

Lösungen zu den Aufgaben der Tutorien zu "Elektronische Schaltungen"  
SS 2015

Hinweis:

Die Lösungen sollen einen Weg aufzeigen, wie die Aufgaben gelöst werden können. Es gibt in einigen Fällen auch andere Wege, zur richtigen Lösung zu kommen. Diese Wege können und sollen in den Tutorien angesprochen werden.

April 2015

S. Wuensch, S.Dörner

## Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

### Lösung Aufgabe 1

#### 1.1 Spannungsteiler im Leerlauf

Die Spannung  $U_0$  bewirkt einen Strom  $I = I_1 = I_2$  durch die beiden Widerstände.

a) Maschenregel :

b) Knotenregel

$$U_{R1} + U_2 - U_0 = 0$$

$$I_1 - I_2 - I_L = 0 \quad \text{mit } I_L = 0 \Rightarrow I_1 = I_2 = I$$

$$U_2 = U_0 - U_{R1}, \quad U_{R1} = R_1 I, \quad I = U_0 / (R_1 + R_2)$$

$$U_2 = U_0 - R_1 \frac{U_0}{R_1 + R_2} = U_0 \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2} - U_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{U_0 (R_1 + R_2 - R_1)}{R_1 + R_2} = U_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = 12V \frac{5k\Omega}{2k\Omega + 5k\Omega} = 8,6V$$

#### 1.2 Spannungsteiler mit $R_L$ als Last (passive Last)

Lösung wie 1.1, jedoch mit  $I_L = U_2 / R_L$ . In Maschen- und Knotengleichung einsetzen und nach  $U_2$  auflösen.

oder: Ergebnis aus 1.1 verwenden, jedoch anstelle  $R_2$  den Widerstandswert  $R_2'$  der Parallelschaltung  $R_2 \parallel R_L$  einsetzen.

$$R_2' = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L} = \frac{5k\Omega \cdot 10k\Omega}{5k\Omega + 10k\Omega} = 3,3k\Omega$$

$$U_2 = 12V \frac{3,3k\Omega}{2k\Omega + 3,3k\Omega} = 7,5V$$

#### 1.3 Spannungsteiler mit $R_L$ und Spannungsquelle in Serie als Last (Widerstand der Spannungsquelle ist = 0)

1. Masche:  $U_0 = R_1 I_1 + R_2 I_2$  (1)

2. Masche:  $U_1 + R_L I_L - R_2 I_2 = 0$  (2)

Knoten:  $I_1 - I_2 - I_L = 0$  (3)

$$U_2 = R_2 I_2$$
 (4)

(3) in (2)  $U_1 + R_L (I_1 - I_2) - R_2 I_2 = U_1 + R_L I_1 - (R_2 + R_L) I_2$

$\Rightarrow I_1 = I_2 (R_2 + R_L) / R_L - U_1 / R_L$  (5)

Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

$$U_0 = R_1 \left( \frac{R_2 + R_L}{R_L} I_2 - \frac{U_1}{R_L} \right) + R_2 I_2$$

(5) in (1) 
$$U_0 = \frac{(R_1 R_2 + R_1 R_L + R_2 R_L) I_2 - R_1 U_1}{R_L}$$

$$I_2 = \frac{U_0 R_L + R_1 U_1}{R_1 R_2 + R_1 R_L + R_2 R_L} \quad (6)$$

$$U_2 = \frac{R_2 U_0 R_L + R_2 R_1 U_1}{R_1 R_2 + R_1 R_L + R_2 R_L}$$

(6) in (4)

$$U_2 = \frac{5k\Omega \cdot 2k\Omega \cdot 12V + 5k\Omega \cdot 2k\Omega \cdot 3,3V}{2k\Omega \cdot 5k\Omega + 2k\Omega \cdot 2k\Omega + 5k\Omega \cdot 2k\Omega} = \frac{120V + 33V}{10 + 4 + 10} = \frac{153V}{24} = 6,38V$$

# Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

## Lösung Aufgabe 2

Siliziumdiode:

2.1  $U_T$  ist die sogenannte Temperaturspannung der Diode

$$U_T = k_B T / e = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K} \cdot 273 \text{ K} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As} = 23,5 \text{ mV}$$

2.2 Ohmscher und differentieller Widerstand einer Diode

$$R_D = U / I_D \quad U_1 = U_T, \quad U_2 = 15 U_T$$

$$I_D = I_S (\exp(U / U_T) - 1) \quad I_{D1} = 10 \text{ nA} (e^1 - 1) = 10 \text{ nA} \cdot 1,72 = 17,2 \text{ nA}$$

$$I_{D2} = 10 \text{ nA} (e^{15} - 1) = 10 \text{ nA} \cdot 3,269 \cdot 10^6 = 32,69 \text{ mA}$$

$$R_{D1} = 23,5 \text{ mV} / 17,2 \text{ nA} = 1,366 \text{ M}\Omega$$

$$R_{D2} = 352,5 \text{ mV} / 32,69 \text{ mA} = 10,8 \Omega$$

$$r_D = dU / dI_D \quad I_D \text{ nach } U \text{ differenzieren und Kehrwert bilden}$$

$$r_D = U_T / I_S \exp(U / U_T)$$

$$r_{D1} = 23,5 \text{ mV} / (10 \text{ nA} \cdot 2,72) = 863,9 \text{ k}\Omega$$

$$r_{D2} = 23,5 \text{ mV} / (10 \text{ nA} \cdot 3,269 \cdot 10^6) = 0,718 \Omega$$

2.3  $U_D = 0,7 \text{ V}$ ,  $U_Z = 3,3 \text{ V}$

$$U = U_D + U_Z = 0,7 \text{ V} + 3,3 \text{ V}$$

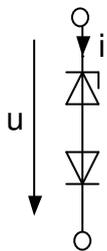
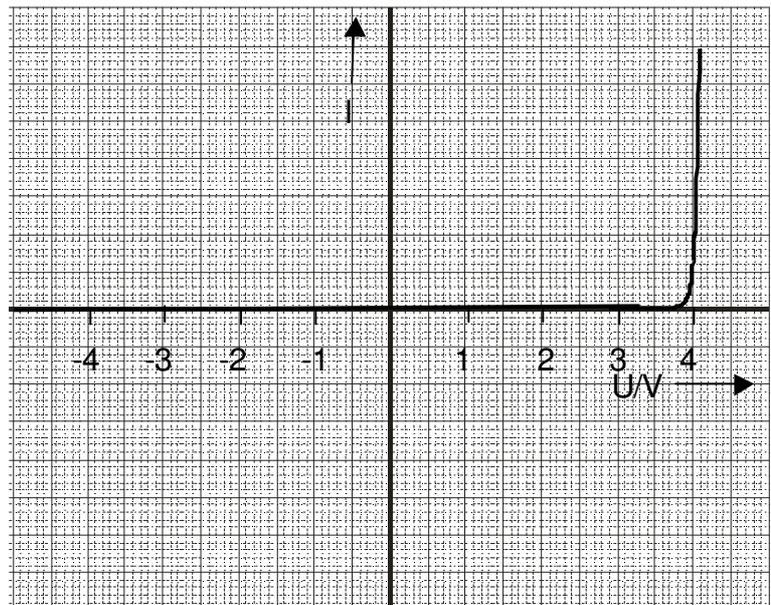


Bild 2.3a



Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

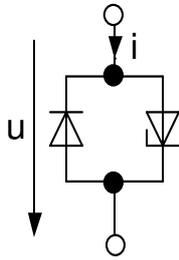
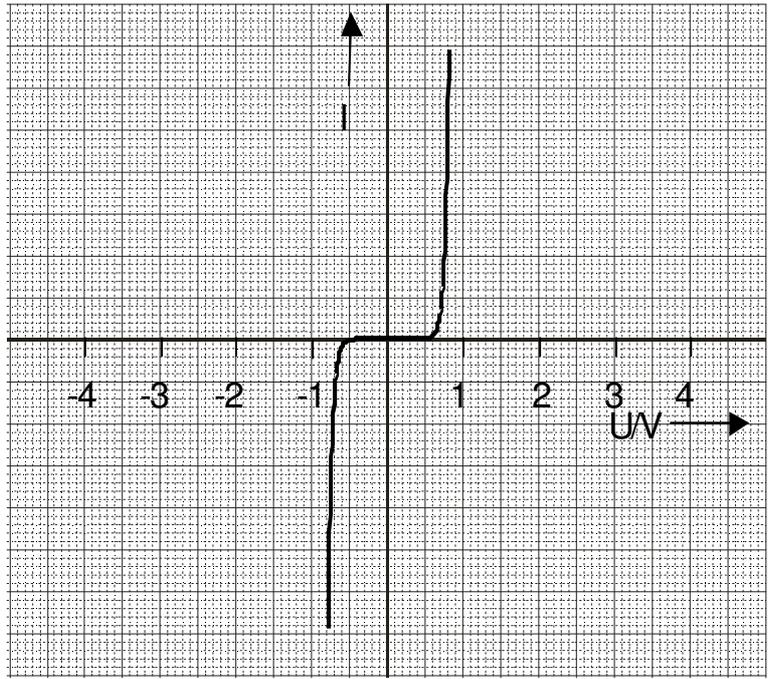


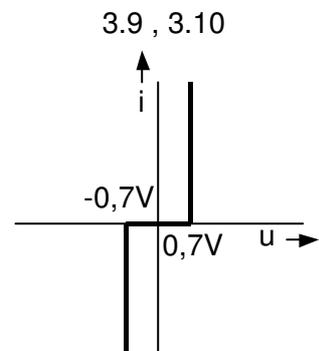
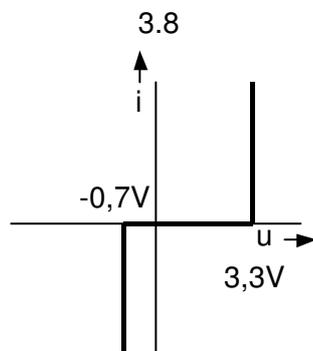
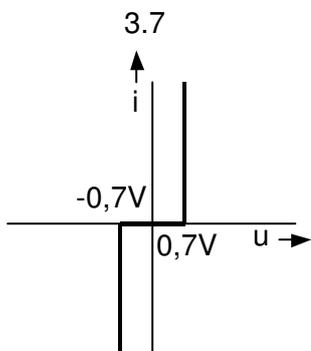
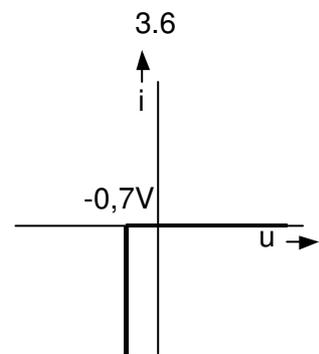
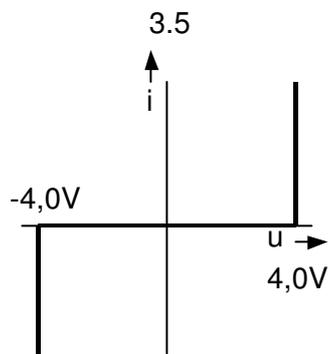
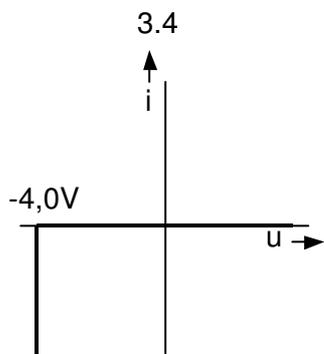
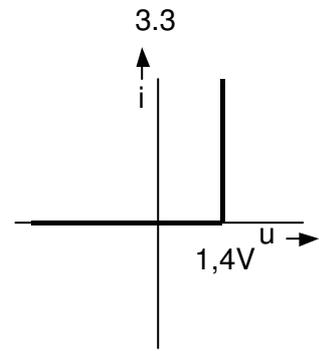
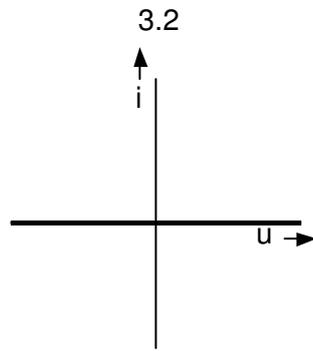
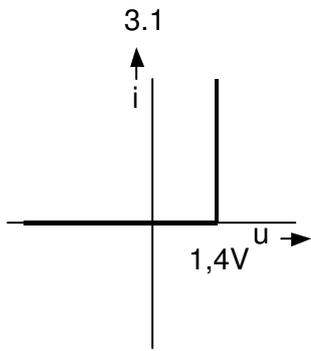
Bild 2.3b



Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

Lösung Aufgabe 3

Schaltungen mit Dioden und Z-Dioden (Kennlinien idealisiert)



# Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

## Lösung Aufgabe 4

4.1  $U_0 = 12 \text{ V}$ ,  $U_Z$  siehe Kennlinie,  $R_V = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_L = \infty$  !

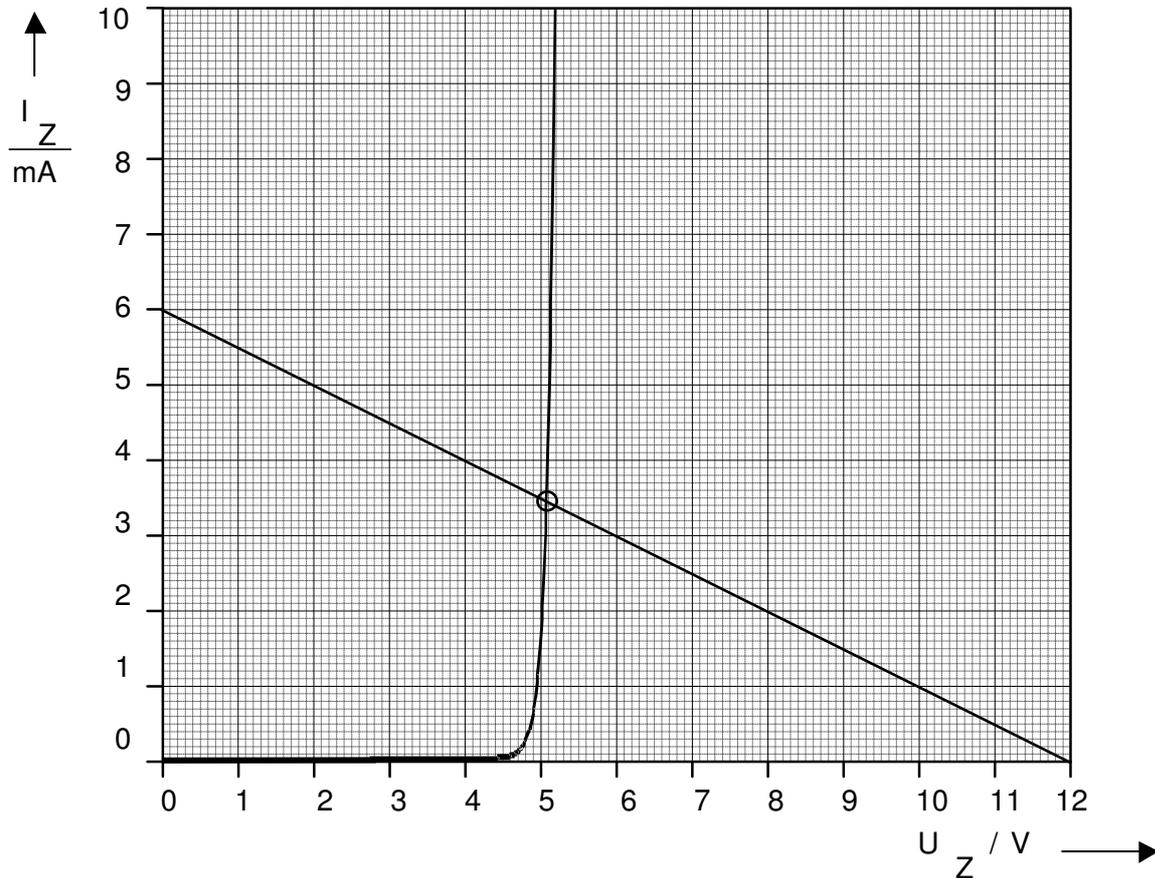
Widerstandsgerade für  $R_V = 2 \text{ k}\Omega$  zeichnen.

1. Punkt:  $I = 0$ ,  $U = U_0$

2. Punkt:  $U = 0$ ,  $I = U_0 / R_V = 12 \text{ V} / 2 \text{ k}\Omega = 6 \text{ mA}$

Ergebnis: Schnittpunkt Kennlinie – Widerstandsgerade

$U_Z \approx 5,1 \text{ V}$ ,  $I_Z \approx 3,5 \text{ mA}$



4.2 Mit  $I_L = 12 \text{ mA}$  wird  $R_L = \frac{U_Z}{I_L} = \frac{5,1 \text{ V}}{12 \text{ mA}} = 425 \Omega$  mit E24 Reihe:  $R_L = 430 \Omega$

Aus 4.1:  $I_Z = 3,5 \text{ mA}$  und  $U_{R_V} = U_0 - U_Z = 6,9 \text{ V}$

ergeben sich:  $I = I_L + I_Z = 15,5 \text{ mA}$

und damit  $R_V = \frac{U_{R_V}}{I} = \frac{6,9 \text{ V}}{15,5 \text{ mA}} = 445 \Omega \Rightarrow \text{E24 Reihe } R_V = 430 \Omega$

# Lösungen zu den Tutorien "Elektronische Schaltungen"

## Lösung Aufgabe 5

Die Schaltung wird im Leerlauf betrieben, d.h. es muss nur der Strom durch die Z-Diode betrachtet werden.

Dazu muss die Arbeits-(Last)Kennlinie für  $R_V$  in die I/U- Kennlinie eingetragen werden.

Arbeitspunkt: keine Wechselspannung, d.h.  $u_0 = 9V$

Punkt:  $I=0, U=9V$ , 2. Punkt:  $U=0, I=9V / 620\Omega=14,51 \text{ mA}$

Dies lässt sich aber nicht mehr in das Diagramm einzeichnen. Deshalb Steigung  $-1/R$

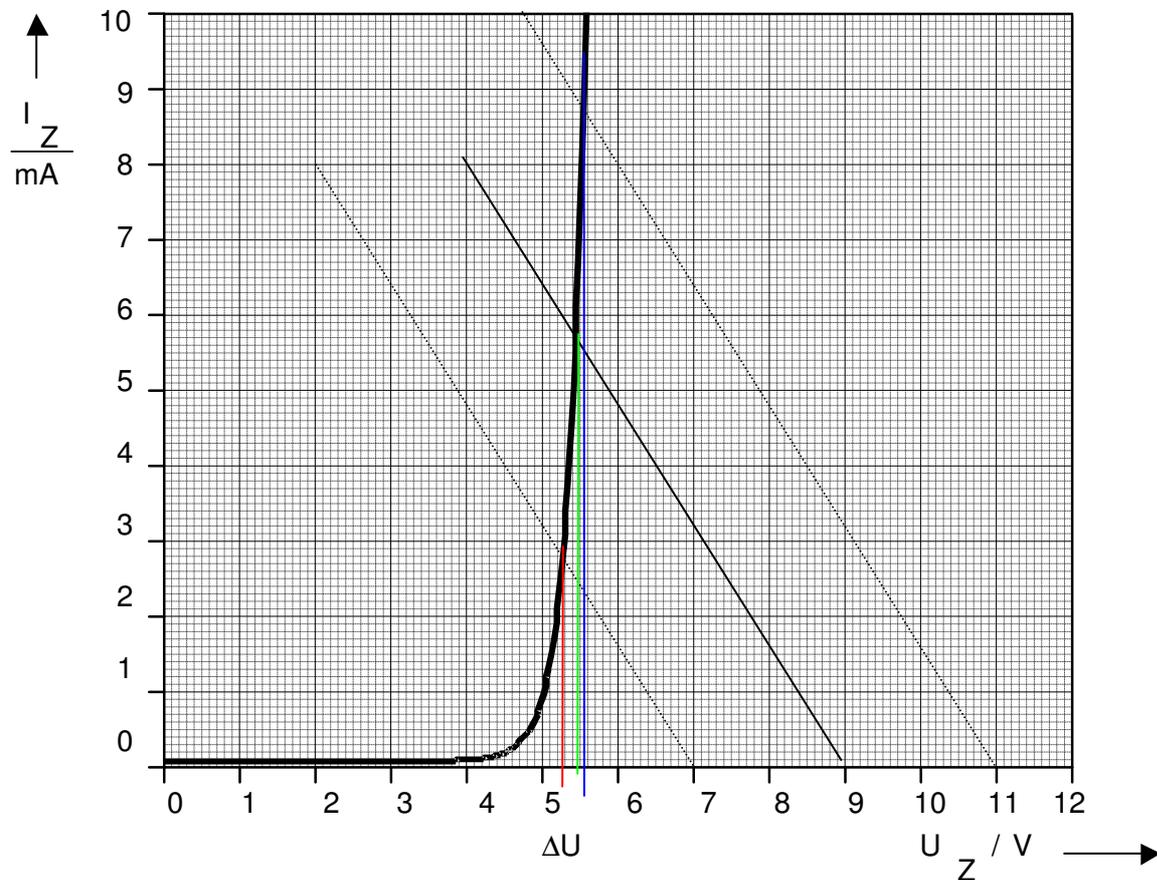
berechnen:  $= -1,6 \text{ mA/V}$  und Lastgerade einzeichnen (\_\_\_\_\_)

Min:  $\sin \omega t = -1 \rightarrow u_0 = 7 \text{ V}$ , Parallelverschiebung der Lastgeraden durch  $U = 7 \text{ V}, I = 0$  (...)

Max:  $\sin \omega t = +1 \rightarrow u_0 = 11 \text{ V}$ , Parallelverschiebung der Lastgeraden durch  $U = 11 \text{ V}, I = 0$  (...)

Restwelligkeit =  $\Delta U$  ablesen (zwischen den Spannungswerten rot und blau)

Ergebnis der Betrachtung: aus einer Spannungsänderung von 4 V wird am Ausgang der Z-Diode eine Spannungsänderung von etwa 250 mV, was einer Reduzierung der Welligkeit um den Faktor 16 entspricht.

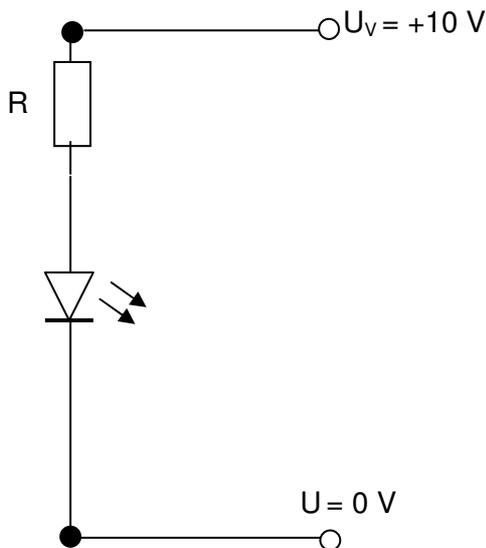


Lösung Aufgabe 6

- 6.1 Aus Fig.1 kann man ablesen, dass für 2mW ca. 10 mA nötig sind. In Fig.4 kann man die Spannung ablesen, die bei 10 mA sich an der Diode einstellen. Dies sind 1,8V. Die Versorgungsspannung beträgt 10 V. Deshalb ist ein Widerstand notwendig, an dem die restlichen 8,2 V abfallen. Bei einem Strom von 10 mA berechnet sich der Widerstand zu:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{8,2V}{10mA} = 820\Omega$$

Der Schaltkreis sieht dann wie folgt aus:



- 6.2 Die Grenze für den ausgeschalteten Modus ist der Schwellstrom, da die Laserdiode erst ab diesem Strom anfängt überhaupt zu leuchten und die Diode nicht unterhalb des Schwellstroms betrieben werden soll. Der Schwellstrom liegt laut Tabelle oder laut Grafik bei  $I_{th} = 3,5\text{ mA}$ . Die zugehörige Spannung an der Diode wären im ausgeschalteten Zustand laut Fig.4 ca.  $U_{min} = 1,5\text{ V}$ . Im Arbeitspunkt liegt die Spannung bei 1,8 V. Daraus ergibt sich eine Spannungsdifferenz von  $U_{diff} = 0,3\text{ V}$ .

Die Amplitude der Rechteckspannung wären somit 0,3 V oder gegebenenfalls 0,6 V wenn man die Peak-to-Peak Spannung betrachtet.

Der Maximalwert der optischen Leistung berechnet sich über die maximal angelegte Spannung. Diese liegt auf Grund der Rechtecksymmetrie bei  $1,8\text{ V} + 0,3\text{ V} = 2,1\text{ V}$ .

Aus Fig.4 lässt sich der zugehörige Strom ablesen:  $I_{max} = 25\text{ mA}$ .

Daraus ergibt sich eine maximale optische Leistung laut Fig.1 mit Hilfe einer Interpolation der Geraden von ca. 5,8 mW.