

Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen (II)

Dr. Rolf Winter, Potsdam

Die Navigation mithilfe des **Global Positioning Systems (GPS)** wird immer beliebter. Wenn die Antenne eines Navigationsgerätes „freie Sicht“ auf mindestens vier Satelliten des GPS-Systems hat, kann das Gerät anhand der empfangenen Satellitensignale die aktuelle Position sehr genau berechnen. „Freie Sicht“ bedeutet, dass die vom Satelliten ausgesandten hochfrequenten elektromagnetischen Wellen ungehindert die Antenne des Navigationsgerätes erreichen können. Mithilfe eines Datensatzes (einer „elektronischen Landkarte“), eines Algorithmus und eines entsprechenden Displays ist es möglich, eine sehr genaue Ziel-führung durchzuführen.



Abb. 1: Das Navi zeigt dem Autofahrer den Weg.

II/C

Teil II des Beitrags II/C,
Reihe 8, 42. EL, Febr. 2016!

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 11/12

Dauer: 9 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ interessante Experimente
- ✓ Erklärung der Vorteile der digitalen Informationsübertragung
- ✓ Einblick in die Geschichte der Informationsübertragung
- ✓ Vorschlag für eine Klausur

Inhalt:

- Experiment zur Informationsübertragung mit amplitudenmodulierten Dezimeter- und Zentimeterwellen (M 1)
- Experiment zur Informationsübertragung mit Lichtwellen (M 2)
- digitale Informationsübertragung (M 3)
- Beispiele für die **Anwendungen** der elektromagnetischen Wellen (M 4):
 - Wie funktioniert das Fernsehen?
 - Telefonieren mithilfe des Mobilfunks
 - Navigation mit GPS
 - Wie funktioniert WLAN?

„Die Welt wird immer digitaler – warum eigentlich?“

Dieser Frage gehen Sie im Unterricht aufgrund der enormen Vorteile der digitalen gegenüber der analogen Informationsübertragung mit Ihren Schülern nach (**M 3**). Wegen der vielen technischen Anwendungen der elektromagnetischen Wellen zur Informationsübertragung ist eine sehr gute **Alltagsorientierung** des Physikunterrichts möglich. Anhand von vier für Ihre Schüler relevanten Beispielen (**Fernsehen, Mobilfunk, Satellitennavigation und WLAN**) wird der konkrete Praxisbezug hergestellt.

Bezug zu den Physik-Lehrplänen (Beispiele)

Im Physik-Lehrplan der gymnasialen Oberstufe (Brandenburg) stehen die 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 4, B 2 K 3	... kennen den Begriff „elektromagnetische Welle“ und können ihn aus den elektromagnetischen Schwingungen ableiten,	I, II
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,	I–III
E 7, E 8, E 9, E 10	... können physikalische Fragestellungen mittels eines vorstrukturierten Experiments untersuchen (M 1, M 2),	I, II
K 5, K 6	... interpretieren die Vorteile der digitalen Informationsübertragung (M 3),	I, II
F 1, F 3 E 3, E 5	... können Anwendungen der Informationsübertragung mithilfe elektromagnetischer Wellen beschreiben (M 4).	I–III

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden CD-ROM 44.

M 1 Ein Experiment zur Übertragung von Informationen mit amplitudenmodulierten Dezimeter- und Zentimeterwellen

Aufgabe

Demonstrieren Sie die Übertragung von Sprache oder Musik mithilfe amplitudenmodulierter Dezimeter- oder Zentimeterwellen!

Lehrerversuch

⌚ Vorbereitung: 10 min

Durchführung: 20 min

Materialien

- ☐ Dezimeter- oder Mikrowellensender für Unterrichtszwecke
- ☐ Signalquelle, z. B. Funktionsgenerator, Mikrofon, MP3-Player
- ☐ NF-Verstärker mit Lautsprecher
- ☐ Oszilloskop

II/C

Versuchsaufbau

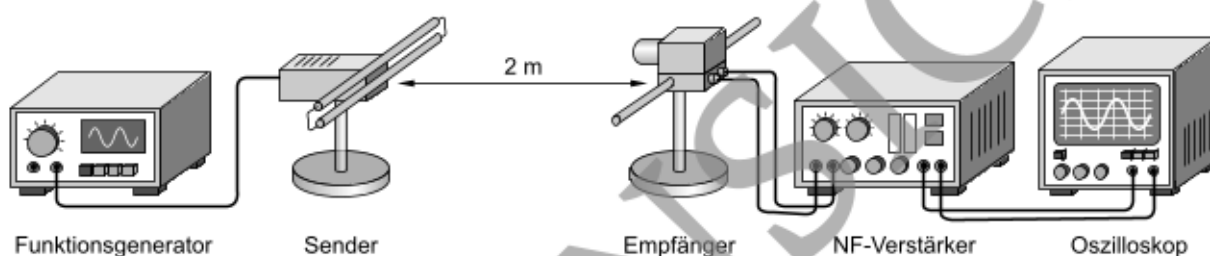


Abb. 5

Versuchsdurchführung

Schließen Sie an den Modulationseingang des Dezimeter- bzw. Mikrowellensenders eine Signalquelle für tonfrequente Schwingungen an. Das kann ein Sinusgenerator, ein Mikrofon oder auch der Kopfhörerausgang eines MP3-Players sein. Stellen Sie den Empfänger zunächst in einigen Metern Abstand vom Sender auf, und verbinden Sie seinen Ausgang mit einem NF-Verstärker. Das Oszilloskop schließen Sie parallel zum Empfängerausgang an. Vergrößern Sie dann den Abstand zwischen Sender und Empfänger.



Zur Selbstkontrolle – Ergebnis

Bei einem Abstand von 20–30 m zwischen Sender und Empfänger hat man noch einen sehr guten Empfang.

Tipp

Als NF-Verstärker können Sie auch einen Radiorekorder mit LINE-IN-Eingang verwenden.



Datenreduktion

Die digitale Signalübertragung hat aber auch einen großen Nachteil. Die bei der Digitalisierung anfallende Datenflut überlastet sämtliche Übertragungseinrichtungen und Speicher. Um beim Radfahren, Joggen oder auf dem Weg zur Schule die Lieblingsmusik in kleinen tragbaren Abspielgeräten hören zu können, müssen die Daten reduziert werden, allerdings ohne wesentlichen Qualitätsverlust. Dazu nutzt man aus, dass das menschliche Hörvermögen frequenzabhängig ist².

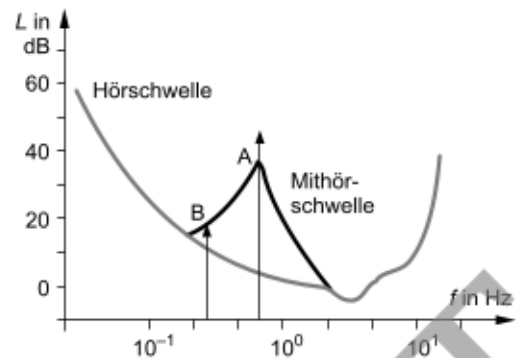


Abb. 10: Verlauf der Hörschwelle

Abb. 10 zeigt den Verlauf der Hörschwelle. Akustische Ereignisse unterhalb dieser Schwelle werden vom Menschen nicht mehr wahrgenommen. Die Hörschwelle ist allerdings nicht konstant: Ein lauter Ton (in Abb. 10 der Ton A) zieht die Hörschwelle in seiner Umgebung hoch – es entsteht die Mithörschwelle. Dadurch wird der Ton B, der ohne Anwesenheit von Ton A zu hören wäre, verdeckt (maskiert). Er sinkt unter die Hörschwelle. Bei einem **Klang** tritt dieser Effekt verstärkt auf, da der Klang eine Überlagerung von vielen einzelnen Sinusschwingungen darstellt. Das bedeutet, dass viele Schwingungsanteile durch andere mit hoher Lautstärke verdeckt werden. Diese verdeckten Anteile werden nicht gehört und brauchen deshalb auch nicht gespeichert oder übertragen zu werden. Dieses Verfahren wird als **MP3-Prinzip** bezeichnet, bei den MP3-Playern wurde der Name davon abgeleitet.

Merke: Digitale Signale ermöglichen eine nahezu störungsfreie Informationsübertragung. Die Umwandlung eines analogen in ein digitales Signal erfolgt in drei Schritten: **Abtastung, Quantisierung, duale Codierung**.

Werden zusätzlich zu den Nutzdaten noch weitere Hilfsdaten, z. B. Prüfbits, übertragen, können Übertragungsfehler erkannt und korrigiert werden. Durch Datenreduktion kann die sehr große Datenmenge, die bei der Digitalisierung eines analogen Signals entsteht, verringert werden. Eine Möglichkeit bietet das MP3-Prinzip.



Aufgaben

1. Begründen Sie, warum man mit einem 3-Bit-Code genau 8 Digitalwörter codieren kann, und erklären Sie die Möglichkeit, fehlerhafte Daten mithilfe von Prüfbits zu erkennen und zu korrigieren.
2. **Für Experten:** Das sog. Abtasttheorem des Informationstheoretikers Shannon besagt, dass ein analoges Signal mindestens zweimal pro Periode abgetastet werden muss, damit es der Empfänger wiederherstellen kann. Das bedeutet, dass die Abtastfrequenz f_{ab} mindestens doppelt so groß sein muss wie die höchste im Signal vorhandene Frequenz: $f_{ab} \geq 2 \cdot f_{sig,max}$. Allgemein (z. B. bei einer Rechteckschwingung) muss die Zerlegung nach **Fourier** beachtet werden!

Wie groß muss demnach die Mindestabtastfrequenz beim **Digitalradio DAB** sein?

Tipp Verwenden Sie die Lösung von Aufgabe 1 in M 8, Teil I, EL 42, Febr. 2016.

3. Beschreiben Sie den Verlauf der menschlichen Hörschwelle (Abb. 10).

² Zusätzlich zu der erwähnten Datenreduktion verwendet MP3 noch eine Datenkompression in Form einer speziellen Codierung (Huffman-Codierung).