

28 Grundlagen der elektromagnetischen Wellen

Vertiefung und Kompetenzüberprüfung

Martin Apolin (Stand April 2012)

Entstehung von EM-Wellen

A1 Man sagt, eine Welle ist die Ausbreitung einer Störung. Was ist damit gemeint? Gib Beispiele zur Entstehung von Wellen an. Was wird bei der Entstehung einer elektromagnetischen Welle (EM-Welle) gestört?

A2 Die Erzeugung von Mikrowellen im Mikrowellenherd erfolgt mit einem Magnetron (Abb. 1). In diesem sendet eine Kathode Elektronen aus, die sich auf Grund eines Magnetfeldes auf Kreisbahnen bewegen. Warum kann man auf diese Weise elektromagnetische Wellen erzeugen?

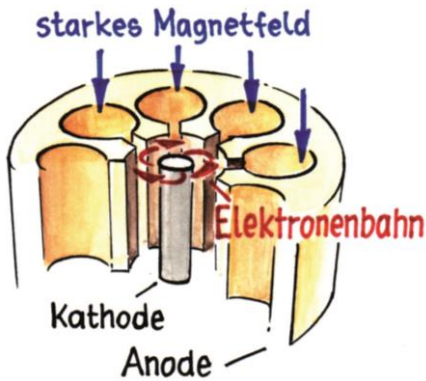


Abb. 1: Aufbau eines Magnetrons (Grafik: Janosch Slama).

A3 Beschreibe in Worten die 3. und 4. Maxwell'sche Gleichung. Verwende dazu Abb. 2.

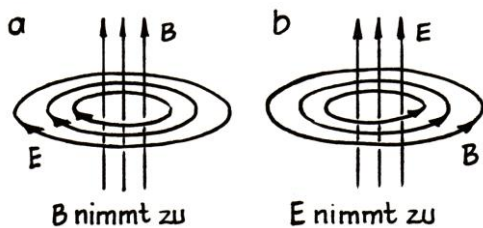


Abb. 2 zu A3 (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 28.7, S. 15)

A4 Erkläre mit Hilfe von Abb. 3, warum man durch eine beschleunigte Ladung einen elektromagnetischen Puls erzeugen kann. Verwende für deine Erklärung auch Abb. 2. Warum spielt die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der Information durch das elektromagnetische Feld eine wichtige Rolle?

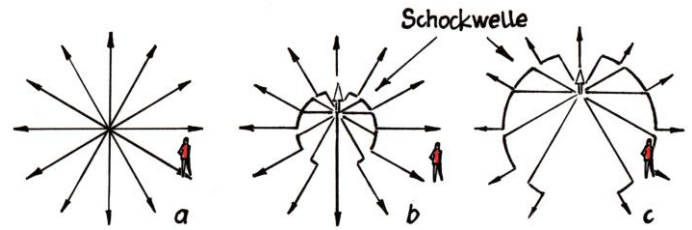


Abb. 3: Die Entstehung eines elektromagnetischen Pulses (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 28.4, S. 15).

A5 In Abb. 4 siehst du das Prinzip des Versuchs von HEINRICH HERTZ, dem 1886 im Experiment die Übertragung elektromagnetischer Wellen von einem Sender zu einem Empfänger gelang. Beschreibe in einfachen Worten die Funktionsweise des Versuchs.

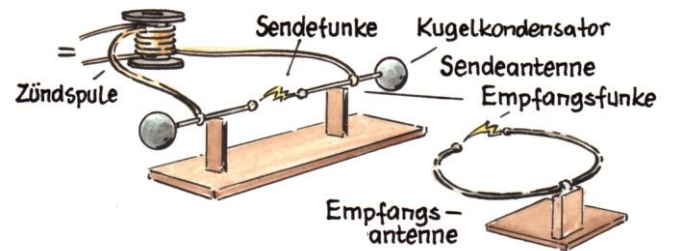


Abb. 4: Prinzip des Versuchs von Heinrich Hertz (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 31.2, S. 33).

A6 Das System Aldis (Austrian Lightning Detection and Information System) erfasst alle Blitze in Österreich. Wie könnte es vereinfacht gesagt funktionieren?

A7 Bei Röntgenröhren (Abb. 5 links) werden Elektronen in sehr hohen Spannungsfeldern (bis zu 250 kV) beschleunigt und prallen dann auf die Anode, also den Pluspol, auf. Dabei entsteht Röntgenstrahlung. Überlege, warum das so ist. Verwende dazu Abb. 5 rechts.

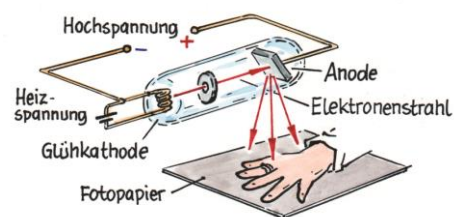
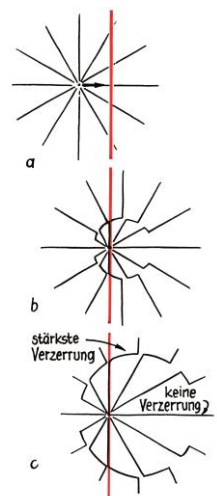


Abb. 5: links: Funktionsweise einer Röntgenröhre; rechts: elektrische Feldlinien beim Abbremsen einer Ladung (Grafiken: Janosch Slama).



Wichtige Eigenschaften von EM-Wellen

A8 Kurz vor 1900 suchte man verzweifelt nach einem Medium, das das Licht transportiert. Braucht Licht ein Medium? Warum suchte man nach einem solchen?

A9 Es gibt keine Wasserwellen ohne Wasser, keine Erdbebenwellen ohne Erde und keine Dauerwelle ohne Haare. Daher gibt es auch keine Lichtwellen ohne ...?

A10 Eine der Erkenntnisse der Speziellen Relativitätstheorie (siehe Kap. 38, BB8) ist, dass sich Information nicht schneller als mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten kann. Stell dir einmal vor, du hast eine ganz lange Stange, die du auf den Mond richtest. Dann beginnst du durch Hin- und Herbewegen der Stange eine Nachricht zu morsen. Müsste die Information in diesem Fall nicht eigentlich ohne Verzögerung, also instantan, am Mond ankommen?



Abb. 6: Kann man mit einem „Stangentelefon“ Information mit Überlichtgeschwindigkeit übertragen? (Grafik: Janosch Slama)

A11 Siehe dir Tab. 1 an. Welcher Zusammenhang zwischen Wellenart, Schwingungsrichtung und Wellengeschwindigkeit fällt dir auf?

A12 Im Folgenden hast du eine Aufzählung von Wellen bzw. von Objekten, die Wellen erzeugen. Versuche diese in die Tabelle einzuordnen: Saiteninstrumente, Seilwellen, Trommeln, Gongs, Schallwellen in Luftsäulen, Wasserwellen, Wellen entlang einer Schraubenfeder, Schallwellen in Festkörpern, elektromagnetische Wellen, Schallwellen in Flüssigkeiten bzw. Gasen und Erdbebenwellen.

		Wellen		
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
Wellenart	transversal			
	longitudinal			

Tab. 2 zu A12: Ordne die oben angeführten Wellen ein!

A13 In Tab. 3 siehst du Beispiele für Wellenlängen von Licht und Materie. Welcher Zusammenhang besteht zu Abb. 7? Überlege, wie groß die Wellenlängen im Vergleich zu einem Atomdurchmesser sind.

	Wellenlänge in m
rotes Photon	10^{-6}
UV-B-Photon	10^{-7}
Röntgenlicht-Photon (harte Strahlung)	10^{-11}
Elektron, 10^8 m/s (30 keV)	10^{-11}
„Fußballmoleküle“ (C60), 220 m/s	10^{-12}
Tennisball, 30 m/s	10^{-34}

Tab. 3: Größenordnungsmäßige Beispielswerte für Wellenlängen bei Licht und Materie (siehe auch Tab. 30.1, S. 31).

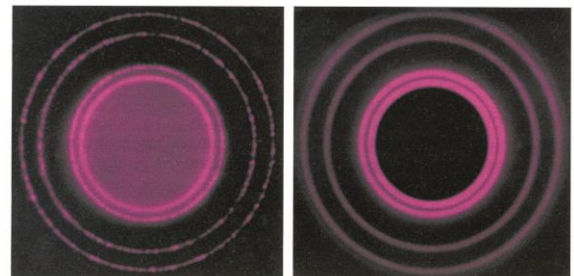


Abb. 7: Beugungsmuster einer elektromagnetischen Welle (links) und von Elektronen nach dem Durchqueren von Aluminiumpulver (siehe auch Abb. 19.10, S. 48, BB6).

Wellenart	Was schwingt?	Beispiel	Schwingungsrichtung	Medium nötig	v
mechanische Wellen	Materie	Schall-, Wasser- und Erdbebenwellen, ...	longitudinal und transversal	ja	$< c$
elektromagnetische Wellen	Kraftfeld (elektromagnetisches Feld)	Licht, Radiowellen, Handywellen, ...	nur transversal	nein	c
Gravitationswellen	Kraftfeld (Gravitationsfeld)	Wellen in der Raum-Zeit	nur transversal	nein	c
Materiewellen	Wahrscheinlichkeitsdichte	Atome, Moleküle, Elektronen, Protonen, ...	longitudinal und transversal	nein	$< c$

Tab. 1: Überblick über die verschiedenen Arten von Wellen (siehe auch Tab. 15.1, S. 51)

A14 Bei Schallwellen gibt es eine Schallmauer. Gibt es bei Licht auch eine „Lichtmauer“? Könnte ein Raumschiff diese durchbrechen? Welche der Möglichkeiten in Abb. 8 ist auch bei Lichtwellen möglich?

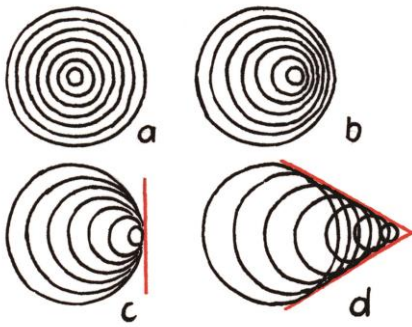


Abb. 8: Welleneffekte bei bewegter Quelle bei mechanischen Wellen (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 8, S. 103).

A15 Dein Raumschiff wird von einem schnelleren Meteor verfolgt (Abb. 9 a). Wie verändern sich dessen Relativgeschwindigkeit und Energie, wenn du das Raumschiff beschleunigst? Dein Raumschiff wird von einem Photon verfolgt (b). Wie ist es nun in diesem Fall?



Abb. 9 zu A12 (Grafik: Janosch Slama)

A16 MAXWELL konnte berechnen, dass sich die von ihm gefundenen EM-Wellen mit der Geschwindigkeit $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}$ ausbreiten. Für die elektrische Feldkonstante gilt $\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ und für die magnetische Feldkonstante gilt $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$.

a Berechne daraus die Lichtgeschwindigkeit und vergleiche mit dem Wert 299.792.458 m/s.

b Überprüfe die Einheit von c.

A17 Seit 1983 definiert man das Meter über die Zeit, die das Licht für diese Strecke benötigt. Diese Zeit ist unglaublich kurz, nämlich 1/299.792.458tel einer Sekunde

(also etwa der 300 Millionste Teil einer Sekunde). Du willst die Lichtgeschwindigkeit genauer messen, also sagen wir auch auf Zehntel oder Hundertstel genau. Du kaufst dazu das beste Equipment, das es am Markt gibt. Trotzdem wirst du scheitern. Warum?

A18 Was bedeutet die Definition des Meters für die elektrische Feldkonstante ϵ_0 ? Verwende für deine Antwort A16 und A17.

A19 Unter bestimmten Umständen kann es beim Fernsehen zu „Geisterbildern“ kommen (siehe Abb. 10), also zu störenden Doppelbildern. Diesen Effekt nennt man auch „Ghosting“. Im Zeitalter von Kabel- und Satellitenfernsehen ist dieser Effekt nicht mehr zu beobachten. Wie könnte er zu Stande kommen?



Abb. 10: „Ghosting“: störende Doppelbilder beim Fernsehen (Bild: GraYoshi2x; Quelle: Wikipedia).

A20 In manchen Physikbüchern gibt es kein Kapitel „Optik“, obwohl die Physik des Lichts sehr wohl besprochen wird. Unter welchem Kapitel muss man in diesem Fall nachschlagen? Überlege mit Hilfe von Abb. 11.

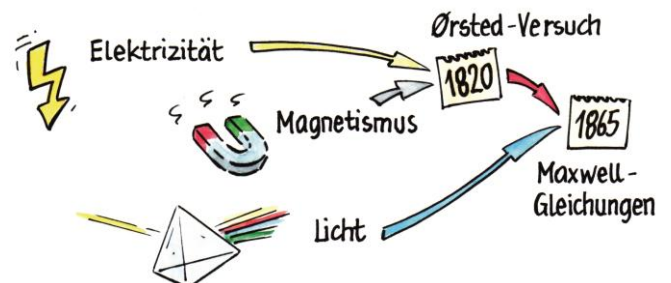


Abb. 11 zu A20 (Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 28.10, S. 17).

A21 Wenn du dich nahe an eine helle Glühbirne setzt, dann gibt diese pro Fläche mehr Energie an deine Haut ab als die prallste Sonne (Abb. 12). Trotzdem wirst du keinen Sonnenbrand bekommen! Warum?



Abb. 12 (Grafik: Janosch Slama)

Der Schwingkreis

A22 Erkläre mit Hilfe von Abb. 13, wie ein Schwingkreis funktioniert. Verwende für deine Erklärung die Begriffe Selbstinduktion, Ladung, Energie, gedämpfte und ungedämpfte Schwingung sowie Rückkopplung. Ziehe dabei auch eine Analogie zu einem schwingenden Pendel.

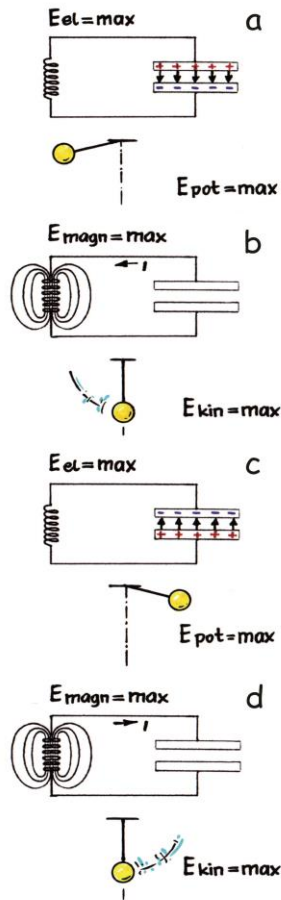


Abb. 13 zu A22 (Grafik: Janosch Slama)

A23 Der Abstimmkreis in einem Radioapparat hat eine Induktivität von 200 pH (pH = PicoHenry; siehe Kap. 31.6, BB7). Welchen Bereich in Farad (F) muss der Drehkondensator aufweisen, um den FM-Bereich (FM = Frequenzmodulation; siehe Kap. 36.2, BB7) zu erfassen? Verwende für deine Berechnung Tab. 4.

	Frequenzbereich	Bandbreite	Beispiele für Einsatz
AM	300 kHz–30 MHz	9 kHz	Amateurfunk, Flugfunk, Sprechradio (Kurz- und Mittelwelle)
FM	88 MHz–108 MHz	180 kHz	„normales“ Musikradio
		400 kHz	Musikradio mit Radio Data System (RDS)

Tab. 4 zu A23: Frequenz-Richtwerte für AM und FM.

A24 Die Elektronen in einer Antenne schwingen in der Mitte am stärksten und am Rand gar nicht. Deshalb ist in der Mitte die Stromstärke am höchsten (Abb. 14).

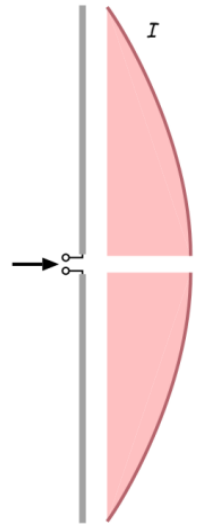


Abb. 14 (Quelle: Wikipedia)

a Überlege mit Hausverstand, warum das gar nicht anders sein kann.

b Man nennt Antennen auch „ $\lambda/2$ -Dipol“. Begründe diese Bezeichnung.

c Welche Analogie aus der Mechanik gibt es, bei der eine ähnliche Schwingung auftritt wie in Abb. 14?

A25 Wie lang muss eine Sendeantenne sein, damit man damit den Musiksender Ö3 mit 99,9 MHz übertragen kann? Verwende dazu die Gleichung $c = \lambda \cdot f$. c ist die Lichtgeschwindigkeit ($3 \cdot 10^8$ m/s) und f die Frequenz des Senders.

A26 Warum ist das Resonanzverhalten einer Antenne nicht scharf ausgeprägt? Mit anderen Worten: Warum darf eine Antenne bei einem Radio ein bisschen länger oder kürzer sein, als sie eigentlich sein sollte? Verwende für deine Erklärung Abb. 15.

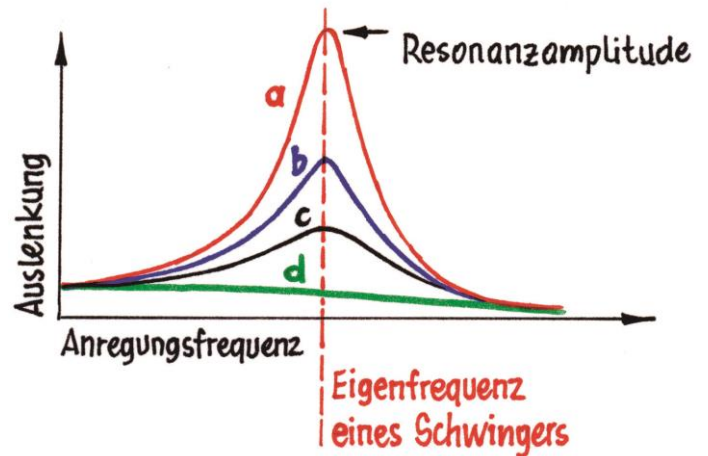


Abb. 15: Zusammenhang zwischen Anregungsfrequenz und Amplitude der Schwingung bei verschiedenen starken Dämpfungen (a = schwache Dämpfung, d = starke Dämpfung).

(Grafik: Janosch Slama; siehe auch Abb. 18.36, S. 36, BB6)

Hilfe zu A1: Bei einer Flüssigkeitswelle wird z. B. die ruhende Wasseroberfläche gestört. Beim Donner wird die ruhende Luft durch die plötzliche Ausdehnung der Luft im Blitzkanal gestört. Bei einer elektromagnetischen Wellen wird das elektrische Feld durch die Beschleunigung einer Ladung gestört (siehe Abb. 3).

Hilfe zu A2: Um eine elektromagnetische Welle erzeugen zu können, braucht man beschleunigte elektrische Ladungen. Eine Kreisbahn bedeutet immer eine Beschleunigung. Deshalb senden die Elektronen in Abb. 1 elektromagnetische Wellen aus.

Hilfe zu A3: 3. Gleichung (Abb. 2 a): Wenn sich ein Magnetfeld ändert, ist es von ringförmig geschlossenen elektrischen Feldlinien umgeben. Das ist eine andere Formulierung des Induktionsgesetzes (Kap. 28.1). Während bei einem elektrostatischen Feld die Feldlinien Anfang und Ende haben, sind sie im elektrodynamischen Feld geschlossen. 4. Gleichung (Abb. 2 b): Wenn sich ein elektrisches Feld ändert, ist es von ringförmigen geschlossenen Feldlinien umgeben. Nicht nur Ströme, sondern auch veränderliche elektrische Felder erzeugen also magnetische Wirbelfelder.

Hilfe zu A4: Was muss man stören, um eine elektromagnetische Welle auszulösen? Ein elektrisches Feld! Die Feldlinien in Abb. 3 zeigen radial nach außen und geben Information darüber, wo sich die Ladung befindet. Nun wird die Ladung nach oben weg bewegt, also beschleunigt (b und c). Die Information über diese Bewegung kann sich aber nur mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Daher „wissen“ außerhalb eines kreisförmigen, sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitenden Bereichs die Feldlinien noch nichts von der Bewegung der Ladung, wodurch ein Knick entsteht. Das ist die Störung, und das Weiterlaufen dieser Störung ist die elektromagnetische Welle.

Ein veränderliches elektrisches Feld erzeugt aber ein magnetisches Feld und ein veränderliches magnetisches Feld erzeugt ein elektrisches Feld (siehe A3). Veränderliche elektrische und magnetische Felder erzeugen einander gegenseitig. Sie sind untrennbar miteinander verbunden und bilden gemeinsam eine elektromagnetische Welle. Das erklärt, warum der vorbeilaufende Knick des elektrischen Feldes auch eine magnetische Komponente besitzt.

Hilfe zu A5: Mit einer Art Zündspule wird ein Funke erzeugt. Dieser löst in den Antennen Ladungsschwingungen aus – EM-Wellen entstehen. Wenn die Empfangsstation in

Resonanz gerät, dann springt zwischen den Metallkugeln ebenfalls ein Funke über.

Hilfe zu A6: Elektromagnetische Pulse (EMPs) werden durch beschleunigte Ladungen ausgelöst. Vor einem Blitz sind die Ladungen in Ruhe, während des Blitzes fließen sie. Die Beschleunigung der Ladungen löst einen EMP aus, der von ALDIS gemessen werden kann.

Hilfe zu A7: Wie und warum entstehen Röntgenstrahlen? So wie alle anderen EM-Wellen durch beschleunigte Ladungen! Je stärker die Beschleunigung (in diesem Fall die Abbremsung), desto stärker die Knicke in den Feldlinien und desto höher die Energie der Strahlung. In der Praxis beschleunigt man Elektronen durch sehr hohe Spannungen und lässt sie dann aufprallen. Die stärkste Abstrahlung erfolgt unter 90° zur ursprünglichen Bewegungsrichtung, weil dort die Feldlinien am stärksten verzerrt werden (Abb. 5 rechts).

Hilfe zu A8: Um 1900 nahm man an, dass Licht eine Welle ist. Alle Wellen brauchten nach der damaligen Vorstellung jedoch ein Medium, wie eben Wasserwellen das Wasser brauchen und Erdbebenwellen die Erde (siehe Tab. 1). Deshalb suchte man nach einem Medium, das die Lichtwellen transportiert und nannte dieses den Äther. 1905 konnte ALBERT EINSTEIN aber auf theoretischem Wege zeigen, dass Licht und elektromagnetische Wellen allgemein kein Medium zur Ausbreitung brauchen. Das ist deshalb möglich, weil man sie als Welle und Teilchen zugleich betrachten kann, und fliegende Teilchen brauchen kein Medium. Die Erkenntnis, dass Licht kein Medium zur Ausbreitung braucht, ist eine der Grundlagen der Relativitätstheorie.

Hilfe zu A9: Das ist eine Kontrollfrage zu A8. 1905 konnte ALBERT EINSTEIN auf theoretischem Wege zeigen, dass Licht und elektromagnetische Wellen allgemein kein Medium zur Ausbreitung brauchen. Das ist deshalb möglich, weil man sie als Welle und Teilchen zugleich betrachten kann, und fliegende Teilchen brauchen kein Medium.

Hilfe zu A10: Wenn du dein Ende der Stange bewegst, komprimiert sich das Material etwas, und diese Kompressionswelle kann mit maximal Lichtgeschwindigkeit durch die Stange laufen, erst dann kann sich das Ende am Mond bewegen. Du erzeugst also eine Longitudinalwelle. Gäbe es eine völlig unkomprimierbare Substanz, so würden sich beide Enden gleichzeitig bewegen, und du könntest Information zum Mond – und überall hin - unendlich schnell übertragen.

Die Relativitätstheorie verbietet also interessanter Weise indirekt, dass es unkomprimierbare Stoffe gibt und somit „Stangentelefone“, die schneller als herkömmliche Handys sind, denn diese übertragen mit Lichtgeschwindigkeit!

Hilfe zu A11: Kraftfelder schwingen nur transversal und die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist c .

Hilfe zu A12: Tab. 5 gibt einen Überblick über einige wichtige Wellen. Wenn man sie nach ihrer Schwingungsart und den Dimensionen einteilt, in denen sie sich fortbewegen können, ergeben sich sechs Bereiche.

		Wellen		
		1-dimensional	2-dimensional	3-dimensional
Schwingungsart	transversal	Wellen in den Saiten von Instrumenten, Seilwellen	Wellen auf Trommeln und Gongs, Wasserwellen, Erdbebenwellen	Schallwellen in Festkörpern, elektromagnetische Wellen, Erdbebenwellen
	longitudinal	Schallwellen in Luftsäulen, Wellen entlang Schraubenfeder	Wasserwellen, Erdbebenwellen	Schallwellen in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen, Erdbebenwellen

Tab. 5: Wichtige Vertreter der Wellenfamilie

Hilfe zu A13: Unter bestimmten Bedingungen ist die Wellenlänge von Röntgenlicht und schnellen Elektronen gleich groß (Tab. 3). Deshalb müssen die Beugungsmuster auch gleich aussehen (Abb. 7). Der Durchmesser eines Atoms liegt in der Größenordnung von 10^{-10} m. Bereits die Wellenlänge von hartem Röntgenlicht und von schnellen Elektronen unterschreitet diese Größe.

Hilfe zu A14: Materielle Objekte können die Lichtgeschwindigkeit niemals erreichen, sie können sich nur beliebig nahe an diese annähern. Das ist eine der Kernaussagen der Speziellen Relativitätstheorie (siehe Kap. 41, BB8). Deshalb ist der Sprung durch die Lichtmauer nicht möglich. Dabei müsste ja die Geschwindigkeit des Raumschiffs sogar größer als c werden. Für elektromagnetische Wellen im Vakuum sind daher die Abbildungen 7 c und d (S. 5) niemals möglich.

Hilfe zu A15: Wenn du von einem Meteor verfolgt wirst und deine Geschwindigkeit erhöhst, dann sinkt die Relativgeschwindigkeit und mit ihr die Energie des Meteors. Wie ist das aber, wenn du von einem Photon verfolgt wirst? Ein Photon hat immer c ! Aber Licht hat nicht nur Teilchen-, son-

dern auch Welleneigenschaften. Wenn du Licht als Welle betrachtest und du beschleunigst, dann muss sich auf Grund des Doppler-Effekts die Frequenz verringern, weil sich die Relativgeschwindigkeit zwischen dir und der Lichtquelle erhöht. Die Frequenz des Photons verschiebt sich in Richtung des roten Bereichs des Spektrums, und man spricht daher von Rotverschiebung. Dadurch wird die Energie des Photons trotzdem geringer (weil $E = h \cdot f$), obwohl seine Geschwindigkeit gleich bleibt. Das ist schon erstaunlich!

Hilfe zu A16 a: Durch Einsetzen der Werte erhält man für c den Wert 299.792.458 m/s, was natürlich genau der Definition der Lichtgeschwindigkeit entsprechen muss.

Hilfe zu A16 b: Für die Berechnung der Einheit der Lichtgeschwindigkeit gilt

$$[c] = \left[\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} \right] = \frac{1}{\sqrt{\frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\text{s}^2}{\text{m}^2}}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Hilfe zu A17: Durch die Definition ist c untrennbar mit dem Meter verbunden. Du kannst c daher nicht genauer messen, weil es genau so definiert wurde.

Hilfe zu A18: Durch Maxwells Entdeckung wurde die elektrische Feldkonstante ε_0 mit der Lichtgeschwindigkeit verbunden. Diese ist aber per Definition seit 1983 auf einen fixen Wert festgelegt. Daher ist seit 1983 die elektrische Feldkonstante ε_0 auf einen fixen Wert festgelegt, der sich nicht mehr verändern kann, denn auch μ_0 ist eine Konstante mit dem Wert $4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A².

Hilfe zu A19: Die elektromagnetischen Wellen können über ein Hindernis (Hochhaus, Kran, Wolken,...) zur Antenne reflektiert werden. Durch die Reflexion werden sie abgeschwächt und treffen mit zeitlicher Verzögerung ein. Daher erzeugen sie ein zweites, etwas schwächeres Bild. Dieser Effekt tritt daher nur beim Antennenfernsehen auf (terrestrisches Fernsehen), nicht aber bei Kabelfernsehen und auch nicht beim Empfang von Satellitensignalen, weil in diesem Fall die Welle ungestört die Satellitenschüssel erreichen kann.

Hilfe zu A20: Die Entdeckungen von ØRSTED und MAXWELL vereinigten Elektrizität, Magnetismus und Licht zum Elektromagnetismus. Unter diesem Kapitel muss man in manchen Büchern nachschlagen, um die Optik zu finden.

Hilfe zu A21: Diesen Effekt kann man nur mit Hilfe der Teilchennatur des Lichts erklären. Wenn du nahe einer Glühbir-

ne sitzt, dann nimmt die Haut tatsächlich mehr Energie auf, als durch die Sonnenstrahlung. Die Gesamtenergie ist aber nicht der springende Punkt, sondern die Energie, die ein *einzelnes* Photon trägt. Die Zellen der obersten Hautschicht werden nämlich nur dann beschädigt, wenn die Photonen eine bestimmte Mindestenergie erreichen, und bei sichtbarem Licht ist das Gott sei Dank nicht der Fall. Sonst würdest du im Scheinwerferlicht einen Mordssonnenbrand bekommen. Die Photonen des UV-B-Lichts haben aber mehr Energie und können somit einen Sonnenbrand verursachen.

Hilfe zu A22: Zunächst muss der Kondensator durch eine Spannungsquelle aufgeladen werden (a). Dann wird er entladen. Durch den Stromfluss baut sich in der Spule ein Magnetfeld auf (b). Wenn der Kondensator entladen ist, bricht das Magnetfeld zusammen. Dadurch kommt es in der Spule zur Selbstinduktion (siehe Kap. 31.6, BB7), die den Stromfluss noch etwas aufrechterhält, wodurch sich der Kondensator gegengleich auflädt (c). Dann läuft alles wieder retour (d + a) und fängt von neuem an.

Aber nicht nur die Ladungen schwingen, sondern auch die Energie. Einmal befindet sich diese im elektrischen Feld (a und c), einmal im magnetischen (b und d). Ähnlich ist es bei einem schwingenden Pendel. Dabei wandeln sich potenzielle und kinetische Energie ineinander um. Wenn du ein Pendel nur einmal anstupst, dann wird es bald auspendeln, weil immer eine gewisse Menge an Energie in Form von Wärme verloren geht. Dadurch entsteht eine gedämpfte Schwingung. Wenn du aber im richtigen Zeitpunkt Energie zuführst, indem du am höchsten Punkt antauchst, kannst du eine ungedämpfte Schwingung erzeugen. Beim Schwingkreis ist es vom Prinzip her genauso. Hier übernimmt jedoch eine elektronische Schaltung das „Antauchen“. Weil die Energiezufuhr vom Schwingkreis selbst ausgelöst wird, spricht man von einer Rückkopplung.

Hilfe zu A23: Der Bereich von FM-Radio liegt von 88 bis 108 MHz. Aus $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ folgt $C = \frac{1}{4\pi^2Lf^2}$. Wenn man nun beide Frequenzen einsetzt, erhält man $C = \frac{1}{4\pi^2Lf^2} = \frac{1}{4 \cdot 9,87 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot (88 \cdot 10^9)^2}$ F = $1,6 \cdot 10^{-8}$ F bzw. $C = \frac{1}{4\pi^2Lf^2} = \frac{1}{4 \cdot 9,87 \cdot 200 \cdot 10^{-12} \cdot (108 \cdot 10^9)^2}$ F = $1,09 \cdot 10^{-8}$ F. Diesen Bereich muss daher der Drehkondensator abdecken.

Hilfe zu A24 a: Am Rand können die Elektronen nicht schwingen, weil sie sonst aus der Antenne austreten würden.

Hilfe zu A24 b: Weil sich die Enden der Antenne wie die Platten des Kondensators wechselweise unterschiedlich laden, sagt man zu ihr auch Dipol! Die Stromstärke in der Mitte der Antenne hat einen Schwingungsbauch (maximale Amplitude) und ist am Rand null (Amplitude null). Das ist die Grundschiwingung einer stehenden Welle. Die Länge dieser Grundschiwingung entspricht der halben Wellenlänge ($\lambda/2$) der fortschreitenden elektromagnetischen Welle, und daher kommt die Bezeichnung „ $\lambda/2$ -Dipol“.

Hilfe zu A24c: Die Grundschiwingung einer schwingende Saite entspricht ebenfalls einer stehenden Welle mit der halben Wellenlänge. Allerdings ist diese Schwingung transversal. Auch die Grundschiwingungen in einer beidseitig geschlossenen Röhre entsprechen einer stehenden Welle mit der halben Wellenlänge. Diese Schwingung ist wie beim $\lambda/2$ -Dipol longitudinal.

Hilfe zu A25: Es gilt $\lambda = c/f$ und daher $\lambda/2 = c/(2f)$. Die Sendeanenne für Ö3 muss daher $3 \cdot 10^8 / (199,8 \cdot 10^6)$ m $\approx 1,5$ m lang sein.

Hilfe zu A26: Die Empfangsantenne beginnt selbst zu strahlen, so wie auch ein Resonanzkörper bei einem Musikinstrument Schall abstrahlt. Dadurch ist aber die Schwingung sehr stark gedämpft. Bei einer stark gedämpften Schwingung ist wiederum das Resonanzverhalten nicht sehr scharf ausgeprägt (siehe Abb. 15 c + d). Mit anderen Worten: Der Unterschied zwischen der idealen und nicht-idealen Anregungsfrequenz macht nicht so einen großen Unterschied.