

# Was hat Heinrich Hertz mit einem fernsteuerbaren Auto zu tun?

## Wie der Steuerbefehl vom Controller in ein RC-Modellauto kommt

Lieber Moritz,

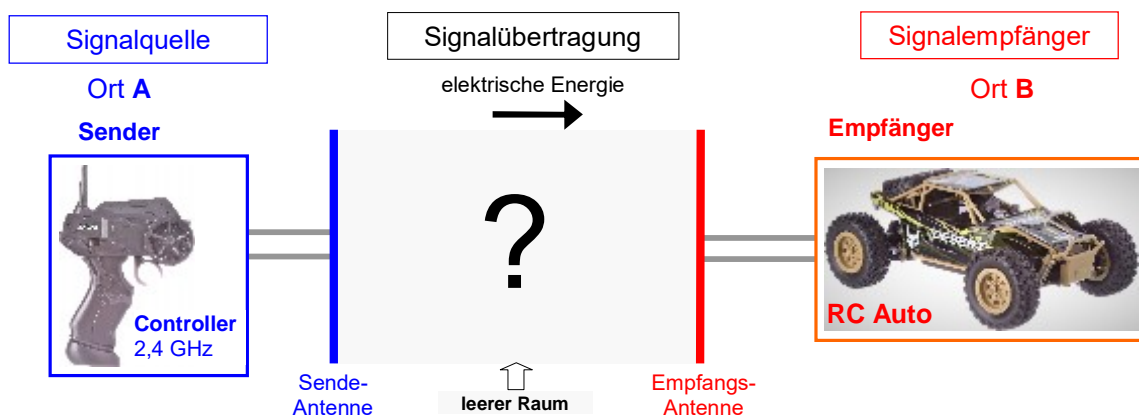
inzwischen besuchst Du seit fast zwei Jahren die Heinrich-Hertz-Schule in Hamburg.

Über Heinrich Hertz, dem Namensgeber Deiner neuen Schule, habe ich auf der Homepage Deiner neuen Schule leider nichts gefunden. Das stimmt mich als ehemaliger Physik-Lehrer doch etwas nachdenklich, denn Heinrich Hertz war ein berühmter Physiker. Er ist in Hamburg geboren, hat dort sein Abitur gemacht und nach seinem Studium der Physik als Professor an verschiedenen Universitäten gelehrt und geforscht. Leider ist er schon sehr früh mit 36 Jahren gestorben und wurde nicht weit von Eurer Wohnung auf dem Friedhof Ohlsdorf in Hamburg beerdigt. Trotz seiner kurzen Lebenszeit hat Heinrich Hertz mit seinen Forschungen ganz entscheidend zur Entwicklung der modernen Technik beigetragen. So verdanken wir ihm beispielsweise die technischen Grundlagen der drahtlosen Fernseh- und Datenübertragung mit Hilfe *elektromagnetischer Wellen*. Die hat Heinrich Hertz nämlich in einem Experiment im Jahre 1886 in seinem damaligen Labor an der Universität in Karlsruhe erstmals entdeckt und das, obwohl elektromagnetische Wellen eigentlich *unsichtbar* sind.



Heinrich Hertz  
1857–1894

Das Thema ist nicht ganz einfach. Auch wenn Du die Zusammenhänge nicht gleich verstehst, ist das halb so schlimm. Gerne kann ich Dir weitere Erläuterungen geben, wenn Du dies wünschst. Vieles von dem, was Du auf den beigefügten Seiten findest, wirst Du später im Physik-Unterricht behandeln und dann tiefer in das Thema eindringen. Einen Versuch zum Thema *elektromagnetische Wellen* wirst Du wahrscheinlich erst in der 9. oder 10. Klasse gezeigt bekommen. Die dazu notwendigen Geräte (siehe Bild 9) sind in der Physik-Sammlung der Heinrich-Hertz-Schule bestimmt vorhanden, denn Deine neue Schule hat ja einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt. Wie Du ja sicher weißt, ist die Physik eine der drei Naturwissenschaften neben der Chemie und der Biologie. Und in diesem Fach dürften ja Experimente aus dem Forschungsbereich des Namensgebers Deiner Schule nicht fehlen. Wie man mit Hilfe elektromagnetischer Wellen nach den Erkenntnissen von Heinrich Hertz elektrische Energie oder Signale von einer Energiequelle ohne Leitungsdrähte (engl.: wireless) zu einem fernsteuerbaren Auto oder einer Glühlampe übertragen kann, soll in den beigefügten Bildfolgen im Mittelpunkt stehen.



Dein neues Carrera-Auto ist ein [RC-Car](#). Dies bedeutet, es ist ein **Radio Controlled-Car**, ein Modellauto, das per Funk ferngesteuert wird, also ohne Leitungsverbindung (Kabel) zwischen Steuergerät (Controller) und Modellauto. Ohne Leitungsverbindung heißt im Englischen „wireless“. Diesen Fachbegriff kennst Du ja sicher im Zusammenhang von „WLAN“ (**Wireless Local area network**). In einem solchen Netzwerk sind die angeschlossenen Geräte ebenfalls ohne eine Leitung miteinander verbunden. Bleibt zu fragen, wie denn nun eigentlich die Befehle, die Du mit bestimmten Betätigungen auf dem Steuergerät zu dem Modellauto senden willst, ohne sichtbare Verbindung dorthin gelangen. Und jetzt kommt der Namensgeber Deiner Schule ins Spiel. Heinrich Hertz hat nämlich entdeckt, dass man durch einen leeren Raum elektrische Signale mit Hilfe elektromagnetischer Wellen von A nach B übertragen kann. Was man unter einer

*elektromagnetischen Welle* versteht und was man damit anfangen kann, will ich versuchen, Dir auf den folgenden Seiten an zwei Beispielen mit einigen Bildern etwas näher zu bringen.

Das Thema ist nicht ganz einfach. Auch wenn Du die Zusammenhänge nicht gleich verstehst, ist das halb so schlimm. Gerne kann ich Dir weitere Erläuterungen geben, wenn Du dies wünschst. Vieles von dem, was Du auf den beigegeführten Seiten findest, wirst Du später im Physik-Unterricht behandeln und dann tiefer in das Thema eindringen. Einen Versuch zum Thema *elektromagnetische Wellen* wirst Du wahrscheinlich erst in der 9. oder 10. Klasse gezeigt bekommen. Die dazu notwendigen Geräte sind in der Physik-Sammlung der Heinrich-Hertz-Schule bestimmt vorhanden, denn Deine neue Schule hat ja einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt. Wie Du ja sicher weißt, ist die Physik eine der drei Naturwissenschaften neben der Chemie und der Biologie. Und in diesem Fach dürften ja Experimente aus dem Forschungsbereich des Namensgebers Deiner Schule nicht fehlen. Wie man mit Hilfe elektromagnetischer Wellen nach den Erkenntnissen von Heinrich Hertz elektrische Energie von einer Energiequelle ohne Leitungsdrähte (engl.: wireless) zu einem fernsteuerbaren Auto oder einer Glühlampe übertragen kann, soll in der beigegeführten Bildfolgen im Mittelpunkt stehen.

Wir beginnen unsere Überlegungen mit der Anwendung der Entdeckung von Heinrich Hertz bei ferngesteuerten Modellautos (siehe Seite 1). Wenn Du mit Deinem „Controller“ (Steuergerät) Dein neues Spielgerät, den fernsteuerbaren „Desert Racer“, lenkst, beschleunigst oder abbremsst, werden die Befehle „Vorwärts“ oder „Rückwärts“ und „Links“ oder „Rechts“ als elektrische Signale mit den entsprechenden Informationen entweder über Leitungen (Fall 1 im Bild 1) oder durch die Luft (also den leeren Raum) als elektromagnetische Wellen vom Controller zum Auto übertragen (Fall 2 im Bild 2). Dabei dient der Controller als Sender dieser Signale. Im Auto befindet sich ein Empfänger, der diese Signale aufnimmt und an die Lenk- und Motorsteuerung des Autos weiterleitet. Heinrich Hertz hätte gesagt, dass der Controller elektrische Energie als Signale mit entsprechenden Informationen aussendet. Diese elektrische Energie wird mit Hilfe elektromagnetischer Wellen zum Empfänger des Autos übertragen und dort in die Steuerbefehle umgewandelt (Bild 3). Diese Energieübertragung vom Sender zum Empfänger erfolgt ohne Leitungsdrähte, also drahtlos. Wie bereits erwähnt, verdanken wir diese Möglichkeit Heinrich Hertz.

Ich habe noch eine zweite Anwendung hinzugefügt (siehe Seite 2). Dabei geht es um ein Thema, das Du aus dem Sachunterricht der Grundschule kennst: Der **elektrische Stromkreis** (siehe Bild 4). Wird die Glühlampe mit zwei Leitungsdrähten mit einer Batterie verbunden, fließt ein elektrischer Strom vom Pluspol durch die eine Leitung zu der Glühlampe, dort durch den Glühdraht und dann über den zweiten Leitungsdraht zurück zur Batterie, jetzt allerdings zum Minuspol. Die Glühlampe leuchtet, weil der elektrische Strom den dünnen Draht in der Glühbirne so stark erhitzt, dass er glüht und so Licht und Wärme erzeugt. Dabei wird elektrische Energie in Licht- und Wärme-Energie umgewandelt. Als Quelle der elektrischen Energie dient uns die Batterie. Die Glühlampe ist der Verbraucher (oder Umwandler) der elektrischen Energie. Im Fall 1 (Bild 4) wird die elektrische Energie von der Quelle zum Verbraucher mit Hilfe der beiden Leitungsdrähte übertragen. In einem nächsten Schritt betrachten wir den Fall 2 und beziehen dabei ebenfalls die Entdeckung von Heinrich Hertz (siehe Bild 5 und Bild 6) ein.

Auf der Seite 5 habe ich versucht, mit dem bildhaften Modell einer Wasserwelle die Übertragung einer Information mit Hilfe elektromagnetischer Wellen zu erklären. Ich hoffe, es hilft Dir, das Wellen-Modell von Heinrich Hertz zu verstehen.

Welche große Bedeutung die Entdeckung von Heinrich Hertz in der Folgezeit hatte, kannst Du gut nachvollziehen, wenn Du einmal all die Fälle bedenkst, wo sie uns heute ständig bei drahtlosen Formen der Informations- und Datenübertragung in unserem Alltag begegnen: Telefonieren, Fernsehen, WLAN, Smartgeräte-Steuerung mit Alexa, RC-Modell-Fahrzeuge (Autos, Schiffe, Drohnen) usw. usw.

Mit anderen Worten: Deine Schule trägt einen großen Namen. Dir als Schüler dieser Schule wünsche ich weiterhin sehr viel Freude und guten Erfolg beim Lernen an der Heinrich-Hertz-Schule,

Dein Nonno.

22. Mai 2023

# Beispiel 1: Übertragung elektrischer Signale zu einem fernsteuerbaren Auto

A und B seien zwei Orte in einem beliebigen Raum, z. B. im Flur eurer Wohnung. Am Ort A befindet sich der Controller als elektrische Signalquelle, am Ort B eine Empfänger mit fernsteuerbarem Auto als elektrischer Signalempfänger. Die Frage lautet: Wie gelangen die elektrische Signale von A nach B, also von der Quelle zum Empfänger? Die Signale enthalten Steuerbefehle wie „Fahre vorwärts“ oder „Fahre rückwärts“ und „Fahre nach links“ oder „Fahre nach rechts“. Die elektrischen Steuersignale können auf zwei Arten von A nach B übertragen werden: Durch Leitungsdrähte in einem Kabel oder über Funk durch den leeren Raum mit Hilfe elektromagnetischer Wellen.

- Fall 1: Elektrische Energieübertragung der Signale über zwei Leitungsdrähte

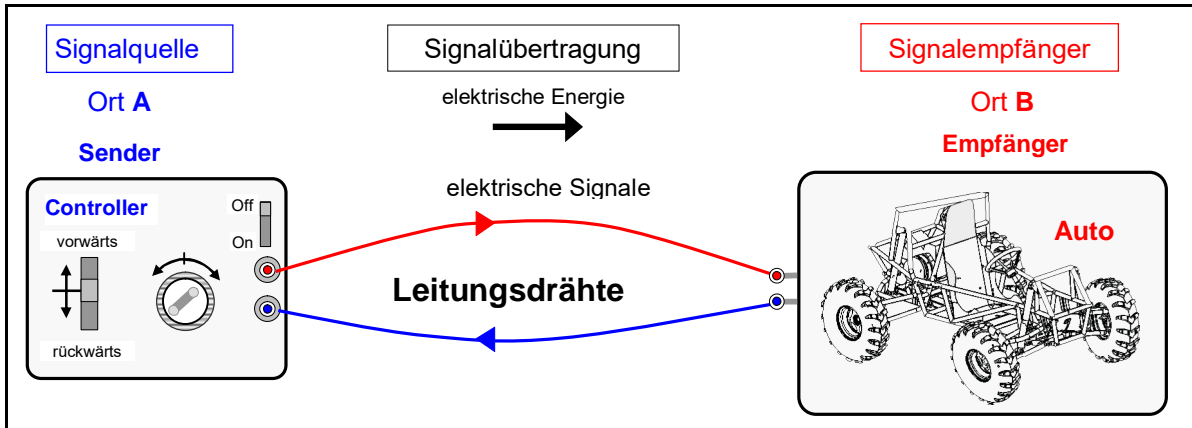


Bild 1: Übertragung elektrischer Signale von A nach B mit Leitungen. Ergebnis: Das Auto wird gesteuert.

- Fall 2: Heinrich Hertz entdeckt 1886 die Übertragung elektrischer Signale ohne Leitungsdrähte

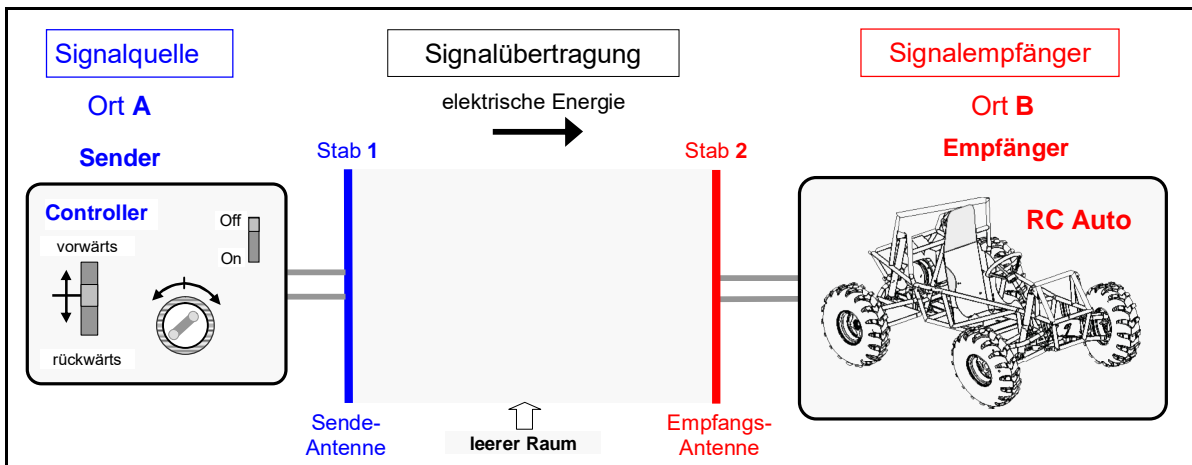
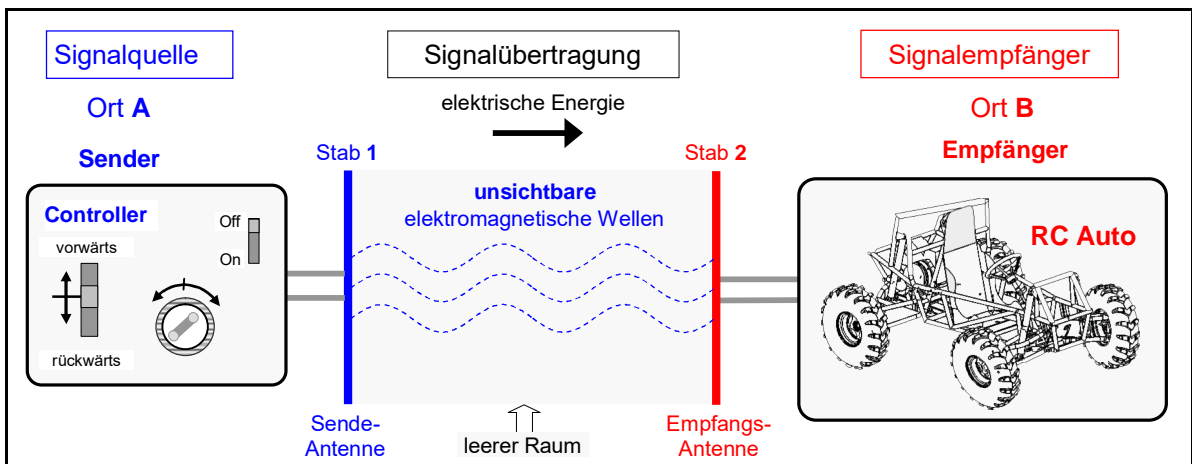


Bild 2: Drahtlose Übertragung elektrischer Signale von A nach B. Auch hier wird das Auto gesteuert!

- Und was geschieht nun zwischen den beiden Stäben? Die Antwort von Heinrich Hertz lautet:



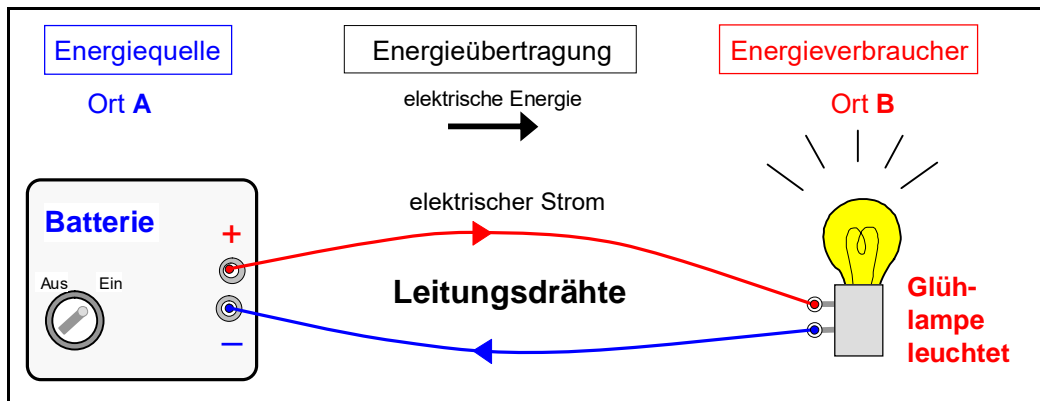
Heinrich Hertz  
1857–1894

Bild 3: Übertragung elektrischer Signale erfolgt mit Hilfe elektromagnetischer Wellen (Gedankenmodell).

## Beispiel 2: Übertragung elektrischer Energie zu einer *Glühlampe*

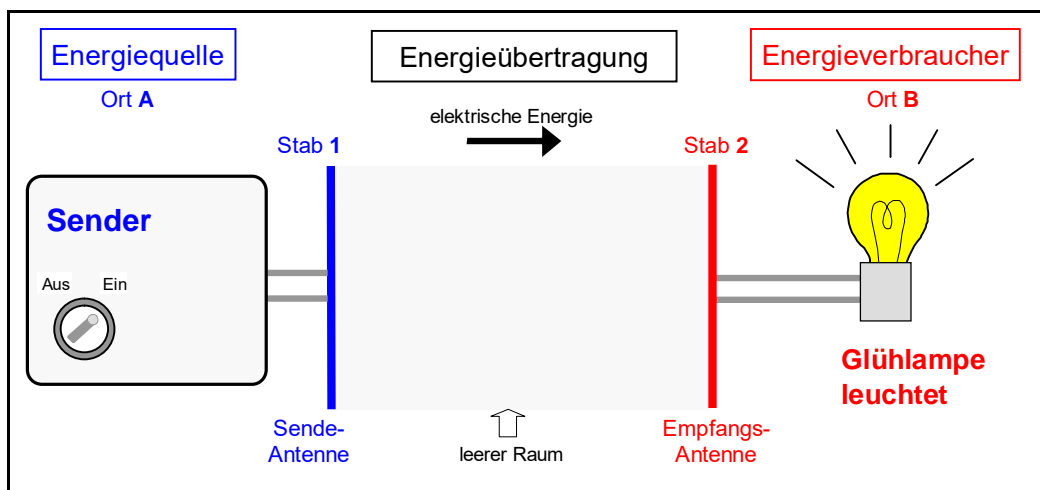
**A** und **B** seien zwei Orte in einem beliebigen Raum, z. B. auf dem Labortisch in einem Klassenraum. Diesmal befindet sich am Ort **A** eine Batterie als elektrische Energiequelle, am Ort **B** eine Glühlampe als elektrischer Energieverbraucher. Auch hier lautet die Frage: Wie gelangt die elektrische Energie von **A** nach **B**, also von der Quelle zum Verbraucher?

- Fall 1: Elektrische Energieübertragung über zwei Leitungen in einem Stromkreis



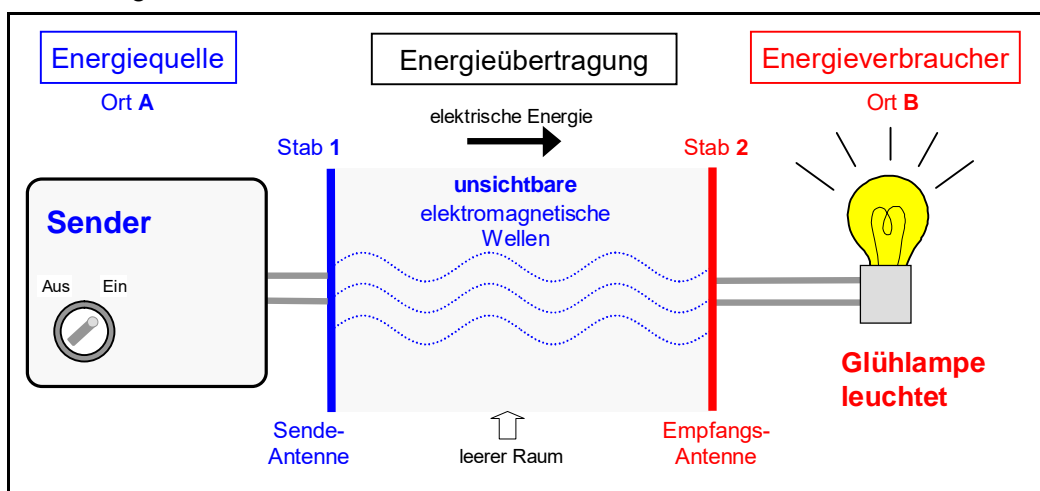
**Bild 4:** Übertragung elektrischer Energie von **A** nach **B** mit **Leitungen**. Ergebnis: Die Lampe leuchtet.

- Fall 2: Heinrich Hertz entdeckt 1886 die Übertragung elektrischer Energie *ohne* Leitungsdrähte



**Bild 5:** Drahtlose Übertragung elektrischer Energie von **A** nach **B**. Auch hier leuchtet die Lampe!

- Und was geschieht nun zwischen den beiden Stäben? Die Antwort von Heinrich Hertz lautet:



Heinrich Hertz  
1857–1894

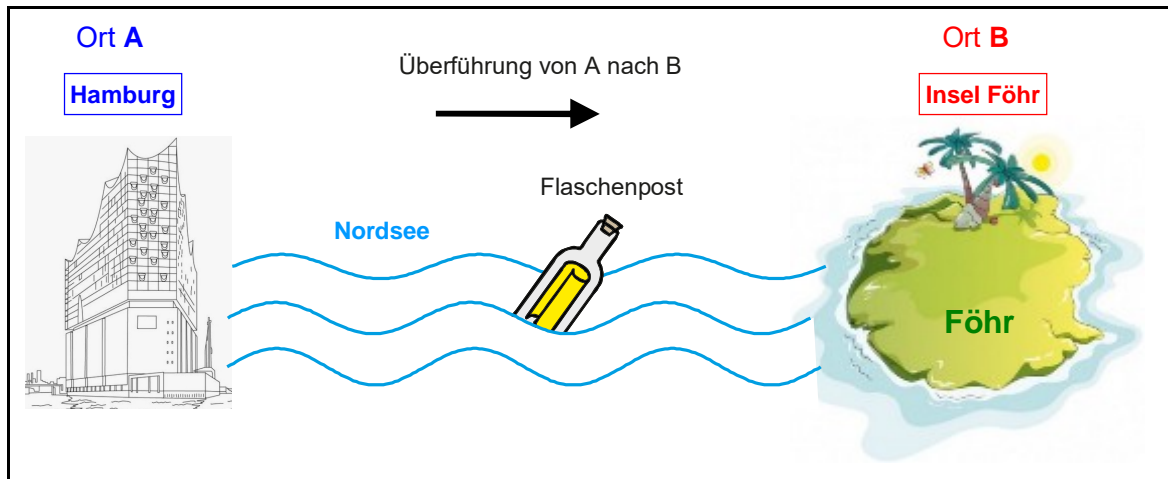
**Bild 6:** Die Übertragung elektrischer Energie erfolgt mit Hilfe **elektromagnetischer Wellen** (Gedankenmodell).

## Beförderung einer Information in einer Flaschenpost von A nach B

Um das von Heinrich Hertz entwickelte Gedankenmodell besser zu verstehen, vergleichen wir im Folgenden die **elektromagnetische Welle** mit einer **Wasserwelle**. Damit können wir uns ein anschauliches Bild von den Vorgängen der Energie- und Signalübertragung von Ort **A** nach Ort **B** machen. Denn im Gegensatz zur elektromagnetischen Welle können wir die Wasserwelle sehen.

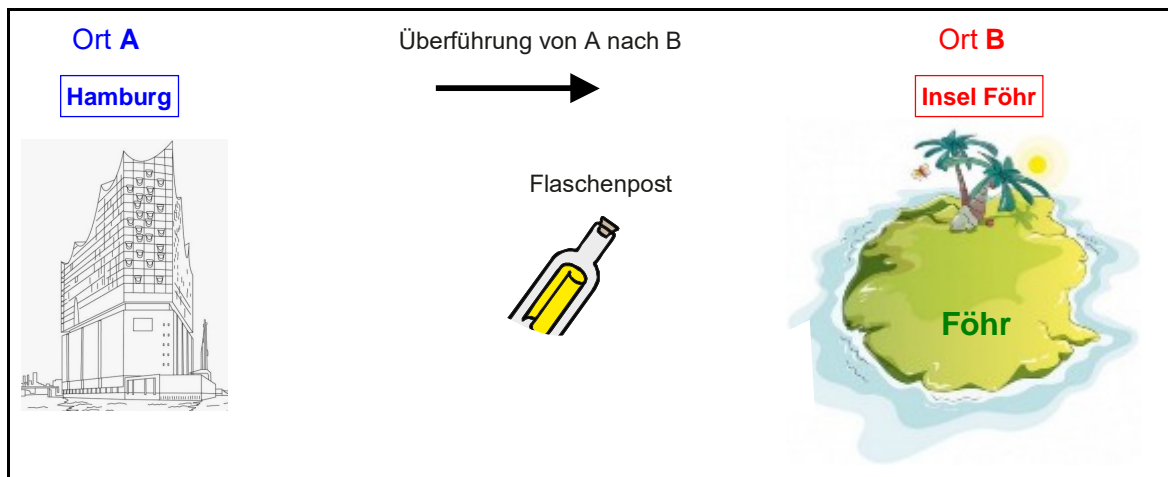
- Beispiel: Wasserwellen transportieren eine Flaschenpost mit Informationen auf der Nordsee

Nehmen wir an, eine Information wird in einer Flaschenpost von den Wasserwellen der Nordsee von Hamburg (Ort **A**) an den Strand der Insel Föhr (Ort **B**) befördert.



**Bild 7:** Flaschenpost mit einer Information wird von einer Wasserwelle von Ort **A** nach Ort **B** transportiert

- Dank unserer Phantasie können wir uns vorstellen, dass das Wasser der Nordsee unsichtbar wäre. Dann ergäbe sich folgendes Bild:



**Bild 8:** Wir können uns dank unserer Vorstellungskraft denken, die Wasserwellen wären unsichtbar. Dann hätten wir dieses Bild vor unserem geistigen Auge. An der Wirklichkeit würde dieser Gedanke nichts ändern. Die Flaschenpost mit ihrer Information würde sich weiterhin von A nach B bewegen!

- Und nun zurück zur Wirklichkeit:

In meinem Physikunterricht konnte ich meinen Schülern in einem Experiment mit relativ einfachem Geräteaufbau (siehe Bild 9) zeigen, wie man die drahtlose Übertragung elektrischer Energie mit elektromagnetischen Wellen durch den leeren Raum nachweisen kann. Da dieser Versuch fast schon an Zauberei grenzt, waren die Schüler davon stets beeindruckt. Denn immerhin wird eine ganz normale Glühlampe ohne sichtbare Verbindung mit der Energiequelle zum Leuchten gebracht. Auch in der Physik-Sammlung eurer Schule dürften die Geräte für diesen Versuch vorhanden sein. Mehr über den Aufbau dieses Experiment findest Du auf der nächsten Seite.

## Versuch zur drahtlosen Übertragung elektrischer Energie mit Hilfe elektromagnetischer Wellen

In unserem Beispiel **2** ging es darum, wie man elektrische Energie von einer Energiequelle zu einer Glühlampe übertragen kann. Mit dem folgenden Versuch kann nun gezeigt werden, dass die elektrische Energie, die von einem Ort **A** ausgesandt wird, tatsächlich (wie in unserem Fall **2**) durch den **leeren Raum** an einen Ort **B** gelangen kann.

Als Energiequelle dient ein sogenannter *Dezimeterwellensender* der Firma Leybold.

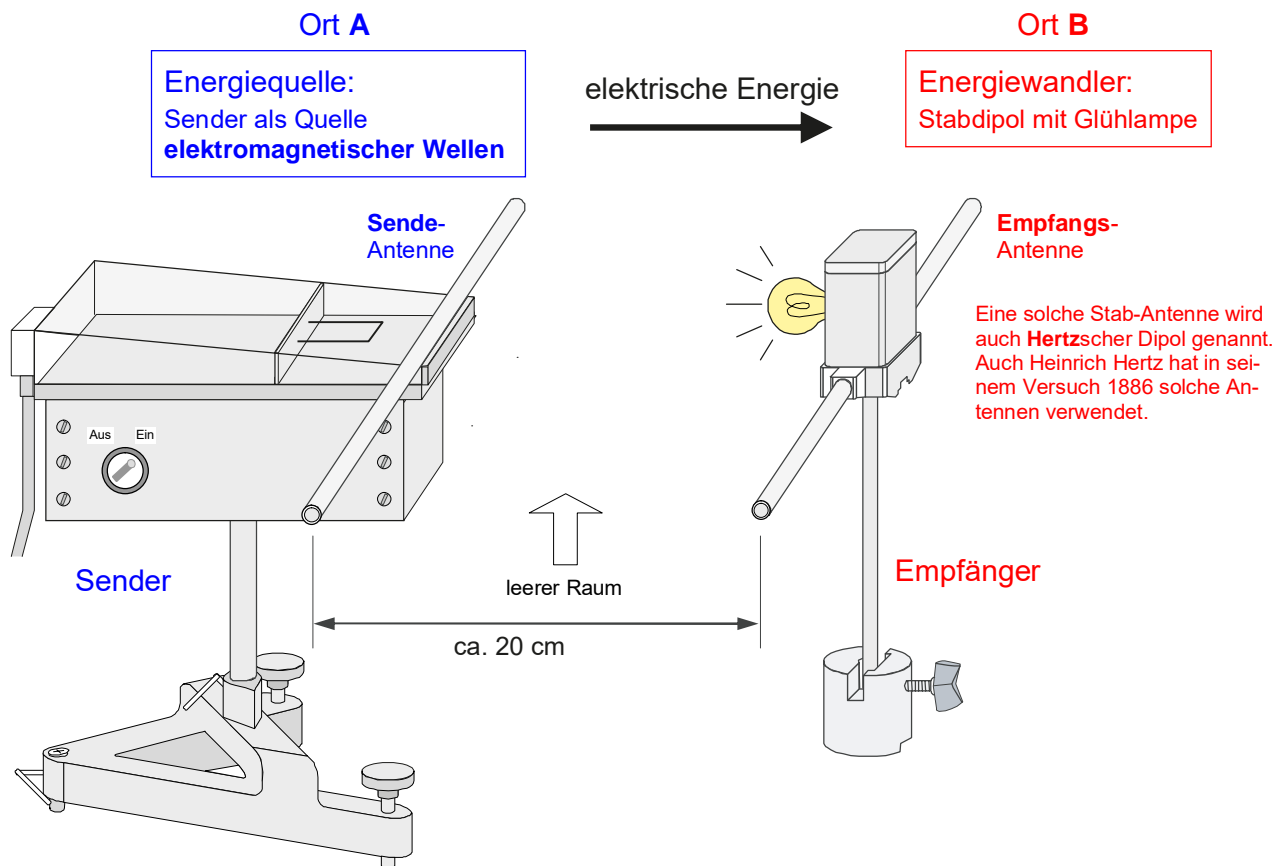


Bild 9: Übertragung elektromagnetischer Wellen im leeren Raum

Wegen des geringen und damit überschaubaren Aufwands an Versuchsgeräten ist dieser Versuch geeignet, das Phänomen der drahtlosen Übertragung elektrischer Energie in Form elektromagnetischer Wellen auch in der Sekundarstufe I (etwa in den Klassen 9 oder 10) zu zeigen.

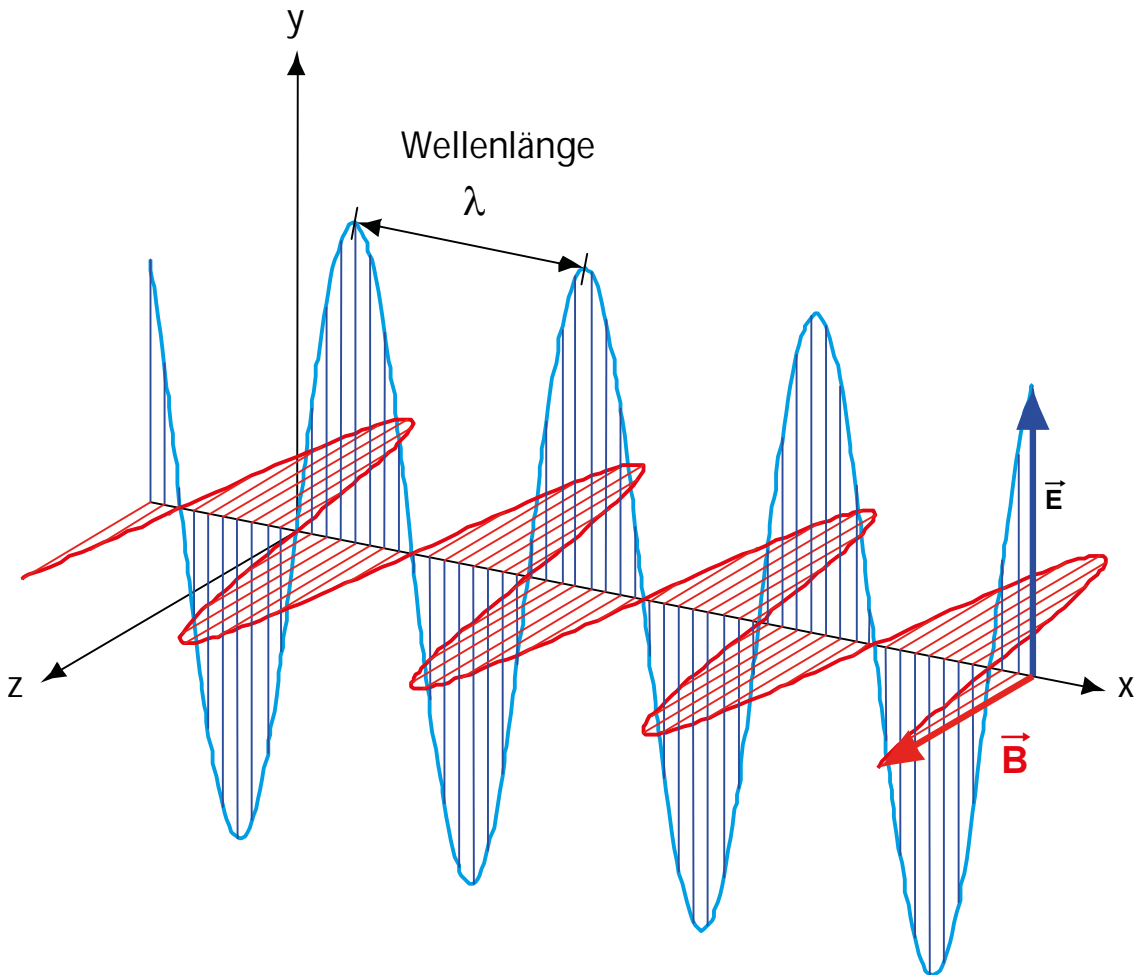
Sobald die **Energiequelle** (der Sender) eingeschaltet wird, strahlt der als **Sende-Antenne** dienende rohrförmige Aluminiumstab (Sende-Dipol) elektromagnetische Wellen ab, die dann ohne sichtbare Übertragung durch den leeren Raum zur **Empfangs-Antenne** gelangen und in dem dortigen Aluminiumstab einen Strom verursachen, der auch durch die **Glühlampe** fließt und dadurch die Lampe zum Leuchten bringt. Auch Heinrich Hertz hat 1886 bei seiner Entdeckung der elektromagnetischen Wellen solche Aluminiumstäbe als Antennen verwendet. Sie werden deshalb auch *Hertzsche Dipole* genannt.

Zu diesem Versuch gibt es auch ein You-Tube-Video. Mit einem Klick kannst Du es [hier](#) aufrufen und Dir den Versuch anschauen.



# Elektromagnetische Welle

Eine elektromagnetische Welle können wir mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen. Um trotzdem mit diesem Phänomen eine anschauliche Vorstellung zu verbinden, hat Heinrich Hertz folgendes Gedankenmodell einer elektromagnetischen Welle entwickelt. Danach kann man sich das Bild einer solchen Welle folgendermaßen vorstellen:



Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische\\_Welle](https://de.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetische_Welle)

Anschauliches Gedankenmodell einer elektromagnetischen Welle. Sie hat zwei Bestandteile: *Elektrizität* und *Magnetismus* und setzt sich zusammen aus Schwingungen der *elektrischen Feldstärke E* (blaue Linie) und Schwingungen der *magnetischen Feldstärke B* (rote Linie).

Heinrich Hertz ist nicht nur der Namensgeber eurer Schule. Ihm zu Ehren hat man auch der Maßeinheit, in der die Frequenz einer Schwingung gemessen wird, den Namen *Hertz* (Kurzzeichen: *Hz*) gegeben. Als **Frequenz** bezeichnet man die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Wenn zum Beispiel ein Fadenpendel pro Sekunde einmal hin- und herschwingt, beträgt seine Frequenz  $f = 1 \text{ Hz}$ . Ein anderes Beispiel, von dem Du vielleicht schon gehört hast: Die Frequenz des Wechselstroms in unserem Stromnetz beträgt  $f = 50 \text{ Hz}$ , also 50 Schwingungen pro Sekunde. Der Controller Deines RC-Modellautos sendet elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz von 2,4 GHz (GigaHertz), das sind unvorstellbare 2,4 Milliarden Schwingungen pro Sekunde.

