

# SCHOOL-SCOUT.DE

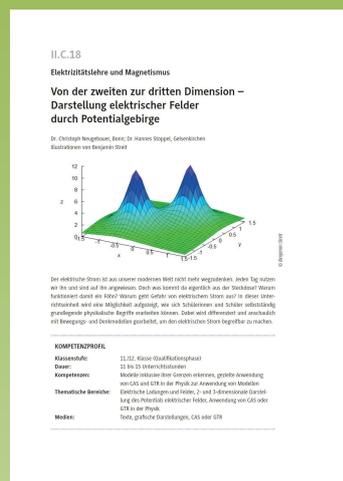
Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Von der zweiten zur dritten Dimension - Elektrizitätslehre und Magnetismus*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)

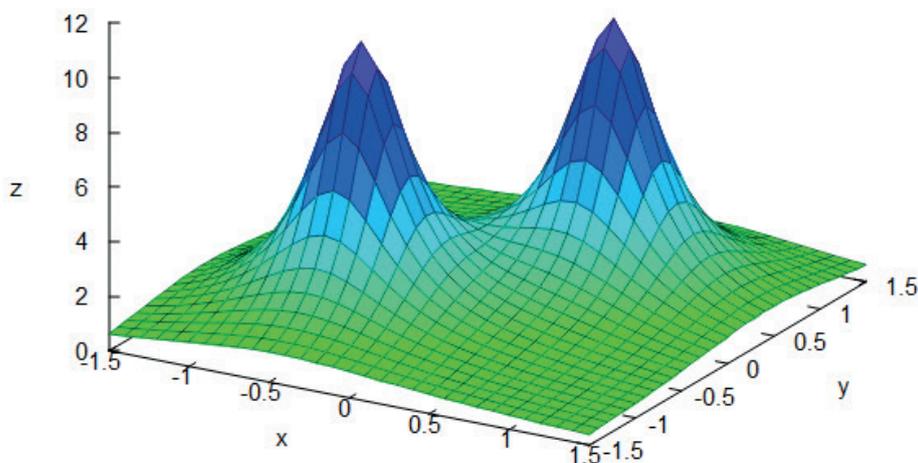


## II.C.18

### Elektrizitätslehre und Magnetismus

# Von der zweiten zur dritten Dimension – Darstellung elektrischer Felder durch Potentialgebirge

Dr. Christoph Neugebauer, Bonn; Dr. Hannes Stoppel, Gelsenkirchen  
Illustrationen von Benjamin Streit



© Benjamin Streit

Der elektrische Strom ist aus unserer modernen Welt nicht mehr wegzudenken. Jeden Tag nutzen wir ihn und sind auf ihn angewiesen. Doch was kommt da eigentlich aus der Steckdose? Warum funktioniert damit ein Föhn? Warum geht Gefahr von elektrischem Strom aus? In dieser Unterrichtseinheit wird eine Möglichkeit aufgezeigt, wie sich Schülerinnen und Schüler selbstständig grundlegende physikalische Begriffe erarbeiten können. Dabei wird differenziert und anschaulich mit Bewegungs- und Denkmodellen gearbeitet, um den elektrischen Strom begreifbar zu machen.

---

#### KOMPETENZPROFIL

<b>Klassenstufe:</b>	11./12. Klasse (Qualifikationsphase)
<b>Dauer:</b>	11 bis 15 Unterrichtsstunden
<b>Kompetenzen:</b>	Modelle inklusive ihrer Grenzen erkennen, gezielte Anwendung von CAS und GTR in der Physik zur Anwendung von Modellen
<b>Thematische Bereiche:</b>	Elektrische Ladungen und Felder, 2- und 3-dimensionale Darstellung des Potentials elektrischer Felder, Anwendung von CAS oder GTR in der Physik
<b>Medien:</b>	Texte, grafische Darstellungen, CAS oder GTR

---

## Didaktisch-methodische Hinweise

### Motivation

Von den vier Grundkräften (s. Demtröder, 2017b) Schwerkraft, elektromagnetische Kraft, schwache sowie starke Wechselwirkung beherrschen die ersten beiden unsere Lebenswelt. Daher bietet das Gebiet der Elektrizitätslehre eine Fülle von Naturerscheinungen, physikalischen Prozessen im menschlichen Körper und lebensweltlichen sowie technischen Anwendungen (s. Demtröder, 2017a). An diesen können die Schülerinnen und Schüler selbst komplexe Zusammenhänge motiviert, konkret und wirksam erfassen. Elektrische Felder spielen somit nicht nur in der Physik, sondern auch in Natur und Technik eine wichtige Rolle. Betrachtet werden im Folgenden sich zeitlich nicht ändernde Felder. Diese statischen elektrischen Felder entstehen, wenn elektrische Ladungen räumlich getrennt werden. Das kann durch Reibung zwischen zwei isolierenden Materialien (sog. Reibungselektrizität) geschehen. Beispiele aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler für das Entstehen elektrostatischer Felder sind u. a. das Ausziehen von Pullovern oder die Reibung zwischen Hose und Kunststoffbezug eines Autositzes. Der Körper lädt sich dabei elektrostatisch auf. Sobald man beim Aussteigen das Metall der Autotür berührt, entlädt sich der Körper. Die Entladung ist als elektrischer „Schlag“ spürbar.

### Voraussetzungen

Für einen erfolgreichen Kompetenzerwerb sollten die Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Oberstufe bestimmte fachliche Anforderungen bewältigen. Die Schülerinnen und Schüler sollten souverän mit ihrem Fachwissen umgehen, d. h., ihr Wissen über physikalische Grundprinzipien (z. B. Erhaltungssätze), Größenordnungen der Werte physikalischer Größen, Messvorschriften, Naturkonstanten sowie physikalische Gesetze und Modelle darstellen. Sie sollten mit Methoden der Physik Erkenntnisse gewinnen, d. h., die Schülerinnen und Schüler wenden exemplarisch Analogien und Modellvorstellungen zur Wissensgenerierung an, entwickeln exemplarisch Modellvorstellungen für einfache physikalische Strukturen und Funktionen und geben Grenzen der Modelle an.

Die Schülerinnen und Schüler sollten aktiv und souverän über physikalische Sachverhalte kommunizieren, d. h., physikalisches Wissen und physikalische Erkenntnisse in unterschiedlichen Formen darstellen. Außerdem sollten Schülerinnen und Schüler physikalische Sachverhalte prüfen und bewerten können, also Nutzungsmöglichkeiten physikalischer Erkenntnisse in der Technik erläutern und bewerten sowie Gefahren des möglichen Missbrauchs für Mensch und Natur sachlich einordnen.

### Elektrische Felder und elektrisches Potential sowie deren grafische Darstellung

Elektrische Felder sind Kraftfelder, die auf elektrische Ladungen wirken. Bringt man also in die Nähe eines geladenen Körpers andere elektrisch geladene Körper (Probeladungen), so werden auf diese Kräfte ausgeübt. Genauso wie ein Körper auf der Erde durch die Schwerkraft zur Erdoberfläche – genauer gesagt zum Erdmittelpunkt – gezogen wird, erfährt eine negative elektrische Ladung in einem elektrischen Feld eine Kraft, die entgegen der Feldrichtung weist. Die Richtung der Kraft wurde per Konvention festgelegt. Die sogenannte technische Stromrichtung – von Plus nach Minus, die physikalische Stromrichtung verläuft von Minus nach Plus – weist in Richtung der elektrischen Feldlinien. Lange Zeit war umstritten, ob geladene Körper aufgrund ihrer Ladung (Fernwirkungstheorie) oder aufgrund des elektrischen Feldes (Nahwirkungstheorie) aufeinander wirken.

Ein uns fehlendes Sinnesorgan macht die Vorstellung eines elektrischen Feldes so abstrakt. Der Zustand des Raumes um einen elektrisch geladenen Raum, in dem auf andere Probeladungen Kräfte ausgeübt werden, wird als elektrisches Feld bezeichnet.

Um ein solches Feld zu modellieren, bedient man sich der sogenannten Feldlinienbilder. Dieses Modell wurde von Michael Faraday (1791–1867) in die Physik eingeführt. Die Richtung der Feldlinien verläuft wie bereits beschrieben von Plus nach Minus.

Für die Darstellung eines Feldlinienbildes gelten folgende Vereinbarungen:

- Feldlinien beginnen und enden an den Ladungen.
- Die Richtung der Feldlinien verläuft immer von Plus nach Minus.
- Je stärker das Feld in einem bestimmten Gebiet, desto dichter liegen dort die Feldlinien beieinander.
- Die Richtung der Feldlinien gibt die Richtung der wirkenden Kraft auf einen geladenen Körper an.
- Die Orientierung der Feldlinien gibt die Richtung der Kraft  $q$  auf einen positiven geladenen Körper an.

In einem homogenen Feld, d. h. in einem Feld, in dem an allen Stellen die Kraft auf einen Probekörper gleich groß ist, verlaufen die Feldlinien parallel und im gleichen Abstand. Ist die Kraft auf einen Probekörper dagegen an unterschiedlichen Orten unterschiedlich groß, so spricht man von einem inhomogenen Feld.

Die elektrische Feldstärke  $E$  ergibt sich aus dem Quotienten von wirkender Kraft  $F$  und Ladung  $q$  im Feld. Die Richtung der Feldlinien eines elektrischen Feldes wird gleich der Richtung der Kraftwirkung gesetzt. Damit gilt:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Die Einheit für die elektrische Feldstärke ist Volt pro Meter. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

$$1 \frac{\text{N}}{\text{C}} = 1 \frac{\text{N}}{\text{As}} = 1 \frac{\text{VN}}{\text{Ws}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

Im radialsymmetrischen Feld um eine (punktförmige) Ladung  $q$  herum befindet sich ein elektrisches Feld, dessen Feldstärke  $E$  als Funktion in Abhängigkeit vom Abstand  $r$  von der Ladung gleich.

$$E(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}$$

ist (vgl. Grehn und Krause, 2015, 5.1.4).

In einem Radialfeld einer Punktladung haben alle Punkte im gleichen Abstand zur Probeladung das gleiche Potential. Flächen gleichen Potentials nennt man Äquipotentialflächen. Das elektrische Potential  $\varphi$  in einem Radialfeld der Ladung  $q$  gegenüber dem Unendlichen lässt sich im Abstand  $r$  von der Ladung mithilfe der Formel

$$\varphi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r}$$

berechnen. Die Einheit des Potentials ist

$$[\varphi] = 1\text{V} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}.$$

Im Fall der Annäherung eines Körpers der Ladung  $Q$  aus dem Unendlichen an die Punktladung verändert sich die potentielle Energie<sup>1</sup>  $W_{\text{pot}}$  des Systems um

$$\Delta W_{\text{pot}} = Q \cdot \varphi(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r}.$$

<sup>1</sup> Um eine Verwechslung von Energie und elektrischer Feldstärke zu vermeiden, wird die Energie mit „ $W$ “ bezeichnet.

Das Potential ist geeignet, ein Feld zu beschreiben. Das kann auch grafisch mit Äquipotentiallinien in der Ebene oder Äquipotentialflächen im Raum erfolgen.

Die Gleichungen zur Berechnung der elektrischen Feldstärke und des elektrischen Potentials eines Radialfeldes lassen sich auf den dreidimensionalen Raum übertragen.

### Kompetenzbereiche, Inhaltsfelder und Kompetenzerwartungen

Die in den allgemeinen Aufgaben und Zielen des Faches Physik beschriebene übergreifende fachliche Kompetenz wird durch die Identifizierung und Ausweisung fachspezifischer Kompetenzbereiche und Inhaltsfelder ausdifferenziert. Kompetenzbereiche (Umgang mit Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation sowie Bewertung) repräsentieren die Grunddimensionen des fachlichen Handelns. Inhaltsfelder systematisieren mit ihren jeweiligen inhaltlichen Schwerpunkten die im Unterricht der gymnasialen Oberstufe verbindlichen und unverzichtbaren Gegenstände. Im Inhaltsfeld Elektrizität werden Eigenschaften elektrischer Ladungsträger und ihr Verhalten in elektrischen und magnetischen Feldern untersucht. Weitere Schwerpunkte liegen auf den Beziehungen zwischen elektrischen und magnetischen Erscheinungen. In den Lehrplänen NRW für die Oberstufe (MSB, 2020) oder den Bildungsstandards nach der Kultusministerkonferenz (KMK, 2020) sind u. a. folgende Kompetenzen aus dem Bereich der Elektrizität zu finden, die mit dem vorliegenden Projekt abgedeckt werden können.

<b>Basiskonzept</b>	
<i>Wechselwirkung</i>	Ladungstrennung, elektrische und magnetische Felder, Feldlinien, Bewegung von Ladungsträgern in Feldern
<i>Energie</i>	Potentielle Energie im elektrischen Feld, Spannung als Potentialdifferenz, Kondensator Energie des elektrischen und des magnetischen Feldes
<i>Struktur der Materie</i>	Ladungsträger, Elementarladung
<b>Kompetenzbereich</b>	Die Schülerinnen und Schüler ...
<i>Umgang mit Fachwissen</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– beschreiben Eigenschaften und Wirkungen homogener elektrischer Felder und erläutern die Definitionsgleichungen der entsprechenden Feldstärke und des elektrischen Potentials (UF2, UF1),</li> <li>– erläutern den Feldbegriff und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld auf (UF3, E6),</li> <li>– erläutern den Begriff des elektrischen Potentials und zeigen dabei Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen potentieller Energie im Gravitationsfeld und elektrischer Energie im E-Feld auf (UF3, E6),</li> <li>– wählen Definitionsgleichungen zusammengesetzter physikalischer Größen sowie physikalische Gesetze (u. a. Coulomb'sches Gesetz, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Lorentzkraft, Spannung im homogenen E-Feld) problembezogen aus (UF2),</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– bestimmen die relative Orientierung von Bewegungsrichtung eines Ladungsträgers, Magnetfeldrichtung und resultierender Kraftwirkung mithilfe einer Drei-Finger-Regel (UF2, E6),</li> <li>– ermitteln die in elektrischen bzw. magnetischen Feldern gespeicherte Energie (Kondensator, Spule) (UF2),</li> </ul>
<i>Erkenntnisgewinnung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– leiten physikalische Gesetze (u. a. die im homogenen elektrischen Feld gültige Beziehung zwischen Spannung und Feldstärke bzw. Potential) aus geeigneten Definitionen und bekannten Gesetzen deduktiv her (E6, UF2),</li> <li>– wählen begründet mathematische Werkzeuge zur Darstellung von Messwerten im Bereich der Elektrizität (auch computergestützte grafische Darstellungen, Linearisierungsverfahren, Kurvenanpassungen), wenden diese an und bewerten die Güte der Messergebnisse (E5, B4),</li> </ul>
<i>Kommunikation</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern und veranschaulichen die Aussagen, Idealisierungen und Grenzen von Feldlinienmodellen, nutzen Feldlinienmodelle zur Veranschaulichung typischer Felder und Potentiale und interpretieren diese (K3, E6, B4),</li> <li>– erstellen, bei Variation mehrerer Parameter, Tabellen und Diagramme zur Darstellung von Messwerten aus dem Bereich der Elektrizität (K1, K3, UF3),</li> </ul>
<i>Bewertung</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– erläutern an Beispielen den Stellenwert experimenteller Verfahren bei der Definition physikalischer Größen (elektrische und magnetische Feldstärke) und geben Kriterien zu deren Beurteilung an (z. B. Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Unabhängigkeit von Ort und Zeit) (B1, B4)</li> </ul>

Die Erläuterungen der Abkürzungen für die Kompetenzen und Anforderungsbereiche finden Sie ebenfalls auf den Seiten MSB (2020) und KMK (2020, Abschnitt 2) des Schulministeriums.

### Modellbildung in der Physik

Die Modellbildung kann in vielfacher Weise die Hypothesenbildung und das Denken in Zusammenhängen im Physikunterricht unterstützen. Ein Modell ist dabei eine „[O]rientierung an der Fachliteratur, an der fachdidaktischen Umgangssprache und an Vorstellungen und Assoziationen der Schüler“ (Kircher, 2009, S. 736). Das Modellieren bildet eine grundlegende Kompetenz bezüglich physikalischer Lern- und auch Forschungsprozessen (Mikelskis-Seifert, Thiele und Wünscher, 2005). Am Anfang steht zumeist die Hypothese über einen physikalischen Zusammenhang und die Abhängigkeiten der verschiedenen Einflussgrößen voneinander. In einem Modellbildungssystem werden diese Einflussgrößen dann zu Objekten, die sich gegenseitig beeinflussen können. Man kann so seine Hypothese simulieren. In der Physik werden meist mathematische Modelle eingesetzt. Die Diskussion dieser Modelle setzt damit gewisse mathematische Fertigkeiten voraus. Dadurch treten sehr oft die physikalischen Ideen hinter den mathematischen Problemen zurück. Durch entsprechende Computerprogramme kann diese Problematik vereinfacht werden (Vogelsang und Varnai, 2018). Ziel der Modellbildung ist es daher, eine geeignete mathematische Beschreibungsform zu

finden, die benötigten Gleichungen zur Systembeschreibung aufzustellen und die Parameter des Systems (z. B. Ladung, Abstände etc.) zu bestimmen.

### Einsatz digitaler Medien zur Darstellung 2- und 3-dimensionaler Abbildungen

In der Physik zeigen sich häufig bildliche Vorstellungen als bedeutsam. Sie können bei Interpretationen von Zusammenhängen hilfreich sein. Nicht zuletzt in der Modellierung machen sich Vorstellungen nützlich. Hilfreich zeigen sich dabei oft zweidimensionale und dreidimensionale Graphen. Auf diese Art lassen sich Lösungen von Gleichungen wie den Maxwell-Gleichungen und der Schrödinger-Gleichung darstellen, womit ein Einblick in sonst nicht sichtbare Zusammenhänge geworfen werden kann. Vonseiten des Modellierens her gesehen lassen sich hiermit Brücken in die Abbildung 2 dargestellten Modellierungskreislauf schaffen. Entsprechende Darstellungen zweidimensionaler und dreidimensionaler Typs können ebenfalls bei der Behandlung entsprechender Themen in der Sekundarstufe II Anwendung finden, vgl. Grehn und Krause (2015, 5.1.4, 5.2.2).

Spätestens seit der Existenz von 3-D-Druckern gewinnen dreidimensionale Objekte und Modelle im Unterricht an Bedeutung. Es existieren zahlreiche fertige Vorlagen zur Veranschaulichung mathematischer und physikalischer Beziehungen online (vgl. yeggi, 2020). Für ein Magnetfeld eines Permanentmagneten findet sich eine App online, mit der solche Modelle erstellt werden können (Datenplotter, 2020). Meistens sind jedoch die zugrunde liegenden Gleichungen und Strukturen nicht sichtbar gemacht, sodass nicht unmittelbar klar wird, was genau dort geschieht. Ferner sind längst nicht alle Schulen in Besitz von 3-D-Druckern.

2-D- und 3-D-Graphen lassen sich auch mithilfe verschiedener Computer-Algebra-Systeme (CAS), beispielsweise wxMaxima, oder sogar grafikfähigen Taschenrechnern (GTR) wie CG50 von Casio darstellen. Dabei existiert ebenfalls benutzerfreundliche Freeware. Mit den meisten CAS lassen sich die 3-D-Graphen bewegen und so von allen Seiten betrachten, womit sich ähnliche Möglichkeiten wie mit einem 3-D-Drucker bieten.

### Vorschläge für Ihre Unterrichtsgestaltung

Die Unterrichtsreihe soll unter der Anwendung digitaler Medien einen Einblick in die Struktur elektrischer Felder liefern. Hierzu dienen sechs Aufgabenblätter **M 1** bis **M 7**, mit deren Hilfe zunächst ein Einblick in den Aufbau elektrischer Felder in zweidimensionaler Form gegeben wird (**M 1**, **M 2** und **M 3**). Dabei werden von einem Ladungsträger oder mehreren Ladungsträgern erzeugte Felder untersucht. Um die Struktur elektrischer Felder noch besser überblicken zu können, werden auf den Blättern **M 4** bis **M 7** Felder auch in dreidimensionaler Form einzelner Ladungsträger untersucht. Auch hier werden Felder von einer und mehreren Ladungsträgern untersucht. Die Untersuchung dreidimensionaler Graphen von Feldern wird bei den Arbeitsblättern **M 8** und **M 9** fortgesetzt. Zur Darstellung des Potentials wird dabei auf spezielle Befehle des CAS Maxima (bzw. wxMaxima) zurückgegriffen. Dies ließ sich bei der Darstellung von Geodäten nicht vermeiden.

Für die Lösung der Aufgaben ist ein CAS notwendig, welches auch dreidimensionale Zeichnungen anfertigen kann. Gewisse Softwares stoßen hierbei an ihre Grenzen. Für die Durchführung der Unterrichtsreihe wird hier auf die Freeware wxMaxima bzw. Maxima zurückgegriffen, die unter Maxima (2020) gefunden werden kann. wxMaxima ist für Windows, Apple, Linux sowie Raspberry Pi zu haben. Für Android existiert Maxima, das von seinem Aufbau her analog zu Maxima unter Windows und Linux ist. Die Oberflächen und bestimmte Befehle unterscheiden sich etwas. Dies ist auch an einzelnen Stellen sichtbar.

Um mit wxMaxima oder Maxima vertraut zu werden, wurden zusätzliche Arbeitsblätter **M 1a** bis **M 5a** aufgenommen, mit deren Hilfe man einen Einblick in die Grundlagen von wxMaxima erhält,

soweit es für die Behandlung der Unterrichtssequenz hilfreich ist. Die Befehle für wxMaxima sind durch das Weglassen von „wx“ zu Beginn des Befehls mit Maxima anwendbar. Die Anwendungsmöglichkeit sowohl mit Maxima als auch mit xwMaxima wird später mit (wx)Maxima abgekürzt. Um die Möglichkeit zu geben, die Aufgabenblätter möglichst weit auch mit einem anderen CAS bearbeiten zu können oder bereits Vorkenntnisse von wxMaxima zu besitzen, wurden diese Aufgaben auf zusätzliche Arbeitsblätter gelegt. Die Bearbeitung der Arbeitsblätter **M 1** bis **M 7** ist unabhängig von den Arbeitsblättern **M 1a** bis **M 5a** möglich.

Mit den Arbeitsblättern **M 1a** bis **M 3a** wird ein Blick auf die Grundlagen geworfen, mit denen die Arbeitsblätter **M 1** und **M 2** bearbeitet werden können. Analog sollten vor den Arbeitsblättern **M 4** bis **M 9** die Ergänzungsblätter **M 4a** und **M 5a** bearbeitet werden, um eine Basis für den Umgang mit (3-D-)Graphen zu schaffen.

### Voraussetzungen der Lerngruppe – erforderliches Vorwissen

Als Voraussetzungen für die Unterrichtssequenz vonseiten der Schülerinnen und Schüler gilt die Kenntnis der elektrischen Feldstärke und der Interpretation von Feldlinien eines elektrischen Feldes. Die Kenntnis des Radialfeldes ist nicht notwendig, da es in der Einleitung zu Blatt **M 1** beschrieben ist. Auch der Begriff des elektrischen Potentials muss nicht zuvor bekannt sein. Er lässt sich mithilfe der Unterrichtssequenz motivieren und einführen. Mit seiner Hilfe lässt sich im Anschluss auch die Spannung einführen.

Vorkenntnisse im Umgang mit einem CAS können bei Bearbeitung der Arbeitsblätter hilfreich sein, werden jedoch ebenfalls nicht vorausgesetzt. Eine Einführung in das CAS (wx)Maxima lässt sich mit parallel nutzbaren Aufgabenblättern **M 1a** bis **M 5a** durchführen.

Als Voraussetzung zur Anwendung eines CAS sind digitale Medien notwendig. Es bietet sich an, sich bereits vorher um die Installation der CAS zu kümmern.

### Tipps zur Differenzierung

Eine Differenzierung hinsichtlich der Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern innerhalb eines Kurses bietet sich allein durch den Einsatz der enthaltenen Tippkarten. Weitere Möglichkeiten liegen in der Anwendung des CAS in praktischer Form oder in der Auswahl der Aufgaben. Auf Arbeitsblatt **M 1** besitzen die Aufgabenteile 1 e) und f) einen höheren Anspruch. Bei Teil f) lässt sich durch die Wahl der Arbeitsform und ggf. der Einteilung in Arbeitsgruppen eine Differenzierung schaffen. Auf dem Arbeitsblatt **M 3** stellt Aufgabe 1 c) höhere Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler. Zum Arbeitsblatt existieren zahlreiche Tipp-Karten, nicht zuletzt, um auf benötigte Befehle des CAS (wx)Maxima zurückzugreifen.

Zum Arbeitsblatt **M 7** existieren zahlreiche Tipps, die zur Differenzierung beitragen können. Ferner lässt sich die Bearbeitung der letzten Teilaufgabe von Aufgabe 1 von **M 7** auf leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler einschränken, während andere sich als Vorbereitung für später mit Aufgabe 2 befassen. Beides wird zur Bearbeitung späterer Aufgabenblätter benötigt. Daher lassen sich Ergebnisse gegenseitig vorstellen, womit unterschiedliche Bewertung der Aufgaben innerhalb des Kurses vermieden werden kann. Bei der Bearbeitung der Aufgabenblätter **M 9** und **M 10** ergibt sich auf Basis der Aufgabenstellung eine Differenzierung von selbst.

### Diese Kompetenzen trainieren Ihre Schülerinnen und Schüler

Die Schülerinnen und Schüler ...

- können Informationen an andere weitergeben.
- lernen, in Modellen zu denken, aber auch die Grenzen von Modellen zu erkennen.
- sind in der Lage, ein CAS in der Physik anzuwenden.

- können zweidimensionale und dreidimensionale Graphen elektrischer Felder einzelner und mehrerer Ladungsträger interpretieren.
- erkennen Grenzen des Modells der Darstellung elektrischer Felder durch Feldstärke und Potential.

## Medientipps

### Literatur für Lehrer

- ▶ Demtröder, W. (2017a). *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik* (7. Auflage). Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer.
- ▶ Demtröder, W. (2017b). *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik* (5. Auflage). Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer.
- ▶ Blum, W., & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der Tanken-Aufgabe. *Mathematik lehren*, (128), 18–21.
- ▶ Grehn, J., & Krause, J. (2015). *Metzler-Physik S II* (Ausgabe Nordrhein-Westfalen, S II, Druck A). Braunschweig: Schroedel.
- ▶ Kircher, E. (2009). Modellbegriff und Modellbildung in der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwitz & P. Häussler (Eds.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (2nd ed., pp. 735–762). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- ▶ KMK (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020*. Berlin. Retrieved from [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2020/2020\\_06\\_18-BildungsstandardsAHR\\_Physik.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf).
- ▶ Mikelskis-Seifert, S., Thiele, M., & Wünscher, T. (2005). Modellieren – Schlüsselfähigkeit für physikalische Forschungs- und Lernprozesse. *PhyDid A – Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 4(1), 30–46.
- ▶ Vogelsang, C., & Varnai, A. S. (2018). *Modellierung und Analyse komplexer Alltagsphänomene: Ein Seminarkonzept zum Umgang mit digitalen Werkzeugen im Physikunterricht*. HLZ (Ausgabe 1), 120–146.

### Internetadressen

- ▶ *Datenplotter* (2020). 3-D-Darstellung von Magnetfeldern eines Permanentmagneten. <https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/multimedia/3ddruck/magnetfeld/index.html>
- ▶ *MSB* (2020). *Lehrplan der Sekundarstufe II NRW*. <https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplannavigator-s-ii/gymnasiale-oberstufe/physik/physik-klp/kompetenzen/index.html>
- ▶ *yeggi* (2020): *Vorlagen für 3-D-Druckerdateien, auch für Physik*. <https://www.yeggi.com>
- ▶ *Maxima* (2020). *Freeware eines Computer-Algebra-Systems*. <http://maxima.sourceforge.net/download.html>

[Letzter Abruf der Internetadressen: 28.09.2021]

# Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt; Tk = Tippkarte / Hilfestation; LEK = Lernerfolgskontrolle

---

## 1. Stunde

**Thema:** Kreisförmiges elektrisches Feld um eine Ladung  
**M 1** (Ab) **Feld im Abstand von einem Teilchen**  
**M 2** (Tk) **Tippkarten zu M 1**

---

## 2. Stunde

**Thema:** Einstieg in das Potential eines Radialfeldes um eine Ladung  
**M 3** (Ab) **Das Potential des Radialfeldes**

**Thema:** Grundlegende Operationen mit Maxima/wxMaxima  
**M 1a** (Ab) **Grundlagen von wxMaxima**  
**M 2a** (Ab) **Funktionen**  
**M 3a** (Ab) **Funktionsgraphen**

---

## 3./4. Stunde

**Thema:** Zweidimensionale Darstellung von Potentialfeldern mit mehreren Ladungen  
**M 4** (Ab) **Gemeinsame Felder zweier Ladungsträger**  
**M 6** (Ab) **Gemeinsame Felder mehrerer Ladungsträger**  
**M 5** (Tk) **Tippkarten zu M 4**

---

## 5./6. Stunde

**Thema:** Potentialfelder von zwei Ladungsträgern  
**M 7** (Ab, LEK) **Von zwei Dimensionen zu drei Dimensionen**  
**M 8** (Tk) **Tippkarten zu M 7**

**Thema:** Stromstärke und Spannung in der Parallelschaltung; Lernerfolgskontrolle  
**M 4a** (Ab) **Graphen mit drei Dimensionen (1)**  
**M 5a** (Ab, LEK) **Graphen mit drei Dimensionen (2)**

---

## 7.–9. Stunde

**Thema:** Potentialfelder von mehr als einer Ladung  
**M 9** (Ab) **Mehr als eine Ladung (1)**  
**M 10** (Ab, LEK) **Mehr als eine Ladung (2)**

**Minimalplan**

Die Arbeitsblätter **M 1** bis **M 6** können auch mit anderen digitalen Medien bearbeitet werden, die zu 3-D-Zeichnungen fähig sind. Die Arbeitsblätter **M 1a** bis **M 5a** können dann ausgelassen werden. Einige Aufgabenstellungen der Arbeitsblätter **M 5** und **M 6** beinhalten Befehle für Maxima/wxMaxima. CAS wie Maple oder Mathematica besitzen äquivalente Befehle. Andere CAS jedoch u. U. nicht. Hier sollte überprüft werden, ob entsprechende Befehle existieren.

Besitzen die Schülerinnen und Schüler entsprechende digitale Endgeräte, so kann ein großer Anteil der Arbeitsblätter auch als **Hausaufgabe** gestellt werden.

# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

## Auszug aus:

*Von der zweiten zur dritten Dimension - Elektrizitätslehre und Magnetismus*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)

