



HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Labor für Grundlagen der Elektrotechnik

Elektrotechnisch-physikalische Grundlagen für Technische Informatik

Versuch 1

Multimeter

Verantwortlicher		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Weitere Gruppenmitglieder		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Versuchstag

Dozent

Testat [vom Dozenten auszufüllen]

In diesem Versuch sollen die Teilnehmer

- den Aufbau eines Multimeters kennen lernen.
- erkennen, dass der Innenwiderstand eines Multimeters vom gewählten Messbereich abhängt.
- die Erweiterung des Spannungs- bzw. Strom-Messbereiches kennen lernen.

1 Grundlagen

Im Rahmen von Entwurf, Prüfung und Wartung elektrischer und elektronischer Gerätschaften müssen immer wieder verschiedene elektrische Größen wie Strom, Spannung und Widerstand gemessen werden. Um nicht eine Vielzahl verschiedener Messgeräte für unterschiedliche Messgrößen und Wertebereiche bereithalten zu müssen, werden hier Multimeter (Vielfachmessgeräte) eingesetzt. Dieser Versuch zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen Gerätes und seine Anwendung.

Zur Durchführung der Messung muss der zu messende Strom bzw. die zu messende Spannung das Messgerät beeinflussen. Dadurch entzieht das Messwerk der elektrischen Anordnung, an der gemessen wird, Energie und verfälscht damit in der Regel das Messergebnis geringfügig.

In diesem Versuch beschränken wir uns auf den Aufbau von Multimetern mit digitalem Messwerk. Dies ist ein Spannungsmesser. Es fließt dabei praktisch kein Strom durch das Messwerk. Der Eingangswiderstand des Messwerkes liegt typisch oberhalb von $10^{12} \Omega$.

1.1 Einstellen des Spannungsmessbereiches

Jedes Messwerk hat einen begrenzten Messbereich. Das hier im Versuch betrachtete Messwerk soll Spannungen zwischen 0 V und $|U_{max}| = 199,9 \text{ mV}$ messen und deren Vorzeichen (Polarität) anzeigen können. Dabei beträgt die kleinste feststellbare Spannungsänderung (die Auflösung) 0,1 mV. Wird eine Spannung von betragsmäßig mehr als 199,9 mV angelegt, zeigt das Messwerk einen „Überlauf“ an. Um das zu vermeiden und höhere Spannungen bestimmen zu können, wird dem Messwerk ein Spannungsteiler vorgeschaltet. Die Abb. 1 zeigt ein Spannungsmessgerät mit einstellbarem Messbereich als Schaltbild. Die angegebenen Widerstandswerte sollen als Beispiel betrachtet werden. Folgende vier Messbereiche können betragsmäßig eingestellt werden:

- 0 .. U_{max} ,
- 0 .. $10^* U_{max}$,
- 0 .. $100^* U_{max}$,
- 0 .. $1000^* U_{max}$.

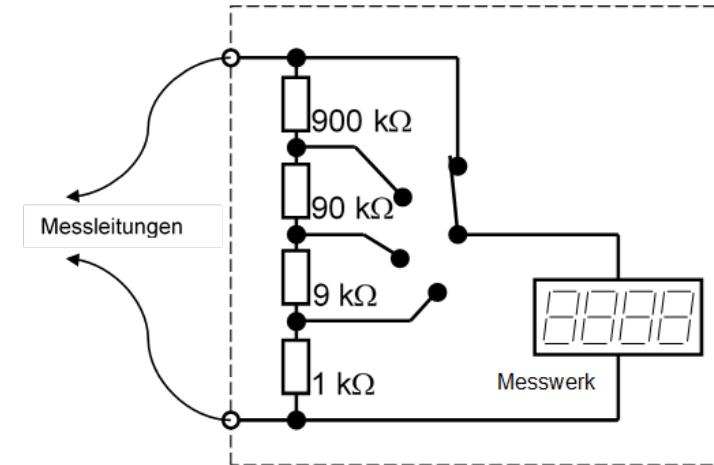


Abb. 1: Schaltung eines Spannungsmessers mit vier wählbaren Messbereichen

Die Abb. 2 zeigt den Aufbau der Schaltung aus Abb. 1, wie sie in LTSpice simuliert werden soll. Dafür wird Ihnen die Datei „V1 Spannungsmesser.asc“ zur Verfügung gestellt.

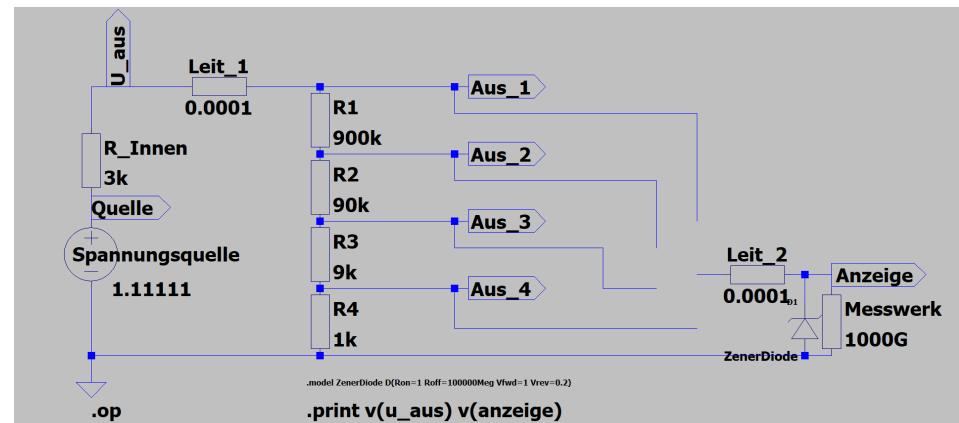


Abb. 2: LTSpice-Schaltung des Spannungsmessers mit vier wählbaren Messbereichen

Die Auswahl des Messbereiches erfolgt hier durch das Einzeichnen einer Verbindungslinie zwischen einem der Ausgänge (Aus_1 ... Aus_4) des Spannungsteilers und dem freiliegenden Anschluss des Widerstandes Leit_2 im LTSpice-Schaltplan. Dazu wird in der oberen Menuleiste von LTSpice das



Stiftsymbol angeklickt und anschließend mittels linker Maustaste und Maus (bzw. Touchpad) eine Verbindung an der gewünschten Stelle im Schaltplan eingezeichnet. Zur Änderung des



Messbereiches wird diese Verbindung mittels des Scherensymbols aus der oberen Menüleiste wieder ausgeschnitten und eine neue Verbindung, wie oben beschrieben, eingezeichnet.

(Hinweis:

Das Bauteil **ZenerDiode** im Schaltplan begrenzt die Spannung, die am Messwerk auftreten kann. Dadurch wird der begrenzte Messbereich des Messwerkes in der Simulation nachgebildet. Eine weitere Bedeutung für diesen Versuch besteht nicht.)

In käuflichen Multimetern ist die Bereichsumschaltung meistens automatisiert. Damit gekoppelt sind dann auch die Einstellung des Dezimalpunktes und die Anzeige der passenden Einheit. Hier im Versuch muss eine Umrechnung des angezeigten Wertes in den tatsächlichen Messwert, entsprechend des durch die Verbindung eingestellten Teilungsfaktors, selbst durchgeführt werden.



1.2 Einstellen des Strommessbereiches

Soll der Strom in einer Leitung gemessen werden, wird diese Leitung aufgetrennt und ein Messwiderstand eingefügt. Aus der Messung des Spannungsabfalls (hervorgerufen durch den zu messenden Strom) über diesen Messwiderstand ergibt sich dann der Stromwert nach dem ohmschen Gesetz. Abb. 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau (wieder mit beispielhaften Widerstandswerten) eines Strommessgerätes mit den drei wählbaren Strommessbereichen:

- 0 .. $U_{max}/1 \Omega$,
- 0 .. $U_{max}/10 \Omega$,
- 0 .. $U_{max}/1 k\Omega$.

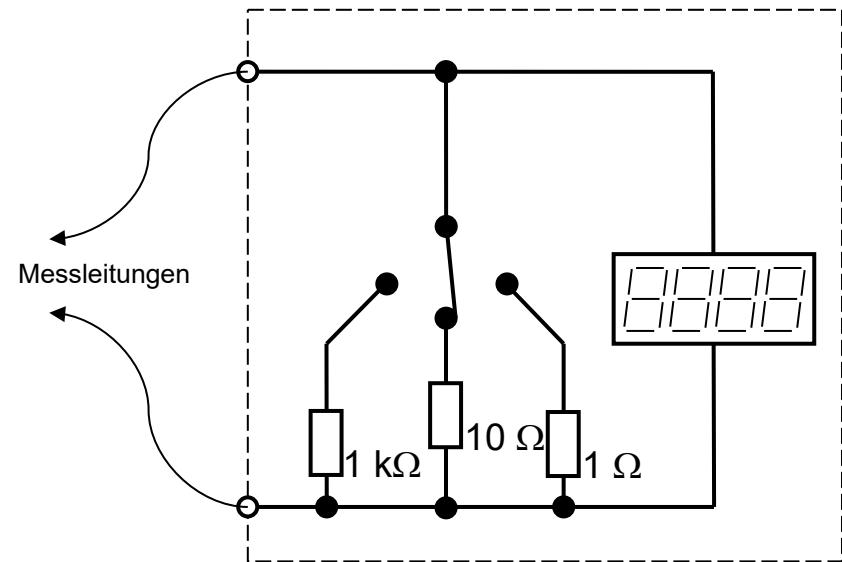


Abb. 3: Schaltung eines Strommessers mit drei wählbaren Messbereichen

Der hier verwendete LTSpice-Aufbau („V1 Strommesser.asc“) ist in Abb. 4 zu sehen.

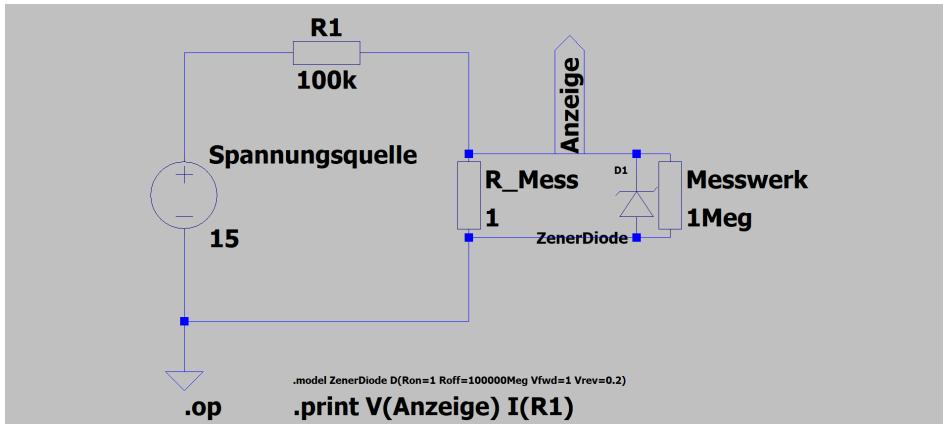


Abb. 4: LTSpice-Schaltung des Strommessers mit einstellbarem Messbereich

Die Einstellung des Messbereiches erfolgt durch Veränderung des Wertes von R_{Mess} . Dazu wird in LTSpice ein Rechtsklick auf das Widerstandssymbol oder auf die 1 ausgeführt. Anschließend kann ein neuer Wert eingegeben werden.

1.3 Widerstandsmessung

Hier gibt es prinzipiell zwei Möglichkeiten. Es kann entweder ein fester und bekannter Messstrom durch den zu messenden Widerstand geschickt und der sich einstellende Spannungsabfall gemessen werden oder es wird eine feste und bekannte Spannung angelegt und der dann fließende Strom gemessen. Im ersten Fall ist der gemessene Spannungswert proportional zum Widerstandswert. Im zweiten Fall ist die Anzeige des Messwerkes proportional zum Leitwert. Zur Bestimmung des Widerstandswertes muss dann dessen Kehrwert berechnet werden. Abb. 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Widerstandsmessers mit eingebauter Konstantstromquelle. Mit den beiden Messleitungen wird der zu messenden Widerstand direkt kontaktiert.

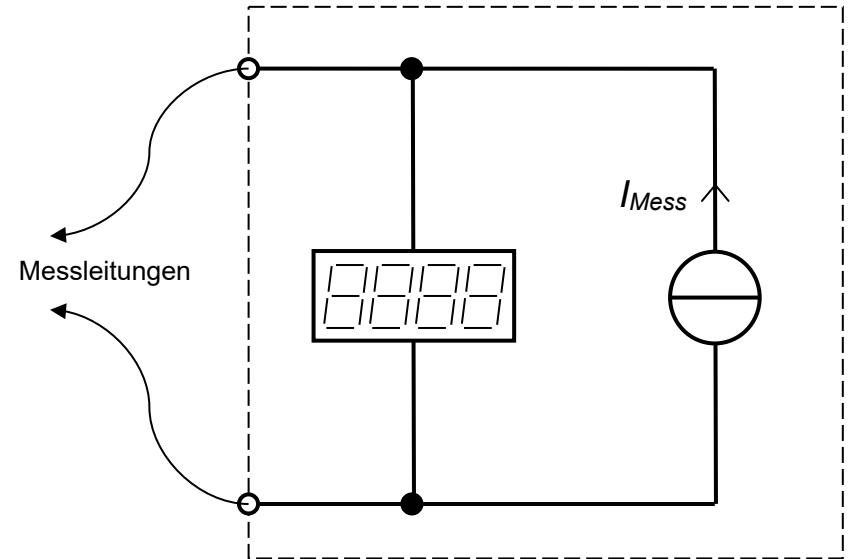


Abb. 5: Schaltung eines Widerstandsmessers mit eingebauter Stromquelle

Der Widerstandsmessbereich lässt sich über die Wahl des Messstromes (I_{Mess}) aus der Konstantstromquelle einstellen. Der Messstrom sollte so gering wie möglich sein, um eine Erwärmung des zu messenden Widerstandes zu vermeiden. Da alle Materialien einen temperaturabhängigen Widerstand aufweisen, würde eine solche Erwärmung zu einer Verfälschung der Messung führen. Abb. 6 zeigt die LTSpice-Schaltung („V1 Widerstandsmesser.asc“). Der Bereich der messbaren Widerstandswerte wird hier über die Einstellung des Konstantstromes der Stromquelle vorgegeben. Dazu wird in LTSpice ein Rechtsklick auf das Stromquellsensymbol oder auf die **-0,0001** ausgeführt. Anschließend kann ein neuer Stromwert eingegeben werden. Der negative Wert hier führt in Verbindung mit der in der Stromquelle eingezeichneten Stromrichtung zu einem positiven Spannungswert an $R_{\text{Unbekannt}}$. Der Wert von $R_{\text{Unbekannt}}$ lässt sich in LTSpice wieder nach einem Rechtsklick auf das Widerstandssymbol oder auf **1k** ändern.

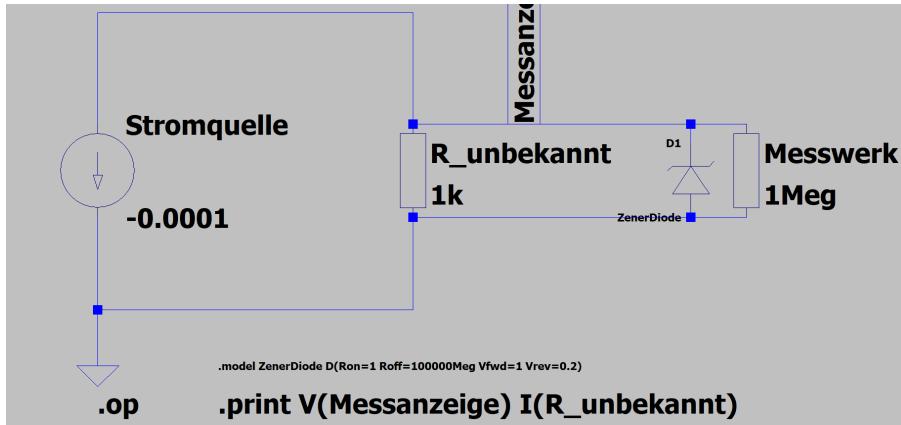


Abb. 6: LTSpice-Schaltung des Widerstandsmessers mit einstellbarem Messbereich

2 Versuchsdurchführung

2.1 Nutzung des Messwerkes für verschiedene Spannungsmessbereiche

- a) In der LTSpice-Schaltung des Spannungsmessers (Abb. 2) werden nacheinander die Anschlüsse **Aus 1**, **Aus 2**, **Aus 3**, **Aus 4** jeweils einzeln mit dem Widerstand **Leit_2** verbunden. D.h.: Es ist immer jeweils genau einer der 4 Anschlüsse mit dem Widerstand **Leit_2** verbunden. In allen vier Fällen wird jeweils mittels **Simulate/Run** eine Simulationsrechnung gestartet. Es erscheint ein Fenster, ähnlich (nicht genauso) dem hier dargestellten:

--- Operating Point ---

V(u_aus) :	1.10779	voltage
V(anzeige) :	0	voltage

Diese beiden Spannungen tragen Sie in die entsprechenden Spalten des Versuchsprotokolls ein. Die in der Tabelle angegebene Reihenfolge der Messbereiche entspricht der Reihenfolge der vier Ausgangsanschlüsse des Spannungsteilers von oben nach unten.

(Hinweis: Der LTSpice-Befehl **.print v(u_aus) v(anzeige)** bewirkt, dass genau diese beiden Spannungswerte im Ausgabefenster angegeben werden.)

Berechnen Sie für jeden Messbereich aus dem angezeigten Wert den Spannungswert, den das Messgerät (Messwerk und Spannungsteiler gemeinsam, wie in 1.1 beschrieben) festgestellt hat. Berücksichtigen Sie dabei, dass das Messwerk selber nur 4 Ziffern von 000.0 bis 199.9 anzeigen kann. Dies ist die am Messwerk selbster auftretende Spannung in mV. Weitere Ziffern werden abgeschnitten. Bei einer Spannung von 0,123456 V würde das Messwerk vier Ziffern, d.h. hier 123,5 mV anzeigen. Bei einer Spannung von 0,00123456 V würde das Messwerk auch vier Ziffern, d.h. hier 001,2 mV anzeigen.

- b) Trennen Sie das Messgerät von der Spannungsquelle ab indem Sie den Widerstand **Leit_1** auf einen sehr hohen Wert setzen (Rechtsklick auf **0.0001** und z.B. **1000Meg** als neuen Wert eingeben). Starten Sie die Simulation mit beliebigem Messbereich erneut. Was fällt bezüglich des nun angegebenen Wertes für **U_aus** (Ausgangsspannung der Spannungsquelle) auf?

Geben Sie eine Erklärung für Ihre Beobachtung.

2.2 Nutzung des Messwerkes zur Widerstandsbestimmung

Laden Sie in LTSpice die Schaltung für den Widerstandsmesser. Variieren Sie den Wert des Widerstandes **R_unbekannt** in der LTSpice-Schaltung entsprechend den in der Tabelle vorgegebenen Werten (jeweils Rechtsklick auf bisher eingestellten Wert und danach Eingabe des neuen Wertes). Notieren Sie jeweils in der Tabelle die vom Messwerk (nach LTSpice-Simulation: **Simulate/Run**)

festgestellten Spannungen in mV. Berechnen Sie schließlich nach dem ohmschen Gesetz aus dem über den unbekannten Widerstand fließenden Strom ($I(R_{unbekannt})$ und der Spannung am Messwerk ($V(messanzeige)$) den festgestellten (simuliert gemessenen) Widerstandswert. Berücksichtigen Sie dabei gegebenenfalls, dass das Messwerk selber nur 4 Ziffern von 000.0 bis 199.9 anzeigen kann.

Was fällt bezüglich des Ergebnisses für den $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand als $R_{unbekannt}$ auf?

Lassen sich mit dieser so vorgegebenen Anordnung Widerstände größer als $2\text{ k}\Omega$ messen?

2.3 Nutzung des Messwerkes für verschiedene Strommessbereiche

Laden Sie nun die Schaltung für den Strommesser („V1 Strommesser.asc“) in LTSpice. Variiieren Sie den Wert von R_{Mess} ($1\text{ }\Omega$, $10\text{ }\Omega$, $1\text{ k}\Omega$) wie oben beschrieben. Führen Sie für jeden Wert von R_{Mess} eine LTSpice-Simulation durch (mittels **Simulate/Run**). Berücksichtigen Sie dabei wieder, dass das Messwerk selber nur 4 Ziffern von 000.0 bis 199.9 anzeigen kann.

- a) Tragen Sie im Messprotokoll den jeweils angezeigten Spannungswert (**Anzeige**) und den daraus bestimmten Strom durch R_{Mess} für alle drei eingestellten Werte von R_{Mess} ein.
- b) Ersetzen Sie den $100\text{ k}\Omega$ Widerstand ($R1$) in der LTSpice-Schaltung durch einen $100\text{ }\Omega$ Widerstand. Simulieren Sie erneut die Strommessung in den drei Messbereichen (mit den drei unterschiedlichen Messwiderständen). Tragen Sie die von LTSpice simulierten Werte wieder in das Messprotokoll ein und bestimmen Sie jeweils wieder den Strom durch R_{Mess} , den Sie dann in die rechte Spalte der Tabelle eintragen.

3 Versuchsauswertung

- 3.1 a) Was fällt bezüglich der Genauigkeit auf, mit der die Spannung am Messgerät abgelesen werden kann, wenn die verschiedenen Messbereiche gewählt werden?

Welcher Messbereich sollte gewählt werden, um die Messung mit der bestmöglichen Genauigkeit durchzuführen?

- b) Geben Sie eine Erklärung für Ihre Beobachtung.

- 3.2 Was fällt bezüglich des Ergebnisses für den $10\text{ k}\Omega$ -Widerstand als **R_unbekannt** auf?

Lassen sich mit dieser so vorgegebenen Anordnung Widerstände größer als $2\text{ k}\Omega$ messen?

- 3.3 a) Welche einstellbaren Messbereiche weist Ihr simulierter Strommesser auf?

Versuch 1

Messprotokoll

2.1 Spannungsmessung

Notieren Sie in den ersten beiden Spalten die entsprechenden Spannungen aus der LTSpice-Simulation:

Messbereich	U_aus in V	Anzeige in V	Berechnete Spannung in V
0 .. 199 mV			
0 .. 1,99 V			
0 .. 19,9 V			
0 .. 199 V			

U_aus in V nach Erhöhen von **Leit_1** auf 1000Meg: V

2.2 Widerstandsmessung

R_unbekannt	Messanzeige in mV	Strom durch R_unbekannt in A	Gemessener Widerstandswert
10 Ω			
100 Ω			
1 kΩ			
10 kΩ			

2.3 Strommessung

a)

R_Mess	Anzeige in mV	Strom durch R_Mess (berechnet)
1 Ω		
10 Ω		
1 kΩ		

b)

R_Mess	Anzeige in mV	Strom durch R_Mess (berechnet)
1 Ω		
10 Ω		
1 kΩ		



HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Labor für Grundlagen der Elektrotechnik

Elektrotechnisch-physikalische Grundlagen für Technische Informatik

Versuch 2

Digitalschaltungen

Verantwortlicher		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Weitere Gruppenmitglieder		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Versuchstag

Dozent

Testat [vom Dozenten auszufüllen]

In diesem Versuch sollen die Teilnehmer

- prinzipielle Realisierungsmöglichkeiten für digitale Grundschaltungen (Gatter) kennenlernen
- Zustandstabellen (Wahrheitstabellen) von aufgebauten Gattern aufnehmen
- durch Kombination von Gattern weitere logische Funktionen realisieren

1 Grundlagen

Logische Funktionen (UND, ODER, NICHT, ...) werden in der Digitaltechnik durch die Zusammenschaltung mehrerer elektronischer Bauelemente zu Gattern realisiert. Im Rahmen dieses Praktikumsversuches werden dafür Dioden (Gleichrichterdioden), Zenerdioden, Widerstände und Relais verwendet. Die Abb. 1 zeigt die dafür üblicherweise verwendeten symbolischen Schaltzeichen.

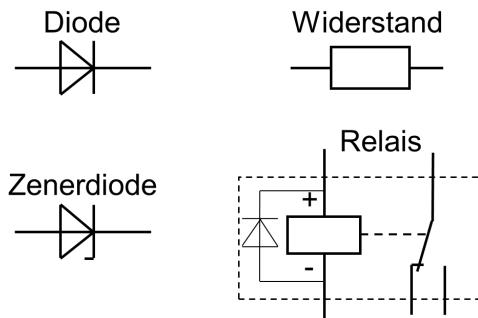


Abb. 1: Schaltzeichen für verwendete Bauteile

Eine Diode lässt den Strom nur in einer Richtung hindurch fließen. Bei Anschließen einer Spannung in der entgegengesetzten Richtung sperrt die Diode den Stromfluss. Diese Verhältnisse sind in Abb. 2 mit den zugehörigen Polaritäten dargestellt.

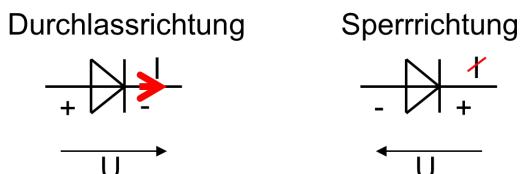


Abb. 2: Durchlass- und Sperrverhalten einer Diode

An der Zenerdiode wird in der Regel eine Spannung in Sperrrichtung angelegt. Bei sehr kleinen Spannungswerten fließt dann genauso wie bei der „normalen“ Diode praktisch kein Strom. Überschreitet die angelegte Sperrspannung aber den Wert der „Zenerspannung“ dieses Bauteils, wird die Zenerdiode in der Sperrrichtung leitfähig. Es fällt dann praktisch unabhängig vom fließenden Strom eine konstante Spannung, die „Zenerspannung“ an der Diode ab. In Abb. 3 ist die Zenerdiode mit der üblicherweise angelegten Spannungsrichtung skizziert.

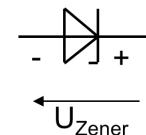


Abb. 3: Zenerdiode mit üblicher Spannungspolarität

Das Relais ist ein elektromagnetischer Schalter. Ein Strom kann hierbei durch die Wicklung eines Elektromagneten fließen. Ist der Stromfluss genügend hoch, entsteht eine Kraft, die einen elektrischen Kontakt öffnet oder schließt. Im Praktikum kommt ein Relais mit einem Wechselkontakt zum Einsatz. Beim Umschalten wird die Verbindung einer Zuleitung von einer Ausgangsleitung getrennt und eine Verbindung zu einer anderen Ausgangsleitung geschlossen.

Mit diesen hier kurz vorgestellten elektronischen Bauteilen werden im Rahmen dieses Versuches die drei Grundfunktionen ODER (OR), UND (AND) und NICHT (NOT) aufgebaut und untersucht. Durch Kombination dieser Gatter wird anschließend die Funktion NICHT UND (NAND) realisiert, die in der integrierten digitalen Schaltungstechnik eine überragende Bedeutung hat. Die logischen Werte „0“ bzw. „1“ werden hier durch die Spannungswerte kleiner als 1 V bzw. größer als +4 V (bis +5 V) dargestellt.

1.1 ODER - Gatter

Mittels der ODER Funktion werden mindestens zwei „logische“, binäre Signale, die entweder den Wert „0“ oder den Wert „1“ annehmen können miteinander verknüpft. Dabei nimmt das Ausgangssignal den Wert „1“ an, wenn wenigstens ein Eingangssignal den Wert „1“ aufweist. Die Werte des anderen bzw. der weiteren Eingangssignale sind dabei bedeutungslos. Dies kann formal über eine Zustands- oder Wahrheitstabelle ausgedrückt werden:

A	B	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Tab. 1: Zustandstabelle für das ODER - Gatter mit zwei Eingängen

Dabei sind in den Spalten A und B alle möglichen Kombinationen der Eingangszustände (Eingangswerte) und in der Spalte Y die sich jeweils ergebenden Ausgangszustände (Ausgangswerte) angegeben. Abb. 4 zeigt eine mögliche schaltungstechnische Realisierung.

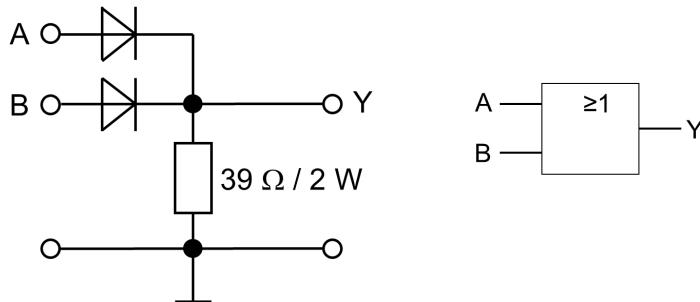


Abb. 4: Realisierung des ODER - Gatters (links) mit symbolischer Darstellung (rechts)

Wird an einem der beiden Eingänge A oder B oder an beiden eine logische „1“ angelegt, bedeutet dies, dass dort eine Spannung von +5 V gegenüber der unteren Leitung angelegt wird. Die entsprechende Diode wird in Flussrichtung vorgespannt und es fließt ein Strom durch die Diode und über den 39Ω Widerstand. Liegt an dem anderen Eingang eine logische „0“ an, ist diese andere Diode für den Strom durch die erste Diode gesperrt. Der Stromfluss durch eine oder beide „Eingangs“-Dioden bewirkt nach dem Ohmschen Gesetz einen Spannungsabfall am 39Ω Widerstand, der zwischen den Ausgangsanschlüssen liegt, in Höhe von 4 V bis 5 V, entsprechend einer logischen „1“, am Ausgang. Liegt an keinem der beiden Eingänge ein Signal an, fließt kein Strom über den Widerstand und es fällt dort auch keine Spannung ab. Ein Wert von 0 V, entsprechend logisch „0“, am Ausgang ist die Folge.

1.2 UND - Gatter

Mittels der UND Funktion werden mindestens zwei „logische“ Signale miteinander verknüpft. Dabei nimmt das Ausgangssignal den Wert „1“ an, wenn alle Eingangssignale den Wert „1“ aufweisen. Dies kann formal wieder in der Zustands- oder Wahrheitstabelle ausgedrückt werden:

A	B	Y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

Tab. 2: Zustandstabelle für das UND - Gatter mit zwei Eingängen

Abb. 5 zeigt eine mögliche schaltungstechnische Realisierung. Hier ist zusätzlich eine Spannungsquelle zur Energieversorgung notwendig. Im Versuch beträgt der Wert dieser zusätzlichen Versorgungsspannung 10 V. Die 4,7 V Zenerdiode begrenzt die am Ausgang Y der Schaltung auftretende Spannung auf maximal etwa 5 V, den Spannungsspeigel, der die logische „1“ repräsentiert. (1)

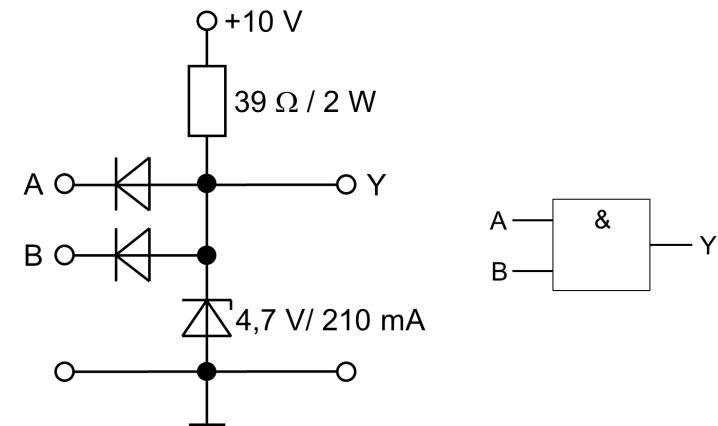


Abb. 5: Realisierung des UND - Gatter (links) mit symbolischer Darstellung (rechts)

Wird an einem der beiden Eingänge A oder B oder an beiden eine logische „0“ angelegt, bedeutet dies, dass dort eine Spannung von 0 V gegenüber der unteren Leitung angelegt wird. Die entsprechende Diode wird in Flussrichtung vorgespannt und die Diode wird leitend. Damit fällt an ihr eine Spannung von weniger als 1 V ab, entsprechend einer logischen „0“, am Ausgang. Liegt an beiden Eingängen eine logische „1“ (etwa +5 V) an, sind beide Dioden nicht in Flussrichtung gepolt, d.h. beide sind nichtleitend. Die 4,7 V Zenerdiode bestimmt damit die Ausgangsspannung. Ein Spannungswert von knapp 5 V, entsprechend logisch „1“, am Ausgang ist die Folge.

1.3 NICHT - Gatter

Mittels der NICHT Funktion (Inverter) wird ein „logisches“ Signal in sein Gegenteil verkehrt. Es wird invertiert. Auch dies kann formal wieder in der Zustands- oder Wahrheitstabelle ausgedrückt werden:

A	Y
0	1
1	0

Tab. 3: Zustandstabelle für das NICHT - Gatter

Abb. 6 zeigt eine mögliche schaltungstechnische Realisierung. Auch hier ist zusätzlich eine Spannungsquelle zur Energieversorgung notwendig. Im Versuch beträgt der Wert dieser zusätzlichen Versorgungsspannung 10 V. Die 4,7 V Zenerdiode begrenzt wieder die am Ausgang Y der Schaltung auftretende Spannung auf maximal knapp 5 V, den Spannungspegel, der die logische „1“ repräsentiert. Neu in dieser Schaltung ist das Relais.

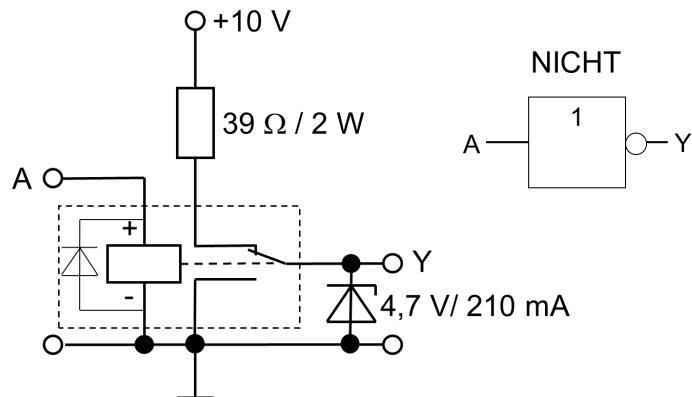


Abb. 6: Realisierung des NICHT - Gatters (links) mit symbolischer Darstellung (rechts)

Wird am Eingang A eine logische „1“ angelegt, bedeutet dies, dass dort eine Spannung von +5 V gegenüber der unteren Leitung auftritt. Es fließt Strom durch die Relaisspule, die als Elektromagnet auf den Schaltkontakt wirkt. Dieser wird aus seiner oberen Ruheposition heraus abgelenkt und schließt den Ausgang kurz. Damit fällt am Ausgang eine Spannung von 0 V ab, entsprechend einer logischen „0“. Wird am Eingang A eine logische „0“ angelegt, bedeutet dies, dass dort eine Spannung von 0 V gegenüber der unteren Leitung auftritt. Es fließt dann kein Strom durch die Relaisspule. Der Schaltkontakt verbleibt in seiner oberen Ruheposition. Der Stromfluss durch den 39 Ω Widerstand und die 4,7 V Zenerdiode bestimmt damit die Ausgangsspannung. Eine Spannung von knapp 5 V, entsprechend logisch „1“, am Ausgang ist die Folge.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Aufbau und Charakterisierung des ODER - Gatters

Abb. 7 skizziert den Versuchsaufbau für das ODER – Gatter, wie er im „normalen“ Laborpraktikum aussehen würde. Verwenden Sie die LTSpice-Datei „V2 ODER.asc“, die die Schaltung des ODER - Gatters aus zwei Dioden MURS120 und einem 39 Ω Widerstand enthält.

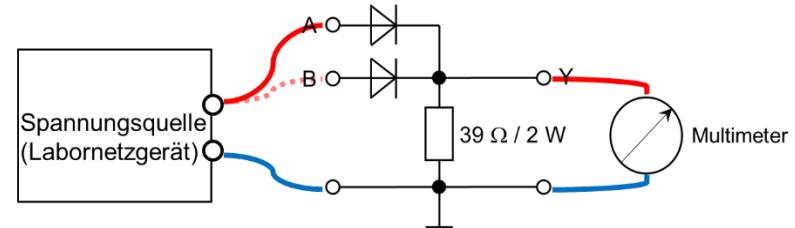


Abb. 7: Versuchsaufbau zu 2.1

Zum Anlegen der Eingangssignalspannungen zeichnen Sie die entsprechenden Verbindungsleitungen in die LTSpice-Schaltung ein. Legen Sie so +5 V bzw. 0 V Signale an die beiden Eingangsklemmen A und B an. Die Ausgangsspannung an Y entnehmen Sie jeweils dem Ergebnisfenster, das sich nach der Simulation öffnet. Tragen Sie die jeweils angelegten Eingangsspannungen und die dazugehörige Ausgangsspannung in die Tabelle des Messprotokolls ein.

2.2 Aufbau und Charakterisierung des UND - Gatters

Abb. 8 skizziert den Versuchsaufbau für das UND - Gatter, wie er im „normalen“ Laborpraktikum aussehen würde. Verwenden Sie die LTSpice-Datei „V2 UND.asc“, die die Schaltung des UND - Gatters aus zwei Dioden MURS120, einem 39 Ω Widerstand und einer 4,7 V Zenerdiode enthält. Beachten Sie wieder die in 2.1 gegebenen Hinweise zum Aufbau.

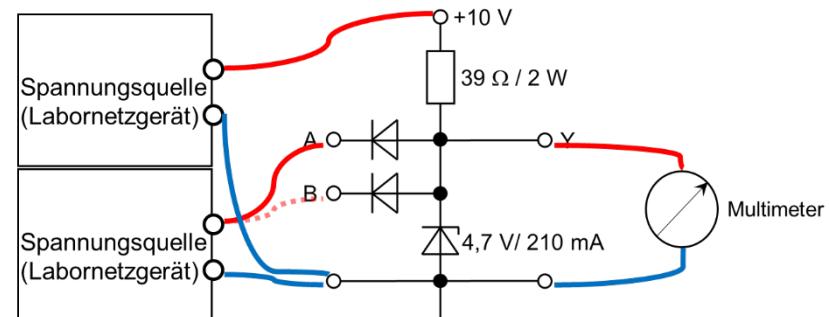


Abb. 8: Versuchsaufbau zu 2.2

In diesem Versuchsteil benötigen Sie eine zweite Spannungsquelle zur Energieversorgung des Logikgatters. Es stellt die Spannung von +10 V entsprechend der Abb. zur Verfügung. Zur Erzeugung der Eingangssignalspannungen verwenden Sie wieder die 5 V Quelle. Über eingezeichnete Verbindungsleitungen legen Sie dann +5 V bzw. 0 V Signale an die beiden Eingangsklemmen A und B an. Die Ausgangsspannung an Y entnehmen Sie jeweils dem Ergebnisfenster, das sich nach der

Simulation öffnet. Tragen Sie die jeweils angelegten Eingangsspannungen und die dazugehörige Ausgangsspannung in die Tabelle des Messprotokolls ein.

2.3 Aufbau und Charakterisierung des NICHT - Gatters

Abb. 9 skizziert den Versuchsaufbau für das NICHT - Gatter, wie er im „normalen“ Laborpraktikum aussehen würde. Verwenden Sie die LTSpice-Datei „V2 NICHT.asc“, die die Schaltung des NICHT - Gatters aus einem $39\ \Omega$ Widerstand, einem Relais (spannungsgesteuerter Schalter) und einer 4,7 V Zenerdiode enthält.

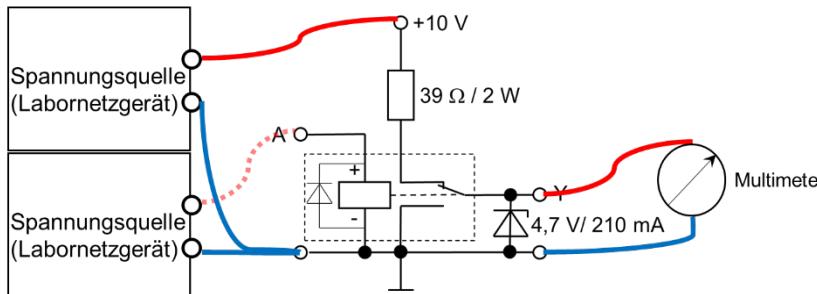


Abb. 9: Versuchsaufbau zu 2.3

In diesem Versuchsteil benötigen Sie wieder zwei Spannungsquellen zur Energieversorgung (10 V) und zur Erzeugung der Eingangsspannung (5 V). Über eingezeichnete Verbindungsleitungen legen Sie +5 V bzw. 0 V Signale an die Eingangsklemme A an. Die Ausgangsspannungen an Y entnehmen Sie jeweils nach der LTSpice-Simulation dem Ergebnisfenster, das sich dann öffnet. Tragen Sie die angelegten Eingangsspannungen und die dazugehörige Ausgangsspannung in die Tabelle des Messprotokolls ein.

2.4 Aufbauvarianten und Charakterisierung des NICHT UND - Gatters

Aus den bisher aufgebauten Gattern lassen sich, durch Kombination miteinander, weitere Logikgatter erhalten. In diesem Versuch sollen im Folgenden beispielhaft zwei mögliche Realisierungen eines NICHT UND (NAND) - Gatters betrachtet werden. Abb. 10 skizziert hierzu den ersten Versuchsaufbau, wie er im „normalen“ Laborpraktikum aussehen würde. Verwenden Sie die LTSpice-Datei „V2 NAND1.asc“, die die Schaltung des NAND - Gatters aus einem UND- und einem NICHT-Gatter bestehend enthält.

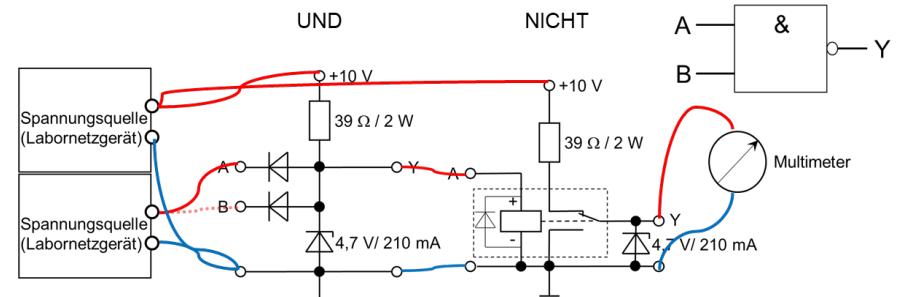


Abb. 10: Erster Versuchsaufbau zu 2.4 mit symbolischer Darstellung (rechts oben)

Sie benötigen wieder zwei Spannungsquellen zur Energieversorgung (10 V) und zur Erzeugung der Eingangsspannungen (5 V). Über eingezeichnete Verbindungsleitungen legen Sie +5 V bzw. 0 V Signale an die Eingangsklemme A und B des UND - Gatters an. Die Ausgangsspannung am Anschluss Y des NAND - Gatters entnehmen Sie wieder nach der LTSpice-Simulation dem Ergebnisfenster, das sich dann öffnet. Tragen Sie die jeweils angelegten Eingangsspannungen und die dazugehörige Ausgangsspannung in die Tabelle des Messprotokolls ein.

Abb. 11 zeigt den zweiten Versuchsaufbau, wie er im „normalen“ Laborpraktikum aussehen würde. Verwenden Sie die LTSpice-Datei „V2 NAND2.asc“, die die Schaltung des NAND - Gatters bestehend aus zwei NICHT-Gattern und einem ODER-Gattern enthält.

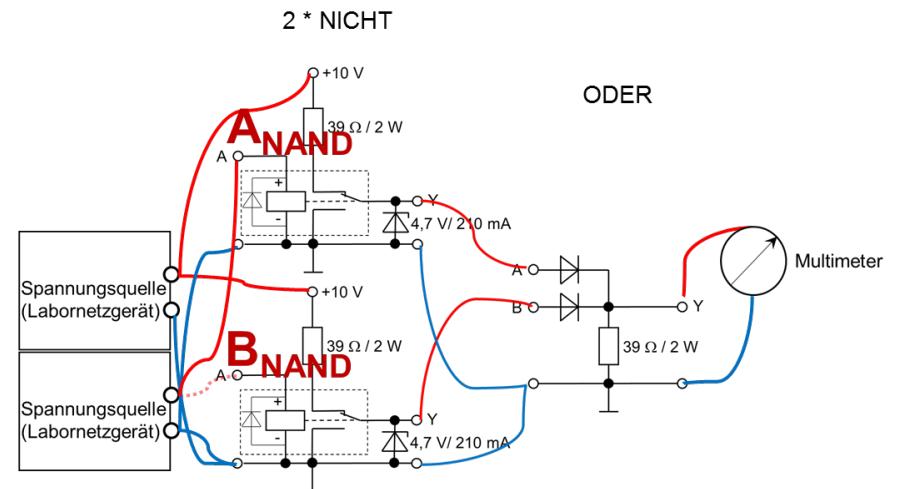


Abb. 11: Zweiter Versuchsaufbau zu 2.4

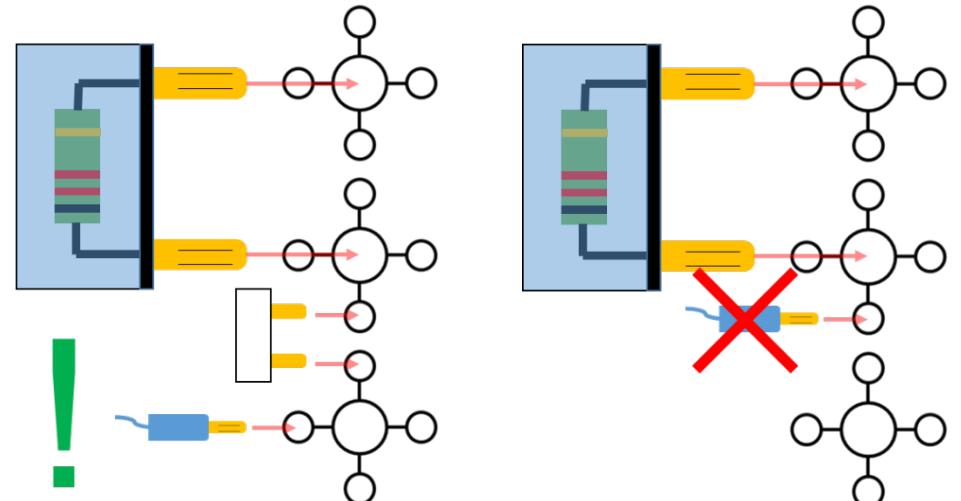
Auch hier benötigen Sie wieder zwei Spannungsquellen zur Energieversorgung (10 V) und zur Erzeugung der Eingangsspannungen (5 V). Über eingezeichnete Verbindungsleitungen legen Sie +5 V bzw. 0 V Signale an die Eingangsklemmen A der beiden NICHT - Gatter an, die jetzt den beiden Eingängen A_{NAND} und B_{NAND} des NICHT UND - Gatters entsprechen. Die Ausgangsspannung am Anschluss Y des NAND - Gatters entnehmen Sie wieder nach der LTSpice-Simulation dem Ergebnisfenster, das sich dann öffnet. Tragen Sie die jeweils angelegten Eingangsspannungen und die dazugehörige Ausgangsspannung in die Tabelle des Messprotokolls ein.

3 Versuchsauswertung

Im Rahmen der Versuchsauswertung sollen Spannungen kleiner als +1 V als logisch „0“ und Spannungen größer als +3 V als logisch „1“ interpretiert werden.

- 3.1 a) Erstellen Sie aus den aufgenommenen und in die Tabelle des Messprotokolls eingetragenen Werten eine Zustandstabelle für das ODER - Gatter.
b) Erweitern Sie das Schaltbild und die symbolische Darstellung aus Abb. 4 zu einem ODER - Gatter mit vier Eingängen.
- 3.2 a) Erstellen Sie aus den aufgenommenen und in die Tabelle des Messprotokolls eingetragenen Werten eine Zustandstabelle für das UND - Gatter.
b) Erweitern Sie das Schaltbild und die symbolische Darstellung aus Abb. 5 zu einem UND - Gatter mit vier Eingängen.
- 3.3 Erstellen Sie aus den aufgenommenen und in die Tabelle des Messprotokolls eingetragenen Werten eine Zustandstabelle für das NICHT - Gatter.
- 3.4 a) Erstellen Sie aus den aufgenommenen und in die Tabelle des Messprotokolls eingetragenen Werten für den ersten Versuchsaufbau (Abb. 10) eine Zustandstabelle für das NICHT UND - Gatter.
b) Erstellen Sie aus den aufgenommenen und in die Tabelle des Messprotokolls eingetragenen Werten für den zweiten Versuchsaufbau (Abb. 11) eine Zustandstabelle für das NICHT UND - Gatter.
c) Erweitern Sie das Schaltbild und die symbolische Darstellung aus Abb. 10 zu einem NICHT UND - Gatter mit vier Eingängen.

Aufbauhinweis bei Verwendung dünner Kabel (2 mm Stecker):



Versuch 2

Messprotokoll

2.1 ODER - Gatter

Spannung an A in V	Spannung an B in V	Spannung an Y in V

2.2 UND - Gatter

Spannung an A in V	Spannung an B in V	Spannung an Y in V

2.3 NICHT - Gatter

Spannung an A in V	Spannung an Y in V

2.4 NICHT UND - Gatter: **Erster** Versuchsaufbau

Spannung an A in V	Spannung an B in V	Spannung an Y in V

NICHT UND - Gatter: **Zweiter** Versuchsaufbau

Spannung an A _{NAND} in V	Spannung an B _{NAND} in V	Spannung an Y in V



HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Labor für Grundlagen der Elektrotechnik

Elektrotechnisch-physikalische Grundlagen für Technische Informatik

Versuch 3

Widerstandmessverfahren

Verantwortlicher		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Weitere Gruppenmitglieder		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Versuchstag

Dozent

Testat [vom Dozenten auszufüllen]

In diesem Versuch lernen die Studenten

- Widerstände in Stromfehler- und in Spannungsfehlerschaltung zu bestimmen
- den Aufbau und den Umgang mit Messbrücken kennen
- extrem niederohmige Widerstände zu bestimmen.

1 Grundlagen

1.1 Allgemeines

In der Messtechnik stellt sich häufig das Problem, den Wert eines Widerstandes zu ermitteln. Der Grund dafür ist, dass viele Größen wie Temperatur, der Druck, die magnetische Flussdichte, die Reinheit eines Leiterwerkstoffes usw. über den elektrischen Widerstand oder über eine Widerstandsänderung gemessen werden.

1.2 Strom-Spannungsmessung

Um einen unbekannten Widerstand R_x zu bestimmen, kann man eine bekannte Spannung anlegen und den hindurchfließenden Strom messen. Der Quotient aus U und I ist dann nach dem Ohm'schen Gesetz gleich R_x . Messtechnisch ist das in zwei verschiedenen Schaltungen möglich (Abb. 1):

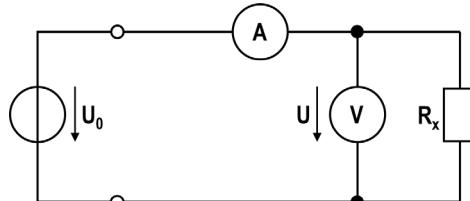


Abb. 1a: Stromfehlerschaltung

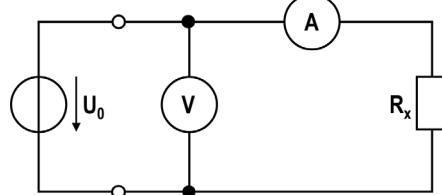


Abb. 1b: Spannungsfehlerschaltung

In beiden Fällen wird R_x nicht exakt bestimmt, da die verwendeten Messgeräte nicht verlustlos sind. In der Schaltung nach Abb. 1a wird der Strom falsch gemessen, denn das Ampermeter zeigt nicht nur den Strom durch R_x an, sondern zusätzlich den Strom durch das Voltmeter, dessen Innenwiderstand

R_{IV} nicht unendlich groß ist. Man nennt diese Schaltung daher Stromfehlerschaltung. In der Schaltung nach Abb. 1b, der Spannungsfehlerschaltung, misst das Voltmeter zusätzlich zur Spannung an R_x die Spannung, die am Ampermeter abfällt, denn dessen Innenwiderstand R_{IA} ist nur im Idealfall Null.

In der Stromfehlerschaltung entspricht dem Quotienten aus U und I die Parallelschaltung von R_x und R_{IV} , also einem zu kleinen Wert für R_x :

$$\frac{U}{I} = R_x \cdot \frac{R_{IV}}{R_x + R_{IV}} \quad (1)$$

Der Fehler wird umso kleiner, je größer R_{IV} gegenüber R_x wird. Die Stromfehlerschaltung ist daher bei kleinen Widerständen die günstigere Schaltung.

In der Spannungsfehlerschaltung entspricht dem Quotienten aus Spannung und Strom die Reihenschaltung von R_x und R_{IA} , also einem zu großen Wert für R_x :

$$\frac{U_0}{I} = R_x + R_{IA} \quad (2)$$

Der Fehler wird umso kleiner, je größer R_x gegenüber R_{IA} ist. Die Spannungsfehlerschaltung eignet sich daher besonders für hochohmige Widerstände.

1.3 Verfälschte Widerstandsmessung bei Eigenerwärmung

Fehler in der Widerstandsmessung können nicht nur aufgrund fehlerhaft bestimmter Spannungen und Ströme, sondern auch durch eine bei der Messung auftretende Eigenerwärmung entstehen. In Abb. 2 ist eine Stromfehlerschaltung zur Bestimmung des Widerstandes eines Heißleiters (NTC: Negative Temperature Coefficient) dargestellt. Der Messstrom führt zu einer Erwärmung des NTCs.

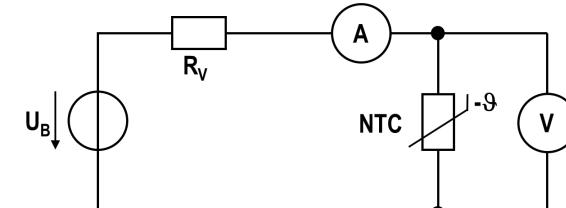


Abb. 2: Widerstandsmessung an NTC

Die Aufheizung ΔT durch den Messstrom I beträgt dabei:

$$\Delta T = I^2 R_{NTC} R_{th} \quad (3)$$

mit R_{NTC} dem elektrischen Widerstand des NTCs und R_{th} (in K/W) dem Wärmeübergangswiderstand, der die Wärmeabgabe vom Heißleiter zur Umgebung beschreibt.

Speziell bei einer Verwendung des Heißleiters zur Temperaturmessung muss die beschriebene Aufheizung minimiert werden. Der NTC soll in einer solchen Anwendung durch seine Umgebung „fremderwärm“ werden.

Davon unterschieden werden Anwendungen, in denen der Heißleiter bewusst durch den Messstrom aufgeheizt wird. Dieser Fall wird „Eigenerwärmung“ genannt. Dann hängt der gemessene Widerstandswert stark von der Möglichkeit des Bauteiles ab, Wärme an die Umgebung abzugeben. Das lässt sich z.B. zum Bau von Strömungs-, Druck- und Flüssigkeitsfüllstandssensoren einsetzen.

1.4 Widerstandsmessung mit Messbrücken

Die einfachste Messbrücke (Wheatstone'sche Brücke) besteht aus zwei Spannungsteilern, die parallel an eine Spannungsquelle geklemmt sind (Abb. 3). Nach der 2. Kirchhoff'schen Regel zeigt das Voltmeter die Spannung

$$U = U_0 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad (4)$$

an wenn das Voltmeter sehr hochohmig ist. Werden die Spannungen U_0 und U gemessen und sind außerdem drei Widerstände bekannt, kann man den vierten berechnen. Ein solches Verfahren heißt Ausschlagverfahren und wird bei der Bestimmung von kleinen Widerstandsänderungen (z.B. in der Dehnungsmessstreifen-Messtechnik) gelegentlich angewendet.

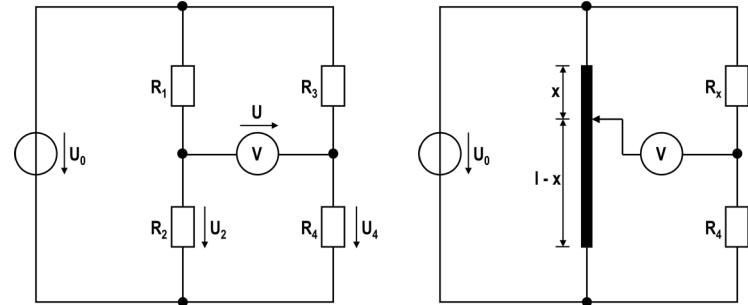


Abb. 3: Brückenschaltungen

Häufiger als das Ausschlagverfahren wird das Nullverfahren angewendet. Dabei wird einer der bekannten Brückenwiderstände solange verändert, bis die Spannung U gleich Null wird, die Brücke ist dann abgeglichen. Das bedeutet, dass in Gl. (4) der Wert der Klammer Null ist. Daraus folgt:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad \text{oder} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Ist $R_3 = R_x$ und R_4 der veränderliche Brückenwiderstand, gilt:

$$R_x = R_4 \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Macht man durch Umschalten auf verschiedene Werte für R_2 das Verhältnis $R_1/R_2 = 10^n$ mit ganzzahligen positiven und negativen Werten für n und versieht den einstellbaren Widerstand R_4 mit einer Skala, lässt sich der Wert des Widerandes R_x leicht ermitteln.

Das Abgleichverfahren hat den Vorteil, dass das Messergebnis von der Spannung U_0 unabhängig ist und die Genauigkeit des Messverfahrens nur von den Brückenwiderständen bestimmt wird. Derartige Messbrücken können mit Gleich- und Wechselspannungen betrieben werden. Als Abgleichinstrumente nimmt man Voltmeter, bei wechselstromgespeisten Brücken ist auch ein akustischer Abgleich mit einem Kopfhörer oder ein Abgleich mit einem Oszilloskop möglich.

Eine besondere Ausführung der Wheatstonebrücke ist die Schleifdrahtmessbrücke. Sie enthält anstelle von R_1 und R_2 einen homogenen Schleifdraht der Länge l , der mit einer Längemesseinrichtung versehen ist (Abb. 3). Im Abgleichfall ist

$$R_x = R_4 \frac{x}{l-x} \quad (5)$$

In der Praxis wird der Draht oft durch einen Drehschleifwiderstand ersetzt, die Skala des Drehknopfes ist mit dem Faktor $x/(l-x)$ beschriftet. Durch verändern von R_4 in dekadischen Schritten werden verschiedenen Messbereiche eingeschaltet.

1.5 Messung besonders kleiner Widerstände

Bei der Messung niederohmiger Widerstände kann es vorkommen, dass Leitungs- und Übergangswiderstände in einem Messaufbau das Ergebnis stark verfälschen. Das kann vermieden werden, wenn man mit einer Vierleiteranordnung Stromzuführung und Spannungsmessung voneinander trennt. Abb. 4 zeigt das Verfahren bei der Bestimmung des spezifischen Widerstandes einer Metallprobe.

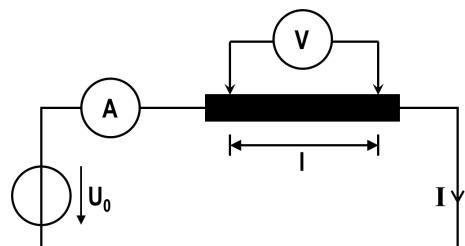


Abb. 4: Vierleitermessverfahren

Das Voltmeter misst die Spannung, die auf der Länge l am Leiter abfällt, ohne dass sich die Spannungsabfälle auf den Zuleitungen und an den Kontaktstellen zwischen den Zuführungsleitungen und dem Stab bemerkbar machen. Es ist

$$\rho = \frac{U \cdot A}{I \cdot l} \quad (6)$$

Bei flächigen Proben kann man die Stromzufuhr auch über zwei (äußere) Spitzen vornehmen und die Spannung mit zwei weiteren (inneren) Spitzen messen. Derartige Vierspitzenmessköpfe werden in der Halbleitertechnologie häufig eingesetzt.

2 Versuchsdurchführung

- 2.1 Bestimmen Sie zwei Widerstände von ca. $2,7\Omega$ bzw. $10k\Omega$
 - a) mit der Stromfehlerschaltung nach Abb. 1a
 - b) mit der Spannungsfehlerschaltung nach Abb. 1b

Stellen Sie die Ströme so ein, wie im Messprotokoll angegeben, und notieren Sie die Innenwiderstände der verwendeten Messgeräte.
- 2.2 Bauen Sie die Schaltung nach Abb. 2 mit $R_v = 1k\Omega$ auf. Der NTC befindet sich in einer geschlossenen Umhüllung, um ihn vor (die Messung verfälschenden) Luftbewegungen abzuschirmen. Als Messwerke werden zwei digitale Multimeter benutzt. Die Spannungsbegrenzung der Quelle U_B wird auf 32 V eingestellt. Anschließend werden der Reihe nach mittels der Strombegrenzung die im Messprotokoll angegebenen Ströme zwischen 0,5 mA und 22 mA eingestellt. Notieren Sie die tatsächlich fließenden Ströme und die sich ergebenden Spannungen am NTC. Abschließend wird der NTC aus der Umhüllung entnommen und in der umgebenden Luft bei 22 mA Stromfluss bewegt. Notieren Sie den sich nun ergebenden höchsten Spannungswert.
- 2.3 Bauen Sie nach Abb. 3 eine Schleifdrahtmessbrücke auf und bestimmen Sie einen vorgegebenen Widerstand R_x . Stellen Sie die Gleichspannungsquelle auf 2V und die Strombegrenzung der Quelle auf 0,3A ein. Als Abgleichinstrument wird ein Multimeter mit automatischer Polaritätsänderung benutzt, der Widerstand R_4 wird mit der Widerstandsdekade auf $1k\Omega$ eingestellt.
- 2.4 In einer vorgegebenen Anordnung nach Abb. 4 sollen der spezifische Widerstand einer Aluminiumlegierung, Kupferlegierung und von Messing bestimmt werden. Der Durchmesser der Stäbe beträgt jeweils 8mm. Der Strom wird auf 10A eingestellt, der Abstand zwischen den Messspitzen ist 25cm.

3 Versuchsauswertung

- 3.1 Welche Werte ergeben sich für die beiden Widerstände, die Sie mit der Spannungsfehler- und mit der Stromfehlerschaltung untersucht haben
 - a) wenn Sie die Innenwiderstände der Messinstrumente vernachlässigen
 - b) wenn Sie die Innenwiderstände der Messinstrumente berücksichtigen?
- 3.2 Zeichnen Sie Kurve $U(l)$. Markieren Sie darin die Bereiche der „Eigen-“ und der „Fremderwärmung“. Warum erhöht sich der Widerstandswert des stromdurchflossenen NTCs bei Luftbewegung?
- 3.3 Welchen Wert hat der Widerstand in der Brückenschaltung?
- 3.4 Wie groß ist der spezifische Widerstand der drei Metalle in $\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$ und in $\Omega \text{ cm}$?

2.1

	2,7Ω	10kΩ
a)	$U = \dots$ $I = 500\text{mA}$ $R_{iV} = \dots$	$U = \dots$ $I = 0,5\text{mA}$ $R_{iV} = \dots$
b)	$U = \dots$ $I = 500\text{mA}$ $R_{iA} = \dots$	$U = \dots$ $I = 0,5\text{mA}$ $R_{iA} = \dots$

2.2

I _{ungefähr} in mA	I _{tatsächlich} in mA	U in V	U in V bei Bewegung
0,5			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
8			
10			
14			
18			
22		

Notieren Sie die tatsächlichen Ströme und die Spannungen am NTC.

2.3

$$x = \dots \quad l = 100\text{cm}$$

2.4

Aluminiumlegierung	$U = \dots$	$I = \dots$	$d = 8\text{mm}$
Kupferlegierung	$U = \dots$	$I = \dots$	$d = 8\text{mm}$
Messing	$U = \dots$	$I = \dots$	$d = 8\text{mm}$

Fotos zu Versuch 3

(Fotos: Labor für Grundlagen der Elektrotechnik, Hochschule Osnabrück)

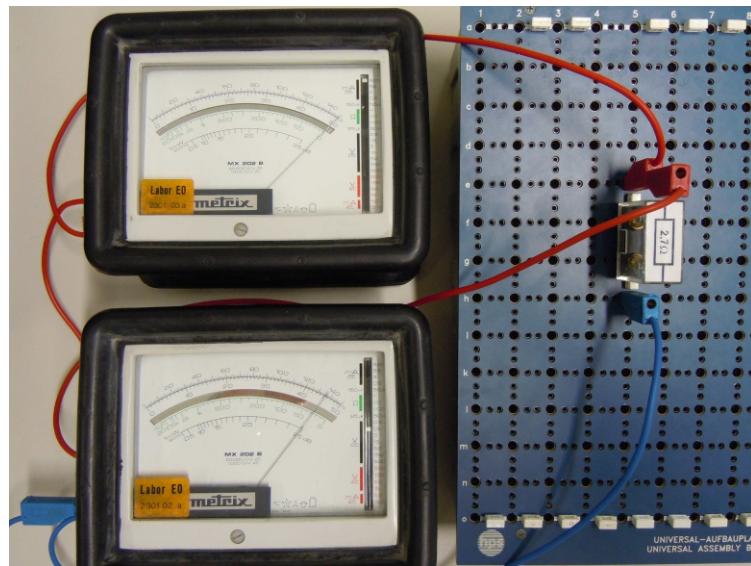


Abb. 3.1: Versuchsaufbau Stromfehlerschaltung ($2,7\Omega$)

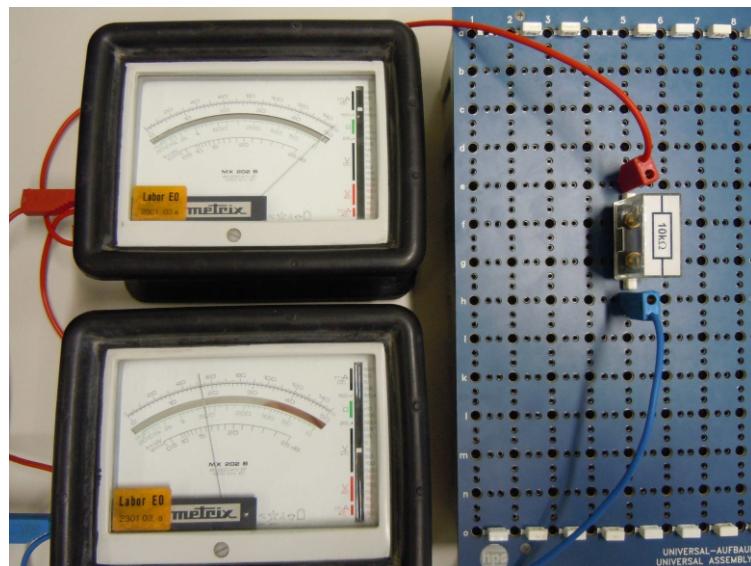


Abb. 3.2: Versuchsaufbau Spannungsfehlerschaltung ($10k\Omega$)

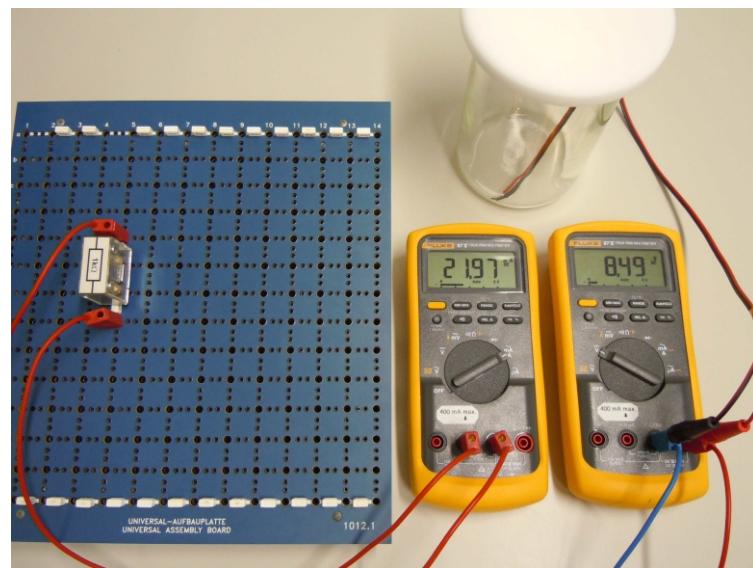


Abb. 3.3: Versuchsaufbau Widerstandsmessung an NTC



Abb. 3.4: Gefäß mit Heißleiter (NTC)

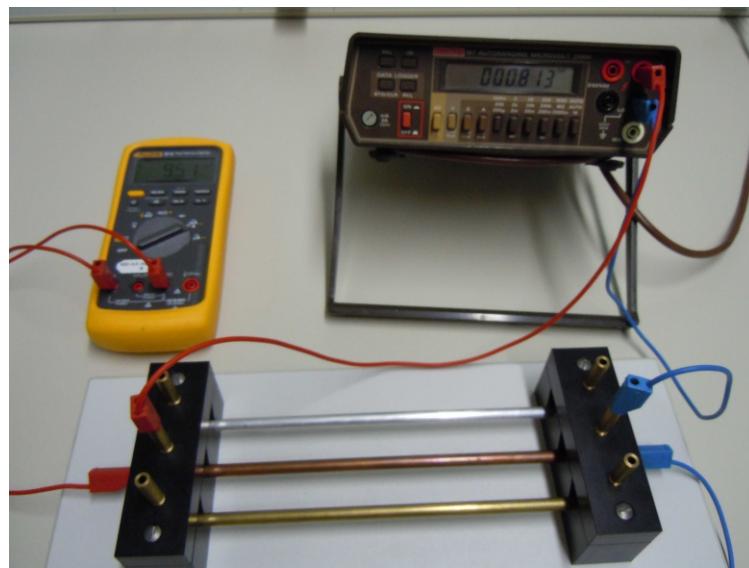


Abb. 3.5: Versuchsaufbau Vierleitermessverfahren

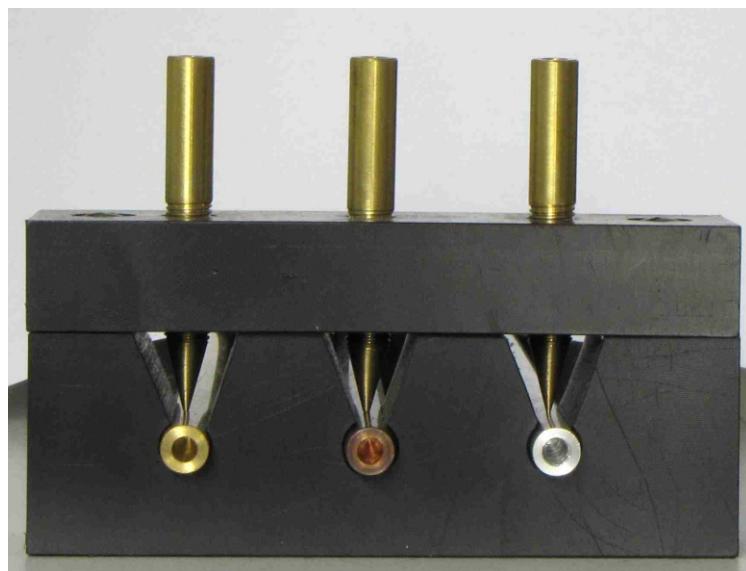


Abb. 3.6: Kontaktierung der Spannungsmessspitzen



HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Labor für Grundlagen der Elektrotechnik

Elektrotechnisch-physikalische Grundlagen für Technische Informatik

Versuch 4

Sensorik

Verantwortlicher		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Weitere Gruppenmitglieder		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Versuchstag

Dozent

Testat [vom Dozenten auszufüllen]

In diesem Versuch lernen die Teilnehmer:

- Sensoren für nichtelektrische Größen kennen
- den Aufbau einer Lichtschranke kennen
- eine Methode zur Temperaturmessung kennen

1 Grundlagen

Jedes datenverarbeitende System benötigt Eingangsinformationen. Soll das System auf physikalische Größen wie Licht, Temperatur, Geschwindigkeit, Ort, Dehnung, Magnetfeld oder anderes reagieren, werden Sensoren benötigt, die die entsprechenden physikalischen Größen erfassen und quantifizieren können. Beispielsweise sollen in diesem Versuch Sensoren betrachtet werden, die auf Licht bzw. Temperatur als nichtelektrische Größen reagieren. Speziell die Erfassung der Temperatur ist für viele technische Anwendungen sehr wichtig. Zu hohe Bauteiltemperaturen können in digitalen Schaltungen die erreichbaren Taktfrequenzen begrenzen. Auf jeden Fall führen zu hohe Temperaturen zu beschleunigten Alterungsprozessen und zu einer verringerten Zuverlässigkeit von technischen Systemen. Für die mittlere Lebensdauer (*MTTF*, *Mean Time to Failure*) eines Systems gilt die folgende Proportionalität:

$$MTTF \sim e^{\frac{a}{T}} \quad (1)$$

Dabei ist a eine charakteristische Größe für ein bestimmtes System, T ist die absolute Temperatur (angegeben in K).

1.1 Lichtsensoren

Hier werden Halbleiterbauelemente eingesetzt, in denen Licht bei Absorption den elektrischen Widerstand ändert (Fotowiderstand) oder einen Fotostrom hervorruft (Fotodiode). Fotowiderstände sind im Allgemeinen nicht in der Lage, auf schnelle Lichtänderungen zu reagieren. Sie werden z.B. für Dämmerungsschalter eingesetzt. Fotodioden können auch schnelle Lichtänderungen aufnehmen. Sie werden in einer Vielzahl von Anwendungen genutzt. Sie bilden die Lichtsensoren in fast allen elektronischen Kameras, in optischen Computermäusen und CD/DVD-Lesegeräten. Des Weiteren werden sie z.B. in der optischen Nachrichtenübertragung, Infrarot-Fernbedienungen und in Lichtschranken verwendet. Auch Solarzellen sind Fotodioden, nur dass für diesen Anwendungszweck großflächige Bauelemente genutzt werden, um möglichst viel Licht (und damit Energie) aufnehmen zu können.

1.2 Temperatursensoren

Zur Temperaturmessung lässt sich der temperaturabhängige elektrische Widerstand von Halbleitermaterialien nutzen. Der Widerstand sinkt meist stark mit steigender Temperatur ab. Dies

bedeutet einen negativen Temperaturkoeffizienten des Widerstandes. Bauteile, die diesen Effekt nutzen, werden als NTC (Negative Temperature Coefficient) bezeichnet. Es lassen sich aus Halbleitern auch Bauelemente herstellen, deren elektrischer Widerstand in einem bestimmten Temperaturbereich mit steigender Temperatur ansteigt. Diese Bauteile werden PTC (Positive Temperature Coefficient) genannt. Gelegentlich wird auch der temperaturabhängige Widerstand von Metallen zur Temperaturmessung ausgenutzt. Häufig wird die temperaturabhängige Durchlasskennlinie von Halbleiterdioden für Sensoren eingesetzt. Hierbei ergibt sich eine gute Integrierbarkeit mit elektronischen Schaltkreisen in einem IC (Integrated Circuit). Auf diese Weise kann z.B. die Temperatur eines Mikroprozessors überwacht werden. Speziell für sehr hohe Temperaturen kommen sogenannte Thermoelemente zum Einsatz, die aus einem Paar unterschiedlicher Metalldrähte bestehen und die die temperaturabhängige Kontaktspannung zwischen zwei Metallen ausnutzen.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Lichtmessung

Hier wird zunächst eine Lichtschranke bestehend aus einer Glühbirne und einem Fotowiderstand (LDR, Light Dependent Resistor) gemäß Abb. 1 aufgebaut.

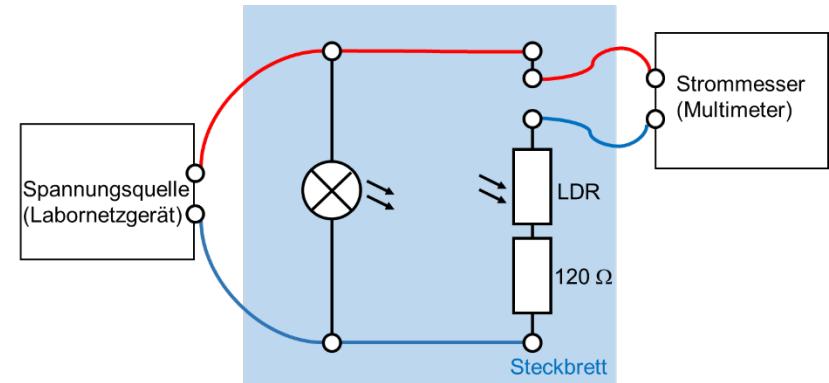


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Lichtschranke

Stecken Sie dabei die Glühbirne und den Fotowiderstand dicht nebeneinander, so dass die Glühbirne den Fotowiderstand direkt beleuchten kann. Stellen Sie das Labornetzgerät auf eine Spannung von 10 V ein und bestimmen Sie mittels des als Strommessgerät genutzten Multimeters den Strom durch den Fotowiderstand. Unterbrechen Sie den Strahlengang zwischen Leuchtdiode und Fotowiderstand und bestimmen Sie erneut den Strom durch den Fotowiderstand. Notieren Sie beide gemessenen Stromwerte im Messprotokoll.

Montieren Sie die Sektorenscheibe so, dass bei Rotation der Sektorenscheibe der Lichtstrahl zwischen Glühbirne und Fotowiderstand wechselweise hindurch gelassen bzw. blockiert wird. Versetzen Sie die Sektorenscheibe in Rotation und bestimmen Sie die Umdrehungen der Scheibe pro Sekunde aus der vom Multimeter angezeigten Frequenz. Berücksichtigen Sie dabei die Anzahl der Slitze in der Sektorenscheibe.

2.2 Temperaturmessung

In diesem Versuch soll die Temperaturmessung mittels NTCs durchgeführt werden. Zu Beginn soll ein NTC beispielhaft kalibriert werden. Gleichung (2) gibt den Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand an. Nach Bestimmung der beiden Unbekannten, der Konstanten B und dem Widerstand R_N bei bekannter (Raum-)Temperatur T_N , kann anschließend $R(T)$ für jede beliebige Temperatur bestimmt werden.

$$R(T) = R_N \exp\left(B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_N}\right)\right) \quad (2)$$

Bestimmen und notieren Sie zunächst mit dem Multimeter den Widerstand des NTC bei Raumtemperatur (Angabe der Raumtemperatur an Digitaluhr im Labor). Anschließend tauchen Sie den NTC in das Eiswasser, das 0°C aufweist. Nach etwa zwei Minuten messen und notieren Sie auch diesen Widerstandswert. Berechnen Sie anschließend die beiden unbekannten Größen. Diese Werte werden im weiteren Versuchsverlauf zur Bestimmung der Temperatur aus den gemessenen Widerstandswerten benutzt. Beachten Sie bei Verwendung von Gleichung (2), dass die Temperaturangaben immer in Kelvin erfolgen müssen.

Die Erwärmung von drei Arduino-Boards bei unterschiedlichen Belüftungen soll im Folgenden betrachtet werden. Ein Board weist keinerlei Gehäuse auf. Eines befindet sich in einem Gehäuse mit Lüftungslöchern und eines in einem Gehäuse ohne Lüftungslöcher. Auf jedes dieser drei Boards ist ein NTC zur Temperaturmessung aufgeklebt. Messen und notieren Sie bei allen drei Boards im spannungslosen Zustand die Widerstandswerte der NTCs. Anschließend schließen Sie die drei Arduino-Boards über das Netzteil jeweils an 9 V Spannung an. Notieren Sie erneut die jeweils drei gemessenen Widerstandswerte drei, sieben, 15, 25 und 30 Minuten nach Einschalten der 9 V Versorgungsspannung an den Boards.

- 3.1** Bestimmen Sie aus den gemessenen Strömen durch den Fotowiderstand mit und ohne Beleuchtung und der Spannung am Ausgang des Labornetzgerätes jeweils den elektrischen Widerstand nach dem ohmschen Gesetz. Beachten Sie dabei den 120 Ω Widerstand im Versuchsaufbau.

Bestimmen Sie die Umdrehungen der Scheibe pro Sekunde. Nennen Sie eine technische Anwendung für eine Lichtschranke mit dazwischen angeordneter Sektorenscheibe, ähnlich Ihrem Versuchsaufbau.

- 3.2** Bestimmen Sie aus den gemessenen Widerstandswerten mittels der Gleichung (2) jeweils die zugehörigen Temperaturen. Setzen Sie dabei für jedes Arduino-Board den im kalten Zustand bestimmten NTC-Widerstandswert als R_N und den aus der Kalibriermessung bestimmten Wert B ein. Tragen Sie die Temperaturerhöhungen gegenüber der Umgebung in eine Tabelle ein und in einem Diagramm über der Zeit auf. Die Temperaturerhöhung der Arduino-Boards gegenüber der Umgebung folgt zeitlich einer e-Funktion:

$$\Delta T_{Board} = \Delta T_{Ende} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (3)$$

Um die beiden Unbekannten ΔT_{Ende} und τ zu bestimmen, gehen Sie von folgender Näherungsformel aus:

$$\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4)$$

Dabei sind t_1 bzw. t_2 die Zeiten jeweils in der Mitte von zwei Zeitintervallen.

$\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_1$ bzw. $\left(\frac{\Delta T}{\Delta t}\right)_2$ sind die Temperaturänderungen pro Zeit zu den beiden mittleren Zeitpunkten t_1 bzw. t_2 . Zur Berechnung füllen Sie zunächst die auf der übernächsten Seite folgende Tabelle aus. Berechnen Sie die beiden Temperaturänderungen pro Zeit zu den mittleren Zeiten 1,5 min und 27,5 min. Setzen Sie dabei Δt zu 3 min bzw. 5 min. Mit Hilfe des so bestimmten τ -Wertes können Sie nun die maximale Temperaturerhöhung ΔT_{Ende} gegenüber der Umgebung mittels der umgestellten Formel (3)

$$\Delta T_{Ende} = \frac{\Delta T_{Board}}{\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)} \quad (5)$$

bestimmen. Benutzen Sie hierfür die von Ihnen festgestellten Temperaturerhöhungen gegenüber der Umgebung zum Zeitpunkt $t = 25$ min. Mit Hilfe der Formel (3) können Sie nun für jedes Arduino-Board eine zeitabhängige Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebung berechnen. Tragen Sie diese mit in das Diagramm ein.

Welche Tendenz zeichnet sich ab und was bedeutet das für die erwartete Zuverlässigkeit bzw. die erwartete Lebensdauer von elektronischen Geräten bei verschiedenen Belüftungsarten?

3 Versuchsauswertung

mittlerer Zeitpunkt	ΔT Berechnung	Arduino ohne Gehäuse	Arduino mit Lüftungslöchern	Arduino ohne Lüftungslöcher
1,5 min	$T_{3\text{min}} - T_{1,5\text{min}} =$			
5 min	$T_{7\text{min}} - T_{5\text{min}} =$			
11 min	$T_{15\text{min}} - T_{11\text{min}} =$			
20 min	$T_{25\text{min}} - T_{20\text{min}} =$			
27,5 min	$T_{30\text{min}} - T_{27,5\text{min}} =$			

Aus den bestimmten Temperaturwerten berechnete Temperaturdifferenzen in K:

2.1 Lichtmessung

$$I_{\text{hell}} = 33,02 \text{ mA}$$

$$I_{\text{dunkel}} = 0,318 \text{ mA}$$

$$\text{Anzahl Schlitze (Sektorenscheibe)} = \dots \quad f_{\text{Multimeter}} = 103,4 \text{ Hz}$$

2.2 Temperaturmessung

Kalibriermessungen:

$$T_{\text{Raum}} = 23,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad R_{\text{Raumtemp}} = 5,211 \text{ k}\Omega$$

$$T_{\text{Eiswasser}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad R_{\text{Eiswasser}} = 10,03 \text{ k}\Omega$$

Berechnete Werte:

$$B = 2285 \quad R_N = 5,211 \text{ k}\Omega$$

Gemessene Widerstandswerte

Zeitpunkt	Arduino ohne Gehäuse	Arduino mit Lüftungslöchern	Arduino ohne Lüftungslöcher
Beginn (kalt)	5267 Ω	5213 Ω	5215 Ω
3 Minuten	4964 Ω	4815 Ω	4779 Ω
7 Minuten	4824 Ω	4569 Ω	4507 Ω
15 Minuten	4761 Ω	4372 Ω	4201 Ω
25 Minuten	4731 Ω	4310 Ω	4171 Ω
30 Minuten	4729 Ω	4290 Ω	4149 Ω

Fotos zu Versuch 4

(Fotos: Labor für Grundlagen der Elektrotechnik, Hochschule Osnabrück)

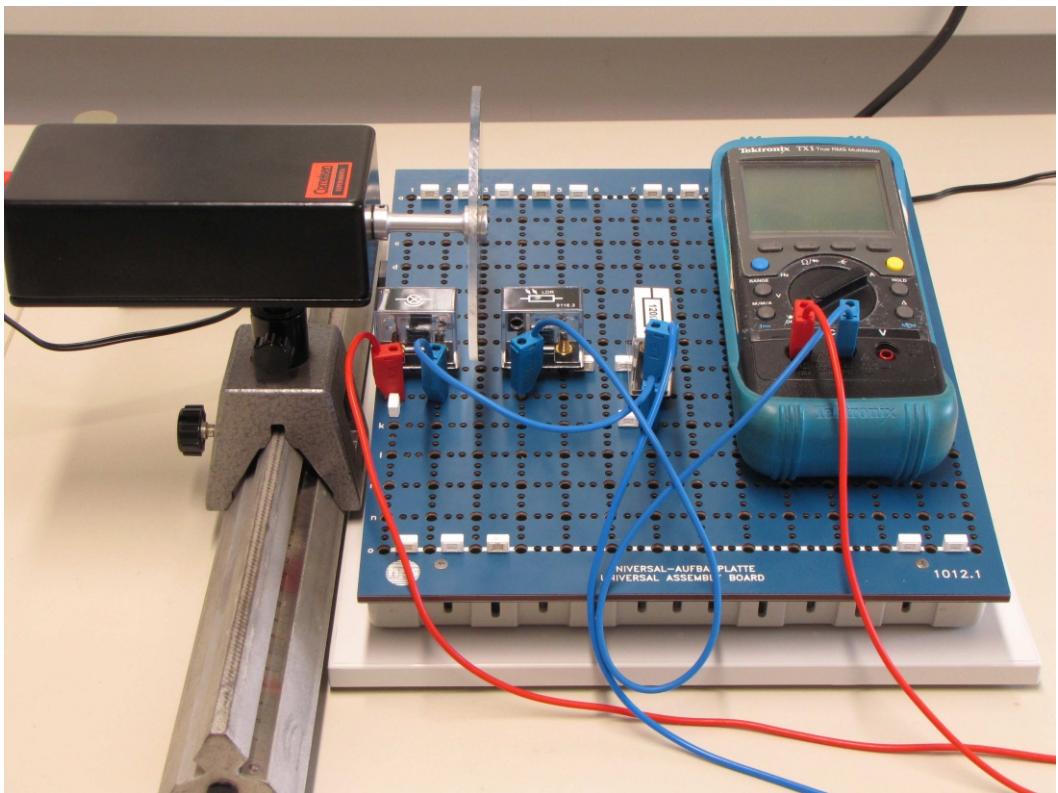


Abb. 4.1: Versuchsaufbau Lichtmessung mit Sektorenscheibe

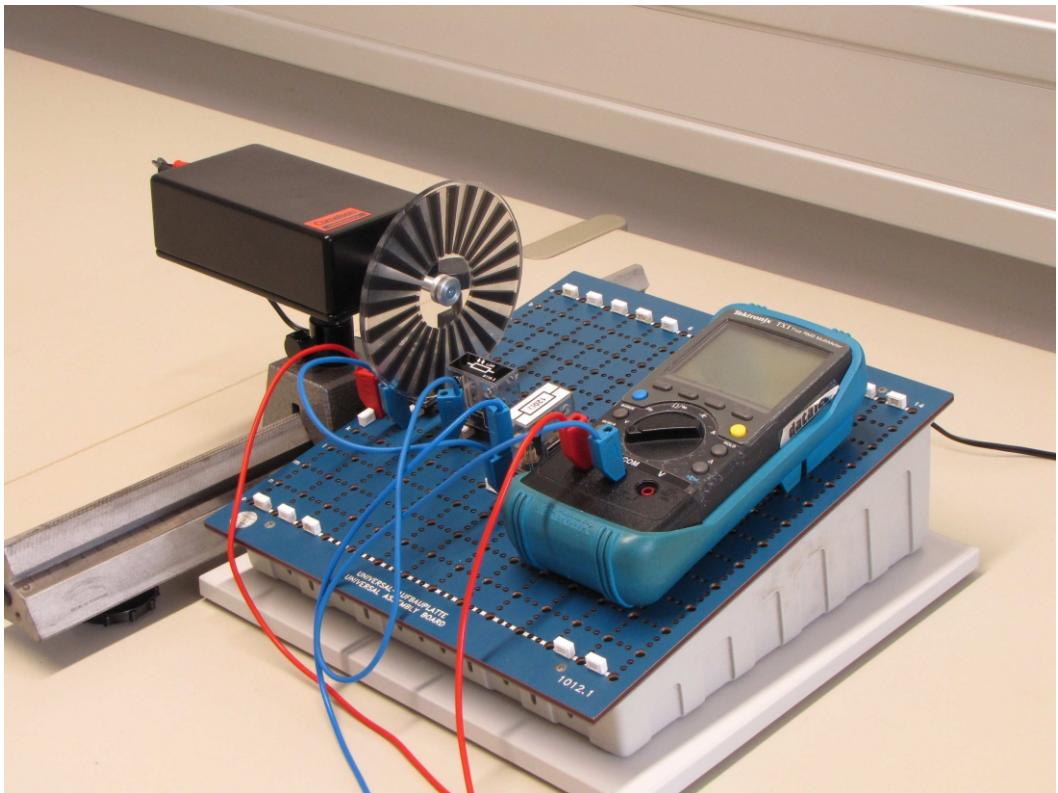


Abb. 4.2: Seitenansicht Lichtmessung mit Sektorenscheibe

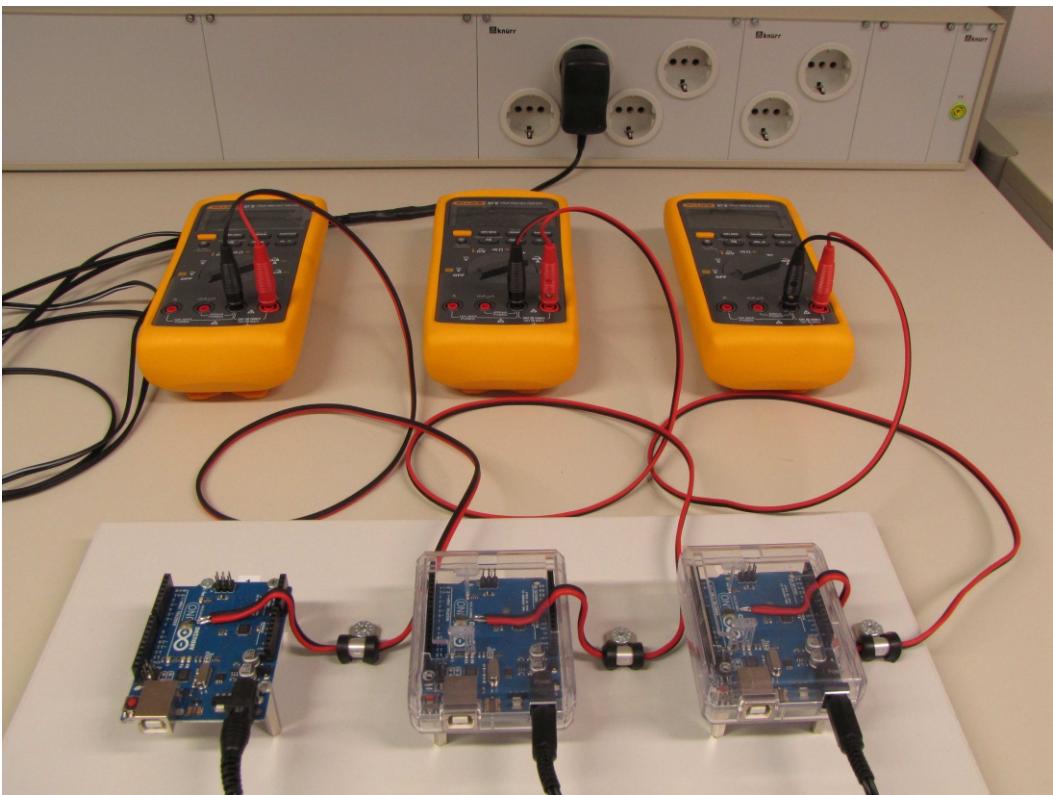


Abb. 4.3: Versuchsaufbau Widerstandsmessung Arduino-Boards

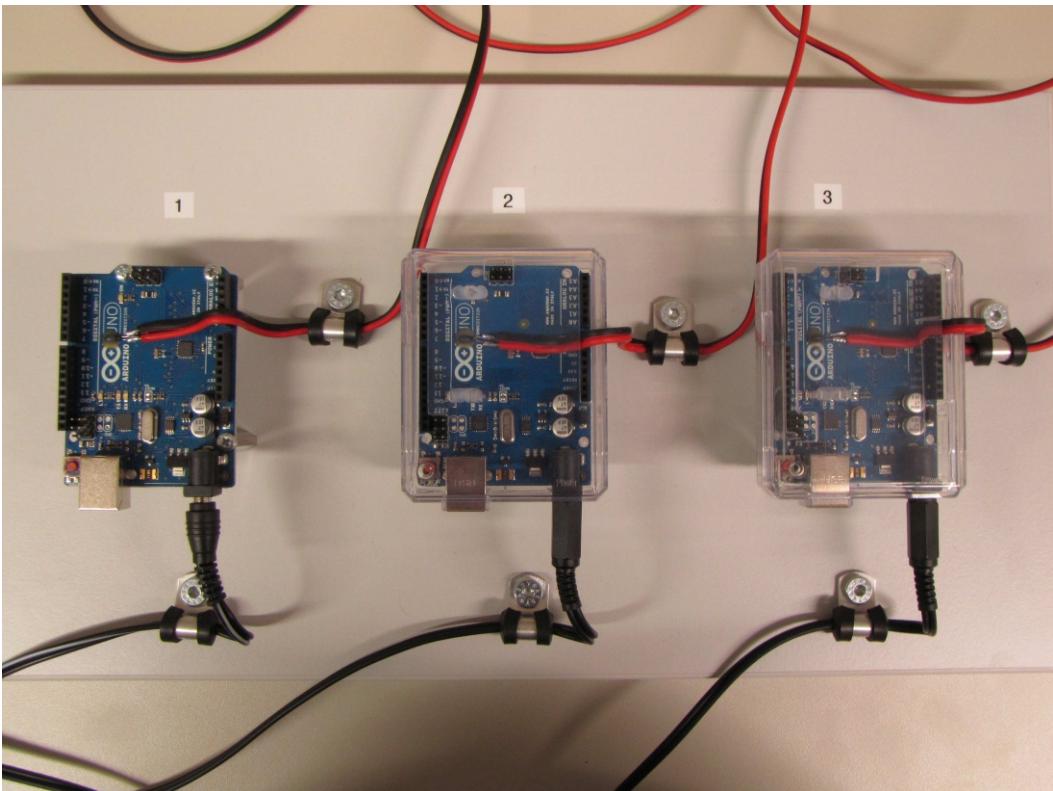


Abb. 4.4: Draufsicht Versuchsaufbau Arduino-Boards



HOCHSCHULE OSNABRÜCK

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Labor für Grundlagen der Elektrotechnik

Elektrotechnisch-physikalische Grundlagen für Technische Informatik

Versuch 5

Impulse auf Leitungen

Verantwortlicher		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Weitere Gruppenmitglieder		
Name	Vorname	Matrikel-Nr.

Versuchstag

Dozent

Testat [vom Dozenten auszufüllen]

In diesem Versuch sollen die Teilnehmer

- Signalverfälschungen durch Reflexionen auf Leitungen kennenlernen
- die Bedeutung des korrekten Leitungsabschlusses erkennen
- die Signalausbreitungsgeschwindigkeit auf einer Leitung bestimmen

1 Grundlagen

Zur Übertragung von digitalen Information über eine elektrische Leitung wird pulsförmig eine Spannung am Leitungsanfang angelegt. Gleichzeitig fließt ein Strom in die Leitung hinein, d.h. es wird Energie in die Leitung eingekoppelt. Dieser so eingespeiste Energieimpuls bewegt sich mit einer endlichen Geschwindigkeit, die geringer ist als die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, auf der Leitung fort. Je nach Größe des Abschlusswiderstandes, der am Leitungsende angeschlossen ist, kann die Energie unterschiedlich gut am Leitungsende wieder ausgekoppelt werden. Ist der Abschlusswiderstand unendlich hoch oder unendlich klein, d.h. ist die Leitung am Ende offen oder kurzgeschlossen, kann keine Energie ausgekoppelt werden. Im ersten Fall kann kein Strom durch den Abschlusswiderstand fließen, im zweiten Fall liegt keine Spannung am Abschlusswiderstand an. Die Impulsenergie wird in die Leitung zurückreflektiert.

Dabei ist $U_{\text{Signal}} = U_{\text{Reflex}}$, wenn die Leitung unbelastet ist und $U_{\text{Signal}} = -U_{\text{Reflex}}$ wenn die Leitung am Ende kurzgeschlossen ist (Abb. 1 und Abb. 2). Das zurückreflektierte Signal kann also je nach Abschlusswiderstand die Polarität des Eingangssignals aufweisen oder aber invertiert werden. Es ergeben sich damit die auch in den Abbildungen 1 und 2 skizzierten Möglichkeiten für Überlagerungen der hin- und rücklaufenden Impulse.

Bei offenem Leitungsende kann es zu einer Spannungsverdopplung, bei kurzgeschlossenem Leitungsende kann es zu einer gegenseitigen Auslöschung der Signale kommen. Signalreflexionen führen also zu Signalverfälschungen auf der Leitung und müssen deshalb vermieden werden. Reflexionen können völlig unterdrückt werden, wenn die Leitung sowohl am Anfang als auch am Ende mit dem für sie charakteristischem Wellenwiderstand Z_w abgeschlossen wird. Für jeden anderen Abschlusswiderstand R ergibt sich ein Reflexionsfaktor $0 < r < 1$ für die Spannungsamplitude des reflektierten Signals:

$$r = \frac{R - Z_w}{Z_w + R}$$

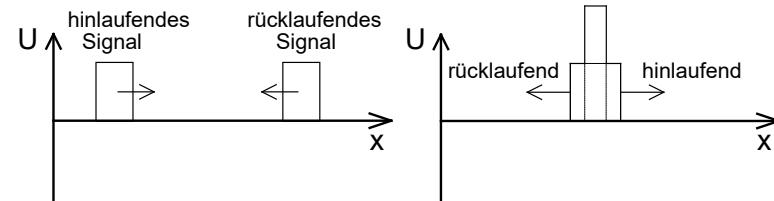


Abb. 1: Überlagerung von hin- und rücklaufendem Signal bei offenem Leitungsende

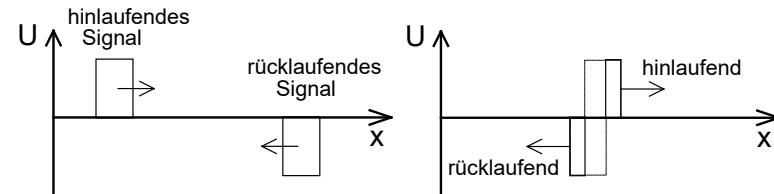


Abb. 2: Überlagerung von hin- und rücklaufendem Signal bei kurzgeschlossenem Leitungsende

Zur Darstellung der Spannungspulse in diesem Versuch wird ein Oszilloskop eingesetzt. Dieses Gerät stellt Spannungswerte senkrecht (in „y“-Richtung) über einer horizontalen Zeitachse („x“-Richtung) dar. Das hier verwendete Gerät kann zwei periodisch zeitabhängige Spannungsverläufe gleichzeitig anzeigen. Dazu werden die beiden Spannungssignale über „BNC“-Buchsen den beiden Y-Verstärkern (Eingangsverstärkern) zugeführt. Gleichzeitig kann ein sogenanntes Trigger-Signal („Auslöse“-Signal) dem Oszilloskop zugeführt werden, um das periodische Messsignal mit der periodisch erfolgenden Zeitablenkung auf dem Oszilloskop-Bildschirm zu synchronisieren.

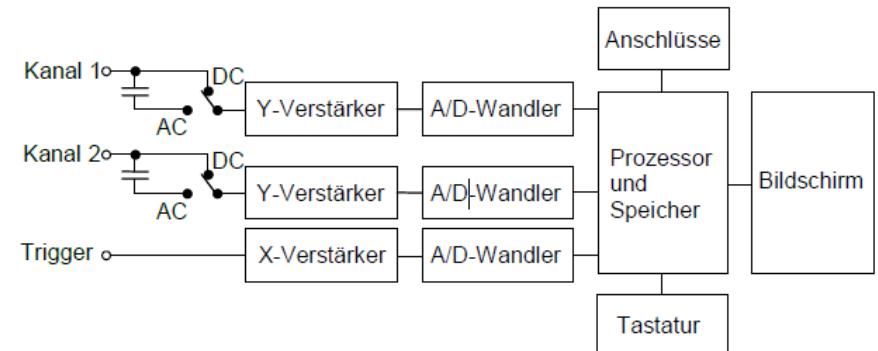


Abb. 3: Prinzipieller Aufbau eines Digital-Oszilloskops

Den Maßstab, mit dem die Spannungswerte über der Zeitachse dargestellt werden, wird über den sogenannten Ablenkungskoeffizienten (Einheit: Sekunde/cm) eingestellt. Der prinzipielle Aufbau des Oszilloskops ist in Abb. 3 skizziert.

2 Versuchsdurchführung

Hier soll eine 60 m lange Datenleitung mit einer Anzapfung in der Mitte nachgebildet werden. Ähnliche Verhältnisse liegen vor, wenn mehrere Rechner über ein Buskabel miteinander verbunden werden.

Verwenden Sie für die Simulation der Schaltung nach Abb. 4 die LTSpice-Datei „**V5 Impulse auf Leitungen 1.asc**“.

In diesem Versuch wird eine „transiente“ Simulation mittels LTSpice durchgeführt. Dabei wird ein zeitabhängiges Signal von der simulierten Spannungsquelle (Funktionsgenerator) erzeugt. Dies wird über die Zeile **PULSE(0 10 10e-9 1e-9 1e-9 83e-9 1.67e-6)** gesteuert. Die in der Klammer angegebenen Parameter bedeuten der Reihe nach: Spannung zu Beginn, Pulsspannung, Pulsanstiegszeit, Pulsfallzeit, Pulsdauer, Periodendauer. Durch Rechtsklick auf das Spannungsquellsymbol kann ein Menü geöffnet werden, in dem diese Parameter angegeben sind und verändert werden können. Der LTSpice-Befehl **.tran 0 3e-6 0 1e-10 uic** steuert die Simulation. Dabei ist hier eine zu simulierende Zeitdauer von 3 μ s voreingestellt. Durch Rechtsklick auf den LTSpice-Befehl öffnet sich wieder ein erläuterndes Fenster, in dem die Werte verändert werden können.

Nach Ablauf der Simulation (**Simulate/Run**) öffnet sich hier ein Diagrammfenster, in dem der zeitabhängige Verlauf der Spannungssignale wiedergegeben werden kann. Dazu wird in dem unten dargestellten Schaltbild die Leitung angeklickt, zu der das simulierte Spannungssignal dargestellt werden soll. (Durch Anklicken eines Bauteiles lässt sich der dort hindurchfließende zeitabhängige Strom darstellen.) Mit dem Cursor können einzelne Punkte im Diagramm „angefahren“ werden. Ganz unten auf dem Bildschirm werden dabei die Koordinaten des Cursorkreuzes angezeigt. So lassen sich Spannungswerte zu verschiedenen Zeitpunkten des simulierten Signalverlaufes ablesen und gegebenenfalls in das Messprotokoll eintragen.

Die im tatsächlichen Versuch verwendeten Kabel sind vom Typ RG58. Dieser Kabeltyp wird hier in der Simulation näherungsweise nachgebildet. Dazu dient die Zeile **.model RG58 LTRA(len=30 R=0.5 L=253n C=101p)**. Die Parameter in der Klammer beschreiben der Reihe nach: die Länge des Kabels; seinen Widerstand/Meter, seine Induktivität/Meter und seine Kapazität/Meter.

Die Pulswiederholfrequenz, die in der Simulation zunächst verwendet wird, beträgt 600 kHz.

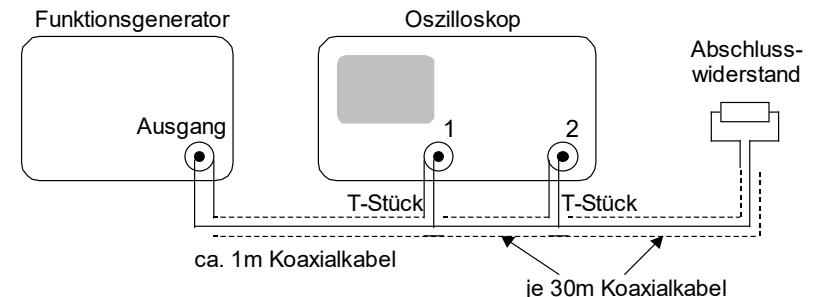


Abb. 4: Verschaltung von Funktionsgenerator und Oszilloskop

2.1 Signalreflexion in Abhängigkeit vom Abschlusswiderstand

Bestimmen Sie an der Leitungsanzapfung bei 30 m (Eingang 2) die Amplitude des hinlaufenden und des rücklaufenden Pulses. Als Abschlusswiderstand werden fünf verschiedene Widerstände angeschlossen (siehe Messprotokoll). Für die Variation des Widerstandswertes führen Sie jeweils einen Rechtsklick auf den Zahlenwert von R2 aus und geben dann den neuen Widerstandswert ein. Anschließend starten Sie die Simulation und werten anschließend den Kurvenverlauf aus. Die entsprechenden Hinweise finden Sie weiter vorne in diesem Text. Für den Fall des offenen Leitungsendes (Widerstandswert: ∞) können Sie einen sehr hohen Widerstandswert von z.B. 10 M Ω oder mehr eingeben. Damit ersparen Sie sich das Herauslöschen und eventuelle Wiedereinfügen des Widerstandes R2 aus dem Schaltplan.

2.2 Signalreflexion zur Messung der Leitungslänge

Bestimmen Sie die Signallaufzeit für eine Strecke von 120 m. Berücksichtigen Sie hierfür, dass das Signal bei einem Hin- und Rücklauf über die 60 m lange Leitung eine Strecke von 120 m zurücklegt. Betrachten Sie also die zeitliche Verschiebung zwischen einem am Leitungsanfang eingespeisten Signal und dem dazugehörigen reflektierten (und gedämpften) Signal.

2.3 Ermittlung der Signalverfälschungen bei zwei unterschiedlichen Abschlusswiderständen

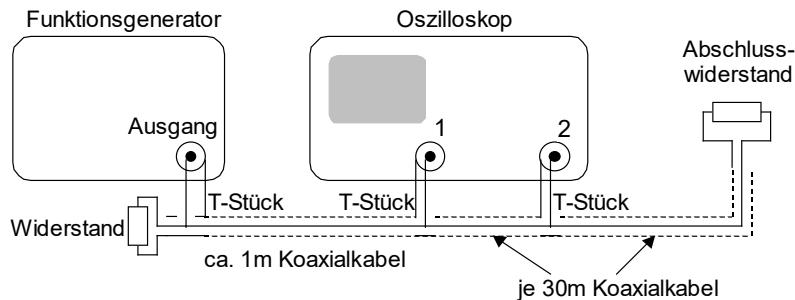


Abb. 5: Versuchsaufbau zu 2.3

Für diesen Versuch wird ein zusätzlicher $10\ \Omega$ Widerstand parallel zum Ausgang des Funktionsgenerators geschaltet, siehe Abb. 5. Dadurch wird der Quellwiderstand am Leitungsanfang effektiv verringert und die Leitung ist an ihrem Anfang nicht mehr mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen. Schließen Sie am Ende der Leitung den $50\ \Omega$ Koaxialwiderstand als Abschlusswiderstand an. Simulieren Sie diesen Einsatzfall mittels der LTSpice-Datei „**V5 Impulse auf Leitungen 2.asc**“.

Skizzieren Sie den Signalverlauf an der Leitungsanzapfung bei 30 m (Eingang 2) mit dem $50\ \Omega$ Abschlusswiderstand bzw. mit einem offenen Leitungsende. Zeichnen Sie weiterhin jeweils das digitale Signal auf, das eine Regeneratorschaltung erzeugen würde, deren Entscheidungsschwelle für „logisch 1“ bzw. „logisch 0“ bei +1 V liegt.

- 3.3 Stimmt das von einer Regeneratorschaltung rückgewonnene Digitalsignal immer mit dem Signal überein, das der Funktionsgenerator abgibt? Was ist für eine korrekte kabelgebundene Datenübertragung zu beachten?

3 Versuchsauswertung

- 3.1 Stimmen die Amplituden der von Ihnen gemessenen reflektierten Signale mit den erwarteten Werten überein? Ermitteln Sie hierfür zunächst die erwarteten Werte und tragen Sie diese in eine Tabelle ein. Geben Sie auch eine Wertung ab und gegebenenfalls einen Grund für eine systematisch auftretende Abweichung an.
- 3.2 Ermitteln Sie aus der Laufzeit des Signals die Signalausbreitungsgeschwindigkeit über das Koaxialkabel.

Zu 2.1:

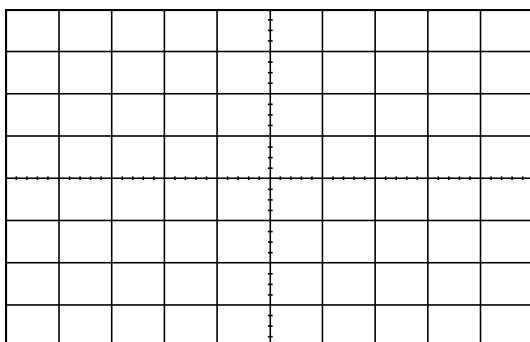
	Amplitude hinlaufend	Amplitude rücklaufend
$R_{\text{Abschluss}} = \infty$		
$R_{\text{Abschluss}} = 100 \Omega$		
$R_{\text{Abschluss}} = 47 \Omega$		
$R_{\text{Abschluss}} = 10 \Omega$		
$R_{\text{Abschluss}} = 0$		

Zu 2.2:

Zeitverschiebung bei 120 m Leitungslänge

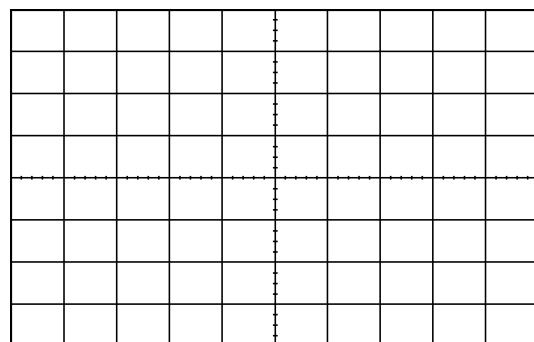
Zu 2.3:Leitungsende: 50Ω Abschluss

offen



horizontal: Zeit/Skalenteil

vertikal: Volt/Skalenteil



horizontal: Zeit/Skalenteil

vertikal: Volt/Skalenteil

Rückgewonnene Digitalsignale:

Leitungsende: 50Ω Abschluss

offen

