

Praktikum Systemprogrammierung

Versuch 1

Stromkreis & Diode Mikrocontroller & AD/DA-Wandlung

Lehrstuhl für Informatik 11 - RWTH Aachen

22. März 2011

Inhaltsverzeichnis

1	Stromkreis & Diode, Mikrocontroller & AD/DA-Wandlung	3
1.1	Versuchsinhalte	3
1.2	Lernziel	3
1.3	Grundlagen	4
1.3.1	Widerstand und Diode	4
1.3.2	Einführung in den ATmega 644	10
1.3.3	AD/DA-Wandlung	12
1.4	Hausaufgaben	20
1.4.1	Allgemeines	20
1.4.2	Aufgaben zu Widerstand und Diode	21
1.4.3	Aufgabe zur Einführung in den ATmega 644	23
1.4.4	Aufgaben zur AD/DA-Wandlung	24
1.5	Präsenzaufgaben	26
1.5.1	Material für diesen Versuch	26
1.5.2	Versuche zu Widerstand und Diode	26
1.5.3	Versuche zur Einführung in den ATmega 644	29
1.5.4	Versuche zur AD/DA-Wandlung	29
1.6	Pinbelegung	34

Dieses Dokument ist Teil der begleitenden Unterlagen zum *Praktikum Systemprogrammierung*. Alle zu diesem Praktikum benötigten Unterlagen stehen im L²P-Lernraum unter <http://www.elearning.rwth-aachen.de> zum Download bereit.

Folgende Emailadresse ist für Kritik, Anregungen oder Verbesserungsvorschläge verfügbar:

psp@informatik.rwth-aachen.de

1 Stromkreis & Diode, Mikrocontroller & AD/DA-Wandlung

1.1 Versuchsinhalte

Im ersten Versuch des Praktikums Systemprogrammierung werden grundlegende Themen behandelt, die auf die Durchführung der späteren Versuche vorbereiten. Zunächst werden die wesentlichen Grundlagen der Elektrotechnik wiederholt, die in der Vorlesung Technische Informatik vorgestellt wurden. Im Zuge dieser Wiederholung werden Messungen an einfachen elektrischen Schaltungen durchgeführt und sich währenddessen mit der Bedienung eines Multimeters vertraut gemacht.

Im zweiten Teil dieses Versuchs wird der Mikrocontroller ATmega 644 und das Evaluationsboard, in das er eingebettet ist, vorgestellt. Außerdem wird ein simples C-Programm für diesen Mikrocontroller entwickelt, um die Softwareentwicklungsumgebung AVR Studio für den ATmega 644 vorzustellen. Die nächsten Versuche werden auf dem ATmega 644 basieren. Zum Einstieg in die Softwareentwicklung auf dem ATmega 644 empfiehlt es sich, das begleitende Dokument zum Praktikum Systemprogrammierung zu lesen.

Der dritte Teil dieses Versuchs führt in die Analog-Digital- und die Digital-Analog-Wandlung (zusammengefasst AD/DA-Wandlung) ein. Dieser Versuchsteil kombiniert die Bereiche der Elektrotechnik und der Mikrocontroller-Programmierung – die AD/DA-Wandlung erfordert ein Zusammenspiel von Hard- und Software. In diesem Versuchsteil werden Algorithmen implementiert, welche es dem ATmega 644 ermöglichen, durch Ansteuern einer Zusatzhardware AD/DA-Wandlungen durchzuführen. In diesem Teil wird ein weiteres Messgerät, das Oszilloskop, vorgestellt.

1.2 Lernziel

Das Lernziel dieses Versuchs ist das Verständnis der folgenden Zusammenhänge:

- Arbeit mit den Messgeräten Multimeter und Oszilloskop
- Widerstände und Dioden
- Analyse und Entwicklung grundlegender elektrischer Schaltungen
- Umgang mit der Entwicklungsumgebung AVR Studio
- Grundlagen der Programmiersprache C
- Programmierung eines Mikrocontrollers

- DA- und AD-Wandlung

1.3 Grundlagen

Dieser Abschnitt stellt grundlegende Informationen bereit, welche nötig sind, um die Haus- und Präsenzaufgaben erfolgreich bearbeiten zu können. Dieser Abschnitt ist, wie auch die Beschreibung der Haus- und Präsenzaufgaben, aufgeteilt in die Bereiche *Widerstand und Diode*, *Einführung in den ATmega 644* und *AD/DA-Wandlung*.

1.3.1 Widerstand und Diode

In diesem Abschnitt der Grundlagen werden die elektronischen Bauteile Widerstand und Diode vorgestellt.

Ohmsche Widerstände

Der elektrische Widerstand ist das einfachste der grundlegenden Bauelemente einer elektrischen Schaltung. Der Widerstand begrenzt den Stromfluss durch einen Leiter bei angelegter elektrischer Spannung. Der Wert eines Widerstands R , gemessen in Ohm (Ω) ist definiert über die Größe des Stromflusses I , gemessen in Ampere (A), der bei einer bestimmten elektrischen Spannung U , gemessen in Volt (V), durch den Widerstand fließt. Es gilt das *Ohmsche Gesetz* $R = \frac{U}{I}$. Es gilt: $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$.

Als Bauteile gibt es sowohl Widerstände mit festem Wert (siehe Abb. 1.3), sowie regelbare Widerstände, deren Wert sich einstellen lässt. Letztere nennt man *Potentiometer* (siehe Abb. 1.1). Abbildung 1.2 zeigt die Schaltzeichen von Widerstand und Potentiometer im Vergleich.



Abbildung 1.1: Ein Potentiometer

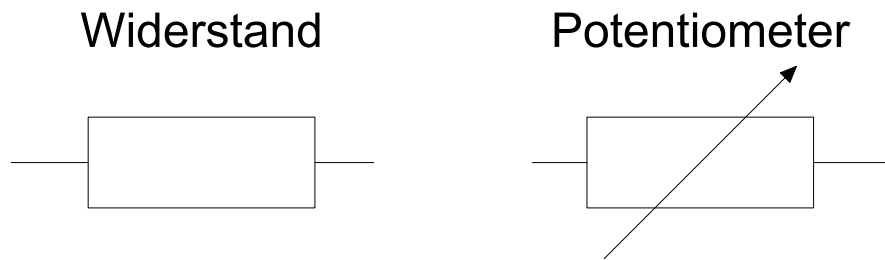


Abbildung 1.2: Die Schaltzeichen von Widerstand und Potentiometer

Markierung von Widerständen

Da es technisch aufwändig wäre, lesbare Zahlen auf die sehr kleinen und zylinderförmigen Widerstände zu drucken, wird ein Code aus farbigen Ringen verwendet, um Widerstände zu beschriften. In Tabelle 1.1 werden den Ringen je nach Position und Farbe unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen. Ein '-' als Tabelleneintrag bedeutet dabei, dass es diese Farbe an dieser Position nicht gibt.

Farbe	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4	Position 5
	1. Ziffer	2. Ziffer	3. Ziffer	Multiplikator	Toleranz
kein Ring	-	-	-	-	$\pm 20\%$
silber	-	-	-	$\cdot 10^{-2}$	$\pm 10\%$
gold	-	-	-	$\cdot 10^{-1}$	$\pm 5\%$
schwarz	-	0	0	$\cdot 10^0$	-
braun	1	1	1	$\cdot 10^1$	$\pm 1\%$
rot	2	2	2	$\cdot 10^2$	$\pm 2\%$
orange	3	3	3	$\cdot 10^3$	-
gelb	4	4	4	$\cdot 10^4$	-
grün	5	5	5	$\cdot 10^5$	$\pm 0,5\%$
blau	6	6	6	$\cdot 10^6$	$\pm 0,25\%$
violett	7	7	7	$\cdot 10^7$	$\pm 0,1\%$
grau	8	8	8	$\cdot 10^8$	-
weiß	9	9	9	$\cdot 10^9$	-

Tabelle 1.1: Farbcodes

Um Mehrdeutigkeit durch Umdrehen des Widerstandes zu vermeiden, gilt die Konvention, dass der breite Ring das Ende markiert, also auf die rechte Seite des Widerstandes gedruckt wird. Vor dem Ablesen des Widerstandscodes muss der Widerstand also gegebenenfalls gedreht werden.

Beispiel: Der in Abbildung 1.3 gezeigte Widerstand ist durch die Farbringe gelb - violett - schwarz - grün - braun gekennzeichnet. Nach Tabelle 1.1 entspricht dies einem

Wert von $470 \cdot 10^5 \Omega$, also $47 \text{ M}\Omega$. Die Toleranz beträgt $\pm 1 \%$.



Abbildung 1.3: Ein Widerstand mit dem Wert $47 \text{ M}\Omega$

LERNERFOLGSFRAGEN

- Was codieren die einzelnen Ringe?
- Von welcher Seite aus werden die Farbcodierungen abgelesen?

Halbleiter

Halbleiter sind Feststoffe (z. B. Silizium), deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der von Nichtleitern und Leitern liegt. Bei Leitern erfolgt die Ladungsübertragung im Material durch Valenzelektronen (freie Elektronen), die praktisch ungehindert Ladungen durch den Leiter transportieren können. Die Leitfähigkeit von Leitern und Halbleitern ist geringfügig abhängig von äußeren Einflüssen, vor allem von der Umgebungstemperatur.

Das Prinzip des Halbleiters wird im Folgenden am Beispiel des Siliziums erklärt. Ein Siliziumatom hat auf seiner äußeren Schale vier Elektronen. Da sich jedes dieser Elektronen mit einem Elektron eines benachbarten Siliziumatoms zu einem Paar zusammenschließt, entsteht ein Kristallgitter. In dieser Form verfügt das Silizium über eine gewisse Leitfähigkeit, die so genannte *Eigenleitung*. Diese ist bedingt durch die Tatsache, dass selbst im Kristallgitter die Elektronen nicht völlig starr in den Elektronenpaaren zusammengeschlossen sind, sondern sich in gewissem Maße (allerdings weit weniger als bei Leitern) bewegen können. Wenn ein Elektron seine Paarbindung verlässt, können Löcher (so genannte Defektelektronen) im Gitter entstehen, welche durch andere freie Elektronen wieder gefüllt werden können. Dies nennt man Rekombination. Wird eine elektrische Spannung angelegt, wandern die Elektronen vom Minus- zum Pluspol, die Löcher wandern in umgekehrter Richtung.

Um die Leitfähigkeit eines Halbleiters wie Silizium gezielt zu beeinflussen, werden diesem Halbleiter bestimmte andere Elemente (häufig Antimon oder Indium) in geringen Mengen eingemischt (Verhältnis ca. $1 : 10^6 - 10^7$). Diesen Vorgang nennt man Dotierung. Im Falle einer Dotierung mit Antimon (fünf Valenzelektronen) herrscht ein Elektronenüberschuss; das zusätzliche Elektron ist nicht in das Kristallgitter eingebunden und löst sich leicht. Das Antimon wird als Donator bezeichnet, und es wird von einer *n-Dotierung* gesprochen, da es negative Ladungen gibt, die nicht in die Gitterstruktur eingebunden, und somit „überschüssig“ sind. Durch Dotierung mit Indium (drei Valenzelektronen) werden zusätzliche Defektelektronen eingebracht. Das Indium wird als Akzeptor bezeichnet und erzeugt eine sogenannte *p-Dotierung*, bei der Löcher im Kristallgitter vorhanden sind.

LERNERFOLGSFRAGEN

- Welche beiden Arten von Ladungsträgern treten in Halbleitern auf?
- Was bedeutet Rekombination?
- Was bedeutet Dotierung? Wann spricht man von n-dotierten und wann von p-dotierten Halbleitern?

Dioden

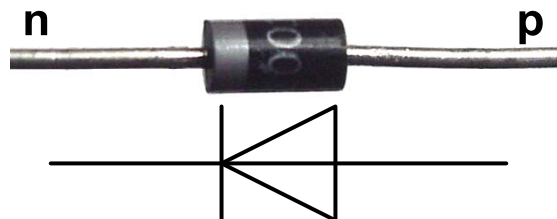


Abbildung 1.4: Anode (Anschluss am p-Gebiet) und Kathode (Anschluss am n-Gebiet) der Diode (oben) und Schaltzeichen der Diode (unten).

Dioden (Abbildung 1.4) kombinieren p- und n-dotierte Halbleitermaterialien in einem Bauteil. Am Übergang zwischen den beiden Materialien, und damit zwischen Elektronen- und Defektelektronenüberschuss, entsteht eine Grenzschicht, die so genannte *Raumladungszone (RLZ)*, in der sich die Konzentrationen ausgleichen: Die Elektronen wandern hin zu den Defektelektronen, beide gleichen sich gegenseitig aus. Durch diese Ladungsverschiebung baut sich in der Grenzschicht eine Raumladung auf, die auf der n-dotierten Seite positiv und auf der p-dotierten Seite negativ ist. Das durch diese Raumladung

erzeugte Feld führt dazu, dass sich positive Ladungsträger (Defektelektronen) von der Raumladungszone in Richtung des p-dotierten Gebietes wegbewegen. Analog dazu bewegen sich negative Ladungsträger (Elektronen) in Richtung des n-dotierten Gebietes. Dabei entsteht eine Grenzschicht, die arm an freien Ladungsträgern ist und als Isolator wirkt, die sogenannte *Sperrschicht*. Abbildung 1.5 zeigt die Verteilung der Ladungsträger innerhalb einer Diode.

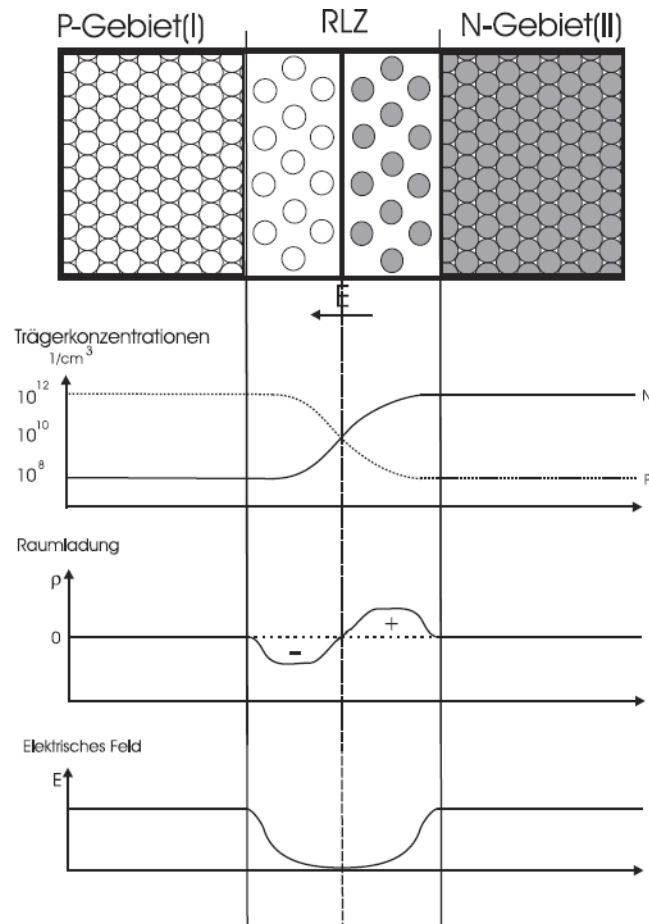


Abbildung 1.5: Verteilung der Ladungsträger innerhalb der Diode, Raumladung und elektrisches Feld

Die Leitfähigkeit der Diode ist abhängig von ihrer Orientierung im Stromkreis. Wird der Minuspol an die Kathode (der Anschluss an der n-Zone) und der Pluspol an die Anode (der Anschluss an der p-Zone) angeschlossen, so werden Ladungsträger in die Sperrschicht hineingezogen. Die Sperrschicht wird kleiner, die Diode ist in Durchlassrichtung gepolt und lässt den Strom passieren; die Stromstärke steigt mit höherer Spannung stark an. Werden der Minuspol an die Anode und der Pluspol an die Kathode angeschlossen, so werden Ladungsträger aus der Grenzschicht herausgezogen. Die Raumladungszone,

und damit die Sperrschicht, wächst, die Diode ist in Sperrrichtung gepolt. Bis auf einen minimalen Driftstrom sperrt die Diode den Stromkreis. Bei einer ausreichend hohen Spannung in Sperrrichtung verliert die Diode allerdings ihre Sperrfunktion: Es kommt zu einem Zener-Durchbruch, welcher bei so genannten Zener-Dioden vorgesehen ist und die Diode nicht beschädigt, oder zu einem Lawinendurchbruch, welcher die Diode zerstört. Beim Zener-Durchbruch führt die Spannung dazu, dass Elektronen spontan ohne Energieaufnahme, auch in der Grenzschicht, zu freien Ladungsträgern werden (Tunneleffekt). Bei einem Lawinendurchbruch ist die elektrische Feldstärke so hoch, dass die wenigen vorhandenen freien Ladungsträger so stark beschleunigt werden, dass sie beim Auftreffen auf Atome im Gitter des Halbleiters andere Elektronen herausschlagen und selbst dabei nicht eingefangen werden. Dadurch werden weitere Ladungsträger frei und es kommt zu einer Kettenreaktion, in deren Folge die Stromstärke selbst mit kleinen Spannungserhöhungen sehr schnell ansteigt. Dabei wird die Diode zerstört.

ACHTUNG

Durch den hohen Stromfluss wird die Diode schnell sehr heiß! Verbrennungsgefahr!

LERNERFOLGSFRAGEN

- Aus welchen zwei Arten von Halbleitern besteht eine Diode?
- Wie bildet sich die Raumladungszone? Was bedeutet diese für den Stromfluss?
- Wann leitet eine Diode und wann sperrt sie?
- Warum muss der maximale Strom durch eine Diode begrenzt werden?

Kennlinie einer Diode

Die Kennlinie einer Diode beschreibt den Zusammenhang zwischen der Spannung, die an einer Diode anliegt, und dem Strom, der durch sie hindurch fließt.

Abbildung 1.6 zeigt qualitativ den Vergleich der Kennlinie der idealen Diode und der Kennlinie einer realen Diode.

Es gibt Unterschiede zwischen dem idealen Verhalten einer Diode und ihrem realen Verhalten. So können etwa im Sperrbereich ($U < 0$) bei einer realen Diode minimale Leckströme fließen, eine reale Diode sperrt also nicht perfekt. Damit eine reale Diode durchlässig wird, muss beim Anlegen einer Spannung in Durchlassrichtung zunächst die Raumladungszone abgebaut werden. Deshalb werden reale Dioden erst ab

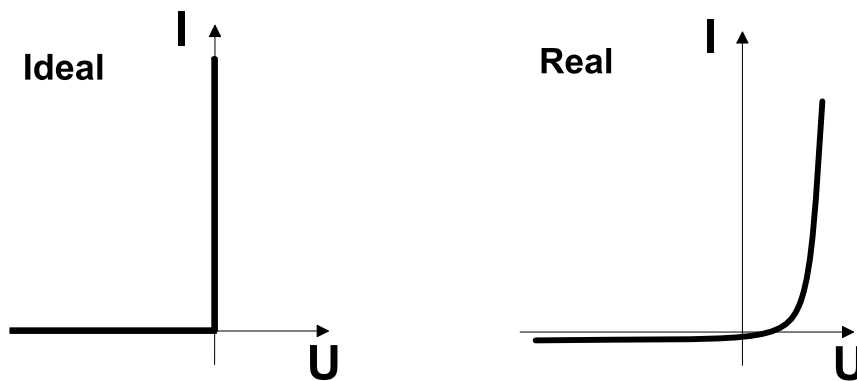


Abbildung 1.6: Ideale und reale Diodenkennlinie

einer bestimmten Spannung, der so genannten Antidiffusionsspannung, durchlässig. Bei Silizium-Dioden beträgt die Antidiffusionsspannung ungefähr 0,7 V. Nach dem Erreichen des Durchlassbereiches steigt der Stromfluss durch eine reale Diode nicht sprunghaft an, sondern wächst mit der anliegenden Spannung.

Weitere Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten von Dioden werden in diesem Praktikum nicht behandelt.

1.3.2 Einführung in den ATmega 644

In diesem Teil der Grundlagen wird zunächst das Evaluationsboard, auf welchem der Mikrocontroller ATmega 644 platziert ist, vorgestellt. Im Anschluss darauf folgen grundlegende Informationen zur Simulation eines Mikrocontrollers und des Evaluationsboards.

Informationen zum Evaluationsboard des ATmega 644

Das Evaluationsboard des Lehrstuhls (Abbildung 1.7) bietet eine komfortable Arbeitsumgebung für den Mikrocontroller ATmega 644 der Firma Atmel. Es stellt über Jumper anschließbare Eingabe- und Ausgabegeräte, beispielsweise ein LC-Display, Taster und Leuchtdioden, bereit.

HINWEIS

Eine ausführlichere Beschreibungen zu den Komponenten und deren Verwendung finden sie im begleitenden Dokument zum Praktikum Systemprogrammierung

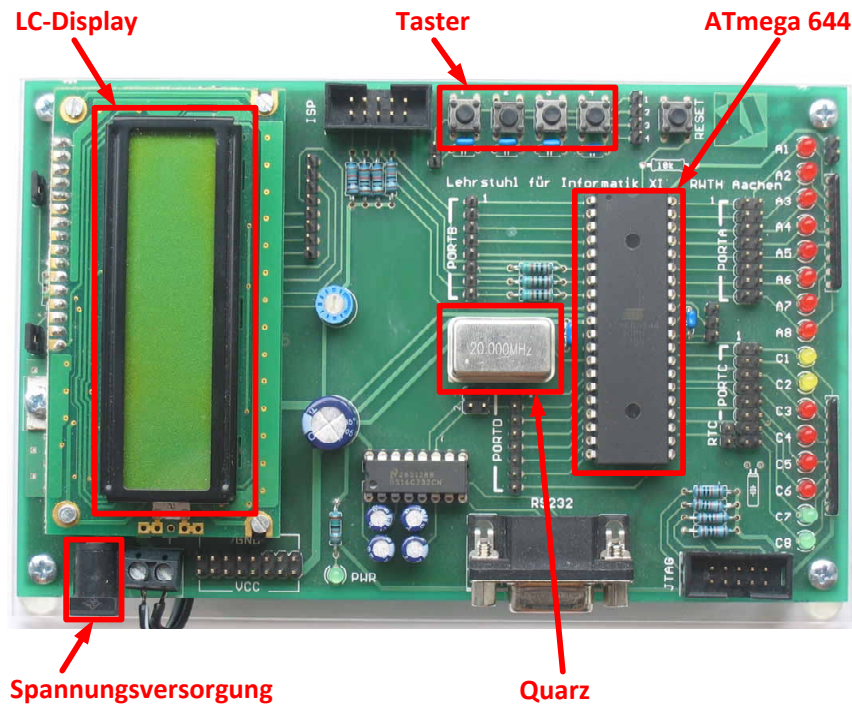


Abbildung 1.7: Das Evaluationsboard des ATmega 644

LC-Display

Zusammen mit den Versuchsunterlagen wird ein Treiber für das LC-Display des Evaluationsboards zur Verfügung gestellt. Dieser Treiber stellt unter anderem die folgende Schnittstelle zur Verfügung:

Befehl	Bedeutung	Beispiel
<code>lcd_init(void)</code>	Initialisierung	<code>lcd_init();</code>
<code>lcd_clear(void)</code>	Löscht das Display. Das nächste Zeichen wird in der ersten Spalte und Zeile ausgegeben.	<code>lcd_clear();</code>
<code>lcd_writeChar(char)</code>	Gibt ein einzelnes Zeichen aus.	<code>lcd_writeChar('!');</code>
<code>lcd_writeNumber(unsigned int)</code>	Gibt eine Ganzzahl ohne führende Nullen aus.	<code>lcd_writeNumber(471);</code>
<code>lcd_writeString(const char*)</code>	Gibt eine Zeichenkette aus.	<code>lcd_writeString("xy");</code>

Simulation

Die Hardware des Mikrocontrollers kann vom internen Simulator des AVR Studio simuliert werden. Die Peripherie, wie z. B. das Display, kann jedoch nicht durch AVR

Studio simuliert werden. Dazu kann das Open-Source-Programm HAPSIM (<http://www.helmix.at/hapsim/>) verwendet werden. HAPSIM kann für dieses Praktikum vor-konfiguriert im L²P-Lernraum heruntergeladen werden. Weitere Informationen zur Simulation sind im dem begleitenden Dokument zum Praktikum Systemprogrammierung zu finden.

Die LCD-Bibliothek kann im Simulationsmodus betrieben werden. Wenn ein Präprozessordefinition mit dem Namen `SIMULATION` existiert und nicht 0 ist, werden, neben simulationsspezifischen Details, die Wartezeiten so skaliert, dass die Ausführungszeit Ihres Programms mit HAPSIM komfortabler ist.

ACHTUNG

Während des Versuchs muss `SIMULATION` auf 0 gesetzt werden, damit das Programm auf dem realen Mikrocontroller korrekt läuft.

Es ist zu beachten, dass weder der AVR-Simulator noch HAPSIM perfekt sind, es also geringfügige Unterschiede zwischen der Simulation und der realen Ausführung gibt. Um Projekte auf der realen Hardware zu testen, sind im RBI-Pool Versuchsboards verfügbar. Außerdem werden regelmäßige Sprechstunden angeboten, zu denen Ihnen die Versuchsboards des Praktikumsraums zur Verfügung stehen.

LERNERFOLGSFRAGEN

- Wie kann das Display gelöscht werden? Wie wird es mit Buchstaben, Zahlen oder Zeichenketten beschrieben?
- Mit welchem `define` kann man zwischen Simulation und Normalbetrieb umschalten?

1.3.3 AD/DA-Wandlung

Dieser Teil der Grundlagen gibt einführende Informationen zum Thema der AD/DA Wandlung. Zunächst wird ein weiteres elektrisches Bauteil, der Operationsverstärker, erläutert. Eine Verschaltungsmöglichkeit des Operationsverstärkers, der Komparator, spielt bei der AD/DA-Wandlung eine wichtige Rolle. Im Anschluss daran werden verschiedene Methoden vorgestellt, eine AD/DA-Wandlung durchzuführen.

Operationsverstärker

Das Verhalten eines Operationsverstärkers (Schaltzeichen in Abbildung 1.8) wird wesentlich durch seine äußere Beschaltung bestimmt. Im Allgemeinen besitzt ein Operationsverstärker zwei Eingänge zur Spannungsversorgung und zwei Eingänge, welche in einer Schaltung verwendet werden können. Der nichtinvertierende Eingang wird mit $+$, der invertierende Eingang mit $-$ bezeichnet. An U_{CC} wird eine positive und an U_{EE} eine negative Betriebsspannung angelegt, die im Regelfall betragsmäßig gleich groß sind. Zur Übersichtlichkeit wird die Verdrahtung der Betriebsspannung in Schaltskizzen meistens weggelassen. Die Spannung, die am Eingang $-$ anliegt, wird mit U_- bezeichnet, die Spannung, die am Eingang $+$ anliegt, nennt man entsprechend U_+ . Die Ausgangsspannung eines Operationsverstärkers heißt U_a und ergibt sich durch:

$$U_a = U_d \cdot G = (U_+ - U_-) \cdot G$$

G wird als Verstärkungsfaktor bezeichnet. U_a ist durch die Betriebsspannungen nach oben und unten begrenzt.

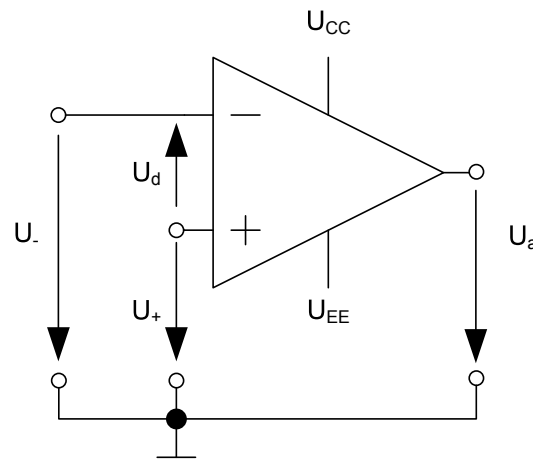


Abbildung 1.8: Schaltzeichen eines Operationsverstärkers inkl. Versorgungsanschlüssen U_{CC} und U_{EE}

LERNERFOLGSFRAGEN

- Wie werden die Eingänge eines Operationsverstärkers bezeichnet?
- Wie werden Operationsverstärker mit Spannung versorgt?

Idealer Operationsverstärker

In vielen Anwendungsfällen wird bei der Berechnung von nötigen Werten vereinfachend von einem idealen Operationsverstärker ausgegangen. Ein idealer Operationsverstärker hat einen unendlich hohen Eingangswiderstand, sodass kein Strom in den Operationsverstärker hineinfließt, und einen Ausgangswiderstand von $0\,\Omega$. Die Ausgangsspannung U_a ist unabhängig von der Belastung.

Bei einem idealen Operationsverstärker ist der Verstärkungsfaktor unendlich groß. Daher ergeben sich die möglichen Ausgangsspannungen durch:

- Gilt $U_+ > U_-$, so ist $U_a = U_{CC}$
- Gilt $U_+ < U_-$, so ist $U_a = U_{EE}$

Realer Operationsverstärker

Ein realer Operationsverstärker erfüllt die Bedingungen des idealen Operationsverstärkers aufgrund von verschiedenen physikalischen und schaltungstechnischen Gegebenheiten nur näherungsweise. Der Verstärkungsfaktor eines realen Operationsverstärkers ist endlich und liegt typischerweise im Bereich von 10^4 bis 10^7 . Außerdem wird U_a durch die maximale positive und negative Betriebsspannung begrenzt. Dadurch ergibt sich die Funktionsweise durch folgende zwei Fälle:

- Gilt $U_+ > U_-$, so ist $U_a = \min\{U_{CC}, (U_+ - U_-) \cdot G\}$
- Gilt $U_+ < U_-$, so ist $U_a = \max\{U_{EE}, (U_+ - U_-) \cdot G\}$

Die Eingangswiderstände sind zwar endlich, aber sehr hoch ($10^6 \dots 10^{12}\,\Omega$). Dementsprechend fließen Ströme im Bereich von typischerweise $10\,\text{nA}$ bis $100\,\mu\text{A}$ in die Eingänge des Operationsverstärkers hinein. Der Ausgangswiderstand eines realen Operationsverstärkers ist nicht konstant, aber in jedem Fall größer als der idealisierte Ausgangswiderstand von $0\,\Omega$.

Im Folgenden wird eine einfache Grundsaltung mit einem Operationsverstärker vorgestellt. Die vereinfachte Darstellung dieser Grundsaltung verwendet den idealen Operationsverstärker.

LERNERFOLGSFRAGEN

- Was sind die Eigenschaften eines idealen Operationsverstärkers?
- Worin unterscheidet sich der reale von einem idealen Operationsverstärker?

Komparator

Der ideale Operationsverstärker hat eine unendlich große Differenzverstärkung. Das bedeutet, dass bei einer sehr kleinen Differenzspannung U_d zwischen den Eingängen, am Ausgang die maximale Spannung anliegt. Im einfachsten Fall dient der Operationsverstärker als Komparator, der für $U_{ref} > U_e$ die positive, für $U_{ref} < U_e$ die negative Betriebsspannung liefert (Abbildung 1.9).

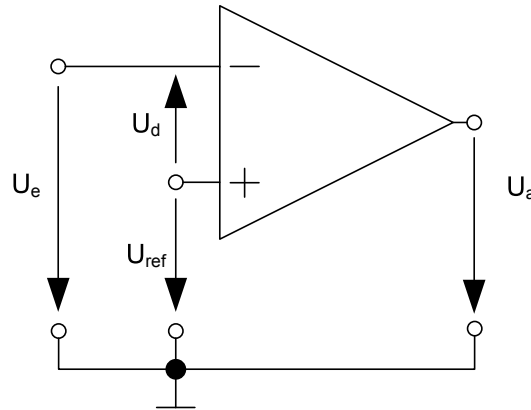


Abbildung 1.9: Komparatorschaltung

AD/DA-Wandler

Ein Digital-Analog-Wandler (DA-Wandler, engl. Digital-to-Analog Converter (DAC)) setzt quantisierte digitale Signale in analoge Signale um. Die einfachste Methode einer DA-Wandlung ist ein R-2R-Netzwerk. Dies ist das einzige in diesem Praktikum genutzte Verfahren. Für weitere DA-Wandlungsverfahren wird auf die Vorlesung *Einführung in die Technische Informatik* verwiesen.

Ein Analog-Digital Wandler (AD-Wandler, engl. Analog-to-Digital-Converter(ADC)) setzt mit unterschiedlichen Methoden analoge (kontinuierliche) Eingangssignale in digitale (diskrete) Daten um. Dabei muss das analoge Spannungssignal sowohl in der Zeit als auch in der Amplitude in diskrete Werte umgesetzt (quantisiert) werden. Um eine Wandlung durchzuführen, benötigt man eine Vergleichsspannung (Referenzspannung), die meist durch eine DA-Wandlung erzeugt wird.

AD/DA-Wandler werden unter anderem in der Messtechnik oder Audio-Video-Verarbeitung eingesetzt. In diesen Anwendungen liegt die Eingangsgröße analog vor und soll in einem digitalen System verarbeitet bzw. gespeichert werden. Ein Beispiel hierfür ist die Aufnahme und Wiedergabe von Musik auf einem Computer.

Zur Umwandlung eines analogen in ein digitales Signal benötigt der Wandler Zeit. Je höher die Umsetzungsgeschwindigkeit des Wandlers ist, desto kürzer ist die für die Wandlung benötigte Zeit und desto mehr Werte können in einem festen Zeitraum umgewandelt werden.

Um ein zeitdiskretes, digitales Signal aus einem kontinuierlichen, analogen Signal zu erzeugen, wird das Ursprungssignal zunächst an festen Zeitpunkten abgetastet. Wenn diese Zeitpunkte zu weit voneinander entfernt liegen, kann der ursprüngliche Signalverlauf nicht mehr aus dem digitalen Signal rekonstruiert werden (Alias-Effekt).

Im Anschluss an die Abtastung müssen die abgetasteten analogen Spannungswerte auf feste Werte gerundet werden. Dieser Vorgang heißt Quantisierung. Die festen Werte heißen Quantisierungsstufen. Je mehr Quantisierungsstufen zur Verfügung stehen, desto geringer ist der auftretende Rundungsfehler und desto genauer wird das ursprüngliche Signal repräsentiert. Die Quantisierungsstufen werden üblicherweise in dem erwarteten Wertebereich des analogen Signals gleichverteilt.

Nach der Abtastung und Quantisierung können die Signalwerte codiert werden, indem jeder Quantisierungsstufe eine Zahl zugeordnet wird. Das analoge, zeitkontinuierliche Ursprungssignal wird durch eine digitale, zeitdiskrete Folge von Zahlen repräsentiert.

Beispiel Bei einem Abstand der Quantisierungsstufen von 20 mV ist die Binärzahl 0b1111011 (dezimal 123) die Codierung einer analogen Spannung von etwa 2,46 V = 123 · 20 mV.

Die wichtigsten Kenngrößen eines AD/DA-Wandlers sind seine Auflösung und die Umsetzungsgeschwindigkeit. Die Umsetzungsgeschwindigkeit gibt an, wie viele Messwerte pro Zeiteinheit abgetastet werden können. Die Auflösung wird in Bits angegeben und bestimmt, wie viele Quantisierungsstufen zur Verfügung stehen. Eine Auflösung von 8 Bit bedeutet beispielsweise, dass $2^8 = 256$ lineare Quantisierungsstufen zur Darstellung existieren. Dies entspricht einer Genauigkeitsgrenze von 0,39 Prozent ($1/256$) bezogen auf den Messbereich.

Im Folgenden werden das R-2R-Netzwerk als DA-Wandler, sowie der Tracking-Wandler und der Sukzessive-Approximation-Wandler als Beispiele für die Realisierung von AD-Wandlern vorgestellt. Es existieren auch weitere Arten von AD/DA-Wandlern (Delta-Sigma, Flash, ...), welche hier jedoch nicht betrachtet werden.

LERNERFOLGSFRAGEN

- Wozu dienen AD/DA-Wandler?
- Was passiert bei der Abtastung eines Signals?
- Was passiert bei der Quantisierung eines Signals?
- Welche sind die wichtigsten Kenngrößen von AD/DA-Wandlern?

R-2R-Netzwerk

Das R-2R-Netzwerk ist ein einfacher Digital-Analog-Wandler, bestehend aus nur zwei verschiedenen Arten von Widerständen der Größen R und $2R$. Abbildung 1.10 zeigt die Verschaltung eines n Bit R-2R-Netzwerks. Der Aufbau ist sogar mit identischen Widerständen möglich: Dabei können durch Reihen- oder Parallelschaltung von Bauelementen beide Widerstandswerte erreicht werden. An den Eingängen b_0, \dots, b_{n-1} liegt zur Darstellung einer digitalen Eins die Betriebsspannung an, zur Darstellung einer digitalen Null werden die Eingänge auf Masse gelegt. Durch unterschiedliche Beschaltung der Eingänge kann die analoge Ausgangsspannung U_a variiert werden.

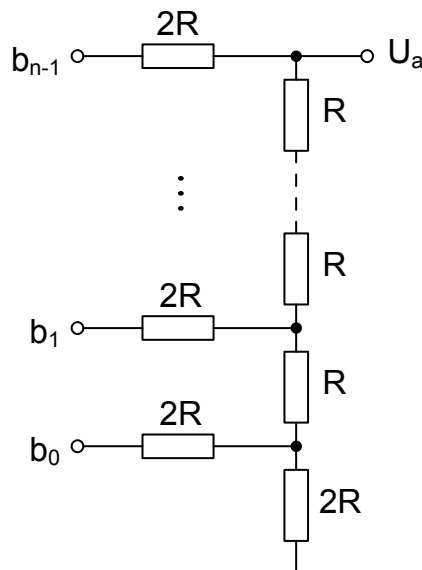


Abbildung 1.10: R-2R Widerstandsnetzwerk

LERNERFOLGSFRAGEN

- Wie groß sind die kleinsten einstellbaren Spannungsschritte?
- Durch welche Größen ist der Ausgangswertebereich definiert?

Tracking-Wandler

Der Tracking-Wandler ist ein Analog-Digital-Wandler, der zum Vergleich auf eine vom DA-Wandler erzeugte Referenzspannung zurückgreift. Der interne Aufbau eines Tracking-

Wandlers ist in Abbildung 1.11 dargestellt. Der aktuelle digitale Spannungswert wird mit der zu messenden Spannung mit einem Komparator verglichen. Ist die Messspannung höher als die Referenzspannung, inkrementiert ein Up-Down-Counter eine n-Bit-Variable, andernfalls wird die Variable dekrementiert. Die Wandlung gilt als abgeschlossen, wenn die Referenzspannung die Messspannung über- bzw. unterschritten hat. Die n-Bit-Variable wird von dem DA-Wandler in einen analogen Spannungswert umgewandelt und dient als neue Referenzspannung. Da der Tracking-Wandler im schlimmsten Fall 2^n Schritte benötigt, eignet er sich nicht zur Messung von schnellen Spannungsänderungen.

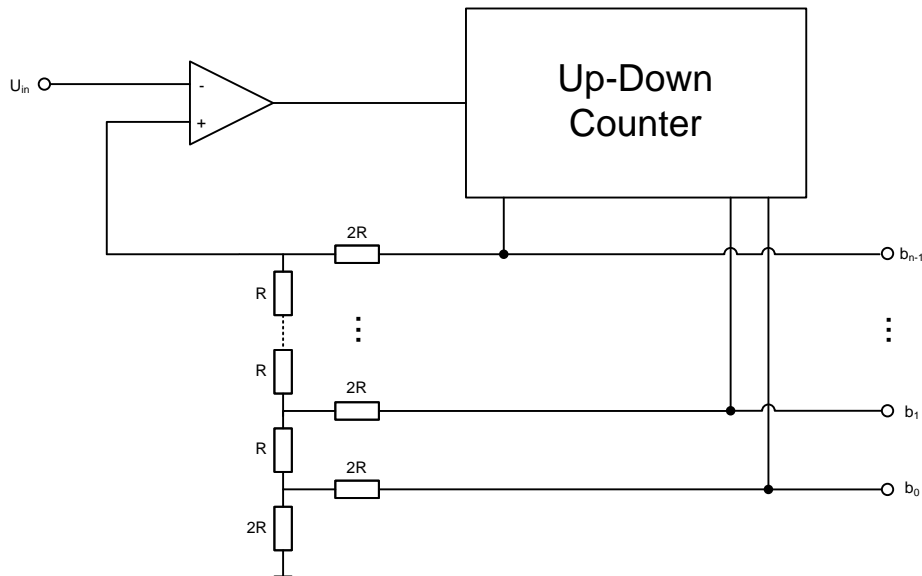


Abbildung 1.11: Tracking-Wandler

LERNERFOLGSFRAGEN

- In welchen Fällen benötigt der Tracking-Wandler besonders viele und in welchen wenigen Schritte?

Sukzessive-Approximation-Wandler

Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung einer Analog-Digital-Wandlung ist die sukzessive Approximation. Dabei wird anstatt eines Up-Down-Counters ein Sukzessive-Approximations-Register (SAR, Abbildung 1.12) verwendet. Es werden stets n Schritte für

eine komplette Wandlung benötigt. Die Funktionsweise des SAR zeigt Abbildung 1.13 für einen 3 Bit-Wandler. Im ersten Schritt wird testweise das höchste Bit gesetzt. Ist die Messspannung größer (Komparator $K = 0$), als die Referenzspannung, wird die Eins beibehalten, andernfalls ($K = 1$) wird das Bit auf Null zurückgesetzt. Danach wird genauso mit dem folgenden, niedrigerwertigen Bit verfahren, bis alle Bits überprüft wurden.

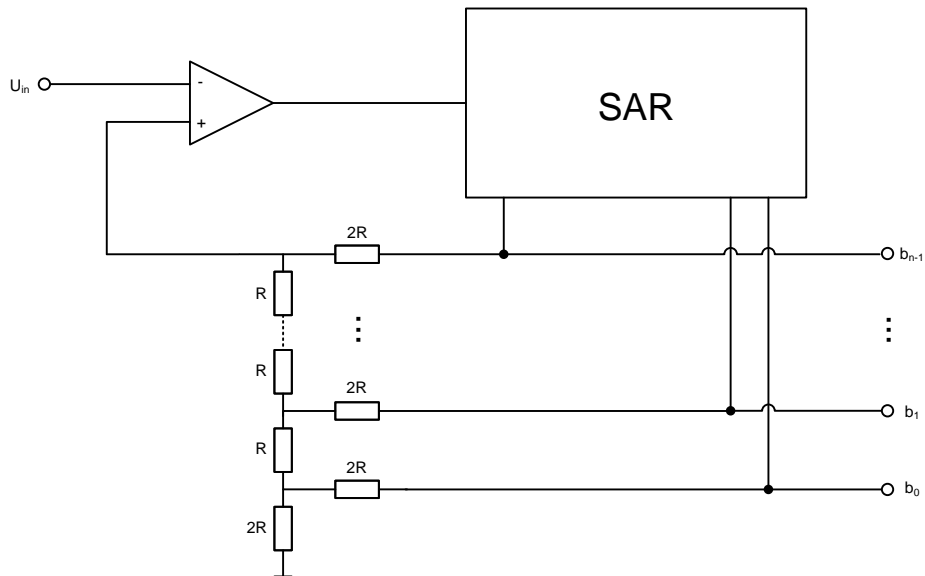


Abbildung 1.12: Sukzessive-Approximation-Wandler

LERNERFOLGSFRAGEN

- Warum wird zuerst das höchstwertige Bit testweise gesetzt?
- Benötigt ein Sukzessive-Approximation-Wandler immer weniger Schritte als ein Tracking-Wandler?

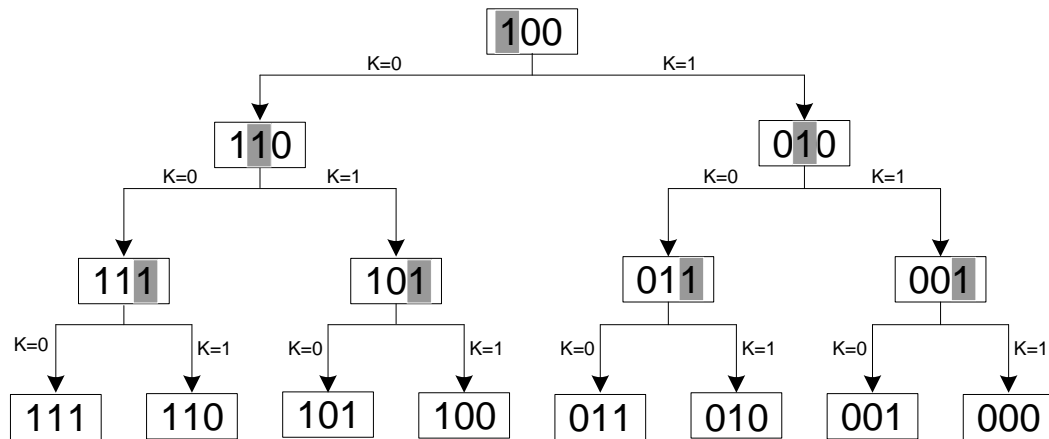


Abbildung 1.13: SAR Entscheidungsbaum für $n = 3$ (K ist das Ergebnis des Komparators)

1.4 Hausaufgaben

1.4.1 Allgemeines

1. Lesen und verstehen Sie die folgenden Dokumente, welche im L²P-Lernraum des Praktikums verfügbar sind:

- Das *Grundlagenkapitel* dieses Dokuments
- Das Dokument *Bedienungsanleitungen und Sicherheitshinweise*. Dieses Dokument stellt Ihnen die Bedienung des Multimeters, des Oszilloskops und der Spannungsquelle vor und enthält wichtige Sicherheitshinweise.
- Das *begleitende Dokument für das Praktikum Systemprogrammierung*. Dieses Dokument enthält alle Informationen, die sie für den Einstieg in die C-Programmierung eines Mikrocontrollers benötigen.

Wenn Sie Fragen haben, können sie diese im Gemeinsamen Bereich im L²P-Lernraum stellen

2. Während der Versuchsdurchführung werden Sie Messdaten protokollieren müssen. Bereiten Sie die Protokollierung vor. Skizzieren Sie, falls notwendig, dabei auch den Schaltungsaufbau.

ACHTUNG

Die Zeit, die Ihnen während des Versuchstermins zur Verfügung stehen wird, reicht nicht aus, um die Protokollierung unvorbereitet vorzunehmen oder um die Schaltungen zu skizzieren.

1.4.2 Aufgaben zu Widerstand und Diode

Die Hausaufgaben zu Widerstand und Diode dienen der Vorbereitung auf die Aufgaben, die Sie während des Versuchstermins bearbeiten werden.

Spannung an einem ohmschen Widerstand

Die Schaltung aus dem Schaltbild in Abbildung 1.14 sei gegeben.

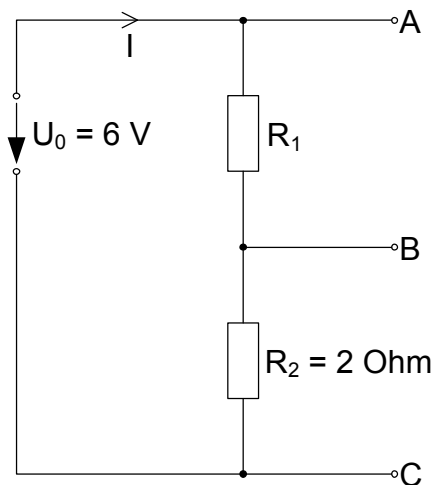


Abbildung 1.14: Spannungsteiler

Überlegen und notieren Sie, wie die Spannung über dem Widerstand R_1 mit einem Multimeter gemessen wird. Gehen Sie dabei darauf ein, wie das Multimeter verschaltet und eingestellt werden muss.

Spannungsteiler

Wie ist in der Schaltung aus Abbildung 1.14 der Widerstand R_1 zu wählen, damit 5 V zwischen den Klemmen A und B abfallen?

Stromfluss durch einen ohmschen Widerstand

Alle folgenden Aufgabenpunkte beziehen sich auf die Schaltung aus Abbildung 1.14.

1. Wie würden Sie den Strom durch R_1 mit dem Multimeter messen? Wie würden Sie den Strom durch R_2 messen? Wie groß ist die Stromdifferenz zwischen den Widerständen?
2. Entwerfen Sie ein einfaches Schaltbild mit einer Spannungsquelle ($U_0 = 6\text{ V}$) und zwei Widerständen R_1 und R_2 , so dass an beiden Widerständen je 6 V abfallen.
3. Wählen Sie die Größe der Widerstände in Ihrem Schaltbild so, dass in Ihrer Schaltung ein Strom von $\frac{I_{ges}}{4}$ durch R_1 fließt. Dazu können Sie die Größe eines Widerstandes beliebig wählen.
4. Geben Sie die Farbcodierung dieser Widerstände an.

Knotenregel

1. Formulieren Sie kurz das 1. Kirchhoffsche Gesetz *in eigenen Worten*.
2. Gegeben sei die Schaltung 1.15. Stellen Sie mittels der Knotenregel eine Gleichung für den Knoten K_1 auf.

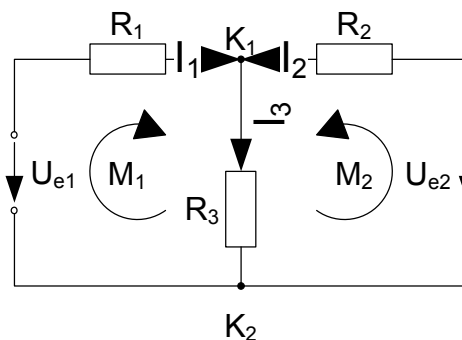


Abbildung 1.15: Kirchhoffsche Regeln

Maschenregel

1. Formulieren Sie kurz das 2. Kirchhoffsche Gesetz *in eigenen Worten*.
2. Stellen Sie mittels der Maschenregel für jede der beiden Maschen aus Abbildung 1.15 je eine Gleichung auf. Die Umlaufrichtungen sind durch die Abbildung gegeben.

Strom- und Spannungsteiler

1. Machen Sie sich mit der Funktionsweise und den Sicherheitshinweisen des Multimeters und der Spannungsquelle vertraut.
2. Für den Versuch benötigen Sie einen Widerstand der Größe $3\text{ k}\Omega$ (R_1), einen Widerstand der Größe $1,5\text{ k}\Omega$ (R_2), einen Widerstand der Größe $1\text{ k}\Omega$ (R_3) und einen Widerstand der Größe $2\text{ k}\Omega$ (R_4). Ihnen stehen aber nur die Teile aus der Materialliste (siehe 1.5.1) zu Verfügung. Geben Sie an, wie Sie diese Bauteile kombinieren können, um die benötigten Widerstände zu erhalten.
3. Erstellen Sie ein Schaltbild für die folgende Situation: Die Widerstände R_1 , R_2 , R_3 , R_4 sollen miteinander zu einem neuen Widerstand R_0 verschaltet und dieser an die Spannungsquelle angeschlossen werden. R_0 besteht aus der Reihenschaltung von R_1 mit R_p . Dabei bezeichnet R_p die Parallelschaltung von R_2 mit R_s . R_s wiederum ist die Reihenschaltung von R_3 und R_4 .
4. Berechnen Sie mit einem Ihnen geeignet erscheinenden Verfahren, welche Spannungen über den R_i mit $i \in \{1,2,3,4\}$ abfallen, wenn die Schaltung durch eine Spannungsquelle von 6 V gespeist wird.

1.4.3 Aufgabe zur Einführung in den ATmega 644

In dieser Aufgabe sollen Sie sich mit dem Erzeugen von Projekten im AVR Studio vertraut machen. Dazu sollen Sie ein Programm für den ATmega 644 entwickeln, welches auf dem LC-Display die Zeichenkette „Hallo Welt!“ ausgibt. Für diese Aufgabe steht Ihnen im L²P-Lernraum ein Treiber für das Display zur Verfügung.

Legen Sie dazu zunächst ein neues Projekt an, wie im begleitenden Dokument für das Praktikum Systemprogrammierung beschrieben wird. Fügen Sie eine `main`-Funktion hinzu, welche die folgenden Schritte durchführt:

1. Zunächst das Display bzw. den LCD-Treiber initialisieren.
2. Mit Hilfe des LCD-Treibers die Zeichenkette „Hallo Welt!“ auf dem Display ausgeben.
3. 500 ms warten.
4. Die letzten beiden Schritte in einer Endlosschleife wiederholen.

Benutzen Sie zum Warten die Delay-Funktionen aus der Bibliothek `util/delay.h`. Diesen Header müssen Sie dazu in Ihr Projekt einbinden. Er stellt dann folgende Funktionen zur Verfügung:

- `void _delay_us(double __us)`
- `void _delay_ms(double __ms)`

Um das Projekt kompilieren zu können, müssen Sie außerdem die LCD-Routinen zu Ihrem Projekt hinzufügen. Die benötigten Dateien (`lcd.h`, `lcd_customchars.h` und `lcd.c`) finden Sie im L²P-Lernraum. Um diese einzubinden, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf den Ordner „Source Files“ bzw. „Header Files“ im Projektbrowser der Entwicklungsumgebung, und wählen „Add Existing Source/Header Files“.

Wichtig: Denken Sie daran, die Header des LCD-Treibers in Ihre C-Datei einzubinden. Weitere Informationen zum Einbinden von Headern finden Sie im Begleitenden Dokument für das Praktikum Systemprogrammierung.

1.4.4 Aufgaben zur AD/DA-Wandlung

Für diesen Aufgabenteil wird Ihnen im L²P-Lernraum ein minimales Codegerüst zur Verfügung gestellt. Implementieren Sie darin

1. einen Sukzessive-Approximation-Wandler
2. einen Tracking-Wandler

Die nötigen Stellen sind im Codegerüst mit TODO-Aufgaben markiert. Die verwendeten Anschlüsse des ATmega 644 sind am Ende der Versuchsunterlagen als Tabelle aufgeführt. Das LC-Display aus der Aufgabe 1.4.3 wird für diese Aufgabe nicht verwendet. Achten Sie auf korrekte Initialisierung aller verwendeten Register.

Es ist notwendig, nach jedem Setzen des `PORTB` (R-2R-Netzwerk) eine gewisse Zeit zu warten, da der Operationsverstärker langsamer ist, als die Ausführungsgeschwindigkeit des Mikrocontrollers. Wählen Sie zunächst eine Wartezeit von 50 Millisekunden um die Wandlung auf dem Oszilloskop zu verfolgen.

Für den Komparatorausgang an Pin C0 gilt:

- $U_{REF} < U_{MESS} \implies \text{Pin C0} = 0$
- $U_{REF} > U_{MESS} \implies \text{Pin C0} = 1$

Am zweiten Pin von `PORTC` wird im Versuch ein Taster angeschlossen werden (siehe auch Tabelle 1.6). Implementieren Sie ihre AD/DA-Wandler so, dass dieser erst nach einem Druck auf den Taster zu arbeiten beginnen. Außerdem werden an `PORTA` einige LEDs angeschlossen. Geben Sie die Eingangssignale des R-2R-Netzwerkes auf diesen aus.

ACHTUNG

Die in den Aufgaben zur Einführung in den ATmega 644 und zur AD/DA-Wandlung erstellten Projekte für den ATmega 644 müssen inklusive aller Dateien **24 Stunden vor Versuchsbeginn** mit Hilfe des Uploadformulars auf den Server des Lehrstuhls geladen werden. Dabei muss der Quelltext **ohne Fehler oder Warnungen** kompilieren und die Funktionalität der Hausaufgabe enthalten. Die für den Versuch angesetzte Anwesenheitszeit wird nicht ausreichen, um alle Aufgaben zu programmieren. Daher besteht die Verpflichtung, die Aufgaben zu Hause vorzubereiten, wie es in den Praktikumsrichtlinien gefordert wird.

1.5 Präsenzaufgaben

1.5.1 Material für diesen Versuch

Materialliste

- Spannungsquelle Voltcraft PS 303 Pro
- Multimeter PeakTech 3340 + 2 Messleitungen
- Oszilloskop Voltcraft 630-2 + 2 Tastköpfe
- 1 Steckbrett
- 3 Widerstände à 1,5 k Ω
- 3 Widerstände à 1,0 k Ω
- 1 Diode 1N4002
- Verbindungskabel
- Mikrocontroller-Experimentierboard + Steckernetzteil + JTAG-Programmer
- DAC/ADC-Versuchsplatine
- Verbindungskabel Netzgerät \leftrightarrow DAC/ADC-Platine (Messspannung)

Steckbrett

Ein Steckbrett erlaubt es, Schaltungen schnell und kostengünstig aufzubauen, zu testen und wieder zu ändern. Auf Grund dieser Eigenschaften werden Steckbretter unter anderem bei der Evaluation von Schaltungen verwendet. Jeweils mehrere benachbarte Steckplätze auf dem Brett sind auf der Unterseite miteinander verbunden. Die je fünf Plätze einer Zeile der mit A-E bzw. F-J beschrifteten Spalten sind miteinander leitend verbunden. Außerdem sind die je 50 Steckplätze einer Spalte auf den zwei schmalen äußeren und den zwei schmalen inneren Spalten mit den Beschriftungen + und - leitend verbunden. In der Abbildung 1.16 sind exemplarisch einige der verbundenen Steckplätze durch Linien gekennzeichnet. Aus Gründen der Übersicht sind in den Spalten nicht alle waagerechten Verbindungen eingezeichnet.

1.5.2 Versuche zu Widerstand und Diode

Kennlinien

1. Stellen Sie Ihre Spannungsquelle so ein, dass der Strom auf 500 mA begrenzt wird und lassen Sie die Strombegrenzung von einem Betreuer abnehmen.

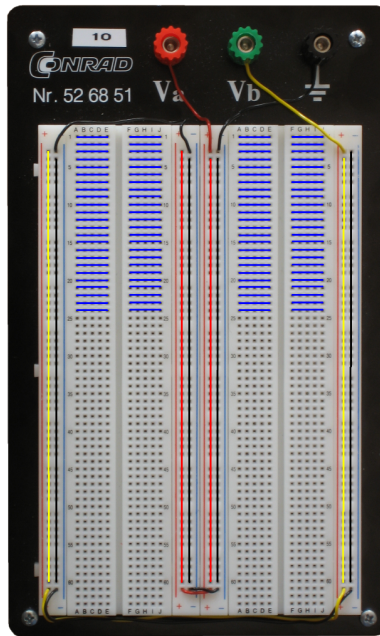


Abbildung 1.16: Steckbrett

2. Bauen Sie die Schaltung gemäß Abbildung 1.17 auf, mit der sie die Kennlinie einer Diode in Durchlassrichtung ermitteln können. Lesen Sie für die Messung wiederholt U_F und I_F (F wie *Forward Current*) ab, wobei die Eingangsspannung U_{ges} schrittweise zwischen den Messungen erhöht werden soll. Verwenden Sie zur Messung von I_F das Multimeter. Die Spannung U_{ges} kann direkt an der Spannungsquelle abgelesen werden.

Es genügt, je zwei Messwerte im Sperr- und im Durchlassbereich, sowie einen Messwert im Grenzbereich aufzunehmen.

ACHTUNG

Gehen Sie in kleinen Schritten vor, I_F steigt plötzlich an! I_F sollte 500 mA nicht übersteigen! Benutzen Sie die 20 A-Einstellung des Multimeters zur Strommessung und stellen Sie eine entsprechende Strombegrenzung an der Stromquelle ein, da es sonst dazu kommen kann, dass bei plötzlichem Stromanstieg die Sicherung des Multimeters durchbrennt.

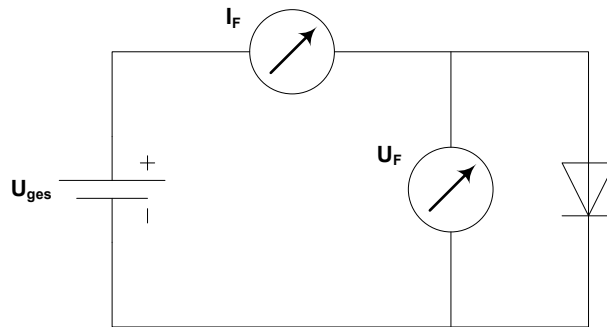


Abbildung 1.17: Schaltungsaufbau zur Ermittlung der Kennlinie einer Diode.

HINWEIS

Grundsätzlich muss in den Versuchsaufbauten, die Stärke des Stroms, der durch die Diode fließt, beschränkt werden, da Dioden in Durchlassrichtung nur einen geringen Eigenwiderstand haben. So wird sichergestellt, dass die Diode im Falle eines Durchbruchs nicht zerstört wird. Dazu muss ein ohmscher Widerstand in den Stromkreis eingebracht werden. Auf einen begrenzenden Widerstand kann nur verzichtet werden, wenn der Strom langsam und vorsichtig erhöht wird.

Strom- und Spannungsteiler

1. Bauen Sie die in Aufgabe 1.4.2 erläuterte Schaltung auf dem Steckbrett auf. Bevor Sie die Spannungsquelle mit der Schaltung verbinden, stellen Sie die Spannung auf 6 V ein und begrenzen Sie den Strom auf 200 mA.
2. Versuchen Sie, ihre Berechnungen aus der Hausaufgabe mit Hilfe von Spannungsmessungen zu bestätigen.
3. Messen Sie die Ströme durch die Widerstände R_i mit Hilfe des Multimeters. Überlegen Sie sich vorher, welche Ströme Sie erwarten, um den entsprechenden Messbereich am Messgerät einzustellen.

ACHTUNG

Denken Sie an die Sicherheitshinweise! Am Multimeter befindet sich eine Sicherheitsblende, die ein falsches Einstecken der Messköpfe verhindern soll. Wird der Messbereich verstellt, während die Köpfe im Gerät stecken, kann die Blende nicht ihre Position ändern und wird bei zu großer Gewalt zerstört! Ziehen Sie deshalb immer die Messleitungen aus dem Multimeter, bevor Sie den Messbereich am Multimeter verstellen!

1.5.3 Versuche zur Einführung in den ATmega 644

Stellen Sie zunächst sicher, dass das LC-Display an den Port A des Mikrocontrollers angeschlossen ist. Ändern Sie die Einstellungen Ihres Projekts dahingehend, dass dieses nicht im Simulator, sondern auf dem Mikrocontroller ausgeführt wird und stellen Sie Ihr Programm um, indem Sie die Präprozessordefinition `SIMULATION` auf 0 setzen.

Stellen Sie sicher, dass der *JTAG Programmer* (Abb. 1.18) eingeschaltet ist (Abb. 1.19) und mit dem Versuchsboard verbunden ist (Abb. 1.20). Übertragen Sie dann das Programm wie im begleitenden Dokument für das Praktikum Systemprogrammierung beschrieben auf den Mikrocontroller.

Nach der Ausführung des Programms sollte der Text „Hallo Welt!“ auf dem Display zu lesen sein.

1.5.4 Versuche zur AD/DA-Wandlung

Die Versuchsplatine aus Abbildung 1.21 ermöglicht es, einen AD-Wandler wie beispielsweise den Tracking-Wandler oder den Sukzessive-Approximation-Wandler umzusetzen (vgl. Abbildungen 1.11 und 1.12). Beide Verfahren (Tracking und Sukzessive-Approximation) werden auf dem Mikrocontroller implementiert.

Auf der DAC/ADC-Platine befindet sich ein 8 Bit DA-Wandler in Form eines R-2R-Netzwerks. Die Platine ist so konstruiert, dass sie auf das Evaluationsboard aufgesetzt werden kann und somit den Ein- und Ausgängen des Mikrocontrollers verbunden ist. Die Eingänge des R-2R-Netzwerks (DA-Wandler) sind über die Platine mit dem Mikrocontroller-Board an PORTB verbunden (s. Abbildung 1.22) und können darüber angesteuert werden. Die Spannungspegel, die der Mikrocontroller liefern kann, betragen 5 V (high) und 0 V (low).

Der Pin C0 an PORTC zeigt den Status des Ausgangs des Operationsverstärkers an und wird durch die `COMP_OUT`-LED (Markierung 5 in Abbildung 1.22) auf der Versuchsplatine wiedergegeben. Die `COMP_OUT`-LED leuchtet, wenn $\text{Pin C0} = 1$. Die DAC/ADC-Platine benötigt eine Versorgungsspannung die mindestens 1,5 V höher liegt als die zu vergleichenden Spannungen, da sonst eine fehlerfreie Messung nicht möglich ist. Damit nur ein Steckernetzteil benötigt wird, geschieht die Spannungsversorgung des Mikrocontrollerboard über die Versuchsplatine. Des Weiteren befinden sich auf der Platine

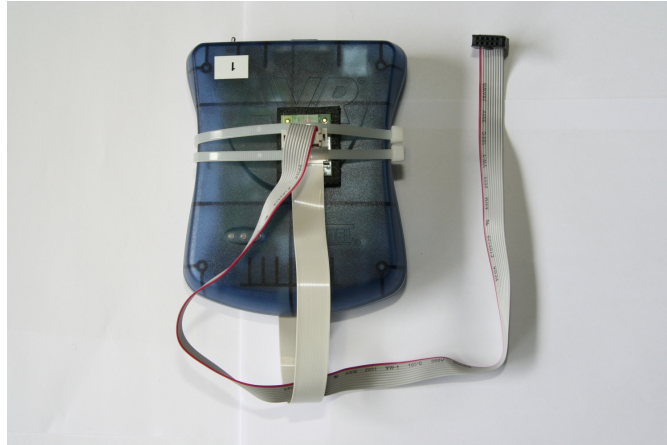


Abbildung 1.18: JTAG Programmer ohne Strom

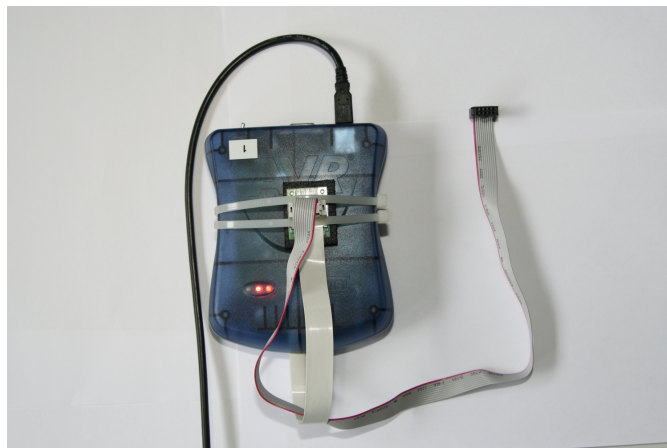


Abbildung 1.19: eingeschalteter JTAG Programmer

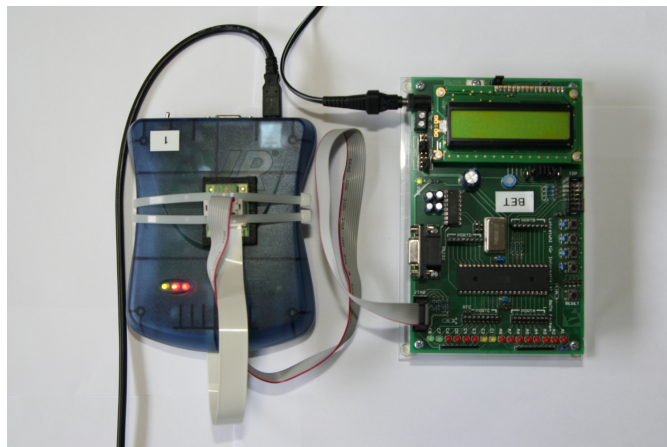


Abbildung 1.20: korrekt verbundener JTAG Programmer

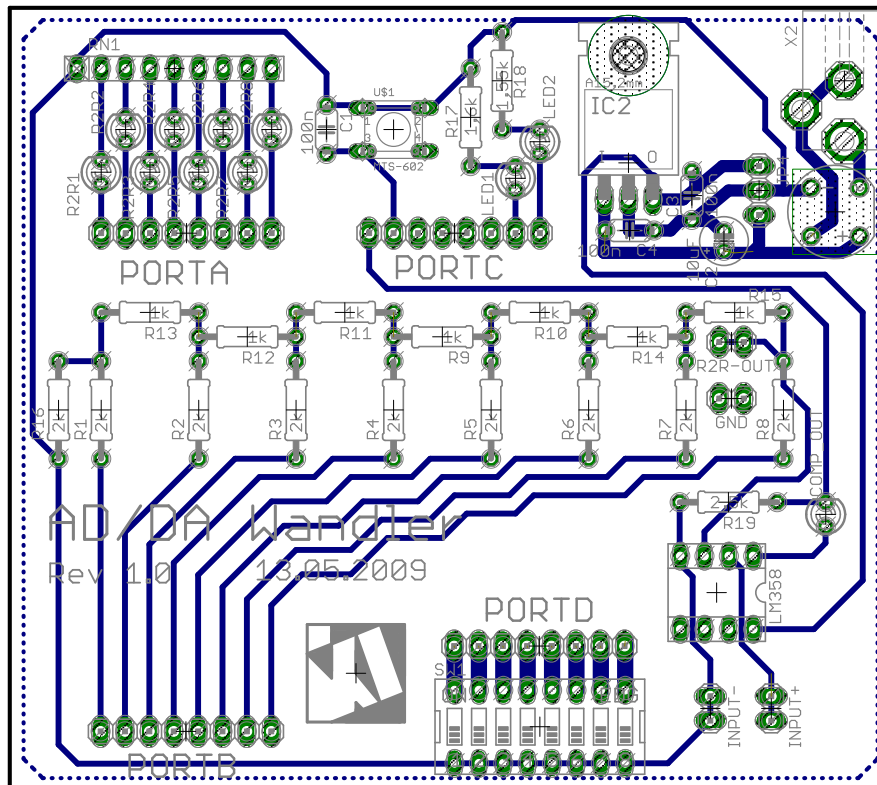


Abbildung 1.21: DAC/ADC-Versuchsplatine

einige Dioden und Kondensatoren, die dem Schutz und der Versorgung der DAC/ADC-Platine dienen.

ACHTUNG

Lassen Sie jede Schaltung von einem Betreuer abnehmen, bevor Sie die Spannung einschalten!

Gehen Sie wie folgt vor:

- Schließen Sie die ADC/DAC-Platine über das Steckernetzteil an die abgeschaltete Spannungsversorgung an (Markierung 1 in Abbildung 1.22).
- Schließen Sie den Buchsenstecker, der an der ADC/DAC-Platine befestigt ist an das Experimentierboard an (Markierung 2 in Abbildung 1.22).
- Stellen Sie den Ausgang A des Netzgeräts auf 0 V ein. Schalten Sie das Netzgerät wieder aus.

- Verbinden Sie "+" von Output A mit "Input +" (Markierung 3 in Abbildung 1.22) auf der Platine. Verbinden Sie "-" von Output A mit "Input -" (Markierung 4 in Abbildung 1.22) auf der Platine. Bei dieser Spannung handelt es sich um die zu messende Spannung.

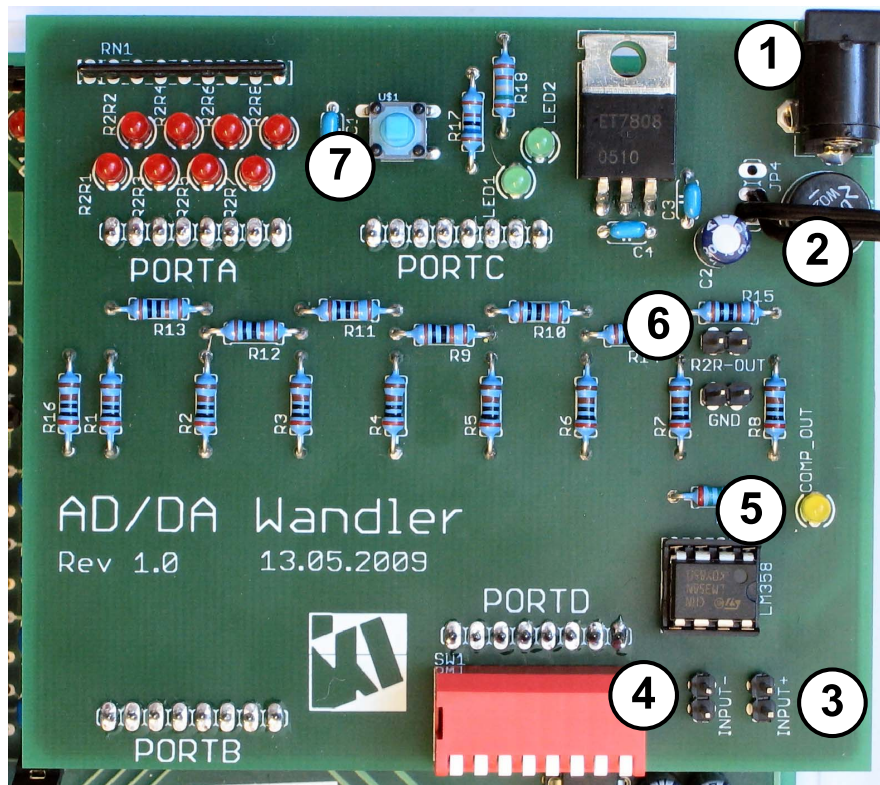


Abbildung 1.22: Auf ein Evaluationsboard aufgesteckte AD/DA-Platine

Überprüfung des R-2R-Netzwerks

Im ersten Versuch soll die Funktionalität des R-2R-Netzwerks überprüft werden. Implementieren Sie dazu eine Funktion zur manuellen Ansteuerung der AD/DA-Platine. In dieser Funktion sollen die Schiebeschalter, die an PORTD liegen, intern im Mikrocontroller auf PORTB (das R-2R-Netzwerk) umgeleitet werden. Wie auf Ein- und Ausgänge zugegriffen werden kann, entnehmen Sie bitte dem *begleitenden Dokument zum Praktikum Systemprogrammierung* im L²P-Lernraum. Legen Sie an PORTA ebenfalls die Eingangssignale von PORTD, um an den Leuchtdioden überprüfen zu können welche Bitkombination aktiv ist.

Messen Sie mit dem Multimeter die fünf unten angegebenen Schalterstellungen und notieren Sie jeweils die Ausgangsspannung. Verwenden Sie dafür Messpunkt R2R-OUT

Eingabe (MSB ... LSB)	gemessene Spannung / V
00000000	
00011001	
01100101	
01111111	
11111111	

(Markierung 6 in Abbildung 1.22) und für die Masse Messpunkt GND (Markierung 4). Schalten Sie nach der Messung das Netzgerät wieder aus. Wie genau ist die Wandlung? Wie groß ist die maximal bzw. minimal erzeugbare Spannung?

Überprüfung des Komparators

Verbinden Sie die Ausgangsspannung des DA-Wandlers (R2R-OUT) mit Kanal 1 und die zu messende Spannung (input, +) mit Kanal 2 des Oszilloskops. Um eine korrekte Darstellung zu erhalten, müssen beide Kanäle zunächst auf Ground geschaltet werden, um das gemeinsame Groundlevel einzustellen. Schalten Sie dann das Netzgerät wieder ein und überprüfen Sie die Funktion des Komparators anhand verschiedener Schalterstellungen und dem entsprechenden Zustand der COMP_OUT-LED (Komparator-Ausgang).

SAR-Wandler

Testen Sie den Sukzessive-Approximation-Wandler, den Sie zu Hause programmiert haben. Überprüfen Sie auf geeignete Art die Funktionsweise. Die Wandlung soll erst nach Tastendruck ausgeführt werden. Der Taster befindet sich an PORTC an Pin C1. (Markierung 7 in Abbildung 1.22)

Tracking-Wandler

Testen Sie den Tracking-Wandler, den Sie zu Hause programmiert haben. Überprüfen Sie auf geeignete Art die Funktionsweise. Die Wandlung soll erst nach Tastendruck ausgeführt werden. Was fällt Ihnen im Vergleich zum Sukzessive-Approximations-Wandler auf?

1.6 Pinbelegung

Port	Pin	Belegung
PORTA	1	LED für Wandlungsergebnis (Bit 1)
	2	LED für Wandlungsergebnis (Bit 2)
	3	LED für Wandlungsergebnis (Bit 3)
	4	LED für Wandlungsergebnis (Bit 4)
	5	LED für Wandlungsergebnis (Bit 5)
	6	LED für Wandlungsergebnis (Bit 6)
	7	LED für Wandlungsergebnis (Bit 7)
	8	LED für Wandlungsergebnis (Bit 8)
PORTB	1	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	2	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	3	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	4	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	5	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	6	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	7	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
	8	R-2R-Netzwerk (Ausgabe Steuersignale)
PORTC	1	Eingang für das Ergebnis des Komparators
	2	Button (Eingabe)
	3	Reserviert für JTAG
	4	Reserviert für JTAG
	5	Reserviert für JTAG
	6	Reserviert für JTAG
	7	LED1 (LED zur freien Verfügung)
	8	LED2 (LED zur freien Verfügung)
PORTD	1	Schiebeschalter 1 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	2	Schiebeschalter 2 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	3	Schiebeschalter 3 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	4	Schiebeschalter 4 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	5	Schiebeschalter 5 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	6	Schiebeschalter 6 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	7	Schiebeschalter 7 (Eingabe für manuelle Wandlung)
	8	Schiebeschalter 8 (Eingabe für manuelle Wandlung)

Pinbelegung für die AD/DA-Wandlung.