C A U	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel	Technische Fakultät

Deckblatt zu einer Klausur am Institut für Elektrotechnik und Informationstechnik

Modulprüfung	
Modulname	**Grundgebiete der Elektrotechnik II**
Datum	**10.07.2020**
Prüfpersonen	
1. Prüfperson	**Prof. Dr. Martina Gerken**
ggf. 2. Prüfperson	
Kandidat/in	
Matrikelnummer	
Name, Vorname	

Vorleistung <u>**vor**</u> SoSe 2020 berücksichtigen? ☐ Ja ☐ Nein

Erklärung der/des Kandidatin/Kandidaten vor Beginn der Prüfung

Hiermit bestätige ich, dass ich zur Prüfung angemeldet und zugelassen bin und dass ich prüfungsfähig bin. Ich nehme zur Kenntnis, dass der Termin für die Klausureinsicht vom Prüfungsamt ET&IT bekannt gegeben wird, sobald mein vorläufiges Prüfungsergebnis im QIS-Portal veröffentlicht wurde. Nach dem Einsichtnahmetermin kann ich meine endgültige Note im QIS-Portal abfragen. Bis zum Ende der Widerspruchsfrist des zweiten Prüfungszeitraums der CAU kann ich beim Prüfungsausschuss Widerspruch gegen dieses Prüfungsverfahren einlegen. Danach wird meine Note rechtskräftig.

Unterschrift: ______________________________

Korrektur

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	Σ
Punkte	18	14	16		18	13	100
erreicht							

Übungen (Gewicht 25%)	Klausur (Gewicht 75%)	Gesamt %	Modulnote

Einsicht / Rückgabe

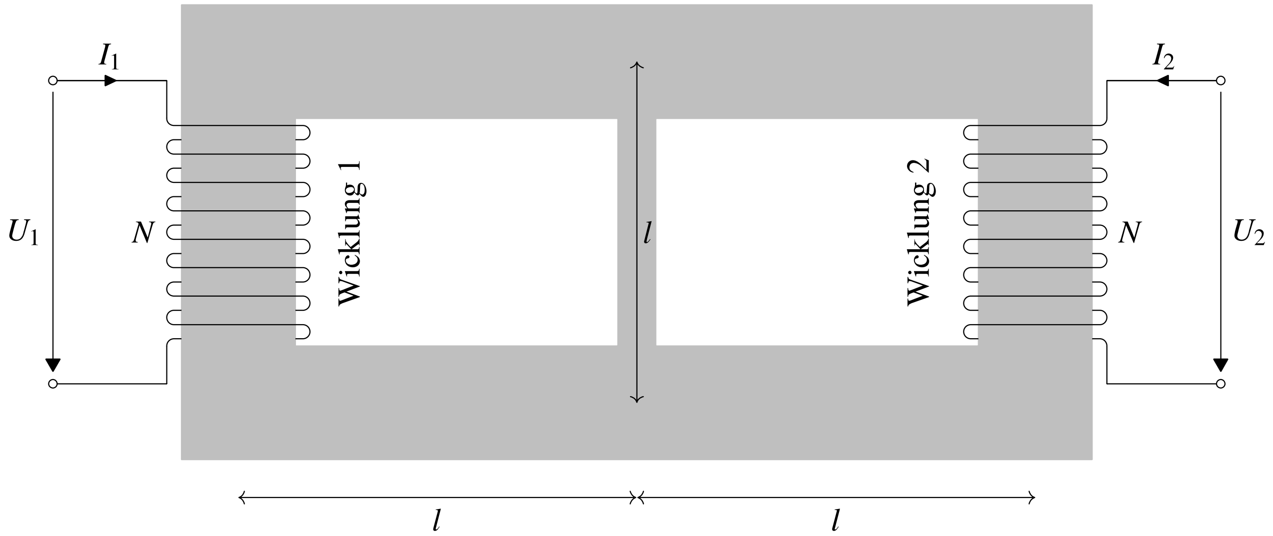
Hiermit bestätige ich, dass ich die Korrektur der Klausur eingesehen habe und mit der auf diesem Deckblatt vermerkten Note einverstanden bin. Die Klausurunterlagen verbleiben bei mir. Ein späterer Einspruch gegen die Korrektur und Benotung ist nicht mehr möglich.

Kiel, den ______________ Unterschrift: ______________________________

Name:	Vorname:

Aufgabe 1: Magnetischer Kreis (18 Punkte)

Gegeben sei der abgebildete magnetische Kreis mit zwei bewickelten Schenkeln und einem dünneren Schenkel ohne Wicklung. Der magnetische Kreis bestehe aus einem ferromagnetischen Material, das durch $\mu_r = 6000$ beschrieben wird.
Die beiden Wicklungen haben beide die Windungszahl $N = 200$ und die Wicklungssinne seien wie eingezeichnet.
Für die Länge der Schenkel sind bereits die mittleren Weglängen $l = 5$ cm eingezeichnet. Der Querschnitt aller Schenkel außer des dünnen sei $A = 0.5\ \mathrm{cm}^2$. Der Querschnitt des dünnen Schenkels sei $A/3$.



(a) Skizzieren Sie für $I_1 > 0$, $I_2 = 0$ die Feldlinien des magnetischen Felds $\vec{B}$. Zeichnen Sie mindestens fünf Feldlinien. Ihre Skizze soll das Gesamtfeld sinnvoll repräsentieren.

Ab jetzt können Sie Streufelder vernachlässigen und mit den mittleren Weglängen rechnen.

(b) Berechnen Sie den magnetischen Fluss Φ_{11}, den $I_1 = 50$ mA in Wicklung 1 hervorruft.
Berechnen Sie den magnetischen Fluss Φ_{21}, den $I_1 = 50$ mA in Wicklung 2 hervorruft.

Name:	Vorname:

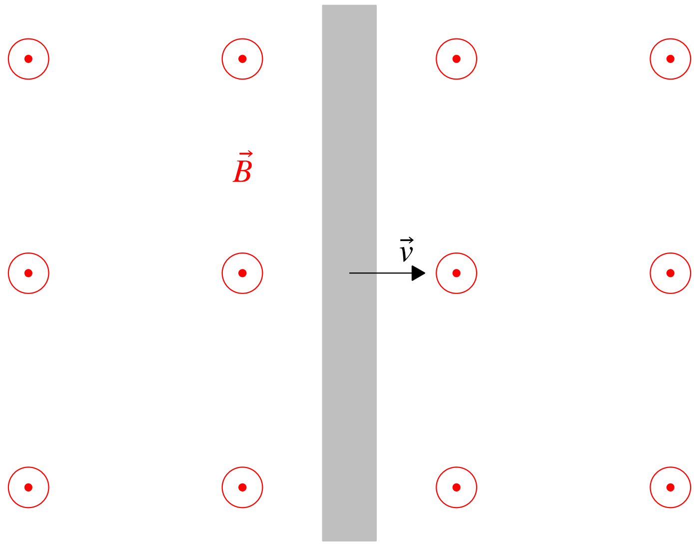
(c) Geben Sie die Selbstinduktivitäten L_{11} und L_{22} der beiden Spulen sowie die Gegeninduktivität M als Zahlenwerte an!

(d) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der Spulenanordnung mit Induktivität(en) und gekoppelten Induktivität(en). Achten Sie auf die gegebenen Zählpfeile und die Kennzeichnung der Wicklungssinne!

Name:	Vorname:

Aufgabe 2: Induktion (14 Punkte)

Ein elektrisch gut leitfähiger metallischer Stab bewege sich wie abgebildet in einem homogenen, konstanten Magnetfeld der Flussdichte B mit einer Geschwindigkeit v nach rechts. Der Stab habe die Länge l und die Querschittsfläche A. Die Querabmessungen seien sehr viel kleiner als die Länge. Im Stab gelte (wie im Außenraum) $\varepsilon_\mathrm{r} = \mu_\mathrm{r} = 1$. Randeffekte können vernachlässigt werden. Der Leiter bewege sich schon so lange mit konstanter Geschwindigkeit, dass sich ein stationärer Zustand eingestellt hat.



(a) Zeichnen Sie die Richtung der *magnetischen* Kraft auf die Elektronen im Leiter ein!

(b) Überlegen Sie sich, wie sich die Elektronen durch die magnetische Kraft umverteilen. Skizzieren Sie die Ladungsverteilung und das elektrische Feld im leitfähigen Stab!

(c) Wie groß ist die *Gesamt*kraft auf die Elektronen im Leiter im stationären Zustand? Wie können Sie daraus auf ein *elektrisches* Feld schließen? Begründen Sie jeweils in ganzen Sätzen!

Name:	Vorname:

(d) Leiten Sie einen Ausdruck für die elektrische Spannung zwischen dem oberen und dem unteren Ende des Stabs her!

Name:	Vorname:

Aufgabe 3: Kenngrößen periodischer Schwingungen (16 Punkte)

An einem elektrischen Zweipol werden die folgende Spannung und der folgende Strom gemessen:

$$u(t) = 325\ \text{V}\ \cos\left(\frac{2\pi}{20\ \text{ms}}\ t\right), \quad i(t) = 150\ \text{A}\ \sin\left(\frac{2\pi}{20\ \text{ms}}\ t\right)$$

(a) Bestimmen Sie die gefragten Parameter der Schwingungen und ergänzen Sie die Tabelle!

	Spannung	**Strom**
Spitzenwert		
Frequenz		
Nullphasenwinkel (bezogen auf Kosinus)		
Komplexer Effektiv-wertphasor (P-Form)		
Mittelwert der Leis-tungsschwingung $p(t) = u(t)i(t)$		

(b) Entscheiden Sie die folgenden vier Aussagen auf wahr oder falsch:

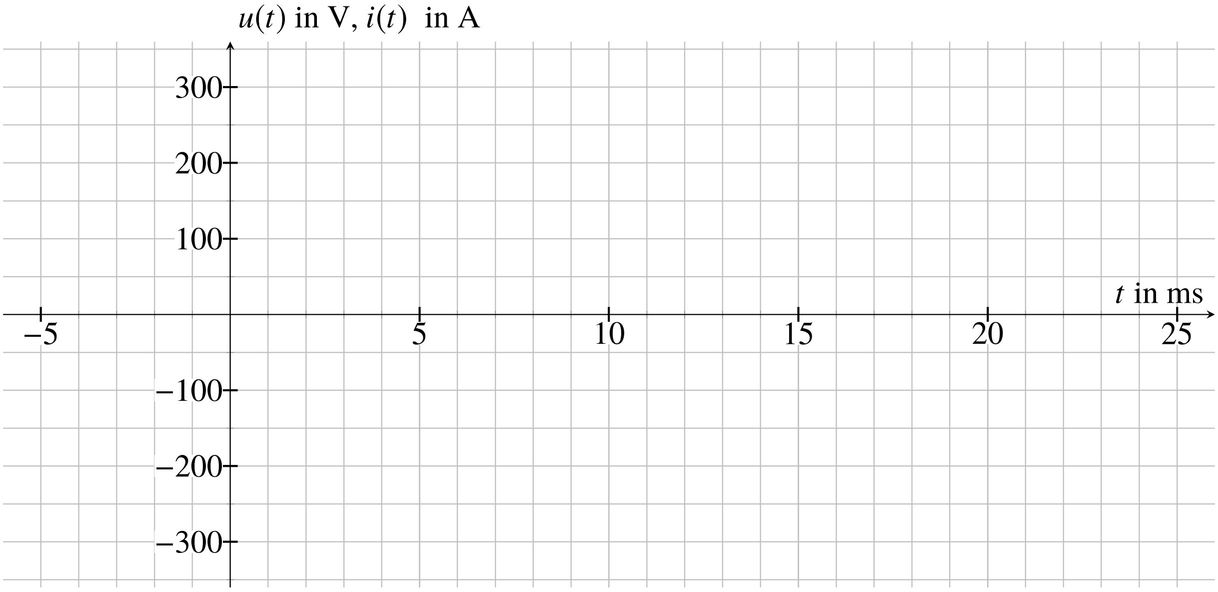
Bei dem Zweipol kann es sich handeln um …

wahr	falsch	
□	□	einen ohmschen Widerstand.
□	□	einen idealen Kondensator.
□	□	eine ideale Spule.
□	□	eine Zusammenschaltung mehrerer Bauteile.

Bewertung: Kprim. Alle Aussagen können wahr oder falsch sein.
Vier Antworten richtig: 2 Punkte. Drei Antworten Richtig: 1 Punkt. Sonst: 0 Punkte.

Name:	Vorname:

(c) Skizzieren Sie die Zeitverläufe der beiden Schwingungen in das gegebene Diagramm! In der Skizze müssen charakteristische Punkte der Graphen klar erkennbar und korrekt eingezeichnet sein.

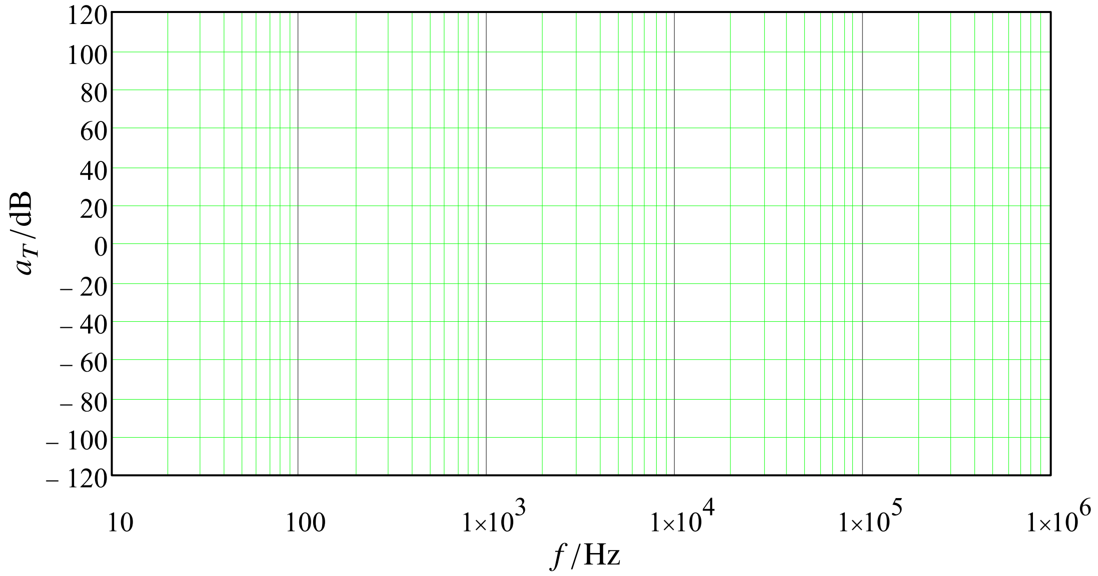


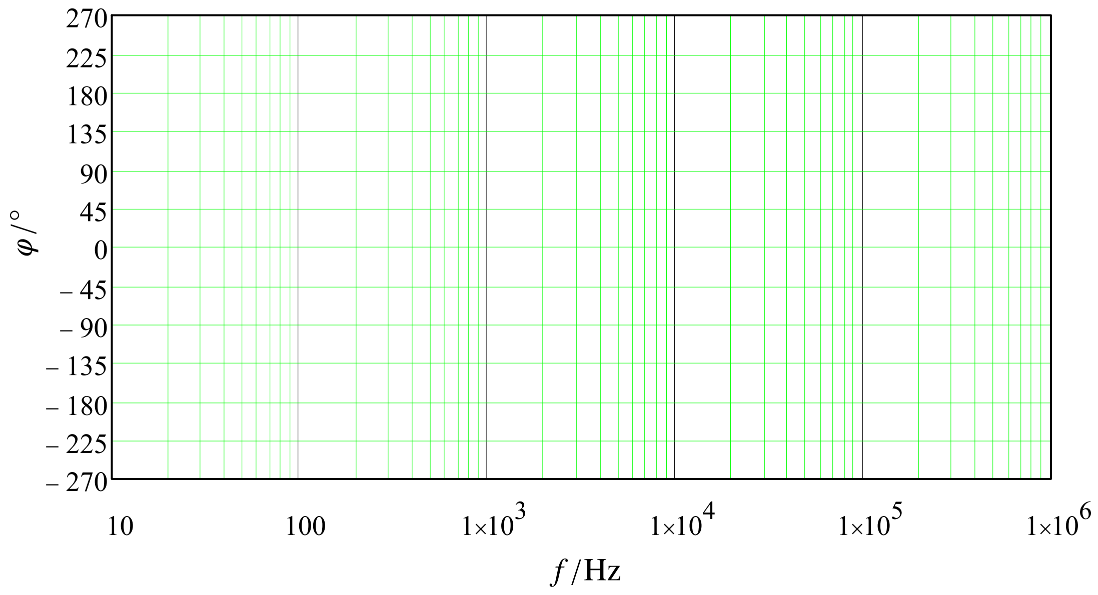
Name:	Vorname:

Aufgabe 4: Bode-Diagramm (21 Punkte)

(a) Für zwei verschiedene Übertragungsfaktoren $\underline{T}_1(f)$ und $\underline{T}_2(f)$ wurde das Frequenzverhalten bestimmt. In der Tabelle sind jeweils das Maß des Übertragungsfaktors a_T sowie die Phase φ angegeben. Zeichnen Sie die Kurvenverläufe beide in das Bode-Diagramm unten ein.

Frequenz f/Hz	a_{T_1}/dB	$\varphi_1/°$	a_{T_2}/dB	$\varphi_2/°$
10	-20	-1	-100	180
50	-20	-7	-72	180
100	-20	-14	-60	179
500	-24	-51	-32	177
1.000	-29	-68	-20	174
5.000	-42	-85	7	153
10.000	-48	-88	17	135
50.000	-62	-90	34	101
100.000	-68	-90	40	96
500.000	-82	-90	54	91
1.000.000	-88	-90	60	91





Name:	Vorname:

(b) Das Maß der Übertragungsfaktoren $\underline{T}_1(f)$ und $\underline{T}_2(f)$ kann jeweils näherungsweise durch eine Knickgerade bestehend aus zwei Geradenabschnitten beschrieben werden. Stellen Sie die Gleichungen der Näherungsgeraden aus dem Bode-Diagramm in (a) auf. Bestimmen Sie jeweils die Knickfrequenz.

Name:	Vorname:

(c) Es seien für diesen Aufgabenteil $\underline{T}_1(f)$ und $\underline{T}_2(f)$ zwei beliebige Übertragungsfaktoren (unabhängig von Aufgabe (a)).
Es soll allgemein das Verhalten eines Übertragungsfaktors $\underline{T}_3(f) = \underline{T}_1(f) \cdot \underline{T}_2(f)$ analysiert werden, der sich aus der Multiplikation von zwei anderen Übertragungsfaktoren ergibt. Leiten Sie das Maß des Übertragungsfaktors a_{T_3} als Funktion von a_{T_1} und a_{T_2} her! Leiten Sie die Phase φ_3 des Übertragungsfaktors als Funktion von φ_1 und φ_2 her!

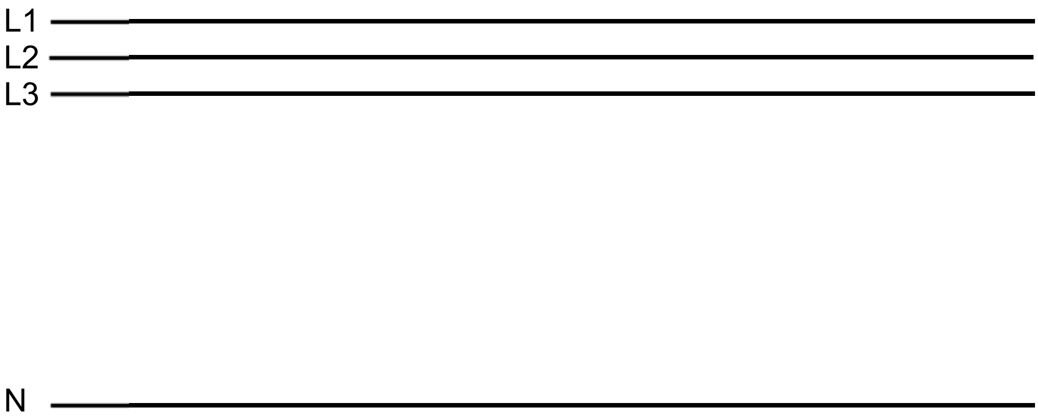
(d) Zeichnen Sie nun das Bode-Diagramm $\underline{T}_3(f) = \underline{T}_1(f) \cdot \underline{T}_2(f)$ für die in Aufgabenteil (a) analysierten Übertragungsfaktoren in das Diagramm in (a) ein!

Name:	Vorname:

Aufgabe 5: Drehstrom (18 Punkte)

An ein symmetrisches Niederspannungsdrehstromnetz mit 400 V Außenleiterspannung und vier Leitern sollen die drei Verbraucher $\underline{Z}_1 = 20\ \Omega$, $\underline{Z}_2 = 10\ \Omega\ \angle{-15°}$, $\underline{Z}_3 = 50\ \Omega\ \angle{-20°}$ in Sternschaltung mit Sternpunktleiter angeschlossen werden.

(a) Zeichnen Sie die Schaltung ein und bezeichnen Sie Ströme und Spannungen.



(b) Geben Sie die drei Strangspannungen $\underline{U}_{1N}$, $\underline{U}_{2N}$ und $\underline{U}_{3N}$ an!

(c) Berechnen Sie die Strangströme und den Sternpunktleiterstrom.

Name:	Vorname:

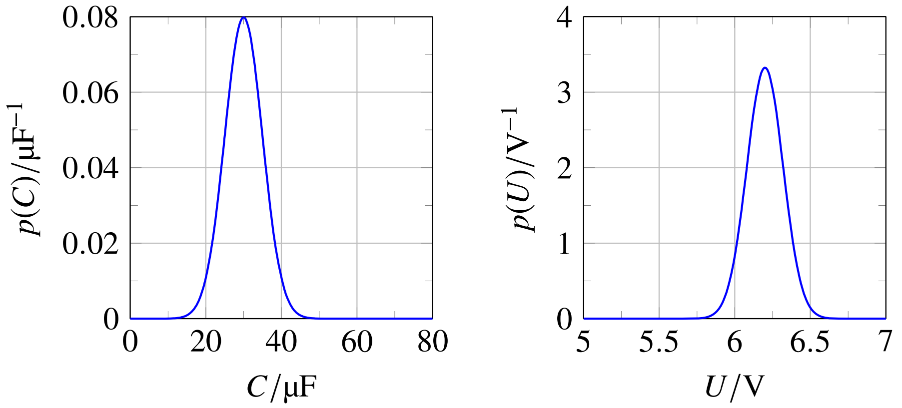
(d) Berechnen Sie die von der Verbrauchergruppe aufgenommene Wirkleistung und Blindleistung. Wie groß ist der Leistungsfaktor der Verbrauchergruppe?

Name:	Vorname:

Aufgabe 6: Messtechnik (13 Punkte)

Die in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie soll über die Messung der Kapazität und der Spannung an den Klemmen bestimmt werden.

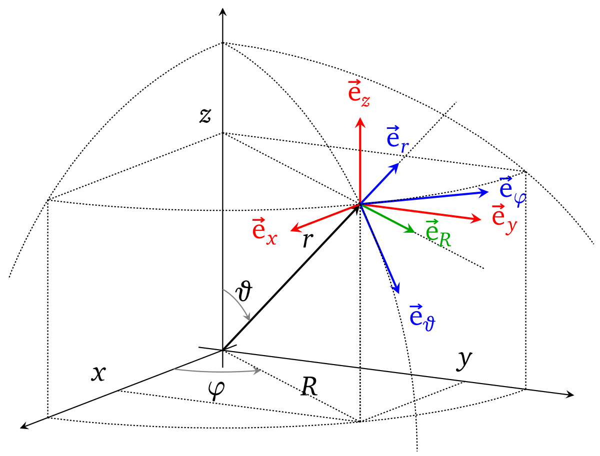
(a) Es werden automatisiert große Anzahlen von Messwerten für die Kapazität und die Spannung aufgenommen. Die Messwerte seien mit zufälligen Fehlern behaftet, so dass von einer Gauß-Verteilung ausgegangen werden kann. Geben Sie die Formel der Gauß-Verteilungsfunktion an. Erläutern Sie, wie aus den Graphiken der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt werden. Bestimmen Sie für beide Messgrößen den Mittelwert und die Standardabweichung.



Name:	Vorname:

(b) Stellen Sie die Formeln für die Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung der im Kondensator gespeicherten elektrischen Energie auf. Berechnen Sie die Zahlenwerte für Mittelwert und Standardabweichung der elektrischen Energie.

Definition der Koordinatensysteme



Umrechungen

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \Phi_{\mathrm{Zy}}(R,\varphi,z) = \begin{pmatrix} R\cos\varphi \\ R\sin\varphi \\ z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \Phi_{\mathrm{Ku}}(r,\vartheta,\varphi) = \begin{pmatrix} r\sin\vartheta\cos\varphi \\ r\sin\vartheta\sin\varphi \\ r\cos\vartheta \end{pmatrix}$$

$$R = \sqrt{x^2+y^2} \qquad \vartheta = \arccos(z/r)$$

$$r = \sqrt{x^2+y^2+z^2} \qquad \varphi = \begin{cases} +\arccos(x/R) & y \geq 0 \\ -\arccos(x/R) & y < 0 \end{cases}$$

Kartesische Koordinaten	Zylinderkoordinaten	Kugelkoordinaten

Einheitsvektoren

$\vec{e}_x = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\vec{e}_R = \begin{pmatrix} \cos\varphi \\ \sin\varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x/R \\ y/R \\ 0 \end{pmatrix}$	$\vec{e}_r = \begin{pmatrix} \sin\vartheta\cos\varphi \\ \sin\vartheta\sin\varphi \\ \cos\vartheta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x/r \\ y/r \\ z/r \end{pmatrix}$
$\vec{e}_y = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\vec{e}_\varphi = \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ +\cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y/R \\ +x/R \\ 0 \end{pmatrix}$	$\vec{e}_\vartheta = \begin{pmatrix} \cos\vartheta\cos\varphi \\ \cos\vartheta\sin\varphi \\ -\sin\vartheta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z/r\cdot x/R \\ z/r\cdot y/R \\ -R/r \end{pmatrix}$
$\vec{e}_z = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\vec{e}_z = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\vec{e}_\varphi = \begin{pmatrix} -\sin\varphi \\ +\cos\varphi \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -y/R \\ +x/R \\ 0 \end{pmatrix}$

Kurven-, Flächen- und Volumenelemente

$\mathrm{d}\vec{s}_x = \vec{e}_x\,\mathrm{d}x$ $\mathrm{d}\vec{s}_y = \vec{e}_y\,\mathrm{d}y$ $\mathrm{d}\vec{s}_z = \vec{e}_z\,\mathrm{d}z$	$\mathrm{d}\vec{s}_R = \vec{e}_R\,\mathrm{d}R$ $\mathrm{d}\vec{s}_\varphi = \vec{e}_\varphi\,R\,\mathrm{d}\varphi$ $\mathrm{d}\vec{s}_z = \vec{e}_z\,\mathrm{d}z$	$\mathrm{d}\vec{s}_r = \vec{e}_r\,\mathrm{d}r$ $\mathrm{d}\vec{s}_\vartheta = \vec{e}_\vartheta\,r\,\mathrm{d}\vartheta$ $\mathrm{d}\vec{s}_\varphi = \vec{e}_\varphi\,r\sin\vartheta\,\mathrm{d}\varphi$
$\mathrm{d}\vec{A}_x = \vec{e}_x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z$ $\mathrm{d}\vec{A}_y = \vec{e}_y\,\mathrm{d}z\,\mathrm{d}x$ $\mathrm{d}\vec{A}_z = \vec{e}_z\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y$	$\mathrm{d}\vec{A}_R = \vec{e}_R\,R\,\mathrm{d}\varphi\,\mathrm{d}z$ $\mathrm{d}\vec{A}_\varphi = \vec{e}_\varphi\,\mathrm{d}z\,\mathrm{d}R$ $\mathrm{d}\vec{A}_z = \vec{e}_z\,R\,\mathrm{d}\varphi\,\mathrm{d}R$	$\mathrm{d}\vec{A}_r = \vec{e}_r\,r^2\sin\vartheta\,\mathrm{d}\vartheta\,\mathrm{d}\varphi$ $\mathrm{d}\vec{A}_\vartheta = \vec{e}_\vartheta\,r\sin\vartheta\,\mathrm{d}\varphi\,\mathrm{d}r$ $\mathrm{d}\vec{A}_\varphi = \vec{e}_\varphi\,r\,\mathrm{d}r\,\mathrm{d}\vartheta$
$\mathrm{d}V = \mathrm{d}x\,\mathrm{d}y\,\mathrm{d}z$	$\mathrm{d}V = R\,\mathrm{d}R\,\mathrm{d}\varphi\,\mathrm{d}z$	$\mathrm{d}V = r^2\sin\vartheta\,\mathrm{d}r\,\mathrm{d}\vartheta\,\mathrm{d}\varphi$

Gradient

$\operatorname{grad}\phi(x,y,z) =$ $\vec{e}_x\frac{\partial\phi}{\partial x} + \vec{e}_y\frac{\partial\phi}{\partial y} + \vec{e}_z\frac{\partial\phi}{\partial z}$	$\operatorname{grad}\phi(R,\varphi,z) =$ $\vec{e}_R\frac{\partial\phi}{\partial R} + \vec{e}_\varphi\frac{1}{R}\frac{\partial\phi}{\partial\varphi} + \vec{e}_z\frac{\partial\phi}{\partial z}$	$\operatorname{grad}\phi(r,\vartheta,\varphi) =$ $\vec{e}_r\frac{\partial\phi}{\partial r} + \vec{e}_\vartheta\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial\vartheta} + \vec{e}_\varphi\frac{1}{r\sin\vartheta}\frac{\partial\phi}{\partial\varphi}$