

1

Aufgabenbogen

Klausur zur Vorlesung „Elektrotechnik für Maschinenbauer 2 “ Wintersemester 2019/2020

Fachbereich und Dozent

Lehrstuhl für Messtechnik und Sensorik
Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig

Allgemeiner Hinweis

Nur dokumentenechte Stifte verwenden. Only permanent pencils are allowed.

Schreiben Sie nicht mit der Farbe rot. Do not use the color red.

Der Lösungsweg muss nachvollziehbar sein. The approach must be comprehensible.

Es sind nur Taschenrechner erlaubt, die auf der **Liste zugelassener Taschenrechner** vom Lehrstuhl veröffentlicht wurden. Only calculators are admitted that are on the **list of approved calculators** published by the institute.

Prüfungstermin

13. März 2020

Name	Max Mustermann
Sitzplatznummer	1
Matrikelnummer	000000
Prüfungsnummer	
Studiengang	
Art der Klausur	Elektrotechnik für Maschinenbauer II

1 Dioden (20,5 Pkt)

1.1 Leuchtdiode (3 Pkt)

Eine Leuchtdiode (LED) soll mit einer (idealen) 9V-Batterie betrieben werden und wurde entsprechend der Schaltung in Abb. 1 links verdrahtet. Die Kennlinie der Diode ist in Abb. 1 rechts aufgezeigt. Zudem gilt für den Strom $I_{D,max} = 20 \text{ mA}$.

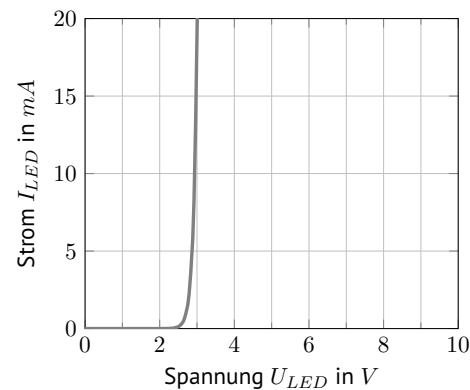
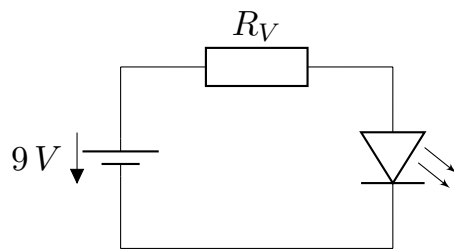


Abbildung 1: Elektrische Schaltung mit Leuchtdiode und die Kennlinie der Leuchtdiode

- Welche Funktion erfüllt der Widerstand R_V ?
- Wie müsste der Widerstand gewählt werden, damit die LED mit maximaler Helligkeit leuchtet. Die Helligkeit der Leuchtdiode sei proportional zur Stromstärke. (**Kurzlösung:** $R_V = 300 \Omega$)
- Welche Verlustleistung P_V wird im gewählten Widerstand umgesetzt? Würde eine Belastbarkeit des Widerstands von $\frac{1}{4} \text{ W}$ ausreichen? (**Kurzlösung:** Ja, $P_V = 120 \text{ mW}$)

1.2 Ausgangsspannungsverläufe (4 Pkt)

Gegeben sei die elektrische Schaltung in Abb. 2 links. Gehen Sie von der Annahme aus, dass es sich um eine gewöhnliche Siliziumdiode handelt. Für die Widerstände gilt: $R_1 = R_2$.

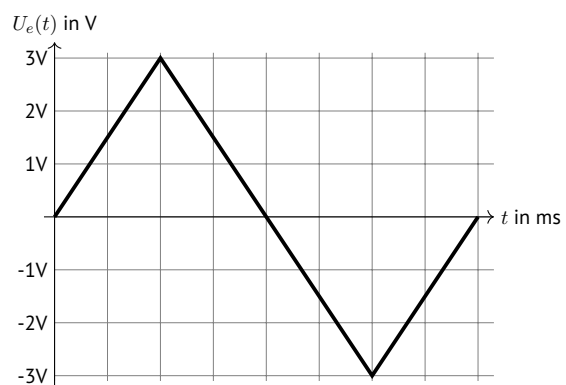
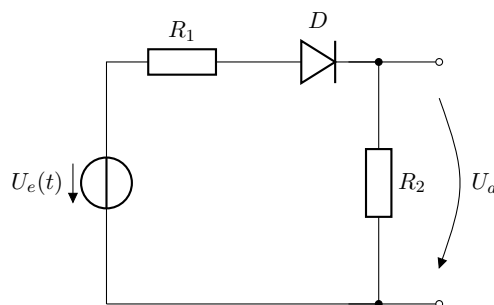


Abbildung 2: Elektrische Schaltung mit einer Diode und der Eingangsspannungsverlauf $U_e(t)$

Bestimmen Sie anhand des in Abb. 2 rechts gegebenen Eingangsspannungsverlaufs $U_e(t)$ den Ausgangsspannungsverlauf $U_a(t)$ und zeichnen Sie diesen in das vorgefertigte Diagramm **auf dem Bearbeitungsbogen** ein.

1.3 Z-Diode (13,5 PKt)

Gegeben sei die elektrische Schaltung in Abb. 3. Der Arbeitspunkt der Z-Diode befindet sich bei $U_Z(I_Z = 100 \text{ mA}) = 10 \text{ V}$. Berücksichtigen Sie stets den Innenwiderstand r_Z der Z-Diode. Ihnen sind folgende Informationen bekannt:

$$U_{Z,0} = 9,6 \text{ V} \quad U_e = 12 \text{ V} \quad P_{Z,max} = 1,25 \text{ W} \quad R_L = 150 \Omega$$

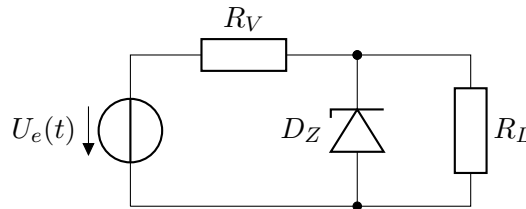


Abbildung 3: Elektrische Schaltung mit Z-Diode.

- Welche Funktion erfüllt die Z-Diode bzw. die Schaltung?
- Ersetzen Sie die Z-Diode aus Abb. 3 mit ihrem Ersatzschaltbild. Zeichnen Sie die vollständige Schaltung aus Abb. 3.
- Bestimmen Sie den Widerstand r_Z . (**Kurzlösung:** $r_Z = 4 \Omega$)
- Prüfen Sie, ob für den eingestellten Arbeitspunkt die Z-Diode im Leerlauf ($R_L = \infty \Omega$) überlastet ist. (**Kurzlösung:** Überlastet, $P_Z = 1,53 \text{ W}$)
- Die Eingangsspannung schwankt nun um ihren ursprünglichen Wert von 12 V . Zeichnen Sie zunächst das Kleinsignalersatzschaltbild der Ersatzschaltung aus Aufgabenteil a) und leiten Sie daraus den Glättungsfaktor $G = \frac{\Delta U_e(t)}{\Delta U_a(t)}$ ab. $U_a(t)$ fällt hierbei am Lastwiderstand R_L ab. Für den Vorwiderstand gilt hier: $R_V = 120 \Omega$. (**Kurzlösung:** $G = 31,8$)

2 Transistoren (29 Pkt)

2.1 Feldeffekttransistor (16,5 Pkt)

Gegeben sei die elektrische Schaltung und das Ausgangskennlinienfeld des Feldeffekttransistors in Abb. 4. Es seien folgende Größen gegeben:

$$U_0 = 20 \text{ V} \quad R_D = 1,5 \text{ k}\Omega \quad R_S = 1 \text{ k}\Omega \quad R_{G,2} = 1,5 \text{ k}\Omega$$

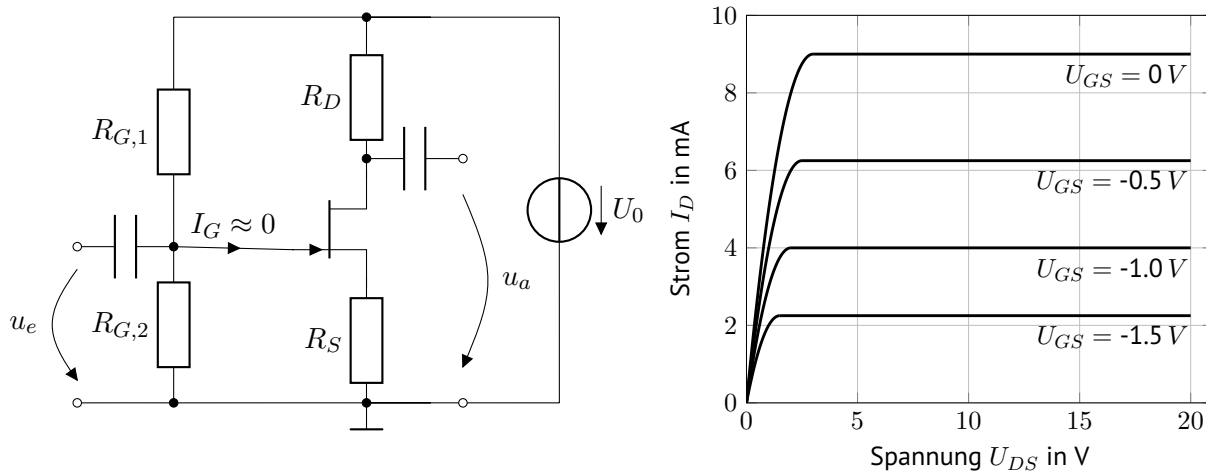


Abbildung 4: Elektrische Schaltung mit Feldeffekttransistor und Ausgangskennlinienfeld.

- Wodurch wird in der gegebenen Schaltung der Arbeitspunkt gegen Temperaturänderungen stabilisiert? Wie wirkt sich diese Stabilisierung auf die Kleinsignalverstärkung aus und wie kann dieser Effekt verringert werden?
- Bestimmen Sie die Gate-Source-Spannung und den Drainstrom für den Arbeitspunkt ($U_{GS,AP}$ und $I_{D,AP}$), für den Fall, dass die Verlustleistung des Feldeffekttransistors optimal eingestellt ist. Verwenden Sie hierfür die Ausgangskennlinienfeld **auf dem Bearbeitungsbogen**. (**Kurzlösung:** $I_{D,AP} = 4 \text{ mA}$, $U_{GS,AP} = -1 \text{ V}$)
- Bestimmen Sie $R_{G,1}$ für den ermittelten Arbeitspunkt. (**Kurzlösung:** $R_{G,1} = 8,5 \text{ k}\Omega$)
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild. Die Koppelkondensatoren können hierbei kurzgeschlossen werden. Verwenden Sie das Kleinsignalersatzschaltbild eines Feldeffekttransistors aus der Formelsammlung.
- Bestimmen Sie die Kleinsignalverstärkung $V = \frac{u_a}{u_e} \big|_{i_a=0}$. Geben Sie diese in Abhängigkeit von der Steilheit S , dem Drainwiderstand R_D und dem Sourcewiderstand R_S an. Folgende Annahmen zur Vereinfachung sind erlaubt: $r_{DS} \rightarrow \infty$. (**Kurzlösung:** $V = \frac{-S \cdot R_D}{1 + S \cdot R_S}$)

2.2 Bipolartransistor (12,5 Pkt)

Gegeben sei die elektrische Schaltung in Abb. 5 und die dazugehörigen Kennlinien $I_B(U_{BE})$ und $I_C(I_B)$. Der Arbeitspunkt sei auf $U_{BE,AP} = 0,75 \text{ V}$ eingestellt. Außerdem sind folgende Größen gegeben:

$$U_0 = 15 \text{ V} \quad R_E = 375 \Omega \quad R_2 = 1,5 \text{ k}\Omega$$

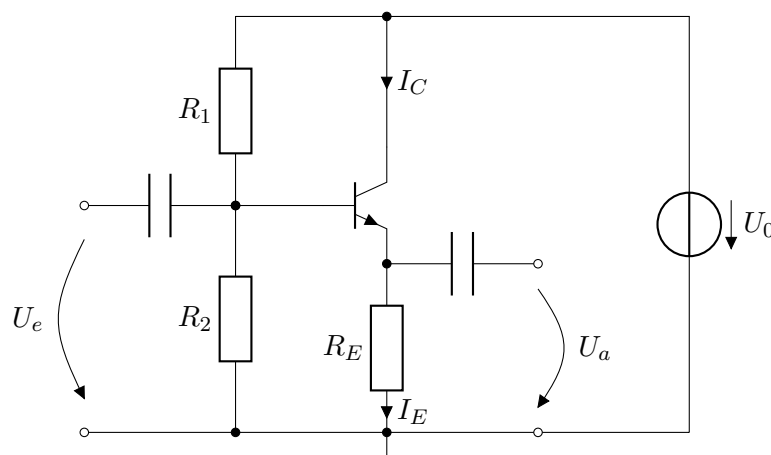
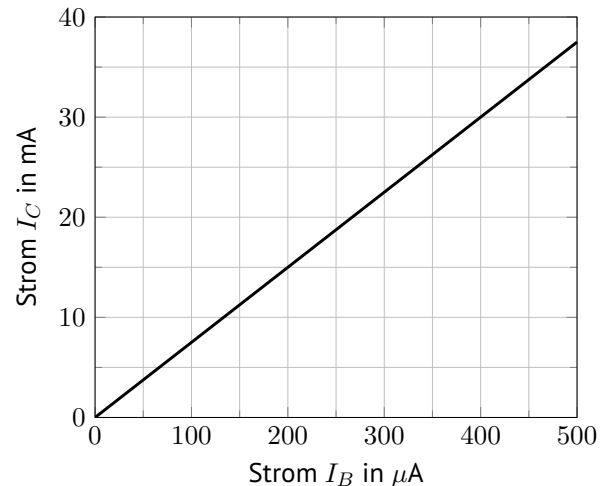
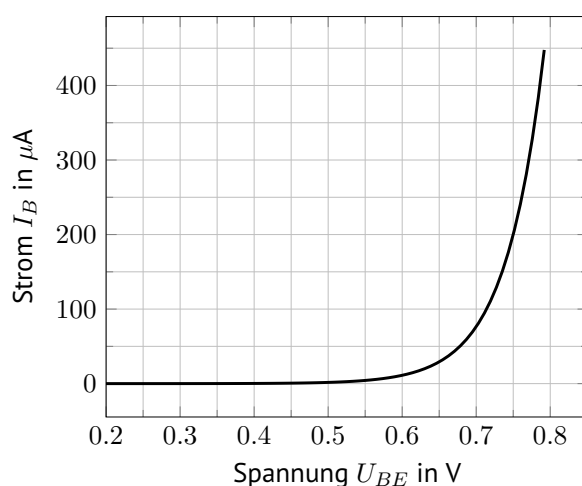


Abbildung 5: Elektrische Schaltung mit Bipolartransistor und Kennlinienfelder $I_B(U_{BE})$ und $I_C(I_B)$

- Um welche Grundschaltung handelt es sich und wozu wird diese eingesetzt?
- Bestimmen Sie R_1 für den gegebenen Arbeitspunkt. Vernachlässigen Sie I_B **nicht**. (Kurzlösung: $R_1 = 1,9 \text{ k}\Omega$)
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild. Die Koppelkondensatoren können hierbei kurzgeschlossen werden. Verwenden Sie das Kleinsignalersatzschaltbild eines Bipolartransistors aus der Formelsammlung.
- Bestimmen Sie die Kleinsignalverstärkung $V = \frac{u_a}{u_e} \Big|_{i_a=0}$. Folgende Annahmen zur Vereinfachung sind erlaubt: $r_{BE} \ll \beta R_E$ und $r_{CE} \rightarrow \infty$. (Kurzlösung: $V = \frac{R_E(\beta+1)}{r_{BE}+R_E(\beta+1)} \approx 1$)

3 Operationsverstärker (20 Pkt)

3.1 Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern (10 Pkt)

Ein Praktikant der Elektro-Werkstatt hat die zwei Schaltungen mit idealen Operationsverstärkern in a) und b) bzw. Abb. 6 und 7 verschaltet. Beim Experimentieren mit den Schaltungen bemerkte er, dass nicht alle Widerstände einen Einfluss auf die Verstärkung haben. Hilfesuchend kommt er auf Sie zu. Benennen Sie die Widerstände, welche keinen Einfluss auf die jeweilige Verstärkung haben und begründen Sie kurz Ihre Antwort. Berechnen Sie außerdem jeweils die Verstärkung mit den in a) und b) vorgegebenen Größen.

a) (Kurzlösung: $V = 1$)

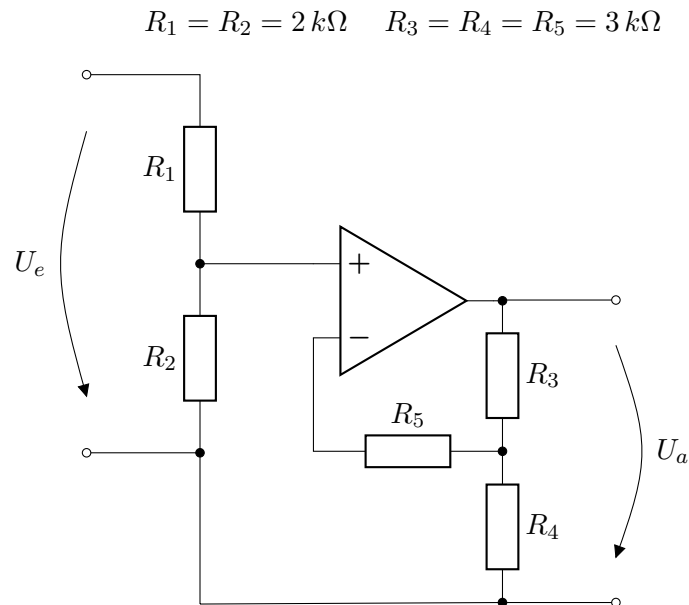


Abbildung 6: Schaltung 1 mit idealem Operationsverstärker

b) (Kurzlösung: $V = 8$)

$$R_1 = R_3 = R_4 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = R_6 = 3 \text{ k}\Omega \quad R_5 = 2 \text{ k}\Omega \quad U_e = 5 \text{ V}$$

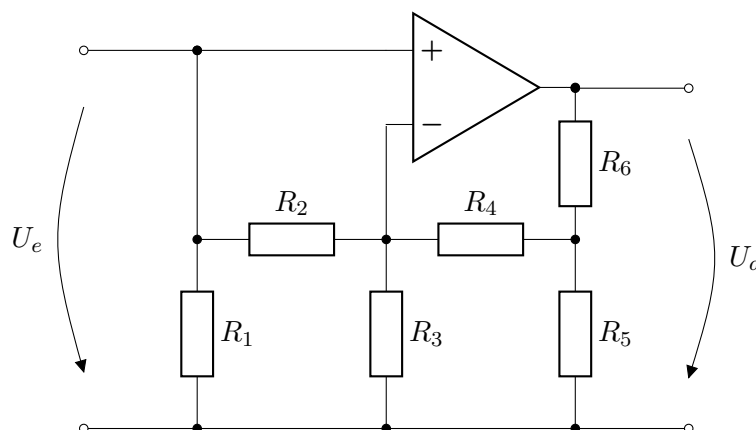


Abbildung 7: Schaltung 2 mit idealem Operationsverstärker

3.2 Differentialgleichungen (10 Pkt)

Das Übertragungsverhalten eines angeregten Masse-Feder-Dämpfer-Systems soll mit Hilfe von idealen Operationsverstärkern nach der Schaltung in Abb. 8 modelliert werden. Die entsprechende Differentialgleichung (DGL) wird bekanntermaßen durch folgende Gleichung beschrieben:

$$m \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + d \cdot \frac{dx(t)}{dt} + c \cdot x(t) = F_0 \sin(\omega t)$$

Hierbei steht m für die Masse, c für die Federsteifigkeit, d für die Dämpfungskonstante, F_0 für die Kraftamplitude und ω für die Erregerkreisfrequenz.

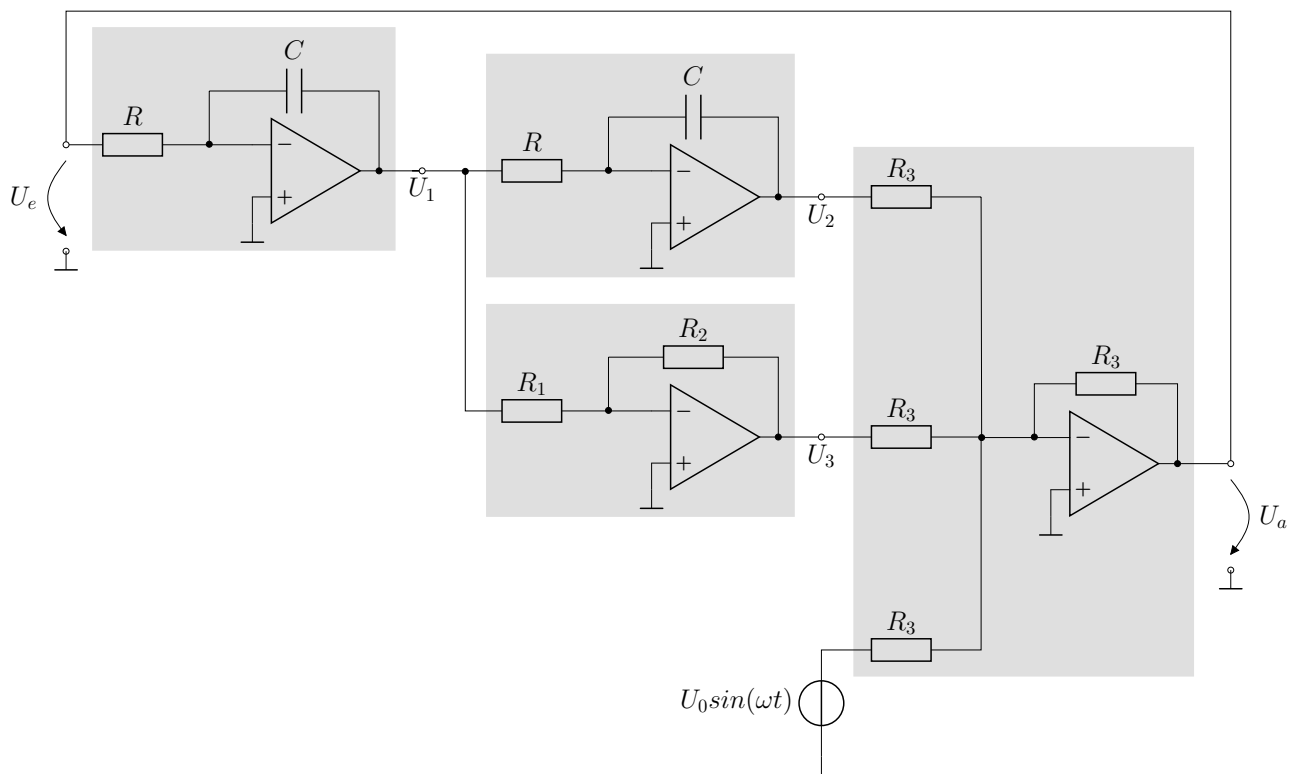


Abbildung 8: Schaltung mit Operationsverstärkern zur Realisierung einer DGL.

- Welche Grundschaltungen des Operationsverstärkers (grau hinterlegt) sind abgebildet?
- Geben Sie zunächst U_1 , U_2 und U_3 in Abhängigkeit von U_e an.
- Leiten Sie daraus die Integral- oder auch Differentialgleichung nur in Abhängigkeit von U_e ab. Die Kondensatoren seien vollständig entladen. **Hinweis:** Aufgrund der Rückführung gilt $U_a = U_e$.
- Legen Sie die el. Bauteile so aus, dass die Schaltung den aperiodischen Grenzfall abbildet. D.h. $D = \frac{d}{2\sqrt{c \cdot m}} \stackrel{!}{=} 1$. Es gilt $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$. (**Kurzlösung:** $R_2 = 6 \text{ k}\Omega$)

4 Digitaltechnik (10,5 Pkt)

4.1 Bauteilidentifizierung

In einer Fertigungsstraße sollen mit Hilfe von vier Sensoren (a , b , c und d) Blechteile identifiziert werden, sodass automatisiert über deren Weiterverarbeitung entschieden werden kann. Die Bleche befinden sich zum Zeitpunkt der Messung in einer vordefinierten Position und Ausrichtung, wobei die Sensoren oberhalb der Bleche angeordnet sind (vgl. Abb. 9). Befindet sich Material unterhalb des jeweiligen Sensors so gibt dieser das Signal „1“ aus. Befindet sich kein Material unterhalb so gibt er das Signal „0“ aus.

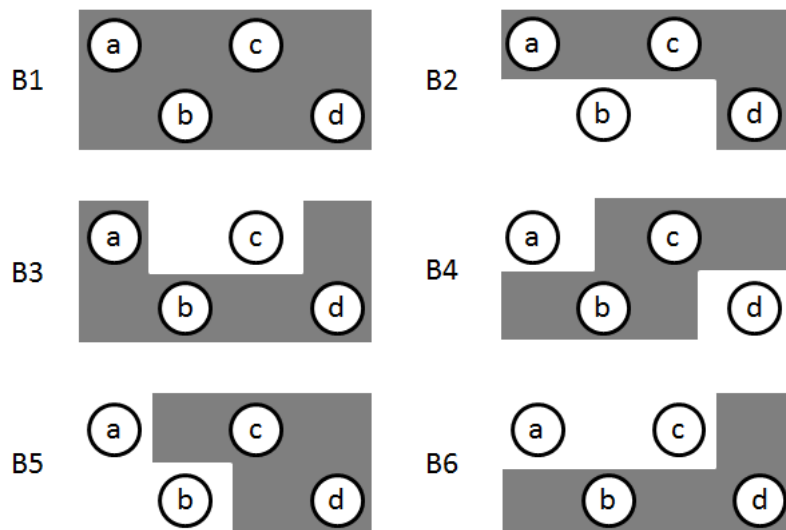


Abbildung 9: Sensoranordnung und verschiedene Bleche in der Draufsicht

Die Teile B1, B2, B3 und B4 sollen zum Tiefziehen weitergeleitet werden. Dies soll durch ein entsprechendes Ausgangssignal T mit dem Wert „1“ initiiert werden.

- Bestimmen Sie die Wahrheitstabelle für die Ein- und Ausgangsgrößen. Verwenden Sie hierfür die vorgefertigte Wahrheitstabelle **auf dem Bearbeitungsbogen**.
- Bestimmen Sie mit Hilfe eines KV-Diagramms die optimale Funktionsgleichung für T . Verwenden Sie hierfür das vorgefertigte KV-Diagramm **auf dem Bearbeitungsbogen**.
- Realisieren Sie ein Schaltnetz zur Funktionsgleichung aus Aufgabenteil b) nur mit NOR-Gattern.