

Das Standardmodell der Teilchenphysik im Schulunterricht

Fachvortrag



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG

Philipp Lindenau, Dr. Claudia Behnke
Bad Wildbad | 25. – 27.06.2018



NETZWERK
TEILCHENWELT

Higgs Feld

► Symmetriebrechung

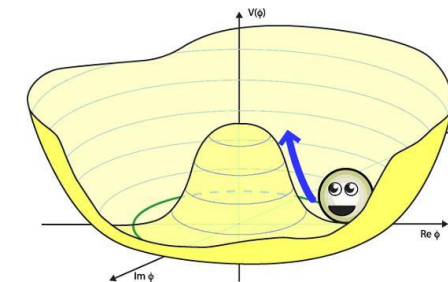
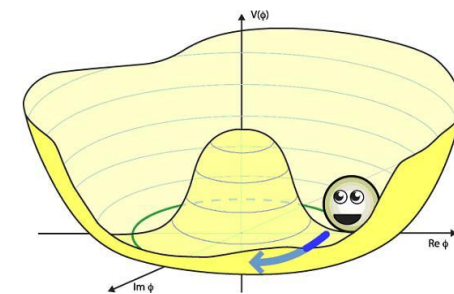
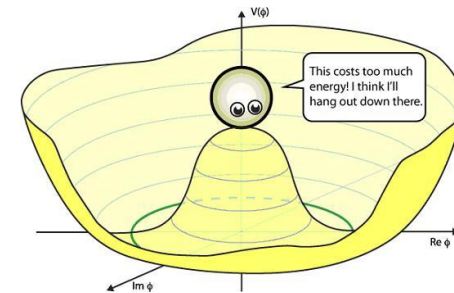
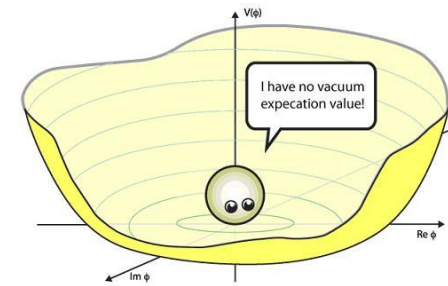
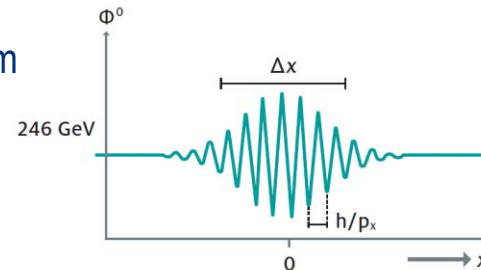
- Symmetrisches Potential
Grundzustand symmetrisch
- Symmetrisches Potential
Grundzustand nichtsymmetrisch

► Klassisch analog Dielektrikum : Abschirmung der Feldlinien

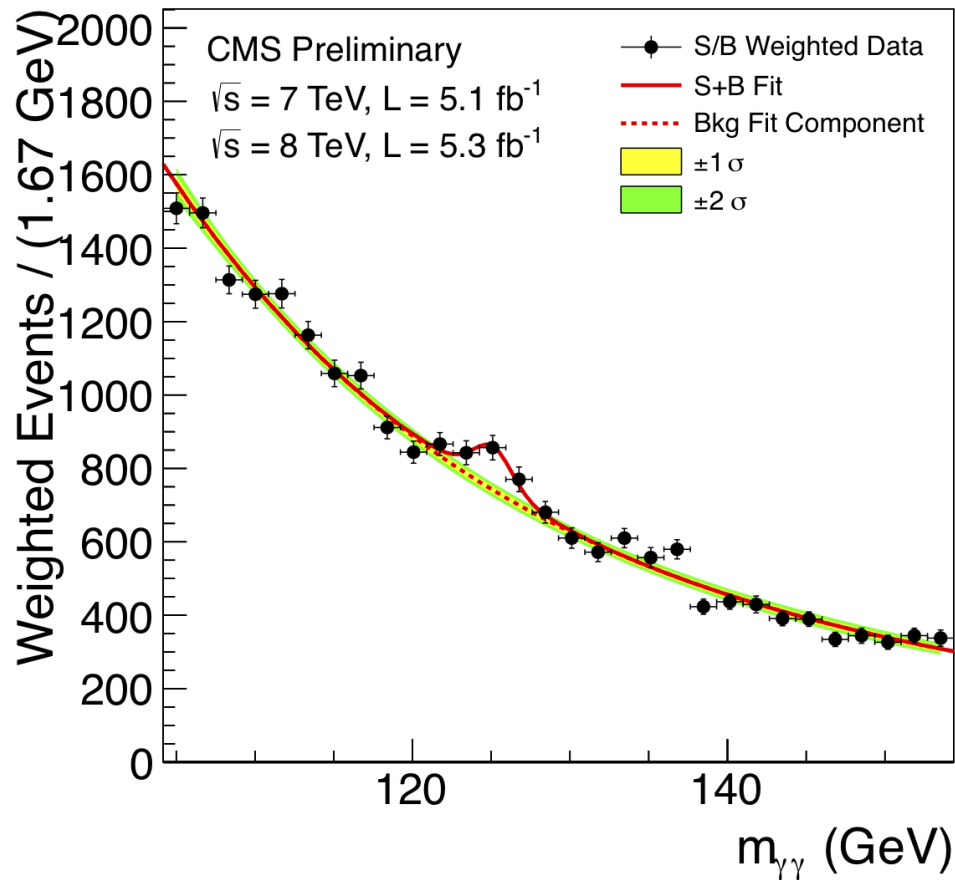
- Abschirmung „schwacher Felder“
durch BEHiggs-Hintergrundfeld
= unendlicher See schwacher Ladung
- Abschirmendes Feld
Duplett in schw. Ladung
Komponente $v = 246$ GeV im Vakuum
- Anregung = Higgs-Teilchen

$$\Phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix}$$

$$\Phi_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v + H \end{pmatrix}$$



Higgs Teilchen - Messung



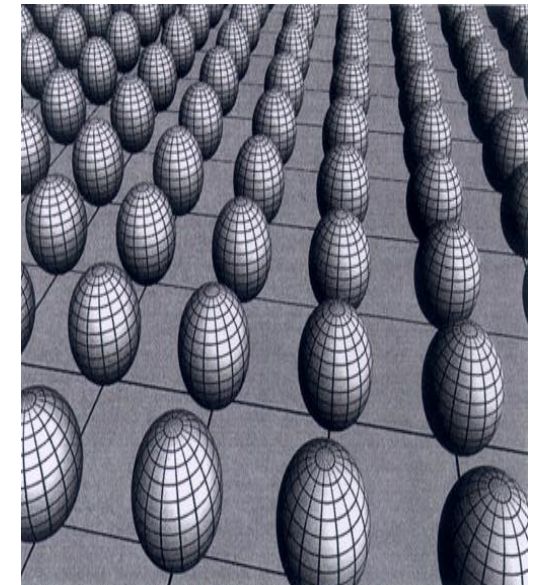
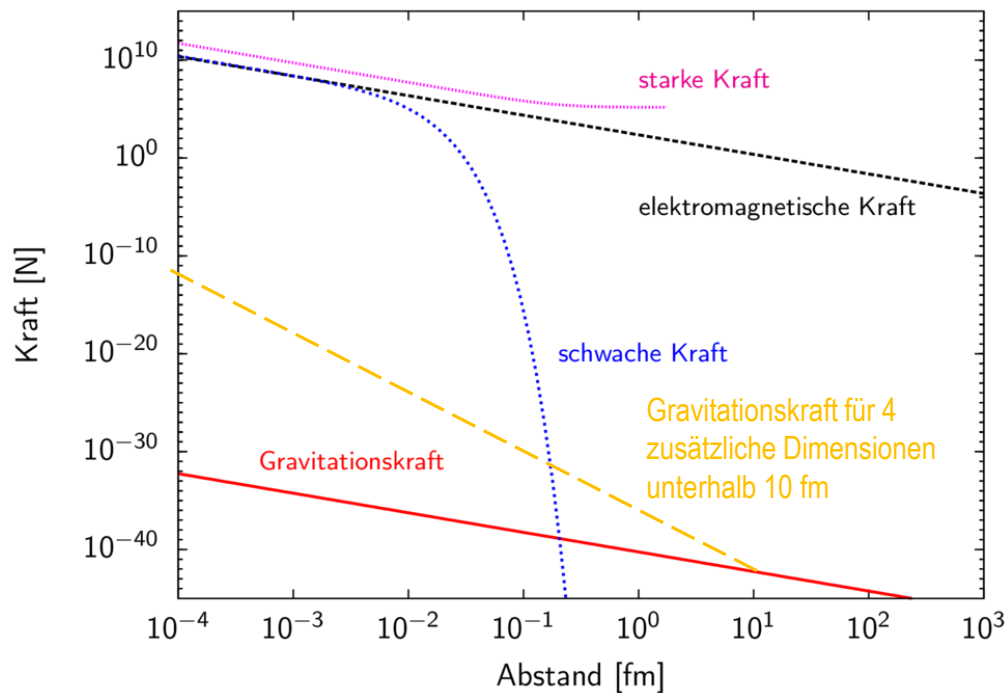
Einschub:

- ▶ Alle Kraftgesetze beinhalten den Abstand r
 - Bei kleinen Abständen $F \sim 1/r^2$
- ▶ Reichweiten sind Konsequenzen dieser Kraftgesetze
 - Unendlich: im Alltag spürbar
 - Endlich: nur subatomar
- ▶ Reihenfolge der Stärken
 - Kann für Kräfte nicht definiert werden wegen $F(r)$
 - Kann nur für Wechselwirkungen definiert werden: α !
- ▶ Stärken aller **Wechselwirkungen sehr** ähnlich
(außer für Gravitation)

Basiskonzept:
Wechselwirkung
= Kraft + Umwandlung +
Erzeugung + Vernichtung

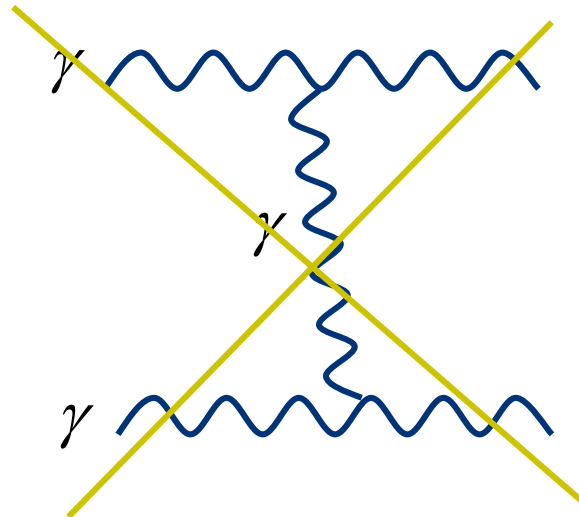
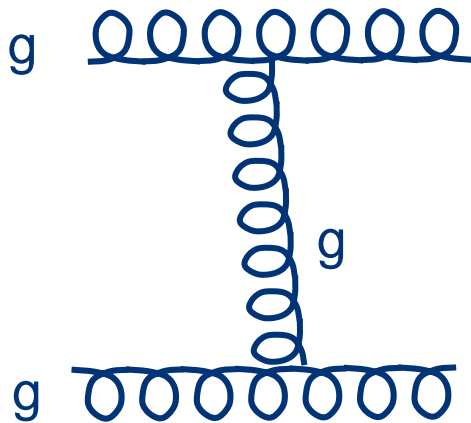
Spekulationen

- ▶ Zusätzliche Dimensionen für Gravitation könnten die Kräfte „vereinigen“



Glukon Selbstwechselwirkung

- ▶ Glukonen besitzen selbst starke Ladung
 - Glukonen können selbst Glukonen abstrahlen



Bisher ignoriert: Zustandsmischung

- ▶ Makroskopisch messbare Teilchen: immer **Massen-Eigenzustände**
- ▶ Wechselwirkungen: immer **Ladungs-Eigenzustände**
- ▶ Umwandlungen nur innerhalb der Ladungs-Dupletts möglich
 - Die Multipletts sind daher *nur* für **Ladungs-Eigenzustände** definiert
- ▶ Konsequenz des BEHiggs Feldes:
 - die Masseneigenzustände von Quarks sind nicht identisch mit den schwachen Ladungs-Eigenzuständen, sondern eine Mischung aus diesen!
 - → Masseneigenzustände haben i.a. keine definierte schwache Ladung
 - → Schwache Ladungs-Eigenzustände haben i.a. keine definierte Masse

$$\begin{array}{ccc} \begin{array}{l} \text{Schwache Ladungs-} \\ \text{Eigenzustände} \end{array} & \begin{array}{c} \nearrow \\ \left(\begin{array}{c} d' \\ s' \\ b' \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{Cabibbo-} \\ \text{Kobayashi-} \\ \text{Maskawa Matrix} \\ \text{(CKM Matrix)} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} d \\ s \\ b \end{array} \right) \\ \nwarrow \end{array} & \begin{array}{l} \text{Massen} \\ \text{Eigenzustände} \end{array} \end{array}$$

Also: Ladungs-Multipletts eigentlich $\left(\begin{array}{c} u \\ d' \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} c \\ s' \end{array} \right), \left(\begin{array}{c} t \\ b' \end{array} \right)$

Zustandsmischung

- Die Quadrate der Elemente $V_{qq'}$ der unitären CKM Matrix bestimmen die Wahrscheinlichkeit der Umwandlungen.

z.B. $s \rightarrow u + W^-$ wird möglich wegen des $|d'\rangle$ -Anteils in $|s\rangle$

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

$$\begin{aligned} \text{also } |s'\rangle &= V_{cd}|d\rangle + V_{cs}|s\rangle + V_{cb}|b\rangle \\ |s\rangle &= V_{us}^*|d'\rangle + V_{cs}^*|s'\rangle + V_{ts}^*|b'\rangle \end{aligned}$$

- Die Mischungen der Quarks in der schwachen Wechselwirkung sind eher klein, d.h. die Mischungsmatrix ist „fast“ die Einheitsmatrix)

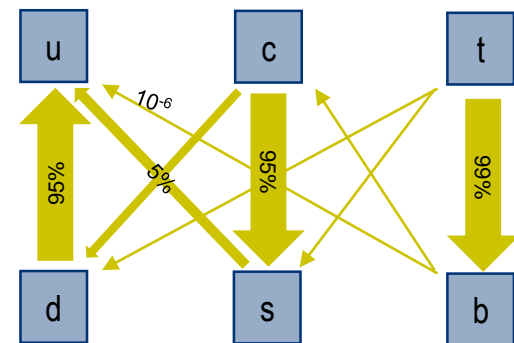
$$\begin{pmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{0,975} & 0,225 & 0,003 \\ 0,225 & \mathbf{0,974} & 0,041 \\ 0,009 & 0,040 & \mathbf{0,999} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{pmatrix}$$

Schwache Ladungs-Eigenzustände

Massen Eigenzustände

Quark-Umwandlungen

- ▶ Beispiel: Wandelt sich ein c-Quark in einem schwachen Prozess um, entsteht daraus **immer** ein s' Ladungs-Eigenzustand, den man mit Wahrscheinlichkeit $|V_{cd}|^2=0,05$ aber als ein d-Quark Masse-EZ beobachtet
- ▶ Die Mischungsmatrix ist fast diagonal
 - Jeweils schwerere Massen-EZ (d,c,t) wandeln sich >95% innerhalb derselben Teilchen-Generation um
 - Für s- und b-Quarks sind nur Umwandlungen in die leichteren Generationen möglich, unterdrückt um Faktoren 40 ($s \rightarrow u$), 600 ($b \rightarrow c$) und 100.000 ($b \rightarrow u$), ihre Lebensdauern sind entsprechend verlängert
 - Der Term $|V_{ud}|^2=0,95$ verlängert z.B. die Lebensdauern von freien Neutronen und elektr. geladenen Pionen um 5%



Zustandsmischung

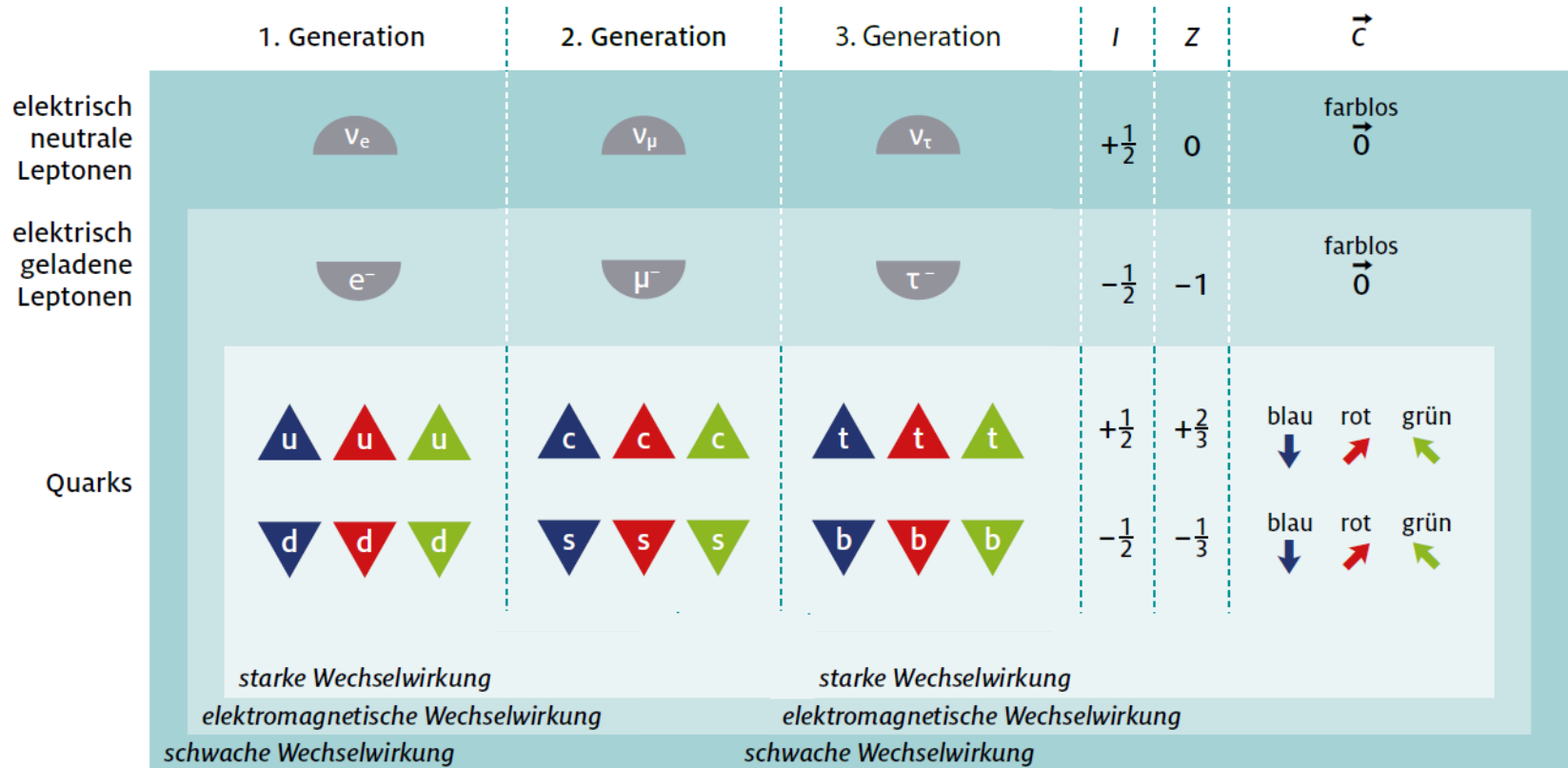
- ▶ **Die Mischungen der Quarks** in der schwachen Wechselwirkung **sind eher klein**
 - Größte Wahrscheinlichkeit für Umwandlung „innerhalb“ des jeweiligen Multipletts
- ▶ **Die Mischungen der Neutrinos** in der schwachen Wechselwirkung **sind dagegen fast maximal**
 - Pontecorvo-Maki-Nakagawa-Sakata-(PMNS)-Matrix
 - → Möglichkeit der „Neutrino Flavor-Oszillation“ $\nu_e \Leftrightarrow \nu_\mu \Leftrightarrow \nu_\tau$

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,82 & 0,55 & -0,15 \\ -0,33 & 0,60 & 0,73 \\ 0,46 & -0,58 & 0,67 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{pmatrix}$$

Schwache Ladungs-Eigenzustände

Massen Eigenzustände

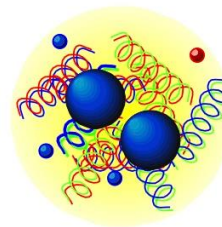
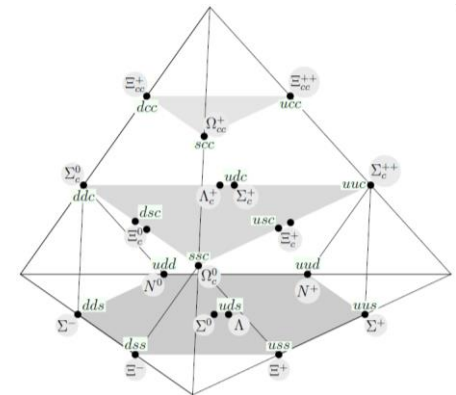
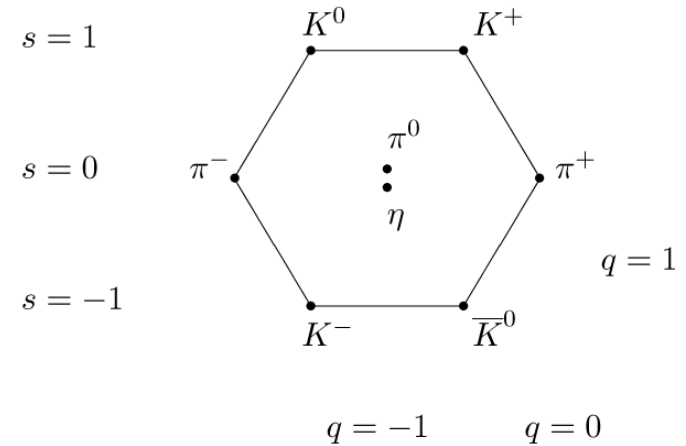
Multipletts – Ladungen als Ordnungsprinzip



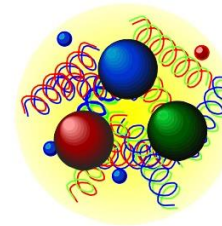
Hadronen

► Zusammengesetzte Zustände von Quarks und Antiquarks

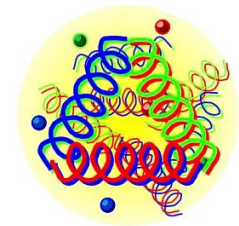
- Baryonen: 3 Quarks
 - Proton
 - Neutron
 -
- Mesonen: Quark Antiquark
 - Pion
 - Kaon
 -
- Weitere Zustände
 - Pentaquarks
 - Tetraquarks
 - Glue Balls



meson



baryon



glueball?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

www.teilchenwelt.de

PROJEKTLEITUNG



PARTNER



SCHIRMHERRSCHAFT



FÖRDERER

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



DR. HANS RIEGEL-STIFTUNG



www.facebook.de/teilchenwelt/



NETZWERK
TEILCHENWELT