

Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln

Wissenschaftliche Arbeit
im Fach Physik
Höheres Lehramt an Gymnasien

eingereicht von
Lehmann, Felix
geboren am 11.09.1988
in W.-P.-St. Guben, jetzt Guben

Technische Universität Dresden
Fakultät Mathematik und Naturwissenschaften
Fachrichtung Physik
Professur Didaktik der Physik

Gutachter:
Prof. Dr. G. Pospiech
Prof. Dr. M. Kobel

Dresden, Juli, 2015

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
--------------------	---

Theoretische Grundlagen

2. Teilchenphysikalische Grundlagen.....	5
2.1 Atommodelle und das Standardmodell der Teilchenphysik.....	5
2.2 FEYNMAN-Diagramme.....	8
2.3 Die elektromagnetische Wechselwirkung.....	9
2.4 Die starke Wechselwirkung.....	11
2.5 Die schwache Wechselwirkung.....	13
2.6 Die drei Generationen der Materie- und Anti-Marieteilchen im Standardmodell der Teilchenphysik.....	14
3. Physikdidaktische Betrachtungen.....	15
3.1 Unterrichtskonzeptionen.....	15
3.2 Methodische Großformen.....	17
4. Möglichkeiten der Nutzung interaktiver Tafeln.....	21
4.1 Was sind interaktive Tafeln.....	21
4.2 Technische Potenziale interaktiver Tafeln.....	22
4.3 Didaktische Potenziale interaktiver Tafeln.....	25
4.4 Die interaktive Tafel im Physikunterricht.....	27

Praktische Umsetzung

5. Untersuchung angebotener Einsatzmöglichkeiten der Elementarteilchen-Steckbriefe....	33
5.1 Kurze Vorstellung der Methoden aus der Materialsammlung.....	33
5.2 Aufarbeitung dieser Methoden für die interaktive Tafel.....	35
6. Ordnungsprinzipien der Elementarteilchen: Flipchart „Teilchen sortieren“	37
6.1 Vorbetrachtungen.....	37
6.2 Aufbau und Struktur der Flipchart.....	42
6.2.1 Anfangsphase.....	43
6.2.2 Würfel- und Auswertungsphase.....	46
6.2.2 (a) Der induktive Weg.....	48
6.2.2 (b) Der deduktive Weg.....	54
6.2.3 Hintergrundwissen: Eckenaufteilung.....	55
6.3 Reflexion und Fazit.....	57

7. Weitere Möglichkeiten zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln.....	61
8. Fazit.....	67
A. Anhang	69
B. Bildnachweise, Literatur- und Quellenverzeichnis	99
C. Selbstständigkeitserklärung	

1. Einleitung

„Daß ich erkenne, was die Welt

Im Innersten zusammenhält“

(GOETHE. Faust Erster Teil. Seite 13)

Dies lässt GOETHE den wissbegierigen Faust in *Faust. Der Tragödie erster Teil* sagen. Fausts Antrieb ist auch eine Maxime der Grundlagenforschung in der Teilchenphysik, in der Physikerinnen und Physiker „das Innerste der Welt“ erforschen. Ihre „Ergebnisse und Experimente“ begegnen den Schülerinnen und Schülern regelmäßig in den Medien. Neugierig geworden, können sie mithilfe des *Netzwerk Teilchenwelt*¹ einen Einstieg in die Welt der Teilchenphysik finden. Das Netzwerk vermittelt aktuelle Forschungsergebnisse der Teilchenphysik „[...] mit dem Ziel der gemeinsamen Erkundung der kleinsten Teilchen und der Entstehung des Universums [...]“ (KOBEL: 2009). Dazu werden Materialien für Lehrkräfte und Vermittler, wie Dokumente und Präsentationen beispielsweise zum ATLAS-Detektor, zum Standardmodell der Teilchenphysik und den vier Wechselwirkungen bereitgestellt.

Im Bildungswesen werden zunehmend neue technische Arbeitsmittel eingesetzt. Neben beispielsweise Animationen, Simulationen und interaktiven Bildschirmexperimenten bieten interaktive Tafeln den Lehrkräften viele Möglichkeiten, ihren Unterricht ansprechend und interaktiv zu gestalten.

Im Rahmen dieser Arbeit werden teilchenphysikalische Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln aufgearbeitet. Dabei stehen die vom Netzwerk Teilchenwelt bereitgestellten Materialien, insbesondere die Elementarteilchen-Steckbriefe und deren Aufarbeitung für den Einsatz mittels interaktiver Tafeln im Fokus. Die in diesem Zusammenhang erstellte Flipchart thematisiert die Ordnungsprinzipien der Elementarteilchen und bietet Möglichkeiten an, die vom Netzwerk Teilchenwelt bereitgestellten Elementarteilchen-Steckbriefe auf interaktiven Tafeln zu nutzen. Sie kann im schulischen Kontext im Physikunterricht, in Arbeitsgemeinschaften und Schulprojekten, aber auch innerhalb einer „Teilchenphysik Masterclasses“² ihren Einsatz finden. Ergänzend wird eine Lehrerhandreichung zur Verfügung gestellt. Diese ermöglicht einen schnellen und benutzerfreundlichen Einstieg in das Bedienprinzip der Flipchart. Darüber hinaus werden im Rahmen dieser Arbeit weitere Möglichkeiten zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen, wie beispielsweise die Beta-Umwandlungen, vorgestellt.

1 <http://www.teilchenwelt.de/>

2 <http://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/>

Teil I

Theoretische Grundlagen

2. Teilchenphysikalische Grundlagen

In diesem Kapitel werden nach einer kurzen historischen Einführung zum Atommodell das Standardmodell der Teilchenphysik, FEYNMAN-Diagramme und die drei durch das Standardmodell beschriebenen Wechselwirkungen vorgestellt.

2.1 Atommodelle und das Standardmodell der Teilchenphysik

„Bei der Suche nach den fundamentalen Bausteinen der Materie sind Physiker zu immer kleineren Konstituenten vorgedrungen, die sich später als teilbar erwiesen. Am Ende des 19. Jahrhunderts wusste man, dass alle Materie aus Atomen besteht.“ (POVH et al.: 2014. S.1)

Wie POVH schreibt, waren die Atome, die mit bloßem Auge nicht sichtbar sind, bereits Ende des 19. Jahrhunderts bekannt. Sie bestehen aus einer Elektronenhülle und einem Kern und besitzen einen Durchmesser von ca. 10^{-10} m ³. Der Atomkern ist um ein Vielfaches kleiner und besitzt einen Durchmesser von ca. 10^{-15} m ⁴.

Der Begriff *Atom* existiert jedoch schon viel länger. Er wurde erstmals ca. 400 v. Chr. von DEMOKRIT verwendet, als er wie ANAXAGORAS eine Vielzahl an *Urstoffen* annahm. Dies stand im Widerspruch zu den Ansichten, bei denen es nur einen einzigen Urstoff⁵ gibt oder die Welt aus den vier Elementen Feuer, Wasser, Erde und Luft zusammengesetzt ist, wie EMPEDOKLES postulierte. Jedoch hatten all diese *Atome*, wie DEMOKRIT sie nannte, keine qualitativen Eigenschaften. Sie sind unveränderlich, unvergänglich und unterscheiden sich nur in Form und Größe.

Diese Atomvorstellung wurde erst in der Neuzeit wieder aufgegriffen. Ludwig BOLTZMANN erzielte Fortschritte in der statistischen Thermodynamik, als er sich diese Vorstellung zunutze machte und von elastischen Stößen zwischen Atomen und Molekülen ausging. Jedoch waren nicht alle Physiker vom Atomkonzept überzeugt. Der österreichische Physiker Ernst MACH äußerte starke Kritik und fragte „Ham's eins g'sehn?“ (vgl. KUHN: 2001, S.409).

1859 gelang es KIRCHHOFF und BUNSEN zu zeigen, dass jedem Element ein ganz bestimmtes charakteristisches Linienspektrum zugeordnet werden kann. Ein Ergebnis der Interpretationen der spektroskopischen Daten, insbesondere der des Wasserstoffs, ist die BALMER-Formel.

³ $d_{\text{Atom}} \approx 10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$, Einheit 1 Ångström, nach dem schwedischen Physiker Anders Jonas Ångström

⁴ $d_{\text{Atomkern}} \approx 10^{-15} \text{ m} = 1 \text{ fm}$, in der Teilchenphysik auch 1 Fermi genannt, nach dem italienischen Kernphysiker Enrico Fermi

⁵ THALES von Milet: Wasser als einziger Urstoff. ANAXIMENES: Luft als einziger Urstoff

Ende des 19. Jahrhunderts gelang es J. J. THOMPSON, das Verhältnis der elektrischen Ladung zur Masse der Teilchen zu bestimmen. Damit konnte das Elektron als elektrisch negativ geladener Baustein von Materie interpretiert werden. Henri BEQUEREL zeigte mit seiner Entdeckung der Radioaktivität, dass die nach außen neutrale Materie aus elektrisch positiv und elektrisch negativ geladenen Bausteinen aufgebaut sein muss und unter Umständen instabil sein kann.

Obwohl kein Mensch „ein Atom jemals gesehen hat“, wie MACH es sinngemäß kritisierte, gelangen doch mehrere indirekte Nachweise. Die Zweifel an der Atomvorstellung konnten insbesondere mithilfe der Entdeckung der Spektrallinien am Ende des 19. Jahrhunderts zu großen Teilen beseitigt werden. Es folgten weitere wichtige Experimente, wie beispielsweise die Streuversuche von RUTHERFORD, die den Wissensstand in der Teilchenphysik, insbesondere zur Struktur der Atomkerne, vorantrieben.

Nach heutigem Kenntnisstand bestehen die Atomkerne aus Protonen und Neutronen, die wiederum aus noch kleineren Teilchen, den 1964 von Murray GELL-MANN postulierten Quarks, aufgebaut sind. Die Quarks sowie die Elektronen sind nach heutigem Wissen Elementarteilchen, d.h. sie besitzen keine Unterstruktur.

Alle Elementarteilchen sowie deren Wechselwirkungen über Austauschpartikel werden im Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben. Die Materieteilchen und Anti-Materieteilchen des Standardmodells sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.

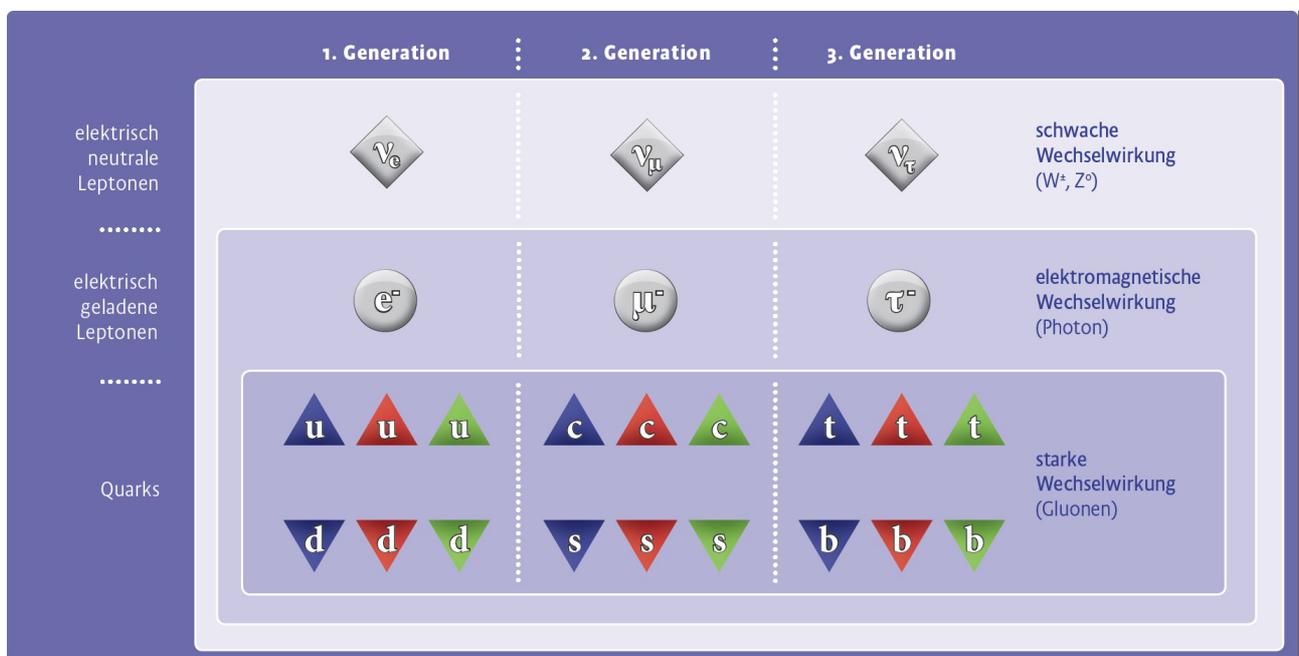


Abb. 01: Die Materieteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik sowie die Wechselwirkungen, denen sie unterliegen

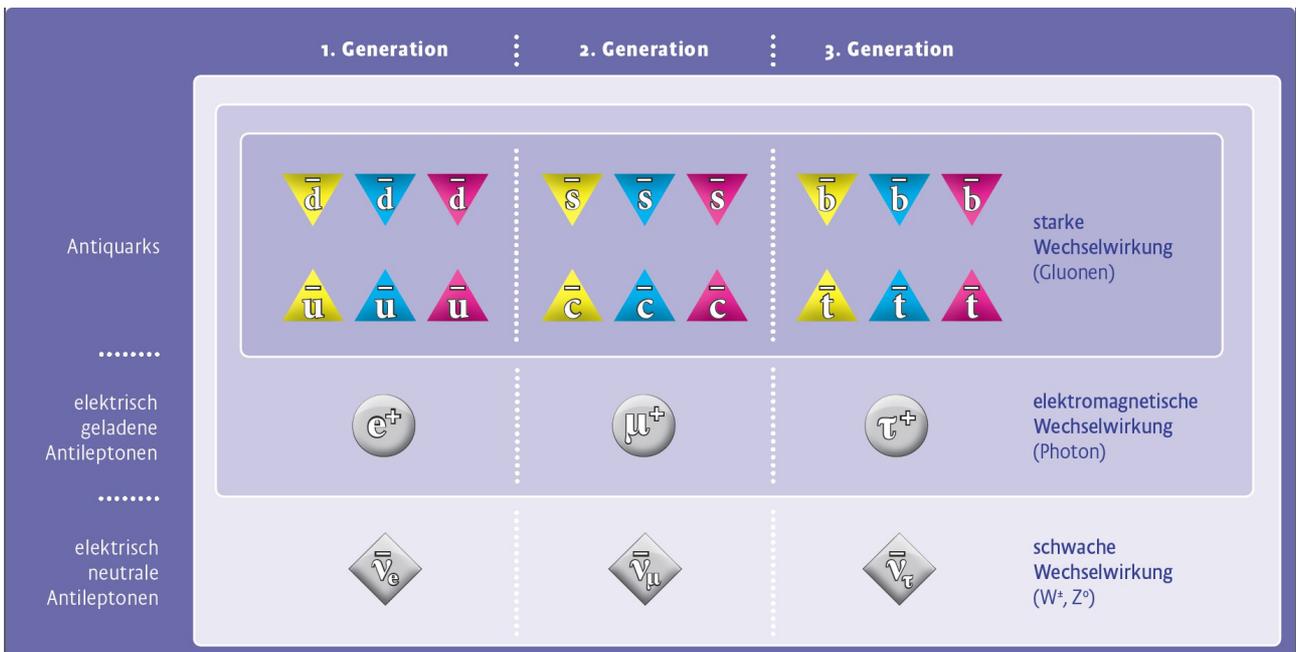


Abb. 02: Die Anti-Materieteilchen des Standardmodells der Teilchenphysik sowie die Wechselwirkungen, denen sie unterliegen

In den Abbildungen sind Fermionen, also Teilchen, die der *Fermi-Dirac-Statistik* unterliegen, dargestellt. Mit grauen Symbolen sind die Leptonen dargestellt. Sie werden unterteilt in elektrisch neutrale Leptonen, die Neutrinos, und elektrisch geladene Leptonen, wie das Elektron, das Myon und das Tauon. Mit farbigen Dreiecken sind die Quarks dargestellt. Das mit „u“ symbolisierte Up-Quark besitzt eine elektrische Ladung von $+2/3e$ ⁶, während das mit „d“ symbolisierte Down-Quark eine elektrische Ladung von $-1/3e$ besitzt.

Protonen und Neutronen sind keine fundamentalen Bausteine der Materie. Ein Neutron besteht aus einem Up-Quark und zwei Down-Quarks und ist somit nach außen elektrisch neutral. Ein Proton besteht aus zwei Up-Quarks und einem Down-Quark und trägt damit eine elektrische Ladung von $+1e$.

Im Atomkern befinden sich die elektrisch geladenen Protonen sehr nah beieinander und die Abstoßungskräfte sind nach dem *Coulomb-Gesetz (1)* für extrem kleine Abstände r sehr groß:

$$F(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}, \quad (1)$$

mit ϵ_0 : elektrische Feldkonstante und $Q_i = q_i \cdot e$, q_i : elektrische Ladungszahl, $i=1,2$. Der

⁶ e für Elementarladung

Grund, weshalb die Kerne dennoch „zusammenhalten“, ist die Existenz der starken Ladung. Die von dieser Ladung erzeugte Anziehungskraft ist bei Abständen von wenigen Fermi stärker als die elektrische Abstoßung. Neben der elektrischen und starken Ladung gibt es noch eine weitere Ladungsart: die schwache Ladung. Diese drei Ladungsarten werden durch das Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben und im Folgenden näher erläutert. Vorher werden jedoch die für die Teilchenphysik bedeutsamen FEYNMAN-Diagramme kurz dargestellt.

2.2 FEYNMAN-Diagramme

Wechselwirkungen werden im Standardmodell (eine Quantenfeldtheorie) durch komplizierte mathematische Ausdrücke beschrieben. FEYNMAN⁷ entwickelte dafür bildliche Darstellungen in Form von Diagrammen. Im Folgenden werden die Grundbausteine, aus denen FEYNMAN-Diagramme bestehen, kurz erläutert.

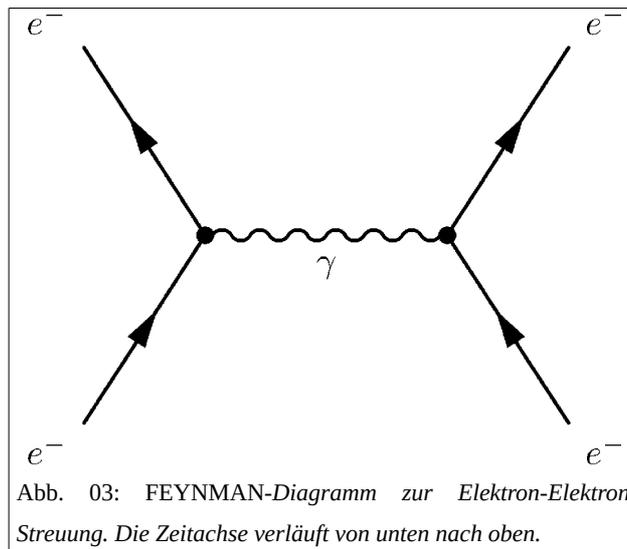
In den 2-dimensionalen FEYNMAN-Diagrammen gibt es eine Raum- sowie eine Zeitachse. Dabei kann die Zeitachse von unten nach oben oder von links nach rechts verlaufen. Die Richtung der Zeitachse sollte deshalb immer mit angegeben werden.

Fermionen werden durch durchgezogene Linien mit einem Pfeil in der Mitte, Vektorbosonen durch Wellenlinien und Gluonen durch Schraubenlinien dargestellt. Anti-Fermionen werden mittels durchgezogener Linien mit einem Pfeil in der Mitte, dessen Pfeilrichtung entgegengesetzt der Zeitachse zeigt, symbolisiert.

„Punkte, an denen drei oder mehr Teilchen zusammenlaufen, nennt man Vertizes“ (POVH et al. 2014, S.54). Insbesondere gilt an jedem Vertex die Ladungserhaltung.

In *Abb. 03* ist eine Elektron-Elektron Streuung durch den Austausch eines Photons dargestellt.

⁷ Richard P. Feynman, amerikanischer Physiker



Es sei noch vermerkt, dass sogenannte *innere Linien*, also Teilchen, die weder im Anfangs- noch im Endzustand auftauchen, als *virtuelle Teilchen* bezeichnet werden. Ihre Energie und ihr Impuls sind durch die Energien und Impulse der Teilchen im Anfangs- und Endzustand bestimmt. Dies hat zur Folge, dass für virtuelle Teilchen die *Energie-Impuls-Beziehung*

$$E^2 = \mathbf{p}^2 c^2 + m^2 c^4, \quad (2)$$

mit E : Gesamtenergie, c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, p : Impuls und m : Ruhemasse, nicht erfüllt sein muss.

2.3 Die elektromagnetische Wechselwirkung

Teilchen, die elektrisch geladen sind, können miteinander elektromagnetisch wechselwirken. Dabei kann die elektrische Ladung eines freien Teilchens nur ganzzahlige Vielfache der Elementarladung e betragen. Es kann sowohl positiv als auch negativ elektrisch geladen sein. Die Theorie der *Quantenelektrodynamik* (QED) beschreibt die elektromagnetische Wechselwirkung.

Das Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung ist das Photon. Das Photon ist masselos und besitzt keine der drei Ladungen. Wird an einen Vertex in einem FEYNMAN-Diagramm ein Photon gezeichnet (wie in *Abb. 03*), so koppelt es mit dem Faktor $q \cdot g$, wobei

$$g = \frac{e}{\sqrt{\epsilon_0 c \hbar}}, \quad (3)$$

mit e : Elementarladung des Elektrons, ϵ_0 : elektrische Feldkonstante, $\hbar = h/2\pi$,
 h : Planck'sches Wirkungsquantum und c : Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, als
 Kopplungsstärke bezeichnet wird. Sie beschreibt die „Stärke“ der elektromagnetischen
 Wechselwirkung und beträgt ca. $g \simeq 0.30$.

Diese Vorgehensweise ist Teil der FEYNMAN-Regeln. Mit diesen lassen sich die FEYNMAN-
 Diagramme in mathematische Ausdrücke „übersetzen“ und daraus Wahrscheinlichkeiten für
 Wechselwirkungsprozesse berechnen.

Statt der Kopplungsstärke wird oft die sogenannte Kopplungskonstante⁸ α verwendet, die für
 die elektromagnetische Wechselwirkung definiert ist durch

$$\alpha_{em} = \frac{g^2}{4\pi} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \quad (4)$$

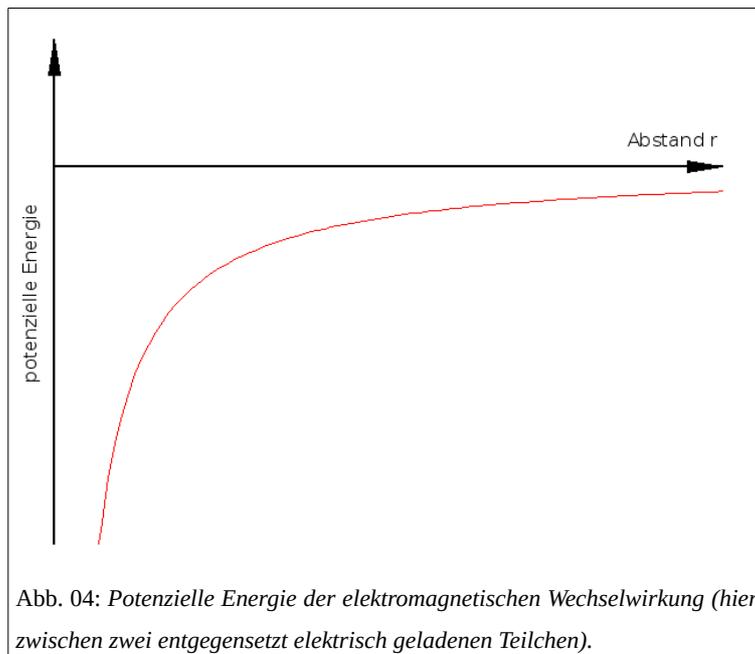
Für die elektromagnetische Wechselwirkung ergibt sich α_{em} ungefähr zu

$$\alpha_{em} \simeq \frac{1}{137} \quad (5)$$

Wie später gezeigt wird, können auch für die anderen Wechselwirkungsarten Kopplungskonstanten
 definiert werden. Damit ist ein Vergleich der Wechselwirkungen möglich.

Wie in Gleichung (1) zu sehen ist, nimmt der Betrag der elektromagnetischen Kraft zwischen zwei
 elektrisch geladenen Teilchen mit zunehmenden Abstand mit $1/r^2$ ab. Für die potenzielle Ener-
 gie, im Falle der Anziehung, ergibt sich die in *Abb. 04* dargestellte Abstandsabhängigkeit.

⁸ Historisch auch Feinstrukturkonstante



Die potenzielle Energie strebt für $r \rightarrow \infty$ gegen Null. Damit ist es möglich, die beiden Teilchen voneinander zu trennen, obwohl die zugrundeliegende elektromagnetische Kraft eine unendliche Reichweite besitzt.

2.4 Die starke Wechselwirkung

Wie bereits erwähnt, existieren neben der elektrischen Ladung weitere Ladungsarten als Eigenschaften von Teilchen. Eine Besonderheit der starken Wechselwirkung ist, dass die starke Ladung Vektorcharakter besitzt. Sie wird auch *Farbladung* genannt. Diese starke Wechselwirkung wird durch die *Quantenchromodynamik* (QCD) beschrieben.

Die Quarks, die als rote, blaue und grüne Dreiecke im Ordnungsschema der Elementarteilchen (*Abb. 01* bzw. *Abb. 02*) dargestellt sind, tragen eine starke Ladung, während die grau dargestellten Leptonen keine starke Ladung tragen und deshalb dieser Wechselwirkung nicht unterliegen. Quarks kommen in drei verschiedenen Farbladungen vor: *rot*, *grün* und *blau*.

Die Austauschteilchen der starken Wechselwirkung sind die Gluonen. Diese sind zwar ebenfalls wie das Photon masselos und elektrisch neutral, besitzen aber jeweils eine starke Ladung. Das heißt, dass die Austauschteilchen der starken Wechselwirkung auch untereinander wechselwirken können.

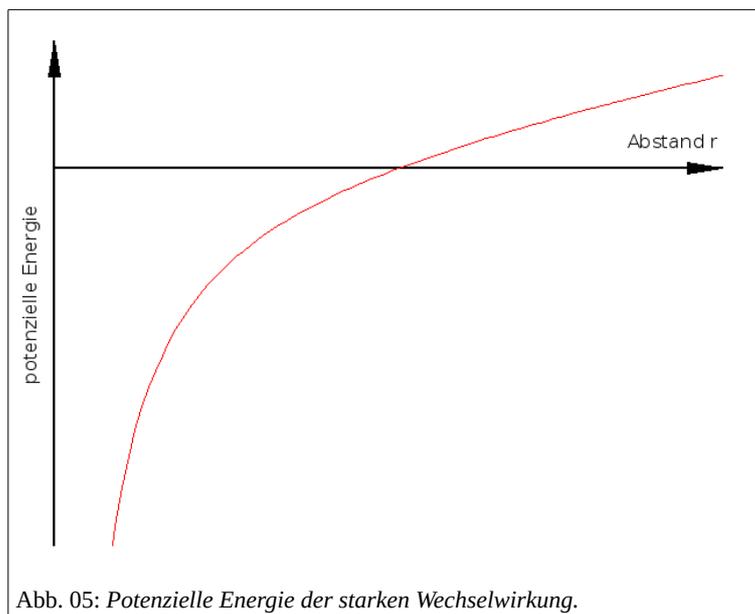
Die Wechselwirkung zweier Quarks wird durch den Austausch eines Gluons vermittelt. In einem FEYNMAN-Diagramm koppelt das Gluon an jedem Vertex mit $\sqrt{\alpha_s}$ (*s: strong*), wobei α_s als

starke Kopplungskonstante bezeichnet wird.

Der numerische Wert für α_s hängt vom Abstand der Quarks ab und liegt im Bereich

$$\alpha_s(0.2 \text{ fm}) \approx \frac{1}{2} \quad \text{bis} \quad \alpha_s(0.001 \text{ fm}) \approx \frac{1}{10}. \quad (6)$$

Während die elektromagnetische Kraft zwischen elektrisch geladenen Teilchen mit $1/r^2$ abfällt, gilt für die starke Wechselwirkung, dass der Betrag der Kraft für $r \geq 0.5 \text{ fm}$ ungefähr einen konstanten Wert annimmt. Damit ergibt sich der in *Abb. 05* dargestellte Verlauf für die potenzielle Energie der starken Wechselwirkung zwischen zwei Quarks in Abhängigkeit ihres Abstandes zueinander.



Die potenzielle Energie steigt mit größer werdendem Abstand r (für $r \geq 0.5 \text{ fm}$) ungefähr linear weiter an. Es ist also unmöglich, gebundene Quarks voneinander zu trennen, da ab einem bestimmten Abstand die potenzielle Energie groß genug ist, um neue Teilchen – Anti-Teilchenpaare zu erzeugen. Somit treten Quarks nur in gebundenen Zuständen auf, was als *Confinement* bezeichnet wird. Dabei gibt es sogenannte *Baryonen*, d.h. Zustände aus drei Quarks und sogenannte *Mesonen*, d.h. Zustände aus zwei Quarks (Quark und Anti-Quark). Für diese gebundenen Zustände gilt, dass sie nach außen *farbneutral* sind. Die Konstituentenquarks in Baryonen besitzen demzufolge die *rote*, *blaue* und *grüne* Farbladung. Für die Mesonen gilt: *Farbe + Anti-Farbe*, also beispielsweise *rot + anti-rot*.

2.5 Die schwache Wechselwirkung

Die schwache Wechselwirkung ist für Kernumwandlungen und damit für die Radioaktivität verantwortlich. Die schwache Ladung wird auch *schwache Isospinladung*⁹ genannt. Ein Merkmal dieser Ladung ist, dass sie nur zwei verschiedene Werte annehmen kann ($+1/2$ und $-1/2$).

Alle bisher hier diskutierten Fermionen¹⁰ tragen eine schwache Isospinladung und unterliegen somit der schwachen Wechselwirkung. Die Elementarteilchen können deshalb bezüglich der schwachen Isospinladung in sogenannten *Dubletts* angeordnet werden. Im Folgenden sind links die Quarkdubletts und rechts die Leptonendubletts aufgeführt.

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix} \quad | \quad \begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$$

Für diese Dubletts gilt, dass das „obere Teilchen“ eine positive schwache Isospinladung und das „untere Teilchen“ eine negative schwache Isospinladung besitzt. Weiterhin ist die elektrische Ladungszahl des „oberen Teilchens“ um 1 größer als die des unteren Teilchens. Diese Eigenschaften sind nachfolgend beispielhaft dargestellt.

	Schwache Isospinladung	Elektrische Ladung	
$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$+1/2$	$+2/3$	 $+1$
	$-1/2$	$-1/3$	

Auch für die schwache Wechselwirkung gibt es mehrere Austauschteilchen. Diese sind das W^+ -Boson , das W^- -Boson und das Z^0 -Boson , wobei alle eine Masse im $80-90 \text{ GeV}/c^2$ - Bereich besitzen.

Wechselwirken zwei Elementarteilchen über die schwache Wechselwirkung, so geschieht dies über den Austausch von W- und Z-Bosonen. Im FEYNMAN-Diagramm koppeln sie mit $\sqrt{\alpha_w}$ (w: *weak*), wobei α_w als schwache Kopplungskonstante bezeichnet wird.

Der numerische Wert für α_w ergibt sich ungefähr zu

$$\alpha_w \simeq \frac{1}{30}. \quad (7)$$

⁹ Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich die dritte Komponente der schwachen Isospinladung betrachtet
¹⁰ Hier sei lediglich auf *rechtshändige* und *linkshändige* Fermionen verwiesen, wobei nur letztere den schwachen Isospin tragen. Diese Unterscheidung spielt in der *Paritätsverletzung* eine Rolle, auf welche im Rahmen dieser Arbeit aber nicht weiter eingegangen wird.

Obwohl damit für die Kopplungskonstanten $\alpha_w > \alpha_{em}$ gilt, ist die schwache Wechselwirkung für große Abstände „schwächer“ als die elektromagnetische. Das liegt daran, dass die Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung eine sehr große Masse besitzen.

2.6 Die drei Generationen der Materie- und Anti-Materieteilchen im Standardmodell der Teilchenphysik

Der größte Teil der Materie ist aus Up- und Down-Quarks sowie Elektronen aufgebaut. Diese Teilchen zusammen mit dem Elektron-Neutrino bilden die sogenannte erste Generation der Materieteilchen im Standardmodell. Zu jedem dieser Teilchen existieren „schwerere Kopien“ mit den gleichen Eigenschaften (z.B. elektrische, schwache und starke Ladung), aber einer anderen Masse: Zum Up-Quark existieren die schwereren Charm- und Top-Quarks, zum Down-Quark die schwereren Strange- und Bottom-Quarks, zum Elektron das schwerere Myon und Tauon und zum Elektron-Neutrino das Myon-Neutrino und Tauon-Neutrino. Die „schwereren Kopien“ der Teilchen bilden die sogenannte zweite und dritte Generation der Materieteilchen (siehe *Abb. 01*).

Zu jedem Materieteilchen existiert ein entsprechendes Anti-Materieteilchen. Diese lassen sich wie die Materieteilchen in drei Generationen einteilen (siehe *Abb. 02*).

Innerhalb der einzelnen Generationen sind die Materie- und Anti-Materieteilchen anhand ihrer Ladungen in Singulets bezüglich der elektrischen Ladung, in Dubletts bezüglich der schwachen Ladung und Triplets bzw. Singulets bezüglich der starken Ladung geordnet.

3. Physikdidaktische Betrachtungen

Die Didaktik kann als Lehre vom Lehren und Lernen verstanden werden und stellt eine zentrale Disziplin in der Pädagogik dar. Sie lässt sich in die allgemeine Didaktik und Fachdidaktiken einteilen.

In diesem Kapitel sollen grundlegende physikdidaktische Unterrichtskonzeptionen und methodische Großformen vorgestellt werden, die im Rahmen dieser Arbeit bezüglich der didaktischen Überlegungen bei der Aufarbeitung der teilchenphysikalischen Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln eine Rolle gespielt haben.

3.1 Unterrichtskonzeptionen

„Unterrichtskonzepte des Physikunterrichts thematisieren vor allem die Form und Art der Wissensvermittlung und des Verstehens [...]“ (KIRCHER et al.: 2007, S155). An dieser Stelle soll auf die Konzeptionen des darbietenden, entdeckenden, exemplarischen und genetischen Physikunterrichts eingegangen werden.

Darbietender Unterricht

Der darbietende Unterricht ist vor allem von einem Lehrervortrag mit geeigneten Demonstrationsexperimenten geprägt, wobei ein eher mitteilendes Lehren und rezeptives Lernen im Vordergrund steht. Im Hinblick auf das effektive (nachhaltige) Lernen von begrifflichen Strukturen und Konzepten ist laut AUSUBEL¹¹ das rezeptive Lernen im Zuge des *sinnvoll übernehmenden* Unterrichts insbesondere effektiver als das entdeckende Lernen¹². Dies ist darin begründet, dass bei dieser Form des darbietenden Unterrichts die Lehrkraft die Möglichkeit besitzt, bewusst und gezielt derart an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler anzuknüpfen, dass die zu erlernenden Inhalte für sie von Bedeutung, sinnvoll sind (vgl. KIRCHER et al.: 2007, S.162). Ein mögliches Problem des darbietenden Unterrichts kann eine geringe Motivation der Lernenden aufgrund ihrer äußerlich passiven Rolle sein. Außerdem verfügen sie anschließend oft nur über verbales Wissen.

Entdeckender Unterricht

Der entdeckende oder auch forschende Unterricht ist vor allem von Gruppen- und Einzelarbeit mit Schülerexperimenten geprägt. Die Bedeutung des Begriffs *entdecken* ist nicht auf neue physikali-

¹¹ David P. AUSUBEL: US-amerikanischer Psychologe

¹² Siehe auch „Entdeckender Unterricht“ im folgenden Unterkapitel

sche Forschungsergebnisse bezogen, sondern die Schülerinnen und Schüler „forschen“ und entdecken etwas für sie Neues. Dabei stehen vor allem das Erlernen von physikalischen Denk- und Arbeitsweisen, wie z.B. genaues Beobachten, sorgfältiges Experimentieren und Auswerten von Ergebnissen im Vordergrund (vgl. KIRCHER et al.: 2007, S.160f). „Der zentrale Wert der Unterrichtskonzeption liegt darin, Physik als Prozess und weniger als Fachinhalt erfahrbar und gestaltbar zu machen“ (HOPF et al.: 2011. S.84).

Exemplarischer Unterricht

Beim exemplarischen Unterricht werden didaktisch bedeutsame Inhalte und Themen ausgewählt und stellvertretend für eine Vielzahl weiterer, ähnlicher Inhalte bzw. Themen behandelt. Dabei liegt der Fokus vor allem auf Themen „[...] aus denen sich typische physikalische Strukturen, Arbeits- und Verfahrensweisen, repräsentative Erkenntnismethoden exemplarisch gewinnen lassen“ (KIRCHER et al.: 2007, S.157).

Nach der intensiven Auseinandersetzung mit den ausgesuchten Themen, die möglichst in einem Bezug zum Alltag bzw. zur Umwelt der Schülerinnen und Schüler stehen, müssen Zusammenhänge herausgearbeitet werden, um „das Ganze“ zu verstehen (vgl. KIRCHER et al.: 2007, S.155f).

Genetischer Unterricht

Nach WAGENSCHHEIN erfordert das Verstehen einen *genetischen, exemplarischen und sokratischen* Unterricht¹³. Der genetische Unterricht gliedert sich in historisch-genetische, logisch-genetische und individual-genetische Aspekte. Letzter konzentriert sich auf die individuellen Lernvoraussetzungen, Vorerfahrungen und Weltbilder der Schülerinnen und Schüler. Diese werden im Laufe des Unterrichts möglichst kontinuierlich zu physikalisch adäquaten Vorstellungen weiterentwickelt oder auch modifiziert. Neue Begriffe werden behutsam und nicht verfrüht eingeführt, da die Lernenden sonst nur „leere Worthülsen“ (KIRCHER et al.: 2007, S.159) von sich geben.

Im Allgemeinen steht bei dieser Unterrichtskonzeption das Gespräch im Vordergrund, das in erster Linie von den Schülerinnen und Schülern bestimmt werden soll. Die Lehrkraft übernimmt dabei hauptsächlich die Rolle des Moderators und nicht des Instructors (vgl. KIRCHER et al.: 2007, S.160).

Ziele dieser Konzeptionen

Den verschiedenen Unterrichtskonzeptionen können trotz der Unterschiede dennoch gemeinsame Ziele zugeschrieben werden. So sollen Lernprozesse zu physikalischen Konzepten und Verfahren

¹³ Wagenschein 1968, gefunden in KIRCHER et al.: 2007, S.155

gefördert, die Schülerinnen und Schüler durch die Vermittlung von Fachwissen und Arbeitsweisen kognitiv aktiviert und so zu einem „mündigen Bürger“ herangebildet werden (vgl. POSPIECH. 2015. Didaktik und Methodik. Vorlesung 4. Folie 27/35). Dafür gibt es unterschiedliche Erarbeitungswege wie beispielsweise die historisch-genetische Methode, bei der die geschichtliche Entwicklung, also die „Physik als Wissenschaft im Entstehen“ (ebd. Folie 29/35) gezeigt wird. Wenn von einem Experiment auf die zugrundeliegende Theorie geschlossen wird, so ist dies Teil der empirisch-induktiven Methode. Ein Problem der Induktion ist die fehlende Absicherung der Allgemeingültigkeit. Den umgekehrten Weg stellt die logisch-deduktive Methode dar. Schwäche dieser Methode ist, dass „der Spezialfall (bei korrekter Ableitung) nur so sicher ist, wie die Prämisse“ (ebd. Folie 9/35).

3.2 Methodische Großformen

Für die Erreichung unterschiedlicher Ziele werden in der Didaktik verschiedene Methoden genutzt. An dieser Stelle wird auf offene Unterrichtsmethoden im Gegensatz zum Kursunterricht als methodische Großformen eingegangen. „Unter methodischen Großformen versteht man im Allgemeinen Unterricht, der sich über einen längeren Zeitraum erstreckt“ (KIRCHER et al.: 2007, S.137).

Die Unterrichtseinheit – der Kurs

Dem traditionellen Regelunterricht liegt ein Kurssystem zugrunde. Dabei wird der Lernstoff in Sinneinheiten angeordnet und vermittelt. Der Aufbau dieser Unterrichtseinheiten folgt aus allgemeinen pädagogischen, fachlichen und psychologischen Kriterien (vgl. KIRCHER et al.: 2007, S.152f). Solche Kurse gehen in der Regel ein halbes Schuljahr oder ein Semester an Hochschulen.

Die Vorteile liegen in der Wahlfreiheit der Lernenden. Sie können gezielt eine Kurswahl vornehmen und so ihren Interessen nachgehen und eigenen Stärken ausbauen. Belegbar ist dies durch die Feststellung KIRCHERs, dass viele eingereichte Arbeiten für „Jugend forscht“ ihren Ursprung in Kursen haben. Ein anderer Vorteil besteht in der Möglichkeit neuer sozialer Beziehungen, wenn das Kurssystem jahrgangsübergreifende Belegungen zulässt.

Mit dieser Wahlfreiheit ist aber auch eine Gefahr verbunden. Sind die Schülerinnen und Schüler sowie die Eltern nur mangelhaft beraten worden, kann das zu einer „Überforderung der Jugendlichen“ führen, wie KIRCHER feststellt.

Offener Unterricht

„Die Idee des offenen (Physik-)Unterrichts geht auf die Reformpädagogik zurück. Vordergründiges

Ziel ist die Förderung selbstgesteuerten, selbstverantwortlichen und aktiven Handelns, Lernens und Arbeitens“ (HOPF et al.: 2011. S.81).

Durch die Bereitstellung von Wahlmöglichkeiten ist eine innere Differenzierung möglich. Jedoch kann offener Unterricht eventuell eine Umgestaltung des Klassenzimmers zu beispielsweise einer „Lernlandschaft“ erfordern. Im Folgenden sollen zwei Möglichkeiten der Umsetzung eines offenen Unterrichtsprinzips kurz dargestellt werden.

Offener Unterricht: Das Projekt

Entwickelt wurde diese Methode Anfang des 20. Jahrhunderts in den USA von DEWEY und KILPATRICK. Bei dem sogenannten „learning by doing“ rückt die Lehrkraft in den Hintergrund. Die Schülerinnen und Schüler sind schon bei der Planung des Projekts beteiligt und „tragen auch Verantwortung für den Verlauf und die Ergebnisse des Projekts“ (KIRCHER et al.: 2007. S.146). Historisch gesehen wurden zuerst gesellschaftlich relevante Themen für die Projektumsetzung gewählt. Erst FREY konzipierte die Projektmethode neu und berücksichtigte pädagogische Aspekte bei der Themenwahl.

Offener Unterricht: Das Spiel

Spiele sind „in vielerlei Hinsicht ambivalent, weder gut noch böse, weder pädagogisch sinnvoll noch sinnlos. [...] vielleicht können Spiele die Einstellungen zu den Naturwissenschaften ändern oder deren abstrakte Begriffe veranschaulichen“ (KIRCHER et al.: 2007, S.140f). KIRCHER stellt weiterhin die Frage, warum es nicht zwei Paradigmen nebeneinander geben sollte, die sich gegenseitig ergänzen: *Arbeit* und *Spiel*, genauso wie *Teilchen* und *Welle*. Außerdem beschreibt er die durch spielerisches Handeln entstehenden Entwürfe der Realität und die darin liegenden Chancen. Als Gefahr sieht er die Instrumentalisierung der Spiele zur Wissensvermittlung.

Die bis ca. 1980 anhaltende geringe Beteiligung der Physikdidaktik an internationalen Diskussionen zu den Perspektiven des Spiels sieht KIRCHER in dem im Physikunterricht vorherrschenden Paradigma „Forschung“ bzw. „Entdeckung“.

Spiele im Unterricht können wie folgt klassifiziert werden. Es gibt psychomotorische Spiele, Rollenspiele und Regelspiele. „Eine wichtige Untergruppe der psychomotorischen Spiele sind die von Schülerinnen und Schülern gespielten physikalischen Sachverhalte und Analogien“ (KIRCHER et al.: 2007. S.143). Abstrakte Begriffe können mit ihnen dargestellt und Modelle, wie beispielsweise das Teilchenmodell, besser verstanden werden. In einem Rollenspiel können die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel einen fiktiven Dialog zwischen zwei Physikern führen. Regelspiele laufen,

wie der Name schon sagt, nach gewissen Regeln ab. Es gibt Verlierer und Gewinner. Karten- und Brettspiele gehören zu den Regelspielen.

Spiele bedeuten eine Veränderung der Lehrerrolle. Die Lehrkraft muss sich ihrer Rolle im Spiel klar sein und sich durchgängig daran halten. Sie darf den Spielablauf nicht stören und sollte eher beratend wirken. Eine mögliche „Unterbeschäftigung“ muss sie wahrnehmen und aushalten (vgl. KIRCHER et al.: 2007. S.146).

4. Möglichkeiten der Nutzung interaktiver Tafeln

Im Folgenden sollen die Möglichkeiten, die interaktive Tafeln (IAT) im Hinblick auf deren Einsatz im Unterricht bieten, betrachtet werden. IAT's werden im Zusammenhang mit dem Einsatz moderner Informations- und Kommunikationstechnologien verstärkt in den Schulen eingesetzt. Aktuell findet ein Wandel hin zum digitalen Klassenzimmer statt. Im Jahr 2013 wurde allein in Dresden die Anschaffung von 243 IAT's an kommunalen Schulen gefördert (vgl. OBST: 2013. S.3). Diese hohe Anzahl rechtfertigt, das besondere Augenmerk auf die Entwicklung von geeignetem Lehrmaterial für den Einsatz an interaktiven Tafeln, gerade auch im Physikunterricht, zu richten.

In diesem Kapitel werden zunächst unter einem allgemeinen Blickwinkel die grundlegenden Funktionen sowie die technischen und didaktischen Potenziale von IAT's aufgeführt. Im zweiten Teil werden die Erwartungen an die IAT in Bezug auf den Physikunterricht kurz beschrieben.

4.1 Was sind interaktive Tafeln

Interaktive Tafeln, auch interaktive Whiteboards (IWB's) genannt, bestehen grundlegend aus einem Beamer, einer Projektionsfläche sowie einem Computer, welcher „die Tafel“ ansteuert. Je nach Hersteller variieren die Funktionsweise der Apparatur und der Lieferumfang. Es gibt analog resistive, elektromagnetische, trigonometrische und kapazitive IWB'S (vgl. WENZEL: 2011).

Aktuelle Hersteller von interaktiven Tafeln sind beispielsweise Promethean¹⁴, SMART Technologies¹⁵, PolyVision Corp.¹⁶, Hitachi¹⁷ und andere¹⁸. Sie unterscheiden sich stark in der mitgelieferten Software. Bei der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Software handelt es sich um das kostenpflichtige ActivInspire¹⁹ der Firma Promethean. Eine kostenfreie Tafelsoftware wird derzeit von der französischen Firma Sankoré²⁰ angeboten.

Die große Anzahl an Herstellern lässt vermuten, dass es sich bei IAT's nicht um eine kurzfristige Er-

14 <http://www.prometheanworld.com/de/german/education/home/>

15

<http://smarttech.com/de/Solutions/Education+Solutions/Products+for+education/Interactive+whiteboards+and+displays/SMART+Board+interactive+whiteboards>

16 <http://www.touchboards.com/polyvision/>

17 <http://eu.hitachi-solutions.com/de/>

18 Sahara Presentation Systems PLC (<http://saharapl.com/>),

MCR Informationssysteme (<http://www.mcr-gmbh.com/>),

Numonics Inc. (<http://www.interactivewhiteboards.com/www/>),

Virtual Ink, GTCO (<http://www.mimio.com/de-EM/Products/MimioTeach-Interactive-Whiteboard.aspx>),

Egan Visual Inc. (<http://www.teamboard.com>)

19 <http://www.prometheanworld.com/de/german/education/products/classroom-software/activinspire/>

20 <http://open-sankore.org/en>

scheinung, sondern vielleicht, wie oben geschrieben, ein Wandel hin zum digitalen Klassenzimmer stattfindet. In einem solchen würden Tablets / Slates, Visualizer und Schülerfeedbacksysteme zu finden sein.

Der Terminus „interaktive Tafel“ ist hinsichtlich der Bedeutung des Begriffs „interaktiv“²¹ kritisch zu betrachten. So schrieb SMITH 2005 folgendes:

„IWBs (or electronic whiteboards as they are perhaps more accurately called) are large, touch-sensitive boards, which control a computer connected to a digital projector“ (SMITH et al.: 2005, S.91)²²

Grundsätzlich handelt es sich um „elektronische Tafeln“. Diese ermöglichen eine physische Interaktion des Benutzers mit der Oberfläche der Tafel. Diese „technische“ Interaktion wird durch die Möglichkeit des Zugriffs und der Kombinierbarkeit verschiedener Medien erweitert.

Der Begriff „interaktiv“ ist aber nicht nur auf technische Aspekte beschränkt, sondern beinhaltet auch die Interaktion zwischen Lehrer und Schüler. Auf diese Weise erhält er eine didaktische Komponente (vgl. OBST: 2013. S.16f). Ebenfalls ist die Interaktion zwischen Schüler und Tafel möglich, wenn nicht sogar wünschenswert. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff der Interaktivität daher als Kombination von technischen und didaktischen Potenzialen verstanden. Diese beiden Komponenten werden nun einzeln betrachtet.

4.2 Technische Potenziale interaktiver Tafeln

Die technischen Potenziale interaktiver Tafeln wurden in zahlreichen englischsprachigen Studien identifiziert und „[...] lassen sich [...] grob in vier Schwerpunkte unterscheiden [...]“ (OBST: 2013. S.18):

1. Unterrichtsorganisation und -strukturierung
2. Mediennutzung
3. Gestaltung des Tafelbilds
4. Steuerung der Aufmerksamkeit

Diese Schwerpunkte der technischen Potenziale werden im Folgenden im Einzelnen erörtert.

21 „die Interaktion betreffend“, <http://www.duden.de/rechtschreibung/interaktiv>

22 Gefunden bei OBST: 2013. S.7

Unterrichtsorganisation und -strukturierung

Die Unterrichtsorganisation kann sich zu großen Teilen ändern, da durch den Einsatz einer IAT ebenfalls alle Möglichkeiten des Computers zur Verfügung stehen. So vereint die IAT den Overheadprojektor, den Fernseher, das Internet und das Audiowiedergabegerät. Alle genannten Geräte müssen nicht mehr einzeln organisiert, angemeldet und beschafft werden, sondern stehen direkt zur Verfügung.

Tafelbilder und im Unterricht bearbeitete Dokumente können mittels einer IAT gespeichert und später wieder aufgerufen werden. So kann die Lehrkraft für jeden Kurs eine eigene Unterrichtsdokumentation anlegen und dauerhaft speichern. Weiterhin können Dateien und Ressourcen geteilt werden. So ist es denkbar, dass Schülerinnen und Schüler den aktuellen Unterrichtsfortschritt von ihrer Lehrkraft per E-Mail zugesendet bekommen. Auch ein Austausch innerhalb des Lehrerkollegiums ist möglich und zudem sinnvoll, wird jedoch zur Zeit „nur unzureichend genutzt“ (OBST: 2013. S.19).

Eine Erweiterung der Unterrichtsstruktur findet sich auch in der Verwendung von bekannten Methoden wie Brainstorming und Mind Map. Durch die Verwendung einer IAT ist jeder Lehrkraft eine saubere und klare Strukturierung möglich, was einen großen Vorteil für den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler darstellt²³.

Mediennutzung

Festzuhalten ist zunächst, dass bereits etablierte Medien wie Abbildungen, Animationen, Simulationen und kurze Videos problemlos weiter genutzt werden können. Zusätzlich ist nun aber auch der Einsatz von sogenannten Applets und Bildschirmexperimenten möglich (vgl. OBST: 2013. S.21).

Die Medienkompetenz und „... der Umgang mit Informationsmedien“ (KMK, 2005, S. 10, „Kommunikation“) wird in den Bildungsstandards für das Fach Physik gefordert. Der durchdachte Einsatz einer IAT ermöglicht den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in den sachgemäßen Umgang mit Informationsmedien. Außerdem knüpft er an die Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler an, da heute fast alle Jugendliche technische Geräte wie PC, Laptop und Smartphone bereits privat nutzen²⁴.

Gestaltung des Tafelbilds

Wie oben geschrieben, unterscheiden sich die IAT's sehr stark in der jeweilig verwendeten Software

²³ Vgl. KIRCHER (2009) in OBST: 2013. S.20

²⁴ Hier sei auf folgende Tabelle verwiesen: H1- Ausstattung privater Haushalte mit Computer und Internet (Statistisches Bundesamt, 2012) in OBST: 2013: S.23ff

und ihrer Dateiformate. Eines haben sie jedoch gemeinsam: sie wurden/werden für die Benutzung im schulischen Kontext entwickelt. Gerade für die Gestaltung des Tafelbilds interessant sind die vorgefertigten digitalen Tools. So stehen Lineale, Zirkel, Winkelmesser und sogar Uhren sowie Zähler digital zur Verfügung.

Neben den genannten Tools kann auch mit anderen Elementen des digitalen Tafelbilds per „Drag & Drop“ flexibel gearbeitet werden. So lassen sich Veränderungen in Größe, Form und Farbe schnell während der Unterrichtsstunde durchführen. Auch in der Nachbereitung und Vorbereitung des darauf aufbauenden Unterrichts stellen diese Funktionen eine Arbeitserleichterung dar.

Gerade der Aufbau und die ständige Weiterentwicklung des Tafelbilds innerhalb der Unterrichtsstunde grenzt die IAT von PowerPoint-Präsentationen ab. Das Tafelbild kann in Zusammenarbeit von Lehrkraft und physischer Beteiligung der Schülerinnen und Schüler entstehen. So kann sich die Art des Lernens, aber auch die Lehrerrolle verändern (vgl. OBST: 2013. S.27f).

Steuerung der Aufmerksamkeit

Auf einer IAT kann theoretisch eine hohe Informationsdichte dargestellt werden. So ist es prinzipiell möglich, umfangreiche Texte mittels kleiner Schriftgröße darzustellen. Dies ist aber nicht wünschenswert, da es sehr unübersichtlich aussehen würde. Hier ist es also ratsam, verschiedene Schriftarten und -größen im Vorfeld auszuprobieren und von der räumlich letzten Bankreihe kritisch zu begutachten.

Das relativ problemlose Einbinden weiterer Medien in das Tafelbild ist ein positiver Aspekt, bringt allerdings die Gefahr der Reiz- und Informationsüberflutung²⁵. Die Tafelsoftware bietet verschiedene Möglichkeiten dem entgegenzuwirken: Objekte können gänzlich verdeckt oder mittels Schieberegler schrittweise sichtbar und unsichtbar gemacht werden. Für gesamte Tafelbildseiten gibt es Vorhang-Tools und das sogenannte Spotlight, welches ganz bestimmte Ausschnitte hervorhebt. Mithilfe dieser Tools kann die Aufmerksamkeit bewusst auf das Wesentliche fokussiert werden. Auf einer traditionellen Tafel wird über Umwege, wie beispielsweise das relativ unflexible Auf- und Zuklappen einer ganzen Seitentafel oder das Befestigen und Abnehmen von Objekten mittels Magneten, die Aufmerksamkeit gesteuert. Die IAT bietet mit den oben genannten Tools einfachere, flexiblere und reversible Möglichkeiten.

²⁵ An dieser Stelle sei auf kognitionspsychologische Erkenntnisse hingewiesen. Das „Arbeits-“ oder „Kurzzeitgedächtnis“ kann lediglich 7 ± 2 Items gleichzeitig bearbeiten (vgl. Mehrspeichermodell von Atkinson & Shiffrin).

4.3 Didaktische Potenziale interaktiver Tafeln

Inwieweit interaktive Tafeln eine Möglichkeit bieten, den Unterricht zu verbessern, soll im Folgenden anhand der drei von OBST gewählten Aspekte *Motivation*, *Leistungsverbesserungen* und *methodisch-didaktische Veränderungen* kurz dargelegt werden.

Motivation

In der von OBST analysierten Literatur überwiegen hohe Erwartungen hinsichtlich einer Motivationssteigerung durch den Einsatz von IAT's im Unterricht. Begründet liegen diese unter anderem in der „nahtlosen Einbindung von Webseiten und Videos...“ (OBST: 2013. S.32) und in der Faszination der Schülerinnen und Schüler im eigenen Umgang mit der interaktiven Tafel.

„Zu erwarten ist, dass die Motivation der Schüler zu Beginn der Einführung stark ansteigt, allein, da die IAT „neu“ und „aufregend“ ist. Gleichzeitig ist zu befürchten, dass dieser Effekt wieder nachlässt, sobald die Schüler feststellen, dass keine wahrnehmbare Veränderung damit verknüpft ist. Die Erwartungen der Schüler an den Lehrer und die IAT dürften hoch sein, da die Schüler aus ihrer Freizeit mit den Möglichkeiten von Web und PC vertraut sind.“ (OBST: 2013. S.32)

Damit argumentiert er, dass ein verändertes Rollenverständnis der Lehrkraft die Voraussetzung dafür ist, dass die Schülerinnen und Schüler eine für sie positive Veränderung der Unterrichtsgestaltung und eine höhere Eigenbeteiligung wahrnehmen.

Leistungsverbesserungen

OBST wertet die teils widersprüchlichen Ergebnisse verschiedener Studien²⁶ zur Leistungsverbesserung durch den Einsatz von IAT's aus. Er kommt zu dem Schluss, „... dass der Einsatz von IAT einen Einfluss auf die Lernergebnisse haben **kann**“ (OBST: 2013. S.35). Insgesamt scheinen bisher keine tatsächlichen, auf den Einsatz von IAT's zurückzuführenden, Leistungsverbesserungen empirisch durch Studien belegt worden zu sein.

Methodisch-didaktische Veränderungen

Der Einsatz von IAT's bringt den Lehrkräften neue und / oder erweiterte Möglichkeiten. Die bisher aufgezählten Potenziale können die Schüleraktivität und Methodenvielfalt verändern. Außerdem besitzen sie einen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Unterrichts.

„Die Schülerbeteiligung wird als ein zentrales Element hinsichtlich der Motivation und Rechtfertigung für die Nutzung der IAT benannt“ (ebd.). Die aktive physische Interaktion der Schülerinnen

²⁶ Ausgewertete Studien: MOSS et al. (2007), HIGGINS et al. (2005), LEWIN et al. (2008)

und Schüler mit der Tafel wird von BECTA²⁷, CUTHELL²⁸ und LEVY²⁹ als wichtig erachtet. Jedoch betrachtet SMITH³⁰ eine hohe Schüleraktivität an der IAT kritisch und argumentiert, dass die Unterrichtsgeschwindigkeit reduziert wird und sogar Langeweile bei den anderen Schülerinnen und Schülern hervorgerufen werden kann. GLOVER³¹ fügt hinzu, dass die Schülerinnen und Schüler regelmäßig an der IAT arbeiten müssen, um mit ihr effektiv umgehen zu können (vgl. OBST: 2013. S.35ff). Die zugelassene Schüleraktivität hängt laut OBST auch von der Vertrautheit des Lehrers im Umgang mit der IAT ab.

Der Einsatz von IAT's muss auch im Rahmen der Methodenvielfalt betrachtet werden. So existiert laut OBST die „... Befürchtung, ... [der] Rückkehr zu mehr lehrerzentriertem (Frontal-)Unterricht“ (OBST: 2013. S. 37). Diese Befürchtung liegt im Mangel am Grundverständnis der IAT. Sie sollte keineswegs ausschließlich und durchgängig eingesetzt werden, sondern vielmehr als Werkzeug oder Hilfsmittel betrachtet werden. Verschiedene Arbeiten³² zeigen den unterstützenden Charakter der IAT's hinsichtlich eines methodenreichen Unterrichts.

Wie oben geschrieben, besitzt der Einsatz einer IAT auch Einfluss auf die Geschwindigkeit des Unterrichts. Dabei ist vor allem eine Geschwindigkeitssteigerung belegbar³³. Es ist nicht nur die Entlastung der Lehrkraft durch vorbereitete Materialien festgestellt worden, sondern ein tatsächlicher zeitlicher Gewinn. Dieser darf aber nicht in einer Überforderung³⁴ der Schülerinnen und Schüler münden, sondern die gewonnene Zeit sollte sinnvoll genutzt werden. OBST nennt hier verschiedene Szenarien. Zum einen bleibt der Blick der Lehrkraft auf die Klasse, wenn die Schülerinnen und Schüler Merksätze und Texte von der Tafel übernehmen, da diese bereits vorbereitet werden und bei Bedarf sichtbar gemacht werden können. Zum anderen kann die Lehrkraft Zusatzmaterial herausuchen und gewisse Sachverhalte recherchieren, während die Schülerinnen und Schüler Texte von der Tafel übernehmen. Möglich macht das die sogenannte „Freeze“ Funktion, bei der das für die Schülerinnen und Schüler sichtbare Tafelbild „eingefroren“ werden kann. Als drittes nennt OBST den flexiblen Zugriff und die Wiedergabe verschiedener Medien ohne aufwendigen Gerätewechsel.

Anstelle der gesteigerten Unterrichtsgeschwindigkeit kann auch ein verzögernder Effekt eintreten. Dieser taucht vor allem dann auf, wenn die Lehrkräfte ungeübt im Umgang mit IAT's sind. Beob-

27 BECTA (2003), S. 1, gefunden bei OBST: 2013

28 CUTHELL (2003), S. 2, gefunden bei OBST: 2013

29 LEVY (2002), S. 10, gefunden bei OBST: 2013

30 SMITH et al. (2005), S. 5, gefunden bei OBST: 2013

31 GLOVER et al. (2007), S. 6, gefunden bei OBST: 2013

32 Arbeiten von: BELL (2002), STUBE (2011), SCHÄDLE (2011), SEIDEL (2003), gefunden bei OBST: 2013

33 HIGGINS (2005), BEAUCHAMP (2004), BENNETT und LOCKYER (2008), LEVY (2002), MILLER et al. (2005), gefunden bei OBST: 2013

34 WALL et al. (2005), gefunden bei OBST: 2013

achtet wurde dies von LEWIN et al. (2008), sowie SMITH (2001).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich Unterricht methodisch-didaktisch positiv durch den Einsatz von IAT's verändern kann. Die Schüleraktivität an der IAT kann gesteigert werden. Die Methodenvielfalt wird nicht eingeschränkt, sondern bei sinnvollem Einsatz der IAT sogar um ein nützliches Hilfsmittel erweitert. Die mögliche zeitliche Entlastung der Lehrkraft kann anderweitig sinnvoll genutzt werden.

4.4 Die interaktive Tafel im Physikunterricht

Wie im vorangegangenen Abschnitt dargestellt wurde, besitzen IAT's große Potenziale für den Unterricht. In diesem Kapitel soll nun ein direkter Bezug zum Physikunterricht hergestellt werden. Zunächst folgen einige technische Möglichkeiten. Zum Schluss wird auf das Teilgebiet der Teilchenphysik spezieller eingegangen.

Werkzeuge / Tools

In Abschnitt „Gestaltung des Tafelbilds“ (siehe S. 23) wurden bereits verschiedene Tools der Tafelsoftware aufgeführt. Gerade der Zirkel und das Lineal können die Tafelbildentwicklung im Physikunterricht bereichern. Eine saubere und maßstabsgetreue Darstellung von Vektorpfeilen sei hier als Beispiel genannt. Diese Pfeile und Skizzen können im sich anschließenden Unterrichtsgespräch weiterentwickelt, verschoben und modifiziert werden. Ein weiteres Beispiel ist die (Stopp-)Uhrfunktion: Es können mehrere Uhren an der Tafel gleichzeitig verwendet werden und somit verschiedene Experimentreihen bedient werden.

Schnittstellen

Die meisten interaktiven Tafeln verfügen über diverse Schnittstellen für Peripheriegeräte. „So wird aus einem einfachen Klassenzimmer mit Interaktivem Whiteboard ein *digitales Klassenzimmer*“ (WENZEL: 2011. S. 21). Es ist beispielsweise möglich, eine kaskadierbare Oberfläche für die Messdatenaufnahme wie CASSY³⁵ an die Tafel anzubinden. Dort können verschiedene Sensoren wie Temperatur- und Lichtsensoren oder Spannungs- und Stromstärkemesser angeschlossen werden. Die Messerwerte können mithilfe der IAT dargestellt, ausgewertet und gespeichert werden.

Des Weiteren bieten viele Firmen Feedbackgeräte als optionales Zubehör zu ihren Tafeln an. Ein

³⁵ <http://www.ld-didactic.de/service/softwaredownload/cassy-s.html>

Klassensatz dieser Geräte eröffnet viele neue Möglichkeiten. In das Unterrichtsgeschehen können dann ExpressPolls, also kurze, schnelle Umfragen, einbezogen werden. Es können aber auch komplexere Umfragen vor dem Unterricht mit dem Fragenmanager vorbereitet werden. Die gängigen Feedbackgeräte bieten nicht nur die Möglichkeit zur Beantwortung von Fragen auf der Grundlage von vorgegebenen Antwortmöglichkeiten, sondern ermöglichen sogar eine Eingabe von Worten und vollständigen Sätzen durch jede Schülerin und jeden Schüler. Anschließend kann das Umfrageergebnis aufgerufen, analysiert und ebenfalls gespeichert werden. Im Physikunterricht sei folgendes Szenario dafür skizziert: Die Lehrkraft verfügt über eine Sammlung an kurzen Fragen und Aufgaben, die digital im Fragenmanager vorliegen. Zu Beginn (oder am Ende) jeder Unterrichtsstunde werden drei bis fünf Fragen gestellt, welche die Schülerinnen und Schüler beantworten. Die Auswertung kann anonymisiert und jeder Schülerin bzw. jedem Schüler eine Zahl zugeordnet werden. Somit sehen die Schülerinnen und Schüler nur, dass die Schülerin / der Schüler mit Nummer 12 alle Aufgaben richtig beantwortet hat, aber nur der Lehrer weiß, wer Person 12 ist. Im Laufe mehrerer Unterrichtsstunden können so für die Lehrkraft individuelle Lernfortschritte aufgezeigt und individuelle Bezugsnormorientierungen³⁶ eingesetzt werden.

Ein weiteres Peripheriegerät ist das Wireless Slate. Dabei handelt es sich um eine kabellose Miniaturlafel (DIN A4 Format), mit welcher man von überall im Raum die IAT steuern kann. Das Slate kann an die Schülerinnen und Schüler weitergereicht werden und diese können von ihrem Platz aus das Tafelbild gestalten. Ein anderer wichtiger Aspekt ist die damit mögliche bessere Einbeziehung körperlich beeinträchtigter Schülerinnen und Schüler an der Tafel, wie WENZEL (2011) feststellt.

Es gibt zahlreiche weitere Geräte, die sich mit einer IAT verbinden lassen. USB-Sticks, moderne grafikfähige Taschenrechner und Dokumentenkameras. Letztere sind auch für den Physikunterricht interessant. Demonstrationsexperimente können „live“ auf die Tafel übertragen, oder sogar aufgenommen werden. Einzelne Screenshots während des Experimentierens lassen sich erstellen und später erneut aufrufen. Die Einsatzmöglichkeiten von Kameras gemeinsam mit IAT's sind umfangreich. An dieser Stelle sei auf die Arbeit von WENZEL (2011) verwiesen, in der ausführlicher weitere Peripheriegeräte behandelt werden.

Digitale Experimente

Die Etablierung des Internets hat neue Möglichkeiten für „digitale Experimente“ geschaffen. Auf Seiten wie leifiphysik³⁷ sind nahezu alle Themenbereiche der Schulphysik aufgeführt. Dort finden

36 „Die individuelle **Norm** sollte dabei für den Lehrer **handlungsleitend** sein.“ Handreichung zur Leistungsermittlung und Leistungsbewertung, Sächsisches Staatsministerium für Kultus, 2007, S.7

37 <http://www.leifiphysik.de/>

sich neben Erläuterungen, Hinweisen und Erklärungen auch zahlreiche Applets. Wie schon beschrieben, lassen sich solche Applets problemlos in die IAT einbinden. Damit können zum Realexperiment zusätzlich digitale Experimente eingesetzt werden (vgl. WENZEL: 2011, S.91ff).

Weitere Beispiele und Richtlinien für den sinnvollen Einsatz der IAT in Bezug auf die Experimente im Physikunterricht findet sich in OBST (2011, S.40ff).

Ressourcenbibliothek

Die Ressourcenbibliothek stellt für jedes Unterrichtsfach ein effizientes Werkzeug dar. Im Physikunterricht kann über einen gewissen Zeitraum eine umfangreiche Bibliothek angelegt und innerhalb des Kollegiums verteilt und weiter ausgebaut werden. Es ist denkbar, Fotos der Schülerexperimentiergeräte als Datenbank in der Ressourcenbibliothek anzulegen. Der Experimentaufbau kann dann zuerst an der IAT durchgeführt werden. Dabei kann beispielsweise im Teilgebiet der Elektrizitätslehre ein Schaltplan zunächst digital „ausprobiert“ werden. Die Containerfunktion³⁸ bietet verschiedene Möglichkeiten zur Umsetzung. Hierbei werden den Elementen der Flipchart bestimmte Eigenschaften zur Identifikation hinterlegt³⁹. Wenn nun ein unpassendes Element in einen Container gezogen wird, springt dieses automatisch wieder heraus. Zusätzlich kann eingestellt werden, dass bei korrekter oder falscher Zuordnung akustische und / oder visuelle Signale gegeben werden.

IAT's im Teilgebiet Teilchenphysik

Im Rahmen der Teilchenphysik werden die Elementarteilchen untersucht. Ende des 19. Jahrhunderts waren im Rahmen der Atom-, Kern- und Molekülphysik die Experimente auf Atome und Moleküle beschränkt. Für die Experimente in der Teilchenphysik sind sehr hohe Energien notwendig. Derartige Experimente können im Physikunterricht nicht durchgeführt werden. Im schulischen Kontext werden daher vor allem historisch relevante Experimente wie die Braun'sche Röhre⁴⁰, das Fadenstrahlrohr⁴¹ sowie die Elektronenbeugungsröhre⁴² eingesetzt. Anhand dieser lassen sich ausgewählte Eigenschaften von Elektronen illustrieren und behandeln. Möchte die Lehrkraft jedoch „vertieft“ die Teilchenphysik unterrichten, so bleiben nicht mehr viele Optionen, wovon eine der Selbstbau einer Nebelkammer ist. Anleitungen dazu finden sich im Netzwerk Teilchenwelt⁴³. Die in der Nebel-

38 Siehe dazu Beispiele in Kapitel 7. *Weitere Möglichkeiten zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln*

39 Beispiel: auf der Flipchart sind verschieden farbige Kreise. Jedem Kreis wird seine Farbe als spezielle Eigenschaft hinterlegt. Für den Container wird gewählt „nur rote Kreise“. Nun können nur die roten Kreise (mit der Eigenschaft „rot“) in den Container gezogen werden.

40 <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/experimente/braunsche-roehre.pdf>

41 <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/experimente/fadenstrahlroehre.pdf>

42 <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/experimente/elektronenbeugungsröhre.pdf>

43 <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/selbstbau-einer-nebelkammer/>

kammer sichtbar werdenden Spuren deuten auf Wechselwirkungen von Elementarteilchen hin. Für diese Teilchen stehen im Rahmen des bereits genannten Netzwerk Teilchenwelt Elementarteilchen-Steckbriefe und Symbole zur Verfügung.

Für den Einsatz an einer IAT kann die digitale Version der Elementarteilchen-Steckbriefe genutzt werden. Im Unterschied zur traditionellen Tafel müssen die Teilchensymbole nicht jedes mal gezeichnet oder beispielsweise mit Magneten an der Tafel befestigt werden, sondern die Lehrkraft kann auf diese Teilchensymbole und -bilder in digitaler Form zurückgreifen. Ein schneller und effizienter Weg ist die Erstellung einer Ressourcenbibliothek. Im Rahmen dieser Arbeit wurde damit bereits begonnen und die Teilchensymbole in drei verschiedenen Größen in die Bibliotheksstruktur eingebunden. Ein weiterer, denkbarer Einsatz dieser Symbole findet sich im Kontext zum Thema der Beta-Umwandlungen⁴⁴. Die bei diesen Umwandlungen beteiligten Teilchen können aus der Ressourcenbibliothek in das Tafelbild hineingezogen werden und beispielsweise Elemente einer Reaktionsgleichung repräsentieren⁴⁵.

Zuletzt sei noch darauf hingewiesen, dass mittels der IAT ein schneller Zugriff auf Bildquellen und Internetmedien zu aktuellen Experimenten am CERN⁴⁶ und DESY⁴⁷ in Europa sowie am SLAC⁴⁸ und Fermilab⁴⁹ in den USA möglich ist.

44 Siehe dazu auch Kapitel 7. *Weitere Möglichkeiten zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln*

45 Siehe auch Kapitel 7. *Weitere Möglichkeiten zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln*

46 <http://home.web.cern.ch/>

47 <http://www.desy.de/>

48 <https://www6.slac.stanford.edu/>

49 <http://www.fnal.gov/>

Teil II

Praktische Umsetzung

5. Untersuchung angebotener Einsatzmöglichkeiten der Elementarteilchen-Steckbriefe

In diesem Kapitel werden die in der Broschüre *Materialsammlung - Kontextmaterial für Lehrkräfte*⁵⁰ vorgestellten Methoden zum Einsatz der Elementarteilchen-Steckbriefe hinsichtlich der Aufarbeitung für die IAT untersucht. Die hier beschriebenen Methoden wurden vom Netzwerk Teilchenwelt für den analogen Gebrauch der Steckbriefkarten entwickelt.

5.1 Kurze Vorstellung der Methoden aus der Materialsammlung

In der Materialsammlung für Lehrkräfte werden drei Methoden für den Einsatz der Elementarteilchen-Steckbriefe vorgestellt. Ein Satz Karten besteht aus einzelnen Karten zu den 12 Fermionen, 12 Anti-Fermionen und 6 Austauschteilchen. Auf jeder Karte ist der Name des Teilchens, ein Symbol sowie das Jahr des Nachweises aufgeführt. Weiterhin lassen sich Informationen über die Masse sowie die elektrische Ladungszahl ablesen. Bei der ausführlichen Version der Karten (*Steckbriefe lang*) sind zusätzlich die starke und schwache Ladung sowie die mittlere Lebensdauer der einzelnen Teilchen angegeben.

Methode 1: Teilchen sortieren

Im Hinblick auf diese Methode gibt es zwei alternative Varianten: In der ersten Variante erhält jede Schülerin bzw. jeder Schüler eine Karte der Elementarteilchen-Steckbriefe. Anschließend sollen sie sich in sinnvollen Gruppen zusammenfinden und Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede der Teilchen herausarbeiten. In der zweiten Variante werden die Schülerinnen und Schüler in Gruppen von 2 - 4 Personen aufgeteilt, wobei jede Gruppe einen Satz der Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe erhält. Die Gruppen sollen selbstständig eine sinnvolle Ordnung entwickeln und vorstellen. Konkurrierende Lösungsmöglichkeiten können anschließend diskutiert werden.

Die mit diesen Varianten der Methode „Teilchen sortieren“ verfolgten Lernziele der Teilchenphysik beziehen sich auf Grundlagen bezüglich der Eigenschaften von Elementarteilchen: So sollen die Schülerinnen und Schüler Erkenntnisse über die verschiedenen Ladungsarten gewinnen, aber auch darüber, was Quarks und Leptonen voneinander unterscheidet oder die Unterschiede von Neutrinos zu anderen Materieteilchen erkennen. Ein allgemeines physikalisches Lernziel kann auch sein, dass

⁵⁰ Das Netzwerk Teilchenwelt stellt unter anderem eine Materialsammlung in Form einer Broschüre für Lehrkräfte und Vermittler zur Verfügung.

die Schülerinnen und Schüler lernen, Daten kritisch zu betrachten: Obwohl alle Gruppen die gleichen Steckbriefsätze, also die gleichen „Daten“ zur Verfügung hatten, können sich ganz unterschiedliche Interpretationen und Lösungen ergeben.

Methode 2: Tritett-Spiel

„Hierbei handelt es sich um eine Abwandlung vom normalen Quartettspiel“ (Broschüre: Materialsammlung – Kontextmaterial für Lehrkräfte: 2013. S.66). Es wird in Gruppen von 2 – 4 Spielern gespielt, wobei jeder Mitspieler zu Beginn die gleiche Anzahl an Karten von Elementarteilchen-Steckbriefen erhält. Im Verlauf des Spiels sollen Dreiergruppen (Tritette) gesammelt und ausgelegt werden. Die Kriterien für diese Gruppen müssen vor dem Spiel festgelegt werden.

Beispiele:

- Elektrisch geladene Leptonen (Kreise)
- Neutrinos (Rauten)
- Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung

Weitere Kriterien sind möglich⁵¹. Um die Tritette zu sammeln, wird reihum nach einer fehlende Karte gefragt.

„Dabei dürfen nur Fragen nach den Teilcheneigenschaften gestellt werden, die im unteren Textfeld angegeben sind [...]. Wenn der Gefragte eine passende Karte hat, muss er diese dem Fragenden geben; dieser muss die Karte nehmen, auch wenn er eine andere Karte wollte. [...] Wenn der Gefragte keine passende Karte hat, zieht der Fragende eine Karte vom Stapel“ (Broschüre: Materialsammlung – Kontextmaterial für Lehrkräfte: 2013. S.66)

Da dieses Spiel mitunter sehr lange dauern kann, ist es sinnvoll, vorher einen zeitlichen Rahmen festzulegen. Am Ende hat diejenige Person gewonnen, die die meisten Tritette ablegen konnte.

Methode 3: Vier-Ecken-Spiel

In diesem Spiel erhält jede Teilnehmerin bzw. jeder Teilnehmer eine Karte der Elementarteilchen-Steckbriefe. Anschließend teilen sich die Schülerinnen und Schüler nach den von der Lehrkraft angegebenen Kriterien in die vier Ecken des Klassenraums auf. Kriterien können Materie-, Anti-Materie-, Austauschteilchen oder auch Leptonen, Quarks, Austauschteilchen und andere sein⁵². Die mündliche Auswertung verläuft analog zu Methode 1.

⁵¹ Für weitere Kriterien für die Tritettgruppen siehe Broschüre: Materialsammlung – Kontextmaterial für Lehrkräfte: 2013. S.66

⁵² Für weitere Kriterien siehe Broschüre: Materialsammlung – Kontextmaterial für Lehrkräfte: 2013, S.66

Diese Methode eignet sich als Wiederholung am Stundenbeginn. Die Schülerinnen und Schüler reaktivieren ihr Wissen über die verschiedenen Teilchenarten und deren Eigenschaften. Es kann aber auch zur kurzen Auflockerung inmitten einer langen Unterrichtseinheit⁵³ oder am Ende zur Wiederholung und Festigung genutzt werden.

5.2 Aufarbeitung dieser Methoden für die interaktive Tafel

Im Folgenden wird dargestellt, inwiefern die drei verschiedenen Methoden für den Einsatz an interaktiven Tafeln aufgearbeitet werden können.

Die Tritett-Spiel-Methode kann den Schülerinnen und Schülern viel Spaß und Freude bereiten. Für die Aufarbeitung und die Benutzung an der IAT ist sie aus folgenden Gründen nur bedingt geeignet: Während bei der „analogen“ Variante mit den Elementarteilchen-Steckbriefen alle Teilnehmerinnen bzw. Teilnehmer gleichzeitig in ihrer jeweiligen Gruppe spielen können, ist technisch ausschließlich *eine* Spieldurchführung an der IAT möglich und es kann nur jeweils *eine* Gruppe spielen. Das Ergebnis müsste anschließend gespeichert werden, bevor die nächste Gruppe an der Tafeln spielen kann. Die Gleichzeitigkeit ist hier der entscheidende Grund, weshalb die Methode 2 weiterhin in der zuvor beschriebenen Art und Weise mit den vorliegenden Elementarteilchen-Steckbriefen durchgeführt werden sollte. Die IAT kann allerdings eine unterstützende Rolle einnehmen: Die Spielanleitung sowie eine Übersichtsgrafik können über sie aufgerufen und den Schülerinnen und Schülern während des Spiels zur Verfügung gestellt werden. Auch der aktuelle Spielstand innerhalb der Gruppen kann *live* gezeigt werden. Die Lehrkraft würde dabei das Spielgeschehen beobachten und die Anzahl ausgelegter Tritette mithilfe eines Punktezählers⁵⁴ an der IAT aktualisieren.

Die vorgestellten Methoden 1 und 3 sind gut für die Aufarbeitung an der IAT geeignet. In beiden spielen die Teilcheneigenschaften eine zentrale Rolle. Diese können den Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe entnommen werden, wobei sich die digitale Version problemlos in die IAT einbinden lässt. Während sich die Schülerinnen und Schüler in Methode 3 anhand der Kriterien in die unterschiedlichen Ecken des Klassenraums aufteilen, sollen sie in Methode 1 diese selbstständig herausarbeiten. Dabei muss das eben beschriebene Problem der Gleichzeitigkeit an der IAT auch hier überwunden werden. In der zweiten Variante der Methode 1 sind die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in Gruppen aufgeteilt, die parallel arbeiten. Dies ist nur schwer an der IAT technisch umsetzbar. Um das Problem zu lösen, können Elemente der Methode 1 mit Elementen der Methode 3 kombi-

53 Wie beispielsweise 90-minütiger Blockunterricht

54 In den freien Ressourcenpaketen von Promethean stehen bereits vorgefertigte Punktezähler zur Verfügung. Mit einfach Mausclicks werden diese Zähler bedient.

niert werden. Die Ideen dazu sollen im Folgenden beschrieben werden.

In Methode 3 gibt die Lehrkraft die Aufteilungskriterien für die vier Ecken des Klassenraums vor. Überträgt man diese „Aufgabe“ an die IAT, eröffnen sich neue Optionen: Es ist nun möglich, die Teilcheneigenschaften nicht nur wie in Methode 3 vorgesehen zu wiederholen, sondern in erster Linie wie in Methode 1 auch herauszuarbeiten. Dazu müssen verschiedene Aufteilungsvarianten spielerisch getestet werden, analog zur Arbeitsweise der Schülerinnen und Schüler innerhalb ihrer Gruppen bei Methode 1.

Die Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe können problemlos auf einem Schülerarbeitsplatz ausgebreitet, verschoben und sortiert werden. Sollen viele digitale Steckbriefkarten gleichzeitig an der IAT gezeigt werden, ist dies nur möglich, wenn die Größe auf dem Bildschirm entsprechend angepasst wird. Dabei leidet jedoch die Lesbarkeit gerade bezüglich der hinteren Sitzreihen im Raum. Hier muss eine Modifikation vorgenommen werden und mit kleineren, vereinfachten Symbolen, anstelle der gesamten Steckbriefkarten gearbeitet werden. Ein logischer Schritt ist die Verwendung der auf den Karten dargestellten Teilchensymbole⁵⁵.

Eine weitere Anpassung bei der Durchführung der „neuen“ Methode für die IAT ist die Reduzierung auf drei der vier Ecken des Klassenraums. In den meisten Klassenzimmern steht ein PC zur Steuerung der IAT zur Verfügung. In vielen Fällen befindet sich dieser PC mit Monitor in einer der Klassenzimmerecken. Sollen sich die Schülerinnen und Schüler nun mehrmals in die vier Ecken aufteilen, so muss sich ein Teil der Klasse in die Ecke mit dem technischen Geräten begeben. Es entstehen Gefahren für Mensch und Technik: Die Schülerinnen und Schüler können über Kabel und Steckerleisten stolpern und sich verletzen. Auch bei kleineren Unfällen kann dabei die Technik beschädigt werden. Es empfiehlt sich dementsprechend die ungeeignetste Ecke bei der Durchführung des Spiels nicht mit einzubeziehen.

Mit diesen Modifikationen ist eine Aufarbeitung der vom Netzwerk Teilchenwelt bereitgestellten Methoden 1 und 3 umsetzbar. Im folgenden Kapitel wird ausführlich die Flipchart „Teilchen sortieren“ beschrieben, welche die Ordnungsprinzipien der Elementarteilchen herausarbeitet und somit eine Kombination der vorgestellten Methode 1 und 3 darstellt. Weitere Möglichkeiten des Einsatzes der Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe mithilfe von IAT's werden in Kapitel 7 beschrieben.

⁵⁵ Diese werden in der erarbeiteten Ressourcenbibliothek zur Verfügung gestellt.

6. Ordnungsprinzipien der Elementarteilchen: Flipchart „Teilchen sortieren“

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, können zwei der in der Materialsammlung – Kontextmaterial für Lehrkräfte des Netzwerk Teilchenwelt beschriebenen Methoden für den Einsatz der Elementarteilchen-Steckbriefe im Unterricht für den Einsatz an interaktiven Tafeln aufgearbeitet werden. Dazu wurde die Flipchart „Teilchen sortieren“ und eine begleitende *Lehrerhandreichung*⁵⁶ erarbeitet, die die Ordnungsprinzipien der Elementarteilchen thematisiert.

In den folgenden Vorbetrachtungen werden zunächst die Zielsetzung, Anwendungsmöglichkeiten und Voraussetzungen der Nutzung beschrieben. Anschließend folgt eine detaillierte Beschreibung und Begründung des Aufbaus und der Struktur der Flipchart sowie eine Reflexion und ein Fazit.

6.1 Vorbetrachtungen

Zielsetzung

Die Flipchart „Teilchen sortieren“ ermöglicht eine Einführung in die Elementarteilchen der Teilchenphysik, deren Ordnung in ein Schema sowie die zugrundeliegenden Ordnungsprinzipien. Letztere stehen dabei im Mittelpunkt und sollen von den Schülerinnen und Schülern erarbeitet und erlernt werden.

Die fachliche Tiefe der Erarbeitung ist relativ frei wählbar. Vorgesehen ist die Erkenntnis, dass die Elementarteilchen nach ihrer Masse und den Ladungsarten geordnet werden. Eine fachlich tiefer gehende Beschäftigung z.B. unter Darstellung der Vektoreigenschaften⁵⁷ der starken Ladung ist jedoch nicht ausgeschlossen. Auch die Kenntnis bezüglich des Multiplettcharakters der Ladungsarten⁵⁸ ist denkbar.

Anzumerken ist, dass die Flipchart als Anregung für eine Unterrichtsstunde aufgefasst werden soll. Dabei stellen die bereitgestellten Materialien eine Art „Bausatz“⁵⁹ zur Verfügung. Dadurch bietet sich den Lehrkräften und Kursleitern die Möglichkeit, sich die für sie passenden Teile, Darstellungen oder Flipchartseiten herauszusuchen und für ihren eigenen Einsatz zu verwenden und zu verän-

⁵⁶ Siehe Anhang: *Lehrerhandreichung Seite 75*

⁵⁷ Siehe auch Kapitel 2.4 *Die starke Wechselwirkung*

⁵⁸ Siehe beispielsweise Kapitel 2.5 *Die schwache Wechselwirkung*

⁵⁹ Anfangs- und Würfelphase können getrennt voneinander eingesetzt werden. Genauso steht die Ressourcenbibliothek flipchartübergreifend auch an anderer Stelle zur Verfügung

dem. Aus diesem Grund steht die Flipchart unter einer Creative Commons Lizenz⁶⁰.

Anwendungsmöglichkeiten

Hinsichtlich des Einsatzes der in dieser Arbeit erstellten Flipchart „Teilchen sortieren“ im schulischen Kontext ist folgendes anzumerken: Da die Teilchenphysik in Sachsen bis heute nicht explizit lehrplanrelevant ist, kann die Flipchart bisher nur in Verbindung mit anderen Lerngebieten des Unterrichtsfachs Physik eingesetzt werden. Die folgenden Tabellen geben einen Überblick über mögliche Ansatz- bzw. Anknüpfungspunkte.

Lehrplan Sachsen, Gymnasium (2004)		
Klassenstufe	Lernbereich	
9	Wahlpflicht 1	Natürliche Radioaktivität
	Wahlpflicht 2	Energie von Wind und Sonne
10	Lernbereich 2	Kosmos, Erde und Mensch
Grundkurs 11	Lernbereich 1	Erhaltung der Energie
	Lernbereich 4	Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern
	Wahlpflicht 1	Bestimmung elementarer Naturkonstanten
	Wahlpflicht 2	Physikalisch-technische Exkursion
Grundkurs 12	Lernbereich 4	Strahlung aus Atomhülle und Atomkern
Leistungskurs 11	Lernbereich 1	Erhaltungssätze und ihre Anwendungen
	Lernbereich 4	Modellbildung und Simulation
	Lernbereich 7	Elektrisches Feld
	Lernbereich 8	Magnetisches Feld
	Wahlpflicht 1	Anwendungen der Physik
Leistungskurs 12	Lernbereich 5	Grundlagen der Atomphysik
	Lernbereich 6	Eigenschaften der Atomkerne
	Wahlpflicht 3	Anwendungen der Physik

Tabelle: Gymnasium

Lehrplan Sachsen, Mittelschule (2004)			
Bildungsgang	Klassenstufe	Lernbereich	
Hauptschule	9	Lernbereich 3	Kernumwandlungen – Nutzen und Gefahren
		Lernbereich 4	Kosmos, Erde und Mensch
Realschule	9	Lernbereich 2	Kernumwandlungen – Nutzen und Gefahren
		Lernbereich 3	Kosmos, Erde und Mensch
		Wahlpflicht 1	Utopische Physik

Tabelle: Mittelschule

⁶⁰ CC BY-SA 4.0, Weitergabe mit Namensnennung und unter gleichen Bedingungen, siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Denkbar ist ebenfalls ein Einsatz im Rahmen von Arbeitsgemeinschaften wie einer Physik AG. Ferner eignet sich die Flipchart im Zusammenhang mit fächerübergreifenden oder fächerverbindenden Projektarbeiten, da die Analogie zum Periodensystem der Elemente in der Chemie als Ausgangspunkt dienen könnte.

Darüber hinaus ist der Einsatz der Flipchart „Teilchen sortieren“ im Rahmen einer „Teilchenphysik Masterclass“⁶¹ möglich. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass die Vorbereitungsvorträge der Masterclasses zwar die Elementarteilchen thematisieren, dabei aber meist das Ordnungsschema vorgegeben ist. Dies ist in dem zeitlichen Rahmen und den vielfältigen Inhalten dieser Veranstaltungen begründet. Ziele dieser Vorträge sind eine Einführung in die Elementarteilchen, deren Eigenschaften sowie Grundlagen der Teilchenidentifikation, so dass die Schülerinnen und Schüler später in der Lage sind, vom ATLAS-Detektor aufgezeichnete Ereignisse selbstständig auszuwerten. Der Fokus der Flipchart hingegen liegt auf der Erarbeitung, also das „Schritt-für-Schritt Kennenlernen“, der Ordnungsprinzipien, die den Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen zugrunde liegen. Die damit einhergehende zusätzlich notwendige Zeit muss bei der Vorbereitung der Einführungsvorträge für eine Teilchenphysik Masterclass bedacht werden.

Materielle Anforderungen und unterrichtliche Voraussetzungen

Für den Einsatz der Flipchart „Teilchen sortieren“ wird ein Satz Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe⁶², 12 x *Eckenzettel*⁶³ sowie 1x *Eckenschilder*⁶⁴ benötigt. Die Steckbriefkarten mit den Austauscheteilchen werden nicht benötigt und können aussortiert werden. Demnach bleiben die Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe von 12 Materieteilchen sowie 12 Anti-Materieteilchen übrig. Bei 24 Schülerinnen und Schülern erhält jede Schülerin bzw. jeder Schüler eine Karte. Ist die Schüleranzahl geringer, muss die Durchführung angepasst werden⁶⁵.

Die Flipchart ist für den Einsatz in einer 45-minütigen Unterrichtsstunde vorgesehen. Dabei sind für die Vorbereitungsphase ca. 10 Minuten, für 2 bis 4 Spieldurchgänge ca. 5 - 15 Minuten und für die Auswertung ca. 15 Minuten einzuplanen.

Als Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler wird Wissen zu folgenden Begriffen vorausgesetzt:

Atom, Atomkern, Proton, Neutron, elektrische Ladung.

61 <http://www.physicsmasterclasses.org/>

62 <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/elementarteilchen-steckbriefe/>, es wird die *lange* Version benötigt

63 Eckenzettel werden von den SuS in der Ecke ausgefüllt. Siehe Anhang *Eckenzettel Seite 70*

64 Eckenschilder können zur Nummerierung der Ecken im Klassenraum genutzt werden. Siehe Anhang *Eckenschilder Seite 73*

65 Siehe auch Kapitel 6.3 *Reflexion und Fazit*

Didaktische Hinweise

Im Kapitel 3 wurden die Vorteile offener Unterrichtskonzepte dargestellt. Gerade die Chancen und Perspektiven von Spielen im Physikunterricht wurden bis in die 1980er nicht besonders beachtet. Mit der hier erstellten Flipchart sollen die Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen sowie die zugrundeliegenden Ordnungsprinzipien spielerisch erarbeitet und erlernt werden. Durch die Identifikation der Schülerinnen und Schüler mit einem Elementarteilchen erhalten die im folgenden vorgestellten Möglichkeiten zur Erarbeitung der Ordnungsschemata einen Rollenspielcharakter (vgl. Klassifikationen der Spiele). Die im Kapitel 5.1 vorgestellten Methoden sind Elemente der Regelspiele. Somit gliedert sich die Flipchart „Teilchen sortieren“ in ein offenes Unterrichtskonzept mit dem Einsatz von Spielen im Physikunterricht ein.

In der Fachdidaktik Physik werden verschiedene Arten der Erarbeitung eines neuen Themas in Betracht gezogen, u.a. die empirisch-induktive und die deduktive Methode (vgl. Kapitel 3). Bei der empirisch-induktiven Methode wird vom Besonderen zum Allgemeinen geschlussfolgert. Im Gegensatz dazu werden bei einer deduktiven Erarbeitung logische Schlüsse vom Allgemeinen auf das Einzelne gezogen.

Mithilfe der Flipchart „Teilchen sortieren“ sind beide methodischen Wege möglich. Die Ordnungsschemata der Elementarteilchen können induktiv oder deduktiv erarbeitet werden. Die Anfangsphase ist in beiden Fällen gleich, jedoch unterscheiden sich beide Wege bei der Würfel- und Auswertungsphase (siehe Kapitel 6.2.2).

Hinweise zur technischen Nutzung der Flipchart

Im Folgenden werden allgemeine Hinweise zur technischen Nutzung der Flipchart „Teilchen sortieren“ gegeben. Es gibt Elemente, die auf mehreren oder auf fast allen Seiten der Flipchart zu finden sind. Deren Funktionen werden nun kurz erläutert.

Wie in *Abb. 06* zu sehen ist, stehen am unteren Bildschirmrand grüne Pfeile zur Navigation zur Verfügung. Diese ermöglichen ein problemloses Vor- und Zurückblättern auf die nächste bzw. zurückliegende Seite. Diese Art der Navigation ist den Lehrkräften, Schülerinnen und Schülern aus anderen Computer- und Smartphoneanwendungen bekannt.

Weiterhin sind im unteren Bereich grüne Kreise vorhanden. Diese decken einzelne Elemente wie Texte und Objekte auf der Seite zu bzw. auf (vgl. *Abb. 06* und *Abb. 07*). So können im Unterrichtsgang direkt Schülerfragen- und anmerkungen aufgegriffen und visualisiert werden, indem kurzzeitig „Platz“ für Notizen, Skizzen oder eine kleine Beispielrechnung geschaffen wird. Der umständli-

che Weg, am Ende der Flipchart eine neue Seite einzufügen, entfällt.

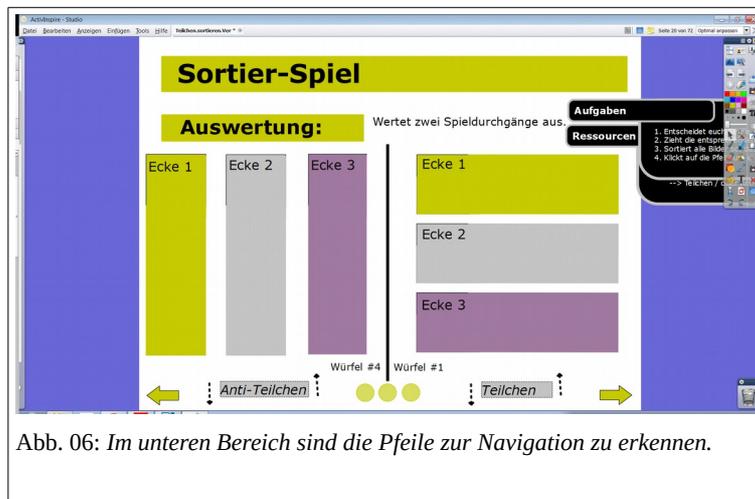


Abb. 06: Im unteren Bereich sind die Pfeile zur Navigation zu erkennen.

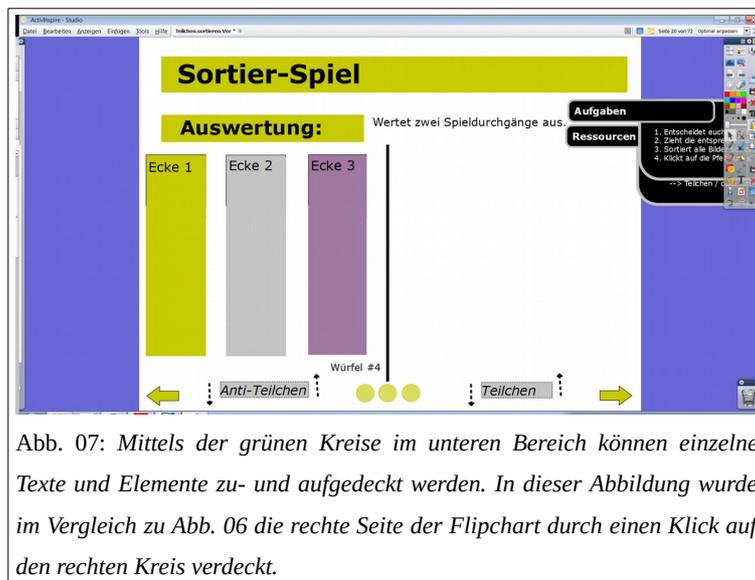


Abb. 07: Mittels der grünen Kreise im unteren Bereich können einzelne Texte und Elemente zu- und aufgedeckt werden. In dieser Abbildung wurde im Vergleich zu Abb. 06 die rechte Seite der Flipchart durch einen Klick auf den rechten Kreis verdeckt.

Auf fast allen Flipchartseiten sind nützliche Informationen, Tipps und Erklärungen im Notizenbrowser hinterlegt. Er wird über das Menü auf der linken Seite geöffnet (siehe Abb. 08). Die darin vorhandenen Informationen richten sich in erster Linie an die Lehrkraft und können zur Vorbereitung der Unterrichtsstunde genutzt werden.

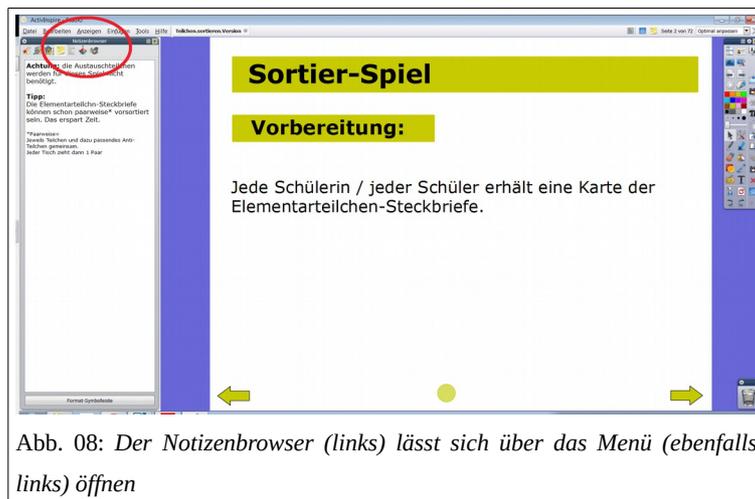


Abb. 08: Der Notizenbrowser (links) lässt sich über das Menü (ebenfalls links) öffnen

Zum Schluss sei darauf hingewiesen, dass die bereitgestellte *Ressourcenbibliothek Teilchenphysik*⁶⁶ eingebunden werden muss. Dazu muss der Ordner „Teilchenphysik“ heruntergeladen und in den Ordner „Meine Ressourcen“⁶⁷ geschoben werden. In dem heruntergeladenen Ordner befinden sich alle benötigten Bilddateien. Diese sind unter anderem für die Auswertungsphase zwingend erforderlich.

6.2 Aufbau und Struktur der Flipchart

Die Flipchart „Teilchen sortieren“ wurde mit dem Programm ActivInspire der Firma Promethean erstellt und besitzt daher ein *.flipchart* Dateiformat. Da es vorgesehen ist, sie auf den Internetseiten von leifiphysik zur Verfügung zu stellen, wurde das Layout an die Vorgaben der Joachim-Herz-Stiftung⁶⁸ angepasst. Demzufolge können die gewählte Schriftart (*Verdana*), die Schriftgrößen für Titel (32), Untertitel (24) und Textkörper (14-20) sowie die farbliche Gestaltung im Rahmen dieser Arbeit didaktisch nicht begründet werden.

Den Experimenten und Ergebnissen der Teilchenphysik begegnen die Schülerinnen und Schülern regelmäßig in den Medien. Aus motivationspsychologischer Sicht kann der Einsatz der Elementarteilchen-Steckbriefe mit dem Aktivieren von Motiven begründet werden. Die Schülerinnen und Schüler erhalten zu Beginn der Unterrichtsstunde eine Karte der Elementarteilchen-Steckbriefe und können sich auf diese Weise „mit ihrem Teilchen“ identifizieren. Da es 24 Elementarteilchen (12 Materieteilchen und 12 Anti-Materieteilchen) gibt und jede Schülerin bzw. jeder Schüler die Karte

⁶⁶ Die zum Download verfügbare Ressourcenbibliothek beinhaltet den Ordner „Teilchenphysik“. In diesem sind die notwendigen Dateien / Bilder hinterlegt.

⁶⁷ „Meine Ressourcen“ ist hier zu finden: C: → Benutzer → USER → Eigene Dokumente → Activ Software → ActivInspire → Meine Ressourcen

⁶⁸ <http://www.joachim-herz-stiftung.de/de/>

eines anderen Elementarteilchens erhält, stellt sich die zentrale Frage, wie in diesen „Teilchenzoo“⁶⁹ Ordnung gebracht werden kann. Um das herauszufinden, sollen die „Teilchen“ (bzw. die Schülerinnen und Schüler) anhand unterschiedlicher Kriterien mehrmals auf- bzw. eingeteilt werden. Die entstehenden unterschiedlichen Aufteilungsvarianten sollen im Anschluss diskutiert und zu den Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen (*Abb. 01* bzw. *Abb. 02*) hingeführt werden.

Im Folgenden wird die Flipchart detailliert beschrieben. Dabei werden Screenshots der Flipchartseiten direkt eingefügt, um für ein besseres und leichteres Verständnis zu sorgen.

6.2.1 Anfangsphase

Die Anfangsphase dient zur Vorbereitung und Klärung wichtiger Begriffe und Modalitäten, um eine reibungslose Durchführung zu ermöglichen. Die Flipchart wird durch folgende Titelseite eröffnet (*Abb. 09*).



Abb. 09: Die Titelseite der Flipchart „Teilchen sortieren“

Die Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe werden nun von der Lehrkraft verteilt (*Abb. 10*), jede Schülerin und jeder Schüler erhält genau eine Karte. Aufgrund der sich anschließenden Aufgabenstellung sollten die Karten ohne explizite Hinweise paarweise, d.h. Teilchen und entsprechendes Anti-Teilchen, für zwei nebeneinander sitzende Schülerinnen und Schüler ausgeteilt werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen sich ihre eigene Teilchenkarte anschauen und die aufgeführten Eigenschaften anschließend mit den Eigenschaften des Teilchens ihres Banknachbarn vergleichen (*Abb. 11*).

69 VAAS, Rüdiger, Vom Gottesteilchen zur Weltformel: Urknall, Higgs, Antimaterie und die rätselhafte Schattenwelt, 2013, S.24

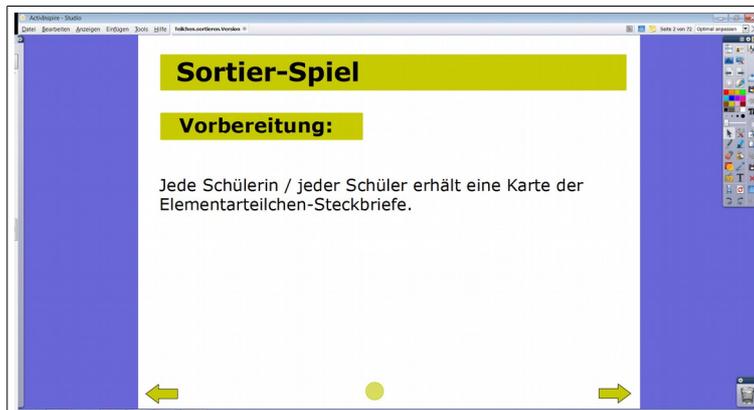


Abb. 10: Die Elementarteilchen-Steckbriefe werden verteilt

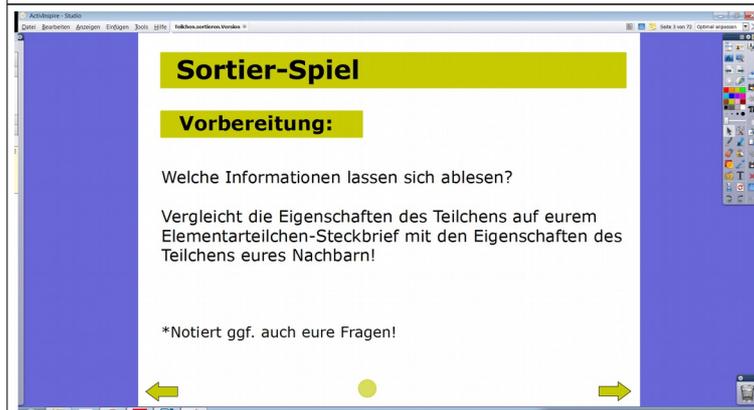


Abb. 11: Die erste Aufgabenstellung

Die Ergebnisse werden im Anschluss an der IAT festgehalten. Die Schülerinnen und Schüler können ihre Feststellungen, Fragen oder Probleme nennen, während die Lehrkraft per Stifteingabe die Tafel bedient (Abb. 12).



Abb. 12: Per Stifteingabe werden die Erkenntnisse, Fragen und Probleme der Schüler(innen) von der Lehrkraft an der IAT notiert. Es stehen Schiebekärtchen mit Zusatzinformationen an der rechten Seite zur Verfügung. Diese können bei Bedarf in die Flipchart hineingezogen und später wieder heraus geschoben werden.

Mögliche Auswertungspunkte sind:

- Zu jedem Materieteilchen existiert ein Anti-Materieteilchen und umgekehrt.
- Materieteilchen und entsprechendes Anti-Materieteilchen besitzen die gleiche Masse.
- Materieteilchen und entsprechendes Anti-Materieteilchen besitzen die gleiche mittlere Lebensdauer.
- Materieteilchen und entsprechendes Anti-Materieteilchen besitzen den gleichen Betrag der elektrischen bzw. schwachen Ladungszahlen, jedoch entgegengesetzte Vorzeichen.
- Jedes Quark besitzt eine Farbladung und das entsprechende Anti-Quark die zugehörige Anti-Farbladung

Um Problemen in der Würfelphase vorzubeugen, sollten die Begriffe „MeV/c²“ und „Ladungsart“ thematisiert werden⁷⁰. Auf welchem fachlichen Niveau diese geklärt werden, ist abhängig von den konkreten unterrichtlichen Zielen, die die Lehrkraft verfolgt. Die Flipchart erfordert lediglich die Kenntnis, dass drei verschiedene Ladungsarten existieren. Bei einem Einsatz in der Sekundarstufe II kann darüber hinaus der Vektorcharakter der starken Ladung behandelt werden. Ebenfalls denkbar ist eine kurze Thematisierung der schwachen Ladung, bei welcher die schwache Isospinladung nur zwei Werte annehmen kann ($+1/2$ und $-1/2$).

Die überwiegende Mehrheit der Elementarteilchen dürfte den Schülerinnen und Schülern unbekannt sein. Zusammen mit dem neuen Wissen über die Existenz weiterer Ladungsarten neben der elektrischen Ladung bildet sich ein unsortiertes, ungeordnetes Wissenskonstrukt. Dies kann didaktisch als „Brücke“ genutzt werden, um zur Würfelphase überzuleiten. Die Vielzahl neuer Begriffe und die noch nicht vorhandenen Zusammenhänge lassen es notwendig erscheinen, der für die Schülerinnen und Schüler neuen „Teilchenwelt“ ein Ordnungsschema zugrunde zu legen. Es schließt sich folgende Frage an:

„Wie lassen sich die Elementarteilchen sinnvoll ordnen?“

Diese Frage sowie ein Button mit Begrifflichkeiten⁷¹ bilden den Inhalt der letzten Flipchartseite der Anfangsphase (Abb. 13 und Abb. 14).

⁷⁰ Siehe dazu auch Kapitel 6.3 *Reflexion und Fazit*

⁷¹ Begrifflichkeiten: die Bedeutung dieser vier Begriffe muss den Schülerinnen und Schülern klar sein.

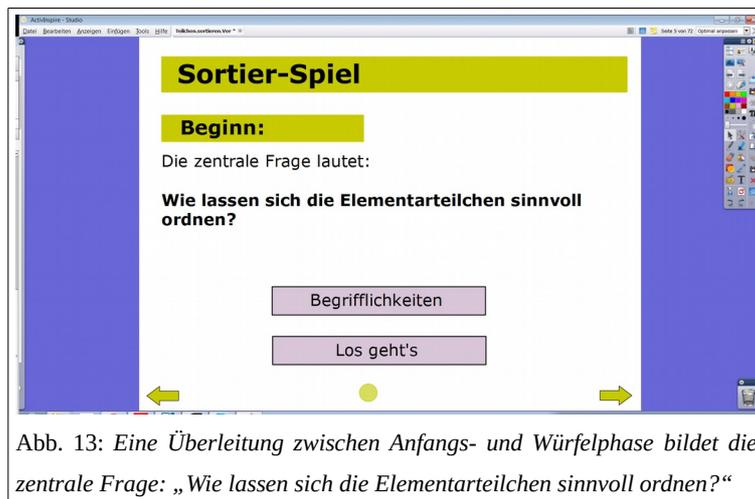


Abb. 13: Eine Überleitung zwischen Anfangs- und Würfelphase bildet die zentrale Frage: „Wie lassen sich die Elementarteilchen sinnvoll ordnen?“

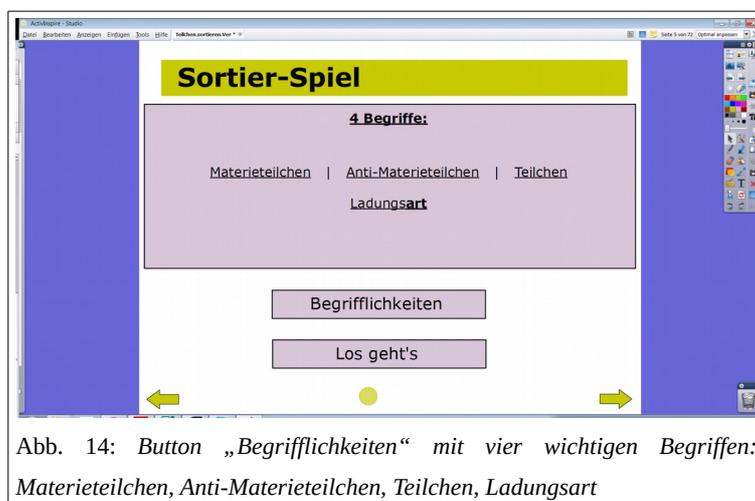


Abb. 14: Button „Begrifflichkeiten“ mit vier wichtigen Begriffen: Materieteilchen, Anti-Materieteilchen, Teilchen, Ladungsart

6.2.2 Würfel- und Auswertungsphase

Um zu den Ordnungsschemata der Elementarteilchen zu gelangen, sollen die Teilchen mehrmals nach verschiedenen Kriterien geordnet werden. Die Umsetzung erfolgt durch Aufteilung der Schülerinnen und Schüler mit ihren Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe in drei Ecken des Klassenraums. Es werden genau drei Ecken benötigt, da auch die „Ziel-Kriterien“ dreiteilig sind. Wird das Ordnungsschema der Materieteilchen (Abb. 01) betrachtet, so werden die drei Generationen (vertikale Anordnung) direkt erkannt. Die horizontale Anordnung basiert auf der schwachen und starken Ladung.

Bei einer direkten Vorgabe durch die Lehrkraft, welche „Teilchen“ in welche Ecke gehen, wären die Aufteilungskriterien vorgegeben. Um jedoch einen Zufallscharakter entstehen zu lassen, werden die Kriterien in jeder Spielrunde neu ausgewürfelt. Ein 6-seitiger Würfel bietet 6 mögliche Würfelaus-

genzahlen. Hinter jeder Augenzahl verbergen sich andere Aufteilungsanweisungen⁷².

Der Würfelprozess kann mit einem analogen Würfel von der Lehrkraft oder einer Schülerin/einem Schüler durchgeführt werden. Auf der Flipchart ist zusätzlich ein „digitaler Würfel“ (Abb. 15) hinterlegt, welcher durch einen einfachen Klick auf den „Würfeln“-Button ausgelöst wird.

Die Hauptseite der Würfelphase ist in Abb. 16 dargestellt.

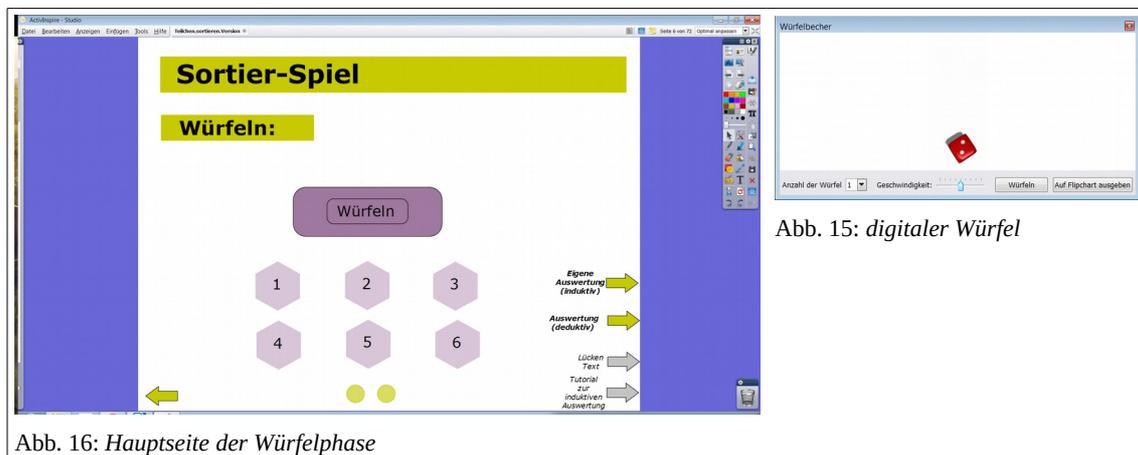
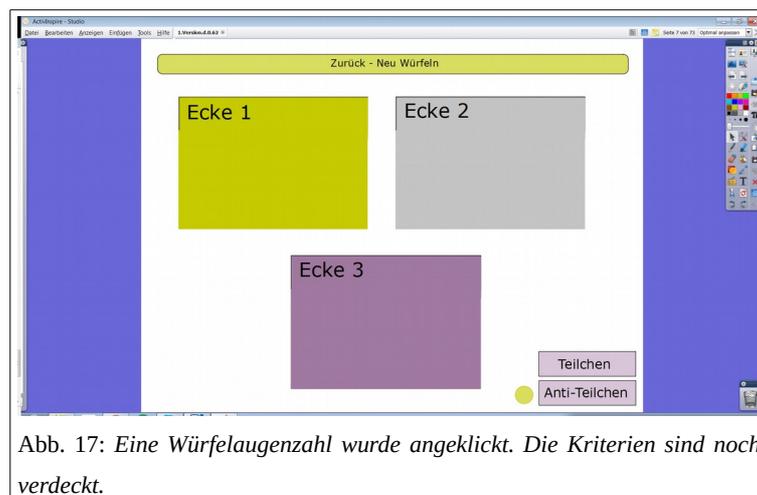


Abb. 15: digitaler Würfel

Wurde durch Würfeln eine Zahl bestimmt, muss diese im unteren Bereich der Hauptseite (Abb. 16) angeklickt werden. Da sich hinter jeder Augenzahl eine ganz konkrete Aufteilungsanweisung befindet, kann eine mehrfach gewürfelte Zahl übersprungen und neu gewürfelt werden.

Durch Auswählen der gewürfelten Zahl erscheint folgende Übersicht (Abb. 17). In dieser sind drei Felder für die Ecken farblich dargestellt. Die ausgewählten Farben entsprechen denen der *Eckenschilder* und *Eckenzettel*, um den Schülerinnen und Schülern eine schnelle Orientierung, auch in der Auswertungsphase, zu ermöglichen.



⁷² Siehe dazu auch Kapitel 6.2.3 Hintergrundwissen: Eckenaufteilung

Die Aufteilungskriterien sind noch nicht aufgedeckt. Ein Klick⁷³ auf ein Feld öffnet die Kriterien für die entsprechende Ecke. Auf diese Weise kann die Lehrkraft die drei Ecken einzeln nacheinander auf- und wieder zudecken. Dies ist sinnvoll, wenn beispielsweise Fragen beim Aufdecken der ersten Ecke auftreten. Diese können diskutiert werden, ohne dass die Schülerinnen und Schüler durch das Lesen der Kriterien für Ecke 2 und 3 abgelenkt werden.

In *Abb. 18* sind alle drei Ecken beispielhaft aufgedeckt.

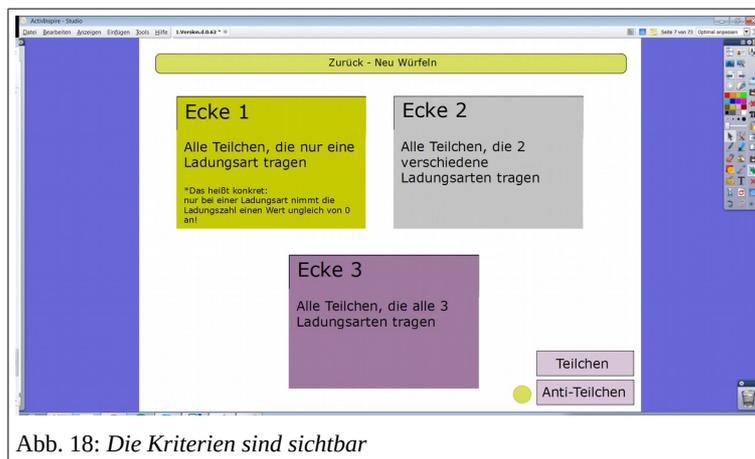


Abb. 18: Die Kriterien sind sichtbar

Die Schülerinnen und Schüler vergleichen die Eigenschaften „ihres Teilchens“ mit den Kriterien an der Tafel. Danach entscheiden sie, in welche Ecke sie gehen oder ob keine der Eigenschaften erfüllt sind und sie auf ihrem Platz sitzen bleiben. Das generiert eine hohe Schüleraktivität. Das Aufstehen und Durch-den-Klassenraum-bewegen ist für die meisten Schülerinnen und Schüler etwas Seltenes innerhalb des „normalen“ Unterrichts. Hier liegt die Gefahr, dass Unruhe in der Klasse entsteht. Von einem anderen Blickwinkel betrachtet, muss das nicht zwangsläufig ein negativer Punkt sein. Beispielsweise können sich die Schülerinnen und Schüler in der Ecke kurz mit anderen unterhalten und sich über „ihre Teilchen“ austauschen. Bemerkungen wie „Du hast aber eine große Masse“ zeugen vom Spielspaß und von der oben beschriebenen Identifikation mit „ihren Teilchen“.

Ab dieser Stelle unterscheiden sich der induktive und der deduktive Weg. Sie sollen nun getrennt voneinander erklärt werden.

6.2.2 (a) Der induktive Weg

Ziel des induktiven Wegs ist die Schritt-für-Schritt Hinführung zu den Ordnungsschemata der Materieteilchen (*Abb. 01*) und Anti-Materieteilchen (*Abb. 02*) sowie der zugrundeliegenden Ordnungs-

⁷³ In der Tafelsoftware ActivInspire ist solch ein „Umdrehen“ wie bei Spielkarten bekannt (also Vorder- und Rückseite) **nicht** implementiert. Deshalb wurden hier die farbigen Eckenfelder doppelt erzeugt und übereinander gelegt. Dabei ist die obere Variante leer und auf der unteren ist der Text mit den Aufteilungskriterien vorhanden. Der Klick bringt jeweils eine der beiden Varianten an die oberste Position, sodass diese sichtbar ist.

prinzipien. Dabei wird beim „Besonderen“ gestartet und zum „Allgemeinen“ hingeleitet. Das „Besondere“ sind hier die Eckenzettel: Bei jedem Spieldurchgang teilen sich die Schülerinnen und Schüler in drei Ecken des Klassenzimmers auf. Um zu dokumentieren, wann sich welches Teilchen aufgrund der Aufteilungskriterien in einer der drei Ecken befunden hat, wird pro Spieldurchgang in jeder Ecke ein Eckenzettel ausgefüllt. Auf den Eckenzetteln stehen alle Teilchenbezeichnungen und ihre Symbole, sodass die Schülerinnen und Schüler lediglich eine Markierung setzen müssen. Zur besseren Übersicht sind die Anti-Materieteilchen fett geschrieben.

Der Prozess von Würfeln, Vergleich der Teilcheneigenschaften mit den Auswahlkriterien, Aufteilung in die Ecken, Ausfüllen des Eckenzettels bis hin zum wieder Hinsetzen wird „ein Spieldurchgang“ genannt. Es werden zwei bis vier Spieldurchgänge durchgeführt und die ausgefüllten Eckenzettel anschließend gesammelt.

Beim induktiven Weg beginnt nun die Auswertungsphase. Dafür sollen zwei Spieldurchgänge ausgewertet werden. Wichtig ist, zwei Spieldurchgänge auszuwählen, bei denen sich zum einen die Schüler(innen) / Teilchen aufgrund ihrer Masse aufgeteilt haben und zum anderen eine Aufteilung aufgrund der Ladungsart stattgefunden hat.

Zuerst muss auf „Eigene Auswertung (induktiv)“ (oberer grüner Pfeil in *Abb. 16* auf der rechten Seite) geklickt werden. Anschließend werden nacheinander die Würfelaugenzahlen der auszuwertenden Spieldurchgänge angeklickt (beispielhaft für Würfelaugenzahl #5 und #2 in *Abb. 19* und *Abb. 20*).

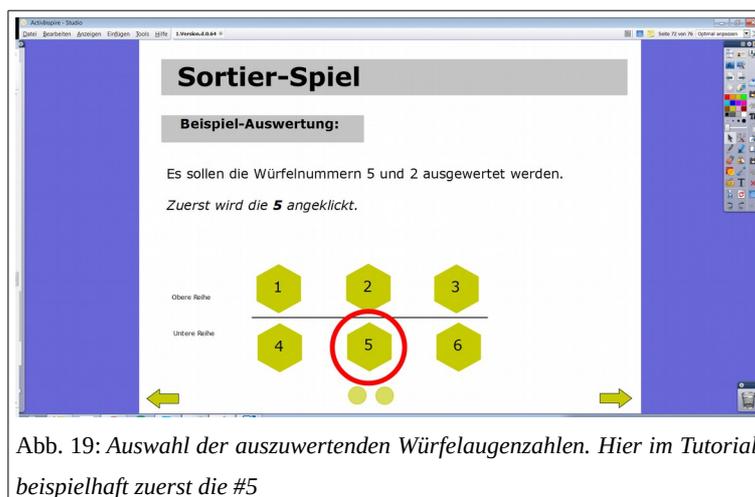


Abb. 19: Auswahl der auszuwertenden Würfelaugenzahlen. Hier im Tutorial beispielhaft zuerst die #5

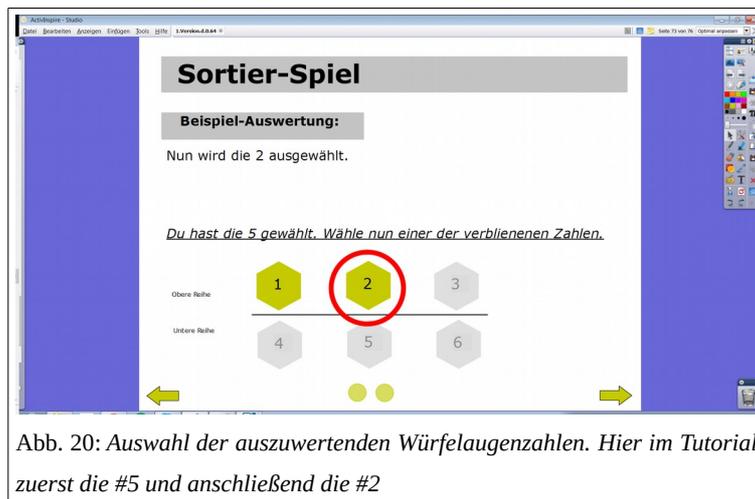


Abb. 20: Auswahl der auszuwertenden Würfelanzahlen. Hier im Tutorial zuerst die #5 und anschließend die #2

Es öffnet sich die Auswertungsseite (Abb. 21), auf der Felder für die drei Ecken mit bekannter Farbdarstellung hinterlegt sind.

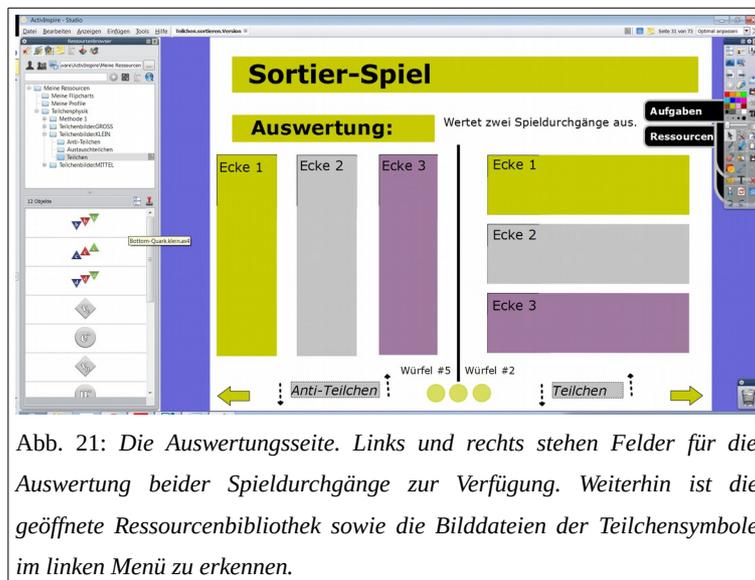


Abb. 21: Die Auswertungsseite. Links und rechts stehen Felder für die Auswertung beider Spieldurchgänge zur Verfügung. Weiterhin ist die geöffnete Ressourcenbibliothek sowie die Bilddateien der Teilchensymbole im linken Menü zu erkennen.

Es muss nun die Ressourcenbibliothek geöffnet werden. Diese befindet sich in demselben Menü auf der linken Seite, über den auch der Notizenbrowser geöffnet wurde. Innerhalb der Bibliothek muss zu den Ordnern „Teilchenphysik“ → „Teilchenbilder.KLEIN“ navigiert werden⁷⁴. Dort sind die Symbole der Materie- und der Anti-Materieteilchen zu finden.

Die auszuwertenden Eckenzettel können von Schülerinnen oder Schülern langsam vorgelesen werden, während andere Schülerinnen oder Schüler die IAT bedienen und die Symbole aus der Ressourcenbibliothek in die Flipchart hineinziehen. Die farbigen Felder für die einzelnen Ecken auf der

⁷⁴ Der Ordner „Teilchenphysik“ muss bereits eingebunden sein. Siehe dazu auch Kapitel „6.1 Vorbetrachtungen“ Hinweise zur technischen Nutzung der Flipchart, Seite 42

Flipchart füllen sich nun mit den Teilchensymbolen (Abb. 22).



Abb. 22: Die Teilchensymbole wurden in die entsprechenden Felder gezogen. Bis jetzt sind sie unsortiert. Die (An-)Ordnung auf der linken Seite unterscheidet sich von der (An-)Ordnung auf der rechten Seite. [Screenshot vom Tutorial].

Zu einem von der Lehrkraft wählbaren Zeitpunkt muss diskutiert werden, ob nun ausschließlich die Materie- oder die Anti-Materieteilchen betrachtet werden sollen.

Wie in Abb. 22 zu sehen, ist die (An-)Ordnung der Teilchen auf der linken Seite nicht identisch mit der (An-)Ordnung auf der rechten Seite. Die Symbole müssen innerhalb ihrer Felder so umsortiert werden, dass links und rechts das gleiche Ordnungsschema entsteht. Diese Aufgabe können ebenfalls Schülerinnen oder Schüler an der IAT übernehmen. Auf diese Weise sind sie im gesamten Prozess der Entwicklung hin zu einem Ordnungsschema der Elementarteilchen beteiligt.

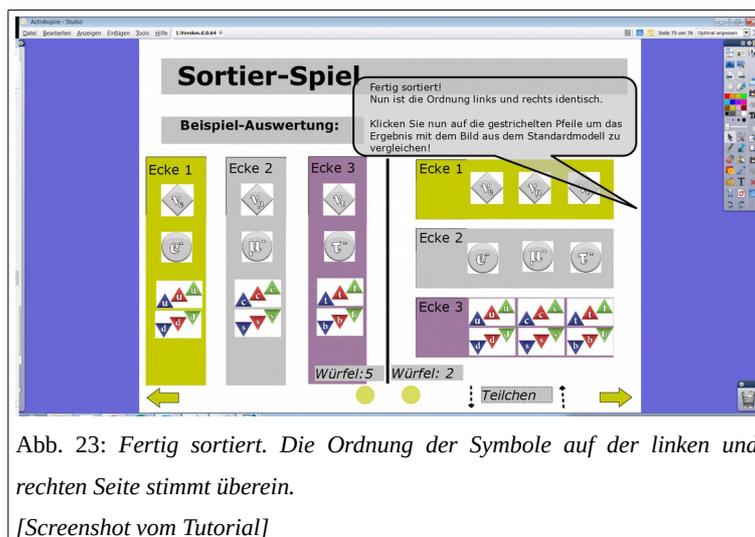


Abb. 23: Fertig sortiert. Die Ordnung der Symbole auf der linken und rechten Seite stimmt überein. [Screenshot vom Tutorial]

Sobald links und rechts dieselbe (An-)Ordnung der Teilchensymbole vorliegt, soll diese mit dem Ordnungsschema der Materieteilchen oder Anti-Materieteilchen (Abb. 01 bzw. Abb. 02) verglichen

werden. Dieses kann über die Hoch- und Runterpfeile schrittweise ein- und wieder ausgeblendet werden (Abb. 24).

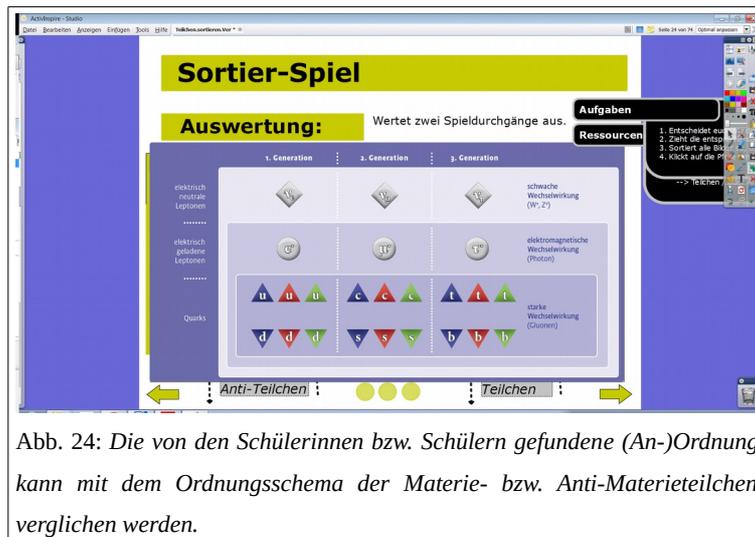


Abb. 24: Die von den Schülerinnen bzw. Schülern gefundene (An-)Ordnung kann mit dem Ordnungsschema der Materie- bzw. Anti-Materieteilchen verglichen werden.

Dabei kann es vorkommen, dass die eingefügten Teilchensymbole über dem einzublendenden Bild stehen (Abb. 25). Das liegt daran, dass neu eingefügte Objekte immer auf die oberste Ebene der Flipchart gesetzt werden. Ein Klick auf das graue Feld „Teilchen“ bzw. „Anti-Teilchen“ bringt das gewünschte Zielbild in die oberste Ebene und löst damit das Überlagerungsproblem der Symbole.



Abb. 25: Überlagerungsproblem: Die eingefügten Teilchensymbole stehen über dem Zielbild. Ein Klick auf das graue Feld „Teilchen“ bzw. „Anti-Teilchen“ löst das Problem.

Die Schülerinnen und Schüler haben durch ihre ausgefüllten Eckenzettel und dem selbst durchgeführten Sortieren genau die gleiche (An-)Ordnung gefunden, welche auch in dem Ordnungsschema (Abb. 01 bzw. Abb. 02) zu sehen ist.

Jetzt sollen die zugrundeliegenden Kriterien zusammengefasst werden (Abb. 26).

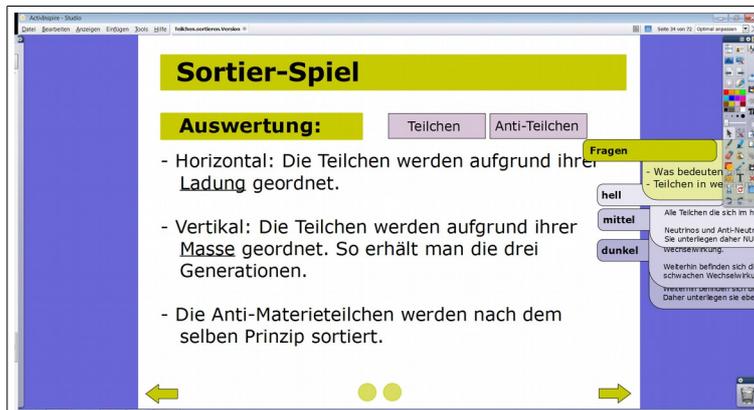


Abb. 26: Zusammenfassung: Die Ordnungsprinzipien Ladungsart und Masse können in den Schülerhefter übertragen werden. Zur weiteren Auswertung sind auf der rechten Seite Schiebekärtchen mit Fragen und Erklärungen zum Ordnungsschema vorhanden.

Die Ordnungskriterien „Ladungsart“ und „Masse“ sollen festgehalten und in die Schülerhefter übernommen werden. Zur weiteren Diskussion stehen Schiebekärtchen mit Fragen und Erklärungen zu den Ordnungsschemata der Materie- bzw. Anti-Materieteilchen (Abb. 01 bzw. Abb. 02) zur Verfügung. Diese beziehen sich auf die unterschiedlich farbig gestalteten Kästen hinsichtlich der horizontalen Anordnung der Elementarteilchen und erläutern den Zusammenhang zwischen der Farbe (hell, mittel, dunkel) und der jeweiligen Wechselwirkung oder auch den jeweiligen Wechselwirkungen, der bzw. denen die Teilchen unterliegen. (Abb. 27)⁷⁵.



Abb. 27: Die Schiebekärtchen gehen auf die Bedeutung der farbigen Kästen im Ordnungsschema ein

Auf diese Weise lassen sich mittels des induktiven Weges die Ordnungsschemata der Materie- bzw. Anti-Materieteilchen sowie die zugrundeliegenden Ordnungsprinzipien „Ladungsart“ und „Masse“ durch die Schülerinnen und Schüler erarbeiten.

⁷⁵ Die Farbe der Kästen spiegelt die Art der Wechselwirkungen wider.

6.2.2 (b) Der deduktive Weg

Beim deduktiven Weg wird das Ziel, also die Ordnungsschemata der Materie- bzw. Anti-Materieteilchen (Abb. 01 bzw. Abb. 02), vorweggenommen.

Ausgangspunkt ist wieder folgender: Die Schülerinnen und Schüler vergleichen beim ersten Spieldurchgang die Kriterien für die Ecken mit den Angaben auf ihren Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe, stehen auf und gehen in die entsprechende Ecke (vgl. Abb. 18). Im Unterschied zum induktiven Weg müssen nun keine Eckenzettel ausgefüllt werden. Stattdessen kann die Lehrkraft direkt das entsprechende Ordnungsschema aufrufen. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert, der Reihe nach „ihren Teilchennamen“ zu nennen, während die Lehrkraft die entsprechenden Symbole an der IAT im Ordnungsschema der Materie- oder Anti-Materieteilchen farbig markiert. Beispielsweise können alle Teilchen in Ecke 1 rot, die in Ecke 2 blau und diejenigen in Ecke 3 grün umrandet werden (Abb. 28). Diese Markierung kann ebenfalls durch eine Schülerin oder einen Schüler vorgenommen werden.

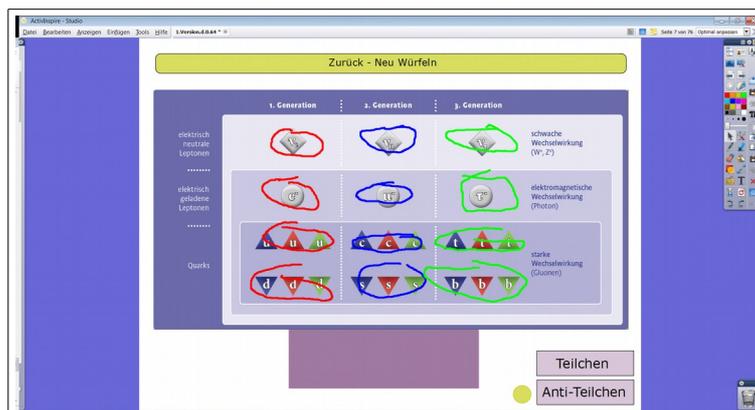


Abb. 28: Beim deduktiven Weg wird bei jedem Spieldurchgang farbig markiert, in welcher Ecke sich welches Teilchen befindet. Hier befinden sich die rot markierten Teilchen in Ecke 1, die blau markierten in Ecke 2 und die grün markierten in Ecke 3.

[vertikales Muster]

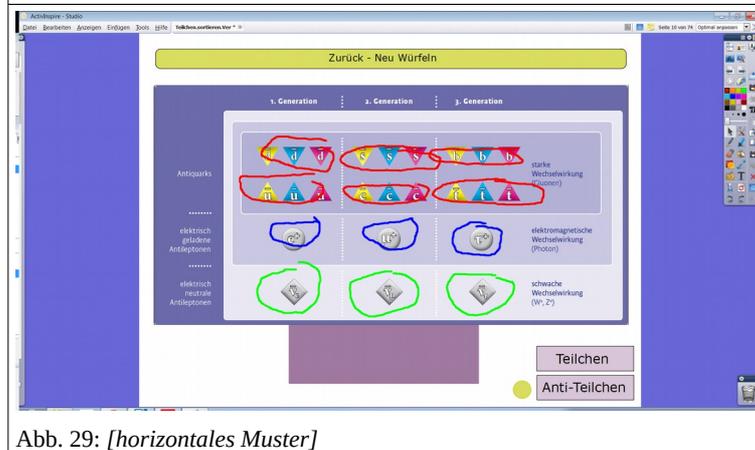


Abb. 29: [horizontales Muster]

Je nach Würfelaugenanzahl sind die farbigen Markierungen entweder horizontal (*Abb. 29*)⁷⁶ oder vertikal (*Abb. 28*)⁷⁷ angeordnet.

Dieser Spieldurchgang wird 2 – 4 mal wiederholt. Dabei fällt auf, dass wiederholt das horizontale oder vertikale Muster entsteht. Beim letzten Durchgang⁷⁸ bleiben die Schülerinnen und Schüler in den Ecken stehen. Die Lehrkraft stellt die Aufgabe, dass sie innerhalb ihrer Ecke die Eigenschaften der Teilchen vergleichen sollen. Dabei sollen Unterschiede und Gemeinsamkeiten herausgearbeitet werden. Wie in *Abb. 29* beispielhaft zu sehen, stehen die elektrisch geladenen Anti-Leptonen in Ecke 2 (blau). Die entsprechenden Schülerinnen und Schülern stellen fest, dass ihre Teilchen die elektrische Ladung mit Ladungszahl $+1$, die schwache Ladung mit Ladungszahl $+1/2$ sowie keine starke Ladung besitzen. Sie unterscheiden sich jedoch in ihren Massen. Das Anti-Elektron (Positron) besitzt eine Masse von $m_{e^+} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$, das Anti-Myon $m_{\mu^+} = 106 \text{ MeV}/c^2$ und das Anti-Tauon $m_{\tau^+} = 1777 \text{ MeV}/c^2$. Aufgrund dieser Feststellungen kann ein, von der Lehrkraft geführtes, Auswertungsgespräch eingeleitet werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden wie beim induktiven Weg (*Abb. 26*) zusammengefasst und in den Schülerhefter übernommen.

6.2.3 Hintergrundwissen: Eckenaufteilung

In diesem Kapitel werden die sechs möglichen Würfelaugenanzahlen und die entsprechenden Aufteilungskriterien erläutert.

In jedem Spieldurchgang wird ausgewürfelt, welche Elementarteilchen (also welche Schülerinnen/Schüler) welcher Ecke des Klassenraums zugeordnet werden. Hinter jeder Würfelzahl verbirgt sich genau eine festgelegte Aufteilung (siehe *Tabelle: Würfel-Ergebnisse*).

⁷⁶ Horizontal: Würfelaugenanzahl 1 – 3, die Teilchen werden aufgrund ihrer Ladungsart eingeteilt.

⁷⁷ Vertikal: Würfelaugenanzahl 4 – 6, die Teilchen werden aufgrund ihrer Masse eingeteilt.

⁷⁸ Je nach Zeitkontingent entscheidet die Lehrkraft wie viele Spieldurchgänge durchgeführt werden.

Würfel	Sortierungsart	Ecke 1	Ecke 2	Ecke 3
1	Ladung → beide	Alle Teilchen, die nur eine Ladungsart tragen *Das heißt konkret: nur bei einer Ladungsart nimmt die Ladungszahl einen Wert ungleich von 0 an!	Alle Teilchen, die 2 verschiedene Ladungsarten tragen	Alle Teilchen, die alle 3 Ladungsarten tragen
2	Ladung → nur Materie	Alle Materieteilchen, die keine elektrische Ladung tragen *elektrische Ladung 0 ist äquivalent zu keine elektrische Ladung	Alle Materieteilchen, welche die elektrische und die schwache Ladung tragen	Alle Materieteilchen, welche die elektrische, die schwache und die starke Ladung tragen
3	Ladung → nur Antimaterie	Alle Anti-Materieteilchen, welche die elektrische Ladung mit einer drittelzahligen* Ladungszahl tragen *Bsp: $+\frac{1}{3}$, $-\frac{1}{3}$, $-\frac{2}{3}$, ...	Alle Anti-Materieteilchen, welche die elektrische Ladung mit der Ladungszahl +1 tragen	Alle Anti-Materieteilchen, welche keine starke Ladung, aber die schwache Ladung mit der Ladungszahl $-\frac{1}{2}$ tragen
4	Masse ^ beide	Nur die Teilchen, welche folgende Bedingung erfüllen $0,5 < \text{Masse} < 6 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Elektron-Neutrino und das Anti-Elektron-Neutrino	Nur die Teilchen, welche folgende Bedingung erfüllen: $99 < \text{Masse} < 1400 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Myon-Neutrino und sein passendes Anti-Teilchen	Nur die Teilchen, deren Masse größer als $1600 \text{ MeV}/c^2$ ist sowie das Anti-Tau-Neutrino und sein passendes Anti-Teilchen
5	Masse ^ nur Materie	Nur Materieteilchen für die gilt: $0,5 < \text{Masse} < 6 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Elektron-Neutrino	Nur Materieteilchen, welche eine Masse zwischen $99 \text{ MeV}/c^2$ und $1400 \text{ MeV}/c^2$ besitzen sowie das Myon-Neutrino	Nur Materieteilchen für die gilt: $\text{Masse} > 1600 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Tau-Neutrino
6	Masse ^ nur Antimaterie	Nur Anti-Materieteilchen deren Masse kleiner als $6 \text{ MeV}/c^2$, aber größer als $0,5 \text{ MeV}/c^2$ ist sowie das Anti-Elektron-Neutrino	Nur Anti-Materieteilchen für die gilt: $99 < \text{Masse} < 1400 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Anti-Myon-Neutrino	Nur Anti-Materieteilchen für die gilt: $\text{Masse} > 1600 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Anti-Tau-Neutrino

Tabelle: Würfel-Ergebnisse

Wie schon dargelegt, liegt das Ziel der Flipchart „Teilchen sortieren“ im Unterricht auf der Erarbeitung der Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen einschließlich der zugrundeliegenden Ordnungsprinzipien „Ladungsart“ und „Masse“. Zu diesem Zweck verbergen sich hinter den Würfelaugennummern 1, 2 und 3 Aufteilungsanweisungen, welche die Elementarteilchen nach ihrer Ladungsart ordnen. Aufgrund der Würfelaugennummern 4, 5 und 6 hingegen werden die Elementarteilchen nach ihrer Masse geordnet. Um zum gewünschten Ordnungsschema der Materie- bzw. Anti-Materieteilchen (Abb. 01 bzw. Abb. 02) zu gelangen, müssen die Elementarteilchen mindestens einmal nach der Ladungsart und mindestens einmal nach der Masse geordnet worden sein. Daraus folgt, dass mindestens einmal eine 1, 2 oder 3 und einmal eine 4, 5 oder 6 gewürfelt worden sein muss.

Für die Auswertung ist folgendes zu beachten: Wird eine 2 oder 5 gewürfelt, so bezieht sich die

Aufteilung in die einzelnen Ecken lediglich auf die Materieteilchen. Die Schülerinnen und Schüler, die eine Karte der Elementarteilchen-Steckbriefe zu einem Anti-Materieteilchen besitzen, bleiben sitzen. Bei einer 3 oder 6 ist es umgekehrt. Bei einer 1 oder 4 bezieht sich die Aufteilung der Schülerinnen und Schüler auf die drei Ecken des Raumes sowohl auf die Materie- als auch Anti-Materieteilchen. Eine sinnvolle Auswertung ist jedoch nur möglich, wenn man sich für die Auswertung hinsichtlich einer der beiden „Teilchenarten“ (Materie oder Anti-Materie) entscheidet. Daraus folgt, dass nicht alle Würfelaugenzahlkombinationen beliebig miteinander kombinierbar ausgewertet werden können. Welche Kombinationen geeignet sind, kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Geeignete Kombinationen zur Auswertung		
(Würfelaugenzahl _i , Würfelaugenzahl _j)		
(1 , 4)	(1 , 5)	(1 , 6)
(2 , 4)	(2 , 5)	
(3 , 4)		(3 , 6)
(4 , 1)	(4 , 2)	(4 , 3)
(5 , 1)	(5 , 2)	
(6 , 1)		(6 , 3)

Tabelle: geeignete Kombinationen

6.3 Reflexion und Fazit

Wie in Kapitel 6.1 dargelegt, wird in der Flipchart „Teilchen sortieren“ ein „Bausatz“ zur Verfügung gestellt. Die Lehrkraft kann passendes Material selbst heraus suchen. Das Angebot der beiden didaktischen Wege gliedert sich in dieses Konzept ein. Weiterhin ist ein Tutorial⁷⁹ für die induktive Auswertung hinterlegt. Über das Würfelhauptmenü (Abb. 16) kann dieses angesteuert werden. Außerdem ist über selbiges ein „Lückentext“ (Abb. 30 und Abb. 31) verknüpft. In diesem wurden wichtige Erkenntnisse mit magischer Tinte⁸⁰ geschrieben. Dies ist ein Angebot „aus dem Bausatz“ für die Lehrkräfte, das beispielsweise im Zuge der Verwendung der Flipchart in der Sekundarstufe I für die Zusammenfassung der erarbeiteten Inhalte eingesetzt werden kann.

⁷⁹ Tutorial: Um die induktive Auswertungsphase mit dem Einfügen und Sortieren der Teilchensymbole besser zu verstehen, wurde dieses Tutorial hinterlegt. In diesem wird beispielhaft die Auswertung vorgenommen. Dabei werden die Würfelaugenzahlen 5 und 2 ausgewertet und zum Ordnungsschema der Materieteilchen (Abb. 01) hingeleitet.

⁸⁰ Magische Tinte: Liegen zwei Objekte übereinander, so verdeckt ein Objekt in der obersten ein anderes Objekt in der mittleren Ebene. Die magische Tinte macht das Objekt in der mittleren Ebene sichtbar, indem sie die Transparenz des obersten Objekts auf 100% setzt.

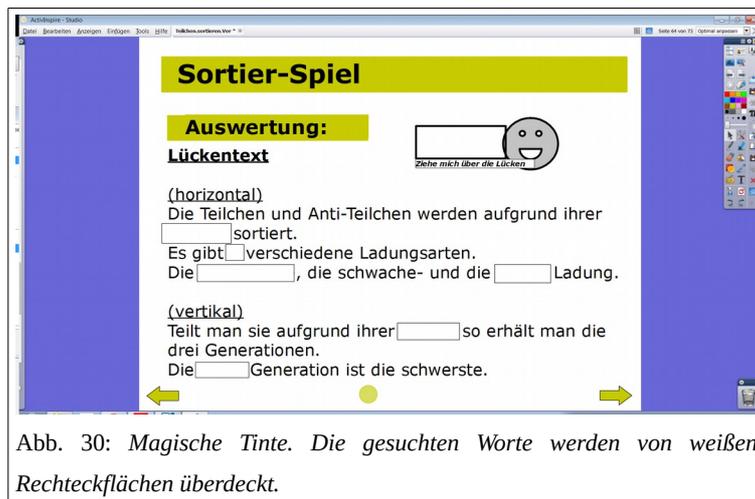


Abb. 30: Magische Tinte. Die gesuchten Wörter werden von weißen Rechteckflächen überdeckt.

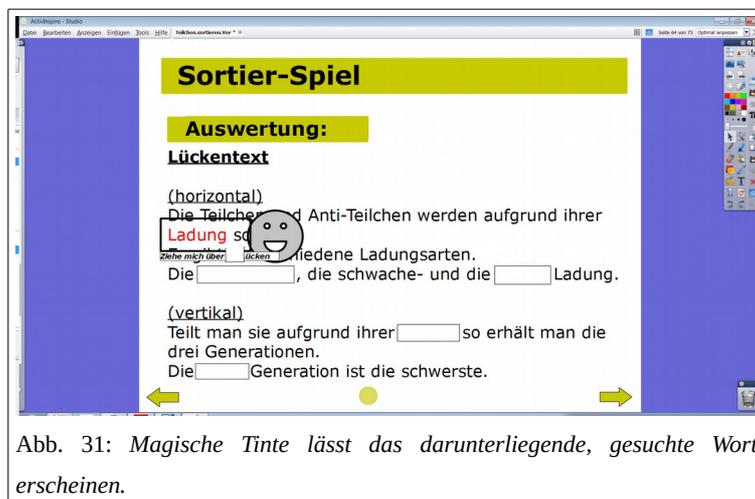


Abb. 31: Magische Tinte lässt das darunterliegende, gesuchte Wort erscheinen.

Der induktive Weg wurde im Rahmen einer Teilchenphysik Masterclass am 12.06.2015 am Kreuzgymnasium in Dresden eingesetzt. Da die Schülergruppe 12 Personen umfasste, wurde das Sortier-Spiel so angepasst, dass jede Schülerin / jeder Schüler zwei Karten erhielt (Materieteilchen + entsprechendes Anti-Materieteilchen).

Aus zeitlichen Gründen wurde die Anfangsphase ausgelassen und direkt mit der Würfel- und Auswertungsphase (induktiv) begonnen. Aufgrund der dort gewonnenen Erfahrungen ist zu bemerken, dass ein reibungsloser Ablauf der Würfelphase nur möglich ist, wenn die Schülerinnen und Schüler die genaue Bedeutung des Begriffs **Ladungsart** kennen. Ihnen muss klar sein, dass ein Teilchen die elektrische Ladung genau dann trägt, wenn der Betrag der elektrischen Ladungszahl ungleich Null ist. Gleiches gilt für die schwache Ladung. Im Fall der starken Ladung trägt das Teilchen diese, wenn auf der Karte der Elementarteilchen-Steckbriefe eine Farbe oder Anti-Farbe angegeben ist. Wenn dort drei Farben bzw. Anti-Farben angegeben sind, dann bedeutet das, dass das Teilchen dreimal in der Natur vorkommt und es jeweils eine der drei Farbladungen bzw. Anti-Farbladungen be-

sitzt. Jedoch zählt die starke Ladung, genau wie die schwache und die elektrische Ladung, als **eine** Ladungs**art**. Diese Erklärung musste im Rahmen der Teilchenphysik Masterclass ungünstiger Weise bei der Durchführung der Würfelphase gegeben werden und unterstreicht damit die große Bedeutung des Inhalts der Anfangsphase. Diese muss nicht explizit wie in der Flipchart angegeben verlaufen. Die wichtigen Begriffe und Erklärungen können auch in einem anderen Rahmen von der Lehrkraft vermittelt werden, wenn zeitliche oder andere unterrichtliche Gründe dies erfordern (vgl. Baukastenprinzip).

Weiterhin zeigen die gewonnenen Erfahrungen des Einsatzes der Flipchart, dass es sinnvoll ist, den Schülerinnen und Schülern einen Hinweis zu den *Eckenzetteln* zu geben. Sie sollten mündlich darauf hingewiesen werden, dass pro Spieldurchgang in jeder Ecke lediglich **ein** Eckenzettel ausgefüllt werden soll. Im ersten Durchgang wird der erste Zettel, im zweiten Durchgang der zweite Zettel, usw. ausgefüllt.

Anzumerken ist ebenfalls, dass die Flipchart nicht an einer IAT eingesetzt wurde. Damit war die Bedienung auf die Lehrkraft mittels Laptop beschränkt. Dennoch wurde das Sortier-Spiel im Großen und Ganzen positiv von den Schülerinnen und Schülern bewertet. Positiv hervorgehoben wurde der hohe Anteil an Eigenaktivität sowie die übersichtliche und selbsterklärende Gestaltung der Flipchart. Dies lässt insgesamt ein positives Fazit im Hinblick auf den Einsatz der Flipchart „Teilchen sortieren“ im Unterricht zu, vor allem da die Verwendung an einer IAT mit einem noch größeren Anteil an Schüleraktivität einhergeht.

Für den Einsatz der Flipchart „Teilchen sortieren“ sei nochmals auf die Verwendung der *Lehrerhandreichung* hingewiesen. Diese bietet einen guten Überblick und praktische Tipps zur Benutzung.

7. Weitere Möglichkeiten zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln

Im folgenden Kapitel werden weitere Ideen zur Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln kurz beschrieben.

Ideen zur Aufarbeitung zum Thema: Beta-Umwandlungen

Für eine interaktive Erarbeitung der Austauschteilchen bieten die Beta-Umwandlungen einen guten Anknüpfungspunkt. In Sachsen sind die Beta-Umwandlungen im Lehrplan Gymnasium, Leistungskurs Klasse 12, Lernbereich 6: Eigenschaften der Atomkerne zu finden. Obwohl sie unter dem Schwerpunkt Kernumwandlungsgleichungen geführt werden, wird anschließend der Begriff „Beta-Zerfall“ verwendet. Aus heutiger physikalischer Sicht ist diese Formulierung nicht zutreffend, da die Elementarteilchen nicht „zerfallen“, sondern sich lediglich in andere Teilchen umwandeln. Aus diesem Grund wird im Rahmen dieser Arbeit der Begriff der Umwandlung gewählt.

Ideen für eine Flipchart

Eine Flipchart „Beta-Umwandlungen“ könnte ein offenes Konzept, ähnlich dem Baukastenprinzip s.o., unterstützen. Aus diesem Grund kann ein Hauptmenü wie in (Abb. 32) oder ähnlich eingesetzt werden.

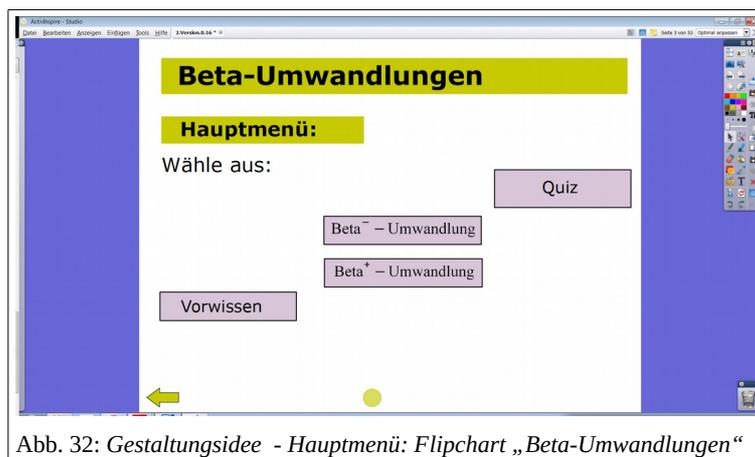


Abb. 32: Gestaltungsidee - Hauptmenü: Flipchart „Beta-Umwandlungen“

Die Treppenform von links unten nach rechts oben wurde gewählt, um den „Lernpfad“ darzustellen.

Andererseits bietet diese Hauptmenüform die Möglichkeit, dass die Lehrkraft entscheiden kann, welche Teile der Flipchart sie in ihrem eigenen Unterricht einsetzt. So könnte sie gänzlich auf den Vorwissensteil und das Quiz verzichten und sich ausschließlich auf die Behandlung der Beta-Umwandlungen konzentrieren. Möglich wäre auch der Einsatz einzelner Seiten.

Im Vorwissensteil sollten die Konstituenten-Quarks des Neutrons und des Protons thematisiert werden. Dafür können die Elementarteilchen-Steckbriefe oder die Flipchart „Teilchen sortieren“ genutzt werden. Weiterhin muss der Begriff der Ladungserhaltung diskutiert werden. Dabei sollte in Analogie zur elektrischen Ladungserhaltung das Konzept auf alle Ladungsarten erweitert werden.

Nun soll ein Beispiel für die Gestaltung der Beta-Umwandlungen skizziert werden. Der Button „ β^- -Umwandlung“ könnte mit einer Folie verknüpft sein, auf dem die Umwandlung eines Neutrons in ein Proton dargestellt ist. Wird dann „hineingezoomt“, so erkennt man, dass sich ein Down-Quark in ein Up-Quark umwandelt. Nun soll mithilfe der Ladungserhaltung induktiv die Reaktionsgleichung hergeleitet werden.

Für diesen Teil ist es denkbar, mehrere Sätze von Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe in der Klasse zu verteilen. Jede Schülerin und jeder Schüler sollte mehrere Karten erhalten. Nun werden im geleiteten Unterrichtsgespräch die Beträge der Ladungen des Down-Quarks⁸¹ bzw. des Up-Quarks⁸² auf der linken Seite bzw. auf der rechten Seite einer Reaktionsgleichung notiert (siehe *Tabelle 1*).

	Downquark	→	Upquark		
Elektrische Ladung:	$-\frac{1}{3}$	→	$+\frac{2}{3}$	+	$X = -1$
Schwache Ladung:	$-\frac{1}{2}$	→	$+\frac{1}{2}$	+	$Y = -1$
Starke Ladung:	blau, rot, grün	→	blau, rot, grün	+	Keine Farbe

Tabelle 1: Reaktionsgleichung Beta-Umwandlung

Die Schülerinnen und Schüler berechnen mithilfe der Ladungserhaltung die Beträge und das Vorzeichen der „fehlenden Ladungen“⁸³ auf der rechten Seite.

81 Down-Quark: elektrische Ladungszahl = $-1/3$, schwache Ladungszahl = $-1/2$, starke Ladung = blau, rot, grün

82 Up-Quark: elektrische Ladungszahl = $+2/3$, schwache Ladungszahl = $+1/2$, starke Ladung = blau, rot, grün

83 „fehlende Ladungsbeträge auf der rechten Seite: elektrische Ladungszahl = -1 , schwache Ladungszahl = -1

Nun wird in den Steckbriefkarten nach einem Teilchen gesucht, welches die berechneten Ladungen besitzt. Das W^- -Boson erfüllt die aufgestellten Ladungskriterien.

Die Reaktionsgleichung könnte ebenfalls mithilfe der Teilchensymbole aus der im Rahmen dieser Arbeit angebotenen Ressourcenbibliothek notiert und wie in der folgenden *Tabelle 2* dargestellt werden.

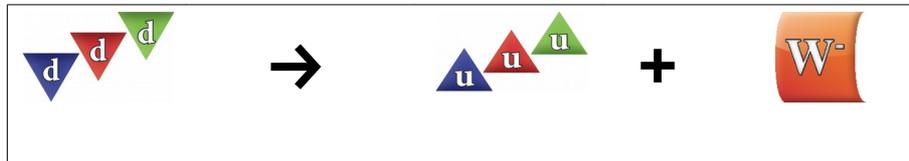


Tabelle 2: Reaktionsgleichung mit Teilchensymbolen

Hier eignet sich ebenfalls der Einsatz der Containerfunktion. Die Teilchensymbole können mit speziellen Eigenschaften verknüpft werden, sodass an die Stelle des W^- -Bosons (rechts in der Reaktionsgleichung) nur dieses eine Symbol zugeordnet werden kann. Alle anderen (falschen) Symbole (also auch das W^+ -Boson) werden aus dem Container sofort wieder aussortiert.

Mit einer Überleitung derart, dass die Lehrkraft beispielsweise auf die kurze Lebensdauer des W^- -Bosons von $3 \cdot 10^{-25}$ Sekunden hinweist, soll die weitere Umwandlung des W^- -Bosons thematisiert werden. Dieses wandelt sich in ein Elektron und ein Anti-Elektronneutrino um. Diese Umwandlung kann wieder mithilfe der Ladungserhaltung überprüft werden. Auch an dieser Stelle kann mit den Teilchensymbolen aus der oben genannten Ressourcenbibliothek gearbeitet und die gewünschte Reaktionsgleichung wie in der folgenden *Tabelle 3* dargestellt werden.

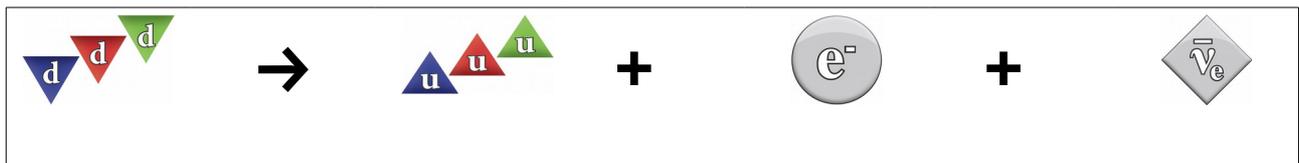


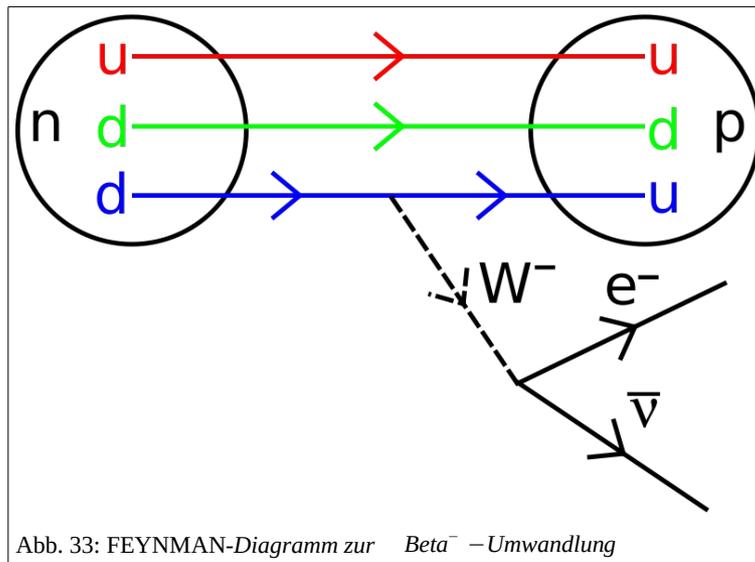
Tabelle 3: komplette Reaktionsgleichung

Das Up-Quark verbleibt im Atomkern, während die Leptonen das Atom verlassen. Die so entstandenen Elektronen werden auch Beta-Strahlung genannt.

Das Problem der Masse

Bei der Betrachtung der W-Bosonen in den Beta-Umwandlungsprozessen wird ein Problem sichtbar: Das W-Boson besitzt eine Masse von $80400 \text{ MeV}/c^2$ und ist damit deutlich schwerer als das Down-Quark ($5 \text{ MeV}/c^2$). Jede Schülerin und jeder Schüler sollte mithilfe des Energieerhaltungs-

satzes in der Lage sein, diesen Umwandlungsprozess vorerst in Frage zu stellen. Dieses Problem kann unter Verwendung eines FEYNMAN-Diagramms (siehe *Abb. 33*) gelöst werden.



Das W^- -Boson ist bei der Beta^- -Umwandlung ein virtuelles Teilchen, das die *Energie-Impuls-Beziehung* (2) in Kapitel 2.2 nicht erfüllen muss, denn seine Energie und sein Impuls sind durch die Energien und Impulse der Quarks, des Elektrons und Anti-Elektron-Neutrinos festgelegt.

Ergebnis

Die Behandlung der Beta-Umwandlungen bietet großes Potential hinsichtlich der interaktiven Aufarbeitung für die IAT. Die aufgeführten Ideen können als Ausgangspunkt genutzt und fortführend umgesetzt werden.

Ausblick: Fragenmanager / Feedbackgeräte

Eine weitere Möglichkeit für die Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen ist der Einsatz von Schülerfeedbackgeräten. Die Tafelsoftware „ActivInspire“ bietet mit dem Fragenmanager ein nützliches Tool, mit dem Fragen hinterlegt und ein Quiz⁸⁴ erstellt werden kann.

Folgendes Szenario sei skizziert: Am Ende des Themenkomplexes zu Beta-Umwandlungen sollen die Schülerinnen und Schüler Fragen beantworten. Dabei spielt die Art und Weise der Erarbeitung der Inhalte, also ob dazu die in Kapitel 7 beschriebene Flipchart eingesetzt wurde oder eine konventionelle Methode, keine Rolle. Nun werden die Schülerfeedbackgeräte ausgeteilt und das eben ge-

⁸⁴ Quiz wie bspw. in *Abb. 32*, rechts oben zu sehen

nannte Quiz gestartet. Die Fragen, Fragetypen und Antworten sind in der folgenden *Tabelle 4* dargestellt.

#	Fragen	Fragetyp
		Antwort
1	In einem Neutron befinden sich ... [mehrere Antworten möglich]	Multiple Choice
		<ul style="list-style-type: none"> • 1 Upquark • 2 Upquark • 3 Upquark • 1 Downquark • 2 Downquark • 3 Downquark
2	Beim $Beta^-$ – Zerfall wandelt sich ... [mehrere Antworten möglich]	Multiple Choice
		<ul style="list-style-type: none"> • Ein Upquark in ein Downquark um • ein Downquark in ein Upquark um • ein Upquark in ein anderes Quark um • ein Neutron in ein Proton um
3	Ist folgende Aussage wahr oder falsch? Nach bisherigem Forschungsstand sind Protonen die kleinsten, unteilbaren Teilchen im Atomkern	Ja / Nein
		<ul style="list-style-type: none"> • wahr • falsch • weiß nicht
4	Ist folgende Aussage wahr oder falsch? Beta-Umwandlungen laufen in der Atomhülle ab	Ja / Nein
		<ul style="list-style-type: none"> • wahr • falsch • weiß nicht
5	Wenn ein Atom eine $Beta^+$ – Umwandlung vollzieht, dann ...	Multiple Choice
		<ul style="list-style-type: none"> • strahlt es ein Elektron ab • strahlt es ein Positron ab • geht es zu seinem Vorgänger im Periodensystem der Elemente über • geht es zu seinem Nachfolger im Periodensystem der Elemente über
6	Bei Beta-Umwandlungen sind ebenfalls Neutrinos oder Anti-Neutrinos beteiligt. Diese sind nötig wegen ...	Multiple Choice
		<ul style="list-style-type: none"> • dem Kräftegleichgewicht • der Erhaltung der Ladung • dem dritten Newton'schen Axiom

Tabelle 4: Quizfragen zu Beta-Umwandlungen. Die richtigen Lösungen sind blau dargestellt.

Die Ergebnisse können „live“ ausgewertet und gespeichert werden.

Wie in der *Tabelle 4* zu sehen ist, bietet „ActivInspire“ eine große Auswahl an unterschiedlichen Fragetypen. In der Tabelle nicht aufgeführt, aber möglich, ist eine „Likert-Skala“. Diese kann mit

selbstgewählten Attributen ausgestattet werden. Beispielsweise könnte die Frage „Wie schätzt du dein Wissen zu den Beta-Umwandlungen ein?“ mit Antwortmöglichkeiten „kein Wissen“, „wenig Wissen“, „durchschnittliches Wissen“, „etwas mehr als Durchschnitt“ und „viel Wissen“ erstellt werden. Auch Antworten in Analogie zum Schulnotensystem mit Noten von 1 bis 6 können als Antwortmöglichkeit hinterlegt werden. Solch eine Frage könnte unter Umständen Fehleinschätzungen, also Über- oder Unterschätzungen des eigenen Wissensstands, der Schülerinnen und Schüler aufdecken. Die an dieser Stelle aufgeführten Fragen sollen lediglich einen Ausblick auf die technischen Möglichkeiten im Zusammenhang mit der Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen geben.

8. Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war die Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen mithilfe interaktiver Tafeln. Dazu wurden zuerst ausgewählte teilchenphysikalische Grundlagen wie die drei Ladungsarten erläutert (Kapitel 2). Im Anschluss wurden physikdidaktische Grundlagen (Kapitel 3) betrachtet und Möglichkeiten der Nutzung interaktiver Tafeln vorgestellt, auch im speziellen Bezug zum Einsatz innerhalb des Physikunterrichts (Kapitel 4).

Nach dieser Darstellung der theoretischen Grundlagen wurden die Einsatzmöglichkeiten der Elementarteilchen-Steckbriefe auf interaktiven Tafeln untersucht. Festgestellt wurde, dass die in der Materialsammlung – Kontextmaterial für Lehrkräfte des Netzwerk Teilchenwelt dargestellten Methoden durchaus für den Einsatz an interaktiven Tafeln aufgearbeitet werden können. Die spielerische Umsetzung der abstrakten Thematik der Teilchenphysik ist gerade im Bezug auf offene Unterrichtskonzepte reizvoll. Für den erfolgreichen Einsatz müssen allerdings Anpassungen vorgenommen werden. Das Problem, dass nicht mehrere Schülergruppen gleichzeitig und parallel an der IAT arbeiten können, musste gelöst werden. Dazu wurden Elemente der in der Materialsammlung vom Netzwerk Teilchenwelt vorgestellten Methoden 1 und 3 miteinander verbunden und die Flipchart „Teilchen sortieren“ entwickelt. Diese wurde ausführlich in Kapitel 6 vorgestellt.

Die entwickelte Flipchart bietet den Lehrkräften die Möglichkeit, die Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe im Unterricht unter Verwendung einer interaktiven Tafel einzusetzen. Dabei steht im Vordergrund, dass sich die Schülerinnen und Schüler das Ordnungsschema der Elementarteilchen im Standardmodell sowie die zugrundeliegenden Ordnungsprinzipien erarbeiten und erlernen. Hierfür wurden zwei didaktische Vorgehensweisen entwickelt. Über beide Wege werden die Ordnungsprinzipien „Ladungsart“ und „Masse“ erarbeitet.

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Materialien wurden nicht in ein festes Unterrichtskonzept eingegliedert. Sie stellen eher einen „Baukasten“ dar, aus dem die Lehrkraft gewünschte Komponenten entnehmen kann. So ist es beispielsweise möglich, nur die Abbildungen zu den Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen, die Teilchensymbole aus der Ressourcenbibliothek oder die Ergebnissicherungs-Seite aus der Flipchart zu verwenden. Das Angebot innerhalb der Chart wurde um einen Lückentext ergänzt, der für die Zusammenfassung der Inhalte in der Sekundarstufe I eingesetzt werden kann.

In Kapitel 7 wurden weitere Möglichkeiten für die Aufarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen skizziert. Dabei wurden Ideen für die Umsetzung des Themas „Beta-Umwandlungen“, das im säch-

sischen Lehrplan im Leistungskurs Physik verankert ist, vorgestellt. Diese gliedern sich in das Angebotskonzept der Materialien für die Lehrkräfte ein.

Als eine weitere Möglichkeit für den Einsatz interaktiver Tafeln für die Erarbeitung teilchenphysikalischer Grundlagen wurden Ideen zum Einsatz der Schülerfeedbackgeräte skizziert. Es wurden einzelne konkrete Vorschläge für Fragetypen und Fragen gegeben.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Elementarteilchen-Steckbriefe für den Einsatz an interaktiven Tafeln aufgearbeitet werden konnten. Mit Sicherheit gibt es weitere spannende Möglichkeiten. Einige davon konnten im Rahmen dieser Arbeit nur erwähnt oder skizziert werden. Auch die Teilchenphysikerinnen und Teilchenphysiker streben – wie Faust – nach immer mehr Erkenntnissen dazu, „[...] was die Welt im Innersten zusammenhält“ (GOETHE. Faust Erster Teil. Seite 13). Diese neuen Erkenntnisse in der Grundlagenforschung werden auch immer weitere Möglichkeiten für die Erarbeitung teilchenphysikalischer Sachverhalte mittels IAT's eröffnen. Bei den hier erstellten und vorgestellten Materialien stehen die Elementarteilchen-Steckbriefe im Mittelpunkt und sie stellen einen Anfang in Bezug auf die Erarbeitung weiterer Materialien dar, die im Zusammenhang mit den Materialien des Netzwerk Teilchenwelt den Lehrkräften zur Verfügung gestellt werden können.

A. Anhang

Anhangsverzeichnis

- Eckenzetteln 70
- Eckenschilder 73
- Lehrerhandreichung 75

- **Bildnachweise, Literatur- und Quellenverzeichnis**
- **Selbstständigkeitserklärung**

Anhang: Eckenzettel

Eckenzettel :

Trage ein, kreuze an!

	Ecke-Nr:	1
	Würfel-Augenzahl	
	Myon-Neutrino	
	Charme-Quark	
	Down-Quark	
	Strange-Quark	
	Anti-Top-Quark	
	Anti-Myon	
	Anti-Tauon	
	Myon	
	Anti-Myon-Neutrino	
	Anti-Down-Quark	
	Up-Quark	
	Tau-Neutrino	
	Anti-Up-Quark	
	Elektron-Neutrino	
	Anti-Elektron-Neutrino	
	Anti-Bottom-Quark	
	Top-Quark	
	Anti-Strange-Quark	
	Positron (=Anti-Elektron)	
	Bottom-Quark	
	Elektron	
	Anti-Charme-Quark	
	Tauon	
	Anti-Tau-Neutrino	

Anhang: Eckenzettel

Trage ein, kreuze an!

	Ecke-Nr:	2
	Würfel-Augenzahl	
	Myon-Neutrino	
	Charme-Quark	
	Down-Quark	
	Strange-Quark	
	Anti-Top-Quark	
	Anti-Myon	
	Anti-Tauon	
	Myon	
	Anti-Myon-Neutrino	
	Anti-Down-Quark	
	Up-Quark	
	Tau-Neutrino	
	Anti-Up-Quark	
	Elektron-Neutrino	
	Anti-Elektron-Neutrino	
	Anti-Bottom-Quark	
	Top-Quark	
	Anti-Strange-Quark	
	Positron (=Anti-Elektron)	
	Bottom-Quark	
	Elektron	
	Anti-Charme-Quark	
	Tauon	
	Anti-Tau-Neutrino	

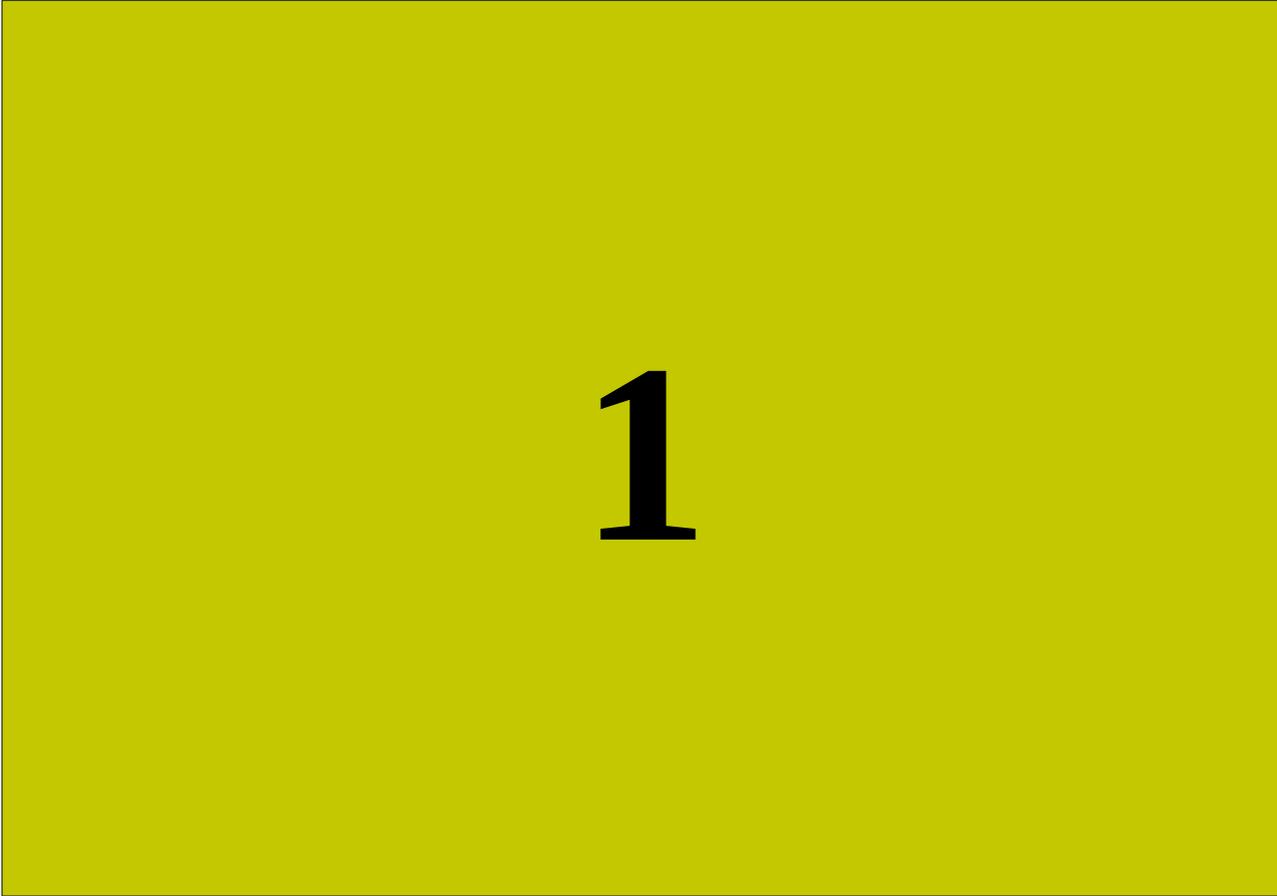
Anhang: Eckenzettel

Trage ein, kreuze an!

	Ecke-Nr:	3
	Würfel-Augenzahl	
	Myon-Neutrino	
	Charme-Quark	
	Down-Quark	
	Strange-Quark	
	Anti-Top-Quark	
	Anti-Myon	
	Anti-Tauon	
	Myon	
	Anti-Myon-Neutrino	
	Anti-Down-Quark	
	Up-Quark	
	Tau-Neutrino	
	Anti-Up-Quark	
	Elektron-Neutrino	
	Anti-Elektron-Neutrino	
	Anti-Bottom-Quark	
	Top-Quark	
	Anti-Strange-Quark	
	Positron (=Anti-Elektron)	
	Bottom-Quark	
	Elektron	
	Anti-Charme-Quark	
	Tauon	
	Anti-Tau-Neutrino	

Anhang: Eckenschilder

Eckenschilder :



1

2

3

Lehrerhandreichung :



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

**Lehrerhandreichung zur Flipchart:
„Teilchen sortieren“
Ordnungsprinzipien der Elementarteilchen**

Anmerkung:

Diese Version der Lehrerhandreichung wurde an das Format der wissenschaftlichen Arbeit angepasst und ist ausschließlich für deren Anhang bestimmt.

Der Autor rät zur Benutzung der originalen Lehrerhandreichung. Diese ist als extra .pdf auf der CD der wissenschaftlichen Arbeit sowie im Internet auf leifiphysik verfügbar.

Autor: Felix Lehmann
E-Mail: schreibeLehmann@gmail.com
Datum: 06.07.2015
Version der Handreichung: 1.00 nur für wissenschaftliche Arbeit (Anhang)

Inhaltsverzeichnis Lehrerhandreichung

Teil 1: Handreichung	77
1. Kurze Einleitung und Ziele	77
2. Anforderungen	77
3. Grobüberblick - „Stundenentwurf“	80
4. Feinüberblick – Anleitung	81
4.1 Anfangsphase	82
4.2 Würfel- und Auswertungsphase	84
4.2.1 Induktiver Weg	85
4.2.2 Deduktiver Weg	89
4.2.3 Hintergrundwissen: Eckenaufteilung	92
Teil 2: Ausblick: weiterführende physikalische Informationen	94
5. Bedeutung der Aussage: „Elektrische Ladung mit der Ladungszahl 0“	95
6. „Warum ist die horizontale Anordnung der Teilchen im Ordnungsschema der Materieteilchen im Vergleich zu dem der Anti-Materieteilchen umgekehrt?“	96

Teil 1: Handreichung

Diese Lehrerhandreichung steht der Flipchart „Teilchen sortieren“ unterstützend und erklärend zur Seite.

1. Kurze Einleitung und Ziele

In dem Sortier-Spiel „Teilchen sortieren“ lernen die Schülerinnen und Schüler die Ordnungsschemata der Materie- und Antimaterieteilchen sowie die zugrundeliegenden Ordnungsprinzipien Ladungsart und Masse kennen.

2. Anforderungen

Materialanforderungen

- 1 x Satz: Elementarteilchen-Steckbriefe (*lange Version*)
- 12 x Eckenzettel (nur beim induktiven Weg notwendig)
- 1 x Eckenschilder
- (24 Schülerinnen und Schüler)

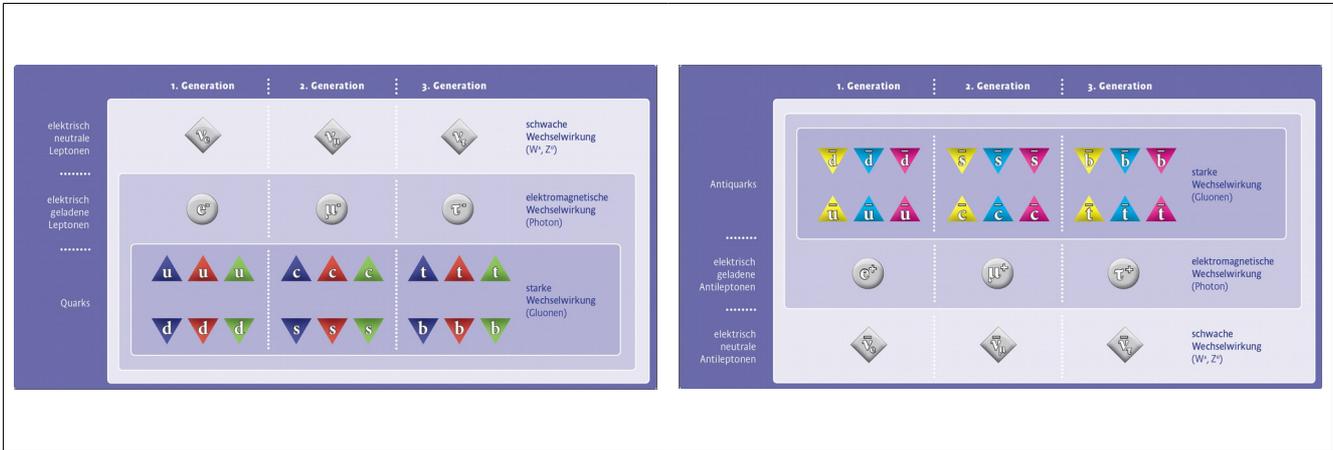
Zeitanforderungen

- Vorbereitung und Auswertung: 10 Minuten
- 2 - 4 Spieldurchgänge: 5 - 15 Minuten
- Auswertung: 15 Minuten

Gesamt: ca. 45 Minuten

Anmerkung / Legende:

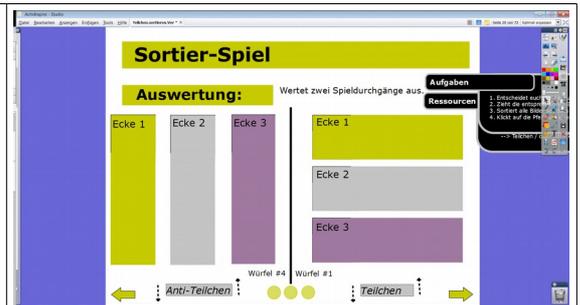
- SuS ...Schülerinnen und Schüler
- Wenn von „Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen“ gesprochen wird, sind folgende Abbildungen gemeint



Technische Hinweise

Navigation

Über die grünen Pfeile (im unteren Bereich) kann zur nächsten bzw. zur vorangegangenen Flipchartseite navigiert werden.



Grüne Kreise

Die grünen Kreise im unteren Bereich decken einzelne Elemente wie Texte und Objekte zu bzw. auf.

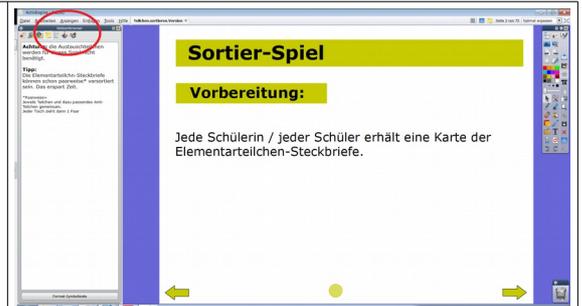
Hier wurde die rechte Flipchartseite durch einen Klick auf den rechten Kreis zugedeckt.



Anhang: Lehrerhandreichung

Notizenbrowser

Auf fast allen Flipchartseiten sind Zusatzinformationen im Notizenbrowser vorhanden. Dieser lässt sich über das Menü (links) öffnen.



Anhang: Lehrerhandreichung

3. Grobüberblick - „Stundenentwurf“

Zeit [min]	Phase	Sozial-Form	Schülertätigkeit	Lehrtätigkeit	Medien / Materialien
Anfangsphase					
10	Vorbereitung	gUG	<ul style="list-style-type: none"> • bekommen Steckbriefkarten 	<ul style="list-style-type: none"> • teilt die Steckbriefkarten aus • erteilt erste Aufgabenstellung 	1 Satz Steckbriefkarten ohne Austauschteilchen
	Erarbeitung	EA PA	<ul style="list-style-type: none"> • lernen die Eigenschaften „ihres Teilchens“ kennen • vergleichen mit Banknachbar 		
	Auswertung I		<ul style="list-style-type: none"> • zählen ihre Erkenntnisse und Fragen auf 	<ul style="list-style-type: none"> • notiert Erkenntnisse, Fragen an Tafel • klärt Fragen (evtl. Schiebekärtchen) • leitet über zur zentralen Frage: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Wie lassen sich die Elementarteilchen sinnvoll ordnen? (Analogie: in Chemie gibt es PSE) ◦ Welche Ordnungsprinzipien stecken dahinter? 	evtl. Schiebekärtchen in der Flipchart
Würfelphase					
5 - 15	Durchführung	gUG ST	<ul style="list-style-type: none"> • vergleichen ihre Teilcheneigenschaften mit den ausgewürfelten Kriterien für die Eckenaufteilung • stehen auf und gehen in die entsprechende Ecke des Klassenraums induktiver Weg <ul style="list-style-type: none"> • SuS füllen den Eckenzettel aus deduktive Weg <ul style="list-style-type: none"> • SuS bleiben kurz stehen und nennen ihren Teilchennamen 	<ul style="list-style-type: none"> • würfelt und bedient Flipchart induktiver Weg <ul style="list-style-type: none"> • fordert zum Ausfüllen des Eckenzettels auf) deduktiver Weg <ul style="list-style-type: none"> • markiert mit 3 verschiedenen Farben die Teilchen auf der Flipchart 	Induktiver Weg: Eckenzettel Deduktiver Weg: farbige Stifteingabe auf der Flipchart
	Vorgang wird 2-4 mal wiederholt				
Auswertungsphase					
10 - 15	Auswertung II	gUG	induktiv <ul style="list-style-type: none"> • 1 oder mehrere SuS lesen ausgefüllte Eckenzettel vor • helfen beim Sortieren der Teilchensymbole deduktiv <ul style="list-style-type: none"> • nennen ihren Teilchennamen (wenn sie sich in der Ecke befinden) • erkennen Muster • vergleichen Gemeinsamkeiten und Unterschiede mit den anderen Teilchen in Ecke 	induktiv <ul style="list-style-type: none"> • zieht Teilchenbilder/Symbole aus der Ressourcenbibliothek in die Auswertungsseite der Flipchart • sortiert die Teilchensymbole innerhalb der Felder so, dass die Ordnung links und rechts übereinstimmt deduktiv <ul style="list-style-type: none"> • markiert die genannten Teilchen (jede Ecke eine andere Farbe) • weist auf Muster hin • gibt Aufgabenstellung: • Vergleicht die Gemeinsamkeiten und Unterschiede mit den anderen Teilchen in eurer Ecke 	Ressourcenbibliothek: → Teilchenphysik → Teilchenbilder.KLEIN → Teilchen/Anti-Teilchen
	Zusammenfassung		<ul style="list-style-type: none"> • erkennen die beiden Ordnungsprinzipien (Ladung, Masse) • (übernehmen Stichpunkte ins Heft) 	<ul style="list-style-type: none"> • fasst zusammen • (gibt Aufgabe, Stichpunkte ins Heft zu übernehmen) 	(Hefter)

Legende: SuS=Schülerinnen und Schüler, ST=Selbsttätigkeit, gUG=geleitetes Unterrichtsgespräch, PSE=Periodensystem der Elemente, EA=Einzelarbeit, PA=Partnerarbeit

4. **Feinüberblick - Anleitung**

In diesem Kapitel wird der Verlauf dargestellt und erklärt. Mithilfe von Screenshots der Flipchart-Seiten wird ein direkter Bezug dieser Anleitung zur Flipchart hergestellt.

Der Lehrkraft stehen zwei didaktische Wege zur Verfügung. Das Ordnungsschema der Elementarteilchen kann entweder **induktiv** oder **deduktiv** erarbeitet werden. Die Auswertung des induktiven Wegs erfordert mehr Zeit.

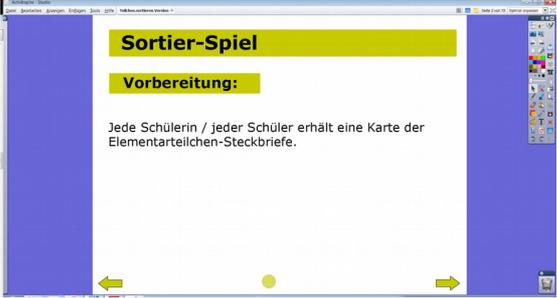
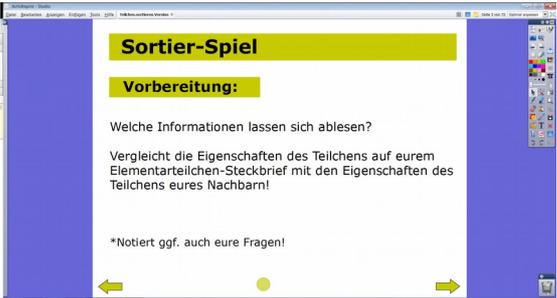
Übersicht zu beiden Wegen

<u>induktiver Weg</u>	<u>deduktiver Weg</u>
<ul style="list-style-type: none">• Anzahl der Spieldurchgänge, je nach Würfelglück: 2 – 4• erfordert Eckenzettel• Auswertung findet erst nach der Würfelphase statt	<ul style="list-style-type: none">• Anzahl der Spieldurchgänge: 2 – beliebig• Eckenzettel werden nicht benötigt• Auswertung findet innerhalb jedes Spieldurchgangs statt

Im folgenden wird die Anfangsphase (Kap. 4.1) dargestellt. Diese ist bei beiden Wegen gleich. Anschließend wird die Würfel- und Auswertungsphase (Kap. 4.2) erläutert. Dabei wird zwischen induktivem Weg (4.2.1) und deduktiven Weg (4.2.2) unterschieden. Abschließend liefert das Kapitel 4.2.3 nützliches Hintergrundwissen zu den Aufteilungskriterien der jeweiligen Ecken.

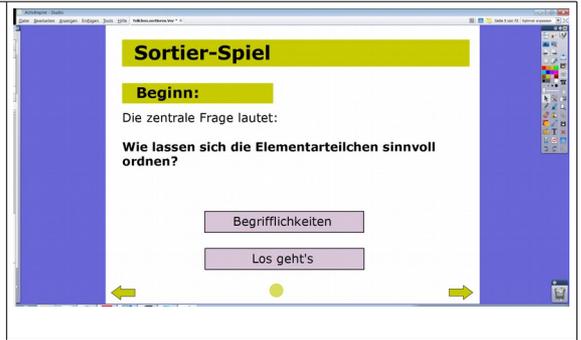
4.1 Anfangsphase

In der Anfangsphase erhalten die SuS die Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe und gewinnen erste Erkenntnisse über die Eigenschaften von Materie- und Anti-Materieteilchen.

Anleitung / Beschreibung / Hilfe / Tipps	Screenshots
<p>Vor dem Spiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Austauschteilchen aussortieren (werden nicht benötigt) • Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe sortieren (in Teilchen + entsprechendes Anti-Teilchen) • Drei Ecken des Klassenraums mit den Eckenschildern nummerieren • Eckenzettel in den Ecken bereitlegen (nur beim induktiven Weg) 	
<p>Spielbeginn</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jeder Tisch erhält ein Paar von Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe <ul style="list-style-type: none"> ◦ sodass Schüler A das Teilchen und Schüler B das entsprechende Anti-Teilchen bekommt. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Die SuS erhalten Zeit, um die Aufgaben zu bearbeiten. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse aufschreiben / festhalten • Rechts befinden sich Schiebekärtchen mit Zusatzinformationen. <ul style="list-style-type: none"> ◦ (Schiebekärtchen in die Flipchart hineinziehen) <p>Mögliche Ergebnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • zu jedem Teilchen existiert ein Anti-Teilchen und umgekehrt • Teilchen und Anti-Teilchen besitzen die gleiche Masse • Teilchen und Anti-Teilchen besitzen die gleiche mittlere Lebensdauer • Teilchen und Anti-Teilchen besitzen denselben Betrag der elektrischen und schwachen Ladungszahlen, jedoch haben sie entgegengesetzte Vorzeichen • Jedes Quark besitzt eine Farbladung und das entsprechende Anti-Quark die zugehörige Anti-Farbladung 	

Anhang: Lehrerhandreichung

- Nachdem die bisherigen Ergebnisse gesammelt wurden, schließt sich folgende Frage an
- **zentrale Frage**
„Wie lassen sich die Elementarteilchen sinnvoll ordnen?“



4.2 Würfel- und Auswertungsphase

Ziel ist es, verschiedene (An-)Ordnungen der Elementarteilchen „durchzuspielen“. Dazu werden die Teilchen (also die SuS) in jedem Spieldurchgang in drei Ecken des Klassenraums aufgeteilt. Die Kriterien, nach denen die Aufteilung stattfindet, werden ausgewürfelt. Jede Augenzahl des Würfels entspricht einer konkreten Aufteilung (siehe dazu auch: „*Hintergrundwissen: Eckenauflteilung*“). Von den gewonnenen Ergebnissen sollen die Ordnungsprinzipien „Ladungsart“ und „Masse“ abgeleitet werden.

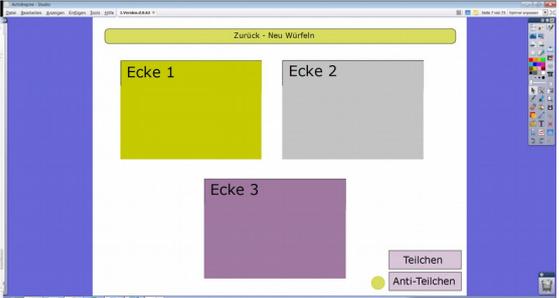
4.2.1 Induktiver Weg

Der induktive Weg erfordert die Verwendung der „Eckenzettel“.

Bei diesem Weg werden die Ergebnisse bei jedem Spieldurchgang auf den Eckenzetteln notiert. Nachdem eine geeignete Anzahl an Eckenzetteln ausgefüllt ist, kann die Auswertungsphase beginnen.

Welche Kombinationen sind geeignet? Siehe dazu „Hintergrundwissen: Eckenzettel“.

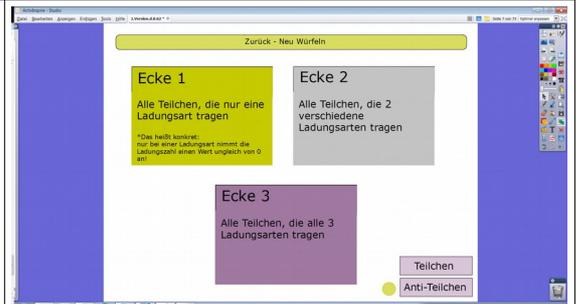
Tip: Um das Auswertungsverfahren kennenzulernen, ist auf der Flipchart ein Tutorial hinterlegt.

Anleitung / Beschreibung / Hilfe / Tipps	Screenshots
<p><u>Würfelphase – induktiv</u> Ausreichend Eckenzettel in 3 Ecken des Klassenraums bereitlegen</p>	
<p>Hauptseite</p> <ul style="list-style-type: none"> • Würfeln (entweder mit analogem Würfel, oder auf „Würfeln“ klicken) • Anschließend auf die gewürfelte Augenzahl klicken • Wenn eine Augenzahl mehrfach gewürfelt wird, kann neu gewürfelt werden 	
<ul style="list-style-type: none"> • Nachdem auf die Augenzahl geklickt wurde, erscheint folgende Seite • Noch sind die Felder verdeckt • Um sie umzudrehen - auf die Felder klicken (→ siehe nächstes Bild) 	

Anhang: Lehrerhandreichung

- Die Kriterien sind sichtbar und die SuS teilen sich in die entsprechenden Ecken auf
- dort füllen die SuS die Eckenzettel aus
- anschließend setzen sie sich wieder

- Dieser Spielablauf wird so oft wiederholt bis eine geeignete Kombination an ausgefüllten Eckenzetteln vorhanden ist (→ vgl. „Hintergrundwissen: Eckenaufteilung“)



Die Eckenzettel werden gesammelt

Auswertungsphase - induktiv

- Zuerst muss die gewünschte (geeignete) Kombination gewählt werden
- *Im Tutorial sollen Augenzahl 5 und 2 ausgewertet werden*
 - *Im Tutorial wird hier die 5 gewählt*



- *Im Tutorial wird anschließend die 2 gewählt*

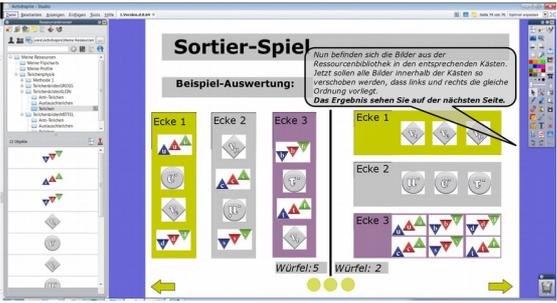
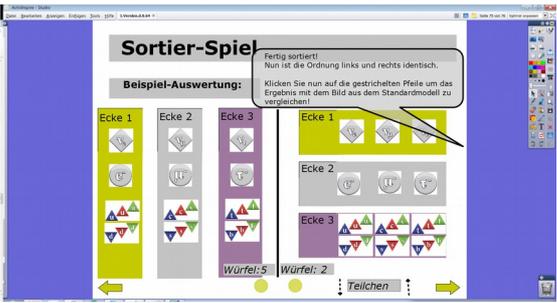
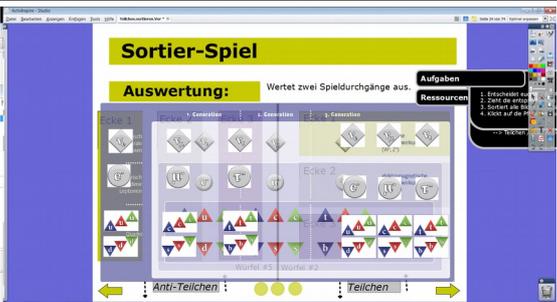
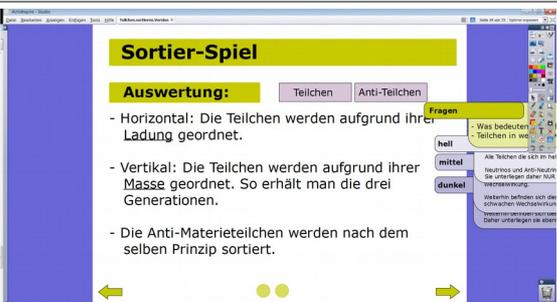


Auswertungs-Seite

- 1.Schritt: Ressourcenbibliothek öffnen
 - Teilchenphysik → Teilchenbilder.KLEIN → Teilchen/Anti-Teilchen
- 2.Schritt: die gewählten Eckenzettel zur Hand nehmen
- 3.Schritt: die angekreuzten Teilchen in die entsprechenden Felder ziehen
 - aus der Ressourcenbibliothek können die Bilder einfach in die Flipchart gezogen werden
- → siehe nächstes Bild

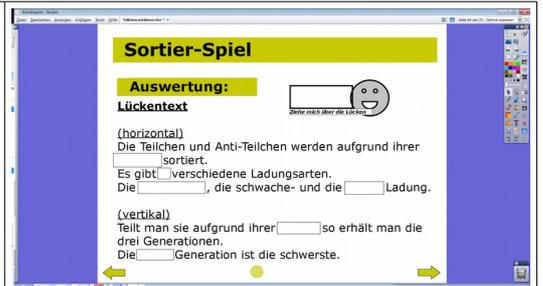


Anhang: Lehrerhandreichung

<ul style="list-style-type: none"> Hier wurden die Teilchensymbole in die Felder gezogen Noch sind sie unsortiert <ul style="list-style-type: none"> auf der linken Seite ist eine andere (An-)Ordnung als auf der rechten Seite <p>Aufgabe: Sortieren</p> <ul style="list-style-type: none"> die Bilder sollen innerhalb ihrer Felder so angeordnet werden, dass die (An-)Ordnung auf der linken und auf der rechten Seite gleich ist. → siehe nächstes Bild 	
<ul style="list-style-type: none"> Nachdem die Teilchensymbole innerhalb ihrer Felder neu sortiert wurden, ist die (An-)Ordnung links und rechts gleich 	
<ul style="list-style-type: none"> Durch Klicken auf die „Hoch“- bzw. „Runter“-Pfeile kann das entsprechende Ordnungsschema der Materie- bzw. Anti-Materieteilchen eingeblendet werden. Dieses Bild entspricht genau der selbst gefundenen (An-)Ordnung! 	
<p>Unter Umständen kann ein Überlagerungsproblem auftreten:</p> <ul style="list-style-type: none"> Problem <ul style="list-style-type: none"> Die eingefügten Teilchensymbole stehen über dem Zielbild. Problemlösung <ul style="list-style-type: none"> Ein Klick auf das graue Feld „Teilchen“ bzw. „Anti-Teilchen“ löst das Problem 	
<p>Zusammenfassung</p> <ul style="list-style-type: none"> hier werden die Erkenntnisse zusammengefasst Das Ordnungsschema der Teilchen / Anti-Teilchen lässt sich einblenden es gibt 4 Schiebekärtchen <ul style="list-style-type: none"> das Erste mit Fragen die anderen 3 beinhalten Erklärungen/Lösungen zu den Fragen 	

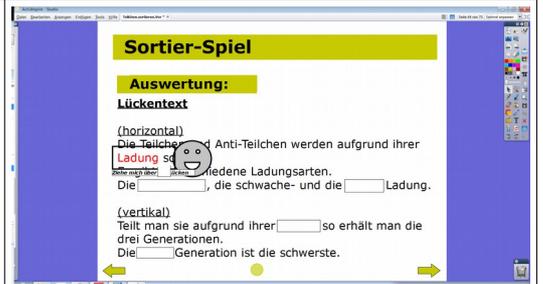
Option Lückentext

- Zur Zusammenfassung steht ein Lückentext zur Verfügung
- die richtigen Lösungen sind mit „magischer Tinte“ geschrieben
- Wird der Smiley über die Lücken gezogen, erscheint die Lösung
→ siehe nächstes Bild



Magische Tinte

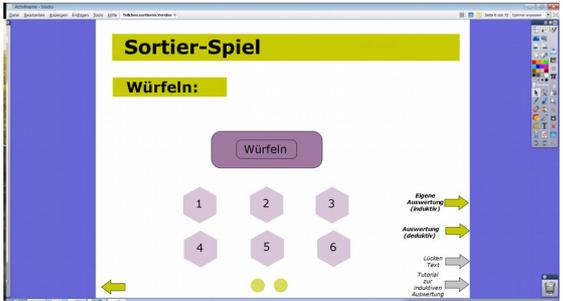
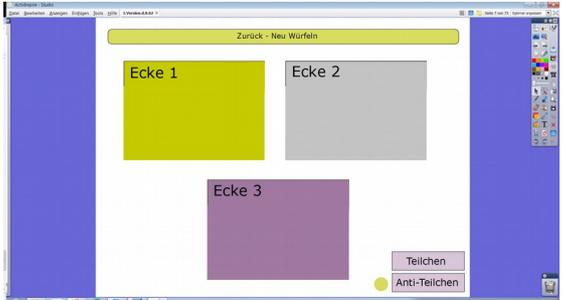
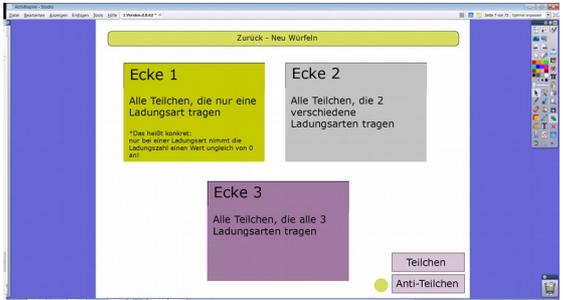
- Wird der Smiley über die Lücken gezogen, erscheint die Lösung



4.2.2 Deduktiver Weg

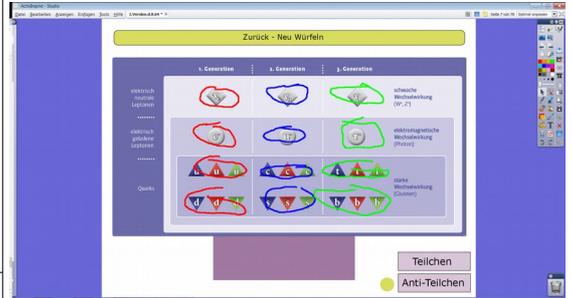
Beim deduktiven Weg wird auf die Sortierung der Teilchensymbole an der interaktiven Tafeln verzichtet. Daher werden die Eckenzettel nicht benötigt.

Die Hinführung zu den Ordnungsprinzipien erfolgt durch direkten Vergleich der Aufteilungen der Schülerinnen und Schüler auf die Ecken des Raumes mit dem Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen.

Anleitung / Beschreibung / Hilfe / Tipps	Screenshots
<u>Würfelphase – deduktiv</u>	
<p>Hauptseite</p> <ul style="list-style-type: none"> • Würfeln (entweder mit analogem Würfel, oder auf „Würfeln“ klicken) • Anschließend auf die gewürfelte Augenzahl klicken • Wenn eine Augenzahl mehrfach gewürfelt wird, kann neu gewürfelt werden 	
<ul style="list-style-type: none"> • Nachdem auf die Augenzahl geklickt wurde, erscheint folgende Seite • Noch sind die Felder verdeckt • Um sie umzudrehen - auf die Felder klicken (→ siehe nächstes Bild) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Die Kriterien sind sichtbar und die SuS teilen sich auf die entsprechenden Ecken auf • je nach Spieldurchgang wird rechts unten auf „Teilchen“ oder „Anti-Teilchen“ geklickt um das entsprechende Ordnungsschema einzublenden 	
Die SuS stehen in den Ecken: kurz Stopp	

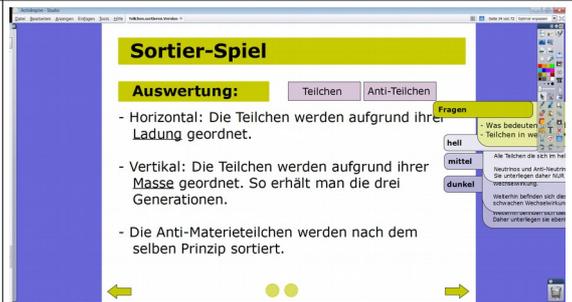
Auswertungsphase - deduktiv

- Die SuS stehen entsprechend der Aufteilungskriterien in den Ecken
 - Nacheinander sagen sie ihre Teilchenbezeichnung
 - Die Lehrkraft markiert mit 3 verschiedenen Farben die Teilchen
 - Beispiel
 - Ecke 1 = Rot
 - Ecke 2 = Blau
 - Ecke 3 = Grün
 - es wird ein Muster sichtbar, aber noch nicht genauer darauf eingegangen
 - SuS setzen sich wieder und es wird erneut gewürfelt
- Dieser Spielvorgang kann je nach Belieben 2 – 4 mal wiederholt werden
- beim letzten Durchgang bleiben die SuS in den Ecken stehen
 - die Lehrkraft erteilt sinngemäß folgende Aufgabe:
 - „**Vergleiche die Eigenschaften eures Teilchens mit den Eigenschaften der anderen Teilchen in eurer Ecke. Welche Eigenschaften habt ihr gemeinsam? In welchen unterscheidet ihr euch?**“
 - die SuS sollen die beiden Ordnungsprinzipien „**Ladungsart**“ und „**Masse**“ erkennen



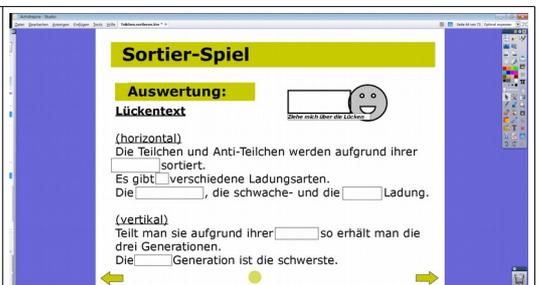
Zusammenfassung

- nachdem die Ordnungsprinzipien erkannt wurden, kann über das Hauptmenü (Würfelseite) auf „Auswertung deduktiv“ geklickt werden
- man gelangt nun zu folgender Zusammenfassungs-Seite
- Die Ordnungsschemata der Materie- und Anti-Materieteilchen lassen sich einblenden und die Fragen auf dem Schiebekärtchen bearbeiten



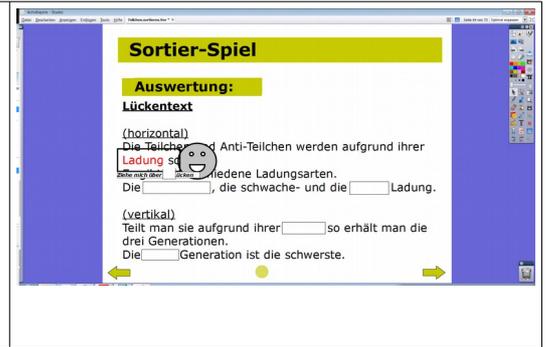
Option Lückentext

- Zur Zusammenfassung steht ein Lückentext zur Verfügung
- die richtigen Lösungen sind mit „magischer Tinte“ geschrieben
- Wird der Smiley über die Lücken gezogen, erscheint die Lösung
→ siehe nächstes Bild



Magische Tinte

- Wird der Smiley über die Lücken gezogen, erscheint die Lösung



4.2.3 Hintergrundwissen: Eckenaufteilung

In diesem Kapitel werden die möglichen Aufteilungen thematisiert.

Würfelaugenzahlen **1,2** und **3** teilen die Elementarteilchen nach ihrer **Ladungart** in die 3 Ecken auf.

Würfelaugenzahlen **4,5** und **6** teilen die Elementarteilchen nach ihrer **Masse** in die 3 Ecken auf.

Hinweis: Hinter allen 6 Augenzahlen verbergen sich verschiedene Aufteilungsprinzipien!

Tabelle: Würfel-Ergebnisse ab Flipchart-Version 0.60

Würfel	Sortierungsart	Ecke 1	Ecke 2	Ecke 3
1	Ladung → beide	Alle Teilchen, die nur eine Ladungsart tragen *Das heißt konkret: nur bei einer Ladungsart nimmt die Ladungszahl einen Wert ungleich von 0 an!	Alle Teilchen, die 2 verschiedene Ladungsarten tragen	Alle Teilchen, die alle 3 Ladungsarten tragen
2	Ladung → nur Materie	Alle Materieteilchen, die keine elektrische Ladung tragen *elektrische Ladung 0 ist äquivalent zu keine elektrische Ladung	Alle Materieteilchen, welche die elektrische und die schwache Ladung tragen	Alle Materieteilchen, welche die elektrische, die schwache und die starke Ladung tragen
3	Ladung → nur Antimaterie	Alle Anti-Materieteilchen, welche die elektrische Ladung mit einer drittelzahligen* Ladungszahl tragen *Bsp: $+\frac{1}{3}$, $-\frac{1}{3}$, $-\frac{2}{3}$, ...	Alle Anti-Materieteilchen, welche die elektrische Ladung mit der Ladungszahl +1 tragen	Alle Anti-Materieteilchen, welche keine starke Ladung, aber die schwache Ladung mit der Ladungszahl $-\frac{1}{2}$ tragen
4	Masse ^ beide	Nur die Teilchen, welche folgende Bedingung erfüllen $0,5 < \text{Masse} < 6 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Elektron-Neutrino und das Anti-Elektron-Neutrino	Nur die Teilchen, welche folgende Bedingung erfüllen: $99 < \text{Masse} < 1400 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Myon-Neutrino und sein passendes Anti-Teilchen	Nur die Teilchen, deren Masse größer als $1600 \text{ MeV}/c^2$ ist sowie das Anti-Tau-Neutrino und sein passendes Anti-Teilchen
5	Masse ^ nur Materie	Nur Materieteilchen für die gilt: $0,5 < \text{Masse} < 6 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Elektron-Neutrino	Nur Materieteilchen, welche eine Masse zwischen $99 \text{ MeV}/c^2$ und $1400 \text{ MeV}/c^2$ besitzen sowie das Myon-Neutrino	Nur Materieteilchen für die gilt: $\text{Masse} > 1600 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Tau-Neutrino
6	Masse ^ nur Antimaterie	Nur Anti-Materieteilchen deren Masse kleiner als $6 \text{ MeV}/c^2$, aber größer als $0,5 \text{ MeV}/c^2$ ist sowie das Anti-Elektron-Neutrino	Nur Anti-Materieteilchen für die gilt: $99 < \text{Masse} < 1400 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Anti-Myon-Neutrino	Nur Anti-Materieteilchen für die gilt: $\text{Masse} > 1600 \text{ MeV}/c^2$ sowie das Anti-Tau-Neutrino

Rahmenbedingungen für eine sinnvolle Auswertung:

- Eine induktive Auswertung ist nur möglich, wenn eine **horizontale** mit einer **senkrechten** Aufteilung **zusammen** ausgewertet wird. Das heißt: Es muss eine Zahl aus der Menge A, sowie eine Zahl aus der Menge B gewürfelt worden sein ($A = \{1,2,3\}$ und $B = \{4,5,6\}$)

Anhang: Lehrerhandreichung

- Da man sich für die Auswertung der Materie oder der Anti-Materieteilchen entscheiden muss, fallen die folgenden Kombinationen weg. [A=2, B=6], sowie [A=3, B=5]

Geeignete Kombinationen zur Auswertung		
(Würfelaugenzahl _i , Würfelaugenzahl _j)		
(1 , 4)	(1 , 5)	(1 , 6)
(2 , 4)	(2 , 5)	-
(3 , 4)	-	(3 , 6)
(4 , 1)	(4 , 2)	(4 , 3)
(5 , 1)	(5 , 2)	-
(6 , 1)	-	(6 , 3)

Teil 2: Ausblick: weiterführende physikalische Informationen

Dieser Teil der Handreichung beinhaltet Fragen physikalischer Natur. Da in der Handreichung nur spezifische Fragen zur Flipchart diskutiert werden, wird auf die ausführliche Ausarbeitung teilchenphysikalischer Aspekte in den *Unterrichtsmaterialien für Schülerinnen und Schüler sowie Begleitmaterial für Lehrkräfte für Astro- / Teilchenphysik* des Netzwerk Teilchenwelt in Kooperation mit der *Joachim-Herz-Stiftung* hingewiesen.

5. Bedeutung der Aussage: „Elektrische Ladung mit Ladungszahl 0“

Auf den Karten der Elementarteilchen-Steckbriefen der Neutrinos findet sich die Angabe: „Elektrische Ladung: 0“. Diese Angabe kann unterschiedlich interpretiert werden:

- a) Das Neutrino besitzt keine elektrische Ladung
- b) Das Neutrino besitzt die elektrische Ladung mit der Ladungszahl 0

Beide Aussagen widersprechen sich.

Die korrekte Aussage ist a). Neutrinos besitzen keine elektrische Ladung, sie unterliegen nicht der elektromagnetischen Wechselwirkung und dies wird durch die 0 (Null) symbolisiert.

Um dies genauer zu erläutern, soll beispielhaft folgende Frage geklärt werden: „Wie groß ist die elektromagnetische Kraft zwischen einem Elektron und einem Elektron-Neutrino?“ Dazu wird die elektromagnetische Kraft zwischen beiden Teilchen mithilfe des Coulombgesetzes berechnet

$$F_{\text{Coulomb}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}.$$

Mit der elektrischen Ladungszahl des Elektrons $Q_1 = e$ und des Elektron-Neutrinos $Q_2 = 0$ er-

$$\text{gibt sich: } F_{\text{Coulomb}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e \cdot 0}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot 0 = \mathbf{0}.$$

Das bedeutet, es wirkt keine elektromagnetische Kraft, die Neutrinos unterliegen nicht der elektromagnetischen Wechselwirkung. Somit lässt sich die 0 (Null) als Angabe auf den Karten der Elementarteilchen-Steckbriefe erklären.

ELEKTRON-NEUTRINO	
NACHWEIS: 1956	
	
MATERIETEILCHEN	
Masse:	< 0,000 002 MeV/c ²
Elektrische Ladung:	0
Starke Ladung:	-
Schwache Ladung:	+1/2
Mittlere Lebensdauer:	undefiniert

6. „Warum ist die horizontale Anordnung der Teilchen im Ordnungsschema der Materieteilchen im Vergleich zu dem der Anti-Materieteilchen umgekehrt?“

Möglicherweise wird den Schülerinnen und Schülern die Umkehrung der horizontalen Anordnung der Teilchen im Ordnungsschema der Materieteilchen im Vergleich zu dem der Anti-Materieteilchen auffallen (vgl. Abb. 1 und 2). Dieses Kapitel geht aus physikalischer Sicht auf diese „umgekehrte“ (An-)Ordnung ein.

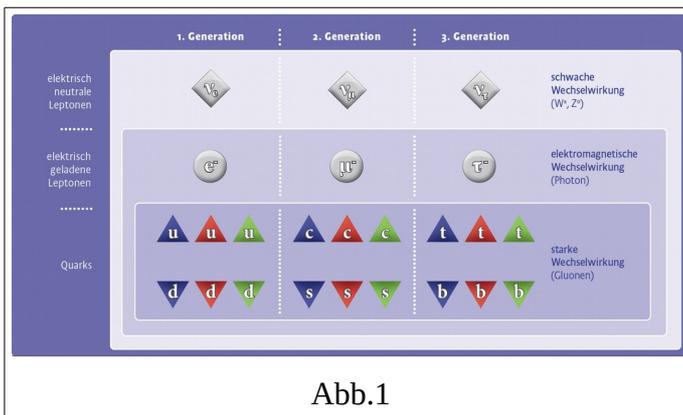


Abb.1

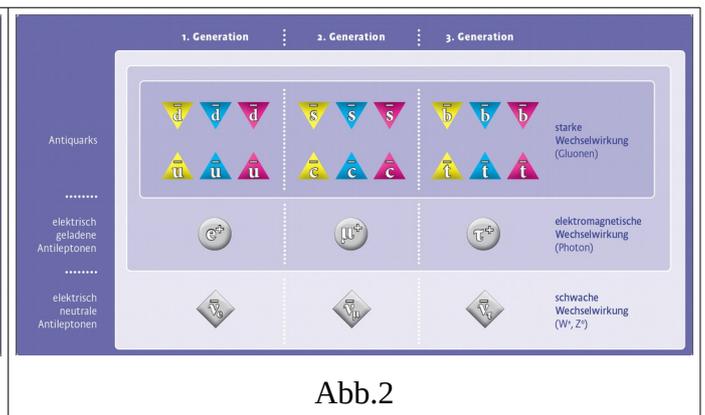


Abb.2

Das Standardmodell der Teilchenphysik geht von drei Ladungsarten aus, die elektrische, die starke sowie die schwache Ladung.

Die Ausgangsfrage lässt sich durch die Betrachtung der schwachen Ladung erklären. Alle in Abb.1 und 2 dargestellten Elementarteilchen besitzen eine schwache Ladung mit der Ladungszahl

$$I^{(3)} = +\frac{1}{2} \quad \text{oder} \quad I^{(3)} = -\frac{1}{2}. \quad \text{Aufgrund dieser Tatsache lassen sich die Teilchen in sogenannten „Dubletts“ anordnen. Das bedeutet, es wird jeweils ein Teilchen mit der schwachen Ladungszahl } +1/2 \text{ und ein Teilchen mit der schwachen Ladungszahl } -1/2 \text{ zusammengefasst. In einem Dublett steht das Teilchen mit positiver schwacher Ladungszahl immer oben. (siehe folgende Tabelle).}$$

Anhang: Lehrerhandreichung

Tabelle: Ausgewählte Dubletts bezüglich der schwachen Ladung

#	Dublett	Teilchen	Schwache Ladungszahl	Elektrische Ladungszahl
1	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$	Elektron-Neutrino	$I^{(3)} = +\frac{1}{2}$	$q = 0$
		Elektron	$I^{(3)} = -\frac{1}{2}$	$q = -1$
2	$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	Up-Quark	$I^{(3)} = +\frac{1}{2}$	$q = +\frac{2}{3}$
		Down-Quark	$I^{(3)} = -\frac{1}{2}$	$q = -\frac{1}{3}$
3	$\begin{pmatrix} \bar{d} \\ \bar{u} \end{pmatrix}$	Anti-Down-Quark	$I^{(3)} = +\frac{1}{2}$	$q = +\frac{1}{3}$
		Anti-Up-Quark	$I^{(3)} = -\frac{1}{2}$	$q = -\frac{2}{3}$
4	$\begin{pmatrix} \mu^+ \\ \bar{\nu}_\mu \end{pmatrix}$	Anti-Myon	$I^{(3)} = +\frac{1}{2}$	$q = +1$
		Anti-Myon-Neutrino	$I^{(3)} = -\frac{1}{2}$	$q = 0$

Anhang: Lehrerhandreichung

B. Bildnachweise, Literatur- und Quellenverzeichnis

Bildnachweise

- **Abbildungen 01, 02, 04, 05** vom Netzwerk Teilchenwelt
- **Abbildungen 06 - 32** sind Screenshots, erstellt vom Autor Felix Lehmann
- **Abbildung 03** Feynman-Diagramm zur Elektron-Elektron Streuung
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/Feynmandiagramm.png> , letzter Zugriff 19.06.2015, GNU Free Documentation License
- **Abbildung 33** Feynman-Diagramm zur Beta-Umwandlung
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/Beta_decay_artistic.svg?uselang=fr%3Fuselang%3Dfr , letzter Zugriff 21.06.2015 GNU Free Documentation License
- Verwendete **Teilchensymbole** in **Tabelle 1**, **Tabelle 2** und **Tabelle 3** für die Reaktionsgleichungen zur Beta-Umwandlung vom Netzwerk Teilchenwelt

Literatur

- ELLWANGER, Ulrich: *Vom Universum zu den Elementarteilchen. Eine erste Einführung in die Kosmologie und die fundamentalen Wechselwirkungen*. Heidelberg. Springer Verlag. 2014
- GOETHE, Johann Wolfgang von. *Faust. Der Tragödie erster Teil*. Husum. Hamburger Lesehefte Verlag. 29. Heft
- Handreichung zur Leistungsermittlung und Leistungsbewertung, Sächsisches Staatsministerium für Kultus, November 2007
- KIRCHER, Ernst et al.: *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. Berlin Heidelberg. Springer-Verlag. 2007
- HOPF, Martin et al.: *Physikdidaktik. Kompakt*. Aulis Verlag. 2011
- KMK, 2005, S. 10, „Kommunikation“
- KOBEL, Michael: *Projektübersicht „Netzwerk Teilchenwelt“*. Dresden. 2009

Bildnachweise, Literatur- und Quellenverzeichnis

- KUHN, Wilfried: *Ideengeschichte der Physik. Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext*. Braunschweig/Wiesbaden. Vieweg Verlag. 2001
- Netzwerk Teilchenwelt. Broschüre: *Materialsammlung. Kontextmaterial für Lehrkräfte*. Dresden. 2013
- OBST, David. *Interaktive Tafeln im Physikunterricht. Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung*, 2013
- POSPIECH, Gesche. Foliensammlung der Vorlesung: *Didaktik und Methodik*. 2010
- POVH, Bogdan et al.: *Teilchen und Kerne. Eine Einführung in die physikalischen Konzepte*. Heidelberg. Springer Verlag. 2014
- SMITH, Heather J. et al.: *Interactive whiteboards: boon or bandwagon? A critical review of the literature*. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2005
- VAAS, Rüdiger: *Vom Gottesteilchen zur Weltformel: Urknall, Higgs, Antimaterie und die rätselhafte Schattenwelt*. Stuttgart. Franckh-Kosmos Verlag. 2013
- WENZEL, René: *Nutzung des Interaktiven Whiteboards im Physikunterricht*, 2011

Links

mit letztem Zugriff

- <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> , letzter Zugriff 18.06.2015
- <http://eu.hitachi-solutions.com/de/> , letzter Zugriff 24.06.2015
- <http://home.web.cern.ch/> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://open-sankore.org/en> , letzter Zugriff 10.06.2015
- <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/experimente/braunsche-roehre.pdf> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/experimente/elektronenbeugungsroehre.pdf> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://project-physicsteaching.web.cern.ch/project-physicsteaching/german/experimente/fadenstrahlroehre.pdf> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://saharapl.com/> , letzter Zugriff 24.06.2015
- <http://smarttech.com/de/Solutions/Education+Solutions/Products+for+education/Interactive+whiteboards+and+displays/SMART+Board+interactive+whiteboards> , letzter Zugriff

Bildnachweise, Literatur- und Quellenverzeichnis

10.06.2015

- <https://www6.slac.stanford.edu/> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://www.desy.de/> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://www.duden.de/rechtschreibung/interaktiv> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://www.fnal.gov/> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://www.interactivewhiteboards.com/www/> , letzter Zugriff 24.06.2015
- <http://www.joachim-herz-stiftung.de/de/> , letzter Zugriff 16.06.2015
- <http://www.leifiphysik.de/>, letzter Zugriff 10.06.2015
- <http://www.ld-didactic.de/service/softwaredownload/cassy-s.html> , letzter Zugriff 10.06.2015
- <http://www.mcr-gmbh.com/> , letzter Zugriff 24.06.2015
- <http://www.mimio.com/de-EM/Products/MimioTeach-Interactive-Whiteboard.aspx> , letzter Zugriff 24.06.2015
- <http://www.ore.org.pt/filesobservatorio/pdf/SMITH.pdf> , letzter Zugriff 10.06.2015
- <http://www.physicsmasterclasses.org/> , letzter Zugriff 15.06.2015
- <http://www.prometheanworld.com/de/german/education/home/> , letzter Zugriff 10.06.2015
- <http://www.prometheanworld.com/de/german/education/products/classroom-software/activinspire/> , letzter Zugriff 10.06.2015
- http://www.schule.sachsen.de/lpdb/web/downloads/hr_leistungsermittlung_schule_zur_lernfoerderung_2007.pdf?v2 , letzter Zugriff 17.06.2015
- <http://www.teamboard.com/> , letzter Zugriff 24.06.2015
- <http://www.teilchenwelt.de/> , letzter Zugriff 21.06.2015
- <http://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/> , letzter Zugriff 21.06.2015
- http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Service/netzwerk_teilchenwelt_projektuebersicht.pdf , letzter Zugriff 20.06.2015
- <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/elementarteilchen-steckbriefe/> , letzter Zugriff 15.06.2015
- <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/selbstbau-einer-nebelkammer/> , letzter Zugriff 11.06.2015
- <http://www.touchboards.com/polyvision/> , letzter Zugriff 10.06.2015

C. Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Felix Lehmann, die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln angefertigt zu haben sowie alle Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, durch die Angabe der Quellen als Entlehnung kenntlich gemacht zu haben.

Dresden, 06. Juli 2015

Felix Lehmann