



teachers + scientists

Für Wissenschaft begeistern



Kooperation Bielefeld

Ein Quark kommt niemals allein –
Ein integrierender Ansatz zur
Elementarteilchenphysik in der Schule



TEACHERS + SCIENTISTS: FÜR WISSENSCHAFT BEGEISTERN

Materialien und Konzepte für den MINT-Unterricht

28. Februar – 1. März 2013

Brainstorming zur Projektidee
Berlin

13. – 14. Juni 2014

1. überregionales Projekttreffen
Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin

23. – 24. Januar 2015

2. überregionales Projekttreffen
Universität Bielefeld

25. – 26. September 2015

3. überregionales Projekttreffen
Universitätsklinikum der RWTH Aachen

22. – 23. April 2016

4. überregionales Projekttreffen
Hochschule Osnabrück

5. Mai 2017

Abschlusspräsentation
Berlin

2017 – 2018

Lehrerfortbildungen und Teilnahme an Tagungen zur
Verbreitung der Ergebnisse

über die Jahre

individuelle Treffen und Projektpräsentationen der
regionalen Kooperationen

Als im Sommer 2014 das Pilotprojekt Teachers + Scientists startete, war dies für alle beteiligten Lehrkräfte und Forschenden der Beginn einer neuen Art der Zusammenarbeit – so etwas gab es bisher noch nicht!

Auch wenn bereits einzelne Kontakte bestanden, hatten sich diese bislang auf die Förderung der Schülerinnen und Schüler konzentriert. Nun sollten erstmals Lehrkräfte vom intensiven dreijährigen Austausch mit Forschenden und von Einblicken in deren aktuelle Forschung profitieren.

Mit dem Ziel, die Gelingensfaktoren und Herausforderungen solcher Kooperationen in einem Leitfaden und die Ergebnisse der gemeinsamen Zusammenarbeit in Form von Unterrichtskonzepten zu veröffentlichen, nahmen die fünf regionalen Kooperationen in Aachen, Berlin, Bielefeld, Heidelberg und Osnabrück ihre Arbeit auf.

Was den Prozess auszeichnete, war die individuelle Umsetzung: von der theoretischen Ausarbeitung über mehrtägige Laborpraktika bis zum Langzeitexperiment. Die Resultate sind demzufolge unterschiedlich aufbereitet und spiegeln die verschiedenen regionalen Kooperationsformen wider.

Die nachfolgenden Materialien sollen Ihnen nun Anregungen für den eigenen Unterricht geben und Sie ermutigen, den Kontakt zu Forschenden zu suchen. Dadurch lassen sich aktuelle wissenschaftliche Inhalte in der Schule aufgreifen, die wiederum Schülerinnen und Schüler für das Forschen begeistern!

Sollten Sie Fragen haben, melden Sie sich über info@science-on-stage.de bei Science on Stage Deutschland e. V. Wir stellen gerne den direkten Kontakt zu den teilnehmenden Forschenden und Lehrkräften her. Die jeweiligen Kontaktdaten finden Sie auch am Ende jeder Einheit.

Viel Freude und Inspiration für Ihre eigene Arbeit wünschen Ihnen Science on Stage Deutschland e. V. und die Stiftung Jugend forscht e. V.!

Teachers + Scientists: Auf einen Blick

10

Schulen

Einhard-Gymnasium Aachen, Andreas-Gymnasium Berlin, Robert-Havemann-Gymnasium Berlin, Georg-Büchner-Gymnasium Berlin, OSZ Gesundheit I Berlin, Ursulaschule Osnabrück, Widukind-Gymnasium Enger, Gymnasium Heepen, Gesamtschule Hüllhorst, HBLA Ursprung/Österreich

6

Hochschulen/Forschungseinrichtungen

Universität Bielefeld, Hochschule Bielefeld, Hochschule Osnabrück, Deutsches Krebsforschungszentrum Heidelberg, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin Berlin, Universitätsklinikum der RWTH Aachen

7

regionale Kooperationen

1× Aachen, 1× Berlin, 3× Bielefeld, 1× Heidelberg, 1× Osnabrück

14

Lehrkräfte

4

Bundesländer

Baden-Württemberg, Berlin, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen

5

Städte

Aachen, Berlin, Bielefeld, Heidelberg, Osnabrück

12

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler

Projekthalt und Gewinn (2014–2017)

- Förderung langfristiger Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden
- Lehrkräfte stehen im Mittelpunkt, sind an aktueller Forschung beteiligt und können somit Inhalte für ihren Unterricht ableiten
- Ziel: Förderung der Unterrichtsqualität, damit sich mehr junge Menschen für MINT-Fächer begeistern

Verbreitung

- Bundesweite Lehrerfortbildungen
- Präsentationen auf Fachkonferenzen
- Fortsetzung der Kooperationen nach Projektende

Ergebnisse

- Leitfaden zum Aufbau von Kooperationen zwischen Lehrkräften und Forschenden
- Unterrichtsmaterial zu den Themen: Humangenetik, Krebsforschung, Experimentelle Ökologie und Ökosystembiologie, Elementarteilchenphysik, Epidemiologische Studien, Objektorientierte Programmierung, Mechanik und Sensorik



Kooperation Bielefeld



STECKBRIEF

→ Schulen:

Gymnasium Heepen, Gesamtschule Hüllhorst, Widukind-Gymnasium Enger



→ Lehrkräfte:

Kirsten Biedermann, Thomas Sawatzky, Melanie Wittland

→ Forschungseinrichtungen:

Lehrstuhl für Experimentelle Ökologie & Ökosystembiologie, Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld; AG Astroteilchen und Kosmologie, Fakultät für Physik, Universität Bielefeld; Fachhochschule Bielefeld



→ Forschende:

Josef Avenwedde, Prof. Dr. Dominik Schwarz, Dr. Tom Steinlein

→ Themen:

Mykorrhiza, Elementarteilchenphysik, physikalische Aspekte einer Waschmaschine

→ Involvierte Unterrichtsfächer:

Biologie, Mathematik, Physik, Technik

INTERVIEW

→ Teachers + Scientists ist für uns ...

... inspirierend und motivierend für den eigenen Unterricht.

... herausfordernd, hochkomplexe wissenschaftliche Themen schülerverständlich aufzubereiten.

... gemeinsam als Team aus Forschenden und Lehrkräften schülerrelevante Themen zu bearbeiten.

→ Wir machen bei Teachers + Scientists mit, weil ...

... es eine willkommene Abwechslung und Bereicherung zum Berufsalltag ist und wir neue Impulse für die eigene Arbeit bekommen.

→ Was nehmen Sie aus der Zusammenarbeit mit?

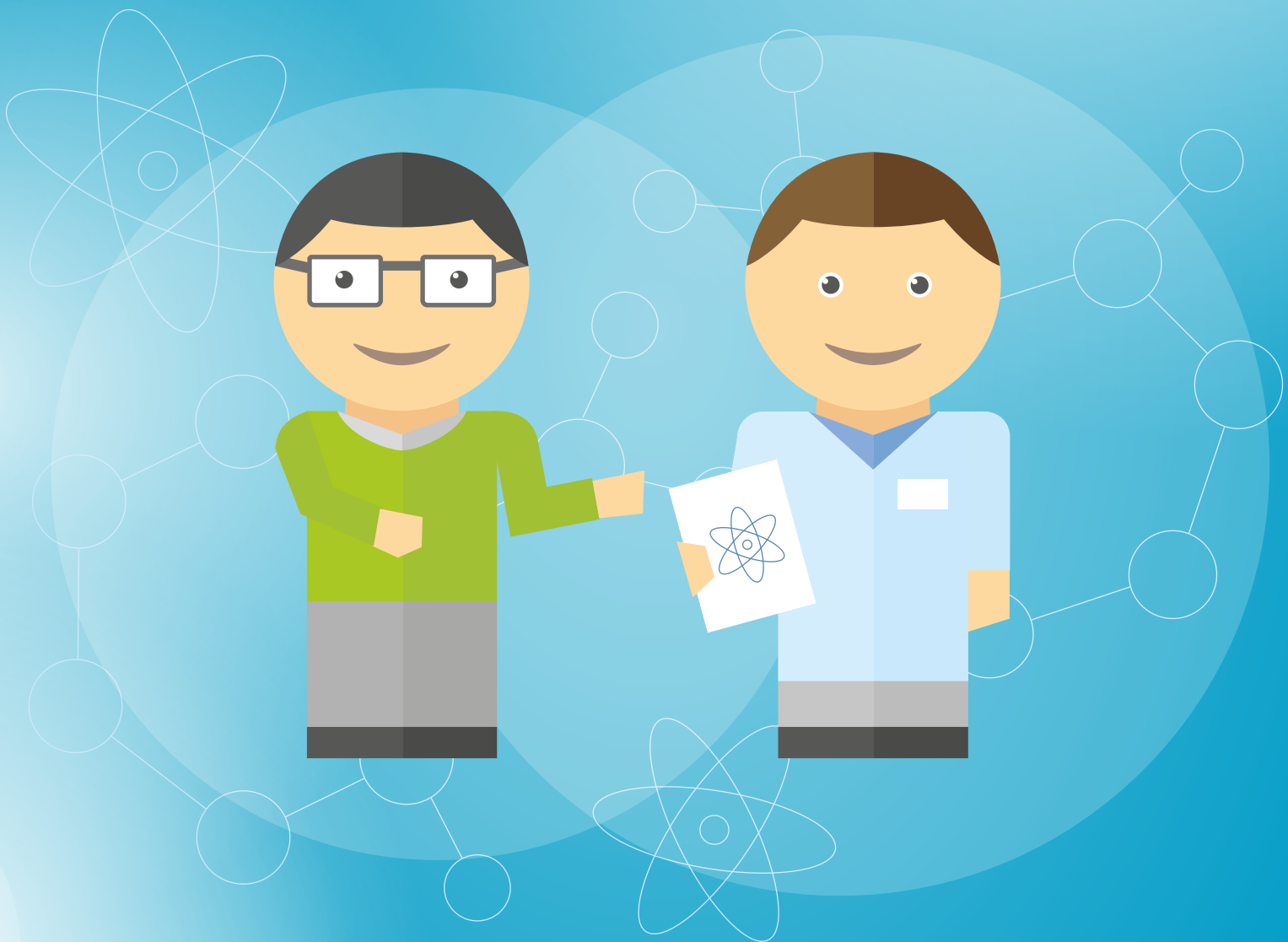
Ein fachliches Update jenseits von Lehrerfortbildung und Literaturstudium in tollem Rahmen (gilt sowohl für die Lehrkräfte als auch die Forschenden).

→ Planen Sie eine Fortsetzung der Kooperation nach Projektende? Wenn ja, was haben Sie konkret vor?

Die Erfahrungen haben uns ermutigt, weiter nach solchen Kooperationen zu suchen.

Ein Quark kommt niemals allein – Ein integrierender Ansatz zur Elementarteilchenphysik in der Schule

Thomas Sawatzky · Prof. Dr. Dominik Schwarz



 **SCHLAGWÖRTER:** Kernphysik, Standardmodell, Quarks, Austausch-
teilchen, Wechselwirkungen, ATLAS

 **UNTERRICHTSFACH:** Physik

 **ALTERSGRUPPE DER SCHÜLERINNEN UND SCHÜLER:**
17–19 Jahre

 **VERWENDETE MATERIALIEN:** Schulbücher, Onlineportale^[1]

1 | Informationsmaterial für Lehrkräfte

Einige Lehrpläne der Bundesländer sehen Aspekte der Elementarteilchenphysik für die Oberstufe vor. Folgende Kompetenzen werden darin u. a. aufgeführt:

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern mithilfe des aktuellen Standardmodells den Aufbau der Kernbausteine und erklären mit ihm Phänomene der Kernphysik,
- erklären an einfachen Beispielen Teilchenumwandlungen im Standardmodell,
- vergleichen in Grundprinzipien das Modell des Photons als Austauschteilchen für die elektromagnetische Wechselwirkung exemplarisch für fundamentale Wechselwirkungen mit dem Modell des Feldes,
- recherchieren in Fachzeitschriften, Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen von Forschungseinrichtungen zu ausgewählten aktuellen Entwicklungen in der Elementarteilchenphysik,
- bewerten an ausgewählten Beispielen Rollen und Beiträge von Physikerinnen und Physikern zu Erkenntnissen in der Kern- und Elementarteilchenphysik.

In vielen Veröffentlichungen und Schulbüchern werden die aufgeführten Aspekte als eigenständiges Thema behandelt. Mit dem vorliegenden Material ist eine Alternative erarbeitet worden, die sie in den bekannten Unterrichtsgang, der die Kernphysik mit dem Schwerpunkt der Radioaktivität behandelt, integriert. Im Folgenden soll dies vorgestellt werden, wobei nicht auf konkrete Unterrichtsstunden eingegangen wird. Diese können mit dem

reichlich vorhandenen Material aus den bekannten Schulbüchern oder von Onlinesammlungen entsprechend geplant werden. Ziel dieser Kooperation war nicht primär die Erstellung neuer Materialien, sondern eine andere didaktische Gewichtung der vorhandenen. Dafür wurden hochkomplexe Erkenntnisse, die der Wissenschaftler durch Forschung erhalten hat, so von der Lehrkraft reduziert, dass sie für Schülerinnen und Schüler nachvollziehbar sind. Der Forschende prüfte, ob diese Reduzierung immer noch wissenschaftlichen Ansprüchen genügt.

Im Ergebnis wird die Elementarteilchenphysik nicht isoliert behandelt, sondern im Kontext der Atom- und Kernphysik als natürliche Weiterentwicklung dargestellt. Dazu wird das Standardmodell nach und nach eingeführt. Ein Schwerpunkt liegt im Sinne einer didaktischen Reduktion auf dem exemplarischen Verständnis des prinzipiellen Aufbaus, daher wird die sogenannte erste Familie ausführlich erarbeitet. Dies ist auch deshalb sinnvoll, weil die stabile Materie unseres Alltags aus drei dieser vier Elementarteilchen besteht (die Neutrinos spielen nur beim radioaktiven Zerfall eine Rolle).

Den Schülerinnen und Schülern wird hierzu zu Beginn der Reihe eine leere Tabelle (Abb. 1) zur Verfügung gestellt, die sukzessive ergänzt wird. Zum Teil im historischen Kontext, zum Teil aber auch fachsystematisch werden Experimente erarbeitet, mit denen die Elementarteilchen des Standardmodells nachgewiesen wurden. Besonders interessant ist dabei, dass die notwendige Existenz einiger Teilchen erst postuliert bzw. theoretisch vorhergesagt wurde und diese dann später experimentell nachgewiesen wurden.

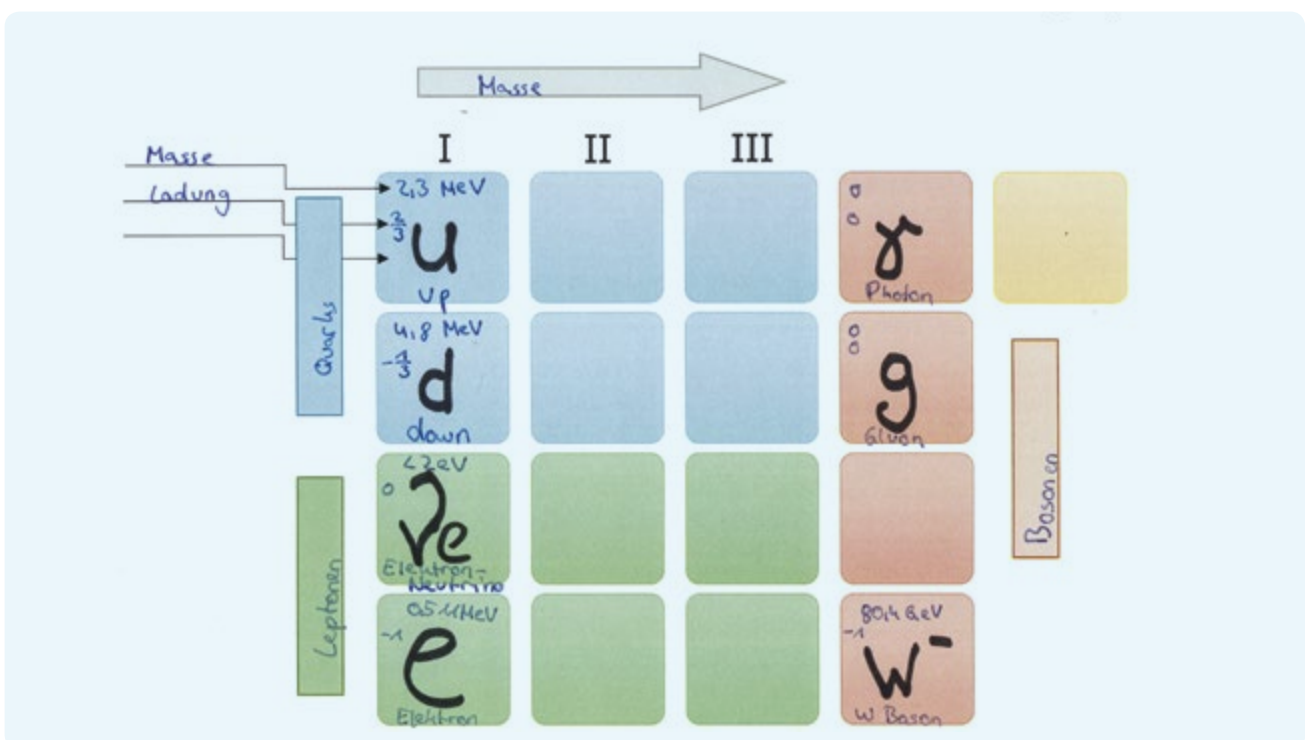


ABB. 1 Tabelle zum Standardmodell der Elementarteilchenphysik

Der Atomkern – Im Inneren des Atoms

Im Anschluss an die „Physik der Atomhülle“ untersuchen wir den Kern. Dazu werden Rutherfords Streuexperimente thematisiert, u. a. weil sich die Methode, zu untersuchende Objekte mit Strahlung und/oder Teilchen – also Quanten – zu beschließen, später wiederfindet. Rutherford wies durch Beschuss einer dünnen Goldfolie mit Alpha-Teilchen (schnellen Helium-Kernen) nach, dass das Atom einen verhältnismäßig kleinen positiven Kern besitzt. Es bietet sich hier als Wiederholung aus dem Chemie- und Physikunterricht der Sekundarstufe I an, den Aufbau des Kerns aus Protonen und Neutronen und den Begriff des Isotops zu klären. Die Einführung der Nuklid-Karte ist dann folgerichtig, weil sie den Begriff des Isotops durch verschiedene Neutronenzahlen veranschaulicht, und für die weiteren Überlegungen sinnvoll, weil sie die Behandlung der Zerfallsketten vereinfacht und wichtige Informationen wie Halbwertszeiten enthält. Berechnet man die Masse eines Isotops aus den Einzelmassen der beteiligten Protonen und Neutronen und vergleicht diese mit den tatsächlichen Werten, die man z. B. in Tafelwerken oder Internetquellen findet, erkennt man den sog. Massendefekt. Mit der Formel $\Delta E = \Delta mc^2$ werden die Bindungsenergie und der Massendefekt bestimmt. Des Weiteren kann hier oder später die Besonderheit, in der Elementarteilchenphysik die Massen in Vielfachen von eV/c^2 anzugeben, thematisiert werden.

Quarks und Co.

Anschließend werden die Bestandteile des Kerns genauer untersucht, indem dieser mit Elektronen beschossen wird. Dazu wird die nötige Energie der Elektronen über die de-Broglie-Wellenlänge bestimmt. Es ergibt sich daraus die Existenz der Quarks, aus denen Hadronen zusammengesetzt werden können, was die Schülerinnen und Schüler anhand eines Arbeitsblatts^[2] für die Protonen und Neutronen (aus drei Quarks zusammengesetzte Baryonen) nachvollziehen können. Als Beispiel für ein Meson dient das Pion. Da es aus einem Quark-Antiquark-Paar besteht, können die Antiteilchen z. B. als Teilchen mit entgegengesetzter Ladung didaktisch reduziert und ihre Plätze im Standardmodell angedeutet werden.

Die ersten Stellen des Standardmodells sind nun mit den Quarks und dem schon seit dem Millikan-Versuch als Elementarteilchen bekannten Elektron gefüllt. Es bietet sich auch an, den sogenannten Teilchen-Zoo zu thematisieren. Zwischenzeitlich wurden hunderte teils kurzlebige Teilchen entdeckt, sodass man sie kaum alle als Elementarteilchen bezeichnen konnte. Als neue Systematik bietet sich daher das Standardmodell an.

Was hält den Kern zusammen?

Zur Beantwortung der Frage „Was hält den Kern zusammen?“ wird hier der einfachste Kern, ein Proton, betrachtet. Vor dem Gluon wird aber das Photon als Austauschteilchen der elektromagnetischen Wechselwirkung eingeführt, da diese den Schülerinnen und Schülern bekannt ist und bisher mit dem Feldmodell erklärt wurde. Es wird dadurch deutlicher, dass es

sich bei dem Modell der Austauschteilchen um einen anderen Erklärungsansatz handelt, als wenn eine bisher nicht behandelte Kraft (die starke Wechselwirkung) gleichzeitig mit einem neuen Modell erklärt wird.

Das sogenannte Boot-Modell veranschaulicht dieses Modell. Zwei Personen sitzen in jeweils einem Boot und werfen sich einen Ball zu. Dadurch bewegen sie sich auseinander. An diesem einfachen Beispiel werden zudem die Feynman-Diagramme eingeführt, die später beim Beta-Zerfall vertieft werden.

Das Gluon wird als Austauschteilchen der starken Wechselwirkung behandelt. Sie verhindert, dass freie Quarks entstehen, und bindet sie aneinander. Versucht man zwei Quarks zu trennen, entstehen neue Teilchen und es bilden sich Quark-Antiquark-Paare (confinement). Die ähnlich aufgebauten Pionen könnten hier als Austauschteilchen der Kernkraft, die als sekundäre Kraft der starken Wechselwirkung gesehen werden kann, behandelt werden.

... und was lässt den Kern zerfallen?

Der Alpha-Zerfall

Diese Inhalte folgen dem bekannten Unterrichtsgang. Die Nachweismethoden der radioaktiven Strahlung werden erarbeitet, wobei die spätere Analogie zum ATLAS-Detektor beachtet werden sollte. Beim Alpha-Zerfall sollte das Energiediagramm mit der charakteristischen Spitze besondere Aufmerksamkeit bekommen. Zum einen kann der Energiewert aus dem bekannten Massendefekt (siehe „Der Atomkern – Im Inneren des Atoms“) berechnet werden, zum anderen besitzt die sich nun anschließende Beta-Strahlung ein kontinuierliches Spektrum, das sich ohne Weiteres nicht erklären lässt.

... und was lässt den Kern zerfallen?

Der Beta-Zerfall

Aus der Sekundarstufe I ist den Schülerinnen und Schülern bekannt, dass beim Beta-Zerfall ein Neutron in ein Proton und ein Elektron zerfällt. Mit der Existenz der Quarks ergibt sich die Umwandlung eines down- in ein up-Quark. Problematisiert man nun das kontinuierliche Energiespektrum der entstandenen Beta-Strahlung (indem man es mit dem des Alpha-Zerfalls vergleicht), führt dies zur Existenz eines weiteren Teilchens, das neben dem Elektron Energie mitnimmt. Wolfgang Ernst Pauli postulierte 1930 ein Teilchen mit diesen Eigenschaften, den Namen Neutrino (eigentlich Anti-Neutrino) prägte Enrico Fermi. Außerdem bietet es sich hier an, die Rolle Paulis ein wenig näher zu betrachten und seine Leistung zu bewerten. Paulis Brief an die „Gruppe der Radioaktiven“^[3] zeigt dabei seine eigene Vorsicht, ein Teilchen theoretisch zu postulieren, ohne bekannte Möglichkeit es nachzuweisen.

Das beteiligte Austauschteilchen der schwachen Wechselwirkung wird als W/Z-Boson eingeführt und ebenfalls in das Standardmodell eingetragen. Hier kann das Feynman-Diagramm erneut eingesetzt werden, um die Entstehung des sehr kurz-

	Masse →				
	I	II	III		
Quarks	2.3 MeV u up	1.275 GeV c charm	173.107 GeV t top	0 γ Photon	125 GeV H Higgs Boson
	4.8 MeV d down	95 MeV s strange	4.18 GeV b bottom	0 g Gluon	
Leptonen	0.511 MeV e Elektron	1.057 MeV μ Myon	1.777 GeV τ Tau	0 Z Z Boson	
	0.22 eV ν _e Elektron-Neutrino	0.113 MeV ν _μ Myon-Neutrino	1.676 MeV ν _τ Tau-Neutrino	80.4 GeV W [±] W Boson	

ABB. 2 Fertiggestellte Tabelle zum Standardmodell der Elementarteilchenphysik

lebigen W/Z-Bosons aus der Quark-Umwandlung und dessen anschließenden Zerfall in ein Elektron zu visualisieren.

Gamma-Strahlung und Wirkung ionisierender Strahlung

Die Gamma-Strahlung (Entstehung, Abschirmung, usw.) kann wieder herkömmlich behandelt werden. Ebenso die biologisch-medizinischen Wirkungen der ionisierenden Strahlung. Darauf soll an dieser Stelle jedoch nicht näher eingegangen werden.

Das Standardmodell wird gefüllt

Als Abschluss wird das Standardmodell als Ganzes betrachtet (siehe Abb. 2). Einige Elementarteilchen wie das Myon wurden bereits in der Höhenstrahlung gefunden. Die verschiedenen Teilchengenerationen werden u.a. mit dem Hinweis ergänzt, dass ähnliche Vorgehensweisen zur Entdeckung dieser Teilchen geführt haben und, dass weitere Teilchen entdeckt wurden, deren Masse und Ladung nicht alleine mit u- und d-Quarks erklärt werden konnten. Da das Prinzip des Standardmodells, alle natürlichen oder in Beschleunigerexperimenten erzeugten Teilchen als Kombinationen verschiedener Bausteine zu erklären, deutlich sein sollte, handelt es sich im Weiteren um das Vermitteln von Faktenwissen. Dies kann von den Schülerinnen und Schülern z. T. auch in Vorträgen oder Plakaten vorgestellt werden. Das Netzwerk Teilchenwelt^[4] bietet hierzu sehr gute Materialien an (z. B. eine an Star Wars angelehnte Simulation und Spielkarten zu den Elementarteilchen), mit denen auch ein Überblick über den Large Hadron Collider (LHC) und den ATLAS-Detektor erarbeitet werden kann.

Weiterhin gibt es die Möglichkeit, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Netzwerkes zu Masterclasses einzuladen.^[5] Hierbei werden Originalmesswerte des CERNs mit einem Computer-

programm ausgewertet, sodass die Schülerinnen und Schüler die Existenz bestimmter Elementarteilchen nachweisen.

2 | Arbeitsmaterial für Schülerinnen und Schüler

Die Arbeitsmaterialien stehen als Download zur Verfügung^[2].

3 | Fazit und Ausblick

In den online verfügbaren Zusatzmaterialien findet sich eine Stichpunkt-Übersicht der Reihe. Diese gibt den Aufbau und wesentliche didaktische Überlegungen an und kann als Grundlage für eine individuelle Unterrichtsgestaltung mit den angesprochenen Materialien genutzt werden.

Als nächster Schritt ist geplant, die Reihe als Lehrerfortbildung vorzustellen. Dabei wird zuerst ein theoretischer Impulsvortrag vom Wissenschaftler gehalten, auf den sich dann der praxisorientierte Beitrag der Lehrkraft bezieht.

Quellen und hilfreiche Links

^[1] www.teilchenwelt.de, www.teilchenphysik.de,

<http://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/teilchenphysik>

^[2] Alle Zusatzmaterialien finden Sie unter www.science-on-stage.de/teachers-scientists_materialien.

^[3] http://cds.cern.ch/record/83282/files/meitner_0393.pdf (abgerufen am 09.01.2017)

^[4] www.teilchenwelt.de

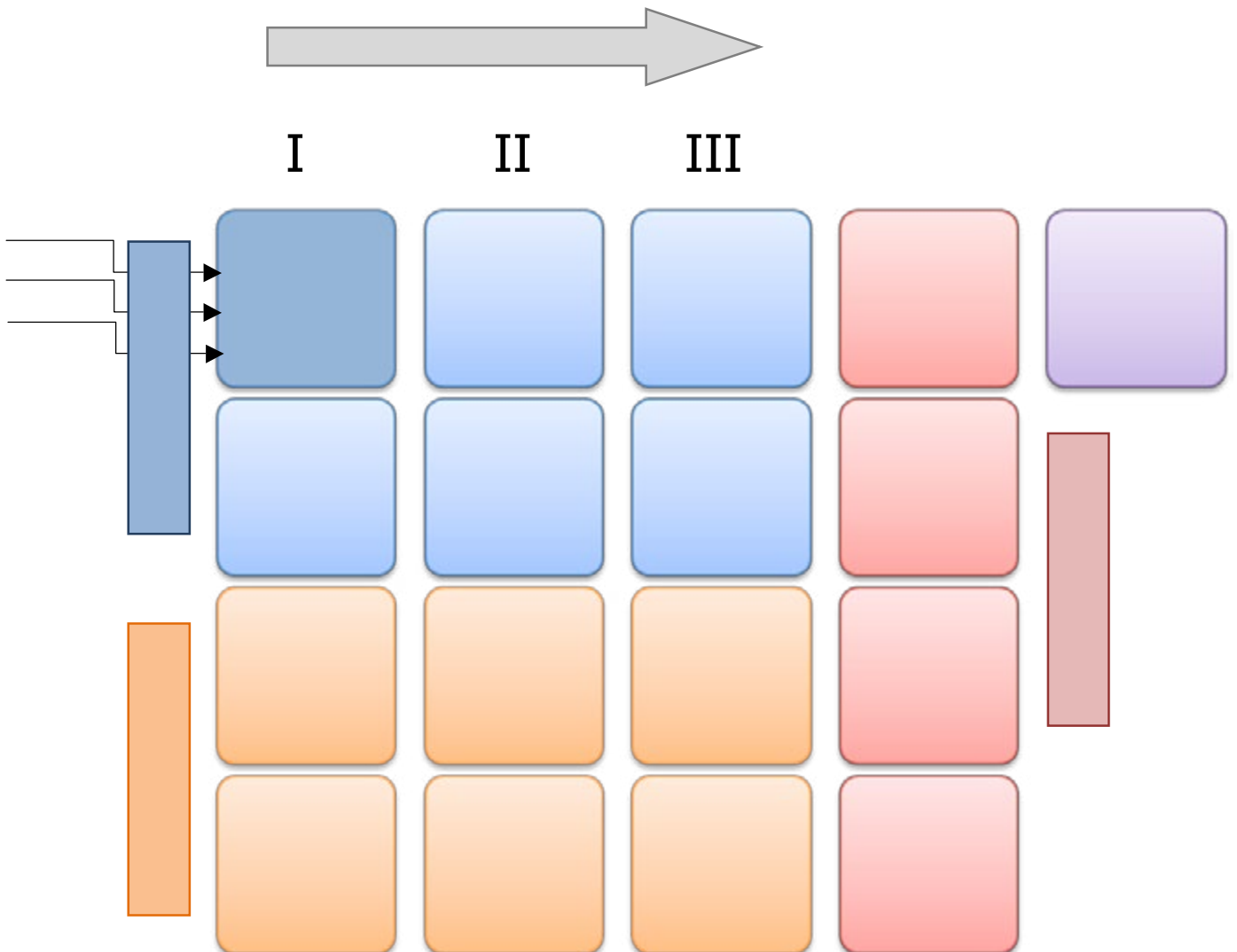
^[5] <http://www.teilchenwelt.de/angebote/masterclasses/> (abgerufen am 16.12.2016)

Kontakt

→ **Thomas Sawatzky**, sawatzky@ge-huellhorst.de

Das Standardmodell

Aufgabe: Ergänzen Sie sukzessive die Elementarteilchen des Standardmodells.



Stichpunkt-Übersicht: Ablaufplan Unterrichtseinheit

Thema	Schwerpunkte	Bemerkungen
Der Atomkern – im Innern des Atoms	Rutherfords Streuexperiment mit α -Strahlen Neutronen als neue (theoretisch vorhergesagte) Teilchen Nuklidkarte/Isotope Bindungsenergie und Massendefekt	Verfahren ähnlich zu Quarkentdeckung Vorgriff auf Entdeckung vieler Elementarteilchen Radioaktiver Zerfall, Zerfallskette Einführung $E=mc^2$, nötig für „Quarks und Co.“ und den α -Zerfall
Quarks und Co.	Beschuss des Kerns mit e^- de-Broglie-Wellenlänge abschätzen Ladungsschwerpunkte im Kern, gedrittelte Elementarladungen → Hadronen: Baryonen und Mesonen → Pion als Meson einführen, später Austauschteilchen der Kernkraft Erste Stellen im Standardmodell werden gefüllt	Bezug zu Rutherford $E=mc^2$ nötig AB: „Im Inneren des Kerns“ Antiteilchen: Teilchen mit negativen Vorzeichen
Bosonen: Die Wechselwirkung ist ein Teilchen	elektromagnetische Wechselwirkung (spez. Abstoßung) Austauschteilchen ist das Photon Feynman-Diagramm	Boott-Modell Quantenfeldtheorie, bekanntes Phänomen mit neuem Modell erklärt
Was hält den Kern zusammen?	Starke Wechselwirkung sorgt für Zusammenhalt der Quarks → Austauschteilchen Gluonen Kernkraft als sekundäre Kraft der starken Wechselwirkung → Austauschteilchen Pion Masse als „geschummeltes“ eV	Eintrag im Standard-Modell „confinement“
... und was lässt ihn zerfallen? – Woran erkenne ich einen Zerfall?	Radioaktive Strahlung Nachweismethoden (Geiger-Müller-Zählrohr) Nebelkammer Zählrate	Wiederholung aus Sek I: hier Schwerpunkt auf „Teilchenumwandlung im Standardmodell“ Analogie zu ATLAS
... und was lässt ihn zerfallen? – Der α -Zerfall	α -Zerfall: Eigenschaften (Ladung, Reichweite, Abschirmung) Nukleonen sind Quantenobjekte → benötigen diskrete Energiewerte → Halbwertszeit als Stabilitätsmerkmal Umwandlungsgleichung erklären → Typische Energiewerte des α -Teilchen durch Charakter des Mutternuklids → Coulomb-Abstoßung als elektromagnetische Wechselwirkung	Vorbereitung in Q1 Energiediagramm mit peak

Der β -Zerfall	Eigenschaften (Ladung, Reichweite, Abschirmung) Woher kommt das Elektron? Umwandlungsgleichung Rückgriff auf Quarks (s.o.) Umwandlung eines Quarks Übung: Feynman-Diagramm des Zerfalls	Wiederholung aus der Sekundarstufe I AB: „Im Inneren des Kerns“
... und wieder eine Wechselwirkung?	Schwache Wechselwirkung Keine Bindung sondern wirkt bei Umwandlung W^- nimmt negative Ladung mit und zerfällt nach 10^{-25} s Feynman-Diagramm ergänzen	Neues Teilchen im Standard-Modell
Energieerhaltung beim β -Zerfall	Kontinuierliches Spektrum Berechnung der Energiebilanz $n \rightarrow p + e^-$ E_{kin} ergibt maximalen Wert -> Wo ist der Rest? 1930 Pauli führt das Neutrino (Benennung nach Fermi) ein $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$ β^+ -Zerfall	Quanten? Diskrete Energiewerte? Bezug zum α -Zerfall Scheinbarer Widerspruch, evtl. Brief Paulis Eigentlich Anti-Neutrino (s. Reaktionsgleichung)
γ -Strahlung	Eigenschaften (Ladung, Reichweite, Abschirmung) Angeregte Zustände Wechselwirkung mit Materie	
Wirkungen ionisierender Strahlung	Medizinische Nutzung Was macht Strahlung gefährlich? (Sievert, Gray)	
Wir füllen das Standard-Modell	Myonen μ und weitere Elementarteilchen der Höhenstrahlung Masse als „geschummeltes“ eV 1., 2. und 3. Teilchengeneration LHC und ATLAS Masterclasses	Material Netzwerk Teilchenwelt ¹ Material Netzwerk Teilchenwelt: Steckbriefe ² Evtl. als Vorträge Material Netzwerk Teilchenwelt: Der Atlas-Detektor ³ Praktische Anwendung und Demonstration der Arbeitsweise

¹ http://www.teilchenwelt.de/fileadmin/user_upload/Redaktion/Netzwerk_Teilchenwelt/Material_Lehrkraefte/Materialsammlung-Lehrkraefte-2014neu_komp.pdf (23.01.2017)

² <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/teilchensteckbriefe/> (23.01.2017)

³ <http://www.teilchenwelt.de/material/materialien-fuer-lehrkraefte/der-atlas-detektor/> (23.01.2017)

Im Inneren des Kerns

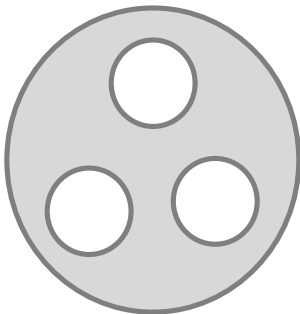
Ernest Rutherford fand 1911 heraus, dass Atome aus einem positiv geladenen Kern und einer negativ geladenen Elektronenhülle bestehen. Dazu beschoss er eine nur etwa 100 Atome dicke Goldfolie mit α -Strahlen. Will man den inneren Aufbau des Atomkerns genauer untersuchen, benötigt man jedoch Objekte mit kleinerer Wellenlänge.

Der Atomdurchmesser liegt im Größenbereich 10^{-14} m. Um Atomkerne oder Kernbausteine zu untersuchen, sollte die Auflösung 10^{-15} m oder kleiner sein. Für Elektronen gilt: $\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$

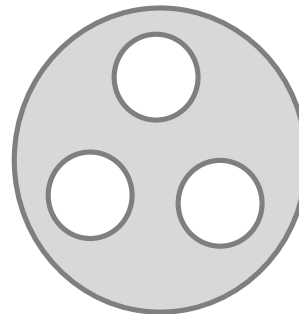
- Zeigen Sie, dass sich die Formel aus der de-Broglie-Wellenlänge und der Masse-Energie-Beziehung $\Delta E = mc^2$ ergibt.
- Bestimmen Sie die Energie, die Elektronen besitzen müssen, damit man sie zur Untersuchung von Atomkernen nutzen kann. Gib diese in eV an.

Auf diese Weise fand man heraus, dass Nukleonen (Protonen und Neutronen) aus drei Quarks bestehen, die gedrittelte Elementarladungen besitzen: up-Quark $+\frac{2}{3}$ und down-Quark $-\frac{1}{3}$. Teilchen, die aus Quarks bestehen, nennt man **Hadronen**.

Proton



Neutron



- Bauen Sie aus up- und down-Quark ein Neutron und ein Proton.
- Notieren Sie die entsprechenden Teilladungen der Quarks und die Gesamtladung des Nukleons an Deine Skizze.
- Es existiert ein doppelt geladenes Δ^{++} -Teilchen. Bauen Sie dies ebenfalls.
- Teilchen aus drei Quarks bezeichnet man als **Baryonen**, Teilchen aus zwei Quarks als **Mesonen**. Welche Schwierigkeit ergibt sich beim Bau von Mesonen?

Impressum

Entnommen aus

Teachers + Scientists: Für Wissenschaft begeistern

Herausgeber

Science on Stage Deutschland e. V. (SonSD)
Poststraße 4/5
10178 Berlin

Koordinatoren-Team

Helga Fenz, Robert-Havemann-Gymnasium Berlin,
Vorstand SonSD
Christian Karus, Andreas-Vesalius-Gymnasium Wesel
Dr. Tom Steinlein, Universität Bielefeld, Fakultät für Biologie

Gesamtkoordination und Redaktion

Karoline Kirschner, Projektmanagerin SonSD
Stefanie Schlunk, Geschäftsführerin SonSD

In Kooperation mit

Stiftung Jugend forscht e. V.

jugend  **forscht**

Hauptförderer von Science on Stage Deutschland e. V.

think
ING.

Die Initiative für
Ingenieurnachwuchs

Text- und Bildnachweise

Die Autorinnen und Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

Illustrationen

Heike Kreye

Bestellungen

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

Creative-Commons-Lizenz: Namensnennung, nicht-kommerziell, Weitergabe unter gleichen Bedingungen



1. Auflage 2017

© Science on Stage Deutschland e. V.

Sie haben auch Interesse an einer Kooperation zwischen Lehrkräften und Forschenden? In unserem Leitfaden finden Sie praktische Tipps und Hinweise zur Umsetzung: www.teachers-and-scientists.de.