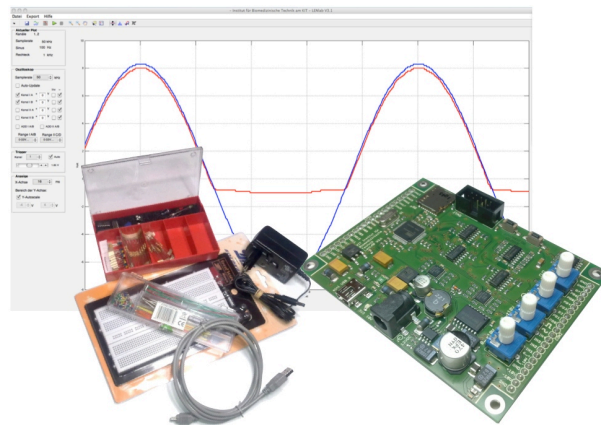


Kurs 3
Sensorik



Gruppe 7

Vorname	Nachname	Matrikel-Nr.	u-Account	E-Mail
Marius Jens	Kleinfeld	2281487	ufkuy	ufkuy@student.kit.edu
Anselm	Scherr	2281170	unnkn	unnkn@student.kit.edu
Pujan	Karehroudi	2281818	udnju	udnju@student.kit.edu

22. Mai 2020

Abstract

Der Inhalt des Workshop „Sensorik“ umfasst zwei Teilgebiete der Sensorik. Im ersten Teil wird eine Lüftersteuerung, bestehend aus zwei Lüftern (Darstellung mithilfe zweier LEDs) und aus zwei Stufenschaltungen, realisiert. Diese bestehen aus einem NTC und jeweils aus einem Widerstand zur Leistungsbegrenzung und einem Widerstand zur Basisstrombegrenzung für den verwendeten Transistor. Bei äußerer Erwärmung des NTCs geht ab einer festgelegten Temperatur von 49°C lediglich ein Lüfter an. Wenn dieser weiterhin erwärmt wird und die Temperatur des NTCs von 79°C beträgt bzw. überschritten wird, soll sich der zweite Lüfter dazuschalten. Das An- bzw. Abschalten der Lüfter wird mithilfe zweier LEDs, die jeweils synchron für Lüfter „AN“ leuchten und für Lüfter „AUS“ nicht leuchten, modelliert.

In dem zweiten Teil der Aufgabe wurde eine Messschaltung konzipiert, mit der die Geschwindigkeit eines Objektes zwischen zwei Lichtschranken ermittelt werden konnte. Dabei werden Informationen über die Lichtschranke TCST1103 und das Lade -und Entladeverhalten des $10\mu\text{F}$ Aluminium Elektrolyt Kondensators untersucht. Durch die Untersuchung der Lichtschranke und das Lade -und Entladeverhalten des Kondensators wurde die Messschaltung entwickelt. Anhand von Messungen an der Schaltung und deren rechnerischen Nacharbeitung wurden die jeweiligen Ergebnisse abgeglichen. Die jeweiligen Ergebnisse bestätigen die angegebene Theorie.

Inhaltsverzeichnis

1	Die Temperaturmessschaltung	5
1.1	Recherche	5
1.2	Dimensionierung der Messschaltung	7
1.2.1	Materialien und Methoden	7
1.2.2	Dimensionierung der ersten Stufe des Lüfters	7
1.2.3	Dimensionierung der zweiten Stufe des Lüfters	9
1.3	Aufbau der Gesamtschaltung	11
1.4	Diskussion	12
2	Die Lichtschranke	13
2.1	Recherche	13
2.1.1	Einweglichtschranke	13
2.1.2	Reflexionslichtschranke	13
2.1.3	Reflexionslichttaster mit Hintergrundausblendung	13
2.1.4	Lichtgitter	13
2.2	Zeitlicher Verlauf von U_{out}	14
2.3	Messreihe am Kondensator	14
2.4	Laden des Kondensators	15
2.5	Geschwindigkeitsmessenanlage	16

Abbildungsverzeichnis

1	Widerstandskennlinie des NTC [2, S.5]	5
2	Nicht-dimensionierter Schaltplan der ersten Stufe des Lüfters	7
3	Nicht-dimensionierter Schaltplan der zweiten Stufe des Lüfters	10
4	Vollständig dimensionierte, zweite Stufe des Lüfters	10
5	Temperaturmessschaltung bei niedriger Temperatur	11
6	Temperaturmessschaltung bei ungefähr $49^{\circ}C$	11
7	Skizze einer TCST1103 Lichtschranke [8]	13
8	Zeitlicher Verlauf von U_{out}	14
9	Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit	15
10	Aufbau eines Nicht-Gatters in LTspice	16
11	Schaltplan der Geschwindigkeitsmessenanlage	16
12	Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit der Geschwindigkeitsmessenanlage	17
13	Steckbrettaufbau der Geschwindigkeitsmessenanlage	18

Tabellenverzeichnis

1	Materialien für die Temperaturmessschaltung	7
---	---	---

2	Messreihe am Kondensator	15
3	Fragen zur Gesamtschaltung	17

1 Die Temperaturmessschaltung

1.1 Recherche

Die Umwandlung von chemischen und physikalischen Eigenschaften in verwertbare, elektrische Signale zur Steuerung und Regelung von Geräten, Maschinen und von hochkomplexen Systemen ist der Hauptbestandteil unserer heutigen intelligenten Technik. Dies ist die kurze Beschreibung eines Bauteils, dass vielmehr unter dem Namen „**Sensor**“ bekannt ist. Hierbei bestehen Sensoren aus elektronischen Bauteilen, deren elektrisches Verhalten in Relation zu einer bestimmten Art von chemischen und physikalischen Größenänderungen (zum Beispiel Druck, Temperatur, Licht etc.) gestellt werden können [1]. So werden diese Größen skalierbar und können von technischen Systemen weiterverarbeitet werden.

Eine elektronische Bauteilgruppe, mit der wir uns in diesem Abschnitt beschäftigen, sind die sogenannten Thermistoren. Dies sind temperaturabhängige Widerstandsbauelemente, deren ohmscher Widerstand sich in Abhängigkeit von der inneren Temperatur des Bauteils vergrößert oder verkleinert. Sie werden nochmals in Heißleiter und Kaltleiter unterteilt. Ein Heißleiter wird auch als NTC („**n**egative **t**emperature **c**oefficient“) und ein Kaltleiter als PTC („**p**ositive **t**emperature **c**oefficient“) bezeichnet. Die PTCs leiten bei niedrigen Temperaturen besser und besitzen bei hohen Temperaturen einen großen ohmschen Widerstand [2, S.5]. Hierbei ist für NTCs charakteristisch, dass sie bei steigender Temperatur leitfähiger werden, also einen geringeren ohmschen Widerstand aufweisen, als bei niedrigen Temperaturen [2, S.4]. Eine typische NTC-Kennlinie in Abhängigkeit von der Temperatur ist hier zu sehen. Die dazugehörige

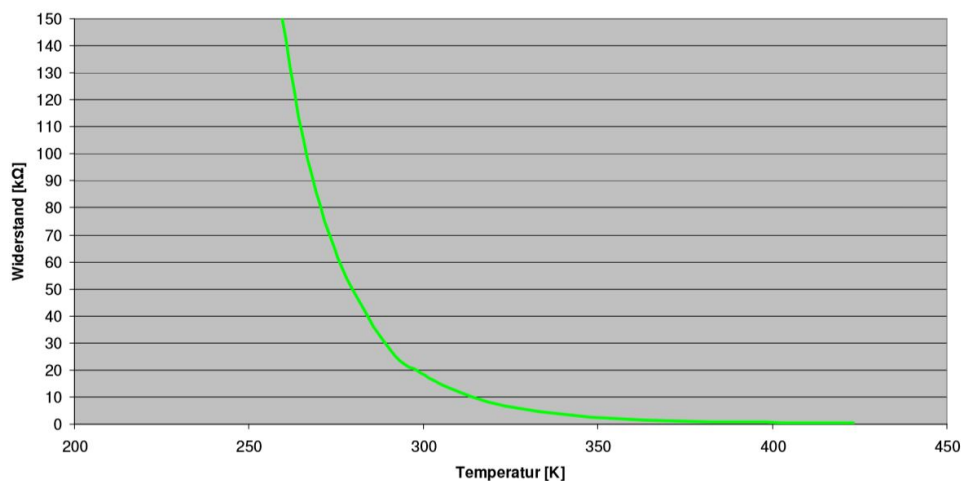


Abbildung 1: Widerstandskennlinie des NTC [2, S.5]

Formel für die $R_{NTC}(T)$ -Abhängigkeit lautet:

$$R(T) = R_{ref} e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}$$

Hierbei sind die Variablen A, B, C, D konstante Werte, die vom Material abhängig sind. R_{ref} ist der Widerstandswert bei der Referenztemperatur von 25°C und T ist die Temperatur in Kelvin.

Allerdings ist zur Realisierung der Temperaturmessschaltung lediglich ein NTC zum Einsatz gekommen, weswegen im weiteren Verlauf nur die Gruppe der Heißeiter näher betrachtet wird.

Das Ausgangsmaterial von kommerziellen NTCs ist zumeist ein Metalloxid wie zum Beispiel: NiO , CoC , Co_3O_4 , Fe_2O_3 etc. [2, S.4]. Ein NTC kann aber auch aus einem reinen Halbleitermaterial bestehen [4]. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Bildung von Mischkristallen wie zum Beispiel MgFe_2O_4 mit dem einhergeht und als Ausgangsmaterial verwendet wird. Diese Materialien werden einem Herstellungsprozess unterzogen, sodass sie am Ende die gewünschten Eigenschaften besitzen, um unterschiedlich stark bzw. schwach auf Temperaturänderungen zu reagieren. Dieser Prozess besteht aus der Versetzung der Materialien mit Bindemitteln, dem darauffolgenden pressen und dem damit einhergehenden sintern unter Temperaturen zwischen 1000°C - 1400°C . Diese gewünschten Eigenschaften können außerdem durch das Mischungsverhältnis und der Dotierung der Metalloxide, durch Veränderung des Sauerstoffgehalts bei der Erhitzung sowie durch die Abkühlgeschwindigkeit individuell angepasst werden [4].

Heißeiter finden beispielsweise in der Regelungstechnik als Einschaltstrombegrenzer oder Temperaturfühler Anwendung [4]. Außerdem können diese auch in der Hochfrequenztechnik zur Verstärkungs- und Amplitudenregelung dienen [1] und finden noch in sehr viel mehr Anwendungen ihren Einsatz. Denn der Vorteil von Heißeitern ist, dass sie vor allem in der Anwendung als Temperaturfühler mit einer höheren Empfindlichkeit, einer besseren Präzision und einem größeren Widerstandsbereich überzeugen können[3]. Die Fertigung ein sehr kostengünstiger Prozess und sie können sehr kleine Bauteilformen annehmen. Zudem besitzen sie eine sehr lange Lebensdauer ohne Präzisionsverluste. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass die Auswahl zwischen hoch präzisen und weniger präzisen, kostengünstigeren NTCs sehr groß ist und dadurch auch der Anwendungsbereich erheblich vergrößert wird [3]. Der größte Nachteil ist die unbeabsichtigte Eigenerwärmung der Bauteile, wodurch Leistungsbeschränkungen vorgenommen werden müssen, um einer Verfälschung von Ergebnissen zu entweichen. Die Eigenerwärmung kann allerdings auch in Einschaltstrombegrenzer genutzt werden. Im Allgemeinen werden NTCs in einem Temperaturbereich zwischen -60°C bis 200°C eingesetzt [3]. Allerdings können bestimmte NTCs auch in deutlich höheren Temperaturbereichen eingesetzt werden.

1.2 Dimensionierung der Messschaltung

1.2.1 Materialien und Methoden

Tabelle 1: Materialien für die Temperaturmessschaltung

Bauteil	Beschreibung	Wert
NTC	VISHAY 2381 640 6.103	$10k\Omega - 182,6k\Omega$
Widerstände	Kohleschichtwiderstände, 5 Toleranz	$2.2k\Omega$, 680Ω , 460Ω , 33Ω , 10Ω
Transistor	BC547c	
LED	LED, grün	
Steckbrett		

1.2.2 Dimensionierung der ersten Stufe des Lüfters

In Abbildung 2 ist der Schaltplan in LTspice aufgebaut und stellt den Schaltplan für die erste Stufe des Lüfters dar. Dieser wurde allerdings noch nicht vollständig dimensioniert. Hierzu mussten zunächst ein paar Bedingungen für den Gebrauch des NTCs berücksichtigt werden. Für die erste Bedingung muss nochmal das Ziel der Messschaltung betrachtet werden: Das

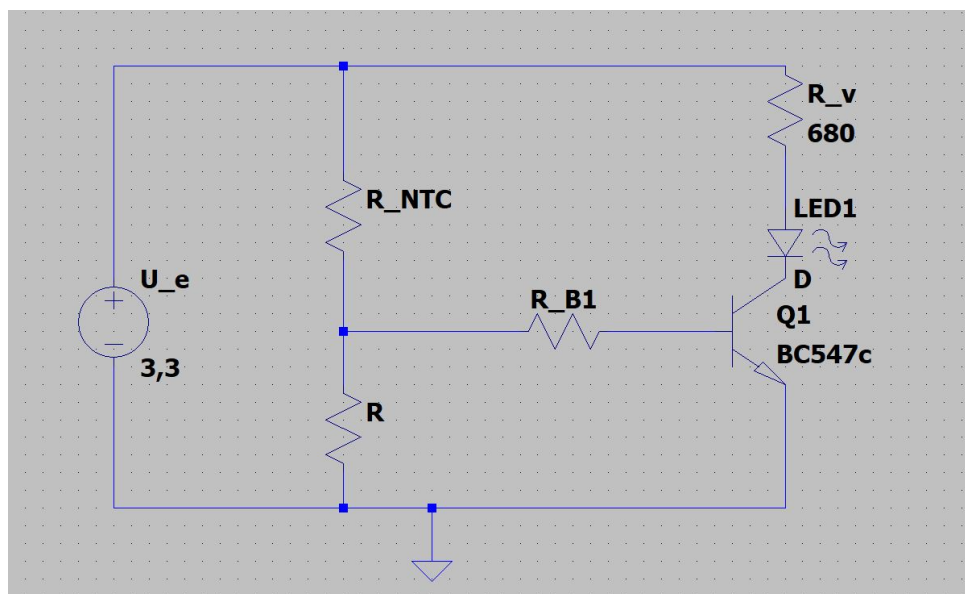


Abbildung 2: Nicht-dimensionierter Schaltplan der ersten Stufe des Lüfters

Ziel ist es, dass der NTC mithilfe eines Feuerzeugs erwärmt wird und bei bestimmten Temperaturen die Lüfter dazugeschaltet werden. Dabei soll keine Verfälschung durch die Eigenerwärmung des NTCs stattfinden. Es wurde die Annahme getroffen, dass die Eigenerwärmung

bei einer Leistung kleiner 15mW vernachlässigbar klein ist. Den größtmöglichen Spannungsabfall über einem Widerstand erhält man, wenn der Innenwiderstand der Quelle gleich groß wie der des Widerstandes selber ist. In diesem Fall ergibt sich: $R_{NTC} = R$. Mithilfe der Spannungsteilerregel kann nun die Mindestgröße des Widerstandes R (dargestellt mit R_{min}) wie folgt berechnet werden:

Gegebene Größen: $U_e = 3.3V$ und $P = 0.015W$

$$\frac{U_R}{U_e} = \frac{R}{2R}; \quad U_R = U_e \frac{R}{2R}; \quad U_{NTC} = U_e - U_R; \quad P = U_{NTC}I; \quad P = \frac{(U_e - U_e \frac{R}{2R})^2}{R}$$

Nun wurden die gegebenen Werte eingesetzt und mithilfe des Taschenrechners und der Funktion „SOLVE“ gelöst:

$$0.015W = \frac{(3.3V - 3.3V \frac{R}{2R})^2}{R} \quad R_{min} = 181,5\Omega$$

Dieser Wert muss nun mit dem Datenblatt des NTCs verglichen werden. Aufgrund des Temperaturbereiches von $25^\circ C$ bis $150^\circ C$ und der Tatsache, dass ein NTC bei immer größer werdenden Temperaturen einen immer kleiner werdenden Widerstand besitzt, muss der berechnete Wert R_{min} mit dem Widerstandswert des NTCs bei $150^\circ C$ verglichen werden. Das Datenblatt zeigt, dass gilt: $0.1826k\Omega = 182.6\Omega > 181.5\Omega$

Des weiteren ist in Abbildung 2 ein bipolar Transistor (npn) mit der Bauteilnummer BC547c und ein Widerstand R_{B1} zu sehen. Dieser sorgt dafür, dass sich bei einer (temperaturabhängigen) Spannung über dem Widerstand R von $U_R(T) = 0.7V$ ein Strom fließt und die LED1 (s. 2) leuchtet. Dies soll nach Vorgabe bei ungefähr $49^\circ C$ geschehen. Der Widerstandswert für den NTC bei dieser Temperatur kann mithilfe der oben angegebenen Formel für $R_{NTC}(T)$ und des beigegeführten Datenblattes berechnet werden und man erhält:

$$R_{NTC}(49^\circ C) = 3767,01\Omega$$

Zur Berechnung des Widerstandes R kann wieder die Spannungsteilerregel angewandt werden:

$$\frac{U_R}{U_e} = \frac{R}{R_{NTC} + R}$$

Umgestellt nach R ergibt sich:

$$R = \frac{U_R R_{NTC}}{U_e - U_R} = 1014,195\Omega$$

Zusätzlich ist, wie erwähnt, noch vor dem Transistor ein Widerstand R_{B1} geschaltet, welcher zur Basisstrombegrenzung dient. Um diesen Widerstandswert berechnen zu können, wird die Basis-Emitter Sättigungsspannung benötigt. Sie kann aus dem Datenblatt [5] des Transistors BC547c entnommen werden. $V_{BE}(sat)$

$$\Rightarrow I_C = 10mA; I_B = 0.5mA$$

Daraus ergibt sich ein Verstärkungsfaktor B:

$$B = \frac{I_C}{I_B} = 20$$

Mittels des Datenblattes für die LED [6] kann bei $T_A = 25^\circ C$ ein Maximalstrom von 25mA abgelesen werden. Durch die möglicherweise entstehende höhere Temperatur an der LED ist vorsichtshalber ein Maximalstrom $I_C = 20mA$ gewählt worden.

$$I_B = \frac{I_C}{B} = 1mA$$

Die Spannung U_R ist abhängig vom Widerstand des Heißeiters. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Heißeiters benötigt man einen Widerstandswert für R_{B1} , der den Basisstrom für alle U_R auf 20mA begrenzt. Hierzu muss der Wert für R_{B1} mit der größtmöglichen Temperatur von $150^\circ C = 423K$, wobei hier der Widerstandswert von $R_{NTC} = 182,6\Omega$ ist.

$$R_{NTC}(T) = R_{ref} e^{\left(A + \frac{B}{T}\right) + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}} \Rightarrow R_{NTC}(423K) = 182,6\Omega$$

$$R_B(T) = \frac{U_R(T) - U_e}{I_B} = \frac{U_R(T) - 0.7V}{0,001A} = \frac{U_R(T)}{I_B} - 700\Omega$$

Berechnung mithilfe des Taschenrechners ergibt:

$$R_B(T) = \frac{3326400}{182,6\Omega + 1014,195\Omega} - 700\Omega = 2079,42\Omega$$

Damit ist die erste Stufe des Lüfters dimensioniert. Mit dem nun erarbeiteten Wissen kann die zweite Stufe des Lüfters, im nächsten Abschnitt, dimensioniert werden. Die zweite Stufe des Lüfters stellt letztendlich auch das Ziel der Gesamtschaltung dar.

1.2.3 Dimensionierung der zweiten Stufe des Lüfters

Um die zweite Stufe des Lüfters aufzubauen und danach zu dimensionieren, werden wieder ein paar Hintergrundinformationen benötigt.

Der zweite Lüfter soll sich bei einer ungefähren Temperatur von $79^\circ C$ zusätzlich zu dem ersten dazuschalten. Es ist naheliegend, dass nochmals ein Transistor mit der Bauteilnummer BC547c, ein Widerstand zur Basisstrombegrenzung vor diesen sowie ein Vorwiderstand vor der LED, welcher genauso groß ist wie der andere. Ebenso wird nun noch ein Widerstand seriell zu den Widerständen R_{NTC} und R geschaltet. Das ganze sieht dann aus wie in 3. Es muss nun die Spannungsteilung unter Berücksichtigung des Widerstandes R mit 1014.195Ω und der unter der Voraussetzung, dass gilt:

$$R_1 + R_2 = 1014.195\Omega$$

Der erste Transistor greift dabei die Spannung an R_1 ab und der zweite an R_2 . Für $78^\circ C$ ergibt sich in Kelvin umgerechnet 351K.

$$R_{NTC}(351K) = 1347,76\Omega$$

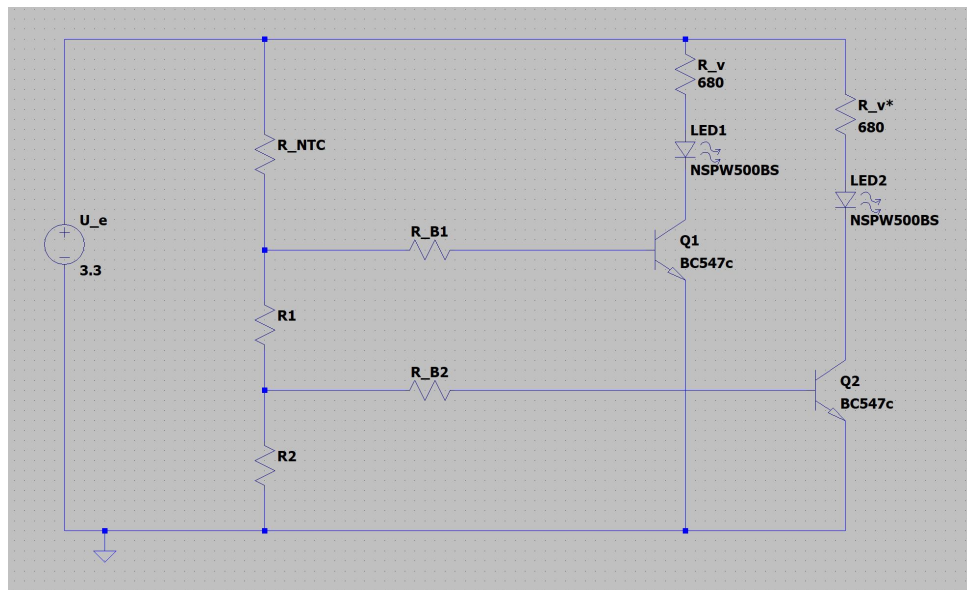


Abbildung 3: Nicht-dimensionierter Schaltplan der zweiten Stufe des Lüfters

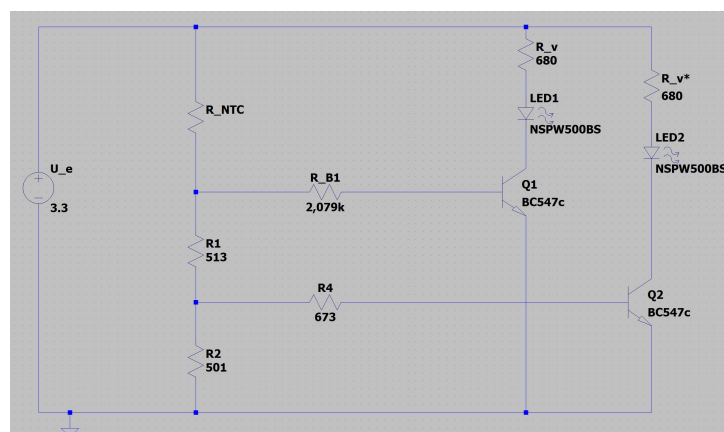


Abbildung 4: Vollständig dimensionierte, zweite Stufe des Lüfters

$$\frac{U_{R2}}{U_e} = \frac{R_2}{R_{NTC} + R_1 + R_2} \Rightarrow \frac{U_{R2}}{U_e} = \frac{R_2}{1347,76\Omega + 1014,195\Omega} \Rightarrow R_1 = 513,175\Omega \Rightarrow R_2 = 501,02\Omega$$

Nun muss noch der Widerstand R_{B2} zur Basisstrombegrenzung berechnet werden. An R_2 fällt hier allerdings nicht so viel Spannung wie am Widerstand R ab. Dadurch wird im Vergleich zu R_{B1} ein geringerer Wert für R_{B2} benötigt:

$$R_{B2}(T) = \frac{1,6434 * 10^6}{182,6\Omega + 1014,195\Omega} - 700\Omega \approx 673,17\Omega$$

In der Abbildung 4 ist nun die vollständig dimensionierte, zweite Stufe des Lüfters zu sehen. Diese spiegelt auch die vollständig dimensionierte Temperaturmessschaltung wieder.

1.3 Aufbau der Gesamtschaltung

Für den Aufbau der Schaltung haben wir uns dem Bauteilkasten bedient und mussten dadurch ein paar andere Werte für bestimmte Widerstände nehmen. Für R_2 hat sich ein Wert von 503Ω und für R_{B2} ein Wert von 680Ω ergeben. Außerdem musste der Widerstand R_{B1} auf $2,2k\Omega$ gerundet werden. Der NTC wurde mittels eines Feuerzeugs erhitzt. Eine Beobachtung, die gemacht wurde, ist, dass nach dem Entfernen des Feuerzeugs, die LED noch für eine kurze Zeit geleuchtet hat. Es fehlt ein Bild, in dem beide LEDs leuchten. Dies ist wahrscheinlich

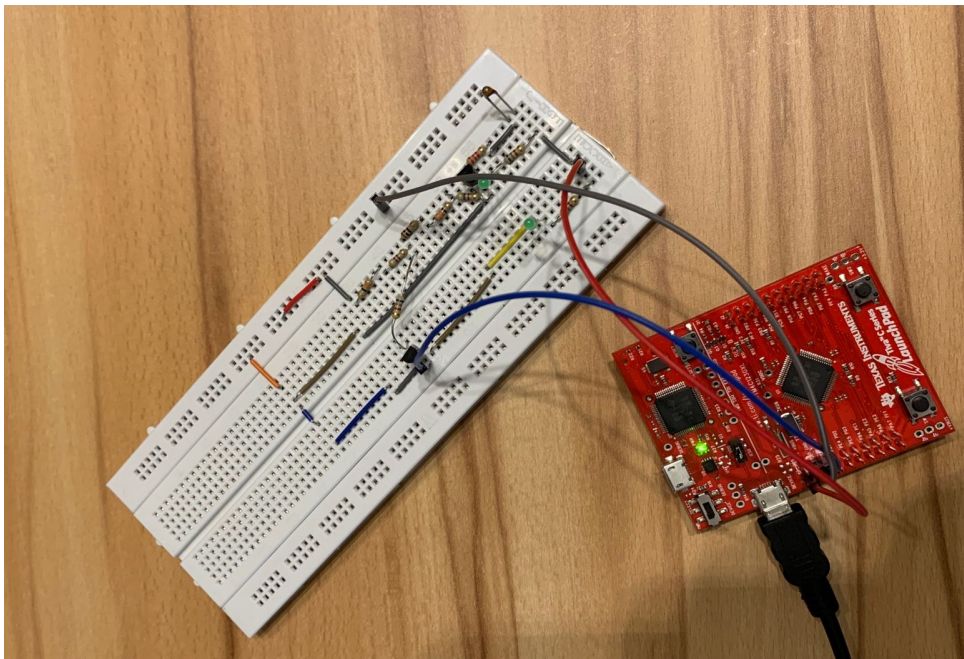


Abbildung 5: Temperaturmessschaltung bei niedriger Temperatur

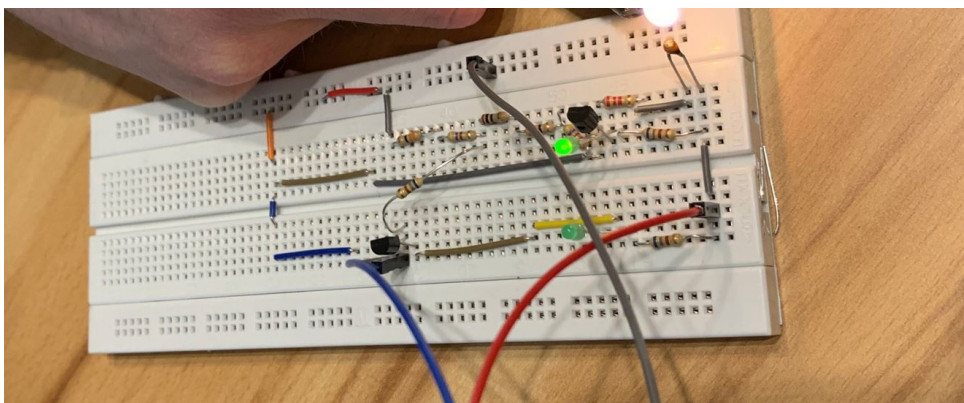


Abbildung 6: Temperaturmessschaltung bei ungefähr 49°C

dadurch geschuldet, dass der NTC mit dem Feuerzeug erhitzt wurde und die Flamme für eine zu lange Zeit zu nah drangehalten wurde und dadurch der NTC leicht verkohlt wurde. Es

war aufgrund einer zu großen Wegstrecke zu den Kommilitonen, und einer bei Bestellung zu langen Lieferzeit, nicht möglich, das Bild mit zwei leuchtenden LEDs zu machen.

1.4 Diskussion

Den letzten beiden Abbildungen nach zu urteilen und dem aufleuchten der ersten LED, ist der Schaltungsaufbau vollfunktionsfähig. Die erste LED leuchtete bereits nach einer ziemlich kurzen Zeit auf. Die Erwärmung des NTCs auf ca. 79°C mittels des Feuerzeugs benötigte allerdings ein bisschen mehr Zeit, wodurch die Flamme diesen wegen Unkonzentriertheit ab und an vollständig bedeckte und vor Aufleuchtung der zweiten LED verkohlt war. Daraufhin erlosch auch die erste LED und der NTC war unbrauchbar. Es wurden nämlich seine Kristallstrukturen zerstört und hatte damit kein charakteristisches Verhalten mehr. Eine bessere und sichere Methode zur Erwärmung NTCs wäre zurückblickend die Nutzung eines Heißluftföhns gewesen, da der Kern der Flamme eines Feuerzeugs (die blaue Flamme) über 1000°C heiß werden kann.

Außerdem wurden zur Berechnung der Widerstände Vereinfachungen vorgenommen, die nicht unerwähnt bleiben dürfen. Zum Einen ist der Spannungsteiler mit dem der Widerstand R berechnet wurde, nur ein gültiges Mittel, wenn durch R_{NTC} und R dieselbe an Ladungen pro Sekunde durch die Widerstände fließen. Dies gilt allerdings nicht mehr, sobald der erste Transistor durchschaltet. Zum Anderen ist in der Berechnung jediglich von einer Temperaturabhängigkeit des NTCs ausgegangen worden. Der Versuch ist es mit der Feuerzeugflamme gewesen, auch nur den NTC zu erhitzen, allerdings können hierbei auch andere Bauteile erwärmt worden sein. Auffällig ist auch das zeitverzögerte Erlöschen des Lichtes der LED, nachdem das Feuerzeug entfernt wurde. Das Fazit aus der Beobachtung ist, dass sich die Außentemperatur von der inneren Temperatur des NTCs unterscheidet. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass der NTC erst erwärmt werden musste, um eine der beiden Temperaturen zu erreichen und nicht auf direkte Umgebungstemperaturänderungen reagiert hat. Eine weitere Begründung dessen ist die Eigenerwärmung der NTCs bei höheren Leistungen.

Wie bereits erwähnt, hätte die Versuchsdurchführung eher mit einem Heißluftföhn gemacht werden sollen, da hierbei auch der NTC schonender erwärmt wird. Des weiteren ist für den Beobachter nicht erkennbar, ob die erste LED wirklich bei einer ungefähren Temperatur von 49°C aufgeleuchtet ist. Hierzu hätte man die Temperatur des NTCs messen müssen.

2 Die Lichtschranke

2.1 Recherche

Alle Lichtschranke haben die Gemeinsamkeit, dass sie aus einem Sender (Laserdiode oder LED) und einem Empfänger (Phototransistor oder Fotodiode) bestehen [9].

2.1.1 Einweglichtschranke

Es handelt sich um einen Sender und einen externen Empfänger. Diese müssen exakt aufeinander ausgerichtet werden. Diese Art von Lichtschrank ist ideal in Gegenden, in denen es oft schmutzig oder auch Nass werden kann [7]. Der Maximalabstand beträgt 80m [10].

2.1.2 Reflexionslichtschranke

Sender und Empfänger sind in einem Gehäuse untergebracht. Der Laserstrahl von dem Sender, wird von einem Reflektor zu dem Empfänger zurückgeworfen. Dadurch ist es möglich schnelle Bewegungen festzustellen [7].

2.1.3 Reflexionslichttaster mit Hintergrundausbldung

Die Lichtstrahlen werden von den jeweiligen Oberflächen reflektiert. Somit ist kein Reflektor nötig. Dies ist für Anwendungen wichtig, bei denen eine genaue Positionierung des Objektes wichtig ist. Ist jedoch Fehleranfällig, da „spiegelnde“ oder „glänzende Objekte“ [10] nicht richtig erkannt werden können [7].

2.1.4 Lichtgitter

Mehrere parallel angelegte Einweglichtschranken ermöglichen eine genauere und sicherere Erfassung eines Objektes, da Lichtgitter eine größere Fläche abdecken [7], [10].

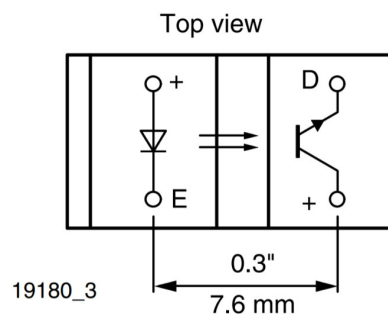


Abbildung 7: Skizze einer TCST1103 Lichtschranke [8]

2.2 Zeitlicher Verlauf von U_{out}

Das ein Zentimeter lange Objekt befindet sich von der Lichtschranke 1cm entfernt.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,01m}{10\frac{m}{s}} = \frac{1}{1000}s = 0,001s$$

Das Objekt benötigt 0,001s um den Lichtsensor zu erreichen. Die Spannung beträgt 3.3V. Ab 0,001s wirkt die Lichtschranke wie eine Klemme, da kein Basis-Emitter-Strom mehr fließt und die Messleitung wird über den Widerstand auf Masse gezogen. Dadurch beträgt die Spannung 0V. Nach weiteren 0,001s hat das Objekt die Lichtschranke passiert, da das Objekt 1cm lang ist und noch mit der gleichen Geschwindigkeit von 10m/s die Lichtschranke durchquert. Nach den insgesamt 0,002s beträgt die Spannung $U_{out}(t) = 3.3V$.

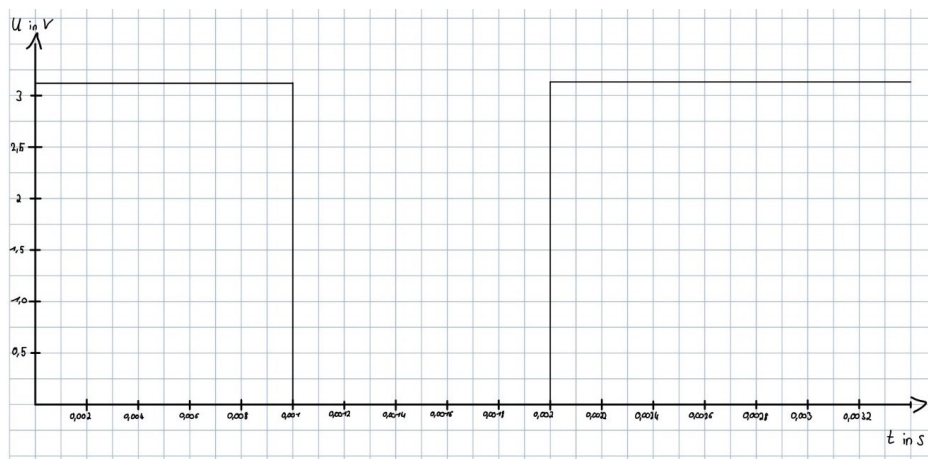


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf von U_{out}

2.3 Messreihe am Kondensator

Es wurde der $10\mu F$ Kondensator parallel mit einem $220k\Omega$ Widerstand an eine Spannungsquelle angeschlossen, um ihn aufzuladen. Dann wurde die Spannungsquelle getrennt und der Kondensator über den Widerstand entladen. Der Spannungsverlauf der Entladung kann durch die folgende Funktion modelliert werden:

$$U(t) = U_0 e^{\frac{-t}{RC}}$$

Wobei U_0 für die anliegende Ladespannung, C für die Kapazität, R für den Widerstand und t für die Zeit steht. Um die Messung zu vervollständigen, wurde zusätzlich ein Spannungsfolger in die Schaltung integriert. Die Abweichungen der Messwerte gegenüber den errechneten Werten lassen sich auf die Toleranzen der verwendeten Bauteile zurückführen.

Tabelle 2: Messreihe am Kondensator

Zeit in [s]	Berechneter Spannungswert in [V]	Gemessener Spannungswert in [V]
0	3,3	3,25
1	2,0	1,5
2	1,21	1,16
3	0,74	0,69
4	0,45	0,40
5	0,34	0,29

+

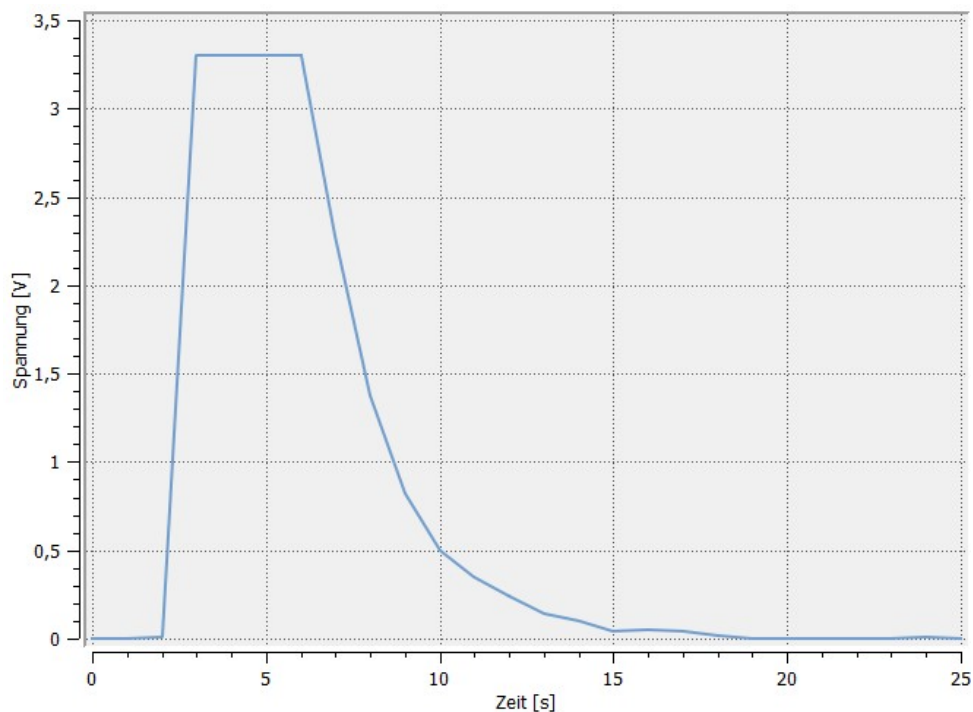


Abbildung 9: Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit

2.4 Laden des Kondensators

Der Kondensator C1 wird geladen, wenn ein Körper die Lichtschranke passiert. Dazu war eine Invertierung des Ausgangssignals U_{out} notwendig. Dazu wurde aus zwei Widerständen und einem Transistor ein Nicht-Gatter gebaut. Wenn an „in“ eine Spannung angelegt ist, fließt ein Kollektorstrom und es kommt über dem Widerstand R zu einem Spannungsabfall. Da „out“ mit der Masse verbunden ist, führt dies zu einer Nullspannungsausgang. Das reziproke dazu ist, wenn keine Spannung angelegt ist (0V). Wenn dies der Fall ist, schaltet der Transistor auf aus. Dadurch kann kein Kollektorstrom fließen und es kommt zu einer High Ausgangsspannung bei „out“.

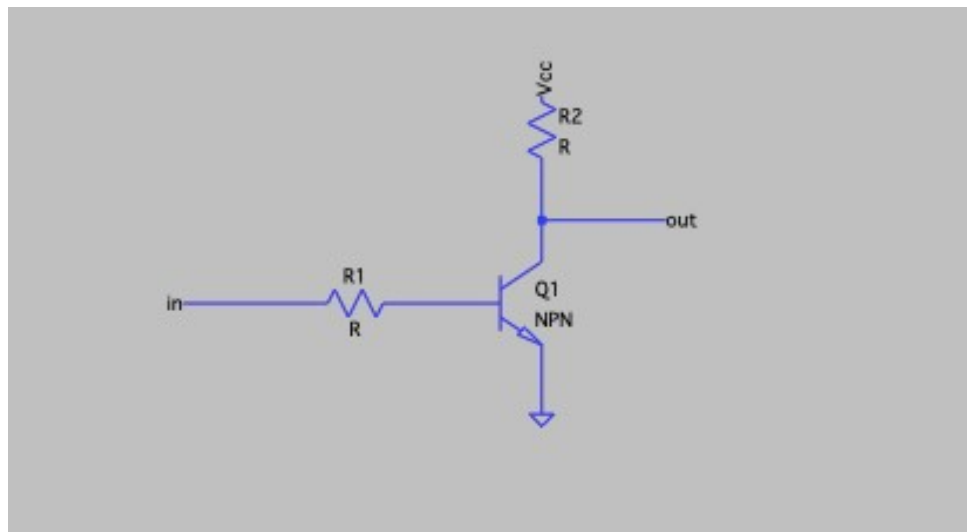


Abbildung 10: Aufbau eines Nicht-Gatters in LTspice

2.5 Geschwindigkeitsmessanlage

Um die Geschwindigkeit eines Objektes messen zu können wurde folgende Schaltung umgesetzt. An Q_1 und Q_3 wurden $1k\Omega$ Widerstände benutzt, um den Stromfluss möglichst gering

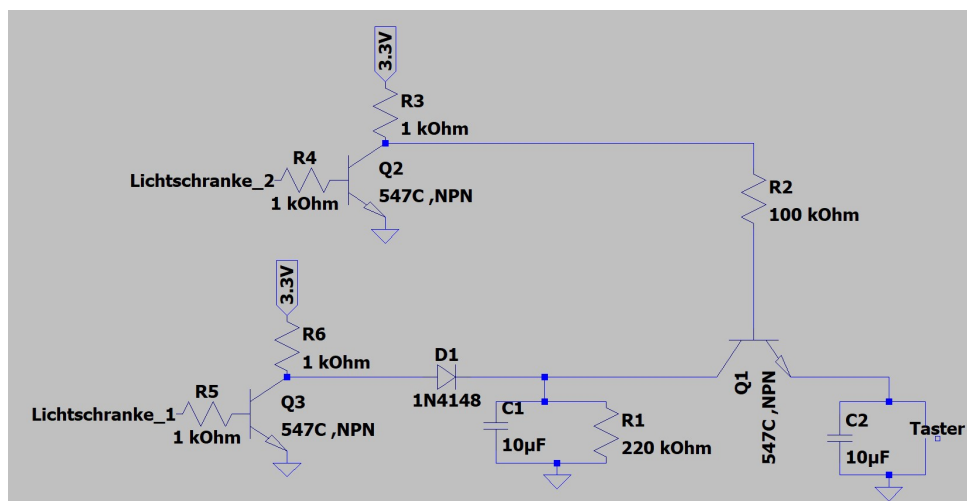


Abbildung 11: Schaltplan der Geschwindigkeitsmessanlage

zu halten. Durch R2 wird der Basis-Emitterstrom über Q_1 begrenzt. Damit der Kondensator C_2 nicht über die Lichtschranke 2 geladen wird, muss R2 groß gehalten werden. Mit einem Objekt werden drei unterschiedliche Geschwindigkeiten getestet. Dabei wird erst der Kondensator C_2 vollständig entladen, um eine möglichst fehlerfreie Messung zu erreichen. Die gemessene Peak Spannung lässt einen die Geschwindigkeit des Objektes berechnen. Dabei ergibt sich aus einer höheren Spannung eine schnellere Geschwindigkeit des Objekts. In der folgenden Tabelle werden die dazugehörigen Geschwindigkeiten dargestellt. Die Maximale Ladung von

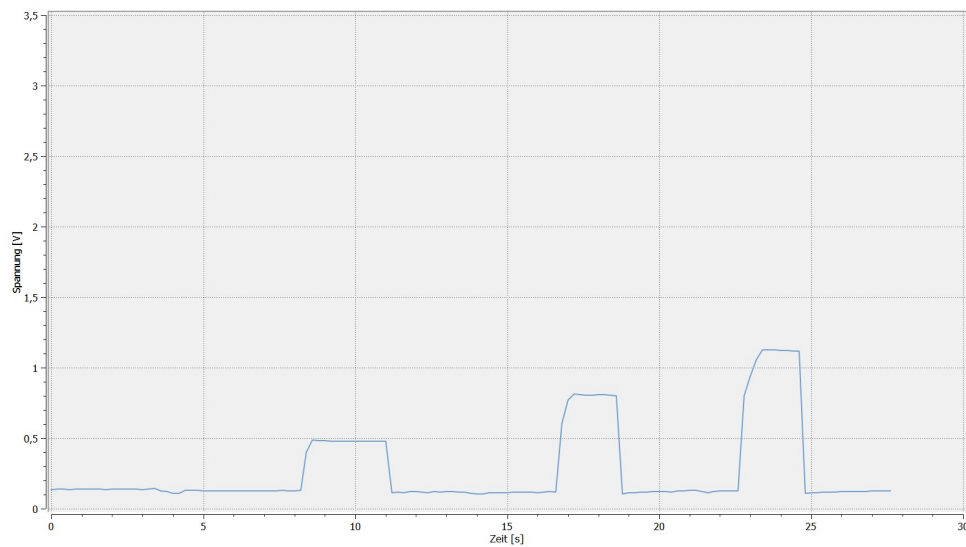


Abbildung 12: Spannungsverlauf in Abhängigkeit von der Zeit der Geschwindigkeitsmessanlage

Tabelle 3: Fragen zur Gesamtschaltung

Geschwindigkeit	Gemessene Spannung in [V]	Berechnete Geschwindigkeit in [$\frac{m}{s}$]
Langsam	0,5	0,038
Mittel	0,84	0,83
Schnell	1,18	0,375

C_2 , wenn C_1 vollständig geladen ist beträgt $\frac{C_1}{2}$. Dadurch ergibt sich:

$$U_{C1} = \frac{Q_{C1}}{2C_1}$$

Um $Q_{C2,max}$ zu bestimmen benötigt man die maximale U_{C1} Spannung:

$$U_{C1,max} = U_0 = 3,3V - 0,7V = 2,6V \quad Q_{C2,max} = \frac{U_{C1,max}C_1}{2} = \frac{2,6V * 10 * 10^{-6}\eta F}{2} = 1,3 * 10^{-5}C$$

An $U_{ERGEBNIS}$ liegt dann

$$U_{ERGEBNIS} = \frac{U_{C1}(t)}{2}$$

an.

Daraus folgt mit der Formel zum Entladen des Kondensators:

$$U_{C1}(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow U_{ERGEBNIS} = \frac{U_0}{2} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Umgestellt auf t , ergibt sich:

$$t = -\tau * \ln \frac{U_{\text{ERGEBNIS}} * 2}{U_0}$$

Einsetzen von $\nu = \frac{s}{t}$:

$$\nu = \frac{s}{-\tau * \ln \frac{U_{\text{ERGEBNIS}} * 2}{U_0}}; \tau = R_1 C$$

s ist hierbei die Strecke zwischen den beiden Lichtschranken, welche 8cm beträgt. Durch die hergeleitete Formel kann man die Geschwindigkeit des Objektes messen. Dabei können Fehler, wie Messungenauigkeiten durch keine konstante Geschwindigkeit oder auch wegen den Bauteilen entstehen.

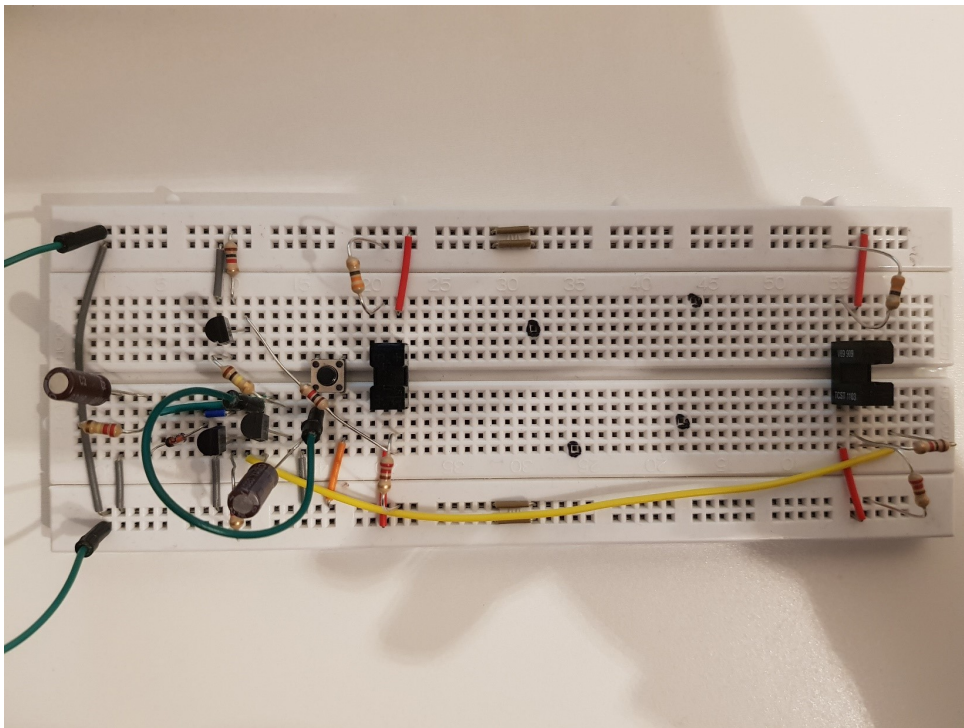


Abbildung 13: Steckbrettaufbau der Geschwindigkeitsmessanlage

Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.bosch-homecom.com/de/de/info-center/lexikon/sensor/>, Abrufdatum: 15.05.2020, Uhrzeit: 10:46
- [2] https://www.imr.uni-hannover.de/fileadmin/institut/Studium/Labore/IMR_AML2011_Skript.pdf, Abrufdatum: 08. Mai 2020, Uhrzeit: 07:28 Uhr
- [3] http://www.controllersandpcs.de/lehrarchiv/pdfs/elektronik/pass01_03x.pdf, Abrufdatum: 08.05.2020, Uhrzeit: 9:51 Uhr
- [4] <https://heizung.de/heizung/wissen/ntc-widerstand-eigenschaften-und-anwendung/>, Abrufdatum: 11. Mai 2020, Uhrzeit: 12:34 Uhr
- [5] https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A100/BC546_48-CDIL.pdf, Abrufdatum: 12.05.2020, Uhrzeit: 15:17 Uhr
- [6] https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/A500/LED3MM2MAGE_LED3MM2MAGN_LED3MM2MART%23KIN.pdf, Abrufdatum: 12.05.2020, Uhrzeit: 17:15 Uhr
- [7] https://www.baumer.com/de/de/service-support/know-how/funktionsweise/funktionsweise-und-technologie-von-lichtschrank-und-lichttastern/a/Know-how_Function_Lichtschrank-Lichttaster, Abrufdatum: 06.05.2020, Uhrzeit: 13:13 Uhr
- [8] <https://docs.rs-online.com/80d3/0900766b80e30951.pdf>, Abrufdatum: 13.05.2020, Uhrzeit: 14:54 Uhr
- [9] <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtschranke>, Abrufdatum: 20.05.2020, Uhrzeit: 19:30 Uhr
- [10] <https://wiki.induux.de/Lichtschrank>, Abrufdatum: 20.05.2020, Uhrzeit: 19:46 Uhr