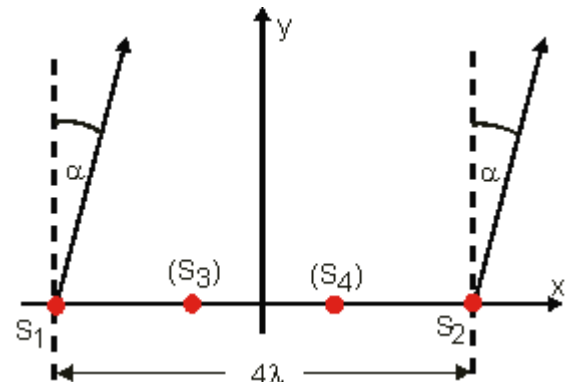


**1.Aufgabe:**

Ein Sendedipol der Länge 30 cm regt in einem Empfangsdipol der Länge 60 cm die 1. Oberschwingung an.

- a) Berechnen Sie die Frequenz der Schwingung des Sendedipols.
- b) Skizzieren Sie die Ladungsverteilung im Sende- und im Empfangsdipol, wenn jeweils das elektrische Feld seine maximale Stärke aufweist. Zeichnen Sie in zwei weiteren Skizzen die Stromverteilung in den Dipolen zu Zeitpunkten, in denen das magnetische Feld jeweils maximal ist. Zwei gleiche Sendedipole  $S_1$  und  $S_2$  strahlen gleichphasig mit gleicher Intensität  $I_0$  Wellen der Länge  $\lambda$  ab. Sie sind parallel im Abstand  $4\lambda$  aufgestellt (vgl. Skizze). Die Interferenz dieser Wellen wird in der  $xy$ -Ebene betrachtet, die durch die Mitten von  $S_1$  und  $S_2$  verläuft und auf den beiden Dipolen senkrecht steht. Die Entfernung des Empfangsdipols von  $S_1$  und  $S_2$  ist wesentlich größer als der Abstand der beiden Sender.

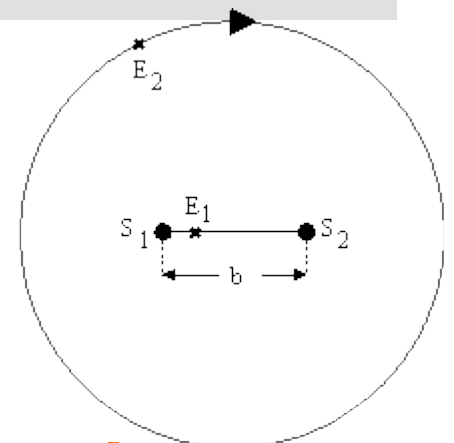


- c) Unter welchen Winkeln  $\alpha$  ( $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) überlagern sich beide Wellen zu maximaler Intensität? Zwischen  $S_1$  und  $S_2$  werden nun zwei weitere, gleichartige Sender  $S_3$  und  $S_4$  so aufgestellt, dass gleiche Abstände entstehen. Alle vier Sender sind parallel, schwingen gleichphasig und strahlen mit der Intensität  $I$ , Wellen der gleichen Wellenlänge  $\lambda$  wie vorher ab.
- d) Unter welchen Winkeln  $\beta$  ( $0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$ ) sind nun die Hauptmaxima zu finden? Skizzieren Sie qualitativ die Intensitätsverteilung zwischen zwei aufeinander folgenden Hauptmaxima.

**2.Aufgabe:**

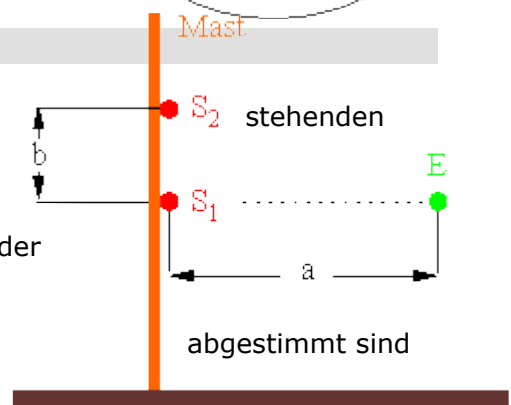
Zwei gleichartige Sendedipole  $S_1$  und  $S_2$  sind parallel zueinander im Abstand  $b = 4,0\text{m}$  aufgestellt (vgl. Schnittzeichnung). Sie schwingen gleichphasig und emittieren elektromagnetische Wellen mit  $\lambda = 1,0\text{m}$ .

- a) Ein Empfänger  $E_1$  wird auf der Verbindungslinie von  $S_1$  und  $S_2$  verschoben. Erklären Sie die mit dem Empfänger  $E_1$  gemachten Beobachtungen detailliert.
- b) In großem Abstand werde nun ein Empfänger  $E_2$  in einer Ebene senkrecht zu den Dipolen einmal im Kreis um die Dipole herumgeführt. Wie viele Maxima werden festgestellt? Rechnerische Begründung!



**3.Aufgabe: UKW-Sender - Richtcharakteristik**

Die Sendeanlage eines UKW-Senders besteht aus einem vertikal Mast, an dem zwei zueinander parallele, horizontal liegende Dipole  $S_1$  und  $S_2$  parallel übereinander angeordnet sind. Beide strahlen mit gleicher Phase und Amplitude elektromagnetische Wellen der Frequenz 100 MHz ab. Der Einfluss des Mastes und die Reflexion an der Erdoberfläche sollen im Folgenden vernachlässigt werden.



- a) Berechnen Sie die Länge der Dipole, die auf die Senderfrequenz und in der Grundschwingung angeregt werden.
- b) Der Sendedipol  $S_2$  befindet sich in einem veränderlichen Abstand  $b$  über  $S_1$  (vergleiche Skizze). Ein Empfangsdipol  $E$  ist parallel zu den Sendedipolen in gleicher Höhe wie der untere Sendedipol  $S_1$  im Abstand  $a = 10,0\text{ m}$  angeordnet. Bestimmen Sie den kleinsten Abstand  $b$ , für den sich der Empfangsdipol in einem Interferenzminimum befindetet.
- c) Wie bei vielen Sendern üblich, sollen nun die beiden Sendedipole im Abstand  $b = \lambda / 2$  übereinander angeordnet sein. Begründen Sie, weshalb diese Anordnung als Richtstrahler wirkt.

Ermitteln Sie dazu, in welchen Richtungen in der Zeichenebene man maximale bzw. minimale Intensität der Abstrahlung beobachtet.

d) Die beiden Sendedipole seien nun so am Mast befestigt, dass  $S_1$  sich 200 m über der Erdoberfläche befindet;  $S_2$  ist wieder um  $\lambda/2$  über  $S_1$  montiert. Der Empfänger befindet sich in 5,00 km Entfernung auf derselben Höhe wie der Fuß des Mastes. Damit am Ort des Empfängers die Empfangsintensität möglichst groß wird, lässt man die Dipole mit etwas verschobener Phase senden. Berechnen Sie eine geeignete Zeitdifferenz zwischen den Signalen der Sender.

#### 4. Aufgabe: Mittelwellen

Ein Mittelwellenempfänger soll Radiosignale im Frequenzbereich von 530 kHz bis 1600 kHz empfangen.

a) Begründen Sie durch eine Rechnung, dass selbst bei der kürzesten in Frage kommenden Wellenlänge die benötigten Empfangsdipole bei Resonanzanregung auf Grund ihrer Länge in der Praxis nicht geeignet sind.

Statt eines Empfangsdipols verwendet man im Mittelwellenbereich sogenannte Ferritantennen. Diese sind im Wesentlichen Spulen mit Ferritkern, die mit einem Kondensator einen Schwingkreis bilden. Der Schwingkreis wird in Resonanz mit der zu empfangenden elektromagnetischen Welle abgestimmt. Die im Empfänger benutzte Ferritantenne hat eine Induktivität von 0,22 mH. Die Kapazität ist ein Drehkondensator und damit variabel.

b) Zwischen welchen Kapazitätswerten muss der Drehkondensator variiert werden können, damit über den gesamten oben genannten Frequenzbereich Resonanz möglich ist?

Im Gegensatz zum Empfang werden bei der Erzeugung von Mittelwellen durchaus Dipole eingesetzt.

c) Begründen Sie, warum die Dipolschwingungen stets gedämpft sind.

d) Mit der Aufschrift AM bei der Wahl Taste für den Mittelwellenempfang an einem Radiogerät bedeutet Amplitudenmodulation. Als Signal soll ein Ton mit bestimmter Frequenz übertragen werden. Zeichnen Sie qualitativ in einem geeigneten Diagramm die amplitudenmodulierte Trägerschwingung und kennzeichnen Sie die Schwingungsdauern von Träger- und Signalschwingung.

#### 5. Aufgabe: Mikrowellen

a) Geben Sie an, wodurch sich longitudinale und transversale Wellen grundsätzlich unterscheiden. Erläutern Sie, wie man experimentell untersuchen kann, zu welcher Kategorie Mikrowellen gehören.

b) Beschreiben Sie ein Verfahren zur Erzeugung stehender Mikrowellen und erläutern Sie, wie man damit ihre Wellenlänge bestimmen kann.

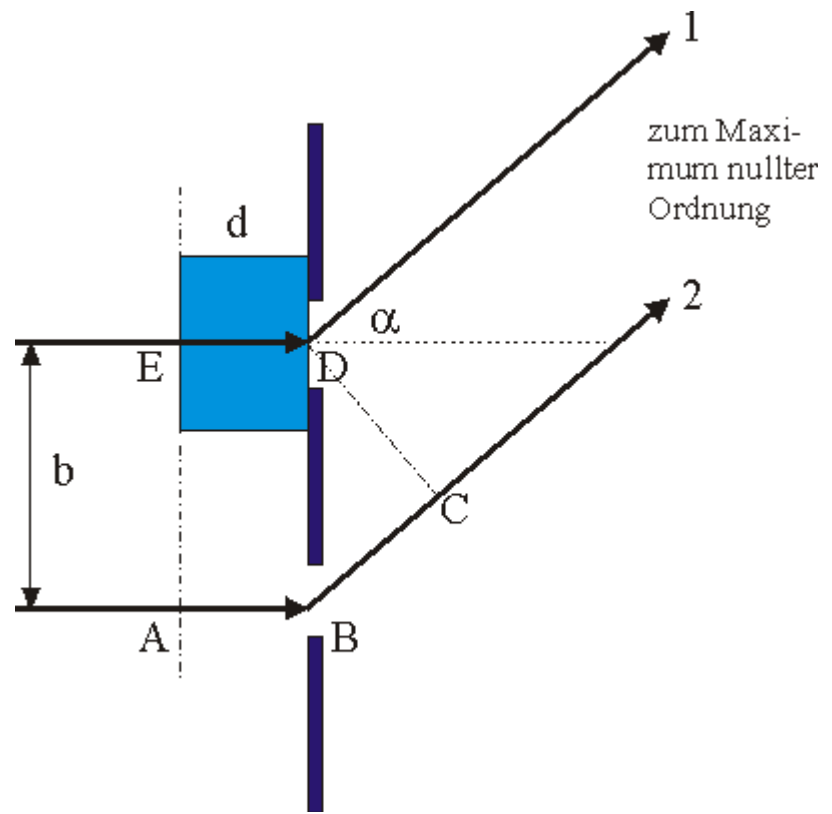
Mikrowellenstrahlung mit der Wellenlänge 2,6 cm trifft auf zwei vertikale parallele Spalte. Der Abstand der Spaltmitten beträgt 6,0 cm. Ein Empfangsdipol kann auf einem schwenkbaren Arm in einem hinreichend großen Abstand horizontal um den Mittelpunkt der Doppelspaltanordnung gedreht werden.

c) Berechnen Sie den Winkel, den die Richtungen zu den beiden Empfangsmaxima erster Ordnung einschließen.

d) Wie viele Maxima treten insgesamt auf?

Setzt man nun einen Glasquader der Dicke  $d$  vor den oberen Spalt, dann ist das Maximum nullter Ordnung um den Winkel  $\alpha$  gegenüber der ursprünglichen Ausbreitungsrichtung verschoben (siehe Abbildung).

In Glas breiten sich die Mikrowellen mit einer geringeren Geschwindigkeit  $c'$  als im Vakuum aus. Das Maximum nullter Ordnung ergibt sich, wenn benachbarte Teilwellen für ihre Wege die gleiche Laufzeit benötigen.



e) Ermitteln Sie mit Hilfe der Laufzeiten für die Wege  $E \rightarrow D$  einerseits sowie  $A \rightarrow B \rightarrow C$  andererseits

$$\frac{d}{c'} = \frac{d + b \cdot \sin \alpha}{c}$$

folgende Bedingung für das Interferenzmaximum nullter Ordnung:

f) Bei Verwendung eines 3,0 cm dicken Glasquaders wird das Maximum nullter Ordnung unter dem Winkel  $\alpha = 35^\circ$  gemessen. Berechne Sie daraus die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c'$  in dem verwendeten Glas.

### 6.Aufgabe: Dipolschwingungen

Ein Stabdipol kann induktiv zu erzwungenen Schwingungen angeregt werden.

- Welche Länge sollte ein Stabdipol haben, damit er in der Grundschiwingung bei einer Frequenz von  $f = 300 \text{ MHz}$  optimal schwingt?
- Sowohl die Schwingung eines aus realer Spule und Kondensator bestehenden Schwingkreises als auch elektromagnetische Dipolschwingungen sind gedämpft. Auf welchen unterschiedlichen Ursachen beruht hauptsächlich die jeweilige Dämpfung?

### 7.Aufgabe: Dipolschwingungen

Ein  $l = 1,00 \text{ m}$  langer Metallstab soll mittels einer Schwingkreisschleife induktiv zu seiner 2. Oberschwingung angeregt werden.

- Zeichnen Sie den Dipol im Maßstab 1 : 10 und kennzeichnen sie diejenigen Stellen, an denen man ihn induktiv zur zweiten Oberschwingung anregen kann. Begründung!
- Mit welcher Frequenz muss der Dipol durch den Schwingkreis angeregt werden?
- Zeichnen Sie für  $t = 0$  (maximales E-Feld) und  $t = T/4$  in zwei getrennten Skizzen die Momentbilder der Ladungs- und Stromverteilung am Dipol.

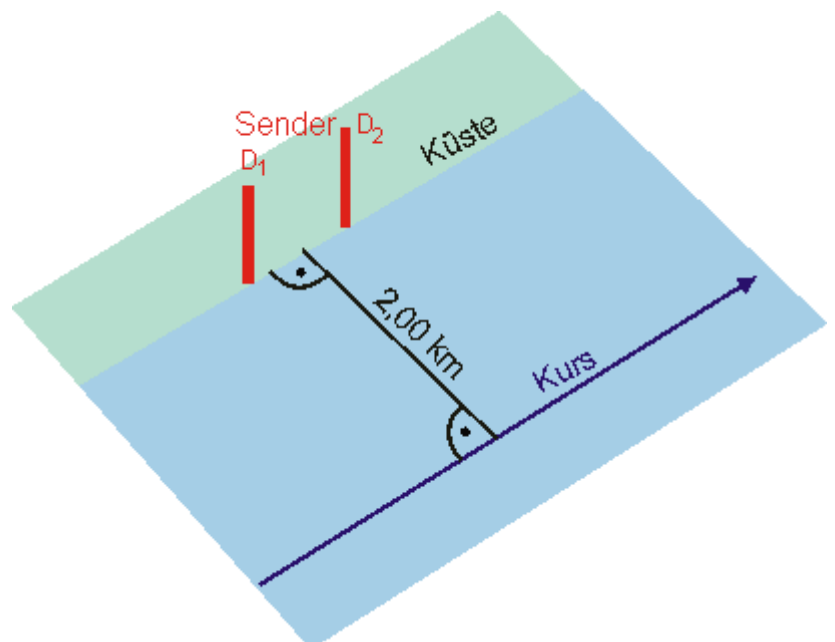
### 8.Aufgabe: UKW - Dipolstrahlung

Die Antennenanlage eines UKW-Senders besteht aus zwei gleich langen, vertikalen Dipolen  $D_1$  und  $D_2$ ; die Verbindungsgerade ihrer Mittelpunkte verläuft horizontal. Die Dipole schwingen gleichphasig mit der Frequenz 100 MHz, ihr Abstand beträgt 3,75 m.

- Wie lang muss jeder Sendedipol sein, damit er mit maximaler Amplitude schwingt? Geben Sie zwei möglichst kurze Dipollängen an.

Das Sendesignal soll von einem Schiff empfangen werden, das einen Kurs parallel zur Verbindungsgeraden im Abstand 2,00 km hält (siehe Skizze). Vom Empfangsmaximum 0. Ordnung P aus fährt das Schiff in der eingezeichneten Richtung weiter.

- In welcher Entfernung von P tritt erstmals minimaler Empfang auf?
- Begründen Sie, warum die Empfangsleistung gegen null geht, wenn sich das Schiff weit genug von P entfernt.
- Wie viele Stellen mit minimaler Empfangsleistung durchfährt das Schiff von P aus insgesamt? Begründen Sie Ihr Ergebnis.



### 9.Aufgabe: Oberschwingungen am Dipol

Ein Dipol wird an einen Schwingkreis mit der Schwingungsdauer  $T$  angekoppelt und zur ersten Oberschwingung angeregt. Der Zeitnullpunkt wird so festgesetzt, dass in diesem Augenblick jeder Punkt des Dipols gleiches elektrisches Potenzial aufweist.

- Skizzieren Sie die Strom- und die Ladungsverteilung längs des Dipols zu den Zeitpunkten  $0$ ,  $T/4$  und  $T/2$ .
- Wie lassen sich charakteristische Stellen der Strom- sowie der Ladungsverteilung experimentell nachweisen?
- Die vom Dipol ausgehende Strahlung trifft senkrecht auf eine Metallwand. Davor bildet sich eine stehende Welle aus. Welche Länge hat der Dipol, wenn die Entfernung zweier benachbarter Knoten  $24\text{ cm}$  beträgt?

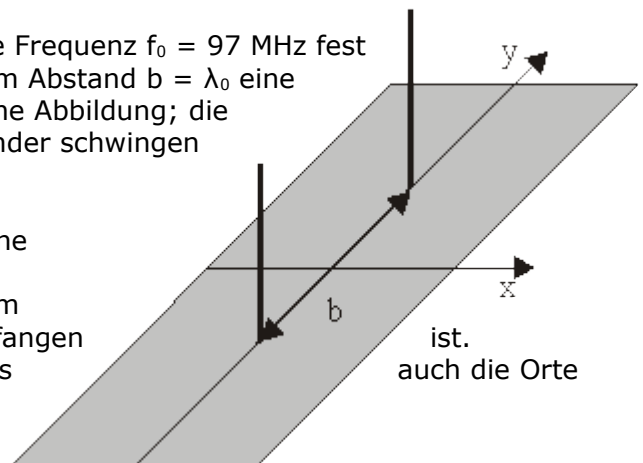
## 10. Aufgabe: - UKW - Sender

1. Ein UKW-Sender wird mit einem Schwingkreis betrieben, dessen Drehkondensator im Bereich  $4,0\text{ pF}$  bis  $6,0\text{ pF}$  eingestellt werden kann und dessen Induktivität  $L = 0,55\text{ }\mu\text{H}$  beträgt. Die Abstrahlung der elektromagnetischen Wellen erfolgt über eine Stabantenne, die senkrecht zur Erdoberfläche steht.

- Berechnen Sie den Frequenz- und Wellenlängenbereich, in dem die Antenne sendet.
- Die Stabantenne hat eine Länge von  $1,55\text{ m}$ . Bei welcher Frequenz  $f_0$  ist die Energieübertragung vom Sendeschwingkreis auf die Antenne optimal? Auf welchen Wert muss die Kapazität des Kondensators dafür eingestellt werden? [zur Kontrolle:  $f_0 = 97\text{ MHz}$ ]

Der den Sender speisende Schwingkreis wird nun auf die Frequenz  $f_0 = 97\text{ MHz}$  fest eingestellt. Parallel zur vorhandenen Stabantenne wird im Abstand  $b = \lambda_0$  eine zweite Sendeantenne mit gleicher Länge aufgestellt (siehe Abbildung; die Stabantennen stehen senkrecht auf der Erde). Beide Sender schwingen mit gleicher Phase und Amplitude.

- Erläutern Sie, warum die Anordnung beider Sender eine Richtwirkung besitzt.
- Bestimmen Sie alle Richtungen, in denen das Signal im Fernfeld besonders gut bzw. besonders schlecht zu empfangen. Zeichnen Sie diese in ein  $x$ - $y$ -Koordinatensystem ein, das der Sendeantennen enthält.



2. Der Grundgedanke der Rundfunktechnik besteht darin, akustische Schwingungen von Sprache oder Musik in elektrische Schwingungen umzuwandeln und diese durch Modulation einer hochfrequenten elektromagnetischen Trägerwelle aufzuprägen.

- Erläutern Sie am Beispiel eines der beiden üblichen Verfahren das Prinzip der Modulation. Bei Ultrakurzwellen wird vom Empfänger das ankommende elektrische Feld, bei Mittel- und Langwellen das magnetische Feld genutzt.
- Wie muss dementsprechend die Empfangsantenne für Ultrakurzwellen beziehungsweise für Mittel- und Langwellen gebaut und ausgerichtet sein?

In einem Empfängerkreis mit  $L = 0,55\text{ }\mu\text{H}$  und  $C = 4,9\text{ pF}$ , der als idealer Schwingkreis mit seiner Eigenfrequenz schwingt, wird mit einem Oszilloskop der Scheitelwert der Wechselspannung zu  $U_m = 0,60\text{ V}$  gemessen.

- Berechnen Sie den Scheitelwert  $I_m$  der Stromstärke.

## 11. Aufgabe: Wellenlängenmessung der Dipolstrahlung

### 1. Schwingkreis

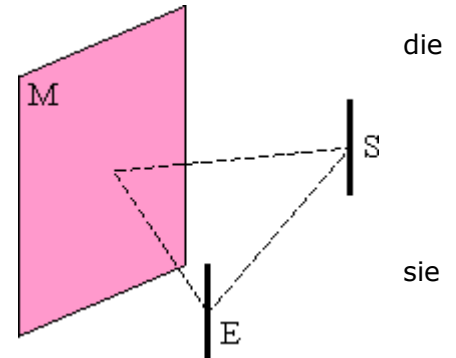
Ein Schwingkreis erzeugt eine ungedämpfte elektromagnetische Schwingung der Frequenz  $f = 750\text{ MHz}$  und soll einen frei stehenden Dipol in der Grundschiwingung anregen.

- Berechnen Sie die Länge  $l$  dieses Dipols.
- Erläutern Sie anhand von Diagrammen zur Stromstärkeverteilung die elektrischen Vorgänge, welche sich in dem Dipol während einer Periode abspielen. Wie lässt sich diese Verteilung experimentell zeigen?

## 2. Sender vor Metallwand

Von einem Sendedipol S geht elektromagnetische Strahlung aus, vom Dipol E empfangen wird

a) Bringt man eine Metallwand M in geeigneter Lage an (siehe Skizze), so beobachtet man eine Schwächung der von E empfangenen Strahlung. Erklären Sie diese Beobachtung.



b) Die skizzierte Anordnung soll nun so abgeändert werden, dass zur Bestimmung der Wellenlänge der Dipolstrahlung verwendet werden kann. Skizzieren Sie die neue Anordnung, und beschreiben Sie die Durchführung und Auswertung des Versuchs.

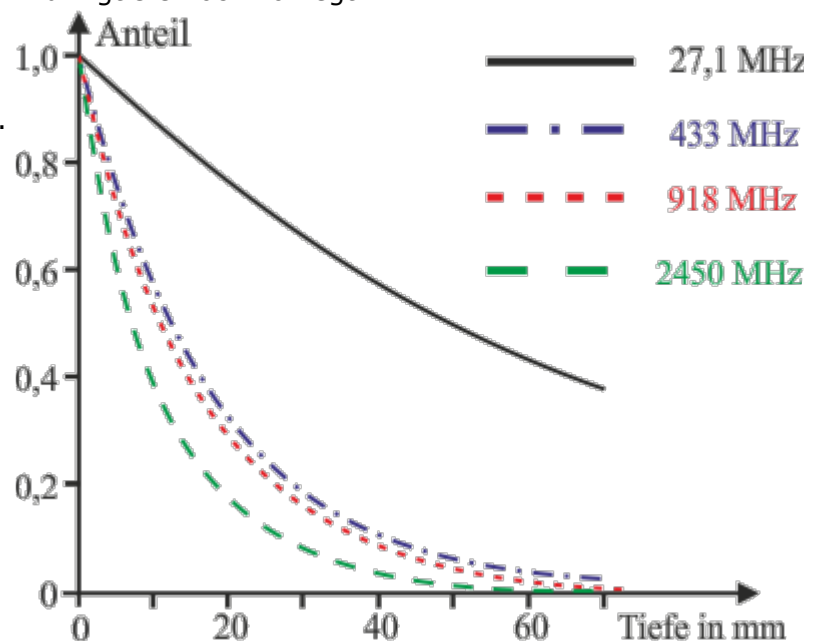
## 12. Aufgabe: - Mikrowellenofen

In einem Mikrowellenofen werden wasserhaltige Speisen dadurch erwärmt, dass die Wassermoleküle durch Mikrowellen der Frequenz  $f = 2,45\text{GHz}$  zu Schwingungen angeregt werden.

- Erläutern Sie, warum in Aluminiumfolie verpackte Lebensmittel ausgepackt werden sollten, bevor sie in den Mikrowellenofen gestellt werden.
- Berechnen Sie die Energie eines Photons der Mikrowellenstrahlung und begründen Sie, dass diese Strahlung nicht ionisierend wirkt.
- Berechnen Sie die Länge  $L$  eines Dipols, der in der Grundschwingung Wellen der angegebenen Frequenz abstrahlt. [zur Kontrolle:  $L = 6,12\text{cm}$ ]

Das nebenstehende Diagramm zeigt, wie stark elektromagnetische Wellen verschiedener Frequenzen in Muskelfleisch absorbiert werden. Auf der Hochwertachse ist angegeben, welcher Anteil der Anfangsintensität in der jeweiligen Eindringtiefe noch vorliegt.

- Entnehmen Sie dem Diagramm die Dicke eines Fleischstückes, das 70% der auftreffenden 2,45-GHz-Strahlung absorbiert. Wie oft müsste diese Strahlung das Fleischstück durchqueren (mit Reflexion an der Ofenwand), damit schließlich 99% der Strahlung absorbiert worden sind?



- Begründen Sie mit dem Diagramm, warum es ungünstig wäre, den Ofen mit einer wesentlich höheren Frequenz als 2,45GHz zu betreiben. Nehmen Sie dazu an, dass die im Diagramm erkennbare Frequenzabhängigkeit der Absorption auch bei noch höheren Frequenzen gilt

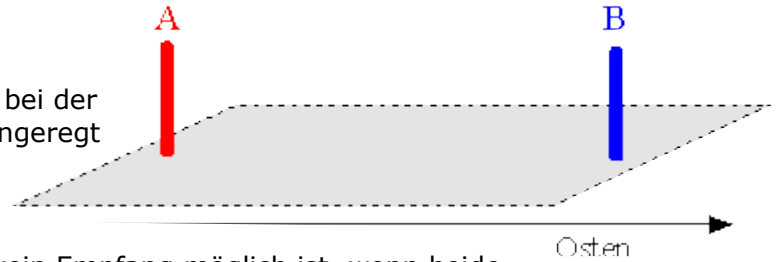
f) In einem Mikrowellenofen, dessen Innenmaße zwischen 30cm und 55cm liegen, kann sich zwischen zwei Seitenflächen eine stehende Welle ausbilden. Erklären Sie, warum die Speisen deshalb zur gleichmäßigen Erwärmung auf einen Drehteller gelegt werden, der sich in der Mitte der Mikrowelle befindet. Für welche Abmessungen des Innenraums ist gewährleistet, dass sich in der Mitte des Drehtellers kein Knoten des elektrischen Feldes ausbildet?

- Während des Garens kann man die Speisen im Ofen beobachten, ohne dass dabei Mikrowellenstrahlung nach außen gelangt. Erläutern Sie, warum dies mit einem gelochten Metallblech erreicht werden kann, das an einer Glasscheibe vorne am Ofen angebracht ist

## 13. Aufgabe: Voice of America

Bis zum Jahr 2005 strahlte der Sender "Voice of America" in Ismaning bei München sein Programm auf der Frequenz 1197 kHz in Richtung Osteuropa aus. Zwei der Dipolantennen A und B aus der Sendeanlage waren im Abstand  $\frac{3}{4}\lambda$  hintereinander nach Osten ausgerichtet und wurden mit gleicher Sendeleistung betrieben.

a) Berechnen Sie die Länge der Dipole so, dass bei der angegebenen Frequenz die Grundschiwingung angeregt wird.



b) Bestimmen Sie die Winkel gegenüber der Nord-Süd-Richtung, unter denen in Osteuropa kein Empfang möglich ist, wenn beide Dipole gleichphasig schwingen. Unter wie vielen Richtungen rund um die Sendeanlage ist demzufolge kein Empfang möglich?

Nach Planung der Sendeanlage sollten die beiden Dipole A und B so interferieren, dass in östlicher Richtung optimaler Empfang, dagegen in westlicher Richtung kein Empfang möglich sein sollte.

c) Begründen Sie, dass dieses geforderte Abstrahlverhalten grundsätzlich und unabhängig von ihrer Anordnung mit gleichphasigen Sendern nicht erreicht werden kann.

d) Erläutern Sie genau, gegebenenfalls auch mit Hilfe geeigneter Skizzen, dass das gewünschte

Abstrahlverhalten jedoch eintritt, wenn Sender A gegenüber Sender B in der Phase um  $\frac{3}{2}\pi$  vorausseilt.