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 I**
Datum	**26.02.2019**
Prüfpersonen	
1. Prüfperson	**Prof. Dr. Martina Gerken**
ggf. 2. Prüfperson	
Kandidat/in	
Matrikelnummer	
Name, Vorname	

Vorleistung **vor** WS 18/19 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	$\sum$
Punkte	10	18	22	18	12	20	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: Konzepte (10 Punkte)

Erläutern Sie die folgenden Begriffe der Elektrotechnik in ganzen Sätzen. In der Erläuterung dürfen keine Formeln oder Formelzeichen auftauchen!

(a) Feldlinie

(b) Kapazität

(c) Arbeitspunkt

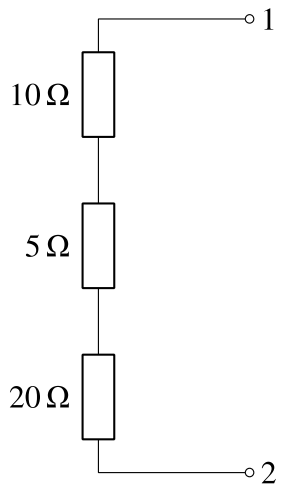
(d) Gesteuerte Quelle

(e) Zweitorbedingung

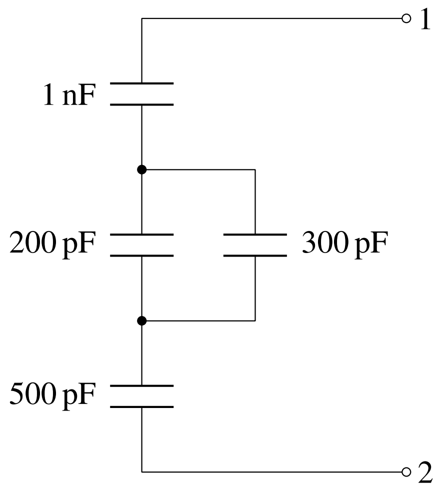
Name:	Vorname:

Aufgabe 2: Ersatzzweipole (18 Punkte)

(a) Berechnen Sie den Ersatzwiderstand für die folgende Schaltung bezüglich der Klemmen 1 und 2.

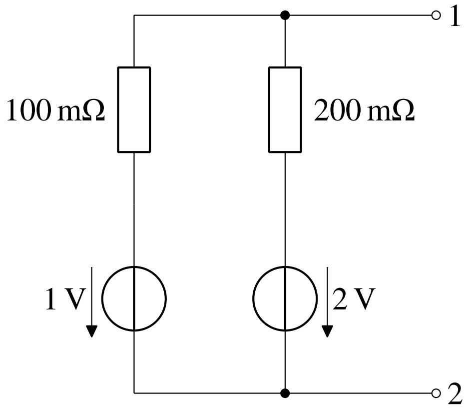


(b) Berechnen Sie die Ersatzkapazität für die folgende Schaltung bezüglich der Klemmen 1 und 2.



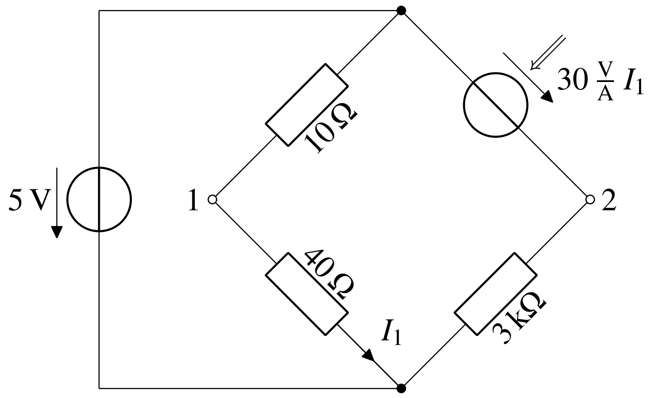
Name:	Vorname:

(c) Berechnen und zeichnen Sie die lineare Ersatzstromquelle für die folgende Schaltung bezüglich der Klemmen 1 und 2.



Name:	Vorname:

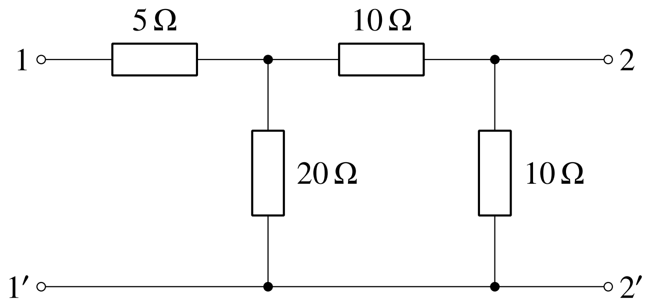
(d) Berechnen und zeichnen Sie die lineare Ersatzspannungsquelle für die folgende Schaltung bezüglich der Klemmen 1 und 2.



Name:	Vorname:

Aufgabe 3: Zweitore (22 Punkte)

(a) Gegeben sei das folgende Zweitor. Berechnen Sie die Widerstandsmatrix $\boldsymbol{Z}$ und die Kettenmatrix $\boldsymbol{A}$ für das Zweitor. Eine Tabelle zur Umwandlung von Zweitorparametern ist auf der nächsten Seite gegeben.



Name:	Vorname:

(b) Welche der folgenden Aussagen ist/sind korrekt?

Das Zweitor in (a) ist …

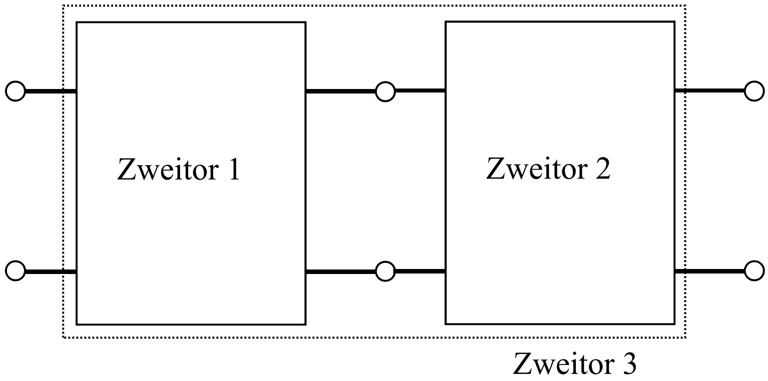
passiv	□	□	aktiv
linear	□	□	nichtlinear
symmetrisch	□	□	unsymmetrisch
rückwirkungsfrei	□	□	nicht rückwirkungsfrei

Bewertung: Alle Antworten korrekt: 4 Punkte. Drei Antworten korrekt: 2 Punkte. Sonst: 0 Punkte. (Kprim)

	$\boldsymbol{Z}$	$\boldsymbol{Y}$	$\boldsymbol{A}$	$\boldsymbol{H}$	$\boldsymbol{K}$
$\boldsymbol{Z}$	$\begin{matrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{Y_{22}}{\det \boldsymbol{Y}} & -\frac{Y_{12}}{\det \boldsymbol{Y}} \\ -\frac{Y_{21}}{\det \boldsymbol{Y}} & \frac{Y_{11}}{\det \boldsymbol{Y}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{A_{11}}{A_{21}} & \frac{\det \boldsymbol{A}}{A_{21}} \\ \frac{1}{A_{21}} & \frac{A_{22}}{A_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{\det \boldsymbol{H}}{H_{22}} & \frac{H_{12}}{H_{22}} \\ -\frac{H_{21}}{H_{22}} & \frac{1}{H_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{K_{11}} & -\frac{K_{12}}{K_{11}} \\ \frac{K_{21}}{K_{11}} & \frac{\det \boldsymbol{K}}{K_{11}} \end{matrix}$
$\boldsymbol{Y}$	$\begin{matrix} \frac{Z_{22}}{\det \boldsymbol{Z}} & -\frac{Z_{12}}{\det \boldsymbol{Z}} \\ -\frac{Z_{21}}{\det \boldsymbol{Z}} & \frac{Z_{11}}{\det \boldsymbol{Z}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{A_{22}}{A_{12}} & -\frac{\det \boldsymbol{A}}{A_{12}} \\ -\frac{1}{A_{12}} & \frac{A_{11}}{A_{12}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{H_{11}} & -\frac{H_{12}}{H_{11}} \\ \frac{H_{21}}{H_{11}} & \frac{\det \boldsymbol{H}}{H_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{\det \boldsymbol{K}}{K_{22}} & \frac{K_{12}}{K_{22}} \\ -\frac{K_{21}}{K_{22}} & \frac{1}{K_{22}} \end{matrix}$
$\boldsymbol{A}$	$\begin{matrix} \frac{Z_{11}}{Z_{21}} & \frac{\det \boldsymbol{Z}}{Z_{21}} \\ \frac{1}{Z_{21}} & \frac{Z_{22}}{Z_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} -\frac{Y_{22}}{Y_{21}} & -\frac{1}{Y_{21}} \\ -\frac{\det \boldsymbol{Y}}{Y_{21}} & -\frac{Y_{11}}{Y_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} -\frac{\det \boldsymbol{H}}{H_{21}} & -\frac{H_{11}}{H_{21}} \\ -\frac{H_{22}}{H_{21}} & -\frac{1}{H_{21}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{K_{21}} & \frac{K_{22}}{K_{21}} \\ \frac{K_{11}}{K_{21}} & \frac{\det \boldsymbol{K}}{K_{21}} \end{matrix}$
$\boldsymbol{H}$	$\begin{matrix} \frac{\det \boldsymbol{Z}}{Z_{22}} & \frac{Z_{12}}{Z_{22}} \\ -\frac{Z_{21}}{Z_{22}} & \frac{1}{Z_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{Y_{11}} & -\frac{Y_{12}}{Y_{11}} \\ \frac{Y_{21}}{Y_{11}} & \frac{\det \boldsymbol{Y}}{Y_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{A_{12}}{A_{22}} & \frac{\det \boldsymbol{A}}{A_{22}} \\ -\frac{1}{A_{22}} & \frac{A_{21}}{A_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{K_{22}}{\det \boldsymbol{K}} & -\frac{K_{12}}{\det \boldsymbol{K}} \\ -\frac{K_{21}}{\det \boldsymbol{K}} & \frac{K_{11}}{\det \boldsymbol{K}} \end{matrix}$
$\boldsymbol{K}$	$\begin{matrix} \frac{1}{Z_{11}} & -\frac{Z_{12}}{Z_{11}} \\ \frac{Z_{21}}{Z_{11}} & \frac{\det \boldsymbol{Z}}{Z_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{\det \boldsymbol{Y}}{Y_{22}} & \frac{Y_{12}}{Y_{22}} \\ -\frac{Y_{21}}{Y_{22}} & \frac{1}{Y_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{A_{21}}{A_{11}} & -\frac{\det \boldsymbol{A}}{A_{11}} \\ \frac{1}{A_{11}} & \frac{A_{12}}{A_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{H_{22}}{\det \boldsymbol{H}} & -\frac{H_{12}}{\det \boldsymbol{H}} \\ -\frac{H_{21}}{\det \boldsymbol{H}} & \frac{H_{11}}{\det \boldsymbol{H}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{matrix}$

Name:	Vorname:

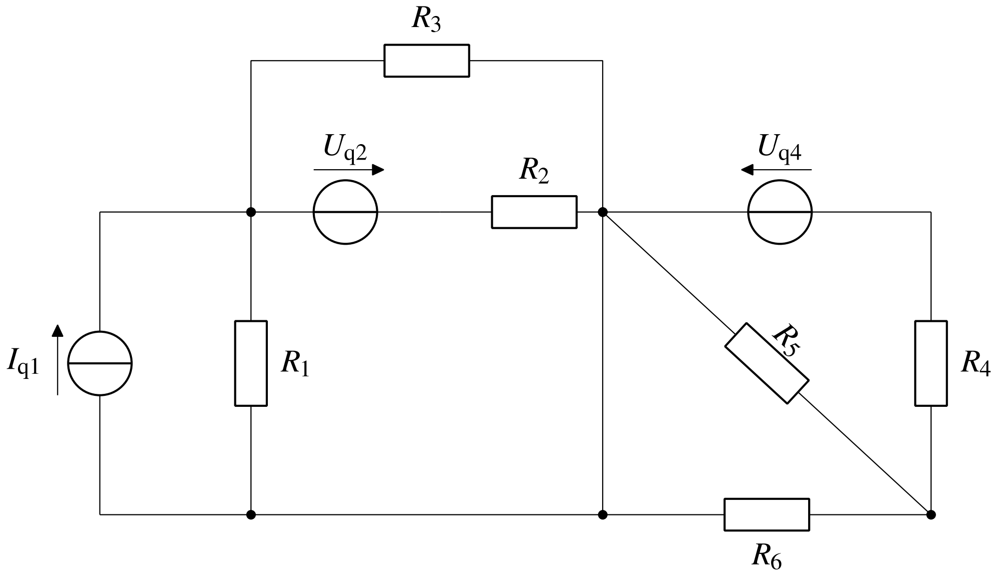
(c) Gegeben seien zwei beliebige Zweitore 1 und 2 mit Kettenmatrizen $\boldsymbol{A}_1$ und $\boldsymbol{A}_2$, die wie gezeigt zu einem Zweitor 3 zusammengeschaltet sind.
Leiten Sie her, dass sich die Gesamtkettenmatrix $\boldsymbol{A}_3$ für das Zweitor 3 aus der Multiplikation der Kettenmatrizen der Zweitore 1 und 2 ergibt.



Name:	Vorname:

Aufgabe 4: Netzwerkanalyse (18 Punkte)

Gegeben sei die folgende Schaltung, die in den folgenden Aufgabenteilen systematisch analysiert werden soll. Verwenden Sie in der ganzen Aufgabe eine sinnvolle und einheitliche Notation! Die von Ihnen aufgestellten Gleichungen müssen am Ende in sich konsistent und dazu geeignet sein, das Netzwerk eindeutig zu lösen.



(a) Nummerieren und beschriften Sie Knoten und Zweige. Kennzeichnen und beschriften Sie die Zweigströme und Zweigspannungen in der Schaltung. Stellen Sie die linear unabhängigen Zweiggleichungen auf.

Name:	Vorname:

(b) Stellen Sie ein vollständiges System linear unabhängiger Knotengleichungen auf.

(c) Zeichnen Sie den Graphen der Schaltung inklusive Ihrer Zweignummerierung und der Pfeile für den Bezugssinn. Markieren Sie einen vollständigen Baum in dem Graphen. Zeichnen Sie die sich für Ihren Baum ergebenden linear unabhängigen Maschen in den Graphen ein und stellen Sie die dazugehörigen linear unabhängigen Maschengleichungen auf.

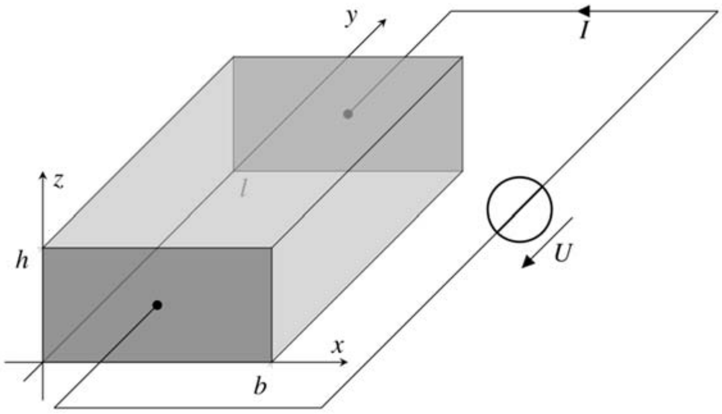
(d) Geben Sie jeweils die Anzahl für Ihr resultierendes Gleichungssystem an.

- Anzahl an unbekannten Zweigströmen und Zweigspannungen:
- Anzahl an linear unabhängigen Zweiggleichungen aus (a):
- Anzahl an linear unabhängigen Knotengleichungen aus (b):
- Anzahl an linear unabhängigen Maschengleichungen aus (c):

Name:	Vorname:

Aufgabe 5: Quaderförmige Leiter (12 Punkte)

Gegeben sei der unten skizzierte quaderförmige Leiter der Länge l, der Breite b und der Höhe h. Die rechteckigen Endflächen bestehen aus einem ideal leitenden Material. An ihnen werde eine Gleichspannung U angelegt. Der Leiter habe die ortsabhängige Leitfähigkeit $\kappa(y) = \kappa_0/\left(1 + \sin\left(\pi \frac{y}{l}\right)\right)$.



(a) Bestimmen Sie die (ggf. ortsabhängige) vektorielle elektrische Stromdichte und Feldstärke zwischen den beiden Elektroden in Abhängigkeit des Stroms I.

(b) Bestimmen Sie die Stromstärke I durch den Leiter in Abhängigkeit der angelegten Spannung U.

Name:	Vorname:

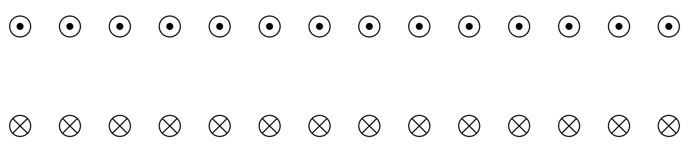
(c) Berechnen Sie den ohmschen Widerstand R des Leiters für $\kappa_0 = 61 \cdot 10^6\ \frac{\mathrm{S}}{\mathrm{m}}$, $l = 5$ cm, $b = 1$ cm, $h = 5$ mm.

Name:	Vorname:

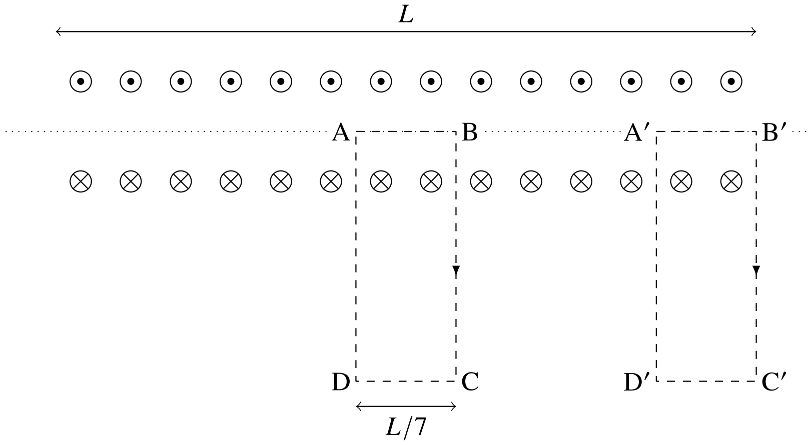
Aufgabe 6: Magnetfeld einer Zylinderspule (20 Punkte)

Betrachtet werde eine Zylinderspule in Luft mit 14 Windungen, einer Länge von L = 1,4 cm und einem Durchmesser von 2 mm. Die Spule werde von einem Strom von 100 mA durchflossen.

(a) Skizzieren Sie das magnetische Feldlinienbild. Ein geringerer Abstand der Feldlinien soll einer höheren Feldstärke entsprechen. Zeichnen Sie mindestens vier Feldlinien.



In den folgenden Aufgabenteilen soll die magnetische Feldstärke im Inneren der Luftzylinderspule näherungsweise mit dem Durchflutungsgesetz berechnet werden. Dazu wird der Integrationsweg ABCDA betrachtet.



Name:	Vorname:

(b) Nennen Sie das Durchflutungsgesetz und geben Sie die Durchflutung für den Integrationsweg ABCDA an!

(c) Argumentieren Sie, warum die Wegelemente BC, CD und DA näherungsweise keinen Beitrag zum Integral über $\vec{H}$ im Durchflutungsgesetz liefern.

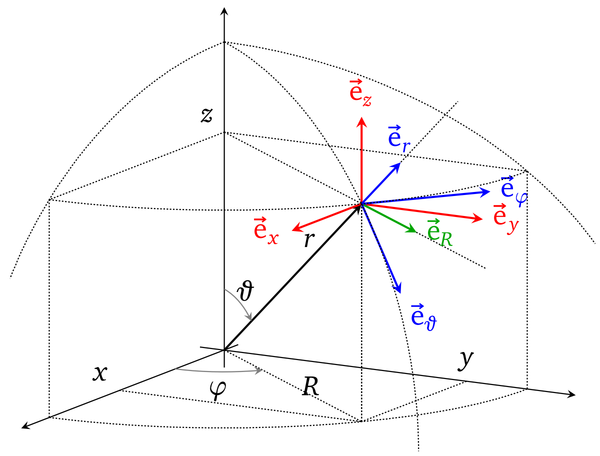
(d) Argumentieren Sie, warum das Magnetfeld entlang des Wegelements AB näherungsweise als homogen angenommen werden kann.

Name:	Vorname:

(e) Berechnen Sie nun näherungsweise die magnetische Feldstärke auf dem Wegelement AB im Inneren der Zylinderspule. Verwenden Sie die Überlegungen aus (c) und (d). Geben Sie Betrag und Richtung des Magnetfelds an.

(f) Betrachten Sie nun den Integrationsweg A′B′C′D′A′. Welche Näherungen aus (c) und (d) sind hier nicht mehr gültig? Welche Auswirkungen hat dies auf die Feldstärke entlang A′B′ im Vergleich zu der Feldstärke entlang AB? (Stärke, Richtung, Homogenität)

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