Kapitel 6

Ladungen, elektrisches Feld und Potential

Ladung

In der Elektrizitätslehre kommt eine neue physikalische Größe ins Spiel: die Ladung. Die elektrische Ladung ist eine Eigenschaft viele Elementarteilchen. Sie haben die Eigenschaft „elektrische Ladung“ zusätzlich zu ihrer Eigenschaft „Masse“. Genauso wie von der Masse Kräfte ausgehen – die Gravitationskraft –, gehen von der Ladung auch Kräfte aus – die elektromagnetische Wechselwirkung. Die mechanischen Eigenschaften der Teilchen wie z.B. ihre Trägheit gegenüber Beschleunigungen werden weiterhin ausschließlich von der Masse bestimmt. Die elektrische Ladung erzeugt keine zusätzliche Trägheit der Teilchen.

Es gibt zwei Vorzeichen von Ladungen positive und negative Ladungen. Dies ist anders als bei der Masse, die immer nur mit einem Vorzeichen auftritt. Zwei Ladungen mit gleichem Vorzeichen stoßen sich ab. Zwei Ladungen mit unterschiedlichen Vorzeichen ziehen sich an.

Der Unterschied zwischen Gravitation und elektromagnetischer Wechselwirkung im Vorzeichen ist entscheidend für die Struktur des Universums und unserer Welt. Bei Massen gibt es nur ein Vorzeichen und alle Massen ziehen sich gegenseitig an. Dadurch entstehen im Universum große Ansammlungen von Masse wie Planeten, Sterne und schwarze Löcher. Bei der elektromagnetischen Wechselwirkung ziehen sich unterschiedlich geladene Elementarteilchen, insbesondere das Proton und das Elektron gegenseitig an, was zu neutralen Atomen führt. Wegen der Neutralität der Atome treten keine sehr starken elektromagnetischen Anziehungskräfte mehr untereinander auf.

In der klassischen Physik würde das negative Elektron in das positiv geladene Proton hineinstürzen. Durch quantenmechanische Effekte wird dieses Ineinanderstürzen verhindert und beide Teilchen auf Abstand gehalten. In Molekülen bis hin zu großen Biomolekülen herrscht ein komplexes Wechselspiel aus Anziehung zwischen Elektronen und Atomkernen, Abstoßung der positiven Kerne untereinander, Abstoßung der Elektronen untereinander und quantenmechanischen Effekten die die Elektronen zusätzlich auf Abstand halten. Diese Effekte stabilisieren die Moleküle und bestimmen ihre Form und biologische Funktion.

Ladung tritt immer in ganzzahligen Vielfachen eine Elementarladung auf. Als Elementarladung ist die Ladung des Protons definiert. Sie beträgt $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb. Das Elektron trägt eine negative Elementarladung. Es ist experimentell nachgewiesen, dass der Betrag der Ladungen von Proton und Elektron auf mehr als 20 Nachkommastellen gleich sind. Dadurch neutralisieren sich Elektronen und Protonen bezüglich ihrer Ladung sehr präzise.

Coulomb Gesetz

Die Ladung einzelnen Elementarteilchen wird als Punktladung betrachtet, da das Elektron tatsächlich punktförmig ist und das Proton eine sehr kleine Ausdehnung hat. Zwischen Punktladungen beobachtet man ein Kraftgesetz mit einer Abstandsabhängigkeit, die umgekehrt proportional zum Abstandsquadrat ist also proportional zu $\frac{1}{r^2}$ ist. Weiterhin ist die Kraft proportional zu den beteiligten Ladungen Q_1 und Q_2. Die Richtung der Kraft ist dabei entlang der Verbindungslinie zwischen beiden Ladungen orientiert. Bei unterschiedlichem Vorzeichen der Ladungen anziehend:

und bei gleichem Vorzeichen abstoßend:

Insgesamt ist die Kraft gegeben durch das Coulombsche Gesetz:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

Der Proportionalitätsfaktor wird aus praktischen Gründen $1/4\pi\epsilon_0$ genannt und hat den Wert $9{\cdot}10^9$ Nm²/C². Damit ist die Coulombkraft um den Faktor $2{\cdot}10^{39}$ größer als die Gravitation zwischen Elektron und Proton. Das heißt, zwischen geladenen Körpern dominiert immer die elektromagnetische Wechselwirkung gegenüber der Gravitation. Im Alltag beobachten wir die Gravitation nur deshalb so dominant, weil die Erde eine so große Masse von $6{\cdot}10^{24}$ kg hat. Gravitation zwischen zwei Körpern beobachtet man dagegen im Alltag nicht. Dies wäre bei elektrisch geladenen Körpern aber durchaus möglich, wird aber recht selten beobachtet, weil die meisten Körper im Alltag neutral vorliegen, da sie aus neutralen Atomen bestehen.

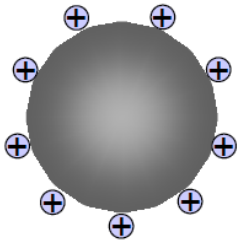
Elektrische Ladung auf ausgedehnten Körpern

Ausgedehnte Körper die aus Atomen oder Molekülen bestehen, sind in der Regel elektrisch neutral. Dadurch beobachtet man keine elektromagnetische Wechselwirkung zwischen normalen Körpern im Alltag. Allerdings kann bei Körpern die Zahl von Elektronen reduziert oder erhöht werden, so dass diese Körper elektrisch geladen sind. Wird die Zahl der Elektronen reduziert, ist der Körper positiv geladen, weil es einen Überschuss von Protonen gegenüber den Elektronen gibt. Wird die Zahl der Elektronen eines Körpers erhöht, dann ist der Körper negativ geladen, da es einen Überschuss von Elektronen gibt. Solche Körper nennt man geladene Körper und man beobachtet zwischen ihnen elektromagnetische Kräfte. Befinden sich solche Körper in großem Abstand voneinander (im Vergleich zu ihrer Größe),

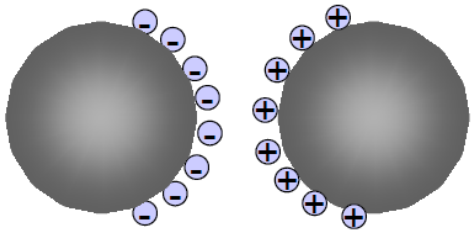
dann kann man die Kraft zwischen den Körpern näherungsweise mit dem Coulomb Gesetz berechnen. Sind die Körper allerdings nahe beieinander und der Abstand ist von vergleichbarer Größe wie die Ausdehnung der Körper, dann wird ein Effekt relevant, den man in Influenz nennt.

Influenz

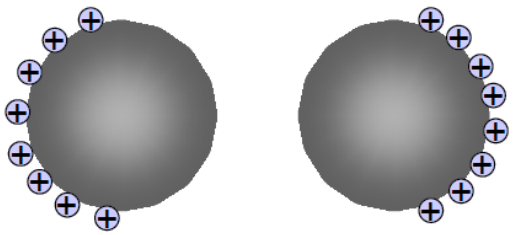
Ladungen auf ausgedehnten Körpern- insbesondere Metallen – sind in gewissem Rahmen frei verschiebbar. Dadurch ist der Ort der Ladung auf einem ausgedehnten Körper nicht a priori bekannt. Bei Metallen können sich die Ladung leicht im gesamten Gebiet des Körpers verschieben. Dies führt unter anderem dazu, dass die Ladung des metallischen Körpers nur auf der Oberfläche des Körpers sitzt. Im Innern ist der Körper immer neutral, das heißt, die Zahl von Protonen und Elektronen des Metalls ist genau ausgeglichen.



Befindet sich ein metallischer Körper in der Nähe eines anderen geladenen Körpers, dann werden die Ladungen auf der Oberfläche des ersten Körpers von dem anderen Körper angezogen und verschieben sich zu einer Seite hin, im Falle der Anziehung rutschen sie aufeinander zu,



im Falle der Abstoßung rutschen sie auf die Rückseiten der Körper.



Durch die Influenz und damit einhergehende Verschiebung der Ladungen auf metallischen Körpern kann man das Coulombsche Gesetz nicht in seiner einfachen Form auf ausgedehnte Körper anwenden.

Elektrisches Feld

Die Wechselwirkung zwischen geladenen Körpern kann man so, wie wir es eben getan haben, durch Fernkräfte zwischen den Ladungen korrekt beschreiben. Dennoch ist es sinnvoll, eine zusätzliche physikalische Größe einzuführen, die man elektrisches Feld nennt. Das elektrische Feld füllt den gesamten Raum aus und hat an jedem Raumpunkt eine bestimmte Feldstärke und Richtung. Die Wechselwirkung zwischen den Ladungen wird dann aufgeteilt in zwei Schritte: die eine Ladung wird als felderzeugende Ladung betrachtet, die um sich herum ein elektrisches Feld aufbaut. Die andere Ladung erfährt in diesem Feld eine Kraft, die proportional zu der Feldstärke im Raumpunkt der Ladung ist. Wir können das Coulombsche Gesetz dann in zwei Teile zerlegen.

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1}{r^2}$$

und

$$F = Q_2\, E$$

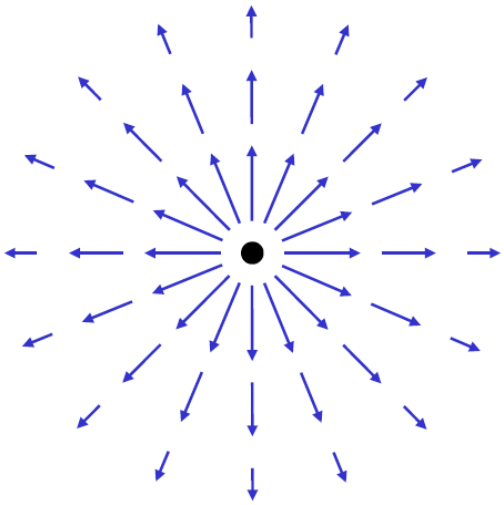


Abb.: Elektrisches Feld in der Umgebung einer positiven Punktladung. Die blauen Pfeile stellen das elektrische Feld dar.

Nun kann man sich fragen, ob das elektrische Feld in der Natur tatsächlich existiert, da man die Wechselwirkung zwischen den Ladungen ja auch ohne elektrisches Feld korrekt beschreiben kann. Es gibt aber physikalische Phänomene bei denen sich ein elektrisches Feld von der Ladung löst und alleine im Raum ausbreiten kann. Dabei kommt ein zweiter felderzeugender Effekt zum Tragen, bei dem überhaupt keine Ladungen beteiligt sind: zeitliche veränderliche elektrische Felder erzeugen Magnetfelder und zeitlich veränderliche Magnetfelder erzeugen elektrische Felder. Dies ist bei elektromagnetischen Wellen der Fall. Betrachtet man die Wechselwirkung einer elektromagnetischen Welle – das heißt eines elektrischen Feldes, das zusammen mit einem Magnetfeld im Raum unterwegs ist – mit einer Ladung, dann funktioniert die Beschreibung mit einer Fernwirkung nicht mehr. Daher ist die

Verwendung von elektrischen Feldern zum Standard in der Physik geworden. Allgemein gibt es sogar zwei Sorten von Feldern elektrische Felder und Magnetfelder beide führen zu Kräften auf eine Ladung. Deshalb spricht man auch von elektromagnetischer Wechselwirkung, wie wir es oben bereits getan haben. Das Magnetfeld spielt für die Biologie aber keine bedeutende Rolle, so dass wir es hier nicht behandeln werden.

Ladung im elektrischen Feld

Eine Ladung in einem elektrischen Feld erfährt die Kraft $F = Q\,E$. Die Kraft wirkt in Richtung der elektrischen Feldstärke *E* und ist proportional zu der Ladung *Q*. Mit den Gesetzen der Mechanik kann man berechnen, welche Auswirkungen dies für den geladenen Körper hat. Insbesondere wird er in Richtung der Kraft beschleunigt. Dies kann zu einer Ablenkung des Körpers oder zur Änderung seines Geschwindigkeitsbetrags führen, wenn der Körper durch ein elektrisches Feld fliegt.

Energie des elektrischen Feldes.

Die Energie eine Ladungsanordnung kann man auf unterschiedliche Arten berechnen. Eine Möglichkeit, ist von der Vorstellung der Fernwirkung auszugehen eine erste Ladung in den Raum zu bringen und eine zweite Ladung aus dem Unendlichen heranzuführen. Durch die Kraft die entlang des Weges dabei wirkt, wird hierbei Arbeit verrichtet und auf diese Weise Energie in das System hinein gesteckt (bei abstoßender Wechselwirkung) oder vom System freigesetzt (bei anziehende Wechselwirkung). Anschließend kann man weitere Ladungen in dieses System hinein bringen und so die Gesamtenergie einer komplizierten Ladungsanordnung berechnen.

Geht man von der Beschreibung mit einem elektrischen Feld aus, dann kann man die Energie des gesamten Systems als im elektrischen Feld gespeichert betrachten. Elektrische Felder, die den Raum ausfüllen, tragen Energie in sich. Man spricht von einer Energiedichte des elektrischen Feldes. Dies ist besonders dann relevant, wenn wir später über elektromagnetische Wellen sprechen. Das elektrische Feld und das Magnetfeld in einer elektromagnetischen Welle tragen Energie. Auf diese Weise wird Energie von einer elektromagnetischen Welle transportiert. Die Energiedichte eines elektrischen Feldes ist gleich

$$w = \frac{1}{2}\,\varepsilon_0 E^2$$

Es ist bemerkenswert, dass die Energiedichte von Feldern immer proportional zum Quadrat der Feldstärke ist.

Bindungsenergie

Wenn eine positive und eine negative Ladung näher zusammen gebracht werden, dann gibt das System Energie ab. Die Ladungen sind dadurch aneinander gebunden. Dies führt zu dem Begriff Bindungsenergie. Man müsste eine bestimmte Energie aufbringen, um die beiden Ladungen voneinander zu trennen. Z.B. hat ein Elektron im Grundzustand eines Wasserstoffatoms eine Bindungsenergie von 13,6 eV. Das heißt wenn das Elektron aus dem Unendlichen an das Proton herangeführt wurde, wurden 13,6 eV freigesetzt. Dadurch hat das System hinterher 13,6 eV weniger Energie als vorher. Daher kann man auch von der Gesamtenergie –13,6 eV sprechen. Bindungsenergien werden allerdings positiv gerechnet, so dass man von plus 13,6 eV spricht.

Beschreibt man diese Situation mit der im elektrischen Feld gespeicherten Energie, dann darf man nicht vergessen, dass das Proton und das Elektron, wenn sie unendlich weit voneinander entfernt sind, bereits elektrische Felder um sich herum tragen, in denen Energie gespeichert ist. Bringt man Elektronen und Protonen zusammen, dann verändert sich das gemeinsame elektrische Feld und hat im Ergebnis eine Energie die um 13,6 eV kleiner ist als vorher. Daran sieht man, dass beide Beschreibungen zum gleichen Ergebnis führen und nebeneinander verwendet werden können.

Feldlinien

Elektrische Felder kann man durch Feldlinien veranschaulichen. Die elektrische Feldstärke in jedem Raumpunkt zeigt in eine bestimmte Richtung. Feldlinien veranschaulichen diese Richtungen. Eine Feldlinie verläuft durch ein elektrisches Feld immer so, dass sie an jedem Punkt, an dem sie vorbei läuft, genau in die Richtung weiter läuft in die die elektrische Feldstärke zeigt.

Einige allgemeingültige Aussagen kann man zu elektrischen Feldlinien machen:

- Feldlinien beginnen immer in positiven Ladungen oder im Unendlichen. Daher spricht man auch oft davon, dass Ladungen Quellen des elektrischen Feldes sind. Dazu gibt es einen präzisen mathematischen Formalismus, den wir hier aber nicht diskutieren wollen.
- Elektrische Feldlinien enden immer in negativen Ladungen oder im Unendlichen. In diesem Sinne sind negative Ladungen Senken des elektrischen Feldes also sozusagen negative Quellen.
- Bei metallischen Körpern, die positiv geladen sind, beginnen die elektrischen Feldlinien auf der Oberfläche und starten senkrecht zur Oberfläche in den leeren Raum.
- Bei negativ geladenen metallischen Körpern enden die Feldlinien senkrecht auf der Oberfläche.
- In der Elektrostatik – das heißt, solange alle elektrischen Ladung in Ruhe sind und keine Kräfte auf sie wirken – gibt es in metallischen Körpern kein elektrisches Feld und auch

keine Feldlinien. Das ist allerdings anders bei elektrischen Leitern durch die ein elektrischer Strom fließt. Wenn in einem Leiter ein elektrisches Feld existiert, dann bewegen sich die Ladungen und es fließt ein elektrischer Strom. Elektrische Ströme werden im nächsten Kapitel behandelt.

Elektrisches Potential

Um die Energie einer Ladungsanordnung zu berechnen, bietet es sich an, ein elektrisches Potential φ einzuführen. Das elektrische Potential hängt sehr eng mit dem elektrischen Feld zusammen. Es bietet die Möglichkeit direkt die Energie einer Ladung auszurechnen, die in dieses Feld bzw. Potential hinein gebracht wird. Man verwendet auch hier die Trennung zwischen felderzeugender Ladung und der Ladung, die sich in dem Feld befindet. Die felderzeugende Ladung baut um sich herum ein elektrisches Feld auf. Zusätzlich kann man um diese Ladung herum auch ein elektrisches Potential berechnen, das auch den gesamten Raum ausfüllt. Es ist keine zusätzliche Eigenschaft des Raumes, sondern nur eine andere Darstellung des elektrischen Feldes im mathematischen Sinne.

Für jeden Raumpunkt kann man ausrechnen, wie groß die Arbeit ist, die benötigt wird, um eine positive elektrische Ladung dorthin zu bringen. Dividiert man den Wert der Energie durch den Wert der Ladung, dann erhält man das Potential dieses Raumpunktes. Dadurch kann man nun sehr leicht ausrechnen, wie groß die Energie ist, die eine Ladung an einem bestimmten Raumpunkt hat, indem man einfach den Wert der Ladung Q mit dem Potenzial in dem Raumpunkt multipliziert.

$$E_{pot} = Q\,\varphi$$

Beispiel

Als wichtiges Beispiel betrachten wir die potentielle Energie eines negativ geladenen Elektrons in der Umgebung eines positiv geladenen Atomkerns. Sie hat die Form eines Trichters, d.h. je dichter das Elektron am Atomkern ist, umso niedriger ist die potentielle Energie. Das Elektron befindet sich in einem s.g. „Potentialtopf“.

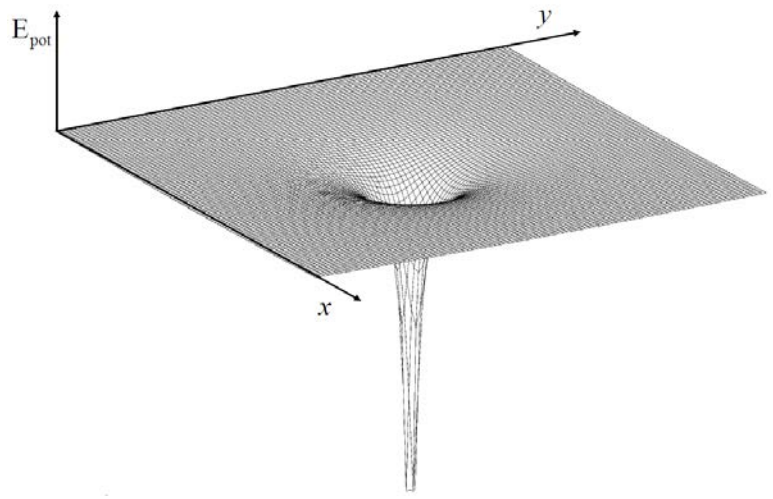


Abb.: Potentielle Energie eines Elektrons in der Umgebung eines positiven Atomkerns.

Das Potential einer Punktladung Q_1, kann aus dem Coulombgesetz berechnet werden. Es ist gegeben durch.

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q_1}{r}$$

Die potentielle Energie einer zweiten Ladung Q_2 in dem Potential der ersten ist dann gegeben durch

$$E_{pot} = Q_2\,\varphi$$

Bemerkenswert ist hier die Abstandsabhängigkeit, die bei dem Potential und bei der potentiellen Energie proportional zu $1/r$ ist. Bei der Kraft und dem elektrischen Feld ist sie dagegen proportional zu $1/r^2$.

Bedeutung des Potentials in der Quantenmechanik

In der Quantenmechanik spielt das Potential eine ganz wesentliche Rolle für die Beschreibung der Natur. Elektronen bewegen sich z.B. in Potentialen, befinden sich in Potentialtöpfen, oder überwinden Potentialbarrieren. Die Vorstellung zu solchen Potential-Landschaften ist sehr intuitiv. Man kann sich das Potential wie eine Berglandschaft vorstellen. Die potentielle Energie eines Elektrons an einem Ort mit hohem Potenzial ist hoch und die potentielle Energie eines Elektrons an einem Ort mit niedrigem Potential ist klein. Genauso wie ein Wanderer der oben auf dem Berg eine große potentielle Energie hat und unten im Tal eine kleine potentielle Energie.

Zusätzlich gibt es in der Quantenmechanik noch weitere Effekte wie z.B. den Tunneleffekt, bei dem ein Elektron durch eine Potentialbarriere hindurch tunneln kann, ohne genügend Energie zu haben, um sich über die Potentialbarriere hinweg zu bewegen. Ein solcher Vorgang ist in der klassischen Physik nicht möglich. Es lohnt sich daher eine Vorstellung für das elektrische Potential zu entwickeln, damit man in der Atomphysik, Molekülphysik, Chemie und Biochemie die Argumentation mit Potentialen gut nachvollziehen kann.

Potential und Spannung

Die elektrische Spannung ist eine Potentialdifferenz zwischen zwei Raumpunkten.

$$U = \Delta\varphi$$

Auch aus diesem Grund ist es wichtig, sich mit dem Begriff des Potentials auseinanderzusetzen. Elektrische Spannungen werden immer bezüglich zweier Punkte angegeben. Man kennt dies z.B. von einer Batterie, bei der eine Spannung zwischen den beiden Polen der Batterie anliegt. Das Vorzeichen der Spannung hängt davon ab, ob ich von Punkt A nach Punkt B zähle oder umgekehrt von Punkt B nach Punkt A.

Auch beim Messen von Spannungen werden immer zwei Messkabel benötigt, die man an die beiden Messpunkte bringt. Vertauscht man die Kabel, misst man das andere Vorzeichen.

Durchläuft eine Ladung eine Potentialdifferenz – also eine Spannung, dann wird Arbeit verrichtet. Durchläuft z.B. eine positive Ladung eine Potentialdifferenz von einem hohen zu einem niedrigen Wert d.h. eine Spannung von positiv nach negativ, dann verrichtet das elektrische Feld Arbeit an der Ladung. Die potentielle Energie der Ladung verringert sich und die kinetische Energie nimmt zu.

Einheit Elektronenvolt

Durchläuft eine Elementarladung *e* eine Spannung von einem Volt, dann hat die dabei verrichtete Arbeit den Wert 1eV. Diese Einheit nennt man „Elektronenvolt“. Sie wird sehr häufig in der Atomphysik, Molekülphysik, Chemie und Biochemie verwendet. Ein Elektronenvolt hat den Wert $1eV = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J.

Ein Beispiel wäre z.B. eine Membran in einer Zelle bei der auf beiden Seiten durch unterschiedliche Ionenkonzentrationen unterschiedliche elektrische Potentiale vorliegen. Durchläuft ein Ion die Potentialdifferenz beim Durchtritt durch die Membran, dann wird die Energie

$$E = Q\,\Delta\varphi$$

auf das Ion übertragen.

Kondensator und homogenes elektrisches Feld

Kondensatoren werden in der Elektrostatik häufig als Beispiel verwendet, da sie sehr einfach zu beschreiben sind. Daher arbeiten viele Übungsaufgaben mit Kondensatoren. Ein sogenannter Plattenkondensator besteht aus zwei ebenen Platten, die sich in einem kleinen Abstand gegenüberstehen. Auf der einen Platte ist eine positive Ladung und auf der anderen Platte eine negative Ladung mit gleichem Wert aber anderem Vorzeichen. Zwischen den Platten bildet sich ein homogenes elektrisches Feld aus, das überall im Zwischenraum der Platten den gleichen Wert und die gleiche Richtung hat.

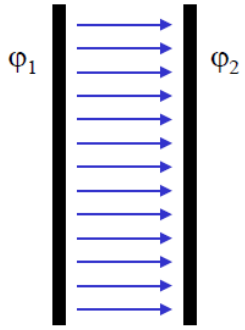


Abb.: Plattenkondensator von der Seite gesehen. In Schwarz dargestellt sind die Platten, die sich gegenüber stehen, in Blau die elektrische Feldstärke, die von der positiv geladenen Platte zur negativ geladenen Platte gerichtet ist.

Die eine Platte des Kondensators liegt auf dem Potential φ_1 und die andere auf dem Potential φ_2. Daraus ergibt sich, dass am Kondensator die Spannung $U = \varphi_2 - \varphi_1$ anliegt. Aus der Geometrie des Plattenkondensators, kann man nun für eine angelegte Spannung ausrechnen, wieviel Ladung *Q* sich auf den Platten befindet und wie groß das elektrische Feld *E* im Innern des Kondensators ist.

$$\mathrm{Q} = C\ U$$

mit der Kapazität das Kondensators

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$$

Dabei ist *A* die Fläche einer Platte und *d* der Abstand der Platten. Die Feldstärke im Innern des Kondensators ist

$$E = \frac{U}{d}$$

Es ist hilfreich zumindest diese einfache Vorstellung eines Plattenkondensators mit Ladungen auf den Platten, Potentialdifferenz zwischen den beiden Platten, elektrischem Feld im Zwischenraum der Platten und darin gespeicherter Energie vor Augen zu haben, um Argumentationen in der Biologie nachvollziehen zu können, bei denen z.B. Potentialdifferenzen über Zellmembranen vorliegen.

Elektrischer Dipol

Befindet sich eine positive und eine negative Ladung mit gleichem Wert aber umgekehrtem Vorzeichen nahe beieinander, spricht man von einem elektrischen Dipol. Das Feld des elektrischen Dipols sieht wie folgt aus

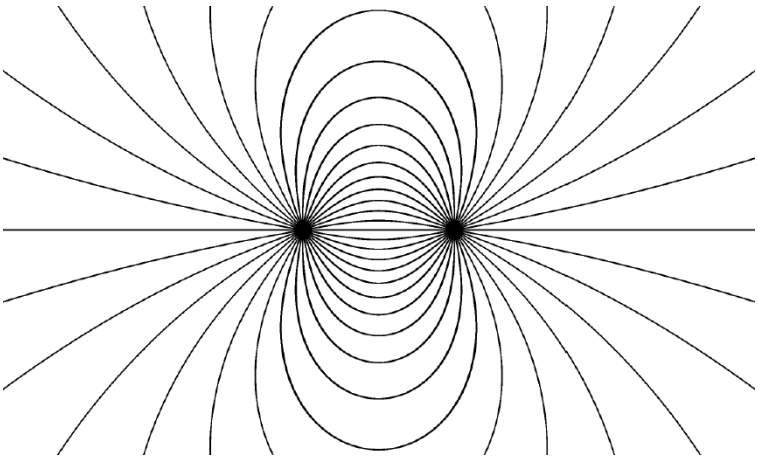


Abb.: Feldlinien eines elektrischen Dipols zur Darstellung des Dipolfeldes. Die Feldlinien verlaufen von der positiven zur negativen Ladung.

Viele Moleküle habe keine symmetrische Ladungsverteilung und stellen daher einen elektrischen Dipol dar. Daher ist diese Anordnung von besonderer Bedeutung.

Ein elektrischer Dipol erfährt in einem homogenen elektrischen Feld keine Kraft, da die Kraft auf die positive Ladung in die eine Richtung genauso groß ist, wie die Kraft auf die negative Ladung in die entgegengesetzte Richtung. Dadurch wirkt im homogenen Feld keine Gesamtkraft auf den Dipol.

Der Dipol wird allerdings im elektrischen Feld ausgerichtet. Dabei richtet sich der Dipol so aus, dass sich die beiden Ladungen entlang einer Feldlinie des äußeren Feldes anordnen. Die Feldlinie des äußeren Feldes läuft zuerst an der negativen Ladung vorbei und dann an der positiven Ladung. Das äußere Feld wird abgeschwächt, weil es durch das Feld des Dipols überlagert wird. Dadurch wird die Gesamtenergie des Systems verringert, da insgesamt weniger Feld den Raum ausfüllt.

In inhomogenen elektrischen Feldern erfährt ein Dipol eine Kraft. In einem inhomogenen Feld heben sich die Kräfte auf die positive und negative Ladung nicht gegenseitig auf, da sich die beiden Ladungen an Orten mit unterschiedlicher Feldstärke befinden. Ist ein elektrischer Dipol in einem inhomogenen elektrischen Feld ausgerichtet, dann erfährt er eine Kraft in Richtung des stärker werdenden Feldes. Elektrische Dipole werden also in starke Felder hineingezogen. Solche Wechselwirkungen spielen in Molekülen oder bei der Wechselwirkung zwischen Molekülen eine wesentliche Rolle, da in den meisten Molekülen die Ladungsverteilung nicht vollkommen symmetrisch ist und so jedes Molekül einen Dipol darstellt. Da die Felder von Dipolen inhomogen sind, wirken zwischen Dipolen anziehende Kräfte.

Man verwendet den Begriff Dipolmoment, um die Stärke eines Dipols anzugeben. Das Dipolmoment ist proportional zu den Ladungen und dem Abstand der Ladungen. Es hat eine Richtung, die von der negativen zur positiven Ladung zeigt.

Dielektrika

In elektrisch isolierenden Materialien wie z.B. Glas, Keramik und Plastik können sich Elektronen nicht bewegen. Sie sind an die Atome gebunden und bleiben am Ort. Man bezeichnet solche Materialien als Dielektrika. Bringt man ein Dielektrikum in ein elektrisches Feld, dann tritt keine Influenz auf, wie bei einem Metall, da die Elektronen sich nicht großräumig bewegen können. Allerdings verschieben sich die Ladungen innerhalb jedes Atoms. Dadurch werden die einzelnen Atome zu kleinen elektrischen Dipolen. Dies

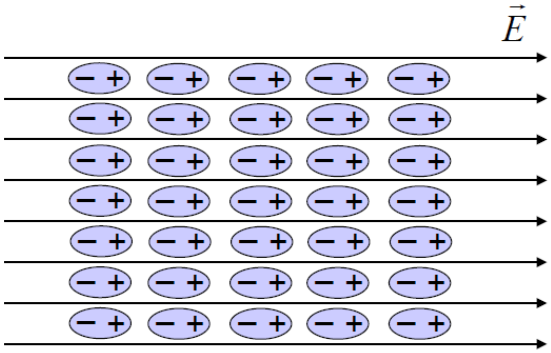


Abb.: Mikroskopische Darstellung eines Dielektrikums. In Blau dargestellt: Moleküle mit unsymmetrischer Ladungsverteilung

Die Eigenschaften der Dielektrika kann man in vielen Gleichungen der Elektrizitätslehre durch den Faktor ε_r berücksichtigen. Bringt man z.B. ein Dielektrikum zwischen die Platten eines Platenkondensators, dann erhöht sich die Kapazität des Kondensators um den Faktor ε_r

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$