

## Protokoll

# Datenerfassung mit LabVIEW

Cassian Plorin\*            Hannes Pahl†

Hamburg, den 20. März 2014

\*[cplorin@physnet.uni-hamburg.de](mailto:cplorin@physnet.uni-hamburg.de)

†[hpahl@physnet.uni-hamburg.de](mailto:hpahl@physnet.uni-hamburg.de)



## **Inhaltsverzeichnis**

# 1 Grundlagen

## 1.1 LabVIEW

LabVIEW ist eine Programmierumgebung, in der mit einfachen Mitteln Messabläufe im Computer nachgebildet, reguliert und automatisiert werden können. Insbesondere für gleichbleibende oder ähnliche Messprozesse bietet LabVIEW oft eine flexible und günstigere Alternative zu tatsächlichen Messinstrumenten.

Die Grundidee von LabVIEW ist die Modellierung realer Messinstrumente durch sogenannte Virtual Instruments, kurz VIs. Von einer einfachen Temperaturmessung bis hin zu komplexen Steuerungssystemen für Roboter lässt sich Vieles in LabVIEW realisieren; vorausgesetzt, die nötige Hardware in Form von unterstützten Ein- und Ausgabegeräten sind vorhanden. Eher witzlos sind hingegen autarke Programme, die beispielsweise aus Benutzereingaben ohne äußere Messungen Rechnungen anstellen; LabVIEW lebt von der Vernetzung mehrerer Bauteile und deren Kommunikation untereinander.

Zur Programmierung selbst steht in LabVIEW die grafische Sprache G zur Verfügung. Grafisch bedeutet in diesem Fall, dass einzelne Icons, die ähnlich wie in objektorientierten Programmiersprachen für bestimmte Methoden oder Prozeduren stehen, auf dem Bildschirm dargestellt sind. Ihre Wechselwirkungen untereinander sind durch Verbindungen zwischen ihren Anschläßen charakterisiert. Diese Verbindungen, in LabVIEW grafisch als Drähte dargestellt, dienen dazu, Werte an andere Programmteile zu übermitteln. Sie können – abermals in Analogie zu objektorientierter Programmierung – als Methodenaufrufe gesehen werden, bei denen der Daten-Inhalt der Drähte als Parameter übergeben wird. Mit diesem Konzept der Drähte geht einer der wesentlichsten Unterschiede zwischen LabVIEW und prozeduralen oder objektorientierten Sprachen einher: Der Kontrollfluss. Während in iterativen oder objektorientierten Sprachen der Kontrollfluss durch die Reihenfolge der Anweisungen beziehungsweise der Methodenaufrufe gewährleistet ist, geschieht in LabVIEW die Ausführung einer Aktion dann, wenn alle Anschlüsse (formale Parameter der Methode) mit tatsächlichen Werten (aktuelle Parameter) belegt sind. Im Falle zweier Aktionen, die simultan alle erforderlichen Daten über Drähte geliefert bekommen, hat dies zur Folge, dass nicht determiniert ist, welche der Aktionen nun zuerst ausgeführt werden soll. Um einem Verlust des Kontrollflusses entgegenzuwirken, bietet LabVIEW die Kontrollstruktur der Sequenz ab, die iterativer Programmierung nachempfunden ist und die Reihenfolge abzuarbeitender Aktionen definiert. Darüber hinaus sind in LabVIEW die typischen Kontrollstrukturen der FOR- und WHILE-Schleife verfügbar. Ein LabVIEW-Programm besteht aus zwei Komponenten. Das Block-Diagramm stellt den eigentlichen Code dar und ist als Programmablaufplan zu interpretieren. Im Block-Diagramm ist die Programmlogik wie oben beschrieben durch die grafischen Verbindungen der verschiedenen Aktionen abgebildet. Die zweite Komponente bildet das Front Panel, welches die Schnittstelle zum Benutzer darstellt. Es handelt sich hierbei um eine einfache grafische Oberfläche zur Ein- und Ausgabe auf dem Bildschirm, die aus standardisierten Einlese- und Anzeige-Elementen besteht.

Der Vorteil der grafischen Programmierung ist offenkundig: Man kann sich sehr leicht ohne große Vorkenntnisse Steuerungsautomatismen mittels „Drag and Drop“ zusammenklicken. Außerdem braucht man für vielfältige Messaufgaben nur wenige Laborgeräte. Ein einfacher Spannungsmesser reicht hardwareseitig aus, um die ganze Funktionalität eines Oszilloskops zu emulieren. Des Weiteren dient LabVIEW als hervorragendes Instrument zur Datenakquisition. Da jedes analoge Signal sowieso zur Verarbeitung in LabVIEW digitalisiert werden muss, kann man die Daten sehr leicht direkt auf dem Computer abspeichern, um sie mit anderen Programmen oder mit LabVIEW selbst weiter zu verarbeiten und zu analysieren. Allerdings hat LabVIEW auch mit Problemen zu kämpfen: Wenn die grafische Programmierung bei einfachen Abläufen sehr übersichtlich und einsteigerfreundlich ist, dann ist sie spätestens bei komplexeren, realitätsnahen Messaufbauten sehr schwer zu durchdringen, wirkt

gar erschlagend. Dem kann allerdings durch Kapselung entgegengewirkt werden, indem man zusammengehörige Programmteile in eine gemeinsame Sub-VI auslagert wird, man also ein neues kleineres Tool erstellt, welches dann ähnlich einer Bibliothek in anderen Projekten als einfaches Symbol mit entsprechenden Anschläßen und Ausgängen genutzt werden kann. Mit der grafischen Programmierung kommt auch der Umstand, dass der Umgang mit verschiedenen Datentypen etwas mühselig ist. Alle Datentypen werden über Drähte übermittelt, sodass Verwechslungsgefahr die Datentypen betreffend besteht. Auch der lesende wie schreibende Zugriff auf Arrays erfordert mehr Aufwand als in den meisten anderen Sprachen, die nativ Direktzugriffe anbieten.

Insgesamt ist LabVIEW ein mächtiges Werkzeug, das – wenn man es denn richtig zu beherrschen weiß – viele Vorteile bietet und Arbeit abnimmt.

## 1.2 Agilent Messbox

Die Messbox U2300A des Herstellers Agilent ist ein multifunktionales USB-Gerät zur Datenakquisition, daher kurz DAQ-Box. LabVIEW stellt in seiner Bibliothek VIs zur Nutzung dieser Messbox zur Verfügung, mit denen Spannungen an einem Steckbrett sowohl angelegt als auch abgelesen und digital weiterverarbeitet werden können. So kann man mit einfachen LabVIEW-Programmen eine Spannung an eine Schaltung anlegen und die Reaktion der Schaltung an diversen Stellen messen; dies eignet sich besonders zur Aufnahme von Kennlinien diverser Bauteile. Darüber hinaus steht ein Messmodus mit kontinuierlicher Datenakquisition zur Verfügung, der sich für die oszilloskopische Beobachtung von Spannungsverläufen anbietet, weil sehr viel höhere Datenaufnahmeraten zur Verfügung stehen.

## 1.3 Arduino

Der Arduino ist eine von LabVIEW unterstützte kleine Platine zur Ein- und Ausgabe von Signalen. Er stammt aus einem quelloffenen Projekt zur Bereitstellung leicht zu bedienender Mikrocontroller, inklusive einer eigenen sehr einfachen Programmiersprache zur Inbetriebnahme von Programmen. National Instruments stellt eine eigene offene Bibliothek zur Verfügung, um den Arduino als DAQ-Box zu verwenden. Diese Bibliothek lässt sich frei erweitern und manipulieren, um den eigenen Zwecken gerecht zu werden. Der Arduino-Mikrocontroller bietet 14 digitale und fünf analoge Kanäle, an denen Spannungen gemessen werden können. Für seine analogen Pins bietet der Arduino einen Messbereich von 0V bis 5V, sodass bei einer Auflösung von 10bit die kleinste messbare Spannungsdifferenz etwa  $\frac{5V}{1024} \approx 0,005V$  ist. Zwar kann er nicht wie die Agilent-Messbox Spannungen an seine analogen Kanäle anlegen, trotzdem bietet er insbesondere mit seinem Modus zur kontinuierlichen Datenakquisition einen adäquaten und deutlich kostengünstigeren Ersatz zur Messbox von Agilent.

## 2 Versuchsbeschreibung

### 2.1 Aufbau und Durchführung

Zunächst wurde ein LabVIEW-Programm erstellt, das mithilfe der Agilent-Messbox Spannungsverläufe messen kann. Mit diesem Tool, das im Folgenden XY-Schreiber genannt wird, kann man eine Spannung an einer Position in einer Schaltung anlegen und Spannungen auf zwei Kanälen gleichzeitig messen, sodass beide Spannungsverläufe gegeneinander in einem Diagramm aufgetragen werden können. Damit wurden die Verstärkungskennlinien von einer invertierenden und einer nicht-invertierenden Verstärkerschaltung gemessen, indem die Eingangsspannung variiert und gegen die gemessene Ausgangsspannung aufgetragen wurden. Recht ähnlich wurde die Kennlinie einer Zener-Diode aufgenommen. Die über einen Widerstand vor der Diode abfallende Spannung wurde gemessen, wobei der interessante Diodenstrom mittels des (zweiten) Ohm'schen Gesetzes bestimmt werden kann. Die Kennlinie wurde für Widerstandswerte von  $R = 100\Omega$ ,  $R = 1k\Omega$  und  $R = 100k\Omega$  aufgenommen. Mittels eines in LabVIEW nachgebauten Oszilloskops konnte der Spannungsabfall in einer einfachen Kondensatorschaltung gemessen werden, in der eine Rechteckspannung zwischen 0V und 10V einen Kondensator auflädt und sich dieser beim Wegfall der Spannung über einen Widerstand entlädt. Die Spannung am Widerstand wurde gemessen, um den Entladungsstrom zu bestimmen. Die charakteristische Zeittdauer für die Kondensatorladung als Produkt aus Kapazität und Widerstand sollte für gute Auswertbarkeit der Messergebnisse etwa eine Größenordnung kleiner sein als die Periodenlänge eines Rechteck-Pulses. Es wurden  $C = 100nF$  und  $R = 1k\Omega$  gewählt.

Zur Vermessung der Kennlinien eines npn-Transistors kam wieder der XY-Schreiber zum Einsatz. Dazu wurde zuerst der Strom durch den Basis-Anschluss des Transistors – berechnet aus der über einen Vorwiderstand abfallenden Spannung – in Abhängigkeit von der zwischen Basis und Emitter angelegten variablen Spannung aufgezeichnet, dies ergibt die Eingangskennlinie des Transistors. Die Stromsteuerkennlinie, die den Zusammenhang zwischen Basisstrom und Kollektorstrom festhält, wurde durch Variation der Spannung zwischen dem Vorwiderstand der Basis und dem auf Masseniveau liegenden Emitter gemessen. Daraus kann bei durchgeschaltetem Transistor der Stromverstärkfaktor errechnet werden.

Als Abschluss wurde der Messaufbau dahingehend verändert, dass die Spannungsmessung mit dem Arduino vonstattnen ging. Dazu musste auch ein auf die Verwendung des Arduino ausgelegte Version des XY-Schreibers in LabVIEW erstellt werden. Die Agilent-Messbox kam weiterhin zum Einsatz, um anzulegende Spannungen steuern zu können. Eine Kennlinie des Arduino musste aufgenommen werden, um eine etwaige Diskrepanz zwischen den von der Messbox eingestellten und vom Arduino gemessenen Spannungswerten zu bestimmen. Mit diesem abgeänderten Aufbau wurde erneut die Kennlinie einer Z-Diode für positive und negative Spannungen gemessen, wobei sich die Messung aus zwei nacheinander erstellten Teilmessungen zusammensetzt, bei denen die Richtung der Diode im Schaltkreis gewechselt wurde, da der Arduino nur positive Spannungswerte messen und verarbeiten kann.

### 2.2 XY-Schreiber

Der XY-Schreiber ist ein LabVIEW-Programm, das die Agilent Messbox zum Messen und Setzen von Spannungen nutzt. Die Kanäle 101 und 102 bieten hierbei lesenden, der Kanal 201 schreibenden Zugriff. Nach der Initialisierung der Messbox wird eine FOR-Schleife durchlaufen, deren Endwert des Iterators durch die Differenz der im Front Panel vom Benutzer eingegebenen Werte für die minimale und die maximale zu setzende Spannung  $U_{min}$  und  $U_{max}$  determiniert ist. Zwischen  $U_{min}$  und  $U_{max}$  werden in  $\Delta U$ -Intervallen Spannungen auf Kanal 201 geschrieben und dann die Spannungen an den Kanälen 101 und 102 eingelesen. Die Werte werden jeweils in ein Array geschrieben, welches mittels

eines XY-Graphen gegeneinander aufgetragen werden. Der Benutzer sieht während der Messung das sich mit Daten füllende Diagramm und kann durch Klicken eines Auswahlbuttons entscheiden, ob die Ergebnisse in einer Excel-Tabelle auf dem Rechner abgespeichert werden sollen. Damit stellt der XY-Schreiber sowohl eine Möglichkeit zur instantanen Beobachtung von Spannungsverläufen als auch ein Tool zur Datenakquisition dar. In einer späteren Variante kommt der Arduino zum Einsatz. Er kann nur zum Einlesen der Spannungen genutzt werden, zum Setzen von Spannungen wird weiterhin Kanal 201 der Agilent Messbox zurückgegriffen. Der Messalgorithmus bleibt an sich unverändert, allerdings wird in jedem Messpunkt zur Signalglättung über mehrere Einzelmessungen gemittelt, indem eine in die äußere FOR-Schleife geschachtelte FOR-Schleife eine entsprechende Anzahl an Spannungswerte in ein Array einträgt und diese mittelt, bevor sie in die darzustellenden und abzuspeichernden Arrays mit den Messdaten eingetragen werden.

### 2.3 Oszilloskop

Das in LabVIEW nachgebaute Oszilloskop ist ähnlich aufgebaut wie der X-Y-Schreiber. Um eine höhere Abtastrate zu gewährleisten, wird die Agilent Messbox jedoch nicht im Einzelmessungs-Modus betrieben, sondern im Modus zur Kontinuierlichen Datenakquisition. Eine WHILE-Schleife, die erst abbricht, sobald der Benutzer einen Button drückt, beinhaltet eine FOR-Schleife, die eine vom Benutzer einzustellende Zahl von Messungen durchführt und diese auf einem Signalverlaufsgraphen darstellt. Dort sind die Spannungsverläufe der Kanäle 101 und 102 über Zahl der Messungen aufgetragen. Mit der Abtastrate kann aus diesen Werten direkt eine Zeitabhängigkeit berechnet werden. Jeder Wert wird in einem Array notiert, sodass der Benutzer wie beim X-Y-Schreiber die Daten in Excel exportieren kann.

Eine wichtige Erweiterung zu dem Oszilloskop, das auch in der bisherigen Variante schon einigermaßen brauchbare Resultate liefert, ist die Trigger-Funktion. Sie dient zur Fixierung des Signals einer periodischen Wechselspannung. Dazu wird zur Reduktion des Rauschens in einem Punkt der Mittelwert aus einigen umliegenden Messwerten bestimmt und mit dem nach gleichem Verfahren berechneten Wert einige Messungen später verglichen. Ist die Differenz beider Werte positiv, steigt die Spannung gerade an. Kommt es zusätzlich noch dazu, dass der erste Wert die vom Benutzer festgelegte Schwellenspannung  $U_{Trigger}$  noch nicht erreicht hat, der zweite ihn aber überschreitet, dann wird ab diesem Moment getriggert, das heißt, dass ab diesem Zeitpunkt die vom Nutzer eingestellte Anzahl an Messpunkten aufgenommen wird und gegebenenfalls abgespeichert werden kann, wobei davor und danach aufgenommene Daten verworfen werden. So wird sichergestellt, dass sich das Signal zu Beginn der Messung immer in der gleichen Phase seiner Oszillation befindet, was den Effekt hat, dass das Bild auf der Signalverlaufsgrafik stabil ist. Um Messdaten im Umfang der geforderten Einstellung zu gewährleisten, muss das Oszilloskop natürlich eine höhere Zahl an Datenpunkten aufnehmen, um die Verluste durch das Triggern am Anfang des Signalverlaufs zu kompensieren.

## 3 Auswertung

### 3.1 Der Kondensator

In diesem Experiment soll das in LabVIEW programmierte Oszilloskop dazu verwendet werden, das Auf- und Entladeverhalten eines Kondensators zu untersuchen. Dazu ist eine einfache Serienschaltung aus Widerstand und Kondensator wie in Abbildung ?? aufgebaut worden<sup>1</sup>.

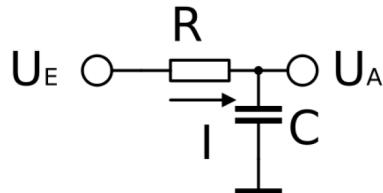


Abbildung 1: Schaltung zum Kondensator

Es ist hinreichend bekannt, dass beim Entladen eines Kondensators über einen Widerstand ein exponentieller Verlauf der Spannung am Kondensator zu erwarten ist.

$$U(t) = U_0 * e^{-t/\tau} = U_0 * e^{-t/RC}$$

Für diese Schaltung wurde ein Kondensator mit  $C = 100nF$  und ein Widerstand mit  $R = 1k\Omega$  gewählt. Für den Widerstand gibt der Hersteller einen Fehler von 1% an<sup>2</sup>, der Fehler der Kondensatorkapazität beträgt 10%. Damit ergibt sich die zu erwartende Abklingzeit:

$$\tau_{Theorie} = R * C = 100nF * 1k\Omega = (0,1 \pm 0,01)ms$$

Mit dem Frequenzgenerator wird zwischen  $U_E$  und Masse eine Rechteckspannung angelegt, um ein ständiges Laden und Entladen des Kondensators zu erzwingen. Um ausreichend Zeit zum Entladen zu gewähren, wird die Frequenz auf etwa 600Hz eingestellt. Mit der Messbox werden die angelegte Spannung und der Spannungsabfall über den Kondensator ( $U_A$ ) aufgenommen und in LabVIEW zeit-abhängig dargestellt. Eine solche Messreihe ist zusätzlich abgespeichert und mit Origin verarbeitet worden.

Abbildung ?? zeigt mehrere Lade- und Entladevorgänge. Der Kondensator versucht dem aufgezwungenen Spannungsverlauf zu folgen, dies erfordert im Moment des Umpolens große Ströme. Mit einem Angleichen der Spannung fällt dann die Stromstärke. Der eigentlich rechteckige Verlauf der Spannungsversorgung zeigt eine Abrundung beim Umschalten. Dies ist ein Indiz dafür, dass der Frequenzgenerator in diesem Moment nicht genug Strom ausgeben konnte, um die Spannung instantan anzuheben.

Abbildung ?? zeigt eine beliebig ausgewählte Entladung inklusive einer exponentiellen Zerfallsfunktion, die an die Spannungskurve gefittet wurde. Aus dem Fit ergibt sich:

$$\tau = (0,125 \pm 0,003)ms$$

Dieser Wert weicht etwas von dem theoretisch erwarteten Bereich ab. Dies spricht dafür, dass entweder die Kenngrößen der Bauteile stärker abweichen als angenommen oder aber, dass die mangelnde Spannungsstabilität des Frequenzgenerators für eine langsamere Entladung verantwortlich ist.

<sup>1</sup>Sofern nicht anders vermerkt entstammen die Abbildungen zu den Schaltungen der Praktikumsmappe

<sup>2</sup>Dies gilt im Übrigen für alle im folgenden verwendeten Widerstände

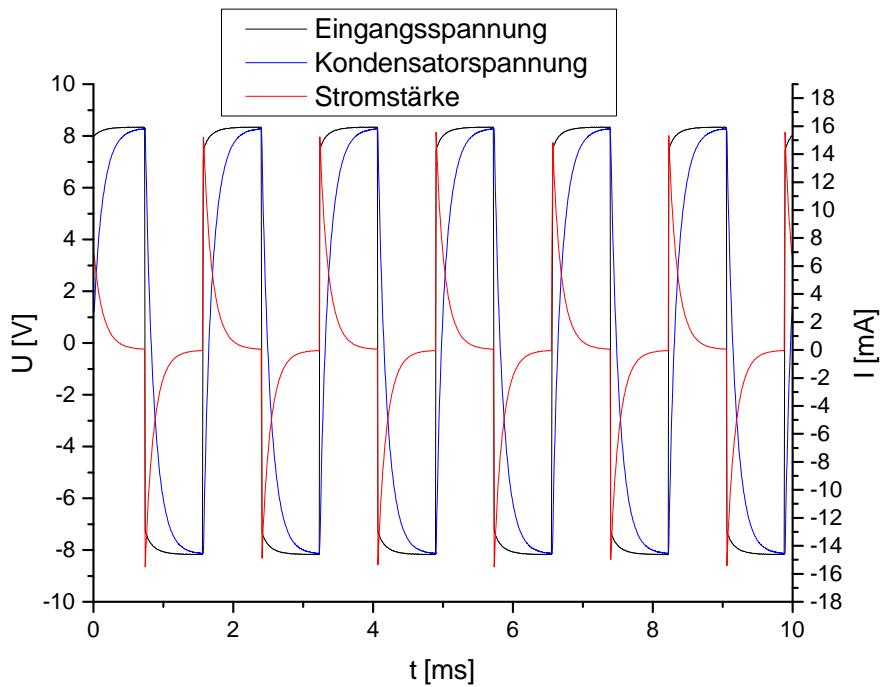


Abbildung 2: Spannungs- und Stromverlauf am Kondensator

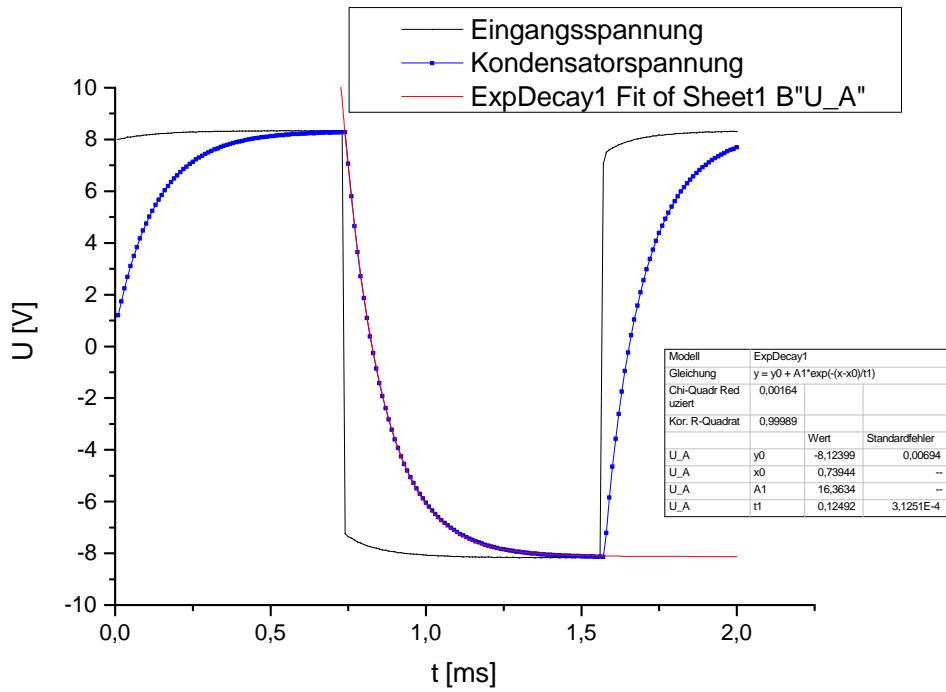


Abbildung 3: Exponentialfit an die Kondensator-Spannungskurve

### 3.2 Die Zenerdiode

Als nächstes soll der in LabVIEW implementierte XY-Schreiber dazu verwendet werden, eine Zenerdiode zu vermessen. Dazu wird die Schaltung wie in Abbildung ?? aufgebaut. Hierbei ist die Diode für eine positive Eingangsspannung absichtlich in Sperrrichtung verbaut worden.

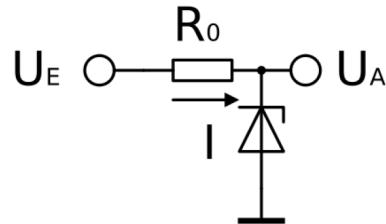


Abbildung 4: Schaltung zur Z-Diode

Mit einem Ausgang der Messbox wird ein gewisses Spannungsintervall durchlaufen und zwischen  $U_E$  und Masse angelegt. Der zur X-Achse gehörende Eingang der Messbox misst  $U_E$ , während auf der Y-Achse  $U_A$  aufgetragen wird.

Solange die Diode sperrt, sollte die gesamte Spannung an ihr abfallen, da sie einem unendlich großen Widerstand entspricht. Erwartet wird für eine negative Eingangsspannung ein lineares Ansteigen der Spannung an der Z-Diode bis zu einem Wert von etwa  $-0,7V$ , hier schaltet die Diode (in Durchlassrichtung) wie gewöhnlich durch und der Spannungsabfall bleibt nun fast konstant. In die Gegenrichtung sollte ein entsprechendes Verhalten bei einem Wert von  $3,3V$  einsetzen, da dies der angegebenen Durchbruchspannung für die verwendete Z-Diode entspricht. Bei dieser Spannung wird die Diode aufgrund des Zenereffektes in Sperrrichtung leitend.

Abbildung ?? zeigt die Spannungskurve für drei verschiedene Werte des Vorwiderstands. Für den kleinsten Widerstand ist der Messebereich kleiner, da die Ausgangsleistung der Agilent Messbox nicht ausreicht, um den entsprechend größeren Strom zu liefern. Die Zenerspannung einer Z-Diode wächst mit der Stromstärke. Da ein größerer Vorwiderstand den Stromfluss begrenzt, erreichen die Spannungskurven für die größeren Widerstandswerte schneller den Wert der entsprechenden Zenerspannung und verlaufen niedriger. Die Erwartungen werden somit bestätigt.

Mit den ermittelten Spannungen lässt sich darüber hinaus die Strom-Spannungs-Kennlinie der Diode berechnen und darstellen. Der Strom durch den Widerstand (und damit auch durch die Z-Diode) berechnet sich zu  $I = \frac{U_E - U_A}{R}$ . Abbildung ?? zeigt die entsprechende Kennlinie für einen Vorwiderstand  $R = 100\Omega$ . Erwartungsgemäß steigt der Strom nach dem Erreichen der Durchlass- bzw. Durchbruchspannung ohne eine weiteres signifikantes Ansteigen des Spannungsabfalls an der Z-Diode.

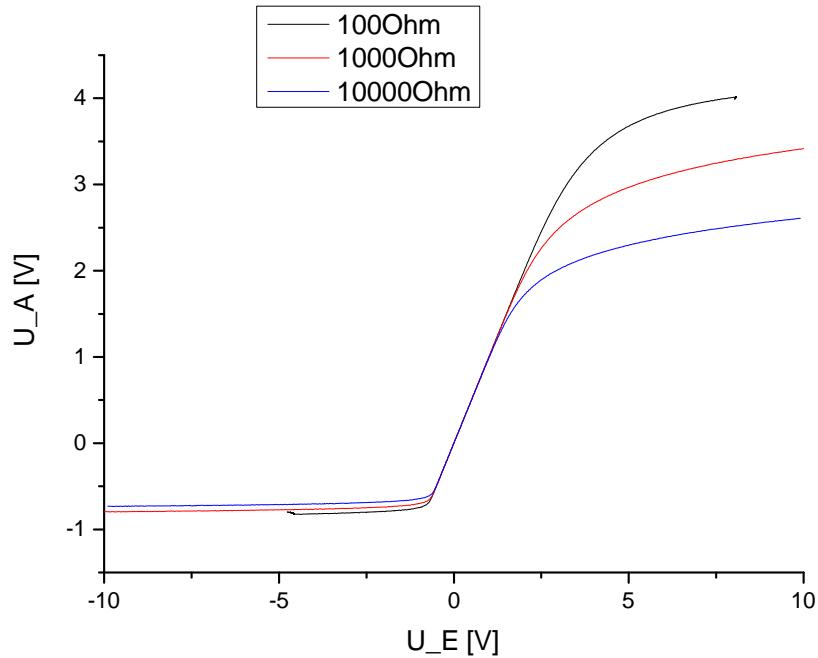


Abbildung 5: Spannungsabfälle an der Z-Diode bei verschiedenen Vorwiderständen

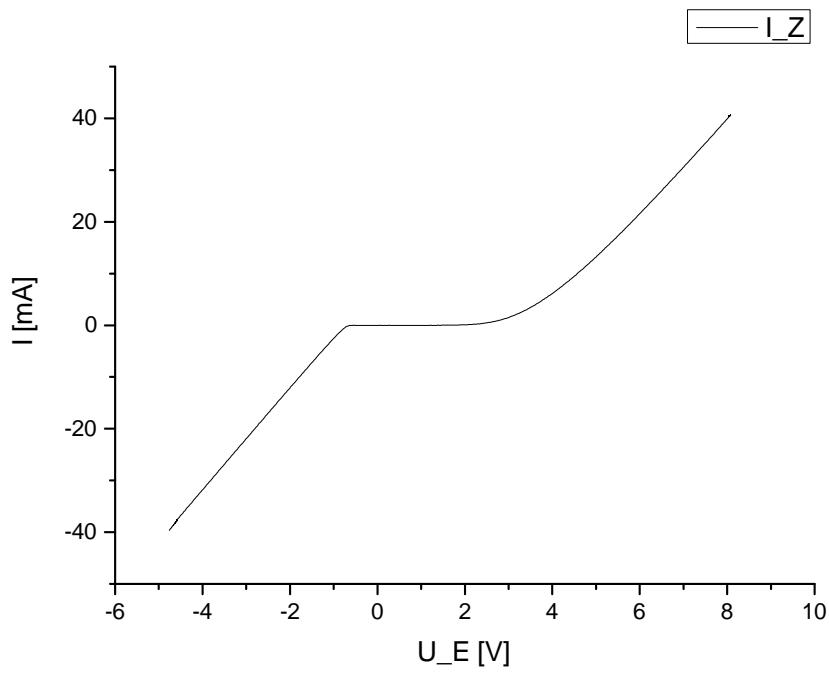


Abbildung 6: Kennlinie der Z-Diode mit Vorwiderstand  $R = 100\Omega$

### 3.3 Der Transistor

Abermals unter Verwendung des XY-Schreibers sollen nun die Eingangs- und die Stromsteuerkennlinie eines Transistors aufgezeichnet werden. Dazu wird folgende Schaltung verwendet:

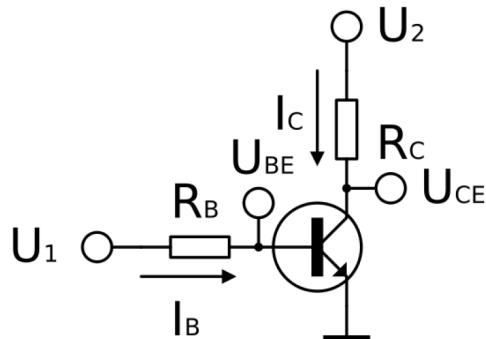


Abbildung 7: Schaltung zum Transistor

Die zur Strombegrenzung eingesetzten Widerstände sind jeweils mit  $10k\Omega$  gewählt worden. Bei dem verwendeten Transistor handelt es sich um einen BC337-40 npn-Transistor.

Die Eingangskennlinie  $I_B(U_{BE})$  wird bei unbeschaltetem  $U_2$  aufgenommen und sollte der Kennlinie einer Diode entsprechen, da Basis und Emitter des Transistors in diesem Moment eine solche bilden. Zur Aufnahme der Kennlinie wurde mit der DAQ-Box eine Spannung  $U_1$  angelegt ( $[-5V; 5V]$ ) und der Spannungsabfall über den Widerstand in Abhängigkeit der Spannung  $U_{BE}$  gemessen. Damit lässt sich gemäß dem Ohmschen Gesetzen der Stromfluss und damit die Eingangskennlinie berechnen. Die aufgenommene Messung bestätigt die Vermutung einer Diodenkennlinie (Abbildung ??).

Für die Aufnahme der Stromsteuerkennlinie  $I_C(I_B)$  wurde an  $U_2$  eine Arbeitsspannung von  $8,65V$  mittels eines externen Netzteils angelegt. Mit dem Ausgang der Messbox ist an  $U_1$  das interessante Spannungsintervall ( $[0,38V; 0,66V]$ ) angelegt worden. Außerhalb dieses Bereichs schaltet der Transistor nicht durch oder der Stromfluss  $I_C$  sättigt aufgrund der Strombeschränkung des Netzteils. Gemessen wurden die Spannungsabfälle über beide Widerstände, woraus die Stromflüsse berechnet wurden.

Datenblättern<sup>3</sup> zum verwendeten Transistor kann eine Stromverstärkung  $\beta \in [250; 630]$  entnommen werden. Ein linearer Fit durch den ungesättigten Bereich der aufgenommenen Stromsteuerkennlinie (Abbildung ??) liefert einen Verstärkungsfaktor von  $\beta \approx 358$ . Dieser Wert passt gut zum Bereich aus dem Datenblatt und die aufgenommenen Daten erfüllen die Erwartung einer linearen Verstärkung. Gerade im unteren Bereich sind die Daten leider ein wenig verrauscht, da hier viele Messpunkte noch vor dem Durchschalten des Transistors aufgenommen worden sind. Trotzdem dürfen die Daten als verlässlich angesehen werden.

---

<sup>3</sup><http://www.fairchildsemi.com/ds/BC/BC337.pdf>

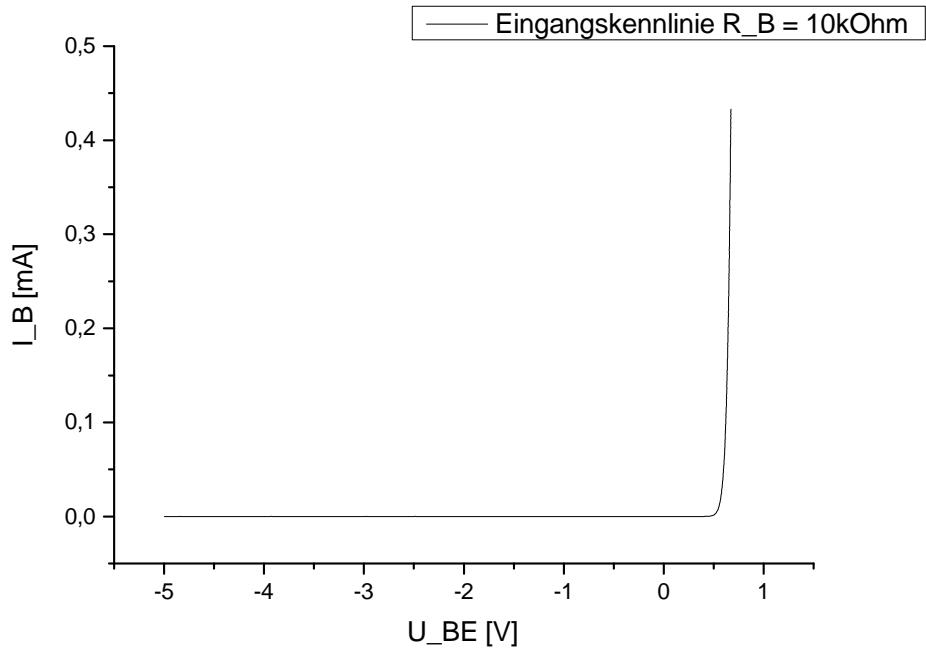


Abbildung 8: Eingangskennlinie des Transistors

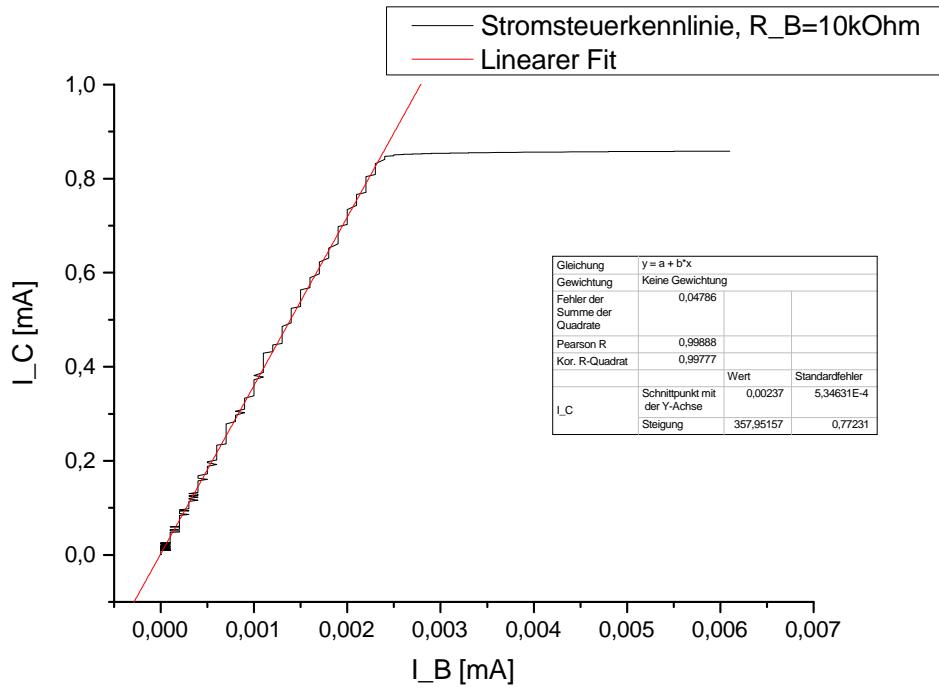


Abbildung 9: Stromsteuerkennlinie des Transistors

### 3.4 Der invertierende Verstärker

Zentrales Bauteil der nächsten Schaltungen ist der Operationsverstärker (OP)(Modell: T018CN). Abbildung ?? zeigt einen solchen OP mit seinen Anschlüssen für die Spannungsversorgung ( $U_0$ ), den invertierenden Eingang (-), den nichtinvertierenden Eingang (+) und den Ausgang. Ein Operationsverstärker vervielfacht die Spannungsdifferenz zwischen seinen beiden Eingängen um einige Größenordnungen. Dazu benötigt er zusätzlich eine externe, zur Masse symmetrische Spannungsversorgung. Die maximale Ausgangsspannung ist durch diese Spannungsversorgung gegeben. Die Leerlaufverstärkung ist so groß, dass die Eingangsspannung praktisch immer sofort auf die maximale Ausgangsspannung verstärkt wird. Um dies zu vermeiden und eine kontrollierte lineare Verstärkung zu erreichen, ist eine Rückkopplung des Ausgangssignals nötig.

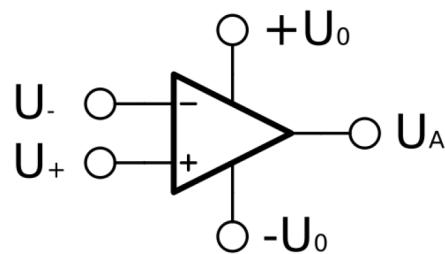


Abbildung 10: Operationsverstärker

Eine Möglichkeit, einen Verstärkerschaltung um einen Operationsverstärker aufzubauen, ist in Abbildung ?? zu sehen; es handelt sich um die invertierende Verstärkerschaltung. Der nichtinvertierende Eingang liegt auf Massenniveau und das Signal wird über den invertierenden Eingang eingekoppelt. Der Verstärkungsfaktor lässt sich näherungsweise berechnen als

$$\frac{U_A}{U_E} = V = -\frac{R_2}{R_1}$$

Der negative Verstärkungsfaktor begründet auch den Namen der Schaltung: Ein negatives Eingangssignal resultiert in einer positiven Ausgangsspannung und umgekehrt.

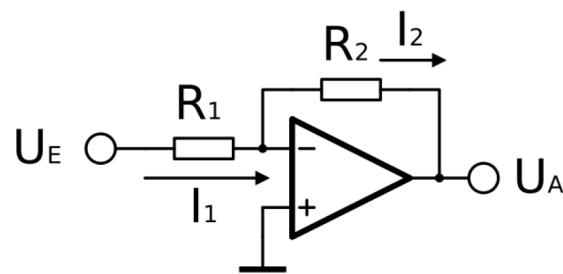


Abbildung 11: Schaltung des Invertierenden Verstärkers

Für den Versuch wurde die Schaltung mit  $R_2 = 100k\Omega$  und  $R_1 = 1k\Omega$  bzw.  $10k\Omega$  aufgebaut. Damit ergeben sich die theoretischen Verstärkungsfaktoren

$$V = -100 \pm 1,4 \quad \text{für} \quad R_1 = 1k\Omega$$

$$V = -10 \pm 0,14 \quad \text{für} \quad R_1 = 10k\Omega$$

### 3 Auswertung

---

Um die Theorie zu prüfen, ist die Schaltung mit dem XY-Schreiber durchgemessen worden. Die Ergebnisse der Messung sind auf dem Graphen in Abbildung ?? aufgetragen. Die Verstärkungen sind per linearem Fit durch die ungesättigten Teile der Spannungskurven ermittelt worden

$$V = -99,93 \pm 0,04 \quad \text{für} \quad R_1 = 1k\Omega$$

$$V = -9,992 \pm 0,007 \quad \text{für} \quad R_1 = 10k\Omega$$

Diese Daten stehen in guter Übereinstimmung mit den zuvor ermittelten theoretischen Daten.

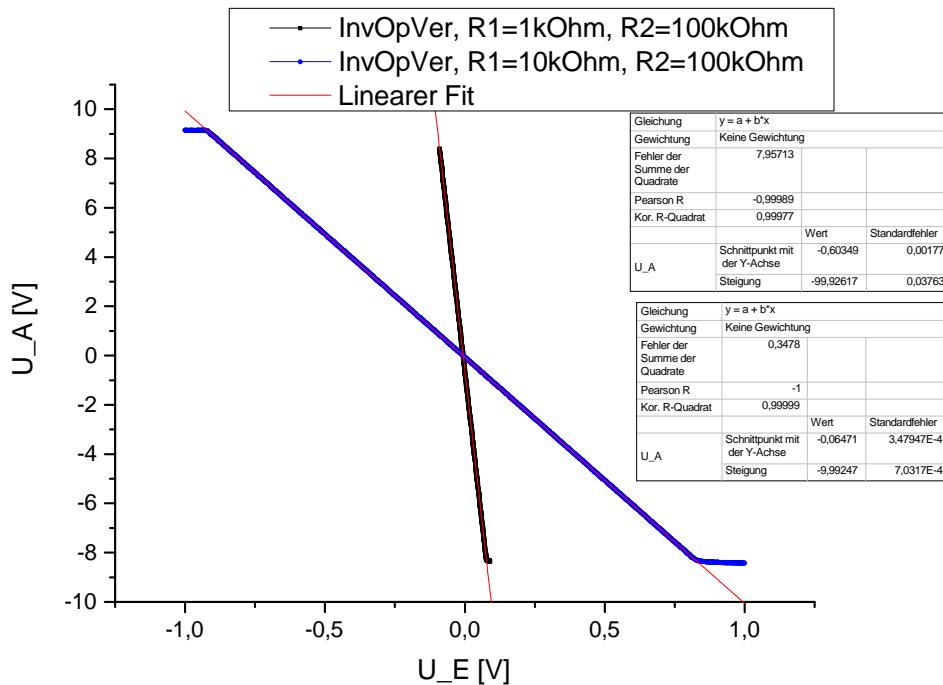


Abbildung 12: Verstärkerkennlinie der invertierenden Schaltung

Zusätzlich ist noch eine Sinusspannung ( $\approx 5096Hz$ ) an den Operationsverstärker mit 10-facher Verstärkung angeschlossen worden. Das Invertieren des Signals entspricht einer Phasendrehung um  $180^\circ$  der Schwingung. Dieses Verhalten ist mit dem LabVIEW Oszilloskop untersucht und bestätigt worden (Abbildung ??).

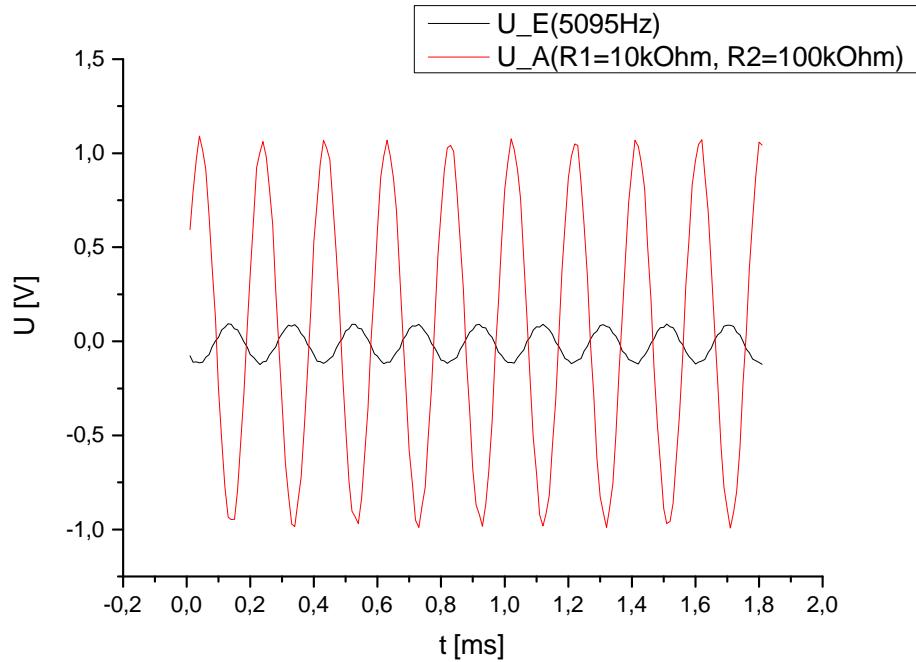


Abbildung 13: Wechselspannungsverhalten der invertierenden Schaltung (schwarz: Frequenzgenerator, rot: verstärktes, invertiertes Signal)

### 3.5 Der nichtinvertierende Verstärker

Eine andere Variante zum Einsatz des Operationsverstärkers stellt die nichtinvertierende Verstärkerschaltung dar. Die Spannung wird hier über den nichtinvertierenden Eingang in den OP eingekoppelt. Die Rückkopplung läuft aber weiter über den invertierenden Eingang. Mit den Widerständen wie im Schaltplan ergibt sich der Verstärkungsfaktor

$$V = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

Mit den Widerständen  $R_1 = 1k\Omega$  und  $R_2 = 10k\Omega$  bzw.  $100k\Omega$  ergeben sich theoretisch die Verstärkungsfaktoren

$$\begin{aligned} V &= 101 \pm 1,4 \quad \text{für } R_2 = 10k\Omega \\ V &= 11 \pm 0,14 \quad \text{für } R_2 = 100k\Omega \end{aligned}$$

Aus dem linearem Fit der Messung (Abbildung ??) erhält man die Werte

$$\begin{aligned} V &= 101,02 \pm 0,046 \quad \text{für } R_1 = 1k\Omega \\ V &= 11,007 \pm 0,007 \quad \text{für } R_1 = 10k\Omega \end{aligned}$$

und damit eine sehr gute Übereinstimmung mit den theoretisch zu erwartenden Werten.

Da das Signal nicht invertiert wird, ist für ein Sinussignal keine Phasendrehung zu erwarten, ein Test mit dem Frequenzgenerator ( $\approx 5084Hz$ ) und dem Oszilloskop in LabVIEW bestätigen diese Vermutung (Abbildung ??), auch der erwartete Verstärkungsfaktor von 10 bleibt erhalten.

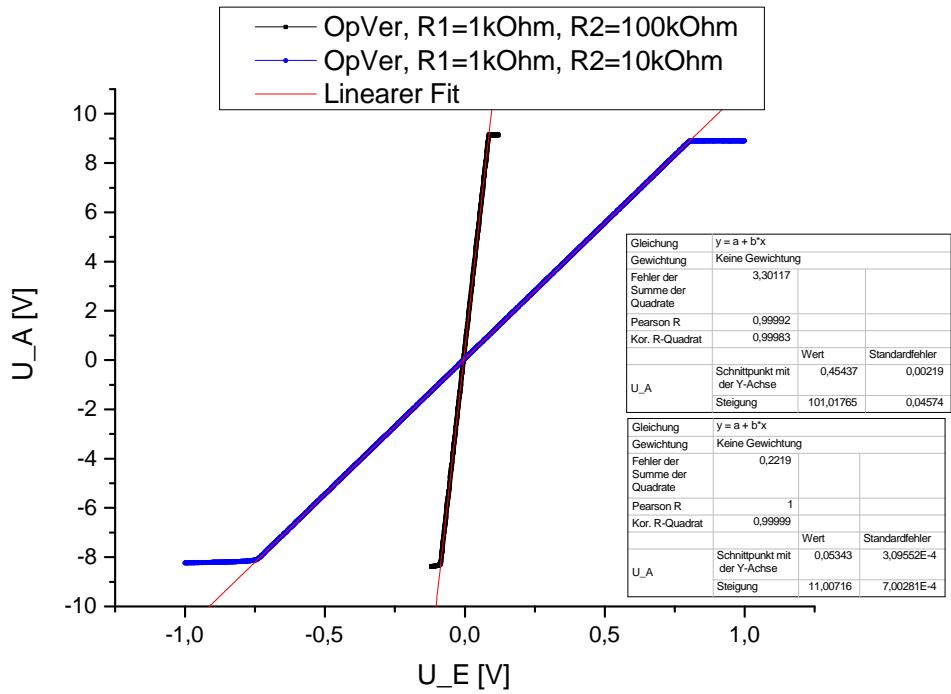


Abbildung 14: Verstärkerkennlinie der nichtinvertierenden Schaltung

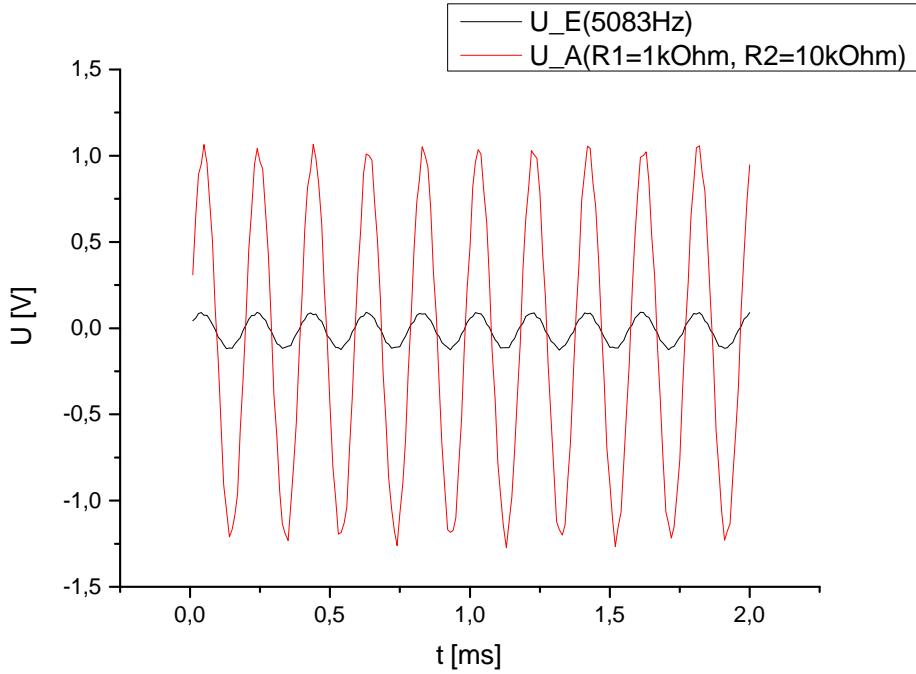


Abbildung 15: Wechselspannungsverhalten der nichtinvertierenden Schaltung (schwarz: Frequenzgenerator, rot: verstärktes Signal)

### 3.6 Der Differenzverstärker

Abschließend wird der Differenzverstärker betrachtet. Er stellt eine Kombination aus den beiden vorhergehenden Schaltungen dar und verstärkt die Differenz der an beide Eingänge angelegten Spannung ( $U_{E2} - U_{E1}$ ). Wählt man  $R_1 = R_3$  und  $R_2 = R_4$  erhält man den Verstärkungsfaktor

$$V = R_2/R_1$$

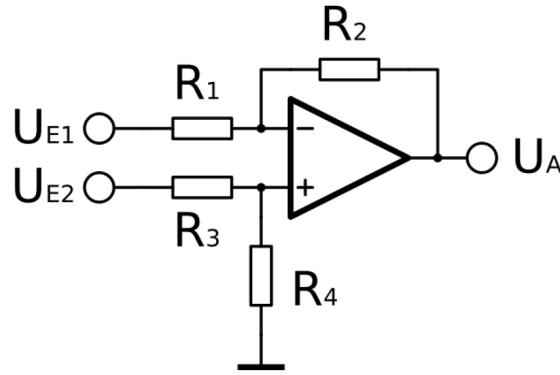


Abbildung 16: Schaltung zum Differenzverstärker

Um dies zu überprüfen ist die Schaltung mit  $R_1 = R_3 = 10k\Omega$  und  $R_2 = R_4 = 100k\Omega$  aufgebaut und vermessen worden. Dabei ist der Ausgang der Messbox versehentlich verpolt (Masse des Ausgangs an E2) angeschlossen worden. Daher gibt sich ein negatives Vorzeichen im experimentell ermittelten Verstärkungsfaktor, der abermals mittels linearer Regression (Abbildung ??) ermittelt worden ist

$$|V| = 9,907 \pm 0,003 \approx V_{theo} = 10 \pm 0,14$$

Betragsmäßig ergibt sich also der erwartete Verstärkungsfaktor.

Das Wechselspannungsverhalten konnte aufgrund von technischen Problemen leider nur mit dem Oszilloskop beobachtet werden. Qualitativ sind aber die erwarteten Verstärkungsfaktoren von  $V = 10$  (mit  $R_1 = R_3 = 10k\Omega$ ) und  $V = 1$  (mit  $R_1 = R_3 = 100k\Omega$ ) wiederzuerkennen (Abbildung ??).

### 3 Auswertung

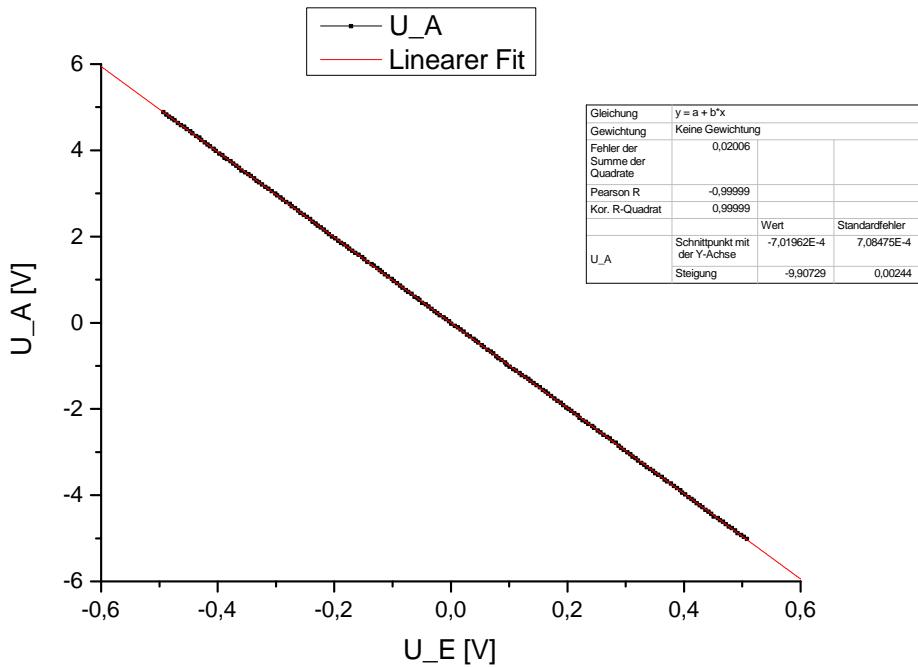


Abbildung 17: Verstärkerkennlinie des Differenzverstärkers

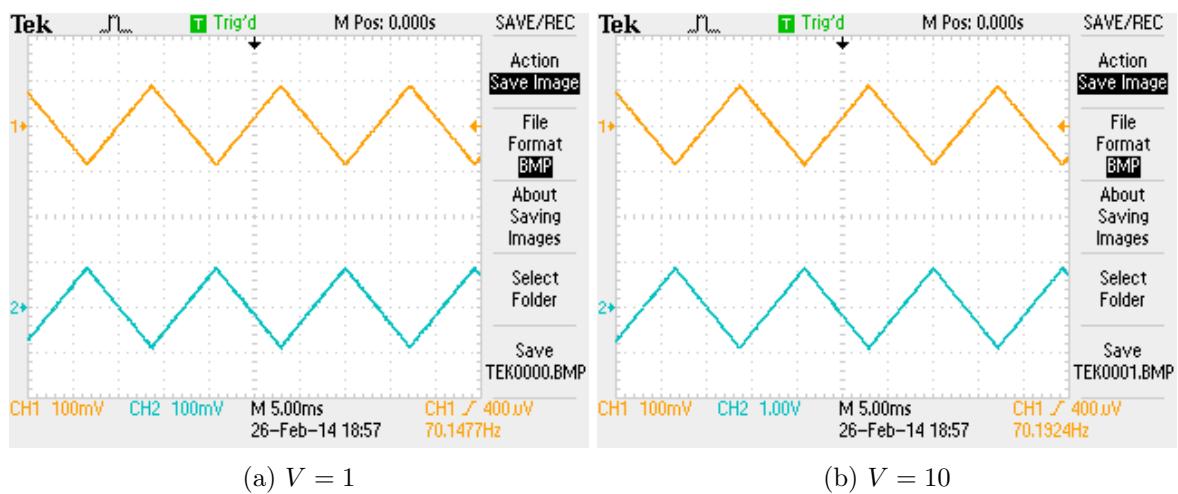


Abbildung 18: Wechselspannung am Differenzverstärker

### 3.7 Der Arduino

Eine Alternative zur Verwendung der recht teuren DAQ-Box von Agilent ist die Verwendung eines Arduinos. Dieser Mikrocontroller bietet ebenfalls einige analoge Eingänge und digitale Ausgänge und lässt sich einfach in LabVIEW-Programme einbinden. Allerdings kann der Arduino nur Spannungen zwischen 0V und 5V messen, und besitzt nur eine Auflösung von 10bit, das heißt gemessen wird in  $\frac{5V}{1024} \approx 0,0049V$  Schritten. Für viele Zwecke ist das aber bereits ausreichend. Um die Verlässlichkeit des Arduinos zu überprüfen, ist mit der Messbox von Agilent eine Spannung an den Arduino gegeben und von diesem eingelesen worden. Der Zusammenhang ist in Abbildung ?? aufgetragen. Wir erkennen, dass die Spannungsmessung den Umständen nach recht verlässliche Werte liefert. Zwischen ausgegebener und gemessener Spannung besteht laut linearer Regression der Zusammenhang

$$U_{Arduino} \approx U_{DAQ} * 1,037 - 0,021V$$

Für Anwendungen, die keine extrem hohe Präzision benötigen, ist der Arduino damit eine vernünftige Alternative zur professionellen DAQ, zumal die Einbindung des Arduinos wesentlich unkomplizierter umzusetzen war, da anders als beim Agilent-Gerät keine schwerwiegenden Treiberfehler oder Dysfunktionen zu erkennen waren.

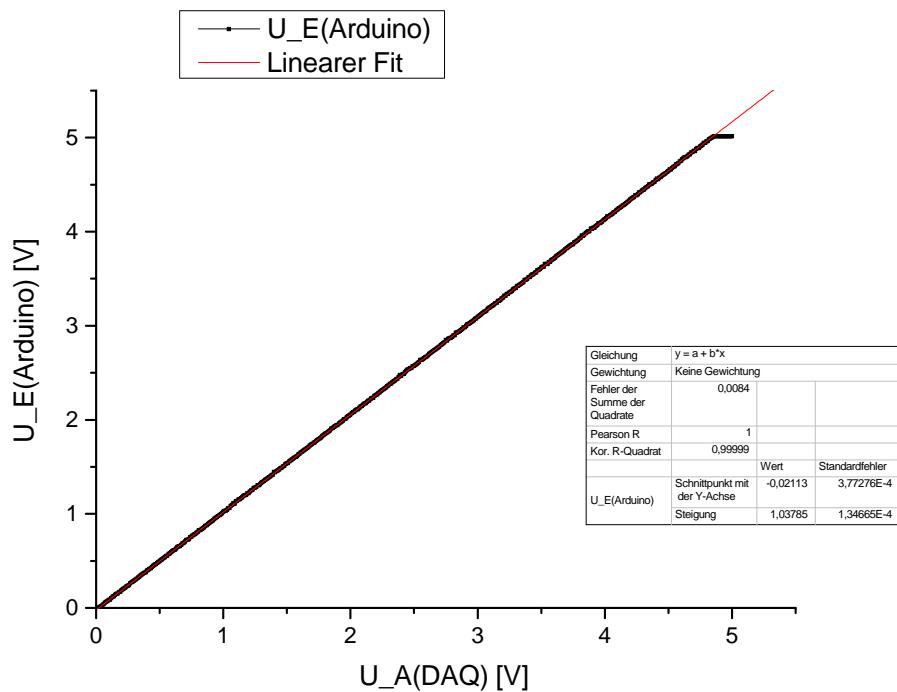


Abbildung 19: Messgenauigkeit des Arduinos

### 3.8 Arduino: Die Diode

Um den Arduino zu testen, ist der Spannungsabfall an einer Diode aufgenommen worden. Der Ablauf ist dabei weitgehend derselbe wie bei der Vermessung der Z-Diode in Abschnitt ???. Zur Spannungsmessung wurde diesmal jedoch der Arduino eingesetzt. Da dieser nur positive Spannungen messen kann, ist die Diode einmal in Durchlassrichtung und einmal in Sperrrichtung vermessen worden. Der gewählte Vorwiderstand betrug  $10k\Omega$ . Die beiden Messreihen wurden in ein Diagramm übertragen und die Werte für die Sperrrichtung mit einem negativen Vorzeichen versehen. Damit ergibt sie die Spannungsabfallkurve wie in Abbildung ???. Der kleine Sättigungsbereich bei  $-5V$  resultiert dabei aus einer zu hohen Spannung am Arduino, der diese Werte auf  $-5V$  begrenzt. Ansonsten entspricht die Kurve den Erwartungen (Abfall der gesamten Spannung an der Diode im Sperrbereich, im Durchlassbereich  $\approx 0,7V$ ). Für solche Messungen eignet sich der Arduino daher aufgrund seiner einfacheren Bedienung und Zuverlässigkeit.

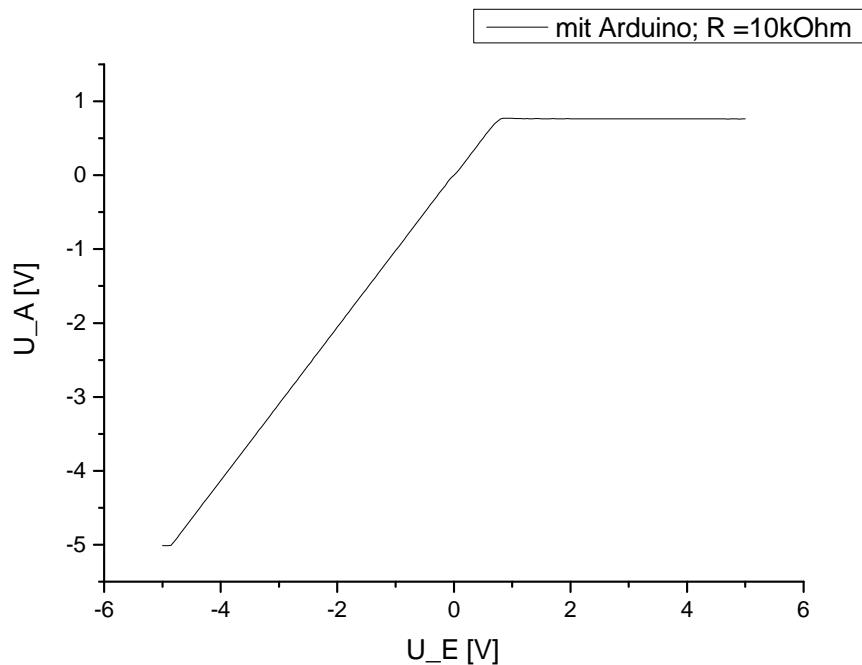


Abbildung 20: Spannungsabfall an der Diode gemessen mit dem Arduino