

# Arbeitsunterlagen zu FOS ET (12.1 und 12.6)

Thomas Maul

Brühlwiesenschule, Hofheim

V 0.15 - im Aufbau

Stand: 11. Oktober 2025

Für eigene Teile gilt:



# Teil I

## Themenfeld 12.1 - Gleichstromnetzanalyse

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz  
(Pflicht)

Dreieck <-> Stern-Umwandlung (Pflicht)

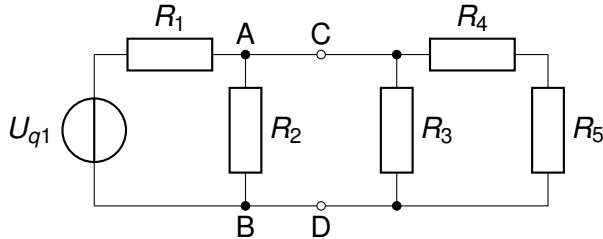
Knoten- und Maschengleichungen  
(Pflicht)

Kreisstromverfahren (Pflicht)

Knotenspannungsverfahren (Pflicht)

## Zweipole

In der Schaltung unten sollen die Widerstände  $R_3$  bis  $R_5$  als ein virtuelles Bauteil dargestellt werden.



## Werte für Berechnung

$$R_1 = 10\Omega$$

$$R_2 = 20\Omega$$

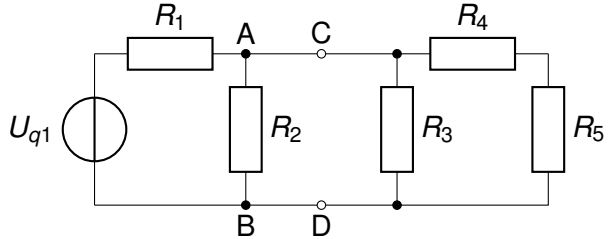
$$R_3 = 30\Omega$$

$$R_4 = 40\Omega$$

$$R_5 = 50\Omega$$

$$U_{q1} = 5V,$$

$$U_{q2} = 12V$$



## Berechnung des Ersatzwiderstands

$$R_{45} = R_4 + R_5 \quad (1)$$

$$R_{45} = 40\Omega + 50\Omega \quad (2)$$

$$R_{45} = 90\Omega \quad (3)$$

$$\frac{1}{R_{3||45}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{45}} \quad (4)$$

$$\frac{1}{R_{3||45}} = \frac{1}{30\Omega} + \frac{1}{90\Omega} \quad (5)$$

$$R_{3||45} = 22,5\Omega \quad (6)$$

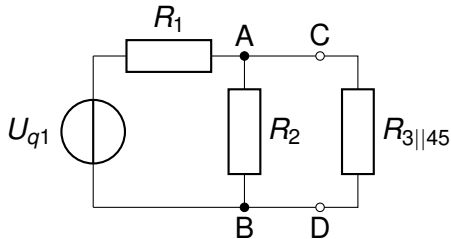


Abbildung: Berechnung des Ersatzwiderstands

## Übungen zu Zweipole I

Berechnen Sie jeweils den Ersatzwiderstand zwischen den Klemmen C und D zur Schaltung unten.

a  $R_1 = R_2 = 220\Omega$   $R_3 = R_5 = 230\Omega$   $R_4 = 470\Omega$

b  $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = 230\Omega$   $R_4 = 470\Omega$

c  $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 230\Omega$   $R_3 = 470\Omega$

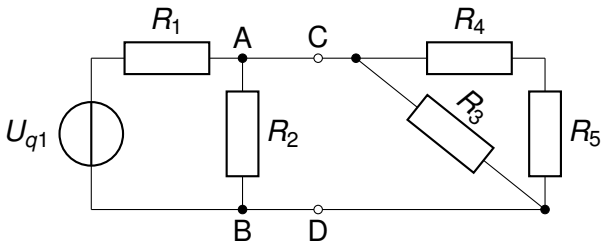


Abbildung: Schaltung zu Übung Ersatzzweipol - Teil 1

## Übungen zu Zweipole II

Berechnen Sie jeweils den Ersatzwiderstand zwischen den Klemmen C und D zur Schaltung unten.

a  $R_1 = R_2 = 220\Omega$   $R_3 = R_5 = 230\Omega$   $R_4 = 470\Omega$

b  $R_1 = R_2 = R_3 = R_5 = 230\Omega$   $R_4 = 470\Omega$

c  $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = 230\Omega$   $R_3 = 470\Omega$

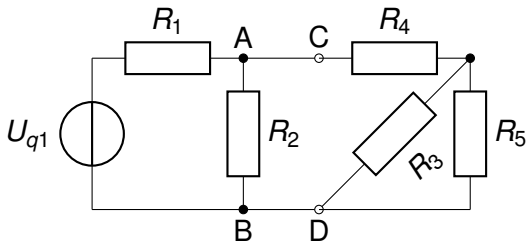


Abbildung: Schaltung zu Übung Ersatzzweipol - Teil 2



# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Nur Quelle U1 aktiv

Nur Quelle U2 aktiv

Dreieck  $\leftrightarrow$  Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Kreisstromverfahren (Pflicht)

Knotenspannungsverfahren (Pflicht)

## Zwei Spannungsquellen $U_1$ und $U_2$

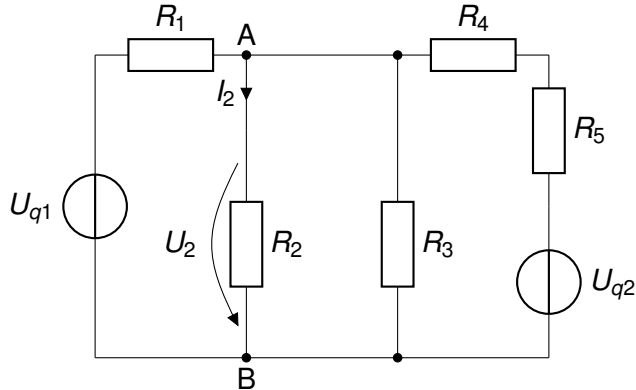


Abbildung: Zwei Quellen aktiv

$$R_1 = 10\Omega, R_2 = 20\Omega, R_3 = 30\Omega, R_4 = 40\Omega, R_5 = 50\Omega$$

## Nur Quelle U1 aktiv

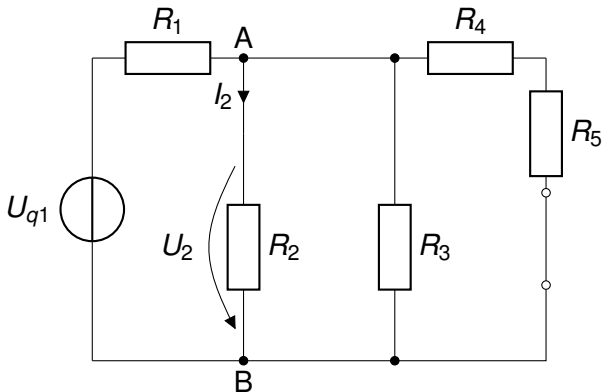


Abbildung: Nur Quelle 1 aktiv

$$R_1 = 10\Omega, R_2 = 20\Omega, R_3 = 30\Omega, R_4 = 40\Omega, R_5 = 50\Omega$$

## Berechnung Ersatzwiderstand I

$$U_{2'} = I_2 * R_2 || R_3 || R_4 + R_5 \quad (7)$$

$$U_{2'} = I_2 * \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}} \quad (8)$$

$I_2$  ist nicht bekannt.

## Berechnung Ersatzwiderstand II

$$U_{q1} = U_1 + U_2 \quad (9)$$

$$U_2 = U_{q1} * \frac{R_2 || R_3 || R_{45}}{R_1 + R_2 || R_3 || R_{45}} \quad (10)$$

## Einsetzen I

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{R_2 || R_3 || R_4 || R_5}{R_1 + R_2 || R_3 || R_4 || R_5} \quad (11)$$

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}} \quad (12)$$

$$(13)$$

## Einsetzen II

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{R_2 || R_3 || R_{45}}{R_1 + R_2 || R_3 || R_{45}}$$

$$U_{2'} = U_{q1} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4 + R_5}}}$$

$$U_{2'} = 5V * \frac{22,5\Omega}{10\Omega + 22,5\Omega} \quad (14)$$

$$U_{2'} = 5V * 0,69 \quad (15)$$

$$U_{2'} = 3,46V \quad (16)$$

## Nur Quelle U2 aktiv

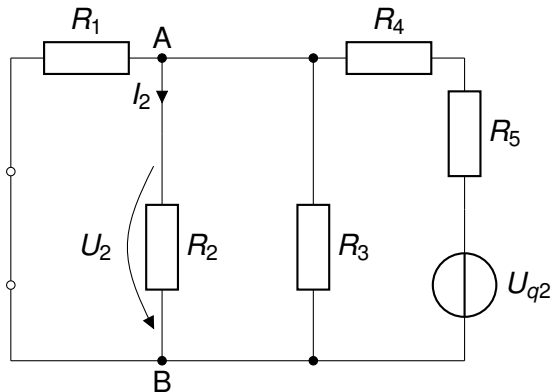


Abbildung: Nur Quelle zwei aktiv

$$R_1 = 10\Omega, R_2 = 20\Omega, R_3 = 30\Omega, R_4 = 40\Omega, R_5 = 50\Omega$$



## Quelle 2, Einsetzen I

$$U_{2''} = U_{q2} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}}{R_4 + R_5 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}} \quad (17)$$

(18)

## Quelle 2, Einsetzen II

$$U_{2''} = U_{q2} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}}{R_4 + R_5 + \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}} \quad (19)$$

$$U_{2''} = 12 \text{ V} * \frac{\frac{1}{\frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{30\Omega}}}{40\Omega + 50\Omega + \frac{1}{\frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{30\Omega}}} \quad (20)$$

$$U_{2''} = 0,24 \text{ V} \quad (21)$$

## Addition

Zum Abschluss werden die beiden Teilspannungen addiert.

$$U_2 = U_{2'} + U_{2''} \quad (22)$$

$$U_2 = 3,46\text{ V} + 0,24\text{ V} \quad (23)$$

$$U_2 = 3,7\text{ V} \quad (24)$$

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

**Dreieck  $\leftrightarrow$  Stern-Umwandlung (Pflicht)**

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Kreisstromverfahren (Pflicht)

Knotenspannungsverfahren (Pflicht)

# Messbrücke

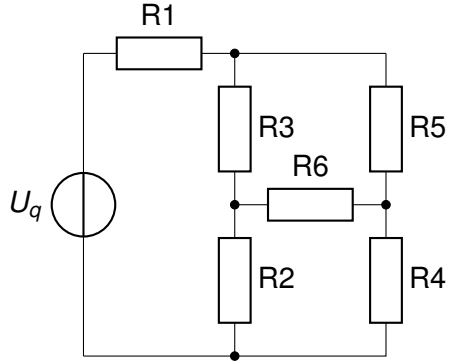


Abbildung: Messbrücke

# Messbrücke

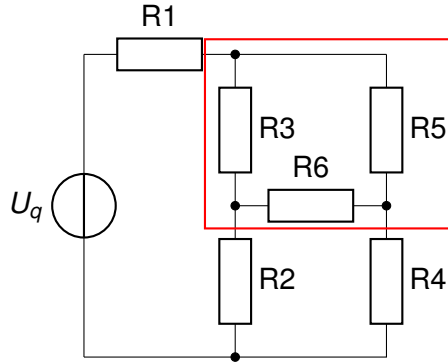
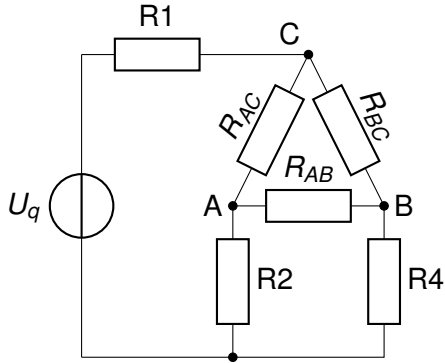


Abbildung: Messbrücke

## Messbrücke - Stern-Dreieck



$$R_{AC} = R_3$$

$$R_{AB} = R_6$$

$$R_{BC} = R_5$$

Abbildung: Messbrücke

## Umwandlung Dreieck $\rightarrow$ Stern

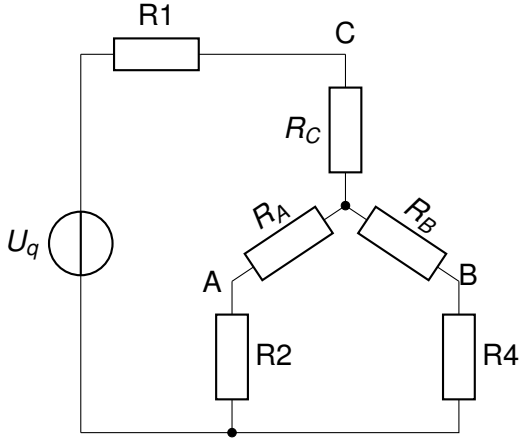


Abbildung: Messbrücke



## Umwandlung Dreieck -> Stern

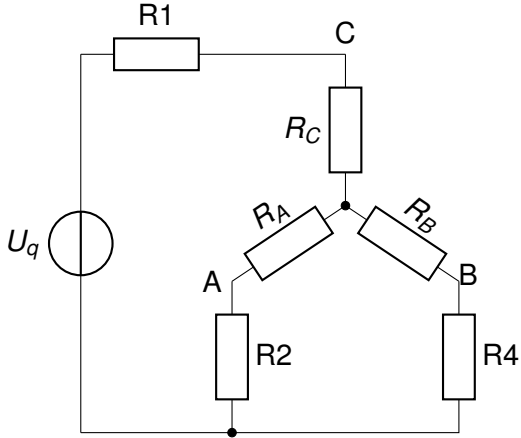


Abbildung: Messbrücke

$$R_A = \frac{R_{AC} R_{AB}}{R_{AC} + R_{AB} + R_{BC}}$$

$$R_B = \frac{R_{AB} R_{BC}}{R_{AC} + R_{AB} + R_{BC}}$$

$$R_C = \frac{R_{AC} R_{BC}}{R_{AC} + R_{AB} + R_{BC}}$$

## Umwandlung - Stern- > Dreieck

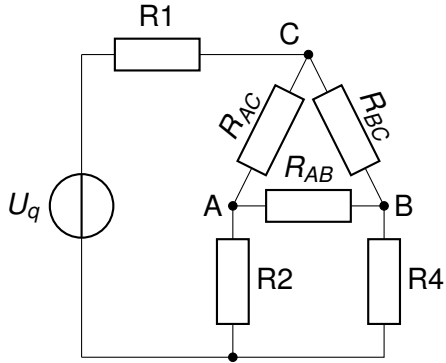


Abbildung: Messbrücke

## Umwandlung - Stern- > Dreieck

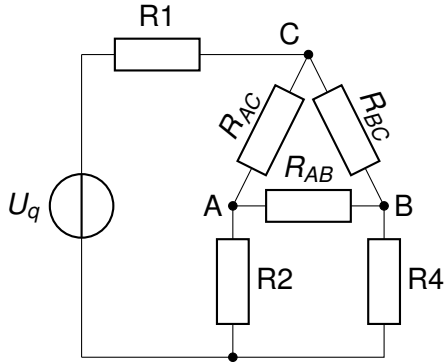


Abbildung: Messbrücke

$$R_{AB} = \frac{R_A R_B}{R_C} + R_A + R_B$$

$$R_{AC} = \frac{R_A R_C}{R_B} + R_A + R_C$$

$$R_{BC} = \frac{R_B R_C}{R_A} + R_B + R_C$$

## Messbrücke

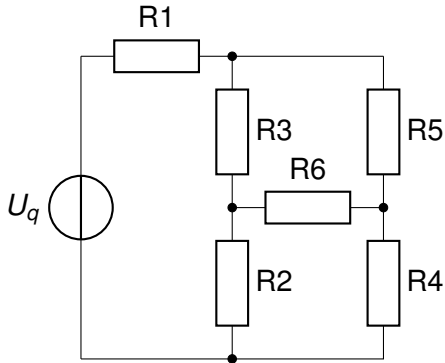


Abbildung: Messbrücke

$$R_1 = 220\Omega$$

$$R_2 = 470\Omega$$

$$R_3 = 330\Omega$$

$$R_4 = 330\Omega$$

$$R_5 = 560\Omega$$

$$R_6 = 390\Omega$$

$$U_q = 5\text{ V}$$

$$R_4 = R_{\text{Mess}}$$

gesucht: Strom und Spannung an  $R_6$ ,  $R_4$  und  $R_5$

## Messbrücke

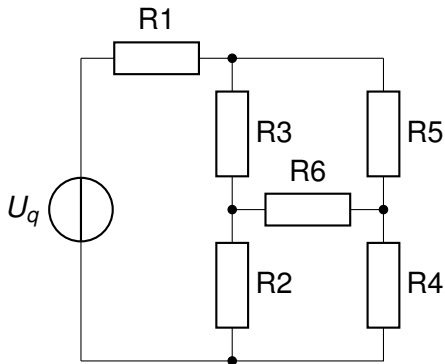


Abbildung: Messbrücke

$$R_1 = 220\Omega$$

$$R_2 = 470\Omega$$

$$R_3 = 330\Omega$$

$$R_4 = 330\Omega$$

$$R_5 = 560\Omega$$

$$R_6 = 390\Omega$$

$$U_q = 5\text{ V}$$

$$I_4 = 4,2\text{ mA}, \quad I_5 = 3,3\text{ mA}, \quad I_6 = 890\text{ }\mu\text{A}$$

$$U_4 = 1,4\text{ V}, \quad U_5 = 3,6\text{ V}, \quad U_6 = 0,35\text{ V}$$

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck  $\leftrightarrow$  Stern-Umwandlung (Pflicht)

**Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)**

Kreisstromverfahren (Pflicht)

Knotenspannungsverfahren (Pflicht)

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck  $\leftrightarrow$  Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

**Kreisstromverfahren (Pflicht)**

Knotenspannungsverfahren (Pflicht)

# Inhalt

Zweipoltheorie (Pflicht)

Überlagerungsverfahren nach Helmholtz (Pflicht)

Dreieck  $\leftrightarrow$  Stern-Umwandlung (Pflicht)

Knoten- und Maschengleichungen (Pflicht)

Kreisstromverfahren (Pflicht)

Knotenspannungsverfahren (Pflicht)



## Teil II

### Themenfeld 12.6 - Elektrisches und magnetisches Feld



## Teil II

### Themenfeld 12.6 - Elektrisches und magnetisches Feld



# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

# Elektronen und Atome

- Die Materie besteht aus Atomen.
- Kern: Protonen und Neutronen, Hülle: Elektronen
- Bei Leitern: Elektronen ‚mobil‘, bei Nichtleitern fest(er)
- Reibung von 2 Nichtleitern (Stoff und Glasstab)  $\Rightarrow$  Ladungstrennung

## Katze mit Styroporflocken



Abbildung: Katze mit Styroporflocken

1

<sup>1</sup>Quelle: Von Original image: Sean McGrath from Saint John, NB, CanadaDerived image: Black Rainbow 999 - Diese Datei ist ein Ausschnitt aus einer anderen Datei, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=60287175>

# Anziehung und Abstoßung von Ladungen

- gleichnamige Ladungen stoßen sich ab.
- ungleichnamige Ladungen ziehen sich an.
- bei Elektrostatik gibt es keine Bewegung, nur Kräfte

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

**Energieerhaltung und Einheit**

Abmaße von Ladungen

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

## Energieerhaltung und Einheit

- Energieerhaltung
- Elektrische Ladung Coulomb (C) gemessen
- $1\text{ C} = 1\text{ As}$ .
- Elementarladung  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
- Kräfte zwischen Ladungen
- Anziehung (+ -) und Abstoßung (+ +), (- -)





# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

**Abmaße von Ladungen**

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

# Abmaße von Ladungen

**Punktladung** unendlich klein

**Linienladung** dünne Linie, z.B. Draht

**Flächenladung** gleichmäßig auf der Fläche

**Raumladung** gleichmäßig im Raum

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

**Vektoren**

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

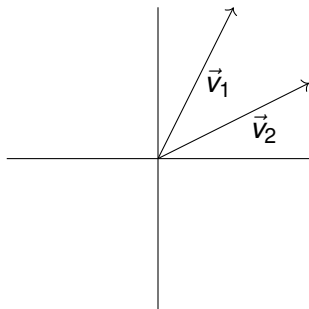
Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

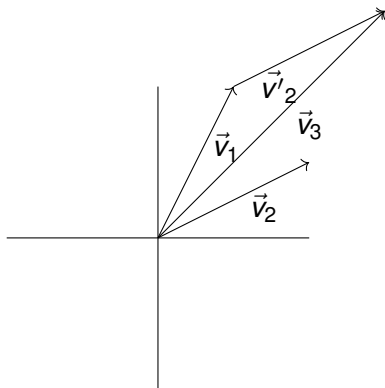
# Vektoren



$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ und } \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

**Abbildung:** Zwei Vektoren in zweidimensionalen Raum

## Addition von Vektoren



$$\vec{v}_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \vec{v}_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \end{pmatrix}, \vec{v}'_2 = \vec{v}_2 \text{ und } \vec{v}_3 = \begin{pmatrix} 3 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Abbildung: Zwei Vektoren in zweidimensionalen Raum

## Kraft als Vektor, Spannung

- Kraft  $\hat{=}$  Vektor
- Richtung, Betrag
- Addition
- Spannung  $\hat{=}$  Spannung zwischen 2 Punkten
- auch im Raum (E-Feld)

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Vektoren

**Elektrische Feldstärke**

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur



# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

# Inhalt

Ladungen, Kräfte

Energieerhaltung und Einheit

Abmaße von Ladungen

Vektoren

Elektrische Feldstärke

Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)

Auf- und Entladung (Pflicht)

Induktion (Pflicht)

Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)

Flussdichte (Pflicht)

Spule (Pflicht)

Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)

Literatur

# Inhalt

Ladungen, Kräfte  
Energieerhaltung und Einheit  
Abmaße von Ladungen  
Vektoren  
Elektrische Feldstärke  
Überlagerung von elektrischen Feldern

Kondensator (Pflicht)  
Auf- und Entladung (Pflicht)  
Induktion (Pflicht)  
Magnetischer Fluss ( $\Phi$ ) (Pflicht)  
Flussdichte (Pflicht)  
**Spule (Pflicht)**  
Ein- und Ausschaltvorgang (Pflicht)  
Literatur

# Literatur

**Wikibooks** <https://de.wikibooks.org/wiki/Elektrostatik>

**Marinescu, Marlene** Elektrische und magnetische Felder, Eine praxisorientierte Einführung; A 3 (2012); Springer

Simulationsprogramm für Schaltungen :

Ngspice, GUI: KiCad <https://www.kicad.org/>