

Moderne Experimentalphysik II

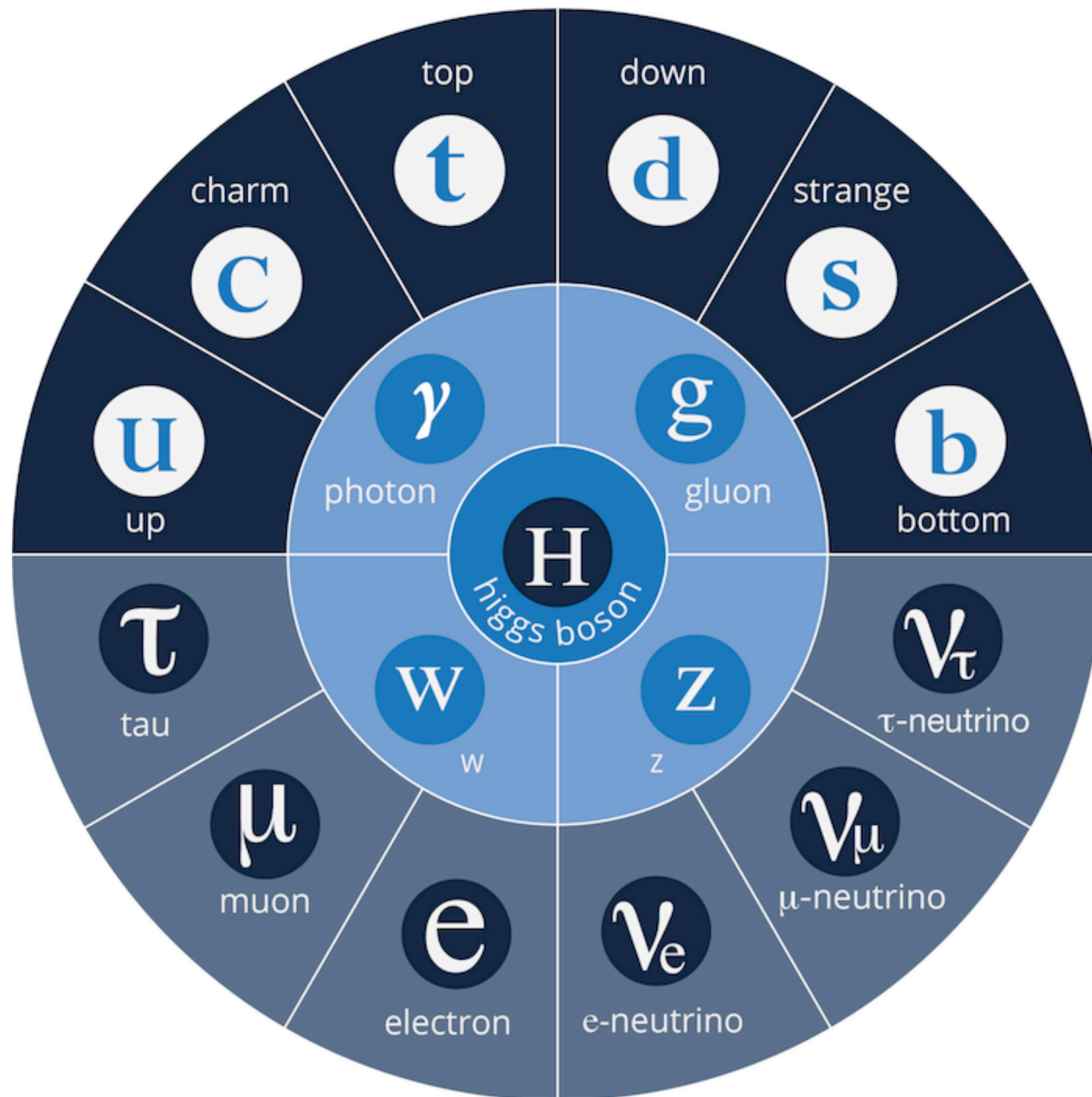
Teilchenphysik - Vorlesung 15

Prof. Dr. Markus KLUTE (markus.klute@kit.edu)
Institut für Experimentelle Teilchenphysik (ETP)



■ 7. Zusammenfassung und Ausblick

- 7.1 Zusammenfassung
- 7.2 Offene Fragen und Grenzen des Standardmodels
- 7.3 Weitere Vorlesungen
- 7.4 Bachelor im ETP und darüber hinaus



Zusammenfassung

				Thema Vorlesung
KW 50	Dienstag	2023-12-12		
	Donnerstag	2023-12-14	VL1	Einführung
KW 51	Dienstag	2023-12-21	VL2	Experimentelle Methoden
	Donnerstag	2023-12-23	VL3	Experimentelle Methoden
KW 52	Dienstag	2023-12-26	Weihnachtsferien	
	Donnerstag	2023-12-28		
KW 1	Dienstag	2024-01-02	Weihnachtsferien	
	Donnerstag	2024-01-04		
KW 2	Dienstag	2024-01-09	VL4	Experimentelle Methoden
	Donnerstag	2024-01-11	VL5	Experimentelle Methoden
KW 3	Dienstag	2024-01-16	VL6	Struktur der Materie
	Donnerstag	2024-01-18	VL7	Struktur der Materie
KW 4	Dienstag	2024-01-23	VL8	Symmetrien und Erhaltungssätze
	Donnerstag	2024-01-25	VL9	Symmetrien und Erhaltungssätze
KW 5	Dienstag	2024-01-30	VL10	Wechselwirkungen
	Donnerstag	2024-02-01	VL11	Wechselwirkungen
KW 6	Dienstag	2024-02-06	VL12	Wechselwirkungen
	Donnerstag	2024-02-08	VL13	Wechselwirkungen
KW 7	Dienstag	2024-02-13	VL14	Neutrino- und Astroteilchenphysik
	Donnerstag	2024-02-15	VL15	Zusammenfassung und Ausblick

Größe	Teilchenphysik	SI - Einheit
Länge	1 fm (1 Fermi = 1 femto-m)	10^{-15} m
Energie	1 GeV = 10^9 eV	$1,602 \cdot 10^{-10}$ J
Masse = E / c^2	1 GeV / c^2	$1,78 \cdot 10^{-27}$ kg
$\hbar = h / 2 \pi$	$6,588 \cdot 10^{-25}$ GeV s	$1,055 \cdot 10^{-34}$ J s
c	$2,998 \cdot 10^{23}$ fm s ⁻¹	$2,998 \cdot 10^8$ m s ⁻¹
$\hbar \cdot c$	0,1975 GeV fm	$3,162 \cdot 10^{-26}$ J m

$\hbar$: reduziertes Planck'sches Wirkungsquantum, seit 2019 numerisch fixierte Größe

natürliche Einheiten $\hbar = c = k_B = 1$

Länge in inverser Energie*	0,1975 fm = 1 GeV ⁻¹
Zeit in inverser Energie**	$6,582 \cdot 10^{-25}$ s = 1 GeV ⁻¹
Temperatur in Energie***	$11,604 \cdot 10^{12}$ K = 1 GeV

- nun $\hbar c = 1$ (dimensionslos) und $k_B = 1$ (dimensionslos)

Angabe von **Längen L** und **Zeiten t** in inversen Energieeinheiten (**GeV⁻¹**)

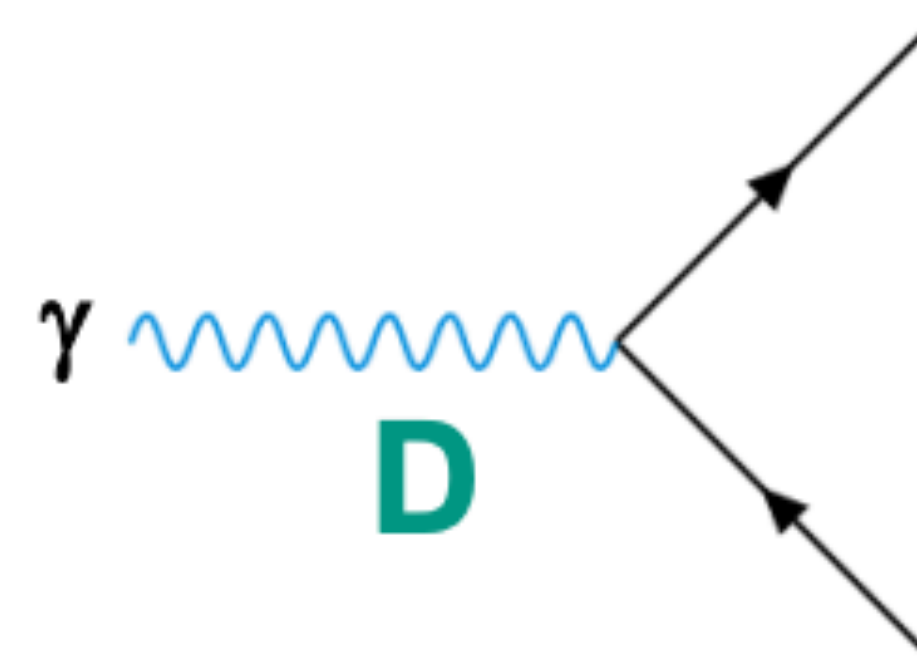
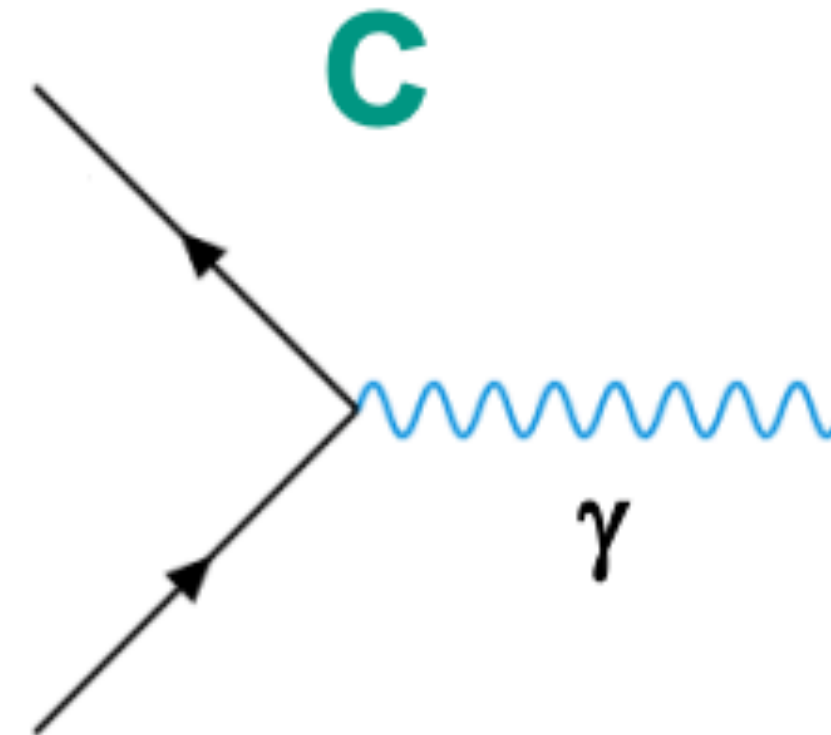
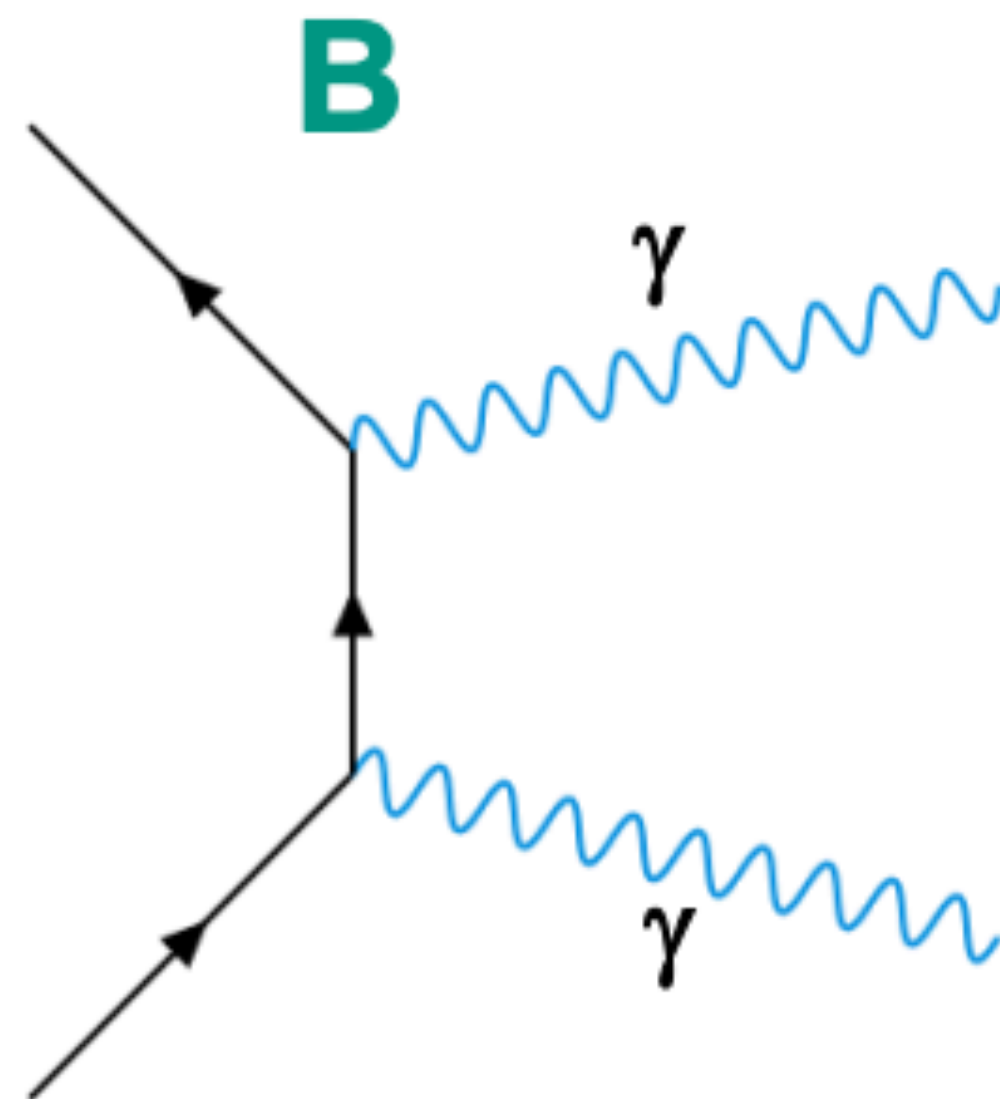
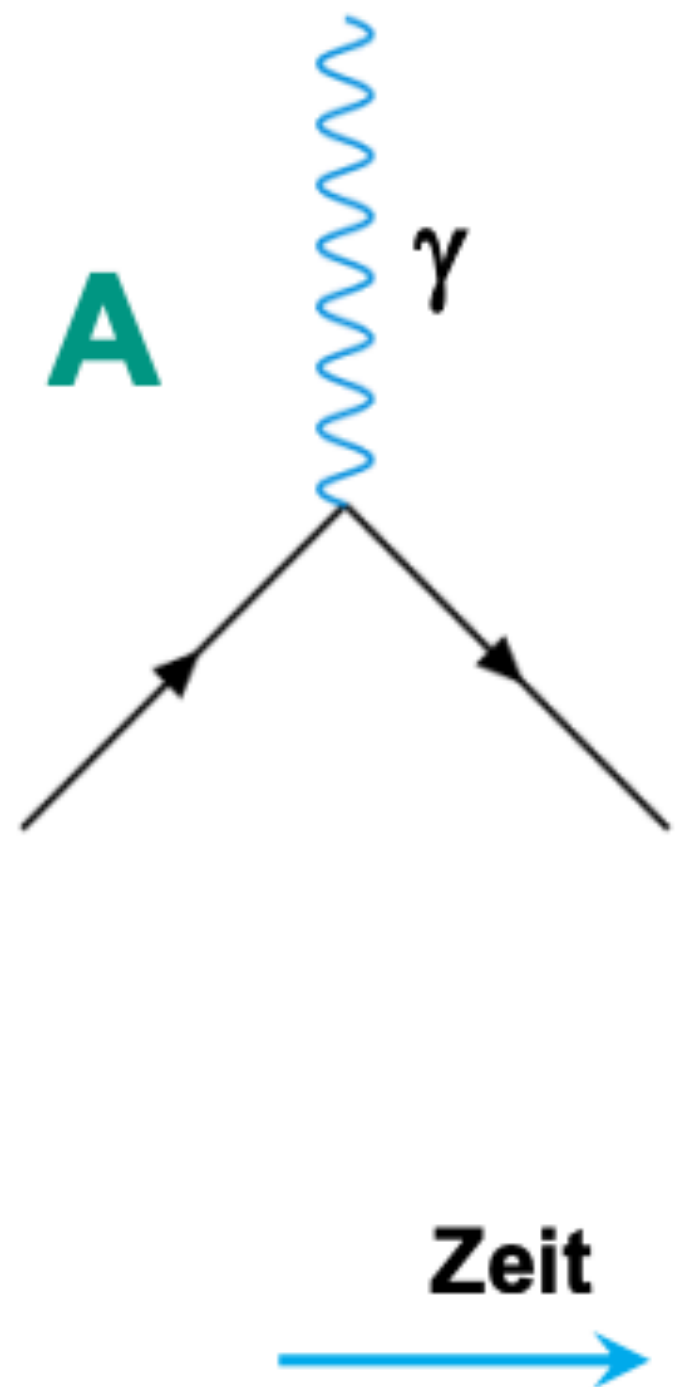
Angabe von **Temperatur T** in Energieeinheiten (**GeV**)

* $\hbar c = 0,1975$ GeV fm ** $\hbar = 6,588 \cdot 10^{-25}$ GeV s *** $k_B = 8,617 \cdot 10^{-5}$ eV/K

Feynman-Diagramme

■ Streuprozess

■ Frage: Welche Feynman-Diagramme stehen für die Vernichtung eines Elektron-Positron-Paares?



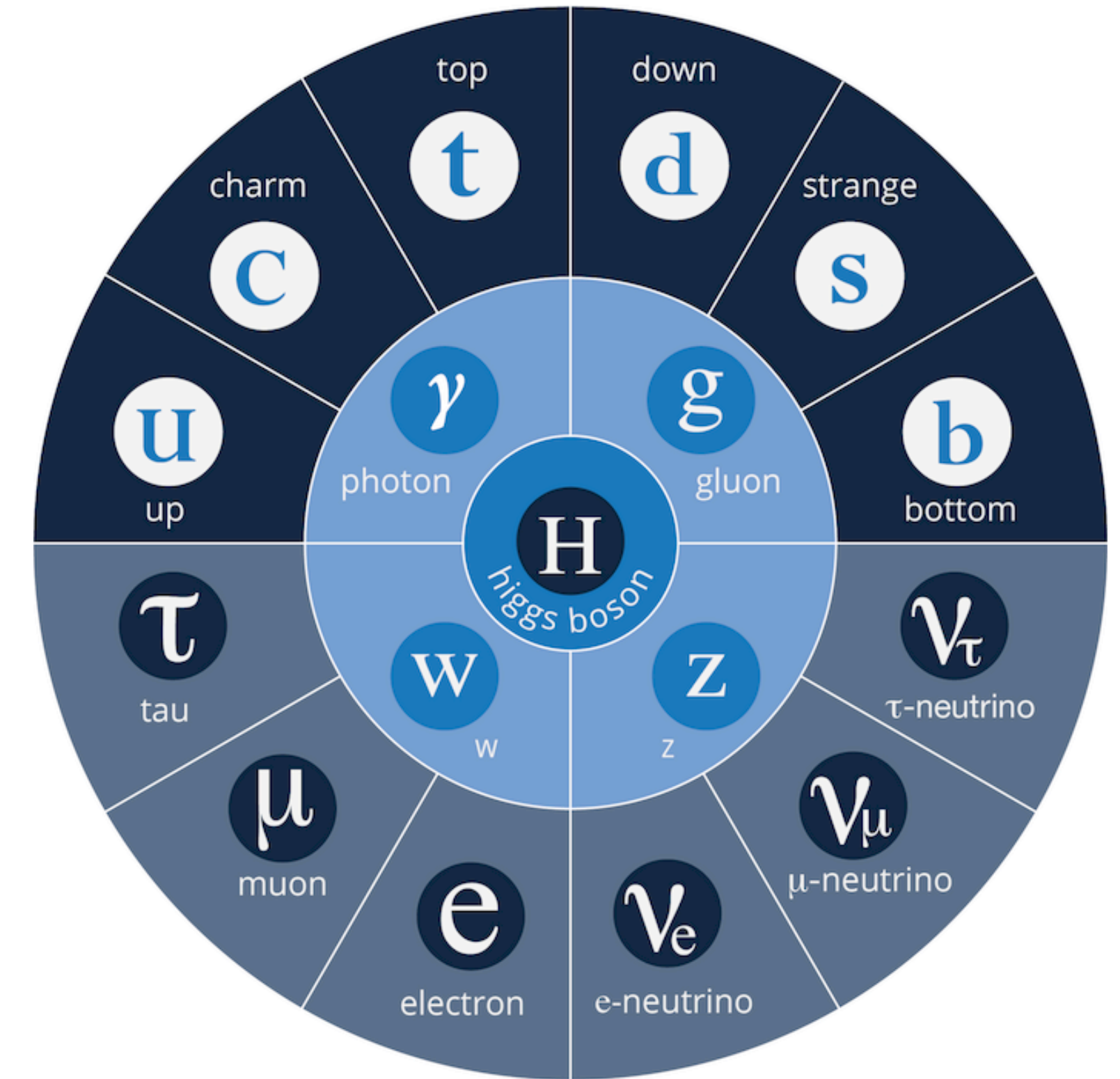
SHELDON COOPER
presents
FUN WITH ~~FLAGS~~
a Feynman
diagram



Recap: **SM**, Einheiten, rel. Kinematik, Feynman Diagramme

■ Standardmodell nachgefragt?

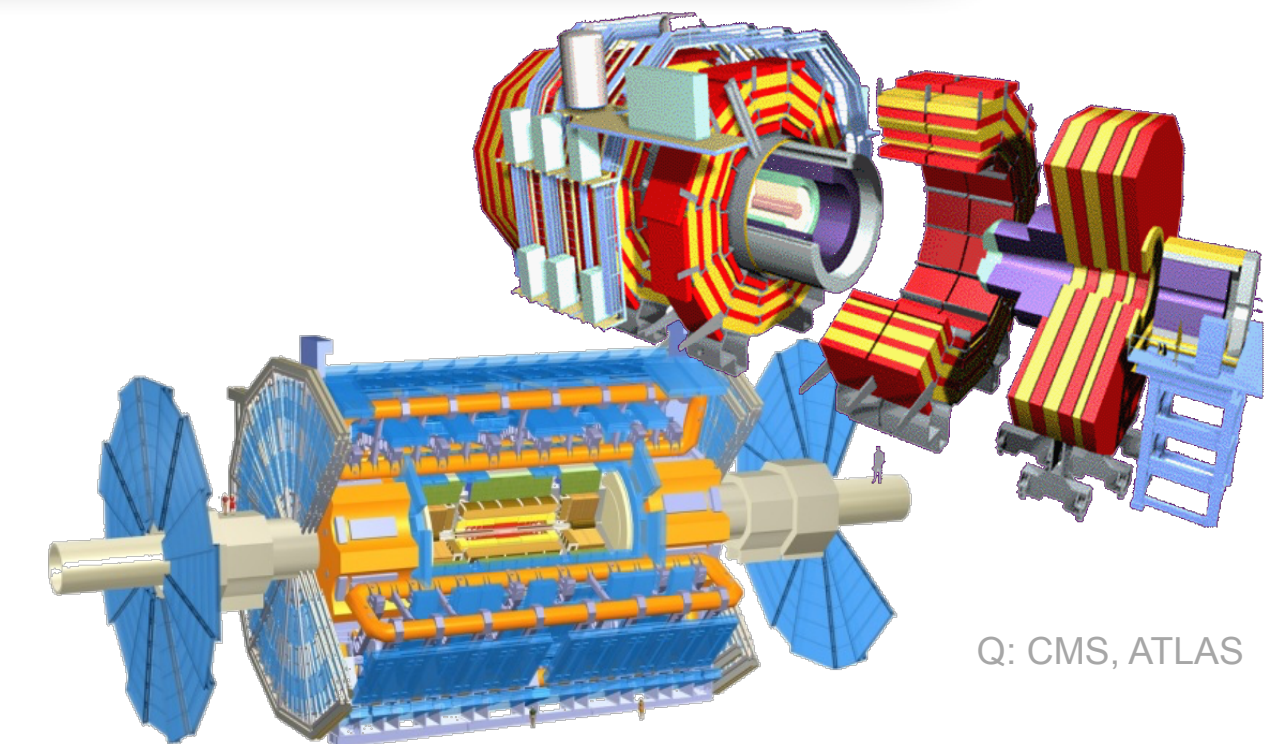
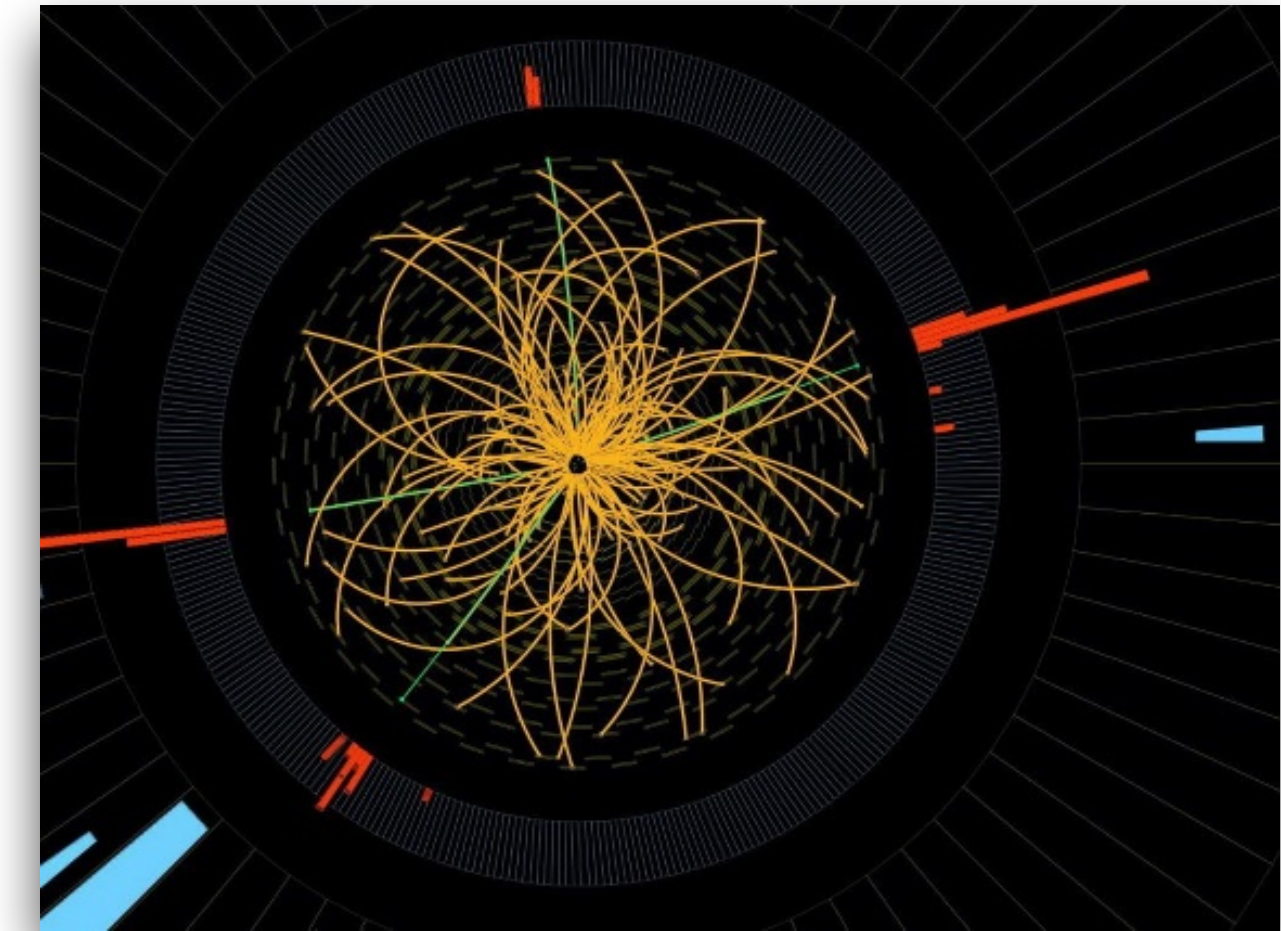
- Die Elementarladung e ist die kleinste Einheit der Ladung
- Die Masse der Austauschteilchen beeinflusst die Stärke der Wechselwirkung
- Es gibt kein Teilchen, welches an allen Wechselwirkungen des SM teilnimmt
- Die Masse eines Teilchens lässt sich sehr gut aus der Higgs-Masse berechnen



VL02

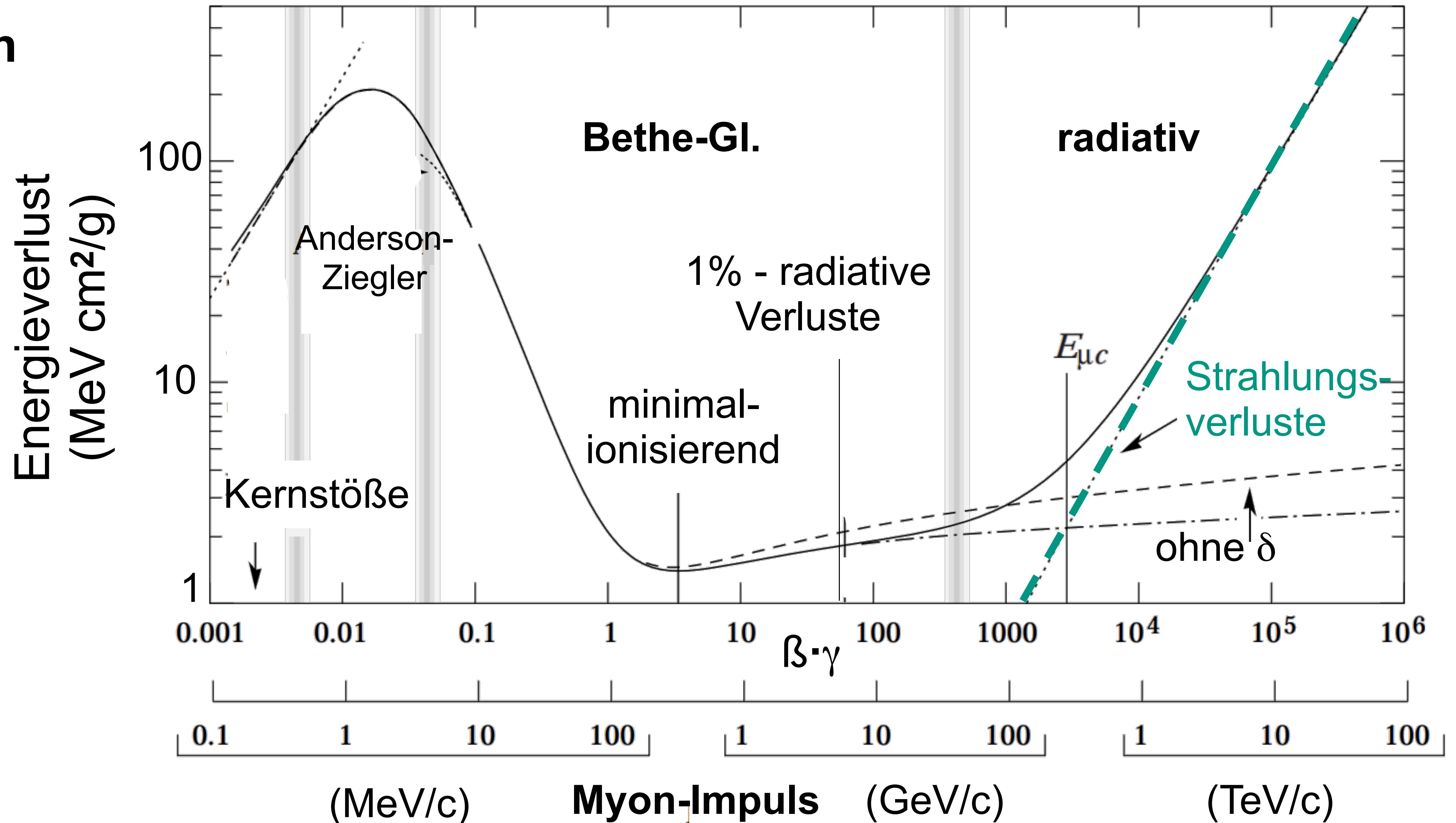
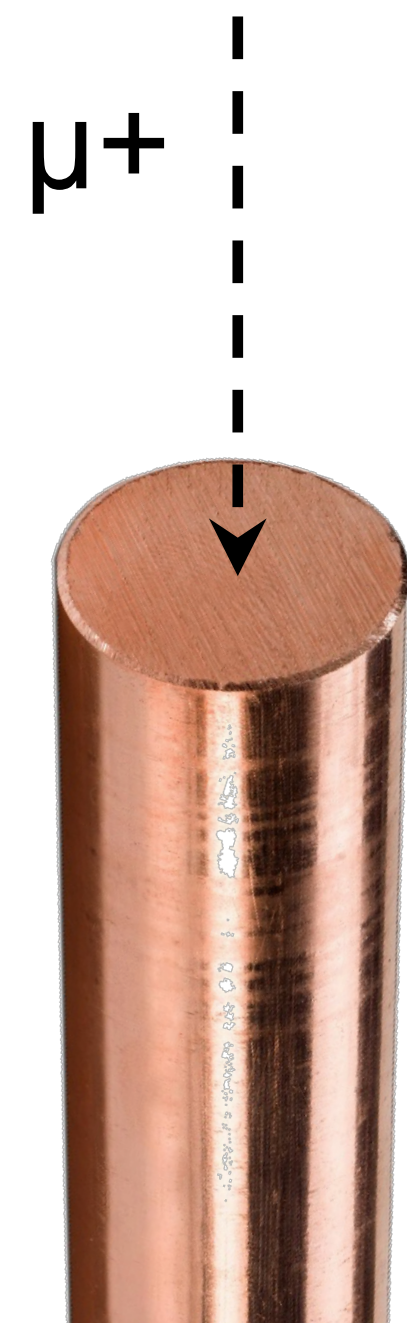
Nachweis von Teilchen in Detektoren

- Teilchenidentifikation (e , μ , γ , p , n , π , ...)
 - Masse, Ladung
 - Teilchenimpuls (Größe, Richtung, ...)
 - Spur in B-Feld
 - Teilchenenergie
 - Nachweis von Energiedepositionen
- ↓
- Komplexe Detectorsysteme



Energieverlust geladener Teilchen: Überblick

■ dE/dX von Myonen in Cu



Q: nach PDG

Energieverlust von Elektronen

■ Bremsstrahlung

$$\left(\frac{dE}{dx}\right)_{e^-, e^+} = \left(\frac{dE}{dx}\right)_{ionis.} + \left(\frac{dE}{dx}\right)_{brems}$$

■ Strahlungslänge

$$\left(\frac{dE}{dX}\right)_{brems} = \frac{4 \cdot \alpha^3 \cdot N_0}{m^2} \cdot \frac{Z^2}{A} \cdot \ln\left(\frac{183}{Z^{1/3}}\right) \cdot E = \frac{1}{X_0} \cdot E$$

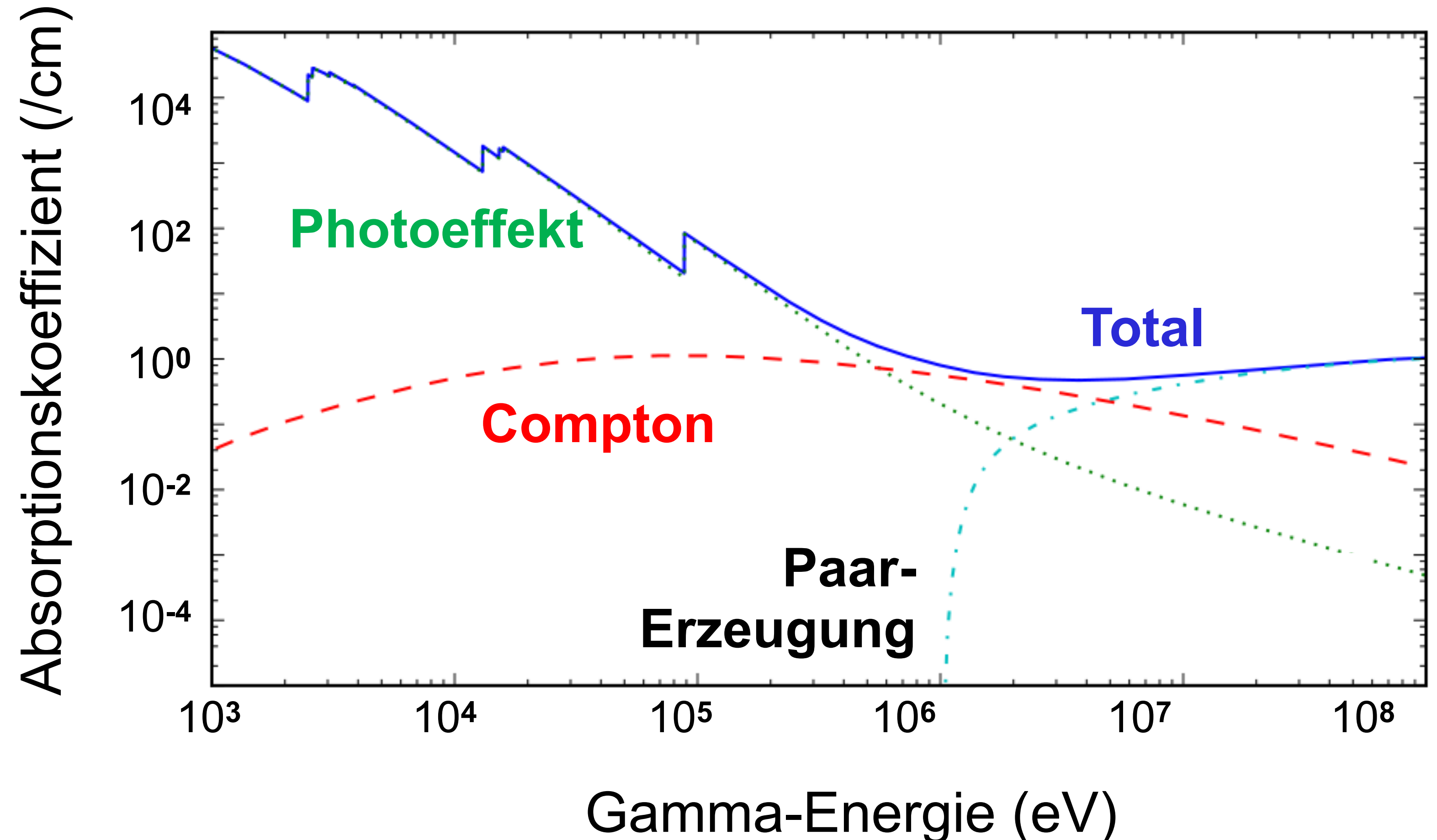
■ Wie ist die kritische Energie definiert?

- A) minimale Ionisationsenergie
- B) Energieverlust durch Ionisation = Bremsstrahlung
- C) Energieverlust von Elektronen = Positronen
- D) keine Ahnung



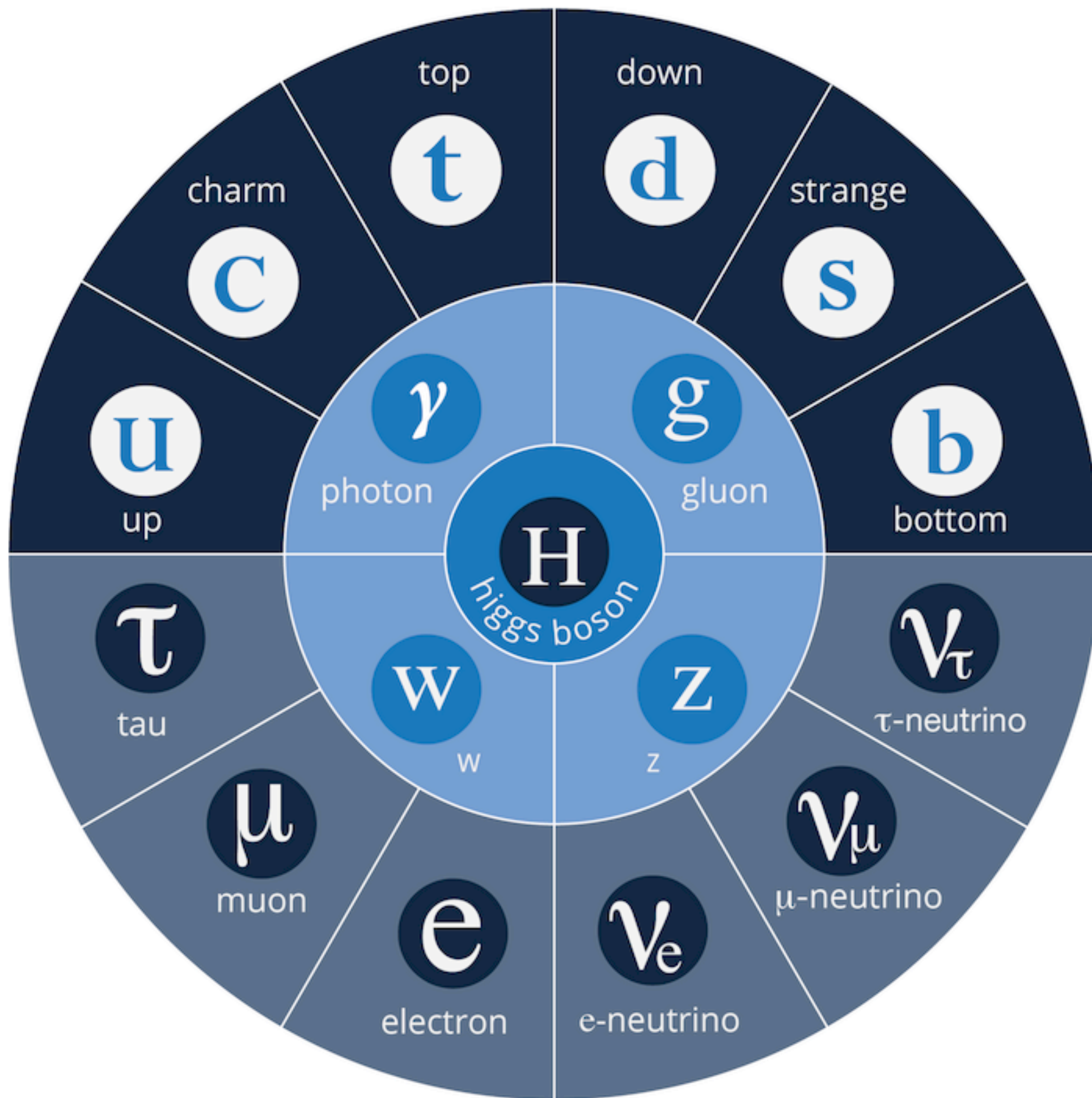
■ Energieabhängige Wirkungsquerschnitte von Gammas: 1 keV...100 MeV

- **Energien < 0.1 MeV**
Photoeffekt
hohe γ -Abschwächung
- **Energien ~ 1 MeV**
Comptoneffekt
kleine γ -Abschwächung
- **Energien > 10 MeV**
Paarbildung
kleine γ -Abschwächung



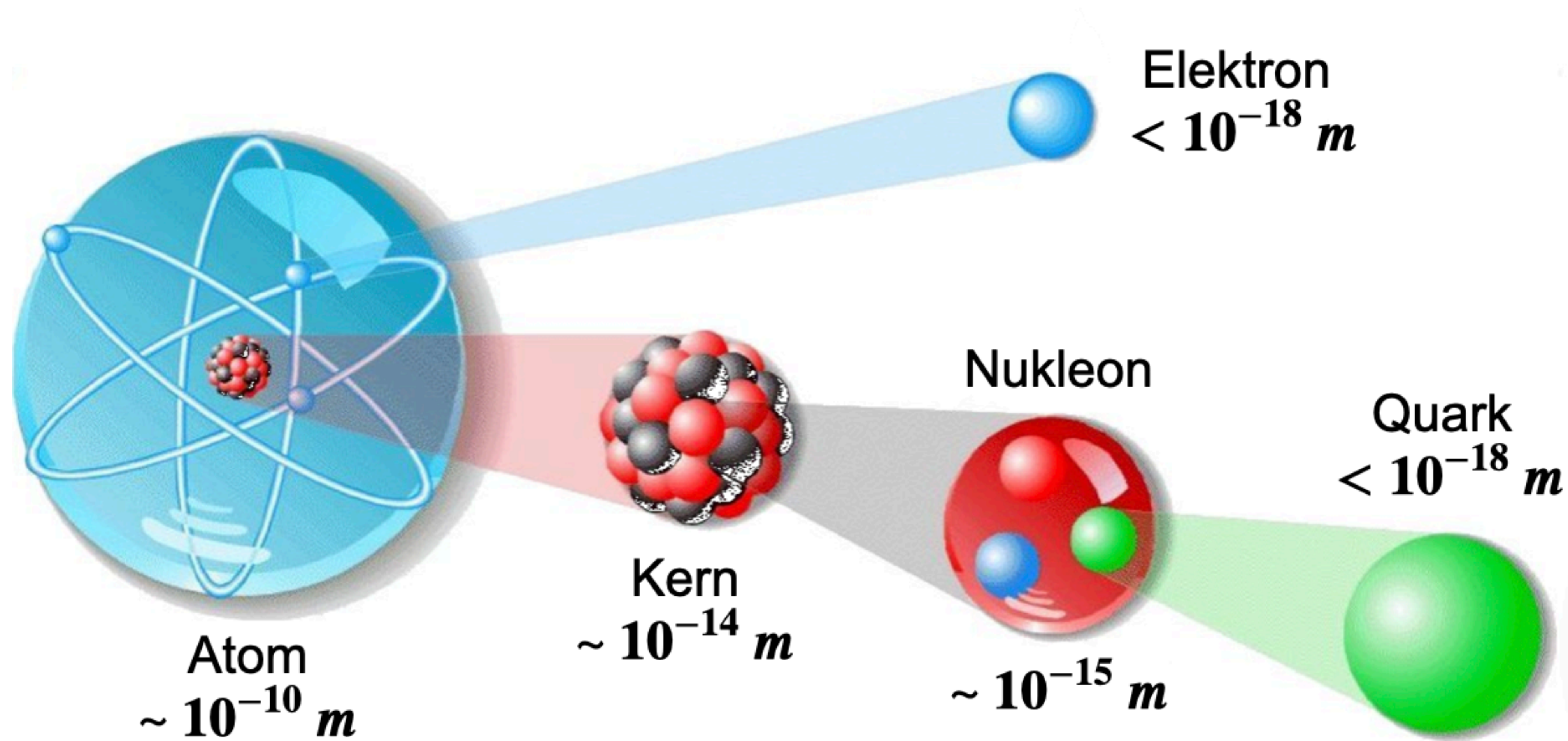
- **Wie kann man ein hochenergetisches neutrales pion nachweisen?**
 - 1) mit einem Spurdetektor
 - 2) mit einem elektromagnetischen Kalorimeter
 - 3) mit einem hadronischen Kalorimeter



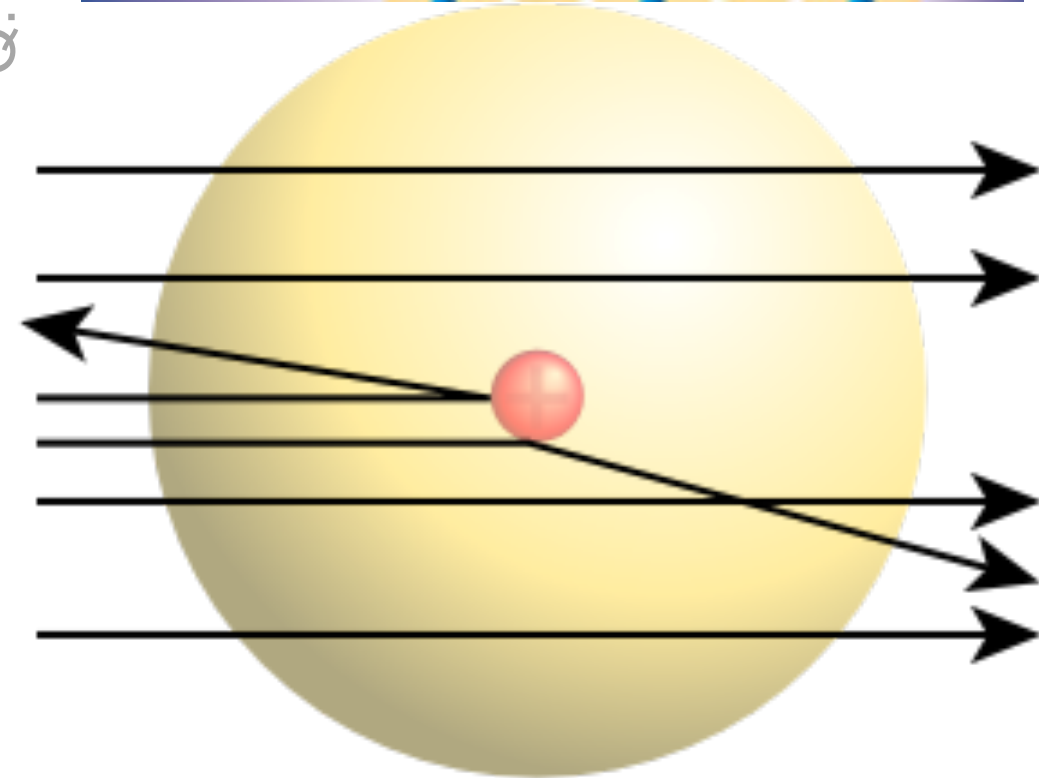
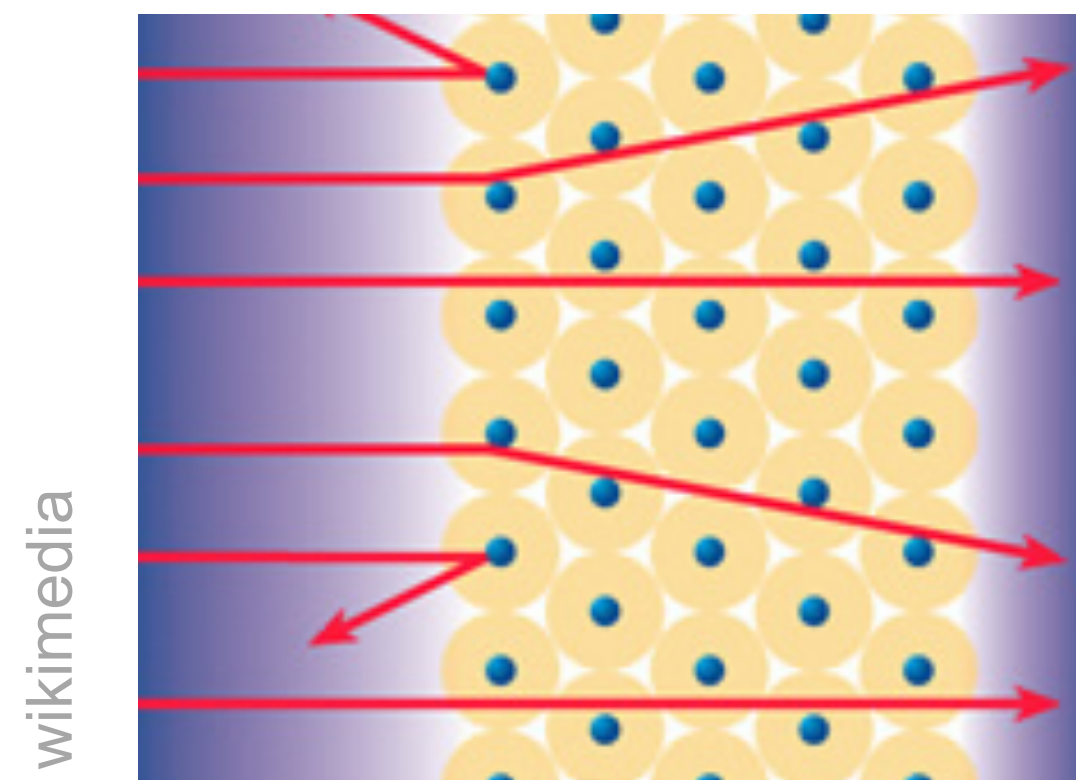


■ 2. Experimentelle Methoden

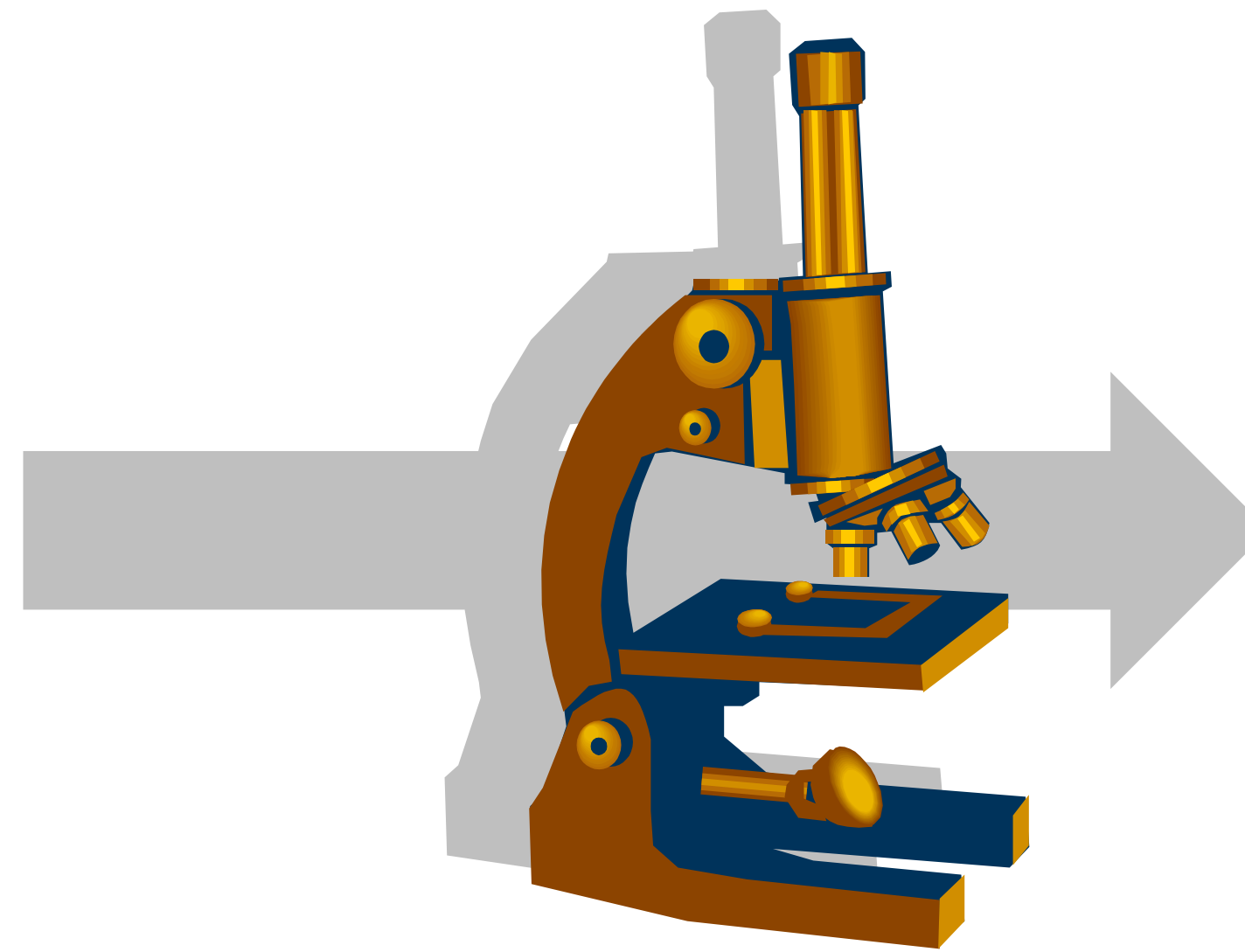
- 2.1. Energieverlust geladener Teilchen
- 2.2. Energieverlust von Elektronen
- 2.3. Cherenkov- und Übergangsstrahlung
- 2.4. Wechselwirkung von Strahlung mit Materie
- 2.5. Hadronische Wechselwirkungen
- 2.6. Nachweistechniken
- 2.7. Detektorsysteme in der Teilchenphysik
- 2.8. Teilchenbeschleuniger



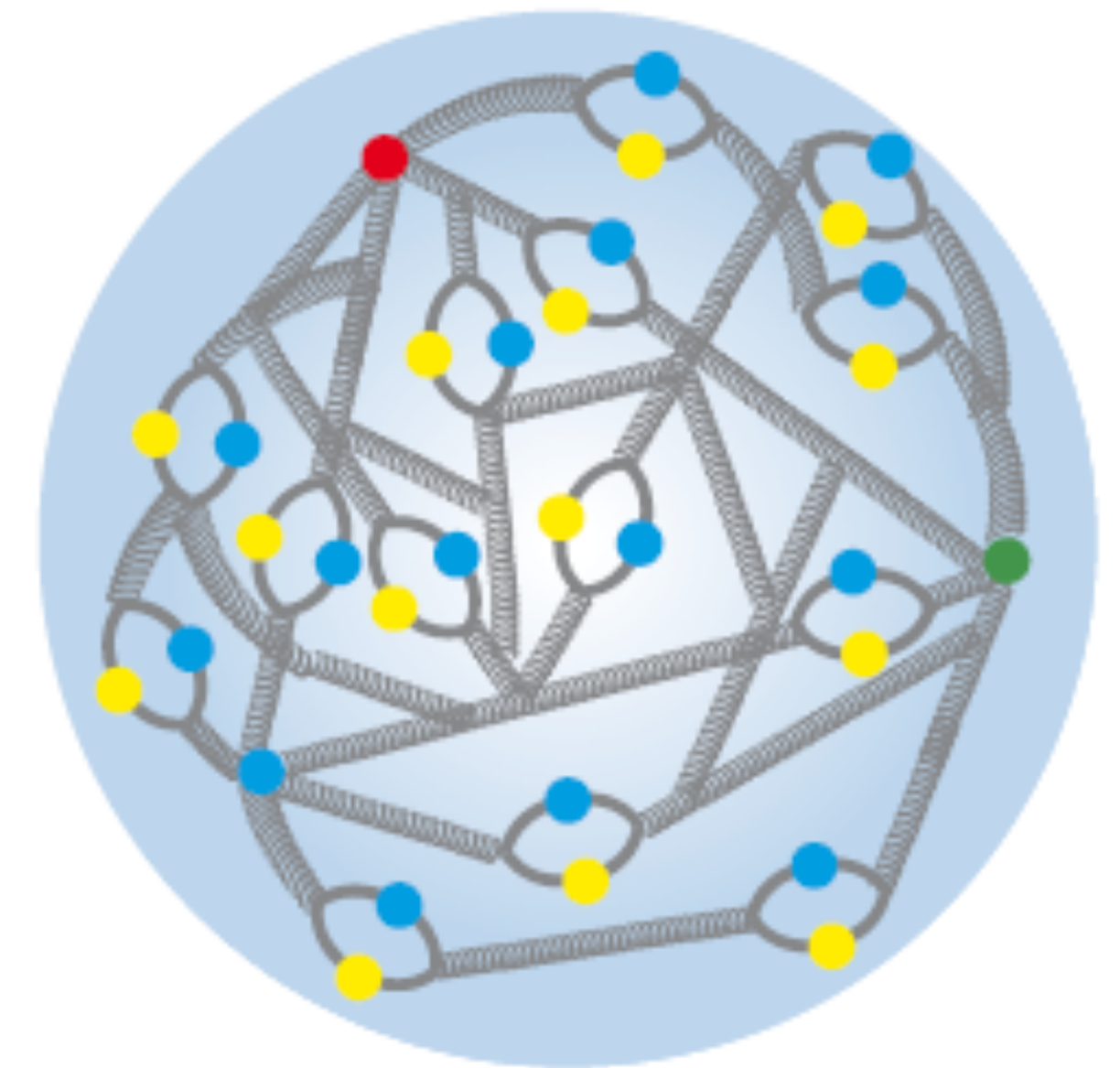
- **Streuexperimente: Messungen bei immer höherer Energie**
 - moderne **Beschleuniger** mit immer höherer Energie & besserer Auflösung



punktförmiger Kern



$$0,197 \text{ fm} \\ = \\ 1 \text{ GeV}^{-1}$$

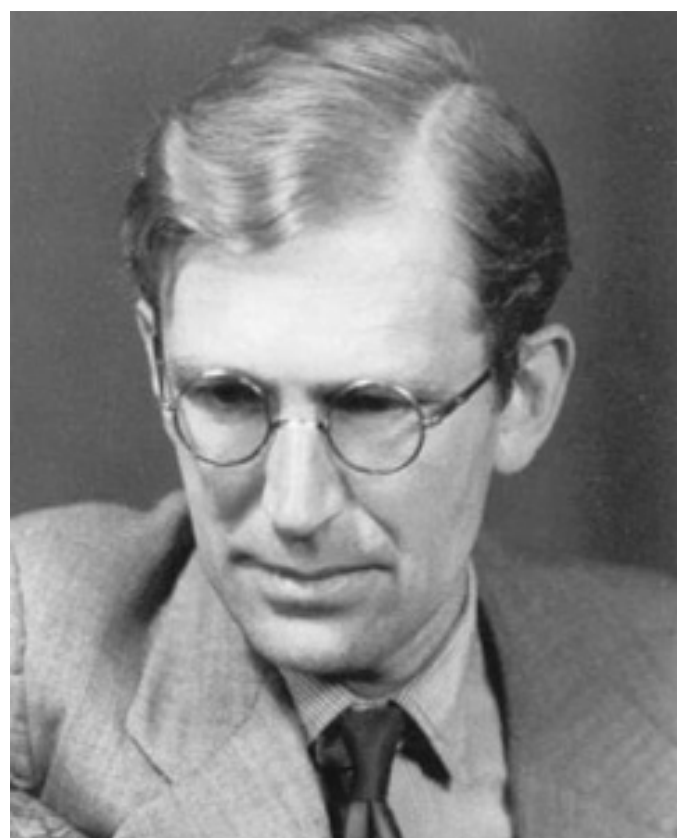


komplexes Nukleon bestehend
aus Partonen: **Valenzquarks**,
Seequarks, **Gluonen**

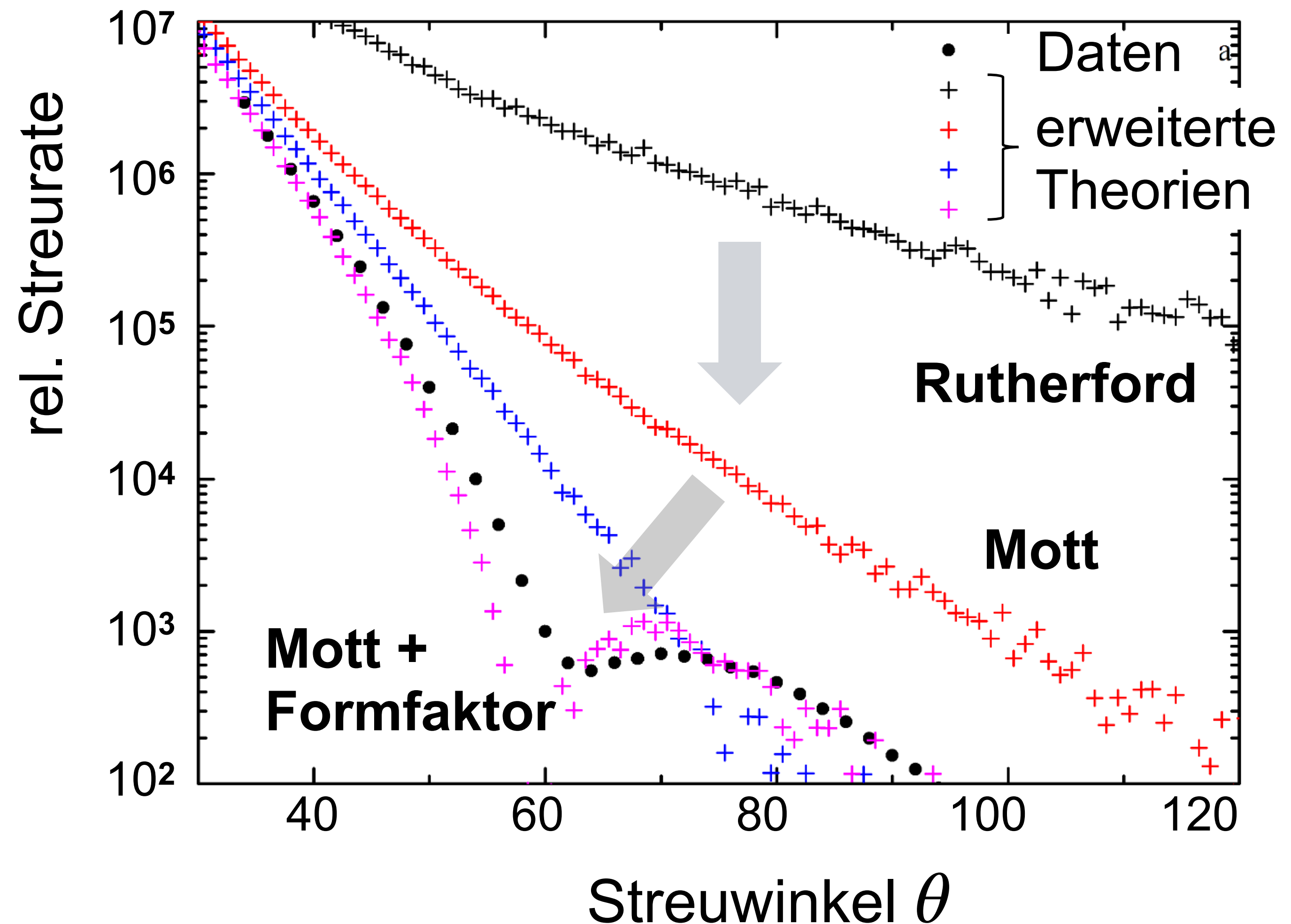
■ Berücksichtigung weiterer Effekte für $d\sigma/d\Omega$

$d\sigma/d\Omega$ gibt Aufschluss über:

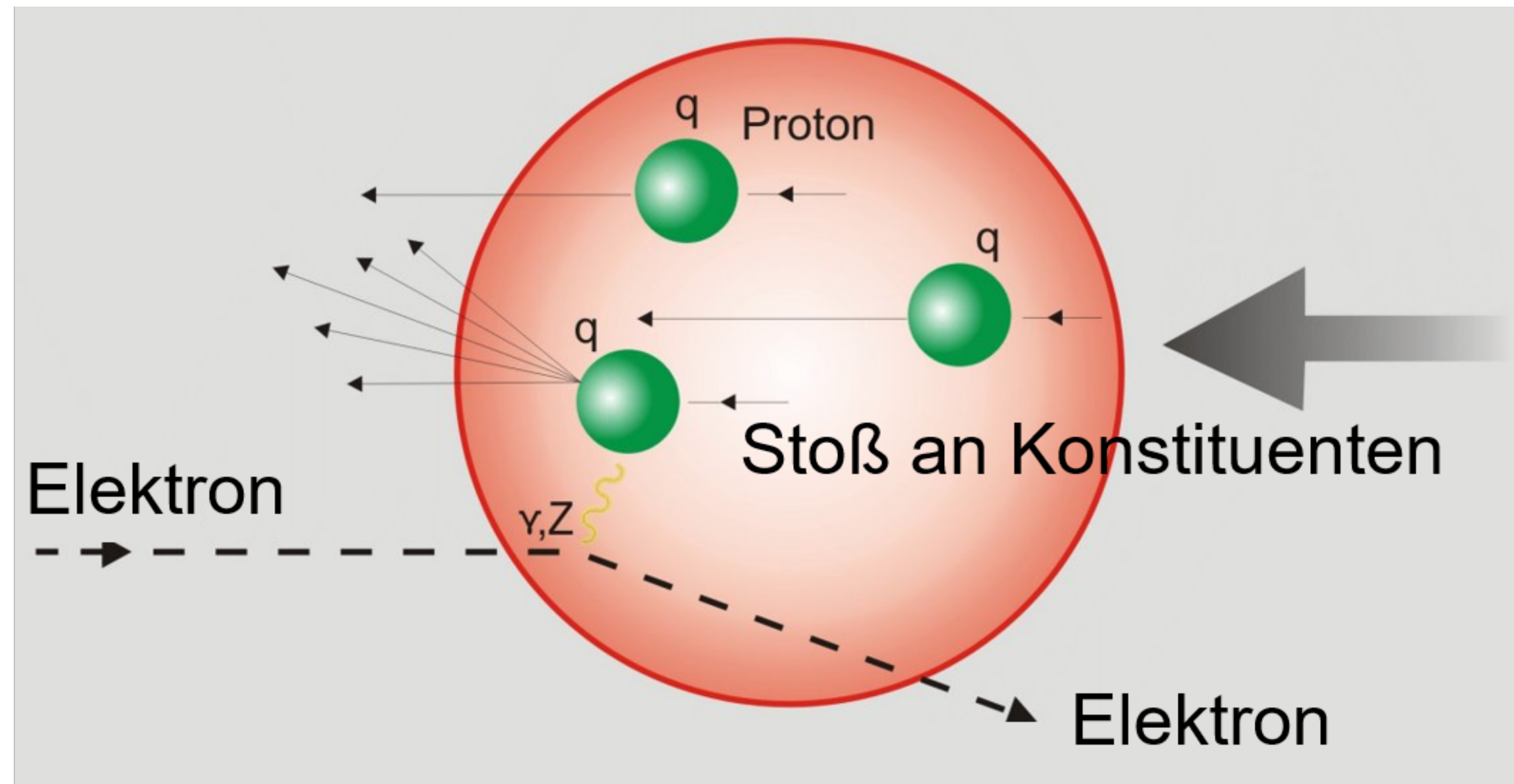
- **innere Struktur** des Targets
- **Struktur der Wechselwirkung**
Radialabhängigkeit
Spin-Abhängigkeit, ...



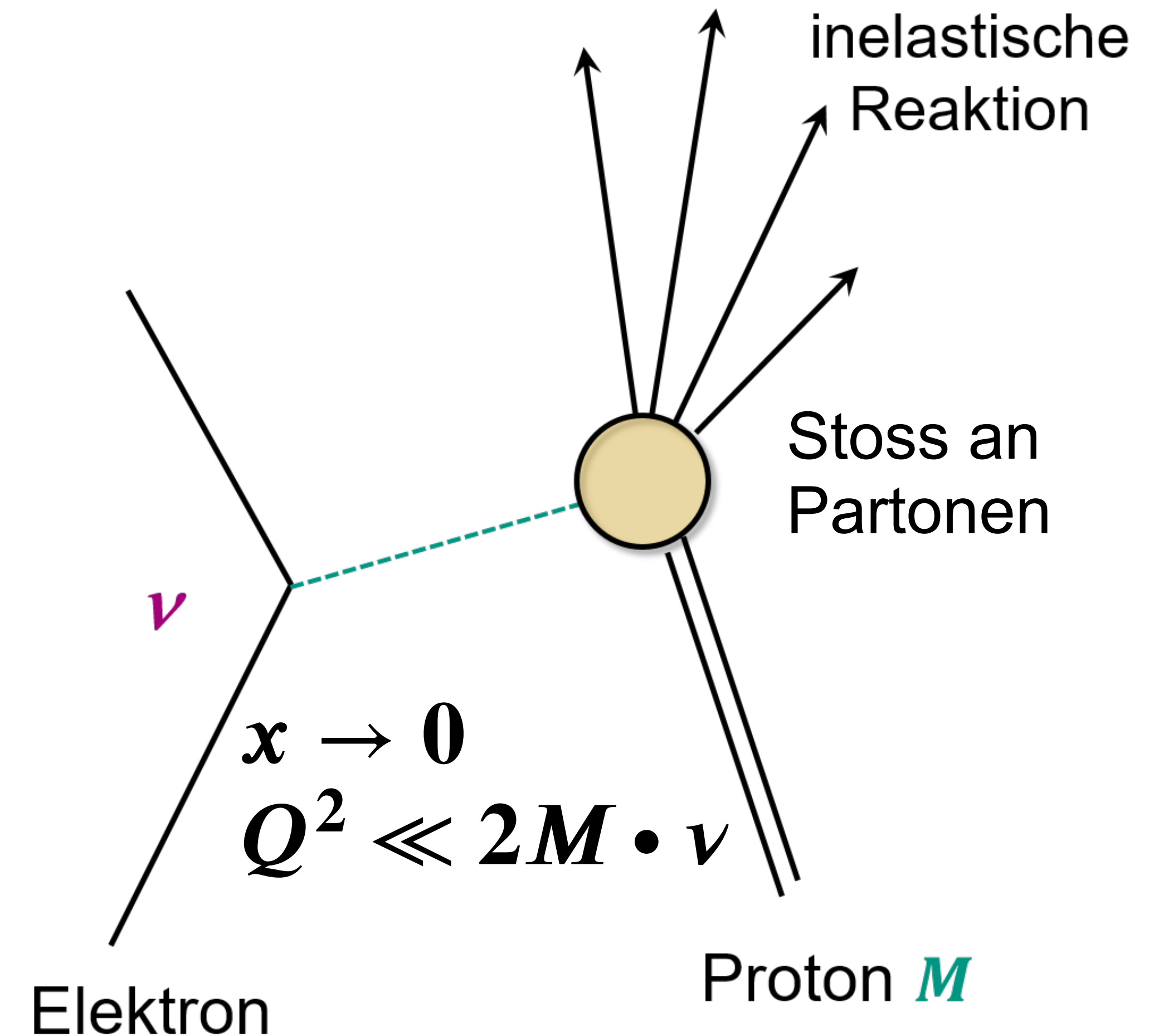
Nevill F. Mott



■ Streuprozess an **individuellem Parton** innerhalb des Nukleons



- konstanter Formfaktor $\Rightarrow$ Streuung an **punktförmigen Konstituenten** (**Partonen**)



Nachweis der Quarkflavours

■ Erzeugung der Quarkflavours an Collidern

- niedrige Energien:

2.4 MeV/c ² 2/3 1/2 u up	4.8 MeV/c ² -1/3 1/2 d down	104 MeV/c ² -1/3 1/2 s strange
---	--	---

leichte Quarks manifestieren sich in Mesonen, Baryonen

- mittlere Energien:

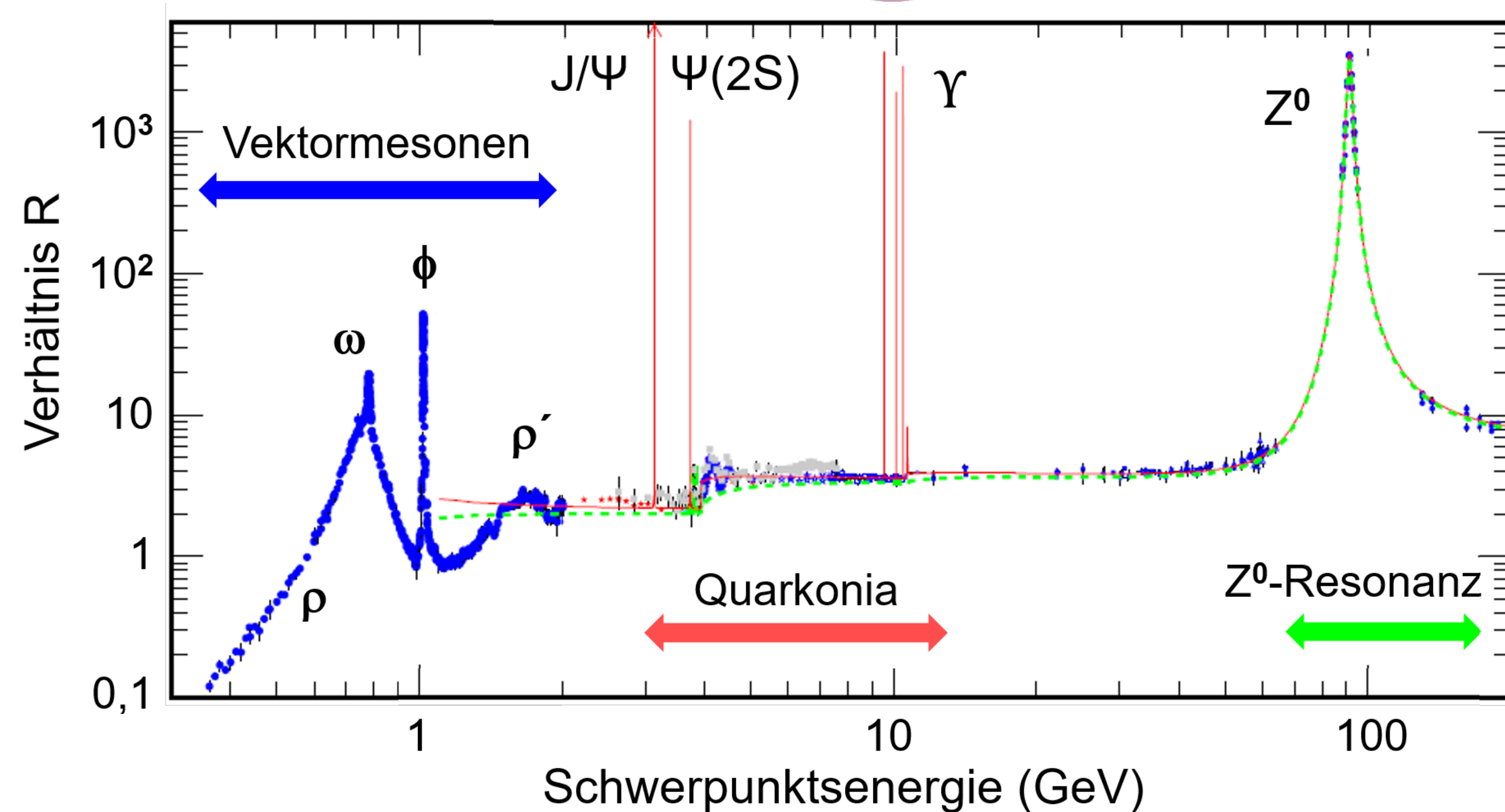
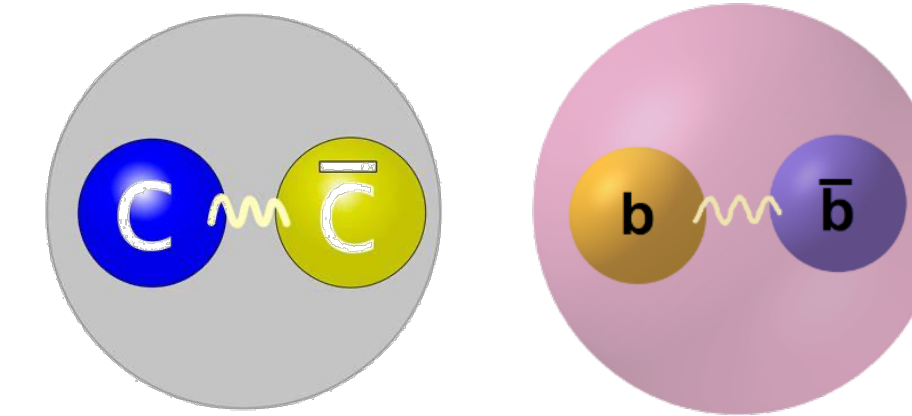
1.27 GeV/c ² 2/3 1/2 c charm	4.2 GeV/c ² -1/3 1/2 b bottom
---	--

Quarkonia J/ψ , Υ und Anregungen – gebundene Zustände

- hohe Energien:

171.2 GeV/c ² 2/3 1/2 t top
--

top/anti-top Produktion, keine gebundenen Zustände

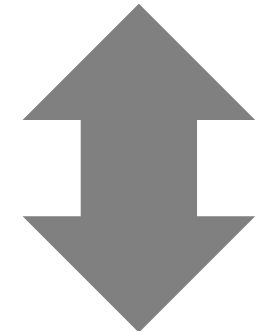
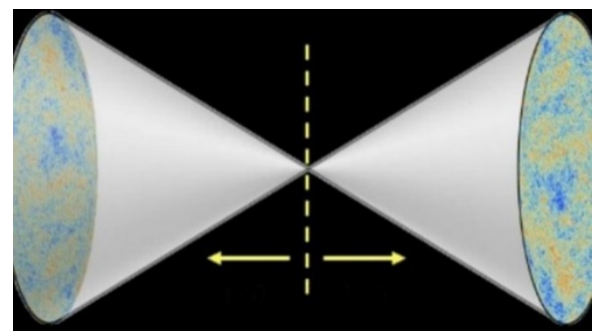


Diskrete Symmetrien P , C , und T in der Natur

- diskrete, nicht-kontinuierliche Symmetrien P , C , T

CPT –Theorem:

CPT die einzig mögliche Kombination von P , C , T die eine **exakte Symmetrie** in der Natur darstellt!



Spin-Statistik-Theorem:
Fermionen & Bosonen



W. Pauli



Arbeiten von Lee und Yang: Paritätsverletzung?!

- 1956: Lee & Yang schlagen experimentelle Tests vor*, um zu untersuchen, ob die **Parität P durch die schwache Wechselwirkung verletzt wird**
 - setzen experimentelle Teams auf die Spur der Paritätsverletzung



李政道

杨振宁

Tsung-Dao Lee Chen Ning Yang



*"for their penetrating investigation of the so-called **parity laws** which has led to **important discoveries** regarding the elementary particles"*

C.S. Wu
L. Lederman



[Question of Parity Conservation in Weak Interactions \(aps.org\)](https://www.aps.org/publications/apsnews/article.do?cid=123&cid=123&cid=123)

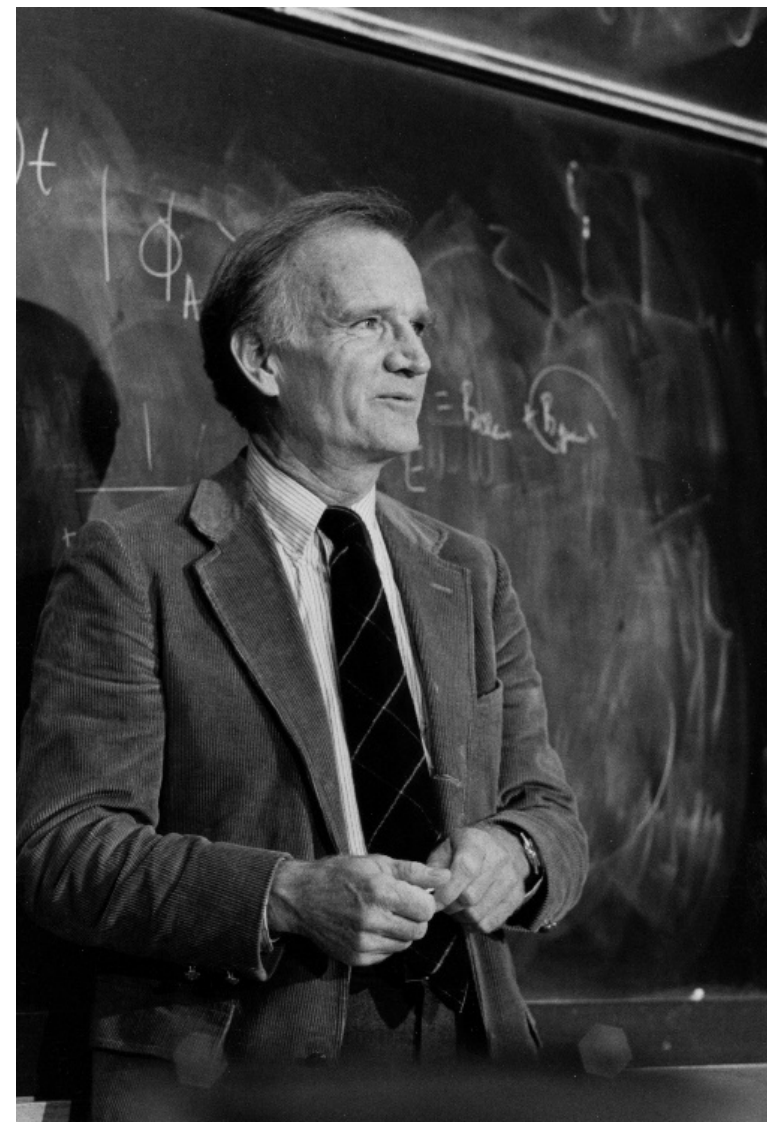
Institute of Experimental Particle Physics (ETP)

Kaon-Zerfälle: der Nachweis der CP -Verletzung

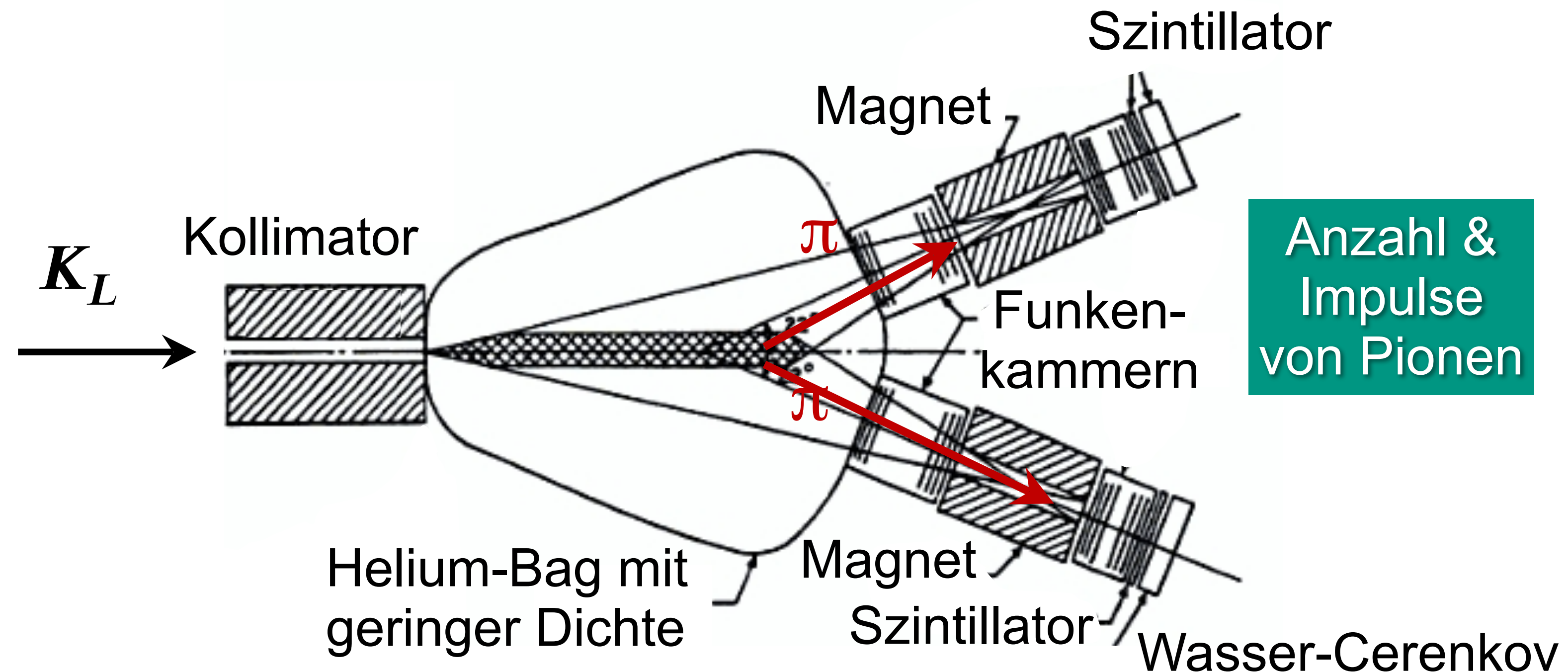
- Cronin & Fitch weisen CP -Verletzung im System der neutralen Kaonen nach am AGS*-Beschleuniger des Brookhaven National Laboratory (1964)
- Beobachtung: dominanter Zerfallsmodus $K_L \rightarrow 3 \pi$
aber: auch kleine Rate an $K_L \rightarrow 2 \pi$ mit $R = (2,3 \pm 0,4) \times 10^{-3}$



James Cronin



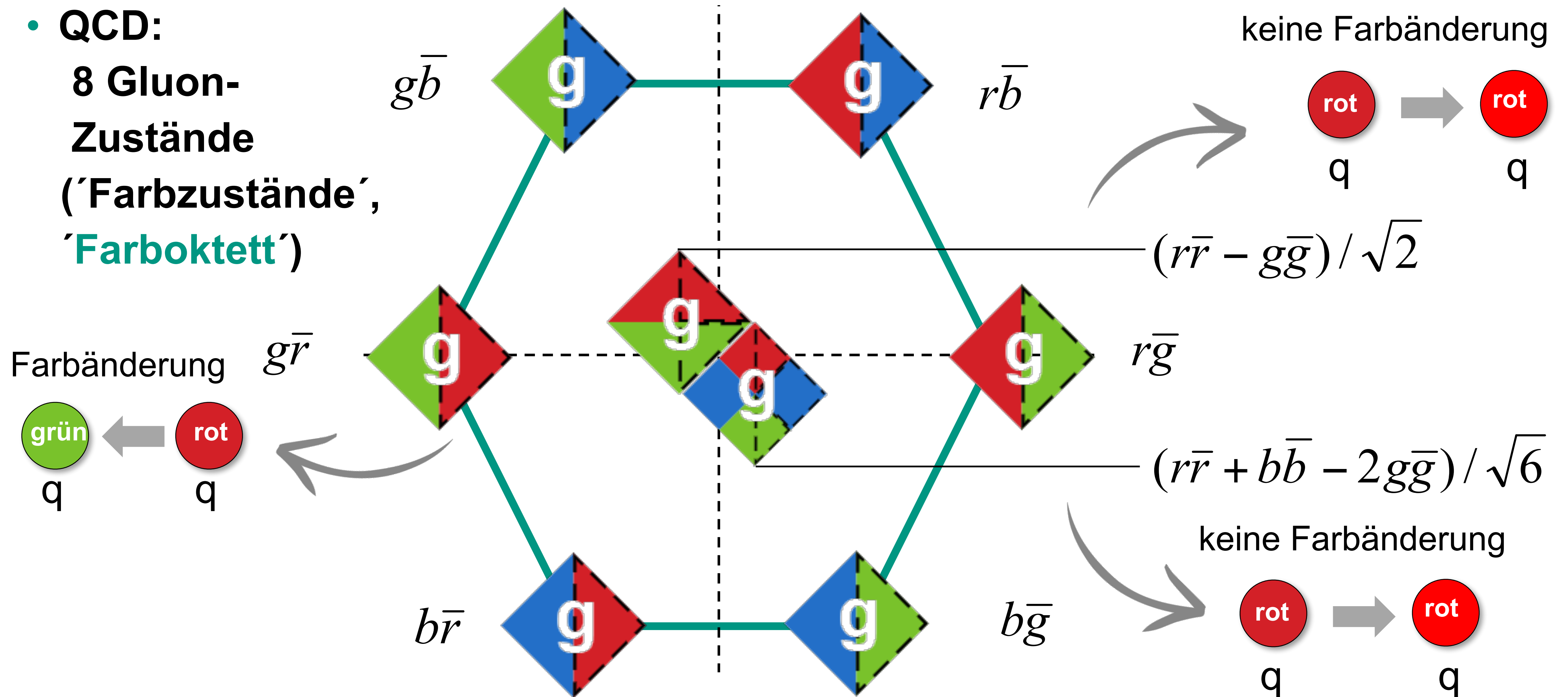
Val Fitch



*Alternating Gradient Synchrotron

Gluonen als Farboktett

- QCD:
8 Gluon-Zustände
(‘Farbzustände’,
‘**Farboktett**’)



Laufende Kopplung α_s in der QCD

- **Starke Kopplung α_s bei verschiedenem Impulstransfer im Vergleich mit QCD**

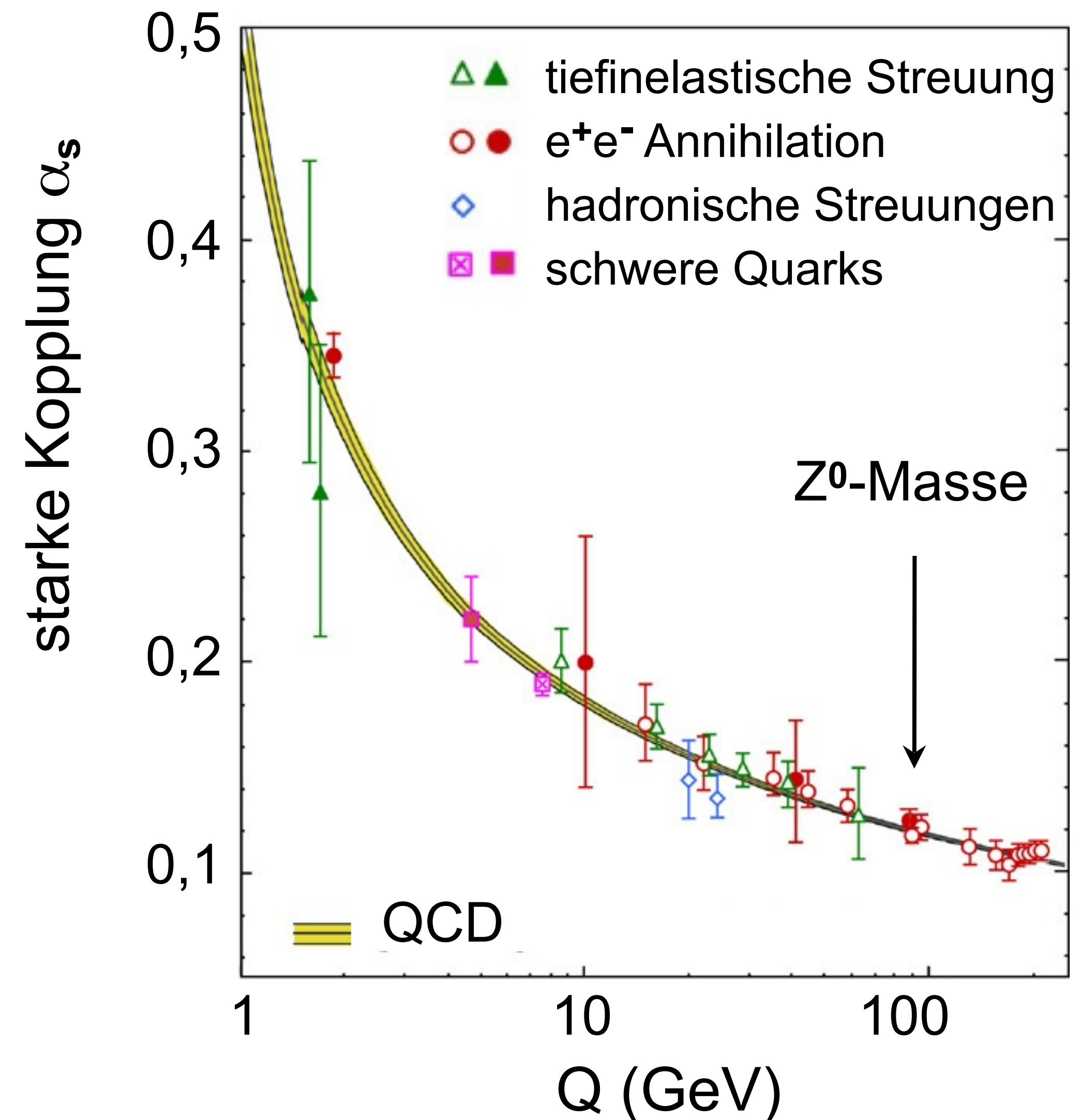
- Energie-Bezugspunkt für α_s ist die Masse des Z^0 -Bosons (90 GeV)

$$\alpha_s(M_Z) = 0,1179 \pm 0,0010$$

- α_s hängt implizit von der Zahl der **Farbfreiheitsgrade n_c** ab, aus Anpassung an experimentelle Daten:

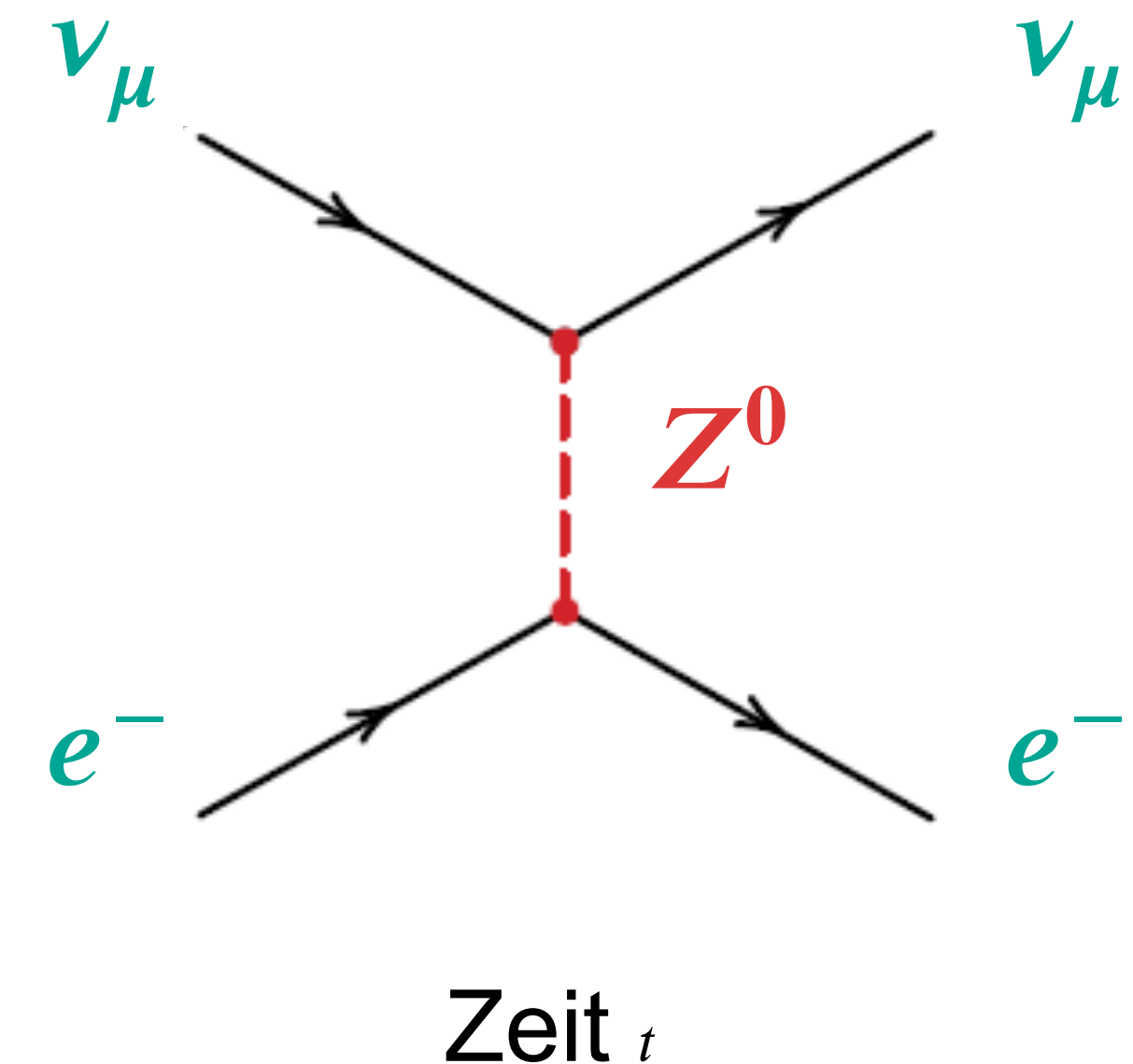
$$n_c = 3,03 \pm 0,12$$

3 Farbfreiheitsgrade der QCD



Gargamelle: Untersuchung von CC und NC

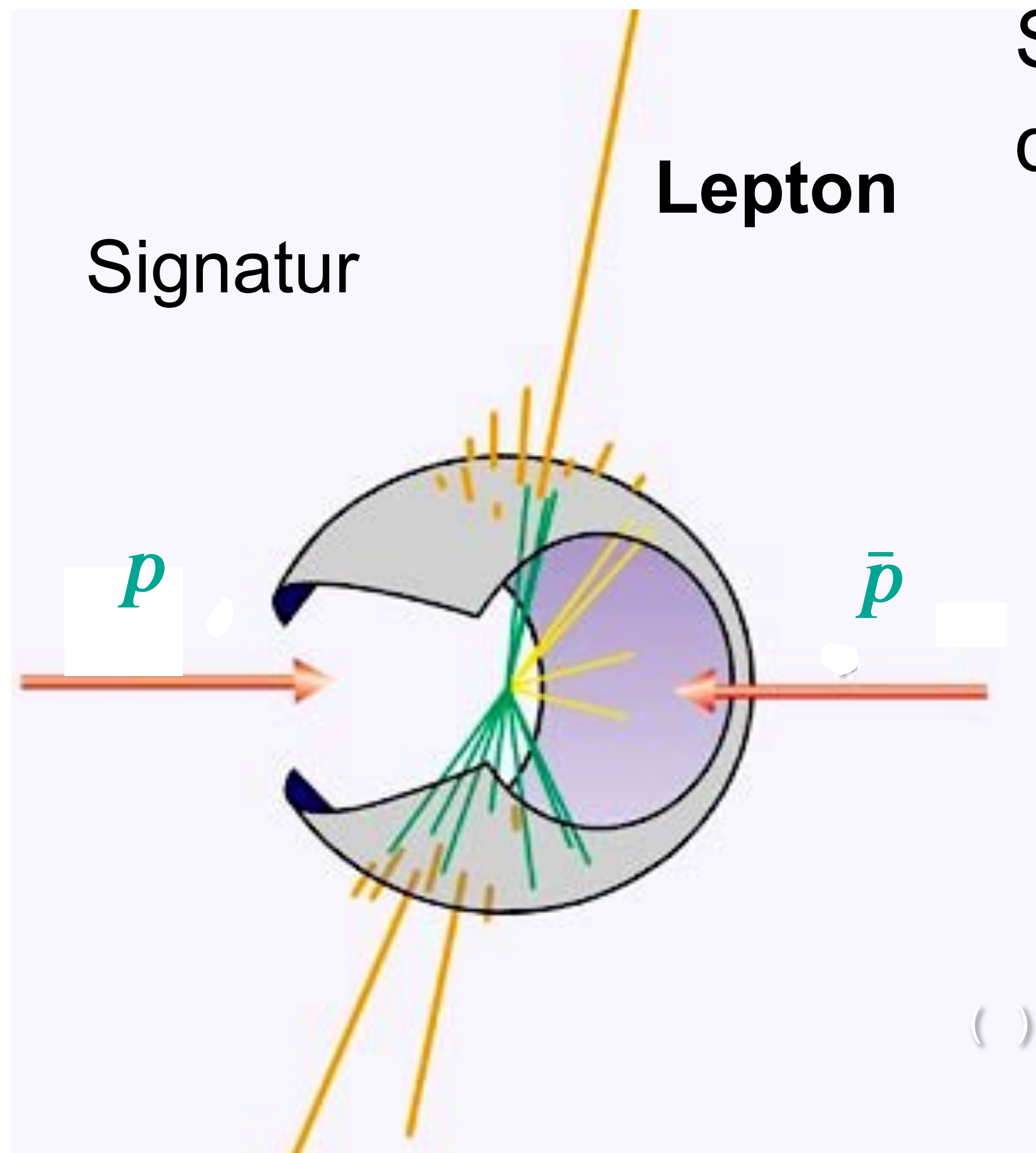
- Eine Blasenkammer mit 20 t Freon macht 1973 einen Schlüsselnachweis
 - Suche nach NC-Ereignissen in rein leptonischem Kanal
 - elastische $\nu_\mu - e^-$ Streuung, vermittelt durch Z^0 -Boson
 - Signatur: elektromagnetischer Schauer durch Stoßprozess am e^-
 - Blasenkammer: Aufnahme der Teilchenreaktionen mit Blitzlicht, danach: Entwicklung des Films, visueller Scan des Films



elastische
 $\nu_\mu - e^-$ Streuung

erster Nachweis der Bosonen $W^\pm$ und Z^0

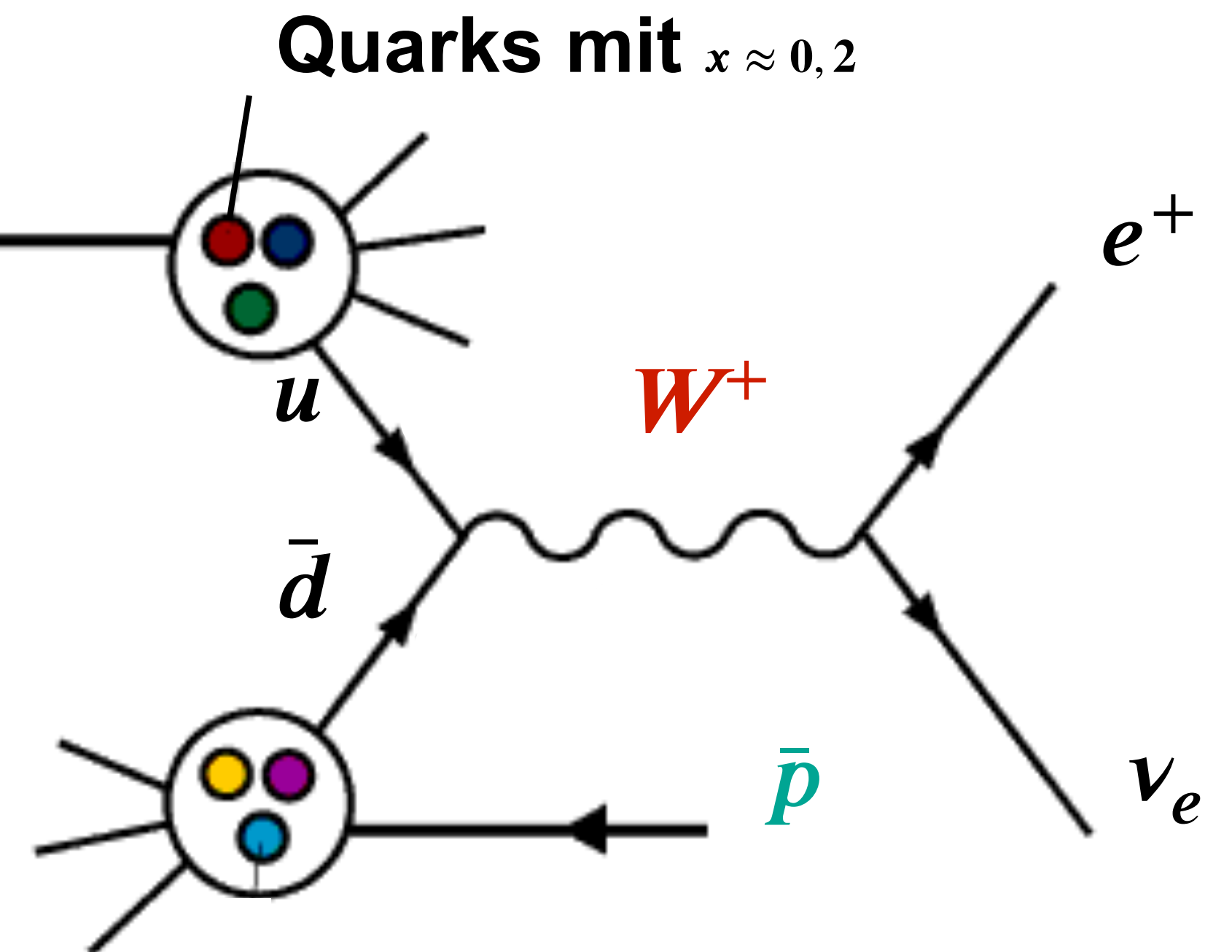
- Erzeugung von $W^\pm$ und Z^0 über 'Drell-Yan'-Prozess (= $q\bar{q}$ -Annihilation)



Signatur $W^\pm$ – Zerfall: hochenergetisches Lepton $\ell^\pm$,
dabei fehlende Transversalenergie (ν bzw. $\bar{\nu}$)

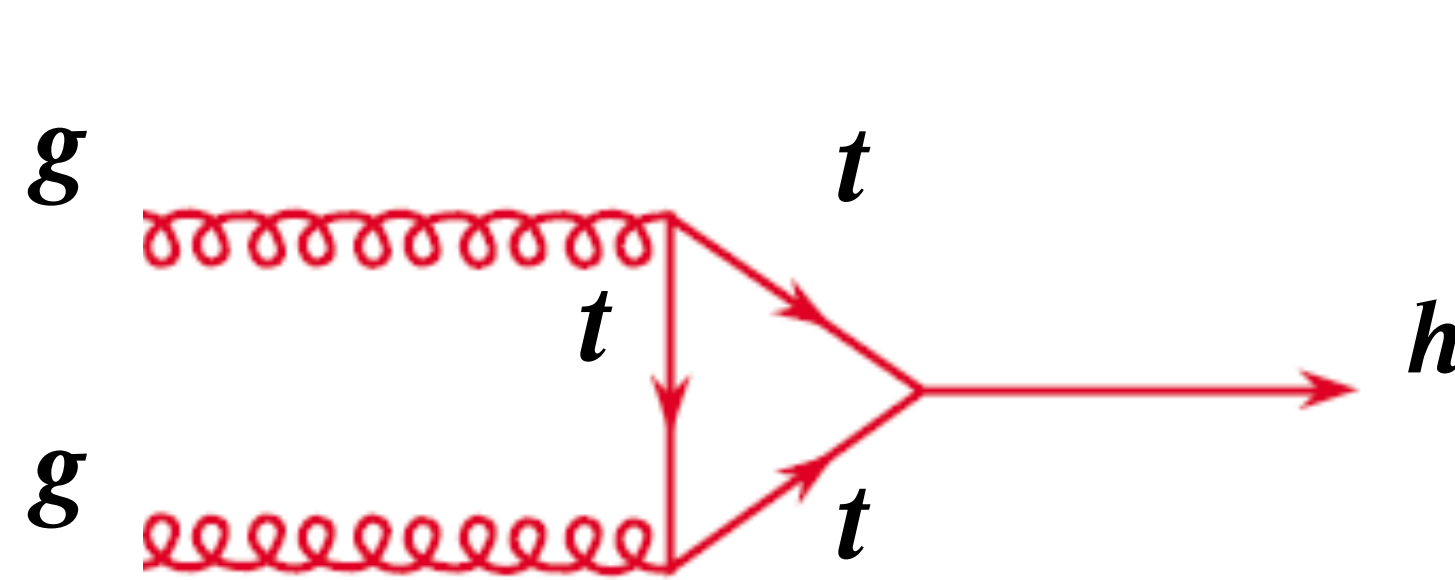
$$W^\pm \longrightarrow \ell^\pm + \bar{\nu}$$

Anti-Quarks
mit $x \approx 0,2$

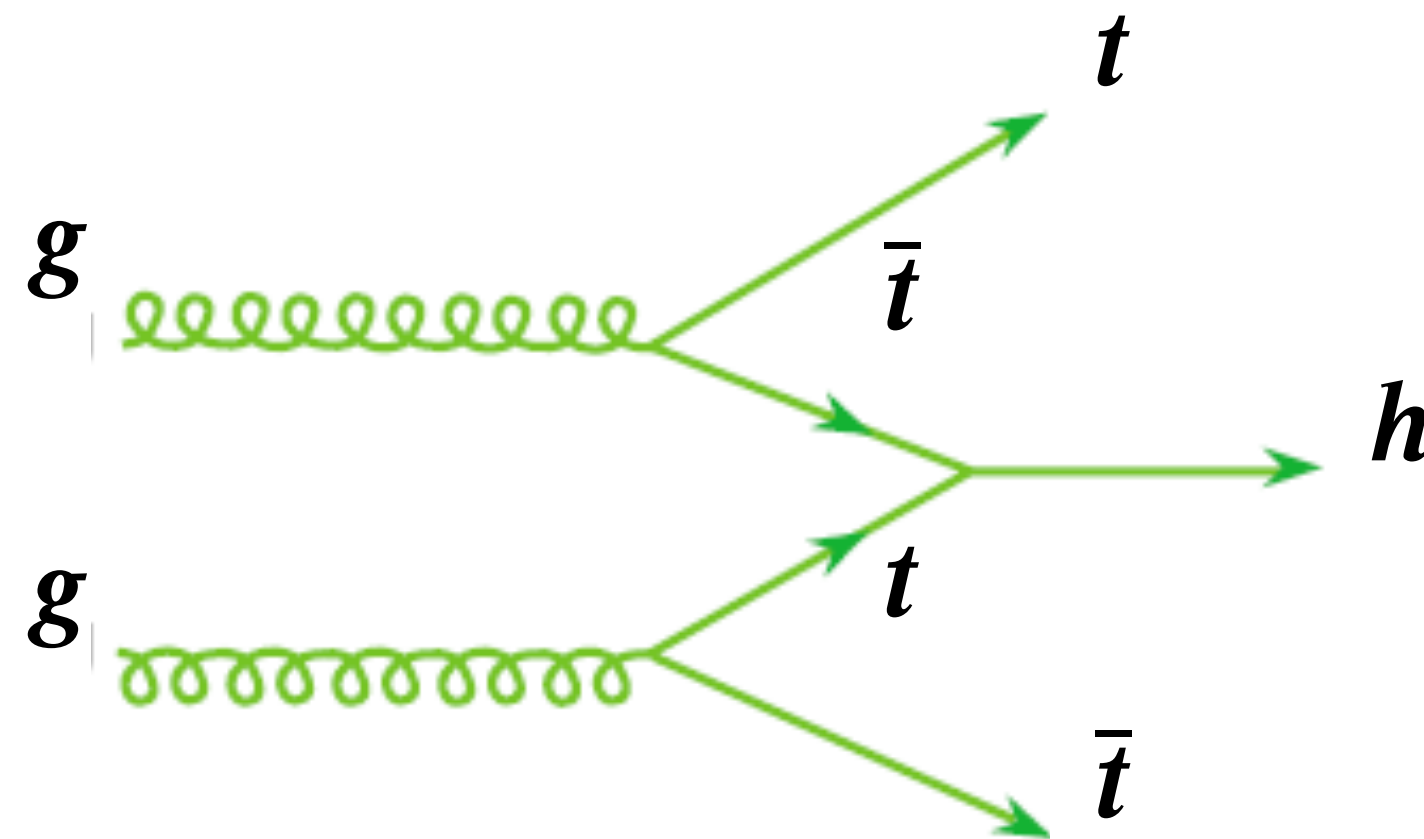


- **Higgs-Produktionsmechanismen bei hoher $\sqrt{s}$ –Energie $\sim$ einige TeV**
 - 4 Produktionsmechanismen: dominant am LHC ist **Gluon – Gluon Fusion**

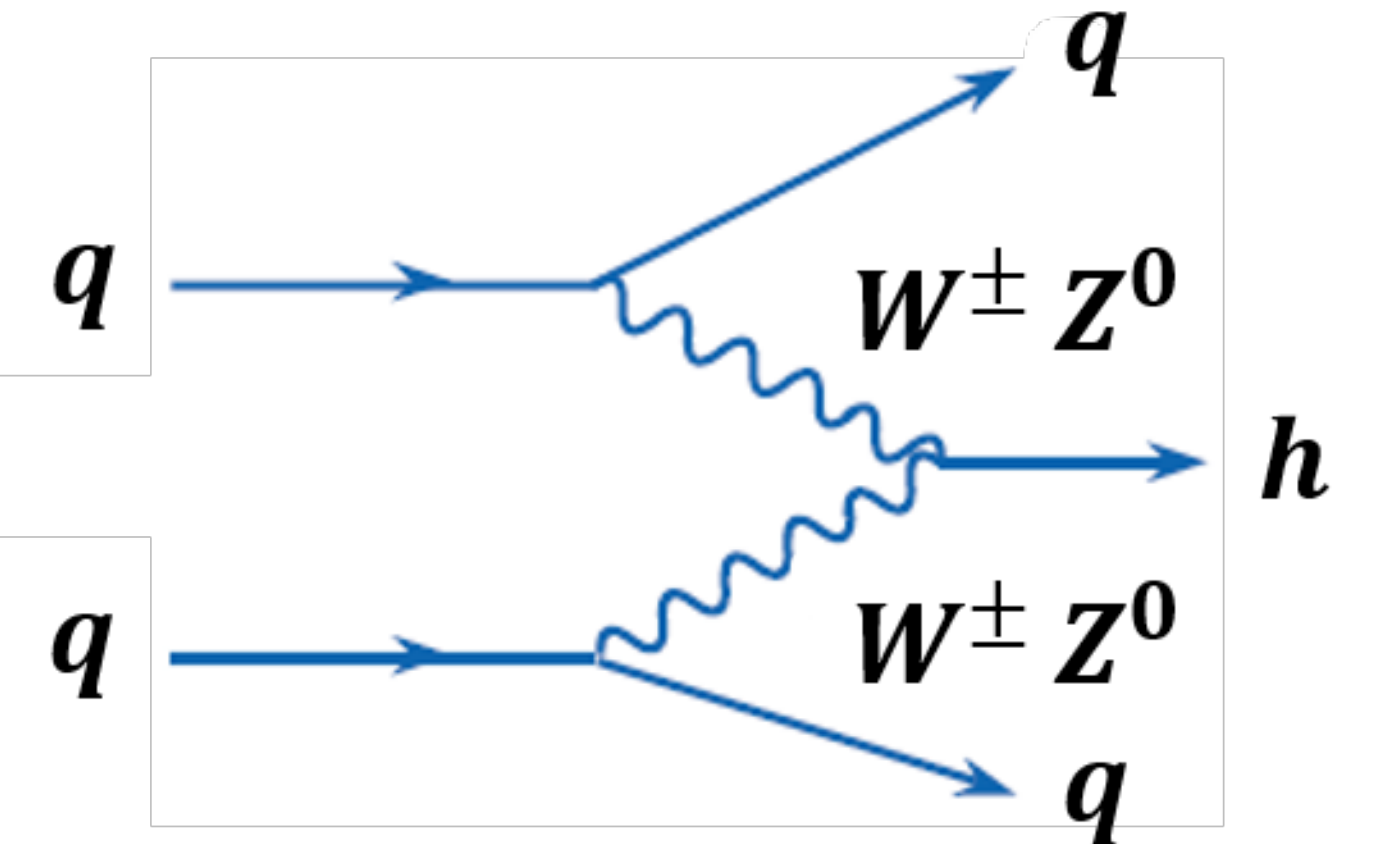
Gluon-Gluon Fusion



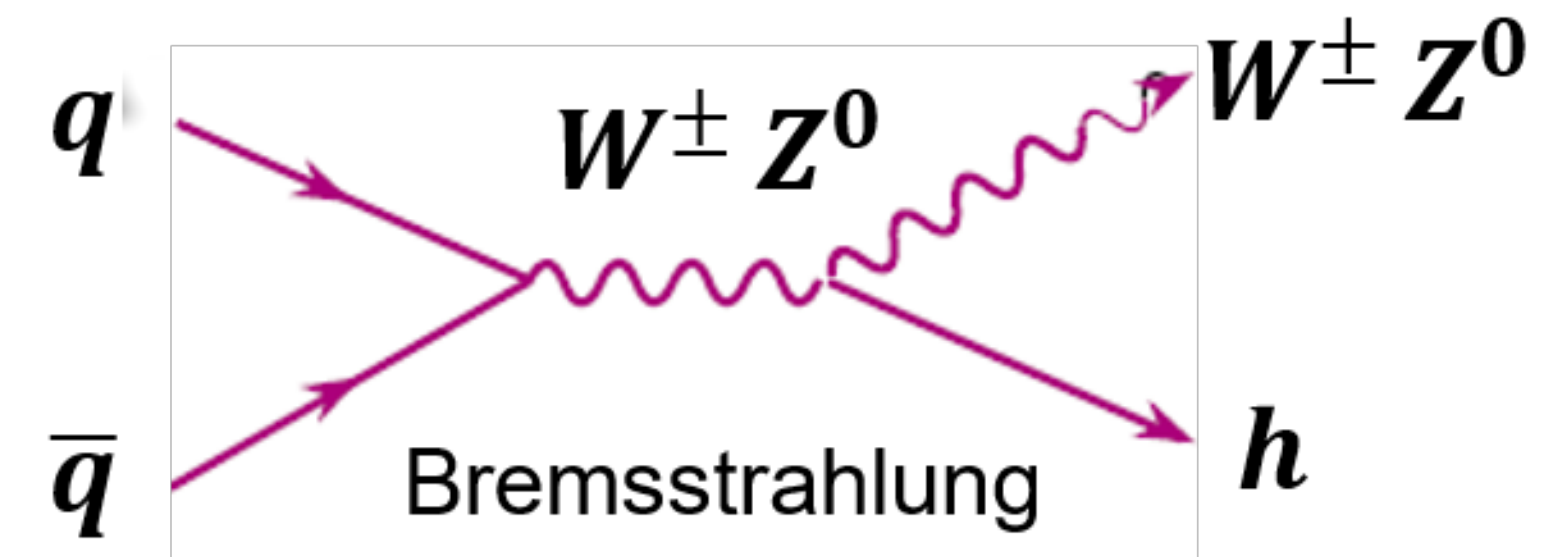
Top-Anti-Top Fusion



Vektorboson Fusion



assoziierte Produktion Higgsstrahlung



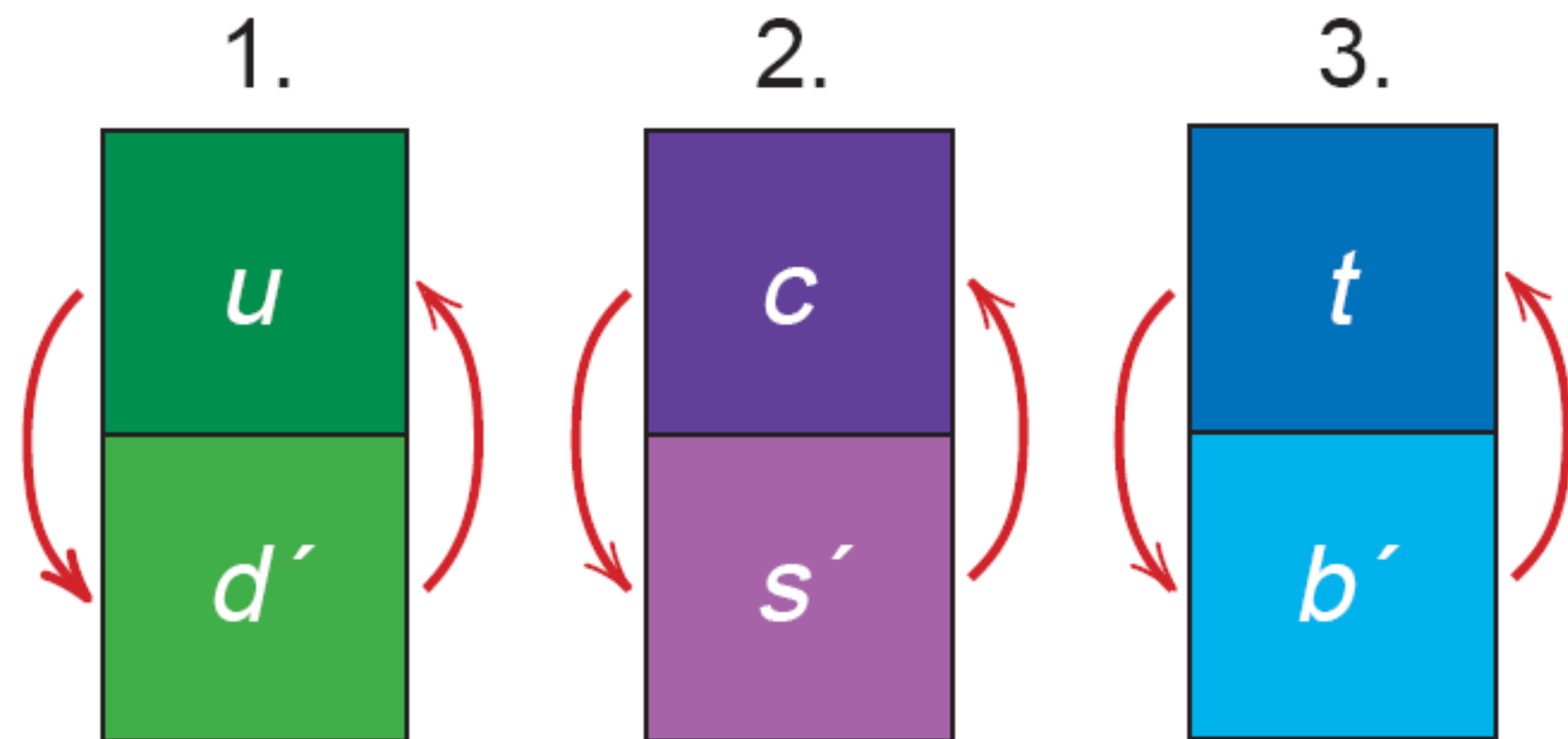
■ Mischung der 3 Quark-Generationen

- Massen- und Flavour-Eigenzustände der Quarks stimmen nicht überein

$$\begin{pmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{pmatrix}_L = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{pmatrix}_L$$

Flavour-
Eigenzustände

Massen-
Eigenzustände



CKM muss **unitär** sein

- 3 reelle (Euler) Winkel θ_{ij}
- 1 imaginäre CP-Phase δ

■ Stärke der Übergänge zwischen Familien

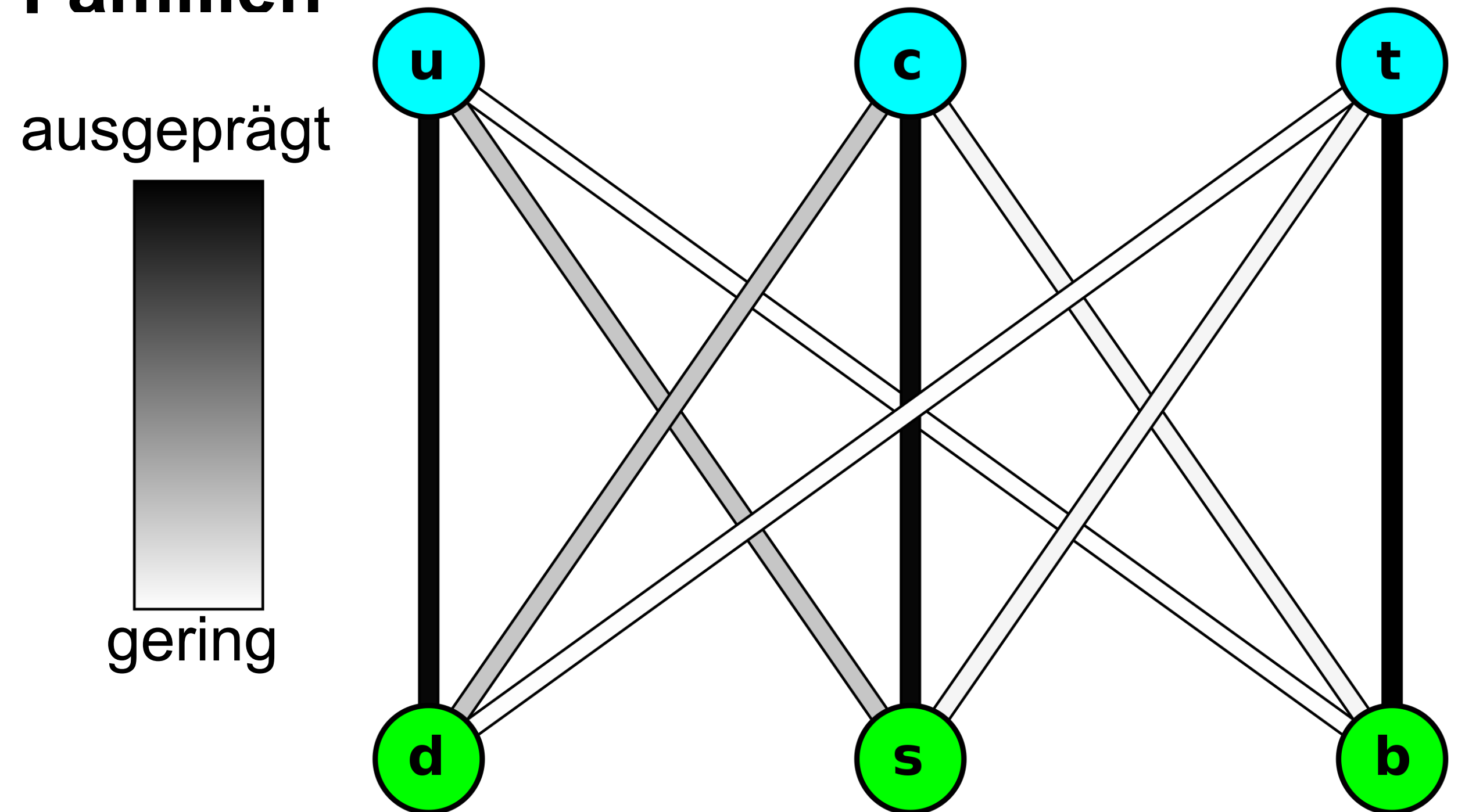
- Übergänge bevorzugt in der gleichen Generation, aber auch Übergänge in die benachbarte, bzw. 1. & 3.

- aktuelle Werte: $s_{13} \ll s_{23} \ll s_{12}$

$$\theta_{12} = (13,04 \pm 0,05)^\circ$$

$$\theta_{23} = (2,38 \pm 0,06)^\circ$$

$$\theta_{13} = (0,201 \pm 0,011)^\circ$$



- Matrix 'entkoppelt' wie bei den Quarks in 3 separate Mischungsterme

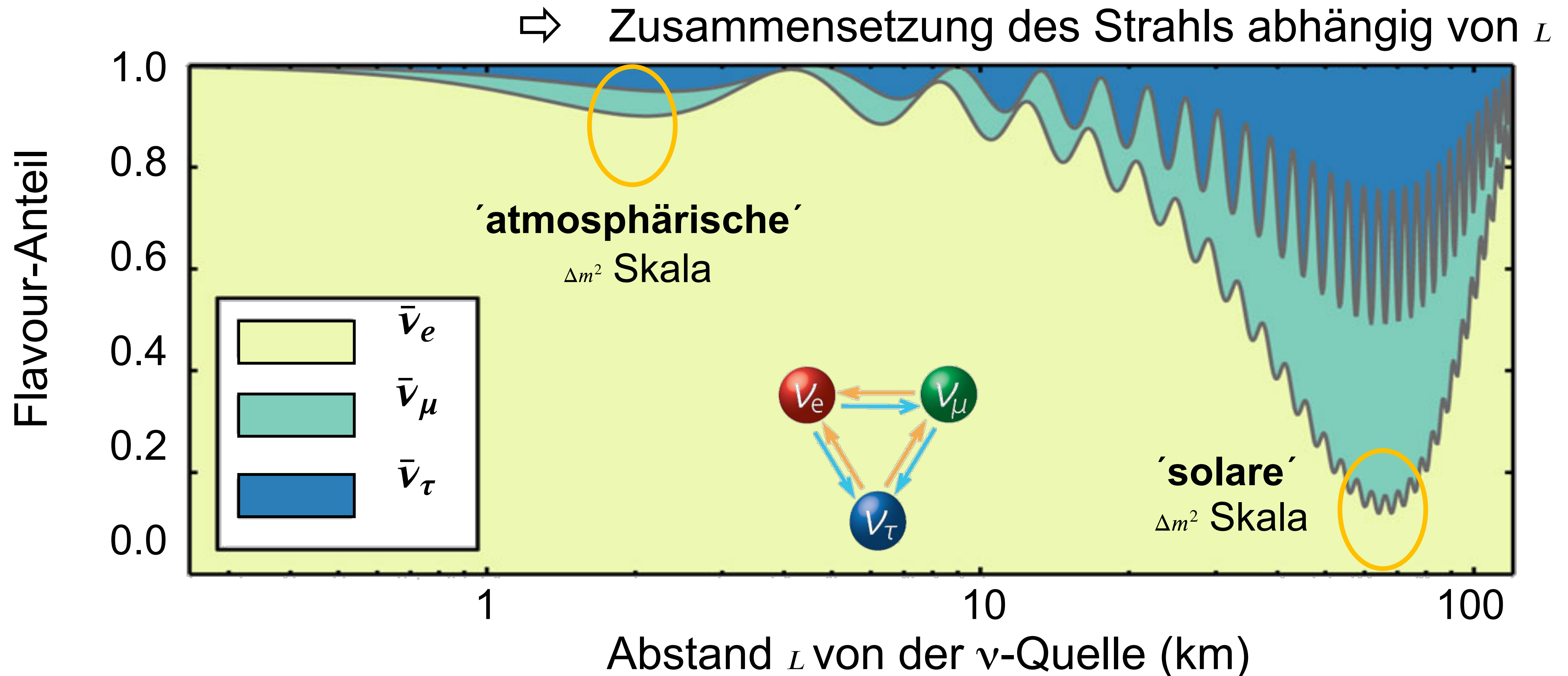
$$U = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta_{23} & \sin\theta_{23} \\ 0 & -\sin\theta_{23} & \cos\theta_{23} \end{pmatrix}}_{\text{Mischung 2. \& 3. } \nu\text{-Generation } \nu_\mu \text{ und } \nu_\tau} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\theta_{13} & 0 & \sin\theta_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta_{13}e^{-i\delta} & 0 & \cos\theta_{13} \end{pmatrix}}_{\text{Mischung 1. \& 3. } \nu\text{-Generation } \nu_e \text{ und } \nu_\tau} \cdot \underbrace{\begin{pmatrix} \cos\theta_{12} & \sin\theta_{12} & 0 \\ -\sin\theta_{12} & \cos\theta_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\text{Mischung 1. \& 2. } \nu\text{-Generation } \nu_e \text{ und } \nu_\mu}$$

Mischung 2. & 3.
 ν -Generation
 ν_μ und ν_τ

Mischung 1. & 3.
 ν -Generation
 ν_e und ν_τ

Mischung 1. & 2.
 ν -Generation
 ν_e und ν_μ

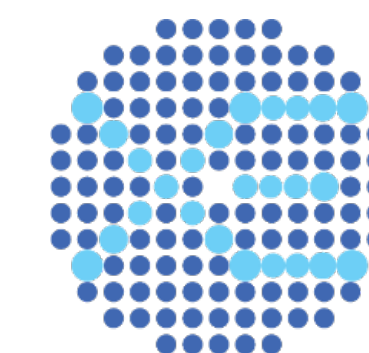
- Entwicklung eines Strahls von $\bar{\nu}_e$ im MeV-Energiebereich



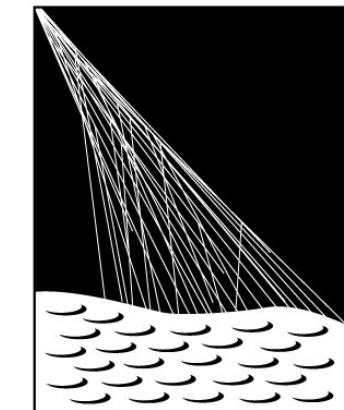




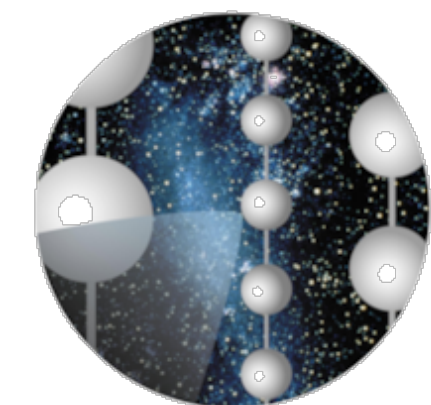
DARWIN



XENON



PIERRE
AUGER
OBSERVATORY

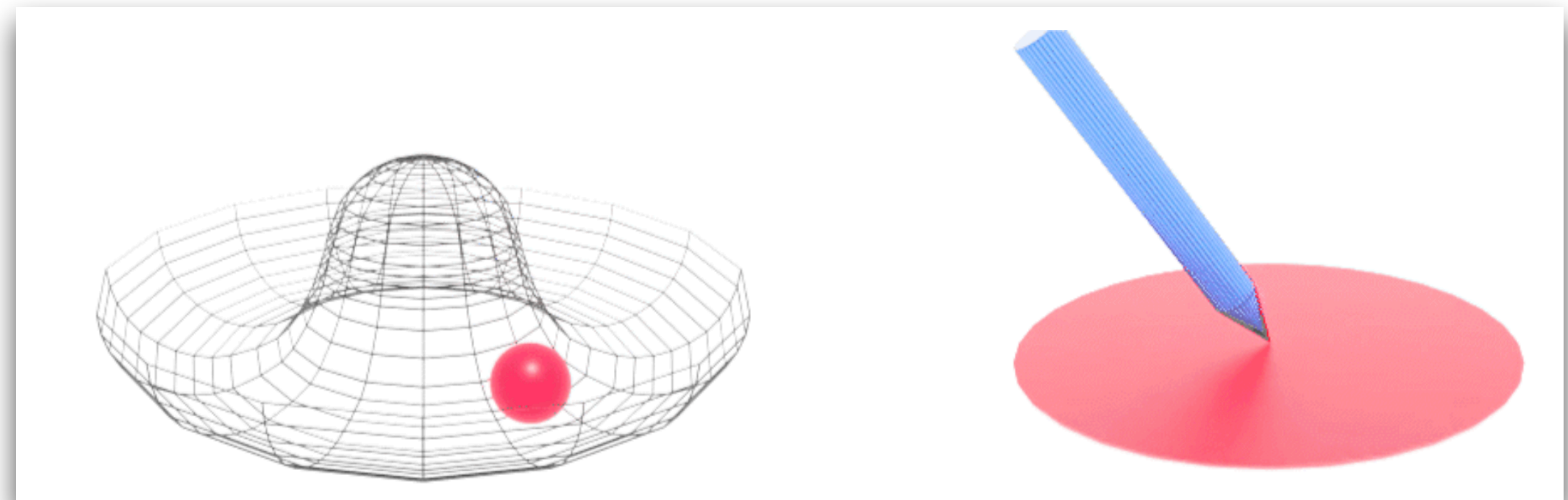


IceCube

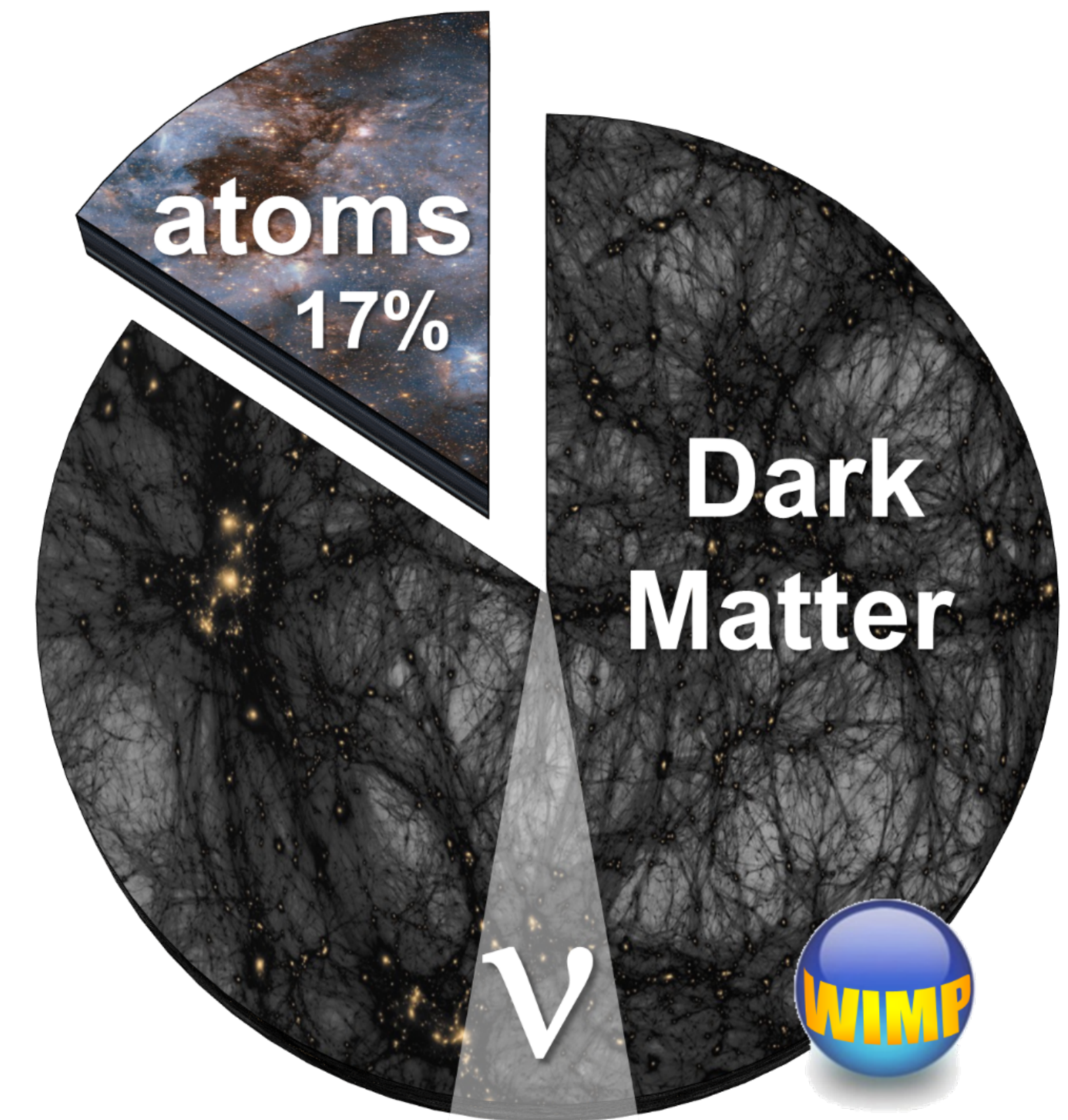
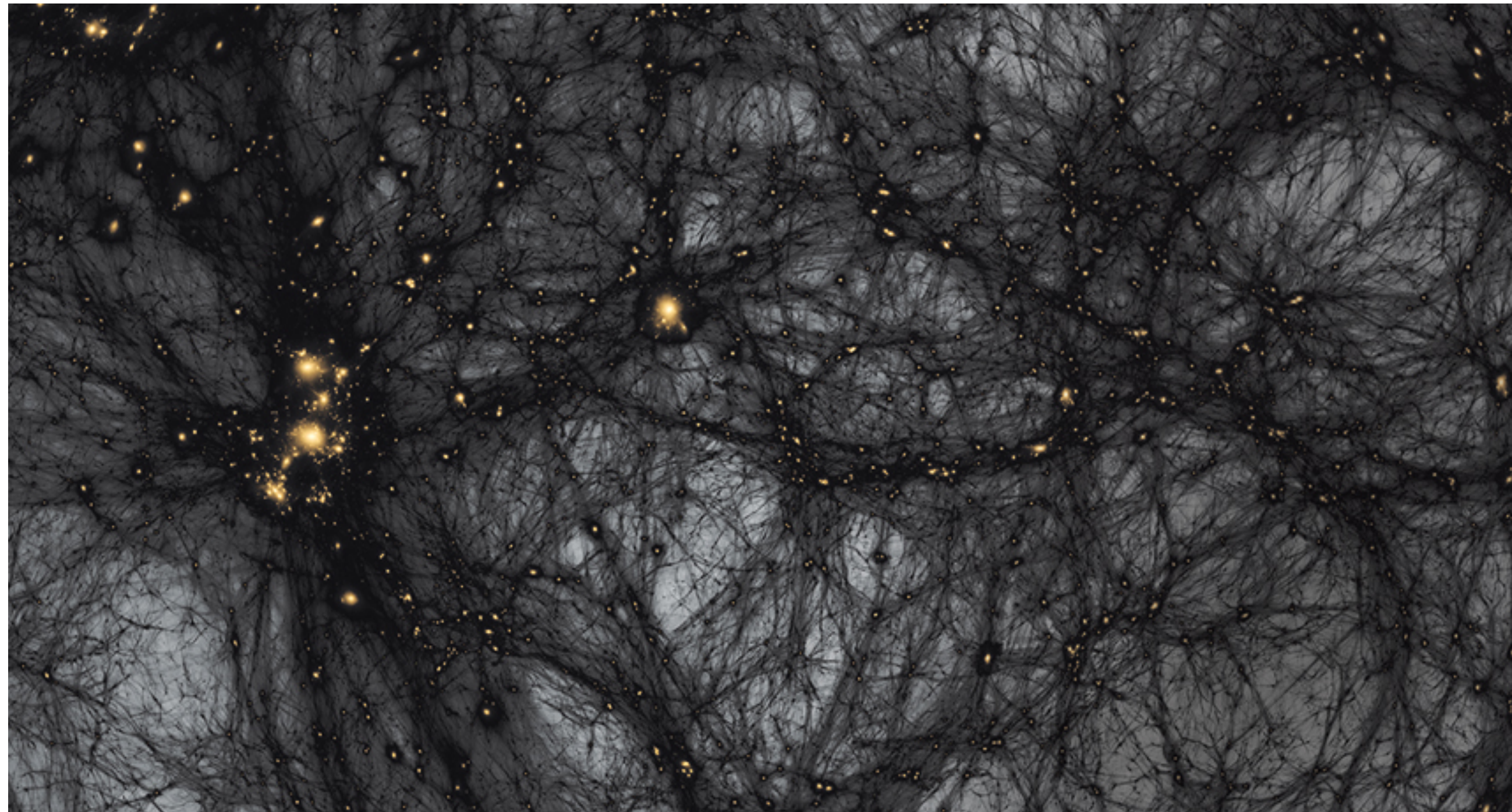
KAPITEL 7.2 : QUERVERBINDUNGEN UND OFFENE FRAGESTELLUNGEN

Offene Fragen der Teilchenphysik

- Was ist die Natur der dunklen Materie?
- Wie werden Neutrinos massiv?
- Warum gibt es so viel Materie?
- Wie können wir Quanteneffekte der Gravitation verstehen?
- Welche Rolle spielt das Higgs Boson in diesen Fragen?
- ...

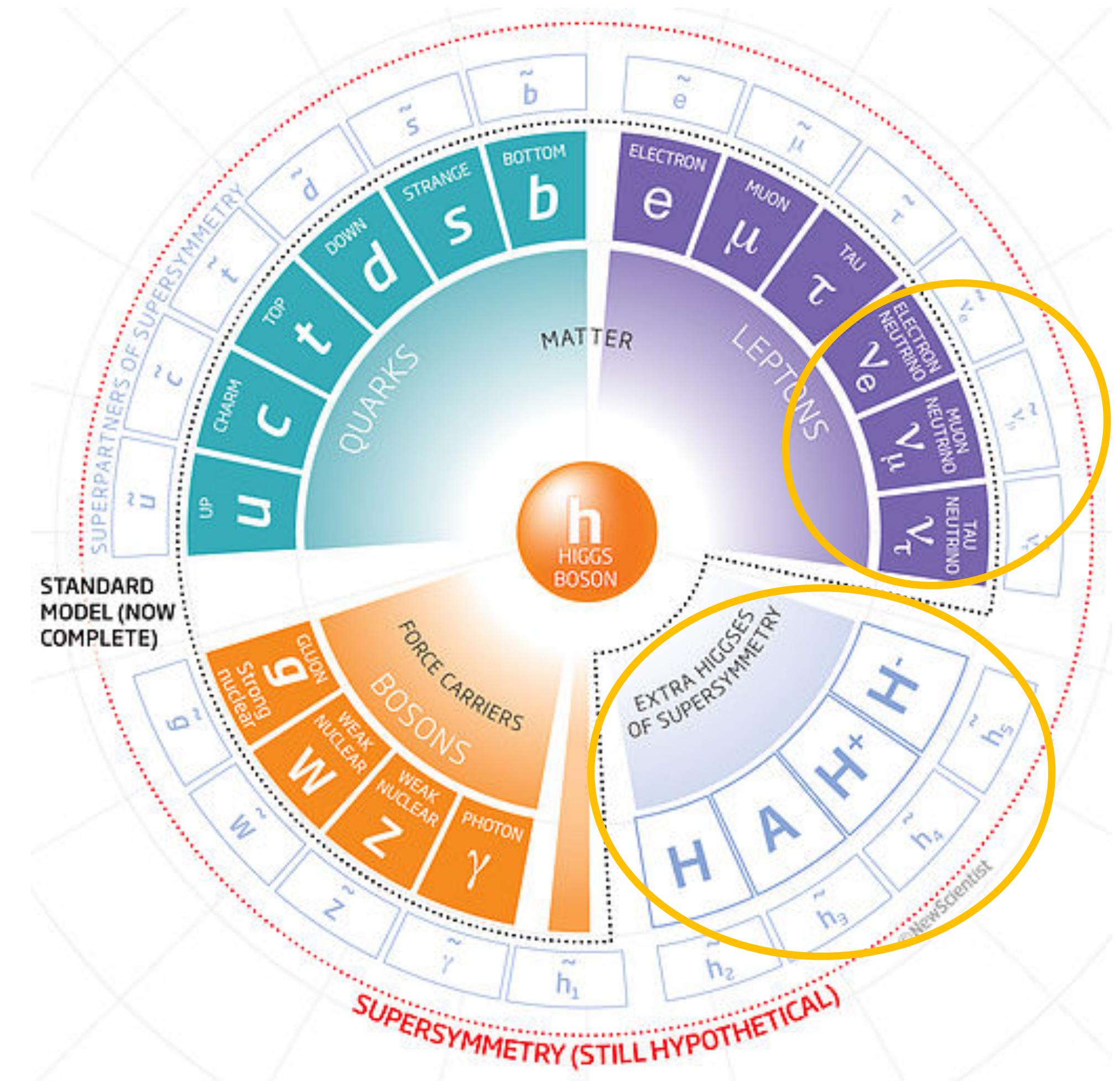


- **Astrophysikalische Beobachtungen: Dunkle Materie dominant**
 - Rotationskurven von Galaxien, Dynamik von Galaxienhaufen & Nachweis von Gravitationslinsen: Dunkle Materie bestimmt die Dynamik der Materie auf allen Skalen im Universum



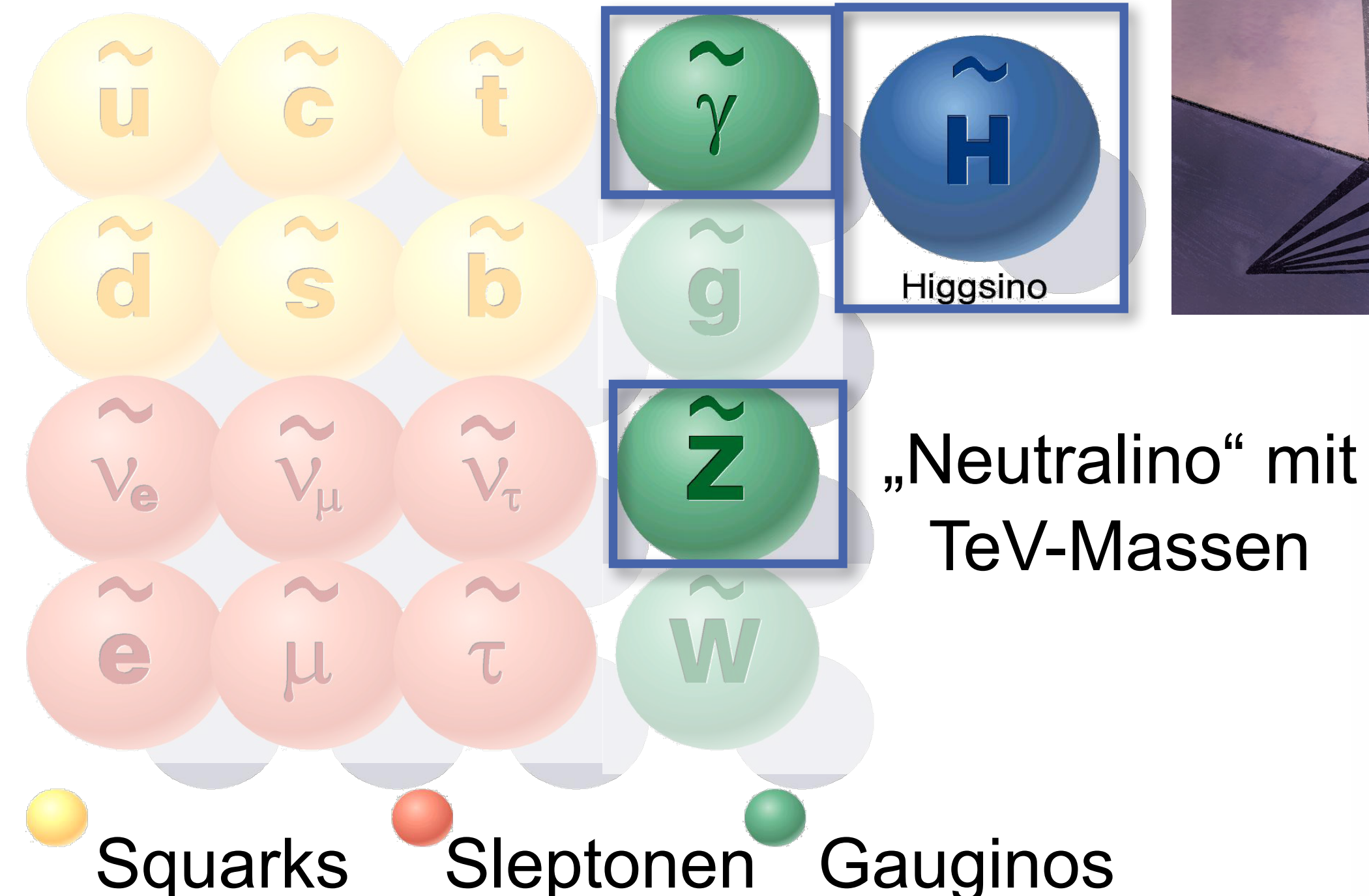
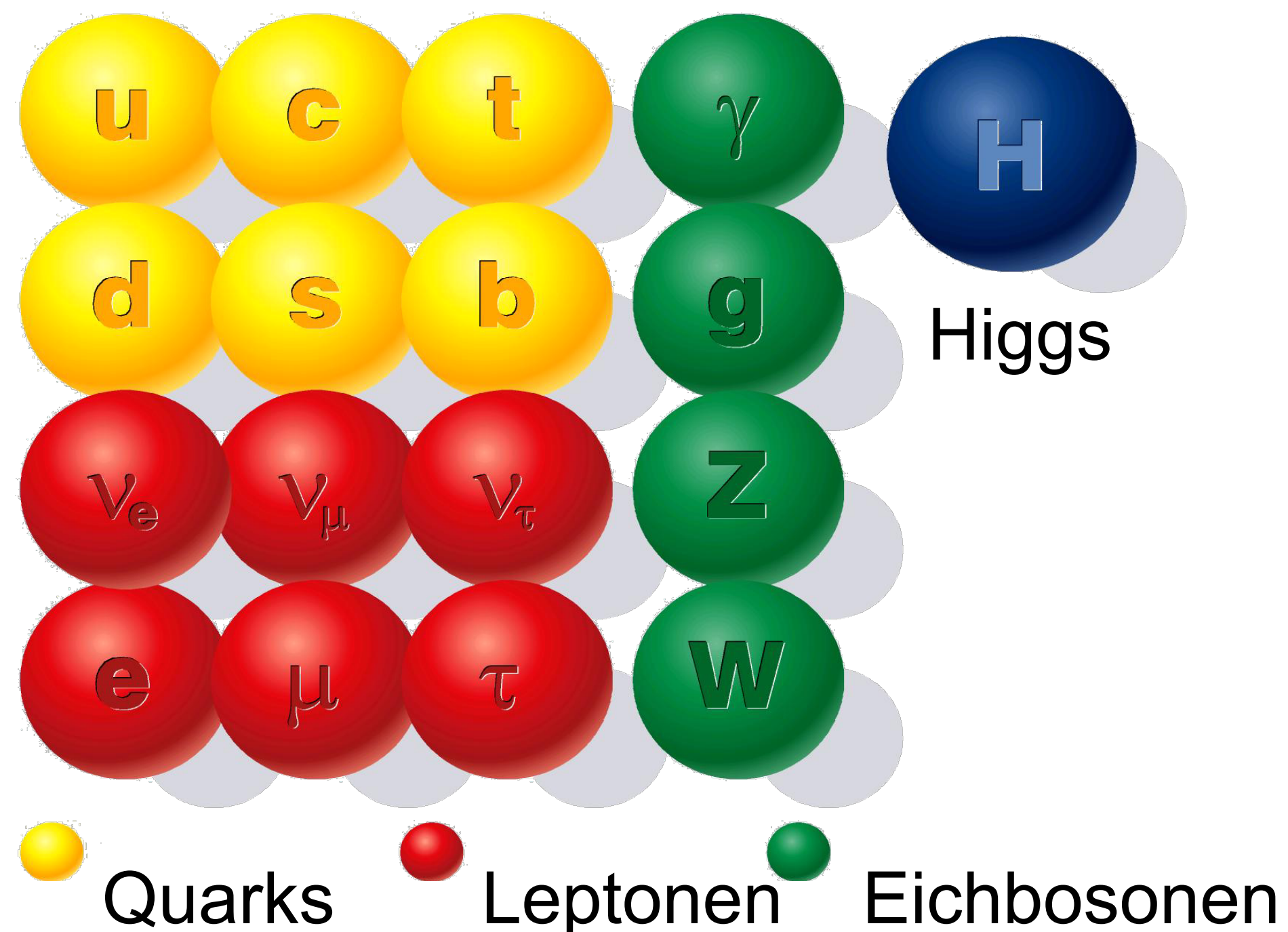
■ Teilchenphysikalischer Ursprung der Dunklen Materie?

- Standardmodell (SM) enthält **keinen Kandidaten für die Dunkle Materie (DM)**
- **Neutrinos** $\nu_{e,\mu,\tau}$: Masse ist extrem klein, daher **sub-dominanter Beitrag** zur DM
- **Neutrinos** $\nu_{e,\mu,\tau}$: ideale 'Blaupause' für DM-Teilchen: neutral, keine starke Ww., **interagiert nur über schwache Ww.**
- viele **Theorien jenseits des SM** mit Kandidaten für Dunkle Materie (existiert ein '**Dunkler Sektor**'?)



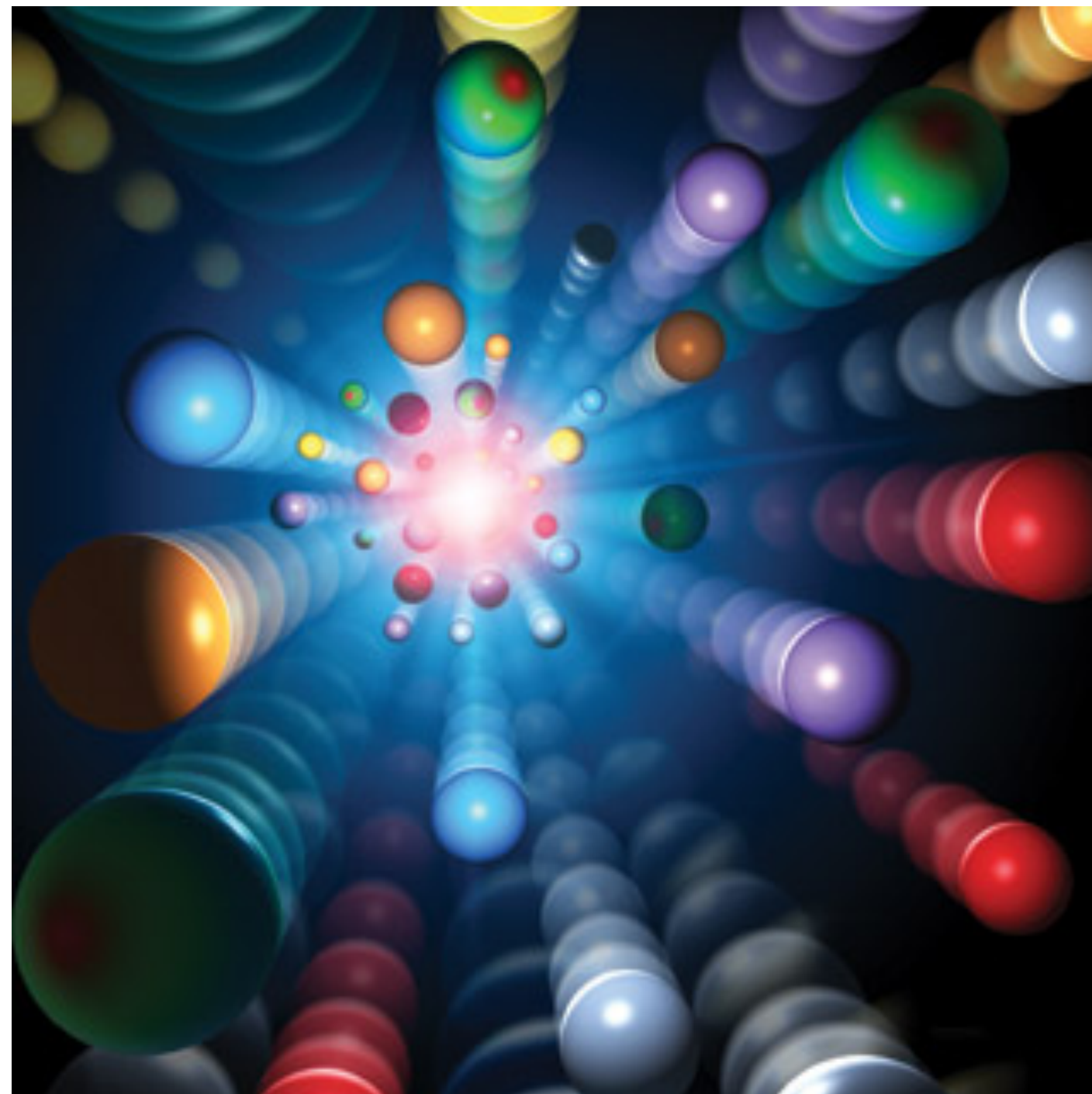
Supersymmetrie – eine Theorie jenseits des SM

- SUSY enthält einen 'idealen' Kandidaten für Dunkle Materie: das WIMP
 - **WIMP**: **W**eakly **I**nteracting **M**assive **P**article auf der GeV/TeV-Skala
 - **WIMP**: Massenzustand, d.h. Mischung von $\tilde{\gamma}$, $\tilde{Z}$, $\tilde{H}_u$, $\tilde{H}_d$



Supersymmetrie – eine Theorie jenseits des SM

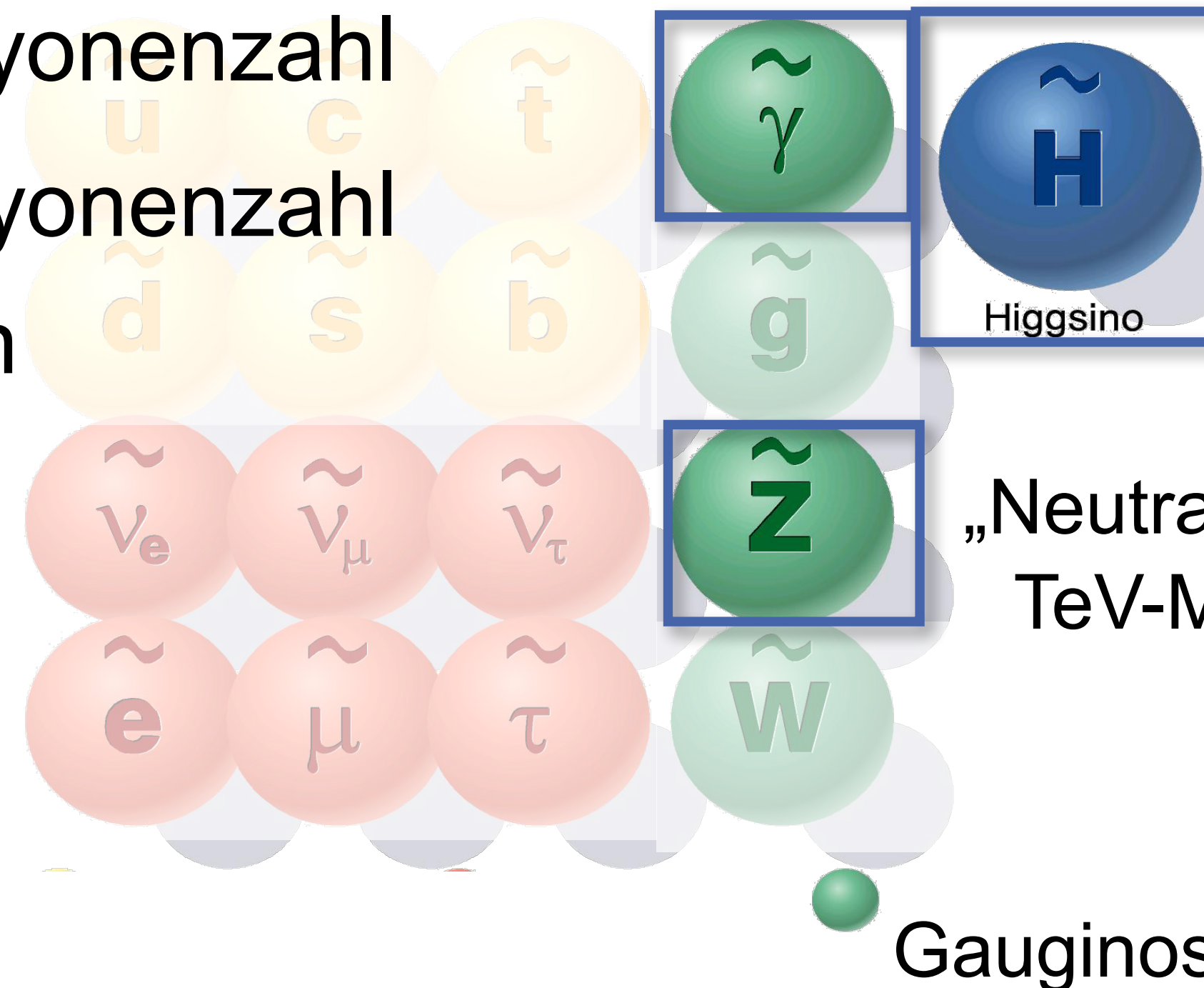
- das **WIMP-*miracle***: thermische Erzeugung von WIMPs im Big Bang*
 - **WIMP**: Erzeugung mit korrekter Dichte Ω_{DM} falls σ = schwache Ww.
 - **WIMP**: kosmologisch stabil durch $R_p = (-1)^{3 \cdot B + L + 2S}$



B : Baryonenzahl

L : Baryonenzahl

S : Spin



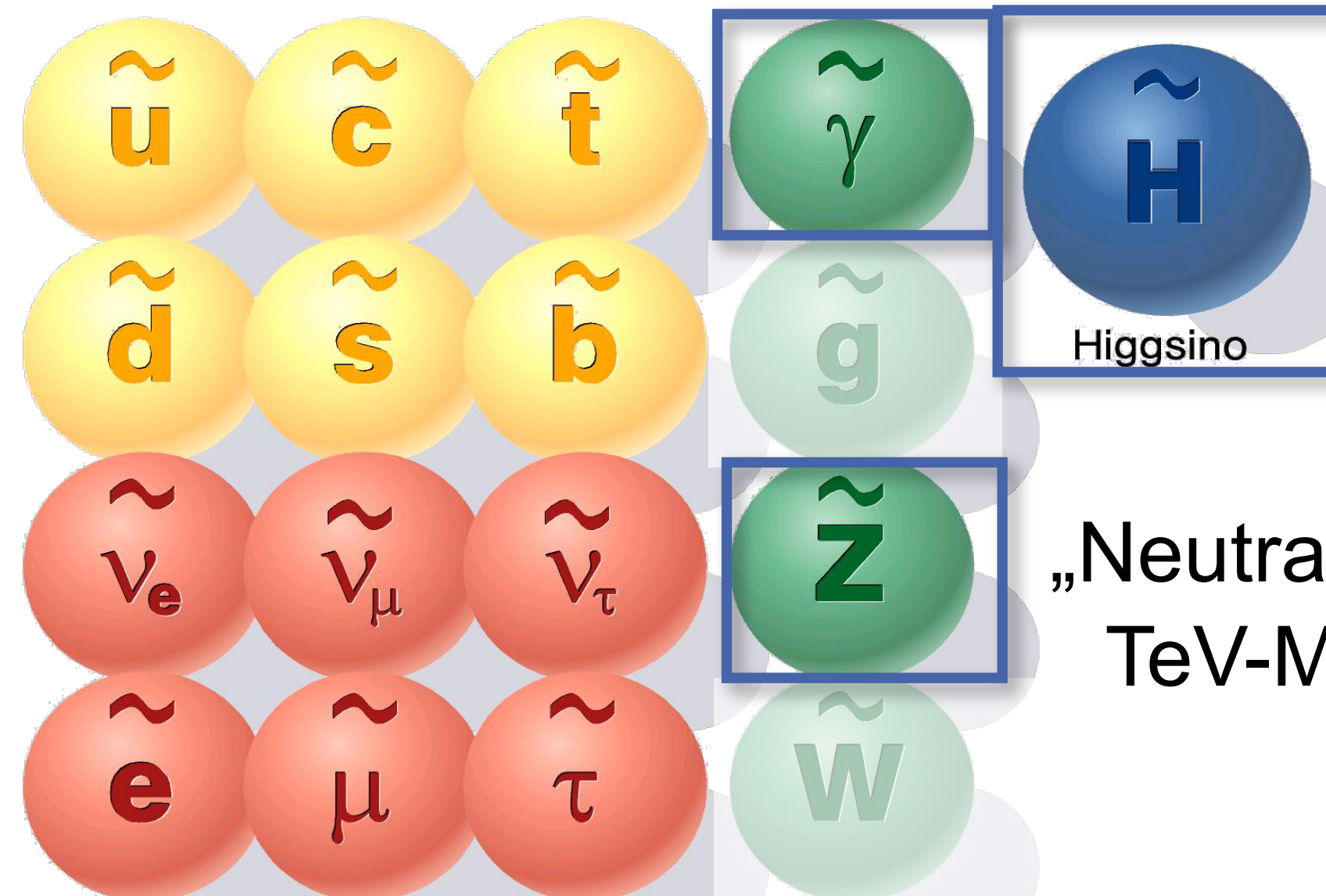
„Neutralino“ mit
TeV-Massen

Gauginos



Supersymmetrie – eine Theorie wird getestet

- das **WIMP & SUSY** auf dem Teststand des LHC
 - Erzeugung von SUSY-Teilchenpaaren in pp – Kollisionen bei hohem $\sqrt{s}$
 - **WIMP**: am Ende einer SUSY-Zerfallskette



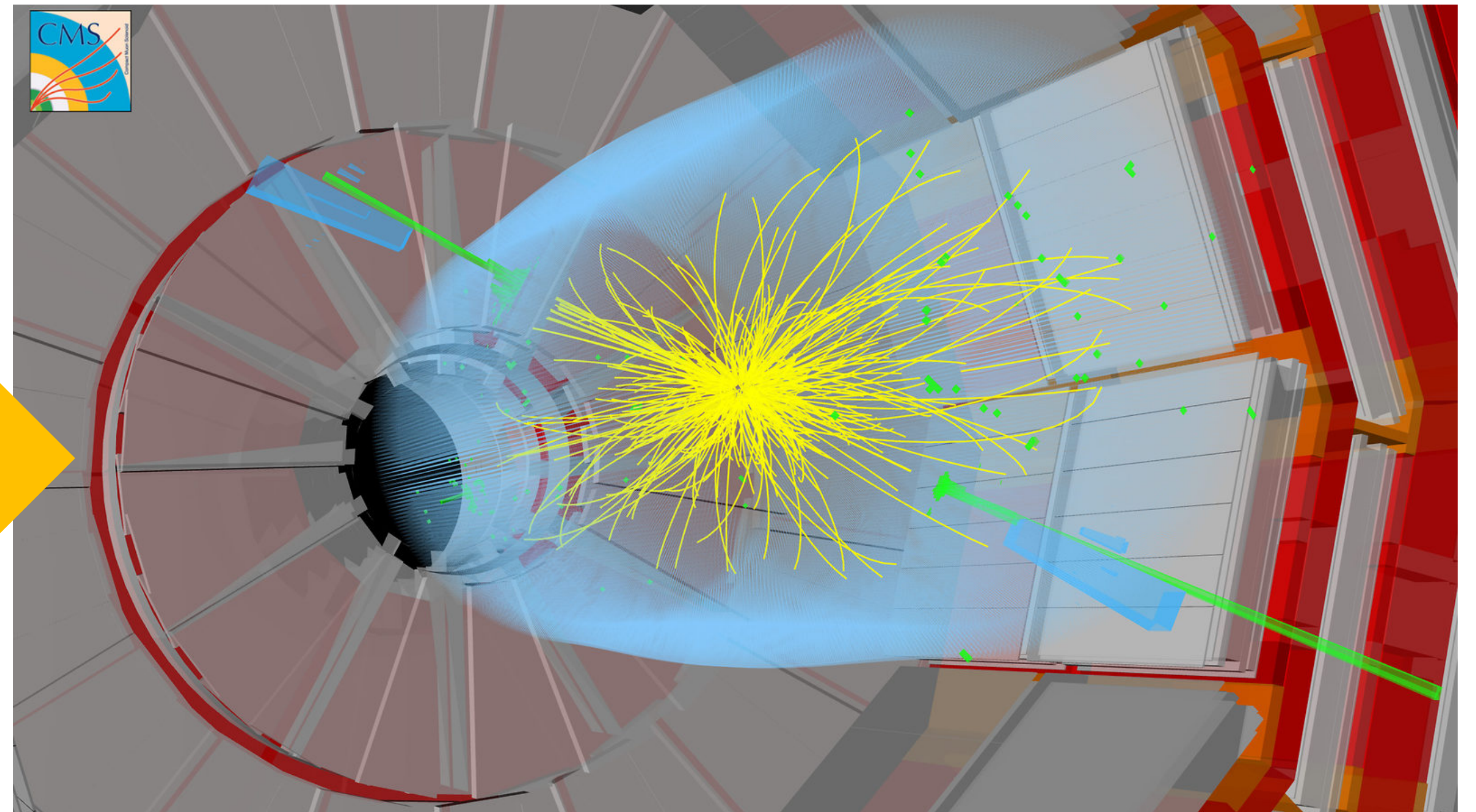
„Neutralino“ mit
TeV-Massen

Gauginos



Supersymmetrie – eine Theorie wird getestet

- das **WIMP & SUSY** auf dem Teststand des LHC
 - Erzeugung von SUSY-Teilchenpaaren: extrem seltene Prozesse
 - **WIMP**: am Ende einer SUSY-Zerfallskette via fehlende Transversalenergie



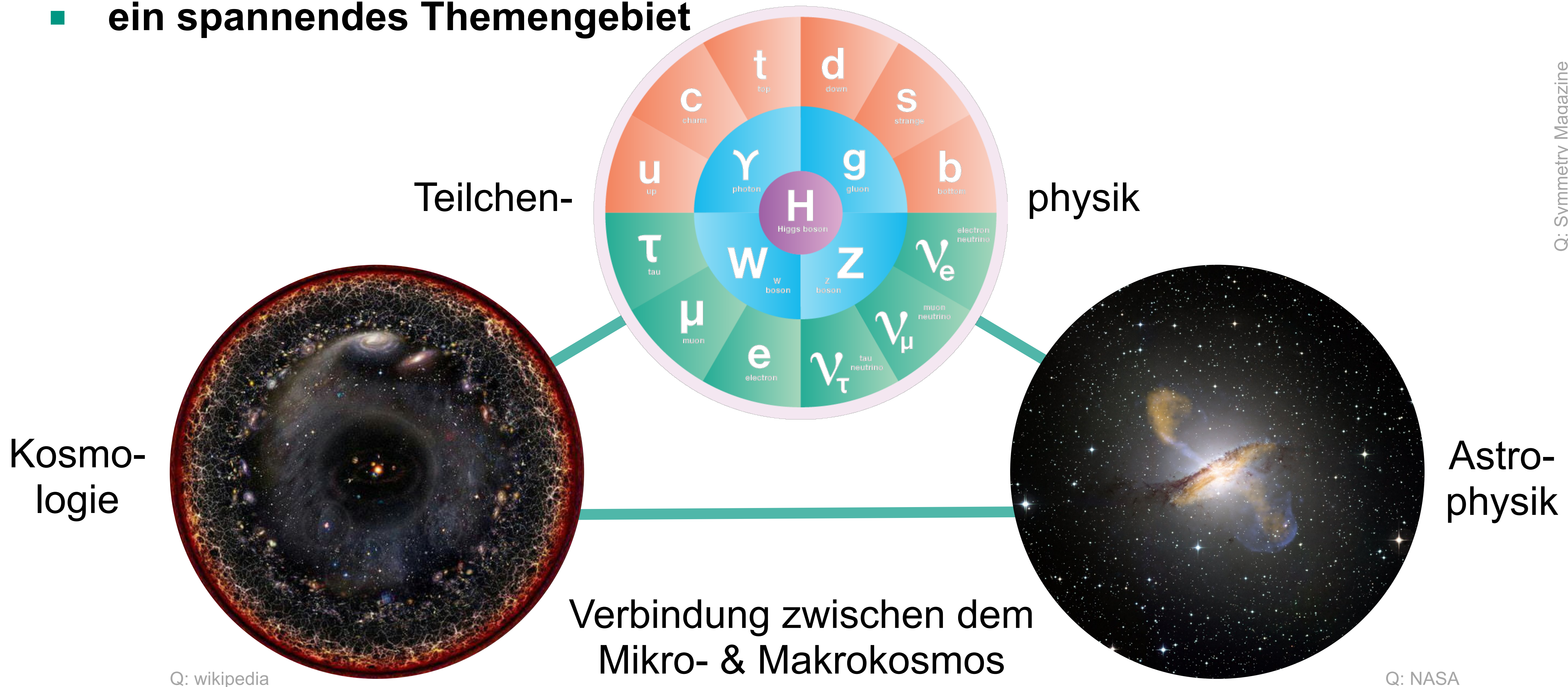
Supersymmetrie – eine Theorie wird getestet

- das **WIMP & SUSY** auf dem Teststand des LHC
 - Erzeugung von SUSY-Teilchenpaaren: extrem selten
 - **WIMP**: am Ende einer SUSY-Zerfallskette

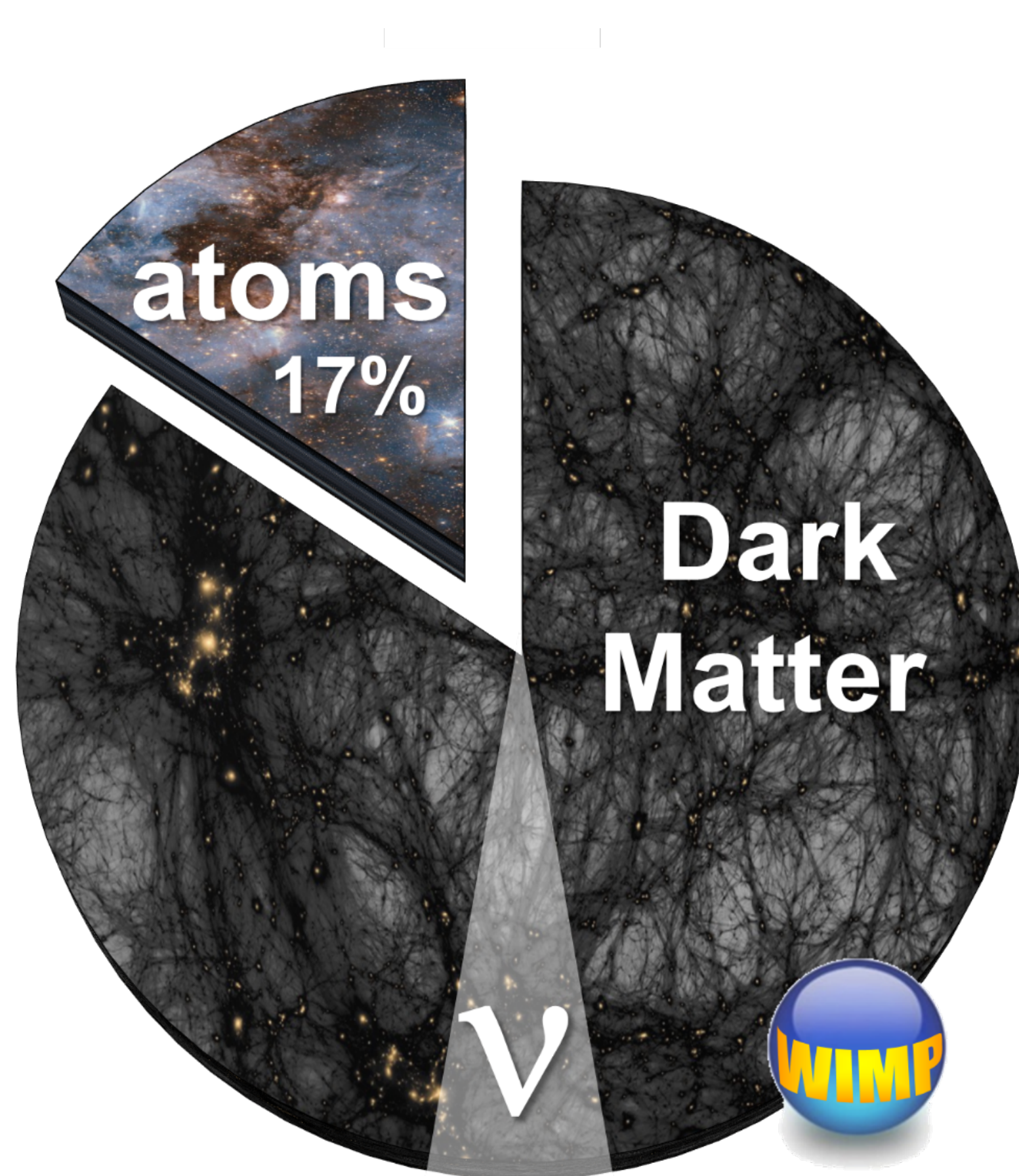


Astro Teilchen Physik – Themengebiete

- ein spannendes Themengebiet



■ Neutralinos (WIMPs) & Neutrinos aus dem Universum: Rolle & Eigenschaften



- Massive Neutralinos als **Kalte Dunkle Materie**
- massebehaftete Neutrinos als **Heiße Dunkle Materie**



Supernovae: ein faszinierendes Thema

■ Neutrinos als effektivste Sternkühlung im Universum



- Neutrinos lassen uns live ins 'Herz' einer Kernkollaps-Supernova blicken
- neue Detektoren (Hyper-Kamiokande) schauen über unsere Galaxis hinaus



Was passiert bei einer Kernkollaps-Supernova?





- Moderne Physik III: Experimentelle Teilchenphysik
- Wahlpflichtvorlesung im Sommersemester
 - 2024: Torben FERBER, Kathrin VALERIUS, Markus KLUTE
 - In English
- Topics / Outline
 - Intro (1 lecture)
 - Collider Physics (7 lectures)
 - Dark Matter Detection (2 lectures)
 - Katrin Experiment and Neutrino Mass Measurement (3 lectures)
 - Conclusion (1 lecture)



Masterstudium: nur hier am KIT – es lohnt sich!

- eine extrem forschungsstarke Fakultät: **Teilchen & Astroteilchenphysik**

Teilchenphysik

TP:

Teilchenphysik I

TP-II – Flavourphysik

TP-II – Top-Quarks/Jets

TP-II – W, Z, Higgs

TP-II – Beyond the SM

Datenanalyse

Detektoren

MC Generatoren

Hauptseminare

Astroteilchenphysik

ATP:

Astroteilchenphysik I

Kosmologie

ATP-II – Teilchen & Sterne

ATP-II – Gammas & Neutrinos

ATP-II – Kosmische Strahlung

Beschleunigerphysik

Detektoren

Messmethoden / Elektronik

Hauptseminare

Modulhandbuch Physik Master 2015 (Master of Science)

SPO 2015

Sommersemester 2021

Stand 16.03.2021

KIT-FAKULTÄT FÜR PHYSIK



KIT – Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft

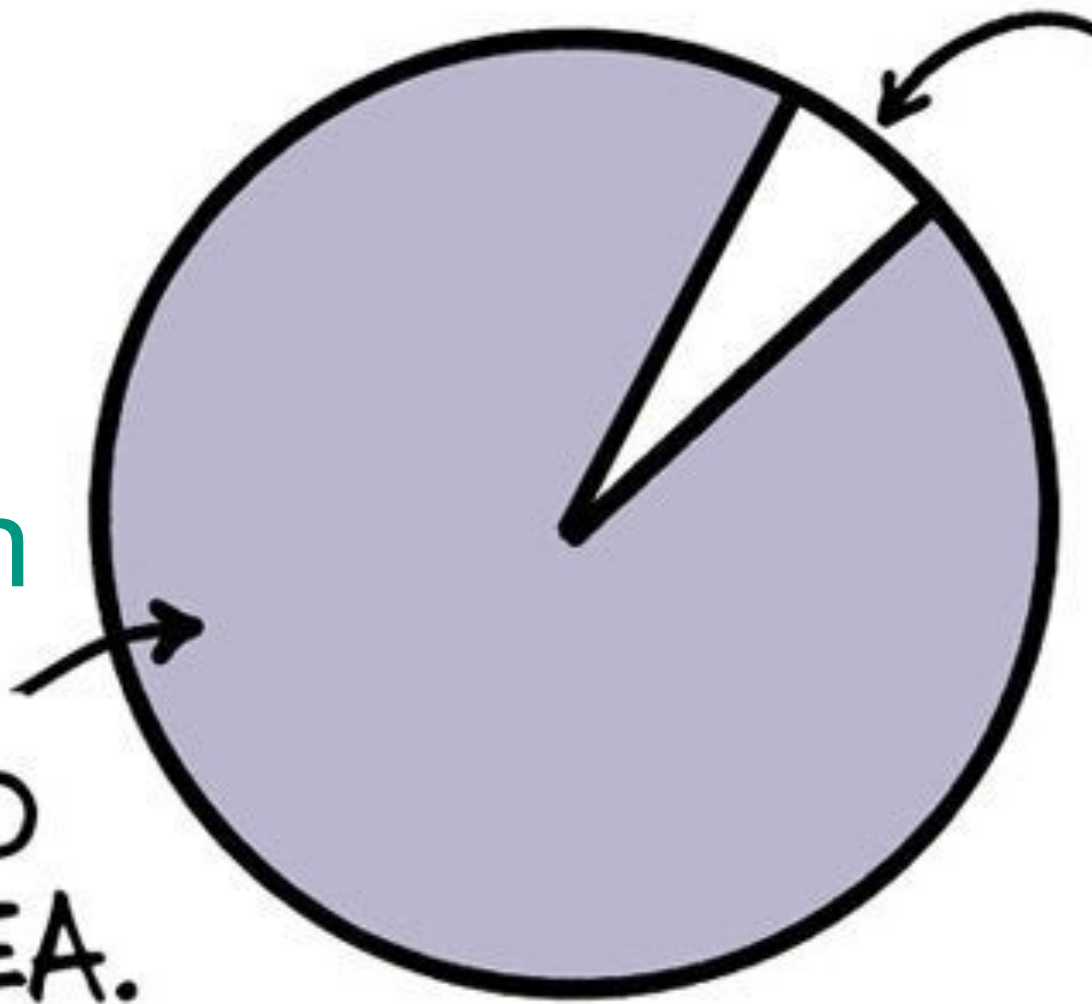
www.kit.edu

- Es gibt noch viel zu erforschen, nicht nur im Bachelor!

THE UNIVERSE AS WE KNOW IT:

Dunkle Materie
Neutrinos und Masse
erweiterte Higgs-Eigenschaften

WE HAVE NO
FREAKING IDEA.



Atome & Kerne

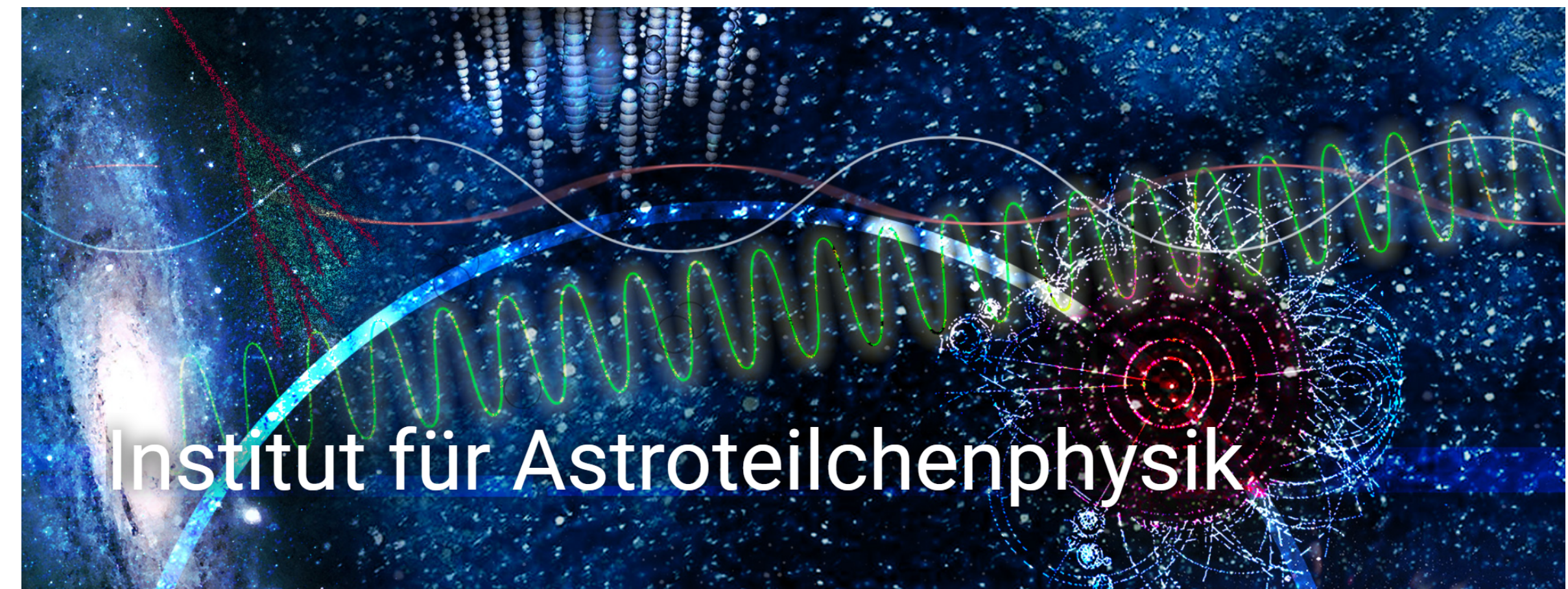
QCD-Farbkraft

Strukturfunktionen

ETP & IAP bieten tolle Themen!



- **spannende Forschungsthemen, nicht nur im Bachelor!**
 - zwei forschungsstarke Institute am KIT mit einer gemeinsamen Motivation:
auf der Suche nach **neuen Phänomenen und Effekten jenseits des SM**



- **Hochenergiephysik mit dem CMS Experiment am Large Hadron Collider**



Prof. Markus Klute



Prof. Ulrich Husemann



Prof. Günter Quast

...Datenanalyse/ Computing/ Detektor Entwicklung ...

- Physik mit dem BELLE II Experiment am SuperKEKB Collider



Prof. Torben Ferber



...Datenanalyse/ Flavorphysik/ DM-Suche...

- FCC-ee, Beam Dump Experimente, Dark Matter Experimente



Prof. Torben Ferber



Prof. Markus Klute

DElight

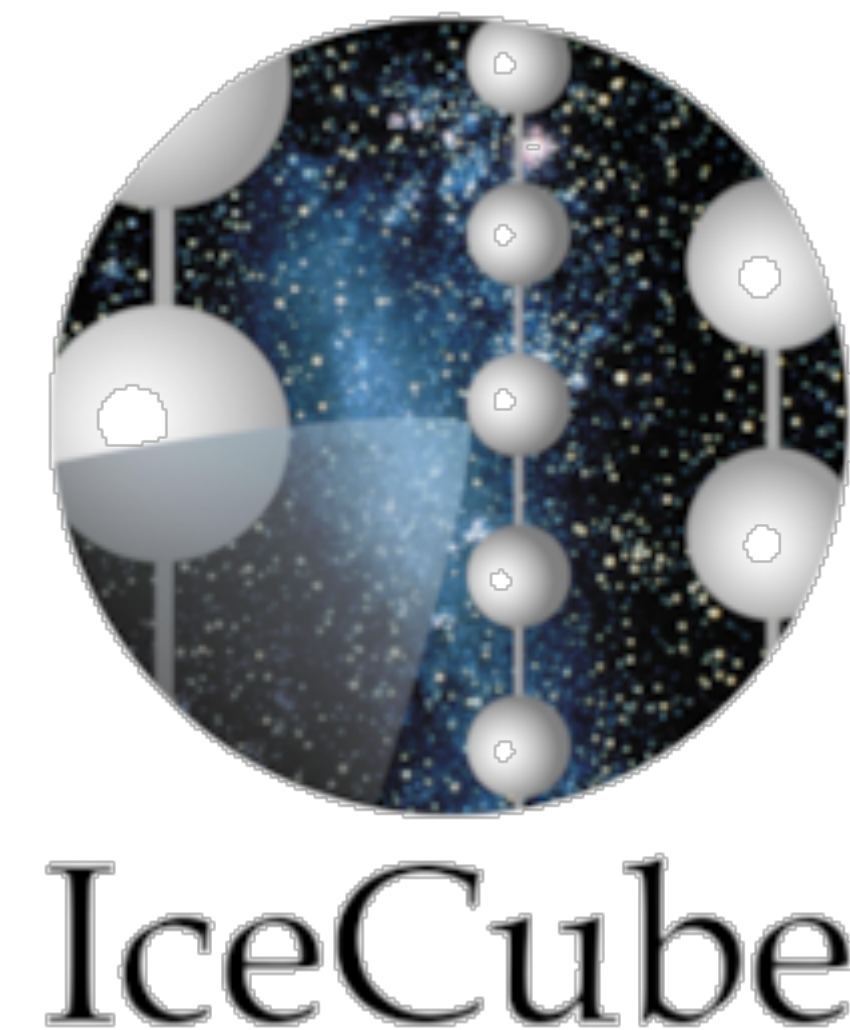
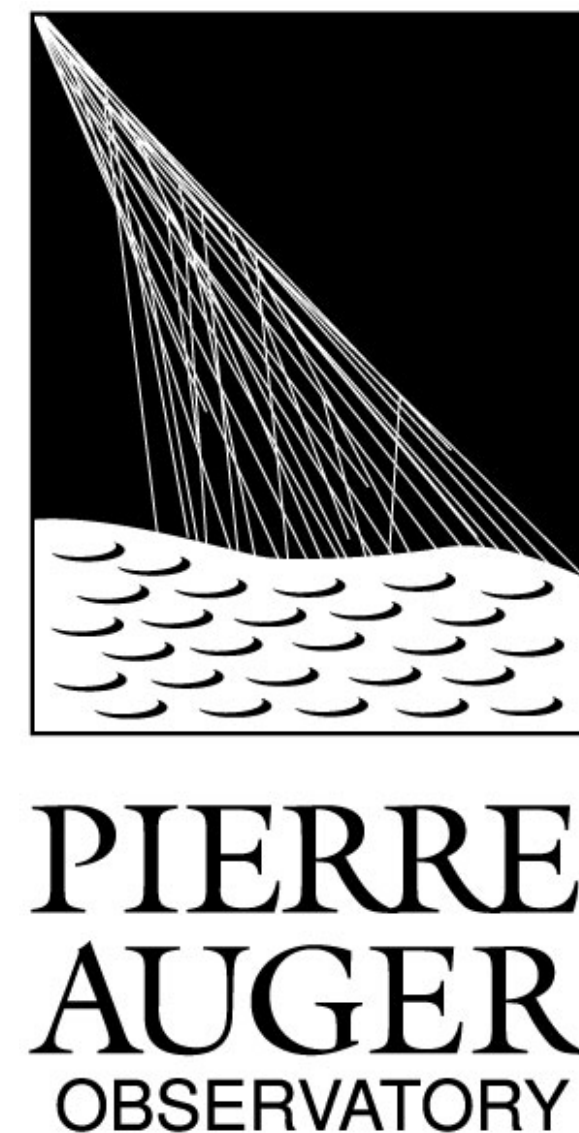


...Datenanalyse / DM-Suche / Higgs Physik ...

- **Astroteilchenphysik mit den Observatorien Pierre Auger & IceCube**



Prof. Ralph Engel



...Datenanalyse/ Cosmic Ray & UHE- ν -Physik/ Hardware...

- **Astroteilchenphysik mit den Observatorien Pierre Auger & IceCube**



Prof. Guido Drexlin



Prof. Kathrin Valerius

...Datenanalyse/ ν -Physik/ Suche nach DM/ Hardware/ FuE...

Forschungsthema: Technische Themen

- Datenverarbeitung
- Quantensensoren
- Beschleuniger
- ...

Accelerator in a nutshell



Image credit: Thorben Seggebrock

Prof. Frank Simon

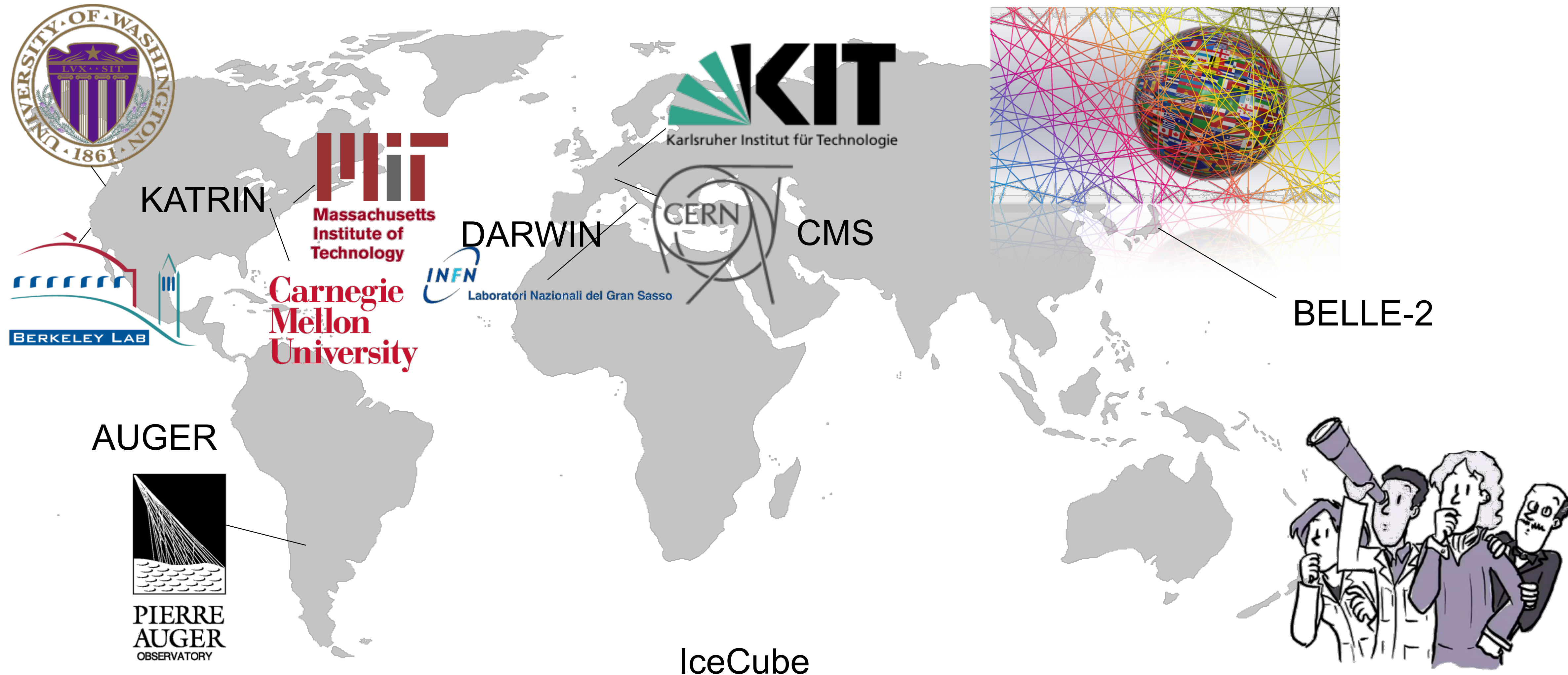
Prof. Sebastian Kempf

Prof. Anke Susanne Müller

Prof. Matthias Fuchs

Masterstudium & beyond: internationale Kontakte!

- Beyond KIT: wichtige Erfahrungen sammeln bei unseren weltweiten Partnern



ALLES UND NICHTS

DAS PHYSIKERTHEATER PRÄSENTIERT

SCHMITZ' KATZE FR 1. MÄRZ 19:00

FR 1. MÄRZ 21:00 **DIE WAHRHAFT SCHWACHEN**

WERKSCHAU Φ DAS SZENENPROJEKT SA 2. MÄRZ 18:00

SO 3. MÄRZ 17:30 **OFFENE PROBE Φ MEINE VÄTER**

POETRY SLAM SO 3. MÄRZ 20:30

MI 6. MÄRZ 18:45 Das Physikertheater mit **Weltuntergang** von Jura Soyfer

EINTRITT FREI
KIT CAMPUS SÜD IM GAEBE-HÖRSAAL
WWW.PHYSIKERTHEATER.DE



- von dieser Vorlesung ... auf zu einer erfolgreichen Karriere!!



Danke für ihr Interesse & ihre Aufmerksamkeit !