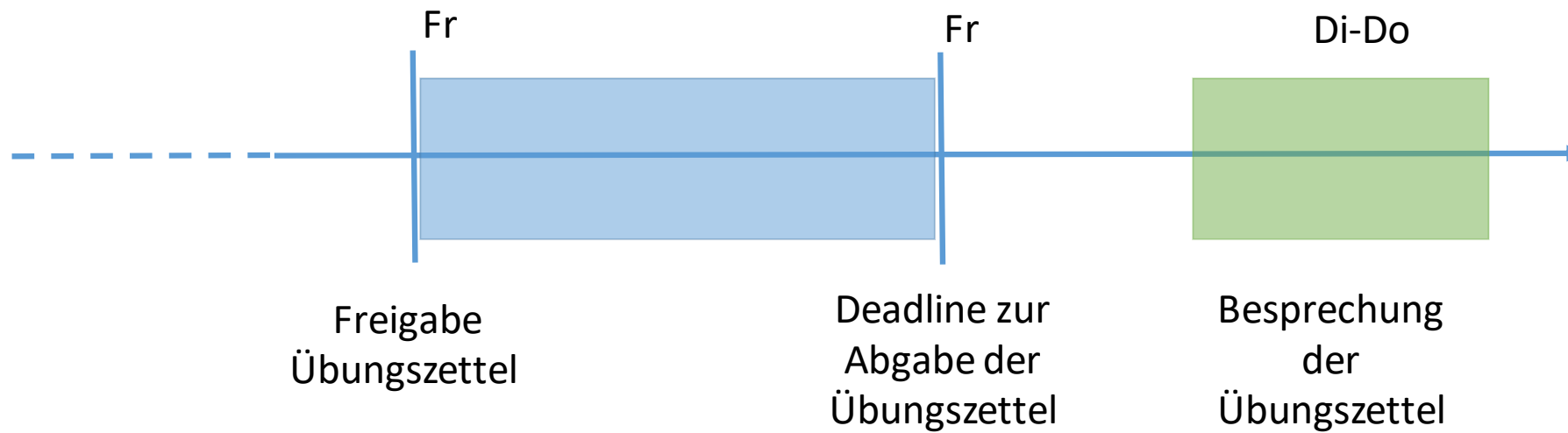


Die perfekte Übungsstunde (eine Utopie)

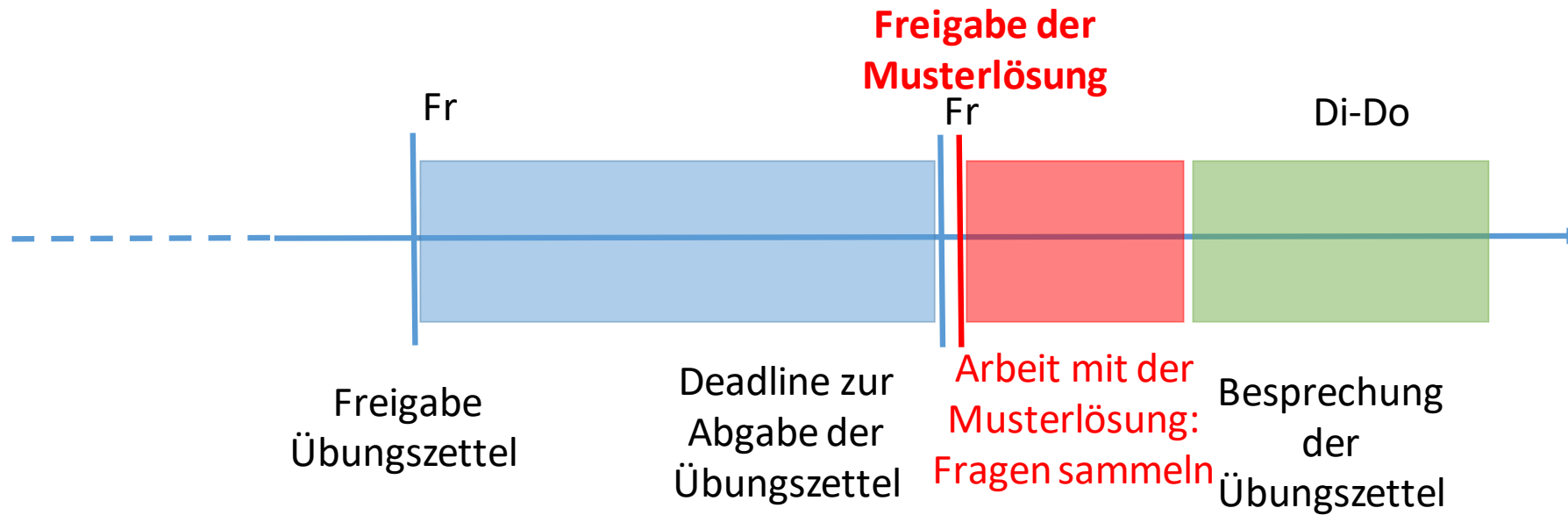
- Jede/r Student/in und auch der/die Tutor/in sind bestens vorbereitet.
- Es findet ein reger Austausch unter den Studierenden statt, der/die kompetente Tutor/in wird mit Fragen überrannt und gibt neue Impulse zur Weiterarbeit.
- Es herrscht eine Atmosphäre, in der keine Fragen peinlich sind, man sich gegenseitig hilft und individuell auf Schwierigkeiten eingehen kann.
- Wertschätzung von Mühe und Leistung, positive Feedbackkultur, hilfreiche Korrekturen
- Es werden alle Aufgaben ohne Zeitdruck durchgesprochen
- Hinterher sind alle viel schlauer als vorher und man kann die nächste Übungsstunde kaum erwarten.

Das Drei-Phasen-Modell* der Physik-Übung



*Ursprung dieser Bezeichnung unklar

Das Drei-Phasen-Modell* der Physik-Übung



*Ursprung dieser Bezeichnung unklar

Gestaltung der Übung

Die „klassische“ Übung

Besprechung der Übungsaufgaben, „Vorrechnen“ möglichst vollständiger Lösungswege, Rückfragen nah an den Übungen

Kenntnis der Musterlösung vorausgesetzt

Vorrechnen nicht immer nötig, Fokus auf Schwierigkeiten, Verständnis, Rückfragen und Aktivitäten über Übung hinaus

Gestaltungsmöglichkeiten

Effektivere Zeitnutzung
ermöglicht neue Methoden
des interaktiven und
vernetzten Lernens

**Worked-Out-
Examples**

Präsenzaufgabe

Concept-Maps

Gestaltungsmöglichkeiten

Rückfragen zu der Musterlösung klären
Einzelne Schritte in der Musterlösung begründen
Alternative Lösungswege studieren
Strukturierter Aufschrieb üben

Zum Thema des Übungsblattes
Alternativ: freie Gestaltung durch TutorIn

Sachstruktur eines Themengebiets erstellen

**Worked-Out-
Examples**

Präsenzaufgabe

Concept-Maps

Bestimmung des \vec{B} -Felds

- direkte Integration (Biot-Savart)

$$\vec{B}(\vec{r}) = -\frac{\mu_0}{4\pi} I \int_C \frac{(\vec{r} - \vec{r}') \times d\vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3}$$

- Ampere'sches Gesetz

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{r} = I$$

- Durch Vektorpotential

$$\vec{A}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{\vec{j}(\vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|} dV'$$

und $\vec{B} = \text{rot } \vec{A}$

Wechselwirkung mit Materie $\left\{ \begin{array}{l} \text{magn. Dipol} \\ \vec{p}_m = I \vec{A} \end{array} \right.$

Magnetisierung der Materie; Modell ausgedehnter Dipolmomente

Dipolmomente $(\vec{N} = \vec{p}_m \times \vec{B})$

$\vec{B}_{\text{mat}} = \vec{B}_{\text{vac}} + \vec{B}_{\text{pol}} = (1 + \chi_m) \vec{B}_{\text{vac}}$

$\chi_m < 0$ Dia-, $\chi_m > 0$ Para-, $\chi_m \gg 1$ Ferro-magn.

$\vec{H} = \vec{B}_{\text{vac}} / \mu_0$

$\rightarrow \vec{B} = \mu_0 N_F \vec{H} = N \vec{H}$

keine Quellen des \vec{B} -Felds
Stromdichten sind die Wirbelquellen

$\vec{\nabla} \times \vec{B}$

$\text{rot } \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$
 $\text{div } \vec{B} = 0$
lokale Formulierung der Maxwell-Gleichung

\vec{j}

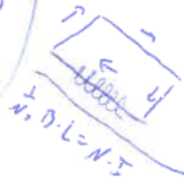
$I = \oint \vec{j} \cdot d\vec{A}$

I : Strom

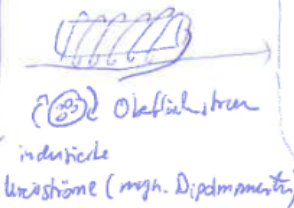
Satz v. Stokes

$\oint \vec{B} \cdot d\vec{r}$
Stokes'sche Schleife

$\oint_{\text{Rack}} \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 I_{\text{Rack}}$
 $\Psi_m = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
geschlossener!
globale Formulierung



Materiale Gleichung
 $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j}_{\text{frei}}$
 $\vec{\nabla} \cdot \vec{D} \neq 0$



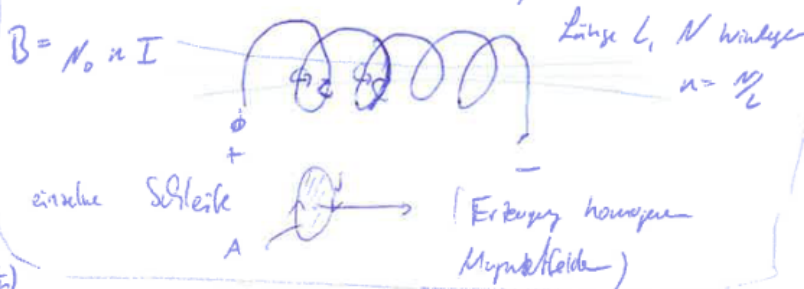
Strom durchflossene Leiter umgeben sich mit einem magn. Feldwirbel (Oerstedt 1820)

- Orientierung durch rechte-Hand-Regel
- Stromdichte: $|\text{rot } \vec{B}| \sim \frac{1}{r^2}$ (\neq isotrop)
- spezielle Geometrien: Zylinder, gerade Leiter; Leiterschleife; Spule; Spulenpaar

Strom durchflossene Leiter sind Kraft im äußeren Magnetfeld

Lorenzkraft $\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$
Magnetkräfte verrichten keine Arbeit $\vec{F}_m \cdot d\vec{l} = 0$
 \rightarrow Hall-Effekt, Messungsgleichwerke, Fadenstrahlrohr

Beispiel Spule (viele Leiterschleifen)



Berechnung

Das \vec{E} -Feld
 $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$, $\text{rot } \vec{E} = 0$

Feld einer Punktladung
 $\vec{E}(\vec{r}) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{(\vec{r}-\vec{r}_2)}{|\vec{r}-\vec{r}_2|^3}$
 $\Phi(\vec{r}) = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r}-\vec{r}_2|}$
 $\vec{E} = -\nabla \Phi = -\nabla \int \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|} dV'$

Berechnung \vec{E} -Feld
 Poisson: $\Delta \Phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0}$
 $\vec{E}(\vec{r}) = \int \frac{\rho(\vec{r}')}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r}-\vec{r}'|^3} dV'$
 $\vec{E} = -\nabla \Phi = -\nabla \int \frac{\rho(\vec{r}')}{\epsilon_0 |\vec{r}-\vec{r}'|} dV'$
 $\vec{E} = -\nabla \Phi = -\nabla \int \frac{\rho(\vec{r}')}{\epsilon_0 |\vec{r}-\vec{r}'|} dV'$

Spannung
 $U = \Phi(p_2) - \Phi(p_1)$

Zusammenhang Ladung und Spannung

Coulomb Kraft
 $\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$

Ladungen
 $Q_{ges} = \int \rho(\vec{r}) dV$
 Punktladung Q
 Linienladung λ
 Flächenladungsdichte σ
 Raumladungsdichte ρ

Kondensatoren Plattenkond.
 $E = \frac{U}{d}$
 $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$
 Parallel: $C_1 + C_2 + \dots = C_{ges}$
 Reihe: $\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \dots$
 $C_{ges} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

Energie
 $W_{el} = \int \rho \Phi dV = \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$
 Energiedichte: $w_{el} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

Materie im Magnetfeld
 Polarisation
 el. Dipol: $\vec{p} = q\vec{d}$
 Dipolmoment $\vec{p} = q\vec{d}$
 Drehmoment: $\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$
 $W_{pot} = -\vec{p} \cdot \vec{E}$
 inhom. Feld: $\vec{F} = \nabla(\vec{p} \cdot \vec{E})$

Materie im Kond.
 $E_{diel} = E_{vak} - E_{pot} = \frac{\sigma_{frei}}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_{gebunden}}{\epsilon_0}$
 $P = \epsilon_0 \chi E_{diel}$
 \vec{D} -Feld
 $\nabla \cdot \vec{D} = \nabla \cdot (\epsilon_0 (\vec{E} + \vec{P})) = \rho_{frei}$
 $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$

Energie Kond.
 $W = \frac{1}{2} CU^2$
 $w_{el} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

Beispiel Kondensator:
 Kapazität $C = \frac{Q}{U}$ immer
 Beispiele: Kugel, Zylinder, Platte
 $E = \frac{U}{d}$, $Q = \epsilon_0 \frac{A}{d} E$, $W_{el} = \frac{1}{2} CU^2$
 mit Dielektrikum: $\epsilon_0 \rightarrow \epsilon_0 \epsilon_r$
 Parallel: $C = \sum C_i$; Serie: $\frac{1}{C} = \sum \frac{1}{C_i}$

dielektrische Polarisation
 besitzt gebundene Ladungen
 äußeres Feld polarisiert das Dielektrikum
 induzierte Polarisation
 Polarisation: $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$
 wird von gebundenen Ladungen erzeugt
 $\vec{D} = \epsilon_0 (\chi + 1) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$
 $\epsilon_0 \nabla \cdot \vec{E} = \rho_{frei}$
 $\nabla \cdot \vec{D} = \rho_{frei}$
 $\vec{D} = \epsilon_0 (\chi + 1) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$
 $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ Materialgleichung

div $\vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
 $\text{rot } \vec{E} = 0$
 durch Ladungen erzeugte geschlossene Feldlinien
 Satz von Gauß
 allgemeines $\rho_{ges} = \int \rho(\vec{r}') dV'$
 $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho(\vec{r}')}{|\vec{r}-\vec{r}'|^3} dV'$
 Kugel (hohl/voll), Dipol, Punktladung/massen
 Zylinder, ebene Platte

Elektrostatik
 $\vec{E} = -\nabla \Phi$
 $\nabla \times \vec{E} = \text{rot } \vec{E}(\vec{r}) = 0$
 Arbeit
 $W = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = q \int \vec{E} \cdot d\vec{s}$
 elektrostatisches Potential
 Coulomb-Besetz
 $\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}$
 "Kraft auf Probeladung"
 "diskret, Superposition" $\vec{E} = -\nabla \Phi \Leftrightarrow \text{Arbeit}$
 Prinzip: $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$
 $\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r}-\vec{r}_i|^2} \frac{(\vec{r}-\vec{r}_i)}{|\vec{r}-\vec{r}_i|}$
 hängt nur von Start- und Endpunkt ab.
 Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten \vec{r}_1, \vec{r}_2
 $U_{21} = \int_{\vec{r}_2}^{\vec{r}_1} \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_i|} - \frac{1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_i|} \right)$
 Spannung $U_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^N q_i \left(\frac{1}{|\vec{r}_2 - \vec{r}_i|} - \frac{1}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_i|} \right)$
 [Potentiale können durch Äquivalenzpotentialflächen dargestellt werden]

Spiegelladungen
 weder Coulomb- noch Gaußsches Gesetz können angewandt werden
 Halbkugel $\chi = \infty$, $\forall \epsilon_r \geq 0$ mit Metall gefüllt
 dieselben Randbedingungen

Energie
 Energiedichte: $w_{el} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$
 $W_{el} = \frac{1}{2} CU^2$
 $w_{el} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

Dipol
 Dipolmoment $\vec{p} = q\vec{d}$
 Dipol $\pm q \vec{d}$
 Dipolmoment $\vec{p} = q\vec{d}$
 Dipol $\pm q \vec{d}$

Material
 Material \vec{D} -Feld
 $\nabla \cdot \vec{D} = \rho_{frei}$
 $\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$

Material
 Material \vec{E} -Feld
 $\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho_{frei}}{\epsilon_0}$
 $\vec{E} = \frac{U}{d}$
 $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$

Material
 Material \vec{P} -Feld
 $\nabla \cdot \vec{P} = -\rho_{gebunden}$
 $\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$

Material
 Material \vec{M} -Feld
 $\nabla \cdot \vec{M} = -\rho_{gebunden}$
 $\vec{M} = \epsilon_0 \chi_m \vec{H}$

Vorlesungs-Evaluation zu diesem Konzept:

- Musterlösungen „im Betrieb“ herausgeben wurde ausschließlich gelobt (auch in Bezug auf die Klausurvorbereitung)
- Die Idee der Concepts Maps erhielt fast ausschließlich positive Rückmeldungen
- Oft wurde kritisiert, dass zur Erstellung von Concept Maps nicht genügend Zeit in den Übungen bleibt

Vor- und Nachteile, Konsequenzen

- Mehr Aufwand für Studierende (Vorbereitung der Übung)
- Direkte Selbstüberprüfung der Lösungen nach Abgabe möglich
- Qualität der Lösung ist einheitlich (und nicht abhängig von der Präsentation anderer)
- Musterlösungen sollten fehlerfrei sein (nicht nur interner Gebrauch)
- Die Übung kann effizienter gestaltet werden:
 - Vorrechnen nur noch in Einzelfällen (nach wie vor wichtig und erwünscht)
 - Gewonnene Zeit für Vertiefungen nutzen, Diskurs, z.B. Concept-Maps, Clicker-Fragen, Worked-Examples, etc.
- Fernbleiben aus der Übung (man hat die Lösung bereits) ist ein Thema → Anreize schaffen (intrinsische Motivation: es gibt etwas neues), extrinsische Motivation (die CM dürfen für die Klausur verwendet werden)
- Erstellung des Lehr-Lernmaterials ist aufwändiger (nicht nur Übungen und Lösungen) → Tutor*innen müssen ebenfalls mit mehr Material vertraut sein
- Weitere Variante: Kommentierte Lösungsvideos statt papierbasierte Lösungen (nutzen wir bereits im Vorkurs)