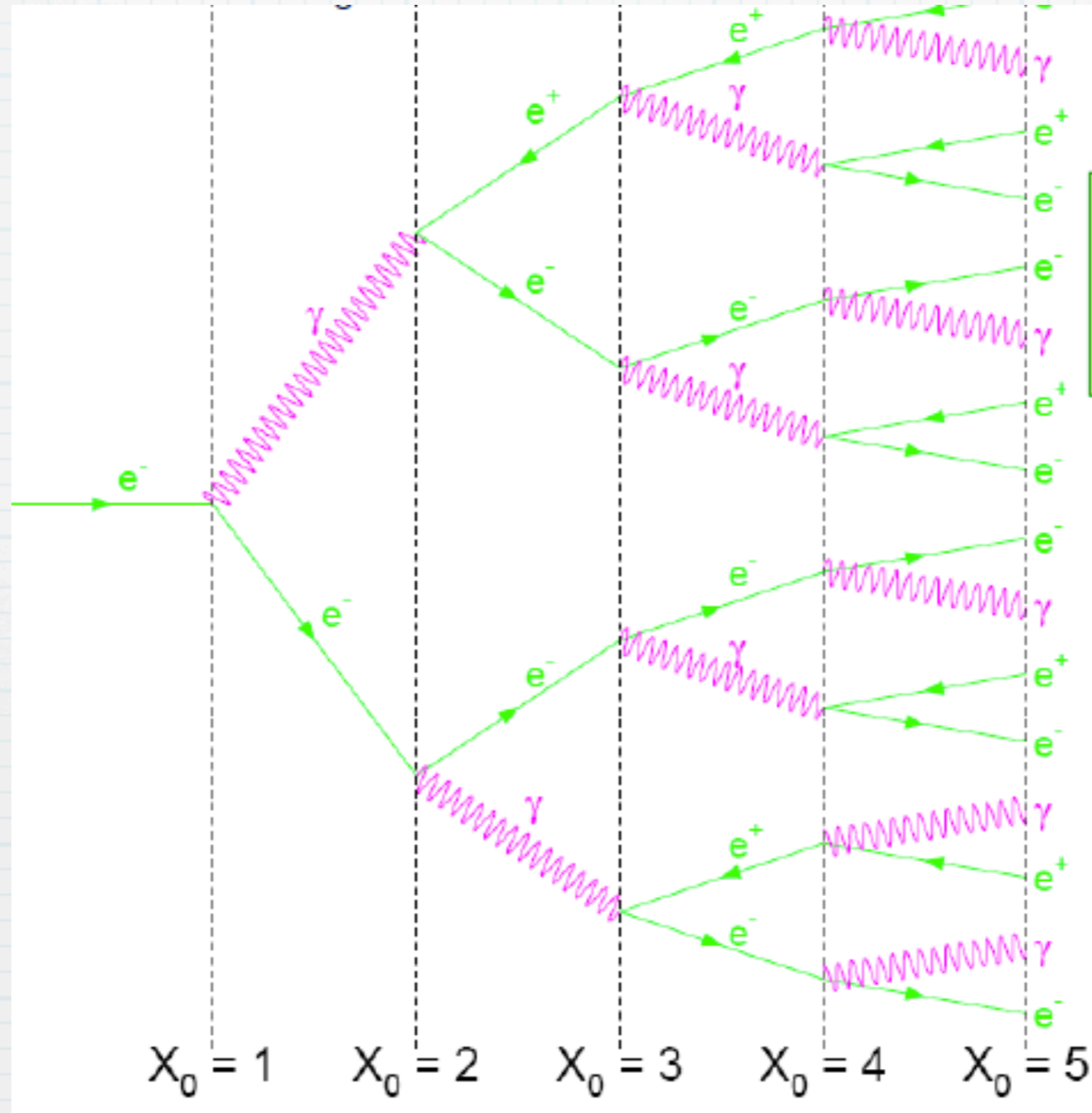
# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS



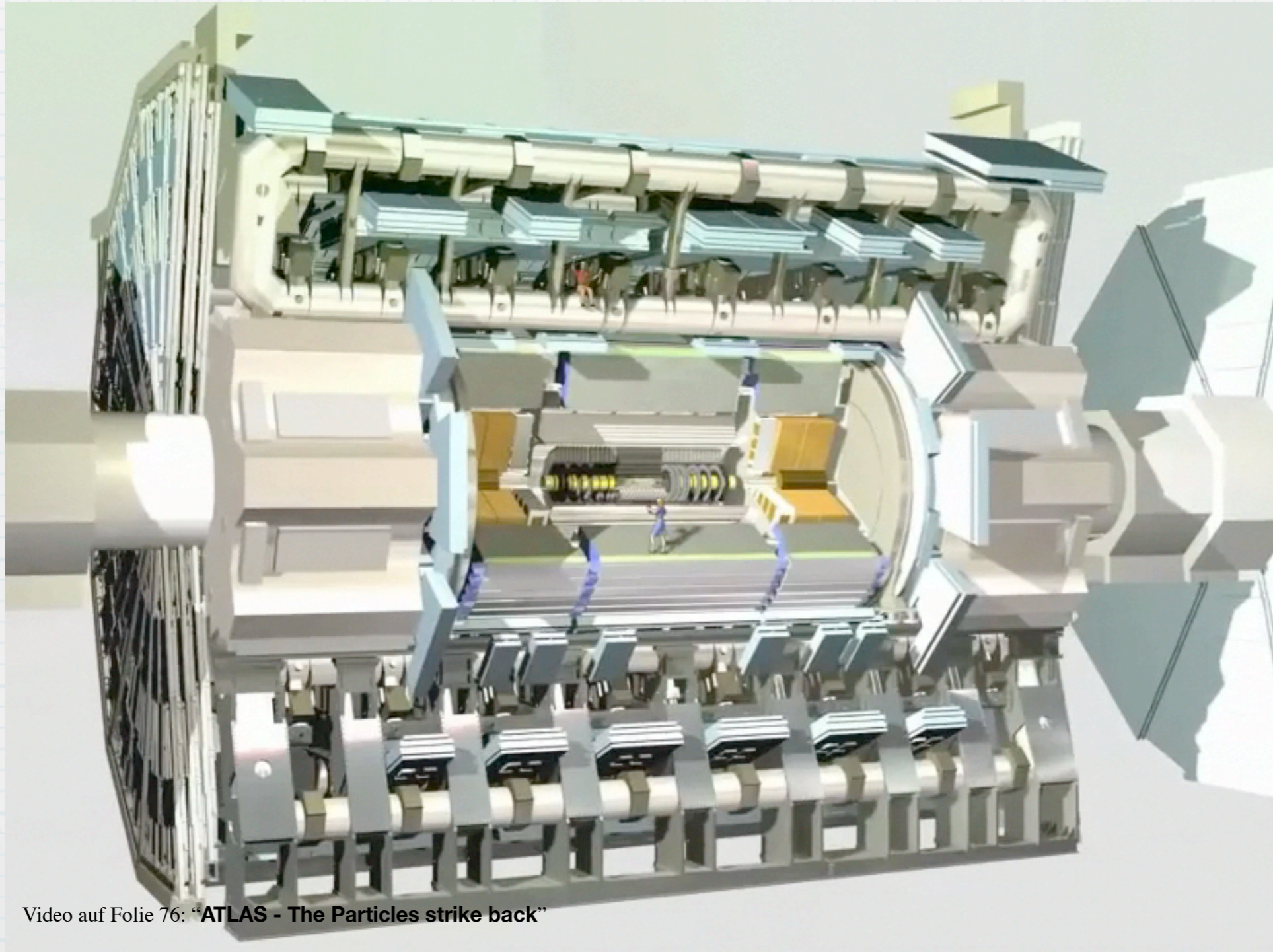
# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS



# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

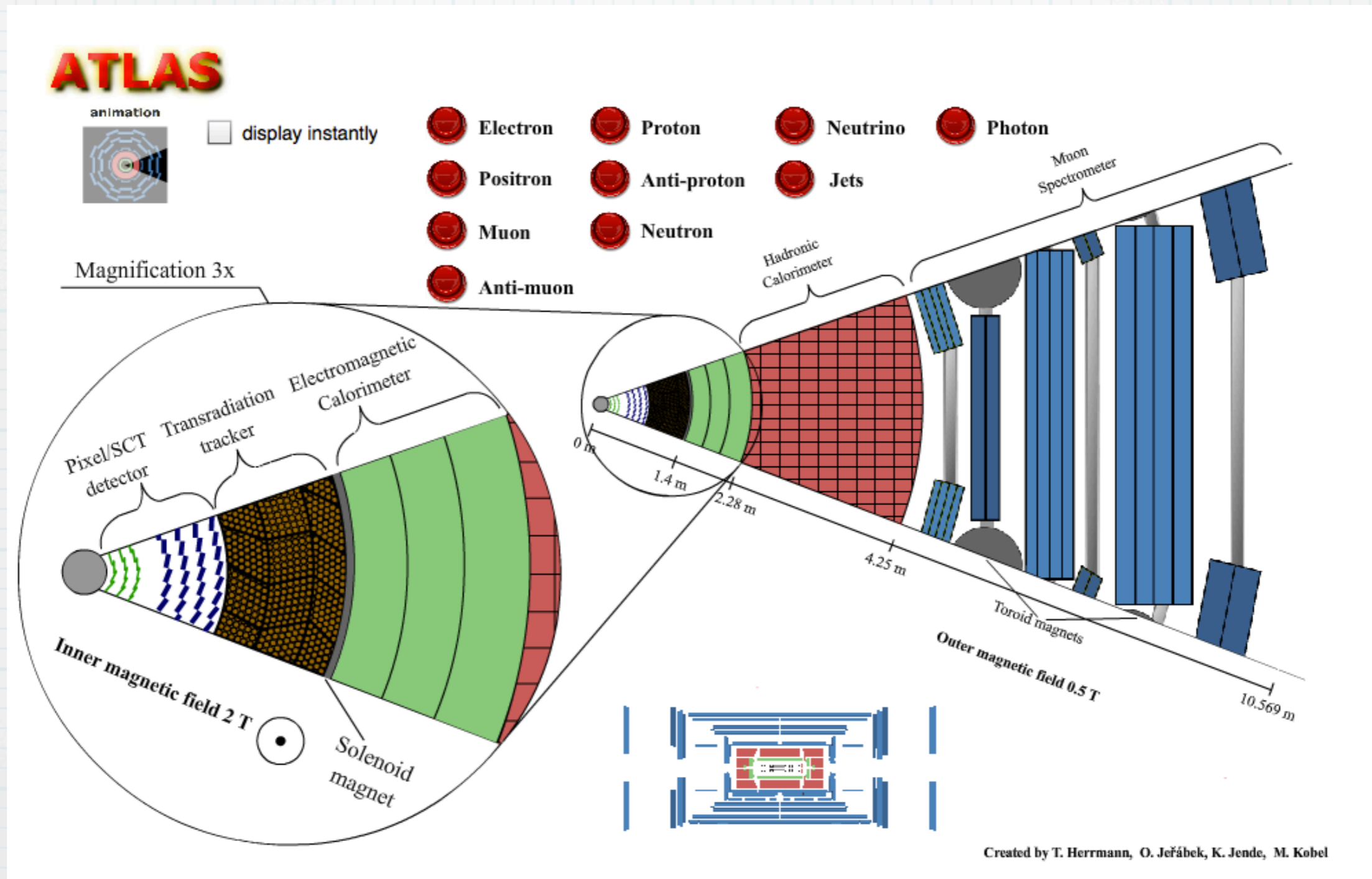


Video auf Folie 76: **“ATLAS - The Particles strike back”**

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/#episode-2>

# 6. Detektorkonzepte

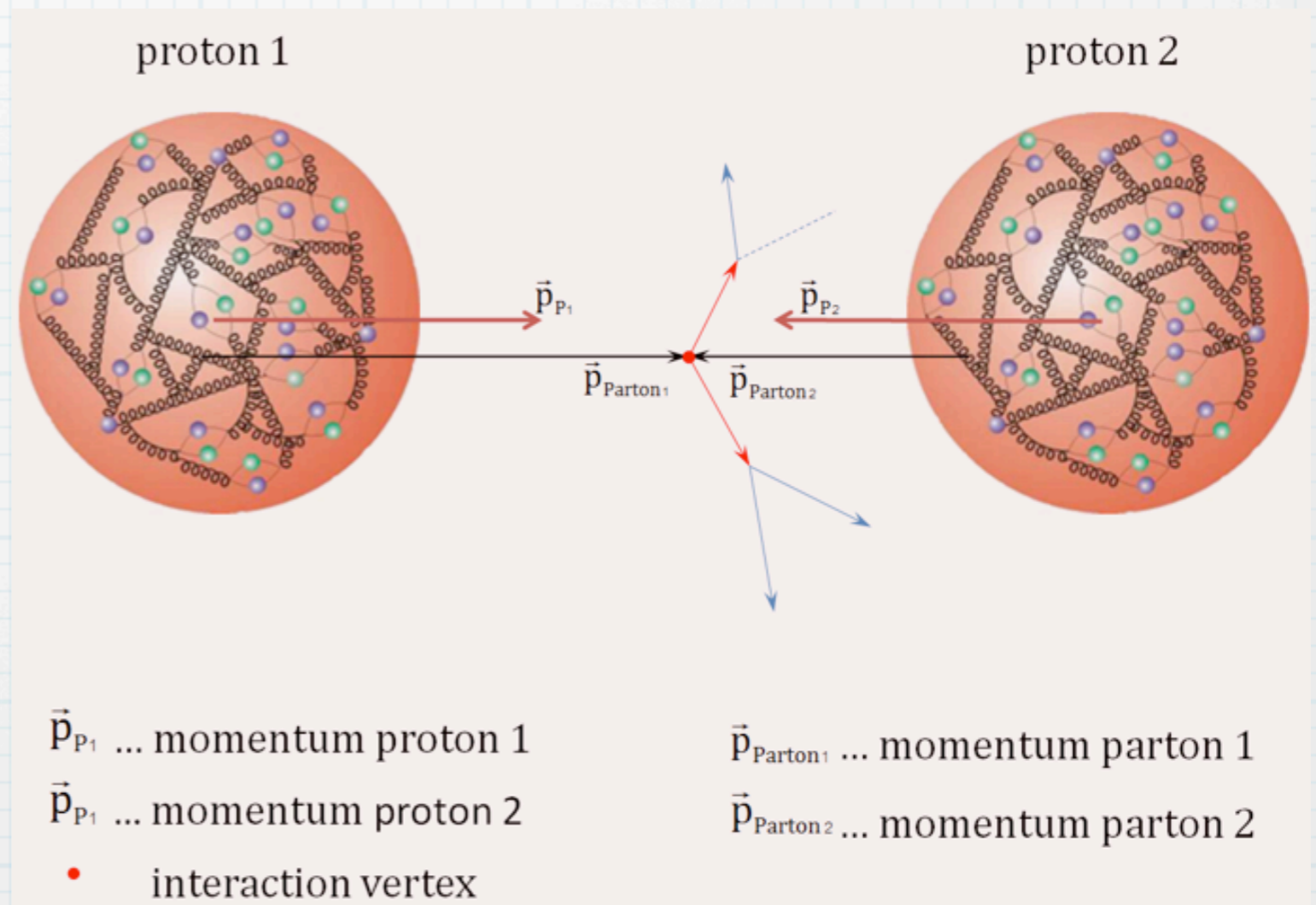
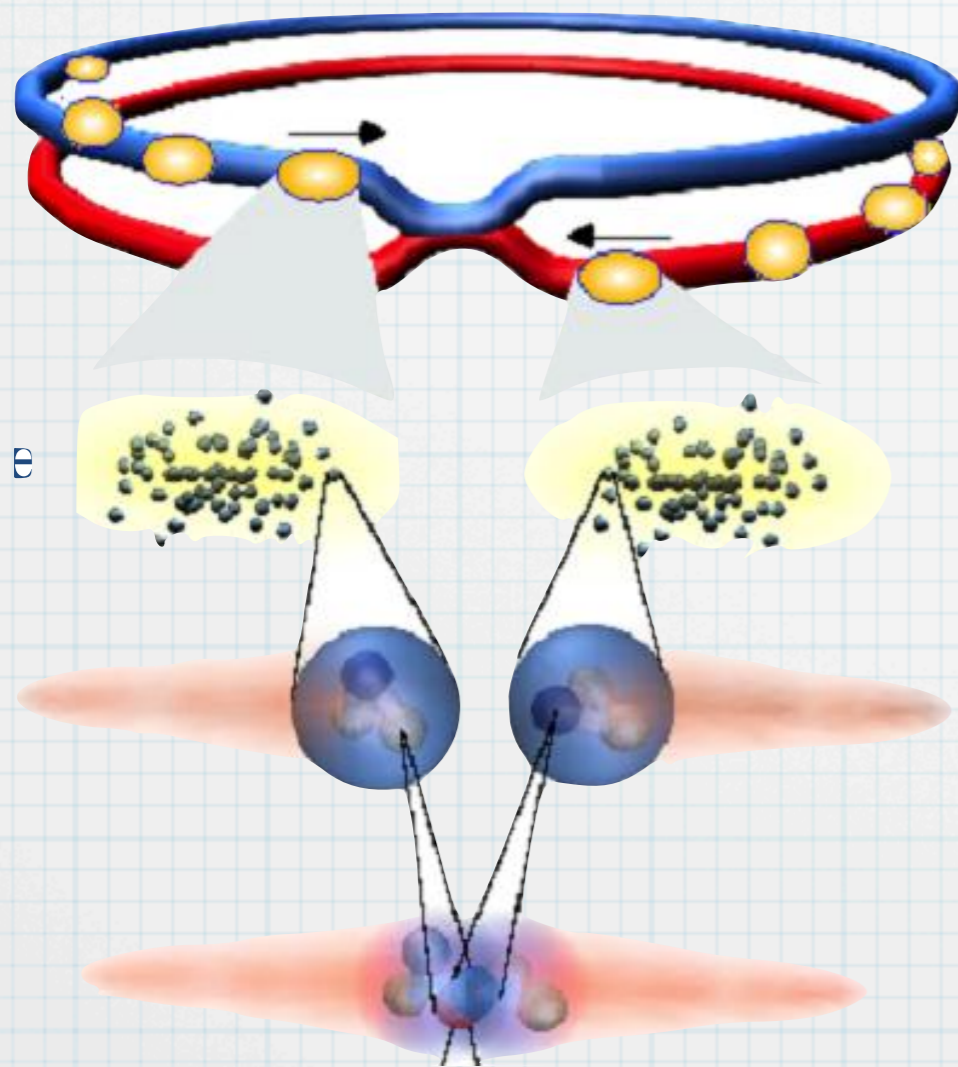
## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS



# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

### Neutrinos

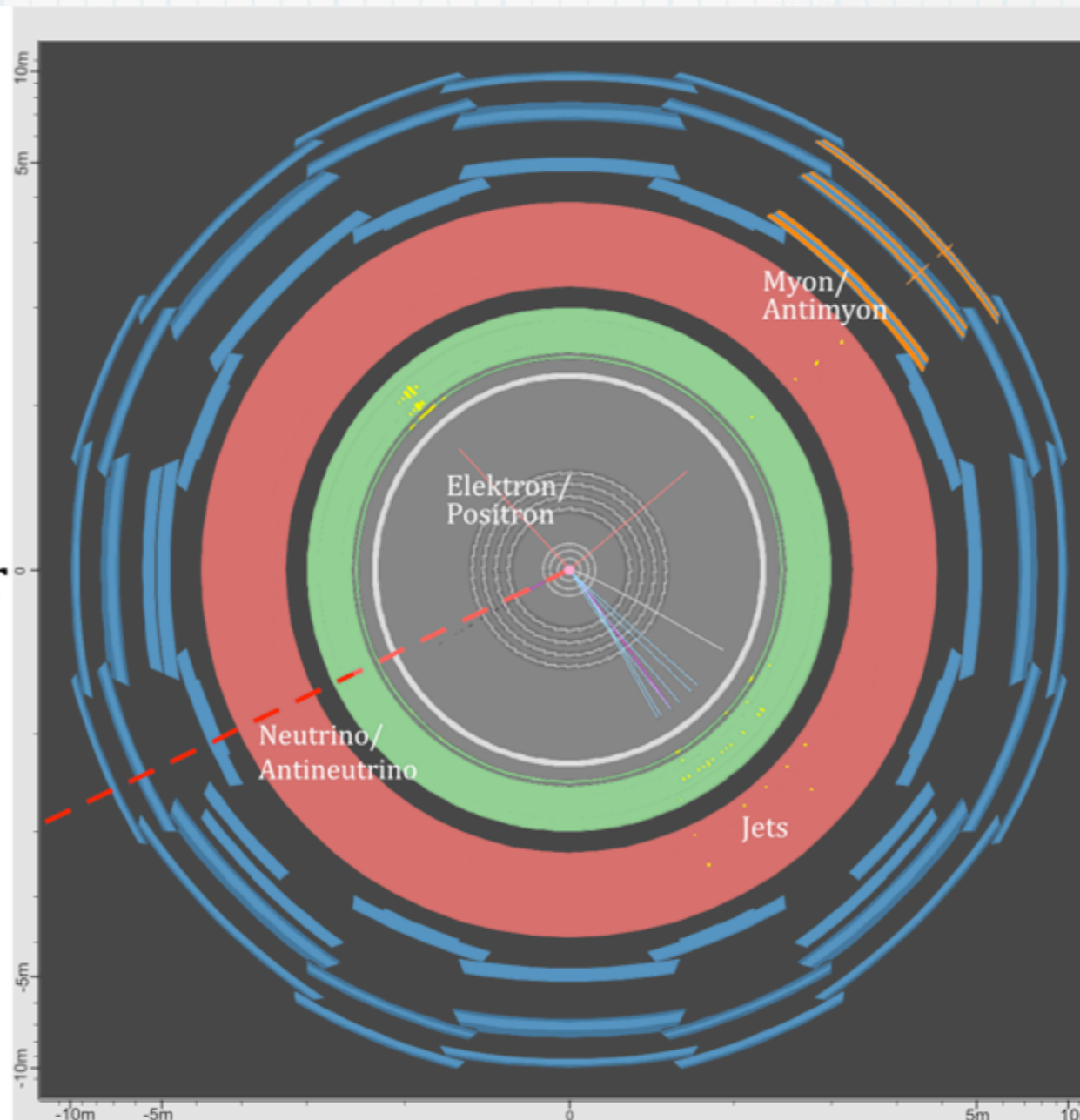


# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

### Neutrinos

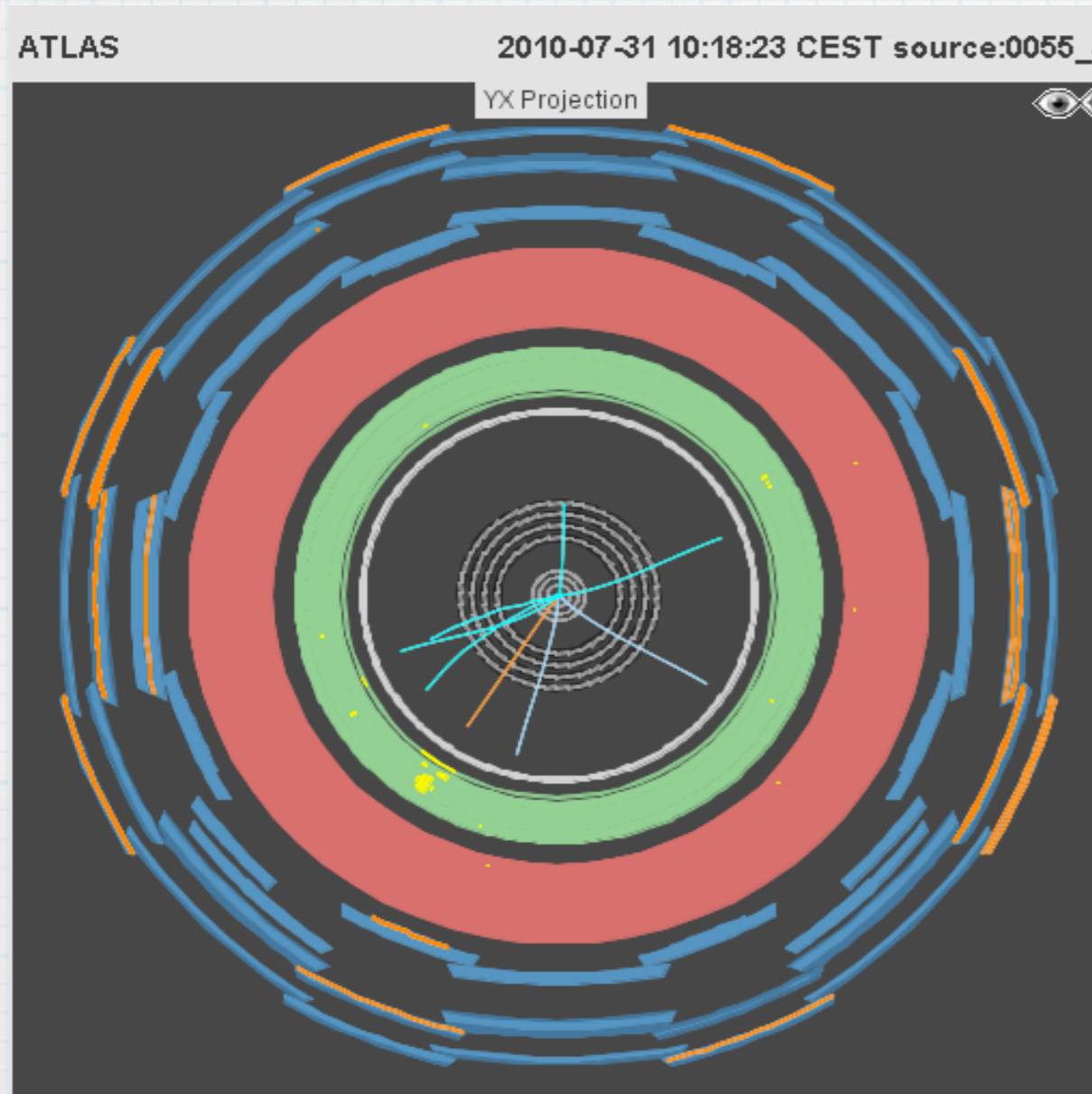
- Strahlrohr
- Spurdetektor
- Solenoid-Magnet
- elektromagnetisches Kalorimeter
- hadronisches Kalorimeter
- Myon-Kammer



# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

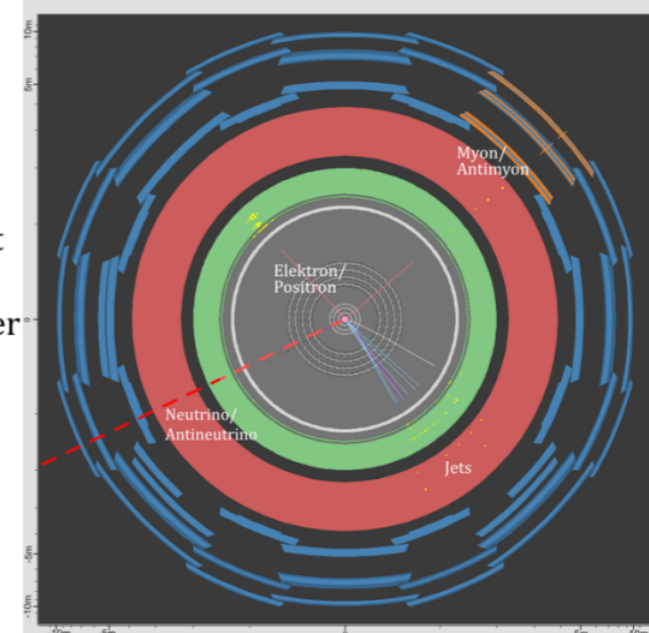
### Neutrinos



Was fällt Dir bei den Energieeinträgen in diesem Ereignis auf?

(linke Abb.: echte Proton-Proton-Kollision gesehen mit dem ATLAS-Detektor am 31.07.2010)

- Strahlrohr
- Spurdetektor
- Solenoid-Magnet
- elektromagnetisches Kalorimeter
- hadronisches Kalorimeter
- Myon-Kammer

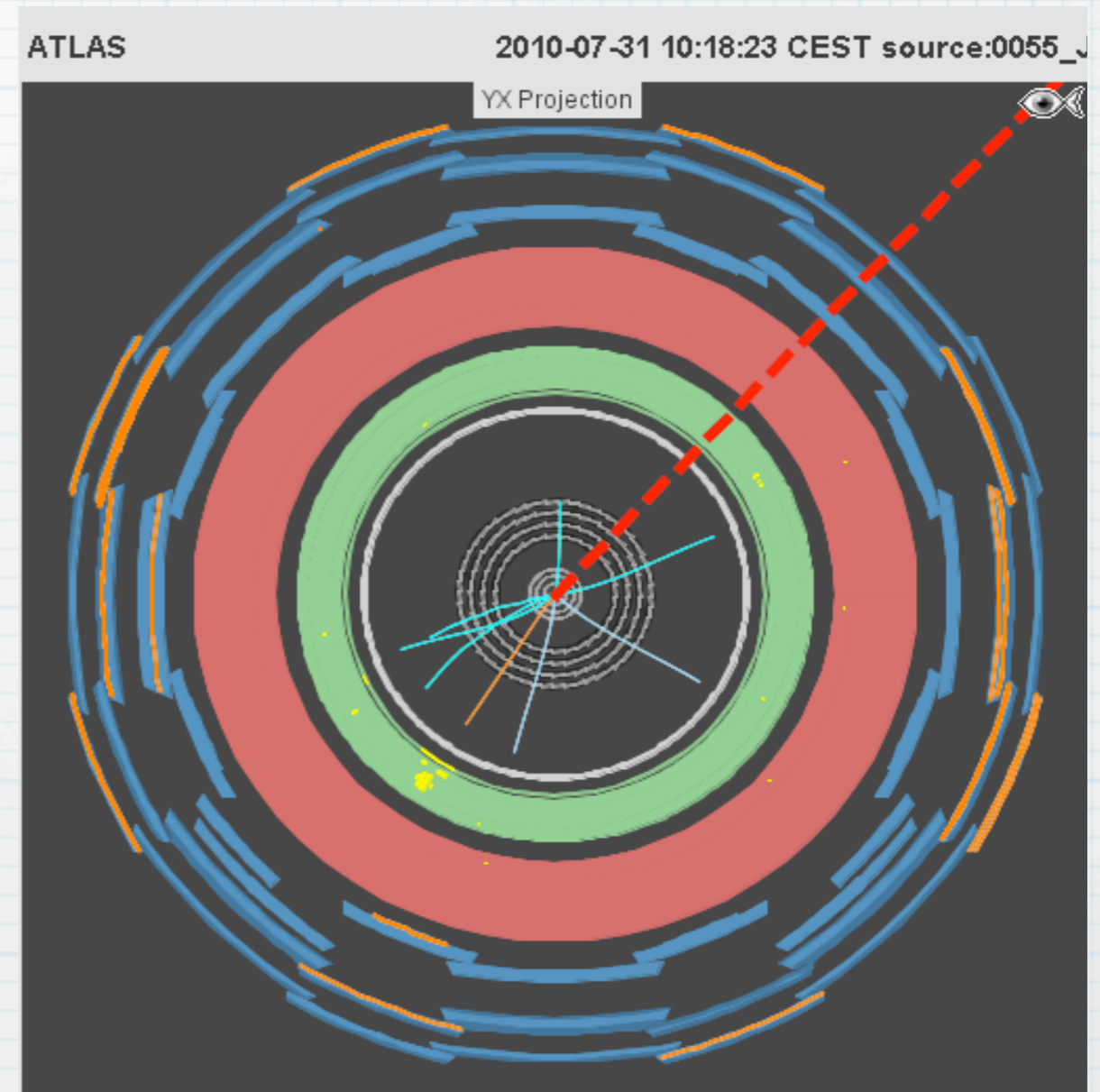
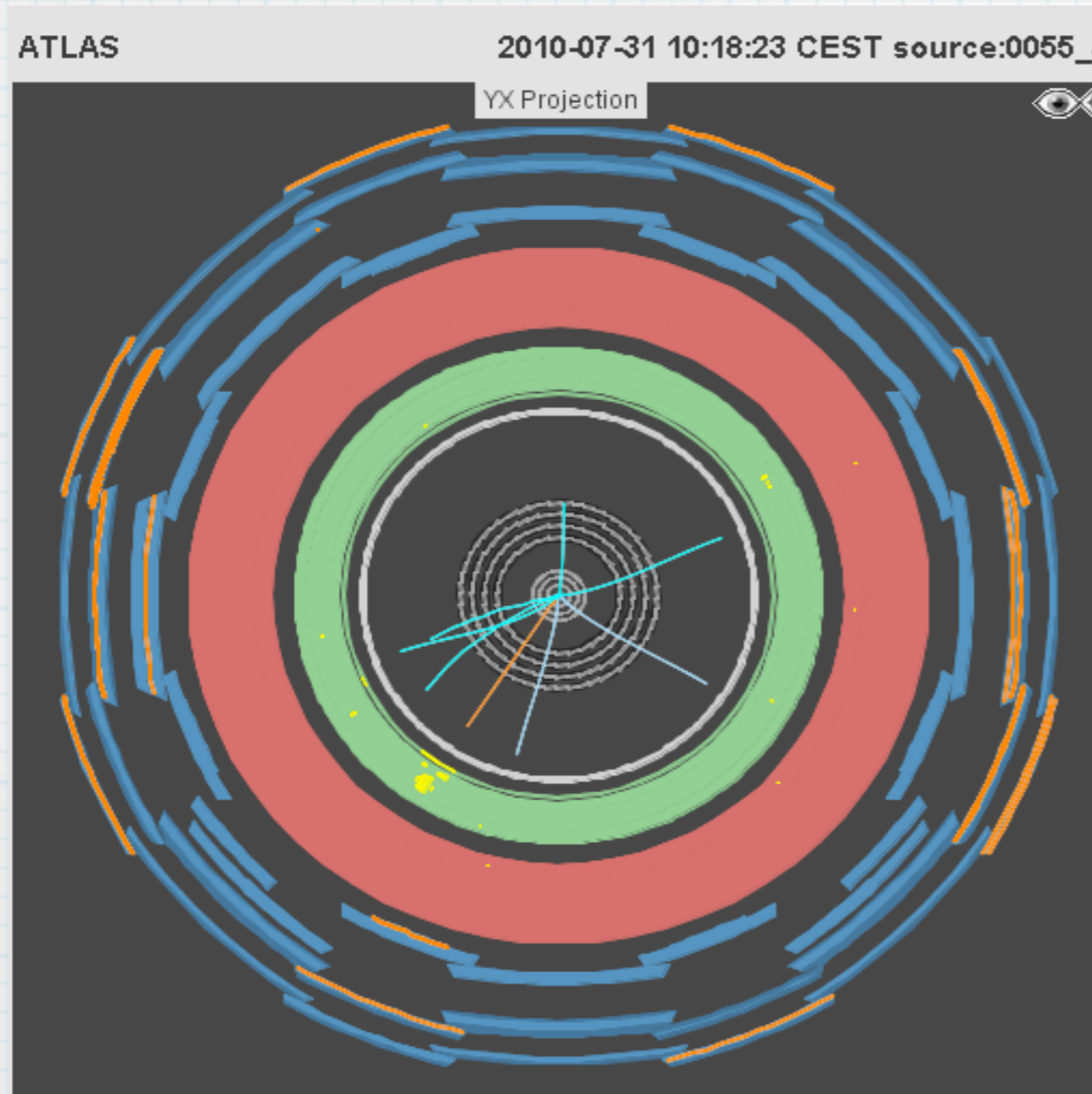




# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

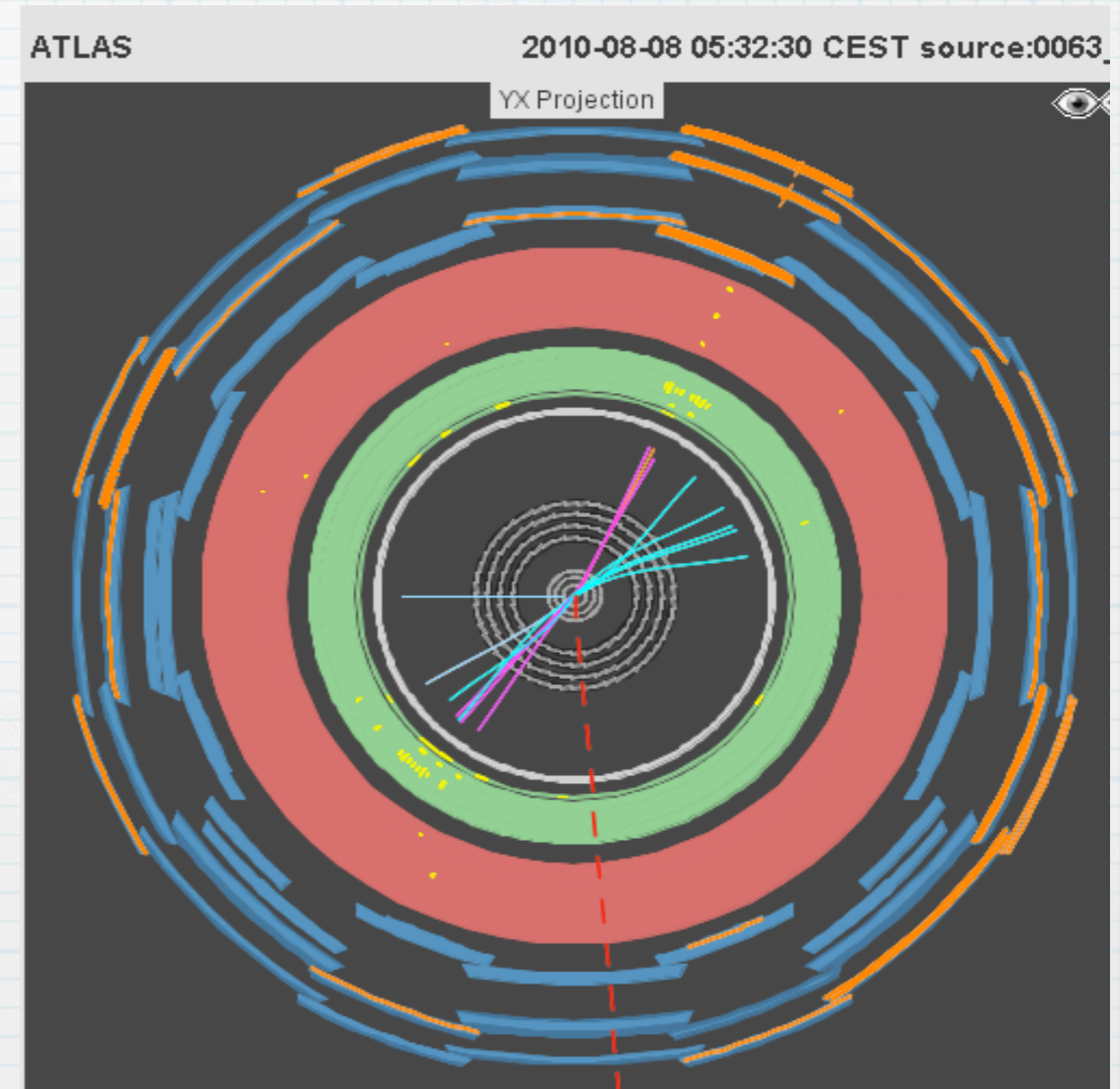
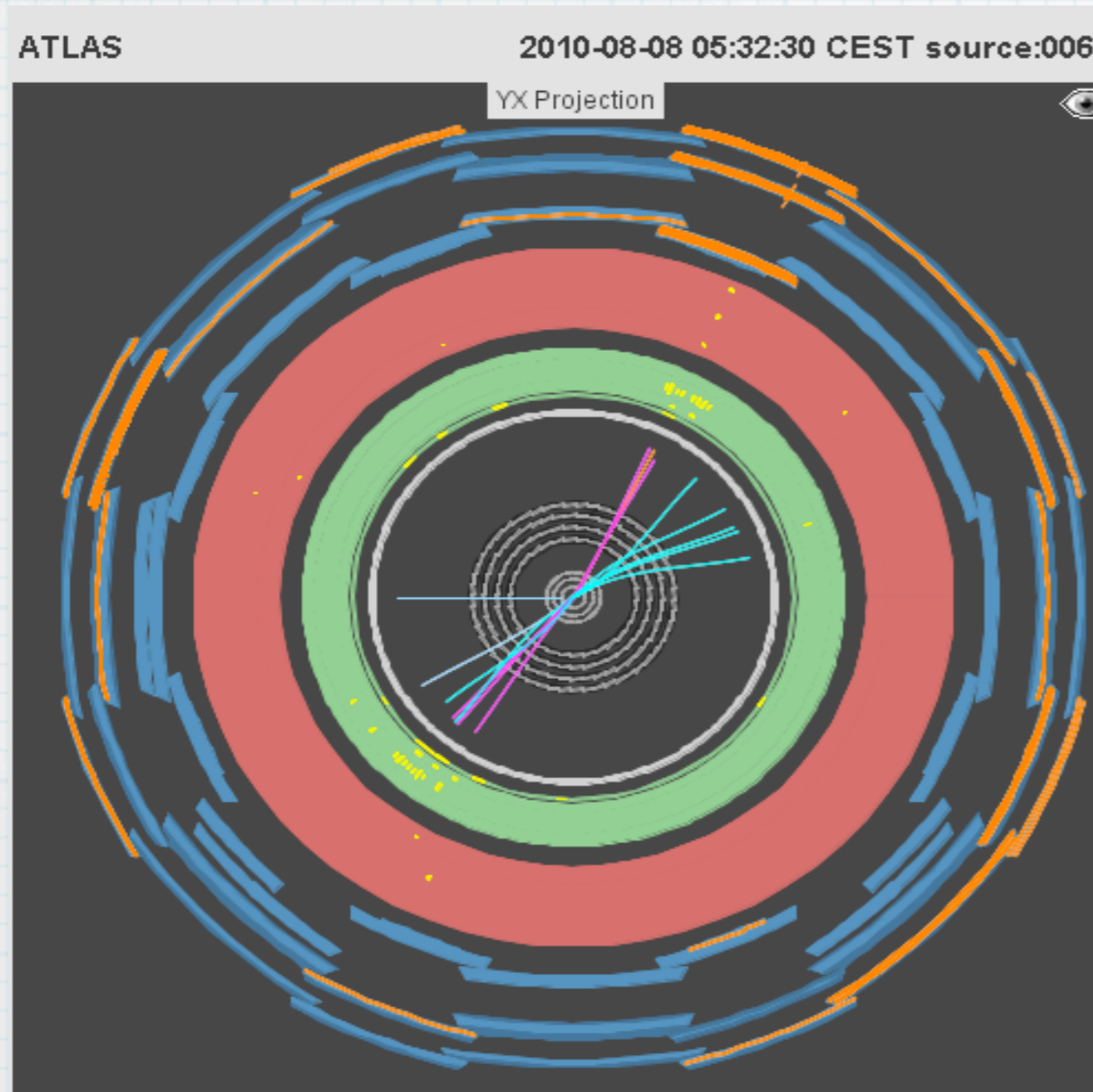
### Neutrinos

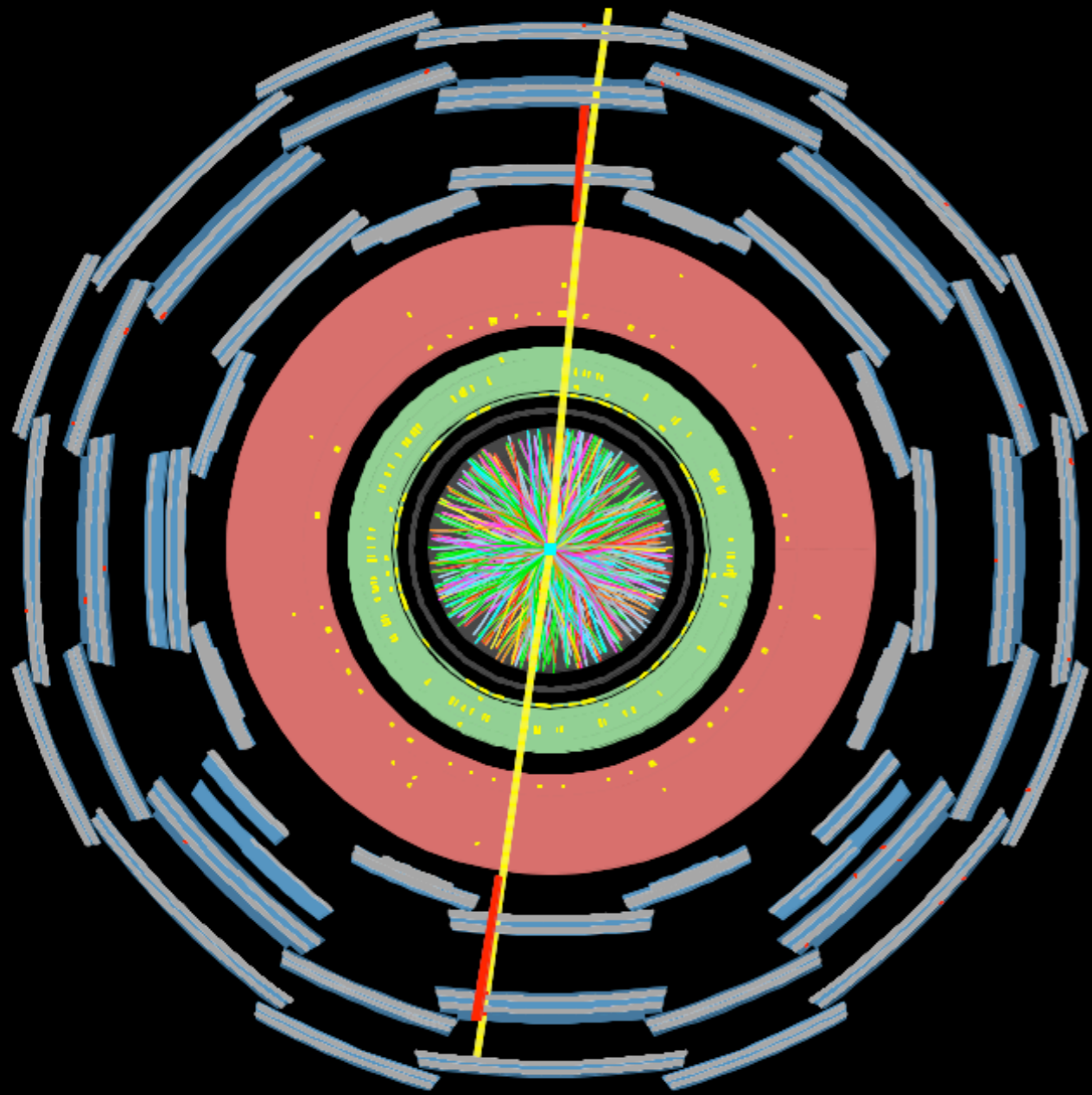


# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren am LHC am Beispiel von ATLAS

### Neutrinos

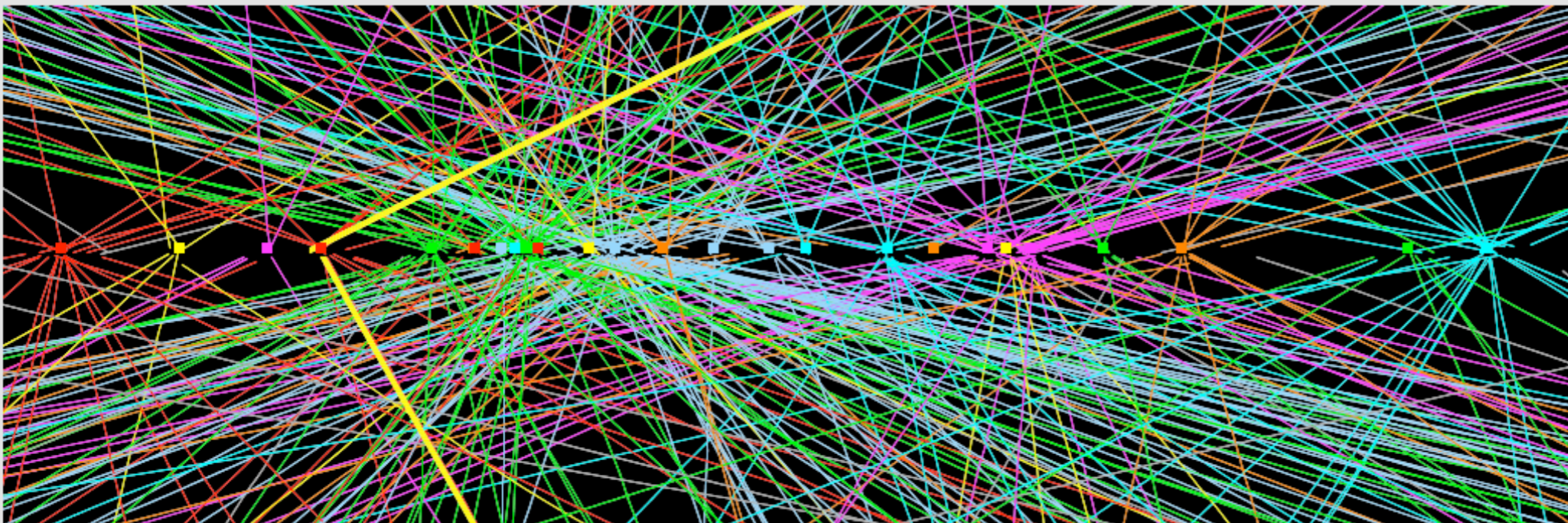
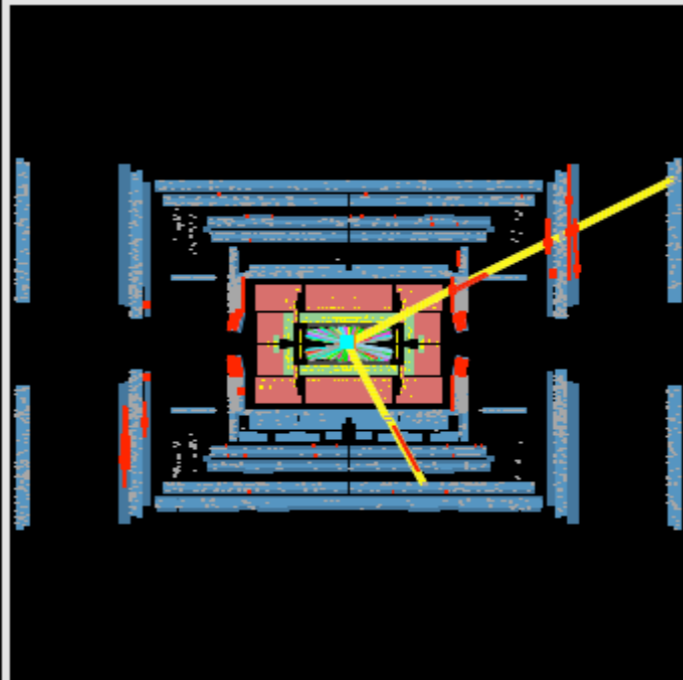




# ATLAS EXPERIMENT

Run Number: 201289, Event Number: 24151616

Date: 2012-04-15 16:52:58 CEST



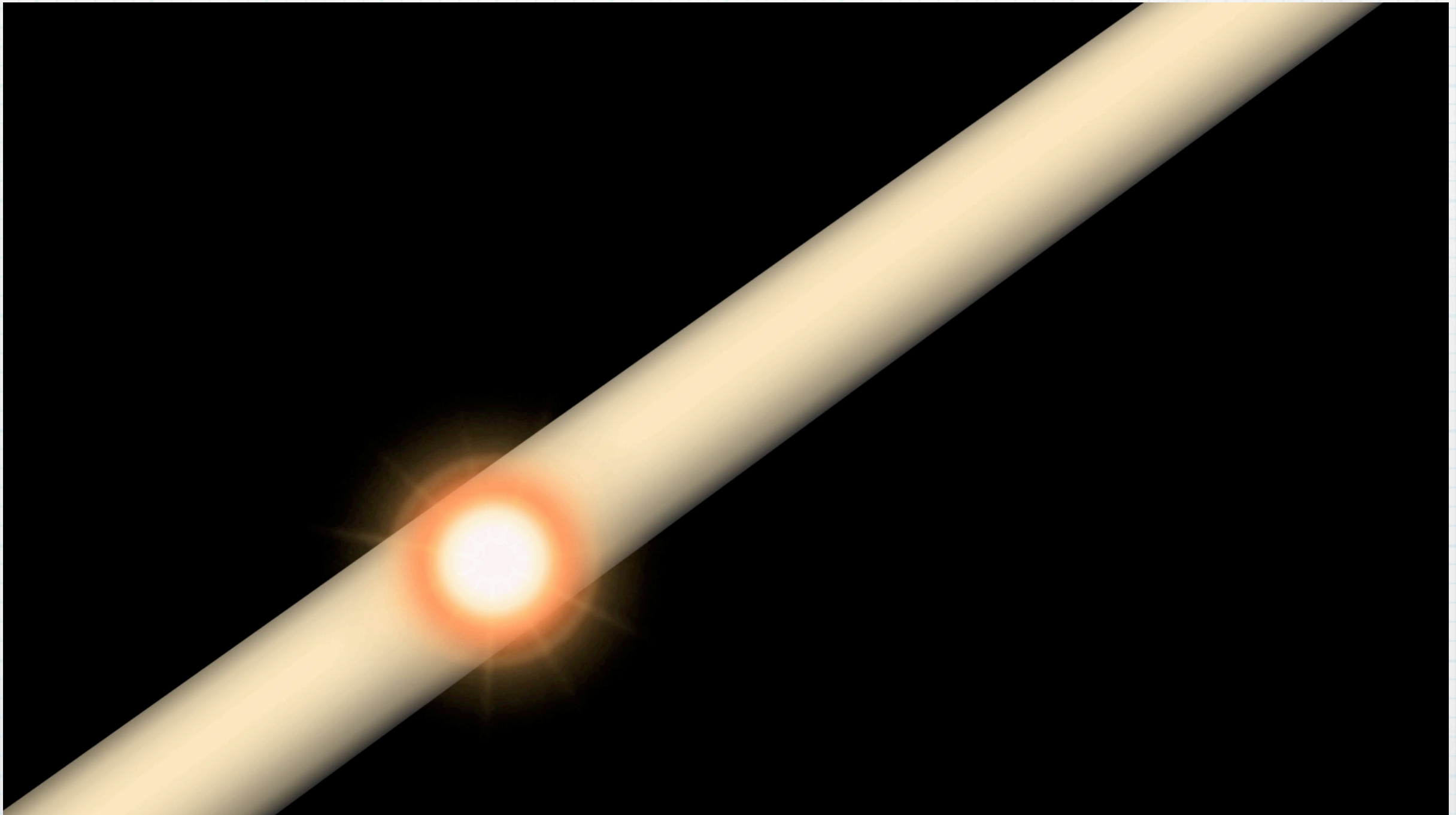
## 6. Detektorkonzepte

### I. Vielzweckdetektoren - ATLAS: Ergebnisse ums BEH-Boson



# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren - ATLAS: Ergebnisse ums Higgs

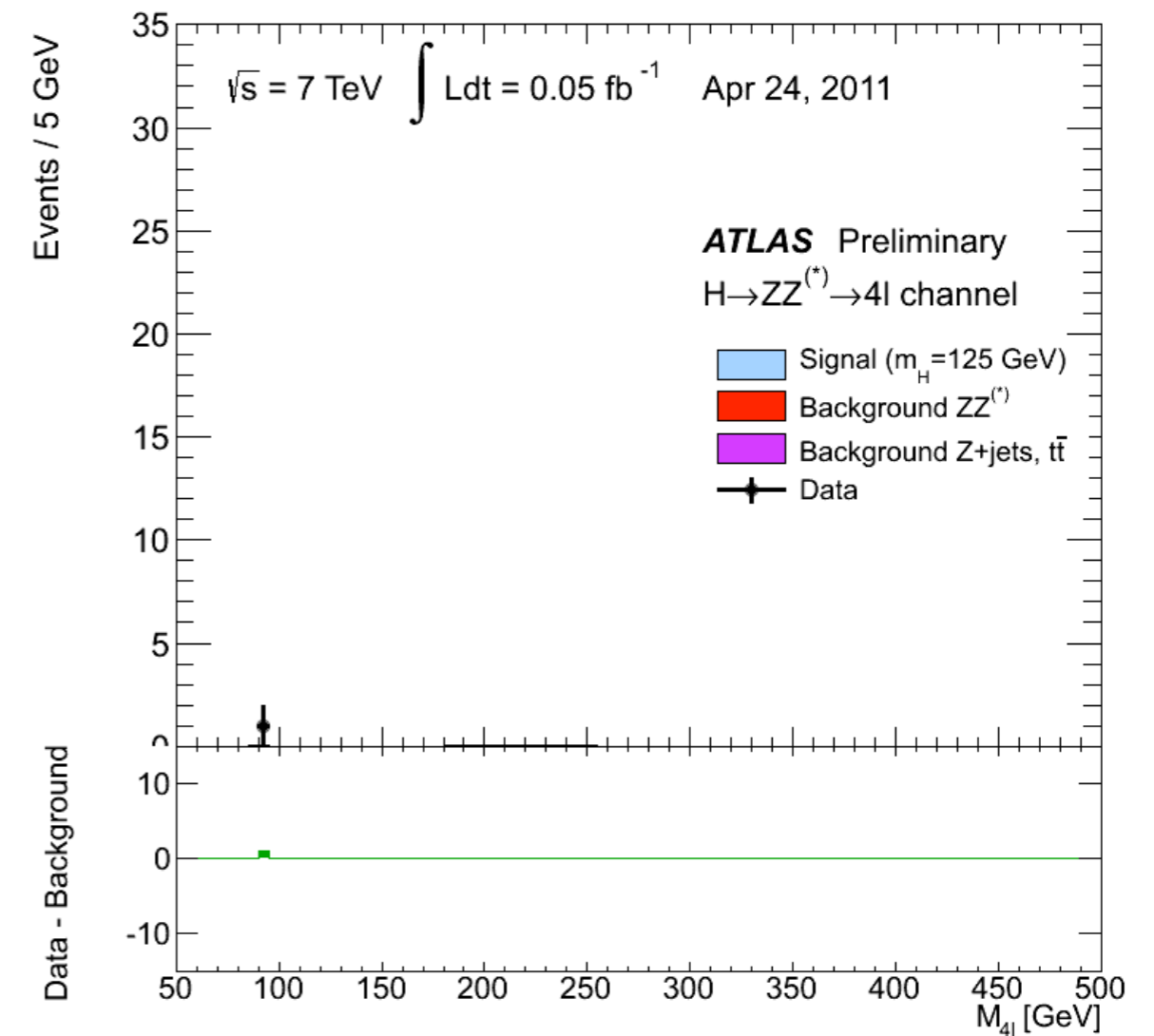
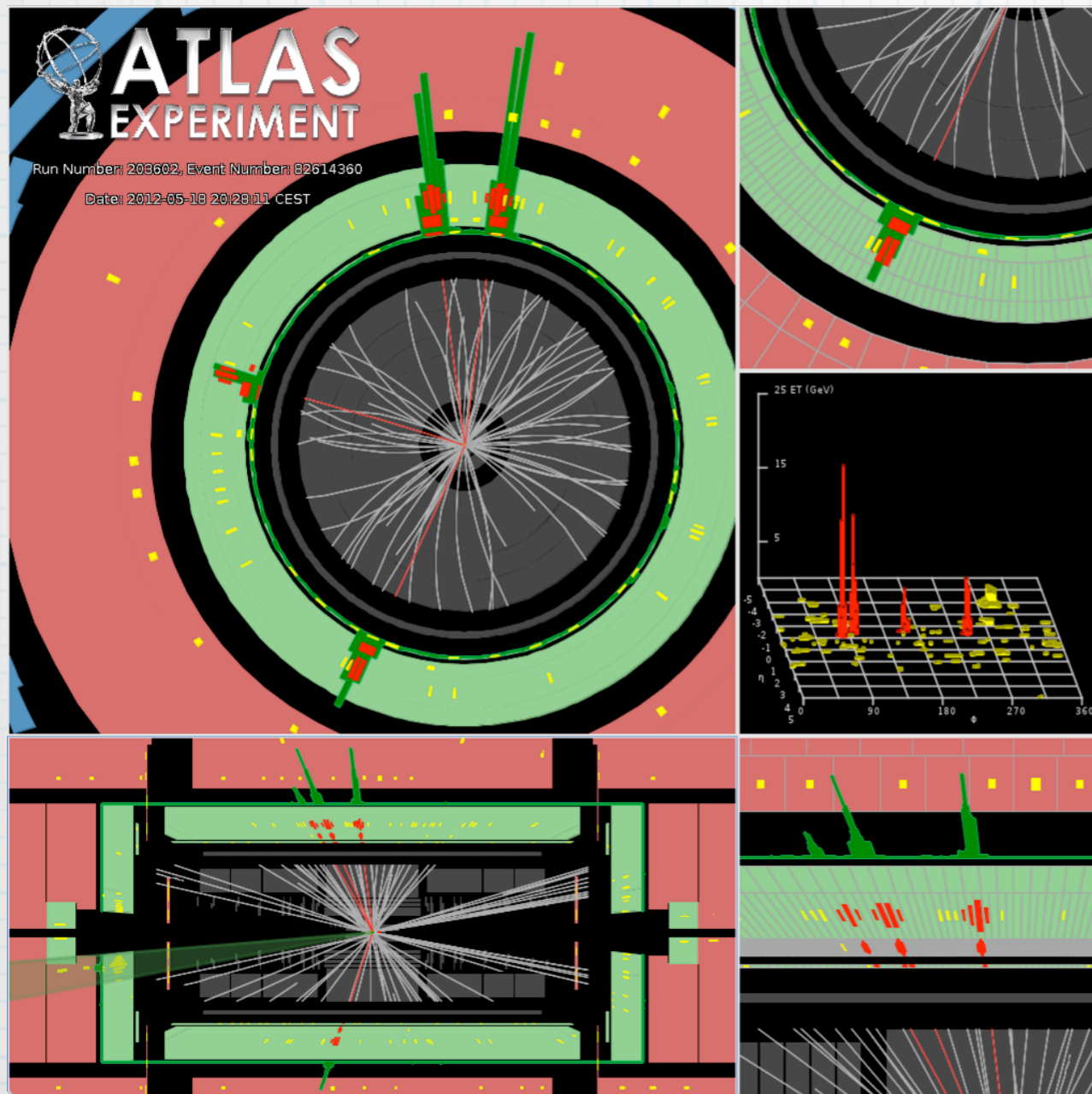


Video auf Folie 85: "Proton Collision Event with 4 muons (actual event + animation)"

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/4-muon-event.html>

# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren - ATLAS: Ergebnisse ums Higgs

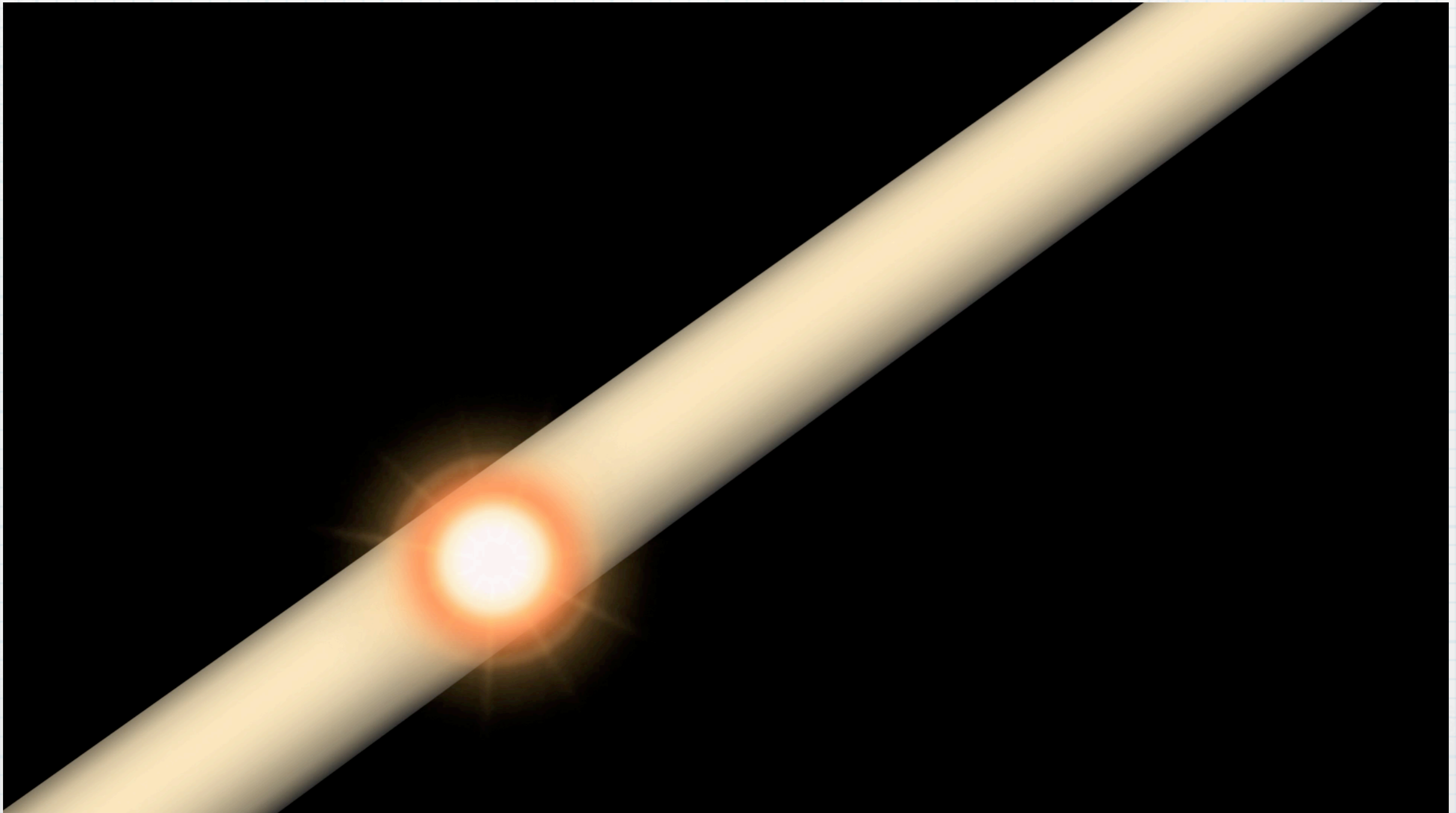


Video auf Folie 86: "Proton Collision Event with 4 muons (actual event + animation)"

Quelle: [Animated GIF](#)

# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren - ATLAS: Ergebnisse ums Higgs

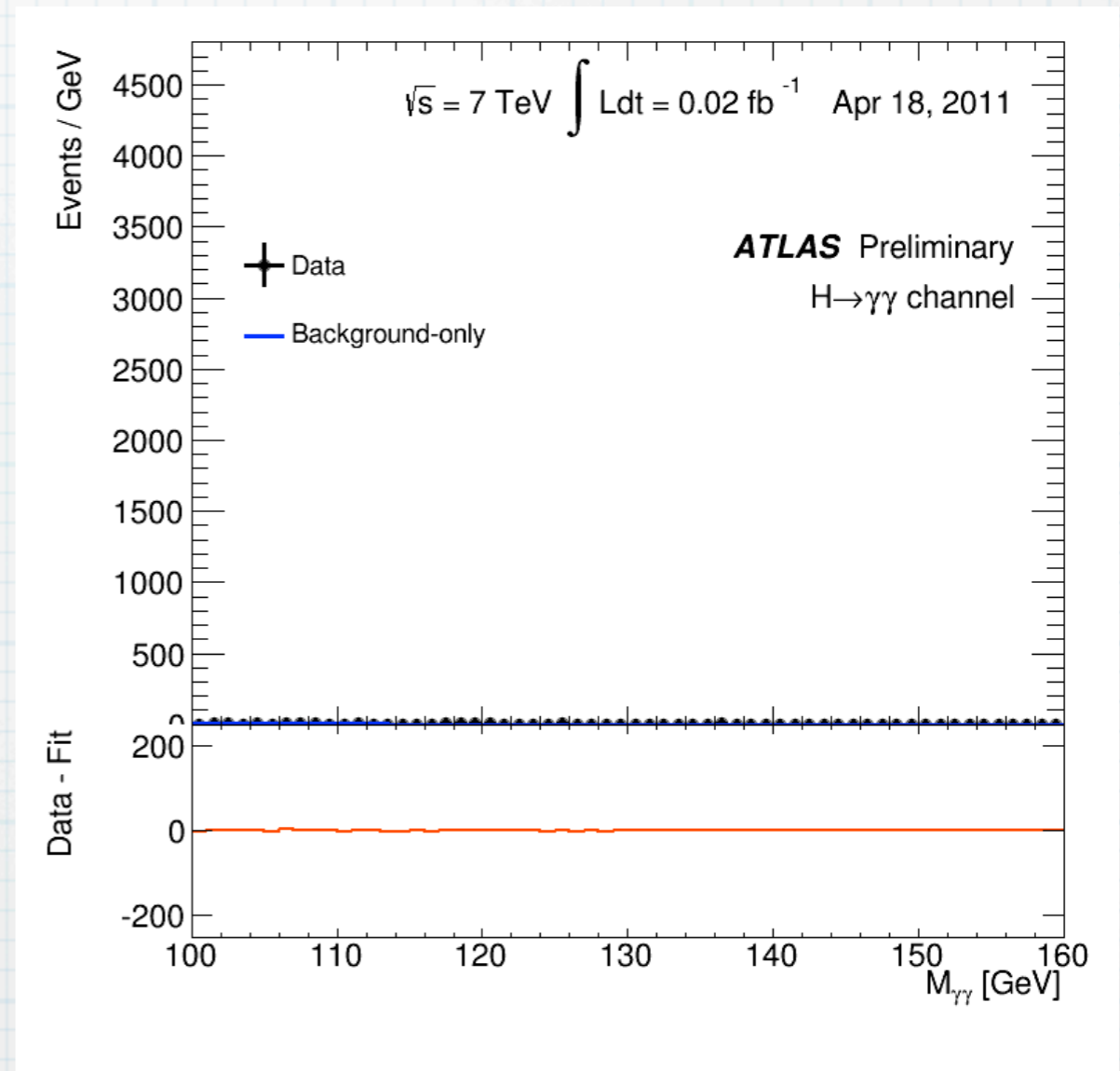
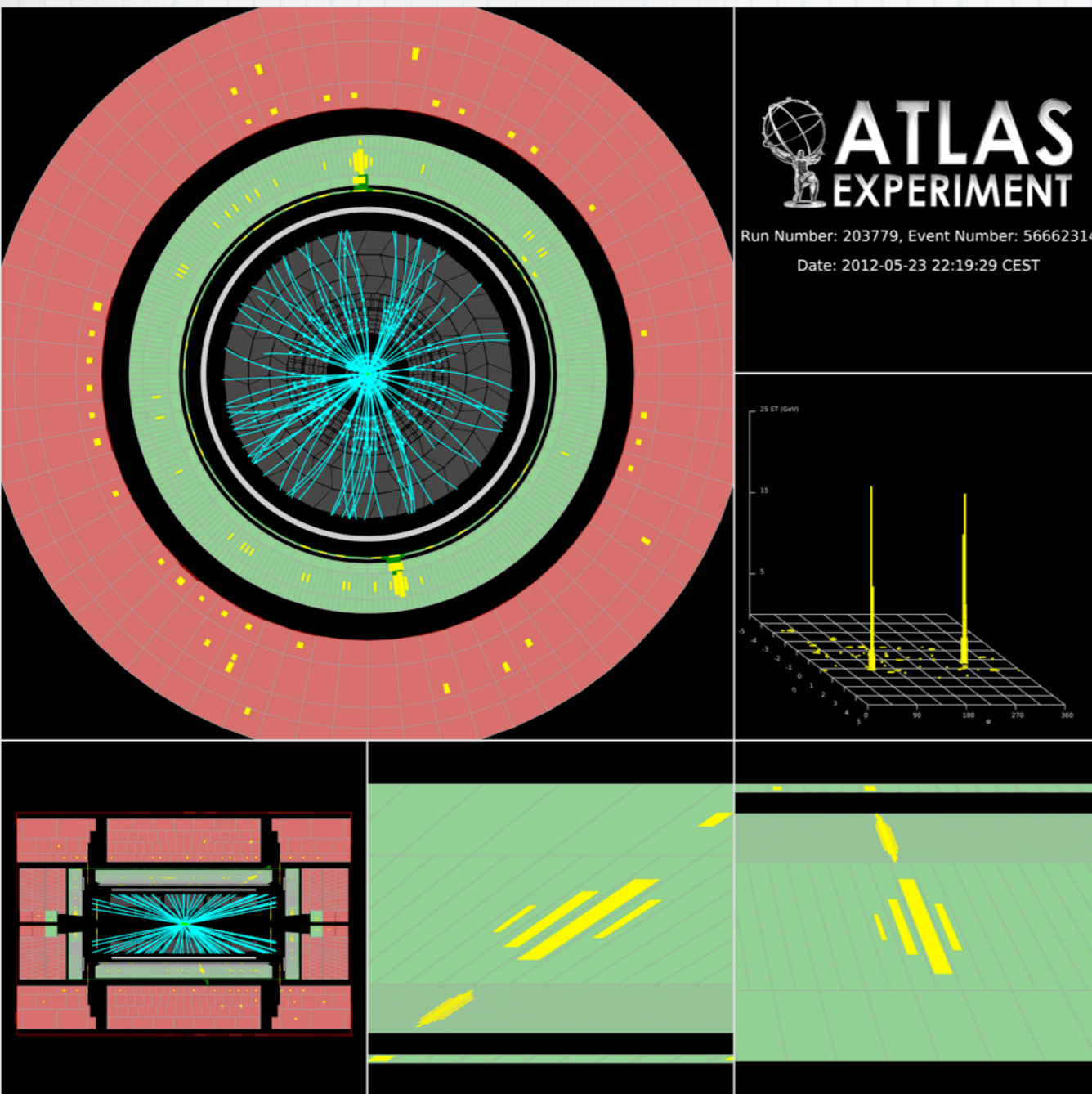


Video auf Folie 87: "Proton Collision Event with 2 photons (actual event + animation)"

Quelle: <http://www.atlas.ch/multimedia/2-electron-2-muon-event.html>

# 6. Detektorkonzepte

## I. Vielzweckdetektoren - ATLAS: Ergebnisse



Video auf Folie 88: "Proton Collision Event with 4 muons (actual event + animation)"

Quelle: [Animated GIF](#)



# Vielen Dank!

---

Jugendlichenworkshop NTW, 21.11.2013

Konrad Jende (PH-EDU-TV), +41-22-76 73247, [konrad.jende@cern.ch](mailto:konrad.jende@cern.ch)

# L. Literatur

## Webseiten

J. BERINGER et al. (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) and 2013 partial update for the 2014 edition (URL: <http://pdg.lbl.gov>)

<http://www.atlas.ch>

<http://www.ams02.org>

# L. Literatur

- (1) I. BROCK, T. SCHÖRNER-SADENIUS: *Physics at the Terascale*. WILEY-VCH, Bonn, Hamburg: 2010.
- (2) C.F. POWELL, P.H. FOWLER, D.H. PERKINS: *The Study of ElementaryParticles by the Photographic Method*. Pergamon Press, Bristol: 1959. CERN: 539.1.073 POW.
- (3) ...