



**Technische Universität  
Fakultät IV - Elektrotechnik und Informatik  
Institut für Energie- und Automatisierungstechnik  
Institut für Hochfrequenz- und Halbleiter-Systemtechnologien  
Fachgebiet Hochspannungstechnik  
Fachgebiet Mikroelektronik-, Aufbau- und Verbindungstechniken  
Fachgebiet Elektronik und medizinische Signalverarbeitung**

## **The Kick!**

29. November 2010

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Gruppe Torzähler und Timer</b>	<b>6</b>
2.1	Einleitung . . . . .	6
2.2	Konzept . . . . .	6
2.3	Schaltungsentwurf . . . . .	7
2.3.1	Dimensionierung . . . . .	11
2.4	Schnittstellen . . . . .	11
2.5	Bauteile . . . . .	12
2.6	Simulation . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Lichteffekte</b>	<b>15</b>
3.1	Einleitung . . . . .	15
3.2	Konzept . . . . .	15
3.3	Schaltungsentwurf . . . . .	15
3.3.1	Dimensionierung . . . . .	16
3.4	Bauteile . . . . .	16
<b>4</b>	<b>Balllift</b>	<b>18</b>
4.1	Einleitung . . . . .	18
4.2	Konzept . . . . .	18
4.3	Schaltungsentwurf . . . . .	19
4.4	Bauteile . . . . .	19
4.5	Schnittstellen . . . . .	20
4.6	Simulation . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Oszillator</b>	<b>21</b>
5.1	Einleitung . . . . .	21
5.2	Konzept . . . . .	21
5.3	Schaltungsentwurf . . . . .	21
5.3.1	Dimensionierung . . . . .	22
5.4	Bauteile . . . . .	22
5.5	Schnittstellen . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Lagemodul</b>	<b>23</b>
6.1	Einleitung . . . . .	23
6.2	Konzept . . . . .	23
6.3	Schaltungsentwurf . . . . .	24
6.3.1	Dimensionierung . . . . .	29
6.4	Bauteile . . . . .	31
6.5	Schnittstellen . . . . .	31
6.6	Simulation . . . . .	32
	<b>Literatur</b>	<b>34</b>

## Abbildungsverzeichnis

1	Blockschaltbild des Counters . . . . .	6
2	Blockschaltbild des Timers . . . . .	7
3	Schaltplan Tor-Counter . . . . .	8
4	Schaltplan Timer . . . . .	10
5	Simulationsschaltung Zähler in PSpice . . . . .	13
6	Zustände für 10 geschossene Tore . . . . .	13
7	Simulationsschaltung Timer in PSpice . . . . .	14
8	Zustände für eine Minute . . . . .	14
9	Testaufbau . . . . .	14
10	Schaltungen Licht . . . . .	17
11	Aufbauskizze . . . . .	18
12	Schaltung Balllift . . . . .	19
13	Simulationsschaltung Balllift . . . . .	20
14	Schaltung Oszillator . . . . .	21
15	Blockschaltbild zum Lagemodul . . . . .	24
16	Gesamtschaltung in Cadence®OrCAD®Capture . . . . .	26
17	Detailansicht der Gesamtschaltung: Vor-Logik . . . . .	27
18	Detailansicht der Gesamtschaltung: Logik . . . . .	28
19	Spannungsverlauf des Sensors . . . . .	32

## Tabellenverzeichnis

1	Bauteile für den Timer und den Zähler . . . . .	12
2	Bauteile Lichteffekte . . . . .	16
3	Bauteile des Balllifts . . . . .	19
4	Schnittstellen Balllift . . . . .	20
5	Bauteile Oszillator . . . . .	22
6	Logiktablelle des Lagemoduls . . . . .	31
7	Bauteile für das Lagemodul . . . . .	31
8	Schnittstellen des Lagemoduls . . . . .	32

## 1 Einleitung

In diesem Semester werden im Projektlabor zwei Projekte parallel durchgeführt. Wir werden am Fachgebiet Elektronik und medizinische Signalverarbeitung betreut und werden einen Kicker mit neuen Features aufrüsten: Effektvolle Beleuchtung, Spielstandsanzeige mit Torzähler und Countdown, Ballfahrstuhl und elektronische Wasserwaage. Ziel ist ein vollständig überarbeiteter Kicker der unvergleichliches Spielvergnügen bereitet.

Kickern wird danach nie wieder wie vorher sein. Eine atemraubende und berauschende Atmosphäre wird erschaffen. Spannung, schnelles Spiel aber auch Fairness und Komfort zeichnen unseren elektronischen Kicker aus. Man will nie wieder ohne diesen spielen müssen. Das einzige, was man noch selber machen muss, ist den Startknopf zu drücken und Spaß zu haben.

## 2 Gruppe Torzähler und Timer

### 2.1 Einleitung

Wer hat schon Bock im Zeitalter der Elektronik seine Tore selber zu zählen. Und wer möchte nicht wissen, wie viel Zeit man noch auf der Spieluhr hat. Alles das will diese Gruppe verwirklichen und wird somit dem stinknormalen Tischfußballspiel eine noch nie geahnte Spannung geben, wenn der Timer herunterläuft und man vor die Wahl gestellt wird: willst du, dass die Lampen für dich angehen oder sollen dich alle einen Verlierer nennen.

- Sven Bestvater
- Florian Heptner
- Lucian Landgraf

### 2.2 Konzept

Es gibt einen Timer, bei dem vor dem Spiel eine Zeit eingestellt wird. Sobald der Startknopf gedrückt wird, läuft dieser runter. Für jedes Tor wird ein separater Zähler installiert. Dieser zählt von null bis zehn hoch. Der Zähler der zuerst fertig ist, also wenn der Gewinner ermittelt wurde, schickt ein Signal an die Licht-Gruppe. Sollte der unwahrscheinliche Fall eintreten, dass es ein langweiliges Unentschieden gibt, dann wird das durch einen Komparator ermittelt und es wird ein weiterer Ball ins Spiel gebracht. Der Komparator ermittelt natürlich auch den Gewinner, falls die Zeit abgelaufen ist und ein Spieler mehr Tore hat als der andere.

Die Schaltung basiert auf einer im Internet gefunden Schaltung, mit der die gefahrenen Runden einer Autorennbahn gezählt werden können[4].

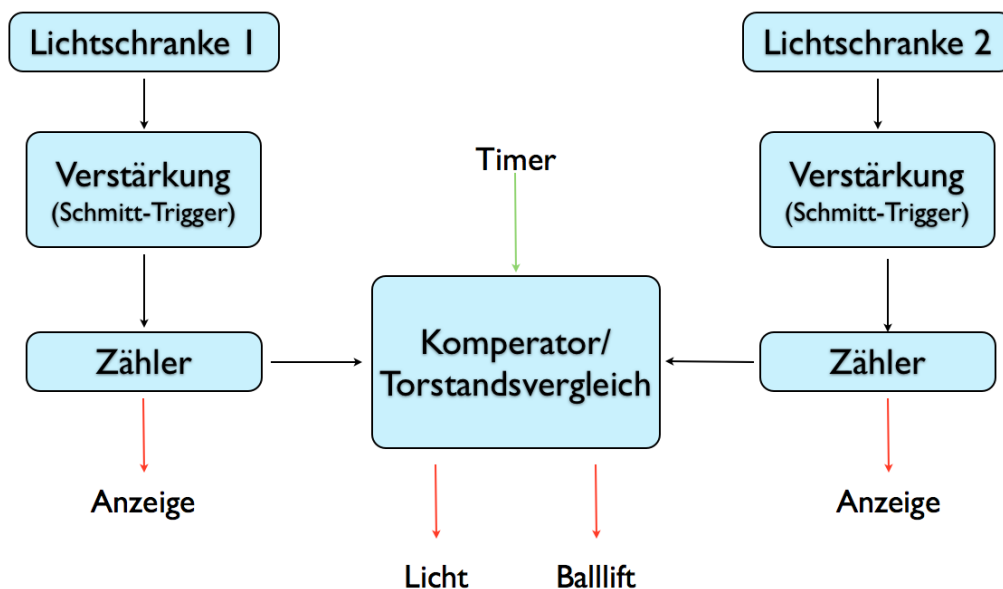


Abbildung 1: Blockschaftbild des Counters

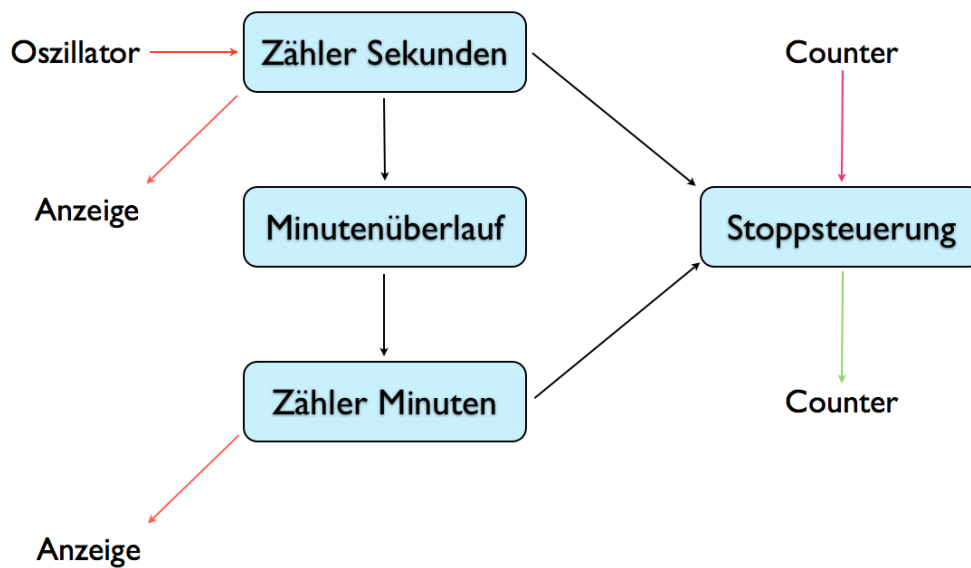


Abbildung 2: Blockschaltbild des Timers

### 2.3 Schaltungsentwurf

Eine wichtige Grundlage des Torzählers (siehe Abbildung 3) ist der Sensor, welcher ein geschossenes Tor detektiert. Um diesen zu realisieren nutzen wir eine Infrarotdiode in Verbindung mit einem Fototransistor. Zur Stabilisierung des Signals nutzen wir einen Schmitt-Trigger. Durch diesen wird das Eingangssignal auf einen eindeutigen High- oder Low-Pegel getriggert. Für die eigene Weiterverwendung benötigen wir eine fallende Flanke, somit invertieren wir das Signal für die schaltungsinterne Weiterverarbeitung nicht. Die Gruppe, die für die Lichteffekte zuständig ist, bekommt ebenfalls ein Signal, allerdings invertieren wir es, um einen High-Impuls weitergeben zu können.

Das getriggerte Signal wird von einem IC4518 (siehe Tabelle 1) aufgenommen und gezählt. Dieser ist so verschaltet, dass er von 0 bis 9 zählt. Beim zehnten Tor wird ein Signal ausgegeben, das den Sieg für den entsprechenden Spieler anzeigt. Mit diesem Signal wird die Spieluhr angehalten, ebenso bekommt die Lichtgruppe angezeigt, dass es einen Sieger gibt. Der IC 4518 hat einen 4Bit-Zähler, dessen Ausgang permanent auf einen IC4543N geschaltet wird, welcher die Bitzahl in das Signal für eine 7-Segment-Anzeige umwandelt, welche den Torstand anzeigt.

Während des gesamten Spiels werden über einen Komparator (IC4585N) die Torstände verglichen. Der Ausgang dieses Vergleichs ist dann interessant, wenn es während der Spielzeit keinem der erbittert streitenden Kontrahenten gelungen ist, das 10. Tor, das Siegtor, zu erzielen. für diesen Fall werden die Torstände verglichen. Sollte es tatsächlich unfassbarerweise unentschieden stehen, läuft das Spiel solange weiter, bis es einen Sieger durch Golden Goal gibt. Sobald ein Sieger ermittelt wurde, wird ein entsprechendes Signal an den Balllift ausgegeben, sodass dieser deaktiviert werden kann.

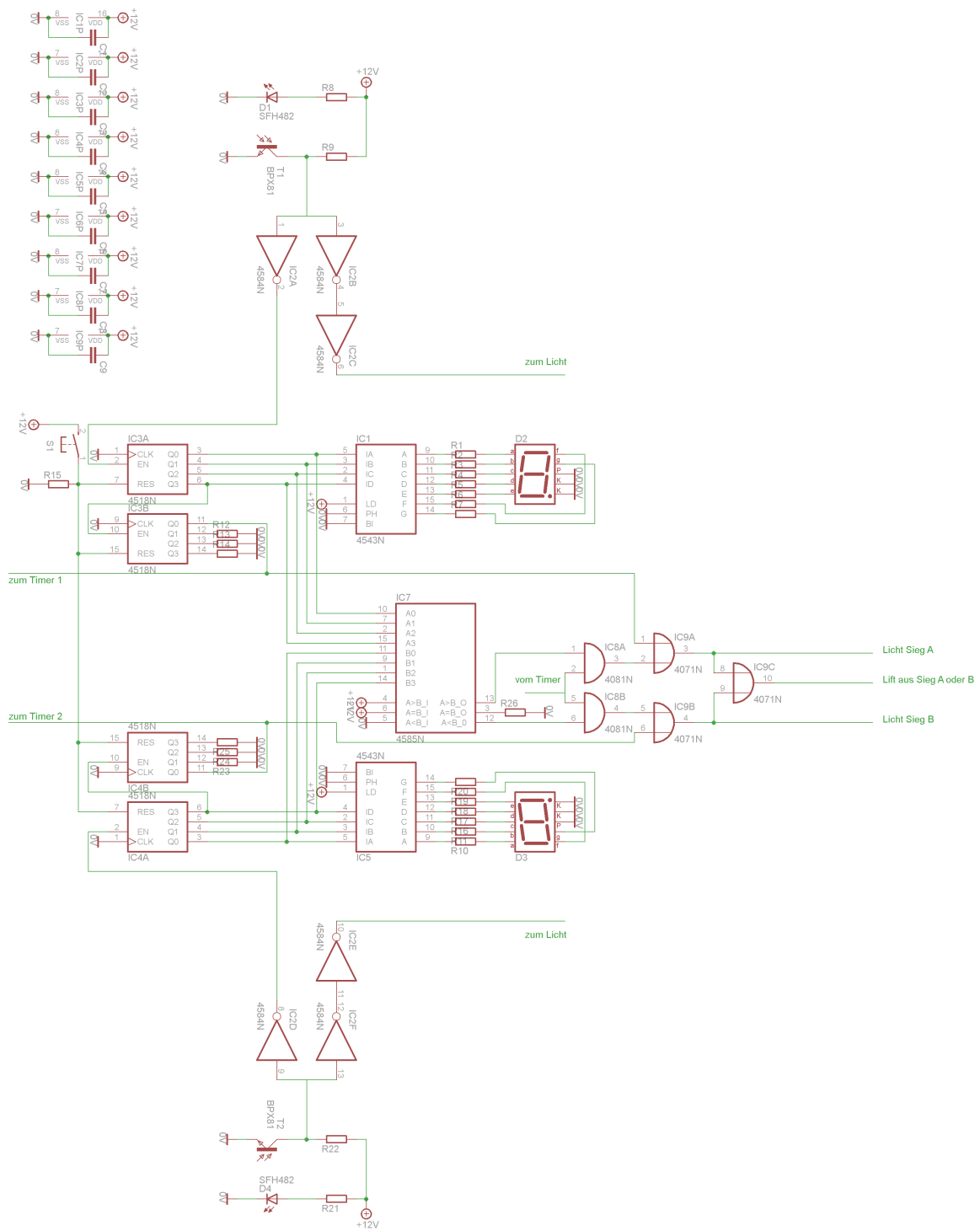


Abbildung 3: Schaltplan Tor-Counter



Die **Spielzeit-Anzeige** (siehe Abbildung 4) ist natürlich mit von der Partie in diesem wohldurchdachten Projekt. Mit insgesamt 2+2 Ziffern wird die restliche Spielzeit permanent mitgeteilt. Im Grunde ähnlich dem Tor-Counter wird hier gezählt, allerdings in diesem Falle rückwärts. Über zwei Taster kann man die Spielzeit minutengenau einstellen.

Wir benutzen für die Zähllogik insgesamt vier IC4510, die eine 4-stellige Zeitanzeige ermöglichen. Wir haben uns entschieden, zwei Stellen für Minuten und zwei für Sekunden zu nutzen. Über die Preset-Pins des IC4510 wird auch sicher gestellt, dass eine Minute bei uns auch nur 60 Sekunden hat.

Als Eingang bekommen wir ein 1Hz-Signal von einem Oszillator, den wir nicht selbst realisieren. Das Signal lässt den „untersten“ IC in Sekundenschritten nach unten zählen. Nach jeweils einem Durchlauf wird dem nächsthöheren IC mitgeteilt, dass eben dieser auch einen Schritt nach unten zählen soll.

Sollte sich noch vor Ablauf der Zeit ein Sieger herausstellen, wird die Uhr gestoppt, indem der Counter vom Low auf den Highpegel wechselt und der Zähler stoppt. Sollte hingegen zuerst die Zeit ablaufen, wird ein High-Pegel an den Counter ausgegeben, die Zeit bleibt dann bei 00:00 stehen.

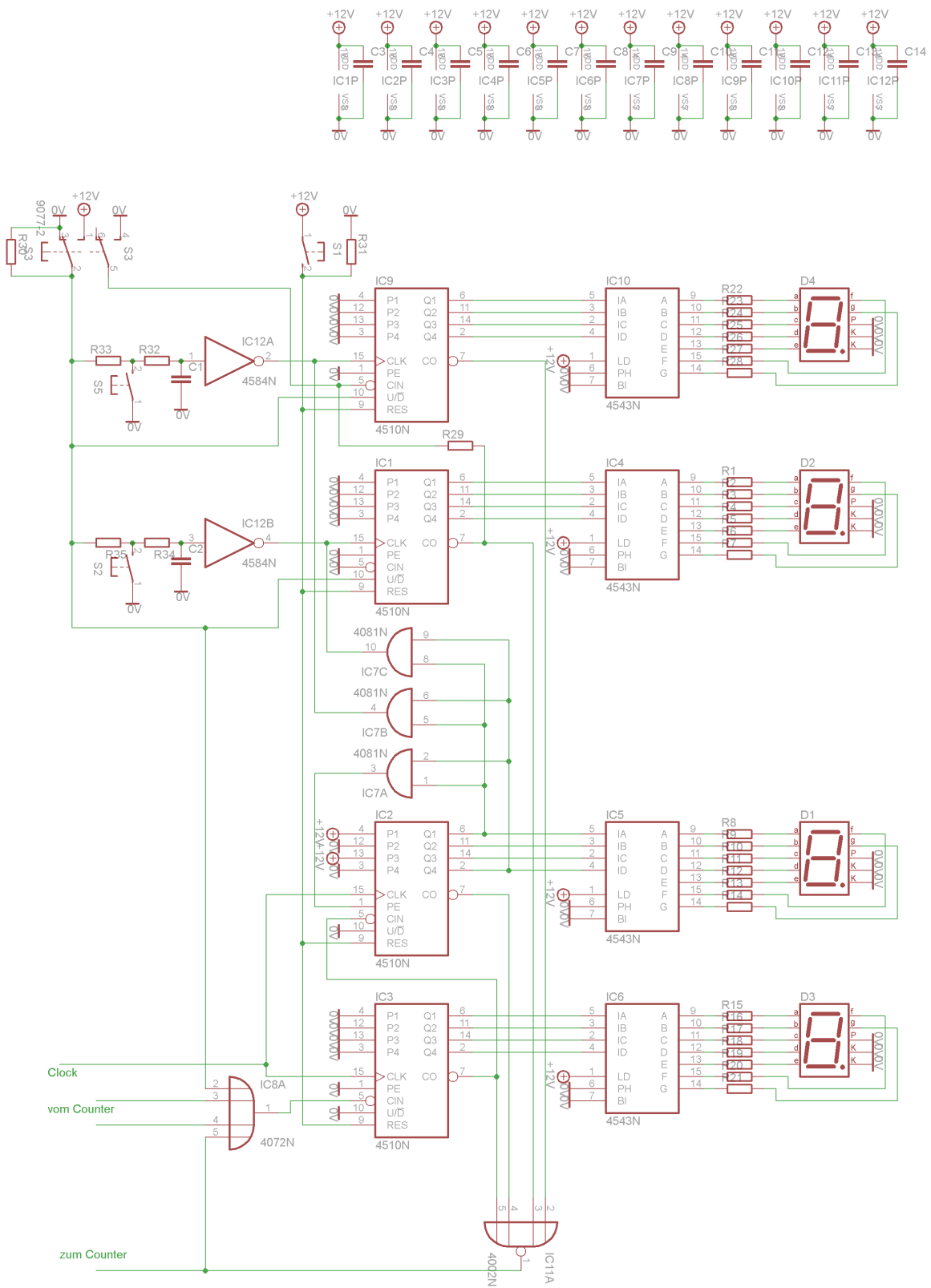


Abbildung 4: Schaltplan Timer

### 2.3.1 Dimensionierung

Viel gibt es in dieser Schaltung nicht zu dimensionieren. Eigentlich gibt es nur einige Widerstände zur Begrenzung des Stromes für die Siebensegment-Anzeigen, sowie für den Phototransistor und die LED. Das einzige, was sich wirklich dimensionieren lässt, ist das Entprellen der Taster.

Diese müssen entprellt werden, damit es kein „Nachschwingen“ gibt, also nicht mit einem Druck mehrere Schaltvorgänge ausgelöst werden. Hierfür gelten die Gleichungen für das Auf- bzw. Entladen eines Kondensators:

$$R_2 = \frac{-t}{C \cdot \ln \frac{U_{th}}{U_0}}$$
$$R_1 + R_2 = \frac{-t}{C \cdot \ln \left(1 - \frac{U_{th}}{U_0}\right)}$$

Mit einer Zeit von 20 ms, einer Kapazität von  $1 \mu\text{F}$  und einer für den Schmitt-Trigger benötigten Schwelle von 4 V ergeben sich folgende Werte für die Widerstände:

$$R_2 = 18,2 \text{ k}\Omega$$
$$\approx 18 \text{ k}\Omega$$
$$R_1 = 31,12 \text{ k}\Omega$$
$$\approx 31 \text{ k}\Omega$$

## 2.4 Schnittstellen

Die Interaktion mit anderen Modulen macht das Spielvergnügen erst komplett. So werden zum Beispiel unzählige LEDs ein Lichtfeuerwerk starten, sobald ein Tor gefallen ist und natürlich erst recht, wenn es einen Sieger gibt! Um die zu ermöglichen geben wir das Rechtecksignal des Sensors doppelt invertiert an die Lichtgruppe aus. Im Falle eines Sieges erhält die Lichtgruppe einen durchgehenden High-Pegel auf je nach Siegsetie einem anderen Kanal.

Das Ende des Spiels wird ebenfalls der Balllift-Gruppe als High-Pegel angezeigt, damit der Balllift den Ball nach Ende des Spiels nicht wieder auf das Spielfeld befördert.

Um überhaupt eine Zeitanzeige zu ermöglichen, benötigt die Timer-Schaltung natürlich einen Referenztakt. Selbigen erhalten wir von der Einmann-Oszillatorgruppe im Takt von 1 Hz.

## 2.5 Bauteile

Tabelle 1: Bauteile für den Timer und den Zähler

Typ	NameWert	Anzahl
Fototransistor	BPW96	2
Fotodiode	LD271	2
IC	4584	2
	4002	1
	4071	1
	4072	1
	4081	2
	4510	4
	4518	2
	4543	12
	4584	1
	4585	2
Kondensator	1 $\mu$ F	2
	100 nF	27
Widerstand	1,5 k $\Omega$	84
	270 k $\Omega$	6
	33 k $\Omega$	1
	11 k $\Omega$	1
	220 k $\Omega$	4
Taster	3301B 6x6mm, Höhe: 9,5mm, 12 V	3
Kippschalter	MS 500F, 2-polig, 3A- 250VAC	1
Printstecker	gerade 8-polig	12
	gerade 3-polig	6
Kupplungs- Leergehäuse	Crimptechnik 8-polig	20
	Crimptechnik 3-polig	4
Crimpkontakte	für psk 254, 20 Stück	13
Flachbandkabel	8-polig 30m	1
Schalt- /Steuerlitze	schwarz ( $\geq 0,5mm^2$ , $\geq$ 10m)	1
	rot ( $\geq 0,5mm^2$ , $\geq$ 10m)	1
	gelb ( $\geq 2m$ )	1
Siebensegment	SC52-11	8
	SA 23-12 RT	4

## 2.6 Simulation

Eine Simulation der kompletten Schaltungen in PSpice ist leider nicht möglich, da einige der verwendeten Bauteile nicht in den Bibliotheken vorhanden sind oder eine Umsetzung bestimmter Funktionen, z.B. der Tasterentprellung, nicht sinnvoll erscheint. Wichtige Bereiche ließen sich jedoch simulieren.

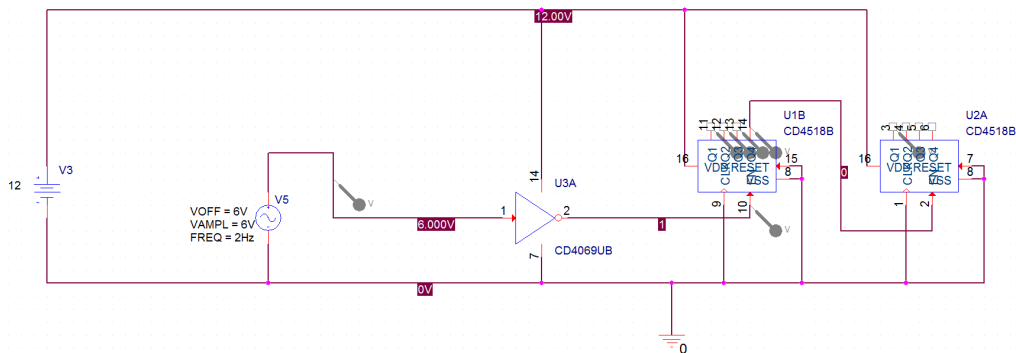


Abbildung 5: Simulationsschaltung Zähler in PSpice

Bei dem Schaltplan, der in Abbildung 5 zu sehen ist, handelt es sich um den eigentlichen Zähler in unserem Torcounter. Die sinusförmige Spannung stellt unser Signal dar, das wir von der Lichtschranke erhalten. Es wird über einen invertierenden Schmitt-Trigger an die Zähler-ICs weitergegeben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6.

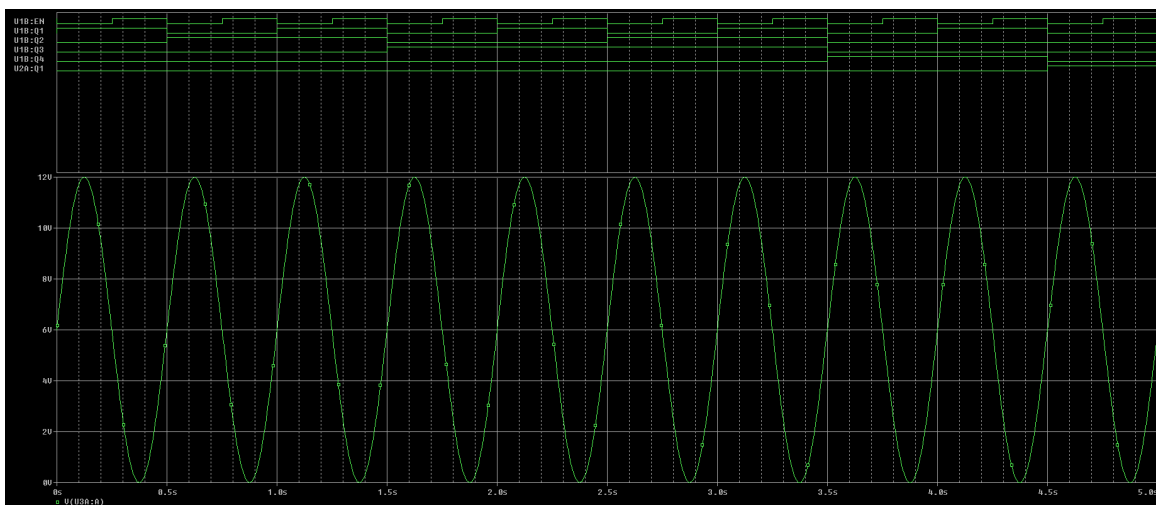


Abbildung 6: Zustände für 10 geschossene Tore

Bei der Simulation für den Timer wird lediglich die Funktion der ICs und der Übergang zu den Minuten simuliert. Dieser Übergang wird mit dem AND-Gatter, der eine 9 am Ausgang des Zählers detektiert, realisiert. Das AND-Gatter ist mit dem Preset des Zählers verbunden und setzt diesen damit auf 5, womit der Sekundenteil der Schaltung wieder von 59 runterzählt. Dieses Signal wird in der späteren Schaltung an die Zähler der Minuten weitergeben. Der Teil für die Minuten wird nicht simuliert, da sich der Aufbau hier wiederholt.

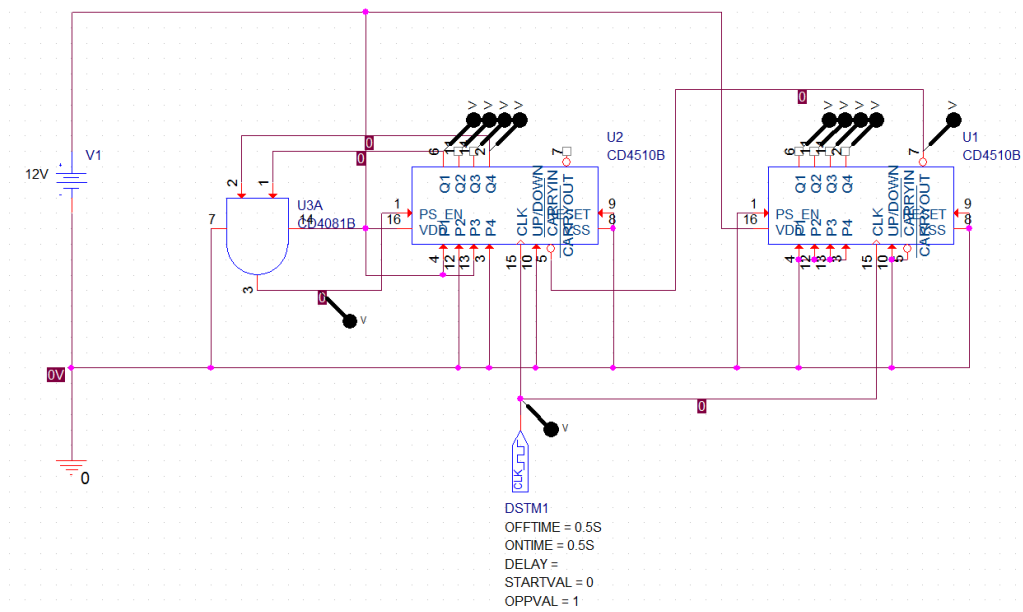


Abbildung 7: Simulationsschaltung Timer in PSpice

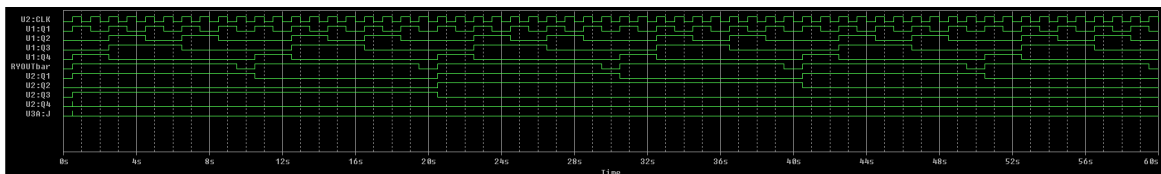


Abbildung 8: Zustände für eine Minute

Von der korrekten Funktionsweise der Schaltung konnten wir uns bereits überzeugen und tatsächlich zählt die Counterlogik mit jeder Unterbrechung der Lichtschranke um eine Stelle höher. Abbildung 9 zeigt den Testaufbau.

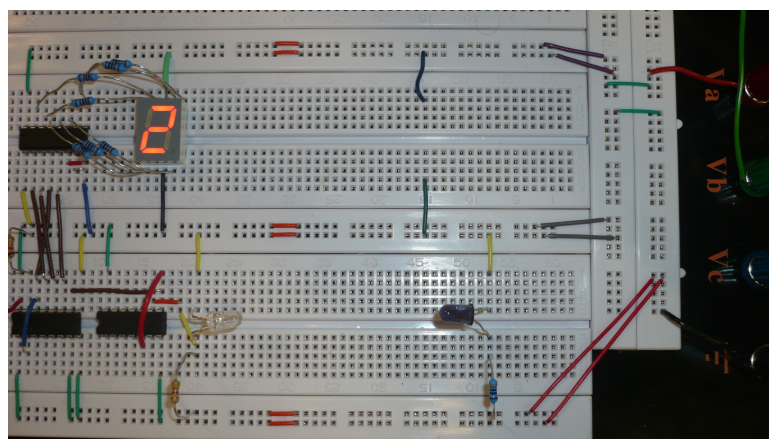


Abbildung 9: Testaufbau

## 3 Lichteffekte

### 3.1 Einleitung

- Abbas Zein Al-Din
- Marek Eichler

### 3.2 Konzept

Das gesamte Spielfeld wird mit insgesamt vier Flutlichttürmen beleuchtet, jeder dieser Türme besitzt jeweils sechs weiße Leuchtdioden. Zusätzlich kann jeder Spieler die beiden Türme, die sich auf seiner Seite befinden über ein Potentiometer selber ansteuern, um so die Helligkeit auf seiner Spielhälfte zu regulieren.

Für den Fall, dass ein Tor geschossen wird, blinken oberhalb des Tores zwei rote Leuchtdioden abwechselnd auf und gehen erst aus, sobald der Ball wieder auf dem Spielfeld ist.

Während der Ball im Balllift ist, wird die Wartezeit mit insgesamt 40 Leuchtdioden, die auf  $4 \times 10$ -Kanal-Lauflicht Module aufgeteilt wurden, untermauert.

Sobald das Spiel beendet ist und ein Sieger ermittelt wurde, gehen alle Lichter auf der Seite des Verlierers aus und alle Lichter auf der Seite des Gewinners leuchten hell auf. Somit wird ersichtlich, wer gewonnen hat.

### 3.3 Schaltungsentwurf

Unser gesamtes Konzept wird mit insgesamt drei unterschiedlichen Schaltungen umgesetzt.

In dem folgenden Abschnitt wird nur der Schaltungsentwurf für eine Seite des Kickers beschrieben, da die andere Seite exakt gleich arbeitet.

Das Flutlicht wird mit einer 24 V Gleichspannungsquelle betrieben. Das Potentiometer ist über die Basis eines Transistors verbunden, so lässt sich dann der Strom und die Spannung zwischen Emitter und Kollektor einstellen und somit auch die Helligkeit der Leuchtdioden regulieren.

Aufgrund der großen Anzahl von 12 Leuchtdioden benötigen wir hier nur einen Vorwiderstand von  $10 \Omega$ .

Sobald ein Tor geschossen wird, bekommen wir von der Torzähler Gruppe ein Signal, welches wir dann aufnehmen und zum Astabilen Multivibrator weiterleiten. Dieser ist für das abwechselnd rot-blinkende Led-Licht über dem Tor verantwortlich. Der Astabile Multivibrator wird mit einer 12 V Gleichspannungsquelle betrieben. Außerdem hat er eine Frequenz von ca. 2 Hz, welche durch die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und den beiden Elektrolytkondensatoren mit jeweils einer Kapazität von  $68 \mu\text{F}$  bestimmt wird. Während sich der eine Kondensator auflädt, sperrt der dazugehörige erste Transistor und der andere zweite Transistor lässt den Strom durch, so kann sich der zweite Transistor entladen. Dadurch fließt abwechselnd Strom durch die beiden Leuchtdioden, wodurch das Blinken zustande kommt.

Sobald der Ball in den Balllift kommt, erhalten wir ein Signal von der Balllift-Gruppe, welches wir dann zum 10-Kanal-Lauflicht weiterleiten. Diese Schaltung besteht aus 10 Leuchtdioden, einem IC, welches hier durch ein BCD-Zähler realisiert wird und einem  $560 \Omega$  Vorwiderstand für die Dioden.

Der BCD-Zähler hat 10 Ausgänge an denen jeweils eine Leuchtdiode angeschlossen ist, außerdem erhält er eine Taktfrequenz von 2 Hz von der Oszillator-Gruppe. Diese Frequenz wird direkt am Takteingang (CLK) angeschlossen. Die Geschwindigkeit des Lauflichts ist abhängig von der Taktfrequenz. Also braucht der BCD-Zähler in unserem Fall fünf Sekunden, um einem alle zehn Leuchtdioden nacheinander aufblinken zu lassen.

Wenn der Ball den Balllift wieder verlässt und auf das Spielfeld kommt, erhalten wir erneut ein Signal von der Balllift-Gruppe. Dieses Signal wird dann sowohl zum 10-Kanal-Laufflicht, als auch zum Astabilen Multivibrator geleitet und sorgt dafür, dass beide Schaltungen zurückgesetzt werden.

Wenn am Ende des Spiels ein Sieger ermittelt wurde, erhalten wir wieder ein Signal von der Torzähler-Gruppe. Dieses Signal sorgt dann dafür, dass alle Schaltungen des Gewinners in Betrieb genommen werden und alle Schaltungen des Verlierers ausgeschaltet werden.

### 3.3.1 Dimensionierung

Wie schon bekannt ist haben wir drei Schaltungen, welche mehrmals verwendet werden. Für die Dimensionierung der ersten beiden Schaltungen musste man nichts besonders berechnen. Es war ausschließlich darauf zu achten, dass die Vorwiderstände der Leuchtdioden für das 10-Kanal-Laufflicht und für das Flutlicht passend waren. Allerdings hat man für die Verwendung von Vorwiderständen in diesem Fall einen relativ großen Spielraum.

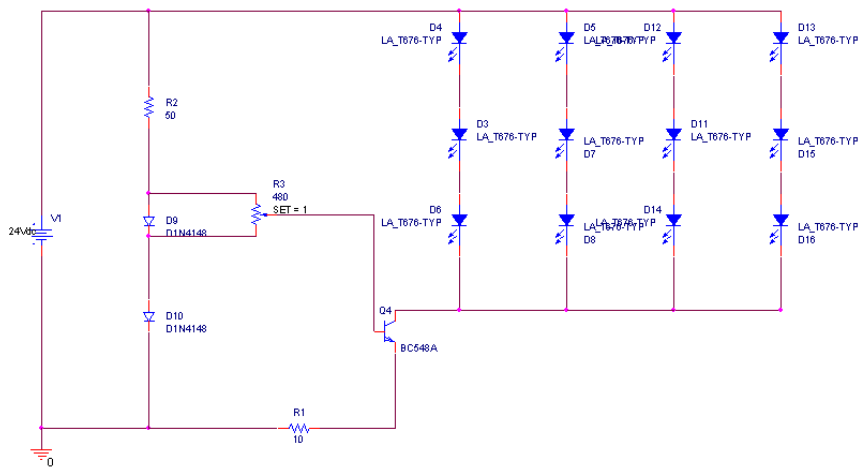
Etwas umständlicher war es bei der Dimensionierung für den Astabilen Multivibrator. Zunächst musste man darauf achten, dass die beiden Widerstände die unmittelbar über den beiden Kondensatoren liegen, unterschiedlich groß waren, da sich sonst der Strom gegenseitig aufheben würde. Die Frequenz ist sowohl von den beiden Kondensatoren, als auch von den Widerständen  $R_1$  und  $R_2$  abhängig, welche dann mit folgender Formel berechnet wird:

## 3.4 Bauteile

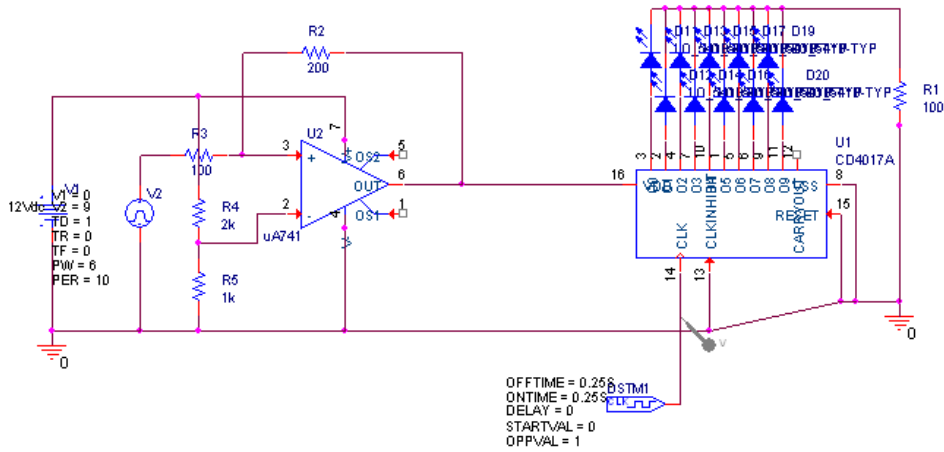
Tabelle 2: Bauteile Lichteffekte

Typ	NameWert	Anzahl
Transistor	Q2N2222	2
	BC548A	1
IC	DC4014	1
	CD4043BD	2
	TL 072 DIP (OPV)	3
LEDs	5mm rot standard	2
	5mm weiß ultrahell	12
	5mm grün standard	10
Diode	D1N4148	2
Potentiometer	480 $\Omega$	1
Kondensator	65 $\mu$ F	2
Widerstand	500 $\Omega$	3

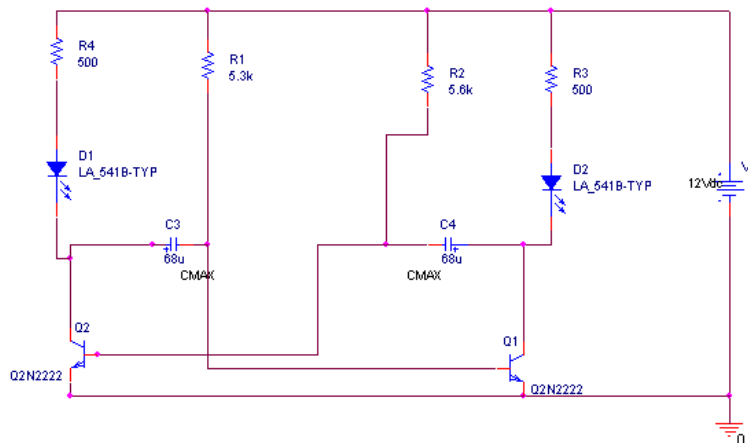




(a) Flutlicht für 2 Türme



(b) 10-Kanal-Lauflicht



(c) Astabiler Multivibrator

Abbildung 10: Schaltungen Licht

## 4 Balllift

### 4.1 Einleitung

Die Balllift-Gruppe besteht aus Henrik Nadobny und Diego Castro. Um den Spielspaß zu erhöhen und den Kicker komfortabler zu machen, entstand die Idee einen Ballfahrstuhl einzubauen. Dieser sollte den Ball schnellstmöglich nach einem Tor wieder auf das Spielfeld befördern und nur dann Laufen, wenn er auch benötigt wird, um nicht permanent Geräusche abzugeben.

- Henrik Nadobny
- Diego Castro

### 4.2 Konzept

Anfänglich sollte der Balllift durch eine Art Kreisförmiges Förderband realisiert werden. Als die Skizzen soweit fertig waren und es an den Schaltungsentwurf ging wurde dieses Konzept allerdings verworfen, da die Werkstatt Bedenken anmeldete, da der Entwurf zu Sperrig war und die Arbeit zu genau ein musste, was die Werkstatt vor Schwierigkeiten stellte. Es wurde ein neuer Entwurf angefertigt, welcher nun Mechanisch einfacher zu realisieren ist und auch Platzsparender ist. Allerdings hat sich nun die Schaltung deutlich verkompliziert.

Der Aufbau des Fahrstuhls ist in der Skizze zu sehen. Der Ball fällt in den Lift, wodurch er einen Endlagenschalter betätigt. Der Fahrstuhl fährt nun Hoch. Sobald der Ball wieder rausgerollt ist, fährt der Fahrstuhl wieder runter und Stoppt, sobald der Taster berührt wird.

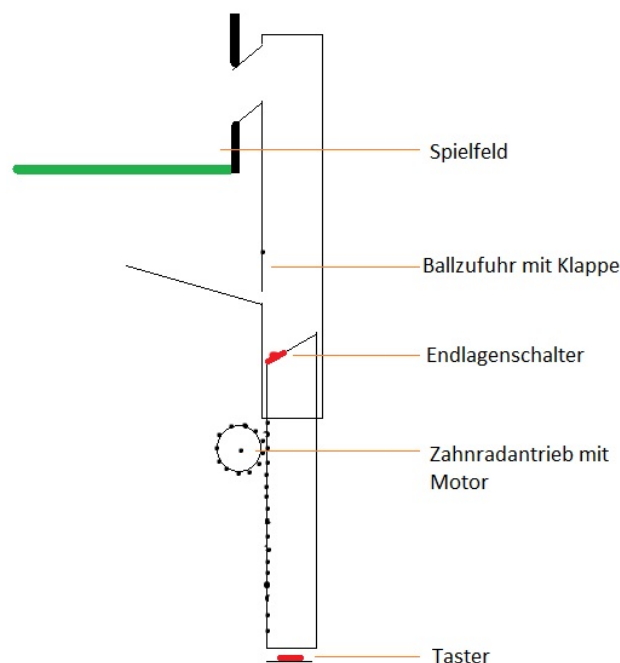


Abbildung 11: Aufbauskeizze

### 4.3 Schaltungsentwurf

Wie im Konzept Beschrieben, wird beim Einfall des Balls ein Schalter betätigt (S1) und wieder geöffnet, sobald der Ball raus ist. Der Taster wird durch S2 dargestellt. Die Schaltung enthält eine Logik aus 4 IC's (IC 4081 ist ein AND, IC 4072 ein OR und IC 4011 ein NAND) um zu erreichen, dass bei gleichzeitigen Signalen wie z.B. Hochfahren und Stoppen oder Runterfahren und Stoppen eine entsprechende Präferenz zu realisieren. Das Das Signal zum runterfahren entseht durch invertierung des Hochfahrsignals und durch einen entsprechenden Offset.

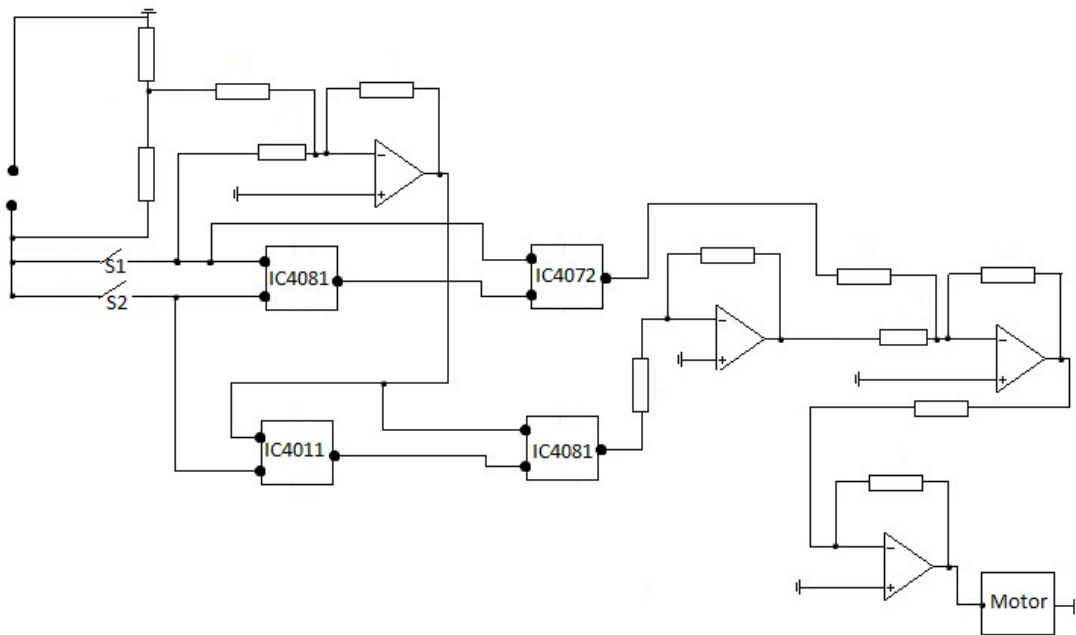


Abbildung 12: Schaltung Balllift

### 4.4 Bauteile

Tabelle 3: Bauteile des Balllifts

Typ	NameWert	Anzahl
And	IC 4081	2
Or	IC 4072	1
Nand	IC 4011	1
Endlageschalter	MAR 1017.0801	1
Taster	3301B	1
4er OPV-Block	LM 324	1

## 4.5 Schnittstellen

Abgabe des Lift-Signals für einen Licht-Effekt

Tabelle 4: Schnittstellen Balllift

Gruppe	Spannung	Strom
Licht	12 V	max 100 mA

## 4.6 Simulation

In der Simulationsschaltung benutzen wir Logiken mit 4 Eingängen, weil diese bessere Ergebnisse lieferten als die mit nur zwei eingängen. Außerdem konnte man bei diesen Logikbausteinen die Werte kalibrieren. Der Motor wurde durch einen Widerstand dargestellt und der Schalter sowie der Taster durch Signale.

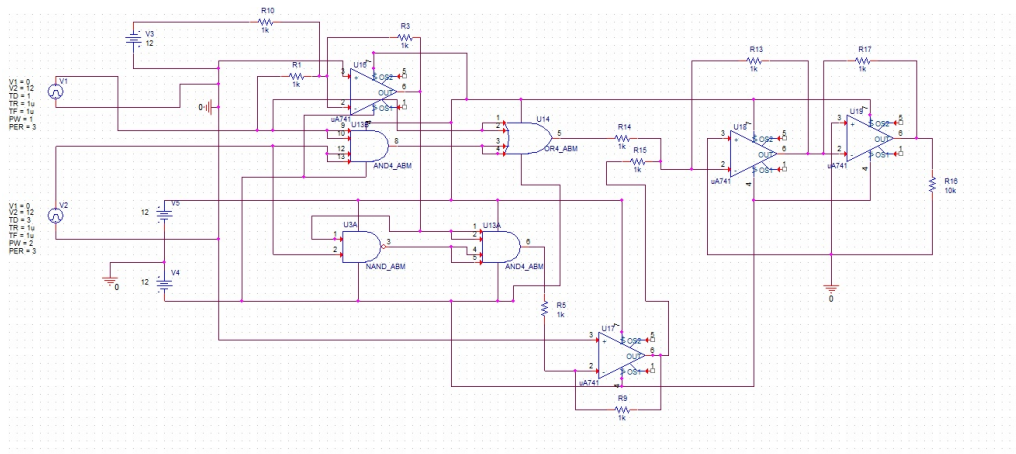


Abbildung 13: Simulationsschaltung Balllift

## 5 Oszillator

### 5.1 Einleitung

Der Oszillator wird in diesem Projekt als Taktgeber verwendet. Zum einen als Taktgeber für eine Spielzeitanzeige und zum anderen um blinkende LEDs zu realisieren.

- Kelvin

### 5.2 Konzept

Die Oszillatorschaltung wird mit dem NE555 realisiert. Über einen Widerstand lädt sich ein Kondensator auf, bis die Spannung am Kondensator einen bestimmten Wert erreicht hat, der ausreicht um das intern im 555 verschaltete Flip Flop zu setzen. Nachdem der Kondensator geladen ist, entlädt er sich wieder über einen Widerstand, bis die Spannung am Kondensator einen Wert unterschreitet und der Flip Flop zurückgesetzt wird. Damit gewährleistet wird, dass die Pulszeit gleich der Pausendauer ist, müssen beide Widerstände den gleichen Wert haben. Um eine bessere Feinabstimmung zu ermöglichen werden anstatt von normalen Widerständen Potentiometer verwendet. Der Oszillator wird so dimensioniert, dass er mit einer Frequenz, ähnlich der eines Quarzoszillators, von 32,768 kHz schwingt. Mit einem 14 Bit Binärzähler und einem D Flip Flop wird dann die Frequenz auf Zweierpotenzen heruntergeteilt.

### 5.3 Schaltungsentwurf

Bei dieser Schaltung ist zu beachten, dass der Widerstand  $R_1$  nicht kleiner als  $10\text{ k}\Omega$  gewählt wird, da es sonst möglich ist, dass der Leckstrom der Kondensators größer ist als der Ladestrom. In diesem Falle würde die Schaltung nicht funktionieren.

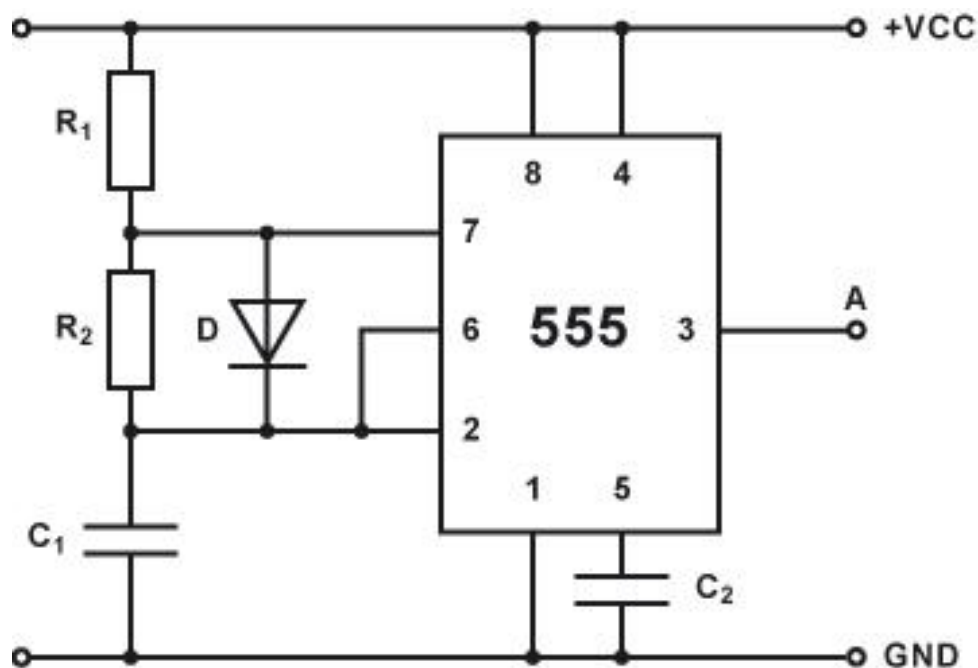


Abbildung 14: Schaltung Oszillator

### 5.3.1 Dimensionierung

Um eine Frequenz von 32768 Hz zu erreichen wird ein Kondensator mit einer Kapazität von 22 pF benötigt. Dabei wird angenommen, dass die beiden Potentiometer auf 1000 k $\Omega$  eingestellt werden.

## 5.4 Bauteile

Tabelle 5: Bauteile Oszillator

Typ	NameWert	Anzahl
CMOS IC 4020	-	1
Kondensator	22pF	1
NE555	-	1
Potentiometer	2500 $\Omega$	2

## 5.5 Schnittstellen

Der Oszillator benötigt keine eingehenden Schnittstellen. Ausgegeben werden jeweils ein 2 Hz Signal und ein 1 Hz Signal an die Licht Gruppe und an die Spielzeitanzeige Gruppe.

## 6 Lagemodul

### 6.1 Einleitung

Alles begann mit einer kleinen, aber gleißend strahlenden Vision. Es war die Vision von Freiheit, Gleichheit und Brüderlichkeit -: Freiheit vom Umfeld! Gleichheit des Spielfeldes! Brüderlichkeit im gerechten und ehrgeizigen Streben nach Erfolg!

Getrieben von dieser Vision erwuchs die ambitionierte Vorstellung, elektropneumatische Füße für den Kicker-Tisch zu entwickeln. In diesem Kontext war das Lagemodul als zentrales Steuerelement gedacht, um den Tisch, wie von Zauberhand geführt, nie in Schiefelage geraten zu lassen.

Bald jedoch ereilte uns dasselbe Schicksal, wie all diejenigen, die sich am großartigen Unmöglichen versuchen: Die Idee war weitaus größer als ihre Denker es womöglich je sein könnten.

Aber wahre Größe zeigt sich niemals im taumelnden Hochgefühl der schönsten Worte, nein! erst im Angesicht der tiefsten Ernüchterung, der schmerzlichsten Niederlage zeigt sich der Mutige, der der Furcht lachend ins Gesicht spuckt und trotzig und heiter und überzeugt zur Tat schreitet.

Wir entschlossen uns demnach, unsere Idee aufzuspalten -: Im Hier und Jetzt entwerfen wir das Fundament - das Lagemodul -, worauf kommende Generationen aufbauen können. Und vielleicht erleben wir eines schönen Tages, wie eine kleine, aber gleißend strahlende Vision Wirklichkeit geworden ist ...

Entwickler

- Nicolas Erd
- Mirsad Hadžiefendić

### 6.2 Konzept

Der erste intuitive Gedanke zur Umsetzung des Lagemoduls war, einen Sensor zu wählen, der die Neigung des Tisches detektiert. Hierbei fiel unmittelbar auf, dass bereits bei geringsten Höhenunterschieden des Tisches bzgl. des Bodens eine Spielsituation entsteht, die zu einem deutlichen Nachteil für einen Spieler führt. Schließlich entschieden wir, drei Bereiche innerhalb eines Grades ( $0, 3^\circ; 0, 6^\circ; 0, 9^\circ$ ) detektieren zu wollen und sie auf einer LED-Leiste auszugeben. Diese LED-Leiste kann als *elektronische Libelle*<sup>1</sup> gedeutet werden. Hieraus ergibt sich die Reihenfolge der Anordnung der Leuchtdioden wie folgt: ROT-GELB-GRÜN-GELB-ROT.

Die Signalverarbeitungskette<sup>2</sup> beginnend beim Sensor und endend bei der Ansteuerung der LED-Leiste kann im wesentlichen in folgenden Schritten wiedergegeben werden:

1. Sensor
2. Offset- und Verstärkungsabgleich
3. Kleinsignal-Verstärkung
4. A/D-Umsetzer
5. Logik
6. Treiberstufe
7. LED.

---

<sup>1</sup>analog zur Libelle einer gewöhnlichen Wasserwaage

<sup>2</sup>siehe *Kapitel 4: Verstärker* in [5]

## 6.3 Schaltungsentwurf

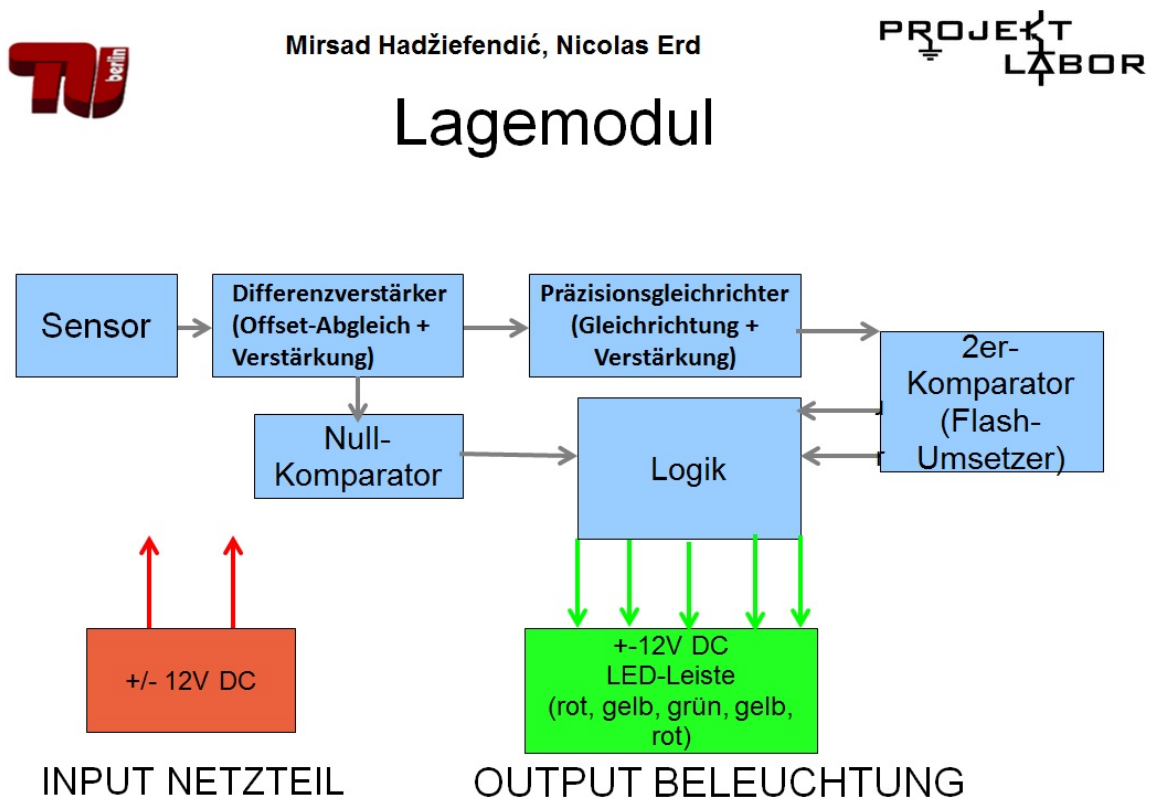


Abbildung 15: Blockschatlbild zum Lagemodul

Das Fundament des Lagemoduls bildet der **Neigungssensor**, der eine Konstant-Spannungsquelle mit Offset darstellt. Bei der Auswahl des Neigungssensors muss insbesondere darauf geachtet werden, dass der Winkel-Bereich, für den der Sensor ausgelegt ist, möglichst präzise und fein in der Nähe des Nullgradpunkts arbeitet, denn der sinnvolle Arbeitsbereich des Lagemoduls besitzt sein Maximum bei rund  $0,9^\circ$ . Des Weiteren muss beim zu wählenden Sensor darauf Wert gelegt werden, eine große Sensitivität ( $\text{mV}/^\circ$ ) zu erhalten. Vor allem der Sensitivität wegen (neben der großen Robustheit gegenüber Temperaturschwankungen) entschieden wir uns, einen kapazitiven Beschleunigungssensor anstatt eines piezoresistiven zu nutzen.<sup>3</sup>

Im nächsten Schritt wird die *offsetbehaftete* Winkelspannung durch einen **Differenzverstärker** vom Offset befreit und teilweise auch verstärkt. Die Kalibrierung erfolgt über eine ungeheuer präzise Spannungsreferenzquelle.<sup>4</sup>

Davon abgehend wird die *offsetbefreite* Winkelspannung auf der einen Seite einem **Präzisionsgleichrichter**, auf der anderen Seite einem **NULL-Komperator** zugeführt.

Der Präzisionsgleichrichter erzielt eine *Vollweggleichrichtung* und leitet das Signal weiter an einen **2-ER-Komperator**.

<sup>3</sup>weitere Informationen in [1],[2],[3]

<sup>4</sup>Ein hinzugeschalteter Spannungsfolger schützt die weiteren Schaltungsabschnitte vor zu großen Belastungen und Schwankungen, zumal die Referenzspannungsquelle auch beim 2-er-Komperator verwendet wird.



Konzeptionell entspricht der 2-er-Komperator einem *Flash-ADU*: Mittels der ungemein genauen *Spannungsreferenzquelle*, die ebenfalls beim Differenzverstärker Anwendung findet, werden über einen fest eingestellten *Spannungsteiler* die Schwellspannungen eingeprägt, mit denen das Eingangssignal verglichen wird. (Die *Schwellspannungen* spiegeln bestimmte Grad-Bereiche der Tisch-Neigung wider.) Je nachdem, ob das eingehende Signal größer oder kleiner als die anliegende Schwellspannung ist, erzeugt der entsprechende Komperator am Ausgang entweder ein *pseudo-binäres* I- oder ein O-Signal.<sup>5</sup> Letztlich führen vom 2-er-Komperator zwei Signalleitungen<sup>6</sup> zur *RT-Logik*<sup>7</sup> des Lagemoduls. Dieses 2-Bit-Muster dient zur Auswahl der Farbe in der LED-Leiste.

Zur Entscheidung, welche LED genau angesteuert wird, dient der Null-Komperator. Wie weiter oben bereits ausgeführt, wird ausgehend vom Differenzverstärker die offsetbefreite Winkelspannung sowohl an den Präzisionsgleichrichter als auch an den Null-Komperator geleitet. Der Null-Komperator vergleicht das Signal mit der Masse. Analog zum 2-er-Komperator wird abhängig von der anliegenden Differenzspannung ein pseudo-binäres I- bzw. O-Signal erzeugt.<sup>8</sup> Vom Null-Komperator wird schließlich ein 1-Bit-Muster an die RT-Logik weitergeleitet.

Mit dem 2-Bit-Muster des 2-er-Komperators und mit dem 1-Bit-Muster des Null-Komperators können letztendlich über die RT-Logik fünf Signalleitungen konzipiert werden, mit denen die Beleuchtungsgruppe die fünf Leuchtdioden in der LED-Leiste ansteuern kann.

Die Abbildung 15 verdeutlicht das Blockschaltbild des Lagemoduls, in dem die wesentlichen Abschnitte aufgeführt sind. Eine genaue Darstellung des Schaltplans findet sich in den Abbildungen 16, 17 und 18. Die Hauptquelle bei der Entwicklung der Schaltung bildete das Buch *Halbleiter-Schaltungstechnik* [5] von Tietze und Schenk.

---

<sup>5</sup>Falls die am Komperator anliegende *Differenzspannung* positiv bzw. negativ ist, so schaltet der Komperator umgehend in die Sättigung, das heißt, am Ausgang liegt die positive bzw. negative Betriebsspannung des Komperators an. Aus diesem Grund wurde auch die Bezeichnung *pseudo-binär* gewählt.

<sup>6</sup>Es wird demzufolge vom 2-er-Komperator ein 2-Bit-Muster an die Logik übergeben.

<sup>7</sup>Resistor-Transistor-Logik

<sup>8</sup>Dadurch dass die Differenzspannung lediglich aus dem eingehenden Signal besteht, da die Vergleichsspannung die Masse bildet, trägt der Null-Komperator am Ausgang sozusagen das *Vorzeichen* des Sensorsignals, was letztlich in der Realisierung als linker bzw. rechter Teil der LED-Leiste interpretiert werden kann.

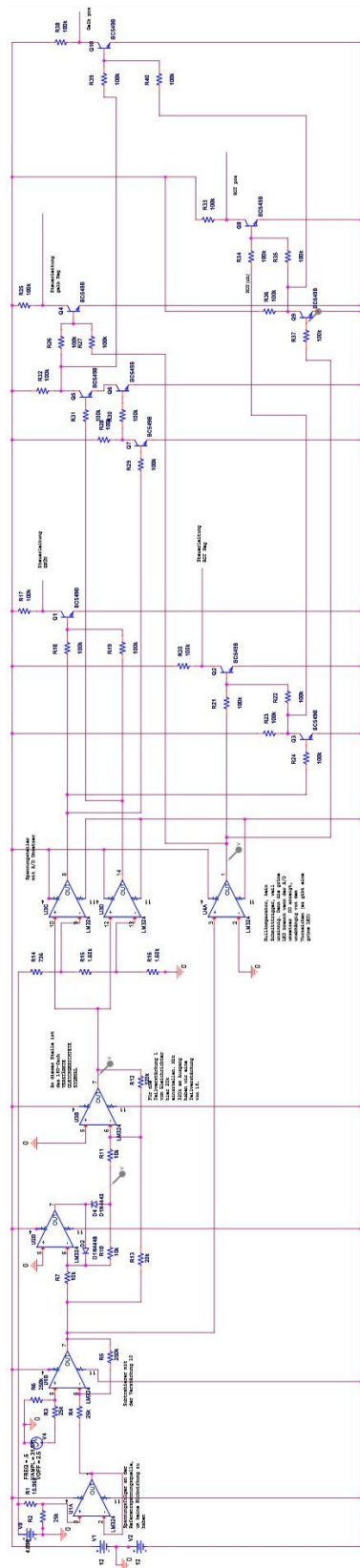


Abbildung 16: Gesamtschaltung in Cadence®OrCAD®Capture

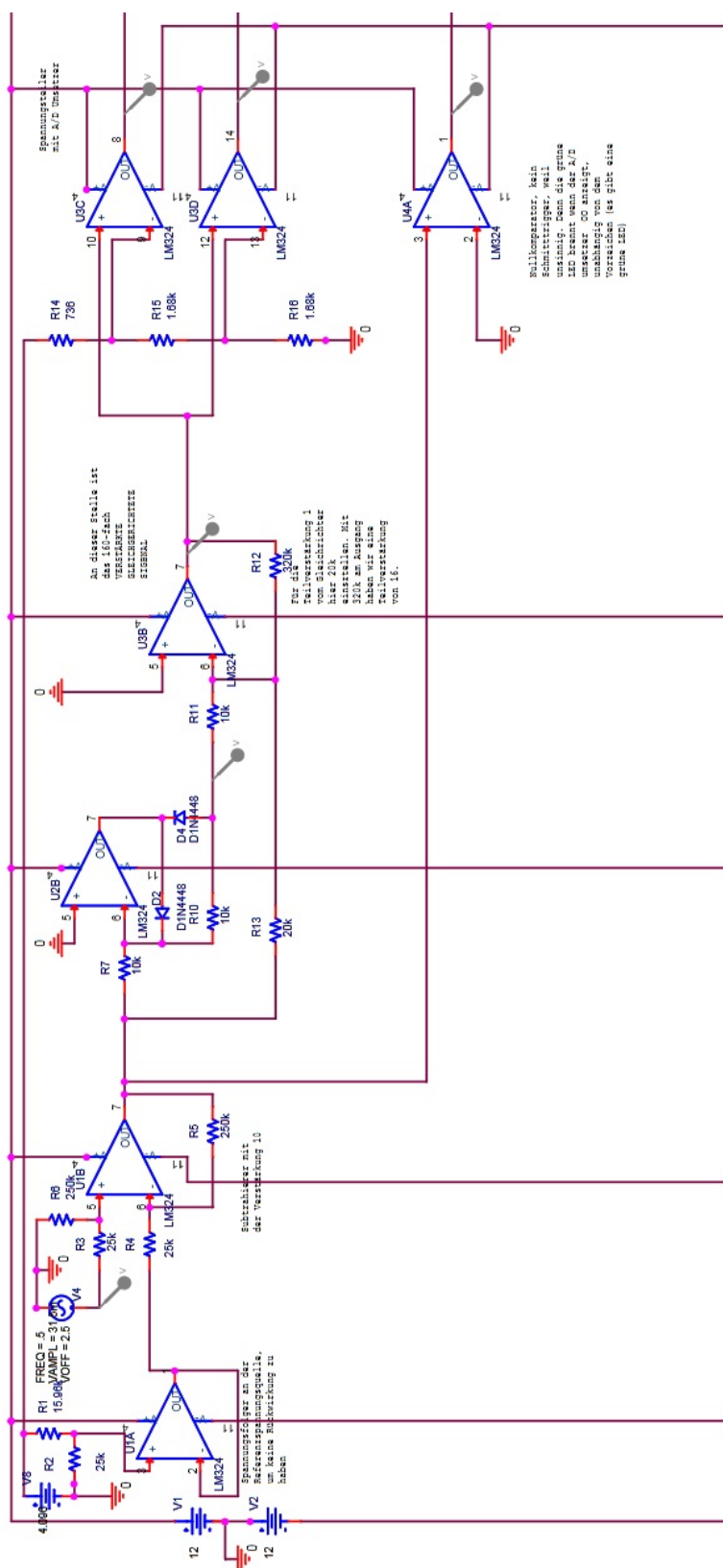


Abbildung 17: Detailansicht der Gesamtschaltung: Vor-Logik

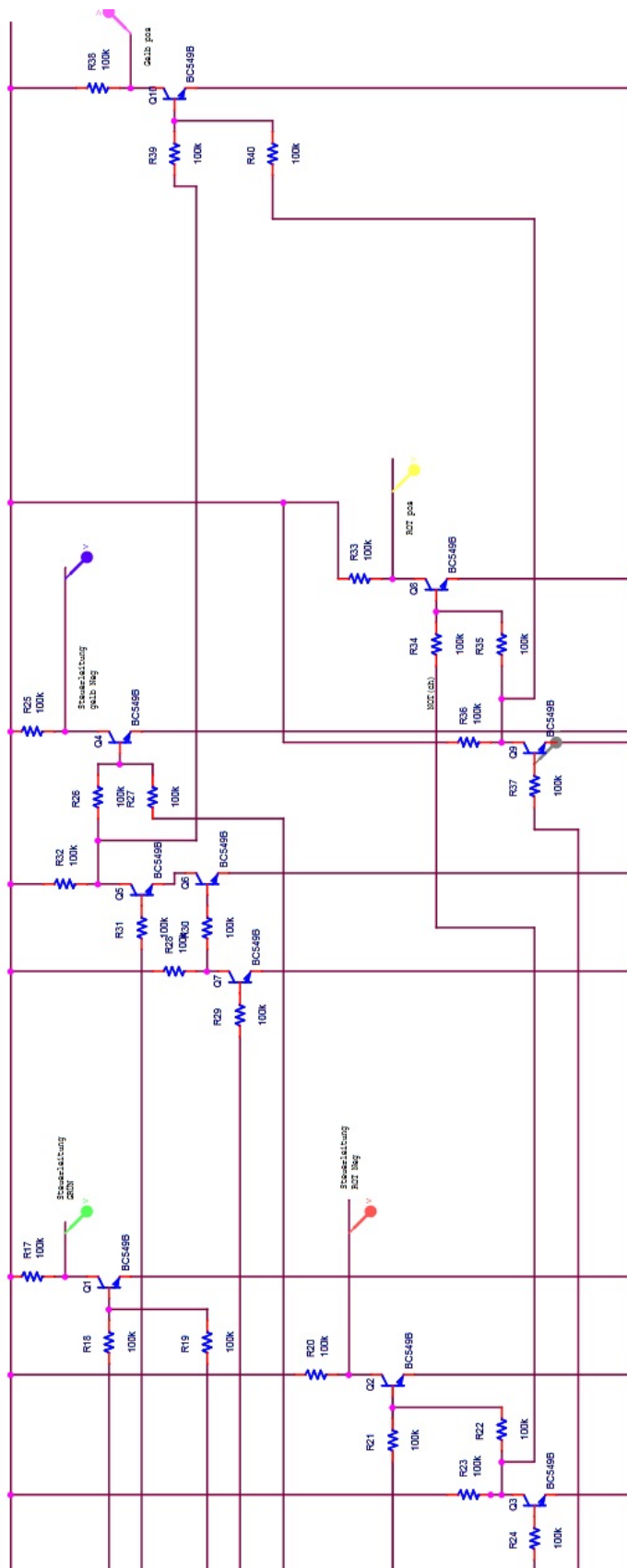


Abbildung 18: Detailansicht der Gesamtschaltung: Logik

### 6.3.1 Dimensionierung

Die erste Hürde auf dem Weg zur Dimensionierung der Schaltung bildet die Festlegung der Winkelbereiche, die unterschieden werden sollen. Bei gegebenem Beinabstand  $d = 95 \text{ cm}$  wurden die folgenden Höhenunterschiede  $\Delta h$  bzw. die entsprechenden Winkel  $\alpha$  als Bereichsgrenzen ausgewählt:

- $\alpha_1 = 0, 3^\circ \hat{=} \Delta h_1 = 0, 5 \text{ cm}$
- $\alpha_2 = 0, 6^\circ \hat{=} \Delta h_2 = 1, 0 \text{ cm}$
- $\alpha_3 = 0, 9^\circ \hat{=} \Delta h_3 = 1, 5 \text{ cm}$  .

Die Berechnungsgrundlage hierfür bildet der trigonometrische Zusammenhang zwischen dem Beinabstand  $d$  und dem Höhenunterschied  $\Delta h$ :

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\Delta h}{d}\right).$$

Ausgehend von den festgelegten Winkeln erhält man über die Sensitivität des Sensors ( $35 \text{ mV}/^\circ$ ) die (**noch unverstärkten**) Schwellspannungen:  $10, 5 \text{ mV}$  für den Übergang vom grünen in den roten Bereich; und  $21 \text{ mV}$  für den Übergang vom gelben in den grünen Bereich.

Die zweite Hürde, die auf dem Weg zur Dimensionierung gemeistert werden muss, ist den Offset des Sensors über einen Spannungsteiler einzustellen, damit schließlich am Differenzverstärker der Offsetabgleich des Sensorsignals vollzogen werden kann. Über die präzise Referenzspannungsquelle werden  $U_{\text{Ref}} = 4, 096 \text{ V}$  über die Widerstände  $R_1 = 15, 96 \text{ k}\Omega$  und  $R_2 = 25 \text{ k}\Omega$  fest eingepreßt. Anschließend greift man die Spannung

$$U_2 = U_{\text{Ref}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

über dem Widerstand  $R_2$  ab und führt sie zum Spannungsfolger. Der Wert  $U_2 = 2, 5 \text{ V}$  entspricht genau dem Offset des Sensors  $U_{\text{offset, Sens}}$ .

Im nächsten Schritt wird der Differenzverstärker dimensioniert. Bei der gewählten Einstellung für die Widerstände am invertierenden und am nicht-invertierenden Eingang erhält man am Ausgang des Differenzverstärkers allgemein die Spannung

$$U_{\text{a,Diff}} = \frac{R_5}{R_4} \cdot (U_{\text{e,Sens}} - U_2).$$

Die Verstärkung wurde auf

$$V_{\text{differenz}} = \frac{R_5}{R_4} = \frac{250 \text{ k}\Omega}{25 \text{ k}\Omega} = 10$$

eingestellt, womit eine erste Signalaufbereitung vollzogen wird, denn das (offsetbefreite) Signal  $U_{\text{a,Diff}}$  wird nämlich **sowohl** dem Präzisions-Gleichrichter **als auch** dem Null-Komparator zugeführt. Diese erste Signalverstärkung ermöglicht demzufolge eine robuste weitere Signalverarbeitung.

Mit dem Präzisionsgleichrichter erfolgt die endgültige Kleinsignalverstärkung und vor allem die Gleichrichtung des Signals  $U_{\text{a,Diff}}$ . Der erste Operationsverstärker im Präzisionsgleichrichter arbeitet als invertierender Einweggleichrichter mit der Verstärkung

$$V_{\text{gleich,1}} = \frac{R_{10}}{R_7} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 1.$$

Erst mit dem zweiten Operationsverstärker im Präzisionsgleichrichter erfolgt die Vollweggleichrichtung. Über die Widerstände  $R_{12}$  und  $R_{13}$  wird letztlich die Verstärkung

$$V_{\text{präz}} = \frac{R_{12}}{R_{13}} = \frac{320 \text{ k}\Omega}{20 \text{ k}\Omega} = 16$$

des Präzisionsgleichrichters eingestellt. Es ergibt sich letztlich am Ausgang des Präzisionsgleichrichters die Gesamtverstärkung

$$V_{\text{ges}} = V_{\text{differenz}} \cdot V_{\text{präz}} = 10 \cdot 16 = 160.$$

Des Weiteren liegt also am Ausgang des Präzisionsgleichrichters das 160-fach verstärkte, gleichgerichtete, offsetbefreite Sensorsignal:

$$U_{\text{a,Präz}} = 160 \cdot |(U_{\text{e,Sens}} - U_{\text{offset, Sens}})|.$$

Im letzten Dimensionierungsschritt wird der Spannungsteiler für den 2-er-Komparator eingestellt. Als Referenzspannung wird dieselbe genutzt, wie diejenige für den Offsetabgleich. Die Widerstände werden derart dimensioniert, dass die Vergleichspotentiale an den Operationsverstärkern den 160-fach verstärkten Schwellspannungen entsprechen, das bedeutet, die Vergleichspotentiale an den Operationsverstärkern sind

$$U_{\text{low}} = 160 \cdot 10,5 \text{ mV} = 1,68 \text{ V}$$

und

$$U_{\text{high}} = 160 \cdot 21 \text{ mV} = 3,36 \text{ V}.$$

Daraus ergeben sich unmittelbar die Widerstände für den Spannungsteiler

$$R_{14} = 736 \Omega$$

$$R_{15} = 1,68 \text{ k}\Omega$$

$$R_{16} = 1,68 \text{ k}\Omega.$$

Es verbleibt zum Abschluss, die logischen Verknüpfungen für die fünf LED-Steuerleitungen zu entwerfen.

Die NOR-Verknüpfung des High-Komparators<sup>9</sup>  $c_h$  und des Low-Komparators  $c_l$  für die Signalleitung der grünen LED ist unmittelbar einleuchtend, denn nur wenn das Signal kleiner als beide Schwellspannungen ist, wird die grüne LED angesteuert. Dabei ist ihre Ansteuerung unabhängig vom Nullkomparator  $c_n$ , dadurch dass nur eine einzige grüne LED zentral in der LED-Leiste positioniert ist.

Anhand einer Logiktafel (Tabelle 6) ist die Funktionsweise der Logik am besten verdeutlicht. Mithilfe von KV-Diagrammen erhält man schließlich die logischen Verknüpfungen:

- $r_l = \overline{c_n + c_h}$
- $ge_l = \overline{c_l \cdot \overline{c_h} + c_n}$
- $gr = \overline{c_h + c_l}$
- $ge_r = \overline{c_l \cdot \overline{c_h} + \overline{c_n}}$
- $r_r = \overline{\overline{c_n} + \overline{c_h}}$ .

---

<sup>9</sup>Als High-Komparator wird hierbei derjenige OPV im 2-er-Komparator bezeichnet, an dem die höhere Schwellspannung als Vergleichspotential anliegt. Demnach ist der Low-Komparator derjenige mit der niedrigeren Schwellspannung.

Tabelle 6: Logiktablelle des Lagemoduls

$c_h$	$c_l$	$c_n$	$r_l$	$ge_l$	gr	$ge_r$	$r_r$
0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0
1	0	0	*	*	*	*	*
1	0	1	*	*	*	*	*
1	1	0	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	1

## 6.4 Bauteile

In der folgenden Tabelle 7 ist eine Übersicht über die grundlegend benötigten Bauteile für die Entwicklung des Lagemoduls.

Tabelle 7: Bauteile für das Lagemodul

Typ	Name bzw. Wert	Anzahl
Sensormodul	SCA121T-D03	1
OPV	LM324	7
Referenzspannung	TL4050 (4,096V)	1
Festspannungsregler	LM78L05 (+5V)	4
Transistor	BC549B	10
Diode	1N4001	5
Kapazitäten	0,33 $\mu$ F; 0,1 $\mu$ F	4;4
Potentiometer	Bourns3296 (1 $\Omega$ $\cdots$ 500 k $\Omega$ )	
Widerstände	1 $\Omega$ $\cdot$ 500 k $\Omega$	

## 6.5 Schnittstellen

Die Schnittstellen für das Lagemodul sind recht übersichtlich. Zum einen erhält das Lagemodul vom Netzteil  $\pm 12$  V als Versorgungsspannung. Zum anderen führen am Ausgang fünf Signalleitungen mit  $\pm 12$  V Spannung heraus, die an die Gruppe Beleuchtung übergeben werden.

Die Tabelle 8 stellt eine Übersicht aller Schnittstellen des Lagemoduls dar.

Tabelle 8: Schnittstellen des Lagemoduls

	Input	Output
Netzteil	$\pm 12V$	
Gruppe Beleuchtung		$\pm 12V$

## 6.6 Simulation

Zur Überprüfung, ob die Gesamtschaltung tadellos funktioniert, genügt es, zwei Diagramme einander gegenüber zu stellen: Das Diagramm mit dem Spannungsverlauf der Sensorspannungsquelle dem Diagramm mit den Schaltvorgängen der Transistoren in der RT-Logik.

Um die vom Sensor detektierte Neigung des Tisches simulieren zu können, wird der Sensor als Spannungsquelle aufgefasst mit dem Offset<sup>10</sup> 2,5 V, mit der Amplitude<sup>11</sup> 35mV und mit der Frequenz<sup>12</sup> 0,5 Hz.

Mit der RT-Logik soll das 3-Bit-Muster ausgewertet werden. Hierbei wird entschieden, welche LED-Farbe auf welcher Seite angesteuert wird. In der Simulation müssten demzufolge (*einseitig betrachtet*) eindeutig drei Bereiche ersichtlich sein, die von den zwei Schwellspannungen getrennt werden.

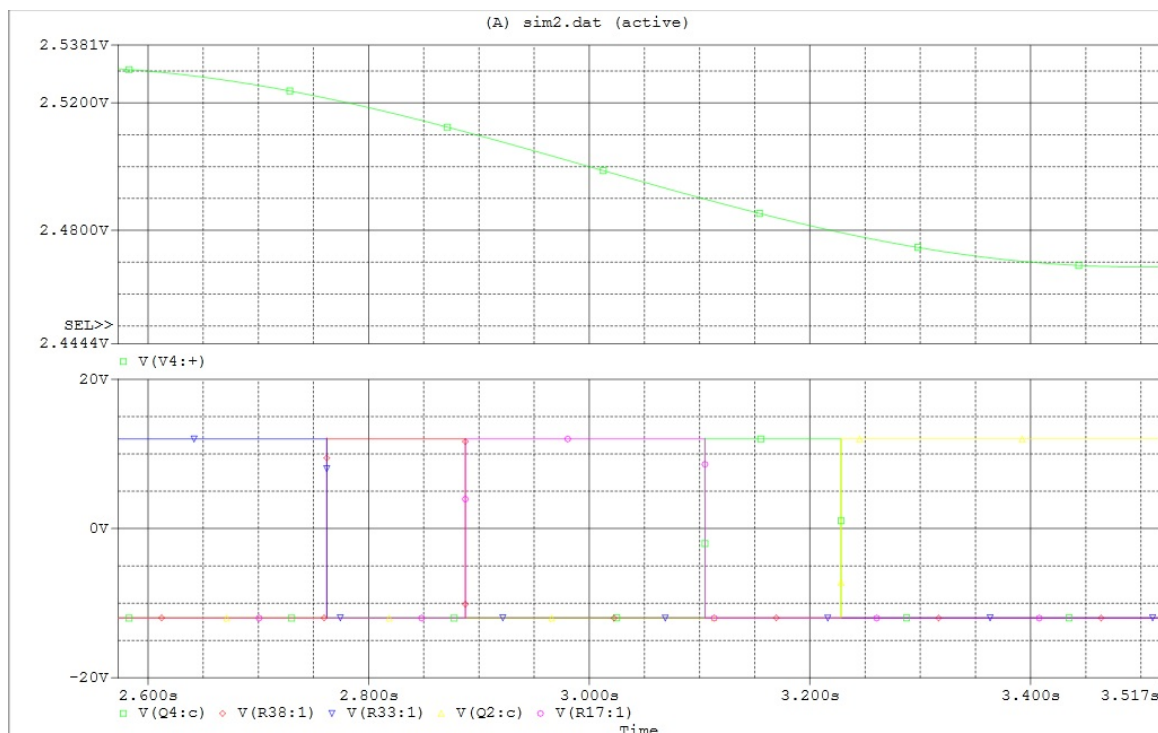


Abbildung 19: Spannungsverlauf des Sensors bei Auslenkung (oben); Schaltbereiche der RT-Logik (unten)

Die Simulationsabbildung<sup>13</sup> 19 stellt exakt das Verhalten des Lagemoduls dar, wie es bereits im

<sup>10</sup>Das ist der Spannungsbetrag bei 0° Auslenkung.

<sup>11</sup>Dieser Wert gibt die Sensitivität des Sensors wieder.

<sup>12</sup>Mit der Frequenz kann die Auslenkung des Tisches nachempfunden werden.

<sup>13</sup>Die Messsimulation erfolgte mittels Cadence®/OrCAD®/Capture.



Blockschaltbild (Abb. 15) konzeptionell herausgearbeitet wurde.

Der innere Bereich um 3s entspricht der grünen LED. Die beiden unmittelbar darauf folgenden Bereiche links bzw. rechts entsprechen der linken, gelben LED bzw. der rechten, gelben LED. Und die letzten beiden Bereiche entsprechen demnach der linken, roten LED bzw. der rechten, roten LED.

## Literatur

- [1] BAUMANN: *Sensorschaltungen*. S.90 : Vieweg Verlag
- [2] KASPER: *Mikrosystementwurf*. S.348-363 : Springer-Verlag
- [3] SCHMIDT: *Sensorschaltungstechnik*. S.119-121 : Vogel Buchverlag
- [4] THOMAS: *Rundenzähler*. <http://www.dieelektronikerseite.de/Circuits/Rundenzaehler.htm>,  
Nov 2010
- [5] TIETZE, Schenk: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer-Verlag, 12.Auflage