# Praktikumsprotokoll

# Versuch Nr. 307
# Der Transistor

**Frank Hommes**
und
**Kilian Klug**

**Durchgeführt am:**
**11 November 2003**

# Inhaltsverzeichnis

**1 Einleitung** **3**

**2 Theoretische Grundlagen** **3**

**3 Physikalische Gesetze** **5**
3.1 Fehlerformeln . . . . . 5

**4 Durchführung und Auswertung** **5**
4.1 Eingangskennlinien . . . . . 5
4.2 Ausgangskennlinien . . . . . 8
4.3 Stromverstärkungskennlinie . . . . . 9
4.4 Arbeitspunkt . . . . . 10

**5 Stromverstärkung** **10**

**6 Spannungsverstärkung** **11**

# 1 Einleitung

In diesem Experiment - ”Der Transistor” - sollen mittels unterschiedlicher Schaltungen verschiedene Eigenschaften eines Transistors gemessen werden. Als Ergebnisse werden wir sogenannte Kennlinien erhalten, sowie einige Größen berechnen und qualitative Aussagen treffen. Unter Kennlinien versteht man Abhängigkeiten zweier am Transistor auftretender Parameter - die übrigen werden konstant gehalten.

# 2 Theoretische Grundlagen

Transisitoren, um die es in diesem Experiment im Wesentlichen geht, bestehen aus Halbleitermaterialien.

Halbleiter sind was ihre elektrische Leitfähigkeit betrifft zwischen Leitern und Nichtleitern angesiedelt. Bei Halbleitern treten verschiedene Formen von Leitung auf, die sich durch eine nähere Betrachtung ihrer Elektronenkonfiguration erklären lassen. Die Elektronen verteilen sich auf verschiedene Energieniveaus, die man als ”Bänder” bezeichnet. Diese Bänder sind durch sogenannte verbotene Zonen voneinander getrennt - das sind Energiebereiche die von den Elektronen nicht besetzt werden. Diese Zonen sind im Vergleich zu Nichtleitern relativ schmal.

Für die Eigenschaften eines Stoffes von Bedeutung sind dabei nur die beiden äußeren - das Leitfähigkeitsband ganz außen, sowie das Valenzband eine Stufe darunter. Halbleiter zeichnen sich dadurch aus, dass ihr Valenzband voll besetzt ist, das Leitfähigkeitsband jedoch praktisch gar nicht.

Die erste Form von elektrische Leitung bei Halbleitern ist die sogenannte Eigenleitung. Diese tritt auf wenn die Temperatur des Halbleiters sich erhöht - oft reicht normale Raumtemperatur aus. Durch die thermische Anregung können Elektronen aus dem Valenzband die verbotene Zone überspringen und auf das Leitfähigkeitsband gelangen. Durch dieses Überspringen entstehen freie Ladungsträger - zum einen die Elektronen im Leitfähigkeitsband, zum anderen die ”Löcher” die sie im Valenzband hinterlassen haben, die sich wie positive Ladungsträger verhalten. Die zweite Form elektrischer Leitung bei Halbleitern ist die sogenannte Störstellenleitung. Diese wird durch das Einbringen von Fremdatomen in das Halbleitermaterial (”dotieren”) erreicht. Hierbei unterscheidet man zwischen Elektronenleitung (n-Leitung) und Löcherleitung ( p-Leitung ). N-Leitung wird durch das Anreichern mit Atomen ermöglicht die mehr Valenzelektronen haben als die Halbleiteratome, sodass die Überschüssigen nur sehr lose gebunden sind und als praktisch freie Ladungsträger zur Verfügung stehen. Dabei liegt das Energieniveau dieser nur lose gebundenen Elektronen knapp unter dem des Leitfähigkeitsbandes im Halbleiter, was ein leichtes Wechseln dorthin ermöglicht. Den für

diese Form der Leitung jeweils verwendeten Stoff bezeichnet man als Donator.

Für die p-Leitung werden Acceptoratome in den Halbleiter eingebracht - das sind Atome, die weniger Valenzelektronen besitzen und so Elektronen aus dem Valenzband des Halbleiters aufnehmen. Da das Energieniveau dieser Accpetoren knapp über dem des Halbleiter-Valenzbandes liegt, ist ein Wechsel für die Elektronen leicht möglich; so entstehen Löcher im Valenzband des Halbleiters die als Ladungsträger fungieren.

Kombiniert man zwei dotierte Halbleiter so, dass eine pn-Grenzschicht entsteht erhält man ein technisches Bauteil welches als Gleichrichter für Wechselstrom dient und oft als Halbleiterdiode bezeichnet wird.

An einer pn-Grenzschicht herrscht anfangs auf der n-Seite ein Elektronenüberschuss, auf der p-Seite ein Elektronenmangel. Einige der freien Elektronen werden in die p-Schicht wandern und dort mit den Löchern rekombinieren, so dass ein elektrisch neuraler Bereich ensteht. Auf beiden Seiten dieser Sperrschicht sind nun Raumladungen vorhanden die ein eelektrischen Feld aufbauen, dass weiterer Rekombination durch Diffusion einzelner Elektronen entgegenwirkt. Wird nun eine externe Spannung angelegt wird - abhängig von der Polung - der neutrale Bereich schmaler, so dass ein Strom fließen kann oder breiter, so dass der Sperreffekt noch verstärkt wird. Auf diese Weise wird nur eine ”Phase” eines Wechselstromes weitergeleitet und man erhält Gleichstrom.

Um einen Transistor zu erhalten - der auch als Halbleitertriode bezeichnet wird - kombiniert man zwei der oben berschriebenen pn-Grenzschichten, so dass man entweder die Anordnung ”pnp” oder ”npn” erhält. Diese beiden verschiedenen Anordnungen unterscheiden sich nur durch unterschiedliche Vorzeichen der auftretenden Spannungen, weshalb im Folgenden nur der pnp-Fall betrachtet wird. In jedem fall is der erste als Emitter bezeichnete p-Leiter stark dotiert, während der in der Mitte liegende n-Leiter (”Basis”) nur schwach dotiert wird und zudem wesentlich dünner ist. Den zweite p-Leiter nennt man Kollektor.

In der Üblichen Schaltung liegt an Emitter und Basis eine Spannung $U_{BE}$ an. Durch diese werden Löcher aus dem Emitter über die pn-schicht in die Basis getrieben - es ensteht ein Basisstrom $I_B$. Aufgrund der geringen Dotierung rekombinieren dort jedoch nur Wenige. Weiterhin liegt eine Spannung zwischen Emitter und Kollektor an - $U_{CE}$. Diese beschleunigt die aus dem Emitter gewanderten Löcher in Richtung Kollektor, so dass einKollektorstrom $I_C$ auftritt.

Mit verschiedenen Größen der einzelnen Spannungen und Ströme sowie zusätzlichen Elementen - etwa einem Widerstand - kann man den Transistor als Strom- oder Spannungsverstärker nutzen.

# 3 Physikalische Gesetze

Für den Basis-Emitter-Widerstand:

$$r_{BE} = (\frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B})_{U_{CE}} \tag{1}$$

Approximation der Eingangskennlinie:

$$I(U) = I_0(e^{\frac{e_0 U}{kT}} - 1) \tag{2}$$

Kollektor-Emitter Widerstand:

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \tag{3}$$

Stromverstärkung:

$$\beta = \left(\frac{\partial I_C}{\partial I_B}\right)_{U_{CE}} \tag{4}$$

## 3.1 Fehlerformeln

$$\sigma_r{}^2 = r \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma U}{\Delta U}\right)^2 + \left(\frac{\sigma I}{\Delta I}\right)^2} \tag{5}$$

$$\sigma^2_{V,rel} = \sigma^2_{\beta,rel} + \sigma^2_{r_{BE},rel} \tag{6}$$

# 4 Durchführung und Auswertung

Während des gesamten Experimentes wird ein Transistor vom Typ ”AC 135” verwendet.
Im Folgenden wird mit $U_{CE}$ die Spannung zwischen Kollektor und Emitter, mit $U_{BE}$ die Spannung zwischen Basis und Emitter bezeichnet. $I_B$ ist der Basisstrom, $I_C$ ist der Kollektorstrom.

## 4.1 Eingangskennlinien

Hier sollen Eingangskennlinien des Transistors aufgenommen werden. Wir wählen für $U_{CE}$ einmal 0 Volt und einmal 5 V.

Der Versuchsaufbau ist im Wesentlichen bereits durch eine Schalttafel gegeben, es werden zusätzlich nur ein Netzgerät sowie ein xy-Schreiber für die Aufzeichnung angeschlossen. Den kompletten Aufbau kann man Abb. 1 entnehmen.

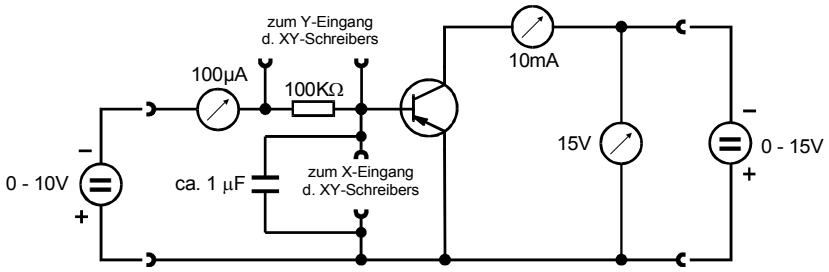



Abbildung 1: Aufbau des Versuchs für Eingangskennlinien

Bevor die eigentliche Aufzeichnung beginnen kann muss zunächst die Apparatur und insbesondere der xy-Schreiber kalibriert werden. Dazu werden an die Eingänge für die beiden Achsen jeweils definierte Spannungen angelegt und die entsprechende Position des Schreibers markiert; dies geschieht für jede Achse separat. Dieser Vorgang wird auch bei den folgenden Aufgaben für die anderen Schaltungen auf analoge Weise wiederholt. Der Basisstrom $I_B$ wird bei dieser Schaltung nicht direkt gemessen, sondern über den Spannungsabfall, den er am $100k\Omega$-Widerstand hervorruft.
Für die Skalenmarkierungen gilt:

- x-Achse: 4,96 cm = 50($\pm$4,55)mV [ $\sigma = 0,439$ ]
- y-Achse: ca. $1,8cm = 10(\pm 0,56)\mu A$

Der Fehler bei der Skalierung der x-Achse rührt von dem auftretenden Problem, dass die Abstände der einzelnen Markierungen nicht immer gleich sind. Nachmessen ergab folgende Werte:

| $\Delta x$ | $(\Delta x - \bar{x})^2$ |
|---|---|
| 4,3 | 0,436 |
| 5,3 | 0,116 |
| 4,8 | 0,026 |
| 5,4 | 0,194 |
| 5 | 0,002 |

Ein solcher Effekt ist bei der Skalierung der y-Achse nicht zu beobachten, weshalb hier pauschal ein Ablesefehler von 1mm $\hat{=} 0,55\mu A$ angenommen wird.

Um die Kennlinie zu erhalten wird zunächst $U_{CE}$ auf den entsprechenden Wert geregelt, dann wird $U_{BE}$ variiert; das vom xy-Schreiber gelieferte Ergebniss findet sich im Anhang.

Aus der gewonnenen Kennlinie soll nun für $I_B = 30\mu A$ und $U_{CE} = 5V$ der Widerstand $r_{BE}$ bestimmt werden. Er stellt die Steigung der Tangenten im Punkt $I_B = 30\mu A$ dar. Diese wird durch einzeichnen der Tangenten und Ablesen zweier Werte bestimmt, wobei natürlich wieder die oben erwähnten Ungenauigkeiten der x-Achsen-Skala einfließen, so dass sich folgendes ergibt:

- Änderung auf der x-Achse: $\Delta U_{BE} = 50,00mV$
- Änderung auf der y-Achse: $\Delta I_B = 53,89\mu A$

Für den Fehler benutzen wir Formel (2), wobei $\sigma U = \sigma U_{BE} = 4,43$ und $\sigma I = \sigma I_B = 0,56$ sind.

Der gesuchte Widerstandist $r_{BE} = 927,82\Omega(\pm 82,58\Omega)$.

Als nächstes soll untersucht werden, ob die erhaltenen Eingangskennlinien durch folgende Funktion approximiert werden können:

$$I(U) = I_0(e^{\frac{e_0 U}{kT}} - 1) \tag{7}$$

Dazu werden einige Wertepaare der Kennlinie für $U_{CE} = 5V$ genommen und in einem halblogarithmischen Diagramm ( Abb. 5) aufgetragen:

| $U_{BE}$ [mV] | $I_B[\mu A]$ | $ln(I_B)$ |
|---|---|---|
| $62,5 \pm 4,55$ | $0,83 \pm 0,56$ | $-0,19 \pm 0,13$ |
| $75,0 \pm 4,55$ | $4,17 \pm 0,56$ | $1,42 \pm 0,19$ |
| $87,5 \pm 4,55$ | $9,44 \pm 0,56$ | $2,24 \pm 0,13$ |
| $100,0 \pm 4,55$ | $17,22 \pm 0,56$ | $2,85 \pm 0,09$ |
| $112,5 \pm 4,55$ | $26,67 \pm 0,56$ | ´$3,28 \pm 0,07$ |
| $125,0 \pm 4,55$ | $41,94 \pm 0,56$ | $3,74 \pm 0,05$ |
| $137,5 \pm 4,55$ | $55,28 \pm 0,56$ | $4,01 \pm 0,04$ |
| $150,0 \pm 4,55$ | $85,56 \pm 0,56$ | $4,45 \pm 0,03$ |

Da das erste Messwertepaar nur schlecht abzulesen war und man aus dem Graphen erkennen kann, dass es eine große Abweichung zeigt, haben wir es für die berechnung der Regressionsgeraden nicht berücksichtigt!

Die Steigung der mittels linearer Regression ermittelten Ausgleichsgraden stellt den gesuchten Exponenten $\frac{e_0}{\alpha kT}$ dar. Mit der vorgegebenen Temperatur von T = 300K und einer Steigung von $m = 25,20(\pm 1,86)V^{-1}$ lässt sich die gesuchte Größe $\alpha$ leicht berechnen:

$$\alpha = \frac{e_0}{mkT} \tag{8}$$
$$\alpha = 1,55(\pm 0,11)$$

## 4.2 Ausgangskennlinien

Um die Ausgangskennlinien aufzuzeichnen wird im ähnlich wie oben verfahren. Es wird diesmal eine Schaltung gemäß Abb. 2 benutzt.

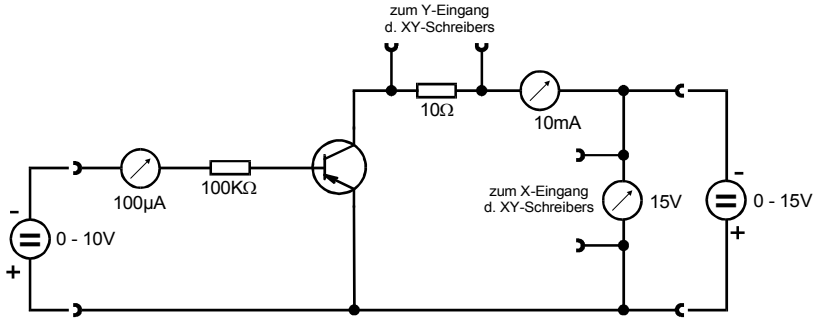



Abbildung 2: Aufbau des Versuchs für Ausgangskennlinien

Die Ausgangskennlinien sind im Anhang beigefügt.
In diesem Fall wird der Kollectorstrom $I_C$ indirekt gemssen, über den Spannungsabfall der am 10Ω-Widerstand auftritt. Zunächst erfolgt auch hier die Kalibierung und Skalierung der Achsen.
Hier gilt:

- x-Achse: $2cm = 1(\pm 0,05)$V
- y-Achse: $3cm = 1(\pm 0,03)$mA

Hier wurde aufgrund der recht guten Skala ein Ablesefehler von 1 mm angenommen.
Aus der aufgenommenen Kennlinie soll nun der Kollektor-Emitter-Widerstand $r_{CE}$ bestimmt werden, was ebenfalls analog zur Bestimmung von $r_{BE}$ abläuft. Allerdings kann man die Ausgangskennlinien ab einem bestimmten Wert in guter Näherung als linear betrachten, weshalb für den zu bestimmenden Widerstand folgende Beziehung gilt:

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \tag{9}$$

Abgelesen wurden für die Bestimmung der Tangentensteigung bei $U_{CE} = 5V$ und $I_B = 30\mu A$:
Änderung auf der x-Achse: $\Delta U_{CE} = 3Volt$
Änderung auf der y-Achse: $\Delta I_C = 0,21mA$
Die Fehler wurden laut Gleichung (2) berechnet.
Damit ist $r_{CE} = 14,285 \cdot 10^3 (\pm 2054)\Omega$

## 4.3 Stromverstärkungskennlinie

Um eine Stromverstärkungskennlinie aufzunehmen wurde eine Schaltung gemäß Abb. 3 verwendet.

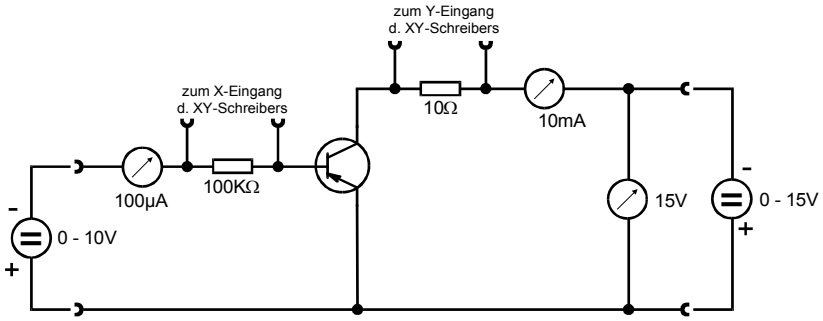



Abbildung 3: Aufbau des Versuchs für Stromverstärkungskennlinie

Es wurde $I_C$ gegen $I_B$ aufgetragen, wobei beide Ströme über die Spannungsabfälle an den jeweiligen Widerständen gemessen wurden. Für die Skalierung gilt:

- x-Achse: $3,8cm = 10,0(\pm 0,3)\mu A$
- y-Achse: $3,0cm = 1,00(\pm 0,03)mA$

Die Fehler wurden wieder bei einer erneut angenommenen Ungenauigkeit von ca. 1mm berechnet.
Aufgabe war es die Stromverstärkung $\beta$ zu berechnen:

$$\beta = \left( \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right)_{U_{CE}} \tag{10}$$

Mit der Tangentenmethode ergeben sich folgende Werte bei $I_B = 30\mu A$:

- Änderung auf der x-Achse: $\Delta I_B = 20(\pm 0,26)\mu A$

- Änderung auf der y-Achse: $\Delta I_C = 1,47(\pm 0,03)mA$

Aus diesen Werten berechnen wir unter Berücksichtigung des Fehlers, welcher aus (5) berechnet wird ( diesmal mit zwei Strömen ), die Stromverstärkung zu $\beta = 73,5 \pm 1,8$.

### 4.4 Arbeitspunkt

Hier soll qualitativ der Einfluss des Arbeitspunktes auf die funktion eines Transistorverstärkers untersucht werden. Dazu wird mittels der Schaltung gemäß Abb.4 zunächst ein Sinussignal mit einer Frequenz von 300 Hz eingestellt. Dann wird $I_B$ kontinuierlich von anfangs $50\mu A$ auf 0A abgesenkt. Auf dem Oszillographen kann man eine deutlich Veränderung der Singnalform beobachten. Die unteren Halbbögen der Sinuskurve werden abgeschitten und durch höherfrequente Schwingungen ersetzt. Gleichzeitig nähern sich die Minima von unten an die Mittelachse an. Man erhält ein immernoch periodisches aber nicht mehr sinusförmiges Signal. Der Ton wird heller und klingt weniger ”langweilig”. Eine Erklärung ist, dass durch die geänderte Frequenz zusätzliche Oberschwingungen mit in das Signal kommen. Diese sind von höherer Frequenz als der ”sinusförmige” Grundton, weshalb der hörbare Ton insgesamt heller klingt, während die Siganlform komplexer wird.

## 5 Stromverstärkung

Der Frequenzgang der Stromverstärkung des verwendeten Transistors soll nun im Bereich zwischen 1 und 1000kHz aufgenommen werden. Allerdings musste wegen einer technischen Störung, bzw. einer Störung im Stromnetz diese Messung bereits bei einer Frequenz von 100kHz abgebrochen werden.
Eine später durchgeführte Nachmessung erstreckte sich über den Bereich von 1 kHz bis 200 kHz. Im Folgenden wird nur mit den aus dieser Messung gewonnenen Daten gerechnet (siehe Anhang, Tabelle ”Nachmessung”). Es eine Schaltung nachAbb. 4 verwendet.

Mit diesem Aufbau wurde dann die Generatorfrequenz variiert und der dazugehörige Spannungsabfall als Maß für den Kollektorstrom aufgenommen (die Messdreihe befindet sich im Anhang). Der weiterhin für die Berechnung von $\tilde{I}_B$ benötigte Gesamtwiderstand des Basis-Emitter-Kreises wird mit $100k\Omega$ angenähert. Für die Stromverstärkung gilt insgesamt:

$$\beta = \frac{\tilde{I}_C}{\tilde{I}_B}$$

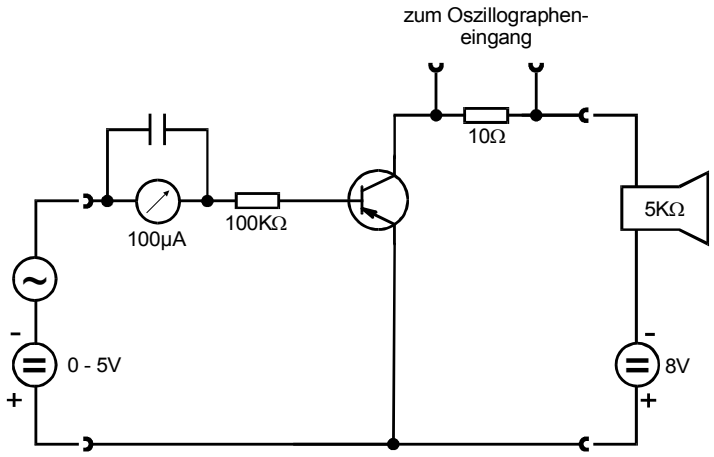



Abbildung 4: Aufbau des Versuchs für Stromverstärkung

mit $\tilde{I}_C = \frac{\tilde{U}_{CE}}{r_{CE}}$ und $\tilde{I}_B = \frac{\tilde{U}_{BE}}{r_{BE}}$.

Die ersten Werte für unser errechnetes $\beta$ schwanken recht stark, so dass wir als $\beta_0$ den Mittelwert von 70,02 ( $\pm 2,84$ ) nehmen. Mit $\beta_{f_g} = \beta_0 * \frac{1}{\sqrt{2}} = 49,50(\pm 2,01)$ lesen wir aus Abb. 6 $f_g = 43$ ab.

Wie stellen

$$f_g = \frac{1}{2\pi r_{BE} C_{BE}} \tag{11}$$

nach $C_{BE}$ um und erhalten:

$$C_{BE} = 37,01(\pm XXX)pF \tag{12}$$

# 6 Spannungsverstärkung

Für die Ermittlung der Spannugsverstärkung wird an der zuletzt benutzten Schaltung (siehe Abb.5) nur ein kleiner Umbau vorgenommen; der 10Ω Widerstand wird lediglich durch einen neuen Widerstand $R_C = 1k\Omega$ ersetzt.
Mit einer separaten Messung wird kurz die Signalqualität des Generators überprüft, was eine gleichmäßige Frequenz von 1kHz bestätigt.
Die theoretische Formel für die Spannungsverstärkung ist:

$$V = \beta \cdot \frac{R_C}{r_{BE}} \tag{13}$$

Damit erhalten wir $V = 79,22(\pm 7,31)$ ( Fehler nach (6) berechnet ).

Der gemessene Wert entspricht dem Quotienten aus dem Spannungsabfall am $1k\Omega$-Widerstand und der Basis-Emitter-Spannung $U_{BE,eff}$. Damit ist

$$V = \frac{0,6V}{10mV} = 60$$

.

Die Diskrepanz zwischen berechnetem und gemessenen Wert ergibt sich aus der, bei der theoretischen Formel verwendeten Näherung.

Tabelle 1: Tabelle zur Stromverstärkung

| Generator-frequenz | $U_{BE}$ | Spannungsabfall am 10 Ohm [mV] | $I_C$ | $I_B$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 6,6 | 6,6E-4 | 1E-5 | 66 |
| 1,2 | 0,9 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | 9E-6 | 73,33333 |
| 1,4 | 0,9 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 73,33333 |
| 1,6 | 0,95 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 69,47368 |
| 1,8 | 0,95 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 69,47368 |
| 2 | 0,9 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 73,33333 |
| 2,4 | 1 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | 1E-5 | 66 |
| 2,8 | 0,95 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 69,47368 |
| 3,2 | 0,9 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 73,33333 |
| 3,6 | 0,95 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 69,47368 |
| 4 | 1 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $1\cdot10^{-5}$ | 66 |
| 4,4 | 1 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $1\cdot10^{-5}$ | 66 |
| 4,8 | 0,95 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 69,47368 |
| 5,2 | 0,9 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 73,33333 |
| 5,6 | 1 | 6,6 | $6{,}6\cdot10^{-4}$ | $1\cdot10^{-5}$ | 66 |
| 6 | 0,95 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 68,42105 |
| 6,4 | 0,95 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 68,42105 |
| 6,8 | 0,9 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 72,22222 |
| 7,2 | 1 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $1\cdot10^{-5}$ | 65 |
| 7,6 | 0,9 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 72,22222 |
| 8 | 0,9 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 72,22222 |
| 8,4 | 0,9 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 72,22222 |
| 8,6 | 0,95 | 6,5 | $6{,}5\cdot10^{-4}$ | $9{,}5\cdot10^{-6}$ | 68,42105 |
| 9 | 0,9 | 6,4 | $6{,}4\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 71,11111 |
| 9,4 | 0,9 | 6,4 | $6{,}4\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 71,11111 |
| 9,8 | 0,9 | 6,4 | $6{,}4\cdot10^{-4}$ | $9\cdot10^{-6}$ | 71,11111 |
| 10,2 | 0,85 | 6,3 | $6{,}3\cdot10^{-4}$ | $8{,}5\cdot10^{-6}$ | 74,11765 |
| 15 | 0,8 | 5,9 | $5{,}9\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 73,75 |
| 20 | 0,8 | 5,6 | $5{,}6\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 70 |
| 22 | 0,8 | 5,4 | $5{,}4\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 67,5 |
| 24 | 0,8 | 5,25 | $5{,}25\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 65,625 |
| 26 | 0,8 | 5,1 | $5{,}1\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 63,75 |
| 28 | 0,8 | 4,9 | $4{,}9\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 61,25 |
| 30 | 0,8 | 4,8 | $4{,}8\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 60 |
| 32 | 0,8 | 4,7 | $4{,}7\cdot10^{-4}$ | $8\cdot10^{-6}$ | 58,75 |
| Fortsetzung folgt ... | | | | | |

| Generator-frequenz | $U_{BE}$ | Spannungsabfall am 10 Ohm [mV] | $I_C$ | $I_B$ | $\beta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 34 | 0,75 | 4,55 | $4{,}55 \cdot 10^{-4}$ | $7{,}5 \cdot 10^{-6}$ | 60,66667 |
| 36 | 0,8 | 4,45 | $4{,}45 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | 55,625 |
| 38 | 0,75 | 4,3 | $4{,}3 \cdot 10^{-4}$ | $7{,}5 \cdot 10^{-6}$ | 57,33333 |
| 40 | 0,8 | 4,15 | $4{,}15 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | 51,875 |
| 45 | 0,8 | 3,85 | $3{,}85 \cdot 10^{-4}$ | $8 \cdot 10^{-6}$ | 48,125 |
| 60 | 0,9 | 3,2 | $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ | $9 \cdot 10^{-6}$ | 35,55556 |
| 75 | 0,7 | 2,7 | $2{,}7 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | 38,57143 |
| 90 | 0,7 | 2,25 | $2{,}25 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | 32,14286 |
| 105 | 0,65 | 1,85 | $1{,}85 \cdot 10^{-4}$ | $6{,}5 \cdot 10^{-6}$ | 28,46154 |
| 120 | 0,7 | 1,65 | $1{,}65 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | 23,57143 |
| 150 | 0,7 | 1,4 | $1{,}4 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | 20 |
| 200 | 0,7 | 1,15 | $1{,}15 \cdot 10^{-4}$ | $7 \cdot 10^{-6}$ | 16,42857 |

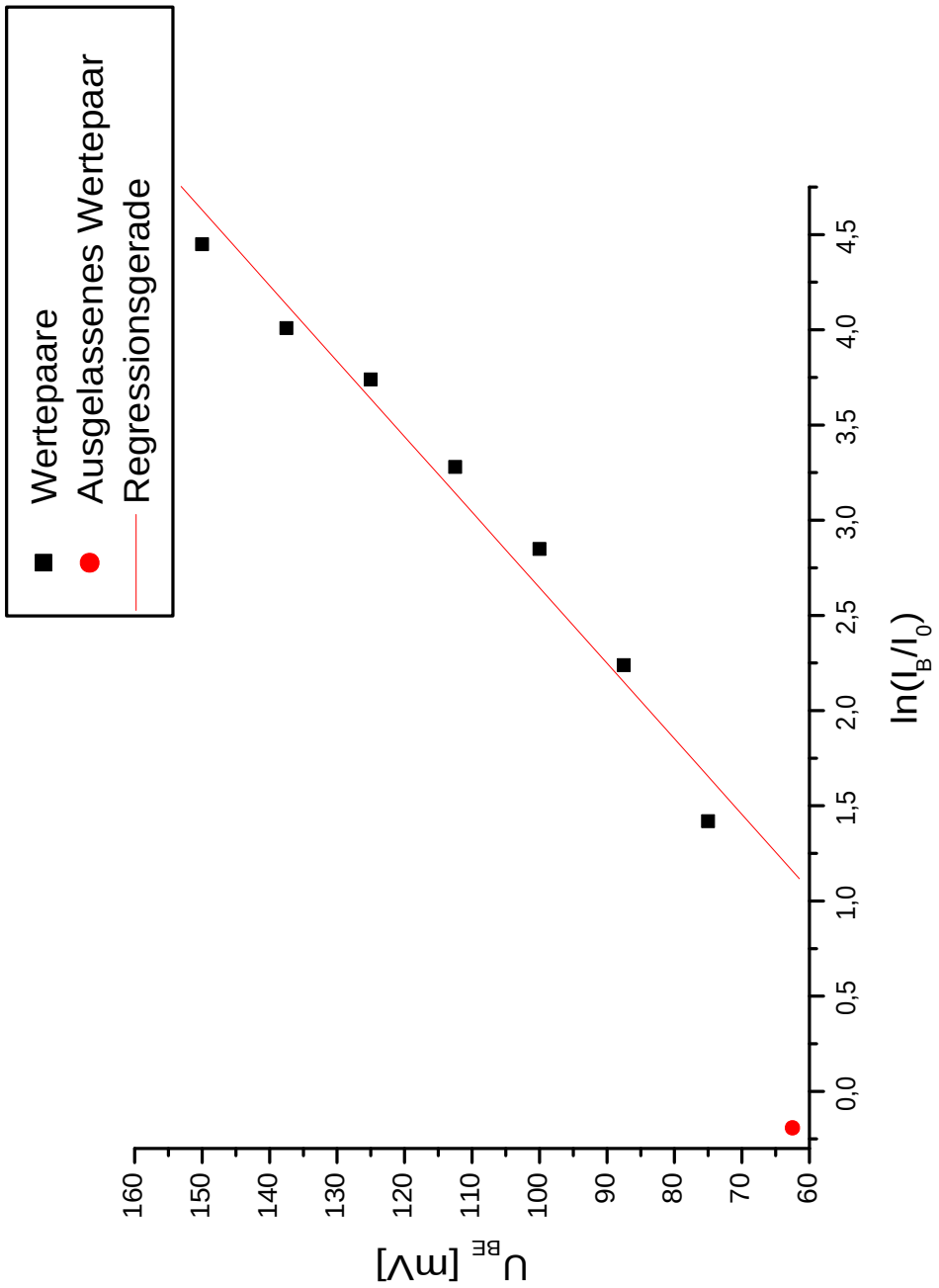



Abbildung 5: Einseitig Logarithmisches Diagramm

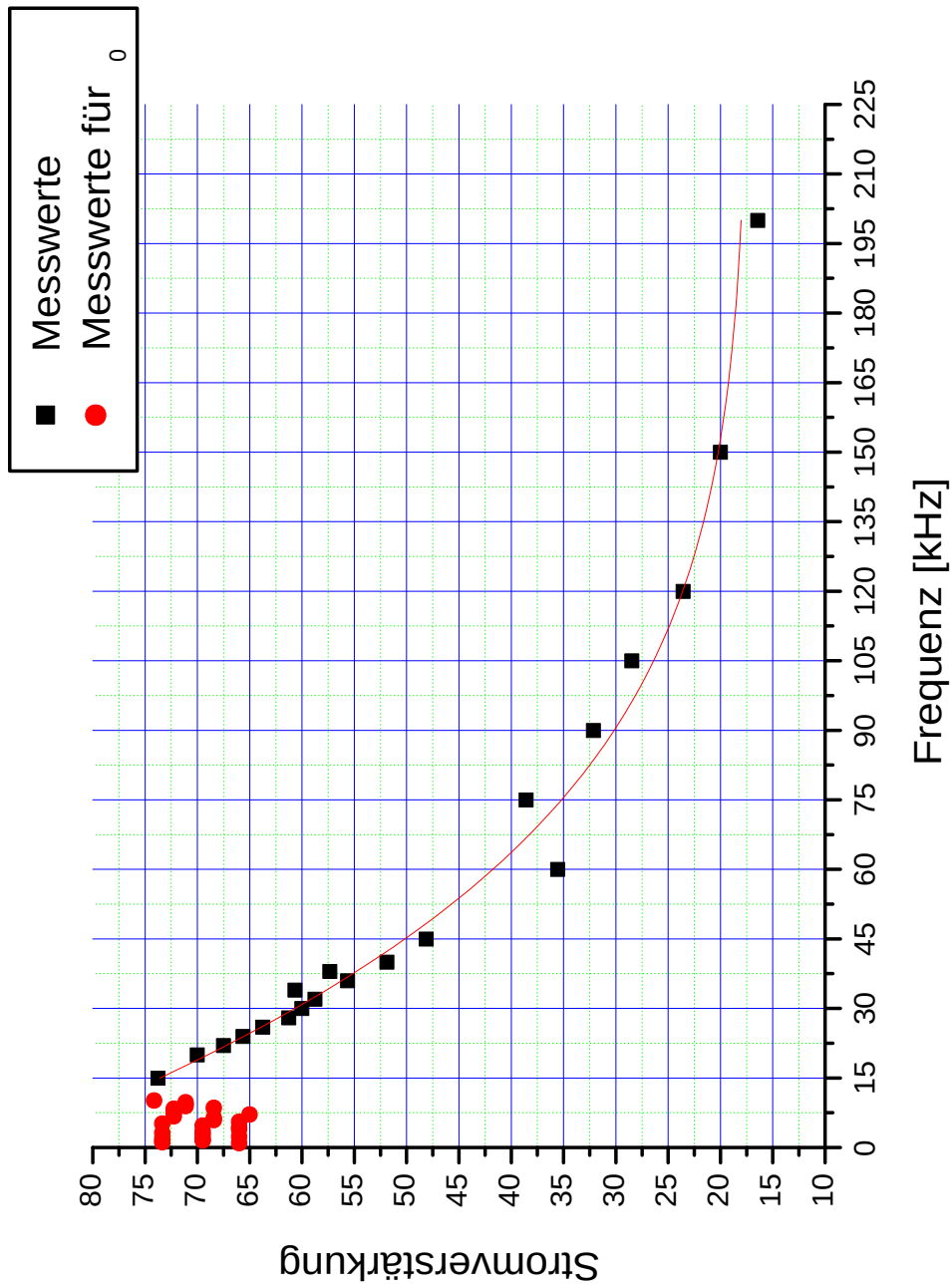



Abbildung 6: Stromverstärkung