UNIVERSITÄT LEIPZIG

Institut für Informatik

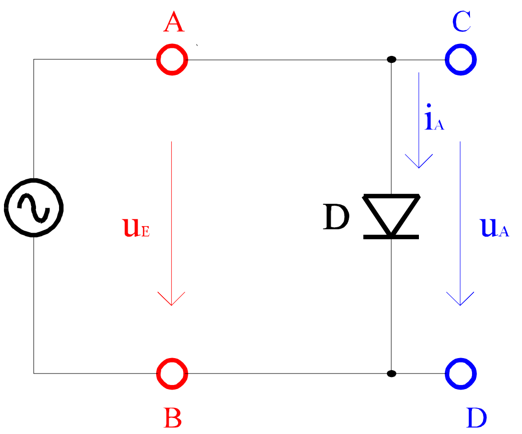
Abt. Technische Informatik
Gerätebeauftragter
Dr. Hans-Joachim Lieske
Tel. [49] - 0341 - 97 32213
lieske@informatik.uni-leipzig.de

Aufgaben Technische Informatik II

2. Semester / Sommersemester 1999

Aufgabe 2.2.1. - Das Verhalten von Halbleiterdioden bei Ansteuerung mit sinusförmigen Spannungen

Gegeben sei folgende Schaltung:



Kennlinien:

D_1 :	$I_{D1}(U_{D1}) = a\,U_{D1}$	für $U_{D1} \in [0,10]$ V
	$I_{D1}(U_{D1}) = 0$	für $U_{D1} \in [0,-10]$ V
D_2 :	$I_{D2}(U_{D2}) = b\,U_{D2}^8$	für $U_{D2} \in [0,10]$ V
	$I_{D2}(U_{D2}) = 0$	für $U_{D2} \in [0,-10]$ V

Werte:

$a = 2$ mA/V
$b = 2$ mA/V^8

Abb. 1

Für die Diode 1 wird hier eine idealisierte Form der Kennlinie verwendet (Abb 6). R_D verkörpert den Durchlaßwiderstand der Diode.

Für die Diode D_2 wurde die relativ einfache Approximation
$I_{D2}(U_{D2}) = b\,U_{D2}^8$ für $U_{D2} \in [0,10]$ V
und $I_{D2}(U_{D2}) = 0$ für $U_{D2} \in [0,-10]$ V
verwendet

Die Dioden werden mit einer Wechselspannung von

$u_E(t)=U_E \sin(\omega t)$

angesteuert.

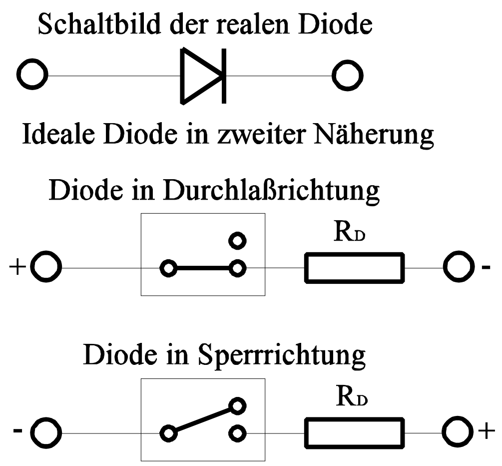


Abb. 2

Die Dioden werden mit einer Wechselspannung von

$u_E(t)=U_E \sin(\omega t)$

angesteuert.

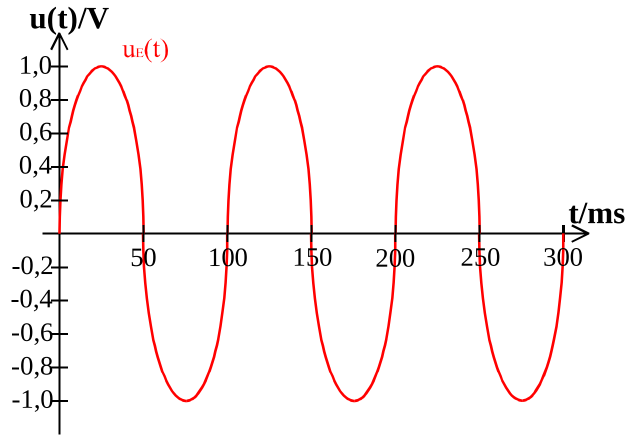


Abb. 3

Aufgabe:

1. Berechnen Sie die Spannungen $u_{A1}(t)$, $u_{A2}(t)$ sowie die Ströme $i_{A1}(t)$ und $i_{A2}(t)$, wenn über die Dioden D_1 und D_2 die Sinusspannung $u_E(t)$ von 0ms bis 100ms in Abständen von 5ms anliegen. R und U_E spielen hier keine Rolle, da die Spannung direkt an den Dioden anliegt.
   Bestimmen Sie dazu die Werte t und ωt. Stellen Sie die Werte in einer Tabelle dar.
2. Bestimmen Sie die Zeitfunktion der Ströme $i_{A1}(t)$ und $i_{A2}(t)$.

3. Zeichnen Sie die Zeitfunktion der Ströme $i_{A1}(t)$ und $i_{A2}(t)$ über mindestens 2 Perioden.
   Inwieweit unterscheiden sich die Kurfenformen?

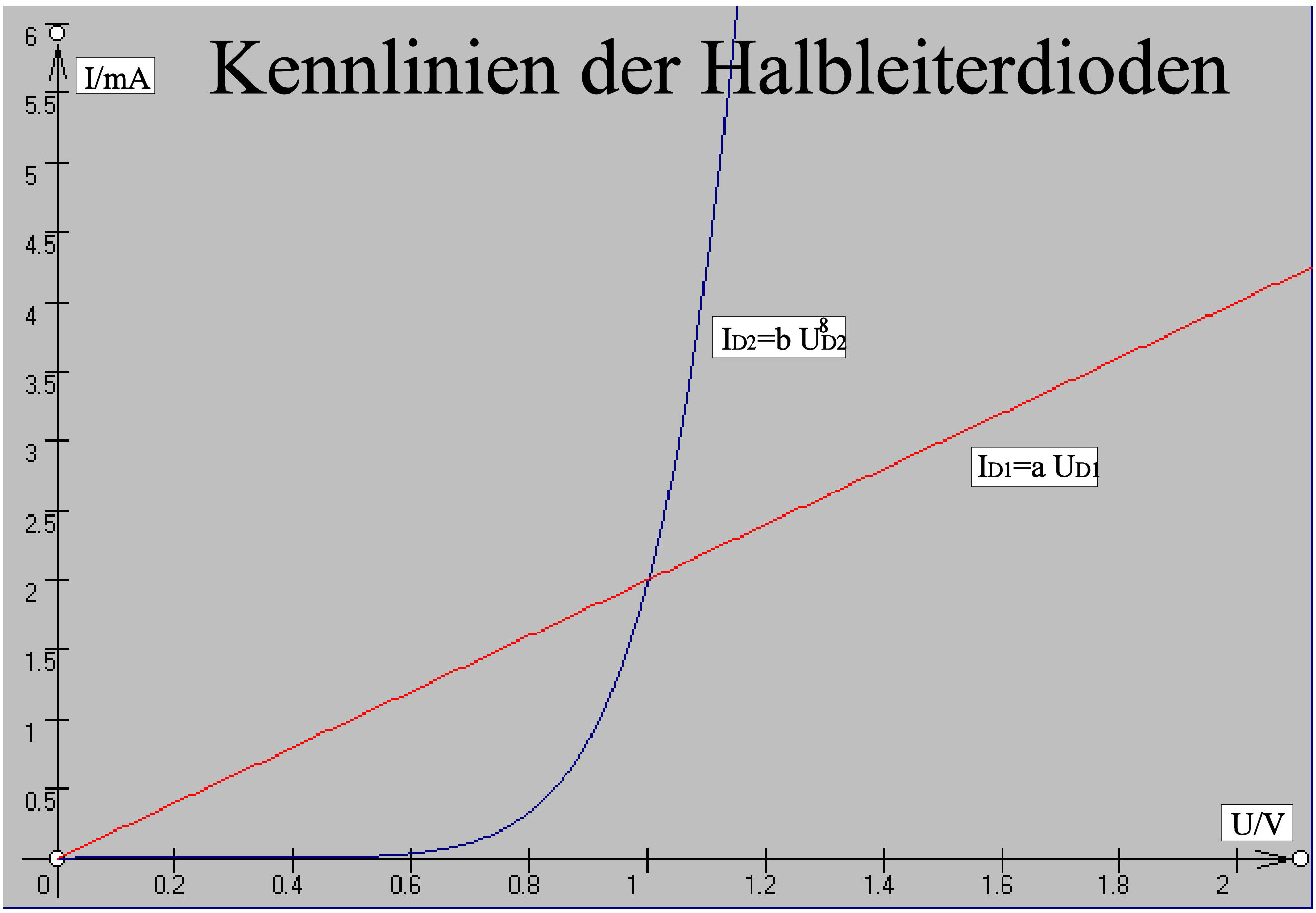
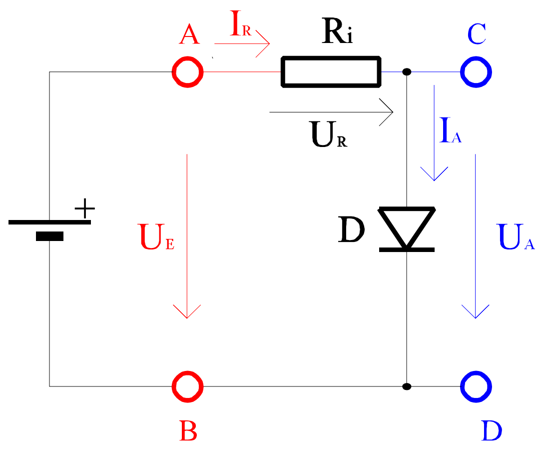


Abb. 4

Aufgabe 2.2.2. - Leuchtdioden als Anzeigebauelemente in Computern

Eine rote und eine grüne Luminiszensdiode sollen in einem Computer als Anzeigebauelemente genutzt werden.

Gegeben ist folgende Schaltung:



Werte:
$U_E = 5V$
D_2 = LED-rot
D_3 = LED-grün
und die Kennlinien für die rote und grüne Diode

Abb. 5

Aufgabe:
Bestimmen Sie den Vorwiderstand R_2 für die rote Leuchtdiode (D_2) und R_3 für die grüne Leuchtdiode (D_3). Durch die Dioden soll dabei ein Strom von 50mA fließen.

1. Bestimmen Sie den Spannungsabfall über die Dioden (U_{A2} und U_{A3}) aus der Kennlinie und dem Strom der Arbeitspunkte der Dioden.
2. Bestimmen Sie die Vorwiderstände R_2 und R_3 durch Auswertung der Arbeitspunkte der Dioden und der Leerlaufspannung.
3. Bestimmen Sie die beiden äußeren Punkte für die Widerstandsgeraden aus der Leerlaufspannung und dem Strom durch die Diode. Zeichnen Sie mit den gefundenen Werten und dem Arbeitspunkt der Dioden die Widerstandsgeraden.

Stellen Sie die Ergebnisse in einer Tabelle dar. Es ist nicht erlaubt Punkte außerhalb des Kennlinienfeldes zu setzen. Die Nichtbeachtung wird mit Punktabzug geahndet!

Hilfe:

Beispielsweise ist:

für $U_{p1}=3V$: $I_{P1}=(U_{E1}-U_{P1})/R_i$ — R_i kann R_2 oder R_3 sein.

für $U_{p2}=0V$: $I_{P2}=(U_{E1}-U_{P2})/R_i$

für $I_{p2}=80mA$: $U_{P2}=U_{E1}-I_{P2}\,R_i$

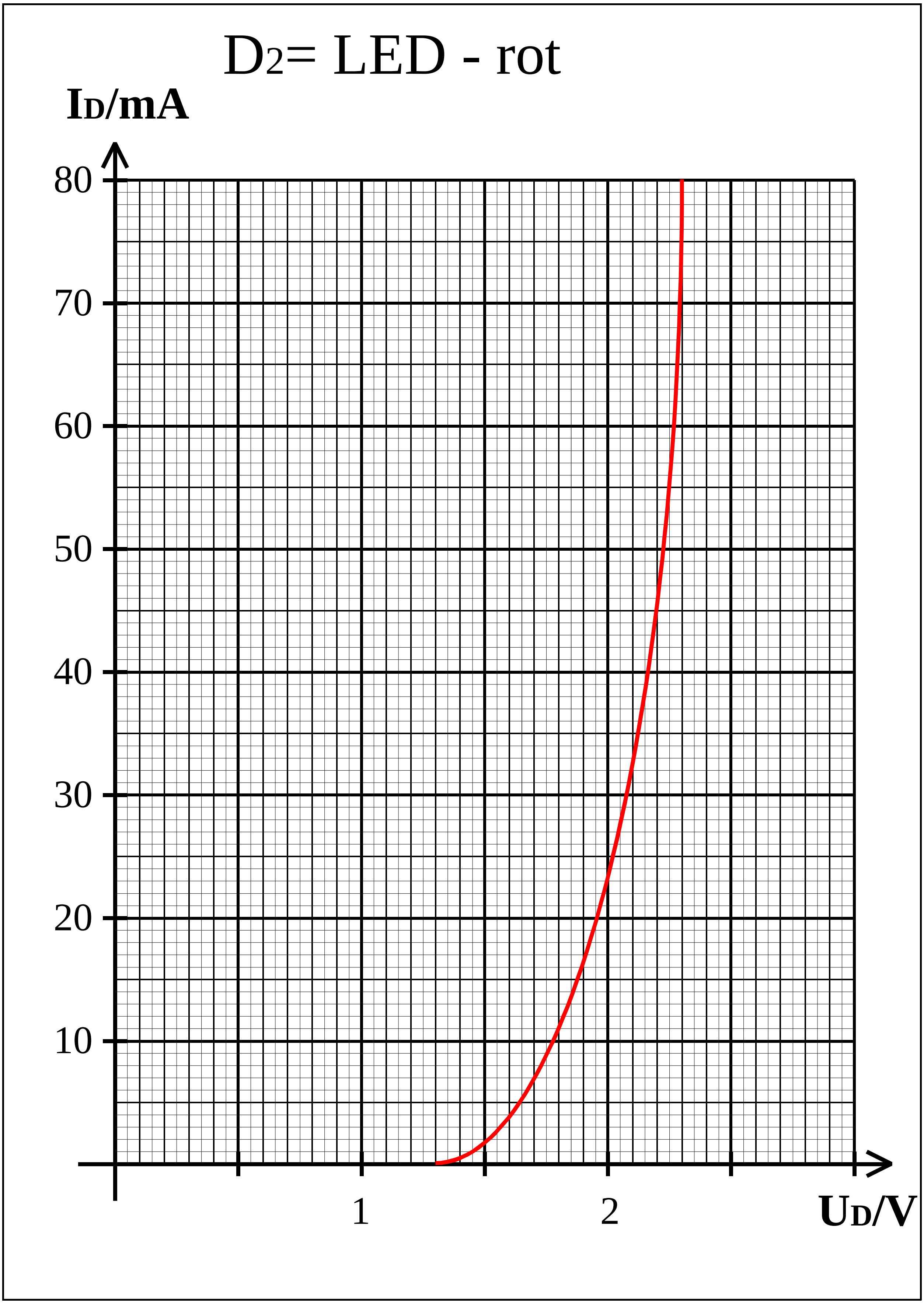


Abb. 6

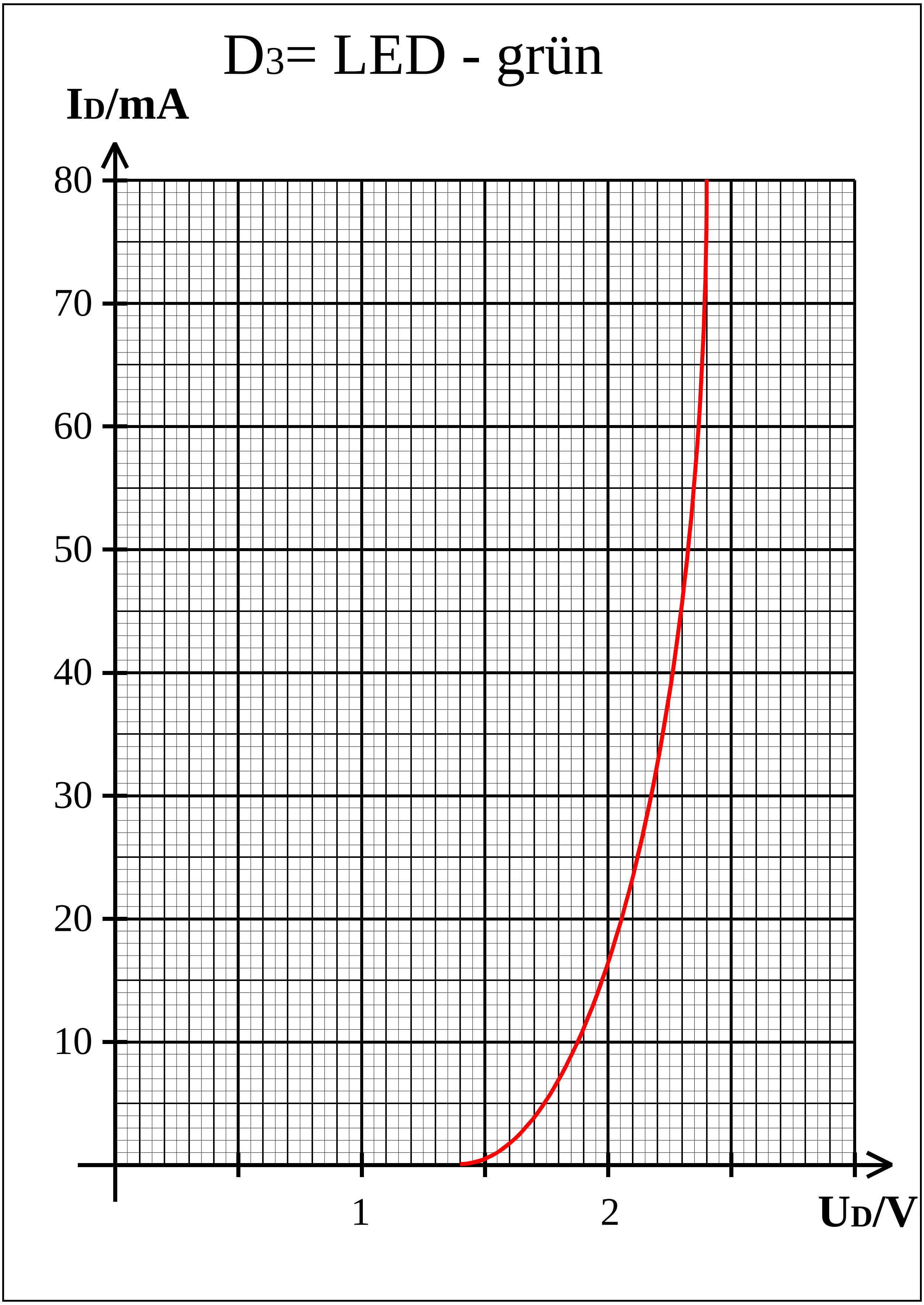
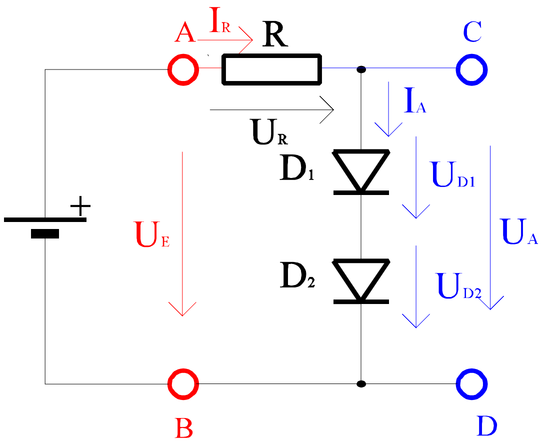


Abb. 7

Aufgabe 2.2.3. - Reihenschaltung von Halbleiterdioden

In integrierten Halbleiterschaltkreisen werden zur Stabilisierung kleiner Spannungen oft Reihenschaltungen von Dioden verwendet.
Für einfache Betrachtungen können Diodenkennlinien als Einheit von zwei Geraden approximiert werden.

Gegeben ist folgende Schaltung:



Werte:
D_1 = Diode 1 U_E = 5V R_1 = 50 Ω
D_2 = Diode 2

und die Kennlinien der Dioden

Abb. 8

Aufgabe:
Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_A. den Strom durch die Dioden I_A sowie die Teilspannungen U_{D1} und U_{D2} über die Dioden.

1. Bestimmen Sie die mathematische Funktion der Kennlinien $I_{D1}=f(U_{D1})$ für Diode1 und $I_{D2}=f(U_{D2})$ für beide Intervalle.

2. Konstruieren Sie die Ersatzkennlinie für die Reihenschaltung von Diode1 und Diode 2.

3. Bestimmen Sie die mathematische Funktion der Ersatzkennlinie $I_{Ders}=f(U_{Ders})$ der Reihenschaltung von Diode1 und Diode 2.

4. Bestimmen Sie mithilfe der Ersatzkennlinie die Ausgangsspannung U_A und den Strom I_A für die Reihenschaltung der Dioden sowie die Spannung U_R und den Strom I_R über den Widerstand.

5. Bestimmen Sie aus den Einzelkennlinien die Teilspannungen U_{D1} und U_{D2} über die Dioden D_1 und D_2.

Stellen sie die Ergebnisse in einer Tabelle dar.

Für die Intervalle sind explizite Werte anzugeben. Angaben wie "sonst" oder "Rest" sind nicht zulässig!

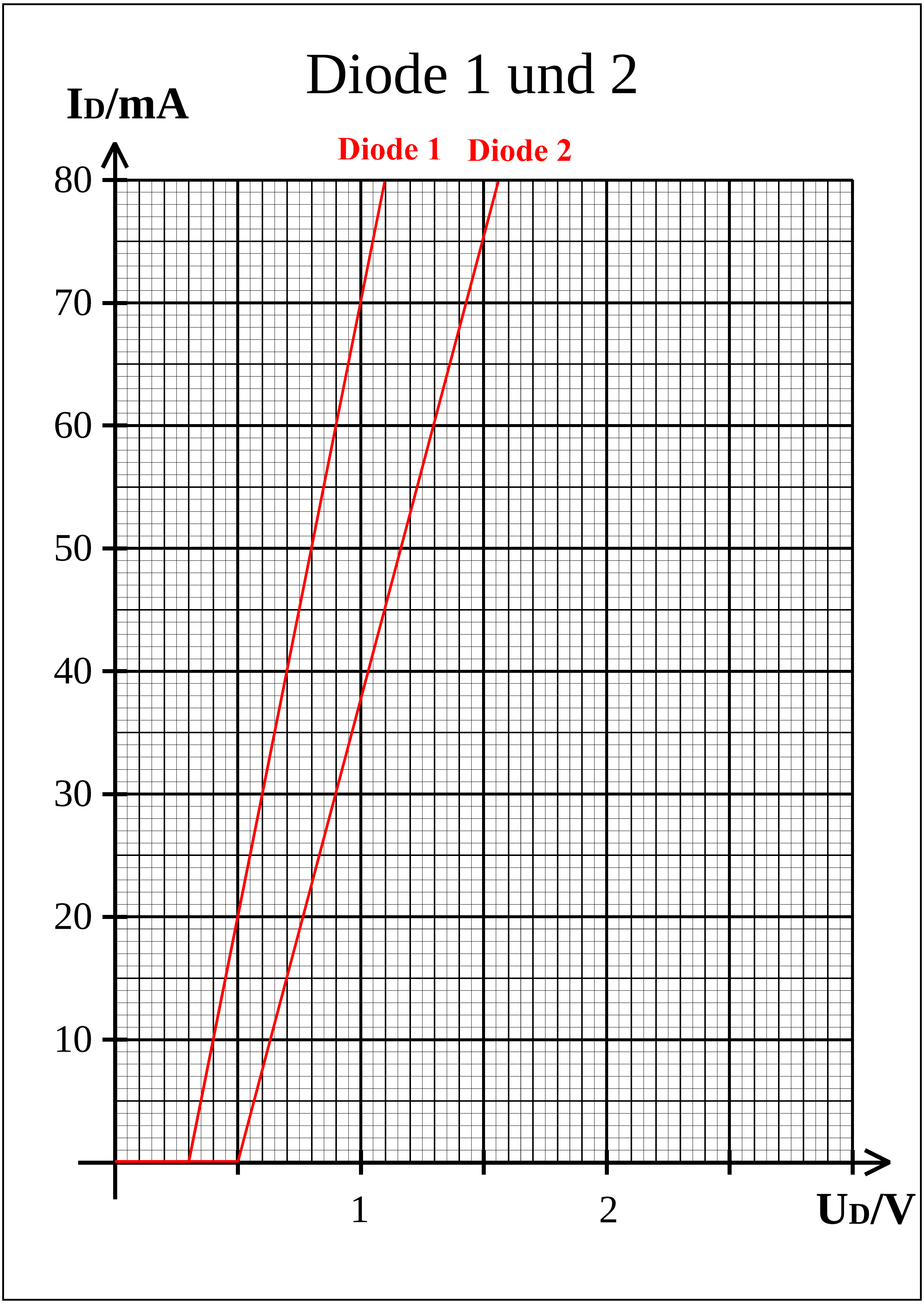


Abb. 9

Bemerkung:

Berechnen Sie die Spannungen, Ströme sowiealle anderen zu berechnenden Größen auf insgesamt 4 Stellen genau! Bei den abgelesenen Werten bei den Kennlinien reichen 3 Stellen. Verwenden Sie dabei die Präfixe! Die Nichtbeachtung der Präfixe sowie der Rechengenauigkeit wird mit Punktabzug geahndet!

Beispiele: 2,345mA; 23,45µA; 234,5nA; 234,5nV; 23,45µV; 234,5V usw.

Anbei eine Übersicht der Präfixe:

Für unsere Berechnungen sind Präfixe mit einem Abstand von 10^3 wichtig.

Präfixe zur Kennzeichnung des Vielfachen von gesetzlichen Einheiten (dezimal)

Zeichen	Faktor	Bezeichnung
Y	10^{24}	Yotta
Z	10^{21}	Zetta
E	10^{18}	Exa
P	10^{15}	Peta
T	10^{12}	Tera
G	10^{9}	Giga
M	10^{6}	Mega
k	10^{3}	Kilo
m	10^{-3}	Milli
µ	10^{-6}	Mikro
n	10^{-9}	Nano
p	10^{-12}	Pico
f	10^{-15}	Femto
a	10^{-18}	Atto
z	10^{-21}	Zepto
y	10^{-24}	Yocto
h	10^{2}	Hekto
da	10^{1}	Deka
d	10^{-1}	Dezi
c	10^{-2}	Zenti

Tabelle 3

Lösung - Aufgabe 2.2.1.

Das Verhalten von Halbleiterdioden bei Ansteuerung mit sinusförmigen Spannungen

1. Berechnen Sie die Spannungen $u_{A1}(t)$, $u_{A2}(t)$ sowie die Ströme $i_{A1}(t)$ und $i_{A2}(t)$, wenn über die Dioden D_1 und D_2 die Sinusspannung $u_E(t)$ von 0ms bis 100ms in Abständen von 5ms anliegen. R und U_E spielen hier keine Rolle, da die Spannung direkt an den Dioden anliegt.
   Bestimmen Sie dazu die Werte t und ωt. Stellen Sie die Werte in einer Tabelle dar.

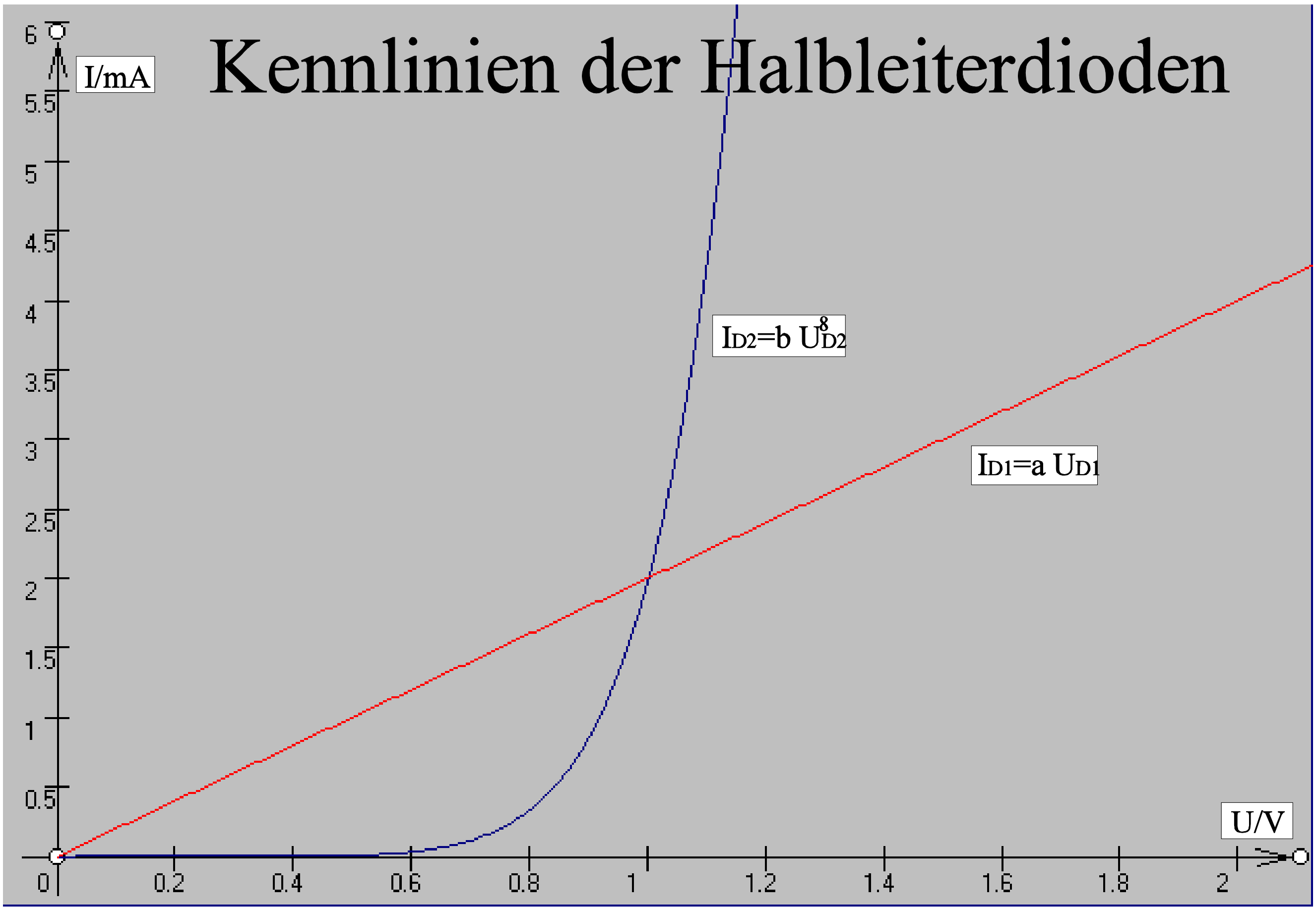


Abb. 10

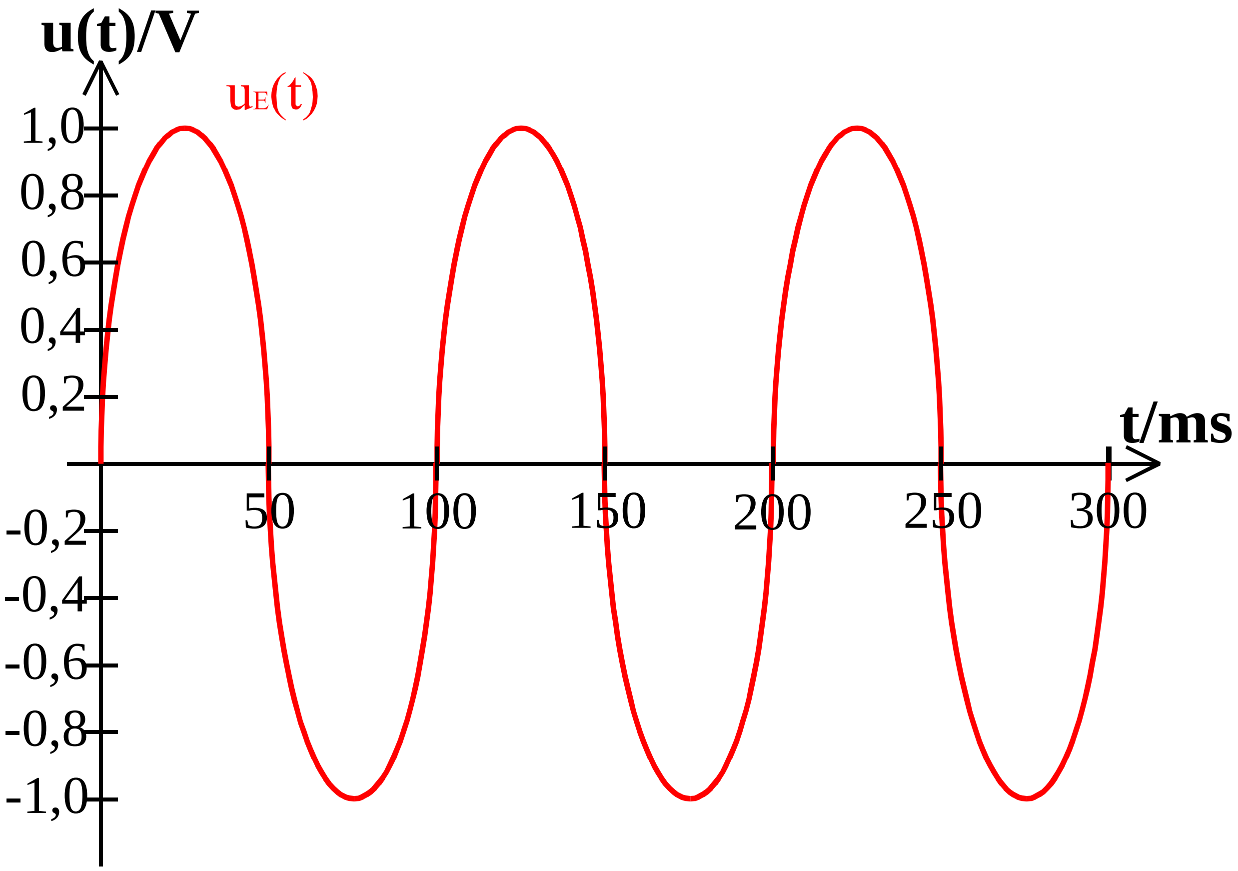


Abb. 11

Beispiel: Berechnung der Werte für t=15 ms

für beide Dioden gilt:

$u_E(t)=u_{A1}(t)=u_{A2}(t)=U_E \cdot \sin(\omega t+\phi)$ mit $\phi=0$, $\omega=2 \cdot \pi \cdot f$ und $f=1/T$

U_E =1V, T=100ms

f = 1/100ms=10Hz

$\omega=2 \cdot \pi \cdot 10Hz =6{,}283 \cdot 10Hz=62{,}83s^{-1}$

$u_E(15ms)=1V \cdot \sin(62{,}83s^{-1} \cdot 15ms)=1V \cdot \sin(942{,}5 \cdot 10^{-3})=1V \cdot \sin(0{,}9425)$

$\omega t_{DEG}=(360^0/2\pi)\omega t_{RAD}=(360^0/2\pi)0{,}9425=54{,}00^0$

$=1V \cdot 0{,}8090=809{,}0$ mV

Diode1: $I_{A1}(U_{A1}) = a \cdot U_{A1}$ $\Rightarrow$ $i_{A1}(u_{A1}) = a \cdot u_{A1}= a \cdot u_E=a \cdot [U_E \cdot \sin(\omega t+\phi)]$ mit $\phi=0$

$u_{A1}=809{,}0$ mV folgt $i_{A1}(u_{A1}) = 2mA/V \cdot 809{,}0$ mV=1,618 mA

Diode2: $I_{A2}(U_{A2}) = b \cdot (U_{A1})^8$ $\Rightarrow$ $i_{A2}(u_{A1}) = b \cdot (u_{A2})^8= b \cdot (u_E))^8=b \cdot (U_E \cdot [\sin(\omega t+\phi)]^8)$ mit $\phi=0$

$u_{A2}=809{,}0$ mV folgt $i_{A2}(u_{A1}) = 2mA/V^8 \cdot (809{,}0\ mV)^8=2mA/V^8 \cdot 0{,}1835V^8$

$=0{,}3670mA=367{,}0\mu A$

Spannungen und Ströme über die Dioden bei sinusförmiger Ansteuerung				
t	ωt	$u_{a1}(t)=u_{a1}(t)$	$i_{a1}(t)$	$i_{a2}(t)$
0 ms	0	0 mV	0 µA	0 µA
5 ms	$314{,}2 \cdot 10^{-3}$	309,0 mV	618,4 µA	166,2 nA
10 ms	$628{,}3 \cdot 10^{-3}$	587,8 mV	1,176 mA	28,50 µA
15 ms	$942{,}5 \cdot 10^{-3}$	809,0 mV	1,618 mA	367,0 µA
20 ms	1,257	951,1 mV	1,902 mA	1,339 mA
25 ms	1,571	1,000 V	2mA	2 mA
30 ms	1,885	951,1 mV	1,902 mA	1,339 mA
35 ms	2,199	809,0 mV	1,618 mA	367,0 µA
40 ms	2,513	587,8 mV	1,176 mA	28,5367,0 µA
45 ms	2,828	309,0 mV	618,4 µA	166,2 nA
50 ms	3,142	0 mV	0 µA	0 µA
55 ms	3,456	-309,0 mV	0 µA	0 µA
60 ms	3,770	-587,8 mV	0 µA	0 µA
65 ms	4,084	-809,0 mV	0 µA	0 µA
70 ms	4,398	-951,1 mV	0 µA	0 µA
75 ms	4,712	-1,000 V	0 µA	0 µA
80 ms	5,027	-951,1 mV	0 µA	0 µA
85 ms	5,341	-809,0 mV	0 µA	0 µA
90 ms	5,654	-587,8 mV	0 µA	0 µA
95 ms	5,969	-309,0 mV	0 µA	0 µA
100 ms	6,283	0 mV	0 µA	0 µA

2. Bestimmen Sie die Zeitfunktion der Ströme $i_{A1}(t)$ und $i_{A2}(t)$.

Diode1:

für $U_{D1} \in [0,10]$ V ist $I_{A1}(U_{A1}) = a \cdot U_{A1}$ und mit $u_E = U_E \cdot \sin(\omega t + \phi)$ mit $\phi = 0$ folgt

$$i_{A1}(u_{A1}) = a \cdot u_{A1} = a \cdot u_E = a \cdot [U_E \cdot \sin(\omega t + \phi)] \text{ mit } \phi = 0$$

für $U_{D1} \in [0,-10]$ V ist $I_{A1}(U_{A1}) = 0$ und mit $u_E = U_E \cdot \sin(\omega t + \phi)$ mit $\phi = 0$ folgt

$$i_{A1}(u_{A1}) = 0$$

Diode2:

für $U_{D1} \in [0,10]$ V ist $I_{A2}(U_{A1}) = b \cdot (U_{A2})^8$ und $u_E = U_E \cdot \sin(\omega t + \phi)$ mit $\phi = 0$ folgt

$$i_{A2}(u_{A2}) = b \cdot u_{A1} = b \cdot u_E = b \cdot [U_E \cdot \sin(\omega t + \phi)]^8 \text{ mit } \phi = 0$$

für $U_{D1} \in [0,-10]$ V ist $I_{A2}(U_{A1}) = 0$ und $u_E = U_E \cdot \sin(\omega t + \phi)$ mit $\phi = 0$ folgt

$$i_{A2}(u_{A2}) = 0$$

und mit eingesetzten Werten:

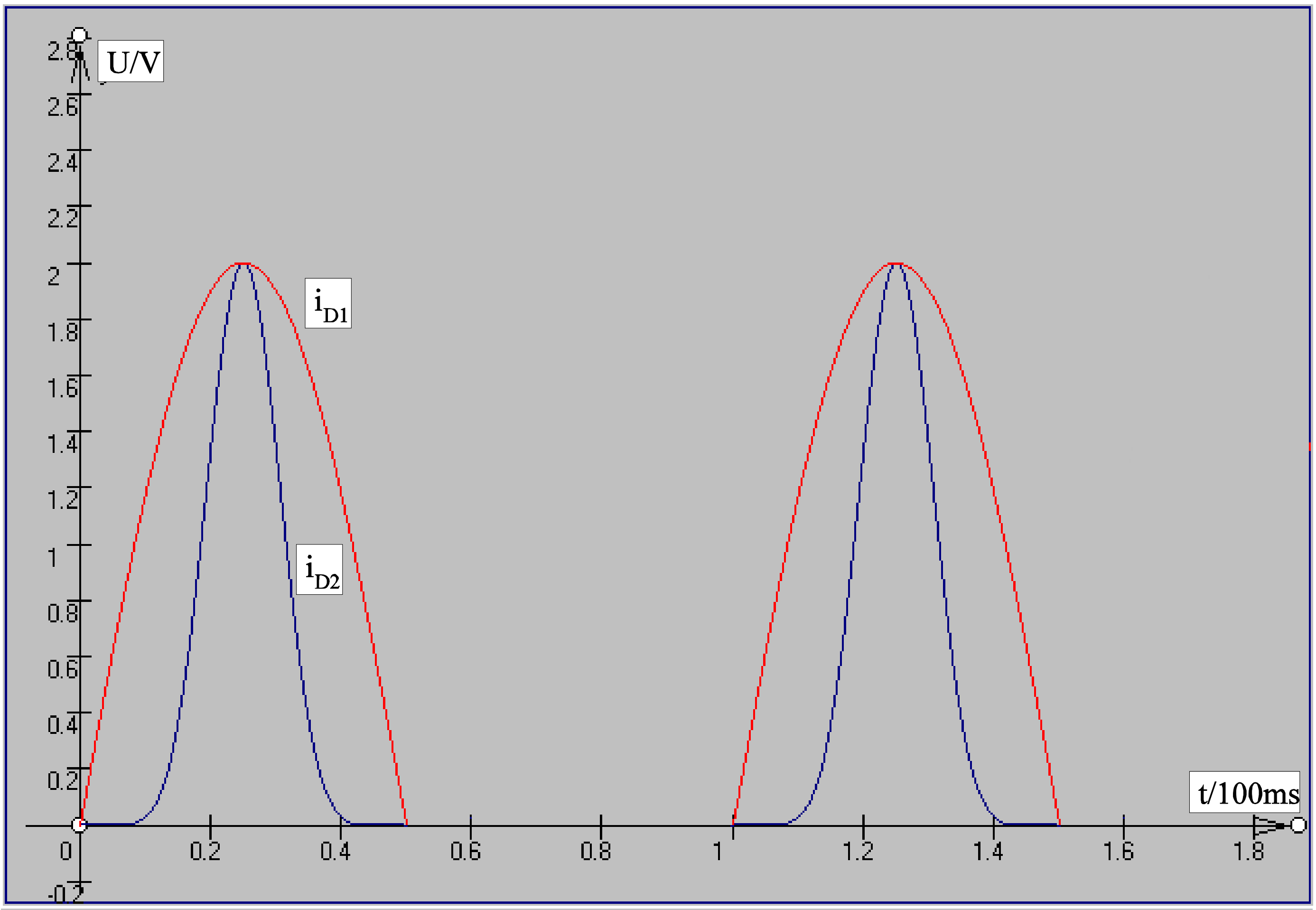
Diode1: für $U_{D1} \in [0,10]$ V $\quad i_{A1}(u_{A1}) = 2\,\mathrm{mA/V} \cdot [1\,\mathrm{V} \cdot \sin(62{,}83\,\mathrm{s}^{-1} \cdot t)]$

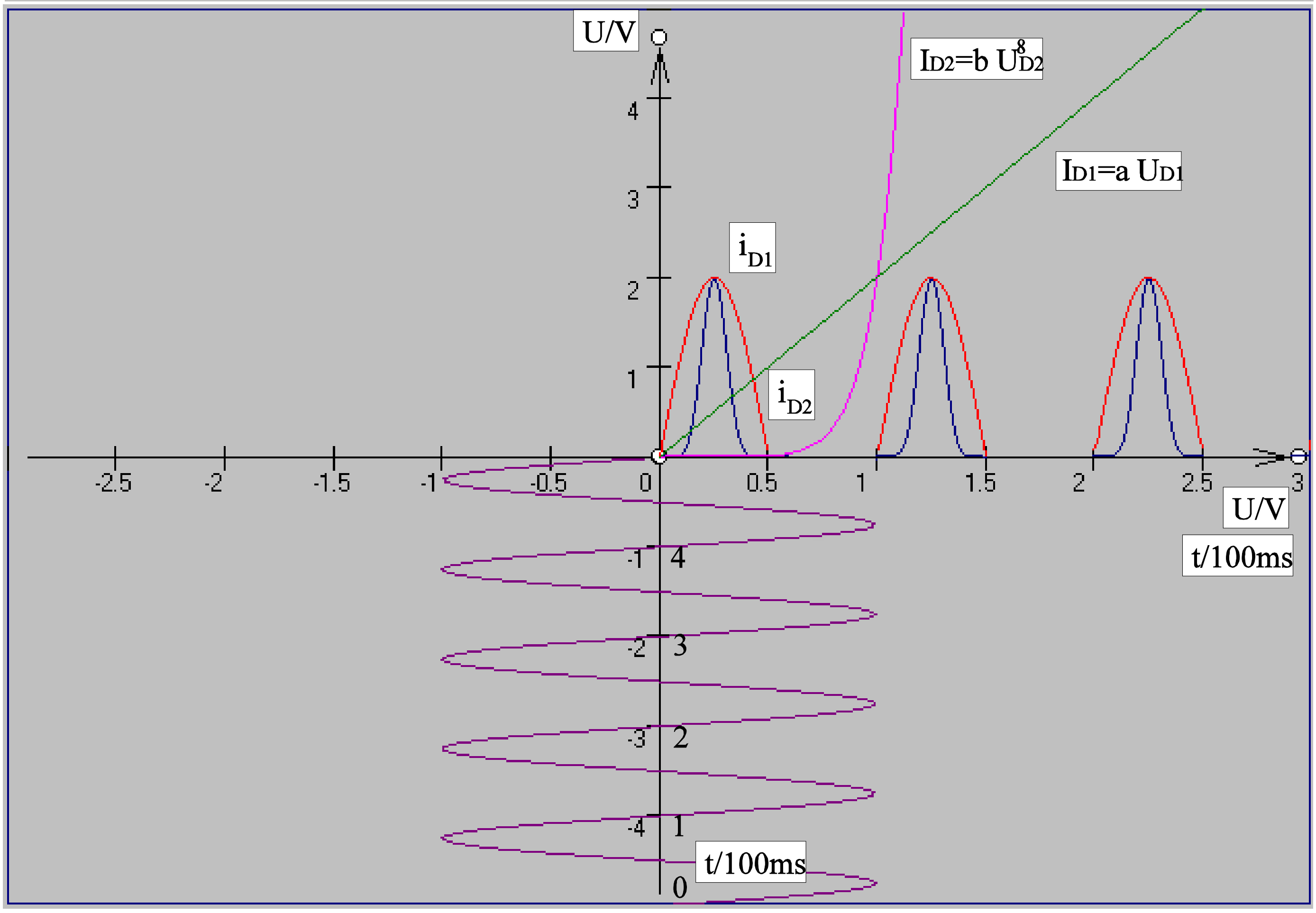
für $U_{D1} \in [0,-10]$ V $\quad i_{A1}(u_{A1}) = 0$

Diode2: für $U_{D1} \in [0,10]$ V $\quad i_{A2}(u_{A2}) = 2\,\mathrm{mA/V}^8 \cdot [1\,\mathrm{V} \cdot \sin(62{,}83\,\mathrm{s}^{-1} \cdot t)]^8$

für $U_{D1} \in [0,-10]$ V $\quad i_{A2}(u_{A2}) = 0$

3. Zeichnen Sie die Zeitfunktion der Ströme $i_{A1}(t)$ und $i_{A2}(t)$ über mindestens 2 Perioden. Inwieweit unterscheiden sich die Kurfenformen?





Lösung: Aufgabe 2.2.2.

Leuchtdioden als Anzeigebauelemente in Computern

1. rote Leuchtdiode

U_{E1}=5V

I_{D2}=50mA=I_{A2} daraus folgt U_{D2}=2,225V=U_{A2}

$R_2=(U_{E1}-U_{A2})/I_{A2}$

$=(5V-2,225V)/50mA=55,5\Omega$

für U_{p1}=3V : $I_{P1}=(U_{E1}-U_P)/R_2=(5V-3V)/55,5\Omega=2V/55,5\Omega=36,03mA\approx 36,0mA$

für U_{p2}=0V : $I_{P2}=(U_{E1}-U_{A2})/R_2=(5V-0V)/55,5\Omega=5V/55,5\Omega=90,09mA\approx 90,0mA$

außerhalb des Bereiches, deshalb:

für I_p=80mA : $U_P=U_{E1}-I_p\,R_2=5V-80mA\cdot 55,5\Omega=5V-4,44V=0,56V$

2. grüne Leuchtdiode

U_{E1}=5V

I_{D3}=50mA=I_{A3} daraus folgt U_{D3}=2,325V=U_{A3}

$R_3=(U_{E1}-U_{A3})/I_{A3}$

$=(5V-2,325V)/50mA=53,5\Omega$

für U_{p1}=3V : $I_{P1}=(U_{E1}-U_P)/R_2=(5V-3V)/53,5\Omega=2V/53,5\Omega\Omega=37,38mA\approx 37,4mA$

für U_{p2}=0V : $I_{P2}=(U_{E1}-U_{A2})/R_2=(5V-0V)/53,5\Omega\Omega=5V/53,5\Omega\Omega=93,45mA\approx 93,5mA$

außerhalb des Bereiches, deshalb:

für I_p=80mA : $U_P=U_{E1}-I_p\,R_2=5V-80mA\cdot 53,5\Omega=5V-4,28V=0,72V$

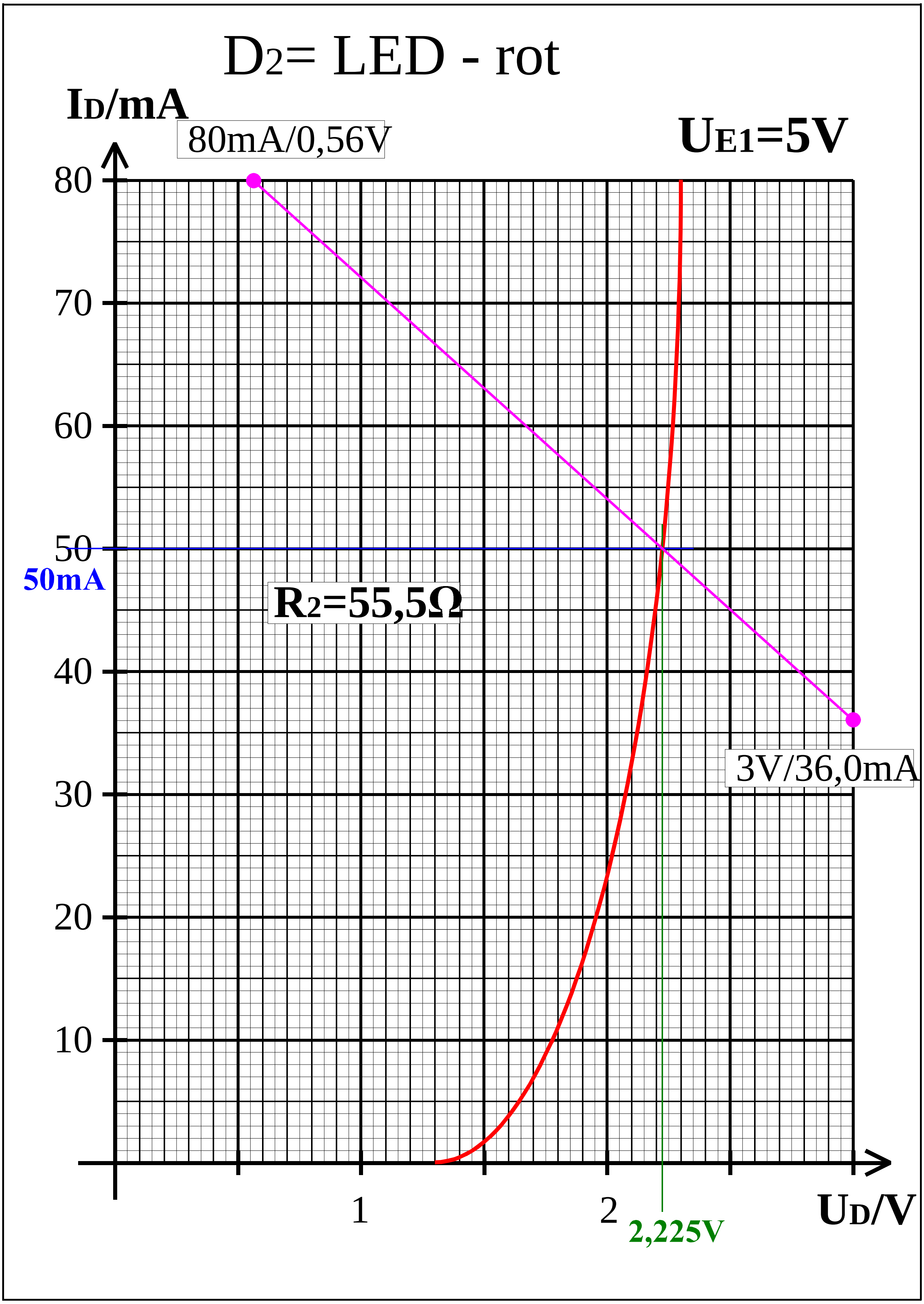
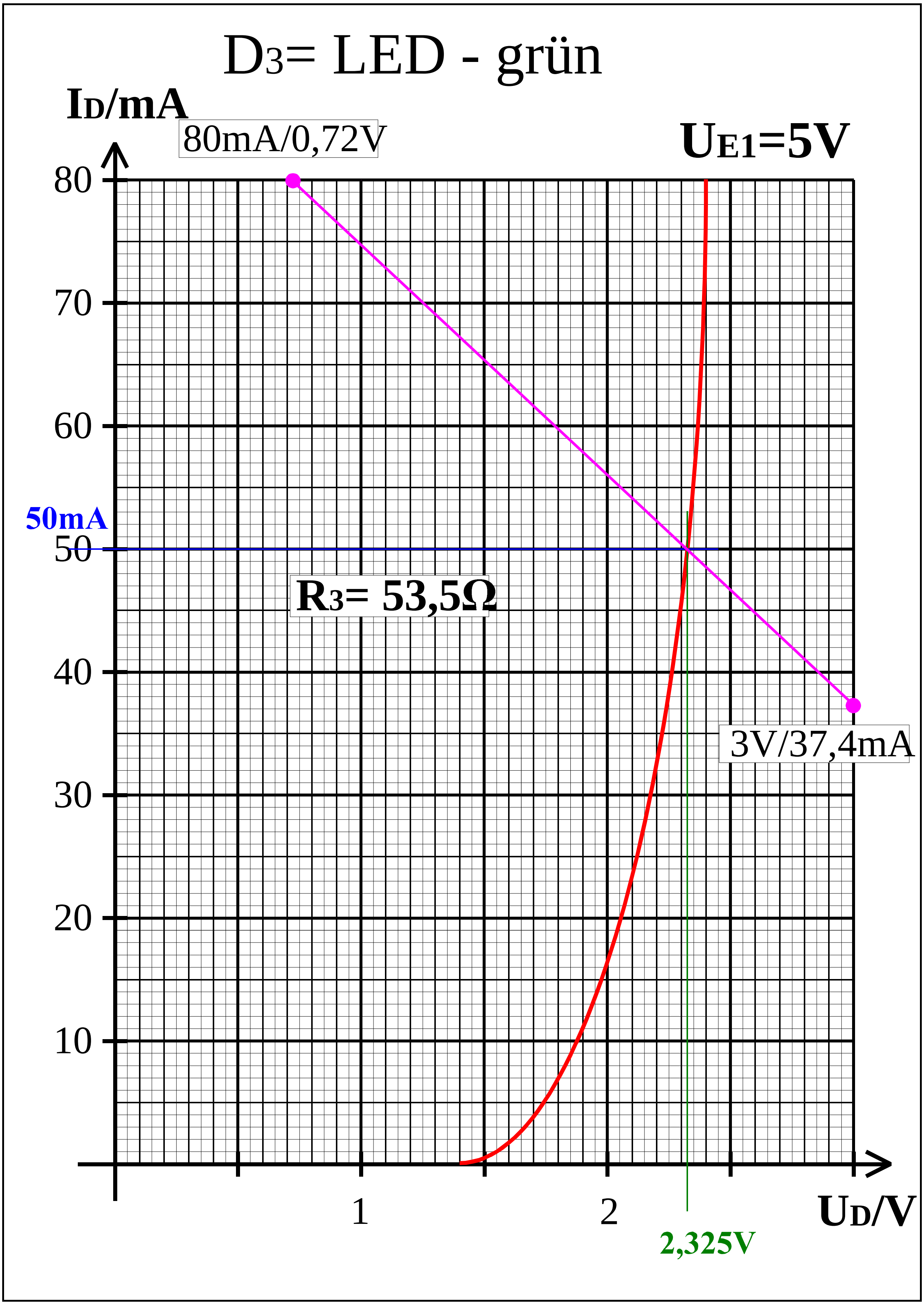

D2= LED - rot
ID/mA
80mA/0,56V
UE1=5V
80
70
60
50
50mA
R2=55,5Ω
40
3V/36,0mA
30
20
10
1
2
2,225V
UD/V

Abb. 14



D3= LED - grün
ID/mA
80mA/0,72V
UE1=5V
80
70
60
50mA
50
R3= 53,5Ω
40
3V/37,4mA
30
20
10
1
2
UD/V
2,325V

Abb. 15

Lösung: Aufgabe 2.2.3.

Reihenschaltung von Halbleiterdioden

1. Bestimmung der math. Funktion der Kennlinien der Halbleiterdioden

   Die Kennlinien wurden als eine Menge von Geraden approximiert

   $$I=f(U)=aU+b$$

   Befindet sich die Gerade im Intervall $[U_1, U_2]$ so gilt für zwei Punkte:

   $$I_1=aU_1+b \text{ und } I_2=aU_2+b$$

   und es folgt:

   $$a=(I_2-I_1)/(U_2-U_1) \quad \text{und} \quad b=I_1-aU_1=I_2-aU_2$$

1.1 Diode 1

1. Geradenabschnitt $U\in[0;0,3]$V, $I\in[0;0]$mA

   $$a=0 \qquad\qquad b=0$$

2. Geradenabschnitt $U\in[0,3;1,1]$V, $I\in[0;80]$mA

   $$a=(80mA-0mA)/(1,1V-0,3V)=80mA/0,8V=100\ mS$$
   $$b=80mA-100mSx1,1V=80mA-110mA=-30mA$$

3. gesamte Kennlinie

$$\boxed{I_{D1}=f(U_{D1}) = \begin{cases} 0mSxU_{D1} & \text{für } U_{D1} \in [0;0,3]V \\ 100mSxU_{D1}-30mA & \text{für } U_{D1} \in [0,3;1,1]V \end{cases}}$$

1.2 Diode 2

1. Geradenabschnitt $U \in [0;0,5]V$, $I \in [0;0]mA$

   a=0 b=0

2. Geradenabschnitt $U \in [0,5;1,56]V$, $I \in [0;80]mA$

   a=(80mA-0mA)/(1,5666V-0,5V)=80mA/1,0666V=75 mS
   b=80mA-75mSx1,5666V=80mA-117,495mA= -37,5 mA

3. gesamte Kennlinie

$$I_{D2}=f(U_{D2}) = \begin{cases} 0\ mSxU_{D2} & \text{für } U_{D2} \in [0;0,5]V \\ 75mSxU_{D2}-37,5mA & \text{für } U_{D2} \in [0,5;1,56]V \end{cases}$$

2. Konstruktion der Gesamtkennlinlie der Reihenschaltung von Diode 1 und Diode 2

   Bei der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen, die Ströme bleiben gleich

$$U_{ers}(I_{ers})=U_{D1}(I_{ers})+U_{D2}(I_{ers})$$

   Da für beide Kennlinien Geraden vorliegen, brauchen nur die Knickpunkte beachtet werden.

   1. Knickpunkt: I_{ers}=0mA

      U_{D1}=0,3V, U_{D2}=0,5V daraus folgt U_{ers}=0,8V

   2. Knickpunkt: I_{ers}=80mA

      U_{D1}=1,1V, U_{D2}=1,56V daraus folgt U_{ers}=1,1V+1,56V=1,66V

3. Bestimmung der math. Funktion der Ersatzkennlinie der Halbleiterdioden

   Die Kennlinie wurde als eine Menge von Geraden approximiert

Ersatzkennlinie

1. Geradenabschnitt $U \in [0;0,8]V$, $I \in [0;0]mA$

   a=0 b=0

2. Geradenabschnitt $U \in [0,8;2,66]V$, $I \in [0;80]mA$

   a=(80mA-0mA)/(2,66V-0,8V)=80mA/1,86V=43.0mS
   b=80mA-43,0mSx2,66V=80mA-114.38mA=-34,38mA

4. gesamte Kennlinie

$$I_{ers}=f(U_{ers}) = \begin{cases} 0\ mSxU_{Ders} & \text{für } U_{ers} \in \ [0;0,8]V \\ 43mSxU_{Ders}-34,4mA & \text{für } U_{ers} \in \ [0,8;2,66]V \end{cases}$$

4. Bestimmung der Gesamtspannung und des Gesamtstroms

$U_{leer}=5V$ $\quad$ $I_{max}=5V/50\Omega=100mA$ $\quad$ beide außerhalb des Kennlinienbereiches

für $U_{p1}=3V$: $\quad$ $I_{P1}=(U_{E1}-U_P)/R_2=(5V-3V)/50\Omega=2V/50\Omega\Omega=40mA$

(für $U_{p2}=0V$: $\quad$ $I_{P2}=(U_{E1}-U_{A2})/R_2=(5V-0V)/50\Omega\Omega=5V/50\Omega\Omega=100mA$)

außerhalb des Bereiches, deshalb:

für $I_p=80mA$: $\quad$ $U_P=U_{E1}-I_p\ R_2=5V-80mA\cdot 50\Omega=5V-4V=1V$

daraus folgt aus der Ersatzkennlinie

$U_A=2,13V$ $\quad$ $I_A=57,3mA$

$U_R=U_E-U_A=5V-2.13V=2,87V$
$I_R=I_A=57,3\ mA$

5. Bestimmung der Teilspannungen

$I_A=I_{D1}=I_{D2}=57,3mA$

$U_{D1}=0,87V$
$U_{D2}=1,26V$

und zur Kontrolle:

$U_A=U_{D1}+U_{D2}=0,87V+1,26V=2,13V$

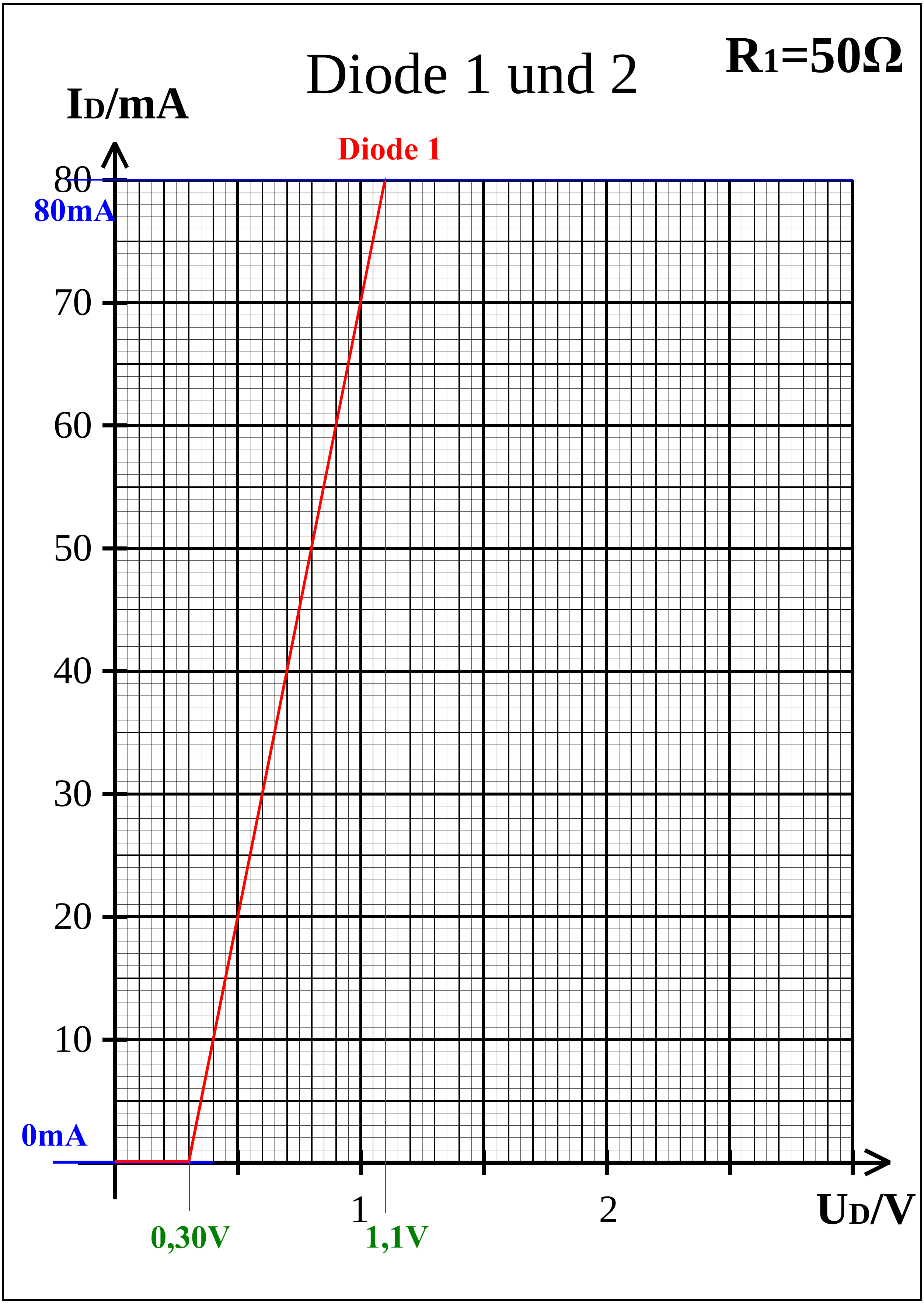
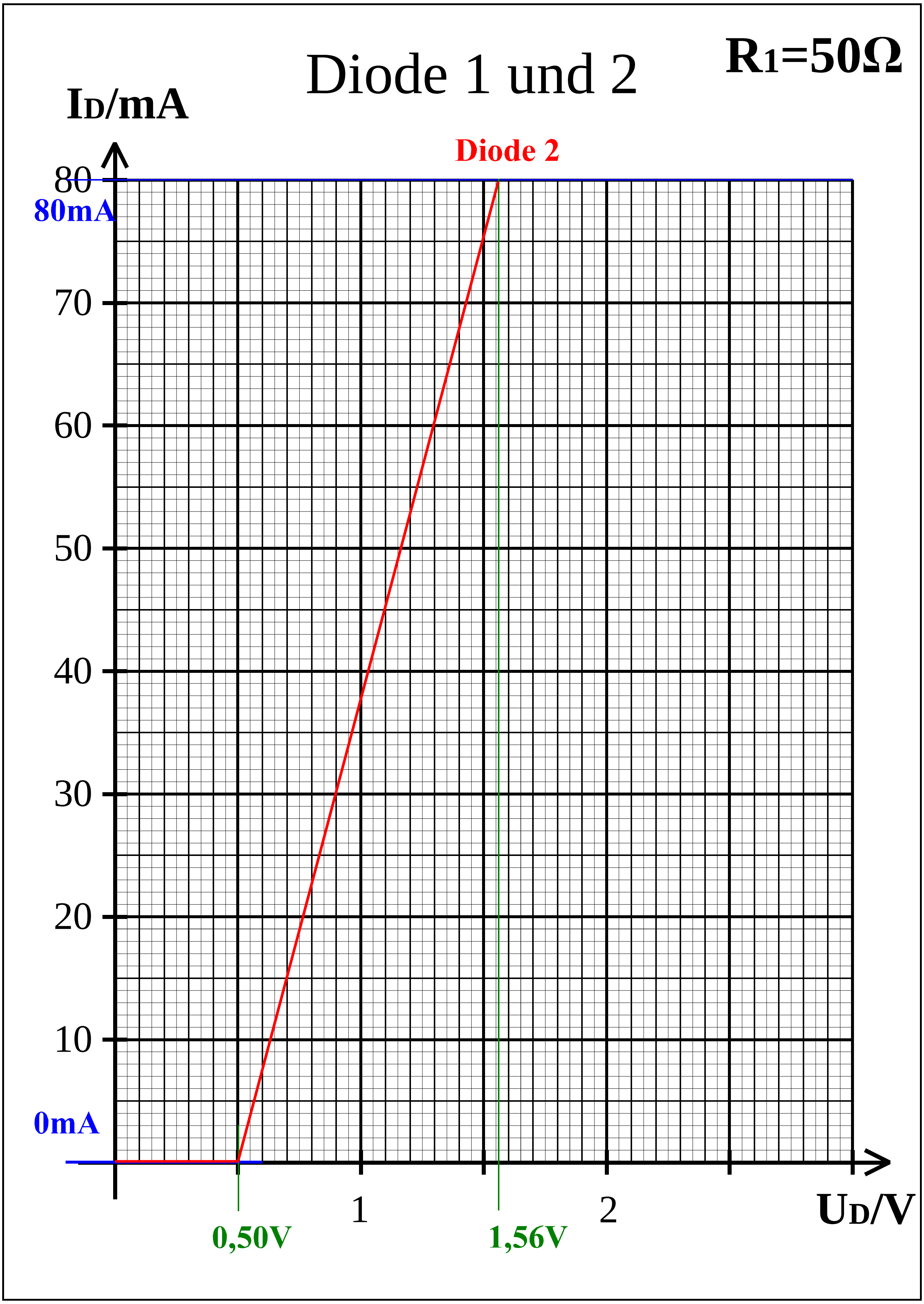

Diode 1 und 2
R1=50Ω
ID/mA
Diode 1
80
80mA
70
60
50
40
30
20
10
0mA
1
2
UD/V
0,30V
1,1V

Abb. 16



Diode 1 und 2
R1=50Ω
ID/mA
Diode 2
80
80mA
70
60
50
40
30
20
10
0mA
1
2
0,50V
1,56V
UD/V

Abb. 17

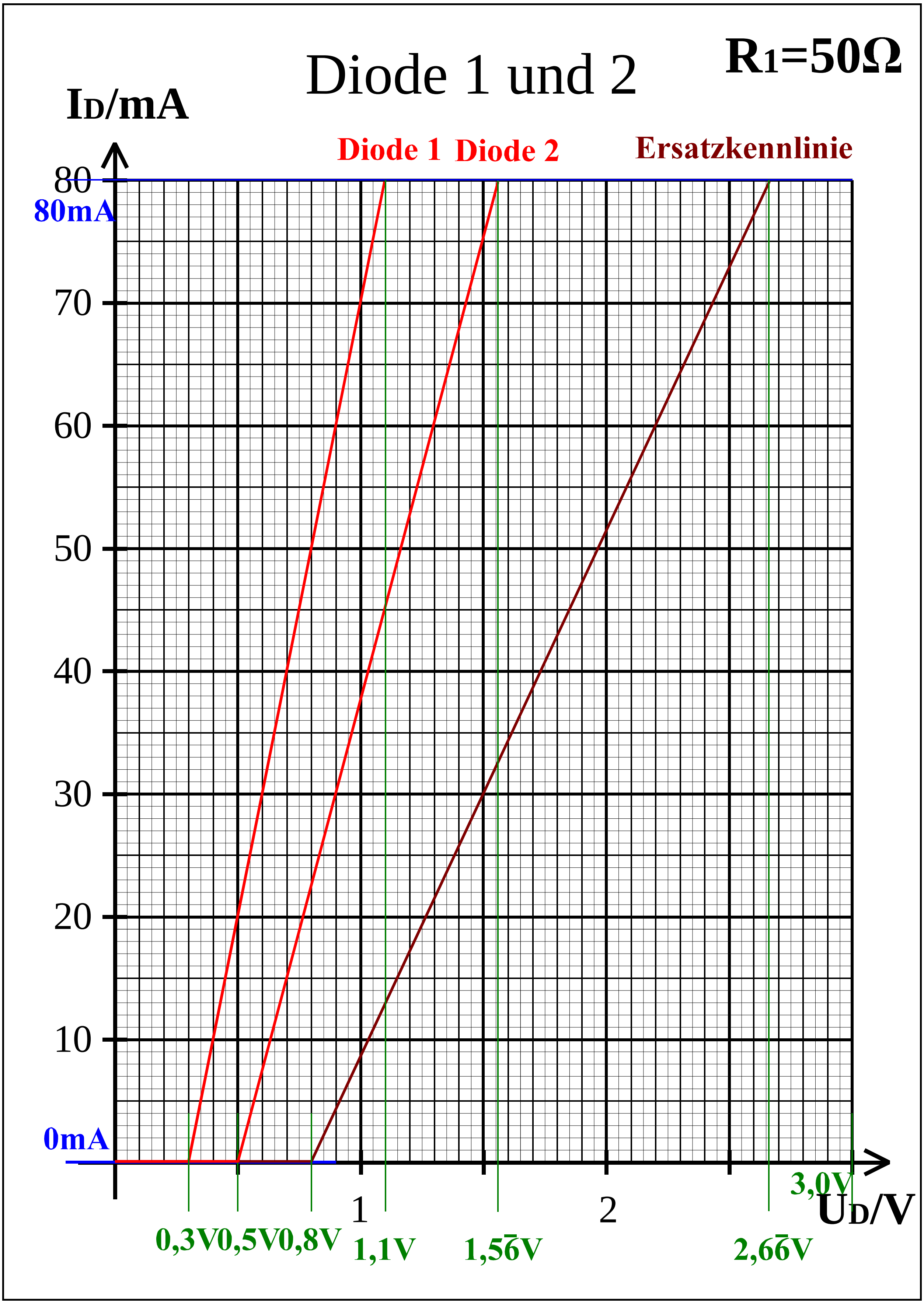

Diode 1 und 2
R1=50Ω
ID/mA
Diode 1
Diode 2
Ersatzkennlinie
80
80mA
70
60
50
40
30
20
10
0mA
1
2
3,0V
UD/V
0,3V
0,5V
0,8V
1,1V
1,56̄V
2,66̄V

Abb. 18

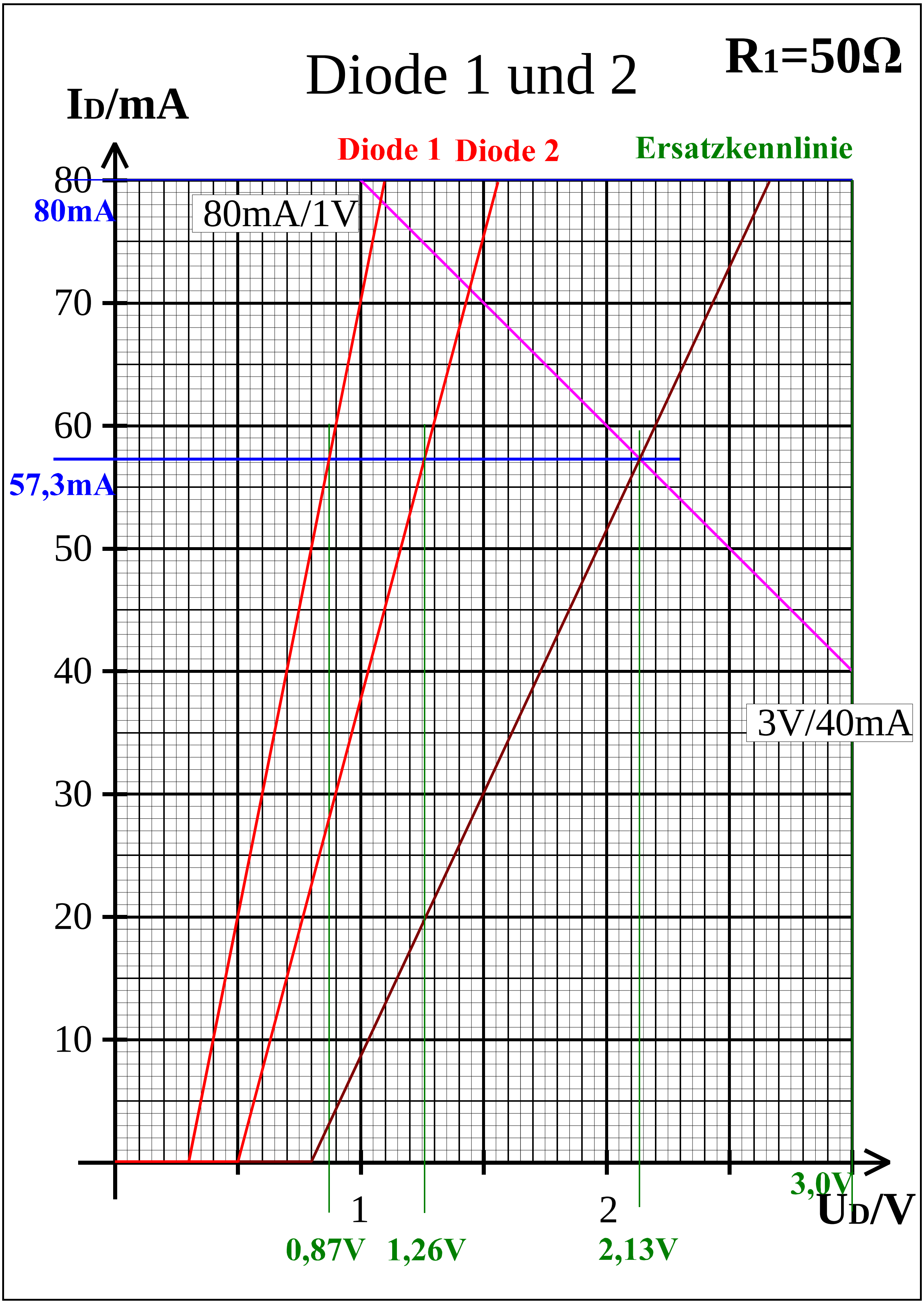

Diode 1 und 2
R1=50Ω
ID/mA
Diode 1
Diode 2
Ersatzkennlinie
80
80mA
80mA/1V
70
60
57,3mA
50
40
3V/40mA
30
20
10
1
2
3,0V
UD/V
0,87V
1,26V
2,13V

Abb. 19