

Univ.Prof. Dr.sc.techn. Georg Schitter
schitter@acin.tuwien.ac.at

Ausgabe Rechenübung 3

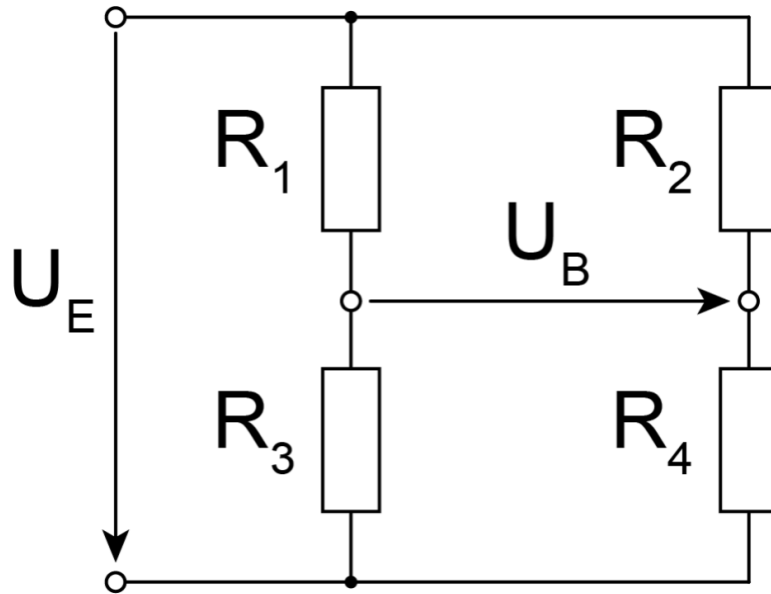
Brückenschaltungen, Physikalische Sensorik I

Messtechnik, VU 376.045 (3 SWS, 4 ECTS)
Sommersemester 2020

Allgemein

- Die Bearbeitung der Beispiele erfolgt auf freiwilliger Basis. Im Hinblick auf den schriftlichen Teil der Prüfung empfehlen wir die Beispiele selbst zu lösen.
- Bei Fragen zu den Beispielen wenden Sie sich bitte an **wertjanz@acin.tuwien.ac.at**
- Online-Diskussion der Beispiele am Mi. 28.05.2020 um 09:15 Uhr
- Link zum Videomeeting:
<https://www.gotomeet.me/LVAMesstechnik>
- Passwort: messkette

Bsp. 1 Ausschlagbrücke



$$U_E = 1V$$

$$R = R_2 = R_3 = R_4 = 350\Omega$$

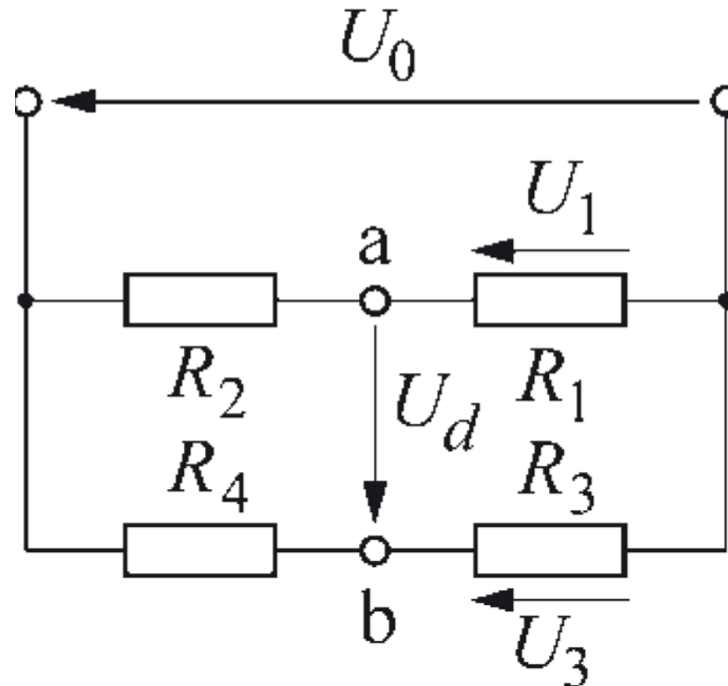
$$R_1 = R + \Delta R$$

- Gegeben ist die abgebildete Ausschlagbrücke.
- Berechnen Sie die Brückenspannung U_B in Abhängigkeit der Widerstandsänderung ΔR des DMS und berechnen Sie die Brückenspannung für $\Delta R = 3 \Omega$.

Bsp. 1 Ausschlagbrücke

- Berechnen Sie die Sensitivität der Brückenspannung bezüglich ΔR , d.h. $\frac{dU_B}{d\Delta R}$.
- Der Widerstand R_3 wird durch einen weiteren DMS ersetzt, wobei $R_3' = R - \Delta R$ gilt. Wie verändert sich die Sensitivität $\frac{dU_{B'}}{d\Delta R}$ im Vergleich zur einfachen Brückenschaltung?

Bsp. 2 Wheatstone-Messbrücke

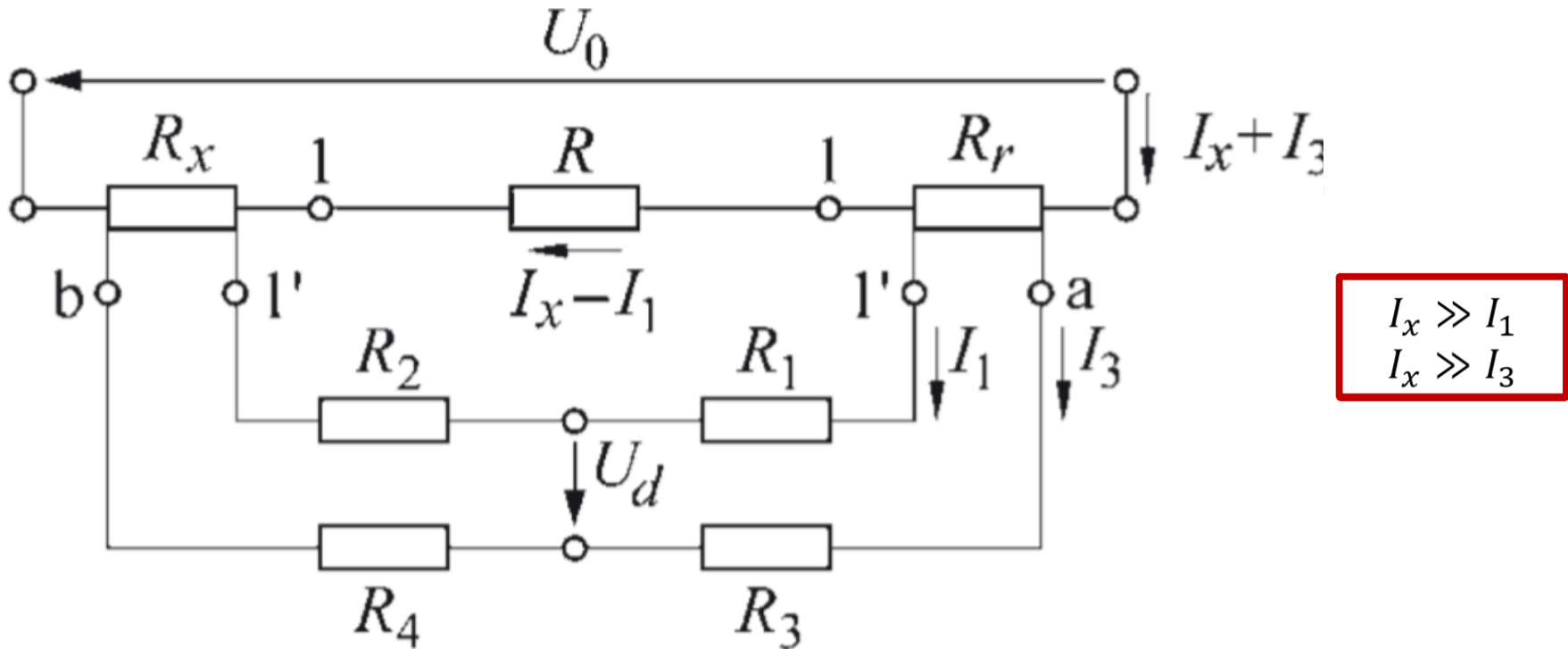


- Gegeben ist die abgebildete Wheatstone-Messbrücke. Berechnen Sie allgemein die Abgleichbedingung ($U_D = 0$) in Abhängigkeit der Widerstände R_1 bis R_4

Bsp. 2 Wheatstone-Messbrücke

- Zur Messung des Widerstandes R_2 werden die bekannten Widerstände $R_3 = R_4 = 30\Omega$, sowie ein einstellbarer Widerstand R_1 verwendet.
- Die Brücke ist abgeglichen und $R_2 = 2\Omega$. Berechnen Sie R_1 .
- Der Anschluss des Widerstands R_2 besteht aus einem Kontaktwiderstand $R_k = 0.25\Omega$ und einem Leitungswiderstand $R_L = 0.5\Omega$. Berechnen Sie R_1 .
- Berechnen Sie den relativen Fehler der Widerstandsmessung der durch den Anschlusswiderstand entsteht.

Bsp. 3 Thomson-Brücke



- Um den Einfluss des Anschlusswiderstandes bei der Messung kleiner Widerstände zu reduzieren, wird eine Thomson-Messbrücke verwendet.

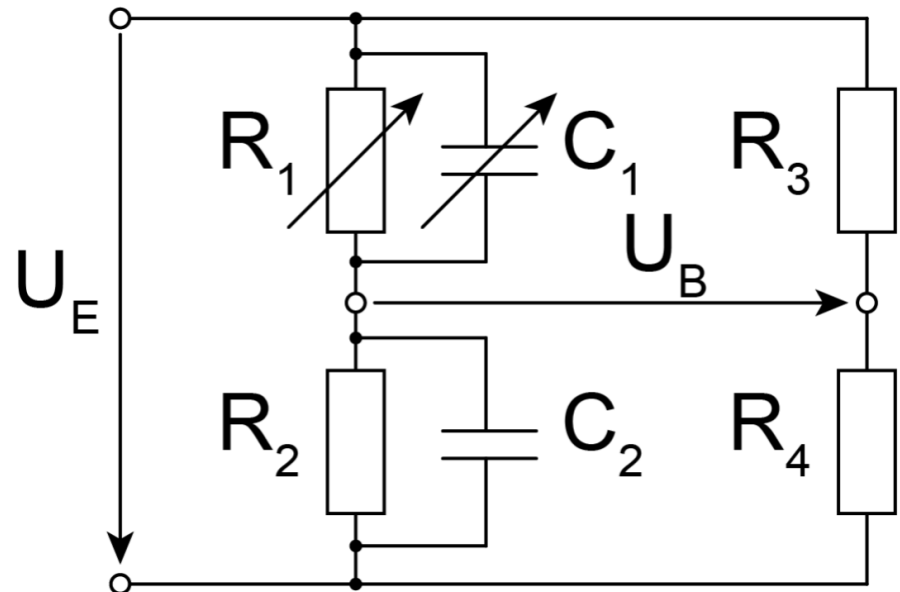
Bsp. 3 Thomson-Brücke

- R_x ist der zu messende Widerstand, R ist der i.d.R. unbekannte Leitungs – und Kontaktwiderstand und R_r ein bekannter Referenzwiderstand.
- Gehen sie davon aus, dass $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$ gilt, die beiden Brückenzweige sind also mechanisch gekoppelt.
- Berechnen Sie einen Ausdruck für die Abgleichbedingung ($U_D = 0$) in Abhängigkeit aller Widerstände und formen Sie nach R_x um.
- Wie müssen die Widerstände R_1, R_2, R_3, R_4 gewählt werden, damit die die Näherung $I_x \gg I_1$ und $I_x \gg I_3$ gilt?

Bsp. 4 Wien-Brücke

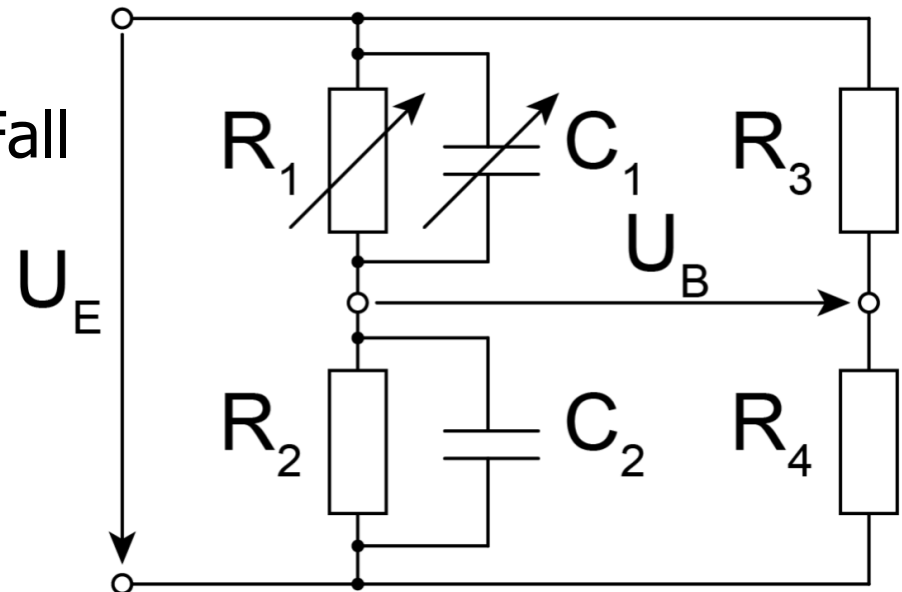
- Berechnen Sie allgemein und zahlenmäßig
 - Die Brückenspannung U_B für das Eingangssignal $U_E = A + B \cdot \sin(\omega t)$
 - $A=10V$, $B=5V$, $f=200Hz$
- Verwenden Sie dazu folgende Werte

- $R_1 = 250\Omega$
- $R_2 = R_3 = R_4 = 10k\Omega$
- $C_1 = 1nF$
- $C_2 = 10nF$



Bsp. 4 Wien-Brücke

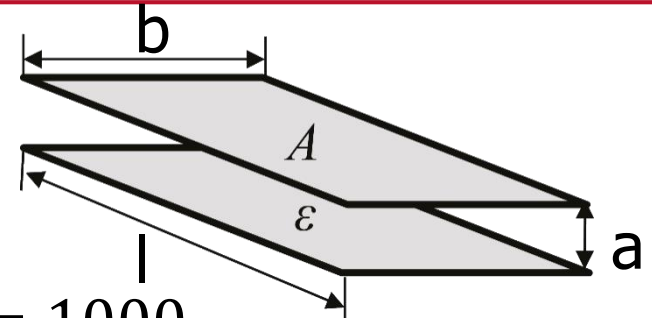
- Berechnen Sie allgemein die Abgleichbedingungen für diese Brücke
- Der Widerstand R_1 und der Kondensator C_1 sind einstellbar und können für den Abgleich der Brücke verwendet werden.
- Berechnen Sie die Werte von R_2 und C_2 im abgeglichenen Fall
- Verwenden Sie dazu
 - $R_1 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$
 - $C_1 = 1 \text{ nF}$



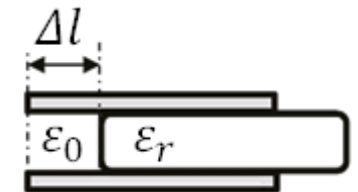
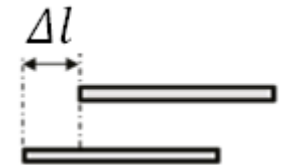
Bsp. 5 Kapazitive Aufnehmer

- Gegeben ist der dargestellte Plattenkondensator

$$l = 10 \text{ mm}, b = 1 \text{ mm}, a = 0.1 \text{ mm}, \varepsilon_r = 1000$$



- Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit des Plattenabstands $a_0 + \Delta a$
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Plattenüberlappung $l - \Delta l$
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Position des Dielektrikums Δl

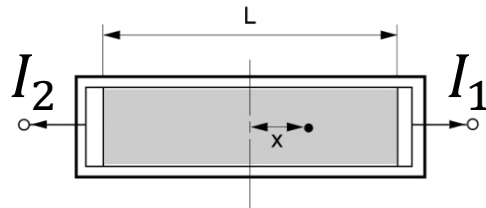


Bsp. 6 Optischer Aufnehmer

- Mit einer lateralen Photodiode (S3932) soll die Position eines Laserstrahls gemessen werden
- Berechnen Sie die Position x des Laserstrahls in Abhängigkeit der Ströme I_1 und I_2 . Nehmen Sie dabei eine lineare Abhängigkeit zwischen x und der Differenz der Ströme $\Delta I = I_1 - I_2$ an.



www.hamamatsu.com



Bsp. 6 Optischer Aufnehmer

- Die Anzeige der Auslenkung soll mit einem Voltmeter erfolgen (Messbereich: $\pm 10 V$, $R_i = 1 \text{ k}\Omega$). Laser Leistung: 5 mW , Laser Wellenlänge: $\lambda = 920 \text{ nm}$. Restliche Daten aus dem Datenblatt auf der nächsten Folie. Entwerfen und dimensionieren Sie die entsprechende Beschaltung des Voltmeters (Vollausschlag bei voller Auslenkung des Lasers).

Bsp. 6 Optischer Aufnehmer

General ratings / Absolute maximum ratings

| Type No. | Package | Window material *1 | Active area size (mm) | Absolute maximum ratings | | |
|----------|---------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | | | Reverse voltage VR Max. (V) | Operating temperature Topr (°C) | Storage temperature Tstg (°C) |
| S3931 | Ceramic | R | 1 × 6 | 20 | -10 to +60 | -20 to +80 |
| S3932 | | R | 1 × 12 | | | |
| S3270 *2 | | R (B) | 1 × 37 | | -10 to +75 | |

Electrical and optical characteristics (Typ. Ta=25 °C, unless otherwise noted)

| Type No. | Spectral response range λ (nm) | Peak sensitivity wavelength λ_p (nm) | Photo sensitivity S $\lambda=\lambda_p$ (A/W) | Interelectrode resistance Rie Vb=0.1 V | | | Position detection error *3 E VR=5 V light spot ϕ 200 μ m | | Saturation photocurrent *4 VR=5 V RL=1 k Ω (μ A) | Dark current ID VR=5 V | | Temp. coefficient of ID TCID (times/°C) | Rise time tr VR=5 V RL=1 k Ω (μ s) | Terminal capacitance Ct VR=5 V f=10 kHz (pF) | Position resolution *5 (μ m) |
|----------|--|--|---|--|--------------------|--------------------|--|-----------------|--|------------------------|-----------|---|--|--|-----------------------------------|
| | | | | Min. (k Ω) | Typ. (k Ω) | Max. (k Ω) | Typ. (μ m) | Max. (μ m) | | Typ. (nA) | Max. (nA) | | | | |
| S3931 | 320 to 1100 | 920 | 0.55 | 30 | 50 | 80 | ±30 | ±120 | 100 | 0.15 | 10 | 1.15 | 1.5 | 40 | 0.2 |
| S3932 | | | | | | | ±60 | ±240 | | 0.2 | 20 | | | | |
| S3270 | 700 to 1100 | 960 | 0.55 | 10 | 15 | 20 | ±100 | ±400 | 300 | 0.5 | 20 | | 1.0 | 100 | 2.8 |

www.hamamatsu.com

Lösungen Bsp. 1 - Ausschlagbrücke

- $U_B = -2,13 \text{ mV}$

- $\frac{dU_B}{d\Delta R} = -U_E \frac{R}{(2R+\Delta R)^2}$

- $\frac{dU_B}{d\Delta R} = -U_E \frac{1}{2R}$

Lösungen Bsp. 2 – Wheatstone-Brücke

- Abgleichbedingung: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$
- $R_1 = 2\Omega$
- $R_{1f} = 2\Omega, f = 0.375$

Lösungen Bsp. 3 – Thomson-Brücke

- Abgleichbedingung: $R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_r$
- $R_1 + R_2 \gg R, \quad R_3 + R_4 \gg R + R_r + R_x$

Lösungen Bsp. 4 – Wien-Brücke

- $U_B = 4,756 \text{ V} + 2,378 \text{ V} \cdot \sin(400\pi t - 0,3593^\circ)$
- $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{R_3}{R_4}$
- $R_2 = 10 \text{ k}\Omega, C_2 = 1 \text{ nF}$

Lösungen Bsp. 5 - Kapazitive Aufnehmer

■ $C_0 = 885 \text{ pF}$

■ $C = C_0 \cdot \frac{a_0}{a_0 + \Delta a}, E = -C_0 \cdot \frac{a_0}{(a_0 + \Delta a)^2}$

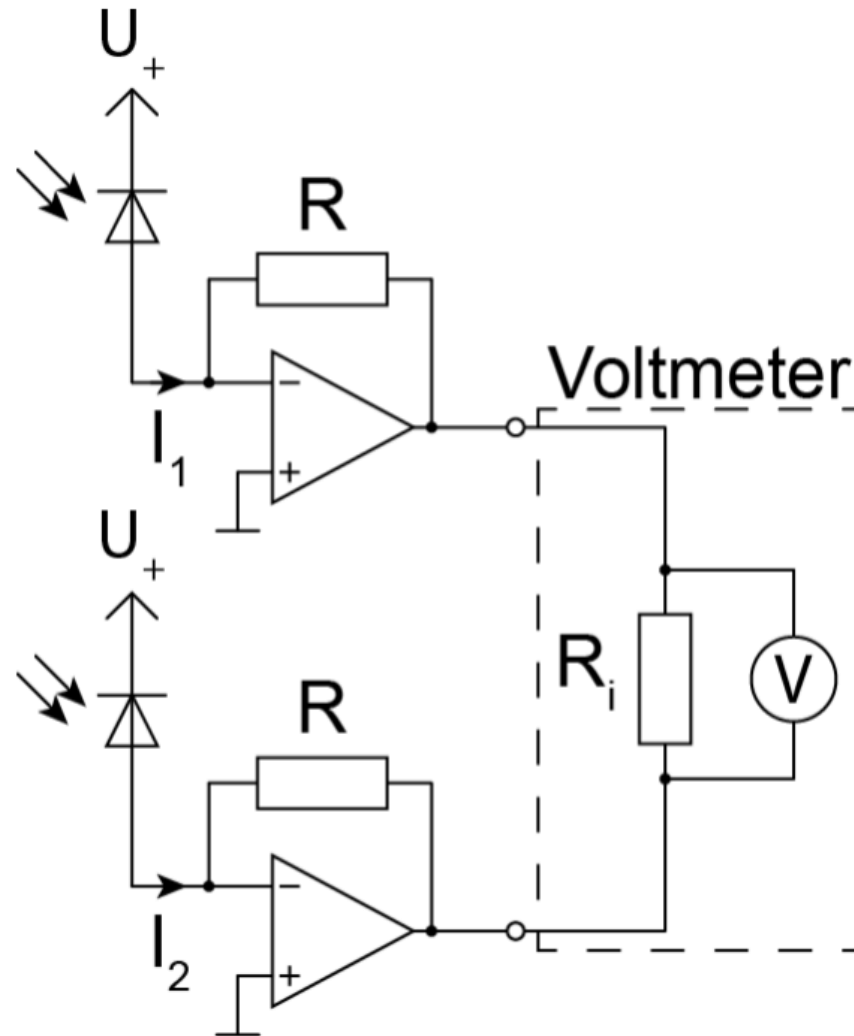
■ $C = C_0 \cdot \left(1 - \frac{|\Delta l|}{l}\right), E = \frac{C_0}{l}$

■ $C = C_0 \cdot \left(1 - \frac{|\Delta l|}{l} + \frac{|\Delta l|}{l \cdot \epsilon_r}\right), E = -C_0 \cdot \frac{\epsilon_r - 1}{l \cdot \epsilon_r} \cdot \text{sign}(\Delta l)$

Lösungen Bsp. 6 - Optischer Aufnehmer

■ $x = L \cdot \frac{\Delta I}{2 \cdot (I_1 + I_2)}$

■ $R = 3,64 \text{ k}\Omega$



Hinweise

- Bei Fragen zu den Beispielen wenden Sie sich bitte an **wertjanz@acin.tuwien.ac.at**
- Online-Diskussion der Beispiele am Do. 28.05.2020 um 09:15 Uhr
- Link zum Videomeeting:
<https://www.gotomeet.me/LVAMesstechnik>
- Passwort: messkette
- Versuchen Sie im Hinblick auf den schriftlichen Teil der Prüfung die Aufgabenstellungen selbst zu lösen.

Viel Erfolg!