

SCHOOL-SCOUT.DE

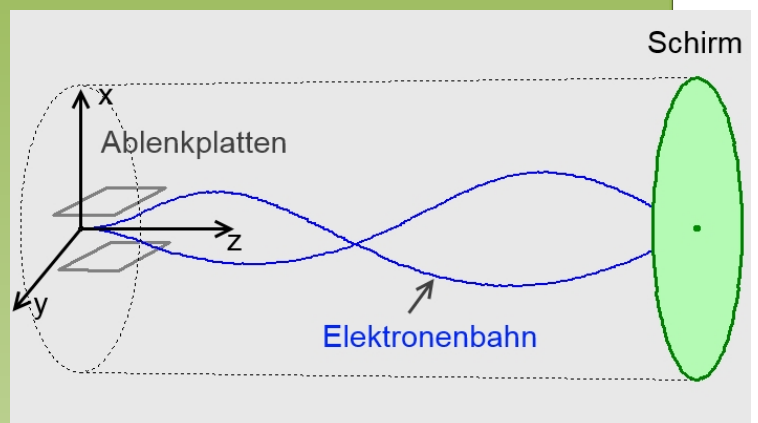
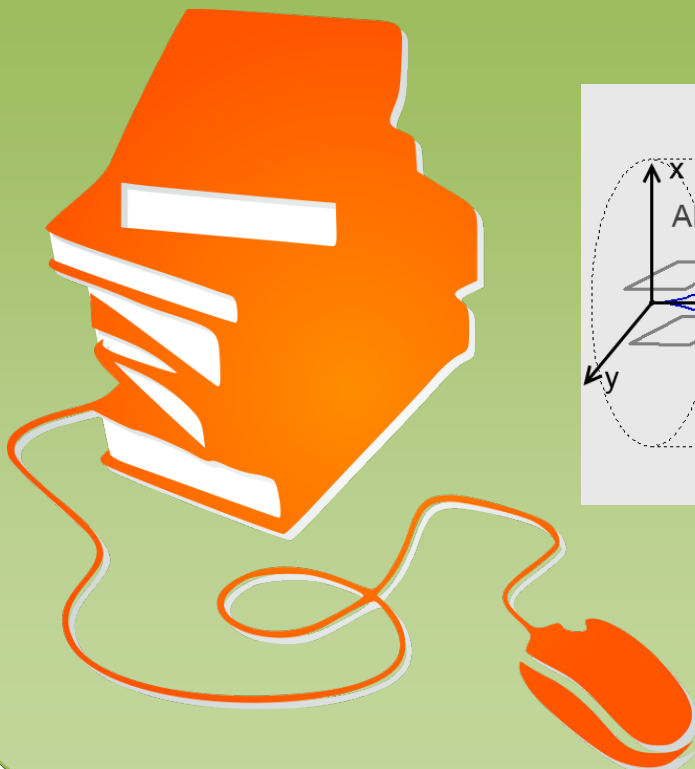
Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Die spezifische Ladung des Elektrons

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

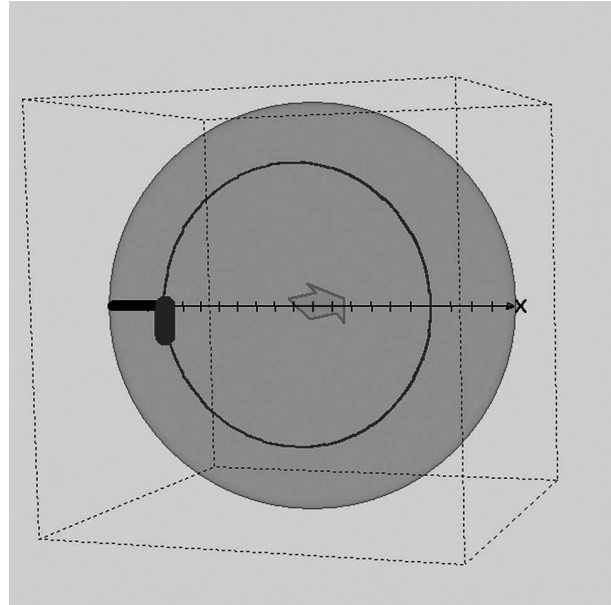


Die spezifische Ladung des Elektrons

Matthias Borchardt, Bonn

Das Fadenstrahlrohr stellt nicht die einzige Möglichkeit dar, die spezifische Ladung des Elektrons mit schulischen Mitteln zu bestimmen. Sie lernen zwei weitere Versuche kennen, welche die standardmäßige Behandlung des Themas im Sinne eines **binnendifferenzierenden Unterrichts** um interessante Varianten erweitern. Dabei ermöglichen **Computersimulationen** einen besonders schüleraktivierenden Zugang zum Thema.

Leistungsstarke Schüler können sich darüber hinaus mit der Frage beschäftigen, wie man die spezifische Ladung von relativistischen Elektronen bestimmt.



Grafik: M. Borchardt

Das Fadenstrahlrohr zur $\frac{e}{m}$ -Bestimmung

**Schüleraktivierende
Zugänge
zur e/m-Bestimmung!**

Der Beitrag im Überblick	
<p>Klasse: 11 (auch 12)</p> <p>Dauer: 2–8 Stunden</p> <p>Ihr Plus:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Abiturvorbereitung ✓ Binnendifferenzierende Materialien ✓ 4 Computersimulationen ✓ Bezug zur Relativitätstheorie 	<p>Inhalt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • e/m-Bestimmung mit <ul style="list-style-type: none"> – dem Fadenstrahlrohr – der Elektronenablenkröhre – der Braun'schen Röhre • e/m-Bestimmung mit relativistischen Elektronen

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Fachlicher Hintergrund

Die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons ist ein zentrales Thema im Physikunterricht der Oberstufe. Abgesehen von den zahlreichen Bezügen zur Bewegung von Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern¹ erfahren Ihre Schüler sehr eingängig, wie sich die atomare Größe e/m mithilfe von geschickten Versuchen auch in der Schule ermitteln lässt. Nachdem der **Millikan-Versuch** einen Zugang zur Elementarladung aufgezeigt hat, ergibt sich durch die Bestimmung der spezifischen Ladung so die Möglichkeit, die Masse des Elektrons quantitativ zu erfassen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Bestimmung von e/m als einer wichtigen Fundamentalgröße der Physik auch im **Abitur** in schriftlicher oder mündlicher Form gerne abgeprüft wird.

Dabei stellt das **Fadenstrahlrohr** (auch **Wehneltöhre** genannt), das wohl in jeder Physiksammlung anzutreffen ist, unangefochten das Standardexperiment zur Bestimmung der spezifischen Ladung dar. Die Idee, e/m durch die **Ablenkung von Elektronen in elektrischen und magnetischen Feldern** zu bestimmen, lässt sich aber auch mit anderen Versuchsanordnungen umsetzen – z. B. mithilfe der **Elektronenablenkröhre** oder mithilfe der **Braun'schen Röhre**. Letzteres ist auch unter der Bezeichnung „Methode von Busch“ bekannt. Beide Alternativen werden in der Schule nur selten durchgeführt – erstere, weil die Elektronenablenkröhre traditionsmäßig eher für das Thema „Geschwindigkeitsfilter“ verwendet wird, letztere, weil der Versuchsaufbau kompliziert ist und nicht selten das passende Equipment in der Physiksammlung fehlt. **Computersimulationen** stellen daher eine vortreffliche Möglichkeit dar, diese Probleme zu umgehen. Zudem ermöglichen diese Programme, dass Ihre Schüler aktiv „experimentieren“, d. h. eigenständig Werte ermitteln und diese entsprechend auswerten können.

Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler ...	Anforderungsbereich
F 1–F 5, E 2–E 4, E 7, E 9, E 10, K 1, K 3, K 5	... wenden ihr Wissen über das Verhalten von geladenen Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern an, bringen es in neue Sachzusammenhänge und ermitteln mit verschiedenen Versuchsanordnungen eine wichtige atomare Fundamentalgröße, nämlich die spezifische Ladung des Elektrons,	I, II
F 1, F 4, F 5, E 2, E 9, E 10, K 5, B 1, B 2	... erfahren Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Simulationsprogramme sowie realer Experimente,	I, II
E 1, E 2, K 1, K 2, K 5	... lernen, mit einem englischsprachigen Fachtext zu arbeiten,	II
F 1–F 4, E 1, E 2, E 4, E 9, E 10, K 1, K 5, B 2	... verknüpfen Inhalte der Relativitätstheorie mit der Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern.	II, III

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden CD-ROM 43.

¹ Siehe RAAbits Physik, II/C, Reihe 3: Bewegte Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern – ein Stationen-zirkel mit Computereinsatz (24. EL, Aug. 2011) + Computersimulationen

Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

In der Regel werden Sie das Fadenstrahlrohr im Unterricht besprochen und es auch für die Bestimmung der spezifischen Ladung e/m eingesetzt haben. Das Material **M 1** stellt dann eine gute Möglichkeit dar, diese Inhalte durch Ihre Schüler noch einmal repetitiv darstellen und mithilfe der Computersimulation eigene „Messungen“ und Auswertungen durchführen zu lassen, was eine starke schüleraktivierende Komponente aufweist. Dies kann im Unterricht geschehen oder bietet sich für eine umfangreichere **Hausaufgabe** oder zur **Klausurvorbereitung** an. Sie können das Material **M 1** aber auch einsetzen, wenn Sie die Bestimmung von e/m mit dem Fadenstrahlrohr im Unterricht noch nicht thematisiert haben. Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn kein Fadenstrahlrohr zur Verfügung steht.

Die **Elektronenablenkröhre (M 2)** bietet eine gute Möglichkeit, das Verhalten von bewegten Elektronen in gekreuzten Feldern (elektrisches und magnetisches Feld) zu untersuchen und die Funktionsweise eines **Geschwindigkeitsfilters** zu erklären. Zur Bestimmung der spezifischen Ladung wird sie selten verwendet. Das Thema „Spezifische Ladung des Elektrons“ ist in der Regel bereits auch im Zusammenhang mit dem Fadenstrahlrohr genügend abgehandelt worden. Dennoch bietet sich die Methode mit der Elektronenablenkröhre für **Gruppenarbeiten** im Unterricht, für erweiterte **Hausaufgaben** oder für **Schülerreferate** bestens an. Hinzu kommt, dass die Computersimulation Sie und Ihre Schüler von zeitaufwändigen Versuchsaufbauten und Messungen entlastet, deren Genauigkeit nicht selten mangelhaft sind, wie weiter unten noch gezeigt werden wird.

Die **Methode von Busch (M 3)** zur Bestimmung der spezifischen Ladung verwendet eine **Braun'sche Röhre**, die sich in einer langen Zylinderspule befindet. Auch diese Variante zur Bestimmung von e/m wird im Unterricht nur selten durchgeführt, was u. a. mit dem nicht einfachen Versuchsaufbau zusammenhängt (z. B. passende Zylinderspule).

Hinzu kommen die Probleme, die manche Schüler mit der räumlichen Vorstellung einer geschraubten Elektronenbahn haben. Mithilfe der Computersimulation „**Busch.exe**“ lassen sich diese Stolpersteine elegant umgehen. Die Simulation ist einfach zu bedienen und ermöglicht, die Anordnung um zwei Achsen zu drehen, sodass der räumliche Verlauf der Elektronenbahnen gut nachvollziehbar ist. Das Material **M 3** bietet sich als Erweiterung des Themas „Spezifische Ladung des Elektrons“ für **binnendifferenzierendes Arbeiten** im Unterricht oder in Form eines Schülerreferats sehr gut an, lässt sich aber natürlich auch im Unterricht oder als Hausaufgabe für alle Schüler zugänglich machen.

Die Materialien **M 4** und **M 5** thematisieren einen sehr interessanten Aspekt der e/m -Bestimmung, nämlich die Erkenntnis, dass die spezifische Ladung **geschwindigkeitsabhängig** ist – ein Phänomen, das sich allerdings erst bei extrem hohen Geschwindigkeiten bemerkbar macht und mit der relativistischen Massenzunahme erklärbar ist. Arbeitsgrundlage für die Aufgabenstellungen von **M 4** ist ein Ausschnitt aus einem Fachartikel in englischer Sprache aus dem wissenschaftlichen Magazin **American Journal of Physics**. Daher und aufgrund des fachlichen Hintergrunds (**Relativitätstheorie**²) erscheint es ratsam, dass Sie die Materialien nur für besonders begabte Schüler vorsehen. In Form eines binnendifferenzierenden Unterrichts, einer freiwilligen, zusätzlichen Lernleistung o. Ä. bietet das Material sehr interessante Einblicke in die **moderne Physik**. Die Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie sollten im Unterricht behandelt worden sein. Sollten Sie die Relativitätstheorie erst später behandeln, also gegen Ende Ihres Lehrplans, eignen sich Material **M 4** und **M 5** sehr gut, um Aspekte der Relativitätstheorie mit der Bewegung von Ladungen in elektrischen und magnetischen Feldern zu verknüpfen, wobei die Idee, die spezifische Ladung des Elektrons bestimmen zu wollen, Ihren Schülern in der klassischen Variante ja bereits erschienen ist – ein schönes Beispiel für ein spiraling angelegtes Curriculum im Fach Physik.

² Siehe RAAbits Physik, II/G, Reihe 1: Spezielle Relativitätstheorie in Kontexten (33. EL, Nov. 2013) + Computersimulation

Die Methoden zur Bestimmung der spezifischen Ladung im Überblick

Die folgende Tabelle fasst einige Aspekte der vorgestellten Methoden zur Bestimmung der spezifischen Ladung im Überblick zusammen.

Methoden der e/m-Bestimmung	Formel	Vorteile	Nachteile
Fadenstrahlrohr	$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_a}{B^2 \cdot r^2}$	<p>Ansätze zur Herleitung der Formel sind nachvollziehbar und gehören zum Standardstoff der Oberstufe.</p> <p>e/m-Bestimmung mithilfe der Simulation überschaubar und einfach durchzuführen</p>	<p>Realexperiment: Bestimmung des Radius' der Elektronenbahn schwierig und Quelle von Fehlern, besonders weil r quadratisch eingeht.</p> <p>Messung von drei Größen (U_a, B, r) erforderlich</p> <p>Formel für Helmholtz-Spulen v. a. im Grundkurs unhandlich und komplex</p>
Elektronenablenkröhre	$\frac{e}{m} = \frac{U_k^2}{2 \cdot B^2 \cdot d^2 \cdot U_a}$	<p>Ansätze zur Herleitung der Formel sind nachvollziehbar und gehören zum Standardstoff.</p> <p>e/m-Bestimmung mithilfe der Simulation überschaubar und einfach durchzuführen</p> <p>Simulation verzichtet auf die Einbindung von Helmholtz-Spulen – dadurch überschaubarer als das Realexperiment.</p>	<p>Realexperiment: Wegen Inhomogenität des Kondensatorfeldes führen Angaben der Ablenkspannung zu falschen Ergebnissen, die sich wegen des Quadrats sehr stark auswirken können (Korrekturfaktor notwendig).</p> <p>Messung von drei Größen (U_k, U_a, B) erforderlich</p> <p>Formel für Helmholtz-Spulen v. a. im Grundkurs unhandlich und komplex</p>
Braun'sche Röhre	$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 \cdot U_a}{B^2 \cdot s^2}$	<p>Lediglich zwei Größen müssen gemessen werden (U_a, B).</p> <p>Berechnung von B einer langen Zylinderspule sollte den Schülern bekannt sein (Einbindung bekannter Inhalte).</p> <p>e/m-Bestimmung mithilfe der Simulation überschaubar und einfach durchzuführen</p>	<p>Herleitung der Formel für e/m anspruchsvoll</p> <p>Räumliches Vorstellungsvermögen ist gefordert.</p> <p>Realexperiment: Versuchsaufbau ist schwierig – meist kein passendes Equipment vorhanden, sodass improvisiert werden muss.</p>
Massenspektroskop	$\frac{e}{m} = \frac{U_k}{B^2 \cdot r \cdot d}$	<p>Schüler lernen komplexen Versuchsaufbau kennen (Impulsfilter, Geschwindigkeitsfilter) und arbeiten mit englischsprachiger Fachliteratur.</p>	<p>Grundlagen der Relativitätstheorie sowie kernphysikalische Kenntnisse (β-Zerfall) sind erforderlich.</p>

Mediathek

Zu M 1: e/m-Bestimmung mit der Fadenstrahlröhre

Computersimulation **Edm.exe** unter
www.mabo-physik.de/fadenstrahlrohr.html

Computersimulation **Helmholtzspulen.exe** unter
www.mabo-physik.de/helmholtzspulen.html

Zu M 2: e/m-Bestimmung mit der Elektronenablenkröhre

Computersimulation **Elektronenablenkroehre.exe** unter
www.mabo-physik.de/elektronenablenkroehre.html

LD Handblätter Physik: *P3.8.5.2. Aufbau eines Geschwindigkeitsfilters (Wien-Filters) zur Bestimmung der spezifischen Elektronenladung*. LD Didactic GmbH, Hürth, Oktober 2006.

Im Internet zu finden unter:

www.ld-didactic.de/literatur/hb/d/p3/p3852_d.pdf

Zu M 3: e/m-Bestimmung mit der Braun'schen Röhre (Busch-Methode)

Computersimulation **Busch.exe** unter
www.mabo-physik.de/exm_bestimmung_nach_busch.html

Beschreibung eines Praktikumsversuchs der Uni Gießen zur Bestimmung von e/m nach der Methode von Busch:

https://meyweb.physik.uni-giessen.de/1_Lehre/Praktikum/F-Praktikum/VERS06.htm

Zu M 5: Textausschnitt aus *American Journal of Physics*

Bartlett, A.A., Correll, M.: *An Undergraduate Laboratory Apparatus for Measuring e/m as a Function of Velocity*. American Journal of Physics 1965 (33, Nr. 4). S. 327–339.

Computer mit Internetzugang notwendig

Für die Bearbeitung der Materialien sind manchmal **Rechercheaufträge** auszuführen. Auch sollen die Schüler Computerprogramme als Arbeitsmittel verwenden. Dies sind nützliche Werkzeuge, um die physikalischen Zusammenhänge dynamisch und anschaulich darzustellen. Daher ist es notwendig, dass Ihre Schüler einen Arbeitsplatz mit **Internetzugang** haben.

Tipp

Die **Anwendungen** zu diesem Beitrag finden Sie auch auf **CD-ROM 43**.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch Fo = Folie
 WH = Wiederholungsblatt Cs = Computersimulation

M 1	WH, Cs	e/m-Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Physikbuch
	⌚ D: 90 min	<input type="checkbox"/> Simulationsprogramme „Helmholtzspulen.exe“ und „Edm.exe“
		<input type="checkbox"/> Internet
		<input type="checkbox"/> Taschenrechner
M 2	Ab, Cs	e/m-Bestimmung mit der Elektronenablenkröhre
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Physikbuch
	⌚ D: 90 min	<input type="checkbox"/> Simulationsprogramm „Elektronenablenkroehre.exe“
		<input type="checkbox"/> Taschenrechner
M 3	Ab, Cs	e/m-Bestimmung mit der Braun'schen Röhre (Busch-Methode)
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Simulationsprogramm „Busch.exe“
	⌚ D: 90 min	<input type="checkbox"/> Taschenrechner
M 4	Ab	e/m-Bestimmung bei relativistischen Geschwindigkeiten
	⌚ V: 5min	<input type="checkbox"/> Physikbuch
	⌚ D: 90 min	<input type="checkbox"/> Material M 5 (Textausschnitt)
		<input type="checkbox"/> Wörterbuch Englisch
		<input type="checkbox"/> Taschenrechner
M 5		Textausschnitt aus <i>American Journal of Physics</i>
M 6		Tippkarten

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 13.

Minimalplan

Sie können auch nur eine Methode zur Bestimmung des spezifischen Ladung e/m im Unterricht behandeln.

SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Die spezifische Ladung des Elektrons

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

