Elektrisches Feld und Kondensator (Lernhilfe-Fassung)

Ein Plattenkondensator Schritt für Schritt: vom Feld bis zum Energiespeicher

So arbeitest du mit diesem Blatt:
• Lies zuerst jeden blauen Hilfekasten (Erklärung). Danach folgt die Aufgabe.
• Schreibe bei jeder Rechnung auf: Formel → Zahlen einsetzen → Ergebnis mit Einheit.
• Rechne mit Grundeinheiten: 1 cm = 0,01 m; 1 mm = 0,001 m.
• Diese Werte brauchst du mehrmals: $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m (Feldkonstante); Elementarladung $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.
• Grundfall (Aufgaben 4–16): quadratische Platten mit 10 cm Seitenlänge (Fläche $A = 0{,}010\ m^2$), Plattenabstand d = 2,0 mm = 0,0020 m, Spannung U = 400 V.
• Bei den Tipps kannst du nachschauen, wenn du nicht weiterkommst.

HILFE: Das elektrische Feld
• Ladung: Körper können positiv (+) oder negativ (–) geladen sein. Gleiche Ladungen stoßen sich ab, verschiedene ziehen sich an.
• Elektrisches Feld: Der Raum um eine Ladung, in dem eine andere Ladung eine Kraft spürt.
• Probeladung q: eine kleine Ladung, mit der man das Feld 'testet'.
• Feldstärke E: Sie sagt, wie stark die Kraft pro Ladung ist. Formel: E = F / q.
• Feldlinien: Gedachte Linien, die das Feld zeichnen. Sie zeigen die Richtung der Kraft auf eine positive Ladung. Sie laufen von + nach –.

1 Was ist ein elektrisches Feld? Was bedeutet die Feldstärke E = F/q? Schreibe 2–3 Sätze. Satzanfänge: 'Ein elektrisches Feld ist …' – 'Die Feldstärke gibt an, …'

2 Was zeigen Feldlinien? Nenne (1) wo sie beginnen und enden, (2) was ihre Richtung bedeutet und (3) was viele dicht liegende Linien bedeuten.
Tipp: Denke an die Kraft auf eine positive Probeladung.

3 Das elektrische Feld nennt man ein 'Modell'. Es ist keine Eigenschaft eines einzelnen Körpers. Erkläre mit eigenen Worten, was damit gemeint ist.
Satzanfang: 'Das Feld beschreibt die Kraft zwischen …'
Tipp: Wann spürt eine Ladung überhaupt eine Kraft?

HILFE: Feldstärke im Plattenkondensator
• Plattenkondensator: zwei parallele Metallplatten. Eine ist +, die andere –. Dazwischen ist ein homogenes Feld (überall gleich stark, Feldlinien parallel).
• U = Spannung in Volt (V). d = Abstand der Platten in Metern (m).
• Formel: E = U / d. Einheit: V/m (gleich N/C).

Gelöstes Beispiel (andere Zahlen): U = 100 V, d = 0,010 m.
E = U / d = 100 V / 0,010 m = $1{,}0 \cdot 10^{4}$ V/m.

4 Berechne die Feldstärke E zwischen den Platten (Grundfall: U = 400 V, d = 0,0020 m).
Tipp 1: Nimm die Formel E = U/d.
Tipp 2: Setze U und d in Metern ein.

5 Die Platten werden größer gemacht (U und d bleiben gleich). Die Feldstärke ändert sich NICHT. Begründe das in zwei Schritten:
(a) Welche Größen stehen in der Formel E = U/d? Kommt die Plattenfläche vor?
(b) Auf größeren Platten sitzt mehr Ladung, aber sie verteilt sich auch auf eine größere Fläche. Was bleibt dadurch gleich (Feldliniendichte)?
Satzanfang: 'E hängt nur von … ab, weil …'

HILFE: Kraft auf eine Ladung im Feld
• Aus E = F/q folgt: F = q · E. Für ein Elektron ist q = e = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C (Betrag).
• Das Elektron ist NEGATIV geladen. Darum zeigt die Kraft auf das Elektron entgegen der

Feldrichtung.
• Die Feldrichtung zeigt immer von der +Platte zur –Platte.

6 Ein Elektron ist zwischen den Platten (Grundfall, $E = 2{,}0 \cdot 10^5$ N/C). Berechne den Betrag der Kraft F auf das Elektron.
Tipp: $F = e \cdot E$

7 Die positive Platte ist oben. In welche Richtung wird das Elektron beschleunigt? Begründe in 2 Sätzen.
Tipp 1: Wohin zeigt das Feld (von + nach –)?
Tipp 2: Elektronen sind negativ. Die Kraft zeigt dann in die Gegenrichtung.

HILFE: Kapazität
• Kapazität C: Sie sagt, wie viel Ladung ein Kondensator pro Volt Spannung speichern kann. Einheit: Farad (F).
• Formel für den Plattenkondensator (ohne Dielektrikum): $C = \varepsilon_0 \cdot A / d$
• A = Fläche einer Platte (in m^2), d = Plattenabstand (in m).
• Kleine Einheiten: 1 pF = 10^{-12} F; 1 nF = 10^{-9} F; 1 µF = 10^{-6} F.

Gelöstes Beispiel (andere Zahlen): $A = 0{,}020\ m^2$, $d = 0{,}0010$ m.
$C = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m · 0,020 m^2 / 0,0010 m = $1{,}77 \cdot 10^{-10}$ F ≈ 177 pF.

8 Berechne die Kapazität C des Kondensators im Grundfall ($A = 0{,}010\ m^2$, $d = 0{,}0020$ m).
Tipp 1: Formel $C = \varepsilon_0 \cdot A/d$.
Tipp 2: Rechne zuerst $\varepsilon_0 \cdot A$, dann teile durch d.

HILFE: Ladung Q
• Ladung Q: Die Menge an Ladung, die auf einer Platte sitzt (auf der anderen Platte ist genauso viel, aber mit anderem Vorzeichen). Einheit: Coulomb (C).
• Formel: $Q = C \cdot U$

Gelöstes Beispiel (andere Zahlen): $C = 2{,}0$ µF = $2{,}0 \cdot 10^{-6}$ F, U = 10 V.
$Q = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ F · 10 V = $2{,}0 \cdot 10^{-5}$ C = 20 µC.

9 Der Kondensator wird mit U = 400 V vollständig aufgeladen. Berechne die Ladung Q auf den Platten (nimm C aus Aufgabe 8).
Tipp: $Q = C \cdot U$

HILFE: Kondensator von der Quelle trennen
• Wird der Kondensator von der Spannungsquelle getrennt, ist er isoliert. Ladung kann dann weder zu- noch abfließen. Die Ladung Q bleibt also gleich.
• Aus $Q = C \cdot U$ folgt: $U = Q / C$.
• Ist Q gleich und wird C kleiner, so wird U größer.

10 Der geladene Kondensator ist von der Quelle getrennt. Nun ziehst du die Platten auseinander (d wird größer). Beantworte:
(a) Warum bleibt die Ladung Q gleich?
(b) Was passiert mit der Kapazität $C = \varepsilon_0 \cdot A/d$, wenn d größer wird?
(c) Was passiert deshalb mit der Spannung $U = Q/C$?
Satzanfänge: '(a) Die Ladung kann nicht …' – '(b) C wird …, weil …' – '(c) U wird …, weil …'

HILFE: Energie im Kondensator
• Beim Aufladen muss man Ladung auf die Platten bringen. Dafür wird Arbeit (Energie) gebraucht. Sie ist im Feld gespeichert.
• Spannung = Arbeit pro Ladung. Also: Arbeit = Spannung · Ladung.
• Beim Aufladen steigt die Spannung langsam von 0 V auf U. Die Spannung ist also im Mittel nur ½·U.
• Formel: $W = ½ \cdot C \cdot U^2$ (Einheit: Joule, J)

11 Leite die Formel $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ in drei Schritten her.
Schritt 1: Wie groß ist die mittlere Spannung beim Aufladen von 0 V auf U?
Schritt 2: Schreibe die Arbeit auf: W = (mittlere Spannung) · Q.
Schritt 3: Ersetze Q durch C·U und vereinfache.
Tipp: Nach Schritt 2 steht da $W = \frac{1}{2} \cdot U \cdot Q$.

12 Berechne die Energie W, die im Kondensator (Grundfall, $C = 4{,}425 \cdot 10^{-11}$ F, U = 400 V) gespeichert ist.
Tipp 1: Rechne zuerst $U^2 = 400 \cdot 400$.
Tipp 2: Setze dann in $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$ ein.
Beispiel zum Üben: $C = 2{,}0 \cdot 10^{-6}$ F, U = 10 V → $W = \frac{1}{2} \cdot 2{,}0 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 1{,}0 \cdot 10^{-4}$ J.

13 Ein Liter Benzin liefert etwa 34 MJ (1 MJ = 10^6 J, also 34 MJ = $34 \cdot 10^6$ J).
(a) Teile die Benzinenergie durch die Energie des Kondensators ($3{,}54 \cdot 10^{-6}$ J). Wie oft passt die Kondensatorenergie in die Benzinenergie?
(b) Was sagt das Ergebnis über Kondensatoren als Energiespeicher? Nenne einen Vorteil und einen Nachteil.
Satzanfang für (b): 'Ein Nachteil ist …, ein Vorteil ist …'

HILFE: Dielektrikum
• Dielektrikum: ein Stoff (Isolator) zwischen den Platten. Er macht die Kapazität größer.

• ε_r (relative Permittivität): Zahl, die sagt, um welchen Faktor C größer wird.
• Formel: $C' = \varepsilon_r \cdot C$ (C' = neue Kapazität)
• Bleibt der Kondensator an der Quelle, bleibt die Spannung U gleich. Dann gilt wieder $Q' = C' \cdot U$.

14 Der Kondensator (Grundfall) wird ganz mit einem Dielektrikum mit $\varepsilon_r = 100$ gefüllt. Berechne die neue Kapazität C'.
Tipp: $C' = \varepsilon_r \cdot C$ mit $C = 4{,}425 \cdot 10^{-11}$ F

15 Der Kondensator bleibt an der Quelle (U = 400 V bleibt gleich). Berechne die neue Ladung Q'. Woher kommt die zusätzliche Ladung?
Tipp 1: $Q' = C' \cdot U$
Tipp 2: Die Quelle 'pumpt' Ladung. Überlege, was die Quelle konstant hält.
Satzanfang: 'Die zusätzliche Ladung kommt von …'

HILFE: Reihenschaltung von Kondensatoren
• Reihenschaltung: Die Kondensatoren hängen hintereinander in einer Leitung.
• Auf beiden Kondensatoren sitzt dieselbe Ladung Q. Die Spannung teilt sich auf: $U = U_1 + U_2$.
• Formel: $1/C_ges = 1/C_1 + 1/C_2$

Gelöstes Beispiel (andere Zahlen): $C_1 = 2{,}0$ µF, $C_2 = 2{,}0$ µF.
$1/C_ges = 1/2{,}0 + 1/2{,}0 = 1$ (1/µF), also $C_ges = 1{,}0$ µF.

16 Beschreibe oder zeichne das Schaltbild von zwei Kondensatoren in Reihe ($C_1 = 4{,}0$ µF und $C_2 = 6{,}0$ µF).
Tipp: Das Symbol für einen Kondensator sind zwei kurze parallele Striche.

17 Berechne die Gesamtkapazität C_ges von C_1 = 4,0 µF und C_2 = 6,0 µF in Reihe.
Tipp 1: Rechne 1/4,0 + 1/6,0. Mache die Brüche gleichnamig (Nenner 12).
Tipp 2: Am Ende musst du den Bruch umdrehen: C_ges = 1 / (Ergebnis).

18 Das Ergebnis (2,4 µF) ist kleiner als C_1 und C_2. Erkläre, warum das bei einer Reihenschaltung immer so ist.
Tipp: Beide Kondensatoren haben dasselbe Q. Die Spannung wird aufgeteilt: $U = U_1 + U_2$.
Denke an C = Q/U.
Satzanfang: 'Bei gleicher Ladung ist die Gesamtspannung …, deshalb ist C_ges = Q/U …'

19 Entscheide, ob die Aussagen richtig oder falsch sind.
Tipp: Schau noch einmal in die blauen Hilfekästen.

	richtig	falsch
Im homogenen Feld eines Plattenkondensators ist die Feldstärke zwischen den Platten überall gleich groß.	☐	☐
Ein Kondensator 'verbraucht' beim Aufladen Strom, der dabei verloren geht.	☐	☐
Bei gleich bleibender Ladung sinkt die Spannung am Kondensator, wenn man ein Dielektrikum einbringt.	☐	☐
Die elektrische Feldstärke ist als Kraft pro Ladung definiert: E = F/q.	☐	☐
Bei einer Parallelschaltung von Kondensatoren addieren sich die Kehrwerte der Einzelkapazitäten.	☐	☐

20 Ordne jeder Größe die passende Formel zu.

1. Elektrische Feldstärke (homogenes Feld)	____	A) $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$
2. Kapazität eines Plattenkondensators	____	B) $E = U/d$
3. Ladung eines Kondensators	____	C) $Q = C \cdot U$
4. Energie eines geladenen Kondensators	____	D) $1/C_ges = 1/C_1 + 1/C_2$
5. Gesamtkapazität einer Reihenschaltung	____	E) $C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A/d$

Lösungen

Elektrisches Feld und Kondensator (Lernhilfe-Fassung) · Physik · Klasse 13

Für dich als Lehrkraft: leichtere Fassung in einer Minute

QR scannen oder lehreule.de/anpassen/elektrisches-feld-und-kondensator-klasse-13 öffnen: kostenloses Konto, dann schreibt Lehreule die leichtere Fassung mit Hilfen — oder Zusatzaufgaben für Schnelle, eine Word-Datei, einen QR-Code für die Klasse.

Aufgabe 1: Ein elektrisches Feld ist der Raum um eine Ladung, in dem auf eine andere Ladung (Probeladung) eine Kraft wirkt. Die Feldstärke gibt an, wie groß die Kraft F pro Ladung q ist: $E = F/q$. Sie hat auch eine Richtung: die Richtung der Kraft auf eine positive Probeladung.

Aufgabe 2: (1) Feldlinien beginnen an positiven Ladungen und enden an negativen Ladungen. Sie schneiden sich nie. (2) Die Richtung der Linie zeigt an jedem Punkt die Richtung der Kraft auf eine positive Probeladung. (3) Liegen die Linien dicht beieinander, ist das Feld dort stark (große Feldstärke). Liegen sie weit auseinander, ist das Feld schwach.

Aufgabe 3: Das Feld beschreibt die Kraftwirkung zwischen Ladungen. Eine einzelne Ladung 'hat' die Kraft nicht für sich allein. Erst wenn eine zweite Ladung im Feld ist, spürt sie eine Kraft. Das Feld ist also eine Denkhilfe (ein Modell), mit der man diese Kraftwirkung beschreibt. Im Modell ist das Feld auch ohne Probeladung vorhanden.

Aufgabe 4: $E = U/d = 400\ \text{V} / 0{,}0020\ \text{m} = 2{,}0 \cdot 10^5\ \text{V/m}$ (= $2{,}0 \cdot 10^5\ \text{N/C}$).

Aufgabe 5: (a) In der Formel $E = U/d$ stehen nur die Spannung und der Abstand. Die Plattenfläche kommt nicht vor, also hängt E nicht von ihr ab. (b) Bei größeren Platten sitzt insgesamt mehr Ladung auf den Platten, aber sie verteilt sich auf eine größere Fläche. Die Ladung pro Fläche bleibt gleich, deshalb bleibt auch die Dichte der Feldlinien gleich. Die Feldliniendichte zeigt die Feldstärke an, also bleibt E unverändert.

Aufgabe 6: $F = e \cdot E = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 2{,}0 \cdot 10^5\ \text{N/C} = 3{,}2 \cdot 10^{-14}\ \text{N}$.

Aufgabe 7: Das Feld zeigt von der positiven (oberen) zur negativen (unteren) Platte, also nach unten. Das Elektron ist negativ geladen, daher zeigt die Kraft entgegengesetzt, also nach oben. Das Elektron wird zur positiven Platte beschleunigt.

Aufgabe 8: $C = \varepsilon_0 \cdot A/d = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \text{F/m} \cdot 0{,}010\ \text{m}^2 / 0{,}0020\ \text{m} = 4{,}425 \cdot 10^{-11}\ \text{F} \approx 44\ \text{pF}$.

Aufgabe 9: $Q = C \cdot U = 4{,}425 \cdot 10^{-11}\ \text{F} \cdot 400\ \text{V} = 1{,}77 \cdot 10^{-8}\ \text{C} \approx 17{,}7\ \text{nC}$.

Aufgabe 10: (a) Der Kondensator ist isoliert, daher kann keine Ladung abfließen oder zufließen. Die Ladung Q bleibt konstant (Ladungserhaltung). (b) In $C = \varepsilon_0 \cdot A/d$ steht d im Nenner. Wird d größer, wird C kleiner. (c) Aus $U = Q/C$ folgt: Q bleibt gleich und C wird kleiner, also wird U größer. Man muss beim Auseinanderziehen Arbeit gegen die Anziehung der Platten leisten. Diese Energie steckt dann im Feld, deshalb steigt die Spannung.

Aufgabe 11: Schritt 1: Die Spannung steigt beim Aufladen von 0 auf U. Die mittlere Spannung ist $\frac{1}{2} \cdot U$. Schritt 2: Arbeit = Spannung · Ladung, also $W = \frac{1}{2} \cdot U \cdot Q$. Schritt 3: Mit $Q = C \cdot U$ folgt $W = \frac{1}{2} \cdot U \cdot (C \cdot U) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$. (Genauer: Bei der Ladung q ist die Spannung $u = q/C$. Die Arbeit für ein kleines Stück dq ist $u \cdot dq$. Die Summe über alle Stücke von 0 bis Q ergibt $Q^2/(2C) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$.)

Aufgabe 12: $U^2 = (400\ V)^2 = 1{,}6 \cdot 10^5\ V^2$. $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 4{,}425 \cdot 10^{-11}\ F \cdot 1{,}6 \cdot 10^5\ V^2 = 3{,}54 \cdot 10^{-6}\ J \approx 3{,}5\ \mu J$.

Aufgabe 13: (a) $34 \cdot 10^6\ J / 3{,}54 \cdot 10^{-6}\ J \approx 9{,}6 \cdot 10^{12}$. Ein Liter Benzin enthält etwa zehn Billionen Mal so viel Energie wie dieser Kondensator. (b) Nachteil: Ein Kondensator speichert sehr wenig Energie, deshalb ist er kein guter Speicher für große Energiemengen über lange Zeit. Vorteil: Er kann Energie sehr schnell aufnehmen und abgeben (hohe Leistung) und kann sehr oft geladen werden. Darum nutzt man ihn z. B. im Blitzgerät oder zum Glätten von Spannungen.

Aufgabe 14: $C' = \varepsilon_r \cdot C = 100 \cdot 4{,}425 \cdot 10^{-11}\ F = 4{,}425 \cdot 10^{-9}\ F \approx 4{,}43\ nF$.

Aufgabe 15: $Q' = C' \cdot U = 4{,}425 \cdot 10^{-9}\ F \cdot 400\ V = 1{,}77 \cdot 10^{-6}\ C \approx 1{,}77\ \mu C$. Das ist 100-mal so viel wie vorher. Die zusätzliche Ladung kommt von der Spannungsquelle. Das Dielektrikum schwächt das Feld ein wenig. Die Quelle hält die Spannung aber bei 400 V. Sie bringt deshalb so viel Ladung nach, bis die Spannung wieder 400 V beträgt.

Aufgabe 16: Zwei Kondensatorsymbole (je zwei parallele Striche) liegen hintereinander in einer Leitung zwischen den beiden Anschlusspunkten der Quelle. Es gibt keine Abzweigung dazwischen.

Aufgabe 17: 1/C_ges = 1/4,0 µF + 1/6,0 µF = 3/12 + 2/12 = 5/12 (1/µF). Also C_ges = 12/5 µF = 2,4 µF = $2{,}4 \cdot 10^{-6}$ F.

Aufgabe 18: In der Reihenschaltung haben beide Kondensatoren dieselbe Ladung Q. Die Gesamtspannung ist die Summe $U = U_1 + U_2$, also größer als die Spannung an einem einzelnen Kondensator. Bei gleicher Ladung ist die Gesamtspannung größer, deshalb ist C_ges = Q/U kleiner als C_1 und C_2. Anschaulich ist es so, als würde der Plattenabstand größer.

Aufgabe 19: Im homogenen Feld eines Plattenkondensators ist die Feldstärke zwischen den Platten überall gleich groß. → **richtig**
Ein Kondensator 'verbraucht' beim Aufladen Strom, der dabei verloren geht. → **falsch**
Bei gleich bleibender Ladung sinkt die Spannung am Kondensator, wenn man ein Dielektrikum einbringt. → **richtig**
Die elektrische Feldstärke ist als Kraft pro Ladung definiert: E = F/q. → **richtig**
Bei einer Parallelschaltung von Kondensatoren addieren sich die Kehrwerte der Einzelkapazitäten. → **falsch**

Aufgabe 20: 1 → B, 2 → E, 3 → C, 4 → A, 5 → D