

Abschätzung der Dielektrizitätskonstanten von Wasser im Dezimeterwellenbereich

Versuchsziele

- Vergleich der Wellenlänge λ des Dezimeterwellensenders in Luft und in Wasser.
- Abschätzung der Dielektrizitätskonstanten ϵ von Wasser im Dezimeterwellenbereich.

Grundlagen

Dielektrische Stoffe schwächen das elektrische Feld zwischen den Platten eines Kondensators, wodurch die Kapazität zunimmt. Der Faktor, um den sich die Kapazität erhöht, heißt Dielektrizitätskonstante ϵ .

Elektromagnetische Wellen können sich auch in dielektrischen Stoffen ausbreiten. Allerdings ist ihre Phasengeschwindigkeit

$$c = \lambda \cdot \nu \quad (I)$$

λ : Wellenlänge, ν : Frequenz

in dielektrischen Stoffen, abhängig von der Dielektrizitätskonstanten, geringer als im Vakuum ($\epsilon = 1$). Es gilt

$$c(\epsilon) = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon}} \quad (II)$$

c_0 : Vakuumlichtgeschwindigkeit

Da Wassermoleküle ein permanentes Dipolmoment haben, ist die Dielektrizitätskonstante ϵ von Wasser hoch. Die Dielektrizitätskonstante von Luft kann dagegen in guter Näherung gleich 1 gesetzt werden. Da die Frequenz ν jeweils konstant bleibt, wird die Wellenlänge elektromagnetischer Wellen in Wasser im Vergleich zur Ausbreitung in Luft stark verkürzt. Der Verkürzungsfaktor ergibt sich aus (I) und (II), es gilt:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_0} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon}} \quad (III)$$

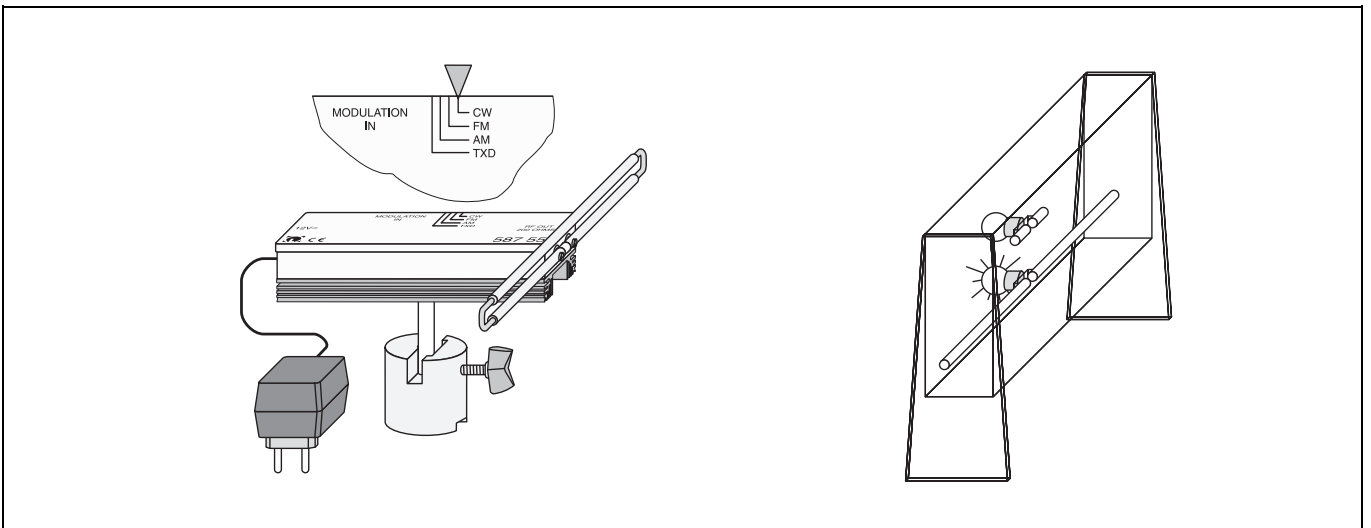
λ_1 : Wellenlänge in Wasser, λ_0 : Wellenlänge in Luft

Diese Verkürzung wird im Versuch an Dezimeterwellen ($\nu = 433,92$ MHz) mit Hilfe von zwei Dipolantennen unterschiedlicher Länge demonstriert. Man beobachtet nacheinander in Luft und in Wasser die Absorption der Dezimeterwellen durch die beiden Dipole. Jeder der beiden Dipole trägt in seiner Mitte und außerhalb des umgebenden Wassers eine Glühlampe, die aufleuchtet, wenn die Dezimeterwellen bei passender Wellenlänge resonant absorbiert werden. Bedingung für resonante Absorption ist:

$$s = \frac{\lambda}{2} \quad (IV)$$

Die Länge s der beiden Dipole ist so gewählt, daß die elektromagnetischen Wellen je nach Ausbreitungsmedium von einem der beiden resonant absorbiert werden. Daraus kann die Wellenlänge λ der Dezimeterwellen in Luft bzw. in Wasser abgeschätzt werden.

Fig. 1: Versuchsaufbau zur Abschätzung der Dielektrizitätskonstanten von Wasser im Dezimeterwellenbereich



Geräte

| | |
|---|---------|
| 1 Dezimeterwellensender | 587 55 |
| 1 Steckernetzgerät 230 V/12 V | 562 791 |
| 1 Satz Dipole im Wassertank | 587 54 |
| 1 Sockel | 300 11 |

zusätzlich erforderlich:

1,2 l destilliertes oder demineralisiertes Wasser

Aufbau und Durchführung

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 1 dargestellt.

Hinweis: Das Experiment liefert nur bei Verwendung von destilliertem oder demineralisiertem Wasser zufriedenstellende Ergebnisse.

- Dezimeterwellensender im Sockel festklemmen und Schleifendipol entsprechend Fig. 1 auf den Antennenausgang des Dezimeterwellensenders stecken.
- Betriebsart CW wählen.
- Wassertank ca. 30 cm vom Dezimeterwellensender entfernt aufstellen und Schleifendipol parallel zu den $\lambda/2$ -Dipolen im Wassertank ausrichten.
- Steckernetzgerät des Dezimeterwellensenders anschließen.
- Wassertank langsam mit destilliertem bzw. demineralisiertem Wasser füllen und dabei das Verlöschen der Glühlampe im langen $\lambda/2$ -Dipol und das Aufleuchten der Glühlampe im kurzen $\lambda/2$ -Dipol beobachten.

Sicherheitshinweis

Der Dezimeterwellensender hält nicht mit Sicherheit die Grenzwerte der Klasse A, Gruppe 2 der Norm EN 55011 ein. Geräte innerhalb des Fachraums einer Schule oder anderen Ausbildungsstätten können gestört werden. Außerdem können Funkstörungen bis zu einem Abstand von mehreren 100 m auftreten. Durch den Betreiber sind daher alle erforderlichen Maßnahmen zu treffen, damit sichergestellt wird, daß außerhalb des Fachraums installierte Geräte ordnungsgemäß arbeiten können.

- Hinweise in der Gebrauchsanweisung zum Dezimeterwellensender beachten.
- Sendebetrieb nicht länger als für die Versuchsdurchführung nötig vornehmen und sofort nach Abschluß der Versuchsdurchführung durch Ausschalten des Steckernetzgerätes beenden.

Meßbeispiel

Im leeren Wassertank leuchtet die Glühlampe des langen $\lambda/2$ -Dipols: $s_0 = 31,5$ cm.

Im gefüllten Wassertank leuchtet die Glühlampe des kurzen $\lambda/2$ -Dipols: $s_1 = 6$ cm.

Auswertung und Ergebnis

Vergleich der Wellenlängen λ_0 in Luft und λ_1 in Wasser:

Mit Gl. (III) folgt: $\lambda_0 = 63$ cm, $\lambda_1 = 12$ cm

In Wasser haben Dezimeterwellen also eine erheblich kürzere Wellenlänge als in Luft.

Abschätzung der Dielektrizitätskonstanten ϵ im Dezimeterwellenbereich:

Für eine Abschätzung der Dielektrizitätskonstanten ϵ nach (III) sollten die Wellenlängen genauer berechnet werden, denn ein ca. 1,8 cm langes Stück (Glühlampe mit Anschluß) der beiden Dipole befindet sich auch dann in Luft, wenn der Wassertank gefüllt ist.

Ein 4,2 cm langes Stück des kurzen Dipols befindet sich in Wasser, ein 1,8 cm langes Stück in Luft, der lange Dipol hat die Länge 31,5 cm. Man setzt daher an

$$1,8 \text{ cm} + 4,2 \text{ cm} \cdot \sqrt{\epsilon} = 31,5 \text{ cm}$$

und erhält für die Dielektrizitätskonstante im Dezimeterwellenbereich

$$\epsilon = 50.$$

Literaturwert: $\epsilon = 81$ (statische Dielektrizitätskonstante)

Die Dielektrizitätskonstante von Wasser ist im Dezimeterwellenlängenbereich wesentlich größer als 1.

Für die Wellenlänge der Dezimeterwellen berechnet man genauer

$$\lambda_1 = \frac{63 \text{ cm}}{\sqrt{50}} = 8,9 \text{ cm}$$

Zusatzinformation

Die Abschätzung der Wellenlängen aus der Länge der Dipole kann nur als Annäherung verstanden werden. Die Resonanzbedingung bei $\lambda/2$ gilt für den Hertzschen Dipol mit dem Durchmesser $D = 0$. Für Durchmesser $D > 0$ wird aber ein Verkürzungsfaktor für die Gesamtlänge und durch eine flachere Resonanzkurve der Antenne eine Vergrößerung der Bandbreite wirksam. Zusätzlich wird die Resonanzbedingung durch die eingebaute Glühlampe beeinflusst.