

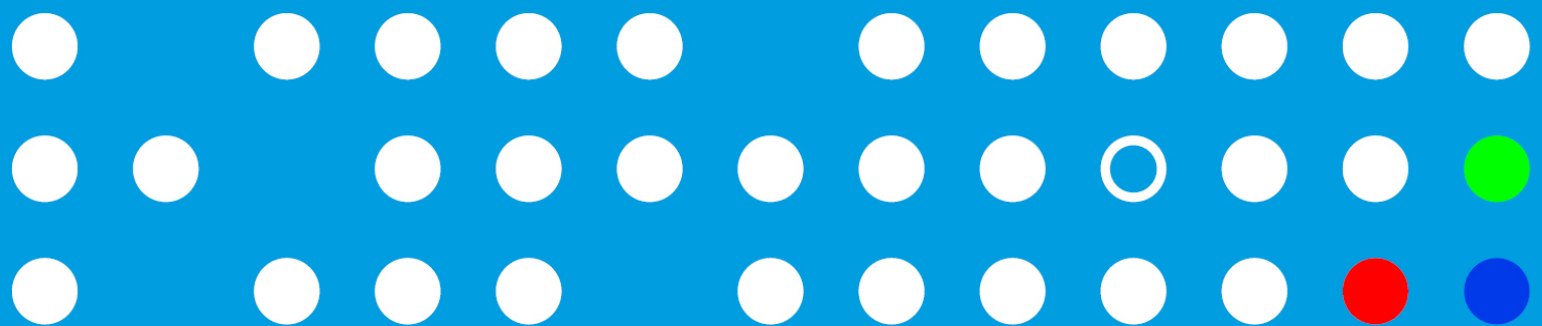
Maturaarbeit

LSP128

Verfasser: Kevin Mutter, Raffael Theiler

Betreuungsperson: Ursula Rutishauser
Gegenleser: Peter Skrotzky

Kantonsschule Wettingen
Abgabedatum: 23.10.2009



Abstract

Diese Arbeit umfasst die Entwicklung und den Aufbau unseres interaktiven Designobjekts. Sie soll in Verbindung mit dem Arbeitsjournal zeigen, wie wir das Design der Pille ausgearbeitet, die mechanischen Komponenten realisiert und das elektronische Innenleben organisiert haben. Zudem beschreiben wir, was genau zum Zeitpunkt des Abgabetermins an unserem Prototypen funktioniert und wo die technischen Knackpunkte liegen könnten, an denen wir uns schlussendlich die Zähne ausgebissen haben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Einleitung.....	7
Designstudie.....	8
Formen	8
Der Kreis	8
Das Oval.....	9
Das Quadrat.....	9
Das Rechteck	9
Der goldene Schnitt.....	9
Farben.....	10
Gelb	11
Orange	11
Rot	11
Violett	11
Blau.....	12
Grün.....	12
Einflüsse und Gedanken im Bezug auf unser Design	13
CAD (Computer Aided Design) Modell	14
Technische Dokumentation.....	15
Elektronik.....	15
Ziele	15
Versuch mit einer LED	15
Schema	17
Tabellarische Darstellung der einzelnen Komponenten	18
Berechnungen	20
Print	24
Elektrische Komponenten	31
Software	32
Geplante Funktionen.....	32
Quellcode	33
Fehler.....	37
Mechanik.....	40

Das Innengehäuse	40
Der Innenaufbau.....	41
Finanzen	44
Broschüre	46
Fazit	46
Projektfazit	46
Persönliches Fazit	47
Quellen	48
Bilder	48
Internet.....	49
Literatur.....	50
Anhang	51

Vorwort

Diese Dokumentation behandelt das LSP128, ein interaktives Designobjekt, das als eine Maturaarbeit der Kantonsschule Wettingen entstanden ist. Einführend wollen wir erklären, wie wir auf das Thema gekommen sind:

Nach dem Abschluss des Quartalsprojektes konnten wir uns anlässlich der Einführung in die Maturaarbeit sehr schnell darauf einigen, dass wir gerne eine etwas komplexere Arbeit in Angriff nehmen würden. Die erste Schwierigkeit war, ein passendes Thema zu finden. Damals gingen unsere Meinungen in zwei entgegengesetzte Richtungen: Gestaltung oder Technik.

Bei einem gemeinsamen Mittagessen hatten wir dann eine Vision: Wir müssen uns nicht in eine der beiden Richtungen orientieren, sondern können eine interdisziplinäre Arbeit erstellen, in der es um Kunst und Technik geht. Da wir am selben Abend noch die Wings Lounge in Zürich aufsuchten, die uns licht- und gestaltungstechnisch sehr gefiel, kamen wir auf die passende Idee: Es soll in unserer Arbeit um ein Gerät gehen, das die Atmosphäre in einem Raum beeinflussen und verändern kann.



Abbildung 1 : Wings Lounge in Zürich

Wir haben uns schliesslich darauf geeinigt, dass wir ein Licht-/Soundobjekt bauen wollen, das auf einem technisch aktuellen Stand ist und deshalb LEDs für die Lichtatmosphäre verwendet.

Während des Realisationsprozesses, den wir in dieser Dokumentation behandeln, hatten wir rückwirkend gesehen nur wenig Probleme. Wir konnten die Grundelektronik (Speisungen), die selbst entwickelten Prints, den eingebauten Computer und die Musikkomponente mit Erfolg konzipieren und zusammenbauen.

An dieser Stelle möchten wir einen Dank an Herrn Hans Ulrich Schmutz und Herrn Mario Knecht aussprechen, denn wir durften die Laboreinrichtung der Schule vollumfänglich für unsere Zwecke einsetzen.

Leider hatten wir am Ende unserer Arbeit ein Problem mit der Software, das wir trotz der Hilfe von Sascha Wettstein, der als Informatikingenieur tätig ist, und trotz voller Investition unserer eingeplanten Pufferzeit bis zum Abgabetermin nicht lösen konnten.

Dennoch hat uns die ganze Entwicklung sehr viel Spass gemacht und uns neue Erfahrungen in der Entwicklung eines komplexen Geräts beschert.

Wir danken der Firma MBW Elektronik für die finanzielle Unterstützung unseres Projekts, Herrn Marek Chmielewski für die Hilfe beim Printdesign, Frau Ursula Rutishauser für die Betreuung unserer Maturaarbeit und ihre unterstützenden Ideen in Bezug auf das Design und Herrn Peter Skrotzky für seine Tätigkeit als Gegenleser.

Kevin Mutter und Raffael Theiler

Einleitung

Von der Vision zum fertigen Produkt braucht es viele verschiedene Denk- und Arbeitsschritte, deren Abfolge genau geplant sein musste. Doch noch wichtiger war die Frage, was denn genau das Ziel des ganzen Aufwands sein sollte und welche Aspekte wir von Anfang an berücksichtigen wollten. Deshalb haben wir in der Zielsetzung einige theoretische Punkte erfasst, die wir danach in einer Designstudie behandelten, um anschliessend die optimale Konstruktion zu realisieren. Folgende Fragen schienen uns relevant:

- Wie können wir die erwiesenen Auswirkungen von Sound und Licht auf den Menschen und seine Psyche in der Praxis sinnvoll, effizient und in ansprechend schönem Design umsetzen?
- Wie können wir Form und Erscheinung eines Alltagsobjektes so in unser Design einfließen lassen, dass es möglichst attraktiv wird?
- Wie viel Aufwand bedeutet solch ein Projekt im Endeffekt tatsächlich?

Letztlich wollten wir daraus natürlich das Produkt ableiten. Aus diesem Grund haben wir dazu eine materielle Zielsetzung ausgearbeitet:

- Wir wollen ein interaktives Designobjekt, das mit LEDs, Musikquellen und einer digitalen Steuerung versehen ist, designen und bauen.
- Wir wollen eine informative und unterhaltsame Werbebroschüre oder Werbewebsite realisieren.
- Dazu soll eine schriftliche Dokumentation erarbeitet werden.

Im Vordergrund stand bei unserer Arbeit die Planung unseres persönlichen Designobjekts. Wir sahen aber die Designstudie als ein Werkzeug, das uns ermöglichte, eine möglichst perfekte Konstruktion zu planen und dann zu realisieren.

Da wir schon von Anfang an wussten, dass der Zusammenbau unseres Objekts sehr viel Zeit in Anspruch nehmen würde, bestellten wir dementsprechend schnell die nötigen Komponenten und setzten die Vorentwicklung des Prints schon auf die Sommerferien an.

Von der groben Planung her musste also die Vorbereitung in den Sommerferien abgeschlossen sein. Die Zeit danach reservierten wir für mechanische Tätigkeiten und die Programmierung der Softwareoberfläche der Pille.

Am Schluss waren noch zwei Wochen Pufferzeit eingeplant, um eventuell auf Fehler reagieren zu können oder mehr Zeit für den Zusammenbau zur Verfügung zu haben.

Designstudie

Im Vorfeld der technischen Realisation unseres Projektes haben wir uns viele Gedanken darüber gemacht, über welche Form und Farbe unser Objekt verfügen sollte. Zuerst informierten wir uns deshalb über zentrale Designgrundsätze und im Speziellen über die psychologische Assoziation und die Interpretation verschiedener Formen und Farben.

Formen

Der Kreis

Der Kreis hat eine zentrisch wirkende Form und alle Symmetrieachsen laufen durch seinen Mittelpunkt. Der Kreis hat einen an jeder Stelle identischen Durchmesser. Keinem kommt eine spezielle Bedeutung zu.

Als gegenteiliges Beispiel könnte man das Oval nennen, wie zum Beispiel ein Ei, welches verschiedene Durchmesser besitzt, nämlich einen langen und einen kurzen. Obwohl das Ei oft als nahezu perfekte Form bezeichnet wird, wirkt der Kreis ausgewogener und neutraler. Ecken oder Kanten sind an ihm keine zu finden. Er verfügt über keinerlei nach aussen gerichtete Elemente und zeigt dadurch auch in keine spezifische Richtung. Alle Kräfte konzentrieren sich auf sein Zentrum.



Abbildung 2: Seifenblase

Durch die Unabhängigkeit gegenüber seinem Umfeld und der starken Konzentration auf sein Inneres kommen dem Kreis viele symbolische Bedeutungen zu. Eine ist zum Beispiel der Heiligenschein. Durch den Heiligenschein wird die Abgrenzung vom Umfeld und das geistige Da-Sein betont. Die harmonische Figur des Kreises steht er für Unendlichkeit und Unschuld. Symbole wie das Mandala oder Ying und Yang basieren auch auf dem Kreis und seiner Bedeutung.

Die Neutralität und Bezugslosigkeit des Kreises macht ihn aber auch zu einem instabilen Element innerhalb einer Komposition. Er scheint nicht fest verankert zu sein und wirkt leicht verschiebbar. Der Kreis benötigt ein stabiles Fundament.¹²

¹ http://www.gestaltung.hs-mannheim.de/designwiki/files/8500/form_und_farbe.pdf, 25.4.2009

² <http://www.andreashurni.ch/bildgestaltung/geometrie/flaeche.htm>, 25.4.2009

Das Oval

Das Oval gewinnt durch seine Längssymmetrieachse einen Bezug zur Umgebung. Die Symmetrie ist nicht zentrisch wie beim Kreis. Dadurch gewinnt das Oval an Spannung.

Durch das gegen aussen abnehmende Verhältnis zwischen Länge und Breite entwickelt das Oval zwei Schwerpunkte. Diese beiden Schwerpunkte können in einer Komposition genutzt werden.



Abbildung 3: Oval

Das Quadrat

Das Quadrat ist ähnlich wie der Kreis zentrisch und symmetrisch. Die Kraftwirkung in Richtung des Zentrums ist mit der des Kreises zu vergleichen.

Jedoch verfügt das Quadrat über gradlinige Kanten und vier charakteristische Symmetrieachsen. Diese stellen im Gegensatz zum Kreis einen Bezug zum Umfeld her. In einer Komposition wirkt das Quadrat stabil und fest verankert, ohne irgendwelche Neigungen zur Bewegung.



Abbildung 4: Quadrat

Das Rechteck

Die verschiedenen langen Seiten führen dazu, dass das Rechteck im Vergleich zum Kreis und dem Quadrat die Ausrichtung in Richtung des Zentrums verliert. Jedoch gewinnt es dadurch an Spannung, was den Vergleich mit dem Oval zulässt. Jedoch gibt es beim Rechteck nur ein Zentrum, während das Oval davon zwei besitzt.

Der goldene Schnitt

Der goldene Schnitt ist ein Teilungsverhältnis oder einfacher gesagt der Bezug zweier Größen zueinander. Wird eine Strecke (ac) so geteilt, dass die grössere Teilstrecke (ab) im selben Verhältnis zu der kleineren (bc) steht, wie die Gesamtstrecke (ac) zur grösseren (ab), so kann man von einer Teilung im goldenen Schnitt sprechen.

In der Kunstwelt wird der goldene Schnitt als ideale Proportion angesehen. Viele in der Natur vorhandenen Teilungsverhältnisse entsprechen auch dem goldenen Schnitt.

Farben

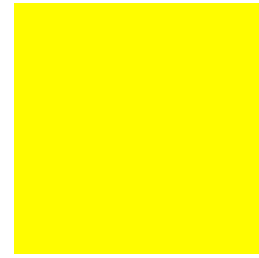
Im Bezug auf das Gehäuse erübrigte sich die Frage nach der Farbe, denn wir sahen es als selbstverständlich an, dass die Farbe des Gehäuses möglichst unauffällig und neutral sein sollte, um die Aufmerksamkeit nicht von den Lichteffekten des Objektes abzulenken.

Dadurch wurde jedoch die Frage nach der Wirkung der Farben, die von den LEDs angenommen werden können, noch viel zentraler. In den folgenden Abschnitten werden wir die psychologischen Einflüsse einiger Farben schildern.³

³ Tania Süllentrup: Die Wirkung von Farben auf den Menschen , 2003 Grin Verlag für Akademische Texte

Gelb

Gelb wird mit Leistungsmotivation und zielgerichteter Aussenzuwendung in Verbindung gebracht. Gelb wird als weniger erregend empfunden wie Orange oder Rot, jedoch genauso tiefgreifend und angenehm wie orange. Oft wird Gelb als Stimulationsfarbe bezeichnet.



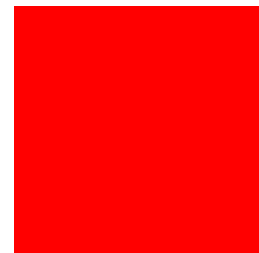
Orange

Orange steht für Antriebskraft und Extravertiertheit. Es soll eine ähnliche Wirkung wie das Gelb haben, aber in gesteigerter Form. Menschen, die Orange bevorzugen, sind meist Menschen mit ausgeprägtem Sinn für das Musische, das Handwerk und die Unterhaltung.



Rot

Rot wird als angenehm, erregend und potent empfunden. Es steht für die allgemeine Aufnahmefähigkeit von externen Reizen und den Grad der affektiven Erregbarkeit. Die Bestrahlung mit Rotlicht soll zu Beschleunigung des Herzschlages, Erhöhung des Blutdruckes und Vertiefung der Atmung führen.



Violett

Die Farbe Violett hat etwas Lebhaftes, aber ohne Fröhlichkeit. Sie vermittelt Unruhe und regt zur Aktivität an. Zusätzlich wird sie mit „empfindsamen Künstlernaturen“ in Verbindung gebracht. Menschen, die sich in einem intensiven Entwicklungsprozess befinden, scheinen Violett zu bevorzugen.



Blau

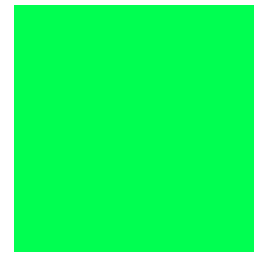
Die Farbe Blau wird als kraftvoll und angenehm empfunden, aber auch als leicht hemmend. Psychologisch wirkt das Blau dem Rot entgegen.

Versuchspersonen, die mit ultramarinblauem Licht bestrahlt wurden, empfanden es als angenehm, und es traten keinerlei negative Reize auf.



Grün

Grün wird als stabilisierende Farbe angesehen und sorgt für einen Ausgleich zwischen Erregung und Dämpfung. Grün steht symbolisch für die Sicherung des Daseins und die Vorliebe für das Reale und die Materie. Die psychologische Wirkung des Grüns wirkt dem Rot entgegen.



Einflüsse und Gedanken im Bezug auf unser Design

Primär mussten wir natürlich das gesetzte Zeitlimit und die technische Realisierbarkeit im Bezug auf Verfügbarkeit und Bearbeitbarkeit, sowie die Erschwinglichkeit in unseren Gedankenfluss über das Design des Objektes einbeziehen. Auch hier gibt es die Möglichkeit das Glas als halb voll, oder eben als halb leer zu betrachten. Wir haben versucht, den gesetzten Rahmen als Herausforderung und nicht als Behinderung zu betrachten.

Bei der Formbestimmung unseres Objektes steht ganz klar die Symbolik und Wirkung des Kreises im Vordergrund. Die LEDs sind innerhalb einer dominant herausragenden Pillenform angebracht, die kreisförmig ist. Diese Form erschien uns aus mehreren Gründen ideal. Einerseits werden durch die Wahl dieser Form Assoziationen hervorgerufen. Das in unserer Zeit hoch aktuelle und mehr als je konsumierte Produkt namens „Pille“ hat eine moderne Ausstrahlung. Die Pille wird mit Hoffnung nach Heilung in Verbindung gebracht. Auch unser Objekt soll mit diesen Begriffen assoziiert werden.

Doch eine herkömmliche Pille hat auch ihre Schattenseite, nämlich die Nebenwirkungen. Wir sind stolz darauf behaupten zu können, dass unsere Pille keinerlei Nebenwirkungen verursacht, ausser vielleicht ein hohe Stromrechnung. Wir hoffen, dass die möglichen Besitzer eines solchen Objektes eher mal eine Pille betrachten dürfen, als sie schlucken zu müssen/wollen.

Die Form des Kreises haben wir auch deshalb gewählt, weil sie eine neutrale, von der Umgebung unabhängige Form ist. Die Kraft des Kreises wirkt gegen sein Zentrum hin. Dadurch erhoffen wir uns, dass die sich auf der „Pille“ abspielenden Lichtmuster mehr zur Geltung kommen als die eigentliche Bildfläche. Zusätzlich eignet sich die eher instabil wirkende Pillenform perfekt dazu, durch einen stabilen und ausgleichenden Sockel gestützt zu werden.

Beim Design des Sockels haben wir uns überlegt, dass wir im Kontrast zur „Pille“ eine Quaderform konstruieren wollen. Wie schon erwähnt wirkt der Quader stützend und solide. Doch der Kontrast eines Quaders mit spitzen Kanten schien uns doch zu extrem. Um ein auf der einen Seite einheitliches Bild zu schaffen, in dem der Sockel der Pille aber nicht die Show stiehlt, haben wir bewusst die vertikalen und nicht die horizontalen Kanten abgerundet.

Im Bezug auf die Proportionen haben wir den Sockel exakt im goldenen Schnitt kreiert. Er wirkt harmonisch und ausgewogen. Beim senkrechten Verhältnis der Pille zum Sockel, haben wir die Pille bewusst etwas grösser gewählt, als es der goldene Schnitt vorgeben würde, denn dadurch wird die Pille zum unverkennbaren Schwerpunkt. Dieser Gedanke wird auch dadurch unterstützt, dass sich gleich unterhalb der Pille der Display befindet.

CAD (Computer Aided Design) Modell

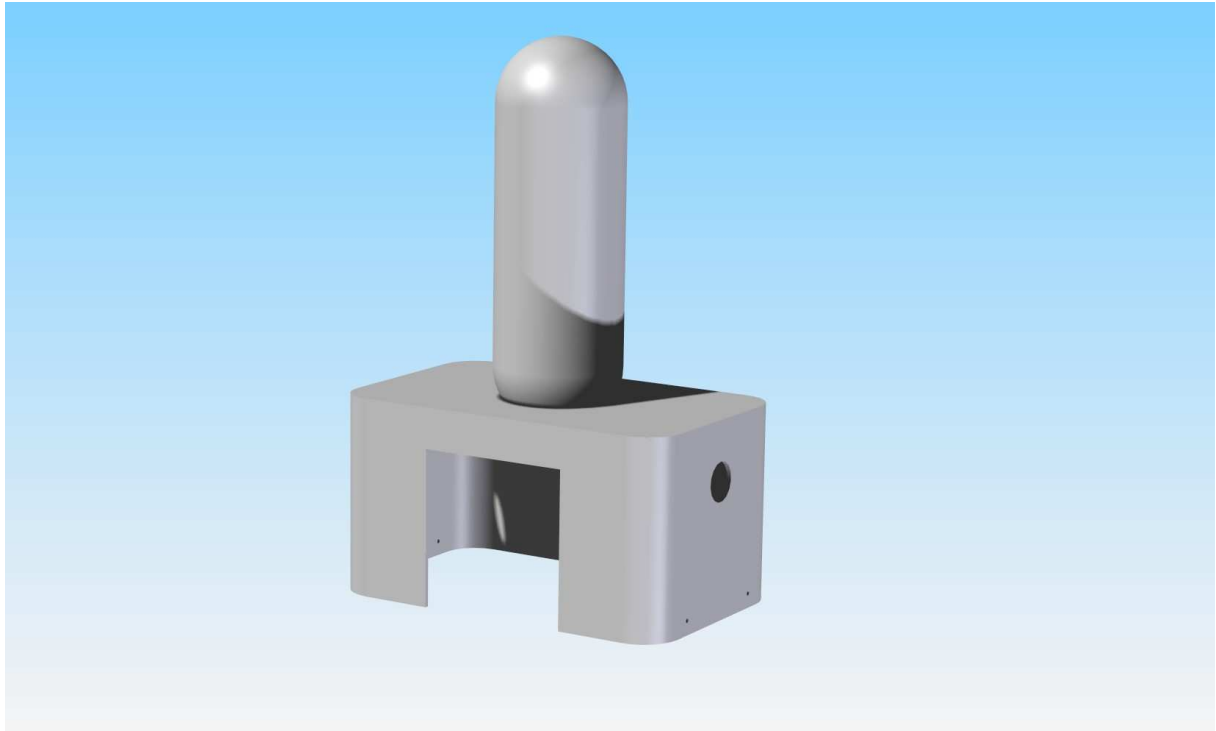


Abbildung 5: CAD Modell

In der Abbildung 5 sieht man das mit dem Computerprogramm Solid Edge gezeichnete Gehäuse unserer Pille. Dieses Programm gab uns die Möglichkeit, eine exakte dreidimensionale Abbildung zu schaffen. Dadurch konnten wir uns einen ersten visuellen Eindruck der Pille verschaffen. Die Daten des Solid-Edge-Modells sind auch jene, die wir der Produktionsfirma Inspire AG, die das Gehäuse fertigte, senden mussten, damit sie es mit dem Laserprintverfahren herstellen konnten.

Technische Dokumentation

Elektronik

Ziele

Da wir nun in der Designstudie unsere Vorstellungen, was das Aussehen betraf, genau definiert hatten, konnten wir nun das passende Innenleben dazu zusammenstellen. Wichtig war, dass wir grundlegende Punkte beachteten:

- Die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Es muss beachtet werden, dass sich Bauteile und Komponenten gegenseitig stören können. Vor allem die neue Generation der Netzteile, die Schaltnetzteile, sind davon betroffen, das heisst, sie können die anderen Komponenten stören.
- Es muss auf die Wärmeabfuhr geachtet werden, denn wir setzen Leistungs-LEDs ein, um eine geeignete Leuchtstärke zu erreichen. Da solche LEDs aber auch mehr Wärme produzieren, muss ein Kühlungssystem integriert sein.
- Es muss generell so gebaut werden, dass die Grösse der Schaltung möglichst gering gehalten wird, da ein zu klobiges Gerät nicht unseren Vorstellungen entspricht. Dieser Punkt steht aber im Konflikt mit Punkt zwei, da eine engere Anordnung mehr Wärme bedeutet.
- Wir wollen mit unserem Objekt eine grosse Palette an Möglichkeiten offerieren. Deshalb wollen wir wenn möglich standardisierte Komponenten verwenden, zum Beispiel einen eingebauten Computer, mit dem noch andere Dinge bearbeitet werden können.

Versuch mit einer LED

Da wir uns mit LEDs bis zum damaligen Zeitpunkt noch nicht so gut auskannten, war es notwendig, dass wir einen ersten Versuch aufbauten, in dem wir die Leuchtkraft und die Farbenvielfalt testen konnten. Dazu bauten wir eine Testleiterplatte zusammen.

Aufbau

Da wir RGB-LEDs (RGB: red, green, blue) verwendeten, mussten mehrere Kanäle angesteuert werden. Das LED sieht dabei im Detail so aus:

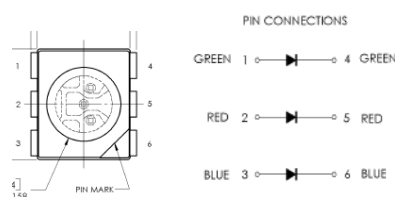


Abbildung 6: Das LED

Wir entschieden uns für dieses LED, weil es einfach zum Löten ist, da es etwa eine Grösse von einem Zentimeter hat, und weil es eine grosse Leuchtstärke besitzt.

Das LED leuchtet, wenn Spannung daran anliegt. Die genauere Beschaltung haben wir mit einem Widerstand und einem Transistor realisiert. Damit war ein stufenloses Dimmen möglich:

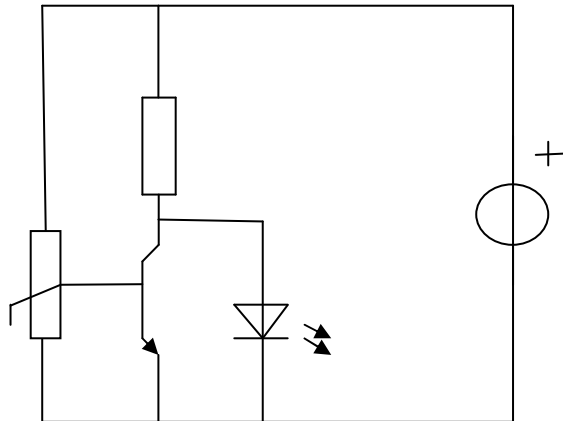


Abbildung 7: Grobe Skizze des Schaltungsaufbaus

Da diese Schaltung nur ein Versuchsmodell war, steckten wir sie zuerst auf einem Varioboard

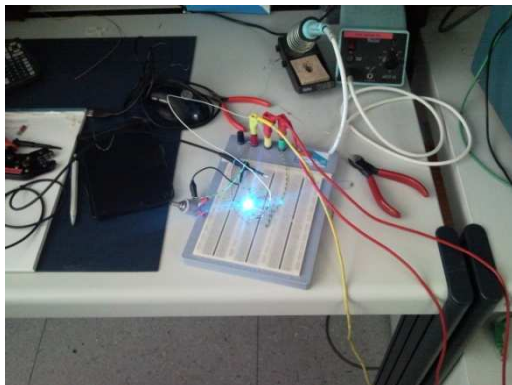


Abbildung 8 Die erste Schaltung auf einem Varioboard

zusammen und löteten sie dann auf einen kleinen Versuchsprint. Der kann aber nur ein einziges LED ansteuern, so waren noch keine Farbabläufe möglich.

In einem zweiten Schritt suchten wir verschiedene Gehäuse, um einen ersten Eindruck davon zu bekommen, welche Effekte verschiedene Materialien auf das Licht haben würden. So interessierten wir uns vor allem für den Aspekt der

Lichtbrechung, da dieser entschied, wie weit entfernt wir die Gehäusewand von der Lichtquelle positionieren mussten.

Wir hatten folgende Materialien zur Hand:

- einen Wachsquader mit ca. 7 mm Wandstärke
- zwei Becher mit ca. 3 mm Wandstärke (rot, weiss)
- eine Glaskugel, matt, von einer Badezimmerlampe, 5mm Wandstärke



Abbildung 9 Verschiedene Testmaterialien

In unserem Versuch bewährte sich nur das Wachsgehäuse, da wir bei allen anderen Materialien nicht genug Lichtbrechung erreichen konnten. Im Test konnten wir die LEDs zirka 3 cm hinter der Innenwand betreiben. Die Lichtstärke der LEDs war bei völlig abgedunkeltem Raum aus unserer Sicht optimal.



Abbildung 10 : LED im Wachsquader

Wir versuchten nun basierend auf diesen Erkenntnissen die fertige Schaltung zu ermitteln.

Schema

Einleitung

Das Schema ist die Grundlage eines Prints. Es zeigt an, welche elektronischen Bauteile an welchen Anschlüssen miteinander verbunden sind. In unserem Fall mussten wir ein Schema erstellen, um die Leiterplatte zu designen, die die LEDs tragen sollte. Da das Gesamtschema sehr gross ist, haben wir es digital auf der zum Heft gehörenden CD gespeichert. Hier in der Dokumentation wollen wir jeweils einzelne Strukturen herausnehmen und genauer beschreiben.

Erklärung einiger Begriffe

- Pulsweitenmodulation: Die Idee hinter der Pulsweitenmodulation ist die Weitergabe einer bestimmten Energiemenge an eine andere Komponente. Dieses Verfahren wird in unserem Beispiel zur Bestimmung der an die LEDs weitergegebenen Energie verwendet. Im Klartext heisst das, wir können so auf eine einfache Art und Weise die Helligkeit eines LEDs ändern.
- IC: Dieser Begriff ist eigentlich eine Abkürzung und bedeutet „integrated circuit“, also integrierte Schaltung. Es sind verschiedene IC-Typen für ganz unterschiedliche Anwendungen erhältlich. Der Vorteil eines ICs ist, dass er sehr klein ist und ganz einfach in eine Schaltung integriert werden kann. Angeschlossen wird ein IC an den vielen kleinen „Beinchen“.

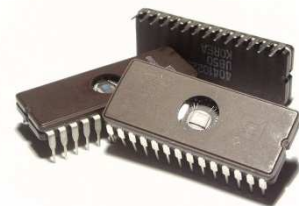
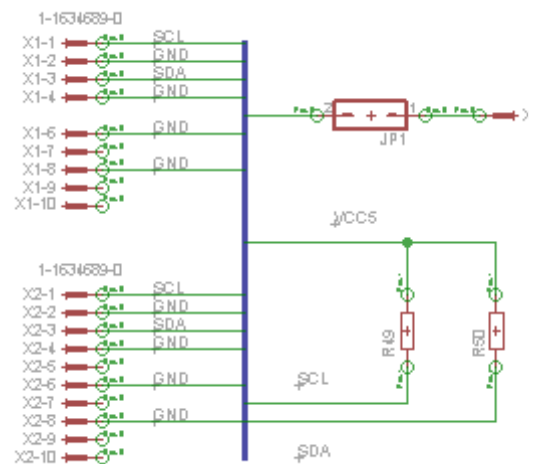


Abbildung 11 Bild eines ICs

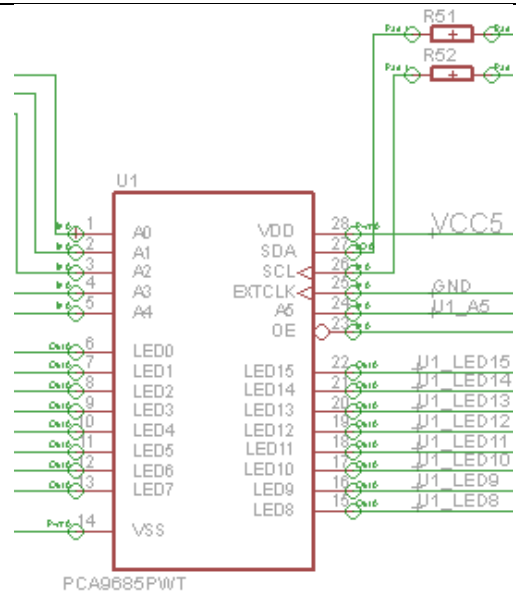
Tabellarische Darstellung der einzelnen Komponenten

Wir wollen unseren Print mit einem Computer ansteuern können. Dazu verwenden wir ein ganz gewöhnliches Flachbandkabel für die Verbindung vom IIC Adapter zum Print. Auf dem Print sind die beiden Steckerblöcke X1 und X2 dafür vorgesehen. Sie offerieren beide dieselben Signale. Der Grund, warum wir zwei Stecker verwenden, ist, dass wir gesamthaft 8 Prints in eine Reihe schalten wollen und so immer einen Eingang und einen Ausgang zum Print benötigen.

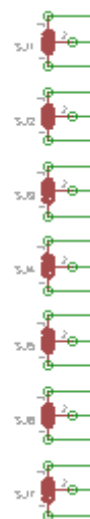


Dieser Baustein hat den Namen PCA9685 und ist das Herzstück unseres Prints. Der IC übernimmt die PWM Steuerung der LEDs und kann mit einem Bus direkt vom Computer angesteuert werden. Dabei werden spezielle Befehle verwendet, um Daten zu übermitteln.

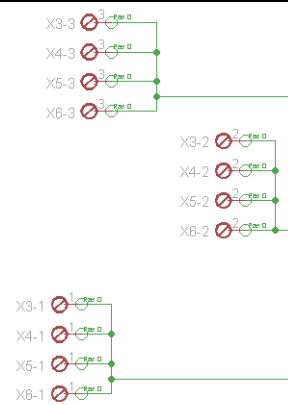
Dieses Bauteil verursacht leider auch das Problem, das wir trotz intensiver Suche nicht beheben konnten.



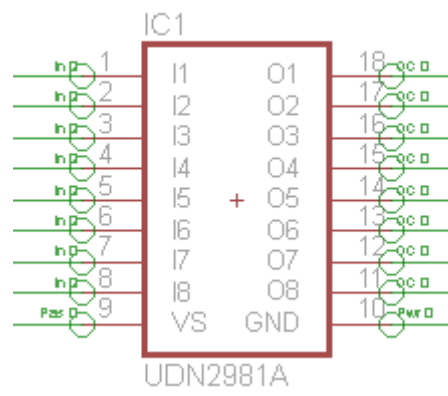
Da wir insgesamt 24 verschiedene PCA9685 Bausteine in unserem Projekt verwenden, muss es einen Mechanismus geben, um dem Computer zu sagen, welcher von den vielen Bausteinen nun angesteuert werden soll. Das geschieht mit diesen Jumpers. Ein Jumper ist aber kein komplexes Bauteil, sondern hier in unserem Fall auf der Printplatte als eine simple Lötstelle designt, die gesetzt oder ausgelassen werden kann.



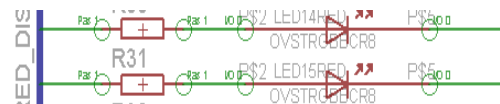
Hier handelt es sich um 3 Stecker. Diese sind im Gegensatz zu X1 und X2 nicht für Signalleitungen, sondern werden dazu verwendet, die Speisungsgeräte an den Print anzuschliessen. Wir verwenden dafür Stecker von der Marke Phönix.



Da der PCA9685 Baustein sehr klein ist, kann er nicht direkt die benötigte Leistung aufbringen um die LEDs direkt zu schalten, denn er würde sich überhitzen und dabei kaputt gehen. Um dieses Problem zu lösen, verwenden wir noch einen sekundären IC, der keine eigentliche aktive Funktion hat, sondern nur das Signal vom PCA9685 verstärkt. Der Baustein ist unter dem Namen UDN2981 zu finden. Einen solchen Baustein bezeichnet man als Stromtreiber.



Die LEDs werden mit strombegrenzenden Vorwiderständen direkt an den Treiber angeschlossen. Im Schema sind sie nach Farben gruppiert gezeichnet. Dies entspricht aber nicht ganz dem richtigen Aufbau, denn dort sind immer ein rotes, ein grünes und ein gelbes LED zusammen in einem Gehäuse gruppiert.



Berechnungen

Um eine funktionierende Schaltung zu bauen, muss man viele Daten aus den Datenblättern der Bauteile kombinieren und aufeinander abstimmen. Dazu sind ebenfalls einige Berechnungen notwendig. Diese sollen in diesem Teil der Dokumentation aufgeführt werden.

Im folgenden Schritt ist die Berechnung des Vorwiderstands der 3 LED-Kanäle aufgeführt. Der grüne und der blaue Kanal werden in diesem Fall gleich angesteuert, der rote muss separat behandelt werden. Im kurzen Ausschnitt aus dem Datenblatt wird das ersichtlich:

SYMBOL	PARAMETER	VALUES				UNIT	CONDITIONS
			R	G	B		
I_V	Luminous Intensity	Min	710	710	180	mcd	$I_F = 50 \text{ mA}$
		Avg	1000	900	280		
V_F	Forward Voltage	Avg	2.5	4.5	4.5	V	$I_F = 50 \text{ mA}$
		Max	3.2	5.1	5.1		

Abbildung 12 Die vorgegebene LED Spannung (aus dem LED Datenblatt)

Die komplette Beschaltung mit Treibern ist in der schematischen Darstellung auf Seite 21 ersichtlich. Die Spannung, die über dem Treiber abfällt, können wir ebenfalls aus dem Datenblatt entnehmen. Dazu müssen wir noch den maximalen LED Strom wissen, dieser ist ebenfalls im Datenblatt zu finden.

Continuous Forward Current ¹		80	80	80	mA	
---	--	----	----	----	----	--

Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	All	$V_{IN} = 2.4 \text{ V}, I_{OUT} = -100 \text{ mA}$	2	+	1.6	1.8	V
			$V_{IN} = 2.4 \text{ V}, I_{OUT} = -225 \text{ mA}$	2	—	1.7	1.9	V
			$V_{IN} = 2.4 \text{ V}, I_{OUT} = -350 \text{ mA}$	2	—	1.8	2.0	V

Abbildung 13: Abhängigkeit von U_t in Bezug auf I_{out}

Die Bestimmung der Speisung erfordert einige Recherchen darüber, welche Spannungsquellen auf dem Markt gebräuchlich und deshalb nicht so teuer sind. Der Preis ist bei solchen Speisungen ein sehr entscheidender Punkt, denn er kann zwischen zirka 100 und 500 Franken schwanken, je nach Hersteller.⁴ In unserem Fall können wir für die roten LEDs eine 5V-Quelle verwenden, da diese Spannung sehr gebräuchlich ist. Für die grünen und blauen LEDs reicht das leider nicht ganz, denn:

$$U_{\text{Speisung}} = U_t + U_{\text{led}} = 4.5\text{V} + 1.6\text{V} = 6.1\text{V}$$

Wir weichen also auf den nächstgrösseren Wert aus (7.5V).

⁴ Quelle: www.farnell.com, 20.09.09

Wir kennen nun folgende Nenndaten, die wir zum Rechnen verwenden können:

- $U_t = 1.6V$
- $U_{led} = 2.5V @ \text{rot}, 4.5V @ \text{grün, blau}$
- $I_{led} = 80mA$
- $U_{tot} = 5V @ \text{rot}, 7.5V @ \text{grün, blau}$

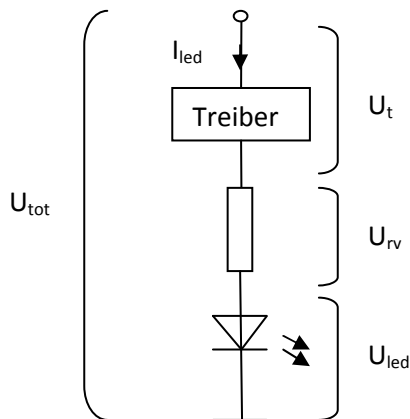


Abbildung 14: Schaltungsaufbau der LED Endstufe

Wir können also rechnen:

$$R_{rot} = \frac{U_{tot} - U_t - U_{led_{rot}}}{I_{led}} = \frac{5V - 1.6V - 2.5V}{80mA} = \underline{11.250\Omega @ 72mW}$$

$$R_{gb} = \frac{U_{tot} - U_t - U_{led_{gb}}}{I_{led}} = \frac{7.5V - 1.6V - 4.5V}{80mA} = \underline{17.50\Omega @ 112mW}$$

Im nächsten Schritt können wir die benötigte Leistung der Speisungen berechnen. Dazu sind folgende Daten wichtig:

- Anzahl LEDs / Print: 16
- Speisungen: 5V @rot, 7.5V @grün, blau
- Anzahl Prints: 8

Es sind im gesamten Projekt also $16 \cdot 8 = 128$ RGB-LEDs anzusteuern. Da jedes davon die erwähnten 3 Kanäle besitzt, müssen wir diese einzeln betrachten:

Roter Kanal: $P_{tot} = Anzahl \cdot U \cdot I = 16 \cdot 8 \cdot 5V \cdot 80mA = \underline{51W}$

Blauer und grüner Kanal: $P_{tot} = Anzahl \cdot U \cdot I = 2 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 7.5V \cdot 80mA = \underline{153.6W}$

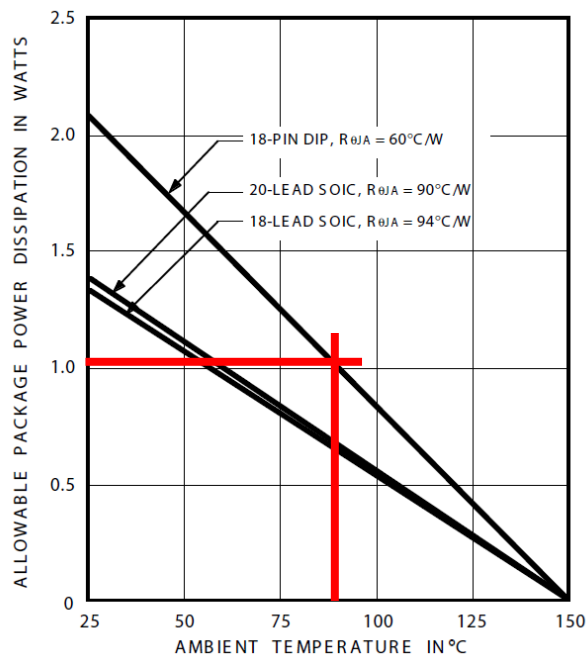


Abbildung 15 Die Leistung des Treibers in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

Wir müssen nun noch überprüfen, in welcher Gehäuseart wir den Treiber (UDN2981) bestellen, denn es gibt dieses Bauteil in verschieden grossen Ausführungen, die in der Funktion identisch sind, aber eine andere Leistung dissipieren können. Dazu verwenden wir ein Diagramm aus dem Datenblatt des Treibers.

Ein Treiber hat 8 Kanäle, an denen er Strom liefern kann. Wir verwenden in unserer Anwendung alle diese zur Verfügung gestellten Kanäle. Wir können nun mit dem Wissen, dass über dem Treiber etwa 1.6 V Spannung abfallen und der Strom von einem Kanal 80 mA beträgt

folgende Rechnung aufstellen, um zu überprüfen ob wir uns im zulässigen Bereich des Graphen befinden:

$$P_{tot} = 8 \cdot U_t \cdot I_{led} = 8 \cdot 1.6V \cdot 80mA = \underline{1.024W}$$

Wenn man dieses Resultat im Graphen einzeichnet, merkt man, dass alle Gehäusetypen zulässig wären. Wir haben uns aber für das 18-PIN-Dip entschieden, weil wir wissen, dass der Print durch die LEDs aufgeheizt wird und die Bauteile dadurch warm werden können.

Der IIC Bus

Anfangs stellte sich die Frage, auf welchem Weg wir die LEDs auf dem Print mit dem Computer koppeln wollen. Wir tendierten erst zu einem Mikrokontroller, wurden uns dann aber schnell bewusst, dass wir uns damit von unseren Vorkenntnissen entfernen würden, denn Mikrokontroller brauchen eine spezielle Programmiersprache, die keiner von uns so richtig beherrschte. Darauf versuchten wir, Alternativen zu finden. Unter anderem kamen dann verschiedene Bussysteme in Frage. Der Grund, warum wir den IIC Bus verwendet haben, ist, dass es ein sehr einfacher Bus mit nur zwei Leitungen ist. Den definitiven Ausschlag zum Entscheid für diese Technologie gab aber ein im Internet gefundener und sogleich bestellter Adapterprint, um den PC direkt mit diesem Bus zu verbinden. Idealerweise besass dieser Adapter auch noch eine programmierbare Oberfläche in VB.NET, der Programmiersprache, die uns am geläufigsten ist.

In einer schematischen Darstellung haben wir die Verbindung von PC zu Print über den Bus wie folgt realisiert:

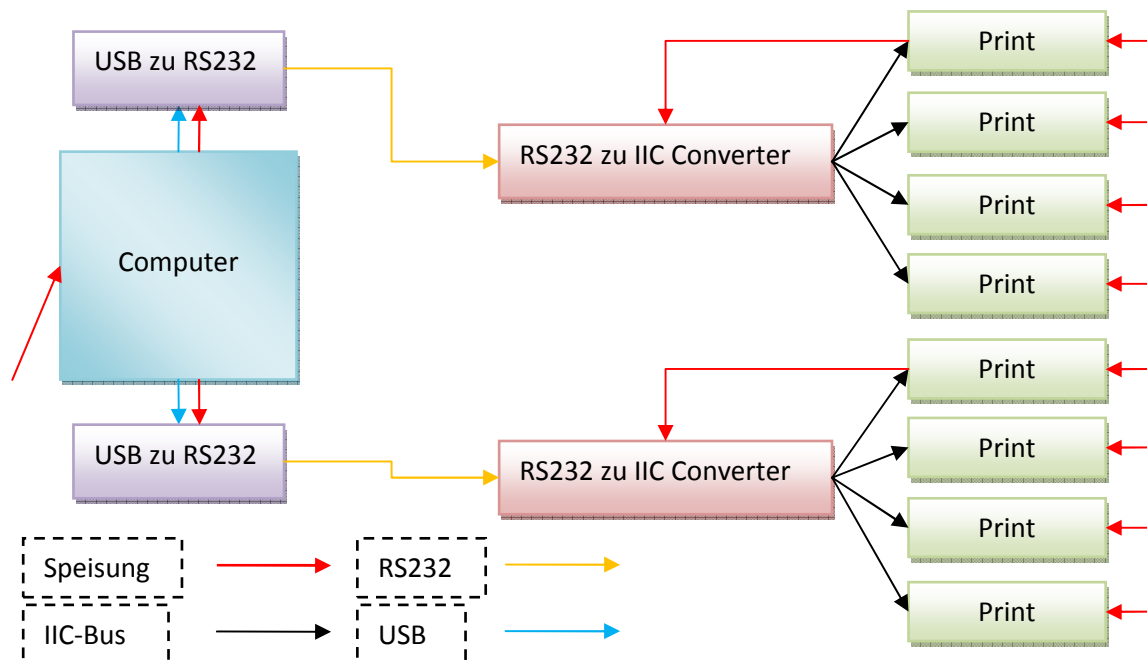


Abbildung 16: Übersicht über die einzelnen Module

Informationen zu den Protokollen

RS232

Die RS232 Schnittstelle wurde eigentlich zur Datenübertragung im Telefonsektor entwickelt.⁵ Es ist genauso wie der IIC Bus eine serielle Schnittstelle. Das bedeutet dass die Daten nacheinander gesendet werden, im Gegensatz zu einer parallelen Schnittstelle, bei der mehrere Daten nebeneinander gesendet werden können. Da die Geschwindigkeit dieser Schnittstelle nicht mehr den aktuellen Anforderungen entspricht, ist sie nicht mehr so verbreitet. Sie hat aber den Vorteil, dass sie relativ einfache Protokolle zur Datenübertragung verwendet und deshalb universell und mit geringem Aufwand einsetzbar ist.

IIC

Der IIC (Inter Integrated Circuit)-Bus wurde von Philips für die Kommunikation zwischen mehreren Bausteinen entwickelt. Es ist ebenfalls ein serieller Bus und vom Aufbau her ähnlich dem RS232. Ein grosser Unterschied sind aber die unterschiedlichen Pegel (Spannungen).

⁵ <http://www.rn-wissen.de/index.php/RS232>, 20.09.09

Der Bus hat mehrere Vorteile:

- Es werden nur zwei Busleitungen benötigt
- Keine harten Baud-Raten-Anforderungen wie beispielsweise bei einer RS232-Schnittstelle.
- Zwischen allen Teilnehmern besteht eine einfache Master-Slave-Beziehung.
- Jede Komponente hat eine eindeutige Adresse.⁶

In unserem Projekt haben wir den IIC Bus in der empfohlenen Konfiguration verwendet:⁷

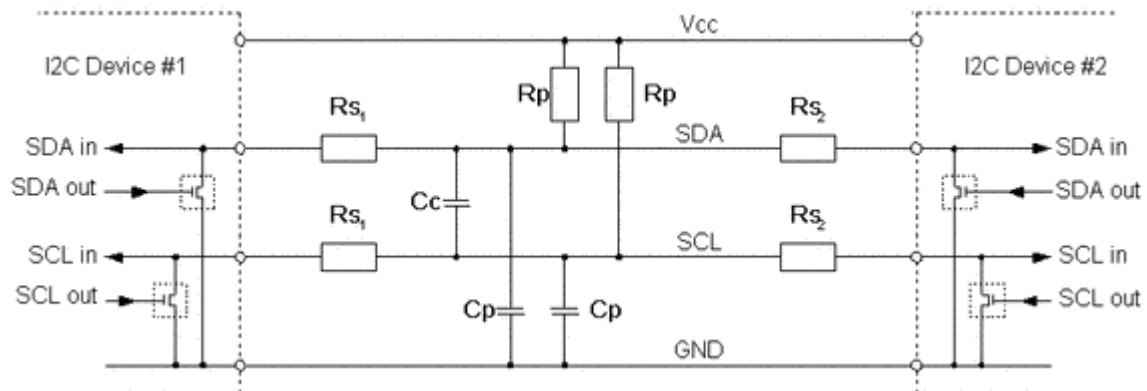


Abbildung 17: IIC Buskonfiguration

- VCC: I2C-Versorgungsspannung, üblicherweise zwischen 1,2 V und 5,5 V
- GND: Masse
- SDA: I2C-Datenleitung
- SCL: Taktleitung
- Rp: Pull-Up-Widerstand/I2C-Terminierung
- Rs: Serienwiderstand
- Cp: Leitungskapazität
- Cc: Kapazität zwischen den Leitungen

Print

Da wir im Schema eine grosse Zahl an Leiterbahnen benötigen, aber im Gehäuse möglichst viel Platz sparen wollen, haben wir uns dafür entschieden, einen Print bei einer externen Firma drucken zu lassen. Diese übernehmen aber nur den Fertigungsprozess. Die Produktionsdaten müssen wir selbst erstellen. Dazu verwenden wir die Gratissoftware Eagle⁸

⁶ <http://www.i2c-bus.org/de/i2c-bus/>, 20.10.09

⁷ <http://www.i2c-bus.org/de/das-typische-i2c-bus-setup/>, 20.10.09

⁸ Erhältlich unter: <http://www.cadsoft.de/>

Eagle

Wir wollen das Programm kurz erklären, da es ein zentrales Werkzeug in unserem Fertigungsprozess darstellt. Auf der Beilage-CD sind die Eagle-Dateien ebenfalls zur Einsicht enthalten.

Das Eagle Konzept basiert auf 3 verschiedenen Fenstern:

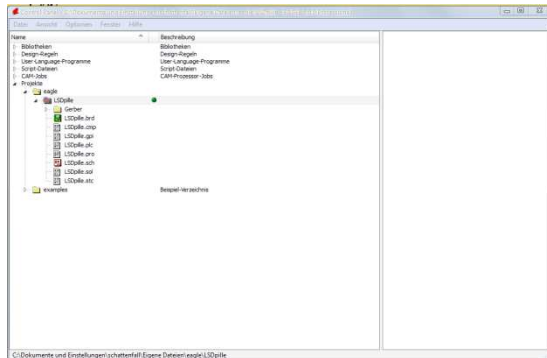


Abbildung 18: Das Eagle-Projektfenster

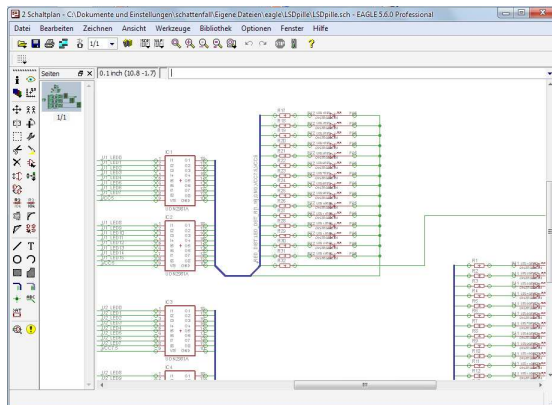


Abbildung 19: Das Eagle-Schemafenster

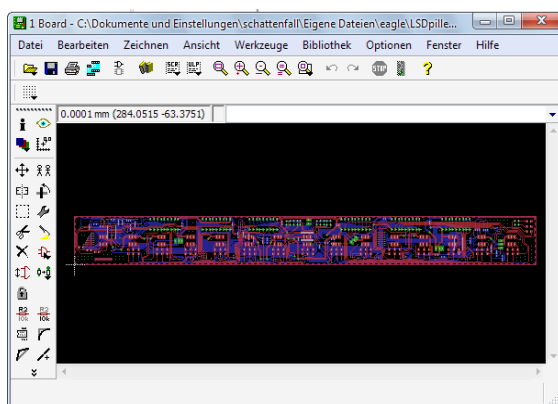


Abbildung 20: Das Eagle-Printdesignfenster

Es gibt ein Übersichtsfenster, in dem werden die verschiedenen Projekte und Bauteildatenbanken verwaltet. Von hier aus wird der Arbeitsprozess gestartet.

Im Schemafenster kann das Layout der Schaltung konzipiert werden. Hier werden Bauteile aus den verschiedenen Datenbanken kombiniert und mit den richtigen Signalen verbunden. Um unser Schema zu verstehen, muss man wissen, dass die grünen Verbindungen jeweils ein einzelnes Signal darstellen. Die blauen Verbindungen sind sogenannte Bussignale. Das heisst, es werden viele Verbindungen aus dem Grund der Übersichtlichkeit in einer einzelnen Linie zusammengefasst.

Das Printdesignfenster wird für den letzten, aber auch zeitaufwändigsten Schritt im Fertigungsprozess verwendet. In diesem Fenster können nun die Platinendimensionen eingegeben und die konkreten Leiterbahnen verlegt werden. Da unser Print sehr ungewöhnliche Dimensionen hat (35mm x 337.5mm) ist es sehr schwierig, den optimalen Weg über die Printplatte zu finden. Genauer ist dies auch noch im Kapitel Printdesign beschrieben.

Berechnung der Printgrösse

Wir wollen die Pillengrösse genau nach unseren Vorstellungen dimensionieren. Das heisst die Grösse und der Durchmesser bestimmen wir so, dass es einen möglichst harmonischen Eindruck beim Betrachter hinterlässt. Als Folge davon können wir die Grösse des Prints nicht frei wählen, sondern müssen diese berechnen. Unten ist die geometrische Anordnung in einer Aufsicht gezeichnet.

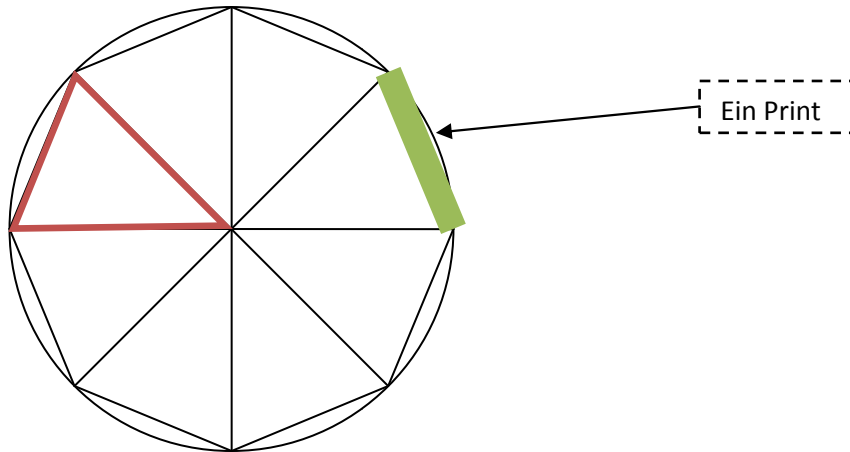


Abbildung 21: Skizze der Obenaufsicht auf den Flansch

In unserem Pillenkopf werden die LED-Platinen kreisförmig angeordnet. Wir haben uns auf 8 Prints geeinigt, weil diese Anzahl eine regelmässige Positionierung der LEDs erlaubt. So wollen wir Lichtpunkte auf der Aussenwand vermeiden.

Bei der Berechnung orientieren wir uns am Dreieck. Wir haben während der Designstudie beschlossen, einen Zylinderdurchmesser von 9 cm (4.5cm Radius) zu realisieren.

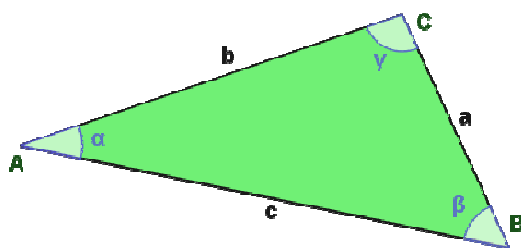


Abbildung 22: Bild eines Dreiecks

Den Innenwinkel ermittelt man aus der Anzahl Prints: $\alpha = \frac{360^\circ}{8 \text{ Prints}} = 45^\circ$

Da es sich in unserem Fall um ein gleichschenkliges Dreieck handelt ist die Seite $b = c = 45mm$

und $\beta = \gamma = \frac{180^\circ - 45^\circ}{2} = 67.5^\circ$.

Es gilt der Kosinussatz: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos(\alpha)$

Diesen kann man umformen: $a = \sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos(\alpha)}$

$$a = \sqrt{45^2 + 45^2 - 2 \cdot 45 \cdot 45 \cdot \cos(45^\circ)} = \underline{34.4415mm}$$

Anmerkung: Wir haben bewusst den gewünschten Radius des Zylinders von 90mm als Dreiecks-Umkreis gewählt. So liegt die berechnete Printbreite etwas unter dem Maximum. Das hat zur Folge, dass geringe Abstände zwischen den Prints entstehen, die wir dann für Kabeldurchführungen nutzen können.

Printdesign

Eine Schaltung kann schematisch vollkommen korrekt sein, aber schlussendlich trotzdem nicht funktionieren, weil zum Beispiel Störungen Einfluss auf den Schaltkreis nehmen können. Ein falsches Printdesign kann die Ursache von solchen Störungen sein. Für uns ist entscheidend, dass wir eine funktionierende, störungsfreie Schaltung kreieren können.

Physischer Aufbau des Prints

Ein Print besteht aus mehreren Lagen. In unserem Fall ist es ein zweilagiger Print. Das heisst, es hat eine mittige Epoxidharzschicht, die jeweils oben und unten mit einer Kupferschicht „bedruckt“ wird. Diese Kupferschicht wird so bearbeitet, dass am Schluss die Leiterbahnen daraus entstehen.



Abbildung 23: Skizze eines typischen Printaufbaus

Printplatten gibt es in sehr vielen verschiedenen Varianten. So können mehrlagige Printplatten bis 16 Schichten haben. Ebenfalls variabel sind Kupferschicht- und Epoxidharzdicken.

Entwicklungsschritte

Um aus einem Schema einen fertigen Print zu erstellen benötigt es mehrere Schritte:

1. Es müssen Footprints für alle Bauteile erstellt werden. Unter einem Footprint versteht man die mechanischen Gegebenheiten, die auf einem Print vorhanden sein müssen, um das Bauteil zu befestigen und elektrisch anzuschliessen.

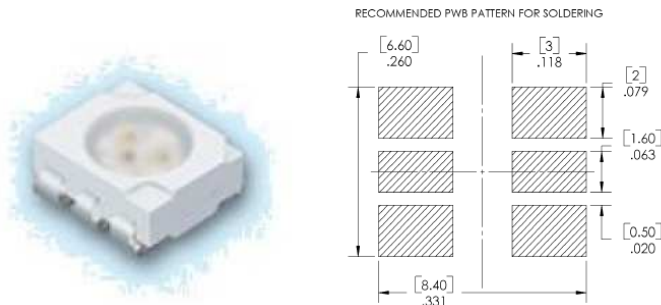


Abbildung 24: Footprint des LED

In diesem Beispiel sieht man den Footprint eines unserer LEDs. Der Footprint umfasst die sechs Anschlusspins des LED in SMD (surface mounted device) Technik.

2. Die Schemasymbole müssen mit den Footprints verbunden werden, so kann die Eagle Software danach die entsprechenden Daten aus dem Schema auf das Layout übertragen. Dieser Schritt ist sehr wichtig, denn sobald hier ein Anschluss an eine falsche Stelle referenziert, wird dies auch in das Layout des Prints übernommen.
3. Der nächste Schritt ist die Erstellung des elektrischen Schemas. Die Komponenten können auf das „Blatt“ gezogen und dann verbunden werden.
4. Nun muss man eine neue Schemadatei erstellen. Eagle übernimmt nun die ganze Schaltung und wandelt die im Schema dargestellten Komponenten in die dazugehörigen Footprints um. Diese Footprints werden dann am Rand der Platine angeordnet und man muss sie von Hand platzieren.

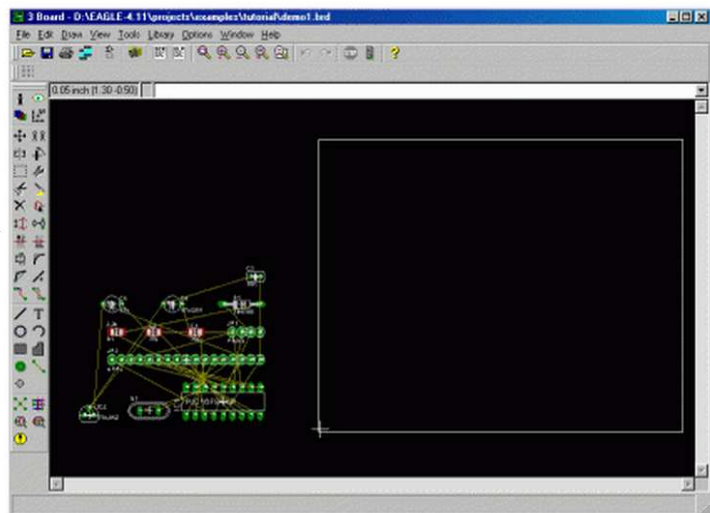
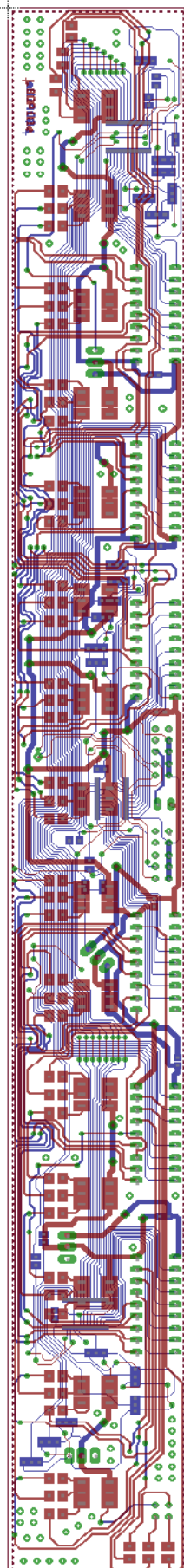


Abbildung 25: Eagle Layout-Editor direkt nach Bauteilimport vom Schema (Schritt 4)

5. Im nächsten Schritt muss man die Leiterbahnen zwischen den Bauteilen verlegen. Diese werden mit gelben Luftlinien grafisch angezeigt. Es steht eine Ober und eine Unterseite zur Verfügung. Wichtig in diesem Schritt ist, dass man sich für einen Hersteller entscheidet. Diese schreiben diverse Richtlinien vor.
6. Als letzter Schritt muss der Print vom jeweiligen Dateiformat in ein standardisiertes Ausgabeformat umgewandelt werden. Die meisten Hersteller verlangen GERBER Dateien. Um diesen Schritt effizient zu bewältigen offeriert Eagle ein spezielles Tool: Den CAM-Prozessor.
7. Die fertigen Dateien kann man dem Hersteller meistens per E-Mail senden. Dieser analysiert die Files auf Fehler und erstellt eine Offerte.

Unsere Printplatte



Obere Seite (rot)

Die obere Seite beinhaltet vor allem den Leistungsteil der Schaltung, denn alle LEDs sind auf der oberen Seite angeordnet.

Die Leiterbahnen sind hier 0.33mm dick, da sie die 80mA für die LED Kanäle thermisch aushalten müssen.

Man sieht sehr gut die LED Footprints mit ihren Vorwiderständen. Die meisten anderen Bauteile sind auf der Unterseite platziert. Der Grund dafür ist, dass der Lichtstrahl der LEDs nicht durch umliegende Bauteile beeinflusst werden darf.

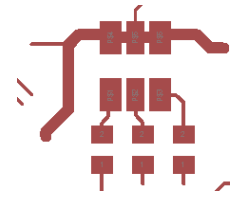


Abbildung 26: LED Footprint mit Vorwiderständen

Untere Seite (blau)

Auf der unteren Seite werden die Signalleitungen geführt. Sie sind so am besten vor dem Leistungsteil geschützt. (Es ist sehr wichtig, dass Signalleitungen gut abgeschirmt sind, denn auf einer solchen Leitung würde ein Störsignal, genauso wie das beabsichtigte Signal, um ein Vielfaches verstärkt werden.)

Auf der unteren Seite sind ebenfalls alle PCA9685 ICs anzutreffen. Die Signalleiterbahnen sind hier nur 0.2mm dick, da sie keine stärkeren Ströme führen müssen.

Durchkontaktierungen(grün)

Die Durchkontaktierungen sind grün dargestellt. Hier werden vom Hersteller Löcher gebohrt. Dies sind auf der einen Seite Vias (ein Loch, das eine Durchkontaktierung erstellt, um ein Signal auf die andere Seite des Prints zu führen, etwa im Fall einer Signalkreuzung) und auf der anderen Seite Löcher, um Bauteile darin festzulöten.

Elektrische Komponenten

Speisung 5V

Die 5V Speisung wird für die Stromversorgung der ICs und des roten LED Kanals verwendet. Zudem benötigt der RS232 zu IIC-Print 5V.

Speisung 7.5V

Die 7.5V Speisung wird zur Versorgung des grünen und blauen LED Kanals verwendet. Diese beiden Kanäle können wir nicht mit 5V speisen, da sie schon ohne Spannungsabfall über der Transistorstufe etwa bei 5V betrieben werden sollten.

ATX Speisung

Die ATX Speisung liefert uns die verschiedenen Ausgangsspannungen für das Mainboard. Dieses Netzteil mussten wir nicht speziell auswählen, denn der ATX Standard ist eine Vorgabe, wie genau ein Computer und die dazugehörigen Komponenten zusammenpassen müssen.

Motherboard

Das Motherboard, auch Mainboard ist grundsätzlich ein fertiger Computer mit folgenden Kenndaten:

mATX, Intel G31, FSB 1600MHz (O.C.) Intel S775, 2xDDR2 1066MHz (OC.) VGA, PCI-E, G-LAN, SATA2, PCI-E x16, VGA onboard, 24Pol Netzteilanschluss, QuadCore Ready, Unterstützt 45nm Cpus⁹

Wir mussten zusätzlich jedoch noch einen RAM Baustein einbauen, da dieser nicht standardmässig zum Mainboard mitgeliefert wird.

Wir haben auf dem eingebauten Computer das Betriebssystem Windows XP installiert. Anfangs hatten wir dabei Schwierigkeiten, weil das Motherboard den USB Stick nicht richtig erkannte. Wir haben Windows XP gewählt, weil wir uns damit am besten auskennen.

Soundsystem

Als Soundsystem verwenden wir ein 2.1 Soundsystem von Logitech. Dieses haben wir auseinandergebaut und nur die elektronischen Komponenten in unser Produkt übernommen, denn wir wollten sämtliche Komponenten zentral in einem Gerät unterbringen.

RS232 zu IIC Adapter

Die IIC Adapterprintplatte haben wir von Robotikhardware¹⁰, wir mussten die Bauteile jedoch selbst bestellen und sie von Hand bestücken. Die Funktion der Platine ist trivial, sie wandelt lediglich die

⁹ <http://www.brack.ch/tabid/294/Default.aspx?ID=109991>, 20.10.09

¹⁰ <http://www.robotikhardware.de/>, 20.10.09

Pegel von 12V auf 5V und verwendet Inverterglieder, um eine Rückführung des Signals an den Computer zu bewirken.

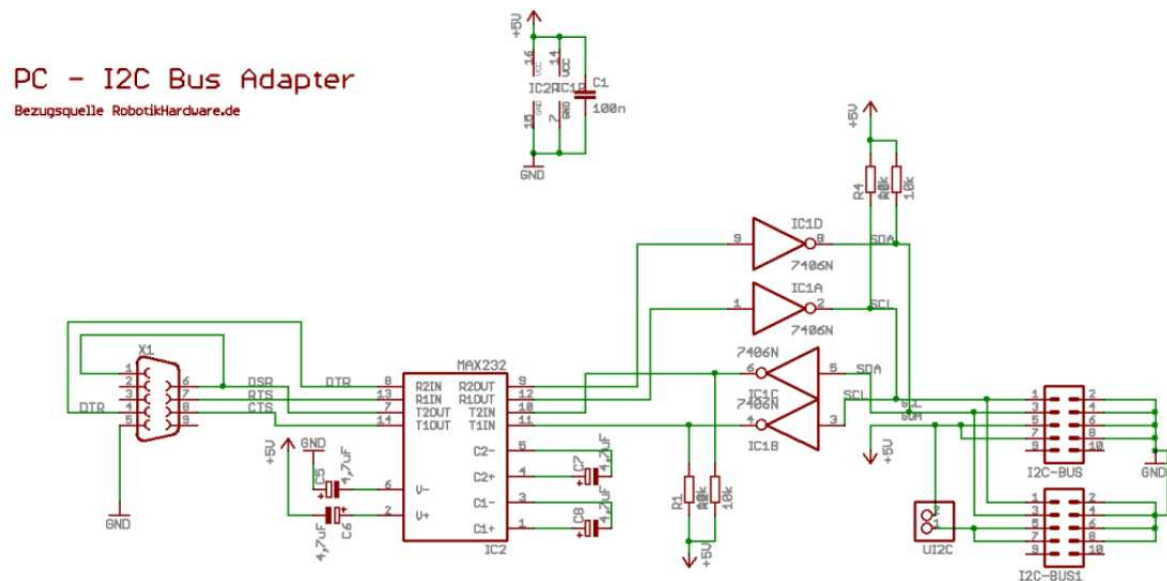


Abbildung 27: Komplette Schaltung des IIC Adapters

Touchscreen

Beim Touchscreen handelt es sich um einen Bildschirm der Firma Spectra. Er wird über eine RS232 Schnittstelle angesteuert und ist als fertiges Einbaugehäuse geliefert worden. Die Eingabesensorik beruht auf resistiver Technologie. Es sind somit keine „multitouch“ Applikationen ausführbar.

Software

Die Software dient als Schnittstelle zwischen der Elektronik und dem Anwender. Der sichtbare Teil wird auf dem Computer wiedergegeben. Neben der sichtbaren Komponente läuft ein unsichtbarer Teil im Hintergrund. Aufgrund eines bis zum Abgabzeitpunkt dieser Arbeit noch nicht gefundenen Fehlers in der Programmierung konnten wir leider nicht das gewünschte Ziel erreichen.

Wir wollen aber alle bis zum jetzigen Zeitpunkt versuchten Schritte dokumentieren, um zu zeigen, wie wir bei der Fehlersuche vorgegangen sind.

Geplante Funktionen

Sound

Neben der Lichtfunktion haben wir noch ein 2.1 Soundsystem in unsere Gesamtkonstruktion eingebaut. Dazu benötigen wir natürlich die passende Software. Wir haben uns nach einer Recherche über mehrere Produkte (Windows Media Player, QuickTime, MediaMonkey und Winamp) für Winamp entschieden.



Abbildung 28: Komodo

Diese Software bietet uns die Möglichkeit, ein Plugin zu installieren, das eine touchscreen-optimierte Oberfläche beinhaltet. Diese Software haben wir gratis aus dem Internet beziehen können.¹¹

Licht

Neben der realisierten Basisklasse planen wir noch diverse Funktionen, um einen interaktiven Zugriff auf das Licht zu haben. Unter anderem haben wir an folgende Features gedacht:

- eine Möglichkeit, mit einem Fingerzug auf dem Display die LEDs anzusprechen
- die Helligkeit der LEDs zu regulieren
- die Farbe aller LEDs auf einen RGB-Wert einzustellen
- Farbabläufe auf der Pille über den Display zu regulieren

Leider haben wir die geplante Zeit für diese Software bei der Fehlersuche verbraucht.

Quellcode

Hier wollen wir den Quellcode zeigen, den wir bis zum Zeitpunkt des Fehlers erstellt haben. Der grüne Text ist der Kommentar zu den jeweiligen Codezeilen. Der Code ist teilweise eigene Entwicklung und teilweise vom Robotikhardware - Code abgeleitet und im Anhang auf dem Datenblatt des Adapters ersichtlich.¹²

```
'Eine Serielle Portverbindung öffnen. -> Verbindung zum RS232 zu IIC
Adapter wird
'hergestellt.
Dim WithEd
vents MSComm1 As serialport = New System.IO.Ports.SerialPort("COM10")

'Dieser Abschnitt sollte beim Aufstarten der Pille ausgeführt werden.
'Er setzt die Leitungen des Datenbus auf high. Das bedeutet nach
'Busdefinition, dass der Bus im Ruhezustand liegt und von Teilnehmern
'benutzt werden darf.
Public Sub i2c_init()
    i2c_stop() 'i2c_stop wird ausgeführt
    delay() 'Verzögerung
    While get_scl = 0 Or get_sda = 0 'die Pegeländerung abwarten
    End While
End Sub
```

¹¹ <http://www.skinconsortium.com/index.php?page=ViewDownload&itemID=146>, 20.10.09

¹² <http://www.robotikhardware.de/>, 20.10.09

'Dieser Algorithmus wird beim erstellen einer Master - Slave Verbindung aus
'geführt. Er setzt die Daten und die Taktleitung auf 0V und bereitet so den
'Bus auf das Senden von Daten vor.

```
Public Sub i2c_start()  
    While get_scl <> true Or get_sda <> true 'die Pegeländerung abwarten  
        End While  
        'console.Write(get_scl) 'Debugging  
    End While  
    set_sda(0) 'Sda auf 0 Setzen  
    set_scl(0) 'Scl auf 0 setzen  
End Sub
```

'Dieser Programmteil muss ausgeführt werden, nachdem Daten gesendet wurden.
'Die Daten und die Taktleitung werden wieder "freigelassen", also auf 1
gesetzt.

'Der Bus ist wieder frei für andere Teilnehmer.

```
Public Sub i2c_stop()  
    set_sda (0)' 'Sda auf 0 Setzen  
    set_scl (1) 'Scl auf 1 setzen  
    While get_scl = 0  
        'console.Write(get_scl)  
    End While  
    set_sda (1)  
End Sub
```

'Acknowledge Funktion. Diese Funktion sollte dem Empfänger ermöglichen, ein
'Acknowledge Bit zu senden. Leider Macht dies der PCA Empfänger nicht.

```
Public Sub i2c_ack2()  
    While get_scl <> false Or get_sda <> false 'die Pegeländerung  
abwarten  
    End While  
    set_sda(1) 'Sda auf 1 setzen  
    pulse() 'Einen Impuls auf die Taktleitung geben  
    delay() 'Verzögerung  
End Sub
```

'zweite Methode zum Empfang des acknowledge bits
'Funktioniert auch nicht

```
Public Sub i2c_ack(byval ack As Boolean)  
    If ack = True Then  
        set_sda(0)  
        pulse()  
    Else  
        set_sda(1)  
        pulse()  
        delay  
    End If  
End Sub
```

#Region "Byte bearbeiten"

'Diese Sub sendet ein Byte über den Bus.

'Funktioniert!

'Das Byte wird mit einer Bitmaske verknüpft,

'so wird überprüft ob die jeweilige Binäre stelle des Bits

'auf 1 odr 0 gesetzt ist.

```
Public Sub i2c_SendByte(byval wert As Byte)  
    Dim i As Integer  
    Dim bitmask As Byte  
    bitmask = 128  
    For i = 1 To 8
```

```

        set_sda(0)
    If (wert And bitmask) > 0 Then
        set_sda(1)
    Else
        set_sda (0)
    End If
    bitmask = bitmask / 2
    delay()
    pulse()
Next i
'    delay()
'    pulse()
'    delay()
End Sub

'Liest ein Byte vom I2C-Port
'Diese Funktion konnten wir leider nicht testen,
'da wir nie ein Byte empfangen konnten.
Public Function i2c_EmpfangeByte() As Byte
    dim ret_byte as Byte
    Dim i As Integer
    Dim bitmask As Byte
    set_sda(1)
    ret_byte = 0
    bitmask = 128
    For i = 1 To 8
        set_scl(1)
        'empanga:
        'If get_scl() = 0 Then GoTo empanga
        While get_scl() = 0
        End While
        If get_sda() = True Then
            ret_byte = i2c_EmpfangeByte Or bitmask
        End If
        bitmask = bitmask / 2
        set_scl (0)
        delay()
    Next i
    return ret_byte
End Function

#End Region

#Region "Pegel"

'Funktionen um Pegel bei SDA und SCL zu setzen oder zu lesen

'Diese Sub setzt die Datenleitung auf den gewünschten Wert
Public Sub set_sda(zustand As Boolean)
    MSComm1.DTREnable = zustand
    While get_sda <> zustand
    End While
End Sub

'Diese Sub setzt die Datenleitung auf den gewünschten Wert
Public Sub set_scl(byval zustand As Boolean)
    MSComm1.RTSEnable = zustand
    While get_scl <> zustand
    End While
End Sub

'Diese Sub fragt den Status der Taktleitung ab

```

```
Public Function get_scl() As Boolean
    return MSComm1.CTSHolding
End Function

'Diese Sub fragt den Status der Datenleitung ab
Public Function get_sda() As Boolean
    return MSComm1.DSRHolding
End Function

#End Region

#Region "Zusatzfunktionen"

'Kurzer Impuls auf der Taktleitung
'Wird für die Acknowledge Funktion verwendet.
Public Sub pulse()
    set_scl(1) 'Clock High bedeutet Datenbyte liegt an
    While get_scl() = 0
    End While
    set_scl (0) 'Nur bei Null darf Datenbit auf Datenleitung gelegt
werden
End Sub

'Kurze Pause, je nach Busgeschwindigkeit
Public Sub delay()
    Dim i as Integer
    For i = 1 To 1 step 1
    Next
End Sub

#End Region
```

Fehler

Leider haben wir irgendwo in unserem System einen Fehler eingebaut. Um den Fehler zu finden, haben wir uns einen Prüfplatz eingerichtet:

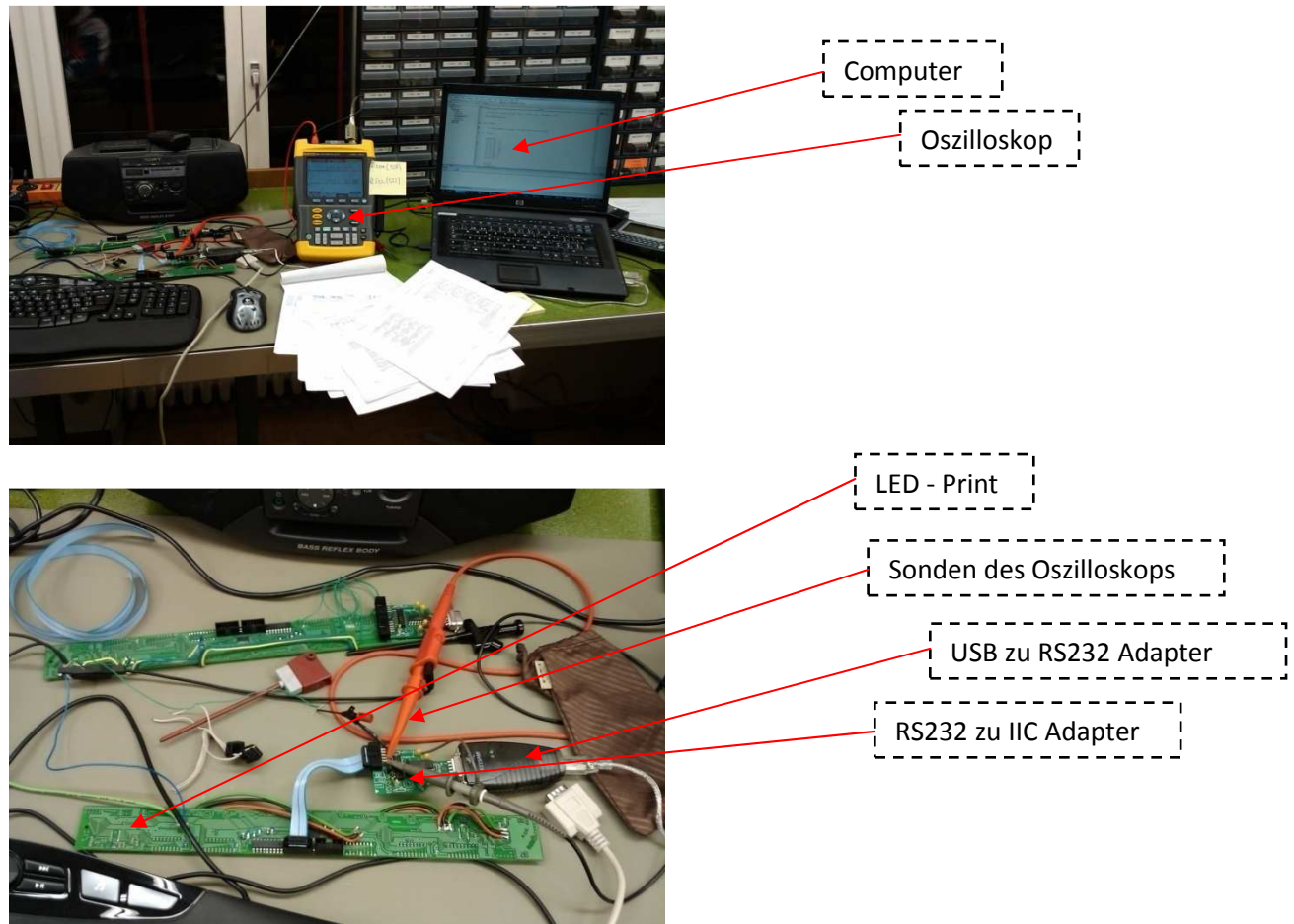


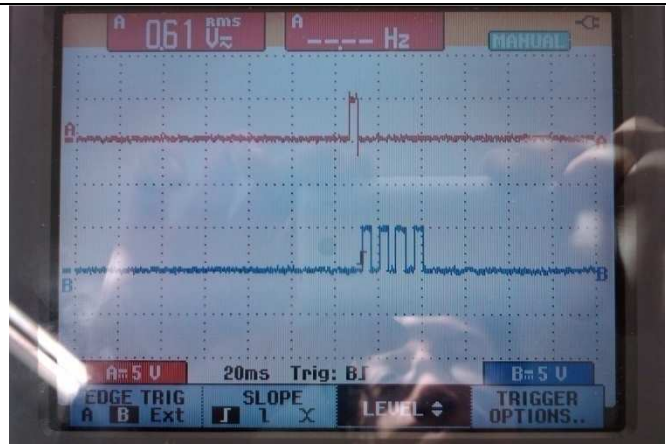
Abbildung 29: Fotos vom Versuchsaufbau

Im Verlauf der Fehlersuche haben wir wichtige Messungen am Bussignal durchgeführt:

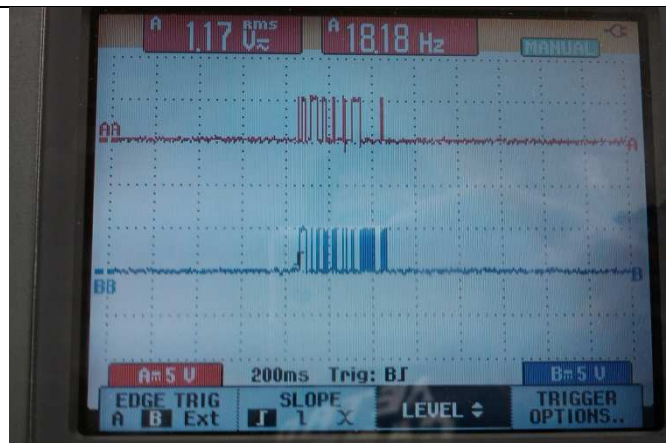
Der rote Kanal ist die SDA (Datenleitung) und das blaue Signal die SCL (Taktleitung). Wie der Bus genau angesteuert werden muss, kann im Datenblatt des PCA9685 nachgeschlagen werden. Dort ist ebenfalls eine kurze Erklärung des IIC Bus enthalten.

Messung	Signal
Diese Messung soll zeigen, ob die Funktion <code>i2c_start()</code> sich richtig verhält. Es müssen beide Signale von high auf low umgeschaltet werden und in diesem Zustand verweilen. Die Messung hat ergeben, dass der Fehler nicht hier sein kann, denn dieser Programmcode funktioniert einwandfrei.	
Dieser Graph zeigt die Funktion <code>i2c_stop()</code> . Der Bus muss vom low Pegel wieder auf high umgeschaltet werden, so dass andere Geräte darauf zugreifen können. Der kurze Peak auf der SDA Leitung entsteht durch das Initialisieren des Buses. Auch diese Anwendung funktioniert und kann nicht der Grund des Fehlers sein.	
Im nächsten Schritt hatten wir mit dem Problem zu kämpfen, dass der Computer viel zu schnell rechnete. Das machte sich bemerkbar, weil die Signale unregelmässig schalteten oder weil sie manchmal gar nicht auftauchten. Wir mussten eine Kopplung einbauen, die das verhindern kann.	
Auf dem Weg zum oben beschriebenen Lösungsweg haben wir auch noch die <code>i2c_sendbyte()</code> Funktion getestet. Diese funktioniert trotz unregelmässiger Pegel nach Definition. Leider antwortet aber der Zielbaustein immer noch nicht.	

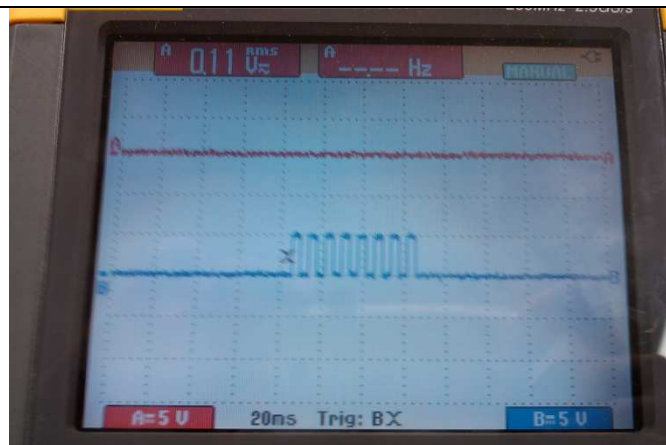
Mit einer zusätzlichen Abfrage konnten wir das Problem der überlagerten Signale beheben. Wir erhalten nun klar definierte Signale. Selbstverständlich haben wir nun alle bisherigen Tests wiederholt. Leider erhalten wir weiterhin keine Antwort des Empfängers.



Hier haben wir den Sendezyklus noch einmal überarbeitet. Wir haben hauptsächlich versucht herauszufinden, ob das Problem daran liegt, dass wir zu wenig Zeit zwischen den Impulsen verstreichen lassen. Da ein solcher Zyklus aber ganze 400ms geht, und der IC bis 1 MHz unterstützt, kann das auch nicht das Problem sein.



Schliesslich haben wir noch diverse Bytes gesendet, und versucht herauszufinden, ob wir den IC mit einer falschen Adressierung anzusteuern versuchen. Im Bild wird das Byte 0000 0000 gesendet.



Neben den hier protokollierten Messungen haben wir jede Leiterbahn nochmals überprüft, so dass wir andere physische Fehler ausschliessen können. Ebenfalls kontrolliert haben wir alle auf der Platine vorkommenden Pegel, so dass ein Fehler auf der elektronischen Seite ausgeschlossen werden kann. Da wir einen Fehler in der Funktionalität des RS232 zu IIC Busadapters vermuteten haben wir uns ebenfalls in seine Funktion eingearbeitet und diese schlussendlich verstanden. Leider hatten wir auch dort nach zahlreichen Messungen das Ergebnis, dass dieser tadellos funktioniert.

Mechanik

Das Innengehäuse

Das Innengehäuse ist aus Aluminiumprofilen der Firma Item zusammengebaut. Alle Querstreben sind auf die richtige Länge zugeschnittene 20mm Profile. Diese Profile haben wir mit Nutensteinen und eigens angefertigten Winkelstücken zusammengefügt. In der Abbildung 31 sieht man, wie wir die 20mm Profile mit den Winkelstücken miteinander verbunden haben. Abbildung 32 zeigt eines dieser Profile mit Nutenstein.



Abbildung 31: Profile mit Winkel



Abbildung 30: Profil mit Nutenstein

Die Eckstücke sind 90° Radiusprofile die Herr Schmutz speziell für uns bei der Firma Item bestellt hat. Damit die Winkelstücke miteinander verbunden werden konnten, mussten wir eine raffinierte Bearbeitungsmethode anwenden. Da keine Öffnungen vorhanden waren, um die Radiusprofile mit den Querstreben zu verbinden, haben wir selber mit Hilfe einer stabilisierenden Bohrfassung Löcher gebohrt, durch welche die ins Profil eingeschobenen Schrauben angezogen werden konnten. Abbildung 33 zeigt das bearbeitete Radiusprofil und Abbildung 32 zwei Profile mit Gewindebohrung und Schraube.



Abbildung 33: Radiusprofil



Abbildung 32: Profil

Der Innenaufbau

In das fertige Gehäuse musste dann das Display eingebaut werden. Dies war keine einfache Sache, denn der Rand musste genau 5 mm über den Gehäuserand hinausschauen, damit man später die Abdeckung anbringen kann. Mit eigens hergestellten Aluminiumplättchen wurde das Display von hinten über Distanzbolzen mit dem Gehäuse verschraubt. Nachdem das Display eingepasst worden war, haben wir noch die durch Raffael aufgetriebenen Aluminiumfüsse angeschraubt. Diese mussten zuerst noch von hinten aufgebohrt werden, für eine optimale Passform. Abbildung 35 zeigt den eingepassten Display von hinten und Abbildung 34 das fertige Innengehäuse ohne die Füsse.

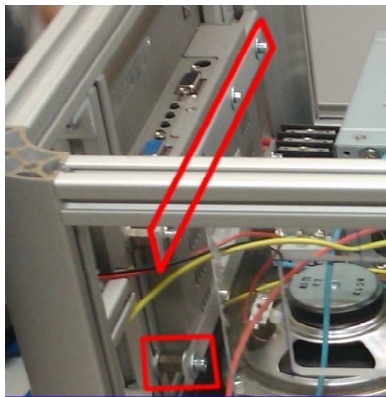


Abbildung 35: Display



Abbildung 34: Gehäuse

Um alle technischen Geräte im Inneren des Gehäuses platzieren zu können, mussten Plexiglasplatten, die wir im Coop gekauft hatten, in die richtige Grösse zugefräst werden. Die Form wurde so bestimmt, dass zwei Seiten der Platten in die Aussparung der Aluminiumprofile eingefahren werden können.

Abbildung 37 zeigt die zugefrästen Plexiglasplatten und Abbildung 36 die sehr nützliche Fräsmaschine.

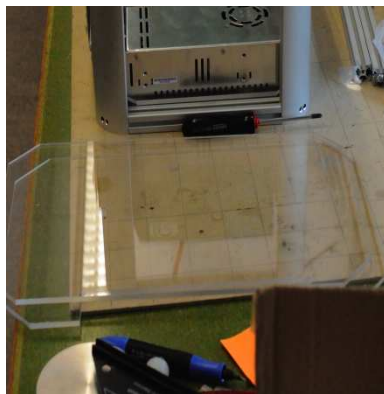


Abbildung 37: Plexiglasplatten



Abbildung 36: Fräsmaschine

Nach dem Zurechtfräsen der Plexiglasplatten mussten alle elektronischen Komponenten innerhalb des Gehäuses angeordnet werden. Die Komponenten in und auf der Bodenplatte sind:

Netzsteckdose, Ein- und Ausschalter Netzspannung, Ein- und Ausschalter Computer, Ventilator zur Lüftung des Gehäuses, Netzgerät Motherboard, Subwoofer des Soundsystems und das 7,5V Netzgerät für die LED Schaltung.

Die Komponenten unterhalb und oberhalb der Deckenplatte sind: 5V Netzgerät für die LED Schaltung, das Motherboard und der Print der Soundanlage.

Für den Einbau der Schalter und die Befestigung der Komponenten mussten noch viele Löcher und Öffnungen in die Plexiglasplatten gebohrt werden. Abbildung 38 zeigt die Boden und Seitenplatte mit allen Aussparungen und mit den darin eingebauten Komponenten.

Legende:

1. Atx Netzgerät für das Motherboard
2. Netzsteckdose
3. Ein- und Ausschalter
4. Subwoofer
5. Ventilator
6. 7.5V Netzgerät
7. Lautsprecher

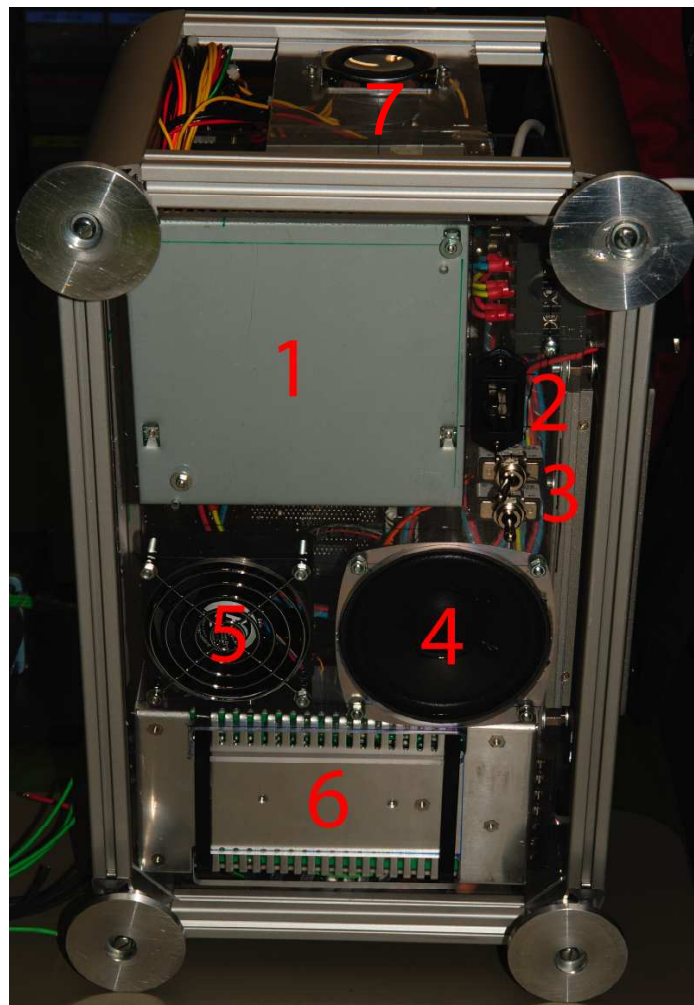


Abbildung 38: Unterseite

Nach dem Einbau aller Komponenten mussten sie auch noch alle verdrahtet werden, und so sind einige Meter 1,5² Litzendraht in unserem Gehäuse verschwunden. Nach dem Verdrahten verschraubten wir noch die Haltekonstruktion für die LED Printplatten mit dem Gehäuse.

An der Haltekonstruktion für die Prints haben wir zusätzlich die Harddisk des Computers angebracht. Die Aufhängung für die Prints haben wir auf einer Drehbank in der MBW Werkstatt gefertigt.

Abbildung 40 zeigt die spezielle Printaufhängung mit den Bohrlöchern, an denen die Prints festgeschraubt werden können. Abbildung 39 zeigt die gesamte Innenkonstruktion mit der eingebauten Printaufhängung. Abbildung 41 zeigt die fertige Konstruktion mit den montierten Printplatten.

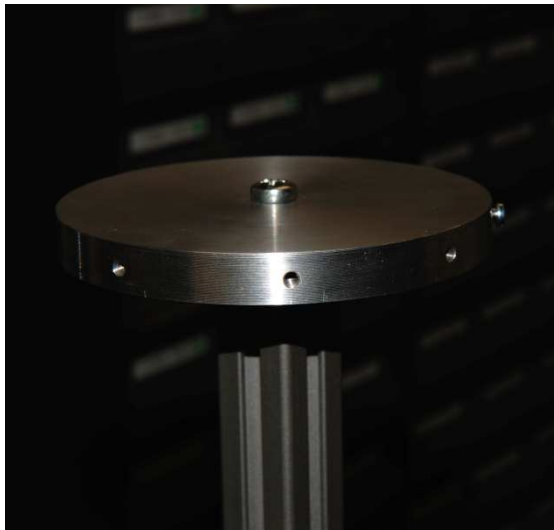


Abbildung 40: Printaufhängung

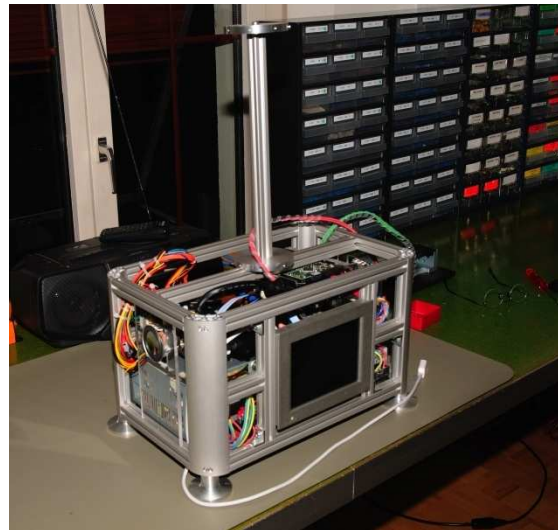


Abbildung 39: Gesamte Innenkonstruktion



Abbildung 41: fertige Innenkonstruktion

Finanzen

Lieferfirma	Produkt	Preis
Farnell	Elektronische Teile	Fr 13.05
Farnell	Elektronische Teile	Fr 5.60
Farnell	Elektronische Teile	Fr 46.05
Farnell	Elektronische Teile	Fr 1'054.82
Farnell	Elektronische Teile	Fr 77.55
Spectra	Touchscreen Display	Fr 742.45
Brack	2GB Ram Arbeitsspeicher	Fr 44.00
Brack	Dual Core 2,6 GHZ	Fr 62.00
Brack	HD Sata II Festplatte	Fr 87.00
Brack	Passivkühler	Fr 54.00
Brack	Netzteil 300W	Fr 54.00
Brack	Mainboard	Fr 57.00
Brack	Ventilator	Fr 16.00
Inspire Irpd ETHZ	Gehäuse	Fr 2'751.00
Eurocircuits	Leiterplatten	Fr 423.00
Mediamarkt	Soundanlage	<u>Fr 38.00</u>
		-
	Total:	<u>Fr 5'506.87</u>

Zu den Finanzen ist zu sagen, dass es uns ziemlich schwer gefallen ist, die geplante Budgetlimite von 5000.-- Sfr. einzuhalten. Trotz grosszügigem Studentenrabatt der Inspire Irapd AG, die unser Gehäuse fabrizierte, und Verzicht auf eine allzu teure Soundanlage liegen wir ca. 500.- Sfr. über den geplanten Ausgaben. Dies liegt vor allem daran, dass wir bei drei Bestandteilen unserer Arbeit nicht allzu streng auf die Kosten geachtet haben, denn diese empfanden wir als die zentralsten. Diese Bestandteile sind der hochwertige und robuste Touchscreen-Display, das eigens für uns angefertigte Gehäuse, welches trotz Rabatt sehr teuer war, und die verarbeiteten Hochleistungs-LEDs . Wir danken an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich unserem Hauptsponsor, der MBW Calibration AG, welche uns finanziell, mit zur Verfügung gestelltem Werkzeug und mit Knowhow unterstützte.

Broschüre

Um unsere Sichtweise einem möglichen Kunden zu zeigen, haben wir eine kurze Broschüre verfasst. Diese haben wir mit einer Software von Adobe designt (InDesign). Wir wollen darin erklären, nach welchen Prinzipien wir beim Bau vorgegangen sind. Sie soll einen kurzen Überblick über unser Projekt geben.

Fazit

Projektfazit

Unserer Ansicht nach bestimmt man einen grossen Teil des Ablaufs der Maturaarbeit schon mit der Wahl des Themas. So entschieden wir uns für ein Thema, von dem wir uns eine richtige Herausforderung erhofften. Am Anfang hatten wir Probleme mit der Rollenverteilung, denn es wollten immer beide an jedem Schritt der Entwicklung dabei sein. Nachdem wir aber in einer längeren Diskussion beschlossen hatten, dass Raffael den elektronischen und Kevin den gestalterischen und mechanischen Teil übernimmt, kamen wir in der Planung viel schneller voran.

Uns war bewusst, dass in Verbindung mit dem Produkt viel Entwicklungszeit benötigt wird. Unsere Grobplanung sah vor, dass wir in den Sommerferien mit der Planung und Recherche fertig sind und dann mit der Realisierung beginnen können. Diese Vorgabe konnten wir einhalten. Da unser Produkt aus vielen Einzelteilen besteht, war es nötig, die Übersicht bei den vielen Bestellungen zu behalten. Die gut umgesetzte Webplattform von Farnell half uns ein Stück dabei. Wir mussten einige Liefertermine beachten, so hatte zum Beispiel der Display eine Weile, bis er bei uns ankam. Dies war jedoch nicht weiter tragisch, da wir die Komponenten sehr früh bestellt hatten.

Nach den Sommerferien verlief alles planmässig weiter. Raffael beschäftigte sich mit dem Entwickeln der Printplatte und Kevin schraubte in der Werkstatt der KSWE am Gehäuse herum. Diese Periode war relativ ereignislos, da alle Schritte klar waren und nur noch in Tat umgesetzt werden mussten. Wie erwartet war dieser Prozess sehr zeitintensiv, da immer wieder gemessen und angepasst werden musste. Bis zu den Herbstferien nahm alles seinen geplanten Verlauf. Wir wurden mit dem Sockel fertig und konnten diesen verkabeln. Sämtliche elektronische Einrichtungen im Sockel funktionierten ebenfalls. Die Printplatte war zu diesem Zeitpunkt auch fertig designt und wir konnten sie beim Lieferanten bestellen.

Die Zeit nach den Herbstferien war geprägt von einer Grundnervosität, da wir den Fehler in unserer Schaltung unbedingt finden wollten. Wir hatten nicht damit gerechnet, dass auf der einen Seite der Adapterprint von Robotikhardware nicht auf Anhieb funktionierte und dass auf der anderen Seite der PWM-IC gar nicht antwortet. Da wir ewig an der Fehlersuche waren, wurde dann auch die Zeit für dokumentarische Arbeiten knapp. Am Sonntag vor dem Abgabetermin mussten wir schliesslich aufgeben und den schriftlichen Teil beenden, denn uns war klar, dass die Dokumentation sehr viel Einfluss auf die Bewertung der Arbeit hat.

Persönliches Fazit

Am meisten schätzen wir die Erfahrungen, die wir aus dieser Arbeit mitnehmen können. Für uns war es sehr wichtig, dass wir nicht nur stur eine Arbeit ablegen, sondern auch Spass am ganzen Arbeitsprozess haben.

Da wir beide in vollkommenem Einverständnis waren, in welche Richtung sich unser Projekt entwickeln sollte und es das auch hat, war es immer wieder eine Genugtuung, nach den vielen Stunden Arbeit einen Blick auf das Resultat zu werfen. So hatten wir bis fast am Ende des Projekt keine Probleme mit der Motivation.

Anfangs hatten wir Probleme, die vielen Richtungen, in die wir forschten und uns informierten, unter einen Hut zu bringen. So mussten Design und Elektronik in der besten Kombination zusammengefügt werden. Als wir uns dann aber auf eine Gehäusegrösse geeinigt hatten, konnten wir uns an diesem Grundpfeiler orientieren.

Unsere Motivation half uns, auftretende Zweifel zu beseitigen. Durch die kleinen Erfolge, die wir immer wieder verzeichnen konnten, merkten wir auch das Ende näher rücken. Als wir dann am Ende unserer Arbeit den Fehler, den wir damals noch nicht lokalisieren konnten, zum ersten Mal feststellten, sahen wir dem Problem gelassen entgegen.

Dass wir dann aber in zig Stunden Arbeit versuchten, eine mögliche Ursache zu finden, beeinflusste uns auch auf der moralischen Ebene. Aus der guten Stimmung wurde ein „sich durchbeissen“ und sich gegenseitig motivieren.

Als wir dann am Schluss aufgeben mussten, war die Enttäuschung gross, aber wir mussten einsehen, dass die Dokumentation genauso wichtig ist wie das Finden des Fehlers. Klar ist, dass wir so bald wie möglich nach dem Abgabetermin versuchen, das Problem zu lösen.

Quellen

Bilder

Quelle	Nr.	Kontrolldatum
https://www.kanti-wettingen.ch/index.cfm?framePage=/main.cfm: Bild in der Kopfzeile	0	18.10.09
http://www.swiss-architects.com/portal/profile/pics/184769/firstpage/7_layouta1_wings-bar.jpg	1	18.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	2	21.10.09
http://www.edelstahl-in-bestform.de/shop-1/0165-buffetplatten.html	3	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	4	21.10.09
Printscreen von Kevin Mutter erstellt	5	21.10.09
Aus dem PCA9685 Datenblatt	6	21.10.09
Von Raffael Theiler gezeichnet	7	21.10.09
Von Raffael Theiler fotografiert	8	21.10.09
Von Raffael Theiler fotografiert	9	21.10.09
Von Raffael Theiler fotografiert	10	21.10.09
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Microchips.jpg	11	21.10.09
Auszug aus dem Datenblatt des LED	12	21.10.09
Auszug aus dem Datenblatt des LED	13	21.10.09
Von Raffael Theiler gezeichnet	14	21.10.09
Auszug aus dem Datenblatt des Source Drivers	15	21.10.09
Von Raffael Theiler gezeichnet	16	21.10.09
http://www.i2c-bus.org/de/das-typische-i2c-bus-setup/	17	12.6.09
Printscreen von Raffael Theiler erstellt	18	21.10.09
Printscreen von Raffael Theiler erstellt	19	21.10.09
Printscreen von Raffael Theiler erstellt	20	21.10.09
Von Raffael Theiler gezeichnet	21	21.10.09
http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Dreieck.svg&filetimestamp=20060503150934	22	19.10.09
Von Raffael Theiler gezeichnet	23	21.10.09
Auszug aus dem Datenblatt des LED	24	21.10.09
Printscreen von Raffael Theiler erstellt	25	21.10.09

Printscreen von Raffael Theiler erstellt	26	21.10.09
Auszug aus dem Datenblatt des IIC Adapters	27	21.10.09
Printscreen von Raffael Theiler erstellt, Programm: Komodo	28	21.10.09
Von Raffael Theiler fotografiert	29	21.10.09
Von Raffael Theiler fotografiert	30	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	31	21.10.09
http://www.usinenouvelle.com/industrie/img/nutensteine-000077594-4.jpg	32	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	33	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	34	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	35	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	36	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	37	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	38	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	39	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	40	21.10.09
Von Kevin Mutter fotografiert	41	21.10.09

Internet

Link	Nr.	Datum
http://www.gestaltung.hs-mannheim.de/designwiki/files/8500/form_und_farbe.pdf	1	25.4.2009
http://www.andreashurni.ch/bildgestaltung/geometrie/flaeche.htm	2	25.4.2009
www.farnell.com: Bauteilsuche	4	20.09.09
http://www.rn-wissen.de/index.php/RS232	5	20.09.09
http://www.i2c-bus.org/de/i2c-bus/	6	20.10.09
http://www.i2c-bus.org/de/das-typische-i2c-bus-setup/	7	20.10.09
http://www.cadsoft.de/	8	20.10.09
http://www.brack.ch/tabid/294/Default.aspx?ID=109991	9	20.10.09
http://www.robotikhardware.de/	10	20.10.09
http://www.skinconsortium.com/index.php?page=ViewDownload&itemID=146	11	20.10.09
http://www.robotikhardware.de/	12	20.10.09

Literatur

Quelle	Nr	Datum
Tania Süllentrup: Die Wirkung von Farben auf den Menschen , 2003 Grin Verlag für Akademische Texte	3	20.10.09

Anhang

- Projektvereinbarung
- Arbeitsjournal
- Datenblätter
- Compact Disk
- Technische Zeichnungen
- Broschüre
- Skizzen