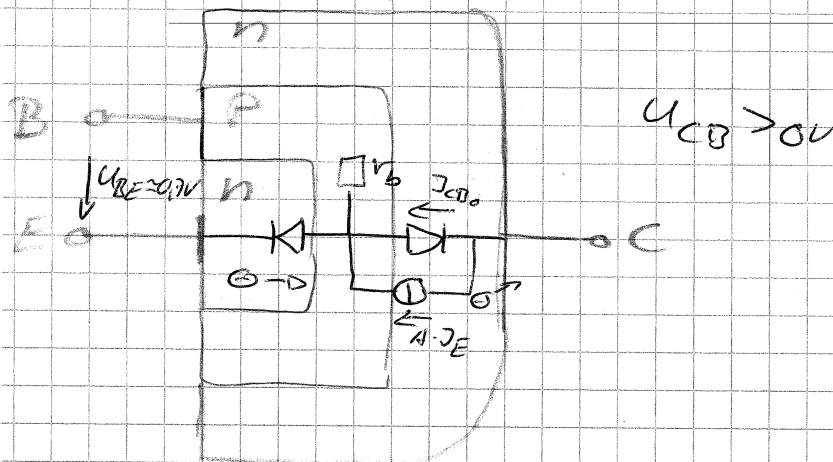


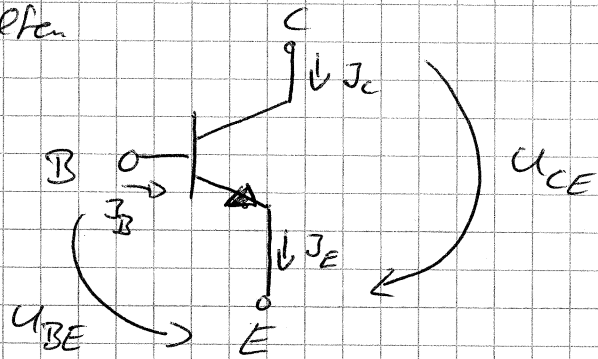
1

- Aufbau erfolgt auf einer 0,3 mm dicken Si-Scheibe. Hier werden durch Dotierungsprozesse in einer n-Epitaxialschicht (Kollektor) eine schwach p-Dotierte Basiszone und in diese wiederum eine stark n-dotierte Emitterschicht eingebracht



- Wird die EB-Diode in Flussrichtung Schieben entsteht ein Elektronenfluss vom Emitter zur inneren Basis.
- Aufgrund der gesperrten Kollektor-Basis-Diode bildet sich eine Raumladungszone zwischen B und C
- Die Elektronen gelangen in den Einflussbereich <sup>in der</sup> der gesperrten  $U_{CB}$  Raumladungszone vorherrschenden Feldstärke und werden daher <sup>zum</sup> ~~in den~~ niedrigeren Energieniveau (verursacht durch die Sperrspannung  $U_{CB}$ ) der Kollektorzone abgesaugt.
  - ⇒ Injektionsstrom =  $A \cdot J_E$
  - ⇒ Transistoreffekt
  - ↳ Voraussetzung ist eine geringe Dotierung der Basiszone und eine kleine Basisweite

Damit wird die Rekombinationsrate in d. Basiszone klein gehalten.



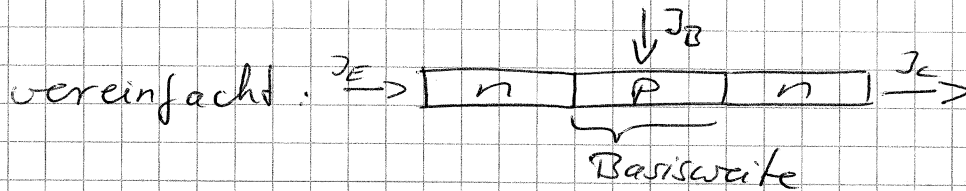
Normalbetrieb

$$U_{BE} \approx 0,7V$$

$$U_{CE} > 0,5V$$

• je höher die Sperrspannung desto breiter CB-RLZ

→ je breiter RLZ desto kleiner die Basisweite



Der Strom  $J_C$  kann mit  $U_{BE}$  gesteuert werden

$$J_C = \beta \cdot J_B$$

2)

(1) Feld 1A/1B Ausgangskennlinienfeld

$$-I_C = f(-U_{CE})$$

Je höher die Sperrspannung  $U_{CE}$ , desto kleiner die Basisweite und damit umso größer  $I_C$ .

→ Feld 1A : Steuerparameter  $I_B$  (Basisstrom)

→ Feld 1B : - " -  $U_{BE}$

(2) Feld 3A Eingangskennlinienfeld

$$-I_B = f(-U_{BE})$$

Durchlasskennlinie der pn-Schicht

(3) Feld 3B

$$-I_C = f(-U_{BE}) \quad \text{Steuerparameter } -U_{CE}$$

(4) Feld 2 Stromsteuerkennlinienfeld

$$-I_C = f(-I_B) \quad \text{Steuerparameter } -U_{CE}$$

# Zusammenhänge der Kennlinienfelder

Stromsteuerkennel.

$$\beta = \frac{dI_C}{dI_B}$$

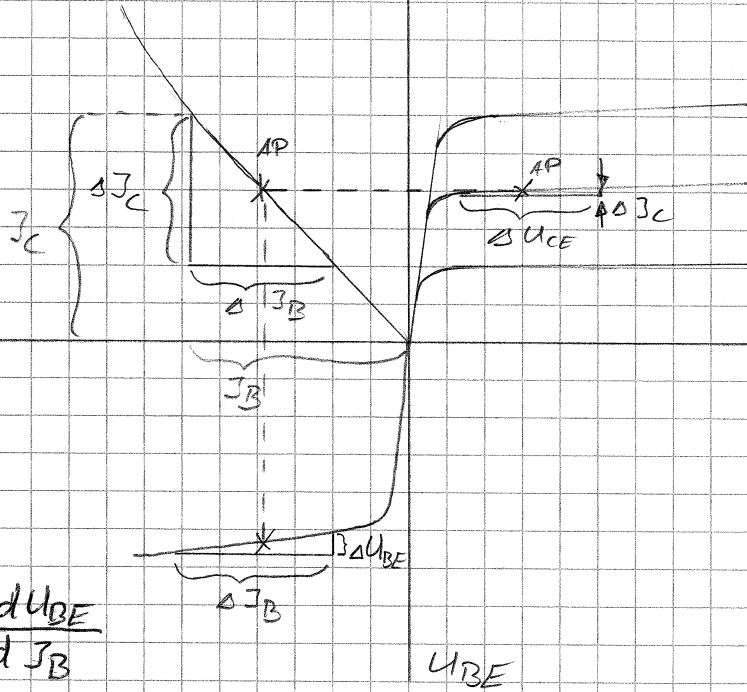
$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

$I_B$

$I_C$

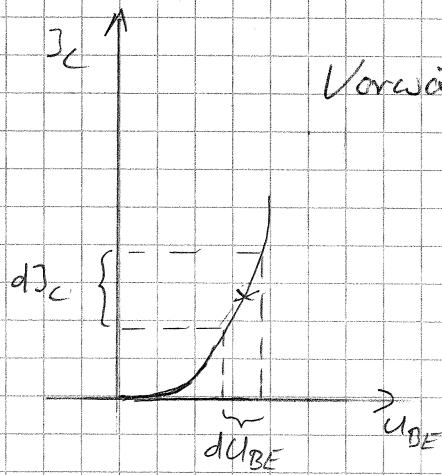
Ausgangskennel.

$$r_{CE} = \frac{dU_{CE}}{dI_C}$$



$$r_{BE} = \frac{dU_{BE}}{dI_B}$$

Eingangskennel.



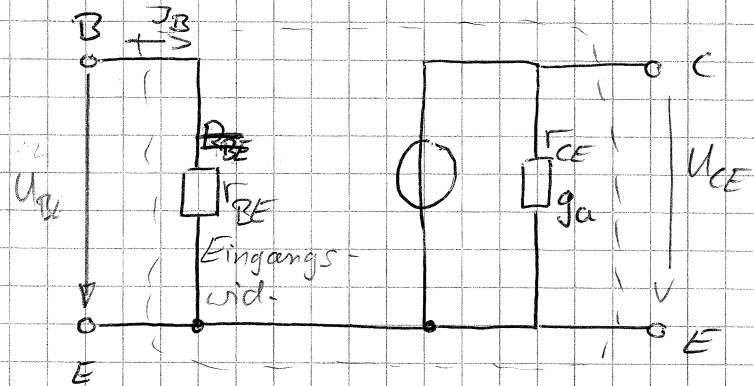
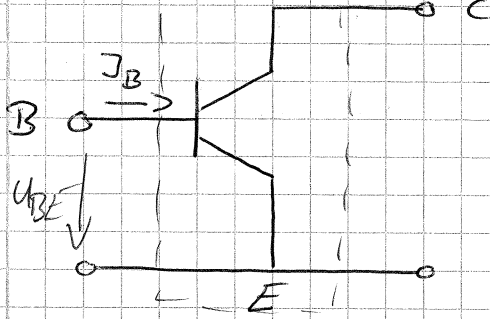
Vorwärts - Steilheit

$$S = \frac{dI_C}{dU_{BE}}$$



③

Kleinsignal ESB



$$J_B = J_0 \cdot (e^{U_{BE}/U_T} - 1)$$

in Durchlassrichtung:  $J_B = J_S e^{U_{BE}/U_T}$

$J_S$  = Sperrsättigungsstrom

$$R_{BE} = \frac{U_T}{J_B} \quad \text{Eingangswid.}$$

Ausgangswert  $g_a = \frac{\partial J_C}{\partial U_{CE}}$

$U_T = 26 \text{ mV}$  bei  $25^\circ\text{C}$

I  $J_B = \frac{U_1}{R}$ ;  $U_1 = J_B \cdot R$  da  $R = 100 \text{ k}\Omega \gg R_{BE} + R_E$

II  $U_2 = J_E \cdot R_E$   $R_E = 10 \Omega$

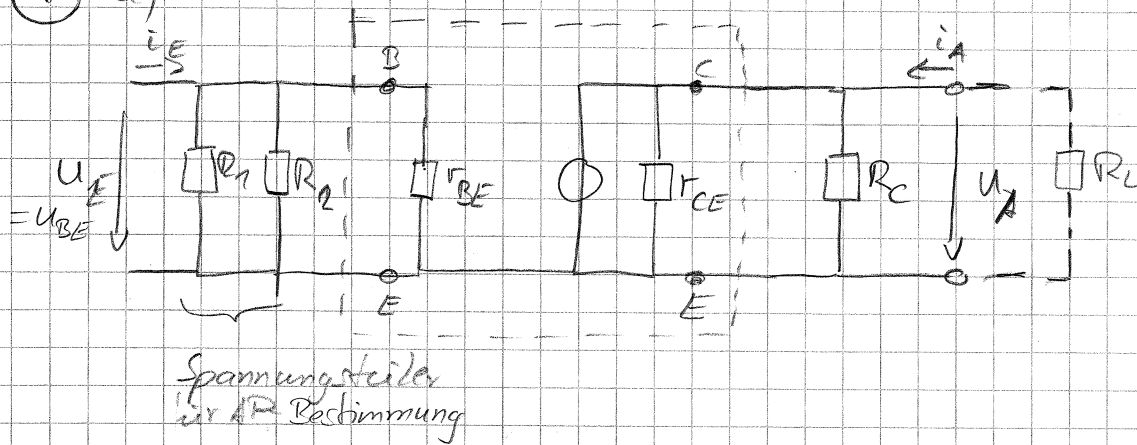
III  $J_E = J_C = \beta \cdot J_B = \beta \cdot \frac{U_1}{R}$

$$U_2 = J_E \cdot R_E = \beta \cdot \frac{U_1}{R} \cdot R_E$$

$$\beta = \frac{U_2}{U_1} \cdot \frac{R}{R_E}$$

(4)

a)



b) • Eingangswiderstand  $r_E = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE}$

• Ausgangswiderstand  $r_A = R_C \parallel r_{CE}$

• Stromverstärkung  $V_i = \frac{I_A}{I_E} = \frac{S \cdot U_{BE}}{I_B} \cdot \frac{r_{CE} \parallel R_C}{(r_{CE} \parallel R_C) + R_L}$

• Spannungsverstärkung  $V_u = \frac{U_A}{U_E}$

$$V_u = \frac{U_A}{U_E} = - \frac{S \cdot U_{BE}}{U_{BE}} (r_{CE} \parallel R_C \parallel R_L)$$

c) <sup>4</sup>Übertrieben genaue Rechnung:

nicht nötig da Halbleiter sehr stark auf äußere Einflüsse reagieren (wie Temperatur, Strahlung, ...) und damit die zu hohe Genauigkeit nicht erfordern. Zudem weisen sie auch Toleranzen auf.

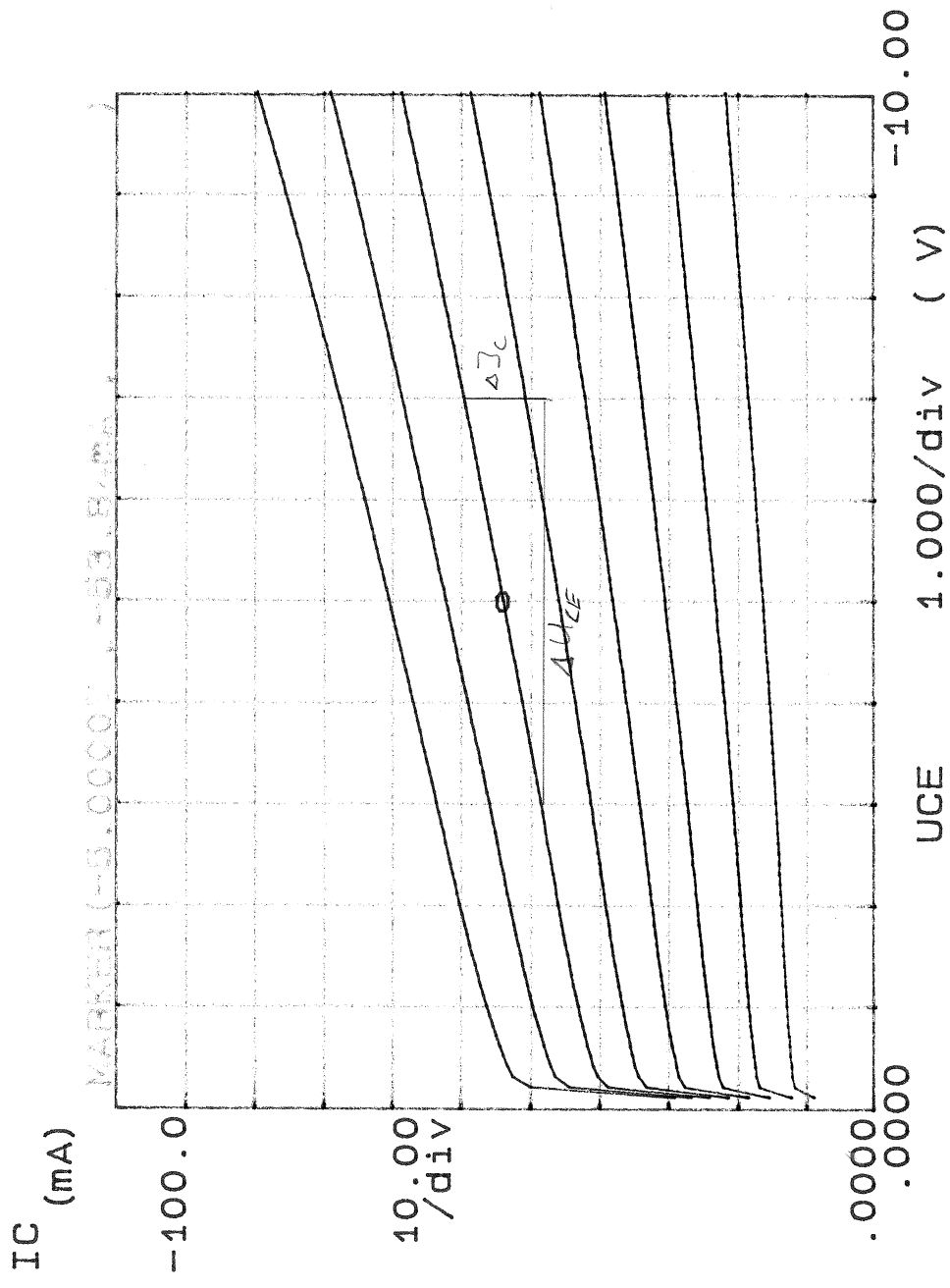
HT 7

V4/1a

Ausdruck

Zu 1a) Ausgangskennlinienfeld

\*\*\*\*\* GRAPHICS PLOT \*\*\*\*\*



Variable1:  
 UCE -Ch3  
 Linear sweep  
 Start .0000V  
 Stop -10.0000V  
 Step -.10000V

Variable2:  
 IB -Ch2  
 Start -150.0uA  
 Stop -500.0uA  
 Step -50.00uA

Constants:  
 UE -Ch1 .0000V

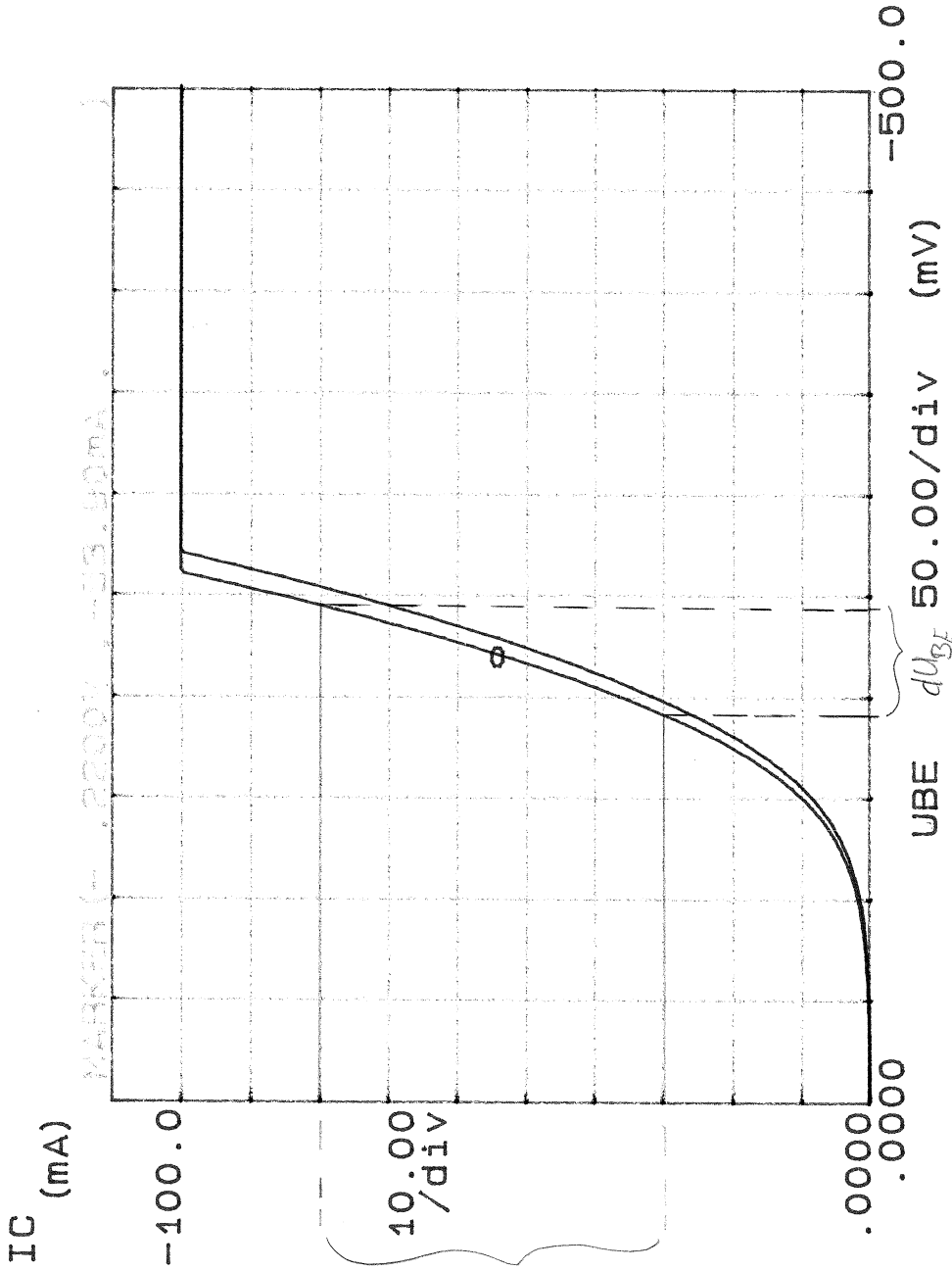
$\Delta I_C = 11 \text{ mA}$  ✓  
 $\Delta U_{CE} = 3.9 \text{ V}$  ✓

HFE ( ) = IC/IB

V4/16

Ausdruck zu 1b) Steilheit  $-I_c = f(-U_{BE})$

\*\*\*\*\* ORIGINALS PLOT \*\*\*\*\*



Variable1:  
 UBE -Ch2  
 Linear sweep  
 Start .0000V  
 Stop .5000V  
 Step -.0020V

Variable2:  
 UCE -Ch3  
 Start -1.0000V  
 Stop -5.0000V  
 Step -4.0000V

Constants:  
 UE -Ch1 .0000V

$dI_c = 5 \text{ mA}$

$dU_{BE} = 53.6 \text{ mV} \approx V$

Tangente wäre genauer

HFE ( ) = I<sub>C</sub>/I<sub>B</sub>

V4/AC

Ausdruck zu  $I_C$ ) Eingangskennlinie  $-I_B = f(-U_{BE})$

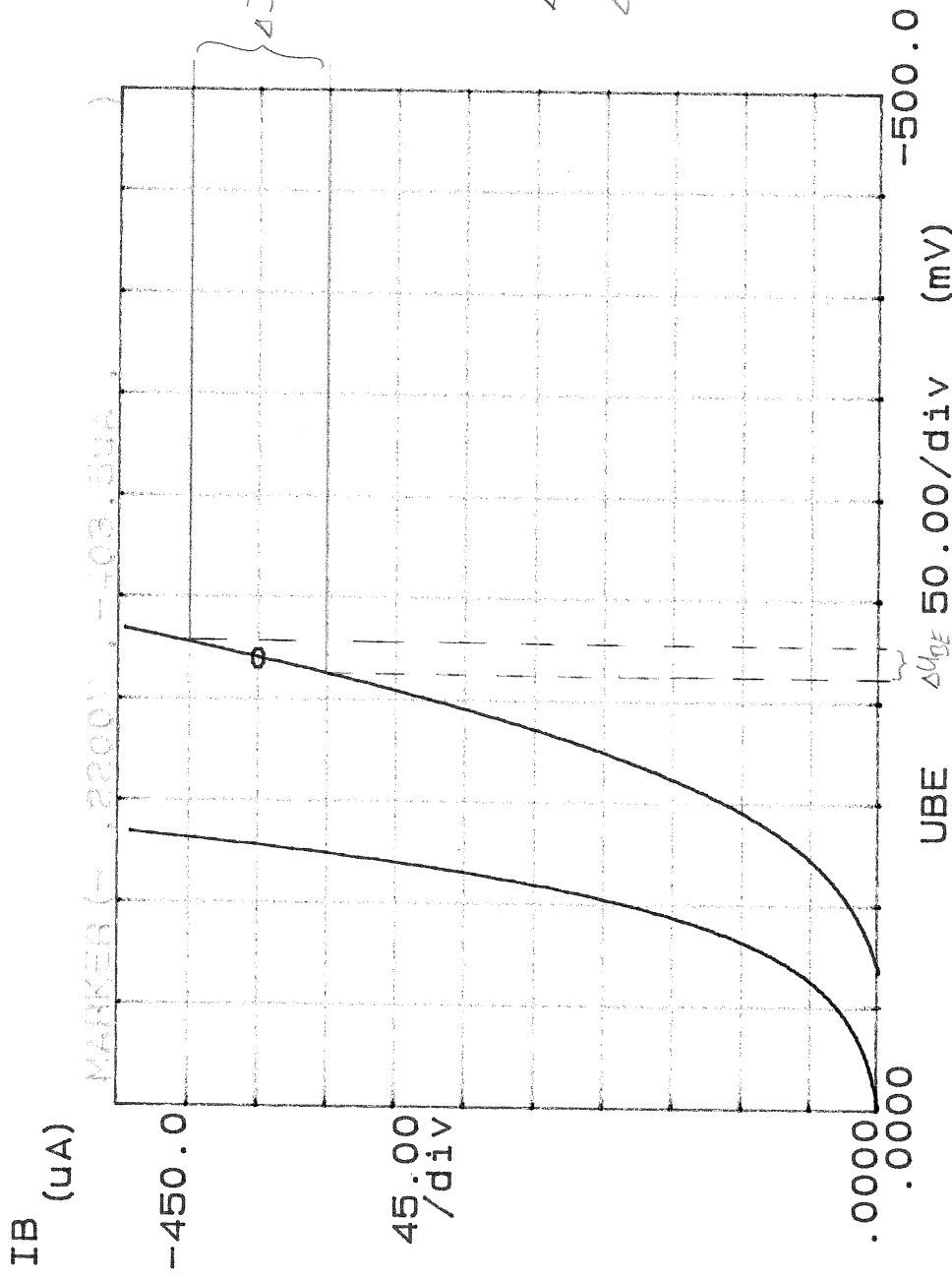
\*\*\*\*\* GRAPHICS PLOT \*\*\*\*\*

Variable1:  
 UBE -Ch2  
 Linear sweep  
 Start .0000V  
 Stop -.5000V  
 Step -.0010V

Variable2:  
 UCE -Ch3  
 Start .0000V  
 Stop -5.0000V  
 Step -5.0000V

Constants:  
 UE -Ch1 .0000V

$\Delta I_B = 90 \mu A$   
 $\Delta U_{BE} = 14.3 mV$

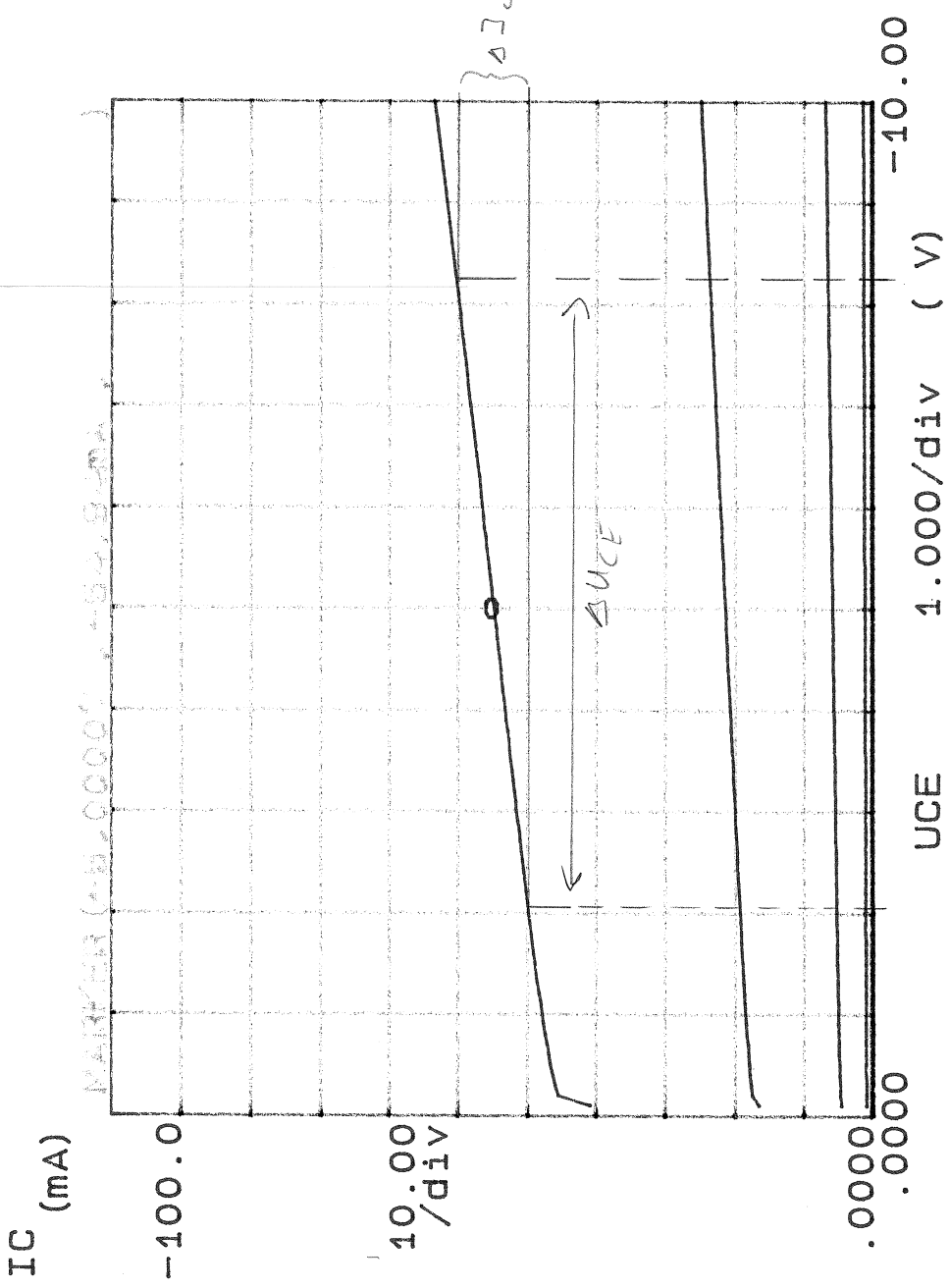


HFE ( ) =  $I_C / I_B$

V4/1d

Ausdruck zu 1d) Ausgangskennlinienfeld  $-I_c = f(-U_{CE})$

\*\*\*\*\* GRAPHICS PLOT \*\*\*\*\*



Variable1:  
 UCE -Ch3  
 Linear sweep  
 Start .0000V  
 Stop -10.000V  
 Step -.1000V

Variable2:  
 UBE -Ch2  
 Start .0000V  
 Stop -.2200V  
 Step -.0440V

Constants:  
 UE -Ch1 .0000V

$\Delta U_{CE} = 6,07V$   
 $\Delta I_c = 70mA$

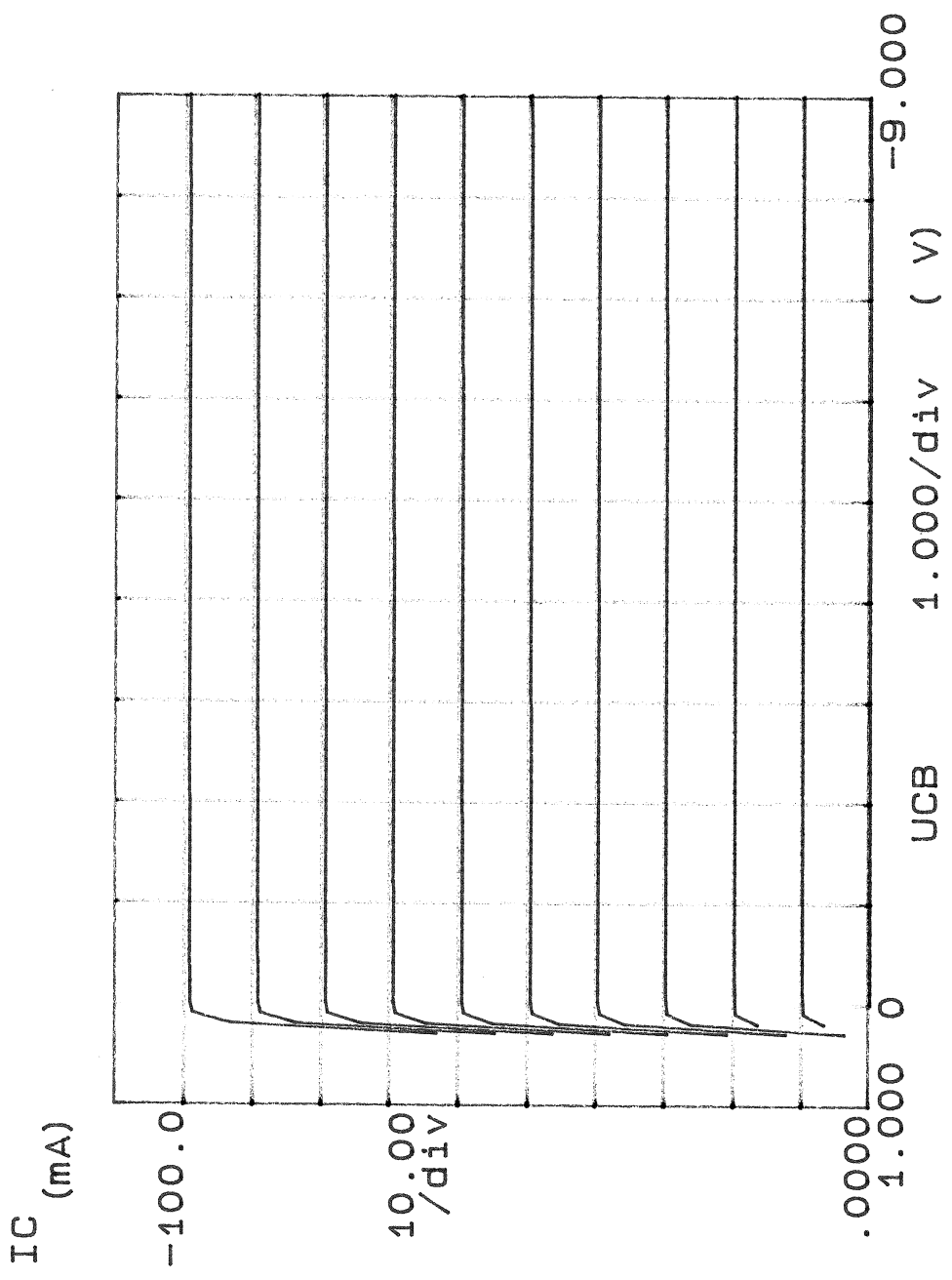
HFE ( ) = IC/IB



141e

Ausdruck zu 7e) Ausgangskennlinienfeld in Basiserschaltung

\*\*\*\*\* GRAPHICS PLOT \*\*\*\*\*



Variable1:  
 UCB -Ch3  
 Linear sweep  
 Start 1.0000V  
 Stop -9.0000V  
 Step -.10000V

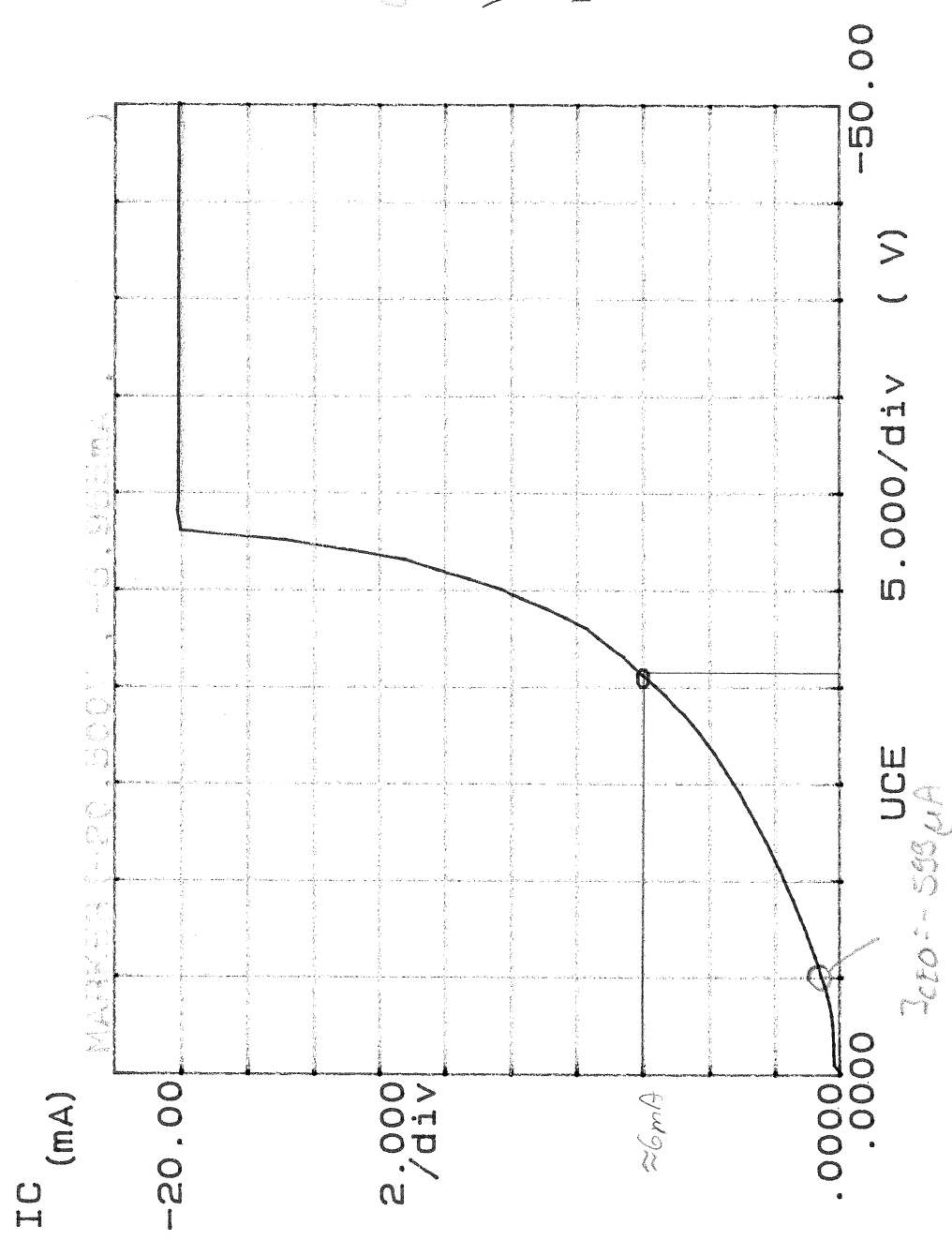
Variable2:  
 IE -Ch1  
 Start .000 A  
 Stop 100.0mA  
 Step 10.00mA

Constants:  
 UB -Ch2 .0000V

V4/7A

Ausdruck zu 7f) Messung von  $U_{CE}$

\*\*\*\*\* GRAPHICS PLOT \*\*\*\*\*



Variable1:  
 UCE -Ch3  
 Linear sweep  
 Start .0000V  
 Stop -50.000V  
 Step -.5000V

Constants:  
 UE -Ch1 .0000V

$U_{CE} = 5V \rightarrow I_{CE0} = -599 \mu A$

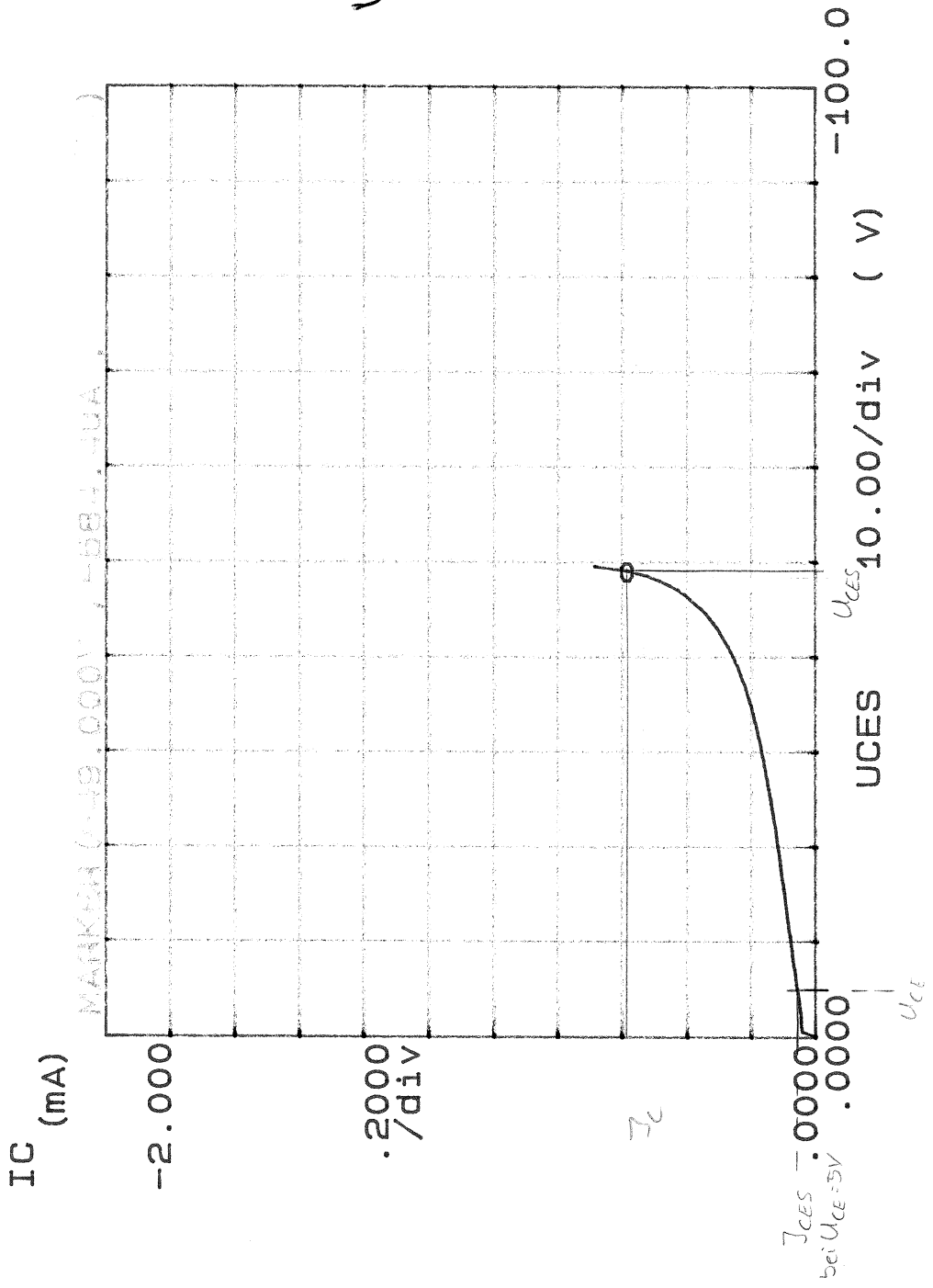
$V_{CE0} = V_{CE}$  für  $I_C = 10 \cdot (-599 \mu A)$

$V_{CE0} = 20,36V$

44/18

Ausdruck zu 14) Messung von  $U_{CES}$

\*\*\*\*\* GRAPHICS PLLOT \*\*\*\*\*



Variable1:  
 UCES -Ch3  
 Linear sweep  
 Start .0000V  
 Stop -100.00V  
 Step -- .5000V

Constants:  
 UE -Ch1 .0000V  
 UBE -Ch2 .0000V

$$U_{CES} = U_{CE} \text{ für } J_c = 10 \cdot J_{CES}$$

HFE ( ) = IC/IB

Bode

Range: 20 dBm  
Res BW: 1 200 Hz  
B: NORMALIZED XMSN MKR

29-Apr-2003 16:29  
Swp Time: 4.98 Sec

3589A (HP)

200 Hz -36.27 dB

-36.27dB

-35 dB

-33dB

Ausdruck zu 2.  
Bode Diagramm

LogMag  
5  
dB  
/div

SAB 1.4cm

-85 dB  
100 1K 100K 1M  
Start: 100 Hz  
Stop: 1 000 000 Hz

COR

22.4 Hz

# Durchführung V4

1) Für die Messungen im 16058A Test Fixture von Hp wurde Transistor Nr 7 verwendet.

$$a) r_{CE0} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta J_C} = 354,5 \Omega$$

$$\Delta U_{CE} = 3,9V; \Delta J_C = 11mA$$

$$b) S = \frac{dJ_C}{dU_{BE}} = \frac{50mA}{53,6mV} = 932,8 \mu S \approx \checkmark$$

$$c) r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta J_B} = \frac{14,3mV}{90\mu A} = 158,9 \Omega$$

$$d) r_{CES} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta J_C} = \frac{6,07V}{10mA} = 607 \Omega$$

$$f) \text{ für } U_{CE} = 5V \rightarrow J_{CE0} = -599 \mu A$$

$$U_{CE0} = U_{CE} \text{ für } J_C = 10 \cdot J_{CE0}$$

$$U_{CE0} = 20,36V$$

$$g) U_{CES} = U_{CE} \text{ für } J_C = 10 \cdot J_{CES}$$

$$U_{CE} = -5V \rightarrow J_{CES} = -58,04 \mu A$$

$$\rightarrow J_C = -580,4 \mu A$$

Mit Hilfe des Markers  $U_{CES}$  abgelesen

$$U_{CES} = -4,9V$$

7h) Transistor - Kapazitäten  $C_{BE}$ ,  $C_{CE}$ ,  $C_{CB}$ ,  
gemessen mit HP 4280A

$$C_{CE} = 0,165 \text{ nF}$$

$$C_{BE} = 0,353 \text{ nF}$$

$$C_{CB} = 0,603 \text{ nF}$$



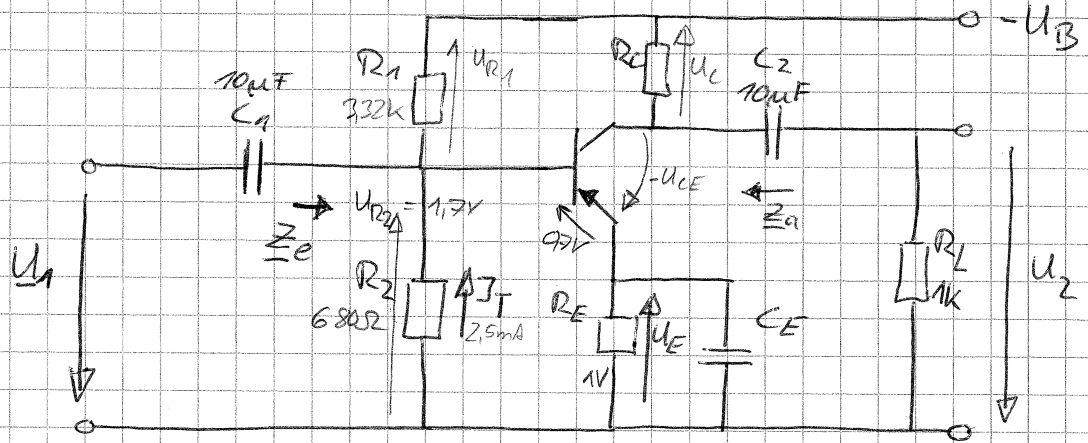
3)

$$AP: 50 \text{ mA} / 5 \text{ V}$$

$$U_B = 10 \text{ V}$$

$$\beta_T = 5 \cdot |\beta_B|$$

$$U_E = 0,1 \cdot U_B = 1 \text{ V}$$



$$U_{R2} = U_E + U_{EB} = 1 \text{ V} + 0,7 \text{ V} = 1,7 \text{ V}$$

$$\frac{U_{R2}}{U_{R1}} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{1,7 \text{ V}}{8,3 \text{ V}}$$

$$U_C = 10 \text{ V} - U_{CE} - U_E = 4 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{U_C}{I_C} = \frac{4 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 80 \Omega$$

$$R_{C, \text{opt}} = \frac{4 \text{ V} / 2}{50 \text{ mA}} = 40 \Omega$$

$$R_E = \frac{U_E}{I_E} \stackrel{I_E \approx I_C}{=} \frac{1 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 20 \Omega$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \Rightarrow I_T = 5 \cdot I_B = 5 \cdot \frac{50 \text{ mA}}{100} = 2,5 \text{ mA}$$

Annahme  $\beta = 100$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_T} = \frac{1,7 \text{ V}}{2,5 \text{ mA}} = 680 \Omega$$

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{8,3 \text{ V}}{1,7 \text{ V}} = 3,32 \text{ k}\Omega$$

## Auswertung V4

$$1) \beta_0 = -36,27 \text{ dB}$$

$$\hookrightarrow \beta_{-3 \text{ dB}} = -39,27 \text{ dB} \quad \rightarrow \quad f_{\beta_{-3 \text{ dB}}} \approx 33 \text{ kHz}$$

$$f_T = \beta \cdot f_{\beta} = 148 \cdot 33 \text{ kHz} = 4,9 \text{ MHz}$$

↓  
aus Durchführung 1)  $\beta = r_{BE} \cdot S$

$$2) \text{ PT1 da } 20 \text{ dB/Dek} \quad \rightarrow \quad |G(\omega)| = \frac{G_0}{\sqrt{1+(\omega\tau)^2}}$$

$$|G(f)| = \frac{G_0}{\sqrt{1+(f/f_0)^2}}$$

$$\Rightarrow |\beta(f)| = \frac{\beta_0}{\sqrt{1+(f/f_{\beta})^2}}$$

$$\text{mit } |\beta(f_T)| = 1 \quad 1 = \frac{\beta_0}{\sqrt{1+(f_T/f_{\beta})^2}}$$

$$\text{mit } \frac{f_T}{f_{\beta}} \gg 1 \quad \rightarrow \quad 1 = \frac{\beta_0}{\sqrt{(f_T/f_{\beta})^2}} = \frac{\beta_0}{f_T/f_{\beta}}$$

$$\Rightarrow f_T = \beta_0 \cdot f_{\beta}$$

3)

$$\bullet r_E = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE} = \frac{1}{\frac{1}{3,32k\Omega} + \frac{1}{680\Omega} + \frac{1}{159,5\Omega}}$$

$$= 124\Omega$$

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = 159,5\Omega$$

$$\bullet r_A = R_C \parallel r_{CE} \approx R_C = 80\Omega$$

$$\bullet v_3 = \frac{S \cdot U_{BE}}{i_B} \cdot \frac{R_C}{R_C + R_L} = \beta \cdot \frac{R_C}{R_C + R_L} = 10,9$$

$$\underbrace{S \cdot r_{BE}}_{\beta} = \beta$$

$$\beta = 0,9335 \cdot 159,5\Omega = 148$$

$$\bullet v_u = -S (R_C \parallel R_L) =$$

$$= -0,9335 \frac{80\Omega \cdot 1k\Omega}{80\Omega + 1k\Omega} = -69,1$$

Ergebnisse nur für mittlere Frequenzen  
gültig da  $R_E$  durch  $C_E$  kurzgeschlossen.

A

5) Von  $C_E$  bewirkte Grenzfrequenz

$$f_{gu}(-3\text{dB}) = \frac{1}{2\pi C_E R_E} \cdot \frac{\beta \cdot R_E}{r_{BE}}$$

$$= \frac{\beta}{2\pi r_{BE} \cdot C_E} = \frac{124}{2\pi \cdot 159\Omega \cdot C_E} = \frac{0,124}{C_E}$$

$C_E$ in $\mu\text{F}$	0	22	47	100	220	470
$f_{gu}$ in kHz	/	5,64	2,64	1,24	0,563	0,263

obere Eckfrequenzen

$$f_{g0}(-3\text{dB}) = \frac{1}{2\pi (C_{BE} + C'_{bc}) r_{BB}}$$

$$C_{BE} = \frac{\beta_0}{2\pi f_T \cdot r_{BE}} = \frac{148}{2\pi \cdot 4,9 \text{ MHz} \cdot 159\Omega} = 30,2 \text{ nF}$$

$$r_{BB} \approx r_{BE} - \beta_0 \cdot \frac{26 \text{ mV}}{-I_{C0}} = 159\Omega - 148 \cdot \frac{26 \text{ mV}}{(-50 \text{ mA})} = 236 \Omega$$

$$C'_{bc} \approx (1 + |A_u|) \cdot C_{bc} = (1 + |-69,7|) \cdot 0,16 \text{ nF}$$

$$= 42 \text{ nF}$$

$$f_{g0_1}(-3\text{dB}) = \frac{1}{2\pi (30,2 \text{ nF} + 42,06 \text{ nF}) \cdot 236\Omega}$$

$$= 9,333 \text{ kHz}$$

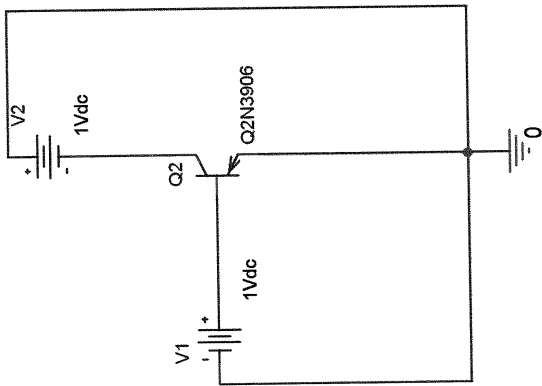
## 11) PSPICE

A 11-1 zeigt die verwendete Schaltung

A 11-2/3 zeigt  $I_c = f(U_{CE})$  Par  $U_{BE}$

A 11-4 zeigt  $I_c = f(U_{BE})$  Par  $U_{CE}$

A 11-5 Variation von Temperatur  $\vartheta$   
für die Kennlinie  $I_c = f(U_{CE})$   
Man erkennt den deutlich früher  
einsetzenden Stromfluss bei erhöhter  
Temperatur im Vergleich.



A 11-7

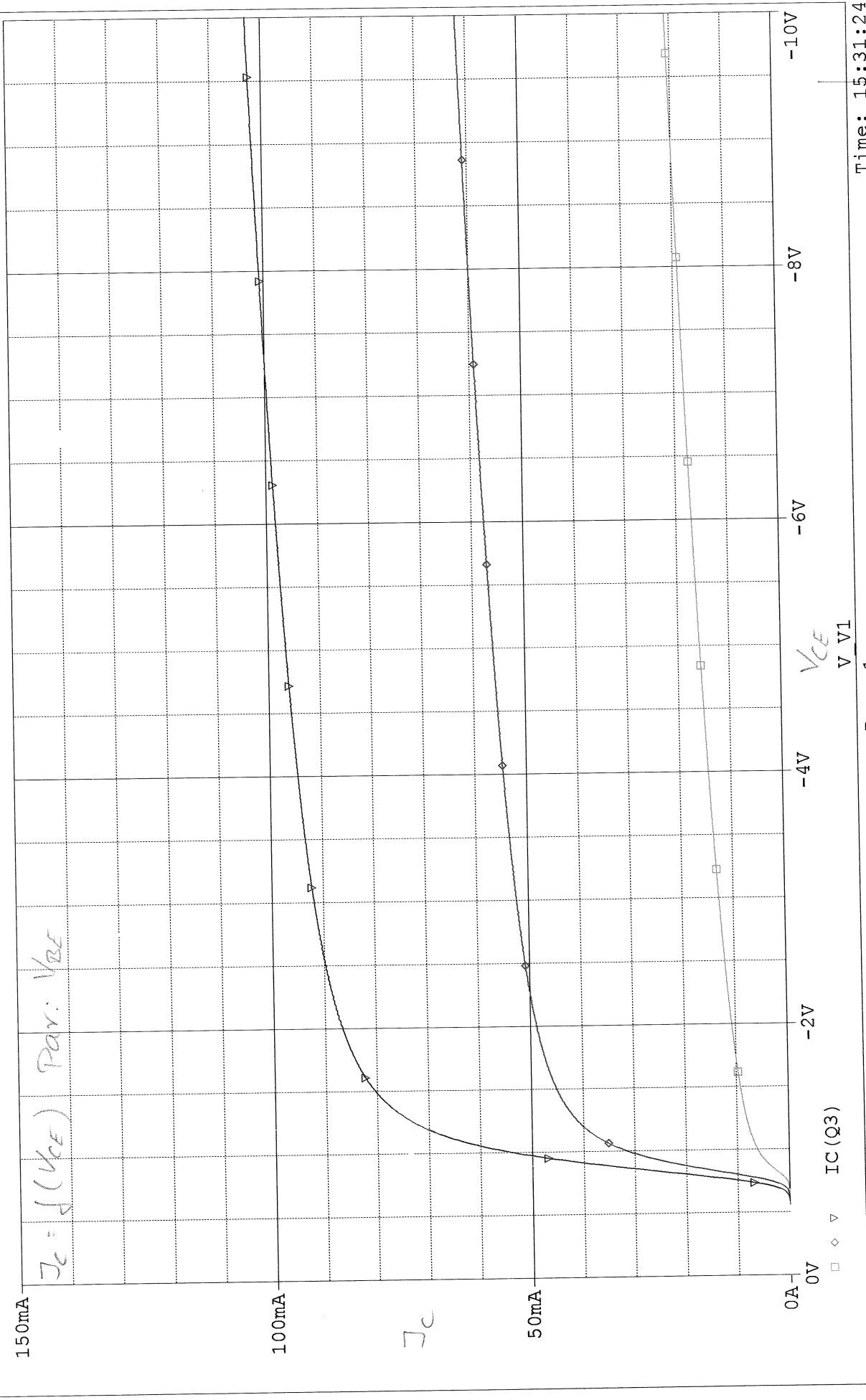
Title		Primary Sweep V1	
Size		Parameter V2	
Document Number		Rev	
A	<Doc>	1	<RevCode>
Date:	Wednesday, May 12, 2004	Sheet	1 of 1



*Mu3stab wie in Messung*

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-v4\_1" [ O:\BAUELEMENTE\versuch4\versuch4\_1-SCHEMATIC1-v4\_1.sim ] Temperature: 27.0  
Date/Time run: 05/12/04 15:30:10

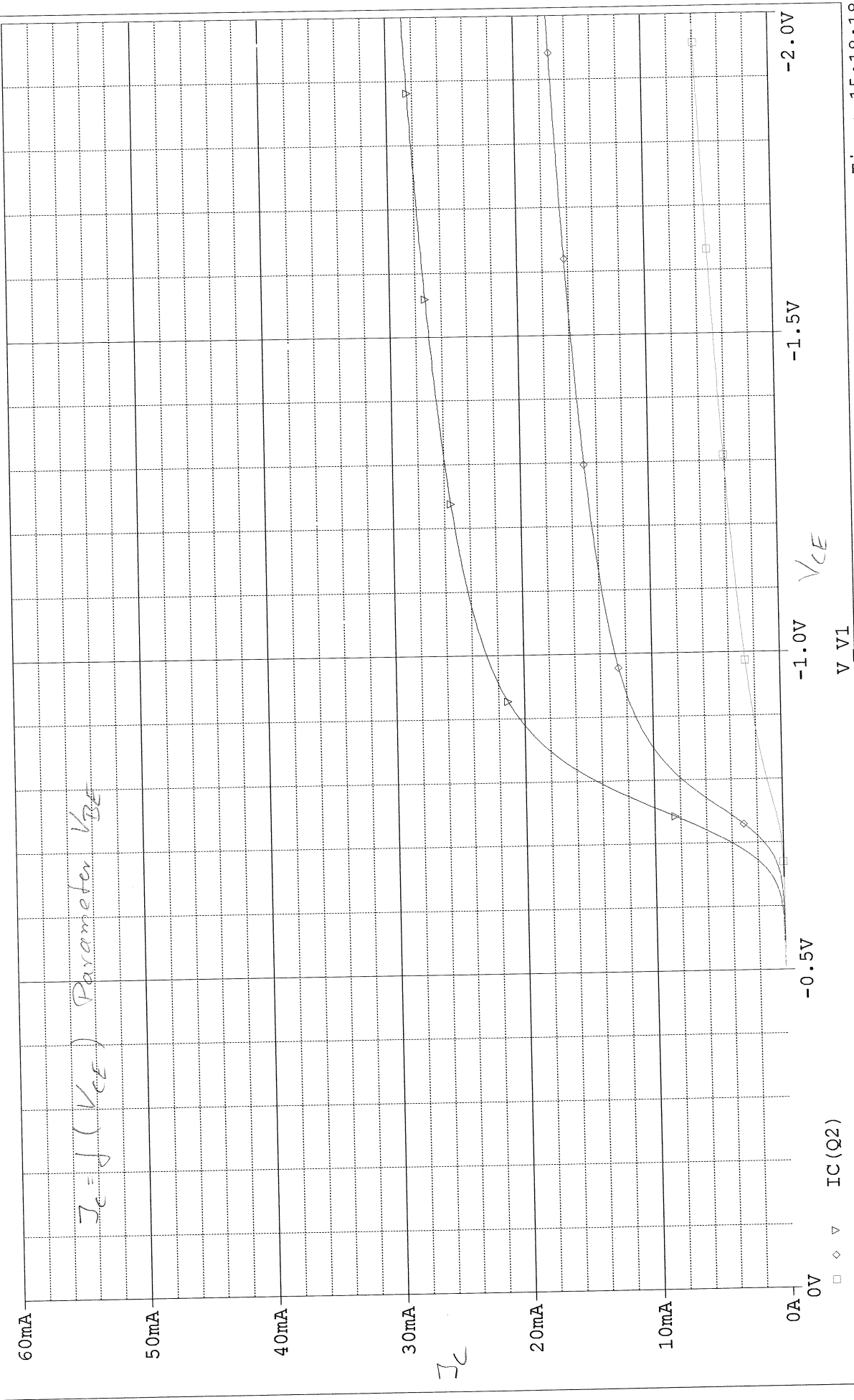
(A) versuch4\_1-SCHEMATIC1-v4\_1 (active)



\*\* Profile: "SCHEMATIC1-v4\_1" [ O:\BAUELEMENTE\versuch4\versuch4\_1-SCHEMATIC1-v4\_1.sim ]  
 Temperature: 27.0

Date/Time run: 05/12/04 15:16:31

(A) versuch4\_1-SCHEMATIC1-v4\_1 (active)



Time: 15:18:18

Page 1

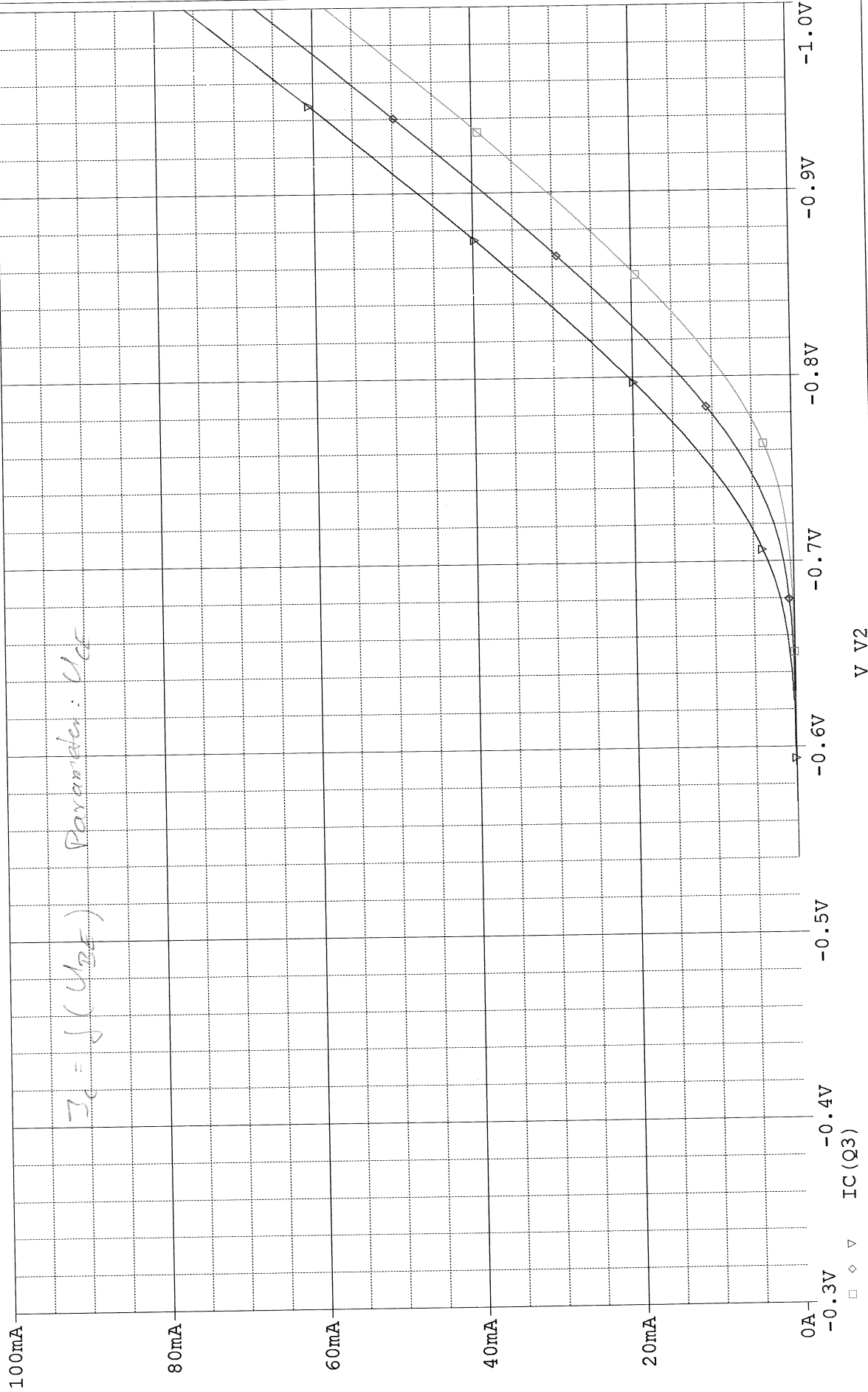
A 11-3

Date: May 12, 2004

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-v4\_1" [ O:\BAUELEMENTE\versuch4\versuch4\_1-SCHEMATIC1-v4\_1.sim ]  
Temperature: 27.0

Date/Time run: 05/12/04 16:14:01

(A) versuch4\_1-SCHEMATIC1-v4\_1 (active)

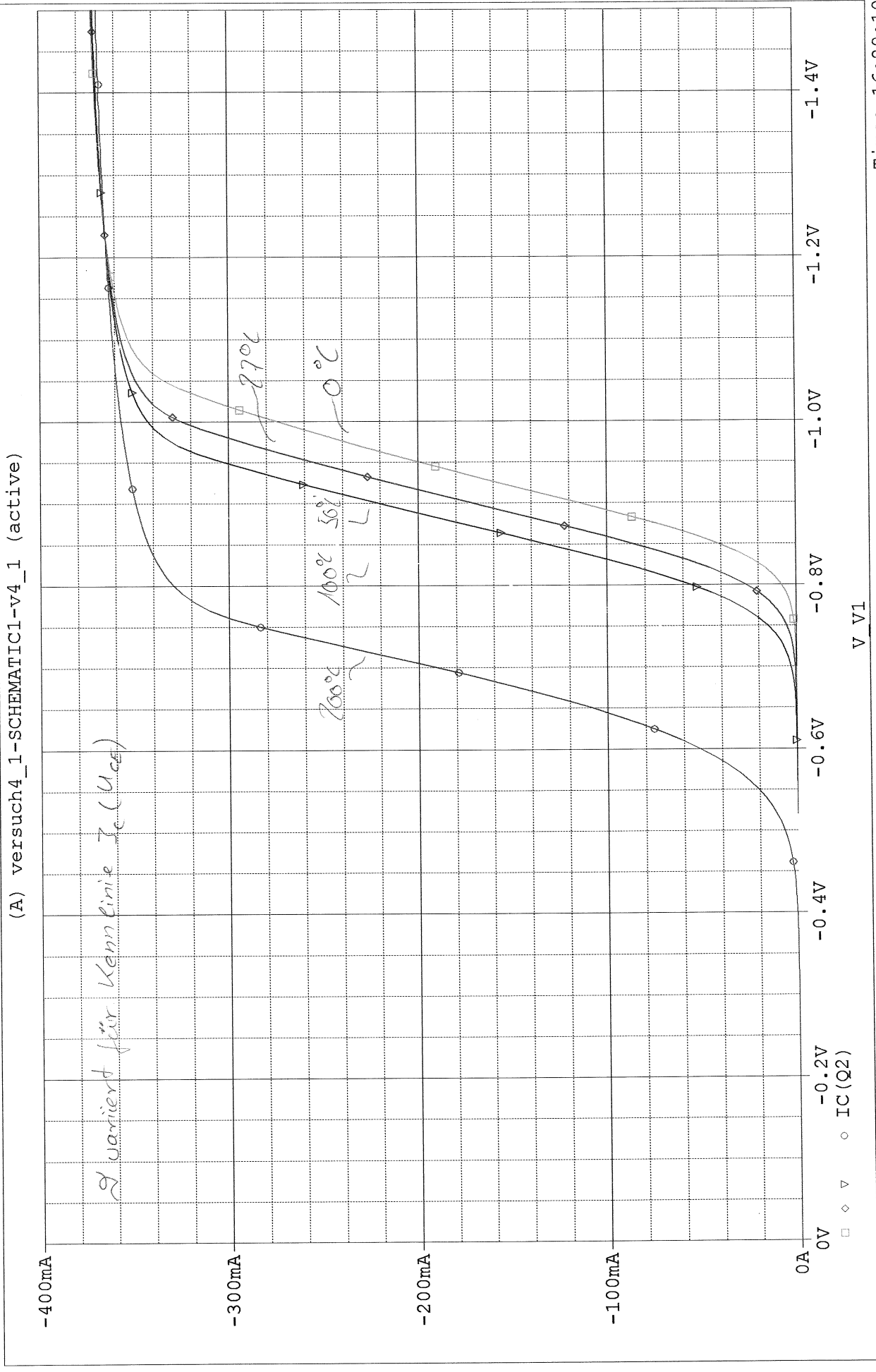


Time: 16:16:00

A 11-4

1201

\*\* Profile: "SCHEMATIC1-v4\_1" [ O:\BAUELEMENTE\versuch4\versuch4\_1-SCHMATIC1-v4\_1.sim ]  
 Date/Time run: 05/12/04 16:24:51  
 Temperature: 0.0, 27.0, 50.0, 100.0, 200.0



A 11-5