



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de



Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen (Teil I)

Dr. Rolf Winter, Potsdam

Skizzen zu den Versuchen: W. Zettlmeier



© INTERFOTO / TV-Yesterday

Abb. 1: Löwe-Radio von 1926



Abb. 2: modernes UKW-Röhrenradio mit 28 Röhren

Foto: Jörg Borchers. Quelle: <http://www.jogis-roehrenbude.de/Leserbriefe/Hammer/Hammer.htm>

II/C

Alte Radioempfänger trugen ihre wichtigsten Bauteile als Schmuck: eine Spule und eine Röhre. Mit einem Regler konnte man die Kapazität eines Drehkondensators so einstellen, dass sich ein bestimmter Sender empfangen ließ (links). Auch bei modernen Empfängern ist der Retrostil wieder gefragt (rechts). Wir beschreiben in diesem Beitrag nicht nur die physikalischen Grundlagen von elektromagnetischen Wellen, sondern gehen auch auf solche **Anwendungen** und interessante Schüler- bzw. Lehrerexperimente ein.

**Elektromagnetische Wellen
ermöglichen eine weltweite
Kommunikation!**

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 11/12

Dauer: 8 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ viele Experimente
- ✓ Demonstration der Eigenschaften elektromagnetischer Wellen

Inhalt:

- Entstehung elektromagnetischer Wellen
- Dipole und ihre Eigenschaften
- Ausbreitung elektromagnetischer Wellen
- Modulation und Demodulation
- Experimente zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen
- Prinzip der Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Als **elektromagnetische Welle** werden die Schwingungen gekoppelter elektrischer und magnetischer Felder bezeichnet, die sich räumlich ausbreiten. Man unterscheidet je nach Frequenz bzw. Wellenlänge **Radiowellen**, **Mikrowellen**, **Wärmestrahlung (Infrarot)**, **sichtbares Licht**, **Röntgenstrahlung** und **Gammastrahlung**. Elektromagnetische Wellen sind **Transversalwellen**. Ihre Auswirkungen werden nur durch eine Wechselwirkung mit Materie erkennbar.

In diesem Beitrag geht es um die Informationsübertragung mithilfe von Radiowellen, die auch als **Hertz'sche Wellen** bezeichnet werden. Radiowellen entstehen durch schwingende elektrische Dipole (Antennen). Ihre Existenz wurde 1865 von **J. C. Maxwell** (1831–1879) theoretisch vorhergesagt und von **H. Hertz** (1857–1894) 1888 an der Technischen Hochschule Karlsruhe experimentell nachgewiesen. Radiowellen erstrecken sich vom Bereich der Langwellen mit einer Wellenlänge von etwa 10 km bis in den Bereich der Mikrowellen mit ungefähr 1 mm Wellenlänge.

Aus der **Maxwell'schen Theorie** folgt, dass für eine effektive Abstrahlung der Radiowellen von einem Dipol ihre Frequenz mindestens 100 kHz betragen muss. Unterhalb dieser Frequenz bildet sich nur ein Nahfeld der gekoppelten elektrischen und magnetischen Felder um den Dipol. Während im Nahfeld zwischen den senkrecht aufeinander stehenden Vektoren für die elektrische und die magnetische Feldstärke eine Phasenverschiebung auftritt, sind in größerer Entfernung vom Dipol die Schwingungen der elektrischen und magnetischen Feldstärke phasengleich. Elektromagnetische Wellen breiten sich **mit Lichtgeschwindigkeit** im Raum aus.

Zur Beschreibung der Übertragung von Informationen bzw. Signalen gibt es zwei Betrachtungsweisen:

Im **Zeitbereich** wird das Signal als Zeitfunktion, z. B. als $U = f(t)$ dargestellt, im **Frequenzbereich** als **Amplituden-Frequenz-Spektrum**, z. B. als $U_{\max} = f(f)$.

Abb. 3 zeigt das Beispiel einer mit einer Diode gleichgerichteten sinusförmigen Wechselspannung. Der Übergang vom Zeitbereich in den Frequenzbereich kann rechnerisch durch Transformationsalgorithmen, z. B. **Fouriertransformation**, erfolgen. In den meisten Fällen gelingt die Erklärung eines Problems der Signalübertragung nur, wenn man beide Bereiche einbezieht. Ein Beispiel ist die Erklärung der Funktion eines einfachen Diodenmodulators.

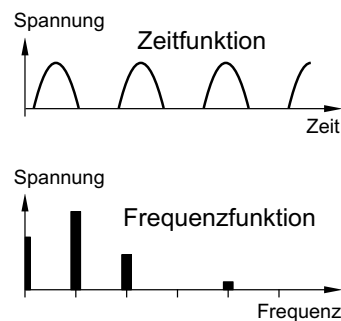


Abb. 3: gleichgerichtete Wechselspannung

Informationen, die in Sprache oder Musik enthalten sind, können nicht unmittelbar durch elektromagnetische Wellen übertragen werden: Der Frequenzbereich von wenigen Kilohertz ist für die Abstrahlung einer elektromagnetischen Welle vom Dipol zu klein. Deshalb müssen die zu übertragenden Signale in einen höheren Frequenzbereich umgesetzt werden. Dieses Verfahren nennt man **Modulation**. Dazu wird eine hochfrequente harmonische Schwingung benötigt, die so verändert wird, dass das Signal vollständig in diesen Veränderungen enthalten ist. Das niederfrequente Signal ist damit als solches nicht mehr vorhanden. Die Information ist im hochfrequenten Signal enthalten. Die Wellen werden also zur Informationsübertragung moduliert: Das zu übertragende Signal wird der elektromagnetischen Trägerwelle aufgeprägt.

Je nachdem, welche Größe der harmonischen Schwingung verändert wird, unterscheidet man **Amplitudenmodulation (AM)**, **Frequenzmodulation (FM)** und **Phasenwinkelmodulation (PM)**. Es gibt aber auch Kombinationen, z. B. wird das Fernsehbild amplitudenmoduliert und der Fernsehton frequenzmoduliert übertragen. Beim Empfänger muss aus der modulierten hochfrequenten Schwingung wieder die niederfrequente Signalschwingung gewonnen werden. Dieses Verfahren wird als **Demodulation** bezeichnet.

Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Für den Physikunterricht sind elektromagnetische Wellen ein interessantes Thema. Sie sind Ihren Schülern aus dem **Alltag** in vielerlei Hinsicht gut bekannt. Die Übertragung von **Sprache, Musik und bewegten Bildern** durch **Rundfunk** und **Fernsehen** ist eine Selbstverständlichkeit, genauso wie das Telefonieren mit **Handys** und **schnurlosen Telefonen**. Aber auch das Empfangen des Internets überall in einer Wohnung mithilfe von **WLAN**, die metergenaue Navigation eines PKW mit **GPS** sowie das Öffnen und Schließen von Autotüren mittels Funkfernbedienung ist für Schüler nichts Besonderes mehr.

Ein wesentliches Mittel zur effektiven Gestaltung des Lernprozesses ist die **Nutzung von Analogien zu den mechanischen Wellen** (siehe I/B Reihe 25 „Eine Einführung in die Lehre von den Schwingungen und Wellen“). Das gilt insbesondere für die Größen zur Beschreibung der Wellen und für ihre Eigenschaften.

Zur Übertragung von Sprache und Musik mithilfe elektromagnetischer Wellen müssen Sie den Schülern deutlich machen, dass es zur effektiven Abstrahlung elektromagnetischer Energie von einer Antenne notwendig ist, die niederfrequenten Tonschwingungen aus ihrem ursprünglichen Frequenzbereich in einen höheren umzusetzen, d. h. zu modulieren. Beschränken Sie sich dabei auf die **Amplitudenmodulation**, da diese sowohl aus fachdidaktischer als auch aus experimenteller Sicht leicht zu bewerkstelligen ist.

Eine interessante Alternative zur Gestaltung des Unterrichts sind **Simulationen** und **Animationen**. Gut gemachte Beispiele zum Thema elektromagnetische Wellen finden Sie im Internet (siehe Mediathek).

Bei den **Experimenten** mit elektromagnetischen Wellen im Physikunterricht müssen Sie unbedingt Folgendes beachten:

Alle Experimentieranordnungen zur Erzeugung Hertz'scher Wellen sind Funkanlagen, die dem **Telekommunikationsgesetz (TKG)** sowie dem Gesetz über die **Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (EMVG)** unterliegen, und die genehmigungspflichtig sind. Die zuständige Behörde ist die Bundesnetzagentur, die entsprechende Verwaltungsvorschriften für diese Genehmigungen erlassen hat. Im Abschnitt „**Demonstrationsfunk für Bildungseinrichtungen**“ sind die speziellen Bestimmungen für den Betrieb von Funkanlagen im Physikunterricht enthalten:

1. Die Funkanlage darf nur kurzzeitig und ausschließlich für physikalische Demonstrationsversuche benutzt werden.
2. Das Betreiben der Funkanlage im Freien sowie eine Funkübertragung außerhalb geschlossener Räume, insbesondere zwischen verschiedenen Gebäuden, ist nicht gestattet.
3. Für die Experimente stehen folgende Frequenzbereiche zur Verfügung, die genau einzuhalten sind: **433,92 MHz**, **2,45 GHz** und **9,4 GHz**.
4. Die Strahlungsleistung der Funkanlage darf 5 W nicht überschreiten.

Für die Experimente eignen sich speziell für den Physikunterricht hergestellte **Dezimeter-** und **Mikrowellensender**. Hier sind die Hersteller dafür verantwortlich, dass die gesetzlichen Bestimmungen hinsichtlich der freigegebenen Frequenzbereiche eingehalten werden. Unabhängig davon müssen Sie für den Betrieb dieser Sender eine Genehmigung bei der Bundesnetzagentur einholen. Vom Eigenbau eines Senders wird dringend abgeraten, da die genaue Messung der Senderfrequenz und der abgestrahlten Sendeleistung mit schulischen Mitteln kaum möglich ist. In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass in einigen Physikschulbüchern Experimentierschaltungen abgebildet sind, bei denen die oben angegebenen gesetzlichen Bestimmungen nicht eingehalten werden.

Eine Alternative zu den Realexperimenten sind **interaktive Bildschirmexperimente (IBE)**.

Sie stellen eine Weiterentwicklung des Realfilms dar und ermöglichen das Experimentieren am Computerbildschirm. Beispiele zum Thema elektromagnetische Wellen finden Sie im Internet (siehe Mediathek).

Ein Element der **Binnendifferenzierung** ist Material **M 8**.

Bezug zu den Physik-Lehrplänen (Beispiele)

Im Physik-Lehrplan der gymnasialen Oberstufe von Brandenburg finden Sie folgende Stichworte:

- elektromagnetische Schwingungen und Wellen,
- die Schüler erläutern qualitativ die Erzeugung und Ausbreitung elektromagnetischer Wellen am offenen Schwingkreis,
- die Schüler erklären qualitativ, wie Signale mithilfe elektromagnetischer Wellen übertragen werden können.

Im Lehrplan von Nordrhein-Westfalen werden im Inhaltsfeld „Elektrik“ elektromagnetische Schwingungen und Wellen untersucht.

Der Lehrplan von Bayern sieht für die Jahrgangsstufe 11/12 vor: „11.5 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen (ca. 24 Std.)“.

Der Lehrplan von Hessen schreibt zum Thema „Mechanische und elektromagnetische Wellen“: charakteristische Größen (Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Frequenz), Eigenschaften, Kommunikationstechnik.

Themen in der Jahrgangsstufe 11 in Sachsen sind: Dipol und Hertz'sche Wellen, Eigenfrequenzen eines Dipols, Senden und Empfangen Hertz'scher Wellen, Elektromagnetisches Nah- und Fernfeld, Eigenschaften Hertz'scher Wellen.

Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physikalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler ...	Anforderungsbereich
F 1, F 2, B 1, K 1, K 3, K 7	... können hinsichtlich der Eigenschaften von elektromagnetischen Wellen Vergleiche zu den mechanischen Wellen ziehen (M 1),	I–III
F 4, B 2, K 3	... kennen den Begriff „elektromagnetische Welle“ und können ihn aus den elektromagnetischen Schwingungen ableiten (M 2),	I, II
F 1, F 3, E 3, E 5	... können das Prinzip der Informationsübertragung mithilfe elektromagnetischer Wellen erklären (M 4),	I–III
E 7, E 8, E 9, E 10	... können physikalische Fragestellungen und Zusammenhänge zwischen mehreren physikalischen Größen mittels eines vorstrukturierten Experiments untersuchen (M 3, M 7, M 9),	I, II
K 5, K 6	... interpretieren experimentell gewonnene Daten im Hinblick auf die Fragestellung (M 3, M 7, M 9).	I, II

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden CD-ROM 42.

Mediathek

Meschede, Dieter (Hrsg.): Gerthsen Physik. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2006. S. 425-439. ISBN 364-2-12893-9

Lexikon der Physik. Band 5. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin 2000. S. 424-425. ISBN 382-7-41462-8

Lexikon der Physik. Band 2. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg Berlin 2000. S. 183/184. ISBN 382-7-41462-8

Wilke, Hans-Joachim (Hrsg.): Physikalische Schulexperimente. Band 2. Volk und Wissen Verlag, Berlin 1999. S. 211/212. ISBN 3-06-022298-3

Wilke, Hans-Joachim (Hrsg.): Physikalische Schulexperimente. Band 3. Volk und Wissen Verlag, Berlin 2002. S. 222-238. ISBN 3-06-022299-1

Kuhn, Jochen, Vogt, Patrick, Müller, Sebastian: Handys und Smartphones – Einsatzmöglichkeiten und Beispieleexperimente im Physikunterricht. IN: Praxis der Naturwissenschaften, 7/60 (2011). Aulis Verlag, Hallbergmoos. S. 5.

Beuth, Klaus: Nachrichtentechnik. Vogel-Buchverlag, Würzburg 2009. ISBN: 978-3-8343-3365-0

Internet-Adressen

Sehr zu empfehlen sind die Seiten von LEIFI Physik, die Grundwissen, Experimente und Simulationen zum Thema elektromagnetische Wellen bieten:

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/elektromagnetische-wellen>

Simulationsprogramme

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/13/vlu/spektroskopie/theorie/strahlung.vlu/Page/vsc/de/ch/13/pc/spektroskopie/theorie/strahlung/dipol2.vscml.html>¹

http://www.walter-fendt.de/ph6de/electromagneticwave_de.htm

¹ gesamten Link in eine Browserzeile kopieren!

Materialübersicht

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

M 1	WH	Frischen Sie Ihr Wissen auf!
M 2	Ab	Die Entstehung elektromagnetischer Wellen an einem Dipol
M 3	SV / LV	Experiment zur Verteilung der Feldstärken an einem Dipol
	⌚ V: 5 min	<input type="checkbox"/> Dezimeterwellensender für Unterrichtszwecke
	⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> $\lambda/2$ -Dipol mit 3 Glühlampen, je 3,8 V/70 mA
		<input type="checkbox"/> $\lambda/2$ -Antennenstab
		<input type="checkbox"/> Leuchtstofflampe, etwa 50 cm
		<input type="checkbox"/> PVC-Stab
		<input type="checkbox"/> Wolltuch
M 4	Ab	Informationsübertragung mit Radiowellen
M 5	Fo	Prinzip der Informationsübertragung mit Radiowellen
M 6	Ab	Die Modulation und Demodulation
M 7	LV	Ein Experiment zur Amplitudenmodulation
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> Sinusgenerator, 10 Hz bis 100 kHz
	⌚ D: 20 min	<input type="checkbox"/> HF-Halbleiterdiode, GA 100, AA 105 o. Ä.
		<input type="checkbox"/> Kondensator, 0,1 μF
		<input type="checkbox"/> Spule, 500 Windungen
		<input type="checkbox"/> Mikrofon
		<input type="checkbox"/> Stimmgabel
		<input type="checkbox"/> Tonquelle (Radio, CD-Player usw.)
		<input type="checkbox"/> 2 Drehwiderstände, 47 k Ω
M 8	Ab	Für Experten: Die Theorie der Amplitudenmodulation
M 9	LV	Ein Experiment zur Demodulation
	⌚ V: 15 min	<input type="checkbox"/> Quelle für amplitudenmodulierte Schwingung
	⌚ D: 30 min	<input type="checkbox"/> HF-Halbleiterdiode, GA 100, AA 105 o. Ä.
		<input type="checkbox"/> Kondensator, 0,47 μF
		<input type="checkbox"/> Widerstand, 4,7 k Ω
		<input type="checkbox"/> Oszilloskop

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 22.

Minimalplan

Bei Zeitknappheit lassen Sie das Material **M 8** weg.



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

