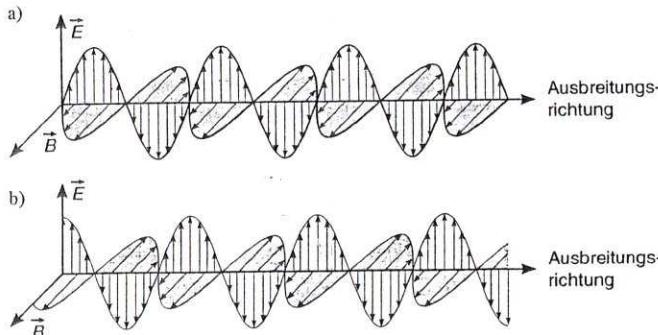


## 19.2 Wellencharakter der Dipolstrahlung

### 19.2.1 Dipolstrahlung als elektromagnetische Welle

Bereits Maxwell hat aus seiner Theorie über den Elektromagnetismus die Existenz **elektromagnetischer Wellen** gefolgert. Erst Heinrich Hertz gelang im Jahre 1886 der experimentelle Nachweis, dass ein Dipol elektromagnetische Wellen abstrahlt. Bei einer elektromagnetischen Welle schwingen nicht wie bei einer Seilwelle einzelne Körper (Oszillatoren), sondern die elektrische Feldstärke  $\vec{E}$  und die magnetische Flussdichte  $\vec{B}$ . Aus der Theorie Maxwells ergibt sich, dass  $\vec{E}$  und  $\vec{B}$  zu jedem Zeitpunkt aufeinander und auf der Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle senkrecht stehen.

B4 zeigt zwei Momentbilder einer elektromagnetischen Welle längs eines Wellenstrahls in größerer Entfernung vom Dipol.



Grundsätzlich führt jede beschleunigte Bewegung einer Ladung zur Abstrahlung einer elektromagnetischen Welle. Im Sendedipol führen die Elektronen eine oszillierende und damit beschleunigte Bewegung aus.

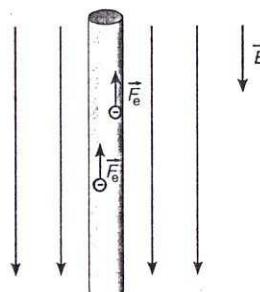
### 19.2.2 Empfang elektromagnetischer Wellen

Gelangt eine elektromagnetische Welle zu einem Empfangsdipol, so werden die Elektronen im Dipol durch das elektrische Feld der Welle zu Schwingungen angeregt (B5). So wird z. B. ein  $\lambda/2$ -Dipol in der Grundschwingung angeregt. Maximale Anregung erfolgt, wenn der Empfangsdipol parallel zum Feldstärkevektor  $\vec{E}$  der elektromagnetischen Welle steht. Da  $\vec{E}$  auch parallel zum Sendedipol ist, ergibt sich maximaler Empfang, wenn Sende- und Empfangsdipol parallel zueinander ausgerichtet sind (s. 19.1).

B4  
Momentbilder einer elektromagnetischen Welle längs eines Wellenstrahls  
a) zum Zeitpunkt  $t_1$   
b) zum Zeitpunkt  $t_1 + \Delta t$

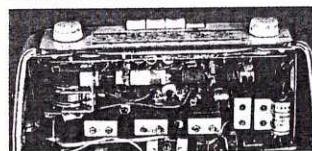
**R-Aufgabe**  
Drücken Sie den Wert von  $\Delta t$  (B4) durch die Periodendauer  $T$  aus.

B5  
Anregung eines Empfangsdipols durch das elektrische Feld der elektromagnetischen Welle  
Momentbild zum Zeitpunkt  $t$ ; elektrische Feldlinien parallel zu  $\vec{E}$  sind durch vier rote Pfeile markiert.

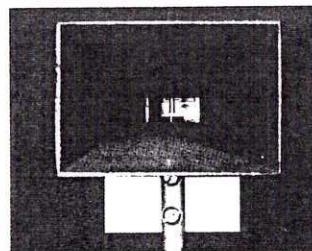


**R-Aufgabe**  
Wie sieht das Momentbild zum Zeitpunkt  $t + \frac{T}{2}$  aus?

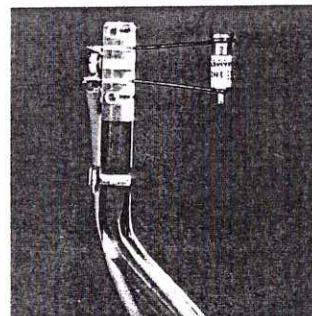
B6  
Empfang elektromagnetischer Wellen mit einer Ferritantenne



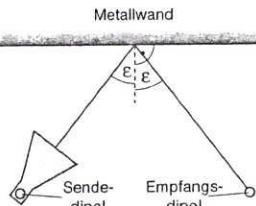
B7  
Sendedipol mit Trichter zur Bündelung der Dipolstrahlung



B8  
Empfangsdipol



B9  
Reflexion der Dipolstrahlen an einer Metallwand



Beim Empfang elektromagnetischer Wellen mit Dipolen wird nur das elektrische Feld der Welle benutzt. Auch das Magnetfeld eignet sich zum Empfang elektromagnetischer Wellen, wenn man eine Leiterschleife oder eine Spule verwendet, in der das magnetische Wechselsfeld eine Spannung induziert. Dies geschieht z. B. in einer Ferritantenne<sup>1</sup> bei Mittel- und Langwellenempfängern (B6). Eine Ferritantenne besteht aus einem Ferritstab aus eisenhaltigem Material auf dem die Schwingkreisspulen für die einzelnen Wellenbereiche (Mittelwelle oder Langwelle) deutlich erkennbar.

### 19.2.3 Stehende elektromagnetische Welle

Wir wollen uns in einem Experiment vom Wellencharakter der Dipolstrahlung überzeugen. Dazu verwenden wir einen Generator, der eine rund 20 mal so große Frequenz liefert wie unser bisheriger Sendedipol. Diese hochfrequente Strahlung ermöglicht es, im Physiksaal Versuche durchzuführen, die bei niedrigeren Frequenzen, z. B. durch Reflexion an den Wänden, stark gestört würden. Auf die Erzeugung der hochfrequenten Schwingungen kann nicht eingegangen werden.

Der Sendedipol ist in einem Trichter angebracht (B7), der die Strahlung bündelt (*Richtstrahlung*).

Der Empfangsdipol besteht nur aus einer Diode (B8). Parallel zur Diode wird wie in B2 ein Stromstärkemessgerät geschaltet. Halten wir den Empfangsdipol in das Strahlenbündel, so zeigt der Stromstärkemesser maximale Amplitude des Wechselstromes an, wenn Sende- und Empfangsdipol *parallel* stehen; dagegen ist die Empfangsstromstärke null, wenn die beiden zueinander *senkrecht* sind. Es besteht also kein wesentlicher Unterschied zu den Versuchsergebnissen von 19.1.

Wenn Dipolstrahlung Wellencharakter hat, dann muss es möglich sein, eine stehende elektromagnetische Welle zu erzeugen. Wir erinnern uns dazu an stehende Seilwellen, die dadurch zustande kommen, dass eine am Seil entlanglaufende Welle z. B. am festen Ende reflektiert wird und dann mit der ursprünglichen Welle zu einer stehenden Welle interferiert.

Zur Erzeugung einer stehenden elektromagnetischen Welle benötigen wir also einen Reflektor. Als solcher kann eine Metallwand dienen, wie ein Vorversuch zeigt (B9).

Wir richten die Strahlung des Sendedipols auf die Metallwand und suchen mit dem Empfangsdipol die reflektierte Strahlung. Dabei ergibt sich, dass die Dipolstrahlen an einer Metallwand so reflektiert werden, wie Lichtstrahlen an einem Spiegel.

1 Ferrit: Verbindung von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

## Dipolstrahlung als el.-magn. Welle

AB „Wellencharakter...“

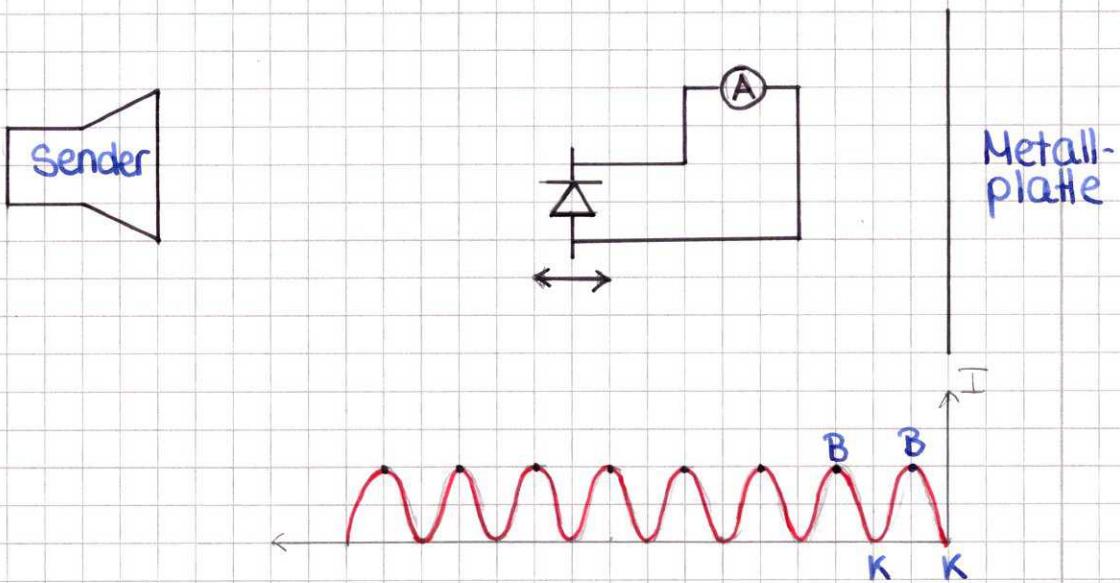
\* Momentanbilder längs eines Wellenstrahls

$$\begin{matrix} \vec{E} \perp \\ \vec{B} \perp \end{matrix} \quad \left. \begin{matrix} \text{Ausbreitungsrichtung} \\ \text{und } \vec{E} \perp \vec{B} \end{matrix} \right.$$

\* Empfang el.-magn. Wellen:  $\rightarrow AB$

\* Ausbildung einer stehenden Welle:

... bei senkrechtem Auftreffen d. Dipolstrahlung auf eine reflektierende Wand (z.B. Metallplatte):



Mit d. Empfangsdipol (Diode) stellt man Knoten (K) und Bäuche (B) einer stehenden Welle zwischen Sender und Metallwand fest.

Der Abstand zweier benachbarter Knoten ist  $\frac{\lambda}{2}$

$$\left. \begin{matrix} \text{Knoten 0: } 87,2 \text{ cm} \\ \text{Knoten 10: } 67,4 \text{ cm} \end{matrix} \right\} 19,8 \text{ cm} = 10 \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{\lambda}{2} = 1,98 \text{ cm} \Rightarrow \lambda = 3,96 \text{ cm} \approx 4 \text{ cm}$$

Die Wellenlänge der untersuchten Strahlung liegt im cm-Bereich. Derartige el.-magn. Wellen nennt man Mikrowellen.

Frequenz dieser Strahlung:  $C = \lambda \cdot f$

$$\rightarrow f = \frac{C}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m}}{0,04 \text{ m}} - 7,5 \cdot 10^9 \frac{1}{\text{s}} \approx 7,5 \text{ GHz}$$

## Wesentliche Erkenntnis:

Die von einem Dipol ausgehende el.-magn. Strahlung hat Wellencharakter → elektromagnetische Welle

Weitere Eigenschaften von (el.-magn.) Wellen

- \* Reflexion (z.B. an Metallplatte)  
(nach dem Reflexionsgesetz)
- \* Brechung (nach dem Brechungssatz)
- \* Beugung (s. unten)
- \* Interferenz (s. später)
- \* Polarisation (siehe auch (zu allem): Buch S. 162-163)