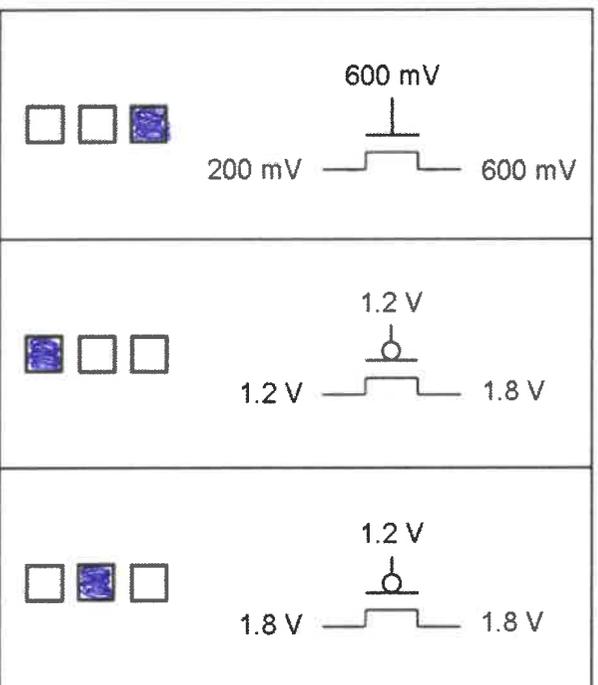


Aufgabe 1:

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen jeweils unter oder neben den Skizzen zur Problemstellung oder auf einem separaten Blatt Papier.

- a) Die untenstehende Skizze zeigt MOS-Transistoren und Grundschaltungen, an deren Anschlüssen die eingezeichneten Spannungen anliegen. Alle Spannungen sind auf Masse bezogen. Die Schwellenspannung aller Transistoren beträgt 500 mV. Gehen Sie ferner davon aus, dass die Substratspannung jeweils auf geeignetem Potential liegt.

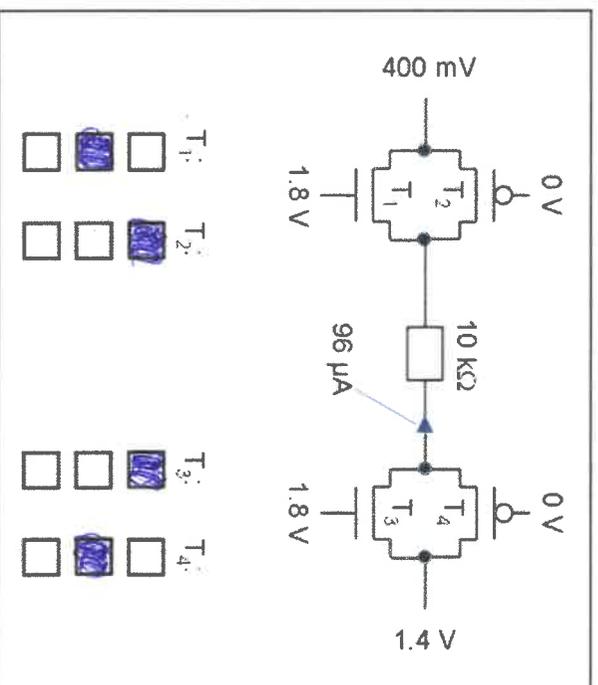
Geben Sie den Arbeitspunkt der Transistoren an (ohne weitere Begründung).



Nicht in Inversion ("off"):

Triodengebiet:

Sättigung:



Nicht in Inversion ("off"):

Triodengebiet:

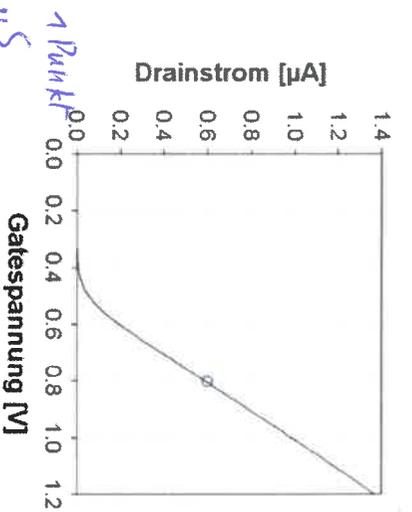
Sättigung:

- b) Geben Sie die mit einem einzelnen MOSFET theoretisch maximal erreichbare Spannungsverstärkung in einer Schaltung an. (Formel)

$$G_{max} = \frac{g_m}{g_{d's}}$$

- c) Gegeben ist die skizzierte Eingangskennlinie eines nMOS-Transistors mit $W = L = 10 \mu\text{m}$, $U_D = 10 \text{ mV}$.

Bestimmen Sie graphisch die Transkonduktanz g_m im eingezeichneten Arbeitspunkt mit $U_G = 800 \text{ mV}$. Berechnen Sie weiterhin aus dem ermittelten Wert für g_m die Transistorkonstante k_n des Transistors. Achten Sie auf die korrekte Angabe der physikalischen Einheiten.



$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U} = \frac{1 \mu\text{A} - 0,2 \mu\text{A}}{1 \text{V} - 0,4 \text{V}} = \frac{0,8 \mu\text{A}}{0,4 \text{V}} = 2 \mu\text{S}$$

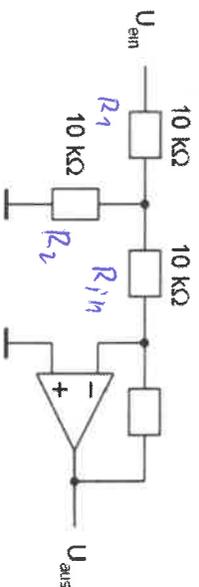
Triode

$$I_D = \frac{W}{L} \cdot k_n \cdot (U_{GS} - U_{th} - \frac{1}{2} U_{DS}) \cdot U_{DS}$$

$$\Rightarrow g_m = \frac{W}{L} \cdot k_n \cdot U_{DS}$$

$$k_n = \frac{g_m}{\frac{W}{L} \cdot U_{DS}} = \frac{2 \mu\text{S}}{1 \cdot 10 \text{ mV}} = 200 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}$$

- d) Geben Sie den Eingangswiderstand der dargestellten Schaltung an (Formel und Wert).



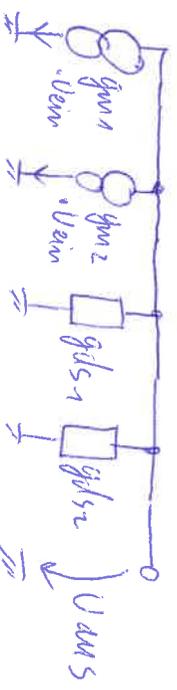
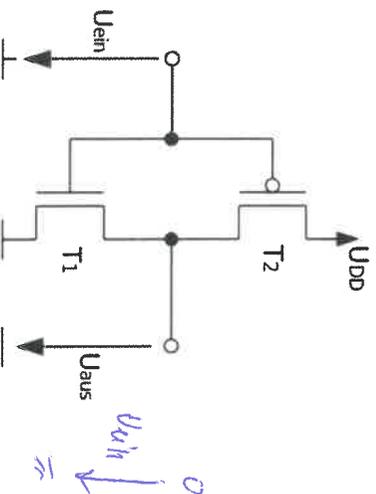
$R_2 \parallel R_{in}$ wegen virtuellem Masse

$$\Rightarrow R_2 \parallel R_{in} = 5 \text{ k}\Omega \quad 2 \text{ Punkte}$$

$R_1 + (R_2 \parallel R_{in})$ wegen Reihenschaltung

$$\Rightarrow R_1 + (R_2 \parallel R_{in}) = 15 \text{ k}\Omega \quad 1 \text{ Punkt}$$

- e) Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der dargestellten Schaltung.

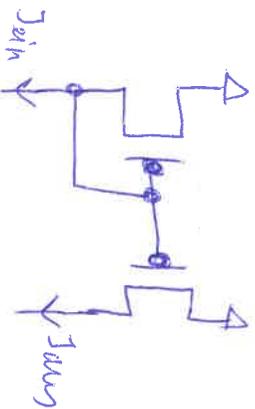


- 1 Punkt pro Fehler

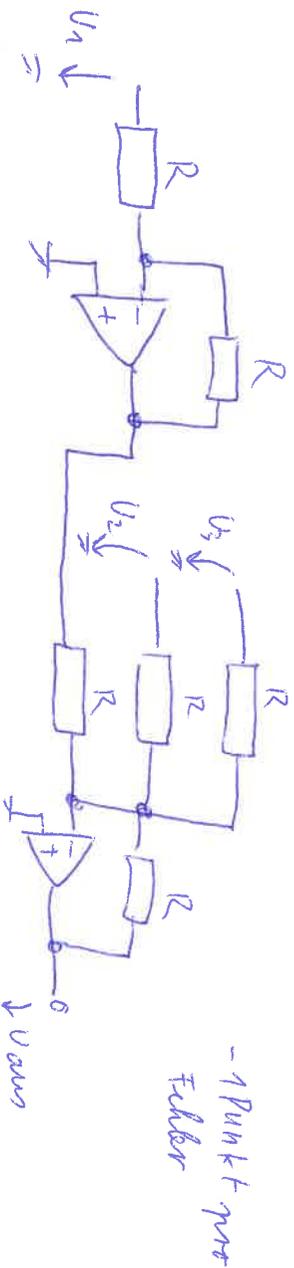
- 2 " für großen Unfang

g) Skizzieren sie einen PMOS-Stromspiegel.

1



h) Entwerfen sie aus OPV Grundschaltungen eine Schaltung mit drei Eingängen U_1, U_2 und U_3 . Für die Ausgangsspannung U_{aus} soll gelten $U_{aus} = U_1 - U_2 - U_3$. Geben sie auch die Gewichtung der verwendeten Widerstände zu einander an.



i) Ein MOSFET soll als Schalter verwendet werden. In welchem Arbeitsbereich soll sich der FET befinden wenn der Schalter offen und wenn er geschlossen ist

offen: Unterschwellbereich 1 Punkt
geschlossen: Triode 1 Punkt

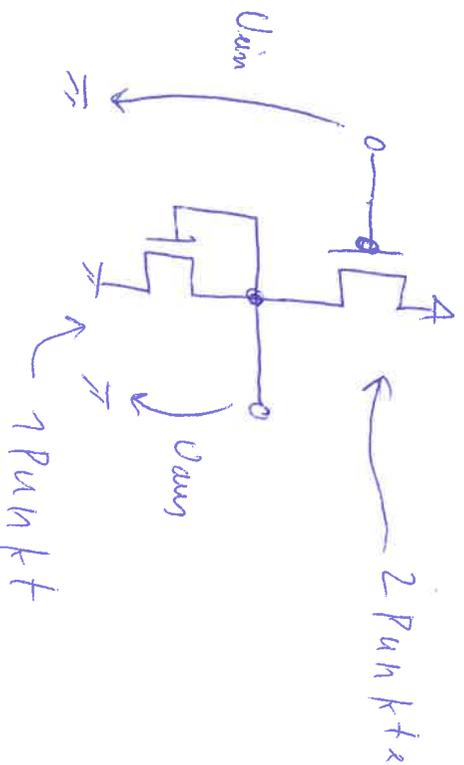
j) Welche Grundschaltung wird auch Sourcefolger genannt?

1

Drainenschaltung

k) Zeichnen sie eine PMOS-Source Schaltung mit NMOS-Diodenlast

3



Summe: 29

1 Punkt

2.a) Alle drei Schaltungen sind Umkehraddierer

1 Punkt

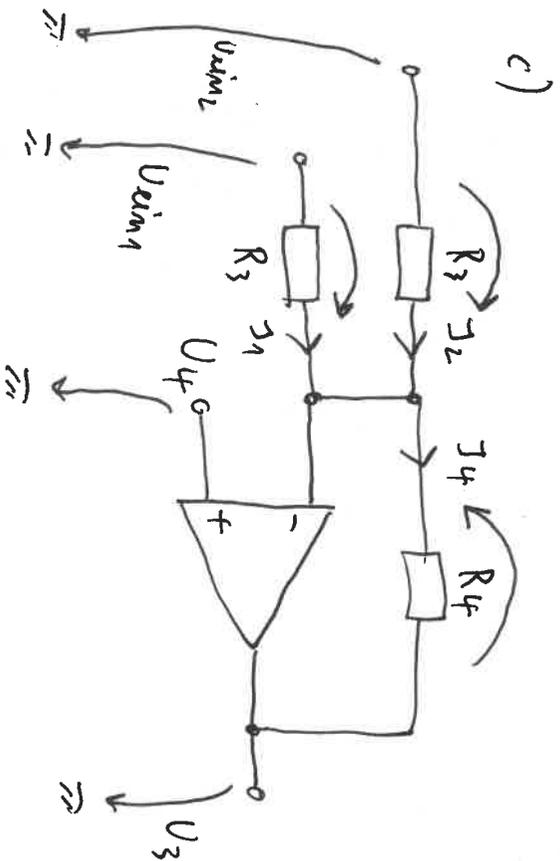
1 Punkt

b) $V_{aus1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{ein1} + U_3)$

1,5 Punkte

$V_{aus2} = -\frac{R_2}{R_1} (U_{ein2} + U_3)$

1,5 Punkte



$0 = -U_3 + (-J_4 \cdot R_4) + U_4$

$U_3 = -J_4 \cdot R_4 + U_4$

$0 = +J_1 + J_2 - J_4$

$J_4 = J_1 + J_2$

$= \frac{U_{ein1} - U_4}{R_3} + \frac{U_{ein2} - U_4}{R_3}$

$U_3 = -\left(\frac{U_{ein1} - U_4}{R_3} + \frac{U_{ein2} - U_4}{R_3}\right) \cdot R_4 + U_4$

0,5 Punkte

$U_3 = -\frac{R_4}{R_3} (U_{ein1} + U_{ein2} - 2U_4) + U_4$

$= -\frac{R_4}{R_3} (U_{ein1} + U_{ein2}) + \frac{2R_4}{R_3} \cdot U_4 + U_4$

$U_3 = -\frac{R_4}{R_3} (U_{ein1} + U_{ein2}) + \left(\frac{2R_4}{R_3} + 1\right) \cdot U_4$

0,5 Punkte

$$d) U_{cm} = \frac{U_{aus1} + U_{aus2}}{2} =$$

$$= -\frac{R_2}{2 \cdot R_1} \cdot (U_{in1} + U_3) - \frac{R_2}{2 \cdot R_1} \cdot (U_{in2} + U_3) \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$= -\frac{R_2}{2 \cdot R_1} \cdot [U_{in1} + U_{in2} + 2 \cdot U_3] \quad \text{mit c)}$$

$$= -\frac{R_2}{2 \cdot R_1} \cdot \left[U_{in1} + U_{in2} - \frac{2R_4}{R_3} (U_{in1} + U_{in2}) + \left(\frac{2R_4}{R_3} + 1 \right) \cdot 2U_4 \right] \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$U_{cm} = -\frac{R_2}{2R_1} \left[(U_{in1} + U_{in2}) \cdot \left(1 - \frac{2R_4}{R_3} \right) + \left(\frac{4R_4}{R_3} + 2 \right) \cdot U_4 \right] \quad \underline{\underline{=}}$$

e) Es muss gelten: $1 - \frac{2R_4}{R_3} \stackrel{!}{=} 0$ 3 Punkte

$$\Rightarrow 1 = \frac{2R_4}{R_3} \Rightarrow R_3 = 2 \cdot R_4 \quad 1 \text{ Punkt}$$

f) mit dem Ergebnis aus e) gilt

$$U_{cm} = -\frac{R_2}{2R_1} \cdot \left(\frac{4R_4}{2R_4} + 2 \right) \cdot U_4 \quad 0,5 \text{ Punkte}$$

$$U_{cm} = -\frac{2R_2}{R_1} \cdot U_4 \quad \text{mit } U_{cm} \stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow U_4 = 0V \quad 0,5 \text{ Punkte}$$

g) $\Delta U_{aus} = U_{aus1} - U_{aus2} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{in1} + U_3) + \frac{R_2}{R_1} \cdot (U_{in2} + U_3)$ 1 Punkt

$$= \frac{R_2}{R_1} \cdot \underbrace{(U_{in2} - U_{in1})}_{\Delta U_{in}} \Rightarrow \frac{\Delta U_{aus}}{\Delta U_{in}} = \frac{R_2}{R_1} \stackrel{!}{=} 5 \Rightarrow R_2 = 50k\Omega \quad \underline{\underline{=}}$$

0,5 Punkte

mit e) $R_3 = 2 \cdot R_4 \Rightarrow R_4 = 5k\Omega$ 1 Punkt

mit f) $U_{cm} = -\frac{2R_2}{R_1} \cdot U_4 \Rightarrow U_4 = -\frac{U_{cm}}{10} = 0,25V$ 1 Punkt

1 Punkt

3. a)

Pull-down

$$Y = \frac{(a \cdot c) + (b \cdot c) + d}{\leftarrow 1 \text{ Punkt}}$$

1 Punkt 1 Punkt 1 Punkt

b)

Pull-up

$$Z = \bar{x} \cdot \bar{y}$$

1 Punkt

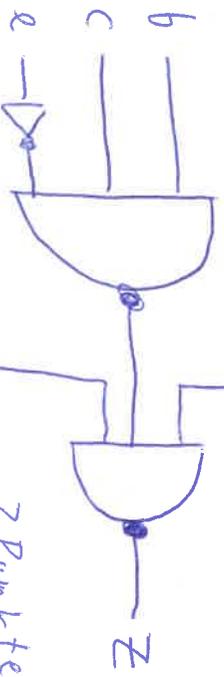
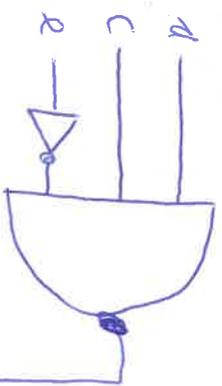
$$= \bar{x} \cdot [a \cdot c + b \cdot c + d]$$

1 Punkt

$$Z = a \cdot c \cdot \bar{x} + b \cdot c \cdot \bar{x} + d \cdot \bar{x}$$

1 Punkt

c)



3 Punkte



Z

$$\underline{\underline{Z = a \cdot c \cdot \bar{x} + b \cdot c \cdot \bar{x} + d \cdot \bar{x}}}$$

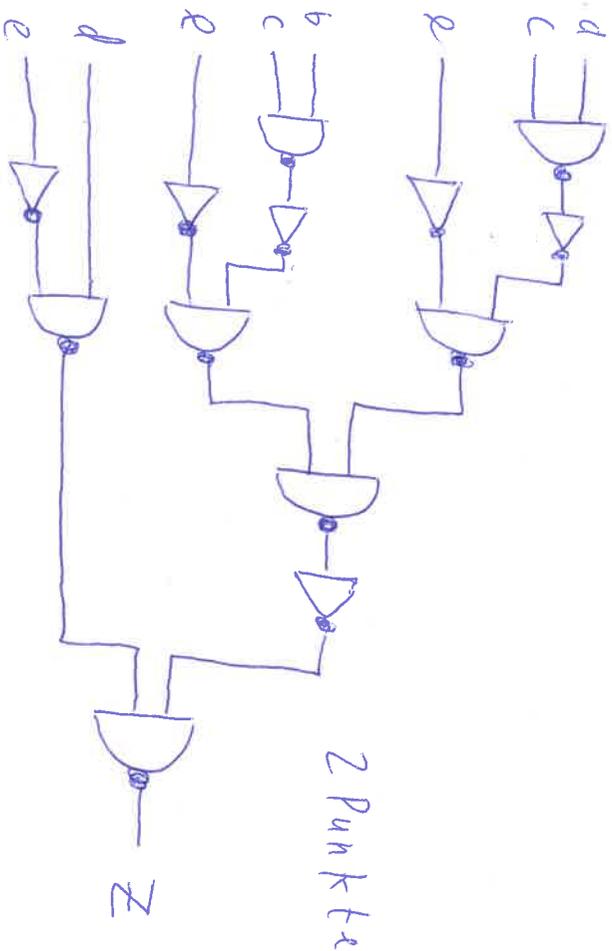
$$= \underline{\underline{a \cdot c \cdot \bar{x} + b \cdot c \cdot \bar{x} + d \cdot \bar{x}}}$$

1 Punkt

d)

$$Z = \overline{a \cdot c \cdot \bar{e}} \cdot \overline{b \cdot c \cdot \bar{e}} \cdot \overline{d \cdot \bar{e}}$$

$$= \overline{a \cdot c \cdot \bar{e}} \cdot \overline{b \cdot c \cdot \bar{e}} \cdot \overline{d \cdot \bar{e}} \quad 1 \text{ Punkt}$$



2 Punkte

1 Punkt

e) zu c) 3-fach NAND $3 \Rightarrow 6 \times 3 = 18$

2-fach NAND $4 \Rightarrow 4 \times 1 = 4 \Rightarrow 7 \text{ ges } 28 \quad 0,5 \text{ Punkte}$

Inverter $3 \Rightarrow 2 \times 3 = 6$

zu d) 2-fach NAND $7 \times 4 = 28 \Rightarrow 7 \text{ ges } 40 \quad 0,5 \text{ Punkte}$

Inverter $6 \times 2 \Rightarrow 12$

1 Punkt

f) zu c) 3-gatter $0,5 \text{ Punkte}$

zu d) 6-gatter $0,5 \text{ Punkte}$

4. d) $T_{11}, T_{12}, T_{13}, T_{14}$ Stromspiel 1 Punkt

T_{12}, T_{21}, T_{22} Diffstufe 1 Punkt

T_{13}, T_{23}, T_{24} Diffstufe 1 Punkt

T_{31}, T_{32} Stromspiel 1 Punkt

T_{33}, T_{14} Sourceinleitung 1 Punkt

b) E_{11} inv. Eingang 0,5 Punkte

E_{12} nichtinv. Eingang 0,5 Punkte

E_{21} inv. Eingang 0,5 Punkte

E_{22} nicht inv. Eingang 0,5 Punkte

c) $R = \frac{U_R}{I_0} = \frac{U_{DD} - U_{thp} - U_{th}}{8 \mu A} = 312,5 \text{ k}\Omega$ 1 Punkt

d) $I_D = \frac{I}{2} \frac{W}{L} K_p \cdot U_{th}^2$
 $\Rightarrow W = L \cdot \frac{2 I_D}{K_p \cdot U_{th}^2} = 15 \mu m$ 1 Punkt

e) $W_{12} = 8 \cdot W_{11} = 120 \mu m$ 1

$W_{13} = 8 \cdot W_{11} = 120 \mu m$ 1

$W_{14} = 16 \cdot W_{11} = 240 \mu m$ 1

$W_{21} = 4 \cdot W_{11} = 60 \mu m$ 1

$W_{22} = 4 \cdot W_{11} = 60 \mu m$ 1

$W_{23} = 4 \cdot W_{11} = 60 \mu m$ 1

$W_{24} = 4 \cdot W_{11} = 60 \mu m$ 1

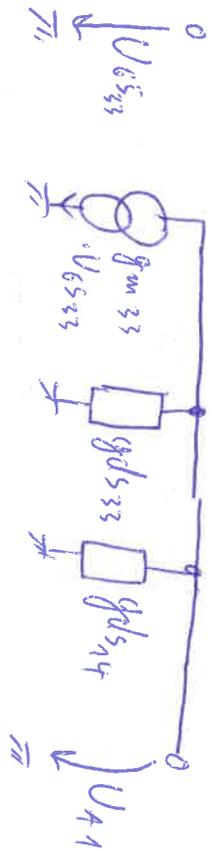
$I_{31} = 64 \mu A$ 1 Punkt

$\Rightarrow W_{31} = L \cdot \frac{2 I_D}{K_n \cdot U_{th}^2} = 48 \mu m$ 1

$W_{32} = W_{31} = 48 \mu m$ 1

$W_{33} = 2 \cdot W_{31} = 96 \mu m$ 1

A)



3 Punkt
- 1 Punkt pro Fehler
- 2 Punkte bei totaler
ScheiB

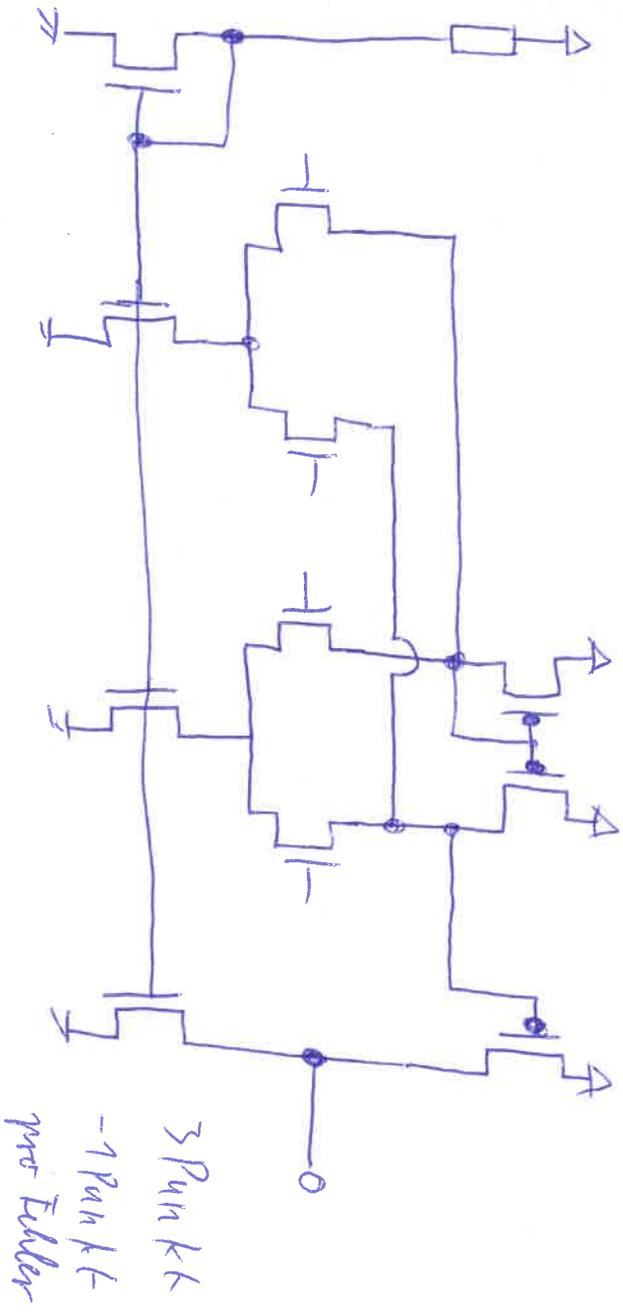
g) $0 = g_{m33} \cdot U_{GS33} + g_{DS33} \cdot U_{A1} + g_{DS14} \cdot U_{A1}$ 1 Punkt

$0 = g_{m33} \cdot U_{GS33} + (g_{DS33} + g_{DS14}) \cdot U_{A1}$

$-g_{m33} \cdot U_{GS33} = (g_{DS33} + g_{DS14}) \cdot U_{A1}$

$$\frac{U_{A1}}{U_{GS33}} = - \frac{g_{m33}}{g_{DS33} + g_{DS14}}$$
 1 Punkt

h)



3 Punkt
- 1 Punkt
pro Fehler

5a) Drainschaltung mit Stromquellenlast
1 Punkt

$$b) R = \frac{V_R}{I_{T1}} = \frac{V_{DD} - V_{GS1}}{I_{T1}} \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$\text{mit } I_{T1} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} \cdot K_P \cdot (V_{GS1} - V_{thp})^2$$

$$\Rightarrow (V_{GS1} - V_{thp})^2 = \frac{2 \cdot I_{T1}}{\frac{W}{L} \cdot K_P}$$

$$V_{GS1} - V_{thp} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_{T1}}{\frac{W}{L} \cdot K_P}} \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$V_{GS1} = \sqrt{\frac{2 \cdot I_{T1}}{\frac{W}{L} \cdot K_P}} + V_{thp}$$

$$= 400 \text{ mV} + 700 \text{ mV} = 1,1 \text{ V} \quad 1 \text{ Punkt}$$

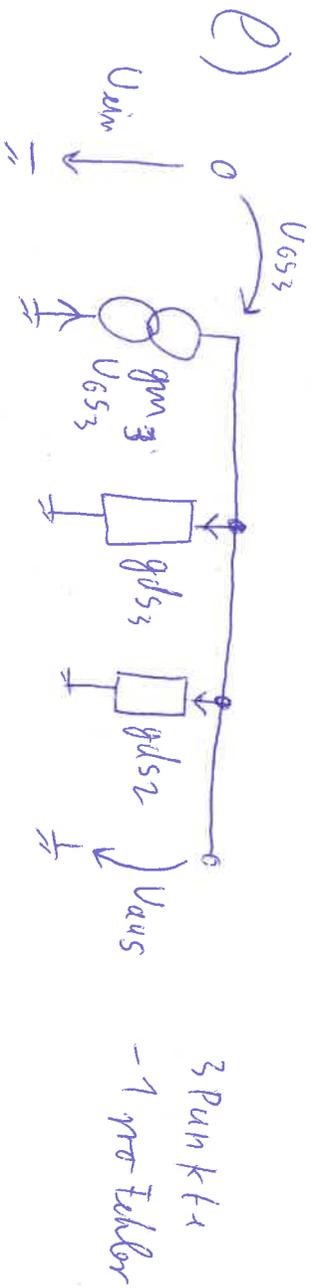
$$R = \frac{3,3 \text{ V} - 1,1 \text{ V}}{10 \mu\text{A}} = 220 \text{ k}\Omega \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$c) \frac{W_2}{W_1} = \frac{I_{T2}}{I_{T1}} = 10 \Rightarrow W_2 = 50 \mu\text{m} \quad 1 \text{ Punkt}$$

1 Punkt

$$d) I_{D3} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} \cdot K_P \cdot V_{DD}^2$$
$$\Rightarrow W_3 = L_3 \cdot \frac{2 \cdot I_{D3}}{K_P \cdot V_{DD}^2} = 200 \mu\text{m} \quad 1 \text{ Punkt}$$

1 Punkt



$$0 = g_{m3} \cdot U_{GS3} - g_{ds3} \cdot U_{aus} - g_{ds2} \cdot U_{aus} \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$U_{GS3} = U_{in} - U_{aus} \quad 1 \text{ Punkt}$$

$$0 = g_{m3} \cdot U_{in} - g_{m3} \cdot U_{aus} - g_{ds3} \cdot U_{aus} - g_{ds2} \cdot U_{aus}$$

$$- g_{m3} \cdot U_{in} = - (g_{m3} + g_{ds3} + g_{ds2}) \cdot U_{aus}$$

$$\frac{U_{aus}}{U_{in}} = \frac{g_{m3}}{g_{m3} + g_{ds3} + g_{ds2}} \quad 1 \text{ Punkt}$$

f)

$$g_m = \frac{2 I_D}{U_{eff}} = \frac{200 \mu A}{200 mV} = 1 mS \quad 1 \text{ Punkt}$$

g)

$$G = \frac{g_m}{g_m + 2 \cdot g_{ds}} \stackrel{!}{=} 0,95 \quad 2 \text{ Punkte}$$

$$\Rightarrow g_{ds} = \frac{g_m - g_m \cdot G}{2 \cdot G} = \frac{50 \mu S}{1,9} \approx 26 \mu S \quad 1 \text{ Punkt}$$

h) Nein, der Ausgangswiderstand des SF beträgt ca. 1 k Ω
 \Rightarrow Der Kopfhörer ~~sch~~ schließt den Ausgang kurz