



Physik

FOS/BOS Technik Bayern Jahrgangsstufe 13

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsseldorfer Straße 23 42781 · Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 80314

Autoren des Buches „Physik – FOS/BOS Technik Bayern Jahrgangsstufe 13“:

Dr. Dieter Schlögl	Oberschleißheim
Julia Gronauer	Ingolstadt
Dr. Jochen Trenner	Regensburg
Harald Vogel	Inning a. Ammersee

Lektorat: Josef Dillinger

Bildentwürfe: Die Autoren

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlages Europa-Lehrmittel, Ostfildern

1. Auflage 2023

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-8031-4

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fülle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2023 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Typework Layoutsatz & Grafik GmbH, 86167 Augsburg

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald




Umschlagfoto: © francescodemarco – © juanjo – © Dabarti – alle stock.adobe.com

Druck: LD Medienhaus GmbH & Co. KG, 44149 Dortmund, www.ld-medienhaus.de

Vorwort

Mit diesem Buch liegt nun der dritte Band der Physikbücher des Europa-Verlags für die Bayerischen Beruflichen Oberschulen (FOS und BOS) vor. Damit werden mit dieser Buchreihe alle Lerninhalte des im Schuljahr 2017/2018 neu eingeführten LehrplanPLUS abgedeckt. Da der Lehrplan der FOS und der BOS in der 13. Jahrgangsstufe identisch sind, ist dieses Buch für beide Schulformen gleichermaßen geeignet.

Das Buch ist so gestaltet, dass es sowohl als Ergänzung zum regulären Unterricht als auch im Rahmen eines Flipped-Classroom-Konzepts verwendet werden kann. Die Manuskriptvorlagen einzelner Kapitel dieses Buches wurden im Schuljahr 2020/2021 bereits auf beide genannte Weisen eingesetzt.

Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, alle Informationen so aufzubereiten, dass Schüler sich alle Lerninhalte mit diesem Buch selbstständig erarbeiten können. Die einzelnen Unterkapitel bauen inhaltlich und logisch aufeinander auf und „logische Sprünge“ werden vermieden. Treten Fachbegriffe das erste Mal auf, so werden sie **fett** gedruckt und im gleichen Absatz erklärt. Am Ende eines jeden Kapitels stehen zur Übung und Vertiefung geeignete Aufgaben in orangefarbenen Kästen mit dem Symbol  zur Verfügung. Violettfarbige Kästen enthalten Beispielrechnungen zum jeweiligen Kapitel und sind mit dem Symbol  gekennzeichnet. Das können entweder Aufgabenbeispiele sein oder Anwendungsbeispiele für die in diesem Kapitel beschriebenen Lerninhalte. Wichtige Formeln und Merksätze sind türkis eingerahmt. Zusatzinformationen sind in blauen Kästen zusammengefasst und mit dem Symbol  gekennzeichnet. Abschnitte, die über die Lerninhalte des Lehrplans hinausgehen sind mit dem Wort „Exkurs“ beschriftet und grau hinterlegt. Interessiert man sich lediglich für prüfungsrelevante Lerninhalte, so kann man diese Exkurse getrost überspringen.

An einigen Stellen wurde innerhalb der einzelnen Lernbereiche eine andere Reihenfolge der Lerninhalte gewählt als die im Lehrplan vorgeschlagene, da das Buch aus Sicht der Autoren dadurch für die Schüler besser verständlich wird. Eine Sonderstellung nimmt dabei das Thema der Elektron-Positron-Paarbildung ein. Dieses wird im Lehrplan sowohl im Lernbereich „Quanten- und Atomphysik“ als auch im Lernbereich „Kernphysik“ erwähnt. Den Autoren erschien es günstiger, das Thema erst bei der Kernphysik zu behandeln, da die Schüler dann bereits mit dem Phänomen der Umwandlung einzelner Teilchen ineinander bzw. der Entstehung neuer Teilchen vertraut sind und auch wissen, dass man bei diesen Prozessen die Energiebilanzen berücksichtigen muss.

Wir wünschen Ihnen viel Freude und einen erfolgreichen Einsatz dieses Buchs.

München, Frühjahr 2023
Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern7

1.1	Kräfte auf elektrische Ladungen	9
1.1.1	Elektrische Feldkraft	11
1.1.2	Das Magnetfeld und die Lorentz-Kraft	13
1.1.3	Kräfte im E- und B-Feld	16
1.2	Relativistische Effekte	22
1.2.1	Geschwindigkeitsabhängige Masse	22
1.2.2	Vakuumlichtgeschwindigkeit als Grenzggeschwindigkeit	24
1.2.3	Äquivalenz von Masse und Energie	24
1.2.4	Hochenergiephysik	27
1.3	Aufgaben	29
1.3.1	Aufgaben zu den Kräften auf elektrische Ladungen	29
1.3.2	Aufgaben zu relativistischen Effekten	37

Elektromagnetische Schwingungen und Wellen.41

2.1	Der elektrische Schwingkreis	41
2.1.1	Idealer Schwingkreis	43
2.1.2	Realer Schwingkreis	46
2.1.3	Erzwungene Schwingung	46
2.1.4	Induktive Kopplung	46
2.1.5	Rückkopplung	50
2.1.6	Der offene Schwingkreis	51
2.2	Der Hertz'sche Dipol ($\frac{\lambda}{2}$ Dipol)	52
2.2.1	Dipolstrahlung – elektromagnetische Wellen	54
2.2.2	Empfang elektromagnetischer Wellen	57
2.3	Eigenschaften elektromagnetischer Wellen	58
2.3.1	Polarisation	59
2.3.2	Reflexion	61
2.3.3	Brechung	64
2.3.4	Beugung	64
2.3.5	Interferenz	65
2.4	Licht als elektromagnetische Welle	70
2.4.1	Polarisation	70
2.4.2	Einfachspalt	71
2.4.3	Doppelspalt	73
2.4.4	Mehrfachspalt und Gitter	75
2.5	Das elektromagnetische Spektrum.	79
2.5.1	Technische Nutzung.	79
2.5.2	Spektroskopie.	81

2.6 Risiken im Umgang mit (nicht ionisierender) elektromagnetischer Strahlung und Sicherheitsmaßnahmen	84
--	----

Quanten- und Atomphysik89

3.1 Einführung	89
3.2 Zentrale Wesenszüge der Quantenphysik	90
3.2.1 Unteilbarkeit	90
3.2.2 Interferenzfähigkeit	90
3.2.3 Stochastisches Verhalten	90
3.2.4 Unbestimmtheit	91
3.3 Teilcheneigenschaften elektromagnetischer Wellen	92
3.3.1 Äußerer Fotoeffekt und Photonenpostulat.	94
3.3.2 Compton-Effekt und Photonenimpuls	99
3.3.3 Doppelspaltversuch mit Einzelphotonen und Heisenberg'sche Unschärferelation	104
3.4 Welleneigenschaften von Teilchen.	109
3.4.1 Hypothese von de Broglie – Materiewellen	109
3.4.2 Davisson-Germer-Experiment und Bragg-Reflexion	112
3.4.3 Experiment von George Paget Thomson.	115
3.4.4 Nachweis der Welleneigenschaften anderer Teilchen	118
3.4.5 Doppelspaltversuch mit Elektronen: Jönsson-Versuch – „Das schönste Experiment aller Zeiten“.	119
3.4.6 Doppelspaltversuche mit anderen Teilchen	121
3.4.7 Doppelspaltversuch mit Einzelelektronen	123
3.5 Die quantenmechanische Zustandsfunktion ψ	127
3.5.1 Born'sche Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Zustandsfunktion	129
3.5.2 Normierungsbedingung	136
3.5.3 Superpositionsprinzip	138
3.5.4 Die zeitunabhängige Schrödingergleichung	144
3.5.5 Kollaps der Zustandsfunktion	160
3.6 Historische Atommodelle	179
3.6.1 Rutherford'sches Atommodell	179
3.6.2 Das Bohr'sche Atommodell	183
3.7 Das Orbitalmodell	192
3.7.1 Das Wasserstoffatom	193
3.7.2 Atome höherer Ordnungszahl	202
3.7.3 Resonanzfluoreszenz und Resonanzabsorption	206
3.7.4 Franck-Hertz-Versuch	209
3.8 Röntgenstrahlung	213
3.8.1 Erzeugung von Röntgenstrahlung in einer Röntgenröhre	214
3.8.2 Bragg'sche Drehkristallmethode	217
3.8.3 Gesetz von Moseley	219

Kernphysik	223
4.1 Aufbau der Materie	223
4.1.1 Grundlagen	223
4.1.2 Streuexperimente	225
4.1.3 Kernbausteine und Isotope	231
4.1.4 Das Potentialtopfmodell des Kerns	231
4.2 Bindungsenergie des Atoms und des Atomkerns	233
4.3 Kernzerfälle	238
4.3.1 Zerfallsarten und ihre Eigenschaften	239
4.3.2 Nuklidkarte und Zerfallsreihen	245
4.3.3 Nachweisgeräte	248
4.3.4 Energiebilanz der Kernzerfälle	251
4.4 Zerfallsgesetz und Aktivität	257
4.4.1 Das Zerfallsgesetz	257
4.4.2 Die Aktivität einer Strahlungsquelle	261
4.5 Wechselwirkung von radioaktiver Strahlung mit Materie	265
4.5.1 Absorption radioaktiver Strahlung	265
4.5.2 Wechselwirkungsprozesse von Teilchen mit Materie	269
4.5.3 Strahlenschutz und Dosimetrie	271
4.6 Kernspaltung und Kernfusion	275
4.6.1 Einfache Kernreaktionen und freie Neutronen	275
4.6.2 Kernspaltung	277
4.6.3 Kernfusion	281
4.7 Anwendung in der Medizin	287
4.7.1 Diagnostische Verfahren	287
4.7.2 Therapeutische Verfahren	289
Lösungen	293
5.1 Lösungen zu Kapitel 1: Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern	293
5.2 Lösungen zu Kapitel 2: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	318
5.3 Lösungen zu Kapitel 3: Quanten- und Atomphysik	337
5.4 Lösungen zu Kapitel 4: Kernphysik	413
Sachwortverzeichnis	454
Bildquellenverzeichnis	459



1

Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern

„Wie soll man Elektrizität erklären, wenn man noch nichts von Atomen und kleineren Strukturen weiß?“

Ein Rückblick bis zum Jahr 1600: Der englische Arzt und Naturforscher William Gilbert¹ fand beim Studium antiker Schriften, dass schon Thales von Milet² Kenntnis von der Anziehung geriebenen Bernsteins hatte. Gilbert stellte fest, dass **elektrische Anziehung** (von geriebenem Bernstein) und **magnetische Anziehung** (von Magneteisensteinen) zwei verschiedene Phänomene sind.



Abb. 1 Geriebener Bernstein zieht Wollfussel an.



Abb. 2 Magneteisenstein zieht Eisenfeilspäne an.

In den darauffolgenden vier Jahrhunderten entwickelte sich die Naturlehre umfassend weiter, die heute als klassische Physik bezeichnet wird.

Man fand heraus, dass **elektrische Ladung** in zwei „Arten“ vorkommt, die sich unterschiedlich verhalten, nämlich anziehend oder abstoßend.

¹ William Gilbert (1544 – 1603), englischer Arzt und Physiker

² Thales von Milet (ca. 624 – 544 v. Chr.), griechischer Naturphilosoph, Mathematiker und Astronom

Ladungen konnte man durch Reiben von bestimmten Materialien (Harz oder Glas) „erzeugen“, es wurden Elektrysiermaschinen erfunden und in der höfischen Gesellschaft wurden damit Kabinettstücke vorgeführt. An eine sinnvolle technische Nutzung, wie sie heute gängig ist, war damals noch nicht zu denken.

Erst 1751 prägte Benjamin Franklin³ den Begriff **Ladung**, die er als positiv oder negativ bezeichnete.

Die Messung der **Kräfte** zwischen zwei geladenen Körpern gelang Charles Coulomb⁴ im Jahr 1785.

Magnetismus war anfänglich nur bei Magneteisensteinen beobachtbar, die Funktionsweise des Kompasses beruht darauf.

Die Erfindung der **Batterie** um 1800 durch Alessandro Volta⁵ war zunächst nur für die Forschung interessant, weil es dadurch möglich war, stärkere Ströme fließen zu lassen.

Dass sich eine Kompassnadel in der Nähe eines elektrischen Leiters bei Stromfluss bewegt, entdeckte Hans Christian Oersted⁶ im Jahr 1820.

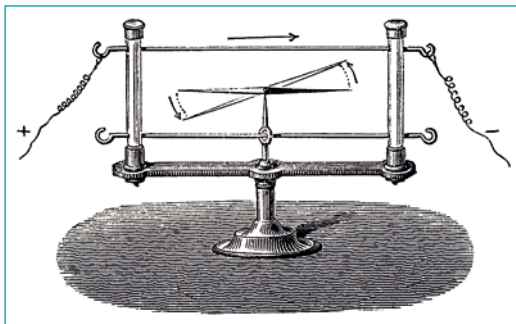


Abb. 1 Kompassnadel dreht sich unter einem Stromleiter

Diese Beobachtung lieferte den **Zusammenhang** zwischen **Elektrizität** und **Magnetismus**, welche bislang nur als einzelne Phänomene betrachtet wurden.

Dadurch inspiriert begann André Ampère⁷ im gleichen Jahr seine Untersuchungen über Ströme. Er erklärte auch unter anderem die Begriffe **elektrische Spannung** und **elektrischer Strom** und setzte die (technische) **Stromrichtung** „von + nach –“ fest.

In England befasste sich Michael Faraday⁸ mit den neuen Erkenntnissen von Oersted und Ampère, dabei fand er den Zusammenhang zwischen elektrischer Ladung und Stoffumsatz bei elektrochemischen Reaktionen – bekannt als **Faraday'sche Gesetze**.

Auf der Suche nach den kleinsten Teilchen der Elektrizität experimentierte man in der Mitte des 19. Jahrhunderts mit elektrischen Vorgängen in verdünnten Gasen und fand Leuchterscheinungen in Gasentladungsröhren.

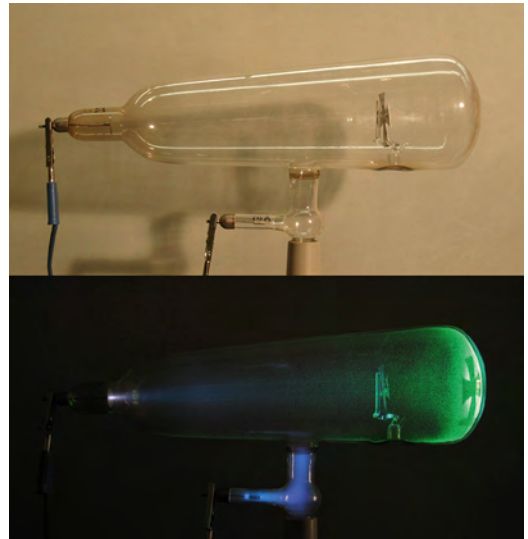


Abb. 2 Kathodenstrahlen (links)

Dabei entdeckte man, dass sich aus einer erhitzten Kathode eine „Art elektrischer Strahlung“ geradlinig ausbreitete, die man **Kathodenstrahlen** nannte.

3 Benjamin Franklin (1706 – 1790), amerikanischer Schriftsteller, Naturwissenschaftler und Politiker

4 Charles Coulomb (1736 – 1806), französischer Physiker

5 Alessandro Volta (1745 – 1827), italienischer Physiker

6 Hans Christian Oersted (1777 – 1851), dänischer Physiker und Chemiker

7 André-Marie Ampère (1775 – 1836), französischer Mathematiker und Physiker

8 Michael Faraday (1791 – 1867), englischer Naturforscher (Physik und Chemie)

Im Jahr 1897 gelang Joseph John Thomson⁹ bei der Untersuchung von Kathodenstrahlen der experimentelle Nachweis für die Existenz des Elektrons.

Kathodenstrahlen bestehen aus elektrisch geladenen Teilchen, den Elektronen. Sie sind kleiner als Atome und sind in ihnen enthalten.

Darauf aufbauend entwickelte Thomson sein **Atommodell**, auch „Rosinenkuchen-Modell“ genannt (siehe Kap. 3.6.2): Atome sind positiv geladene Kugeln, in denen die sehr kleinen und leichten Elektronen eingebettet seien wie Rosinen in einem Kuchenteig.

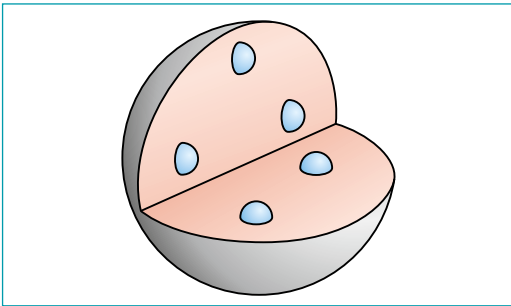


Abb. 1 Atommodell nach Thomson

Damit konnte man elektrochemische Reaktionen und das Verhalten von Kathodenstrahlen erklären. Dieses Atommodell war aber nur von kurzer Dauer, da Ernest Rutherford¹⁰ mit seinen Streuversuchen die Kern-Hülle-Struktur des Atoms entdeckte (siehe Kapitel 3.6.1).

Thomson konnte mit seinen Versuchen mit den Kathodenstrahlen das Verhältnis aus Ladung und Masse eines Elektrons ermitteln, die **spezifische Ladung**:

$$\frac{e}{m} = 1,7588 \cdot 10^{11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Zeitgleich entwickelte Ferdinand Braun¹¹ die **Kathodenstrahlröhre** (nach ihm auch **Braun'sche Röhre** genannt), in der durch **Glühemission** Elektronen freigesetzt werden und durch ein elektrisches Längsfeld ein **Elektronenstrahl** (Kathodenstrahl) erzeugt wird.

Mit Hilfe elektrischer oder magnetischer Felder kann der Elektronenstrahl in Horizontal- und Vertikalrichtung abgelenkt werden. Ein Bild wird sichtbar, wenn der Elektronenstrahl beim Auftreffen auf eine an der Innenseite der Röhre angebrachte Leuchtschicht trifft.

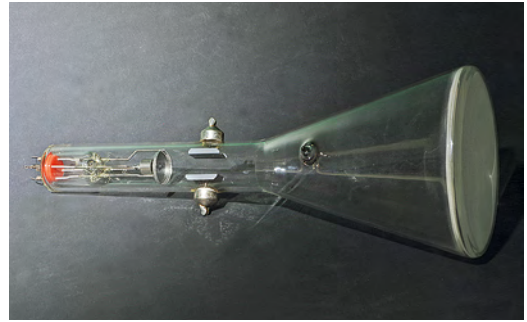


Abb. 2 Elektronenstrahlröhre

Die bekannteste Anwendung war die Bildröhre in Fernsehgeräten, Monitoren und Oszilloskopen, bei denen sie inzwischen weitgehend durch LED bzw. OLED abgelöst wurde.

Um die Vorgänge in einer Elektronenstrahlröhre verstehen zu können, werden hier noch einmal die Grundlagen dazu dargestellt:

1.1 Kräfte auf elektrische Ladungen

Das elektrische Feld ist ein physikalisches Feld, das durch die **Coulombkraft** \vec{F}_{el} auf elektrische Ladungen wirkt. Als Vektorfeld beschreibt es über die räumliche Verteilung der **elektrischen Feldstärke** \vec{E} die Stärke und Richtung dieser Kraft für jeden Raumpunkt.

Das **elektrische Feld** ist der Raum, in dem auf geladene Körper eine Kraft wirkt, die **elektrische Feldkraft** \vec{F}_{el} .

9 Joseph John Thomson (1856–1940), britischer Physiker, Nobelpreis für Physik 1906

10 Ernest Rutherford (1871–1937), neuseeländischer Physiker, Nobelpreis für Chemie 1908

11 Ferdinand Braun (1850–1918), deutscher Physiker, Lehrer, Nobelpreis für Physik 1909

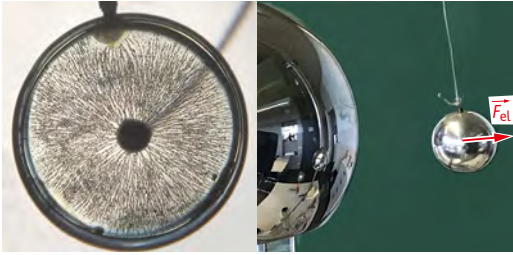


Abb. 1 Elektrisches Feld und Kraft auf einen geladenen Körper

Die elektrische Feldstärke \vec{E} ist definiert als Quotient aus der Feldkraft \vec{F}_{el} und der Ladungsmenge q der Ladung, auf welche die Feldkraft wirkt

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q} \quad \text{bzw.} \quad E = \frac{F_{el}}{q}$$

Für die **Kraft** auf einen geladenen Körper in einem **homogenen elektrischen Feld** gilt:

$$\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E} \quad F_{el} = q \cdot E$$



Abb. 2 homogenes elektrisches Feld

Dadurch, dass $F_{el} \sim U$ gilt, ergeben sich weitreichende Anwendungsmöglichkeiten. So zum Beispiel die Ablenkung eines Elektronenstrahls im von Ferdinand Braun entwickelten Oszilloskop.

Bei der Bildröhre eines Fernsehapparats erfolgt die Ablenkung über Magnetfelder.

Bestimmte Tintenstrahldrucker erzeugen einen kontinuierlichen Tröpfchenstrahl, der elektrisch aufgeladene Tintentröpfchen enthält und horizontal über das Papier geführt wird. Ein Ablenkplattenpaar lenkt bei Bedarf Tröpfchen in einen Auffangbehälter, solange eine Spannung angelegt ist. Durch An- und Abschalten der Spannung kann dann das Beschreiben des Papiers verhindert oder ermöglicht werden.

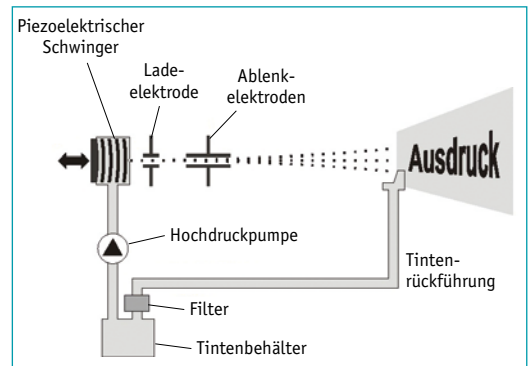


Abb. 3 Ablenkung geladener Teilchen (Tintentröpfchen)

Am Beispiel einer Braun'schen Röhre wird die Wirkung elektrischer Felder auf anfänglich „ruhende“ und bewegte Elektronen im Elektronenstrahl dargestellt.

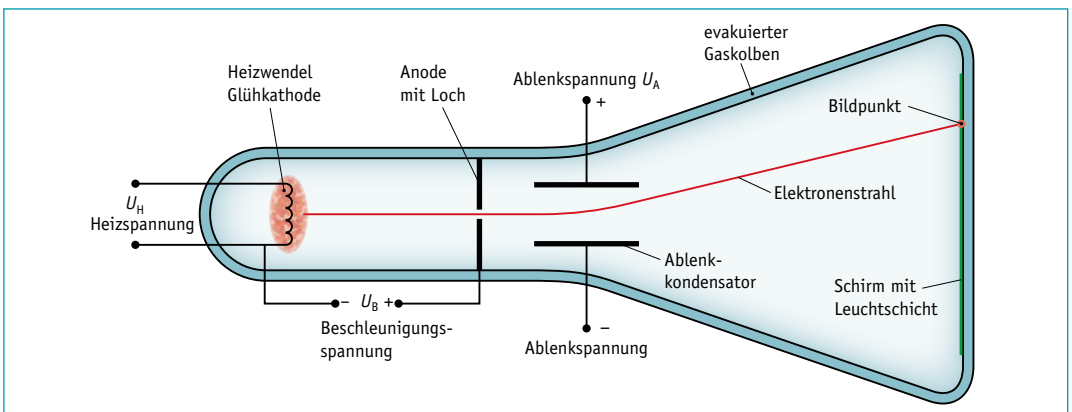


Abb. 4 Braun'sche Röhre