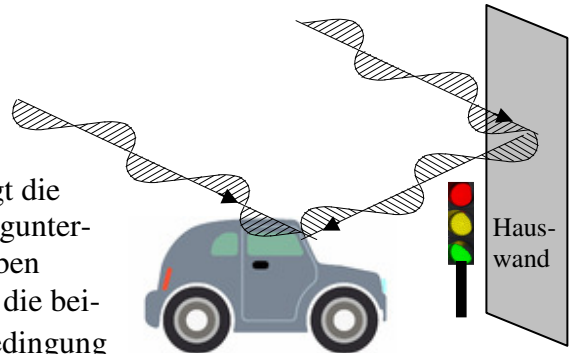


### 1) Stehende elektromagnetische Wellen.

Stoppt man mit dem Auto vor der Ampel, so setzt *manchmal* plötzlich der Empfang des Autoradios aus. Nach kurzem Anfahren ist wieder alles ok. Was ist geschehen? Die Rundfunkwelle wurde vielleicht an einer Hauswand reflektiert. Das Autoradio empfängt die Direkteinstrahlung *und* die Reflexion. Beträgt der Gangunterschied zwischen beiden eine ungerade Anzahl von halben Wellenlängen, also  $\lambda/2$ ;  $3\lambda/2$  usw., so löschen sich die beiden Wellen aus. Nach kurzem Anfahren stimmt die Bedingung für destruktive Interferenz nicht mehr und der Empfang ist wieder da.



### 2) Wellenbeziehung

Für alle Wellen gilt dieselbe Beziehung zwischen Wellengeschwindigkeit  $c$ , Wellenlänge  $\lambda$  und Schwingungsdauer  $T$ . Ersetzt man in  $v = \frac{s}{t}$  die beliebige Geschwindigkeit  $v$  durch  $c$ , die belie-

bige Wegstrecke  $s$  durch  $\lambda$  und die beliebige Zeit  $t$  durch  $T$ , so ergibt sich  $c = \frac{\lambda}{T}$ .

Beachtet man noch den Zusammenhang  $T = 1/f$  zwischen Schwingungsdauer  $T$  und Frequenz  $f$ , so erhält man die Wellenbeziehung  $c = \lambda \cdot f$ .

Zu der UKW-Frequenz  $f = 100 \text{ MHz} = 1 \cdot 10^8 \text{ Hz}$  gehört demnach die Wellenlänge  $\lambda = 3 \text{ m}$ .

Der erste Schwingungsbauch liegt dann bei  $\lambda/4 = 75 \text{ cm}$ . So lang sollte die Radioantenne für den UKW Empfang sein. Wechselstrom hat die Frequenz  $f = 50 \text{ Hz}$ . Die zugehörige Wellenlänge

beträgt dann  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{50 \cdot 1/\text{s}} = 6 \cdot 10^6 \text{ m} = 6 \cdot 10^3 \text{ km} = 6000 \text{ km}$ . Das übertrifft die üblichen

Entfernungen im Stromnetz erheblich, weshalb Reflexionen im Stromnetz unwesentlich sind.

### 3) Fernsehfrequenzen

Das analoge Fernsehen wird mit UHF = *Ultra Hoch Frequenz* von  $f = 200 - 800 \text{ MHz}$  übertragen. Bei  $f = 300 \text{ MHz} = 3 \cdot 10^8 \text{ Hz}$  ist die Wellenlänge  $\lambda = 1 \text{ m}$ . Die Stäbe der Empfangsantenne sind  $\lambda/2 = 50 \text{ cm}$  lang.

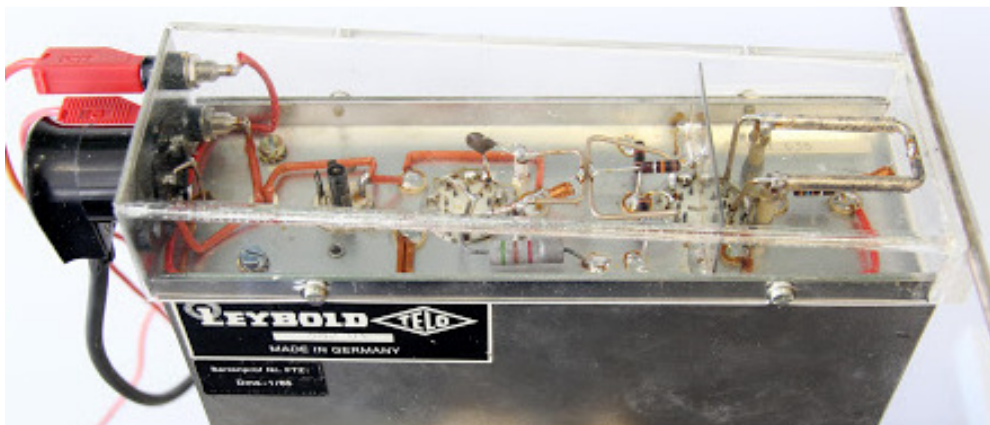
Von der Antenne wird das Signal mit einem Kabel zum Fernsehgerät übertragen. Das Kabel besteht aus zwei in festem Abstand parallelen in Kunststoff eingebetteten Drähten. Ein solches System heißt Lecherleiter. Wir untersuchen, wie sich die elektromagnetische Welle auf solch einem Doppelleiter ausbreitet.

Für den optimalen Empfang muss der Lecherleiter genau angepasst werden.



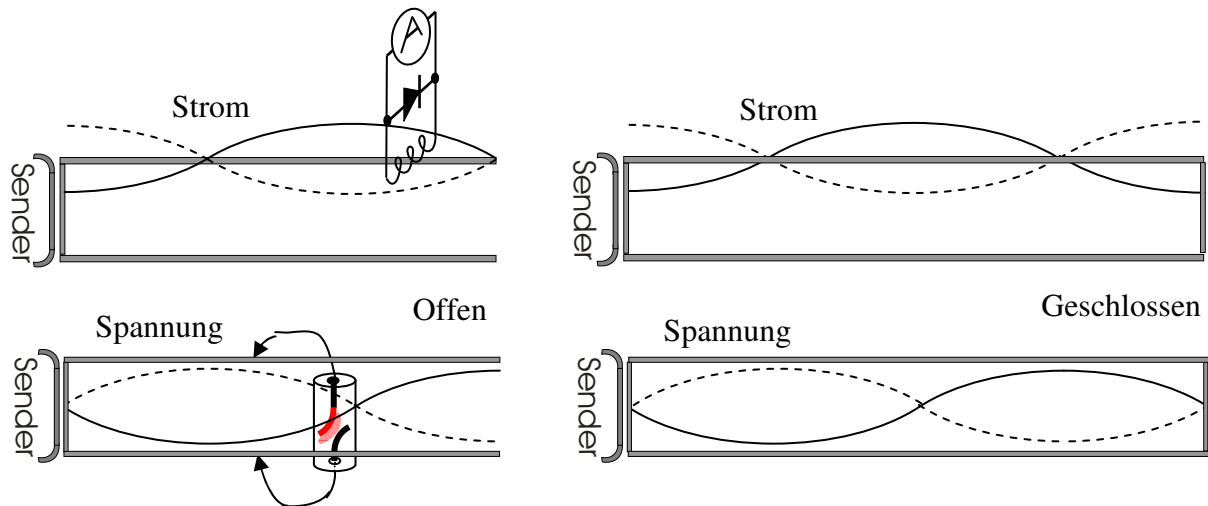
### 4) Das Lechersystem.

Zum Experimentieren dient ein Dezimeterwellensender mit  $f = 3 \text{ MHz}$  und  $\lambda = 0,1 \text{ m}$ .



Wir untersuchen solch ein Doppelleitersystem, bei welchem die Drähte an einem Ende U-förmig verbunden sind. Dieses Verbindungsstück dient dem Dezimeterwellensender als Antenne. Am anderen Ende können die Drähte entweder offen bleiben oder ebenfalls verbunden werden. Die vom Sender kommende elektromagnetische Welle läuft dann über das Leitersystem und wird auf der Gegenseite reflektiert, wodurch sich durch Überlagerung eine stehende elektromagnetische Welle mit Strombäuchen und -knoten, sowie Spannungsbäuchen und -knoten ausbildet. Die Strombäuche weist man induktiv mit Glühlämpchen oder Milliampere-meter nach, die Spannungsbäuche mit einem Glimmlämpchen. Stehende Wellen kennen wir vom Seil. Auch dort führt die Reflexion an *offenen* bzw. *geschlossenen* Ende zu unterschiedlichem Verhalten. Entsprechendes gilt auch für die stehende elektromagnetische Welle:

Verhalten am Ende	Phasensprung		Knoten / Bauch	
	Spannung $U$	Strom $I$	Spannung $U$	Strom $I$
geschlossen	$\pi$	0	Knoten	Bauch
offen	0	$\pi$	Bauch	Knoten



Beim offenen Ende passen 3, 5, 7, ...,  $(2n + 1)$  Viertelwellen auf die Leiterlänge.

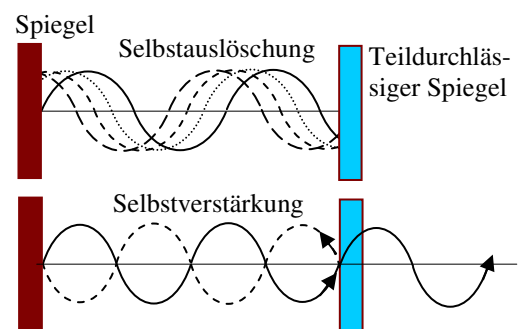
Beim geschlossenen Ende passen 2, 4, 6, ...,  $2n$  Viertelwellen auf die Leiterlänge.

Das Lechersystem dient, analog dem Kundt'schen Rohr in der Akustik, zur exakten Wellenlängen- bzw. Frequenzbestimmung eines Senders. An den Strombäuchen ist der Leiter maximal von Magnetfeldlinien umgeben, welche in der rechtwinklig *angehaltenen* Messspule einen Sekundärstrom induzieren. Bei den Spannungsbäuchen ist die elektrische Feldstärke *zwischen* den Leitern maximal, sie kann mit einer Glimmlampe nachgewiesen werden.

## 5) Laser

Zwischen einem voll reflektierenden Spiegel und einem Spiegel mit minimaler Durchlässigkeit werden elektromagnetische Wellen unterschiedlicher Wellenlängen eingestrahlt. Die meisten Wellen erfüllen die Resonanz-Bedingung *nicht*, sie passen nicht zwischen die Spiegel und löschen sich nach wenigen Reflexionen selber aus. Nur wenn eine ganzzahlige Anzahl von Wellenlängen zwischen die beiden Spiegel passt, tritt konstruktive Interferenz auf und es baut sich eine stehende Welle auf.

Von diesen Wellen kann dann durch den teildurchlässigen Spiegel auch noch Strahlung nach außen abgegeben werden.



## 6) Schumann-Resonanz

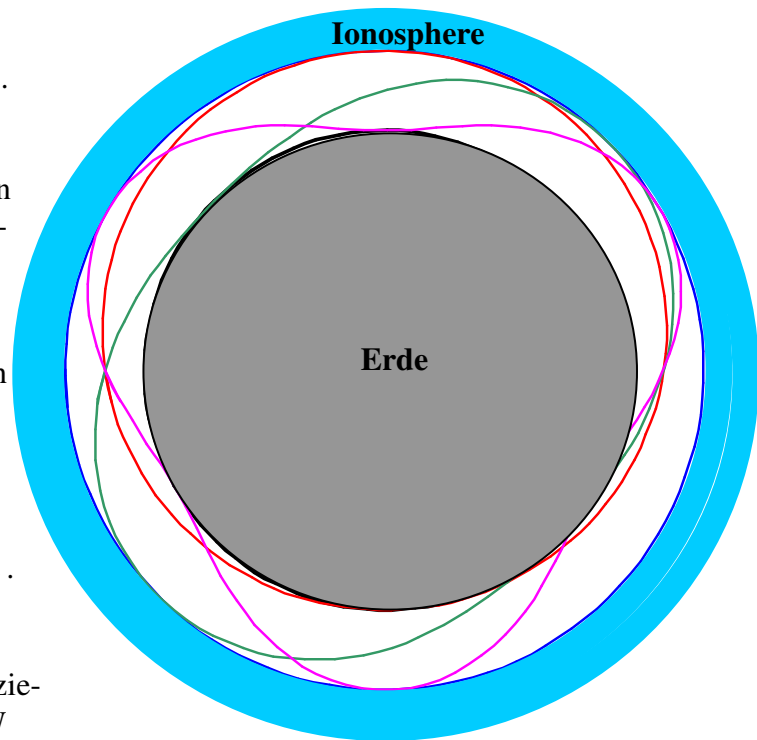
Auch die Ionosphäre und die Oberfläche der Erde bilden für elektromagnetische Wellen reflektierende „Wände“. Durch heftige Blitze bei schweren Gewittern ausgelöst, werden elektromagnetische Wellen vieler Frequenzen in diesen Raumbereich von allen möglichen Orten ausgesandt. Nur diejenigen Frequenzen, deren Wellenlängen die Resonanzbedingung erfüllen, verstärken sich. Alle übrigen löschen sich nach kürzester Zeit aus.

Die Resonanzbedingung fordert, dass der Erdumfang ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge ist.

Der Erdumfang beträgt  $U \approx 40\,000\text{ km}$ .

Die Forderung für die Wellenlänge  $\lambda$  lautet dann  $n \cdot \lambda = U$ , bzw.  $\lambda = U / n$ .

Einsetzen in die allgemeine Wellenbeziehung  $f = c / \lambda$  ergibt dann  $f = n \cdot c / U$



Anzahl $n$ der Wellenlängen auf den Erdumfang $U$	Wellenlänge $\lambda$ in $m$	Frequenz $f$ in $Hz$
1 (rot)	40000000,0	7,5
2 (grün)	20000000,0	15
3 (violett)	13333333,3	22,5
4	10000000,0	30
5	8000000,0	37,5
6	6666666,7	45
7	5714285,7	52,5

Diese Resonanzfrequenzen elektromagnetischer Wellen, welche unseren Planeten zwischen seiner festen bzw. flüssigen Oberfläche und seiner Ionosphäre umlaufen wurden tatsächlich gemessen. Sie werden nach ihrem Entdecker „Schumann-Resonanzen“ genannt.

Die tiefste dieser Resonanzfrequenzen liegt bei  $f_1 = 7,5\text{ Hz}$ .

Das menschliche Gehirn erzeugt bevorzugt in der Kindheit aber auch im Erwachsenenalter beim Einschlafen und während der Hypnose so genannte Thetawellen, bei welchen die Neuronen verschiedener Hirnbereich in gemeinsame Anregungszustände geraten.

Die Frequenz der Thetawellen in unserem Gehirn stimmt recht gut mit der Schumann-Grundfrequenz von  $f_1 = 7,5\text{ Hz}$  überein.

Ob Zufall oder nicht, - auf jeden Fall ist diese Tatsache faszinierend.

Die Resonanzfrequenz  $f_7 = 52,5\text{ Hz}$  liegt nahe bei der Wechselstromfrequenz von  $50\text{ Hz}$ .

Tatsächlich strahlen Hochspannungs-Freilandleitungen, die ja mit  $50\text{ Hz}$  betrieben werden, ebenfalls elektromagnetischen Wellen ab. Die angegebenen Schumannfrequenzen gelten wegen atmosphärischer Störungen und unterschiedlichen Reflexionsverhaltens auf Land und See nicht streng. Deshalb kommt es durchaus vor, dass von Hochspannungs-Freilandleitungen abgestrahlte elektromagnetische Wellen, um den Erdball herum kurzfristig stehende Wellen bilden.

