

**Metalldetektoren** werden eingesetzt, um verborgene metallische Gegenstände (z. B. Rohrleitungen, elektrische Leitungen, archäologische Fundstücke) zu lokalisieren. Sie finden ihren Einsatz auch bei der Personenüberprüfung am Flughafen oder bei der Suche nach von Lawinen verschütteten Personen. Die Funktionsweise moderner Detektoren basiert auf dem **Prinzip der elektromagnetischen Induktion** und kann mit den folgenden Versuchen nachgestellt werden.

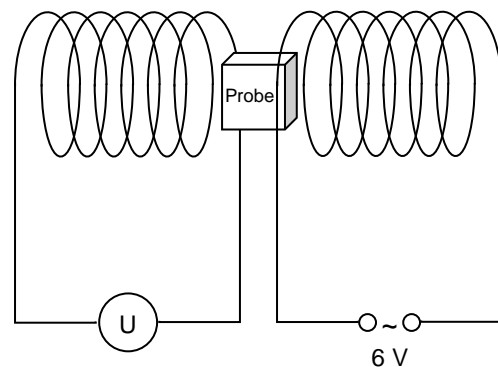
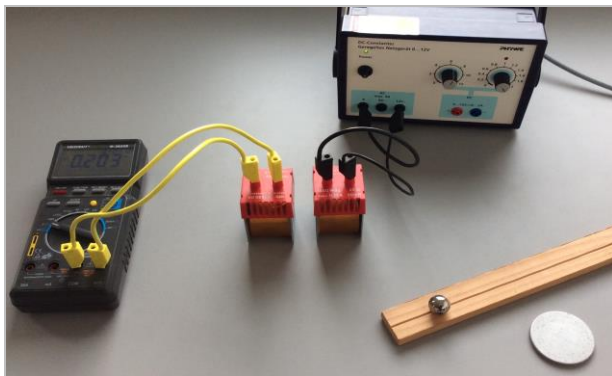
### Material

- 6 V-Wechselspannungsquelle
- zwei Spulen (ca. 1000 Windungen)
- Multimeter bzw. Oszilloskop

(Alternative: Sinusgenerator, Helmholtz-Spulenpaar, Oszilloskop)

- Proben unterschiedlicher Materialien, größere Modellautos mit Metallkarosserie oder Rollwagen mit metallischer Last, Glasscheibe
- Metalldetektor

### Aufbau



Der Gesamtaufbau besteht aus einem Primär- und einem Sekundärkreis. Den Primärkreis bildet eine Spule zusammen mit einer 6 V-Wechselspannungsquelle. Nahe der Primärspule wird eine Sekundärspule platziert und deren Induktionsspannung mit einem Multimetermessgerät bzw. Oszilloskop gemessen. Der Raum zwischen den Spulen sollte so groß bemessen sein, dass alle zu untersuchenden Proben darin Platz finden.

### Durchführung, Arbeitsaufträge

- (1) Bestimme zunächst die Spannung  $U$ , welche sich ohne Probegenstand in der Sekundärspule einstellt. Achte darauf, dass das Multimeter auf Wechselspannungsmessung eingestellt ist.
- (2) Bringe anschließend verschiedene Gegenstände (z. B. kleine Eisenkugel, kleiner geblätterter oder ungeblätterter Eisenkern, Kupfer, Aluminium, Holz, Kunststoff) zwischen beide Spulen und beobachte die Anzeige am Spannungsmessgerät (wann erhöht sich die Spannung, wann verringert sie sich?). Formuliere aufgrund deiner Beobachtungen Regeln.
- (3) Erkläre das beobachtete Spannungsverhalten. Gehe dabei insbesondere auf die in der Probe auftretenden Vorgänge ein [Tipp: Begriffe wie *Leitfähigkeit* und *magnetische Eigenschaften der Materie* (u. U. konkurrierende Effekte in der Probe!) können dir helfen].
- (4) Dieses Verfahren mit einem „Sender“ und einem „Empfänger“ kann im Prinzip (stark vereinfacht gesehen) auch zur Warensicherung z. B. in Kaufhäusern verwendet werden. Die (älteren) Sicherungsetiketten sind dir sicher bekannt.  
Überlege, welcher Teil des obigen Aufbaus als Sender bzw. als Empfänger bezeichnet



werden kann, und beschreibe dieses Verfahren (es wird auch Radiofrequenz-Verfahren genannt) mithilfe einer passenden Skizze auf die Situation „Kaufhaus“ bezogen. Gib auch an, wie aus deiner Sicht das Sicherungsetikett aufgebaut sein könnte. Recherchiere!

- (5) Entferne den Primärkreis und bringe stattdessen einen echten Metalldetektor in die Nähe der Sekundärspule. Beobachte nun mithilfe des Oszilloskops die auftretende Induktionsspannung: Welche Signalform registrierst du? Bestimme die Wechselspannungsfrequenz, mit der der Metalldetektor arbeitet.

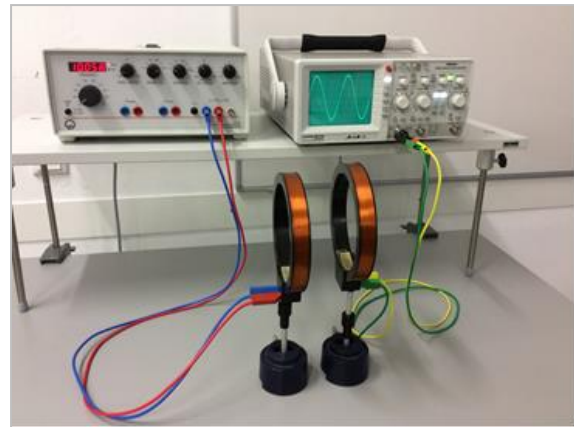


Mit freundlicher Genehmigung: Prof. Dr. R. Girwidz  
(LMU München, Didaktik der Physik)

- (6) Das oben verwendete Verfahren wird auch **VLF-Verfahren** („very low frequency“) genannt. Daneben gibt es u. a. das BFO-Verfahren („beat-frequency oscillator“) und das PI-Verfahren („pulse induction“). Informiere dich über deren Funktionsweise.

## Aufbau 2, Alternative

- (1) Alternativ zu der im Aufbau 1 verwendeten 50-Hz-Spannungsquelle kann für die Versuche auch ein Sinusgenerator eingesetzt werden. Damit lassen sich dann auch Frequenzen realer Detektoren (Bereich einige 10 kHz) realisieren. Bei den Spulen eignet sich besser ein Helmholtz-Spulenpaar, da dieses ein leichteres Einbringen der Probe erlaubt und zudem die charakteristische Form eines Metalldetektors besser wiedergibt.



- (2) Dieser Versuchsaufbau kann prinzipiell auch als stark vereinfachtes Modell eines **Fahrzeugdetektors** in Straßen verwendet werden: Baue ihn entsprechend „realistisch“ um (z. B. beide Spulen flach unter einer Glasscheibe als Straße), wähle eine geeignete Frequenz (einige 10 kHz) und führe Versuche mit größeren Modellautos mit Metallkarosserie oder Rollwagen mit metallischer Last durch. Informiere dich über reale Methoden zur Fahrzeugdetektion.



Rollwagen ohne metallische Last

## Hinweise, Literatur und Links

- 📖 Beim Einbringen ferromagnetischer Proben ist darauf zu achten, dass sich diese zur symmetrischen „Deformation“ des magnetischen Feldes in der Induktionsspule vollständig zwischen den Spulen befinden.
- 📖 Der Effekt bei nichtferromagnetischen Metallen lässt sich am besten mit großflächigen Blechen demonstrieren.
- 📖 Zur Verstärkung der Induktionsspannung können zusätzlich Feld- und Induktionsspule mit einem Eisenkern versehen werden.
- 📖 Informationen zum Thema Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus unter [www.supermagnete.de/magnetismus/diamagnetismus](http://www.supermagnete.de/magnetismus/diamagnetismus)
- 📖 LMU Didaktik der Physik: Informationen zu Metalldetektoren und Fahrzeugdetektoren im Physikunterricht [www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/sensorik/indu-sen-und-b-feldsen/index.html](http://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/materialien/sensorik/indu-sen-und-b-feldsen/index.html)
- 📖 Informationen zu Sicherungsetiketten, Metalldetektoren, Induktionsschleifen im Straßenverkehr bei LEIFI-Physik unter [www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-induktion/ausblick](http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-induktion/ausblick)
- 📖 Informationen zum BFO-Detektor (Beat-frequenz-detector) bei LEIFI-Physik unter [www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-schwingungen/ausblick/metalldetektor](http://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/elektromagnetische-schwingungen/ausblick/metalldetektor)
- 📖 Das Modell eines induktiven Münzgeldsortierers wird in „B. Eckert, W. Stetzenbach, H.-J. Jodl: Low Cost – High Tech“ (Aulis Verlag Deubner, Köln 2001, S. 152f) vorgestellt. Hier werden Spannungsänderungen an einem LC-Schwingkreis (in erzwungener Schwingung) registriert (verursacht durch vorbeigeführte Metallscheiben/Münzen).
- 📖 Zusammenfassung zum Thema Metalldetektor bei Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Metalldetektor>
- 📖 Weitere Anregungen siehe auch **Handreichung „Technik erleben“**, Induktive Sensoren, S. 248
- 📖 Erste Hinweise auf die Funktionsweise von Metalldetektor-Apps für Smartphones siehe **Smartphone\_Erdmagnetfeld** ☺.