

# Handyversuche

(Alfons Reichert)



Stolberg, im Januar 2012

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Grundlagen</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Versuche</b> .....	<b>3</b>
3.1 Einfacher Tester .....	3
3.2 Empfindlicher Tester .....	4
3.3 Profi-Tester .....	11
<b>4. Literatur</b> .....	<b>12</b>

# 1. Einleitung

Das Handy ist längst zu einem Gebrauchsgegenstand des Alltags und zugleich zu einem Statussymbol geworden. Nach einer Studie des Medienpädagogischen Forschungsverbundes Südwest besitzen fast 100% aller Haushalte mindestens ein Handy, im Durchschnitt sind es sogar vier Handys pro Haushalt<sup>1)</sup>. 97% aller Jugendlichen sind im Besitz eines eigenen Handys. 80% der Befragten nutzen es täglich, 91% mehrmals wöchentlich. Die Schulleitungen und Schulbehörden reagieren bisher mit strengen Handyverboten in der Schule. Nichts stört den Unterricht mehr als das Klingeln eines Handys. Außerdem können die Schüler Unterrichtsabläufe filmen und ins Internet stellen, um einzelne Lehrerinnen oder Lehrer öffentlich bloß zu stellen. Daher müssen Handys auch in vielen anderen öffentlichen Gebäuden ausgeschaltet werden. Die Diskussion, ob Handystrahlen gefährlich sind, flammt ebenso immer wieder auf. Fest scheint zu stehen, dass die Gefahren dabei nicht so sehr von den elektromagnetischen Mikrowellen ausgehen, sondern eher von den elektromagnetischen Wärmestrahlen, die der Akku aussendet. Sie können Moleküle im Kopf des Benutzers verändern.

Die Bedeutung des Handys im Alltag nimmt weiter zu. Sie werden zusehends von Smartphones abgelöst, die neben den heute üblichen Handy-Ausstattungen wie SMS-, Foto-, Video- und Musikplayer-Funktion die Möglichkeit bieten, Programme auszuführen, wie sie sonst nur bei Computern üblich sind. Mit diesen Apps kann jeder sein Smartphone individuell aufrüsten. Sie machen diese Geräte auch für den Physikunterricht interessant. Das Smartphone kann so zum Beschleunigungsmesser, zum Oszilloskop oder zur Sternkarte umfunktioniert werden<sup>1)</sup>. Aber auch zum Pflichtthema elektromagnetische Wellen und ihre Eigenschaften lassen sich viele Versuche mit Handys durchführen, für die man sonst spezielle Mikrowellensender und -empfänger der Physiksammlung benötigt. Die Benutzung des Handys fördert zudem die Motivation der Schülerinnen und Schüler. Ein paar Versuche zu diesem Thema möchte ich in diesem Skript beschreiben. Weitere zahlreiche Anregungen finden Sie im Themenheft „Physik mit Handy und Smartphone“ der Zeitschrift „Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule“, Ausgabe Oktober 2011<sup>1)</sup>.

Stolberg, im Januar 2012

## 2. Grundlagen

Handys tauschen Informationen mit Hilfe von Mikrowellen aus. Es werden zwei Frequenzbereiche benutzt, die mit GSM 900 (D-Netz) bzw. GSM 1800 (E-Netz) bezeichnet werden. Sie senden auf Frequenzbereichen von  $\Delta f_1 = 880\text{-}960$  MHz bzw.  $\Delta f_2 = 1710\text{-}1880$  MHz. Jedes Frequenzband ist in zahlreiche Kanäle unterteilt, beim D-Netz in 175, beim E-Netz in 375. Die benötigten Antennen haben als  $\lambda/2$ -Dipol Längen von  $l_1 = 0,170\text{-}0,156\text{m}$  bzw.  $l_2 = 0,088\text{-}0,08\text{m}$ . Sie sind heute als Metallstreifen in die Platinen der Handys integriert, die ersten besaßen noch eine eigene Teleskopantenne. Das von ihnen abgestrahlte Signal ist linear polarisiert, meist in Längsrichtung des Handys. Jeder Sendekanal ist seinerseits wieder in acht Zeitfenster der Länge  $\Delta t_1 = 0,575$  ms unterteilt. Zusammen belegen sie einen Zeitausschnitt von  $\Delta t_2 = 8 \cdot 0,0575\text{ms} = 4,6$  ms. Nimmt ein Handy Kontakt mit der Basisstation auf, so wird ihm eines der acht Zeitfenster zugewiesen. Es sendet also alle

$$\Delta t_2 = 4,6 \text{ ms}$$

einen Puls der Breite

$$\Delta t_1 = 0,575 \text{ ms.}$$

Die restlichen sieben werden von anderen Teilnehmern belegt. Daraus errechnet sich für jedes Handy eine Pulsfrequenz von

$$\begin{aligned} f &= 1/\Delta t_2 \\ &= 1/4,6\text{ms} \\ &= 217 \text{ Hz.} \end{aligned}$$

Das reicht aus, um die Informationen in guter Qualität zu übertragen. Beim GSM-Standard führt das Handy alle  $\Delta t_3 = 120$  ms ein Handover aus<sup>1)</sup>. Dazu wertet es die Empfangsstärke mehrerer benachbarter Basisstationen aus und wechselt gegebenenfalls auf eine andere Station, wenn der Empfang über sie besser ist. Dafür muss diese Station über ein freies Zeitfenster verfügen. Im folgenden Kapitel werden zwei kleine Schaltungen vorgestellt, mit denen man diese Überlegungen überprüfen kann.

### 3. Versuche

#### 3.1 Einfacher Tester

Abb.1 zeigt die Schaltung für einen einfachen Handy-Tester<sup>1)</sup>:

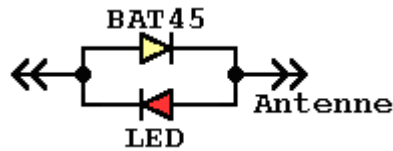


Abb.1: Schaltplan einfacher Tester

Man benötigt folgende Bauteile:

- 1 Gehäuse 85x48x28mm
- 1 HF-Diode BAT45
- 1 rote Low-Current LED
- 1 Chrom-LED-Fassung
- 2 rote Telefonbuchsen 8mm
- 1 Stück Lochrasterplatine 2x2cm
- 2 Lötösen
- 1 Stricknadel
- etwas Schaltlitze
- Lötmaterial

Man verlötet die Diode, die LED und zwei etwa 2cm lange Stücke Schaltlitze auf der Platine, wobei die Diode und die LED gegensinnig gepolt sein müssen. Vorher steckt man auf die LED das Innenteil der Fassung. Es dient als Halterung für die Platine. Man bohrt in die Oberseite des Deckels ein 8mm-Loch für die LED-Fassung, an beiden Seiten des Deckels jeweils ein 8mm-Loch für die Antennenbuchsen. Die Bauteile sollten möglichst nahe beieinander angebracht werden, um die Verbindungen kurz zu halten. Die LED-Fassung und die Buchsen werden am Deckel verschraubt, wobei die Lötösen an den Buchsen befestigt werden. Man setzt die Platine in die LED-Fassung ein und verbindet sie über die Schaltlitze mit den Lötösen. Das Gehäuse kann danach verschlossen werden. Von der Stricknadel kneift man mit einer Zange zwei etwa 5cm lange Stücke ab und setzt sie in die Bananenstecker ein. Man steckt die Stecker in die Buchsen und kürzt die Metallstifte mit der Zange so weit, dass ihre Spitzen für ein D-Netz-Handy 16,8 cm und für ein E-Netz-Handy 8,9 cm voneinander entfernt sind. Den fertigen Aufbau zeigt die Abb. 2. Mit diesem Handy-Tester führt man folgenden Versuch durch.

#### **Versuch 1:**

#### **Durchführung:**

Man benötigt ein Handy und den Tester. Man hält den Tester an die Rückseite des Handys und zwar so, dass die Längsachse des

Handys in Richtung der Antenne des Testers zeigt. Man wählt mit dem Handy eine Nummer oder versendet eine SMS. Dann dreht man den Tester um  $90^\circ$ .



**Abb.2: Einfacher Handy-Tester**

**Beobachtung:**

Während sich das Handy ins Netz einwählt, blinkt die LED. Dreht man den Tester um  $90^\circ$ , so leuchtet sie wesentlich schwächer oder gar nicht.

**Erklärung:**

Die Metallstifte der Stricknadel dienen als Antennen für die Handystrahlung. Es baut sich in ihnen eine hochfrequente Wechselspannung auf, die durch die Diode in eine pulsierende Gleichspannung umgewandelt wird. Sie bringt die LED zum Leuchten. Die Strahlung ist linear polarisiert und zwar meist in Richtung der Längsachse des Handys.

### 3.2 Empfindlicher Tester

Der oben vorgestellte Handytester ist nicht sehr empfangsstarke, aber übersichtlich und leicht verständlich. Er reagiert nur, wenn sich das Handy in unmittelbarer Nähe des Gerätes befindet. Einen guten Empfang auf eine Entfernung von 0,5 - 1 m gewährleistet die Schaltung in Abb.3. Ihre Empfindlichkeit reicht für den folgenden Versuch vollkommen aus, ließe sich aber durch eine zweite Verstärkerstufe weiter steigern. Außerdem kann man mit ihr das Handysignal hörbar machen und mit einem Picoscope aufzeichnen. Man benötigt folgende Teile:

- 1 Widerstand 3,9 k $\Omega$
- 1 Widerstand 2,7 k $\Omega$
- 1 Widerstand 10 k $\Omega$

- 1 Trimmer 1 k $\Omega$
- 1 Kondensator 10 pF
- 1 Kondensator 100  $\mu$ F
- 1 HF-Diode BAT45
- 1 HF-Transistor BFR90
- 1 LED, Low Current, rot
- 1 LED, Low Current, grün
- 2 LED-Fassungen, verchromt
- 1 Piezo-Signalgeber RMP-14P
- 1 Mikroschalter ein/aus
- 1 Gehäuse 168x88x27mm mit Batteriefach
- 2 Stück Lochrasterplatine 5,5x3,5cm bzw. 2x2cm
- 1 Batterieclip für 9V Blockbatterie
- 1 9V Blockbatterie/Blockakku
- 1 Stück Maschendraht
- 1 Telefonbuchse gelb 8mm
- 1 Telefonbuchse rot 8mm
- 1 Telefonbuchse schwarz 8mm
- 4 Schrauben 3x20mm
- 6 Muttern 3mm
- 6 Unterlegscheiben 3mm
- 1 Bananenstecker 8mm
- 3 Lötösen
- Lötmaterial
- Schaltlitze.

Die Verlötlung auf der Lochrasterplatine 5,5x3,5cm entnehmen Sie Abb.4. Die Zuleitungen zu den LEDs, dem Piezosummer und den Telefonbuchsen bestehen aus einem Stück Schaltlitze. Man bohrt nach der Schablone der Abb. 5 mit einem Holzbohrer passende Löcher in den Deckel, verschraubt die LED-Fassungen, den Mikroschalter und die Telefonbuchsen und setzt die LEDs in die Fassungen ein.

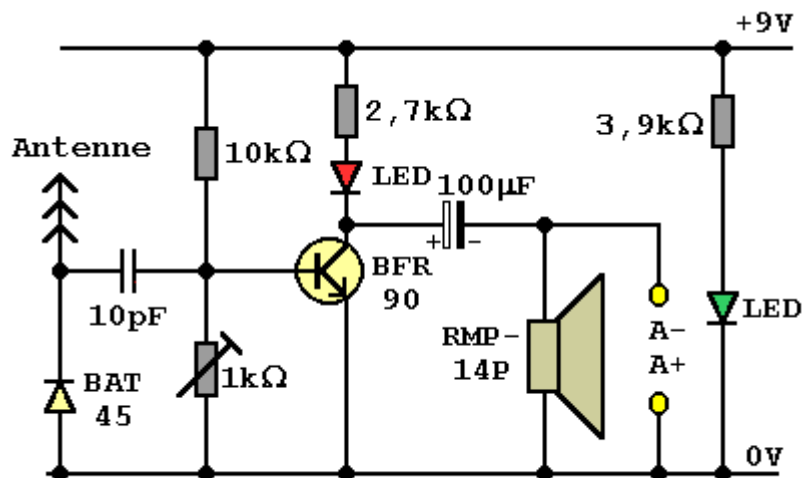


Abb.3: Schaltplan empfindlicher Tester

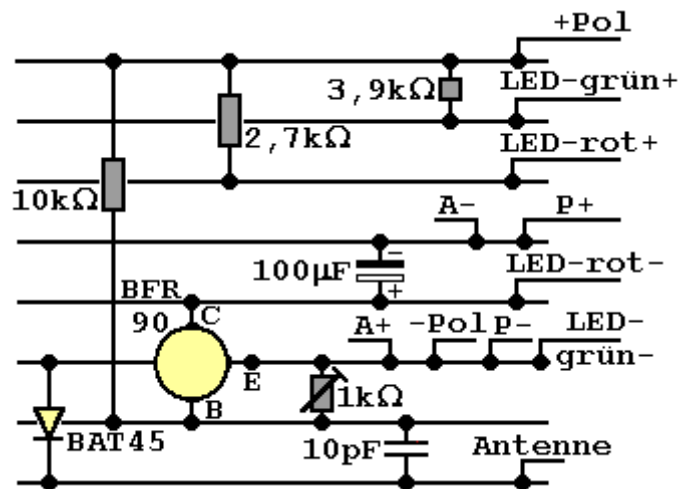


Abb.4: Verdrahtung auf einer Platine

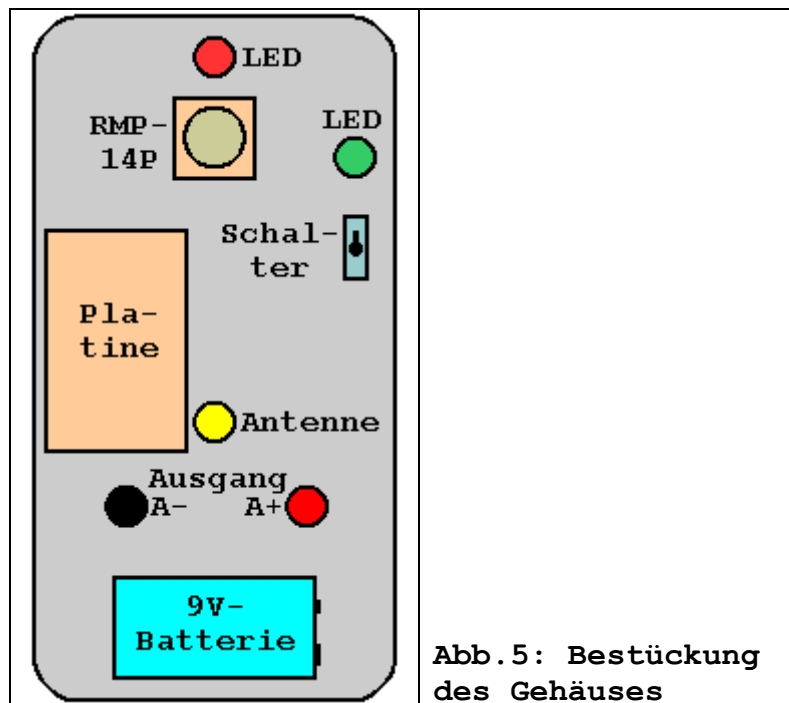


Abb.5: Bestückung des Gehäuses

Die Platine 2x2cm wird mit zwei Schrauben am Deckel befestigt, so dass sie unter dem Loch für den Piezosummer auf der Rückseite des Deckels liegt und ihre Leiterbahnen nach unten zeigen. Man setzt den Piezosummer in zwei Löcher der Platine und verlötet ihn. Die Platine mit den übrigen Bauteilen wird ebenfalls auf der Rückseite des Deckels verschraubt. Damit die Lötstellen, die zum Gehäusedeckel zeigen, nicht beschädigt werden, legt man zwischen die Platine und den Deckel als Abstandshalter pro Verschraubung je eine Mutter. Zum Schluss verbindet man die Anschlusslitzen mit den einzelnen Bauteilen, wobei man bei den LED's auf die richtige Polung achten muss. Das lange Beinchen ist der Pluspol. Die Pluspolleitung der Platine verlötet man an einem Anschluss des Mikroschalters, Den zweiten Anschluss des Schalters verbindet man mit einem



Stück Schaltlitze mit dem Pluspol, die Minuspoleitung der Platine mit dem Minuspol des Batterieclips. Die Oszilloskopausgänge und die Antennenleitung verlötet man über drei Lötösen mit den entsprechenden Telefonbuchsen. Die gelbe Buchse ist für die Antenne bestimmt. Eine kleine Breitbandantenne, die für beide Netze geeignet ist, kneift man sich mit einer Zange aus einem Stück Maschendraht ab. Man benötigt etwa sechs Felder. Man verschraubt sie im Bananenstecker und steckt ihn in die gelbe Buchse. Dann legt man eine 9V-Blockbatterie oder einen 9V Blockakku ins Batteriefach ein und schaltet den Tester ein. Die grüne LED sollte leuchten, die rote eventuell. Man stellt den Trimmer mit einem Schraubenzieher so ein, dass die rote LED gerade erlischt. Hält man ein Handy, das gerade sendet, in die Nähe des Testers, so muss die rote LED blinken und der Piezosummer einen Ton abgeben, ähnlich dem Klappern einer Klapperschlange. Die Schaltung ist dann einsatzbereit. Anderenfalls sollten Sie Ihren Aufbau noch mal überprüfen. Der Deckel des Gehäuses kann verschlossen werden. Den fertigen Tester zeigt Abb.6. Mit ihm zeichnet man das Sendesignal des Handys auf.



**Abb.6: Empfindlicher Handytester**

## **Versuch 2:**

### **Durchführung:**

Man benötigt ein Handy, den Tester und ein Picoscope oder einen Speicheroszillographen. Man verbindet den Tester über die Buchsen und zwei möglichst kurze Leitungen mit dem Picoscope. Man hält das Handy in die Nähe des Testers und zwar so, dass die Längsachse des Handys in Richtung der Antenne des Testers zeigt. Man wählt mit dem Handy eine Nummer oder versendet eine SMS.

### **Beobachtung:**

Man erhält die Kurven in Abb. 7. Beim Senden klingt der Tester wie eine Klapperschlange.

### **Erklärung:**

Deutlich erkennt und hört man, dass das Handy nicht kontinuierlich sendet, sondern pulsartig (s. Kurve 1). Die Pulse haben einen zeitlichen Abstand von

$$\Delta t_2 = 4,6 \text{ ms}$$

(s. Kurve 2). Jeder Puls ist

$$\Delta t_1 = 0,57 \text{ ms}$$

breit (s. Kurve 3). Alle

$$\Delta t_3 = 120 \text{ ms}$$

wird kein Signal gesendet (s. Kurve 1), weil das Handy ein Handover ausführt. Diese Werte stimmen sehr gut mit den theoretischen Werten aus Kapitel 2 überein.

## **Versuch 3:**

### **Durchführung:**

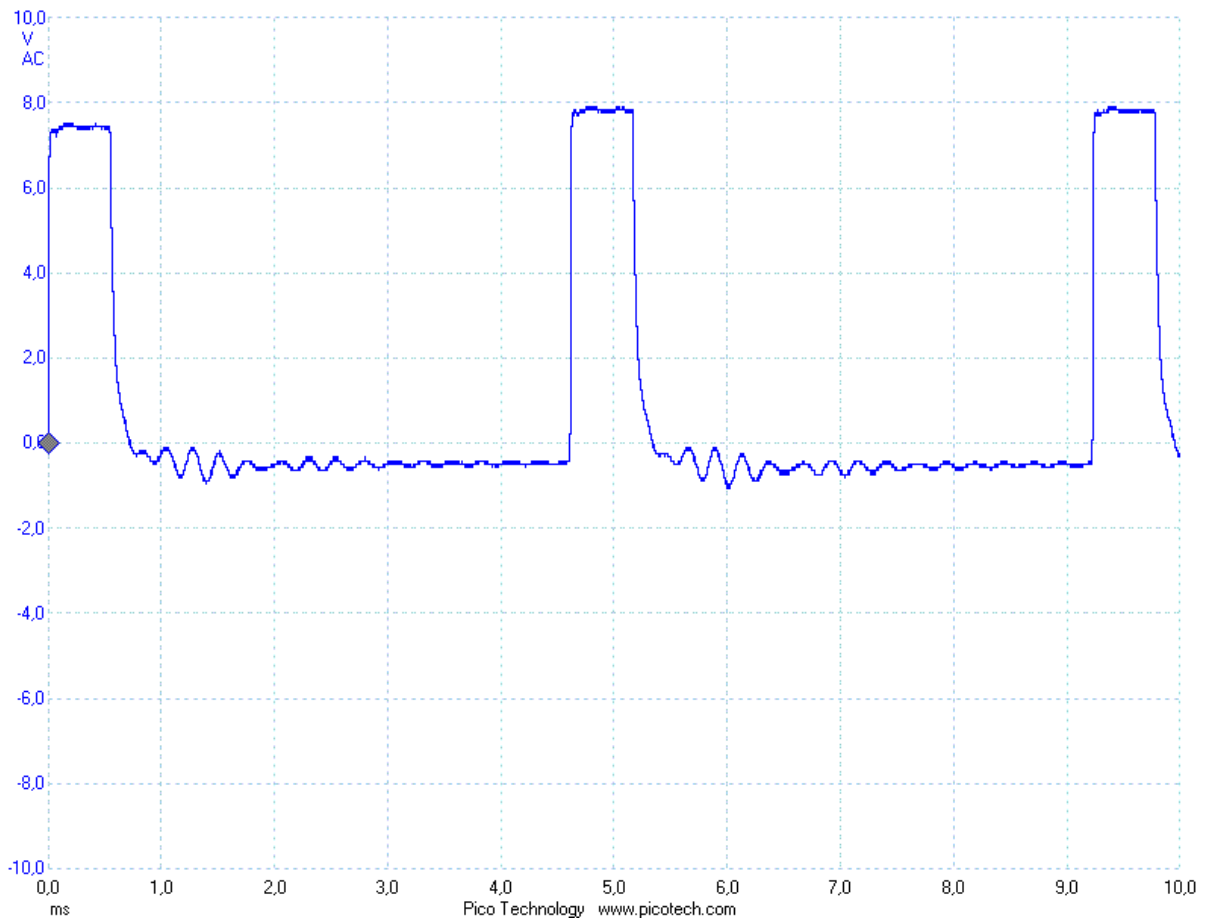
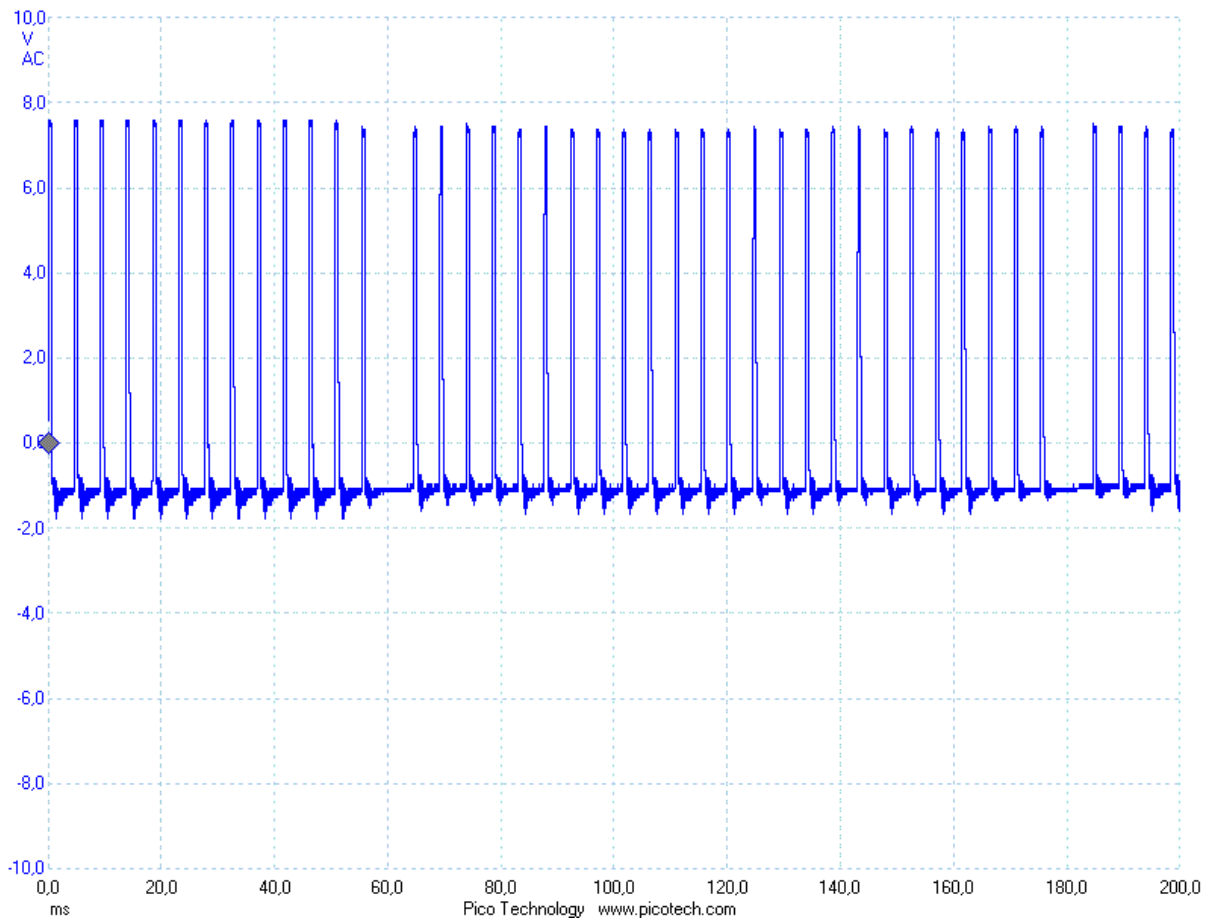
Man benötigt ein Handy, einen Papierkorb aus Metallgitter, einen Plastikeimer, einen Pappkarton und den Tester. Man stellt den Detektor nacheinander unter den Pappkarton, den Plastikeimer bzw. den Metallpapierkorb. Dann wählt man mit dem Handy eine Nummer an.

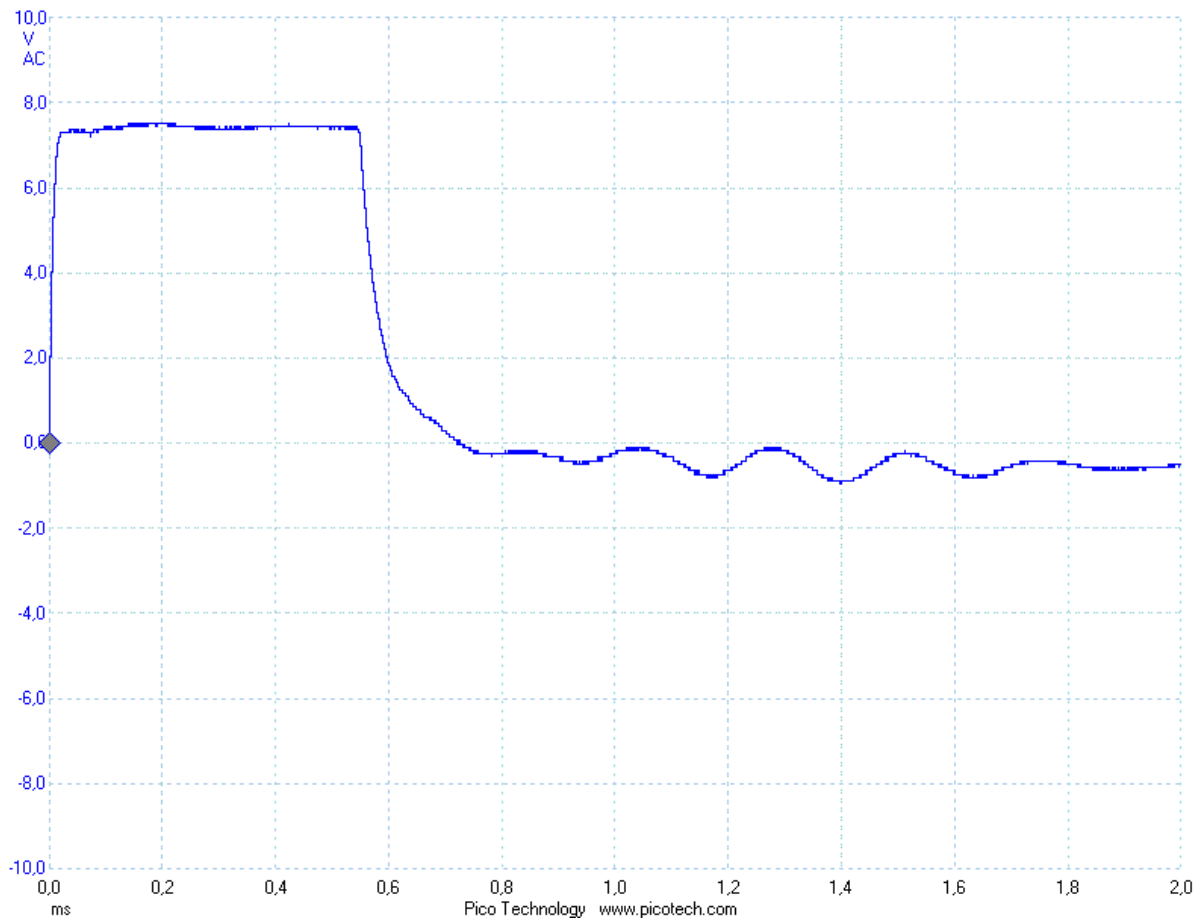
### **Beobachtung:**

Unter dem Pappkarton zeigt der Tester durch ein akustisches Signal Empfang an, ebenso unter dem Plastikeimer. Das Signal ist nicht geschwächt im Vergleich zu einem Gegenversuch ohne Karton bzw. Eimer. Unter dem metallenen Papierkorb empfängt der Tester kein Handysignal mehr.

### **Erklärung:**

Handystrahlen können Pappe, Plastik und andere nicht leitende Materialien durchdringen, werden aber von Metallen abgeschirmt (vgl. a. Versuch 4).





**Abb.7: Sendesignal eines Handys**

### 3.3 Profi-Tester

Im Handel werden HF-Detektoren mit unterschiedlicher Empfindlichkeit und mehr oder weniger großem Frequenzbereich angeboten. Ihr Preis schwankt zwischen etwa 20 Euro und mehr als 100 Euro. Die Firma Conrad-Electronic hat unter der Bestellnummer 752091 einen hoch empfindlichen HF-Detektor mit einem riesigen Frequenzbereich von 1 MHz bis 6 GHz im Angebot. Er ist mit knapp 90 Euro recht teuer, arbeitet aber nach meinen Erfahrungen zuverlässig. Mit ihm lassen sich FM-Transmitter im UKW-Bereich, Handys, WLAN-Router und Funk-Kameras zuverlässig orten. Er zeigt die Stärke des Empfangs durch vier LED's optisch und durch einen Piezosummer akustisch an. Allerdings kann man das Signal nicht mit einem Oszillographen oder Picoscope aufzeichnen. Mit ihm führt man u.a. folgenden Versuch durch.

#### **Versuch 4a:**

##### **Durchführung:**

Man benötigt ein Handy, einen Festnetzanschluss, einen Papierkorb aus Drahtgeflecht, einen Metalldeckel und den Tester. Man wählt mit dem Handy die Nummer des Festnetzanschlusses an, legt es auf einen Holztisch und stülpt den Papierkorb darüber. Dann ruft man vom Festnetzanschluss die Nummer des Handys unter dem Papierkorb an. Mit dem Tester fährt man um den Papierkorb herum.

##### **Beobachtung:**

Am Detektor blinken mehrere LED's. Das Handy zeigt mit mehreren Balken an, dass es mit der Basisstation verbunden ist. Der Festnetzanschluss nimmt den Anruf des Handys entgegen, das Handy den Anruf des Festnetzanschlusses.

##### **Erklärung:**

Die Strahlung des Handys wird über die Holztischplatte übertragen. Dass diese Erklärung stimmt, zeigt eine kleine Abänderung des Versuches.

#### **Versuch 4b:**

##### **Durchführung:**

Man wiederholt Versuch 4a, legt unter die Öffnung des Papierkorbes eine Metallplatte, etwa ein Kuchenblech. Man kann auch den Papierkorb mit der Öffnung nach oben aufstellen und ihn mit der Metallplatte verschließen.

##### **Beobachtung:**

Der HF-Detektor zeigt kein Signal an, der Anruf des Handys kommt nicht beim Empfänger an. Es selbst kann auch nicht angewählt werden. Die vom Handy angezeigte Signalstärke der Basisstation geht auf null Balken zurück.

##### **Erklärung:**

Nur ein geschlossener Metallkäfig schirmt die Handystrahlung komplett ab. Man spricht nach dem Entdecker dieses Effektes von Faraday-Käfig.

#### **4. Literatur**

1) Prof. Dr. Roman Dengler, Mobilfunk im naturwissenschaftlichen Unterricht, Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule Heft Nr. 7/60, Oktober 2011