

# Theoriefragen ET1

Gernot Vormayr (e0425210@student.tuwien.ac.at)

31. Januar 2005

Hmm also das hier ist nicht alles von mir - ein paar Antworten hab ich mir vom et-forum „zusammengeklaut“...  
Ich hab aber einiges selber geschrieben bzw. Antworten ausm et-forum die mir nicht gefallen haben neu geschrieben.  
Falls hier ein paar Antworten nicht stimmen bzw. jemand das Kapitel 8 noch machen möchte - einfach an e0425210@student.tuwien.ac.at schicken, dann bau ich es ein.  
Und entschuldigt bitte wenn etwas nich ganz so mit dem  $\LaTeX$ -Source passt... war mein erstes  $\LaTeX$ -Dokument ;)

Gernot Vormayr

# **1 Zeit. Raum. Bewegung.**

## **1.1 Warum wurde die Definition der Zeiteinheit auf der Grundlage der Erdrotation aufgegeben?**

Die Erdrotation hat aufgrund der Schiefe der Ekliptik und der Ellipsenform der Erdbahn eine unregelmäßige Dauer. Auch die Erddrehung ist unregelmäßig (aufgrund von Massenverlagerungen im Erdinneren, allmähliche Abbremsung der Erde durch Gezeitenreibung). Heutzutage wird die Zeit mittels Atomuhren gemessen.

## **1.2 Welche Geräte werden heute zur Darstellung der Zeiteinheit verwendet? Warum gibt es gelegentlich Schaltsekunden?**

Zur heutigen Darstellung der Zeit werden Cäsium-Uhren verwendet. Dabei wird die Eigenschwingung von Cäsium-Atomen gemessen und diese Frequenz danach geteilt, sodass man Sekunden erhält.

Es gibt auch noch weiterhin die auf der Erddrehung basierte Zeitskala. Die UTC (die Zeit, die von den Zeitsendern ausgestrahlt wird) wird mit den Atomuhren berechnet und durch Einfügen von Schaltsekunden an die Erddrehung angeglichen.

## **1.3 Warum gibt es unterschiedliche Geometrien? Welches Modell der physikalischen Geometrie verwenden wir im täglichen Leben und in der klassischen Physik?**

Die euklidische Geometrie ist z.B. in der Astronomie oder bei Längen von unter etwa  $10^{-34}$  Meter nur eingeschränkt anwendbar. Wir verwenden die euklidische Geometrie.

## **1.4 Wie wurde früher und wie wird heute die Basiseinheit der Länge festgelegt?**

Früher: Der zehnmillionste Teil eines Viertels des Erdumfanges. Man schuf einen Urmeter (Stab aus Iridium-Legierung).

Heute: Meter ist die Länge, die Licht im leeren Raum während der Dauer  $\frac{1}{299792485}$  s zurücklegt.

## **1.5 Wozu dienen Koordinaten? Was ist eine Koordinatentransformation?**

Koordinaten benötigt man um den Ort eines Punktes im dreidimensionalen Raum zu beschreiben. Eine Koordinatentransformation ist die Umrechnung der Koordinaten von einem Koordinatensystem ins andere (also wenn sich die Ursprünge der Koordinatensysteme unterscheiden).

## **1.6 Wie konstruiert man ein kartesisches Koordinatensystem?**

Schwenkt man x-Achse in Richtung y-Achse, so ergibt sich die Richtung der z-Achse im Sinn einer Rechtsschraube. Koordinaten in Pfeilrichtung positiv - entgegen negativ.

## 1.7 Wozu verwenden wir Vektoren? Was ist ein Ortsvektor?

Vektoren sind „Wegweiser“. Sie zeigen in die Richtung eines Punktes, ohne die Länge zu berücksichtigen ( $\vec{e}$ ). Ortsvektoren sind Vektoren + der Angabe der Länge ( $\vec{r}_{\mathcal{Q}} = r_{\mathcal{Q}} \vec{e}_{\mathcal{Q}}$ ).

## 1.8 Was bedeuten die Begriffe „Entwicklung (Zerlegung)“, „Komponenten“, und „Entwicklungskoeffizienten (Koeffizienten, Koordinaten)“ eines Vektors?

Entwicklung:

$$\vec{r}_{\mathcal{Q}} = \underbrace{(x_{\mathcal{Q}} - x_{\mathcal{P}})}_{\substack{\text{Koeffizient} \\ \text{Komponent}}} \vec{e}_x + (y_{\mathcal{Q}} - y_{\mathcal{P}}) \vec{e}_y + (z_{\mathcal{Q}} - z_{\mathcal{P}}) \vec{e}_z$$

## 1.9 Was bedeutet „Bewegung“?

Bewegung bedeutet Ortsveränderung in der Zeit.

## 1.10 Was ist „Geschwindigkeit“, was „Beschleunigung“, und durch welchen mathematischen Objekte werden diese Größen erfasst?

Geschwindigkeit bedeutet Ortsänderung pro Zeit; Beschleunigung bedeutet Geschwindigkeitsänderung pro Zeit

$$\vec{v} = \frac{\vec{r}_{\mathcal{Q}} - \vec{r}_{\mathcal{P}}}{t_{\mathcal{Q}} - t_{\mathcal{P}}} \quad \vec{a} = \lim_{t_{\mathcal{Q}} \rightarrow t_{\mathcal{P}}} \frac{\vec{v}_{\mathcal{Q}} - \vec{v}_{\mathcal{P}}}{t_{\mathcal{Q}} - t_{\mathcal{P}}}$$

## 2 Körper und Teilchen. Masse und Stoffmenge

### 2.1 Aus welchen Bestandteilen sind Atome aufgebaut? Wodurch unterscheiden sich die Atome unterschiedlicher Elemente voneinander?

Neutronen, Protonen und Elektronen. Sie unterscheiden sich lediglich in der Anzahl der Protonen.

### 2.2 Wodurch unterscheiden sich feste, flüssige und gasförmige Körper im wesentlichen?

Sie unterscheiden sich im Wesentlichen durch die Abstände der einzelnen Atome/Moleküle zueinander. Je höher die Temperatur ist, desto schneller bewegen sich die Atome/Moleküle in einem Körper - desto mehr Platz benötigen sie - desto weiter sind sie voneinander entfernt.

### 2.3 Was versteht man unter einer kristallinen Struktur? Wie groß sind etwa die Abstände benachbarter Gitterplätze?

Die Anordnung der Atome setzt sich gleichartig in alle Richtungen fort. Bei Kupfer etwa  $3,6 \cdot 10^{-10}$  m.

### 2.4 Wie lautet das Trägheitsprinzip der klassischen Mechanik?

Wenn man einen Körper nicht beeinflusst, dann bewegt er sich geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit, falls er ursprünglich bewegt war, oder er bleibt in Ruhe, falls er ursprünglich in Ruhe war.

### 2.5 Worin äußert sich die Eigenschaft „Masse“?

Masse ist eine Eigenschaft von Körpern, die sich sowohl in Trägheit gegenüber Änderungen des Bewegungszustandes, als auch in der Anziehung auf andere Körper (Gravitation) äußert.

### 2.6 Wie heißt die Basiseinheit der Masse und wodurch wird sie festgelegt?

Kilogramm (kg). Urkilogramm in der Nähe von Paris. (Ungenauigkeit ca.  $10^{-8}$ )

### 2.7 Wie bestimmen Sie im Prinzip die Massendichte bei gleichförmiger und bei ungleichförmiger Massenverteilung?

bei gleichförmiger:  $\rho = \frac{m}{V}$

bei ungleichförmiger:  $\rho = \frac{dm}{dV}$

### 2.8 Wie findet man bei bekannter, i.a. von Punkt zu Punkt in einem Körper veränderliche Massendichte die Gesamtmasse des Körpers?

$$m = \int_{\mathcal{K}} \rho dV$$

### 2.9 Was bedeutet die Einheit 1 mol und wie hängt sie mit der Avogadro-Konstanten zusammen?

1 mol ist die Stoffmenge eines Körpers, der aus ebensovielen Einzelteilchen besteht, wie Atome in 0.012 kg des Kohlenstoffnuklids  $^{12}\text{C}$  enthalten sind. Ebensoviel bedeutet hier die Avogadro-Konstante:  $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

### 2.10 Warum müssen Sie bei der Angabe der Stoffmenge immer auch die Art der Substanz bzw. der Teilchen angeben?

Da man sonst die Masse nicht ausrechnen könnte. (ein Stickstoffatom N wiegt z.B. nur die Hälfte als das Molekül  $\text{N}_2$ )

### 3 Impuls und Kraft. Kraftfelder. Allgemeine Felder

#### 3.1 Was verstehen Sie unter dem Impuls eines Körpers und wie hängt diese Größe mit der resultierenden Kraft auf den Körper zusammen? Welche Rolle spielt dabei der Begriff des Inertialsystems?

Impuls ist das Produkt aus Masse und Geschwindigkeit:  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$

$$\vec{F} = \frac{\vec{p}_{\mathcal{Q}} - \vec{p}_{\mathcal{P}}}{t_{\mathcal{Q}} - t_{\mathcal{P}}}$$

Diese Beziehungen gelten nur innerhalb eines Inertialsystems - also in einem System in dem das Trägheitsprinzip gilt.

#### 3.2 Wie nennen wir die Einheit der Kraft und wie hängt diese mit den Einheiten der Zeit, Länge und Masse zusammen?

1 Newton.

$$1\text{N} = 1\text{kg} \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{s}^{-2}$$

#### 3.3 Was müssen Sie bei der Anwendung der kinetischen Grundgleichung auf ausgedehnte Festkörper beachten?

$a$  muss sich in dem Fall auf den Massenmittelpunkt beziehen.

#### 3.4 Wie kommt man vom Gravitationsgesetz zum Begriff des Gravitationsfeldes?

Die Gesamtheit aller massenbezogenen Gravitationskräfte, die von einem Körper ausgehen nennen wir Gravitationsfeld.

$$\frac{\vec{F}}{m_2} = \vec{f} = -G \frac{m_1}{r^2} \vec{e}$$

#### 3.5 Wie groß ist die elektrische Ladung eines Elektrons, eines Protons, eines Neutrons?

Jedes Proton besitzt genau die Ladung  $+e$ , jedes Elektron die genau entgegengesetzt gleich große Ladung  $-e$  und  $e$  ist Elementarladung  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{As}$ , Neutronen sind nicht geladen.

#### 3.6 Was sagt das Coulomb-Gesetz aus? Geben Sie auch seine Voraussetzungen an.

Das Coulomb-Gesetz sagt aus, dass sich zwei gleichnamige Ladungen abstoßen und zwei ungleichnamige anziehen. Die Abmessungen der Körper müssen aber viel kleiner sein, als der Abstand, der umgebende Raum muss zumindest über einen größeren Abstand völlig leer sein und die Ladungen dürfen sich nicht bewegen bzw. ihre Ladung ändern. Sonst würden zusätzlich Gravitationserscheinungen auftreten.

### 3.7 Wie kommt man vom Coulomb-Gesetz zum Begriff des elektrischen Feldes?

Die Gesamtheit aller Feldstärkevektoren  $\vec{E}$  nennt man elektrisches Feld.

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

### 3.8 Welche Gemeinsamkeiten besitzen die Größe der Masse und elektrische Ladung und wodurch unterscheiden sie sich?

Es sind mengenartige Größen, die im Raum verteilt sind und die von einem Ort zum anderen strömen können. Die Verknüpfung eines elektrischen Strömungsfeldes ist oft nicht sinnvoll und man spricht daher von einem Fluß bzw. einer Flußdichte.

### 3.9 Was versteht man unter physikalischen Feldern und wie werden sie mathematisch erfaßt? Geben Sie Beispiele an für physikalische Felder mit Richtungscharakter und ohne Richtungscharakter.

Physikalische Felder sind Situationen, denn wir jedem Ort im Raum oder innerhalb eines Körpers den Wert einer physikalischen Größe zuordnen können. Ohne Richtung: Temperatur, Massendichte, el. Ladungsdichte. Mit Richtung: el. Fluss, el. Flussdichte, magnetischer Fluss, el. Stromdichte.

### 3.10 Kann man Strömungen oder Flüssen immer eine lokale Geschwindigkeit zuordnen? Erläutern Sie den Sachverhalt anhand von Beispielen

Nein. Wärmestrom in einem Festkörper: Man kann jedem Punkt einen Betrag und eine Richtung angeben  $\rightarrow$  Vektorfeld der Wärmestromdichte. Zugehöriges Geschwindigkeitsmodell passt aber nicht in das Konzept.

## 4 Arbeit und Leistung. Energie. Wärme und Temperatur

### 4.1 Was bedeutet „Arbeit verrichten“, was „Leistung erbringen“ im physikalischen Sinn?

Physikalisch Arbeit verrichten heisst einen Körper im Raum verschieben und in Richtung der Verschiebung eine Kraft aufzubringen.  $A = F \cdot h$

Leistung ist die zeitbezogene Arbeit:  $P = \frac{A}{t}$

#### 4.2 Wie berechnet man die Normalprojektion einer Kraft auf die vorgegebene Richtung? Wie wird die Arbeit berechnet, die ein Kraftfeld bei Verschiebung eines Körpers entlang einer beliebigen Kurve verrichtet?

Die von einer Kraft  $\vec{F}$  verrichtete Arbeit ist gleich der Normalprojektion  $F_s$  der Kraft auf die Verschiebungsrichtung  $\vec{e}_s$  mal dem Verschiebungsweg  $s$ :  $A = F_s \cdot s = F \cdot \cos(\alpha) \cdot s$   
Die jeweiligen Normalprojektionen ausrechnen und dann addieren  $\rightarrow A(\mathcal{A}) = \sum_{k=1}^n F_{sk} \cdot s_k$

#### 4.3 Was versteht man unter einem „konservativen Kraftfeld“?

konservative Kraftfelder sind Kraftfelder, bei der sich die Summe der Kräfte aufhebt.

#### 4.4 Wie heißt die Einheit der Leistung und wie hängt sie mit anderen Einheiten zusammen? Was bedeutet 1kWh?

Watt  $\rightarrow 1\text{W} = 1\text{J/s} = 1\text{Nm/s} = 1\text{kgm}^2/\text{s}^3$   
 $1\text{kWh} = 1000\text{W} \cdot 3600\text{s} = 3,6 \cdot 10^6\text{J}$

#### 4.5 Was besagt das Prinzip der Erhaltung der Energie? Geben sie ein Beispiel an. Welche Energieformen kennen Sie?

Energie kann weder erzeugt noch verbraucht werden. Energie kann immer nur umgewandelt werden. Ein Körper besitzt in seiner Bewegung kinetische Energie und zwar in gleichem Ausmaß, wie Arbeit beim Beschleunigen aufgewendet wurde. Beim Hochheben erhält er potentielle Energie (die Arbeit, die man hochhebt, wird in potentielle Energie umgewandelt) Lässt man in fallen, wird die potentielle in kinetische Energie umgewandelt und die Arbeit wird beim Abbremsen frei.

Mechanische Energie, elektrische Energie, chemische Energie, Kernenergie, Wärmeenergie

#### 4.6 In welchen Einheiten werden Energieströme angegeben?

$1\text{J/s} = 1\text{W}$

#### 4.7 Warum nimmt Wärme unter den Energieformen eine Sonderstellung ein?

Bei fast allen Energieumformungen tritt zusätzlich Wärme auf, meistens störend, weil sie den Wirkungsgrad verschlechtert. Arbeit kann vollständig in Wärme umgewandelt werden – der umgekehrte Prozess ist jedoch nicht möglich.

#### 4.8 Was beschreibt die physikalische Größe „Temperatur“?

Die Temperatur ist ein Intensitätsmaß für den Wärmestatus eines Körpers.

#### **4.9 Wie ist die Einheit der thermodynamischen Temperatur erklärt? Wie hängen die thermodynamische Temperatur und die Celsius-Temperatur zusammen?**

1 Kelvin ist der 273,16 Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.  $\vartheta = T - 273,15\text{K}$

#### **4.10 Wie misst man die Temperatur von Körpern? Geben Sie Beispiele für dazu benutzte physikalische Effekte an.**

Die Temperatur wird mit Thermometern gemessen. Dabei wird z.B. die Volumenvergrößerung von Körpern bei steigender Temperatur genutzt, oder die Änderung des elektrischen Widerstandes, der thermoelektrische Effekt oder die Energieabstrahlung heißer Körper.

### **5 Schwingungen und Wellen. Licht**

#### **5.1 Was verstehen Sie unter einer Schwingung?**

Eine Schwingung ist eine physikalische Größe, die mit der Zeit abwechselnd zu- und abnimmt.

#### **5.2 Was bedeutet „Periodendauer“ und was „Frequenz“? Wie nennt man allgemein die Einheit der Frequenz und wie hängt sie mit der Basiseinheit der Zeit zusammen?**

Läuft eine Schwingung immer wiederkehrend gleichartig ab, so wird die Zeit, nach der die Schwingung von vorne anfaengt Periodendauer genannt. Der Kehrwert der Periodendauer nennt sich Frequenz.  $f = \frac{1}{T}$ .  $[f] = 1\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$

#### **5.3 Was ist eine harmonische Schwingung und wie kann man sie mathematisch darstellen? Was gibt die Amplitude einer harmonischen Schwingung an?**

Die meisten Schwingungsfähigen Systeme besitzen eine harmonische Schwingung als Eigenschaft (Eigenschwingungen, Eigenfrequenzen).  $u = \hat{u} \sin(\omega t)$   
Die Amplitude gibt den maximalen Ausschlag der Schwingung an ( $\hat{u}$ )

#### **5.4 Wie hängt die Kreisfrequenz mit der Periodendauer und mit der Frequenz zusammen?**

$$\varphi = 2\pi t/T = 2\pi f t = \omega t$$

#### **5.5 Was verstehen Sie unter einer Welle. Geben Sie Beispiele an.**

Wellen werden angeregt und breiten sich danach im Raum aus. Es findet jedoch kein Massentransport statt. Wasserwelle, Erdbebenwelle, elektromagnetische Welle (Licht).

**5.6 Wie groß ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen im leeren Raum? Wie groß ist etwa die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall in Luft und Wasser?**

Im leeren Raum: 300000 km/s; Schall in Luft: ca. 240 m/s; Schall in Wasser: ca. 1460 m/s

**5.7 Was ist eine harmonische Welle und wie kann man sie mathematisch darstellen?**

Harmonische Wellen sind sinusförmige Wellen.  $w = w \sin(kx - \omega t)$

**5.8 Was bedeutet „Wellenlänge“ und „Kreiswellenzahl“ und wie hängen diese beiden Größen zusammen? Durch welche Beziehung sind die Ausbreitungsgeschwindigkeit, die Wellenlänge und die Frequenz einer Welle im einfachsten Fall miteinander verknüpft?**

Betrachtet man die Momentaufnahme, so entspricht die Wellenlänge der Periodendauer einer Schwingung.  $k = 2\pi/\lambda$

$$c = \omega/k = \lambda f = \lambda/T$$

**5.9 Wie groß ist etwa die Wellenlänge und die Frequenz von sichtbarem Licht?**

$$\lambda = 380 \div 780\text{nm}$$

$$f = 2,6 \div 1,8\text{MHz}$$

**5.10 Die Candela ist die Basiseinheit für welche physikalische Größe?**

Candela ist die Einheit für die Lichtstärke in einer bestimmten Richtung einer Strahlungsquelle.

## **6 Elektrische Ladungen, Ströme und Spannungen**

**6.1 Wie groß sind die elektrischen Ladungen eines Protons und eines Elektrons?**

Jedes Proton besitzt genau die Ladung  $+e$ , jedes Elektron die genau entgegengesetzt gleich große Ladung  $-e$  und  $e$  ist Elementarladung  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{As}$ .

**6.2 Welche Erfahrung wird ausgedrückt, wenn wir sagen, die elektrische Ladung ist eine Erhaltungsgröße?**

Wir können zwar eine positive Ladung mit einer genau entgegengesetzt gleich großen (negativen) Ladung hervorbringen oder wegschaffen (immer in Vielfachen der Eleme-

natladung), insgesamt aber nie einen Überschub produzieren. Zu jeder positiven Ladung gibt es irgendwo den negativen Partner, und umgekehrt. Die elektrische Ladung ist also eine Erhaltungsgröße.

### 6.3 Was sind Ionen?

Ionen sind ebenfalls Ladungsträger. Ein Atom ist im Grundzustand elektrisch neutral. Durch Stöße oder andere Anregungen kann es nun vorkommen, daß die Schalen Elektronen verlieren oder daß sich zusätzliche Elektronen anlagern. Im ersten Fall sind die Atome dann positiv, im zweiten Fall negativ, und wir sprechen von Ionen.

### 6.4 Wie stellen Sie sich das „Elektronengas“ in einem metallischen Leiter vor?

Die Teilchen des Elektronengases müssen wir uns in einer intensiven Bewegung und ständig verwickelt in Stoßprozesse mit den an den Gitterplätzen zitternden Metallionen vorstellen. Dabei kann es natürlich vorkommen, daß ein Elektron über den Rand des Körpers hinauschießt. Da nun aber der Körper positiv geladen zurückbleibt, tritt nach dem Coulomb-Gesetz eine Kraft auf, die das Elektron sofort wieder zurückholt. Tatsächlich finden wir an der Oberfläche metallischer Körper immer eine sehr dünne Schicht gerade austretender und wieder eingefangener Elektronen („Ladungswolke“). Insgesamt ist das Elektronengas aber an den Metallkörper gebunden. Elektronen könne ihn nur dann in merkbarer Zahl verlassen, wenn an einer anderen Stelle gleichzeitig eine ebenso große Anzahl nachgeladen wird.

### 6.5 Was versteht man unter der „mittleren Ladungsdichte“?

Die Ladungsträger sind über den Körper verteilt. Sind sie gleichmäßig über den ganzen Körper verteilt, so sprechen wir von einem gleichförmig elektrisch geladene Körper. Die volumenbezogene Ladung, die elektrische Ladungsdichte (Raumladungsdichte) läßt sich dann einfach über den Quotienten  $\varrho = \frac{Q}{V}$  berechnen. Ist die Ladung nicht gleichmäßig verteilt, so gibt diese Größe die mittlere elektrische Ladungsdichte an.

### 6.6 Wie kann man eine ungleichförmige Ladungsverteilung in einem Körper beschreiben?

Der Körper wird gedanklich in eine Anzahl von Teilkörper zerlegt.

$$\varrho = \frac{Q_1}{V_1} + \frac{Q_2}{V_2} + \frac{Q_3}{V_3} + \dots + \frac{Q_n}{V_n}$$

Für jeden wird der  $\varrho = \frac{Q}{V}$  Quotient gebildet. Je feiner die Unterteilung, desto größer ist die gewonnene Information. Wie müssen berücksichtigen, dass im Gegensatz zur Massendichte, die elektrische Ladungsdichte sowohl positiv, wie auch negativ annehmen kann. Dies hat zur Folge, dass in einem insgesamt ungeladenen Körper ( $Q = 0$ ) nicht auch die Ladungsdichte in der Umgebung jedes Körperpunktes null sein muß. Bei der gedanklichen Zerlegung können sich einige der Teilkörper als positiv, andere als negativ oder auch als ungeladen herausstellen. Nur in Summe muß sich Null ergeben. Bei einer räumlichen Ladungsverteilung entfällt auf jedes, vom makroskopischen Standpunkt bereits sehr kleine Volumenelement noch eine große Anzahl von überschüssigen Ladungsträgern. In den meisten Fällen ist es daher zulässig und auch hilfreich ,

wenn Sie sich eine räumliche Ladungsverteilung nicht nur als eine Ansammlung von Punktladungen, sondern auch als kontinuierliche Verteilung, gewissermaßen „Räumlich verschmiert“ vorstellen.

### **6.7 Wie sind „Überschußladungen“ in einem Metallkörper beschreiben?**

In Metallkörpern finden wir elektrische Überschußladung in Gleichgewichtszustand nie im Körperinneren, sondern immer in einer sehr dünnen Schicht an der Körperoberfläche verteilt. Dies hängt mit der relativ großen Beweglichkeit der Ladungsträger in solchen Substanzen zusammen.

### **6.8 Was versteht man unter „Flächenladungsdichte“?**

In den sehr gut leitfähigen Körpern überschreitet die Ladungsdichte an der Oberfläche einen bestimmten Wert. Demnach ist die Ladungsdichte in Inneren von diesen Körpern stets null. Zur Beschreibung einer an der Oberfläche konzentrierten Überschußladung  $Q$  ist es sinnvoll, diese auf den auf den Flächeninhalt  $A$  der Oberfläche zu beziehen. Wir führen damit die (mittlere) Flächenladungsdichte  $\sigma = \frac{Q}{A}$  ein. Ist die Ladung nicht gleichmäßig über die Oberfläche verteilt, so können wir diese in Zellen unterteilen und für jede Zelle den Quotienten  $\sigma = \frac{Q}{A}$  berechnen. Bei hinreichender Verfeinerung bekommen wir so eines genaues Bild von der flächenhaften Ladungsverteilung.

### **6.9 Was ist ein Elektrischer Strom? Wodurch wird die elektrische Leitfähigkeit im wesentlichen bestimmt? Was versteht man unter einem Isolator?**

Wenn elektrische Ladung auf irgendeine Weise transportiert wird, so nennt man das einen elektrischen Strom. Innerhalb von ruhenden Körpern kann ein elektrischer Strom nur dann zustande kommen, wenn eine ausreichende Anzahl beweglicher Ladungsträger vorhanden ist. In den Metallen sind die negative geladene Elektronen im Prinzip nahezu frei beweglich. Solche Körper sind zum inneren Ladungstransport bestens geeignet, sie können einen elektrischen Strom leiten. Wir nennen sie daher elektrische Leiter. Sind keine frei bewegliche Ladungsträger vorhanden, so sprechen wir von elektrischen Isolatoren. Alle Substanzen sind mehr oder weniger elektrisch leitfähig.

### **6.10 Was bedeutet elektrischer Kontakt?**

In festen und flüssigen Leitern sind die Ladungsträger, auch wenn sie sich weitgehend frei bewegen können, an den Körper als Ganzes gebunden. Bringen wir zwei Leitern miteinander in Berührung, so können Ladungsträger, insbesondere Elektronen, von einem Körper zum anderen übertreten. Wir sagen, die Körper befinden sich in elektrischem Kontakt. Über solche Kontaktpunkte oder Kontaktflächen kann also ein elektrischer Strom fließen.

### **6.11 Wie ist die elektrische Stromstärke erklärt?**

Ob in einem Draht augenblicklich elektrische Ladung verschoben wird, wie groß die momentane Transportrate ist und in welche Richtung der Transport erfolgt, wird durch

die elektrische Stromstärke erklärt. Wir legen fest: Wird im Zeitintervall von 0 bis  $t$  durch einen Querschnitt  $\mathcal{A}$  die Ladungsmenge  $Q$  in Pfeilrichtung verschoben, so beträgt die elektrische Stromstärke:  $I = \frac{Q}{t}$

### **6.12 Was verstehen Sie unter der „Richtung“ des elektrischen Stromes? Was bedeutet „Bezugssinn“ und was „Richtungssinn“ des elektrischen Stromes?**

Die Richtung des elektrischen Stromes ist eine Sache der Konvention.  $I$  ist positiv, wenn  $Q$  positiv ist, wenn also eine positive Ladungsmenge in Pfeilrichtung durch  $\mathcal{A}$ , oder eine negative Ladungsmenge entgegen Pfeilrichtung geschoben wird. Wenn aber der Transport einer positiven Ladungsmenge entgegen der Pfeilrichtung oder einer negativen Ladungsmenge in Pfeilrichtung erfolgt, bekommt  $I$  ein negatives Vorzeichen. Aber die elektrische Stromstärke ist keine geometrisch gerichtete Größe im Sinne einer Kraft oder einer Geschwindigkeit und wird daher auch nicht durch einen Vektor dargestellt. „Richtung“ bedeutet hier lediglich „von innen nach außen“ oder „von hinten nach vorne“ durch die Fläche  $\mathcal{A}$ . Einen Pfeil nennt man einen Bezugssinn. Dementsprechend nennt man die konventionelle Richtung des Stromes, also die Durchtrittsrichtung, in welcher eine positive Ladungsmenge tatsächlich verschoben wird, den Richtungssinn.

### **6.13 Was verstehen Sie unter Gleichstrom und was unter Wechselstrom?**

Während eines Vorganges wird sich die elektrische Stromstärke  $I$  mit der Zeit ändern. Für jeden Zeitpunkt eines Beobachtungszeitraumes bekommen wir die momentane Stromstärke. Ändert sich die Stromstärke mit der Zeit nicht, so sprechen wir von Gleichstrom. Liegt dagegen ein periodischer Zeitverlauf mit dem Mittelwert Null vor, so ist das Wechselstrom.

### **6.14 Wie groß ist etwa die Driftgeschwindigkeit der Elektronen, wenn in einem Kupferdraht ein elektrischer Strom fließt?**

Wenn in einem Kupferdraht der Querschnittsfläche  $\mathcal{A}$  ein elektrischer Strom der Stärke  $I = 1\text{ A}$  fließt, wird das Elektronengas mit der Geschwindigkeit von  $v = 0,073 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$  verschoben, und zwar entgegen dem Richtungssinn des elektrischen Stromes. (wegen der negativen Elektronenladungen). Die positiv geladenen Kupferionen tragen nichts zum Ladungstransport bei, weil sie wesentlich an ihre Gitterplätze gebunden sind. Also, ein starker elektrischer Strom in Metallen nicht etwa durch besonderes hohe Driftgeschwindigkeiten, sondern durch die große Anzahldichte der Elektronen zustandkommt.

### **6.15 Warum können wir bei einem elektrischen Strom in Metallen den begleitenden Massentransport i.a. vernachlässigen? Warum kann der Massentransport bei Ionenleitung eine Rolle spielen?**

Ladungsträger besitzen auch Masse. Wir können daher bei einem elektrischen Strom gleichzeitig auch einen Massenstrom erwarten. Diesen Wert können wir getrost unberücksichtigt lassen, der Massentransport durch Elektronen ist unmeßbar klein. Nicht zu vernachlässigen ist der Massentransport allerdings dann, wenn am elektrischen Strom

auch die um einige Größenordnungen massigeren Ionen beteiligt sind. Das ist z.B. in flüssigen Leitern der Fall.

### **6.16 Was sind die wesentliche Effekte elektrischer Ströme? Geben Sie jeweils Beispiele für ihre technische Nutzung an.**

Die wesentliche Effekte elektrischer Ströme sind: Magnetfelder, (in elektrischen Maschinen und Geräten zur elektromagnetischen Energieumsetzung), Erwärmung von Leitern bei Stromdurchgang (häufig eine unerwünschte Erscheinung, aber hat ihre nützlichen Seiten z.B. bei der Lichterzeugung in Glühlampen, der Wärmeerzeugung in Heiz- und Kochgeräten und in Anlagen der industriellen Elektrowärmetechnik) und chemische Wirkungen im weiteren Sinn, besonders in flüssigen und gasförmigen Leitern. (Galvanotechnik, Erzeugung und Speicherung von elektrischer Energie in Batterien und Akumulatoren).

### **6.17 Wie heißt die Basisinheit der elektrischen Stromstärke und wie ist sie definiert? Welche Wert besitzt die magnetische Feldkonstante?**

Die Basiseinheit des elektrischen Stroms heißt Ampere (1 A). 1 Ampere ist die Stärke eines zeitlich unveränderlichen Stromes, der, durch zwei im Vakuum parallel im Abstand von 1 Meter voneinander angeordnete geradlinige, unendlich lange Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigen Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je 1 Meter Leiterlänge elektrodynamisch die Kraft von  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton hervorrufen würde. Die magnetische Feldkonstante hat den Wert:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{kgm}/(\text{As})^2$

### **6.18 Was verstehen Sie unter dem Begriff „Elektrische Spannung“? Auf welche Werte läßt sich die elektrische Spannung als Kurvensumme darstellen?**

Die elektrische Spannung ist gewissermaßen die „treibende Kraft“ hinter den elektrischen Strömen. Wenn wir die von den elektrischen Kräften bei der Verschiebung eines Testkörpers entlang einer Kurve  $\mathcal{C}$  verrichtete Arbeit durch seine Ladung dividieren, erhalten wir eine Größe, die allein vom momentanen Zustand des untersuchten Objekts, nämlich dem elektromagnetischen Feld, und vom Verlauf der Kurve  $\mathcal{C}$  abhängt, nicht aber von den Eigenschaften des Testkörpers. Diese Größe nennen wir elektrische Spannung. Die einer orientierten Kurve  $\mathcal{C}$  momentan zugeordnete elektrische Spannung  $U(\mathcal{C})$  ist die Kurvensumme der elektrischen Feldstärke entlang  $\mathcal{C}$ . Ihr Wert ist gleich der ladungsbezogenen Arbeit, die von den elektrischen Kräften beim Verschieben einer Testladung entlang  $\mathcal{C}$  verrichtet wird, und ist unabhängig von den Eigenschaften der Testladung.

### **6.19 Unter welchen Bedingungen kann man von der elektrischen Spannung zwischen zwei Punkten sprechen?**

Wir können von elektrischen Spannung zwischen zwei Punkten sprechen wenn diese Punkte unterschiedlich geladen sind.

## **6.20 Was bedeutet „Bezugsinn“ und „Richtungssinn“ im Zusammenhang mit der elektrischen Spannung?**

Die elektrische Spannung ist immer einer orientierten Kurve mit Durchlaufsinns zugeordnet. Dieser frei wählbare Durchlaufsinns ist der Bezugssinn der elektrischen Spannung. Davon unabhängig ist der Richtungssinn. Ergibt die eine Analyse der elektrischen Spannung ein positiv Vorzeichen für  $U$ , so stimmt der Richtungssinn mit dem Bezugssinn überein. Wenn wir den Wert einer elektrischen Spannung, ob positiv oder negativ, nennen, dann müssen wir immer auch die zugehörige Kurve und ihren Bezugssinn angeben.

## **6.21 Wie nennt man die Einheit der elektrischen Spannung und wie ist sie erklärt?**

Wir messen die Arbeit in Joule und die elektrische Ladung in Coulomb, also besitzt die elektrische Spannung, als ladungsbezogene Arbeit aufgefaßt, die Einheit 1 Joule pro 1 Coulomb (1 J/C). In der Elektrotechnik würde dafür die Bezeichnung Volt (1V) eingeführt.

## **6.22 Wie werden Teilspannungen entlang einer Kurve zur Gesamtspannung zusammengesetzt? Welche Rolle spielt dabei der Bezugssinn?**

Wenn die Spannung für alle Kurven die von 1 nach 2 verlaufen, denselben Wert ergibt, dann sprechen wir von der Spannung zwischen 1 und 2 und kennzeichnen sie durch  $U_{12}$  oder einfach durch  $U$ , zusammen mit einem Bezugspfeil. Diese Kennzeichnung ist wichtig, weil wie aus der Definition der elektrischen Spannung als Kurvensumme folgt, eine Umkehrung des Bezugssinns in der gleichen physikalischen Situation eine Umkehrung des Vorzeichens der elektrischen Spannung bedeutet.  $U_{12} = -U_{21}$ . Ebenfalls aus der Definition als Kurvensumme folgt, dass sich bei einer Unterteilung der Kurve  $C$  in Teilstücke die Gesamtspannung als Summe der Teilspannungen ergibt.

## **6.23 Was verstehen Sie unter Gleichspannung und was unter Wechselspannung?**

Der Wert einer elektrischen Spannung kann sich natürlich auch mit der Zeit ändern. Ändert sich die Spannung mit der Zeit nicht, so sprechen wir von Gleichspannung. Liegt dagegen ein periodischer Zeitverlauf mit dem Mittelwert Null vor, so ist das Wechselspannung.

## **6.24 Was ist eine Spannungsquelle und was bewirkt sie? Geben Sie ein Beispiele an.**

Es gibt Mechanismen der Ladungstrennung, die zur Erzeugung elektrischer Spannungen genutzt werden. Technische Geräte dieser Art nennt man allgemein Spannungsquellen, Generatoren, oder auch Stromversorgungen. Technische Spannungsquellen sind auch Stromquellen und damit Lieferanten elektrischer Energie. Es gibt drei grobe Gruppe von Spannungsquellen: Elektrochemische Spannungsquellen (Batterien),

Elektromechanische Spannungserzeuger (rotierende elektrische Maschinen) und Rein elektrische Umformgeräte (Netzgeräten, Frequenzumrichter).

**6.25 Wie nennt man Geräte zum Messung der elektrischen Spannung und zur Messung der elektrischen Stromstärke? Welche Bedingungen müssen diese Geräte erfüllen, damit die Zustände im zu messenden Stromkreis möglichst wenig gestört werden?**

Die Geräte zum Messung der elektrischen Spannung nennt man Spannungsmesser oder Voltmeter. Die Geräte zum Messung der elektrischen Stromstärke nennt man Strommesser oder Amperemeter. Um ein Gerät möglichst wenig zu stören, soll ein eventuell durch den Spannungsmesser fließender Strom vernachlässigbar klein gegen  $I$  sein. Eine eventuell zwischen den beiden Anschlüssen des Strommessers auftretende Spannung soll vernachlässigbar klein sein gegen  $U$ .

**6.26 Wie bestimmen Sie bei bekannten Werten von Strom und Spannung die Momentanleistung? Wie ist ihr Zusammenhang mit der umgesetzten Energiemenge?**

Die Momentanleistung  $P = U \cdot I$ . Die Energiemenge ist  $W = U \cdot I \cdot t$ . Bezeichnen wir die übertragene Energiemenge  $W = A$ , auf die Zeit ( $P = \frac{A}{t}$ ), so erhalten wir die Leistung.

**6.27 Welche Rolle spielen bei der Berechnung der Leistung die Bezugssinne und Richtungssinne von Strom und Spannung?**

Ergibt einen negativen Wert für  $P$ , dann stimmt der Richtungssinn entweder der Spannung oder des Stromes mit dem von uns gewählten Bezugssinn momentan nicht überein: Es wird in diesem Augenblick Energie vom Verbraucher an die Quelle zurückgeführt.

**6.28 Was verstehen Sie unter einer Spannungs-Strom-Kennlinie?**

Mit einer Quelle kann die Spannung  $U$  auf unterschiedliche Werte eingestellt werden. Wir messen dann zu jedem  $U$  den Wert von  $I$ , tragen die zusammengehörenden Werte als Punkte in ein Diagramm ein und verbinden die Punkte durch eine Kurve. Das ist die Spannungs-Strom-Kennlinie des Verbrauchers.

**6.29 Wie lautet das Ohmsche Gesetz im engeren und weiteren Sinn? Welche Rolle spielen Bezugssinne von Strom und Spannung bei der Formulierung des Ohmschen Gesetzes?**

Proportionalität von Spannung und Stromstärke über einen konstanten elektrischen Widerstand  $R$  bezeichnet man als Ohmsches Gesetz im engeren Sinn:  $U = R \cdot I$ . Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke. Im weiteren Sinn nennt man jede Gleichung der Form  $U = R \cdot I$  mit  $U$  als Spannung und  $I$  als Stromstärke „Ohmsches Gesetz“. Hängt dabei  $R$  von  $U$  bzw.  $I$  ab, so spricht man auch von

einem nichtlinearen Widerstand. Bei der Anwendung des Ohmschen Gesetzes müssen wir immer den Bezugssinn von Spannung und Strom angeben. Wählen wir nämlich den Bezugssinn für Spannung und Strom unterschiedlich, so bekommt Gleichung  $U = R \cdot I$  auf den rechten oder linken Seite ein Minuszeichen.

### **6.30 Wie heißt die Einheit des Elektrischen Widerstandes und wie ist sie erklärt?**

Die Einheit des elektrischen Widerstandes heißt Ohm  $1\Omega = 1V/A$ . Ein Stück Kupferdraht von  $1\text{mm}^2$  Querschnittfläche und 1 m Länge besitzt z.B. bei Raumtemperatur den elektrischen Widerstand  $R = 17,8\Omega$

## **7 Physikalische Größen, Einheiten und Dimensionen**

### **7.1 Was verstehen Sie allgemein unter einer physikalischen Größe und wodurch unterscheiden sich physikalische Größenwerte von gewöhnlichen Zahlen?**

Eine physikalische Größe ist genau einer Größenart zugeordnet. Eine physikalische Größe besteht immer aus einem Zahlenwert und einer Einheit.

### **7.2 Wie werden die Werte physikalischer Größen dargestellt?**

$$G = \{G\} \cdot [G]$$

### **7.3 Was verstehen Sie unter der „Einheit“ einer physikalischen Größe? Auf welche Weise werden Basiseinheiten zu abgeleiteten Einheiten kombiniert?**

Jeder physikalischen Größe ist eine Einheit zugeordnet. z.B. Länge Meter, Masse Kilogramm, Energiemenge Joule, ...

Durch Potenzprodukte der Form:

$$[G] = (1\text{m})^\alpha \cdot (1\text{kg})^\beta \cdot (1\text{s})^\gamma \cdot (1\text{A})^\delta \cdot (1\text{K})^\epsilon \cdot (1\text{mol})^\zeta \cdot (1\text{cd})^\eta$$

### **7.4 Was versteht man unter einer Einheitentransformation und wie ändert sich dabei der Zahlenwert eines Größenwertes? Worauf beruht diese Umrechnung?**

Die Umrechnung von einer Einheit in eine andere (dazwischen befindet sich ein Faktor  $\alpha$  z.B. von Grad Celsius in Kelvin). Für den Wert der Größe selbst ist Ihre Einheitenwahl belanglos, d.h. ein Größenwert ist invariant gegenüber Einheitentransformationen.

### **7.5 Was verstehen Sie unter einem kohärenten Einheitensystem?**

Ein kohärentes Einheitensystem beschränkt sich auf ein paar Basiseinheiten und sämtliche restlichen Einheiten werden von diesen Basiseinheiten abgeleitet.

## 7.6 Was ist der Unterschied zwischen „Dimension“ und „Einheit“ einer physikalischen Größe?

Jeder Dimension kann man eine Einheit zuordnen.

## 7.7 Welche Einheiten sind SI-Basiseinheiten und wie sind sie definiert? Welche abgeleiteten SI-Einheiten mit besonderem Namen und besonderem Zeichen kennen Sie?

Meter ist die Länge, die das Licht in der Zeit von  $\frac{1}{299792458}$  durchläuft.

Kilogramm ist mit einem Kilogrammprototyp definiert.

Sekunde ist 9 192 631 770 fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids  $^{133}\text{Cs}$  entsprechenden Strahlung.

Ampere ist die Stärke eines konstanten elektrischen Stromes, der, durch zwei parallele, unendlich lange und im Vakuum im Abstand von einem Meter voneinander angeordnete Leiter von vernachlässigbar kleinem, kreisförmigem Querschnitt fließend, zwischen diesen Leitern je einem Meter Leiterlänge die Kraft  $2 \cdot 10^{-7}$  Newton hervorrufen würde.

Kelvin ist der 273.16te Teil der thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes von Wasser.

Mol ist die Stoffmenge eines Systems, das genau so viele Einzelteilchen wie 0.012 Kilogramm  $^{12}\text{C}$  enthält.

Candela ist die Lichtstärke in eine bestimmte Richtung einer Strahlungsquelle mit monochromatischer Strahlung der Frequenz  $540 \cdot 10^{12}$  Hertz und deren Strahlstärke in dieser Richtung 1/683 Watt durch Steradian beträgt.

Radian (rad), Steradian (sr), Herz (Hz), Newton (N), Pascal (Pa), Joule (J), Watt (W), Coulomb (C),...

## 7.8 Wie heißen die international festgelegten Vorsätze, welche Zeichen werden dafür verwendet und welche Zahlenfaktoren kürzen sie ab? In welchem Sinn nimmt das Kilogramm bezüglich der Vorsatzzeichen eine Sonderstellung ein?

$10^{-18}$	Atto	a	$10^{18}$	Exa	E
$10^{-15}$	Femto	f	$10^{15}$	Peta	P
$10^{-12}$	Piko	p	$10^{12}$	Tera	T
$10^{-9}$	Nano	n	$10^9$	Giga	G
$10^{-6}$	Mikro	$\mu$	$10^6$	Mega	M
$10^{-3}$	Mili	m	$10^3$	Kilo	k
$10^{-2}$	Zenti	c	$10^2$	Hekto	h
$10^{-1}$	Dezi	d	$10^1$	Deka	da

Das kg ist die einzige kohärente SI-Einheit mit Vorzeichen!

**7.9 Warum sind Einheiten, die aus kohärenten SI-Einheiten mit Vorsätzen gebildet werden, keine kohärenten Einheiten des SI?**

**7.10 Welche gebräuchlichen Einheiten außerhalb des SI kennen Sie?**

Radiant, Steradian, Hertz, Newton, Pascal, Joule, Volt, Watt, Coulomb,...

**7.11 Welche Werte besitzen die folgenden physikalischen Konstanten (auf jeweils drei Stellen gerundet): Vakuumlichtgeschwindigkeit, Elementarladung, Ruhemasse des Elektrons, Ruhemasse des Protons, magnetische Feldkonstante, elektrische Feldkonstante, Avogadro-Konstante, Boltzmann-Konstante, Planck-Konstante?**

$c_0 = 300\text{km/s}$ ;  $e = 1,60 \cdot 10^{-19}\text{As}$ ;  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}\text{kg}$ ;  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$ ;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{Vs/Am}$ ;  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}\text{As/Vm}$ ;  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}\text{mol}^{-1}$ ;  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}\text{J/K}$ ;  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}\text{Js}$

**7.12 Was müssen Sie beim Ausführen von Operationen mit additivem Charakter bezüglich physikalischer Größen beachten?**

Die Operanden müssen die selbe Dimension besitzen.

**7.13 Was versteht man unter einer Größengleichung? Welchen Vorteil bietet die konsequente Verwendung kohärenter Einheiten?**

Alle Gleichungen einer respektablen physikalischen Theorie sind Größengleichungen. Die Größen erscheinen darin als Konstanten oder Variablen und werden durch Größensymbole repräsentiert. Größengleichungen sind unabhängig von den gewählten Einheiten.

**7.14 Warum muß der Definitionsbereich von Funktionen wie  $\sin(\cdot)$ ,  $\ln(\cdot)$  usw. immer aus Größen der Dimension  $1_D$  bestehen? Welche Dimension ist den Größen des Wertebereichs dieser Funktion zugeordnet?**

Aufgrund der eingeschränkten Additionsmöglichkeit kann in der Gleichung  $f(t) = t+t^2$   $t$  nur die Dimension 1 besitzen. Aus diesem Grund dürfen die Funktionen auch nur mit der Dimension 1 verwendet werden. Sie liefern immer die Dimension 1.

**7.15 Wozu dienen Zahlenwertgleichungen und was ist bei ihrer Verwendung zu beachten?**

Wenn man Formeln in einem speziellen Fall immer auf die gleiche Weise auswerten muss ist es meistens bequem, sich eine Beziehung zwischen den Zahlenwerten allein zurechtzulegen. Diese nennt man Zahlenwertgleichung. Immer die Verwendete Einheit als Index angeben!

## 8 Stromkreise und einfache Stromkreiselemente

TODO

## 9 Das elektrische Feld

### 9.1 Wie lassen sich elektrische Spannungsverteilungen im Prinzip mit Testladungen ausmessen?

Man kann Testladungen im Raum (elektrischen Feld) bewegen und die verrichtete Arbeit messen und so auf das elektrische Feld schließen.

### 9.2 Durch welche allgemeinen Eigenschaften sind elektrische Spannungen gekennzeichnet?

Sie sind orientiert, SI-Einheit Volt, ladungsbezogene Arbeit, jede geschlossene Umlaufspannung ist 0V (ohne Induktion)

### 9.3 Welche speziellen Eigenschaften besitzen elektrische Spannungsverteilungen im elektrostatischen und im quasielektrostatischen Fall?

Jede geschlossene Umlaufspannung ist 0V unter Vernachlässigung der zeitlichen Änderungsrate des magnetischen Flusses.

### 9.4 Wie lautet der Satz von der elektrischen Umlaufspannung?

$$U(\partial\mathcal{A}) = 0$$

Jede geschlossene Umlaufspannung ist 0V

### 9.5 Wie hängt der Satz von der elektrischen Umlaufspannung mit der zweiten Kirchhoff-Regel zusammen?

Für jede geschlossene, einheitlich orientierte Kurve ist die insgesamt zugeordnete Spannung gleich Null.

Jede geschlossene Umlaufspannung ist 0V.

### 9.6 Mit welcher Argumentation folgt aus der Gültigkeit des Satzes von der elektrischen Umlaufspannung die Wegunabhängigkeit der elektrischen Spannung?

Wenn eine Kurve  $\mathcal{C}$  einen Ort  $\mathcal{P}$  mit einem Ort  $\mathcal{Q}$  verbindet, so hängt die zugeordnete Spannung  $U(\mathcal{Q})$  nur von der Lage der Orte  $\mathcal{P}$  und  $\mathcal{Q}$  ab, nicht aber vom Verlauf der Kurve dazwischen.

### **9.7 Unter welchen Bedingungen existiert ein elektrostatisches Potential?**

Wenn sich die Verteilung der elektrischen Ladungen im Raum mit der Zeit nicht ändert.

### **9.8 Wie hängen das elektrostatische Potential und die elektrische Spannung zusammen?**

Die Spannung ist die Differenz zweier Potentiale.

$$U_{\mathcal{P}\mathcal{Q}} = \varphi_{\mathcal{P}} - \varphi_{\mathcal{Q}}$$

### **9.9 Welche SI-Einheit ist dem elektrostatischen Potential zugeordnet?**

$$1V = 1\text{kgm}^2\text{s}^{-3}\text{A}^{-1}$$

### **9.10 Durch welche Art von Feld lässt sich das elektrostatische Potential mathematisch erfassen?**

Skalares Feld.

### **9.11 Warum stellt ein stromfreier, elektrisch leitfähiger Körper einen Bereich konstanten Potentials dar?**

Weil die Ladungen im Körper sich so einstellen, dass ein konstantes Potential entsteht. Dort wo das Potenzial zu hoch ist, werden negative Ladungen „angezogen“ und es stellt sich so ein konstantes Potential ein. Dort wo das Potenzial zu niedrig ist, werden positive Ladungen „angezogen“ und es stellt sich so ein konstantes Potential ein.

### **9.12 Was verstehen Sie unter einer Potentialfläche?**

Eine Potentialfläche ist eine Fläche konstanten Potentials. Potentialflächen schneiden sich nie, denn sonst würde der Schnittpunkt zwei verschiedene Potentiale in einem Punkt vereinigen.

### **9.13 Auf welche Art wird im Bild der Potentialflächen die Wegunabhängigkeit der elektrischen Spannung erfasst?**

Man errechnet die Spannung durch Zählen der Durchtritte von Potentialflächen, wobei der Durchtrittssinn auch beachtet werden muss, mal der Differenz zweier Potentialflächen. Beim Ergebnis (der Spannung) ist es egal, wo die zwei Flächen durchtreten werden und wie oft eine Fläche durchtreten wird, wenn sie nachher wieder in andere Richtung durchtreten werden, wird diese Spannung ja wieder subtrahiert wird.

**9.14 Wie lässt sich im elektrostatischen Fall aus dem Bild der Potentialflächen der Begriff der elektrischen Feldstärke ableiten?**

Aus dem Abstand der Potentialflächen. Um so näher die Potentialflächen aneinander liegen um so höher ist das elektrische Feld.

**9.15 Welche Art von Feld verwenden wir zur mathematischen Darstellung der elektrischen Feldstärke?**

Ein skalares Feld

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dl} \vec{e}_l$$

Richtung ist Normalabstand zwischen Potentialflächen

**9.16 Welche SI-Einheit ist der elektrischen Feldstärke zugeordnet?**

$$\text{V/m} = 1\text{kgms}^{-3}\text{A}^{-1}$$

**9.17 Was verstehen Sie unter einem homogenen elektrischen Feld?**

In einem homogenen Feld sind die Potentialflächen parallel zueinander.

**9.18 Wie hängt das elektrostatische Potential mit dem Begriff der potentiellen Energie zusammen?**

Da es in einem elektrischen Feld Kraft bedarf eine Ladung zu bewegen, kann man jeder Position eine potentielle Energie zuordnen, die Proportional zu dem Potential ist.

**9.19 Warum ist die Festlegung der elektrischen Feldstärke als ladungsbezogene Kraft allgemeiner als die über das Potential?**

Weil ein Potential auch die magnetischen Kräfte berücksichtigen muss und nicht nur als ladungsbezogene Kraft.

**9.20 Wie lässt sich die elektrische Spannung allgemein als Kurvensumme der elektrischen Feldstärke darstellen?**

$$U(\mathcal{C}) = \int_{\mathcal{C}} E_s \cdot ds$$

**9.21 In welchen Sinn sprechen wir von einem „elektrischen Fluss“?**

Elektrisch geladene Körper beeinflussen einander. Die Wechselwirkung „fließt“ von Zwischenraum zu Zwischenraum. Diese Wechselwirkung nennt man elektrischen Fluss und die Einheit ist As.

**9.22 Was verstehen Sie unter den „Quellen“ und „Senken“ des elektrischen Flusses? Durch welche physikalische Größe werden sie beschrieben?**

Quellen sind Körper, Orte, wo elektrische Flüsse entspringen. Senken sind Körper, Orte, wo elektrische Flüsse enden. Senken sind negative Quellen. Die Einheit ist As.

**9.23 Was bedeutet Influenz?**

Die Erscheinung, dass in elektrisch-leitfähigen Körpern in einem elektrischen Feld an den Oberflächen Ladungen auftreten.

**9.24 Wie lässt sich der elektrische Fluss mit Hilfe von Doppelscheiben im Prinzip quantitativ erfassen?**

Wenn man die 2 Plättchen trennt, kann man die induzierte elektrische Ladung messen und so Rückschlüsse auf das elektrische Feld ziehen.

**9.25 Auf welche Weise erfasst das Bild der Flussröhrchen eine elektrische Flussverteilung?**

An jeder Quelle entspringen elektrische Flussröhrchen und an jeder Senke verschwinden diese Flussröhrchen wieder.

**9.26 Welche SI-Einheit ist dem elektrischen Fluss zugeordnet?**

1 As

**9.27 Wie lautet der Satz vom elektrischen Hüllenfluss?**

$$\Psi(\partial\mathcal{V}) = Q(\mathcal{V})$$

**9.28 Warum enthält eine elektrische Flussverteilung die vollständige Information über die elektrische Ladungsverteilung?**

Der elektrische Fluss der durch die Oberfläche eines Körpers tritt ist gleich der eingeschlossenen Ladung.

**9.29 Was verstehen Sie unter den Begriffen Punktladung, Linienladung, Flächenladung und Raumladung? Wie werden diese mathematisch erfasst?**

Punktladung hat keinen (vernachlässigbar kleinen) Raum.

$$Q(\mathcal{V}) = \sum_{k=1}^n Q_k$$

Linienladungen sind Ladungen entlang einer Linie; der Raum dieser Linien ist zu vernachlässigen.

$$\tau = \frac{dQ}{ds}$$

Flächenladung sind Ladungen auf Flächen; der Raum dieser Linien ist zu vernachlässigen.

$$\sigma = \frac{dQ}{dA}$$

Raumladungen sind Ladungen in einem Raum mit einer gewissen Gestalt.

$$\rho = \frac{dQ}{dV}$$

Die Auswirkungen der einzelnen Ladungen werden punktuell addiert.

### 9.30 Was beschreibt die elektrische Flussdichte?

Wie dicht die Flussröhrchen aneinander gereiht sind. Den Fluss der durch eine Fläche geht, wobei bei der Berechnung der Normalabstand der zum elektrischen Fluss genommen werden.

### 9.31 Welche Art von Feld verwenden wir zur mathematischen Darstellung der elektrischen Flussdichte?

Skalares Feld

### 9.32 Welche SI-Einheit ist der elektrischen Flussdichte zugeordnet?

Ampere mal Sekunden pro Quadratmeter, As/m<sup>2</sup>

### 9.33 Wie lässt sich der elektrische Fluss allgemein als Flächensumme der elektrischen Flussdichte darstellen?

$$\Psi(\mathcal{A}) = \int_{\mathcal{A}} D_n \cdot dA$$

### 9.34 Welches elektrische Feld stellt sich in der Umgebung einer einzelnen Punktladung im leeren Raum ein? Geben Sie Formeln an für die elektrische Feldstärke und für die elektrische Flussdichte.

Ein Kugelfeld mit Mittelpunkt der Ladung

$$\vec{D} = \frac{Q}{4\pi r^2} \vec{e}_r$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \vec{e}_r$$

**9.35 Wie lautet die Verknüpfungsbeziehung zwischen der elektrischen Feldstärke und der elektrischen Flussdichte im leeren Raum?**

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

**9.36 Welchen Wert besitzt die elektrische Feldkonstante?**

$$\varepsilon_0 = 8.854 \text{pF/m}^2$$

**9.37 Was bedeutet die Verknüpfungsbeziehung im leeren Raum geometrisch für die Bilder der Potentialflächen und Flussröhren?**

Die Potentialflächen liegen enger beieinander.

**9.38 Wie ist der Begriff der der Kapazität der einer Zweileiteranordnung erklärt? Geben Sie auch die Voraussetzungen dafür an.**

Der Partner ist weit entfernt, kann deshalb vernachlässigt werden. Deshalb muss man nur die Kapazität einer Leitung berechnen.

**9.39 Welche SI-Einheit ist der Kapazität zugeordnet?**

$$1 \text{ Farad} = 1 \text{ Ampere} \cdot \text{Sekunden} / \text{Volt}, C = I \cdot t / U, [\text{F}] = [\text{As/V}]$$

**9.40 Wie lauten die Formeln für die Kapazitäten eines leeren Plattenkondensators und eines leeren Kugelkondensators?**

$$\text{Plattenkondensator: } C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad \text{Kugelkondensator: } C = \varepsilon_0 \frac{4\pi r_1 r_2}{r_2 - r_1}$$

**9.41 Was verstehen Sie unter dem „Kontinuumsmodell“?**

Man arbeitet mit makroskopischen Körpern, das heißt es wird nicht auf die körnige Struktur des Körpers eingegangen.

**9.42 Was ist ein „Dielektrikum“?**

Ein elektrisch isolierendes Material, das von einem elektrischen Feld durchsetzt wird.

**9.43 Was bedeutet „elektrische Polarisierung“?**

Durch Ladungsverschiebungen im Dielektrikum werden die Atome ausgerichtet, dadurch kommt es zu einer Verkürzung der Flussröhren, diesen Vorgang nennt man Polarisierung.

**9.44 Unter welchen Umständen bezeichnet man ein Dielektrikum als isotrop?**

Stimmt die Richtung der elektrische Flussdichte in jedem Punkt mit der Richtung der elektrischen Feldstärke überein, so sprechen wir von einem isotropen Dielektrikum.

**9.45 Wie lautet die Verknüpfungsbeziehung zwischen elektrischer Feldstärke und elektrischer Flussdichte in isotropen Dielektrika?**

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

**9.46 Welche SI-Einheiten sind der Permittivität und der Permittivitätszahl zugeordnet?**

Permittivität = As / Vm; Permittivitätszahl = 1

**9.47 Wann bezeichnet man ein Dielektrikum als linear, wann als nichtlinear?**

Linear ist, wenn die Permittivität nicht abhängig von der elektrischen Feldstärke ist. Nichtlinear ist, wenn die Permittivität abhängig von der elektrischen Feldstärke ist.

**9.48 Was verstehen Sie unter „Dielektrizitätskonstante“, was unter „Dielektrizitätszahl“?**

Dielektrizitätskonstante = Permittivität; Dielektrizitätszahl = Permittivitätszahl

**9.49 Welchen Wert besitzt die Dielektrizitätszahl von Luft unter normalen Bedingungen?**

Ca. 1 (1.00059)

**9.50 Wie beschreiben Sie ein lineares homogenes isotropes Dielektrikum?**

Ein Dielektrikum bei dem die Feldstärke in jedem Punkt proportional zur Feldstärke ist (selbe Richtung) und das (dessen Dielektrizitätskonstante) unabhängig von der Feldstärke ist.

## **10 Schaltungen mit Kondensatoren**

**10.1 Nach welchem Prinzip sind elektrische Kondensatoren grundsätzlich aufgebaut?**

2 Platten stehen sich parallel gegenüber und haben einen bestimmten Abstand.

## 10.2 Wozu dient ein Dielektrikum in Kondensatoren?

Es bewirkt die elektrische Isolierung, sorgt für ausreichend Spannungsfestigkeit und erhöht die Kapazität.

## 10.3 Wie lautet die Grundgleichung von Kondensatoren und was müssen Sie bei ihrer Aufgabe hinsichtlich der Bezugssinne beachten?

$Q = CU$  Die Spannung und die Ladung muss vorzeichenrichtig eingesetzt werden.

## 10.4 Was bedeutet „Ein Kondensator ist geladen“?

Es befindet sich Überschussladung im Kondensator und es liegt eine Ladung an.

## 10.5 Wodurch ist das Modell eines idealen Kondensators gekennzeichnet?

Keine Verluste durch das Dielektrikum  $\dot{Q} = I; I = CU$ . 1. Kirchhoff: Der momentan zufließende Strom ist gleich dem momentan anfließenden. Wenn jedoch eine Hülle wie  $\partial\mathcal{V}$  den Raum zwischen den beiden Elektroden durchsetzt, dann ist die eingeschlossene Ladung gleich der Überschussladung auf der umfassten Elektrode, und ihre zeitliche Änderungsrate ist nach dem Erhaltungssatz gleich dem zufließenden elektrischen Strom, also  $\dot{Q} = I$

## 10.6 Wie lautet die dynamische Gleichung idealer Kondensatoren?

$$I = CU$$

## 10.7 Wie ist die Zeitkonstante einer R-C-Reihenschaltung erklärt und worin liegt ihre Bedeutung?

$\tau = RC$  gibt die Steigung der Spannung am Anfang an und nach  $1 \tau$  ist hat die Spannung 63% der zu erreichenden Spannung erreicht, nach  $5 \tau$  ist die Spannung die zu erreichende Spannung

## 10.8 Wie lauten die Formeln für die Ersatzkapazität einer direkten Parallelschaltung und einer direkten Reihenschaltung von Kondensatoren?

Parallelschaltung:  $C = C_1 + C_2$  Reihenschaltung:  $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

## 10.9 Auf welche Weise lässt sich der Kapazitätsbegriff auf mehr als zwei Leiter erweitern?

Einfach jeden Knoten mit jedem Knoten, zwischen denen eine Kapazität auftritt, mit einem Kondensator verbinden.

### **10.10 Was bedeutet der Begriff „Teilkapazität“ und wie hängt er mit den elektrischen Flüssen zusammen?**

Man kann einen Kondensatorwert auch aus mehreren Teilkapazitäten berechnen  $Q = CU$

## **11 Ergänzendes zum elektrischen Feld**

### **11.1 Was besagen die Sätze von den Extremwerten des elektrostatischen Potentials und der elektrischen Feldstärke?**

In einem leeren, ladungsfreien Feldgebiet liegen die Extremwerte (Maxima und Minima) des elektrostatischen Potential immer an den Rändern. In einem leeren, ladungsfreien Feldgebiet liegen die Maximalwerte des Betrages der elektrischen Feldstärke (und damit auch der elektrischen Flussdichte) im statischen Fall immer an den Rändern.

### **11.2 Wie sind die zu einem Vektorfeld gehörenden Vektorlinien erklärt und wie entstehen daraus Feldlinien?**

Vektorlinien entstehen so: Man hat einen Punkt und folgt dem Vektor in dem Punkt ein kleines Stück und im neuen Punkt folgt man dem neuen Vektor wieder ein Stück. Man kann diese Schritte beliebig klein wählen, dann wird die Kurve glatt. Wenn man jetzt ein so ein Vektorsystem aufstellt und die Kurven einzeichnet, dann entsteht ein System von Feldlinien.

### **11.3 Was sind elektrische Feldstärkelinien und elektrische Flussdichtelinien und wann sprechen wir einfach von elektrischen Feldlinien?**

Elektrische Feldstärkelinien sind die Feldlinien des elektrischen Feldes. Elektrische Flussdichtelinien sind die Feldlinien der elektrischen Flussdichte. Elektrische Feldstärkelinien verlaufen nicht immer genau gleich wie elektrische Flussdichtelinien, sie können um einen Faktor größer oder kleiner sein. Wenn man diesen Faktor so wählt, dass beide Feldlinien ident sind, dann spricht man von elektrischen Feldlinien.

### **11.4 Welche geometrische Bedingung gilt für die Vektorlinien der elektrischen Feldstärke an der Oberfläche stromfreier Leiter? Wie ist sie zu begründen?**

Vektorlinien an der Oberfläche stromfreier Leiter stehen immer im rechten Winkel zu der Oberfläche. Weil sonst die Ladungen entlang der Oberfläche bewegt würden.

### **11.5 Warum verschwindet im ladungsfreien, einfach zusammenhängendem Hohlraum eines stromfreien Leiters das elektrische Feld?**

Weil sich die Ladungen alle an der Oberfläche ansammeln, im inneren des Körpers ist das Potential konstant, sprich es gibt kein elektrisches Feld. Wenn sich jetzt ein

Hohlraum im Leiter befindet, ist dort auch kein elektrisches Feld

### **11.6 Wozu dient ein Faraday-Käfig und wie funktioniert er?**

Ein (weitmaschiges) Drahtnetz ist sogar ausreichend um das elektrische Feld abzublocken wenn man jetzt einen Käfig zur Abschirmung baut, dann nennt sich der Faraday-Käfig.

### **11.7 Warum wirkt eine elektrostatische Abschirmung zwar von außen nach innen, i.a. nicht aber umgekehrt?**

Abschirmung von außen nach innen: siehe Frage 5 Abschirmung von innen nach außen: Funktioniert nicht! Bsp: Wenn sich jetzt eine pos. Ladung im Hohlraum befindet, zieht diese negative Ladungen an, dadurch entstehen positive Ladungen an der Oberfläche des einschließenden Körpers, sprich das elektrische Feld wird nicht abgeschirmt.

### **11.8 Wie sind elektrostatische Bandgeneratoren grundsätzlich aufgebaut und wie funktionieren sie?**

Auf einem Band befinden sich Körper die Ladungen aufnehmen und am anderen Ende des Bandes wieder abgeben. Somit sammeln sich auf der einen Seite viele Ladungen an und es entsteht ein elektrisches Feld und Spannung.

### **11.9 Welchen Wert besitzt das mittlere elektrische Erdfeld in Bodennähe nach Betrag und Richtung?**

130 V/m senkrecht zur Erdoberfläche ansteigend

### **11.10 Warum lässt sich das elektrische Erdfeld technisch nicht nutzen?**

Weil man immer am Boden steht und dann das gewünschte Potential mit der Erde kurzschließt.

## **12 Verteilte Elektrische Ströme**

### **12.1 Welches geometrische Bild können Sie zur Veranschaulichung eines elektrischen Strömungsfeldes verwenden?**

Ein Bild von Rohren mit einem bestimmten Durchmesser, durch die eine Flüssigkeit strömt.

### **12.2 Wie ist die elektrische Stromdichte erklärt?**

Als Menge des Stromes durch eine Querschnittsfläche  $J = I_0/A$

**12.3 Welche SI-Einheit ist der elektrischen Stromdichte zugeordnet?**

Ampere pro Quadratmeter, A / m<sup>2</sup>

**12.4 Was verstehen Sie unter einem homogenen, was unter einem inhomogenen elektrischen Strömungsfeld?**

Homogen: Wenn sich die Stromdichte von Ort zu Ort nicht ändert.

**12.5 Wie lässt sich die elektrische Stromstärke allgemein als Flächensumme der elektrischen Stromdichte darstellen?**

$$I(\mathcal{A}) = \int_{\mathcal{A}} J_n dA$$

**12.6 Wann spricht man von „Flächenströmen“?**

Wenn sich der Strom nur auf der Oberfläche eines Leiters und nicht über den ganzen Leiter ausbreitet.

**12.7 Wie ist die elektrische Flächenstromdichte erklärt? Welche SI-Einheit ist ihr zugeordnet?**

$K = I_0/s$  s ist normal auf Flussrichtung

**12.8 Was versteht man unter „Durchflutung“?**

Wenn man seine Querschnittsfläche so wählt, dass mehrere Ströme durchfließen, dann nennt man das Durchflutung, denn die Fläche wird von Strömen durchflutet.

**12.9 Wie lautet das Ohmsche Gesetz in vektorieller Form?**

$$\vec{E} = \rho \vec{J} \quad \vec{J} = \gamma \vec{E}$$

**12.10 Welchen Wert besitzt die elektrische Leitfähigkeit von Leitungskupfer bei 20 °C?**

$56 \cdot 10^6$  S/m

**13 Elementare Methoden der Berechnung elektrische Felder**

**13.1 Was besagt das Überlagerungsprinzip für elektrische Felder und worauf müssen Sie bei seiner Anwendung im speziellen achten?**

Dass wenn man Punktladungen hat und sich das Potential oder die Feldstärke in einem Punkt ausrechnen will, man nur das Potential oder die Feldstärke für jede Punktladung

ausrechnen muss und dann zusammenzählen muss. Bei Errechnen der Feldstärke muss man auch auf die Richtung der Feldstärke achten.

### 13.2 Wie lauten die Formeln für das Potential und die Feldstärke einer Ansammlung ruhender Punktladungen im leeren Raum?

$$\varphi(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{Q_k}{r_{\mathcal{P}k}}$$

$$\vec{E}(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{k=1}^n \frac{\vec{e}_{\mathcal{P}k} Q_k}{r_{\mathcal{P}k}^2}$$

### 13.3 Wie sieht das elektrische Feld eines Paares gleich großer Punktladungen in ihrer näheren Umgebung und in großem Abstand davon aus?

Kugelförmiges Feld mit dem Mittelpunkt der Mittelpunkt zwischen den beiden Ladungen

### 13.4 Welche Feldkonfiguration stellt sich in der Umgebung eines ungleichnamigen Punktladungspaares ein?

Wie ein Dipol in der Mitte Potential 0, und oben und unten dann positives oder negatives Feld Fast Halbkreisförmig, nur um so näher in der Mitte um so weniger genau Halbkreis.

### 13.5 Wie ist das elektrische Moment zweier entgegengesetzt gleich großer Punktladungen erklärt?

Es werden die beiden Punktladungen und ihre gegenseitige räumliche Lage zu einer Vektorgröße zusammengefasst. Die Richtung des Moments weist stets von der negativen zur positiven Ladung.

### 13.6 Was verstehen Sie unter einem Punktdipol?

Von einem Punkt gehen im Makroskopischen in die eine Richtung ein positiver elektrischer Fluss aus und in die andere Richtung ein negativer elektrischer Fluss.

### 13.7 Wie lauten die Formeln für das Potential und die Feldstärke eines Punktdipols in allgemeiner Lage?

$$\varphi(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p_{\mathcal{P}1}}{r_{\mathcal{P}1}^2}$$

$$\vec{E}(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{3\vec{p}_{\mathcal{P}1} - \vec{p}}{r_{\mathcal{P}1}^3}$$

**13.8 Wie ist das elektrische Moment einer Ansammlung von Punktladungen erklärt und wann ist sein Wert unabhängig vom Bezugsort?**

Man nimmt eine Kugel in der sich alle Punktladungen befinden und errechnet davon das Moment. Der Wert wird in großer Entfernung unabhängig.

**13.9 Unter welchen Umständen nimmt das elektrische Feld einer allgemeinen Ladungsverteilung den Charakter eines Dipolfeldes an?**

Wenn die Gesamtladung des Moments gleich 0 ist.

**13.10 Wann sprechen wir von elektrischen Linienladungen? Geben Sie die allgemeinen Ausdrücke für das Potential und die Feldstärke einer Linienladung im leeren Raum an.**

Wenn die Ladung auf einer Linie verteilt sind keine räumlich Ausdehnung sonst.

$$\varphi(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{L}} \frac{\tau(\mathcal{L})ds}{r_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}}$$
$$\vec{E}(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{L}} \frac{\vec{e}_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}\tau(\mathcal{L})ds}{r_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}^2}$$

**13.11 Welche Gestalt besitzen die Potentialflächen und die Flussröhren in der Umgebung eines gleichförmig geladenen, geraden Stabes?**

Potentialflächen: Zylindrisch mit Drehachse den Stab Flussröhren gehen radial weg.

**13.12 Wie lauten die Formeln für Potential und Feldstärke einer gleichförmig geladenen Geraden (beidseitig unendlich ausgedehnt)? Welche Gestalt besitzen die zugehörigen Potentialflächen und Feldlinien?**

$$\varphi = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)$$
$$\vec{E} = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{e}_{\rho}}{\rho}$$

Potentialflächen zylindrisch; Feldlinien: radial

**13.13 Was verstehen Sie unter einer Flächenladung? Geben Sie die allgemeinen Ausdrücke für das Potential und die Feldstärke einer Flächenladung im leeren Raum an.**

Ladungen befinden sich auf einer Fläche, sonst keine räumliche Ausdehnung.

$$\varphi(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{A}} \frac{\sigma(\mathcal{A})dA}{r_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}}$$

$$\vec{E}(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{A}} \frac{\vec{e}_{\mathcal{P}\mathcal{Q}} \sigma(\mathcal{A}) dA}{r_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}^2}$$

**13.14** Wie hängen die Werte der elektrischen Feldstärke im Raum zwischen und neben zwei parallelen, gleichförmig geladenen Ebenen mit den Flächenladungsdichten zusammen, wenn die Ebenen gleich bzw. wenn sie entgegengesetzt gleich geladen sind?

Gleich, zwischen den Platten:  $\vec{E} = 0$  Gleich außerhalb der Platten:  $\vec{E} = \sigma/\epsilon_0 \vec{e}$  Umgekehrt, zwischen den Platten:  $\vec{E} = \sigma/\epsilon_0 \vec{e}$  Umgekehrt, außerhalb der Platten:  $\vec{E} = 0$

**13.15** Wie lauten die allgemeinen Ausdrücke für das Potential und die Feldstärke einer Raumladung?

$$\varphi(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{V}} \frac{\varrho(\mathcal{Q}) dV}{r_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}}$$

$$\vec{E}(\mathcal{P}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{\mathcal{V}} \frac{\vec{e}_{\mathcal{P}\mathcal{Q}} \varrho(\mathcal{Q}) dV}{r_{\mathcal{P}\mathcal{Q}}^2}$$

**13.16** Wie verläuft die elektrische Feldstärke innerhalb und außerhalb einer gleichförmig elektrisch geladenen Vollkugel?

Immer kugelförmig Innerhalb nimmt es nach außen hin zu Außerhalb nimmt es mit  $\frac{1}{r}$  ab.

**13.17** Auf welche Weise können Sie Ausschnitte bekannter Felder für die Ermittlung von Feldgrößen bei gegebenen Potential-Randwerten benützen? Geben Sie Beispiele an.

Man nützt bekannte Felder aus um schneller zu einem Ergebnis zu kommen. Beispiel: Ladung über einer Fläche (0V), dann kann man sich hinter der Fläche im selben Abstand eine entgegengesetzt gleich große Ladung vorstellen das Ergebnis ist ein 0 Potential entlang der Fläche. Es ist einfacher mit 2 Punktladungen zu rechnen, als mit 1 Punktladung und einer unendlich ausgedehnten Fläche.

**13.18** Wie lautet die Formel für die längenbezogene Kapazität einer Koaxialleitung?

$$C' = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln(D/d)}$$

Wobei d Durchmesser der Innenleitung und D Aussendurchmesser ist

**13.19 Wie lautet die Formel für die längenbezogenen Kapazitäten einer Doppelleitung und einer Einfachleitung über dem Erdboden in der Näherung großer Abstände?**

Doppelleitung:  $C' = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln(2D/d)}$  Wobei  $d$  Durchmesser der Leitungen und  $D$  Abstand der Leitungen ist.

Erdboden:  $C' = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln(4h/d)}$  Wobei  $d$  Durchmesser der Leitung und  $h$  Höhe der Leitung über dem Erdboden.

**13.20 Wie groß ist die maximale Feldstärke an einer insgesamt ungeladenen, leitfähigen Kugel, wenn diese in ein ursprünglich homogenes elektrisches Feld gebracht wird? Wo tritt dieser Maximalwert auf?**

$3E_0$  Der Maximalwert tritt in der Mitte der Kreisfläche auf, wenn man in Feldrichtung auf die Kugel sieht, bzw. gegen die Feldrichtung auf die Kugel sieht.

**14 Globale und lokale Eigenschaften elektrischer Felder**

**14.1 Wie lautet der Satz von der Erhaltung der elektrischen Ladung? Gilt er allgemein?**

$I(\partial\mathcal{V}) = Q(\mathcal{V})$  Der Strom der durch die Hülle eines Körpers tritt ist gleich der eingeschlossenen Ladung. Ja, es ist allgemein gültig.

**14.2 Was verstehen Sie unter einer Sprungfläche?**

Eine Fläche an der Sprünge von Feldgrößen auftreten.

**14.3 Wie wirkt sich der Satz von der Erhaltung der elektrischen Ladung an einer Sprungfläche aus?**

Allgemein ein Sprung:  $[[A]] = A + -A$  - Erhaltung der elektrischen Ladung:  $[[J_n]] = -\dot{\sigma}$  Der Sprung der Normalenprojektion der elektrischen Stromdichte ist gleich der negativen zeitlichen Änderungsrate.

**14.4 Wie lautet die lokale Kontinuitätsgleichung für die elektrische Ladung?**

$$\frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} + \frac{\partial J_z}{\partial z} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

**14.5 Welche Form nimmt der Satz vom elektrischen Hüllenfluß an Sprungflächen an?**

$[[D_n]] = \sigma$  Der Sprung der Normalenprojektion der elektrischen Flussdichte ist gleich der Flächenladungsdichte.

**14.6 Welches Verhalten des elektrostatischen Potentials an Sprungflächen folgt aus dem Satz der elektrischen Umlaufspannung? Gilt dieser Satz allgemein?**

Der Satz  $U(\partial\mathcal{A}) = 0$  gilt nur im elektrostatischen oder quasi-elektrostatischen Bereich.

$$\llbracket\varphi\rrbracket = 0$$

Wenn man jetzt die Sprungfläche aber als dünnes Grenzgebiet ansieht, dann folgt:

$$\llbracket\sigma\rrbracket = -U_c$$

**14.7 Wie verhält sich die elektrische Feldstärke an einer Sprungfläche?**

$$\llbracket\vec{E}_t\rrbracket = \vec{0}$$

**14.8 Wie verhält sich die elektrische Stromdichte speziell an der Grenzfläche eines Leiters zu einem Isolator?**

$$\sigma = \llbracket D_n \rrbracket = \epsilon_0 \llbracket E_n \rrbracket = \epsilon_0 \left( \frac{1}{\gamma^+} - \frac{1}{\gamma^-} \right) J_n$$

**14.9 Durch welche Materialgleichungen werden isotrope Dielektrika und isotrope Leiter in einfachen Fällen beschrieben?**

$$\vec{J} = \gamma \vec{E}$$

**14.10 Warum gibt es beim stationären Stromübertritt an einer Kontaktfläche i.a. Flächenladungen?**

Weil  $J_n^+$  und  $J_n^-$  gleich groß sind. An einer ladungsfreien ( $\sigma = 0$ ) Grenzfläche zwischen zwei Dielektrika sind die Normalkomponenten der Flussdichte und die Tangentialkomponenten der Feldstärke stetig, die Tangentialkomponenten der Flussdichte und die Normalkomponente der Feldstärke dagegen i.a. unstetig.