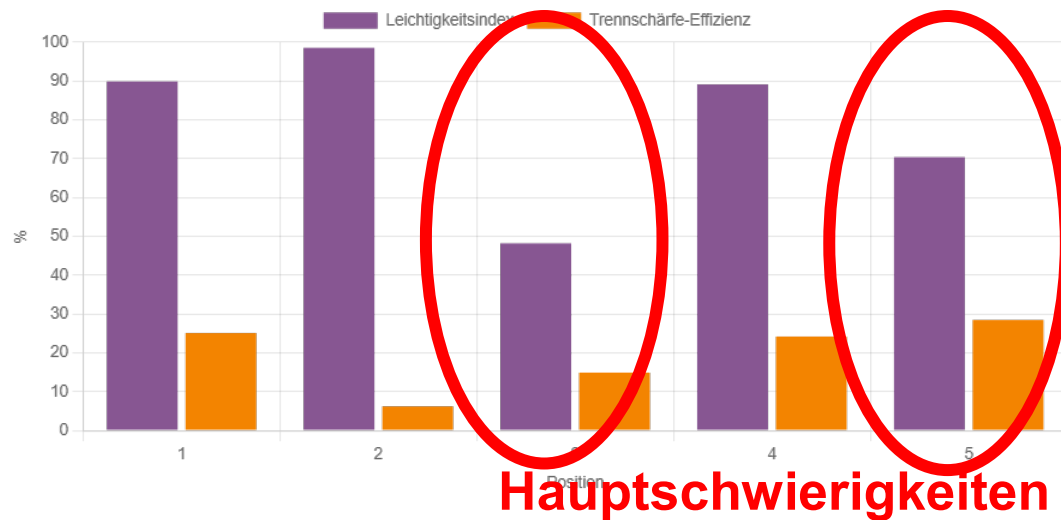


Status Aufgaben für Bonuspunkte

Lesekontrollfragen Woche 1: 277 Eingaben

Erste Versuche



Hauptschwierigkeiten:

- Def. elektrische Feldstärke
- Kraft zwischen zwei Ladungen

Status Aufgaben für Bonuspunkte

Merke

Während sich die als *elektrische Feldstärke* bezeichnete vektorielle Raumzustandsgröße auf einen speziellen Raumpunkt bezieht, kennzeichnet man mit dem Begriff *elektrisches Feld* die Gesamtheit der Feldvektoren in allen Raumpunkten.

$$\vec{F}_2 = \vec{e}_r \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

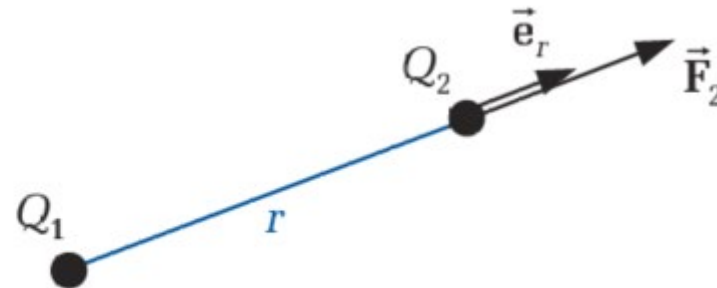
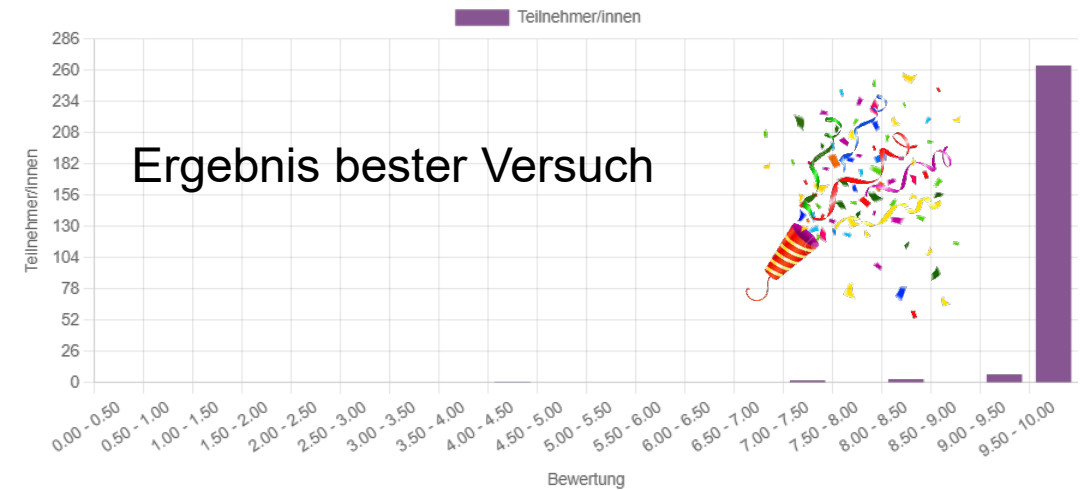
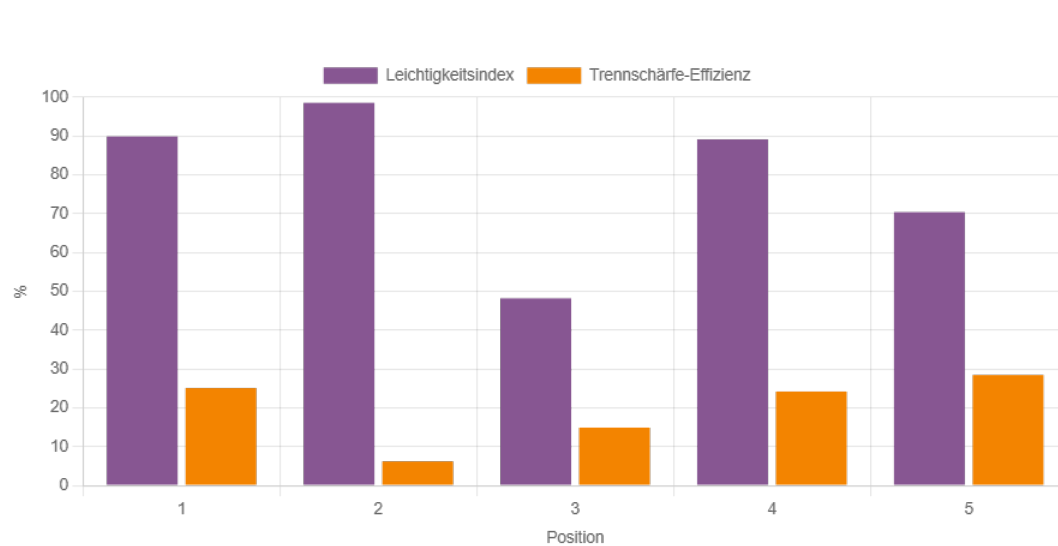


Abbildung 1.2: Zwei Punktladungen gleichen Vorzeichens

Status Aufgaben für Bonuspunkte

Lesekontrollfragen Woche 1: 277 Eingaben

Erste Versuche



Brückenkurs und Lerntests (Stand 22.09. 08:00)

ETH Zürich Brückenkurs Mathematik 2025

Selbsteinschätzungstest

227-0001-00L 2025 [228000]

[Elektrotech. + Inf.tech. BSc]

Beteiligung	$\frac{181}{243}$	74%
Erreichbare Punktzahl	32	
Maximal erreichte Punktzahl	32	
Minimal erreichte Punktzahl	2	
Arithmetisches Mittel	20.82	



Lerntestaufgaben

Integralrechnung (A)

227-0001-00L 2025 [228000]

[Elektrotech. + Inf.tech. BSc]

Beteiligung	$\frac{22}{243}$	9%
Erreichbare Punktzahl	7	
Maximal erreichte Punktzahl	7	
Minimal erreichte Punktzahl	1	
Arithmetisches Mittel	4.36	

??

Lerntestaufgaben

Vektorgeometrie (A)

227-0001-00L 2025 [228000]

[Elektrotech. + Inf.tech. BSc]

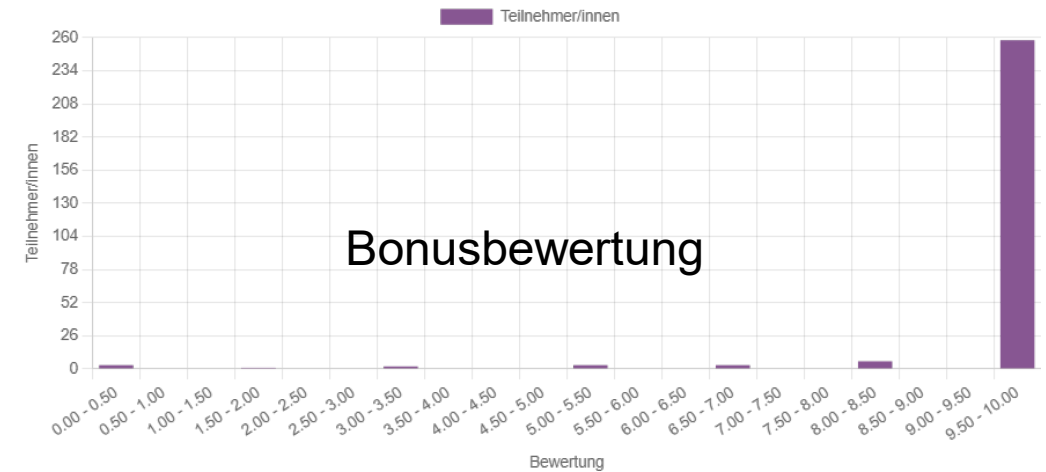
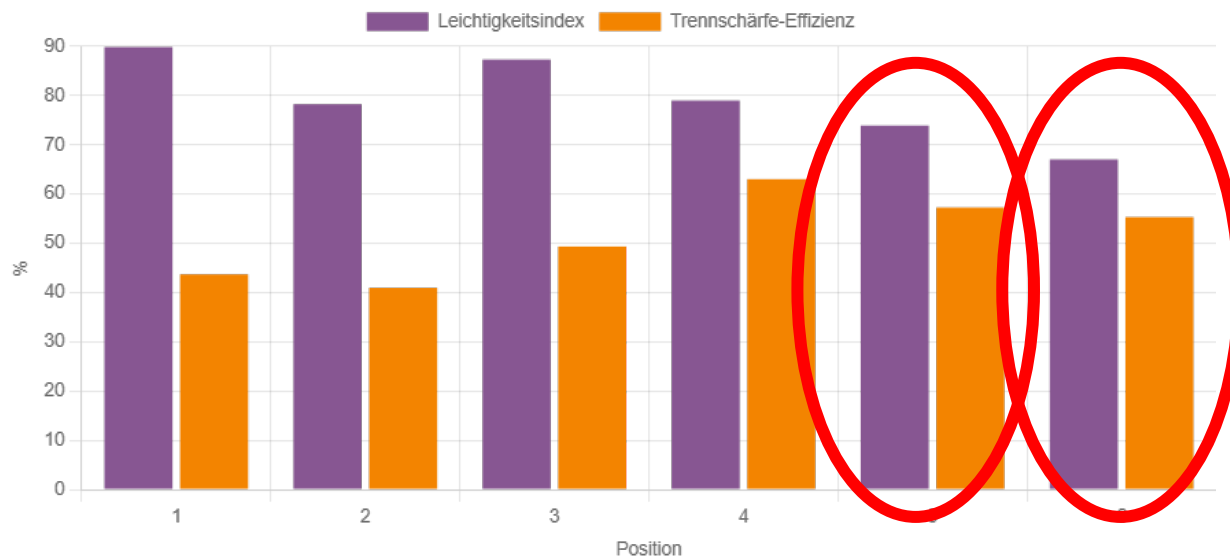
??

Beteiligung	$\frac{18}{243}$	7%
Erreichbare Punktzahl	8	
Maximal erreichte Punktzahl	8	
Minimal erreichte Punktzahl	4	
Arithmetisches Mittel	6.17	

Status Aufgaben für Bonuspunkte

Bonusaufgaben Woche 1: 276 Eingaben

Erste Versuche



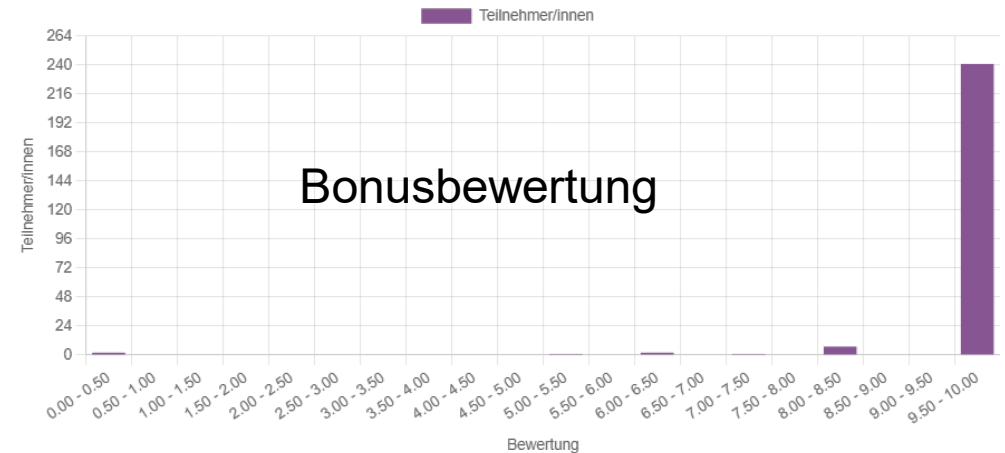
Hauptschwierigkeiten:

- Kugelkoordinaten
- Hüllflächenintegrale

Status Aufgaben für Bonuspunkte

Lesekontrollfragen Woche 2: 254 Eingaben

Erste Versuche



Hauptschwierigkeiten:

- Potentialdifferenz
- Tangentiale Feldstärke



Das elektrostatische Feld (2/3)

Manfred Albach, «Elektrotechnik», Kapitel 1

227-0001-00L «Netzwerke und Schaltungen 1»

Woche 2



- Konzept des «Feldes»
- Darstellung von Feldern: «Feldlinien» und «Äquipotentialflächen»
- Potential und Spannung
- Elektrische Flussdichte
- Influenz

Lernziele - Das elektrostatische Feld (2/3)

Nach dieser Woche (Lesen im Buch, Vorlesungsstunde, Übungsstunde sowie dem eigenständigen Lösen von Übungsaufgaben) werden Sie in der Lage sein:

- das elektrostatische Feld für einfache Ladungsanordnungen zu berechnen,
- die zum elektrostatischen Feld gehörigen Äquipotentialflächen und Feldlinien darzustellen,
- die elektrische Spannung aus den Feldgrößen zu bestimmen,



Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen durch

Teilchenmodell
(Moleküle, Atome)
[Elektronen, Protonen, Neutronen]

Feldmodell
(elektrisches & magnetisches)

Globalgrössen
(Strom, Spannung)



Wechselwirkung

- Ladungen erzeugen Felder
- Felder üben Kraftwirkung auf Ladungen aus

- Linien-
- Flächenintegrale

Kennzeichnende Grösse:

- Ladung (ruhend & bewegt)
- Darstellung: Punktladung, Ladungsmenge

Kennzeichnende Grössen:

- Feldgrössen (Ursache, Wirkung)
- Materialabhängige Verknüpfung
- Darstellung: Feld-, Äquipotentiallinie
- Feldarten:
 - Elektrisches (ruhende Ladung, Quellenfeld)
 - Magnetisches (bewegte Ladung, Wirbelfeld)
 - Verknüpfung beider

Kennzeichnende Grössen:

- Fluss-, Differenzgrössen
- Verknüpfung über Schaltelement
- Arten und Eigenschaften:
 - elektrische und magnetische Kreise
 - Kirchhoff'sche Sätze

[Paul, Grundlagen der Elektrotechnik 1]

Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen durch

Teilchenmodell

(Moleküle, Atome)

[Elektronen, Protonen, Neutronen]

Feldmodell

(elektrisches & magnetisches)

Globalgrößen

(Strom, Spannung)

Wechselwirkung

- Ladungen erzeugen Felder
- Felder üben Kraftwirkung auf Ladungen aus

- Linien-
- Flächenintegrale

Kennzeichnende Grösse:

- Ladung (ruhend & bewegt)

Darstellung: Punktladung, Ladungsmenge

Kennzeichnende Grössen:

- Feldgrößen (Ursache, Wirkung)
- Materialabhängige Verknüpfung
- Darstellung: Feld-, Äquipotentiallinie
- Feldarten:

- Elektrisches (ruhende Ladung, Quellenfeld)
- Magnetisches (bewegte Ladung, Wirbelfeld)
- Verknüpfung beider

Feldanalyse*Kennzeichnende Grössen:*

- Fluss-, Differenzgrößen
- Verknüpfung über Schaltelement
- Arten und Eigenschaften:
 - elektrische und magnetische Kreise
 - Kirchhoff'sche Sätze

Netzwerkanalyse

[Paul, Grundlagen der Elektrotechnik 1]

Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen durch

Teilchenmodell

(Moleküle, Atome)

[Elektronen, Protonen, Neutronen]

Feldmodell

(elektrisches & magnetisches)

Globalgrößen

(Strom, Spannung)

Wechselwirkung

- Ladungen erzeugen Felder
- Felder üben Kraftwirkung auf Ladungen aus

- Linien-
- Flächenintegrale

Kennzeichnende Grösse:

- Ladung (ruhend & bewegt)

Darstellung: Punktladung, Ladungsmenge

Kennzeichnende Grössen:

- Feldgrößen (Ursache, Wirkung)
- Materialabhängige Verknüpfung
- **Darstellung: Feldlinie**, Äquipotentiallinie
- Feldarten:

- Elektrisches (ruhende Ladung, Quellenfeld)
- Magnetisches (bewegte Ladung, Wirbelfeld)
- Verknüpfung beider

Feldanalyse

Kennzeichnende Grössen:

- Fluss-, Differenzgrößen
- Verknüpfung über Schaltelement
- Arten und Eigenschaften:
 - elektrische und magnetische Kreise
 - Kirchhoff'sche Sätze

Netzwerkanalyse

[Paul, Grundlagen der Elektrotechnik 1]

Darstellung von Feldern

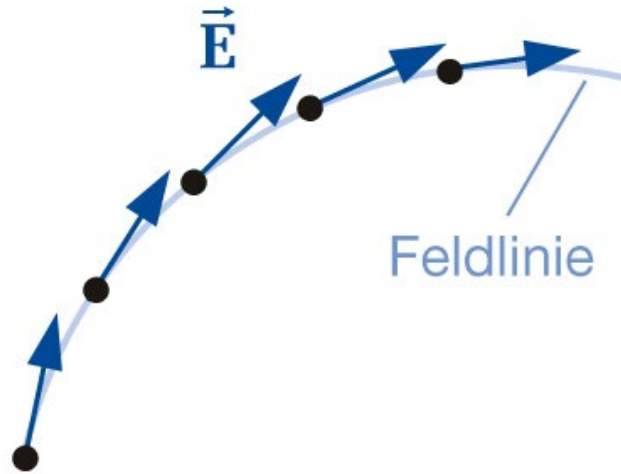


Abbildung 1.7: Konstruktion der Feldlinie



Darstellung von Feldern

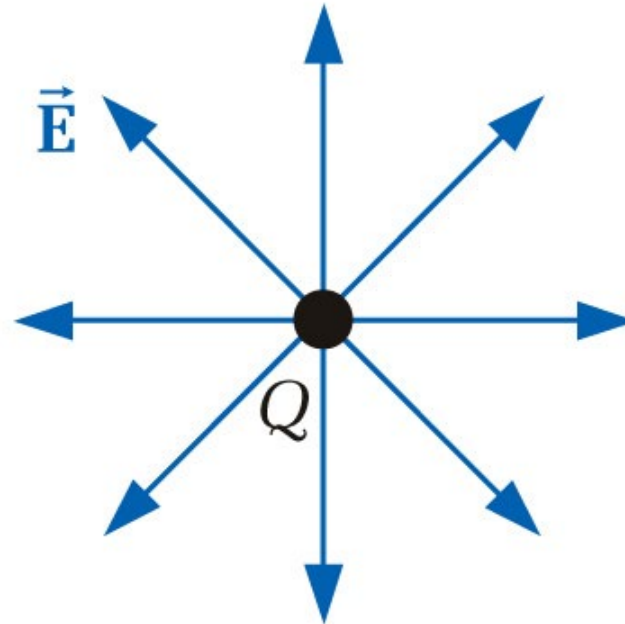
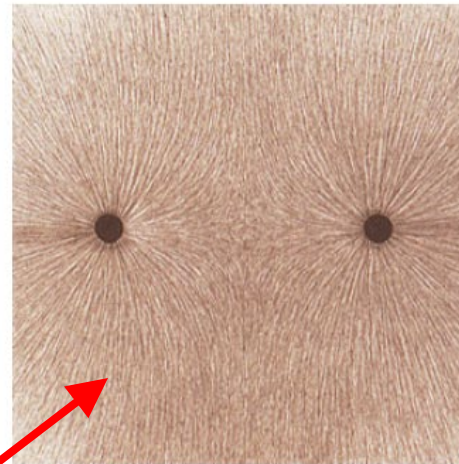
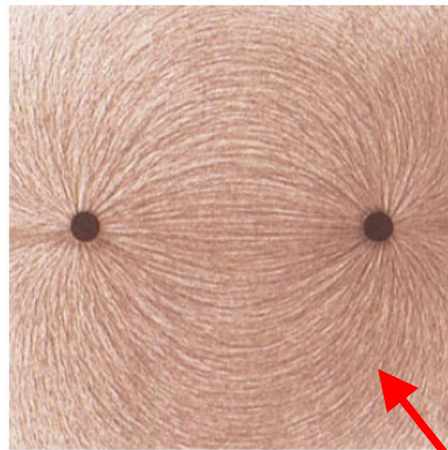
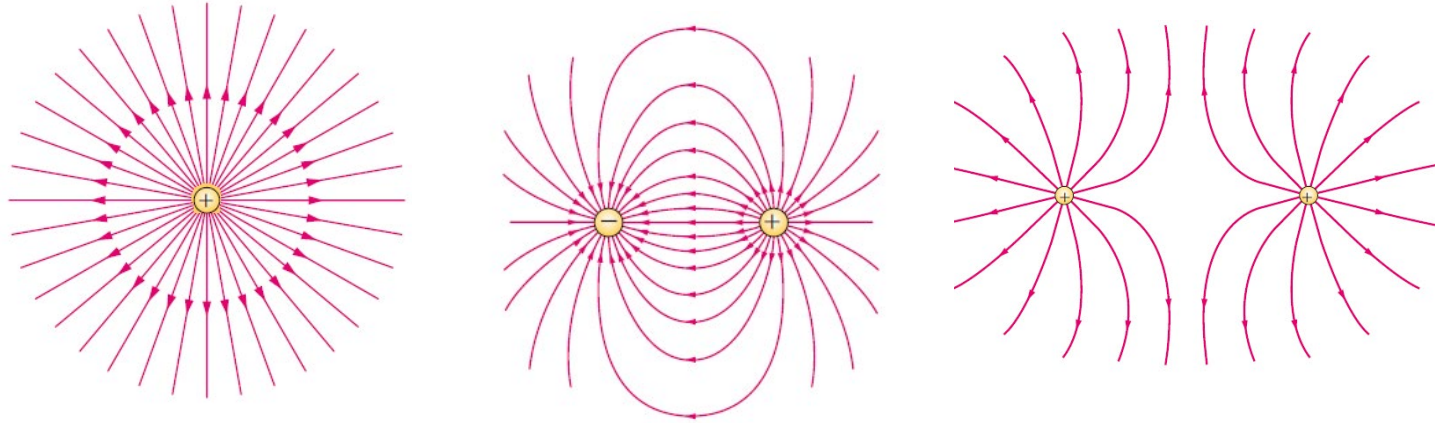
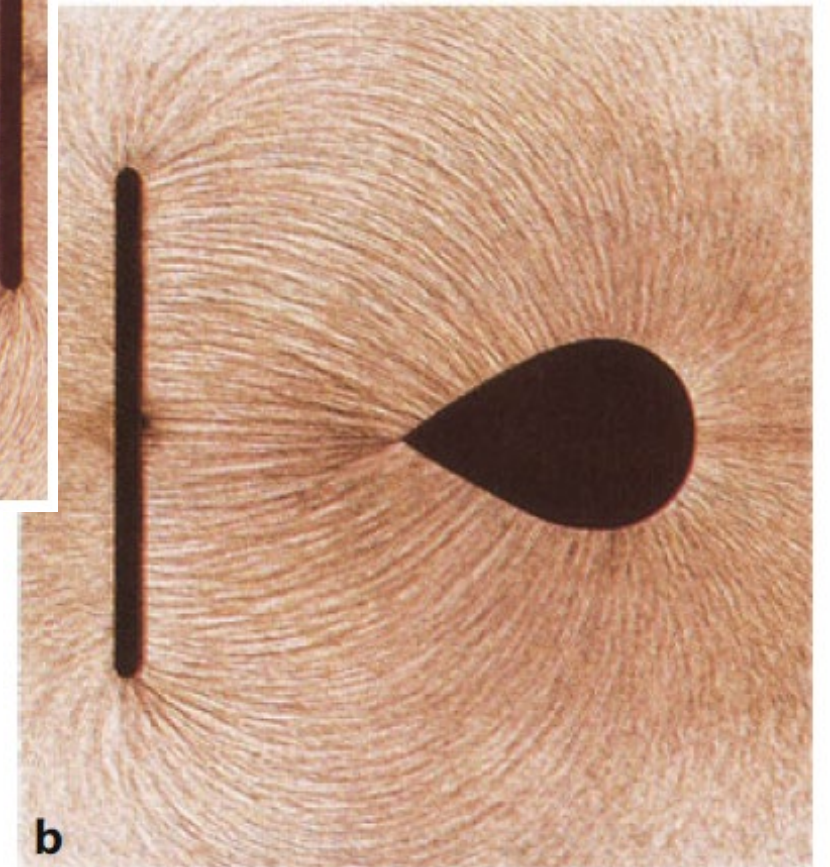
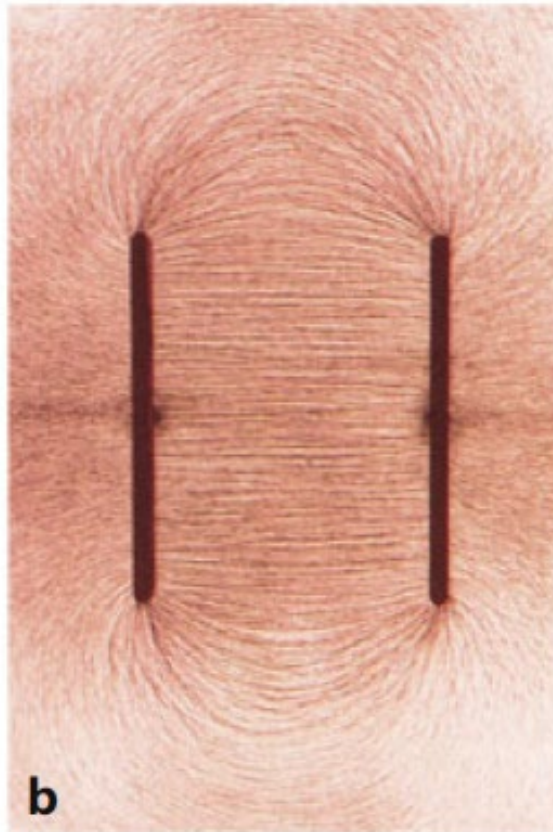
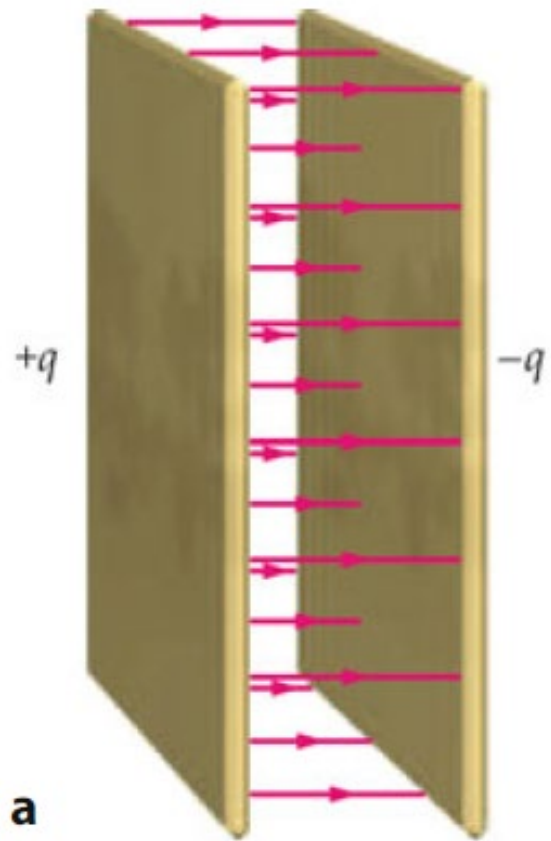


Abbildung 1.8: Feldlinienbild einer positiven Punktladung

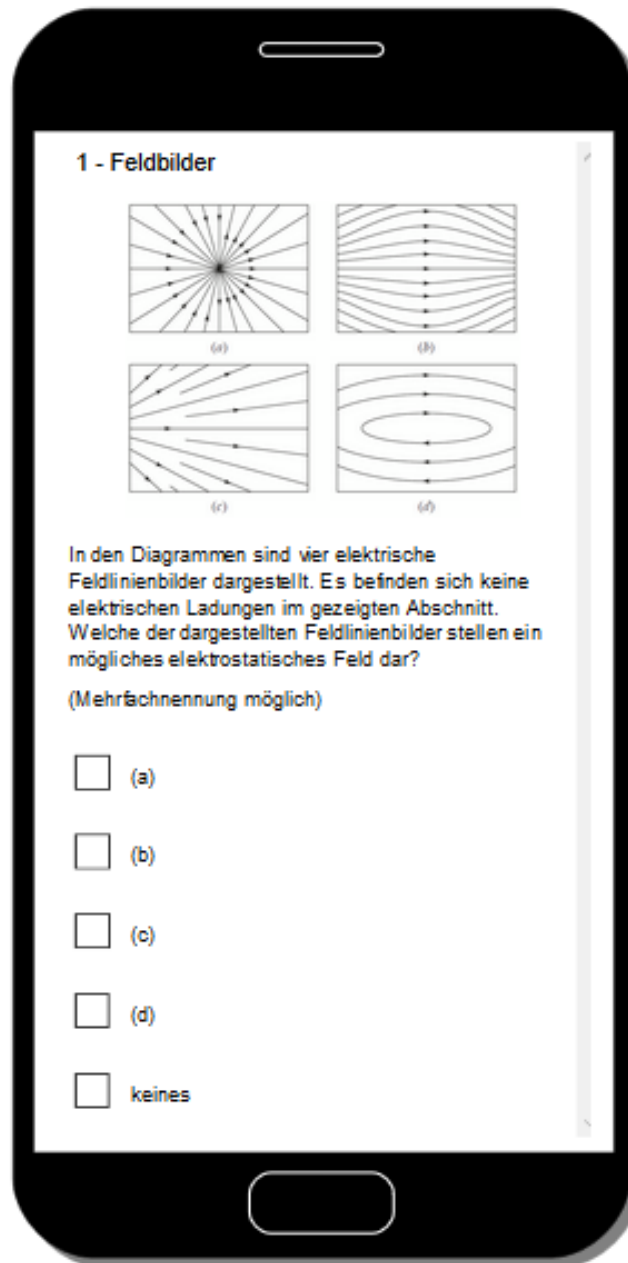
«Sichtbar machen» von elektrische Feldlinien



Das Experiment auf dem
YouTube-Kanal der ETH D-PHYS
Vorlesungsexperimente.
([link](#))



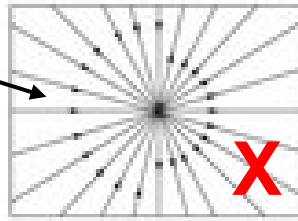
[Tipler, Physik]



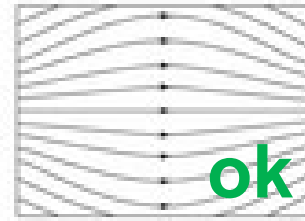
Ladungen können
nicht gleichzeitig
Quellen und Senken
elektrischer Feldlinien
sein

im dargestellten Ausschnitt gibt
es keine Ladungen und deshalb
auch keine Quellen für Feldlinien

1 - Feldbilder



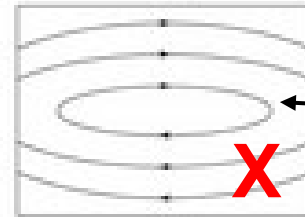
(a)



(b)



(c)

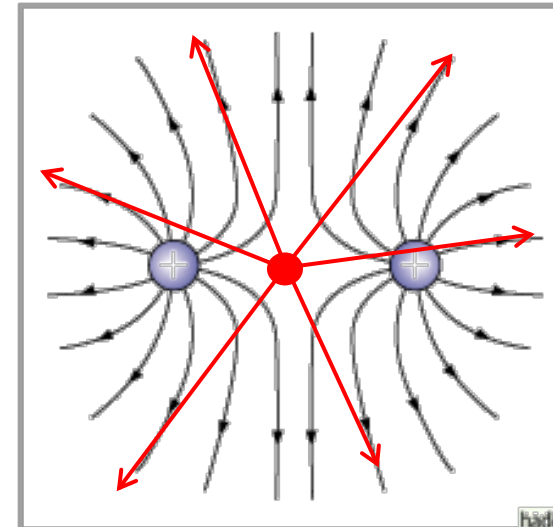
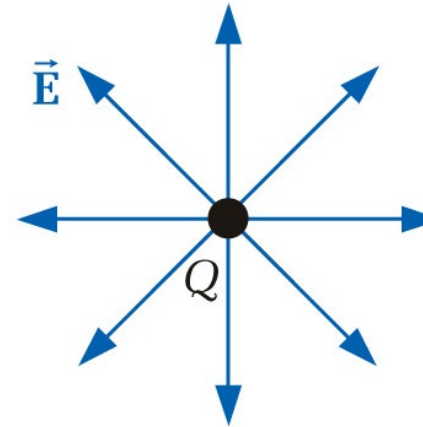


(d)

elektrische Feldlinien können
nicht geschlossen sein
(nur Elektrostatik!)

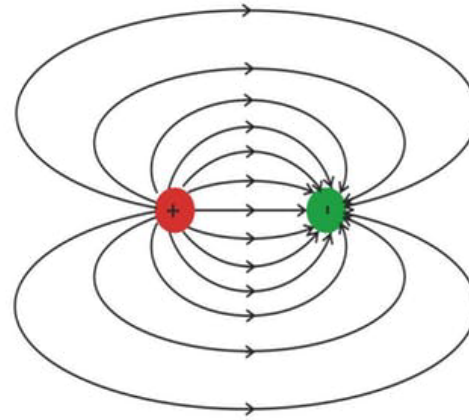
qualitative Darstellung von Feldbildern

- 1) Das Feld in unmittelbarer Nähe einer Punktladung ist radialsymmetrisch.
- 2) Im grossen Abstand verhält sich Feld wie Punktladung mit Gesamtladung im Ladungsschwerpunkt.

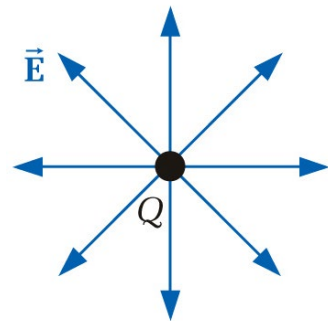


qualitative Darstellung von Feldbildern

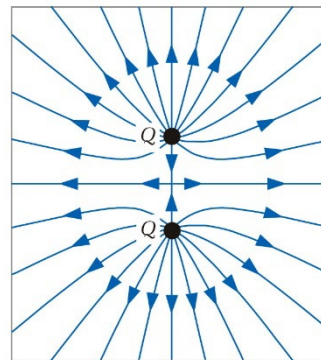
- 3) Bei verschwindender Gesamtladung gehen keine Feldlinien zur unendlichen Hülle.
Nur zwischen den Punktladungen.



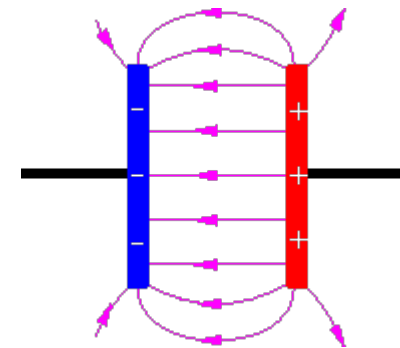
- 4) Symmetrien!



kugelsymmetrisch



a) zylindersymmetrisch
b) spiegelsymmetrisch



homogen

Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen durch

Teilchenmodell

(Moleküle, Atome)

[Elektronen, Protonen, Neutronen]

Feldmodell

(elektrisches & magnetisches)

Globalgrößen

(Strom, Spannung)

Wechselwirkung

- Ladungen erzeugen Felder
- Felder üben Kraftwirkung auf Ladungen aus

- Linien-
- Flächenintegrale

Kennzeichnende Grösse:

- Ladung (ruhend & bewegt)

Darstellung: Punktladung, Ladungsmenge

Kennzeichnende Grössen:

- **Skalare Feldgrösse (elektrostatistisches Potential)**
- Materialabhängige Verknüpfung
- Darstellung: Feld-, **Äquipotentiallinie**
- Feldarten:
 - elektrisches (ruhende Ladung, Quellenfeld)
 - Magnetisches (bewegte Ladung, Wirbelfeld)
 - Verknüpfung beider

Feldanalyse

Kennzeichnende Grössen:

- Fluss-, Differenzgrößen
- Verknüpfung über Schaltelement
- Arten und Eigenschaften:
 - elektrische und magnetische Kreise
 - Kirchhoff'sche Sätze

Netzwerkanalyse

[Paul, Grundlagen der Elektrotechnik 1]

Das elektrostatische Potential

Arbeit = Kraft · Weg

$$W_e = - \int_{P_0}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{s} = -Q \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

! Linienintegral !

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{s} = 0$$

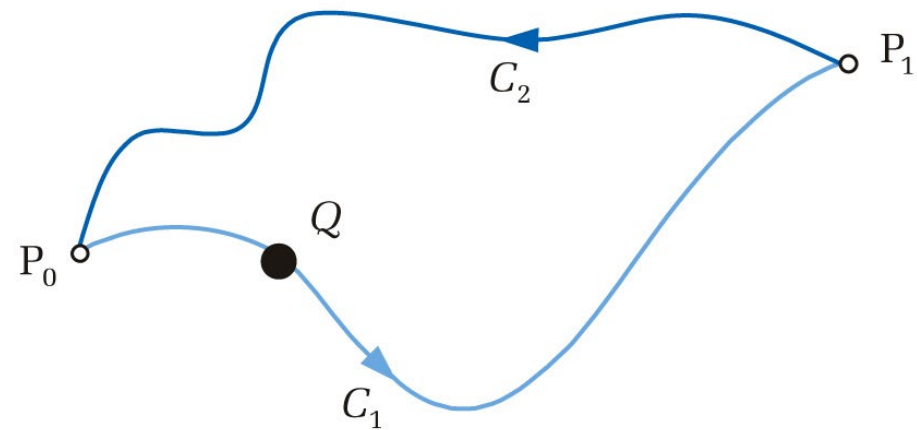
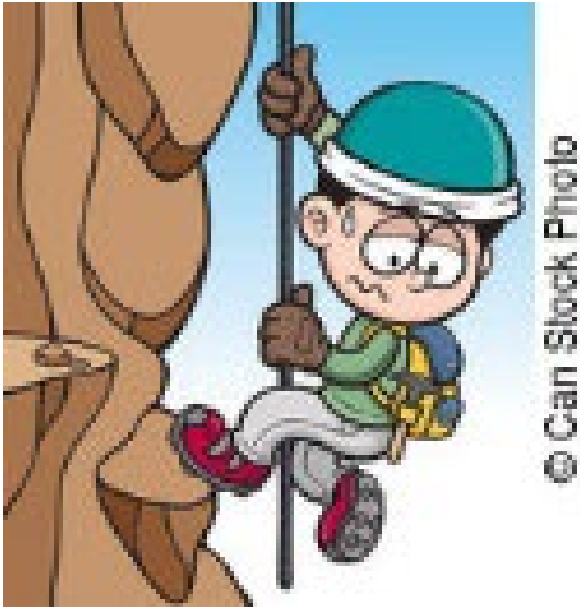
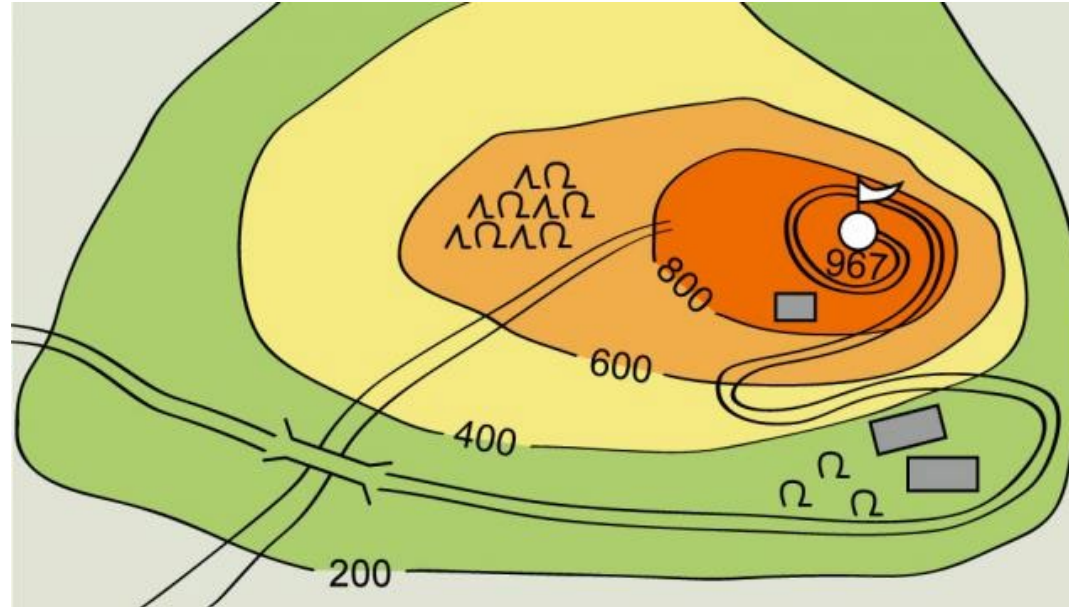


Abbildung 1.11: Bewegung einer Punktladung entlang eines geschlossenen Weges

Gravitationsfeld und potentielle Energie



Bergsteigen = Arbeit verrichten



Aufsteigen = Erhöhung der potentiellen Energie

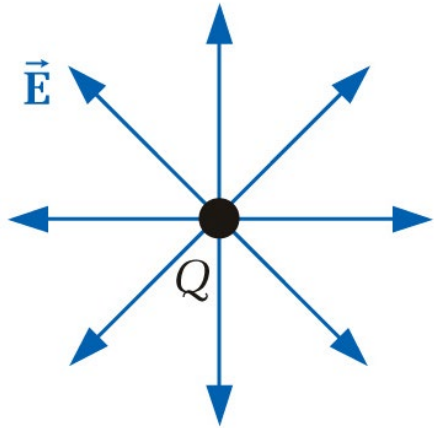
Das elektrostatische Potential

	Gravitationsfeld	Elektrisches Feld
Definition	Körper (Masse) erfährt Gravitationskraft	Ladung erfährt elektrische Kraft
Ursache	Masse von Körpern	Elektrische Ladungen
Betrag der «Feldstärke»	$g = \vec{F}_G /m$	$E = \vec{F}_E /q$
Richtung	Richtung der Kraft auf Probekörper (-masse)	Richtung der Kraft auf positive Probeladung

Das elektrostatische Potential

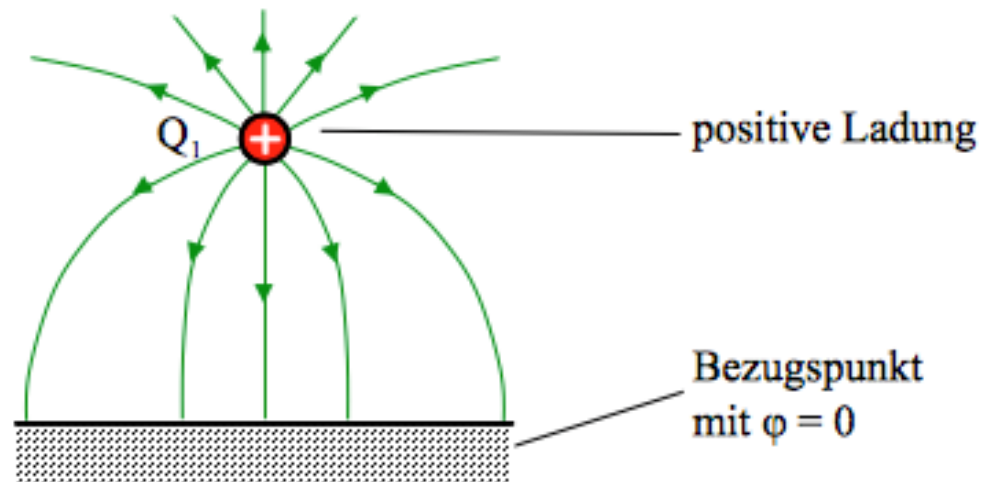
	Gravitationsfeld	Elektrisches Feld
Definition	Körper (Masse) erfährt Gravitationskraft	Ladung erfährt elektrische Kraft
Ursache	Masse von Körpern	Elektrische Ladungen
Betrag der «Feldstärke»	$g = \vec{F}_G /m$	$E = \vec{F}_E /q$
Richtung	Richtung der Kraft auf Probekörper (-masse)	Richtung der Kraft auf positive Probeladung
Potentiale	$\varphi = W/m = g \cdot h$	$\varphi = W/q = E \cdot s$

Das elektrostatische Potential

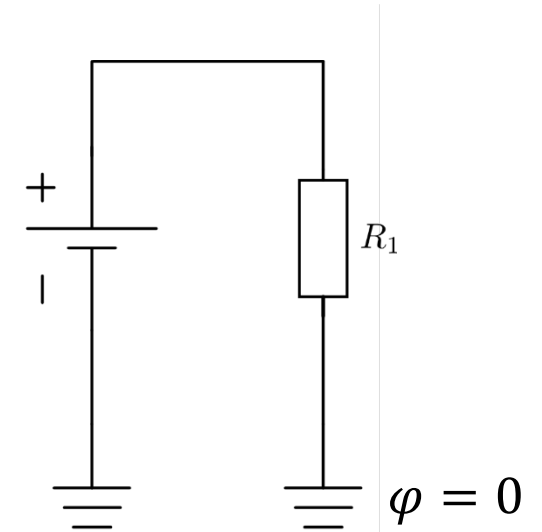


Bezugspunkt $\varphi = 0$
«im Unendlichen»

Ladung über «Erdplatte»
oder
Freileitung über Boden



[<http://elektronik-kurs.net>]



Elektrische Schaltung



Netzstecker

2 - Elektrostatishes Potential

Ein Elektron wird in einem elektrischen Feld verschoben und auf ein um 1V höheres elektrostatishes Potential gebracht. Anschließend werden im gleichen elektrischen Feld zwei Elektronen um die gleiche Wegstrecke verschoben. Um wieviel höher ist das elektrostatishes Potential der beiden Elektronen dann?

- ☐ 0.25 V
- ☐ 0.5 V
- ☐ 1.0 V
- ☐ 2.0 V
- ☐ 4.0 V



2 - Elektrostatistisches Potential

Ein Elektron wird in einem elektrischen Feld verschoben und auf ein um 1V höheres elektrostatisches Potential gebracht. Anschließend werden im gleichen elektrischen Feld zwei Elektronen um die gleiche Wegstrecke verschoben. Um wieviel höher ist das elektrostatische Potential der beiden Elektronen dann?

☐ 0.25 V☐ 0.5 V☒ 1.0 V☐ 2.0 V☐ 4.0 V

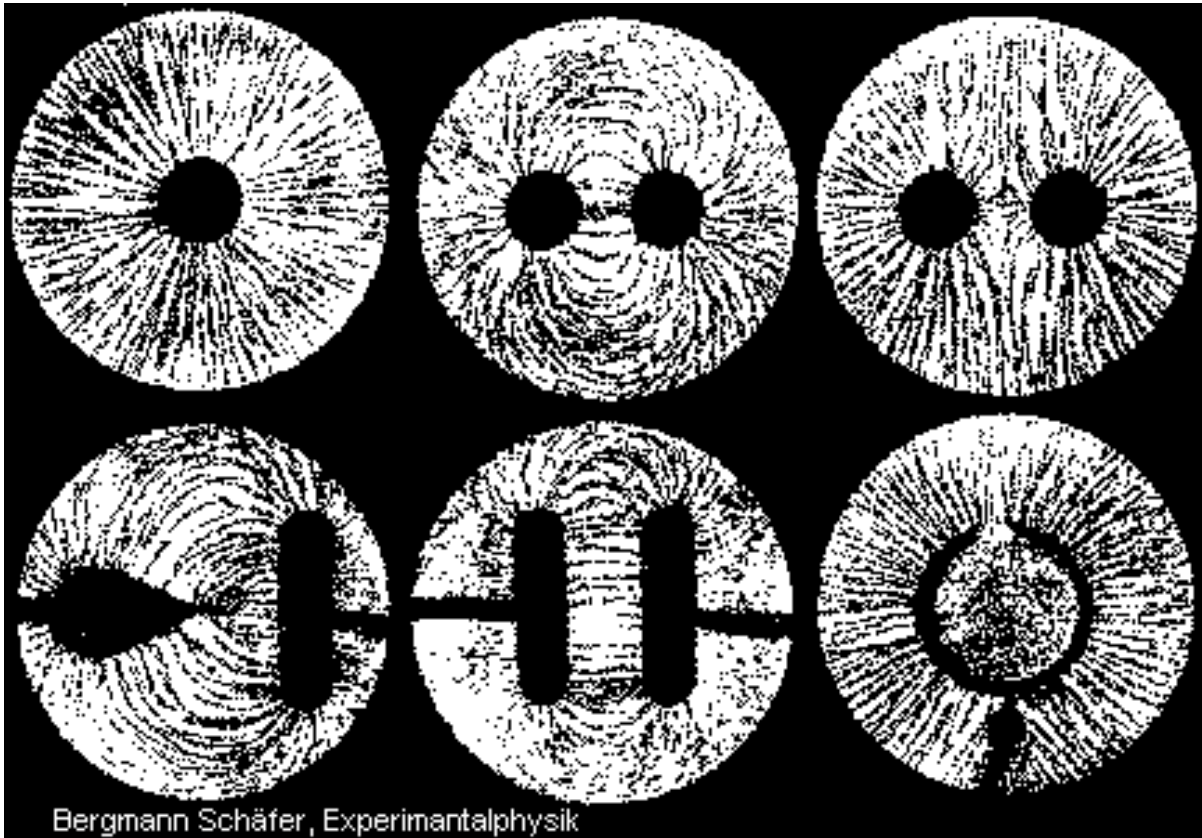
$$\varphi_e(P_1) = \frac{W_e(P_1)}{Q} \stackrel{(1.23)}{=} - \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} \quad (1.25)$$

berechnen.

Merke

Das elektrostatische Potential $\varphi_e(P)$ an der Stelle eines Punktes P ist der Quotient aus der Arbeit, die nötig ist, um eine Ladung Q von einem Punkt P_0 mit dem Bezugspotential $\varphi_e(P_0) = 0$ zu dem betrachteten Punkt P zu bringen, und der Ladung.

Feldlinien stehen senkrecht auf Äquipotentiallinien



Sonst müsste man Arbeit verrichten um ein geladenes Teilchen entlang einer Äquipotentiallinie zu verschieben.

$$\varphi_e(P_1) - \varphi_e(P_0) = 0 \stackrel{(1.23)}{=} - \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s}. \quad (1.28)$$

Elektrodenoberflächen sind Äquipotentialflächen

Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen durch

Teilchenmodell

(Moleküle, Atome)

[Elektronen, Protonen, Neutronen]

Feldmodell

(elektrisches & magnetisches)

Globalgrößen

(Strom, **Spannung**)

Wechselwirkung

- Ladungen erzeugen Felder
- Felder üben Kraftwirkung auf Ladungen aus

- Linien-
- Flächenintegrale

Kennzeichnende Grösse:

- Ladung (ruhend & bewegt)

Darstellung: Punktladung, Ladungsmenge

Kennzeichnende Grössen:

- Feldgrößen (Ursache, Wirkung)
- Materialabhängige Verknüpfung
- Darstellung: Feld-, Äquipotentiallinie
- Feldarten:

- elektrisches (ruhende Ladung, Quellenfeld)
- Magnetisches (bewegte Ladung, Wirbelfeld)
- Verknüpfung beider

Feldanalyse

Kennzeichnende Grössen:

- Fluss-, **Differenzgrößen**
- Verknüpfung über Schaltelement
- Arten und Eigenschaften:
 - elektrische und magnetische Kreise
 - Kirchhoff'sche Sätze

Netzwerkanalyse

[Paul, Grundlagen der Elektrotechnik 1]

Die elektrische Spannung

Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten P_1 und P_2
mit willkürlichem Bezugspunkt P_0 mit $\varphi_e(P_0)=0$

$$\varphi_e(P_1) - \varphi_e(P_2) \stackrel{(1.25)}{=} - \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} + \int_{P_0}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_{P_1}^{P_0} \vec{E} \cdot d\vec{s} + \int_{P_0}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Lesekontrollfrage 4

Das Ergebnis ist unabhängig vom Bezugspunkt P_0



Die elektrische Spannung

Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten P_1 und P_2
mit willkürlichem Bezugspunkt P_0 mit $\varphi_e(P_0)=0$



$$\varphi_e(P_1) - \varphi_e(P_2) \stackrel{(1.25)}{=} - \int_{P_0}^{P_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} + \int_{P_0}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_{P_1}^{P_0} \vec{E} \cdot d\vec{s} + \int_{P_0}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

Das Ergebnis ist unabhängig vom Bezugspunkt P_0
und wird als elektrische Spannung U_{12} zwischen P_1 und P_2 bezeichnet

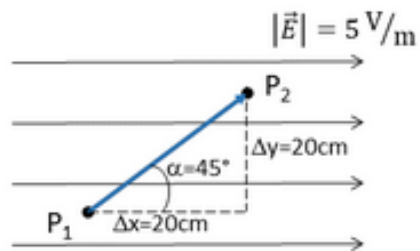
$$U_{12} = \varphi_e(P_1) - \varphi_e(P_2) = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}$$



Kann zum Beispiel auch Spannung
zwischen den Polen einer Batterie sein

3 - Elektrische Spannung

Welche Informationen aus dem Bild brauchen Sie NICHT um das Potential zwischen den beiden Punkten zu berechnen? (Mehrfachnennung möglich).

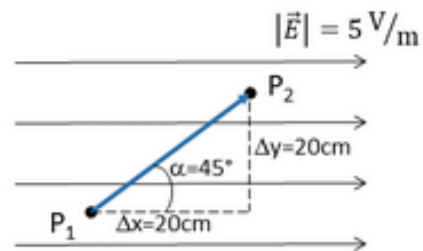


- ☐ Ich brauche alle Informationen.
- ☐ $|\vec{E}|$
- ☐ Richtung von \vec{E}
- ☐ Δx
- ☐ Δy
- ☐ α



3 - Elektrische Spannung

Welche Informationen aus dem Bild brauchen Sie NICHT um das Potential zwischen den beiden Punkten zu berechnen? (Mehrfachnennung möglich).



☐ Ich brauche alle Informationen.

☐ $|\vec{E}|$

☐ Richtung von \vec{E}

☐ Δx

☒ Δy

☒ α

4 - Elektrostatisches Potential

Eine elektrisch leitende Vollkugel trägt eine von Null verschiedene Gesamtladung. Das elektrostatische Potential der Kugel ist ...

- ☐ im Kugelmittelpunkt am größten.
- ☐ an der Kugeloberfläche am größten.
- ☐ an einem Ort zwischen Kugelmittelpunkt und Kugeloberfläche am größten.
- ☐ über das Kugelvolumen konstant.

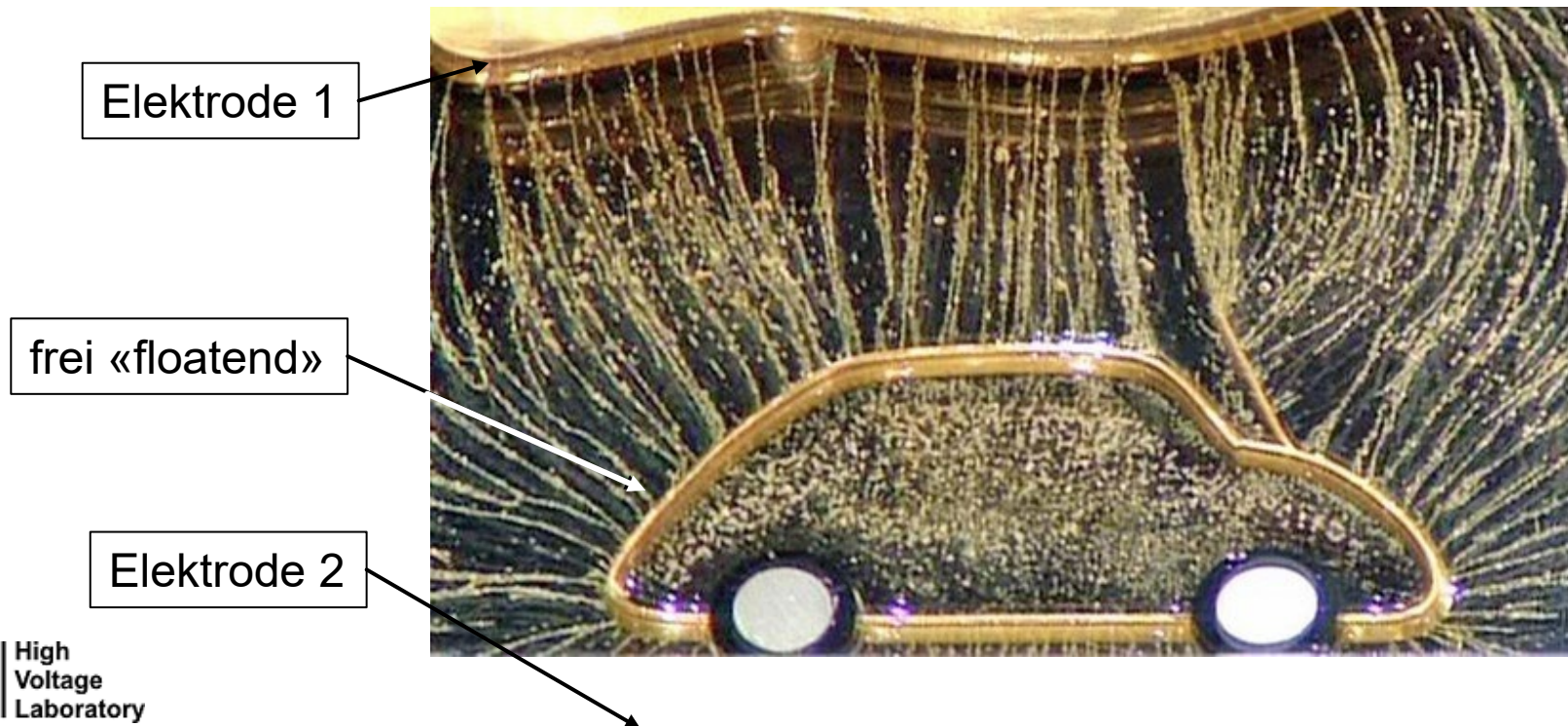


4 - Elektrostatisches Potential

Eine elektrisch leitende Vollkugel trägt eine von Null verschiedene Gesamtladung. Das elektrostatische Potential der Kugel ist ...

- ☐ im Kugelmittelpunkt am größten.
- ☐ an der Kugeloberfläche am größten.
- ☐ an einem Ort zwischen Kugelmittelpunkt und Kugeloberfläche am größten.
- ☒ über das Kugelvolumen konstant.

- Im elektrostatischen Feld besitzt ein leitender Körper ein konstantes Potential.
- Seine Oberfläche wird zur Äquipotentialfläche, auf der die elektrische Feldstärke senkrecht steht.
- Das Leiterinnere ist feldfrei.



Beschreibung elektromagnetischer Erscheinungen durch

Teilchenmodell

(Moleküle, Atome)

[Elektronen, Protonen, Neutronen]

Feldmodell

(elektrisches & magnetisches)

Globalgrößen

(Strom, Spannung)

Wechselwirkung

- **Ladungen erzeugen Felder**
- Felder üben Kraftwirkung auf Ladungen aus

- Linien-
- Flächenintegrale

Kennzeichnende Grösse:

- Ladung (ruhend & bewegt)

Darstellung: Punktladung, Ladungsmenge

Kennzeichnende Grössen:

- Feldgrößen (Ursache, Wirkung)
- Materialabhängige Verknüpfung
- Darstellung: Feld-, Äquipotentiallinie
- Feldarten:

- elektrisches (ruhende Ladung, Quellenfeld)
- Magnetisches (bewegte Ladung, Wirbelfeld)
- Verknüpfung beider

Feldanalyse*Kennzeichnende Grössen:*

- Fluss-, Differenzgrößen
- Verknüpfung über Schaltelement
- Arten und Eigenschaften:
 - elektrische und magnetische Kreise
 - Kirchhoff'sche Sätze

Netzwerkanalyse

[Paul, Grundlagen der Elektrotechnik 1]

Die elektrische Flussdichte

$$\varepsilon_0 \vec{E} = \vec{D}$$



Der elektrische Fluss

$$\Psi = \iint_A \vec{D} \cdot d\vec{A}$$

Bonusaufgabe 4

$$\Psi = \oiint_A \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q \quad . \quad (1.36)$$

Auch genannt:

- Gaußsches Gesetz



Johann Carl Friedrich Gauß
(1777-1855)

[wikipedia.org]

- 1. Maxwellgleichung (von 4)



James Clerk Maxwell
(1831-1879)

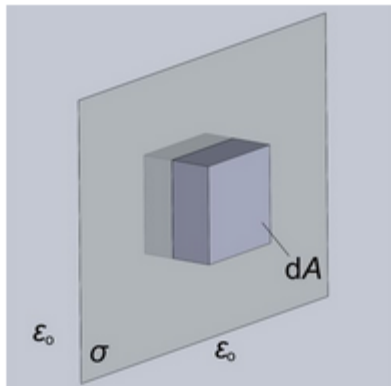
[wikipedia.org]

5 - Verhalten von Feldgrößen bei Flächenladungen

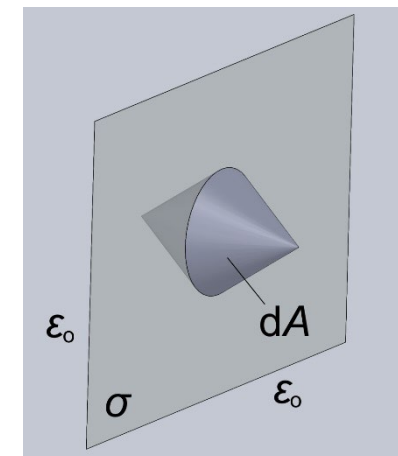
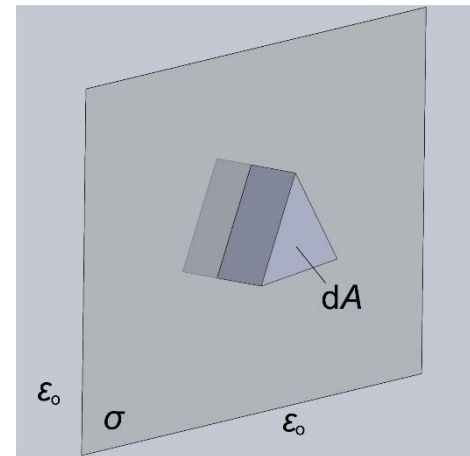
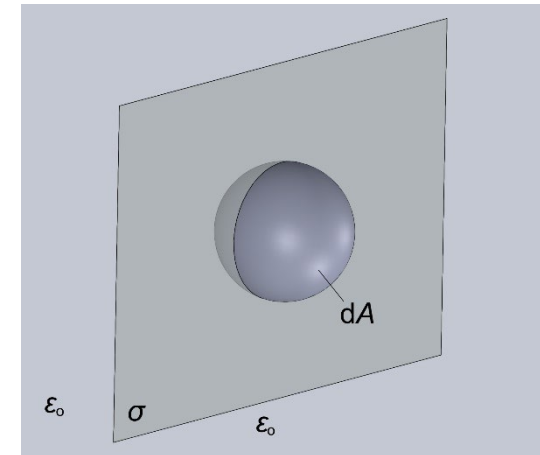
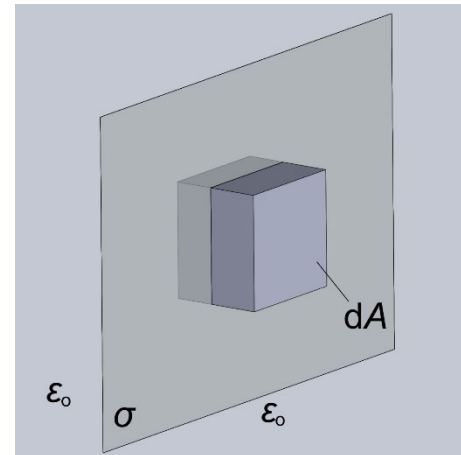
Es soll das Verhalten der **Normal**komponente des elektrischen Feldes beim Durchgang durch eine Flächenladung mit Hilfe des Hüllflächenintegrals untersucht werden. Welche der folgenden Formen kann eine Hüllfläche dabei vorteilhafter Weise haben? (Mehrfachnennung möglich)

☐ Die Form ist eigentlich egal, hauptsache die Hüllfläche ist geschlossen.

☐



☐

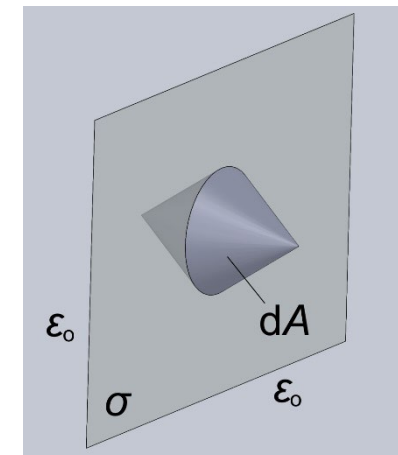
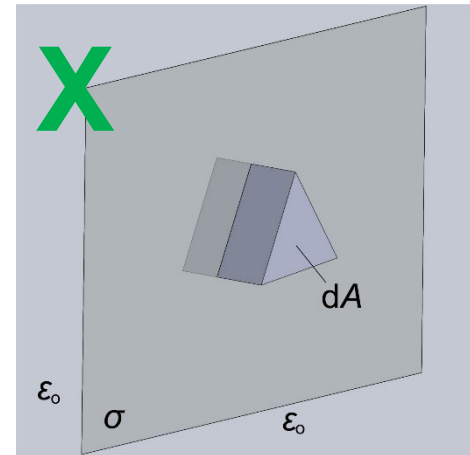
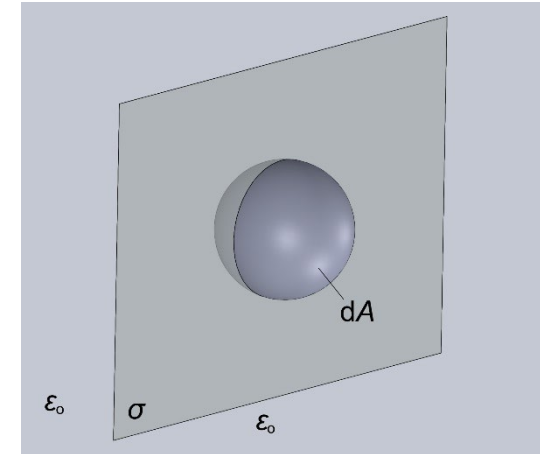
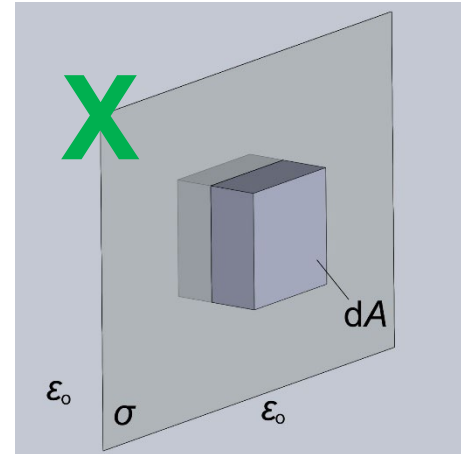
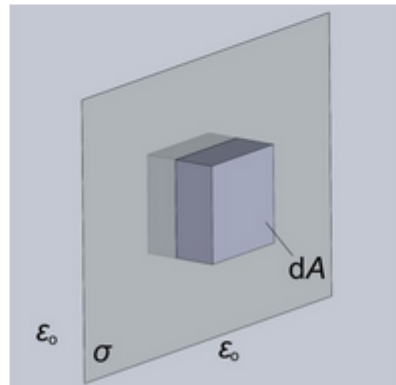


5 - Verhalten von Feldgrößen bei Flächenladungen

Es soll das Verhalten der **Normal**komponente des elektrischen Feldes beim Durchgang durch eine Flächenladung mit Hilfe des Hüllflächenintegrals untersucht werden. Welche der folgenden Formen kann eine Hüllfläche dabei vorteilhafter Weise haben? (Mehrfachnennung möglich)



Die Form ist eigentlich egal, hauptsache die Hüllfläche ist geschlossen.



Das Verhalten der Feldgrößen bei einer Flächenladung → Normalkomponente

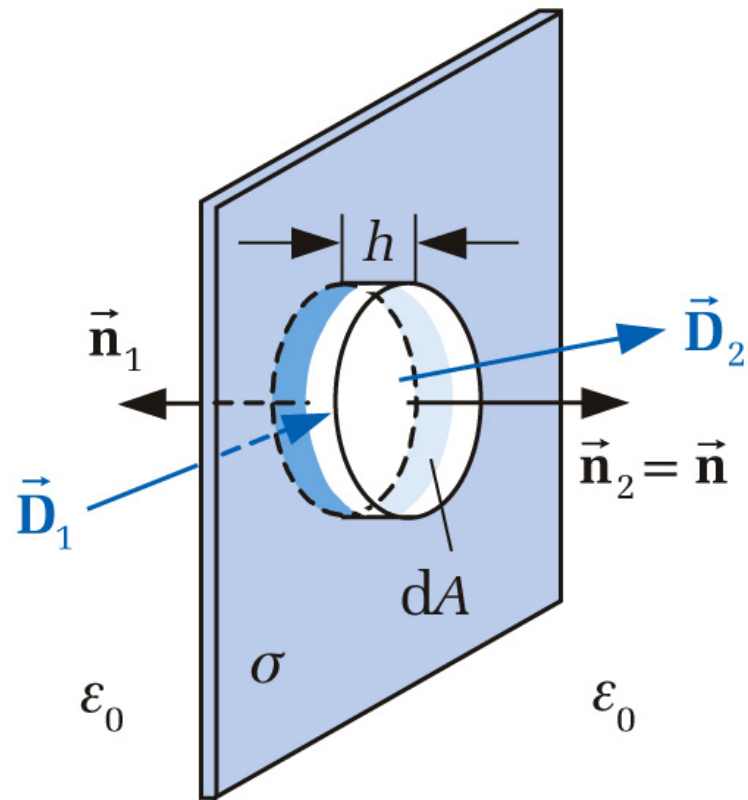
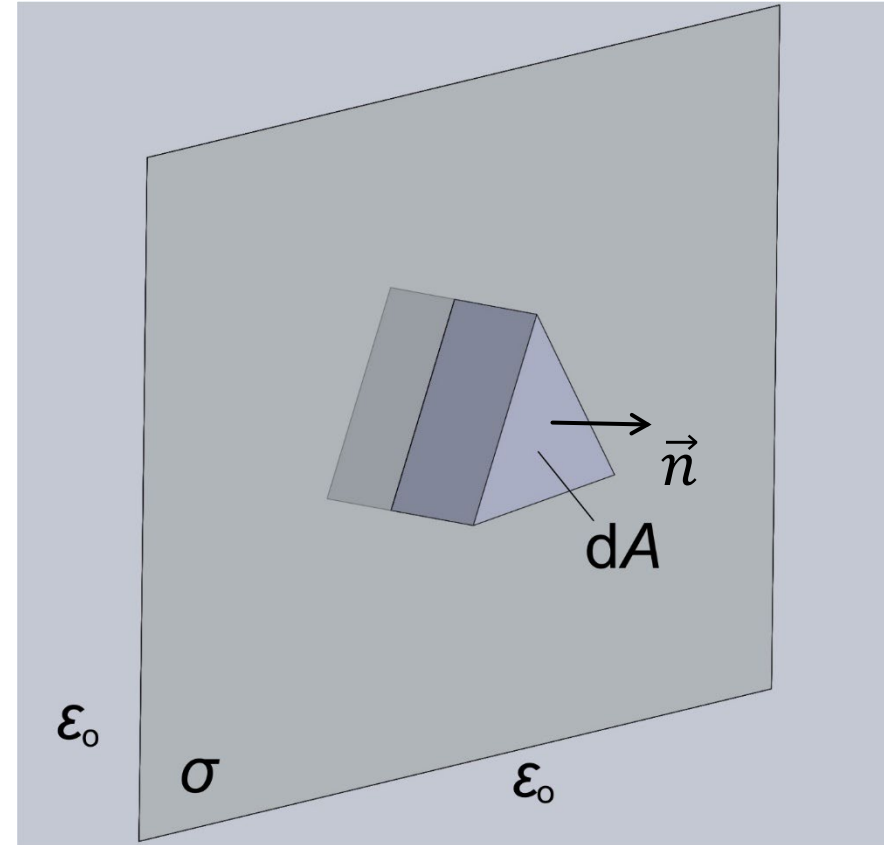
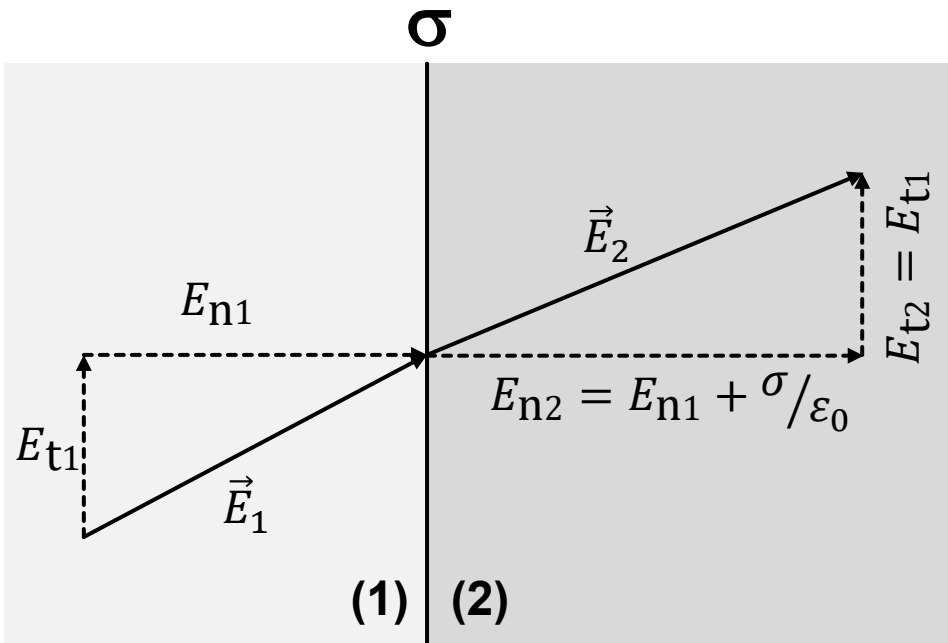


Abbildung 1.16: Flächenladungsverteilung



Das Verhalten der Feldgrössen bei einer Flächenladung



- Vektorzerlegung
- Normalkomponente - Gesetzmässigkeit
- Tangentialkomponente - Gesetzmässigkeit
- Vektoraddition

stärke mit der Länge ds . Aus dem geforderten Verschwinden des Umlaufintegrals nach Gl. (1.22) folgt unmittelbar die Stetigkeit der Tangentialkomponente der elektrischen Feldstärke auf beiden Seiten der Flächenladung

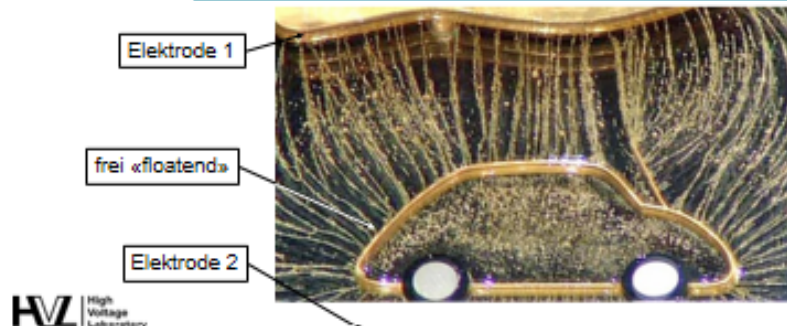
$$E_{t2} ds - E_{t1} ds = 0 \quad \rightarrow \quad E_{t1} = E_{t2} . \quad (1.44)$$

Lesekontrollfrage 5

Erklärung des vorher Besprochenen - Die Influenz



- Im elektrostatischen Feld besitzt ein leitender Körper ein konstantes Potential.
- Seine Oberfläche wird zur Äquipotentialfläche, auf der die elektrische Feldstärke senkrecht steht.
- Das Leiterinnere ist feldfrei.



Christian M. Franck | 22.09.2025 | 66

Die Influenz

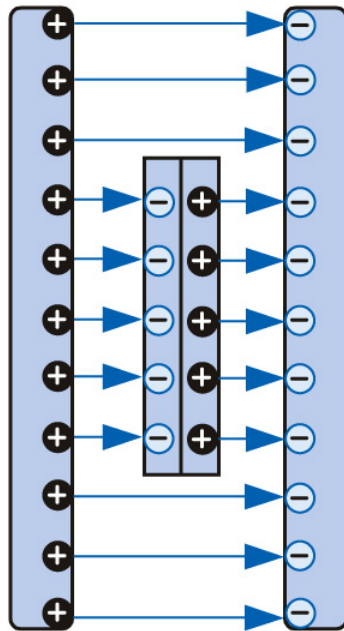
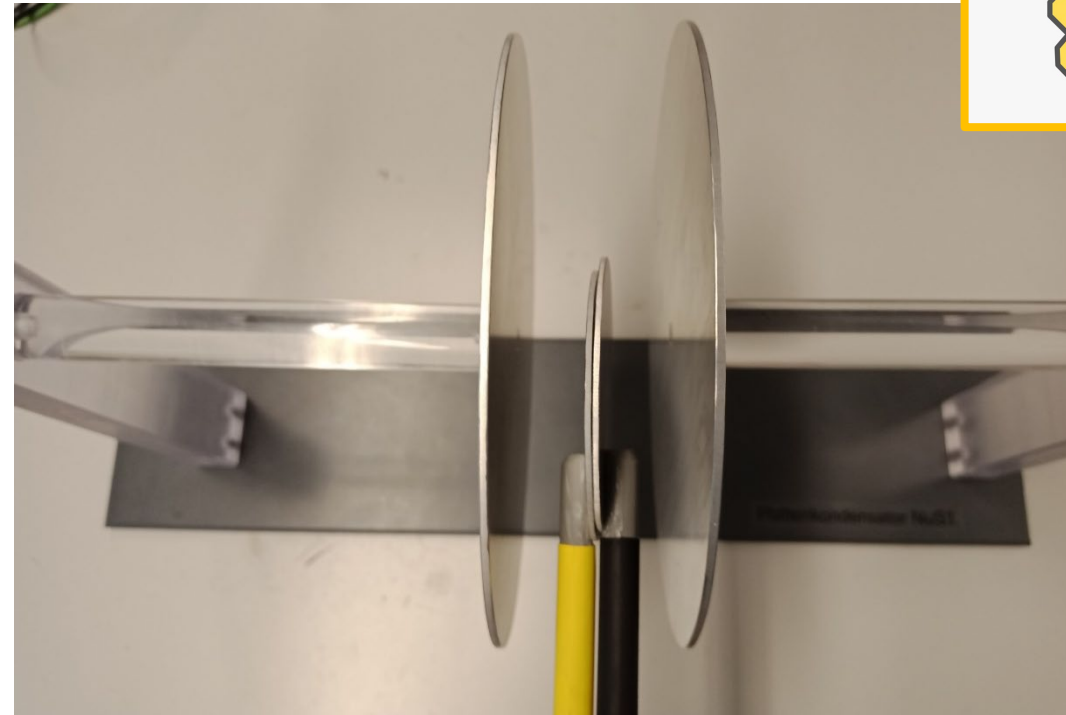
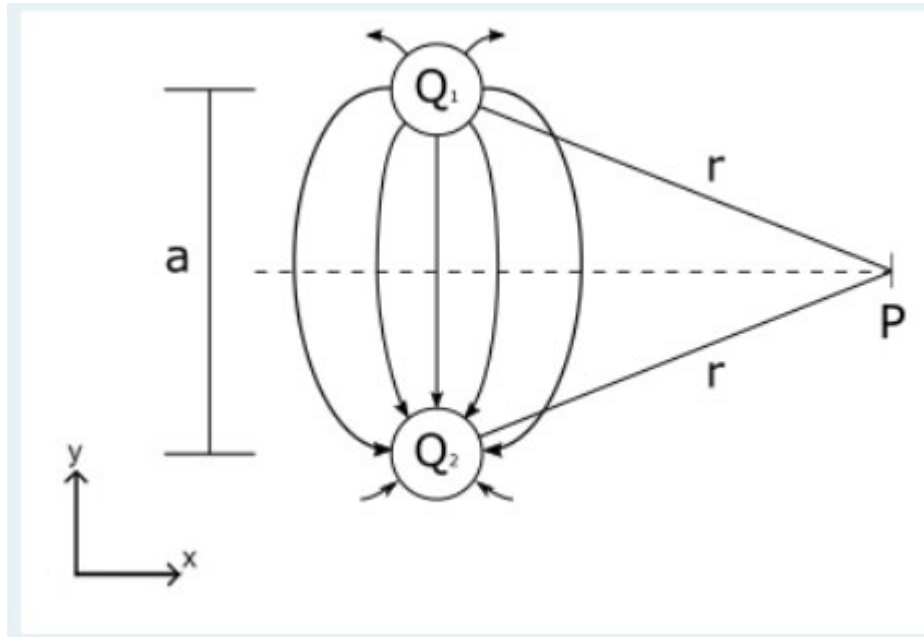


Abbildung 1.21: Leitender Körper im elektrischen Feld

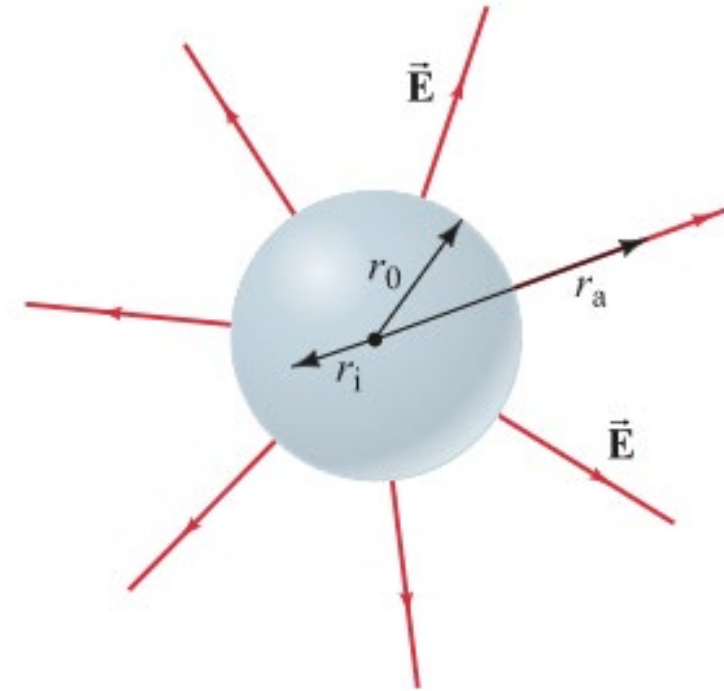


Das Experiment auf dem YouTube-Kanal der ETH
D-PHYS Vorlesungsexperimente ([link](#))

Aufgaben für Übungsstunde und zu Hause



Feld um zwei Punktladungen



Homogen geladene Kugel