

## Einführung elektrischer und magnetischer Felder

### 1. Didaktisches Konzept

Elektrische und magnetische Felder sind grundlegende Konzepte der Physik und bilden die Basis der modernen Technologien. Für eine naturwissenschaftliche Grundbildung ist daher ein fundiertes Verständnis der klassischen Feldtheorie unerlässlich. Die Ergebnisse nationaler und internationaler Studien zeigen jedoch, dass Lernende zahlreiche konzeptuelle Schwierigkeiten und lernhinderliche Vorstellungen in diesem Themengebiet aufweisen. Der hier vorgestellte Einführungsunterricht über elektrische und magnetische Felder für die Sekundarstufe II soll daher Lernende dabei unterstützen, physikalisch angemessene Vorstellungen zu entwickeln.

#### 1.1 Inhalte

Der Einführungsunterricht thematisiert die Basiskonzepte und deren Zusammenhänge, wie sie in den Maxwell-Gleichungen und der Lorentzkraft repräsentiert werden. Auf eine Spezifizierung der einzelnen Gesetzmäßigkeiten bzw. eine formale Beschreibung wird verzichtet, sondern die zentralen Aussagen werden qualitativ behandelt.

#### 1.2 Zentrale Bestandteile des Einführungsunterrichts

Neue Sachstruktur

In Schulbüchern und im traditionellen Unterricht erfolgt die Einführung des elektrischen Feldes meist über die Felder von Punktladungen. In der Konzeption des Einführungsunterrichts wurde ein anderer Weg eingeschlagen. Von Anfang werden statt statischer Phänomene dynamische Prozesse thematisiert. Diese Vorgangsweise hat folgende Vorteile:

- Dynamische Prozesse erlauben es, Phänomene zu behandeln, die stärker in der Alltagswelt der Lernenden verankert sind. Die Lernenden können somit einfacher die Relevanz und die Bedeutung der Lerninhalte erkennen.
- Dynamische Phänomene ermöglichen eine parallele Einführung elektrischer und magnetischer Felder. Dadurch können die Gemeinsamkeiten, aber auch vor allem die Unterschiede, besser herausgearbeitet werden.
- Die Zusammenhänge zwischen den Basiskonzepten Materie und Felder, wie sie in den Maxwell-Gleichungen oder in der Lorentzkraft-Formel zusammengefasst werden, können von Anfang an thematisiert werden. Die zeitliche Abfolge der Inhalte richtet sich nicht nach Kriterien wie statische oder dynamische Prozesse bzw. elektrische oder magnetische Felder, sondern nach dem Typus der Interaktion (Materie – Feld, Feld – Feld bzw. Feld – Materie Interaktionen). Dadurch wird verhindert, dass die Lernenden

isoliertes Wissen ansammeln, ohne die entsprechenden Zusammenhänge zu kennen und zu verstehen.

Schon in der ersten Sequenz erfolgte daher der Einstieg mit Hilfe eines Demonstrationsversuchs zur Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen (siehe Abb. 1). Der Fokus des Demonstrationsversuchs liegt dabei auf den Vorgängen an der Sendeantenne und der Empfangsantenne. Andere Teilaspekte des Versuchs, wie z. B. die Funktionsweise von Schwingkreisen, die Ein- bzw. Auskopplung der Signale oder das Resonanzverhalten werden während des Einführungsunterrichts ausgeblendet.

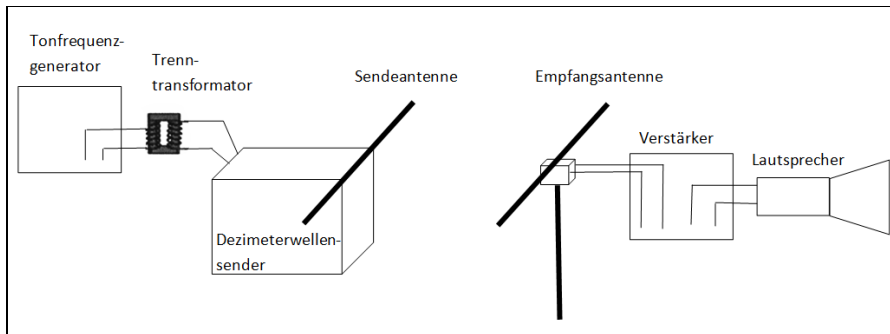


Abb. 1: Schematischer Aufbau des Demonstrationsversuchs zur Informationsübertragung

### Einführung des Feldbegriffs

Im Einführungsunterricht wird das Feld nicht als Funktion eingeführt, die jedem Punkt den Wert einer ort- und zeitabhängigen physikalischen Größe zuordnet, sondern über die historische Bedeutung des Feldbegriffs in der Physik. Die Lernenden sollen erkennen, dass der Feldbegriff in der Interpretation von Kraftwirkungen über Distanzen eine zentrale Rolle spielt und für den Wechsel in der ontologischen Sichtweise bzw. Interpretation von Wechselwirkungen verantwortlich ist.

Unterstützt wird die Einführung des Feldbegriffs durch eine Analogie. Dabei handelt es sich um einen Versuch zur Oberflächenspannung. Wird ein Reißnagel vorsichtig auf die Wasseroberfläche gelegt, schwimmt dieser auf Grund der Oberflächenspannung. Interessanterweise befindet sich der Reißnagel immer in der Mitte des Becherglases und nicht am Rand. Selbst wenn man den Reißnagel etwas in Richtung des Randes stößt, wird dieser noch bevor er den Rand erreicht, zurückgestoßen. Wird ein zweiter Reißnagel auf die Wasseroberfläche gelegt, schwimmen sie zueinander. Der Rand des Glases und der Reißnagel stoßen sich gegenseitig ab, aber zwei Reißnägel ziehen sich gegenseitig an. In beiden Fällen tritt eine Wechselwirkung ohne direkten Kontakt auf, analog zur Wechselwirkung zwischen Ladungen oder zwischen elektrischen Strömen. Im Fall der Reißnägel liegt der Grund in der Oberflächenspannung bzw. in der Bestrebung des Wassers die Oberfläche zu minimieren. Bekannt ist dieser Effekt auch unter dem Begriff „Cheerios effect“ (Vella & Mahadevan, 2005).

Das Verhalten der Reißnägel auf der Wasseroberfläche bietet sich als Analogie sehr gut an, da sowohl Anziehung und Abstoßung auftritt und für Lernende leicht erkennbar ist, dass die

gegenseitige Wechselwirkung nicht direkt von den Reißnägeln ausgeht, sondern durch die veränderte Wasseroberfläche vermittelt wird, was die Interpretation der Wechselwirkung im Sinne des Nahwirkungsprinzips erleichtert. Sieht man seitlich auf die Wasseroberfläche oder legt man unter das Becherglas ein Millimeterpapier erkennt man, dass am Reißnagel sich konvexe Menisken ausbilden. Wenn notwendig, könnte man den Versuch auch noch ausbauen, in dem auch die Schutzkappen der Reißnägeln verwendet werden. Schwimmen eine Schutzkappe und ein Reißnagel auf der Wasseroberfläche, werden sich beide nicht gegenseitig anziehen, sondern abstoßen, da an der Schutzkappe konkave Menisken auftreten. Die Minimierung der Oberfläche führt daher zu einer Abstoßung beider.

Im Vergleich zu anderen Analogien, wie das Höhenfeld oder Temperaturfeld, kann durch das Verhalten der Reißnägeln auf der Wasseroberfläche der ontologische Status des Feldbegriffs besser vermittelt werden. Schließlich steht in der Analogie auch die Wechselwirkung zwischen Körpern (Reißnagel und Becherglas bzw. Reißnagel und Reißnagel) im Vordergrund. Außerdem ist klar erkennbar, dass die Veränderung der Wasseroberfläche durch einen Reißnagel immer vorhanden ist, unabhängig davon, ob ein zweiter Reißnagel anwesend ist bzw. ob eine Wechselwirkung zwischen den Reißnägeln erkennbar ist. So wie in der klassischen Feldtheorie jede Ladung ein Feld in ihrer Umgebung hervorruft, unabhängig davon, ob eine zweite Ladung anwesend ist oder nicht. Die Existenz des Feldes ist also nicht an eine beobachtete Kraftwirkung gebunden.

#### Aufbau einer hierarchischen Wissensstruktur

Ein wesentliches Ziel des Einführungsunterrichts ist es, Lernende von Anfang an beim Aufbau einer hierarchischen Wissensstruktur zu unterstützen. Dafür wird im Unterricht schrittweise ein Concept Map erstellt, welches alle zentralen Zusammenhänge, also die Interaktionen zwischen Materie – Feld, Feld – Feld und Feld – Materie beinhaltet.

### **1.3 Verankerung im Unterricht**

Der Unterrichtsvorschlag ist für zwei Unterrichtseinheiten konzipiert. In welcher Schulstufe der Sekundarstufe II bzw. in welchem Semester dieser Unterrichtsvorschlag eingesetzt wird ist abhängig von der Wochenstundenzahl in der Oberstufe bzw. autonomen Lehrplänen.

## 2. Einzelne Sequenzen des Unterrichts

Der Einführungsunterricht gliedert sich 6 Sequenzen:

Gliederung und Inhalte der einzelnen Sequenzen	
Sequenz	Inhalt
1. Einstieg	Demonstration zur Informationsübertragung mit elektromagnetischen Wellen
2. Einführung des Feldbegriffs	Bedeutung des Feldbegriffs für die Interpretation der Kraftwirkungen über größere Entfernungen hinweg
3. Quellen elektrischer und magnetischer Felder	Ladungen rufen elektrische Felder hervor. Bewegte Ladungen rufen magnetische Felder hervor.
4. Sendeantenne	Felder an der Sendeantenne. Abschnürung der Felder. Zeitlich veränderliche elektrische Felder rufen magnetische Felder hervor und umgekehrt.
5. Empfangsantenne	Elektrische Felder üben Kräfte auf Ladungen aus. Magnetische Felder üben Kräfte auf bewegte Ladungen aus.
6. Zusammenfassung	

Auf den folgenden Seiten werden die Inhalte der einzelnen Sequenzen genau beschrieben. Am Ende jeder Sequenz finden Sie Aufgaben für die Schüler\*innen. Diese sollten die Lernenden einzeln bearbeiten. Anschließend werden die Antworten in der Klasse diskutiert.

## Erste Sequenz: Einstieg – Informationsübertragung mit Dezimeterwellen

*L: In diesem Einführungsunterricht zum Thema Elektrizität sollen die wichtigsten Begriffe und Grundprinzipien erklärt werden und ihr sollt einen Überblick darüber erhalten, wie diese untereinander zusammenhängen. Ein Versuch steht dabei im Mittelpunkt, den ich euch nun kurz vorstellen werde. Hier ist ein Tonfrequenzgenerator, der einen Ton erzeugt (samt Demonstration mit einem Lautsprecher). Dieser Ton soll drahtlos zu einem weit entfernten Lautsprecher übertragen werden. Dazu wird zuerst der Ton in dieses Gerät, ein sogenanntes Dezimeterwellengerät, eingespielt. Aus technischen Gründen, auf die ich jetzt nicht eingehen will, muss dafür dieser Transformator verwendet werden. Auch auf die genaue Funktionsweise des Dezimeterwellengeräts wird nicht eingegangen.*

*Es soll versucht werden, mit der Sendeantenne den Ton auf diese Empfangsantenne zu übertragen. Da die Signale sehr klein sind, wird mit diesem Verstärker das Signal verstärkt, sodass wir den Ton über den Lautsprecher hören können.*

### Demonstrationsversuch (1): Dezimeterwellen – Informationsübertragung mit EM-Wellen



Abb. 2: Versuchsaufbau des ersten Demonstrationsversuchs. Während der Durchführung betrug der Abstand zwischen Sende- und Empfangsantenne zirka 3 Meter.

*L: Wie ist es möglich, dass der Ton vom Sender zur Empfangsantenne bzw. zum Lautsprecher gelangt? Irgendetwas überträgt den Ton von der Sendeantenne zur Empfangsantenne. Die Frage ist, wer oder was überträgt die Information?*

## **Demonstrationsversuch (2):** Abschirmung der Empfangsantenne mit Metallkäfig

1. Schritt: Metallkäfig über die Empfangsantenne. Ton ist nicht mehr hörbar – Übertragung bricht zusammen.

*L: Stelle ich einen Metallkäfig über die Empfangsantenne hört man den Ton nicht mehr. Die Übertragung wird unterbrochen. Offensichtlich kommt die Information bei der Empfangsantenne nicht mehr an.*

### **Erklärung:**

*L: Durch das Dezimeterwellengerät werden Elektronen in der Sendeantenne zum Schwingen angeregt. Die hin und her schwingenden Elektronen erzeugen, wie wir später sehen werden, elektrische und magnetische Felder. Diese Felder koppeln sich von der Antenne ab und breiten sich im Raum aus. Die Felder gelangen zur Empfangsantenne und regen dort die Elektronen wieder zum Schwingen an, rufen also einen elektrischen Strom hervor. Der elektrische Strom wird verstärkt und schließlich im Lautsprecher in Schallwellen umgewandelt.*

*Die Informationsübertragung erfolgt also durch elektrische und magnetische Felder, die sich im Raum ausbreiten. Werden die Felder durch einen Metallkäfig abgeschirmt, bricht die Übertragung zusammen.*

*Im Laufe des Einführungsunterrichts sollen daher folgende Fragen beantwortet werden:*

***Was sind überhaupt elektrische und magnetische Felder?***

***Wer erzeugt diese Felder?***

***Welche Eigenschaften zeigen sie?***

***Wie gelangen die Felder von der Sendeantenne zur Empfangsantenne?***

***Welche Bedeutung haben sie bei der Informationsübertragung?***

### **Aufgaben:**

1. Kennen Sie Beispiele aus dem Alltag, in denen dieses Prinzip zur Informationsübertragung eingesetzt wird?
2. Warum ist oft der Empfang des Radios oder Handys in einem Tunnel oder in einer Tiefgarage gestört?
3. Was müsste man tun, damit in einem Tunnel oder in einer Tiefgarage dennoch ein guter Empfang vorhanden ist?

## Zweite Sequenz: Einführung des Feldbegriffs

*L: In der Elektrizitätslehre stehen zwei physikalische Objekte im Mittelpunkt, Felder und Materie (Folie 1-A1). Materie in Form von Leitern, wie ein Kupferkabel, Isolatoren, wie Kunststoffe, Ladungen, wie Elektronen und Protonen bzw. geladenen Körpern (Folie 1-A2). Unterschieden werden muss, ob die Ladungen in Bewegung sind oder in Ruhe. In einem Leiter können sich die Elektronen frei bewegen, man spricht auch von einem elektrischen Strom. In einem Isolator können sich die Elektronen nicht bewegen.*

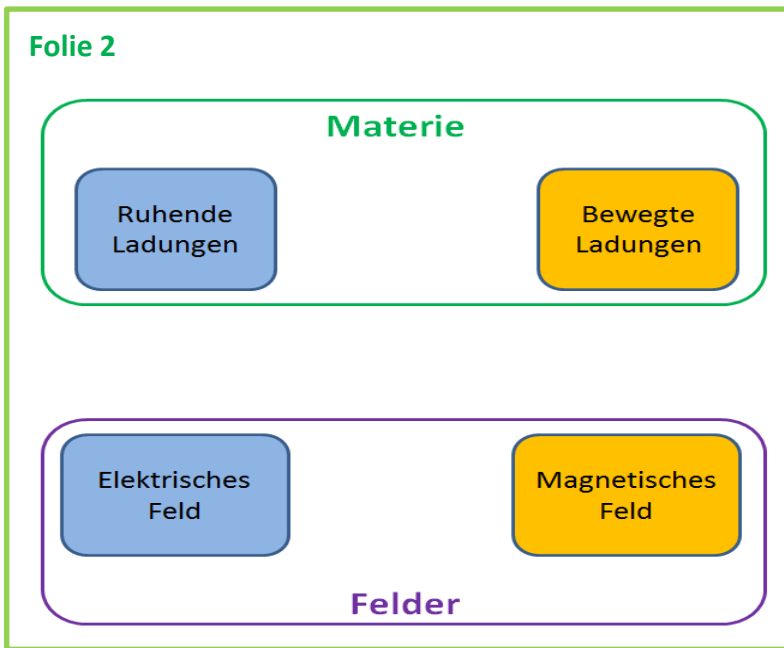
Folie 1	
In der Elektrizitätslehre stehen zwei physikalische Objekte im Mittelpunkt:  <b>Felder und Materie</b>	A1
<u>Materie:</u> Leiter, Isolatoren, Ladungen (Elektronen, Protonen, Ionen)	A2
<u>Felder:</u> Felder in Form von elektrischen und magnetischen Feldern	A3

Folie 1 zur Präsentation der zwei wesentlichen Konzepte, Feld und Materie. Die einzelnen Animationsbereiche sind mit A1 bis A3 gekennzeichnet.

*L: Felder kommen in Form von elektrischen und magnetischen Feldern (Folie 1-A3) vor.*

*Wir haben also einerseits die Materie, sprich ruhende oder bewegte Ladungen, und die Felder, also das elektrische Feld und das magnetische Feld (Folie 2). Die Frage ist nur, was ist ein Feld? Um diese Frage zu beantworten, zeige ich euch einen Versuch, den ihr sicher kennt.*

## Folie 2

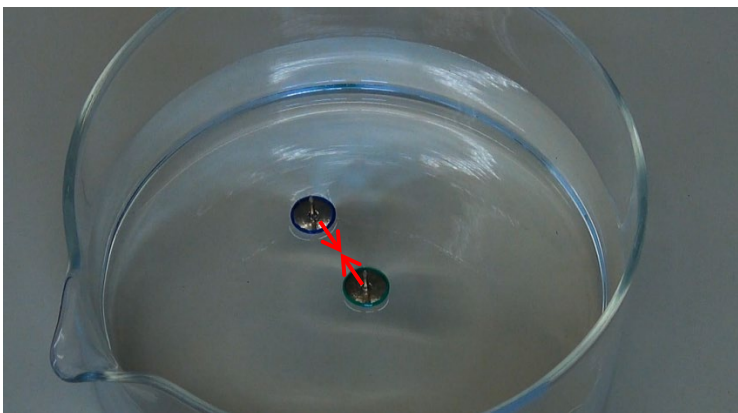


Erste Folie zur schrittweisen Erstellung des Concept Maps

### Demonstrationsversuch (3): Anziehung bzw. Abstoßung zweier Stabmagnete

*L: Wie ist das möglich, dass sich beide Stabmagnete anziehen, ohne in direkten Kontakt zu sein? Wie weiß der eine Magnet von der Anwesenheit des anderen Magneten? Wie erklärt das die Physik? Zur Beantwortung dieser Fragen betrachten wir folgende Situation, die erstmals nichts mit Elektrizität und Magnetismus zu tun hat.*

### Demonstrationsversuch (4): Reißnägel auf Wasseroberfläche



Gegenseitige Anziehung zweier Reißnägel, die auf einer Wasseroberfläche schwimmen



Anmerkung: Der Versuch kann selbstverständlich auch als Schüler\*innen-Versuch durchgeführt werden.

- (1) Reißnagel mit der Spitze nach oben vorsichtig aufs Wasser legen (mittig).
- (2) Reißnagel schwimmt wegen der Oberflächenspannung auf der Wasseroberfläche.

*L: Schwimmt der Reißnagel zufällig in der Mitte, oder könnte er auch am Rand schwimmen?*

- (3) Reißnagel wird vorsichtig gegen den Rand verschoben. Noch bevor er den Rand berührt, wird er von diesem abgestoßen.

*L: Wie ist das möglich? Wie nimmt der Reißnagel das Becherglas wahr? Er sieht den Rand doch nicht?*

- (4) Zweiter Reißnagel dazu. Die zwei Reißnägel schwimmen aufeinander zu, sie ziehen sich an.

*L: Wie ist das möglich? Woher weiß der Reißnagel, ob sich ein zweiter Reißnagel in seiner Nähe befindet oder nicht?“*

#### **Erklärung:**

*I: Das Glas verändert auf Grund der Kohäsion die Wasseroberfläche. Wasser ist ja eine benetzende Flüssigkeit und wird daher etwas an der Glaswand nach oben gezogen. Der Reißnagel kann daher nicht direkt an den Rand schwimmen. Er wird also nicht direkt von der Glaswand abgestoßen, sondern die veränderte Wasseroberfläche vermittelt dies bzw. ruft das hervor. Aber auch die scheinbar gegenseitige Anziehung der Reißnägel hat ihren Ursprung in der Oberfläche des Wassers. Wenn ihr genau schaut, seht ihr, dass auch die Reißnägel die Wasseroberfläche verändern (siehe Abb. 5). Diese veränderte Wasseroberfläche vermittelt den Effekt. Die Anziehung geht also nicht direkt von den Reißnägeln aus, sondern wird wieder von der veränderten Wasseroberfläche hervorgerufen bzw. vermittelt. Jeder einzelne Reißnagel nimmt somit nicht den anderen wahr, sondern die veränderte Wasseroberfläche.*

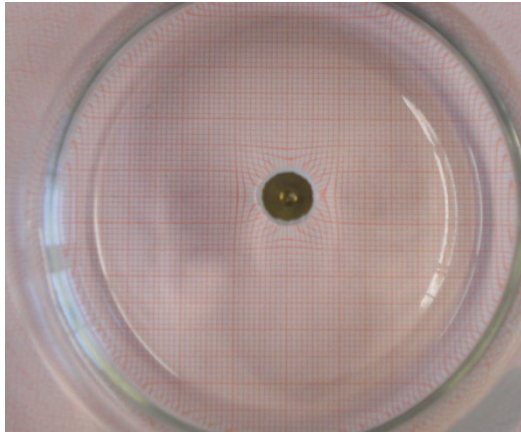




Abb. 3: Veränderung der Wasseroberfläche durch die Reißnägel

Zurück zur Anziehung der Stabmagnete:

*L: Das Verhalten der Stabmagnete können wir in einer ähnlichen Weise erklären. So wie jeder Reißnagel eine Veränderung der Wasseroberfläche hervorruft, so verändert auch jeder Magnet den Raum. Er ruft ein magnetisches Feld hervor. Und so wie die gegenseitige Anziehung der Reißnägel durch die veränderte Wasseroberfläche hervorgerufen wird, so wird die gegenseitige Anziehung der Magnete durch das magnetische Feld vermittelt. Jeder einzelne Magnet nimmt also nicht den anderen wahr, sondern das Magnetfeld.*

### Zusammenfassung:

<b>Folie 3</b>	
	
Reißnagel ruft eine veränderte Wasseroberfläche hervor.	Magnet ruft ein magnetisches Feld hervor.
Die gegenseitige Anziehung zweier Reißnägel wird über die veränderte Wasseroberfläche vermittelt.	Die gegenseitige Anziehung/Abstoßung zweier Magnete wird über das magnetische Feld vermittelt.
Die Veränderung der Wasseroberfläche nimmt mit der Entfernung vom Reißnagel ab. Die Kraftwirkung nimmt daher mit der Entfernung ab.	Die Stärke des Feldes nimmt mit der Entfernung vom Magneten ab. Die Kraftwirkung nimmt daher mit der Entfernung ab.
Die Kraftwirkung tritt zeitverzögert auf, da sich die Veränderung der Oberfläche mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreitet.	Die Kraftwirkung tritt zeitverzögert auf, da sich das Feld mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreitet.
<b>ABER</b>	
Im Gegensatz zur Wasseroberfläche ist das Feld nicht materiell und für uns unsichtbar.	

Folie 3 zur Einführung des Feldbegriffs

Mündliche Ergänzungen zur Folie 3:

*L: Die Veränderung der Wasseroberfläche nimmt mit der Entfernung ab. Auch die Stärke des Magnetfeldes, die sogenannte Feldstärke, nimmt mit der Entfernung ab. Das Magnetfeld selbst ist grundsätzlich unendlich weit ausgedehnt, aber die Kraftwirkung wird sehr schnell immer kleiner und ist daher fast nicht mehr messbar.*

*Die Veränderung der Wasseroberfläche kann sich nur mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreiten. Auch das Magnetfeld breitet sich mit einer gewissen, wenn auch sehr großen Geschwindigkeit, aus. Daher treten die Kraftwirkungen immer etwas zeitverzögert auf.*

Die zentralen Aussagen über den Feldbegriff werden in Folie 4 nochmals zusammengefasst und mit den Lernenden besprochen. Es sollte beim dritten Punkt erwähnt werden, dass das Feld nur ein mögliches Modell ist, mit dem sich die Kraftwirkung ohne direkten Kontakt erklären lässt.

*L: Ein mögliches physikalisches Modell zur Erklärung der Kraftwirkung über Distanzen ist das Feld. Die Kraftwirkung geht also nicht direkt von den beteiligten Körpern aus, sondern wird durch das Feld vermittelt.*

#### Folie 4

##### Feldbegriff in der Physik

Ein Feld ist ein physikalisches Objekt, das räumlich ausgedehnt ist.

Die Kraftwirkung (Anziehung/Abstoßung) wird vom Feld vermittelt.

Der Feldbegriff wird verwendet, um die gegenseitigen Anziehung/Abstoßung ohne direkten Kontakt – also über größere Distanzen – zu erklären.

Felder breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Kraftwirkung ist daher immer etwas zeitverzögert.

Folie 4 zur Einführung des Feldbegriffs

## Aufgaben:

4. Der Mond kreist um die Erde. Für diese Kreisbewegung ist die Gravitationskraft notwendig. Die Gravitationskraft führt zur gegenseitigen Anziehung von Mond und Erde. Welche Argumente sprechen dafür, diese Anziehung wieder mit einem Feld zu erklären?

5. Welche der folgenden Aussagen sind richtig (bzgl. Mond – Erde)?

	falsch	richtig
Die gegenseitige Anziehung wird durch das Gravitationsfeld vermittelt, das beide Körper hervorrufen.		
Die gegenseitige Anziehung wird durch das Gravitationsfeld vermittelt, das nur die Erde hervorruft.		
Wird die Erde blitzartig entfernt, nimmt das der Mond erst zeitverzögert wahr.		

## Dritte Sequenz: Quellen elektrischer und magnetischer Felder

*L: Zurück zu den Magneten. Jeder einzelne Magnet erzeugt ein magnetisches Feld, genau wie die Reißnägel. Die gegenseitige Anziehung oder Abstoßung wird über dieses Feld vermittelt. Wer oder was im Magneten erzeugt aber das Feld?*

Kurze Beschreibung der Entdeckung von Oersted (Folie 5-A1).

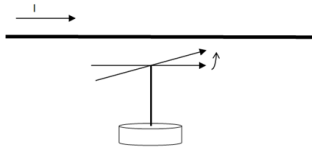
*L: Oersted beschäftigte sich mit genau dieser Frage und entdeckte den Zusammenhang zwischen Elektrizität und Magnetismus. Er stellte fest, dass ein stromdurchflossener Leiter eine Kompassnadel, die sich in der Nähe befindet, ablenkt. Der Grund für die magnetischen Phänomene sind immer elektrische Ströme.*

*Elektrische Ströme, also Ladungen in Bewegung, erzeugen ein Feld, welches man magnetisches Feld nennt. Der Grund für die magnetischen Phänomene sind daher elektrische Ströme. Bei jedem Magneten, auch bei einem Permanentmagnet, erzeugen elektrische Ströme das Magnetfeld (Folie 5-A1). Wer oder was wird aber elektrische Felder hervorrufen?*

## Folie 5

### Magnetisches Feld

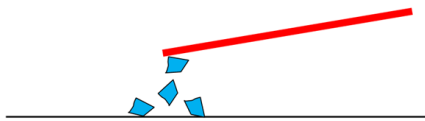
Bewegte Ladungen rufen magnetische Felder hervor.  
Der Grund für die magnetischen Phänomene sind daher elektrische Ströme.



A1

### Elektrisches Feld

Ladungen (in Ruhe oder in Bewegung) erzeugen elektrische Felder.



A2

Folie 5 über die Quellen elektrischer und magnetischer Felder

### Demonstrationsversuch (5): Reibungselektrizität (Kunststoffstab, Fell, Papierschnipsel)

Kunststoffstab wird mit einem Fell gerieben. Kleine Papierschnipsel liegen auf dem Tisch. Kommt der Stab den Papierstückchen näher, springen sie zum Stab.

*L: Könnte man dieses Phänomen mit dem Feldbegriff erklären? Was spricht für die Erklärung dieses Phänomens mit dem Feldbegriff?*

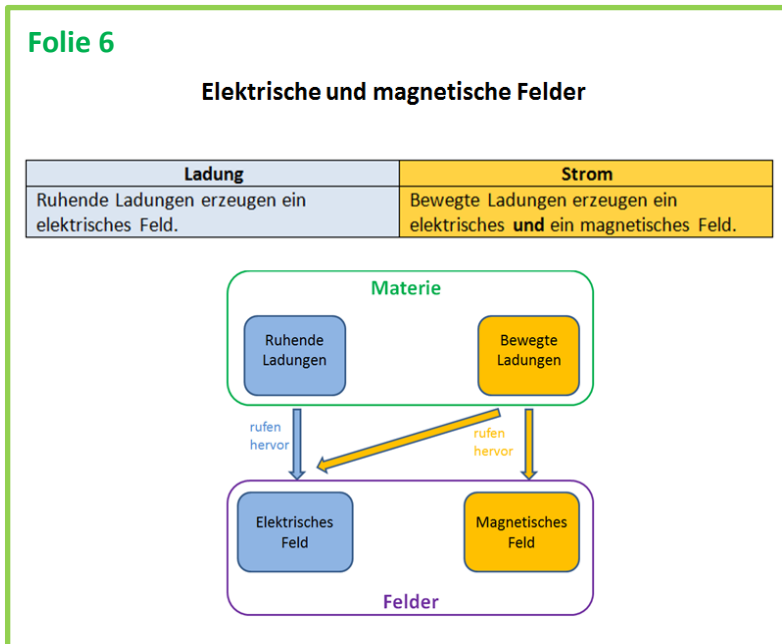
*- Die Kraftwirkung setzt schon ohne direkten Kontakt ein.*

*Wäre ein Magnetfeld denkbar?*

*- Durch das Reiben wurde der Stab aufgeladen. Die Ladungen sind aber in Ruhe, da sie sich in einem Isolator nicht bewegen können. Daher können sie kein magnetisches Feld erzeugen.*

*Es handelt sich um ein elektrisches Feld. Alle Ladungen, in Ruhe oder in Bewegung, erzeugen elektrische Felder (Folie 5-A2).*

**Zusammenfassung:**



Folie 6 mit der Zusammenfassung der wesentlichen Inhalte dieser Sequenz

**Aufgaben:**

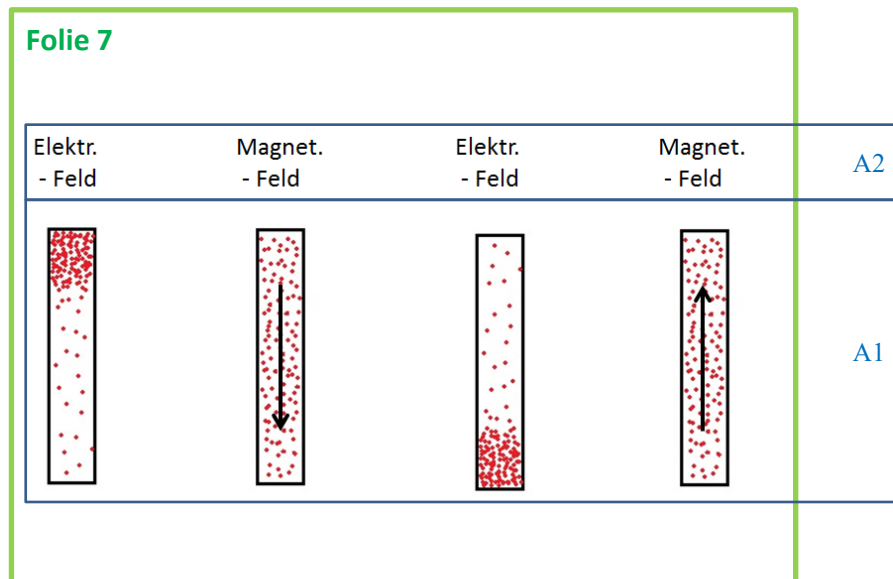
6. Welche der folgenden Aussagen sind richtig?

	falsch	richtig
Jeder geladene Körper ruft ein elektrisches Feld hervor.		
Jeder geladene Körper ruft ein elektrisches und magnetisches Feld hervor.		
Jeder geladene Körper ruft ein magnetisches Feld hervor.		
Bewegt sich ein geladener Körper mit einer konstanten Geschwindigkeit ist er von einem elektrischen und magnetischen Feld umgeben.		
Bewegt sich ein geladener Körper mit einer konstanten Geschwindigkeit ist er nur von einem magnetischen Feld umgeben.		

**Vierte Sequenz: Sendeantenne**

*L: Können uns nun wieder dem Ausgangsversuch widmen. Mit dem bis jetzt erworbenen Wissen, kann man die Vorgänge an der Sendeantenne besser verstehen. Wie zu Beginn erwähnt, werden die Elektronen vom Dezimeterwellengerät zum Schwingen in der Antenne angeregt. Also, die Elektronen sammeln sich auf der einen Seite, fließen rüber und sammeln sich auf der anderen usw. Das kann graphisch folgendermaßen dargestellt werden (Folie 7-A1). Allerdings ist die Antenne aufrecht dargestellt. Die Elektronen*

sind als kleine rote Punkte dargestellt. Sie sammeln sich oben, fließen runter usw. Wann werden daher welche Felder entstehen? (Auflösung Folie 7-A2).



Folie 7 zur Ladungsverteilung in der Sendeantenne.

### Demonstrationsversuch (6): Nachweis der Felder

Elektrisches Feld mit einer Indikatorlampe

Magnetisches Feld mit einer Induktionsschleife

*L: Das elektrische Feld kann durch diesen Sensor (Indikatorlampe) nachgewiesen werden. Ist kein elektrisches Feld vorhanden, leuchtet die Lampe nur sehr schwach. Bei starken elektrischen Feldern leuchtet das Lämpchen hell auf. Bewege ich den Sensor entlang der Antenne, leuchtet die Sensorlampe an den Enden sehr hell auf. Dort ist also tatsächlich ein starkes elektrisches Feld vorhanden.*

*Zum Nachweis des magnetischen Feldes verwende ich diese Leiterschleife. Die Helligkeit der Lampe ist ein Maß für die Stärke des Magnetfeldes. Diesmal leuchtet die Lampe in der Mitte der Antenne sehr hell. Dort ist also ein starkes magnetisches Feld vorhanden.*

*Bewegen sich die Ladungen auf der Antenne sehr schnell oder langsam? Da die Indikatorlampe stetig leuchtet, muss die Bewegung sehr schnell ablaufen. Wie wir sehen werden, ist das sehr wichtig für die Ausbreitung der Felder.*

## Abstrahlung

*L: Mit einem statischen Feld könnten wir keine Informationen übertragen, da die Feldstärke immer gleich groß ist. Außerdem nimmt die Feldstärke sehr rasch ab. Daher wäre das Feld am Ort der Empfangsantenne fast nicht mehr nachweisbar.*

*Beim Reißnagel haben wir ja auch eine ähnliche Situation. Wenn der Reißnagel ruhig auf der Oberfläche liegt, nimmt die Veränderung der Wasseroberfläche rasch ab.*

*Was müssten wir tun, damit sich die Veränderung im ganzen Becherglas ausbreitet?*

*Wir könnten den Reißnagel z. B. schnell auf und ab bewegen (samt Demonstration). Bei unserer Sendeantenne ist es genauso. Damit sich die Felder ausbreiten können, müssen sich die Elektronen sehr schnell bewegen. Findet dieser Vorgang sehr schnell statt, d. h. die Schwingung der Elektronen weist eine große Frequenz auf, treten zwei sehr interessante Effekte auf.*

*Das elektrische Feld kann den Elektronen nicht mehr folgen und schnürt sich ab (Folie 8-A1, die Abschnürung des elektrischen Feldes von der Sendeantenne wird mit zwei Animationen\* visualisiert). In diesen Animationen wird das elektrische Feld dargestellt. Wie ihr seht, schnürt sich das elektrische Feld ab. Dadurch entstehen geschlossene, nierenförmige elektrische Felder, die sich senkrecht zur Ausrichtung des Senders ausbreiten.*

### Folie 8

Findet die Bewegung sehr schnell statt (mit großer Frequenz), treten zwei sehr interessante Effekte auf.

- Die Felder können den Elektronen nicht mehr folgen und schnüren sich ab.

A1

- Schnell veränderliche elektrische Felder erzeugen magnetische Felder und umgekehrt.

Elektr. Feld – Magnet. Feld – Elektr. Feld – .....

A2

Folie 8 über die Eigenschaften der Felder von beschleunigten Ladungen.



\* Folgenden Animationen werden zur Demonstration der Abstrahlung eingesetzt:

- Phet-Animation:  
<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/radiating-charge>
- MIT-Animation:  
<http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/light/QuarterWaveAntenna/QuarterWaveAntenna.htm>

*L: Die Felder koppeln sich von der Antenne ab. Aber wie können sie sich ohne ein Medium ausbreiten? Wellen benötigen ja immer ein Medium, das die Störung aufrechterhält.*

*Bei elektrischen und magnetischen Feldern ist allerdings nicht ein Medium notwendig, da sie folgende Eigenschaft haben (Folie 8-A2).*

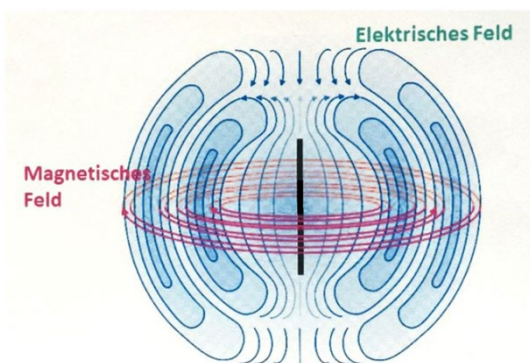
*Schnell veränderliche elektrische Felder erzeugen magnetische Felder und umgekehrt. Koppeln sich die Felder ab, sind sie also nicht mehr auf die Ladungen angewiesen, sie können sich selbst gegenseitig aufrechterhalten.*

### Zusammenfassung:

#### Folie 9

##### Folgerung:

Die Felder schnüren sich von der Antenne ab und halten sich gegenseitig aufrecht. Dadurch breitet sich eine elektromagnetische Welle aus (auch ohne einem Medium)!

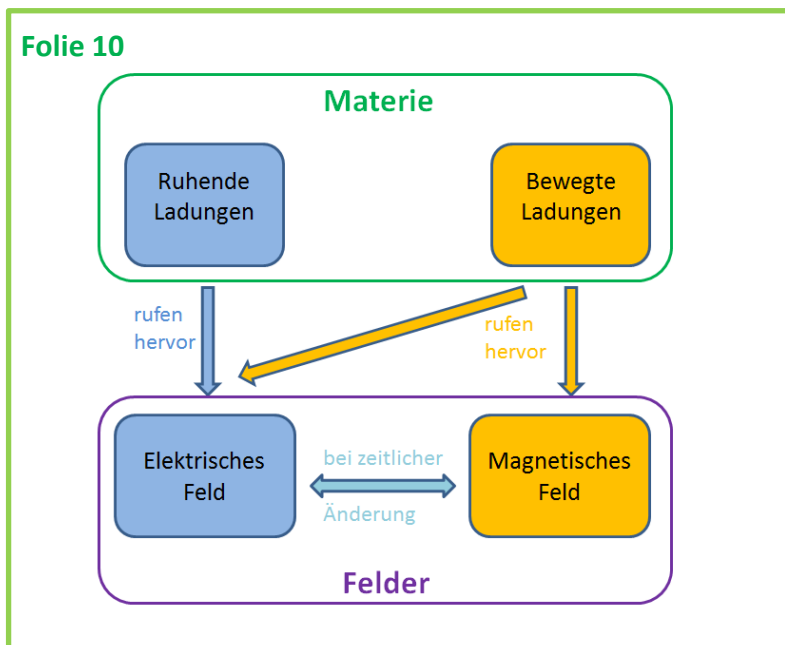


Folie 9 zur Abstrahlung der Sendeantenne

In Folie 9 wird auch auf die Geometrie der Felder eingegangen. Außerdem wird erwähnt, dass die Begriffe elektromagnetische Welle und elektromagnetische Strahlung ein und dasselbe physikalische Phänomen beschreiben.

*L: Die Felder können sich also selbst gegenseitig aufrechterhalten und es breitet sich eine sogenannte elektromagnetische Welle aus (Folie 9). Elektromagnetische Wellen bestehen aus Feldern. Oft spricht man auch von einer elektromagnetischen Strahlung, obwohl beides eine Abfolge elektrischer und magnetischer Felder sind. Physikalisch gesehen gibt es zwischen elektromagnetischen Wellen und elektromagnetischer Strahlung keinen Unterschied.*

Erweiterung des Concept Maps (Folie 10):



Folie 10 für die Erweiterung des Concept Maps um die gegenseitige Erzeugung elektrischer und magnetischer Felder

*L: Ladungen rufen elektrische Felder hervor, bewegte Ladungen elektrische und magnetische Felder. Diese Felder können sich aber auch selbst gegenseitig hervorrufen. Zeitlich veränderliche elektrische Felder rufen magnetische hervor und umgekehrt.*

**Aufgaben:**

7. Würde die Sendeantenne auch funktionieren, wenn sie aus Kunststoff wäre?
8. Warum kann sich das Signal eines Satelliten im Weltraum, also im Vakuum ausbreiten?



## Fünfte Sequenz: Empfangsantenne

*I: Wir wissen nun, wer die Felder erzeugt und warum sie sich von der Antenne abkoppeln und sich im Raum ausbreiten. Jetzt wollen wir uns damit beschäftigen, was die Felder an der Empfangsantenne auslösen.*

*Auf der Folie seht ihr zwei negativ geladene Teilchen und zwei negativ geladene Kunststoffstäbe (Folie 11-A1 ohne die Kraftwirkung). Im oberen Bild ist das negativ geladene Teilchen in Ruhe. In der unteren Abbildung fliegt das Teilchen am Stab vorbei. Was wird mit den Teilchen passieren?*

### Kraftwirkung auf beide Teilchen (Folie 11-A2).

**Folie 11**

	A1/2
	A3

**Elektrische Kraft**  
Elektrische Felder werden durch Ladungen hervorgerufen und üben Kräfte auf Ladungen (bewegte und ruhende) aus.

Folie 11 zur Kraftwirkung elektrischer Felder

### Erklärung (Folie 11-A3):

*L: Elektrische Felder werden von ruhenden und bewegten Ladungen hervorgerufen und wirken auch auf ruhende und bewegte Ladungen. Elektrische Felder werden also Kräfte auf ruhende und bewegte Ladungen ausüben.*

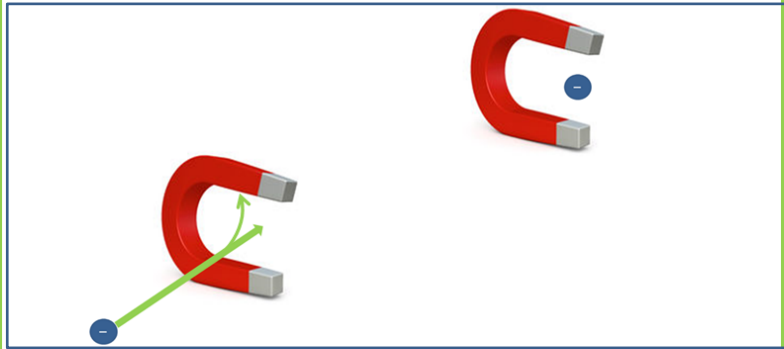
## Magnetisches Feld (Folie 12-A1):

*L: Auf dieser Folie seht ihr ebenfalls zwei negativ geladene Teilchen und zwei Hufeisenmagnete (Folie 12-A1 ohne die Kraftwirkung). Im oberen Bild ist das negativ geladene Teilchen wieder in Ruhe. In der unteren Abbildung fliegt das Teilchen durch den Hufeisenmagneten. Was wird mit den Teilchen passieren?*

**Kraftwirkung tritt nur beim bewegten Teilchen auf (Folie 12-A2).**

## Erklärung (Folie 12-A3):

*L: Das Feld kann wieder nur auf jene Teilchen eine Kraft ausüben, von denen es erzeugt wird. Nachdem eine ruhende Ladung kein magnetisches Feld hervorruft, wird eine ruhende Ladung auch nicht von einem Magnetfeld angezogen oder abgestoßen.*

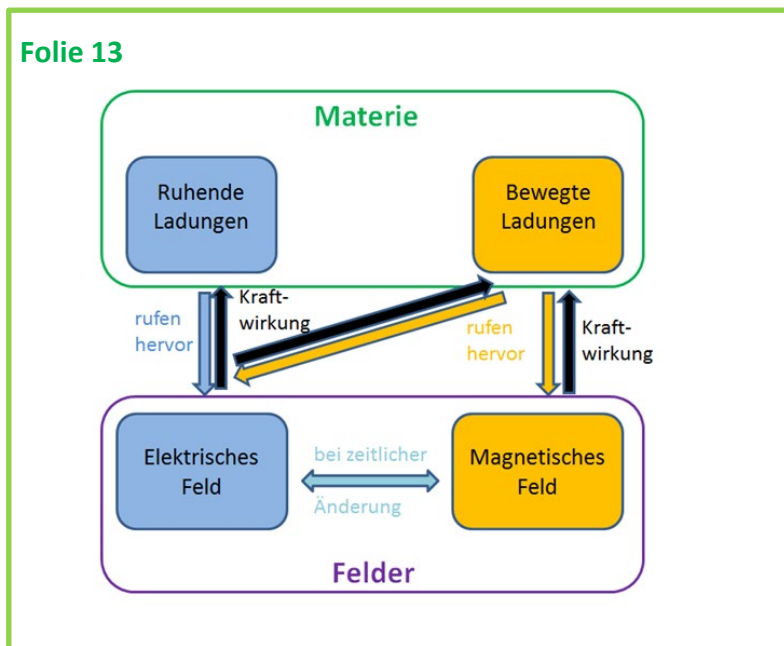
<p><b>Folie 12</b></p> 	A1/2
<p><b>Magnetische Kraft</b> Magnetische Felder werden durch elektrische Ströme hervorgerufen und üben Kräfte nur auf elektrische Ströme bzw. bewegte Ladungen aus.</p>	A3

Folie 12 zur Wechselwirkung des magnetischen Feldes mit einem ruhenden bzw. bewegten geladenes Teilchen

## Empfangsantenne:

*L: Was passiert daher an der Empfangsantenne?  
Gelingen die Felder zur Empfangsantenne, werden sie Kräfte auf die Elektronen ausüben und sie daher wieder in Bewegung bzw. in Schwingung versetzt. Der dadurch entstehende elektrische Strom wird mit dem Verstärker verstärkt und im Lautsprecher in einen Ton umgewandelt.*

## Zusammenfassung:



Erweiterung des Concept Maps um die Kraftwirkungen

### Aufgaben:

9. Ein Experiment zeigt, dass eine elektrische Kraft auf ein Teilchen wirkt. Wann kann dies der Fall sein?

- a) Das Teilchen muss sich bewegen.
- b) Ein elektrisches Feld muss vorhanden sein.
- c) Das Teilchen muss geladen sein.
- d) a) bis c) ist notwendig.
- e) b) und c) sind notwendig.

10. Ein Experiment zeigt, dass eine magnetische Kraft auf ein Teilchen wirkt. Wann kann dies der Fall sein?

- a) Das Teilchen muss sich bewegen.
- b) Es muss ein Magnetfeld vorhanden sein.
- c) Das Teilchen muss geladen sein.
- d) Alle der oben genannten Bedingungen sind erforderlich.
- e) Sowohl b) als auch c), a) jedoch nicht.

Bei den Aufgaben 11 und 12 wird zuerst eine Empfangsantenne mit einem Lämpchen parallel zum Sender ausgerichtet – Lämpchen leuchtet.

11. Würde die Empfangsantenne auch funktionieren, wenn sie aus Kunststoff wäre?

12. Was passiert, wenn die Empfangsantenne normal zum Sender positioniert wird bzw. hinter dem Sender?

### Sechste Sequenz: Zusammenfassung

Die wesentlichen Punkte werden nochmals zusammengefasst (Folie 14):

Ladung	Strom
Ruhende Ladungen erzeugen ein elektrisches Feld.	Bewegte Ladungen erzeugen ein elektrisches <b>und</b> ein magnetisches Feld.
Feld	
Elektrische und magnetische Felder sind physikalische Objekte, die Wechselwirkungen (Anziehung/Abstoßung) vermitteln.	
Mit Hilfe des Feldbegriffs können in der Physik Wechselwirkungen ohne direkten Kontakt erklärt werden.	
Ladungen und Ströme wechselwirken mit dem Feld und nicht mit dem Erzeuger dieses Feldes.	
Elektrische Felder üben Kräfte auf alle Ladungen aus, magnetische Felder nur auf bewegte Ladungen.	
Felder breiten sich vom Erzeuger ausgehend mit Lichtgeschwindigkeit aus und erreichen immer entferntere Orte.	
Schnell veränderliche elektrische Felder erzeugen magnetische Felder und umgekehrt.	

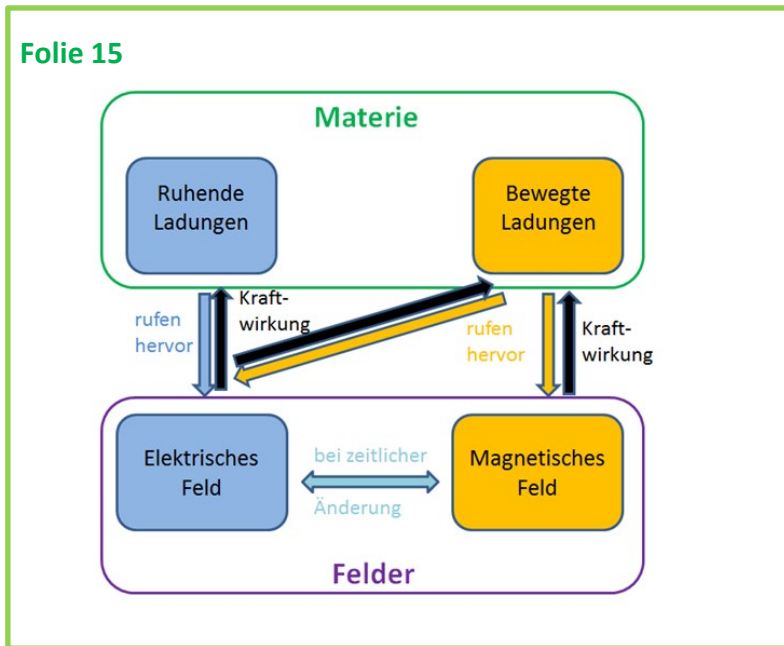
Folie 14 mit der Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse des Einführungsunterrichts

Gemeinsam mit dem fertigen Concept Map (Folie 15), werden die grundlegenden Beziehungen zwischen den Basiskonzepten am Beispiel des Eingangsversuchs wiederholt.

### Sendeantenne:

*L: Ladungen (bewegte und unbewegte) erzeugen elektrische Felder. Bewegte Ladungen, also Ströme, erzeugen auch magnetische Felder. An der Sendeantenne entstehen daher beide Felder. Da die Schwingung der Elektronen mit einer großen Frequenz vor sich geht, schnüren sich die Felder ab und breiten sich im Raum aus.*

## Folie 15



Folie 15 mit fertigem Concept Map

## Übertragung

*L: Entscheidend für die Übertragung ist, dass sich die Felder auch gegenseitig hervorrufen können. Zeitlich veränderliche elektrische Felder rufen magnetische Felder hervor und zeitlich veränderliche magnetische Felder wiederum elektrische. Es entsteht eine sogenannte elektromagnetische Welle, die sich selbst im Vakuum ausbreiten kann.*

## Empfangsantenne

*L: Die Felder rufen in der Empfangsantenne ebenfalls eine Schwingung der Elektronen hervor, da die Felder Kräfte auf Ladungen ausüben. Elektrische Felder werden von Ladungen erzeugt und üben eine Kraftwirkung auf Ladungen aus. Magnetische Felder werden von Strömen verursacht und wirken daher auf elektrische Ströme bzw. bewegte Ladungen. In der Empfangsantenne tritt daher ein elektrischer Strom auf, der durch den Verstärker verstärkt wird und im Lautsprecher wieder in Schall umgewandelt wird.*

## Aufgaben:

13. Ein positiv und ein negativ geladener Körper befinden sich in einem Abstand von einem halben Meter. Welcher der folgenden Aussagen sind richtig?

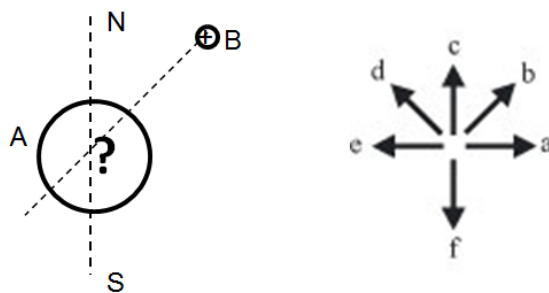
	falsch	richtig
Wird der positiv geladene Körper blitzartig entfernt, nimmt das der negativ geladene Körper sofort wahr.		
Die gegenseitige Anziehung wird durch das elektrische Feld vermittelt, das beide Körper hervorrufen.		

14. Entscheiden Sie, welche Felder hervorgerufen werden.

	elektrisches Feld	magnetisches Feld	beide	weder noch
Eine kleine Holzkugel ist positiv geladen. Die Kugel erzeugt ein ...				
Eine kleine Kugel aus Kupfer ist positiv geladen. Die Kugel erzeugt ein ...				
Eine kleine Kugel aus Eisen ist nicht geladen (elektrisch neutral). Die Kugel erzeugt ein ...				

15.

Ein Kompass befindet sich im Punkt A und zeigt nach Norden. Die strichlierte Linie zeigt die Richtung des Erdmagnetfeldes an. Ein positiv geladenes Teilchen wird im Punkt B platziert (45° zur Nord-Süd-Richtung) und befindet sich in Ruhe. In welche Richtung wird nun die Kompassnadel zeigen?



### 3. Einzelne Folien des Unterrichtsvorschlags

Wenn Sie die Folien als PowerPoint Präsentation haben möchten, richten Sie bitte ein Mail an:

wolfgang.aschauer@ph-ooe.at



In der Elektrizitätslehre stehen zwei physikalische Objekte im Mittelpunkt:

## **Felder und Materie**

### Materie:

Leiter, Isolatoren , Ladungen (Elektronen, Protonen, Ionen)

### Felder:

Felder in Form von elektrischen und magnetischen Feldern

## Materie

Ruhende  
Ladungen

Bewegte  
Ladungen

Elektrisches  
Feld

Magnetisches  
Feld

## Felder



Reißnagel ruft eine veränderte Wasseroberfläche hervor.

Magnet ruft ein magnetisches Feld hervor.

Die gegenseitige Anziehung zweier Reißnägel wird über die veränderte Wasseroberfläche vermittelt.

Die gegenseitige Anziehung/Abstoßung zweier Magnete wird über das magnetische Feld vermittelt.

Die Veränderung der Wasseroberfläche nimmt mit der Entfernung vom Reißnagel ab. Die Kraftwirkung nimmt daher mit der Entfernung ab.

Die Stärke des Feldes nimmt mit der Entfernung vom Magneten ab. Die Kraftwirkung nimmt daher mit der Entfernung ab.

Die Kraftwirkung tritt zeitverzögert auf, da sich die Veränderung der Oberfläche mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreitet.

Die Kraftwirkung tritt zeitverzögert auf, da sich das Feld mit einer gewissen Geschwindigkeit ausbreitet.

### ABER

Im Gegensatz zur Wasseroberfläche ist das Feld nicht materiell und für uns unsichtbar.

## **Feldbegriff in der Physik**

Ein Feld ist ein physikalisches Objekt, das räumlich ausgedehnt ist.

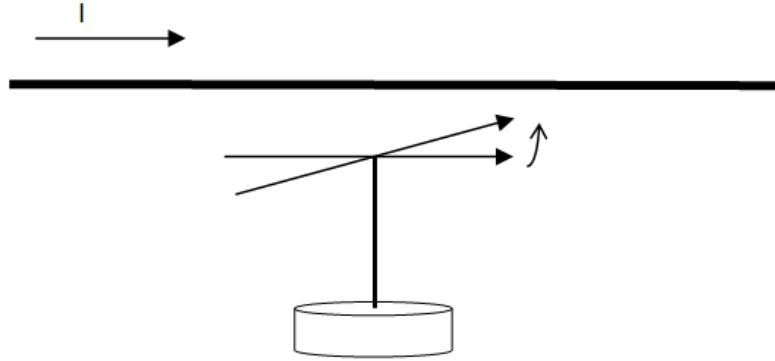
Die Kraftwirkung (Anziehung/Abstoßung) wird vom Feld vermittelt.

Der Feldbegriff wird verwendet, um die gegenseitigen Anziehung/Abstoßung ohne direkten Kontakt – also über größere Distanzen – zu erklären.

Felder breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die Kraftwirkung ist daher immer etwas zeitverzögert.

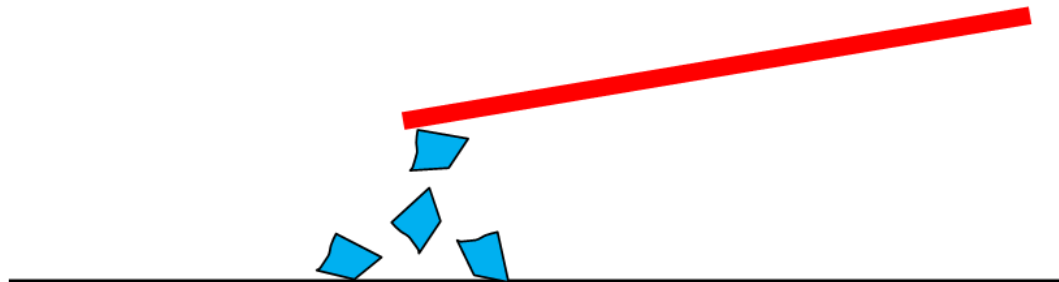
## Magnetisches Feld

Bewegte Ladungen rufen magnetische Felder hervor.  
Der Grund für die magnetischen Phänomene sind daher elektrische Ströme.



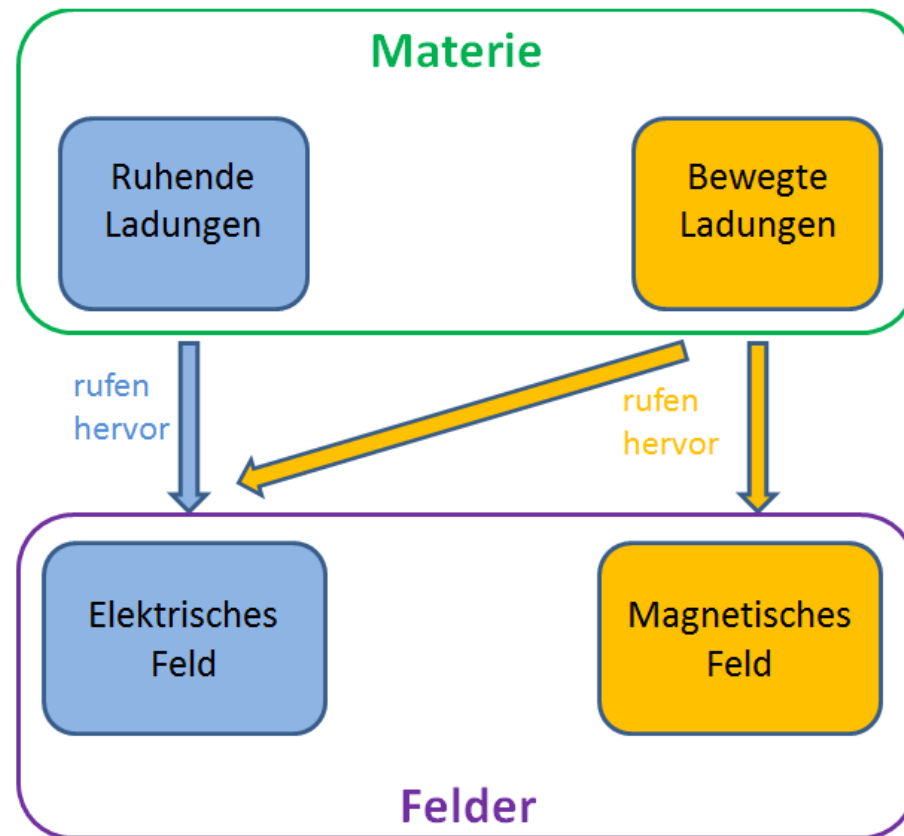
## Elektrisches Feld

Ladungen (in Ruhe oder in Bewegung) erzeugen elektrische Felder.

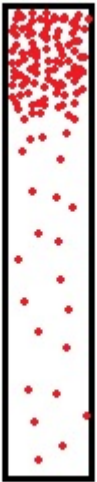


# Elektrische und magnetische Felder

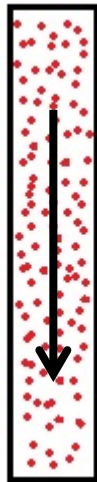
Ladung	Strom
Ruhende Ladungen erzeugen ein elektrisches Feld.	Bewegte Ladungen erzeugen ein elektrisches <b>und</b> ein magnetisches Feld.



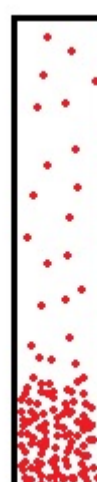
Elektr.  
- Feld



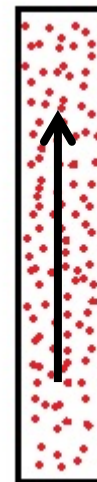
Magnet.  
- Feld



Elektr.  
- Feld



Magnet.  
- Feld



Findet die Bewegung sehr schnell statt (mit großer Frequenz), treten zwei sehr interessante Effekte auf.

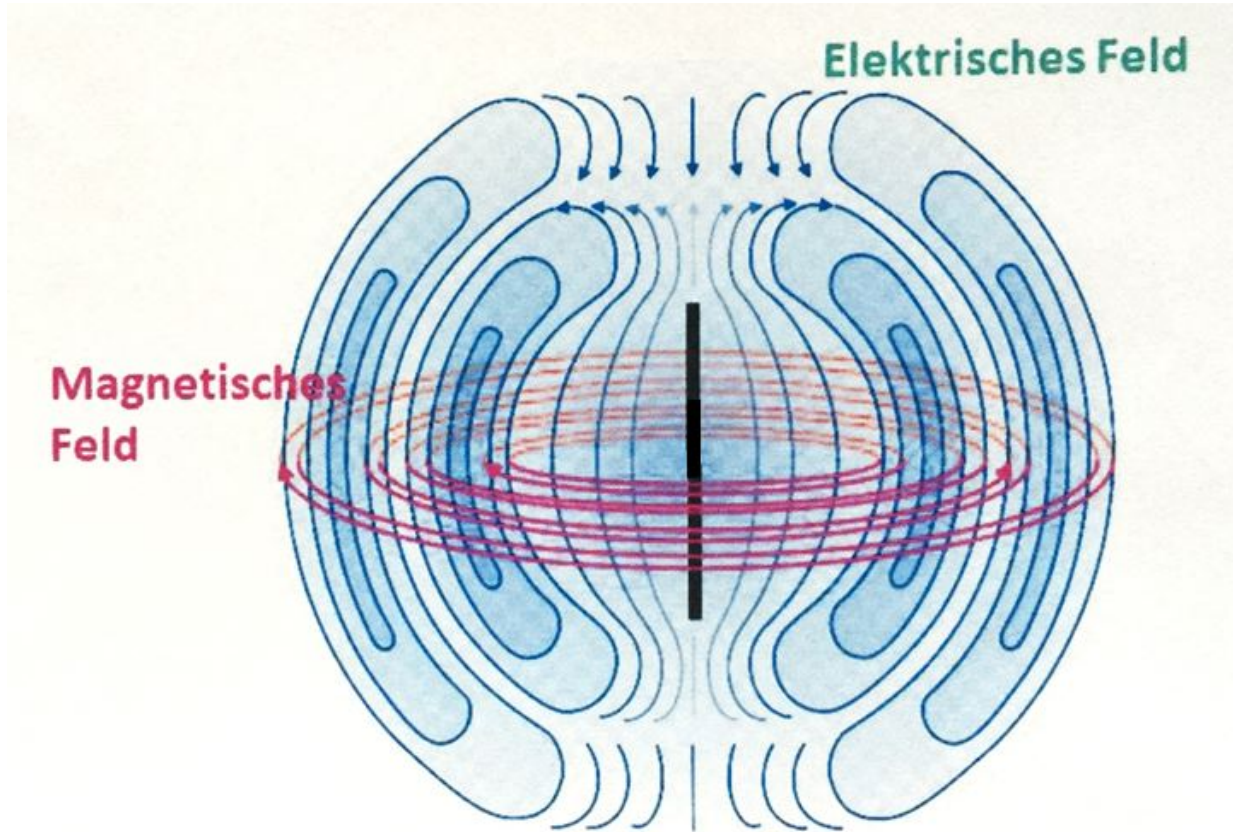
- Die Felder können den Elektronen nicht mehr folgen und schnüren sich ab.
- Schnell veränderliche elektrische Felder erzeugen magnetische Felder und umgekehrt.

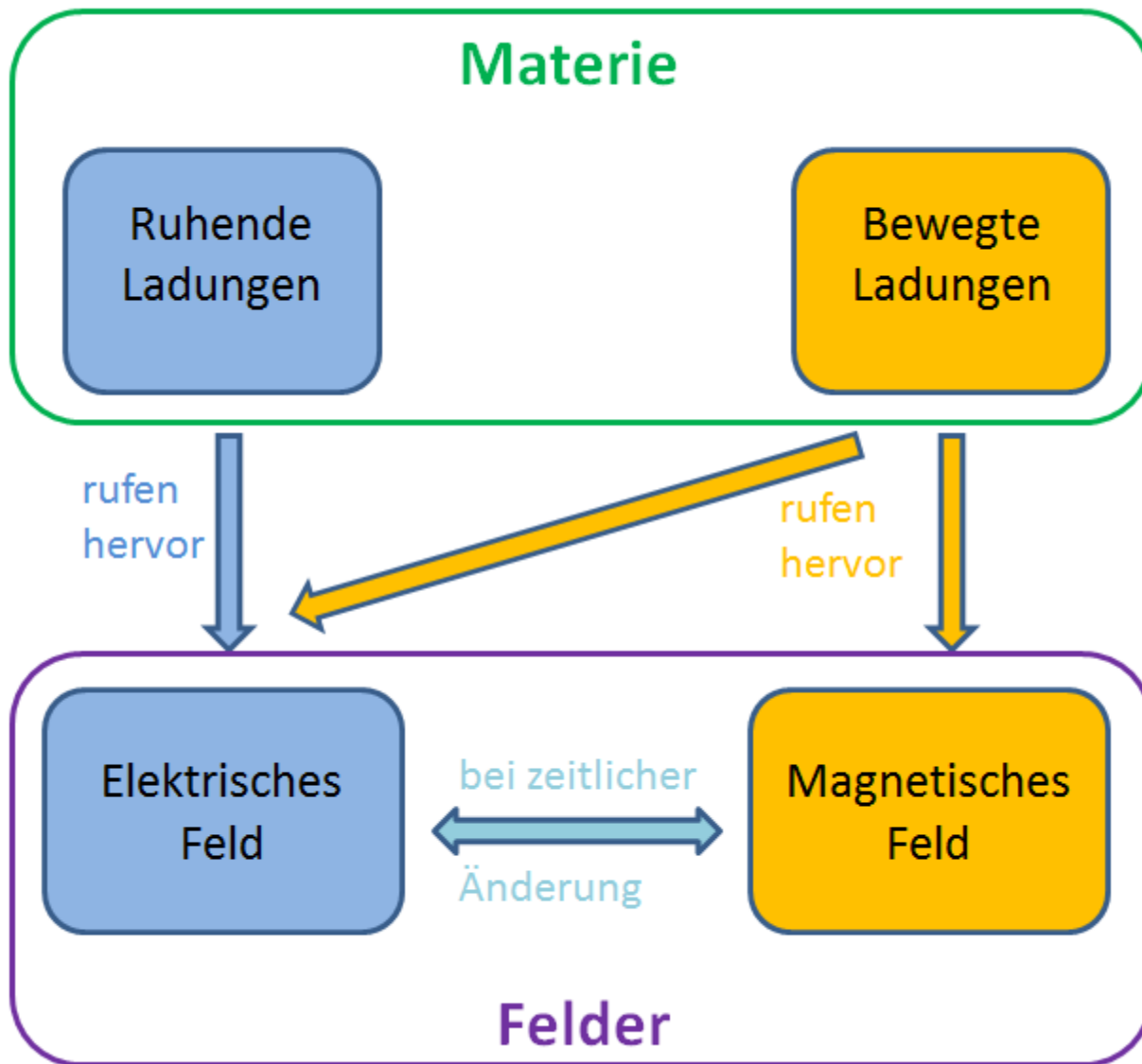
Elektr. Feld – Magnet. Feld – Elektr. Feld – .....

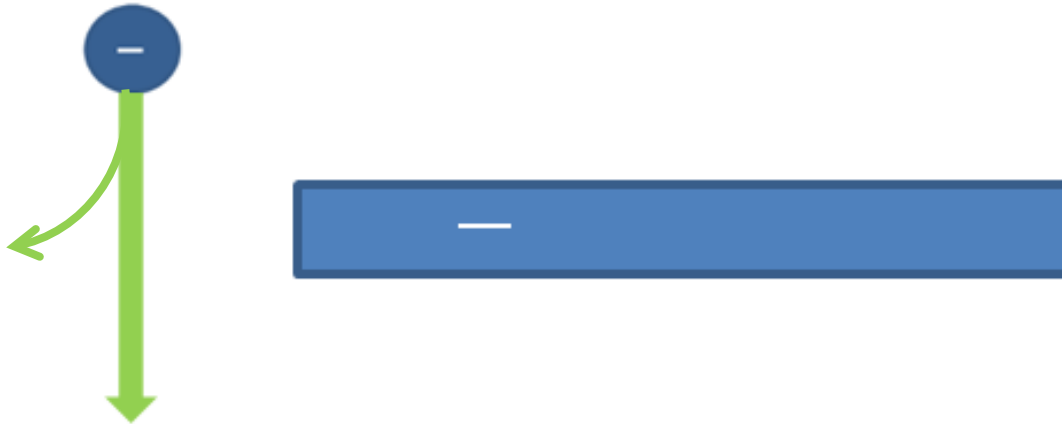


## Folgerung:

Die Felder schnüren sich von der Antenne ab und halten sich gegenseitig aufrecht. Dadurch breitet sich eine elektromagnetische Welle aus (auch ohne einem Medium)!

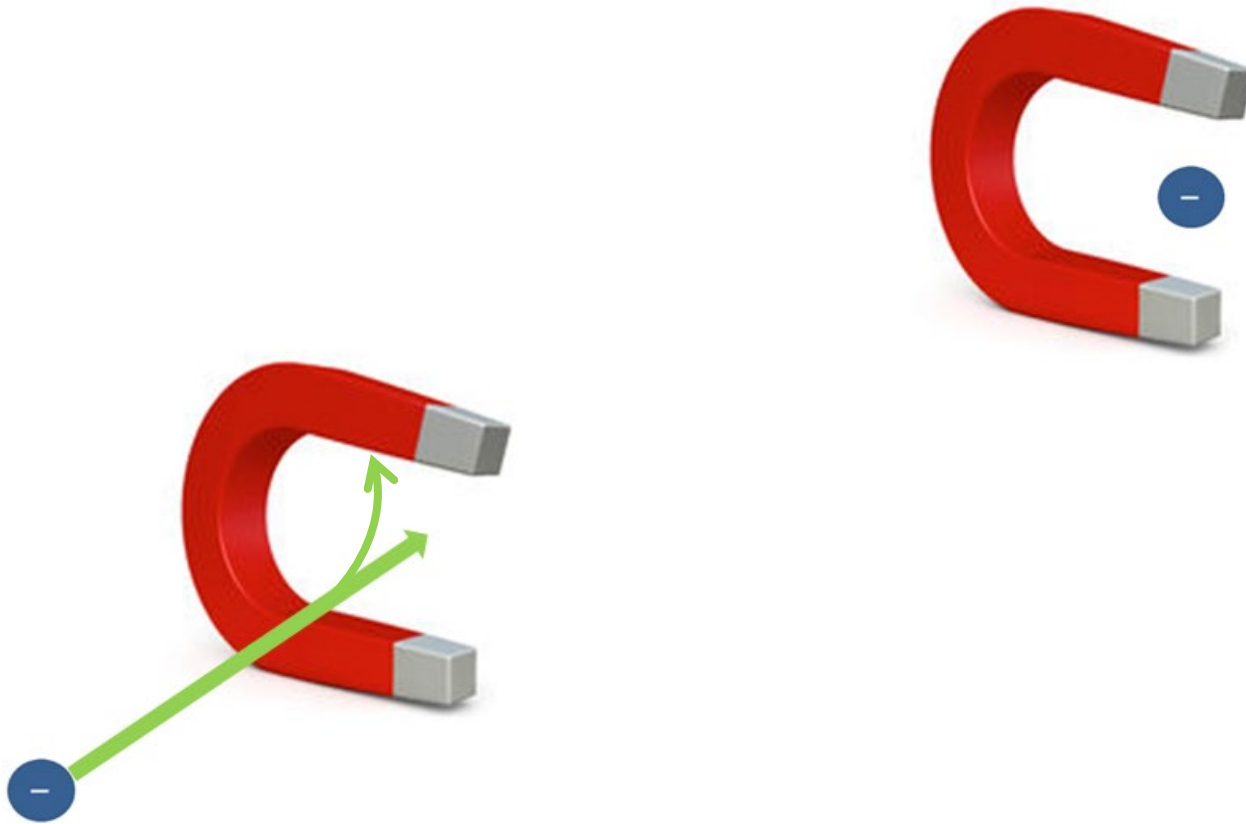






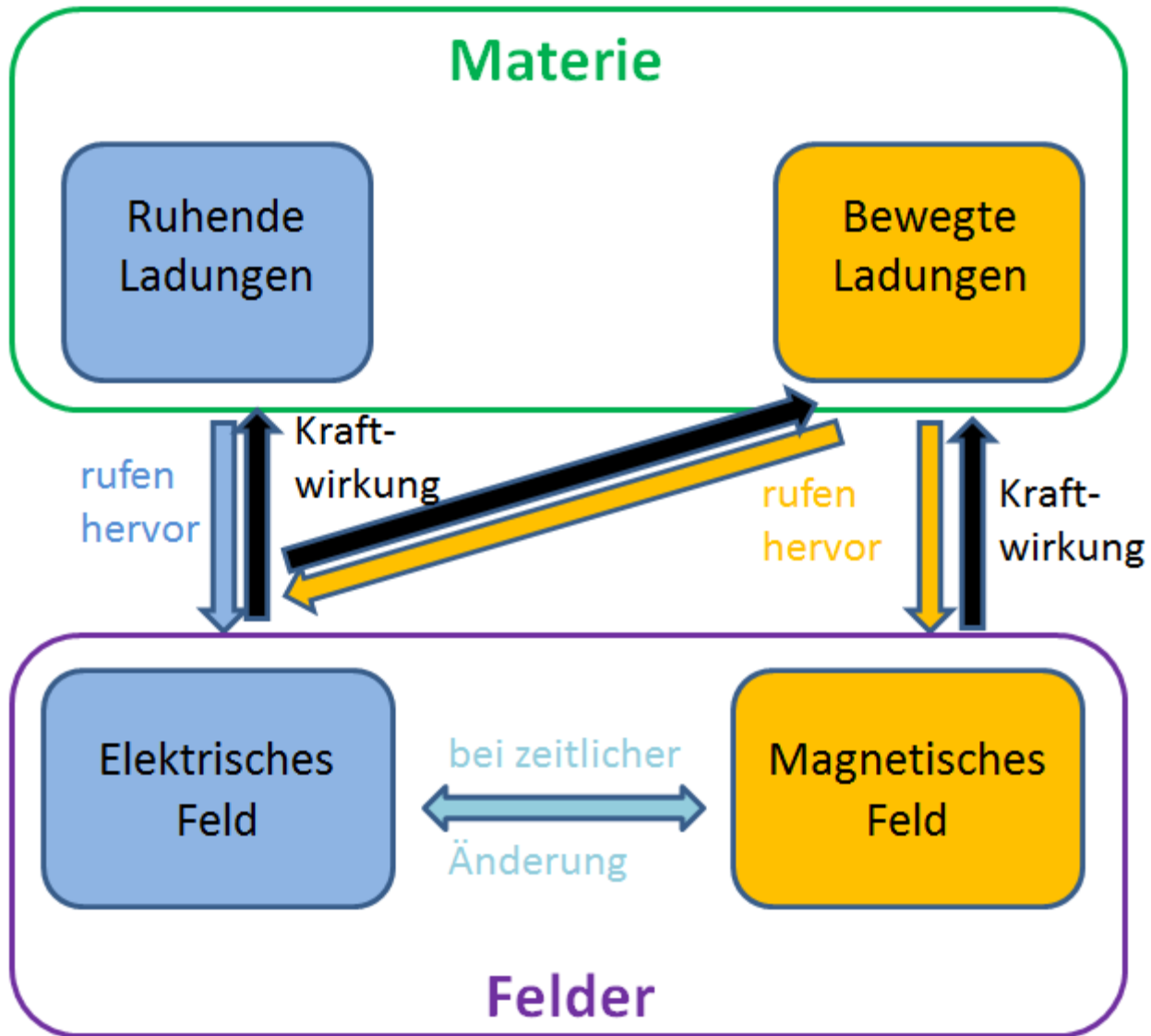
## Elektrische Kraft

Elektrisch Felder werden durch Ladungen hervorgerufen und üben Kräfte auf Ladungen (bewegte und ruhende) aus.



## Magnetische Kraft

Magnetische Felder werden durch elektrische Ströme hervorgerufen und üben Kräfte nur auf elektrische Ströme bzw. bewegte Ladungen aus.



## Ladung

Ruhende Ladungen erzeugen ein elektrisches Feld.

## Strom

Bewegte Ladungen erzeugen ein elektrisches **und** ein magnetisches Feld.

## Feld

Elektrische und magnetische Felder sind physikalische Objekte, die Wechselwirkungen (Anziehung/Abstoßung) vermitteln.

Mit Hilfe des Feldbegriffs können in der Physik Wechselwirkungen ohne direkten Kontakt erklärt werden.

Ladungen und Ströme wechselwirken mit dem Feld und nicht mit dem Erzeuger dieses Feldes.

Elektrische Felder üben Kräfte auf alle Ladungen aus, magnetische Felder nur auf bewegte Ladungen.

Felder breiten sich vom Erzeuger ausgehend mit Lichtgeschwindigkeit aus und erreichen immer entferntere Orte.

Schnell veränderliche elektrische Felder erzeugen magnetische Felder und umgekehrt.

