



Hochschule Darmstadt
- Fachbereich Elektro- und Informationstechnik -

Praktikumsbericht

im Studiengang Elektro- und Informationstechnik
Schwerpunkt Automatisierung und Informationstechnik

Thema: Entwicklung eines USB basierten LED Analyzers

Autor: Said Subhan Waizi
MatNr. 729316

Version vom: 12. Juni 2015

Betreuer: Christoph Thelen
Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH
Rheinstraße 15
65795, Hattersheim

Betreuer Prof: Prof. Dr.-Ing. Peter Fromm
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Klaus Schäfer

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
Listingverzeichnis	3
Abkürzungsverzeichnis	3
1 Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH	5
2 Einleitung	6
3 Hardwareentwicklung und Inbetriebnahme	7
3.1 Der Feasa LED-Analysator	7
3.2 Requirements Engineering - Erfassung und Analyse der Anforderungen	8
3.3 Auswahl und Zusammenspiel der Komponenten	10
3.3.1 Farben sehen - ams' TCS3472 Farbsensor	10
3.3.2 I2C Multiplexer	14
3.3.3 Variationen der FTDI Chips	15
3.3.4 Verknüpfung von FT2232H und TCS3472	17
3.3.5 Befestigung der Lichtwellenleiter	19
3.4 Hardwaredesign	20
3.4.1 Gehäuseauswahl	21
3.4.2 Schaltplanentwicklung	21
3.4.3 Layoutentwurf und Routing	23
3.4.4 Bearbeitung des Gehäuses	24
3.4.5 Erstellung der Fertigungsunterlagen	25
3.5 Inbetriebnahme der Hardware	26
3.5.1 Konfiguration des EEPROMs	26
3.5.2 Erstellung eines Treiberpäckchens	27
3.5.3 Funktionstests	29
3.6 Rückverfolgung der Anforderungen	31
3.7 Aussicht	32
4 Anhang	33
4.1 Color Controller - Schaltplan	33
4.2 Color Controller - Layout	37
4.3 Color Controller - Nutzenplan	38
4.4 Color Controller - CAD-Plan Gehäuse	39
4.5 Versuchsaufbau - Parallelle Messung mit 16 Sensoren	40
4.6 Quellcode	42
Literaturverzeichnis	45
Eidesstattliche Erklärung	46

Abbildungsverzeichnis

1	TCS3472 Pinbelegung	11
2	TCS3472 Blockdiagramm	12
3	Vgl. der spektralen Eigenschaften des TCS3471 und TCS3472	13
4	Funktionsdiagramm der Kommunikation	17
5	Busanschaltung des Farbsensors	18
6	Halter für Lichtwellenleiter	20
7	AKG 41 24	21
8	3D-Modell des Color Controllers	25
9	Color Controller	26
10	Zadig	28
11	Screenshot - Messung der Kalibrations-LED	30
12	Versuchsaufbau - parallele Messung mit 16 Sensoren	40
13	Screenshot - parallele Messung mit 16 Sensoren	41

Tabellenverzeichnis

1	Vergleich der bestehenden Feasa Modelle	7
2	Anforderungen an den Color Controller	9
3	Vergleich dreier USB Konverter von FTDI	16
4	Ein- und Ausgangspegel von FT2232H und TCS3472	18
5	Umsetzung der Anforderungen	31

Listingverzeichnis

1	EEPROM Konfigurationstemplate	42
2	Ausschnitt des Konfigurationsfiles von libusbK	44

Abkürzungsverzeichnis

USB	Universal Serial Bus	6
LED	Leuchtdiode.	7
GUI	Graphical User Interface.	8
DLL	Dynamic Link Library	8
API	Application Programming Interface.	8
DUT	Device Under Test	9
FTDI	Future Technology Devices International	15
ALS	Ambient Light Sensing.	11
IR	Infrared	11
ADC	Analog-to-Digital-Converter	11
RGBC	Red, Green, Blue und Clear	11
ams	austriamicrosystems	10
MPSSE	Multi-Protocol Synchronous Serial Engine	16
TTL	Transistor-Transistor-Logik	18

LWL	Lichtwellenleiter	19
EDA	Electronic Design Automation.	20
VID	Vendor-ID.	27
PID	Product-ID	27
XML	Extensible Markup Language	26
DRC	Design Rule Check	24

Die in dieser Arbeit erwähnten Unternehmens-, Produkt- oder Markenbezeichnungen können Marken oder eingetragene Markenzeichen der jeweiligen Eigentümer sein. Die Wiedergabe von Marken- und/oder Warenzeichen in dieser Arbeit berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese frei von Rechten Dritter zu betrachten seien. Alle erwähnten Marken- und/oder Warenzeichen unterliegen uneingeschränkt den länderspezifischen Schutzbestimmungen und den Besitzrechten der jeweiligen eingetragenen Eigentümer.

1 Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH

Das 1986 gegründete Familienunternehmen Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH beschäftigt sich mit industriellen Kommunikationssystemen. Anfangs entwickelte das Unternehmen kundenspezifische Steuerungstechnik. 1990 erweiterte Hilscher sein Produktspektrum um die damals entstehenden Technologien der Feldbustechnik. Zurzeit sind über 200 Mitarbeiter weltweit für Hilscher tätig, davon über 150 am Standort Hattersheim am Main. Im Bereich Feldbustechnologie beherrscht Hilscher alle industrierelevanten Kommunikationsprotokolle. Somit wird jährlich ein Umsatz von ca. 24 Millionen Euro erwirtschaftet.

2004 entwickelte Hilscher den ersten netX Chip, ein ARM basierter Netzwerkcontroller. Mit seinen speziell entwickelten Kommunikationsprozessoren bietet er eine flexible Lösung, mit der alle Feldbus- und Real-Time-Ethernet-Systeme dieser Zeit realisiert werden können. Das ist ein enormer Vorteil gegenüber der Konkurrenz, die für jedes Kommunikationssystem einen speziellen Chip benötigt. Heute umfasst die netX Familie 6 Controller, die sich hauptsächlich in der verwendeten ARM CPU und der Anzahl der realisierbaren Kommunikationskanäle unterscheiden. Zwei weitere Chips, geprägt von den Schlagwörtern *Internet of Things* und *Industry 4.0*, sind zur Zeit in der Entwicklung und werden das Produktportfolio um die Zukunftstechnologien der Automatisierungstechnik ergänzen. Durch den programmierbaren Kommunikationsteil sind die netX Controller auch für zukünftige Protokolle bestens gerüstet.

Das Portfolio von Hilscher erstreckt sich von fertigen Kommunikationslösungen inklusive Windows Konfiguration bis hin zu kundenspezifischen Entwicklungen. Weiterhin stellt Hilscher rund um die netX Familie technische Informationen und eine Entwicklungsumgebung zur Verfügung.

2 Einleitung

Die Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH verfügt über eine eigene Fertigung mit angeschlossener Testabteilung. Dort werden die Platinen für die Kommunikationssysteme automatisiert bestückt, gelötet und getestet. Um dem hohen Qualitätsanspruch gerecht zu werden, kommen neben ausgiebigen Softwaretests zusätzlich moderne Testsysteme, wie zum Beispiel der Flying-Probe-Tester und das 3D Röntgensystem, zum Einsatz. Eventuell vorhandene Leuchtdioden werden bei Geräten mit hohen Stückzahlen durch einen Farbsensor überprüft. Bei Serien mit niedrigeren Stückzahlen müssen die Leuchtdioden jedoch durch das Personal der Testabteilung verifiziert werden, da in diesem Fall die kostspieligen industriellen Farbsensoren nicht wirtschaftlich sind. Dieser zusätzliche vom Testpersonal vorzunehmende Schritt ist zum einen fehleranfällig, zum anderen entspricht er nicht dem Ziel der Testoptimierung, welche von der Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH angestrebt wird.

Das Projekt befasst sich mit der Entwicklung einer preissensitiven Lösung, mit der eine Reihe von Leuchtdioden auf den gefertigten Platinen auf ihre Funktion getestet werden kann. So kann bereits bei Baugruppen, die in kleineren Stückzahlen gefertigt werden, ein voll automatisierter LED-Test erreicht werden. Das Konzept des Projekts ist auf die Eckpunkte der ersten Inbetriebnahme fixiert. Es wird eine Platine entwickelt, welche alle benötigten Komponenten für eine Farberfassung über das Universal Serial Bus (USB) Interface beinhaltet. Nach erfolgreicher Inbetriebnahme der Hardware unter Windows, wird diese um eine auf die Platine abgestimmte Software zu einem Gesamtprodukt erweitert.

Im Rahmen des Praktikums wird unter Einbezug der Anforderungen aus der Hardware- und Testabteilung die Platine entworfen und grundlegend in Betrieb genommen. Hierbei spielt die Koordination aller relevanten Schritte von Beginn der Entwicklung bis hin zur Produktion eine übergeordnete Rolle. Das Praktikum bildet mit der Fertigung einer funktionstüchtigen und getesteten Hardware die Basis für die in der Bachelorarbeit vorgesehene Softwareentwicklung.

3 Hardwareentwicklung und Inbetriebnahme

Die folgenden Kapitel befassen sich mit allen Schritten, die für die Hardwareentwicklung und Inbetriebnahme des LED Analyzers von Bedeutung sind. Diese beinhalten das Sammeln der Anforderungen aus den verschiedenen Abteilungen, die Entwicklung der Platine und die Erstellung der Fertigungsunterlagen. Auf Basis der Fertigungsunterlagen wird die Platine bestellt und kann in der Hilscher-eigenen Fertigung bestückt werden. Im letzten Schritt wird die Hardware grundlegend in Betrieb genommen und getestet.

3.1 Der Feasa LED-Analysator

In der Testabteilung von Hilscher kommt aktuell ein LED-Analysator der Firma FeasaTM zum Einsatz. Dieser bietet dem Benutzer die Möglichkeit, mehrere LEDs bezüglich Farbe und Helligkeit gleichzeitig zu testen. Es stehen zwei Modelle zur Verfügung, die sich vor allem in Bezug auf die Schnittstellen unterscheiden. Sie können in Konfigurationen mit 3, 5, 10 und 20 Messkanälen bestellt werden. Die Preise der vorhandenen Modelle und ihre Schnittstellen werden in Tabelle 1 vorgestellt.

Schnittstellen	Feasa I	Feasa F
USB	nein	ja
RS232	ja	ja
20-Pin-Eingang – Frequenz Aus	ja	nein
20-Pin-Eingang – Synchron	ja	nein
Verkettung	nein	ja
Externer Auslöser-Eingang	ja	nein
Preis - 3 Messkanäle	350€	350€
Preis - 5 Messkanäle	450€	450€
Preis - 10 Messkanäle	800€	800€
Preis - 20 Messkanäle	1300€	1300€

Tabelle 1: Vergleich der bestehenden Feasa Modelle

Das Feasa Inter Circuit Test Modell (I) eignet sich für den Gebrauch in einer eingebetteten Testumgebung. Der verfügbare 20-Pin Ausgang kann im Modus "Frequenz Aus" oder im synchronen seriellen Modus verwendet werden. Das Frequenz-Aus-Protokoll benutzt drei verschiedene Frequenzen, um die Farbe und Intensität der LEDs darzustellen. Über einen externen Auslöser-Eingang lässt sich die Farberfassung mit einem externen Ereignis, wie z.B. dem Einschalten einer Leuchtdiode (LED), starten. Das Feasa Functional Modell (F) verzichtet auf den 20-Pin Ausgang und bietet im Gegen-

zug eine USB Schnittstelle und die Möglichkeit, bis zu 30 Geräte über *Daisy Chaining*¹ zu verketten. Die Testabteilung von Hilscher verwendet das F Modell, da bei diesem mehrere Geräte in Serie angeschlossen werden können. Die Preise für diese Testgeräte sind im Vergleich zum gebotenen Funktionsumfang verhältnismäßig hoch angesetzt.

Feasa stellt außerdem eine Graphical User Interface (GUI) Applikation zur Verfügung. Diese ermöglicht, angeschlossene LED Analyser zu erkennen und nach einer ausgeföhrten Messung die Farbwerte in verschiedenen Farbräumen anzuzeigen. Hilscher benutzt diese Geräte in der eigenen Testumgebung und ist somit auf die Dynamic Link Library (DLL) und die Programmierbeispiele angewiesen, welche Feasa anbietet. Weitere Informationen sind aus dem Datenblatt des LED Analyzers[3] zu entnehmen.

Fazit Der Feasa LED Analyser bietet prinzipiell einen Großteil der Funktionalität, welche die Testabteilung von Hilscher zum automatisierten Testen von LEDs benötigt. Einige Komponenten jedoch, wie z.B. die RS232 Schnittstelle, sind überflüssig. Beim Anschluss mehrerer LED Analyser über Daisy Chaining ist weiterhin ein merklicher Geschwindigkeitsverlust zu spüren. Die Softwareentwicklung ist außerdem auf das Application Programming Interface (API) von Feasa angewiesen. Neben Einbußen in der Flexibilität werden einige Funktionen, wie z.B. eine auswählbare Reihenfolge bei der Geräteverbindung, ganz vermisst. Der hohe Preis kann durch den gebotenen Funktionsumfang nicht rechtfertigt werden und verhindert den Einsatz des Geräts zum Testen von Baugruppen, die in kleineren Stückzahlen produziert werden. Diese Aspekte ließen die Nachfrage nach einem Gerät entstehen, dessen Funktionalität auf die Bedürfnisse der Testabteilung zugeschnitten ist und vor allem kostengünstig hergestellt werden kann. Die Entwicklung eines eigenen Geräts, dem *Color Controller* von Hilscher, beginnt.

3.2 Requirements Engineering - Erfassung und Analyse der Anforderungen

Das Hauptziel des Requirements Engineering ist die Erfassung, Spezifikation und Nachverfolgung der Projektanforderungen[4]. Um die korrekte Erfassung der Anforderungen zu gewährleisten, wurden Gespräche mit den Verantwortlichen aus der Hardwareabteilung, der Testabteilung und der Softwareabteilung (*netX Tools*) geführt. Tabelle 2 enthält die finalen Anforderungen an die Hardware des *Color Controllers* und listet diese nach Typ auf.

¹Serielle Verbindung einer Anzahl von Hardware-Komponenten

Typ	Anforderung
Funktional	Verbindungsmöglichkeit über USB
	Gleichzeitige Verwendung mehrerer Geräte
	Vorhersagbare und konfigurierbare Reihenfolge bei der Geräteverbindung
	Messung der dominanten Wellenlänge und Helligkeit (Referenz LED Datenblatt)
	Hinreichend schnelle Messungen mit mehreren Messkanälen
	Integrationsmöglichkeit in die eigene Testumgebung
Nicht Funktional	Hohe Stabilität und Lebensdauer
	Zuverlässigkeit unter allen Bedingungen
	Kompakte Größe und Bauform
Budget	Richtwert 100 € pro Endgerät

Tabelle 2: Anforderungen an den *Color Controller*

Zusammenfassung der Anforderungen Die Testabteilung ist in diesem Fall der End-User des Produkts. Hier werden je nach Art der zu testenden Baugruppe verschiedene Tests, wie z.B. SDRAM-Tests, Schnittstellen-Tests und I/O-Tests durchgeführt. Ein Device Under Test (DUT) wird meistens über USB verbunden. Da diese Schnittstelle bereits vor Ort verfügbar ist, ist eine Anbindung des *Color Controllers* über USB erwünscht. Außerdem soll der Test in einem absehbaren zeitlichen Rahmen erfolgen. Hier ist meistens ein Mitarbeiter vor Ort, der die zu testenden Baugruppen anschließt, die Tests startet und den Verlauf kontrolliert. Aus finanzieller Sicht soll ein Test so kurz wie möglich und so lange wie nötig gehalten werden. Aus diesem Grund muss der zeitliche Aspekt bei der Messung und Verarbeitung verschiedener LEDs berücksichtigt werden. Dies erfordert einerseits eine angemessene Anzahl an Messkanälen pro Gerät und andererseits die Möglichkeit mehrere Geräte gleichzeitig verbinden und verwenden zu können. Die Indizierung der Geräte am PC soll deterministisch und bei Bedarf frei konfigurierbar sein. Falls mehrere Testgeräte angeschlossen sind, kann so gewährleistet werden, dass die Zuordnung der Messkanäle bei jedem Testdurchlauf gleich bleibt. Datenblätter von Leuchtdioden enthalten verschiedene Informationen, wie zum Beispiel die Lichtstärke und die dominante Wellenlänge². Der *Color Controller* soll die dominante Wellenlänge messen können. Im Idealfall geschieht das mit solch einer Genauigkeit, dass die Messung mit der angegebenen dominanten Wellenlänge aus dem Datenblatt übereinstimmt. Zusätzlich kann die Messung von Helligkeiten Auskunft über Fehler auf der Platine, wie z.B. Kurzschlüsse (zu hell) oder falsche Vorwiderstände (zu hell / zu dunkel), liefern. Hier wäre ein Bezug zwischen der gemessenen Helligkeit und der in Datenblättern angegebenen Lichtstärke, die in der Einheit candela angegeben wird,

²Wellenlänge, die den Farbton einer LED so beschreibt, wie ihn das menschliche Auge empfindet

von Vorteil. Die Bestimmung der Soll-Werte für einen Test könnte somit nur mit dem Datenblatt erfolgen, was den Vorgang um einiges vereinfachen würde. Die Verbindung von zu prüfenden LEDs und LED Analyzer erfolgt über Lichtwellenleiter. Es soll eine Möglichkeit gefunden werden, die Lichtwellenleiter über der aktiven Sensorfläche zu platzieren. Des Weiteren sind Raum und Zugangsmöglichkeiten auf den Testplätzen und in den verwendeten Testadapters oft limitiert und erfordern eine kompakte Größe und Bauform des Gerätes. Der Einsatz der Hardware in der Testabteilung setzt weiterhin eine hohe Zuverlässigkeit unter allen möglichen Bedingungen, wie z.B. variierenden Lichtverhältnissen, voraus. Mit einer Budgetvorgabe von ca. 100 € sollen die Kosten pro Gerät deutlich unter denen des Feasa Testsystems liegen.

3.3 Auswahl und Zusammenspiel der Komponenten

Sind alle Anforderungen an den *Color Controller* erfasst worden, können die Komponenten ausgesucht werden, die für eine entsprechende Farberfassung und Anbindung an den PC benötigt werden. Eine Evaluation bestehender Möglichkeiten soll dabei die Auswahl des Chips und Sensors erleichtern. Nach der Selektion der einzelnen Bauteile werden diese hinsichtlich ihrer Kompatibilität zueinander untersucht.

3.3.1 Farben sehen - ams' TCS3472 Farbsensor

Die austriamicrosystems (ams) AG ist ein multinationaler Halbleiterhersteller mit Hauptsitz in Unterpremstätten in der Steiermark, Österreich. Die Haupttätigkeitsfelder sind Entwicklung und Herstellung von analogen integrierten Schaltkreisen und anwendungs-spezifischen integrierten Schaltungen (ASICs). 2011 gab austriamicrosystems den Erwerb von 100% der Anteile am US-Unternehmen Texas Advanced Optoelectronic Solutions (TAOS) bekannt. TAOS ist im Bereich Lichtsensortechologie tätig und liefert Displaymanagementlösungen für Hersteller von Smartphones, Tablets, High-Definition-Fernsehgeräten sowie Laptops und Notebooks[16] .

Das Produktportfolio von ams beinhaltet eine Vielzahl an Farbsensoren, die sich vor allem bei der Bereitstellung der Messwerte unterscheiden. Während die analogen Farbsensoren die gemessenen Farbwerte als Spannung (TCS31xx) oder Frequenz (TCS32xx) ausgeben, ordnet die TCS34xx-er Reihe den gemessenen Farbwerten einen digitalen Wert zu. Über die letzten beiden Ziffern der Typbezeichnung lassen sich kleinere Variationen innerhalb der Sensorreihe, wie zum Beispiel die Ausstattung mit einem Infrarotfilter, ausdrücken. Eine analoge Ausgangsgröße kann bei einer Regelung (z.B. Hintergrundbeleuchtung), die mit Operationsverstärkern als Regler arbeitet, durchaus von Vorteil sein. Die geplante Applikation erfordert jedoch eine Übertragung an den PC, der für die Weiterverarbeitung der Messwerte zuständig ist. Bei den analogen Senso-

ren müsste hier eine zusätzliche Wandlerstufe, ein Analog-to-Digital-Converter (ADC), berücksichtigt werden. Die Sensoren, die einen digitalisierten Messwert bereitstellen, haben diese Wandlerstufe bereits auf dem Chip integriert. Neben der Einsparung zusätzlicher Hardware (ADC) lassen die günstigen Anschaffungskosten von ca. 1-2 € pro Sensor die TCS34xx-er Reihe auch preislich interessant erscheinen. Die Wahl des Sensors für den Color Controller fällt somit auf einen Farbsensor der TCS34xx-er Reihe.

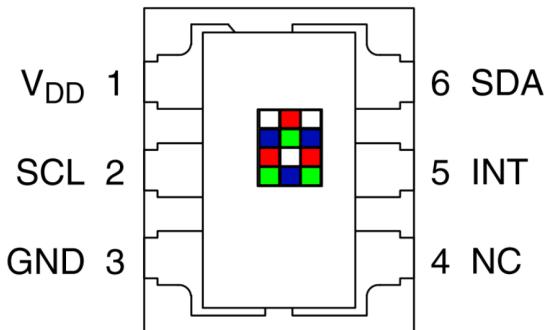


Abbildung 1: TCS3472 Pinbelegung³

Der *TCS3472 Color Light-To-Digital Converter with Infrared (IR) Filter* von ams ist ein Farbsensor, der 4 Messkanäle für Red, Green, Blue und Clear (RGBC) besitzt. Es können somit jeweils der rote, grüne und blaue Farbanteil des einfal-lenden Lichts gemessen werden. Der vierte Messkanal gibt Auskunft über die Helligkeit. Ein Infrarot Blockfilter ist bereits auf dem Chip integriert und ermöglicht durch Minimierung des Infrarotanteils die Durch-führung von präzisen Messungen. Durch

diesen Filter ist der Sensor weiterhin sehr gut geeignet für Ambient Light Sensing (ALS), das u.a. für die automatische Hintergrundbeleuchtung von Displays eingesetzt wird. Um den hohen Dynamikumfang⁴ von 3800000:1 zu ermöglichen, können Einstel-lungen bezüglich Verstärkung und Belichtungszeit vorgenommen werden. Der niedrige Stromverbrauch von $235 \mu\text{A}$ kann durch das Aktivieren von *Wait-States*⁵ noch weiter herabgesetzt werden. Eine I2C-Schnittstelle bietet durch die *Fast Mode* Kompatibili-tät die Möglichkeit mit Geschwindigkeiten von bis zu 400 kBit/s zu kommunizieren. Hier gibt es verschiedene Varianten bezüglich der I2C-Betriebsspannung, z.B. über 1.8V (TCS34727) oder V_{DD} (TCS34725). Typische aus dem Datenblatt entnommene Anwendungsmöglichkeiten sind u.a. Messung der Farbtemperatur, Messung von Umge-bungslicht für automatische Hintergrundbeleuchtung von Displays und die Verifikation und das Sortieren von Produkten bezüglich ihrer Farbe. Eine detaillierte Beschreibung des Sensors befindet sich im Datenblatt[1].

Abbildung 2 gibt einen Einblick in die Interna des Sensors. Der Photostrom wird über ein, im 3×4 Raster angeordnetem, Photodiodenarray gewonnen. Über einem Großteil dieses Arrays liegt ein physikalischer Infrarot Blockfilter, der die Infrarot Komponen-ten des Lichts minimiert. Der Photostrom der Kanäle rot (gefiltert), grün (gefiltert), blau (gefiltert) und hell (ungefiltert) wird durch jeweils einen ADC verstärkt, zu ei-nem digitalen 16-Bit Wert gewandelt und anschließend der I2C-Schnittstelle bereit

³Bildquelle Abb.1: TCS3472_Datasheet_EN_v2.pdf - S.4

⁴Quotient aus größtem und kleinstem unterscheidbaren Helligkeitswert

⁵Situation, in der sich ein Programm oder Prozessor schlafen legt, bis eine Zeit verstrichen ist

gestellt. Eine übergeordnete interne *State-Machine* kümmert sich um das Timing und die *Wait-States*. Die I2C-Adresse des Sensors ist fest und kann weder durch entsprechende Hardwareanschaltung noch durch Software verändert werden. Zusätzlich zur I2C-Schnittstelle bestitzt der Sensor einen seperaten Interrupt Pin (Output). Falls Interrupts aktiviert sind, wird dieser beim Überschreiten von benutzerdefinierten Schwellwerten ausgelöst. Diese Eigenschaft erleichtert die Bedienung und erhöht die Software Effizienz, da der Sensor nicht durchgehend gepollt werden muss.

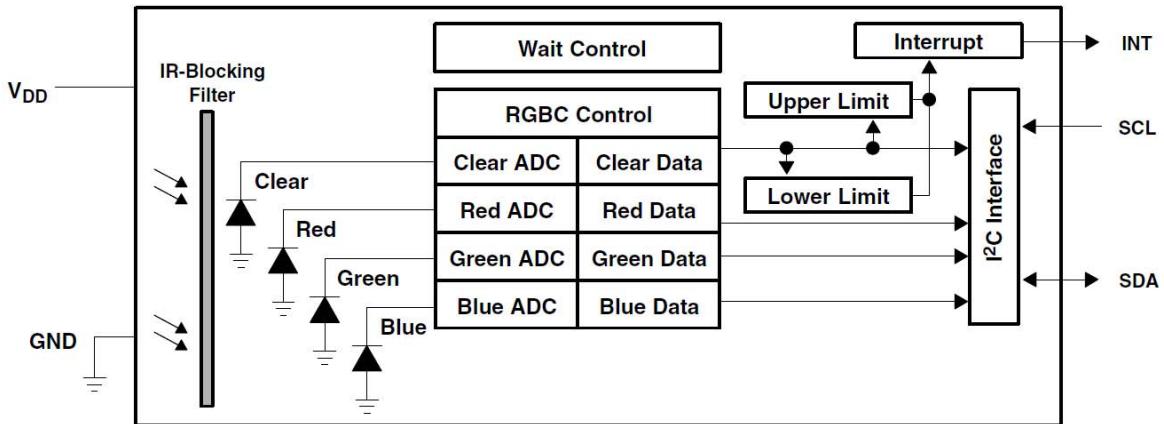


Abbildung 2: TCS3472 Blockdiagramm⁶

Dynamikumfang Die Belichtungszeit und Verstärkung des Sensors sind maßgebend für den hohen Dynamikumfang von 3800000:1 verantwortlich. Der Dynamikumfang bezeichnet in der Optik den Quotienten aus größtem und kleinstem von Rauschen bzw. Körnung unterscheidbaren Helligkeitswert[17]. Durch diese Eigenschaft des TCS3472 Farbsensors können auch bei stark variierenden Lichtquellen akkurate Messergebnisse bezüglich Farbe und Helligkeit erzielt werden. Während helle Lichtquellen eine relativ geringe Belichtungszeit und Verstärkung erfordern, wird bei schwach leuchtenden Lichtquellen eine lange Belichtungszeit und eine hohe Verstärkung vorgesehen. Der Dynamikumfang ist für die geplante Applikation dringend erforderlich, da das Produktspektrum von LEDs sehr groß ist und sowohl sehr helle als auch schwach leuchtende LEDs vertreten sind.

Spektrale Empfindlichkeit Die Farbkanäle (RGB) des Sensors besitzen einen physikalischen Infrarot Blockfilter. Im Gegensatz zu einem Software IR Filter, der den Infrarotanteil des Lichts durch Berechnungen entfernt, die nach einer Messung ausgeführt werden, verwendet der TCS3472 Farbsensor für diese Aufgabe einen mechanischen Filter, der aus einer dünnen Folie besteht. IR-Filter sollen in der Photometrie störende

⁶Bildquelle Abb.2: TCS3472_Datasheet_EN_v2.pdf - S.2

Einflüsse der IR-Strahlung vermeiden, die u.a. Farbverfälschungen hervorrufen können. Bei der Messung einer LED nimmt der Sensor nicht nur das sichtbare Farbspektrum der Leuchtdiode (ca. 380 nm - 780 nm) auf, sondern auch störendes Umgebungslicht. Tageslicht enthält einen hohen Infrarot-Anteil, der z.B. für die wärmende Wirkung von Sonnenstrahlen verantwortlich ist. Der Blockfilter wird die Messergebnisse, vor allem in Bezug auf die gemessene Farbe (Wellenlänge), stark verbessern. Abb. 3 soll das verdeutlichen.

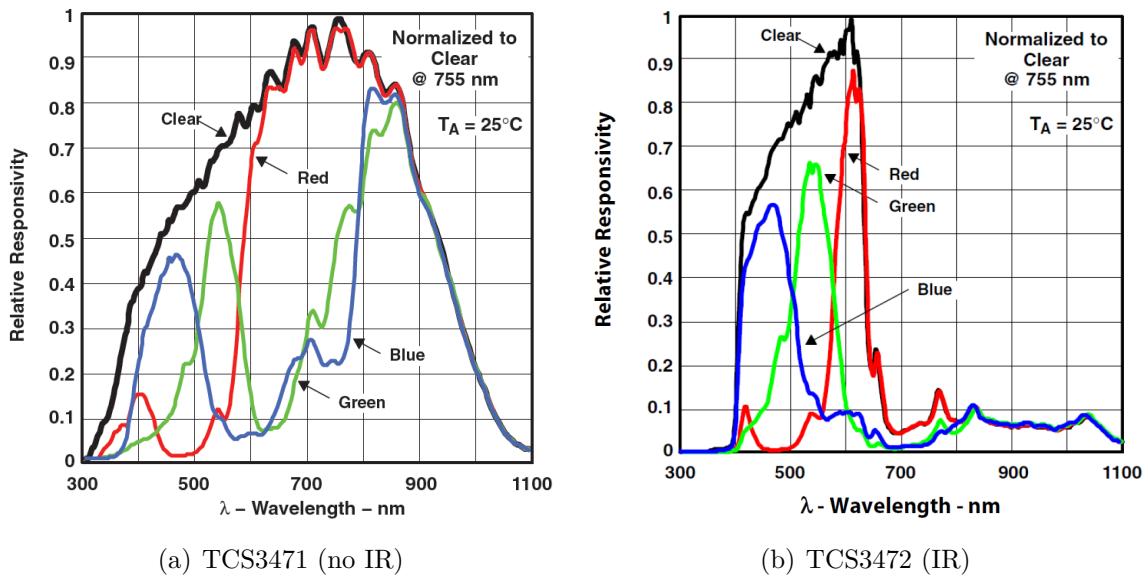


Abbildung 3: Vgl. der spektralen Eigenschaften des TCS3471 und TCS3472⁷

Die Abbildung enthält die relative spektrale Empfindlichkeit für die vier Kanäle der Sensoren TCS3471 (a) und TCS3472 (b) in Bezug auf die gemessene Wellenlänge. An dieser Stelle soll nur der Einfluss des IR-Filters auf die Messergebnisse gezeigt werden. Eine Erläuterung der Kurven in Bezug auf die Applikation erfolgt im Rahmen der Bachelorarbeit. Die Werte wurden von ams empirisch ermittelt und sind Mittelwerte, die aus mehreren Messungen an einer Anzahl von Sensoren gewonnen wurden. Die beiden Sensoren sind vollkommen pin- und registerkompatibel und unterscheiden sich nur im IR-Blockfilter, der beim TCS3471 nicht vorhanden ist. Während die relative Sensitivität des TCS3472 aufgrund des IR-Filters außerhalb des vom menschlichen Auge wahrnehmbaren Farbspektrums deutlich abnimmt, erreicht der TCS3471 hier seine Maxima. Aber auch innerhalb des Messbereichs, welches für die Applikation *Color Controller* von Bedeutung ist, sieht man, dass der TCS3472 deutlich störsicherer arbeitet. Bei der Messung einer Wellenlänge von 650 nm (rot) zum Beispiel schlägt der grüne und blaue Messkanal des Sensors mit dem Filter nur geringfügig aus. Die Kanäle des TCS3471 nehmen in diesem Bereich fälschlicherweise hohe Werte auf, die das Farbergebnis der Messung verfälschen können.

⁷Bildquelle Abb.3: TCS3471_Datasheet_EN_v1.pdf S.6 und TCS3472_Datasheet_EN_v2.pdf S.10

Fazit Neben dem hohen Dynamikumfang, wodurch auch stark in der Helligkeit variierende LEDs gemessen werden können, spricht auch der Einsatz des IR-Blockfilters, der die Applikation störsicherer macht, für den TCS3472 Farbsensor. Die ams AG und ihre Distributoren bieten Kunden einen ausgiebigen Support. Sowohl allgemeine Fragen zum Sensor, als auch tiefer in die Materie greifende Anfragen bezüglich der Eigenschaften des Sensors wurden zufriedenstellend beantwortet. Weiterhin gibt es auf der Homepage der Firma für fast jeden angebotenen Sensor sogenannte *Design Notes*, die Lösungen und Anregungen zu einer Vielzahl von Problemstellungen bieten. Darin werden u.a. Themen wie *Farbenlehre*, *Kompensation von Störungen* und *Temperatureinfluss auf Messungen* erläutert. Diese *Design Notes* sind nicht allgemein gehalten, sondern gehen auf die Eigenschaften und Empfindlichkeiten der jeweiligen angebotenen Sensoren ein. Hier kommt klar die große Kompetenz hinsichtlich optoelektronischer Systeme von der von ams aufgekauften Firma TAOS zur Geltung.

Nichtsdestotrotz müssen beim Einsatz des TCS3472 zwei größere Hürden überwunden werden. μ Controller stellen selten mehr als zwei voneinander unabhängige I2C-Busse zur Verfügung. Die fest eingebrannte I2C-Adresse des Farbsensors hat zur Folge, dass pro verfügbarem I2C-Bus nur ein Sensor angeschlossen werden kann. Der *Color Controller* erfordert jedoch das Erfassen mehrerer LEDs, es muss eine geeignete Lösung gefunden werden, mehrere dieser Sensoren gleichzeitig anzusprechen. Zwei naheliegende Ansätze wären entweder ein I2C Multiplexer Baustein oder die Implementierung von Software-I2C⁸ an einem Chip, der ausreichend viele I/O-Pins besitzt. Hinzu kommt noch, dass der Sensor RGBC misst. Da einer Vielzahl verschiedener RGB Kombinationen die selbe Wellenlänge zugewiesen werden kann, gibt es keine eindeutige Formel, um einen Punkt aus dem RGB Farbraum in eine Wellenlänge zu überführen. Im Rahmen der Bachelorarbeit wird dieses Problem näher erläutert und ein entsprechender Lösungsansatz ausgearbeitet.

3.3.2 I2C Multiplexer

Mit dem Einsatz eines I2C Multiplexers kann das Problem mit der festen Sensoradresse behoben werden. Ein I2C Multiplexer arbeitet als bidirekionaler Schalter, der ein ankommendes I2C-Paket auf einem seiner verfügbaren Ausgangskanäle weiterleitet. Es liegen meistens Bausteine mit 2, 4 oder 8 Ausgangskanälen vor. So erreicht man eine Anzahl logisch und physikalisch getrennter I2C-Busse. Mithilfe des Multiplexers wäre in dieser Applikation die Anschaltung von maximal 8 TCS3472 Farbsensoren möglich, wobei diese nur einzeln ausgelesen werden könnten. Weiterhin ist der Einsatz des Multiplexers mit einem zusätzlichen Kostenfaktor verbunden, da neben dem Chip eine weitere Hardware nötig wäre. Da das weder finanziell, noch von der Anzahl der

⁸Statt Benutzung eines Hardware I2C-Controllers, wird das I2C-Protokoll in der Software realisiert

verfügbareren Messkanälen her effizient ist, wird die Verwendung eines I2C Multiplexers abgelehnt.

3.3.3 Variationen der FTDI Chips

Die Firma Future Technology Devices International (FTDI) wurde für ihre USB-RS232-Interface-Chips bekannt, mit denen es möglich ist, eine serielle Schnittstelle über USB verfügbar zu machen. Inzwischen stellt sie auch Grafikchips mit dem Markennamen EVE (Embedded Video Engine) für die Ansteuerung kleiner Touch-Displays und einen eigenen Mikrocontroller her. Die Firma hat ihren Hauptsitz in Glasgow (Schottland), sowie Niederlassungen in Taiwan und den USA, die Herstellung der Halbleiter erfolgt in Asien durch Subunternehmer.[18]

Der in der Applikation *Color Controller* einzusetzende Chip dient primär zur Herstellung einer einfachen USB-Schnittstelle zwischen PC und Farbsensoren. Um die ganze Applikation so simpel wie möglich zu gestalten, ist es wichtig, dass der Chip die USB-Funktionalität weitestgehend autonom, d.h. ohne Programmierung einer eigenen USB-Firmware, übernimmt. Neben den USB-Wandlerbausteinen von FTDI gibt es noch viele USB-Bauteile anderer Hersteller wie zum Beispiel Cypress⁹. Da es sich bei einem Großteil dieser Chips um echte μ Controller (meistens ARM-basierend) handelt, muss die USB-Funktionalität hier durch Programmierung entsprechender Firmware umgesetzt werden. Im Gegensatz dazu wird bei den FTDI-Bausteinen das gesamte USB-Protokoll vom Chip selbst übernommen. Aus diesem Grund wird ein entsprechender USB-Wandlerbaustein der Firma FTDI ausgesucht.

Hier bietet FTDI verschiedene USB-Wandlerbausteine, von denen drei in Tabelle 3 näher vorgestellt werden. Diese bieten viele standardisierte serielle und parallele Schnittstellen, die über USB 2.0 konfiguriert und in Betrieb genommen werden. Hierbei fungieren die Chips auf PC-Seite als USB Device bzw. Slave, bei den seriellen Protokollen sind sie Busmaster. Die drei Chips unterscheiden sich hauptsächlich in der Anzahl der konfigurierbaren Kanäle. Ein Kanal wird vom PC als separates Device erkannt und bei mehr als einem Kanal beginnend mit A nummeriert. Der FT232H[9] bietet einen Kanal mit 16, FT2232H[7] 2 Kanäle mit jeweils 16 und der FT4232H[8] vier Kanäle mit je 8 I/O-Pins. Bei den FTDI Chips kann jeder Kanal unabhängig für eine bestimmte Kommunikationsschnittstelle konfiguriert werden. Somit kann der FT232H ein Protokoll, der FT2232H gleichzeitig zwei und der FT4232H gleichzeitig vier Protokolle sprechen. Hierbei ist eine beliebige Kombination aus den verfügbaren Protokollen möglich.

⁹US-amerikanischer Halbleiterhersteller mit Firmensitz in San Jose, Kalifornien

¹⁰Quelle Tabelle 3: <http://www.ftdichip.com/Products/ICs.htm>

FT Device	FT232H	FT2232H	FT4232H
			
Description	Hi-Speed USB 2.0 Slave to Single UART/FIFO IC	Hi-Speed USB 2.0 Slave to Dual UART/FIFO IC	Hi-Speed USB 2.0 Slave to Quad UART / Serial IC
USB Speed	High Speed (480Mbps) / Full Speed (12Mbps)		
Channels	1	2	4
External Interfaces	UART, FIFO, MPSSE, Fast Serial, 8051 MCU emulation,	UART, FIFO, 2 x MPSSE, 8051 MCU emulation, 16 GPIOs	UART, 32 GPIOs, 4 x MPSSE
I/O Pins	16	32	32

Tabelle 3: Vergleich dreier USB Konverter von FTDI¹⁰

MPSSE Die *Multi-Protocol Synchronous Serial Engine (MPSSE)* Funktionalität der Chips erleichtert die Implementierung synchroner serieller Protokolle über USB. Jeder Kanal, der auf diesen Modus konfiguriert wird, kann JTAG¹¹, I2C, SPI oder *Bit-Bang* sprechen. FTDI beschreibt den MPSSE-Modus ausführlich in einer separaten Datei[5]. Wird der von FTDI bereitgestellte I2C-Modus gewählt, kann der FT232H einen, der FT2232H zwei und der FT4232H vier Sensoren ansprechen. Dies ist bedingt durch die Anzahl der verfügbaren Kanäle pro Chip. Weiterhin erlaubt der MPSSE Modus es, jeden I/O-Pin des Chips über einfache USB-Kommandos als Input- oder Outputpin zu konfigurieren. Auf Pins, die Output Funktionalität zugewiesen bekommen haben, können Werte geschrieben werden. Die als Input konfigurierten Pins können den an ihnen anliegenden Wert zurückgeben. Auf diese Weise kann mithilfe einfacher Lese- und Schreiboperationen an den Pins das I2C-Protokoll nachgebildet werden. Da das gesamte Protokoll softwareseitig umgesetzt wird, spricht man von Software-I2C. Mit zwei benötigten Signalleitungen pro Sensor ist bei der Verwendung einer der Chips mit 32 I/Os die gleichzeitige Kommunikation zu 16 Sensoren möglich.

Da der FT232H zwar den MPSSE Modus bietet, die verfügbaren 16 I/Os jedoch den Anschluss von nur 8 Farbsensoren erlauben, scheidet dieser für die Applikation aus. Somit bleiben der FT2232H mit auf zwei Kanälen und der FT4232H mit auf 4 Kanälen aufgeteilten 32 I/Os übrig. Für den *Color Controller* wurde letztendlich der Erstere der beiden gewählt. Da dieser Chip bereits seit 2007 in diversen Baugruppen

¹¹JTAG-Protokoll ermöglicht das Programmieren, Debuggen und Testen von ICs, Prozessoren und FPGAs

von Hilscher Einsatz findet, hat sich seine Funktionalität bewährt. Bei der Entwicklung kann man sich an bestehende Designs anlehnen und von der gesammelten Erfahrung zu diesem Chip profitieren. Weiterhin sind bei diesem Baustein bereits alle entsprechenden Einträge in den Systemen (Hardware, Einkauf, Lager) vorhanden.

3.3.4 Verknüpfung von FT2232H und TCS3472

Die Kommunikation zwischen PC, FTDI Chip und 16 Farbsensoren ist einfach gestaltet und wird in Abbildung 4 veranschaulicht. Über den PC werden USB-Pakete an den FTDI Chip gesendet. Diese Pakete enthalten wiederum Befehle und Daten, die auf den entsprechenden I/O-Pins des FTDI Chips das I2C-Protokoll formen und eine Kommunikation zu den Farbsensoren ermöglichen.

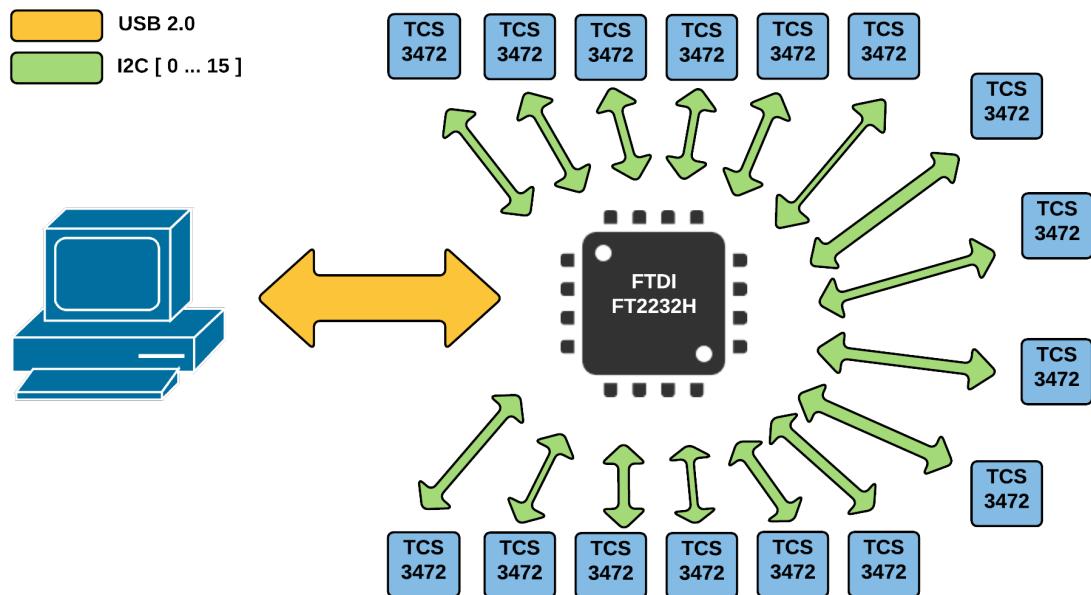


Abbildung 4: Funktionsdiagramm der Kommunikation

I2C ist als Master-Slave-Bus konzipiert. Die I2C-Schnittstelle benötigt nur zwei Signalleitungen, die Takt- und die Datenleitung. Die Datenübertragung erfolgt hierbei bitseriell und synchron, d.h., dass jedes Datenbit auf der Datenleitung (SDA) mit dem Takt der Takteleitung (SCL) synchronisiert wird. Ein Datentransfer wird immer durch einen Master initiiert, der den Takt vorgibt. Der über eine eindeutige Adresse angesprochene Slave antwortet darauf. Die Geschwindigkeiten betragen üblicherweise bis zu 100kBit/s im *Standard Mode* und bis zu 400kBit/s im *Fast Mode*. Der 1998 eingeführte *High Speed Mode* mit 3.4MBit/s wird heute kaum noch unterstützt, da hier die elektrischen Eigenschaften der Schaltung und das Bustiming sehr strikten Vorgaben unterliegen. Benötigt der Slave mehr Zeit, als durch den Takt des Masters vorgegeben

ist, kann er zwischen der Übertragung einzelner Bytes die Takteleitung auf *Low* halten (*Clock-Stretching*) und so den Master bremsen. Der TCS3472 Farbsensor besitzt keine *Clock-Stretching* Funktionalität. Durch den Multimaster-Mode sind auch mehrere Master an einem Bus möglich. Vorteil des I₂C-Bus ist, dass ein μ Conroller ein ganzes Netzwerk an integrierten Schaltungen durch nur zwei Leitungen kontrollieren kann[19].

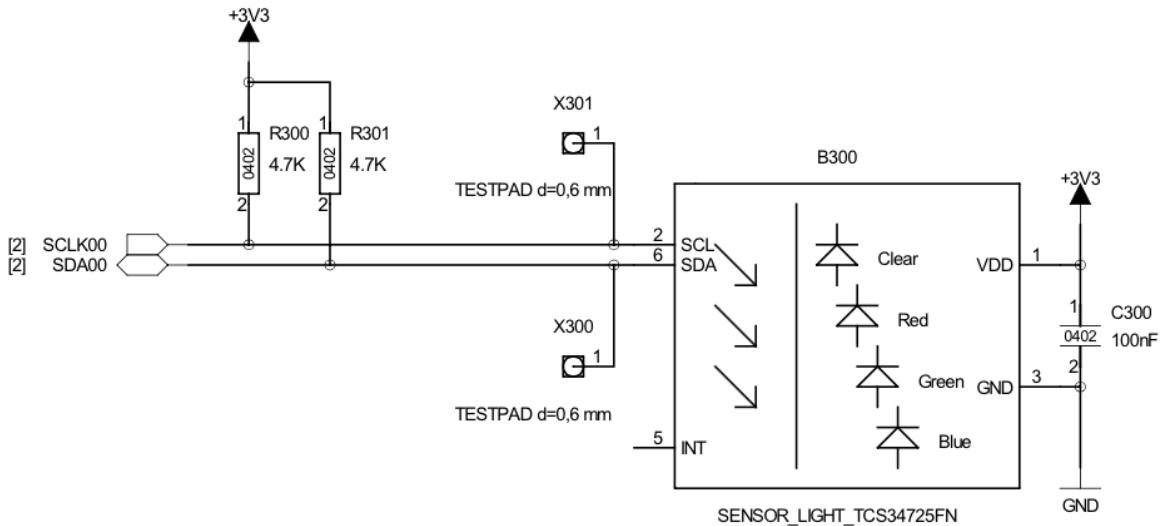


Abbildung 5: Busanschaltung des Farbsensors

Kompatibilität Abbildung 5 ist aus dem Schaltplan des *Color Controllers* (Kap. 4.1) entnommen und demonstriert die Hardwareanschaltung eines Farbsensors an einem der 16 I₂C-Busse. Die Datenleitung und Taktleitung des Busses sind mit jeweils einem Widerstand nach V_{DD} (*Pull-Up*) versehen und sind für den *High* Pegel im Ruhezustand verantwortlich. Allgemein haben sämtliche am Bus angeschlossene Geräte Open-Collector-Ausgänge. Das heißt, dass Busteilnehmer den Pegel auf *Low* ziehen können, den *High* Pegel jedoch nicht aktiv treiben können. Somit gibt es beim I₂C-Bus einen dominanten (*Low*) und rezessiven Pegel (*High*). Man spricht auch von einer Wired-And-Schaltung. Sowohl der FTDI Baustein als auch die Farbsensoren arbeiten mit Transistor-Transistor-Logik (TTL) Pegeln.

	FT2232H		TCS3472	
	Eingang	Ausgang	Eingang	Ausgang
LOW	0.0 V - 0.8 V	0.0 - 0.4 V	0 V - 1.0 V	0.0 V - 0.6 V
HIGH	2.0 V - 3.3 V	2.4 - 3.3 V	2.3 - 3.3 V	2.6 V - 3.3 V

Tabelle 4: Ein- und Ausgangspegel von FT2232H und TCS3472

Tabelle 4 enthält die Ein- und Ausgangspegel dieser beiden Chips. Die Werte sind jeweils aus den Datenblättern entnommen worden. Will man die Ein- und Ausgangspegel konnektierter Bausteine auf Kompatibilität prüfen, müssen jeweils die Eingangspegel

des einen Bausteins mit den Ausgangspegeln des anderen Bausteins verglichen werden. Hier ist es wichtig, die Schlechtfälle, also nicht die typischen Pegel zu vergleichen und zu untersuchen, ob die Schaltung unter diesen Bedingungen immer noch funktionieren würde. Vergleicht man die Eingangsstufe des FTDI Chips mit der Ausgangsstufe des Farbsensors stellt man fest, dass der Sensor im *LOW* Zustand maximal 0.6 V treibt. Der Chip erkennt Pegel bis maximal 0.8 V noch als *LOW*. Der Ausgangstreiber des Sensors legt im *HIGH* Zustand mindestens 2.6 V an, somit 0.6 V mehr als der Chip mindestens benötigt. Wenn der Chip Daten an den Sensor sendet, werden Ausgangspegel des Chips und Eingangspegel des Sensors verglichen. Da der Sensor Pegel von bis zu 1.0 V als *LOW* erkennt, machen auch die maximal getriebenen 0.4 V des Chips keine Probleme. Auch der *HIGH* Zustand wird mit einem Abstand von 0.1 V sicher erkannt.

Die effektive Datenrate und das Timing auf dem I2C-Bus wird durch die Kombination aus Pull-Up-Widerstand und Leitungskapazität begrenzt. Da die Farberfassung der Sensoren parallel erfolgt, ist es theoretisch möglich, mehrere Farbsensoren mit der selben Clockleitung zu betreiben. Die eingesparten I/O-Pins könnten für weitere Sensoren verwendet werden und ließen dadurch die Anzahl der verfügbaren Messkanäle steigen. Um die Leitungskapazitäten jedoch zugunsten des Timings so gering wie möglich zu halten, erhält jeder I2C-Bus in der Applikation eine eigene Clockleitung. Bei Anwendungen, die ein besonders striktes Zeitverhalten fordern, sowie bei hohen Datenraten, ist es vorteilhaft die Widerstände unter Einbezug der relevanten Parameter zu ermitteln. Texas Instruments stellt hierfür ein Dokument zur Verfügung, in dem beschrieben wird, wie der Widerstandswert in Abhängigkeit von Spannungen und Kapazitäten richtig zu berechnen ist[14]. In den meisten Fällen genügt bereits ein Richtwert zwischen 1k Ω und 10k Ω . Ohne zusätzliche Beschaltung könnte die Eingangsstufe des FT2232H diesbezüglich Probleme verursachen. Sie besitzt intern einen Pull-Up-Widerstand, der laut Datenblatt zwischen 40k Ω und 190k Ω (typ. 75k Ω) liegt. Dieser Wert ist für eine I2C-Terminierung zum einen zu hoch, zum anderen könnten die großen Toleranzen Timingprobleme zwischen SDA und SCL nach sich ziehen. Aus diesem Grund wird zum internen Pull-Up-Widerstand des FTDI Chips ein 4.7k Ω Widerstand parallel geschaltet. Mit $R_{ges} = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$ erhalten wir für die Parallelschaltung nun kleinere und bezüglich der Varianz stabilere Widerstandswerte, die zwischen 4.2k Ω und 4.6k Ω (typ. 4.4k Ω) liegen.

3.3.5 Befestigung der Lichtwellenleiter

Die Verbindung von LED und Farbsensor erfolgt beim *Color Controller* über Lichtwellenleiter. Für die Messungen muss der Lichtwellenleiter (LWL) genau über der aktiven Sensorfläche platziert werden. Die Firma Mentor, ein Unternehmen, dass sich auf di-

verse mechanische, elektronische und optoelektronische Bauelemente für die Industrie spezialisiert hat, bietet eine passende Befestigungsmöglichkeit, die eigentlich für die Verwendung in Verbindung mit LEDs entwickelt wurde.

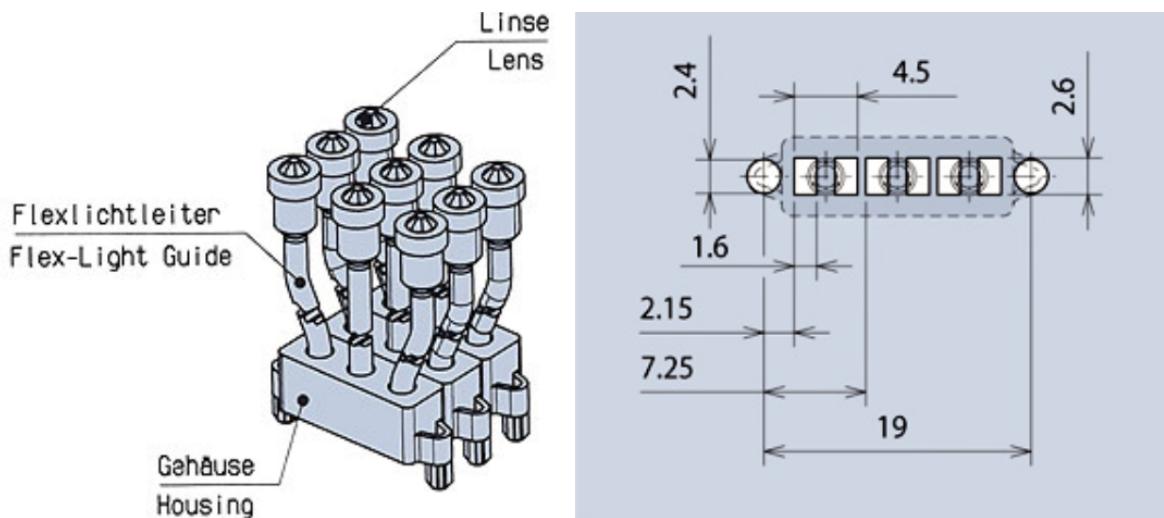


Abbildung 6: Halter für Lichtwellenleiter¹²

Abbildung 6 veranschaulicht die Lichtwellenleiterhalter. Diese werden über zwei Einpresszapfen in der Leiterkarte gehalten. Der Halter bietet Platz für bis zu drei TCS3472 Farbsensoren. Die drei Kammern sind voneinander abgegrenzt und verhindern so eine Überstrahlung des Lichts zwischen den Farbsensoren. Mentor bietet gleichzeitig die passenden Lichtwellenleiter an, die in die Halter gesteckt werden können.

3.4 Hardwaredesign

Mit der Wahl des FT2232H Chips und des TCS3472 Farbsensors sind schließlich die zwei Hauptkomponenten der Applikation bestimmt und auf Kompatibilität, vor allem in Bezug auf die geplante Software-I2C Umsetzung, getestet worden. Entsprechende Muster von FTDI Chip, Farbsensor und Lichtwellenleiterhalter standen zur Verfügung und ermöglichen so eine erste Inbetriebnahme und Experimente mit diesen Komponenten. Durch die Halter von Mentor können nun Sensor und LED sicher verbunden werden. Im nächsten Schritt erfolgt die Auswahl eines passenden Gehäuses und die Entwicklung der Platine.

Während die Phasen bis zum Hardwaredesign in der *netX Tools* Abteilung durchgeführt wurden, findet das Hardwaredesign selbst vollständig in der Hardwareabteilung von Hilscher statt. Die kompetente Betreuung und Einweisungen in die eingesetzte Electronic Design Automation (EDA) Software erleichterten den Einstieg in die Hardwareentwicklung enorm. Nach jeder Designphase wurden die Ergebnisse von einem

¹²Bildquelle Abb.6: <http://www.mentor-bauelemente.de/db/11/1304.1001.html>

Mitarbeiter der Hardwareabteilung kontrolliert. Dieses kontinuierliche Feedback beschleunigte den Designprozess, da so mögliche Fehlerquellen und Probleme hinsichtlich der Platine schon früh aufgedeckt werden konnten.

3.4.1 Gehäuseauswahl

Die Verwendung eines Gehäuses für die Applikation *Color Controller* bietet zwei entscheidende Vorteile. Zum einen wird die ganze Applikation physisch robuster. Vor allem jedoch werden die Farbsensoren vor störendem Umgebungslicht, welches im schlechtesten Falle die Farbmessung beeinträchtigen könnte, geschützt. Die Größe der zu entwickelnden Platine wird maßgeblich durch FTDI-Anschaltung und Lichtwellenleiterhalter bestimmt. Für eine erste Größenabschätzung wurden Halter und eine von Hilscher gefertigte Hardware, die eine FTDI-Anschaltung enthält, entsprechend aufgebaut. Abbildung 7 zeigt das ausgewählte Aluminiumkleingehäuse, dass mit den Maßen H24mm, B41.3mm kompakt gehalten ist und für die Platine in Frage kommt. Das Gehäuse ist in verschiedenen Längen (L50mm, L80mm, L100mm) erhältlich und gewährt somit noch Freiraum bei der endgültig benötigten Platinenlänge.

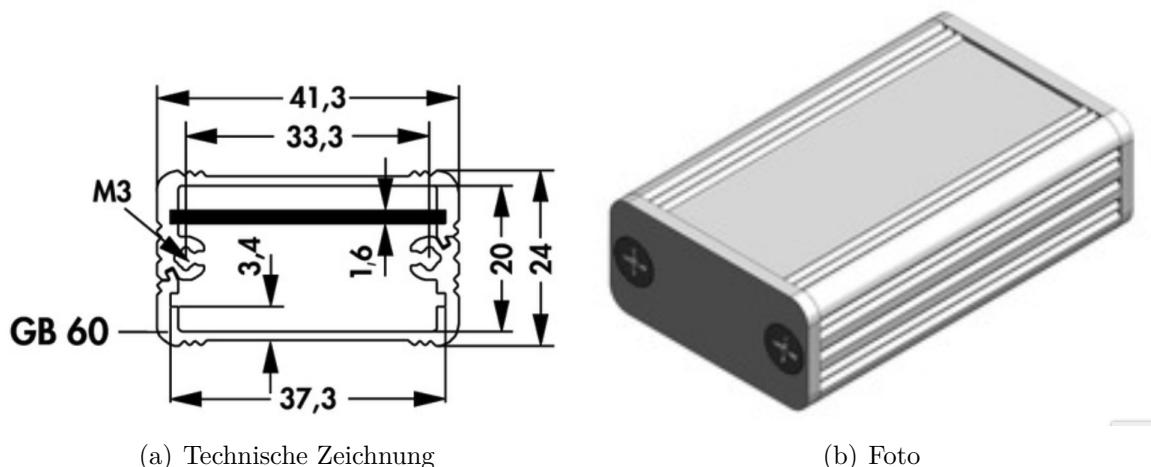


Abbildung 7: AKG 41 24¹³

3.4.2 Schaltplanentwicklung

Die Entwicklung der Platine erfolgt mithilfe entsprechender Software der Firma Mentor Graphics. Als führender Hersteller von Softwareprodukten aus den Bereichen EDA bietet sie u.a. auch Software für die Leiterplattenentflechtung, wie zum Beispiel *PADS*, an. Mithilfe von *PADS* kann die gesamte Hardwareentwicklung, angefangen mit der Schaltplanfertigung, bis hin zum Platzieren und Verbinden von elektrischen Bauteilen

¹³Bildquelle Abb.7: [http://www.fischerelektronik.de/web_fischer/de_DE/Gehäuse/M1.07/Aluminiumkleingehäuse/PR/AKG041_24__/\\$productCard/additionalInfos/index.xhtml](http://www.fischerelektronik.de/web_fischer/de_DE/Gehäuse/M1.07/Aluminiumkleingehäuse/PR/AKG041_24__/$productCard/additionalInfos/index.xhtml)

erfolgen. Hierfür ist *PADS* in drei verschiedene Softwareprogramme aufgeteilt worden, *PADS Logic*, *PADS Layout* und *PADS Router*. Der Schaltplan des Color Controllers wurde mithilfe von *PADS Logic* angefertigt und ist in Kapitel 4.1 zu finden. Es erfolgt eine Beschreibung zu den einzelnen Funktionsblöcken im Schaltplan des *Color Controllers*. Die verwendeten Bezeichner beziehen sich auf den Schaltplan.

Mechanische Bauteile und Testpunkte Die Hardwareabteilung von Hilscher platziert auf der ersten Seite des Schaltplans meistens allgemeine Informationen über die Platine, mechanische Bauteile sowie durchkontakte / nicht-durchkontakte Bohrungen und Testpunkte für *Power*. Zu den allgemeinen Informationen gehören u.a. Verfasser, Datum, Leiterplattennummer, Prüfer und Revisionsnummer. Anhand dieser Informationen können Platinen in der Datenbank angelegt und entsprechend nachverfolgt werden. Testpunkte für *Power* erfüllen auf der Platine zwei Zwecke. Zum einen können sie später dazu verwendet werden, leicht an Versorgungsspannung und GND zu kommen, falls diese für Experimentierzwecke gebraucht werden. Weiterhin können an diesen Testpunkten Kurzschlusstests zwischen den verschiedenen Spannungsnetzen durchgeführt werden. Diese Tests werden meistens vor der Bestückung der Platine durchgeführt. So kann unterschieden werden, ob ein etwaiger Kurzschluss bereits auf der Leiterplatte war oder nach der Bestückung der Bauteile entstanden ist. Zu den mechanischen Bauteilen des *Color Controllers* gehören acht Lichtwellenleiterhalter und ein *LED-Pipe*, der das Licht von zwei Status-LEDs mithilfe von Lichtwellenleitern an die Frontblende führt. Obwohl ein Lichtwellenleiterhalter Platz für drei Sensoren bietet, werden jeweils nur zwei Sensoren unter einem Halter gebracht. So kann eine symmetrische Anordnung der 16 Sensoren, mit 8 Sensoren pro FTDI Kanal, erzielt werden. Bohrungen sind für eine Verwendung des *Color Controllers* mit vier Abstandshaltern anstelle eines Gehäuses vorgesehen.

FTDI-Anschaltung Seite zwei des Schaltplans enthält eine komplette FTDI FT2232H Anschaltung mit einem *EEPROM*. Manche Modi des FT2232H erfordern zu Konfigurationszwecken ein *EEPROM*. Obwohl der geplante MPSSE-Modus, mit dem das Software-I2C Protokoll umgesetzt wird, keines vorsieht, ist es für den Color Controller dennoch notwendig. Hier stehen später Beschreibungen und die Seriennummer, anhand der die angeschlossenen Color Controller unterschieden und von der Reihenfolge her frei wählbar geöffnet werden können. Auf die Beschreibung des Inhalts des *EEPROMs* wird in Kapitel 3.5.1 genauer eingegangen. Die restliche Schaltung besteht aus einem stabilisierendem Eingangsfilter (R110/R111, C100-C106, C114-C117), einem Spannungsregler (N200), der die benötigten 3.3V aus dem 5V USB-Netz generiert, dem FTDI

¹³nichtflüchtiger, elektronischer Speicherbaustein, dessen gespeicherte Information elektrisch gelöscht werden kann

Chip (FT2232HQ) und den erforderlichen USB-Komponenten. Außer dem optionalen *EEPROM*, sind alle anderen Bauteile auf Seite zwei des Schaltplans notwendig, d.h., dass sie für eine korrekte Funktionsweise des Chips sorgen.

Kalibrierung Auf der Color Controller Platine sind zwei LEDs (P100 / P101) vorgesehen. Die gelbe LED (P101) leuchtet, sobald das Gerät über USB mit der Stromversorgung verbunden wird. Die grüne LED (P100) zeigt an, ob eine Kommunikation zum PC besteht. Dadurch erkennt man, ob ein passender Treiber für den Chip installiert ist. Primär wurden diese beiden LEDs jedoch für den Zweck der Kalibrierung und eines einfachen Funktionstests eingebaut. Es wurden zwei Farben (grün, gelb), von denen die dominanten Wellenlängen (typ. 571nm und 590nm) bekannt sind, ausgesucht. Mithilfe ihrer definierten Wellenlänge und Lichtstärke (Datenblatt) kann später zur Erzielung einer hohen Präzision bezüglich der Wellenlängen- und Lichtstärkenmessung eine Kalibrierungsapplikation geschrieben werden. Beim einfachen Funktionstest kann die allgemeine Funktionstüchtigkeit eines einzelnen Sensors bestätigt werden. Hierbei misst der Sensor die definierten LEDs. Bei zu hohen Abweichungen bezüglich gemessener Lichtstärke und Wellenlänge kann von einem Defekt des Sensors ausgegangen werden.

Farbsensoren Seite drei und vier des Schaltplans beinhalten die Anschaltung von jeweils 8 Farbsensoren an Kanal A und B des FTDI Chips. Die Leitungen SDA und SCL sind mit je einem $4.7\text{k}\Omega$ Pull-Up-Widerstand versehen. Da ein LED-Test mit einer Momentaufnahme der Sensoren arbeitet und eine Überwachung von Grenzwerten für die Applikation keinen Nutzen bringt, bleibt der INT-Pin offen.

3.4.3 Layoutentwurf und Routing

Unter diese Phase des Designprozesses fallen vor allem die Platzierung von Komponenten und Verlegung von Leiterbahnen auf der Platine. Dies sind komplexe Prozesse, die später maßgeblichen Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit einer Baugruppe haben. Es bedarf einiger Erfahrung eine Platine mit mehreren hundert Komponenten und Leiterbahnen zu entwickeln, die sowohl all den physischen als auch den elektrischen Anforderungen entspricht. Als Neueinsteiger in die Kunst des *PCB Designs* kann die Entwicklung durchaus erfolgreich verlaufen, wenn grundlegende Regeln und bewährte Verfahren angewandt werden und auf die Erfahrung der Hardwareentwickler zurückgegriffen werden kann. Das *PCB Design Tutorial*[11] von David L. Jones beinhaltet eine kompakte Einführung in das Thema und diente als Referenz für die Platinenentwicklung. Kapitel 4.2 beinhaltet das fertige Layout des *Color Controllers*.

1. Festlegung der Platinengröße (*Board Cut Out*)

2. Festlegung des Lagenaufbaus (*Layering*)
3. Bestimmung der Flächen mit Platzierungseinschränkungen (*Keep Outs*)
4. Platzierung der Bauelemente (*Layout*)
5. Verbinden der Bauelemente (*Routing*)
6. Design Rule Check (DRC)

Das *Board Cut Out* stellt die endgültige Platinengröße dar und ist an das zuvor ausgewählte Aluminiumkleingehäuse (Kap. 3.4.1) angepasst. Der verwendete 4-Lagen Aufbau ermöglicht Leiterbahnen und Bauteile auf der Top- und Bottomlage und beinhaltet Kupferflächen für *Power* in den Zwischenlagen. *Keep Outs* stellen Flächen dar, auf denen Einschränkungen bezüglich Leiterbahnen und Bauteilplatzierungen gelten. Diese sollten so früh wie möglich ermittelt und im Programm kenntlich gemacht werden, so dass sie bei der Entwicklung mit berücksichtigt werden können. So dürfen zum Beispiel auf den beiden Seitenflächen der Platine, die später durch die Führungsschiene des Gehäuses geschoben werden, keine Bauteile und Leiterbahnen liegen. Aus den Bauelementen und Verbindungen des Schaltplans werden Netzlisten generiert. Sie enthalten eine textuelle Beschreibung der Bauelemente und der elektrischen Verbindungen zwischen Bauelementen. Die Verbindung von Komponenten, die miteinander elektrisch konnektiert werden müssen, wird in der Software graphisch dargestellt und kann so bei der Anordnung der Bauteile helfen. Hierbei findet die Platzierung in *PADS Layout* und die Leiterbahnverlegung in *PADS Router* statt. Der DRC hilft dem Entwickler, Fehler auf der Platine, wie z.B. zu nah beieinander liegende Bauteile, nicht angeschlossene Pins oder Missachtung von *Keep Outs* aufzudecken. In einem iterativen Prozess werden die letzten drei Schritte so oft wiederholt, bis alle Bauteile auf der Platine richtig gesetzt und elektrisch verbunden sind. Der DRC darf keine Fehler mehr anzeigen.

3.4.4 Bearbeitung des Gehäuses

Auf der Frontblende des *Color Controllers* werden Aussparungen für die USB-Buchse (Mini-B) und zwei Status- bzw. Kalibrierungs-LEDs vorgesehen. Die Oberseite des Gehäuses erhält 16 Öffnungen, durch welche später die Lichtwellenleiter geführt werden. Um diese vor Verletzungen und schneller Abnutzung, bedingt durch die scharfen Kanten des Aluminiumgehäuses, zu schützen, werden Knickschutztüllen verwendet. Abb. 8 zeigt das 3D-Modell des bearbeiteten Gehäuses, inklusive Knickschutztüllen und eingebauter Platine. Das Modell wurde mit der Software *SolidWorks*¹⁴ und der Hilfe eines Mitarbeiters aus der Hardwareabteilung erstellt. So konnte bereits vor der tatsächlichen Bearbeitung des Gehäuses validiert werden, ob Gehäuse und Platine kompatibel

¹⁴CAD-Software, mit der parametrische Modelle und Zeichnungen erzeugt werden können

zueinander sind. Die Pläne, mit denen die Frontblende und die Gehäuseoberseite entsprechend zugeschnitten wurden, können in Kapitel 4.4 eingesehen werden.

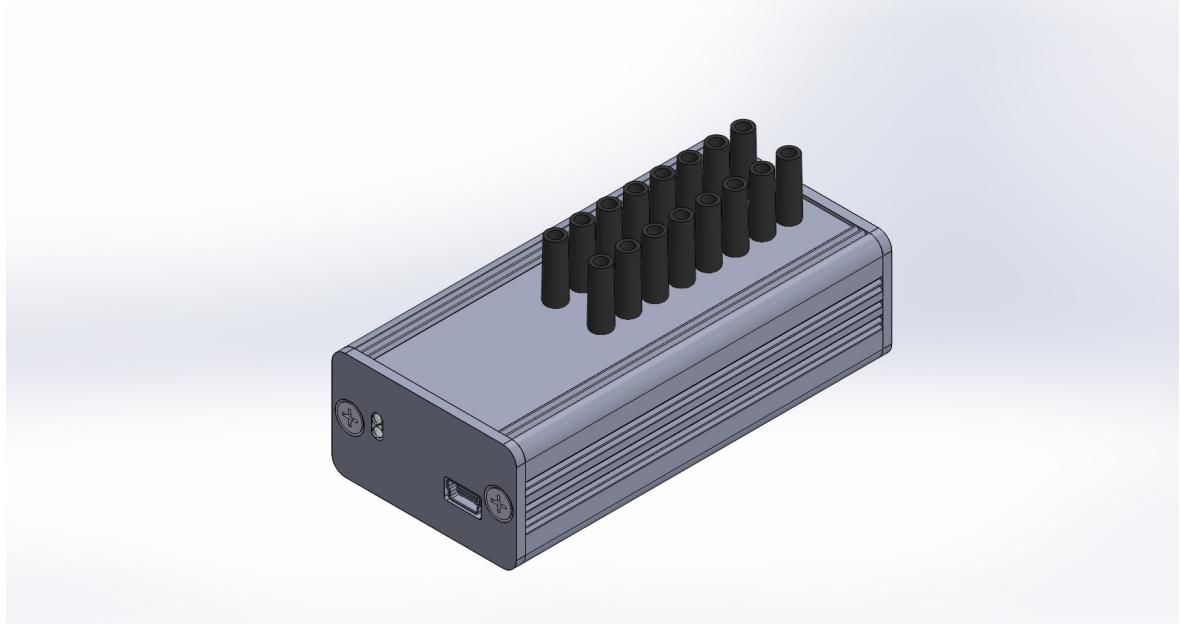
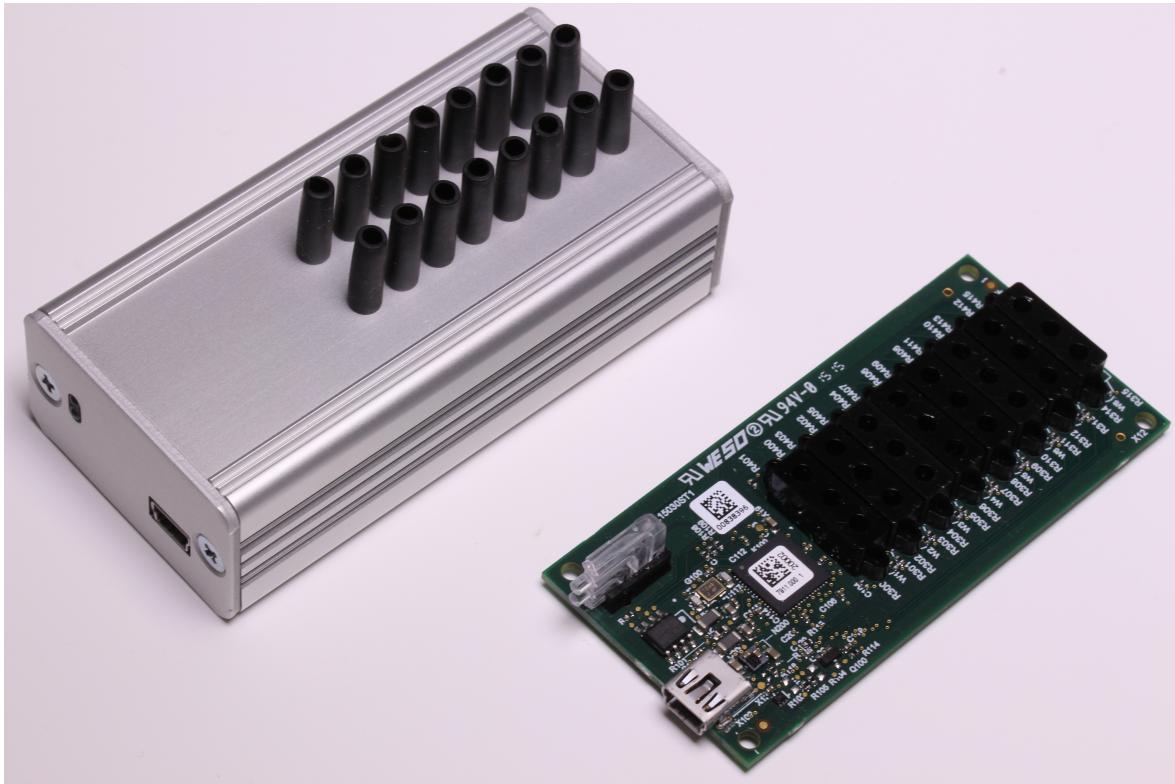


Abbildung 8: 3D-Modell des *Color Controllers*

3.4.5 Erstellung der Fertigungsunterlagen

Nach Fertigstellung des Layouts werden die Fertigungsunterlagen[15] erstellt, auf deren Grundlage die Hilscher-eigene Fertigung die Platinen bestellt, bestückt und testet. Das *Panel* beinhaltet 9 Platinen und ermöglicht so die gleichzeitige Bestückung von 9 Baugruppen im SMD-Lötprozess. Der Nutzenplan befindet sich im Anhang (Kap. 4.3). Die Hardwareabteilung von Hilscher stellt ein umfangreiches Dokument[13] zur Verfügung, in dem alle relevanten Schritte für die Erstellung der Unterlagen beschrieben sind. Unter anderem werden Gerber-Dateien¹⁵, Materiallisten, XY-Daten und Bestückungspläne generiert. XY-Daten geben dem SMD-Bestückungsautomaten die genaue Position und die Ausrichtung eines Bauteils aus der Materialliste vor. Der Bestückungsplan für die SMD-Fertigung enthält alle Bauteile, die im SMD-Lötprozess bestückt werden. Der Plan für die Fertigung enthält zusätzlich noch weitere Komponenten, wie zum Beispiel die Lichtwellenleiterhalter, die in einem selektiven Prozess auf die Platine montiert werden.

Abbildung 9: *Color Controller*

3.5 Inbetriebnahme der Hardware

Abbildung 9 zeigt die fertige Hardware des *Color Controllers*. Auf der rechten Seite befindet sich die bestückte Platine. Das fertig gebaute Gehäuse mit Platine befindet sich links auf dem Bild. Im nächsten Schritt erfolgt die grundlegende Inbetriebnahme der Hardware. Diese umfasst die Konfiguration des *EEPROMs*, die Generierung eines Treiberpäckchens und Funktionstests.

3.5.1 Konfiguration des *EEPROMs*

Für die Programmierung angeschlossener Speicherbausteine bietet FTDI die frei zugängliche Software *FT_PROG* an. Die Software unterstützt die meisten FTDI-Chips und kann das angeschlossene *EEPROM* über USB lesen, beschreiben und löschen. Hierbei kann der Inhalt des Speichers in Extensible Markup Language (XML) Format gespeichert oder durch ein XML-File, welches mit *FT_PROG* generiert wurde, beschrieben werden. Firmenspezifische Inhalte können hier aufgenommen werden und ermöglichen so individuelle Hardwaredesigns. Neben diesen Einstellungsmöglichkeiten kann das *EEPROM* auch hardwarespezifische Konfigurationen speichern. So kann zum Beispiel der Maximalstrom angegeben werden, den das USB-Gerät verbrauchen darf

¹⁵gängiges Format, um Daten vom Leiterplattenentwurf (CAD-System) zum Herstellungsprozess (CAM-System) zu transferieren

und bei deren Überschreitung automatisch ein *Reset* durchgeführt wird. Die Ausgangstreiber der beiden Kanäle sind jeweils stufenweise von 4mA - 16mA konfigurierbar. Das Aktivieren der *Slow Slew* Funktion schaltet Kondensatoren ein und führt zu einer Verminderung der Flankensteilheit. Weiterhin können die Eingangsstufen der beiden Kanäle mit Schmitt-Triggern versehen werden. Eine genaue Beschreibung von *FT_PROG* und der Einstellungsmöglichkeiten, vor allem in Hinsicht auf die verwendbaren Chips und *EEPROMs*, befindet sich im Benutzerhandbuch von FTDI[6].

Listing 1 zeigt das XML-Template, mit dem das *EEPROM* der neun Baugruppen erfolgreich beschrieben werden kann. Die firmenspezifischen Deskriptoren werden an die Vorgaben von Hilscher angepasst. Hierfür wurden beim Produktmanagement eine eindeutige VID/PID Kombination (siehe Kap. 3.5.2), die Deskriptoren und die Seriennummern angefragt. Hardwarespezifische Konfigurationen wurden unter Einbezug der elektrischen Eigenschaften der Schaltung und der gewünschten Funktionalität der Hardware ermittelt. Wird dieses XML-File (Z. 25 muss entsprechend angepasst werden) ins *EEPROM* geschrieben und der *Color Controller* über USB mit dem PC verbunden, wird jeder Kanal des Geräts als *COLOR-CTRL (Interface 0 bzw. 1)* erkannt.

3.5.2 Erstellung eines Treiberpäckchens

Die Vendor-ID (VID) und Product-ID (PID) dienen dem PC zur eindeutigen Identifikation eines USB-Geräts. Dabei ist die VID eine Firmenkennung, die PID steht für eine bestimmte USB-Gerätekasse. Die Verwendung einer eigenen VID/PID statt der initial von FTDI vergebenen Kennung bringt zwei Vorteile. Das Gerät meldet sich bereits vor der ersten Treiberinstallation als Hilscher Gerät und nicht als Standard FTDI Chip an. Darüber hinaus findet die VID/PID Kombination in der Software für die eindeutige Identifikation eines *Color Controllers* Verwendung. So wird gewährleistet, dass die Software ausschließlich mit den dafür vorgesehenen Geräten kommuniziert. Wird ein USB-Gerät mit dem PC verbunden, kann dieser anhand der VID/PID Kombination den passenden Treiber auswählen. Nachdem das *EEPROM* des *Color Controllers* mit einer VID/PID Kombination von Hilscher (0x1939 / 0x0024) beschrieben wurde, können ohne weiteres die bisher eingesetzten FTDI-Tools, wie *FT_PROG*, nicht mehr benutzt werden. Der PC erkennt die neue VID/PID Kombination nicht und weiß somit nicht, welchen Treiber er zu verwenden hat (siehe Abb. 10). Die Entwicklung eines eigenen Treiberpäckchens kann dieses Problem beheben und umfasst folgende Schritte:

1. Auswahl des neuen Treibers (*libusbK*)
2. Generierung der benötigten Bibliotheken und Dateien
3. Anpassung der Konfigurationsfiles auf Hilschers VID/PID Kombination
4. Zusammenführung aller Dateien in einer ausführbaren Installationsdatei

Bei der Kommunikation zwischen *Color Controller* und PC bietet es sich an, vom FTDI-Treiber wegzugehen und stattdessen eine Open Source Lösung zu verwenden. Die Applikation ließe sich deutlich flexibler gestalten, wenn die Abhängigkeit von einem kommerziellen Hersteller entfällt, Quellcode frei zugänglich ist und bei Bedarf angepasst werden kann. In dieser Hinsicht ist *libusbK*¹⁶ mehr als nur eine Alternative zum Angebot von FTDI. *libusbK* unterstützt Windows XP und höher und bietet eine umfangreiche Open Source Bibliothek mit einer sehr gut dokumentierten API für die Kommunikation zu USB-Geräten. Seine Funktion wurde mithilfe mehrerer Versuchsaufbauten mit FT2232H und den Farbsensoren validiert und bestätigt.

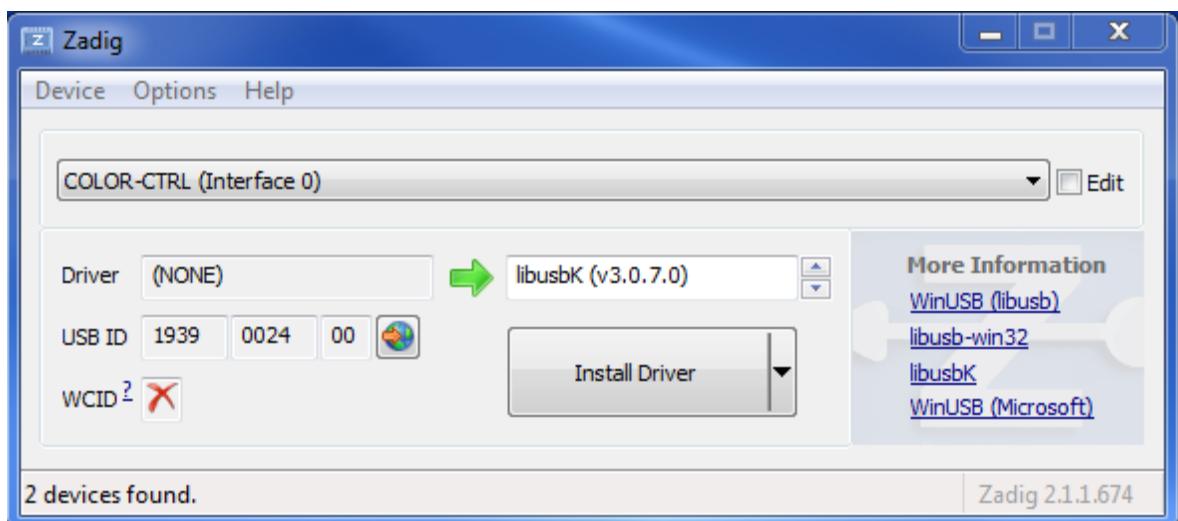


Abbildung 10: *Zadig*

*Zadig*¹⁷ ist eine Windows Applikation, mit der generische USB-Treiber, wie z.B., *WinUSB* oder *libusbK*, installiert werden können. Sie bietet eine einfache GUI an, um vorhandene Gerätetreiber durch neue zu ersetzen. Die Evaluierung eines neuen Treibers in Bezug auf den FT2232H konnte so relativ einfach durchgeführt werden, indem verschiedene Treiber mithilfe von *Zadig* installiert und anschließend getestet wurden. Weiterhin kann *Zadig* alle erforderlichen Bibliotheken und Konfigurationsfiles eines Treibers extrahieren. So konnte auch *libusbK* extrahiert werden. In den extrahierten Konfigurationsfiles (je ein *inf*-File pro FTDI Kanal) wird anhand eines VID/PID Eintrags die Hardware hinzugefügt, die über *libusbK* angesprochen werden soll. Listing 2 enthält den relevanten Ausschnitt aus dem Konfigurationsfile für den ersten Kanal.

Anschließend wird die ausführbare Installationsdatei erstellt. Sie soll erkennen, ob ein x86 oder AMD64 Betriebssystem vorliegt und dementsprechend den *libusbK* Treiber installieren. FTDI beschreibt die Generierung der Installationsdatei in einer Anleitung[10]. Alle erforderlichen und bzgl. VID/PID angepassten Dateien des *libusbK* Treibers wer-

¹⁶<http://libusbk.sourceforge.net/UsbK3/index.html>

¹⁷<http://zadig.akeo.ie/>

den mit dem *FreeExtractor*¹⁸ zu einer ausführbaren Installationsdatei zusammengepackt. Die Unterscheidung des Betriebssystems (x86 / AMD64) wird hierbei von *dp-chooser.exe* übernommen, das bei der Ausführung der Installationsdatei automatisch ausgeführt wird.

Fazit Das erstellte Treiberpäckchen wurde in Verbindung mit dem *Color Controller* getestet und erfüllt seinen Zweck. Zwei Aspekte können aber noch verbessert werden. Zum einen benötigt die Installation Administratorrechte. Wird die Installation nicht als Administrator ausgeführt, bricht sie mit einer Fehlermeldung ab, aus der leider nicht ersichtlich wird, dass es an den fehlenden Rechten liegt. Zum anderen werden bei der Ausführung Warnungen bezüglich einer fehlenden Treibersignierung ausgegeben. Obwohl keine schädliche Software vorliegt, lassen die Meldungen den Treiber im ersten Moment verdächtig und unprofessionell aussehen. Diese Probleme können behoben werden, indem die *Driver & OS* Abteilung von Hilscher eine Signierung vornimmt. Bevor das jedoch in Anspruch genommen wird, erfolgen weitere Funktionstests. Eine unnötige Signierung soll vermieden werden.

3.5.3 Funktionstests

Die Hardware kann, sobald die Kommunikation über einen passenden Treiber vorliegt, grundlegend getestet werden. Einige Tests wurden bereits im Verlauf der Inbetriebnahme (Kap. 3.5) implizit durchgeführt. Der PC konnte beide FTDI-Kanäle eines über USB angeschlossenen *Color Controllers* erkennen. Des weiteren wurde das angeschlossene *EEPROM* mithilfe des FT2232H erfolgreich erkannt, gelesen und beschrieben.

Ein Kommandozeilenprogramm wird dazu benutzt die Funktion der Sensoren zu verifizieren. Die detaillierte Erklärung der Softwareroutinen würde den Rahmen des Praktikumsberichts sprengen und ist unter anderem Thema der Bachelorarbeit. Zusammenfassend kann das Programm einen angeschlossenen *Color Controller* erkennen, öffnen und anhand der RGBC-Messwerte die dominante Wellenlänge, Beleuchtungsstärke¹⁹ (LUX) und Sättigung der 16 Farbsensoren berechnen. Bevor Farbmessungen stattfinden, wird durch entsprechende Registerabfragen ermittelt, ob die Farbsensoren über I2C ansprechbar, Farbumwandlungen (ADC) abgeschlossen und die in den Farbregistern liegenden Werte gültig sind.

Abbildung 11 zeigt ein Screenshot des ausgeführten Programms. Hierbei wird beispielhaft die gelbe Kalibrations-LED (s. Kap. 3.4.2) mithilfe eines LWLs am ersten Messkanal des Geräts gemessen. Alle weiteren Messkanäle bleiben unbeschaltet. Die dominante Wellenlänge der getesteten LED ist im Datenblatt[2] mit 588.5 nm - 591.5

¹⁸<http://freeextractor.sourceforge.net/FreeExtractor/>

¹⁹Die Beleuchtungsstärke gibt an, welcher Lichtstrom auf eine Flächeneinheit fällt

```
C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer>cd C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer\modules\led_analyzer
C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer\modules\led_analyzer>"C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer\testfolder_64\lua\lib\lua-5.1.4\lua.exe" device_test.lua
Scanning device 0
Manufacturer: Hilscher, Description: COLOR-CTRL, Serial: CoCo20003
Number of Color Controllers found: 1

Connecting to device 0 - CoCo20003
color controller 0 Channel A - open succeeded
enabling MPSSE mode on device 0 Channel A
color controller 0 Channel B - open succeeded
enabling MPSSE mode on device 0 Channel B

gain setting successfully sent to all sensors on device 0.
integration time setting successfully sent to all sensors on device 0.
Initializing successful on device 0.

----- Device 0 -----
Conversions complete.
All gain settings ok.
RGBC datasets valid.
Colors - Device 0
dominant wavelength    sat      LUX
1> 589 nm        100.00   96.587
2> 0 nm          0.00     5.405
3> 0 nm          0.00     5.249
4> 0 nm          0.00     4.900
5> 0 nm          0.00     4.863
6> 0 nm          0.00     4.657
7> 0 nm          0.00     5.037
8> 0 nm          0.00     5.056
9> 0 nm          0.00     4.726
10> 0 nm         0.00     5.212
11> 0 nm         0.00     4.813
12> 0 nm         0.00     5.143
13> 0 nm         0.00     5.143
14> 0 nm         0.00     5.075
15> 0 nm         0.00     5.318
16> 0 nm         0.00     4.308

Number of handles to delete: 2
Freeing handle # 0 on device # 0
Freeing handle # 1 on device # 0
C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer\modules\led_analyzer>PAUSE
Drücken Sie eine beliebige Taste . . .

```

Abbildung 11: Screenshot - Messung der Kalibrations-LED

nm (typ. 590 nm) angegeben, die Messung liefert 589 nm. Fällt die Beleuchtungsstärke unter einen bestimmten Wert, kann davon ausgegangen werden, dass der Messkanal mit keiner LED verbunden ist. So ist, bedingt durch die Verwendung eines Gehäuses, eine gute Unterscheidung zwischen der Messung einer LED und der Messung von Umgebungslicht möglich. Auf diese Weise werden alle weiteren Farbsensoren des *Color Controllers* nacheinander getestet. Anschließend werden die Messungen mit der grünen Kalibrations-LED wiederholt. Der erfolgreiche Einzeltest jedes Farbsensors schließt Kurzschlüsse, Übersprechen und eine mögliche Überstrahlung des LED-Lichts zwischen benachbarten Farbsensoren aus.

Anschließend wird geprüft, ob eine gleichzeitige Farberfassung mit allen 16 Farbsensoren möglich ist. Hierfür wird eine Experimentierplatine mit einem FT2232H gelötet. Bei dieser sind 16 Duo-LEDs an die I/O-Pins des Chips angeschlossen, welche jeweils rotes, grünes, und wenn rote und grüne LED gleichzeitig angesteuert werden, gelbes

Licht ausstrahlen können. Informationen bezüglich Wellenlänge und Lichtstärke sind im Datenblatt der Duo-LED[12] zu finden. Die Messkanäle des *Color Controllers* werden mit den Duo-LEDs der Experimentierplatine über LWL verbunden und das zuvor beschriebene Kommandozeilenprogramm wird gestartet. Der Versuchsaufbau und ein Screenshot der Messung der befindet sich im Anhang (4.5).

3.6 Rückverfolgung der Anforderungen

Tabelle 5 veranschaulicht die Anforderungen, die im Rahmen der Anforderungserfassung des Projekts *Color Controller* gesammelt wurden. Die letzte Spalte fasst zusammen, wie die gestellten Anforderungen im Projekt umgesetzt wurden.

Typ	Anforderung	Umsetzung
Funktional	Verbindungsmöglichkeit über USB	FTDI
	Gleichzeitige Verwendung mehrerer Geräte	FTDI + EEPROM
	Vorhersagbare und konfigurierbare Reihenfolge bei der Geräteverbindung	EEPROM
	Messung der dominanten Wellenlänge und Helligkeit (Referenz LED Datenblatt)	TCS3472
	Hinreichend schnelle Messungen mit mehreren Messkanälen	Software-I2C TCS3472
	Integrationsmöglichkeit in die eigene Testumgebung	USB
Nicht Funktional	Hohe Stabilität und Lebensdauer	Gehäuse
	Zuverlässigkeit der Hardware	Gehäuse Platinenlayout
	Kompakte Größe und Bauform	✓
Budget	Richtwert 100€ pro Endgerät	✓

Tabelle 5: Umsetzung der Anforderungen

Die Anbindung über USB wird durch den FTDI-Chip ermöglicht und erlaubt so den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Geräte. Mithilfe des externen *EEPROMs* können diese auch mit einer konfigurierbaren Reihenfolge geöffnet werden. Der eingesetzte TCS3472 ermöglicht schnelle, genaue und in Verbindung mit Software I2C parallele Farbmessungen mit 16 Sensoren. Mit einer variabel einstellbaren Messzeit, die zwischen 2ms und 700ms liegt, wird auch der geforderte Zeitfaktor eines LED-Tests mitberücksichtigt. Störendes Umgebungslicht kann durch den Einsatz des Gehäuses und der Lichtwellenleiterhalter minimal gehalten werden. Die Messwerte des Sensors (RGBC) erlauben eine indirekte Berechnung der dominanten Wellenlänge und Helligkeit. Die Erläuterung der Berechnungsalgorithmen erfolgt in der Bachelorarbeit. Der ausschlaggebende Grund, der die Entwicklung des *Color Controllers* ursprünglich initiierte, war der unverhältnismäßig hohe Preis des zuvor eingesetzten LED Analysers von Feasa. Die Materialkosten

des *Color Controllers* mit 16 Messkanälen betragen ca. 85 €. Die Vorgabe für das Budget wurde also schon bei der Prototypenfertigung, die im Normalfall um einiges teurer ist als das endgültige Produkt, eingehalten. Im Vergleich kostet die Lösung von Feasa mit 20 Messkanälen und einem Preis von 1300 € mehr als das 15-fache. Um eine genaue Aussage bezüglich der geforderten Stabilität und Lebensdauer treffen zu können, muss sich der *Color Controller* durch den Einsatz in der vorgesehenen Testumgebung beweisen. Diesbezüglich wird die Applikation jedoch sicherlich von den qualitativ hohen Ansprüchen der Hardwareabteilung und Fertigung von Hilscher profitieren. Mit der Umsetzung aller Projektanforderungen, ist die Hardwareentwicklung erfolgreich abgeschlossen worden.

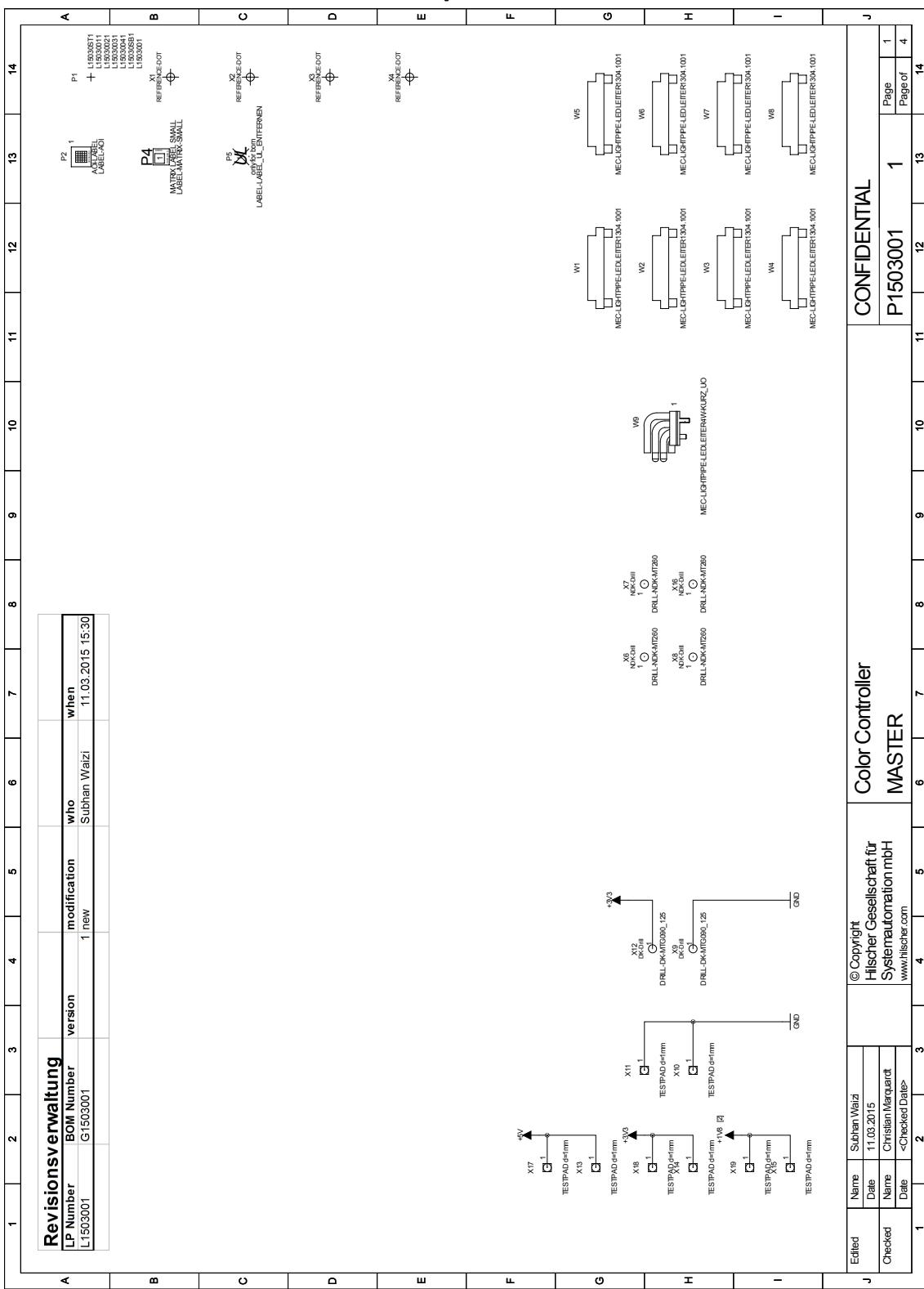
3.7 Aussicht

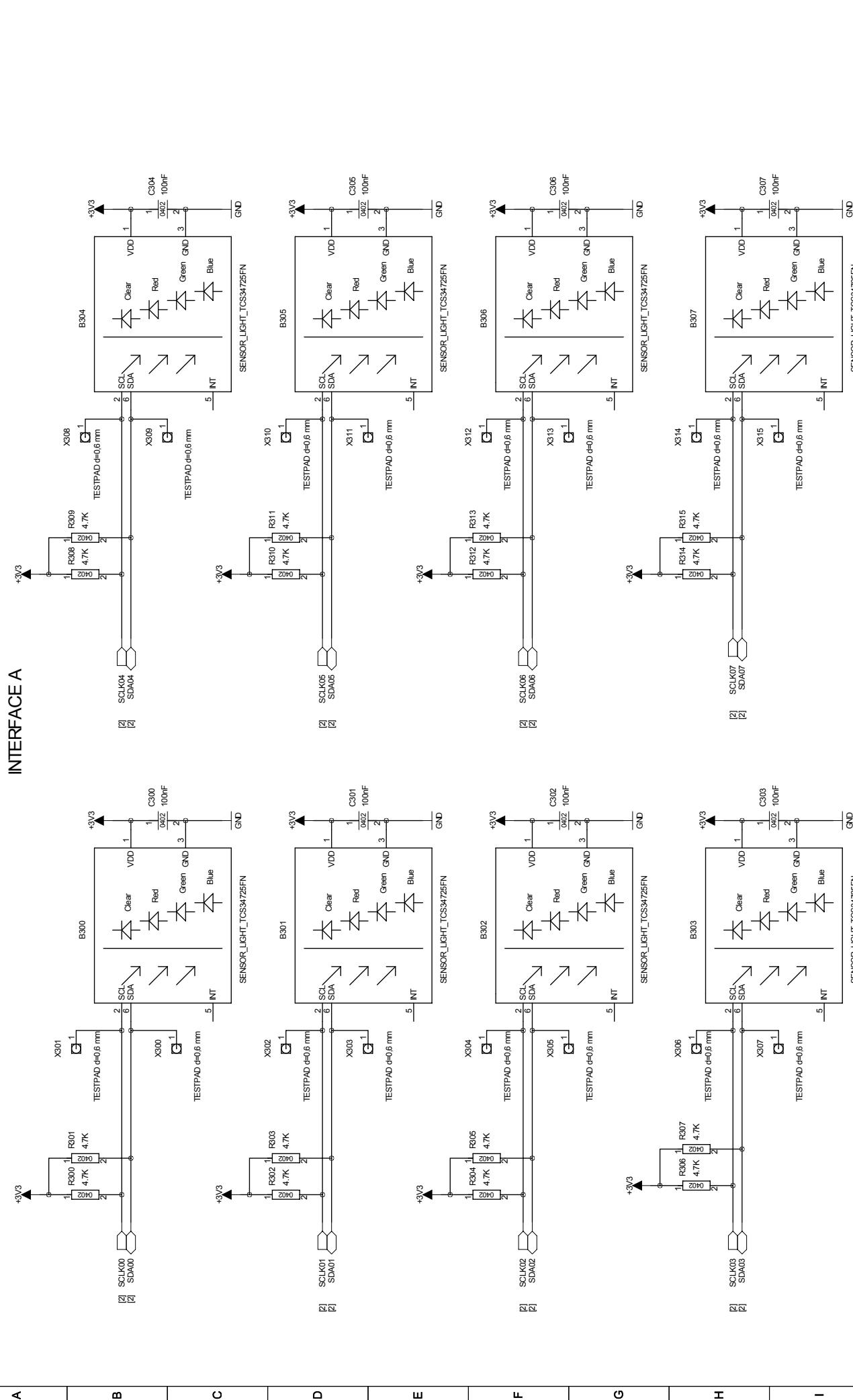
Die Fertigstellung einer funktionstüchtigen und getesteten Hardware bietet die Grundlage für die Softwareentwicklung, die im Rahmen der Bachelorarbeit bearbeitet wird. Diese wird aus mehreren größeren Teilpaketen bestehen. Ein Gerätetreiber wird erläutert, der mit den Farbsensoren über Software I2C effizient kommuniziert und die gewonnenen Messdaten zum PC weiterleitet. Es werden Algorithmen vorgestellt, die aus den rohen RGBC Messwerten des Sensors genaue Werte für dominante Wellenlänge und Helligkeit berechnen können. Ein Testprogramm soll später in der automatisierten Testumgebung von Hilscher eingesetzt werden können. Hierfür wird ein grundlegendes Konzept für den LED-Test entwickelt. Der Test soll LEDs auf den zu prüfenden Platinen stimulieren und die detektierte Farbe mit einem Soll-Wert vergleichen. Eine GUI Applikation zielt auf den Einsatz bei händischer Bedienung im Labor und soll die gelesenen Farbwerte der angeschlossenen Geräte anzeigen.

Die Testabteilung von Hilscher bereitet momentan einen Testadapter vor, der zum Testen einer neuen Kundenbaugruppe eingesetzt werden soll. Die zu testende Baugruppe sieht u.a. einen automatisierten Test der Leuchtdioden vor. Aus diesem Grund wird der *Color Controller* in der Entwicklung des Testadapters mit eingeplant. Es wurden bereits Gespräche mit den Verantwortlichen aus der Testabteilung geführt, aus denen relevante Testparameter und Art des eingesetzten *netX* Controllers in Erfahrung gebracht wurden. So konnte bereits eine erste Vorstellung über den Testadapter und den vorgesehenen LED-Test gewonnen werden. Der geplante Einsatz des *Color Controllers* dient gleichzeitig als Motivation für eine Software, die erfolgreich im Testadapter eingesetzt werden kann.

4 Anhang

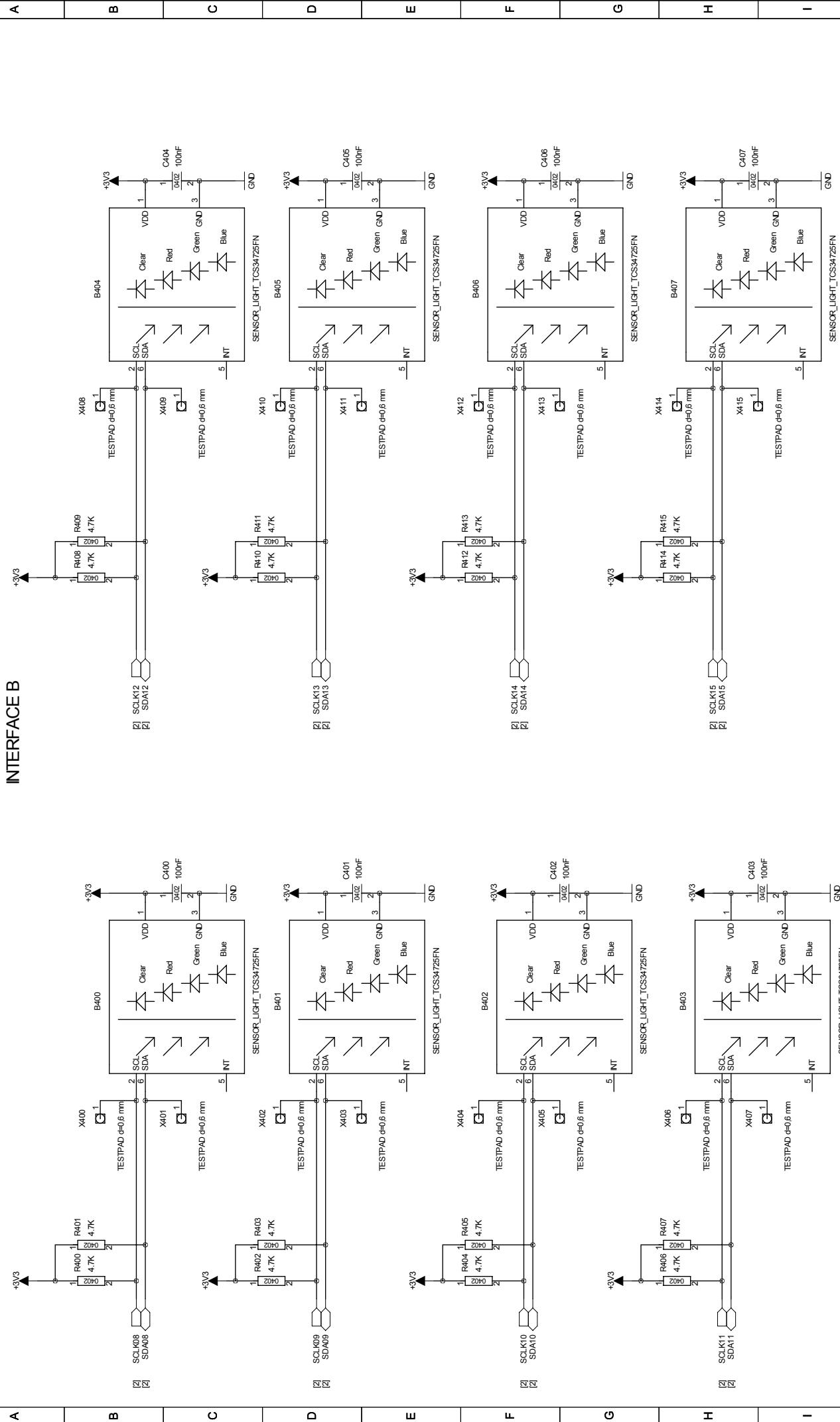
4.1 Color Controller - Schaltplan





J	CONFIDENTIAL											
P1503001	1			Page 3			Page 4					
Edited	Name	Date	Subbian Maiž	Name	Date	Christian Marquardt	Name	Date	<Checked Date>	Page 3	Page 4	
Checked												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----



Color Controller
COLOR_SENSORS_B

CONFIDENTIAL

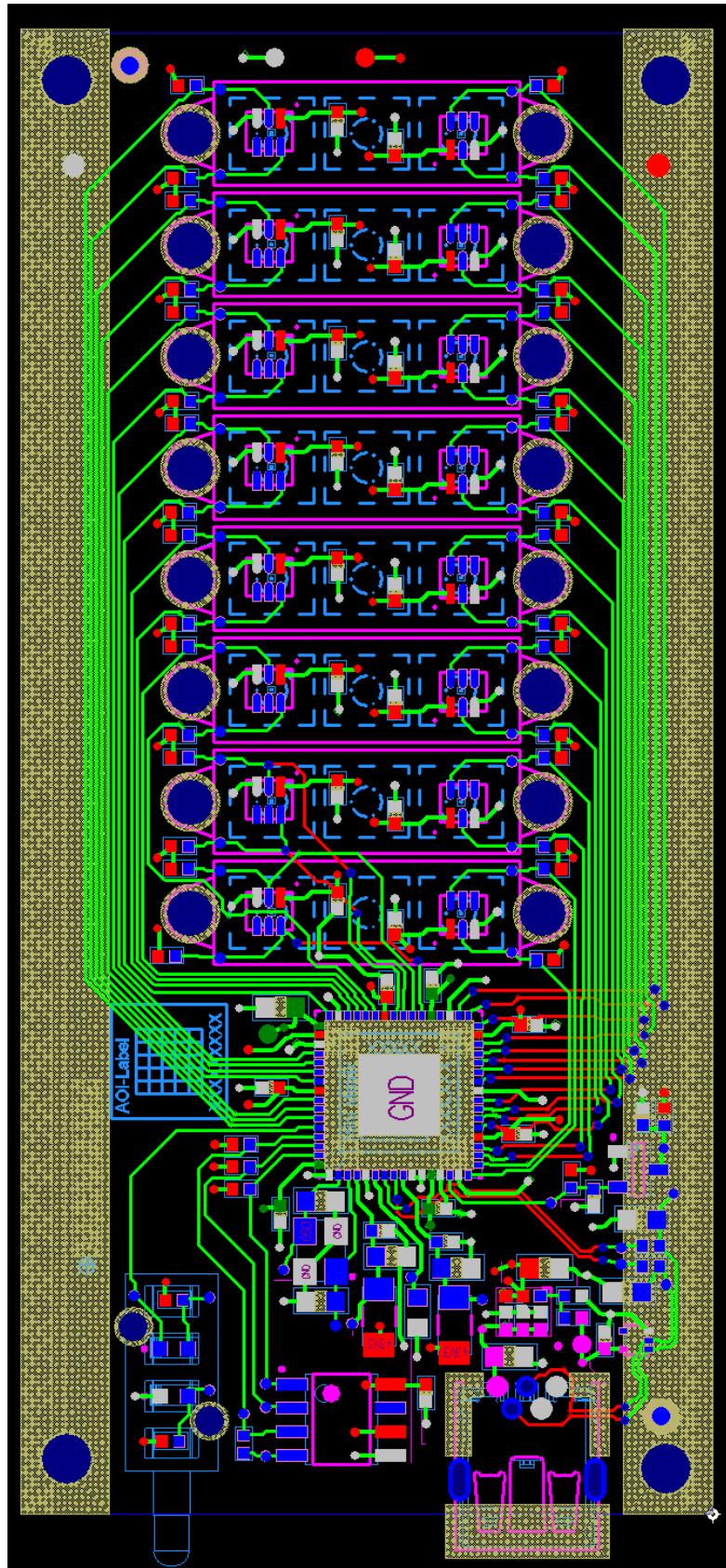
P1503001 1 Page 4
Page of 4

Edited	Name	Subhan Waiz	© Copyright
	Date	11.03.2015	Hilscher Gesellschaft für
Checked	Name	Christian Marquardt	Systemautomation mbH
	Date	<Checked Date>	www.hilscher.com

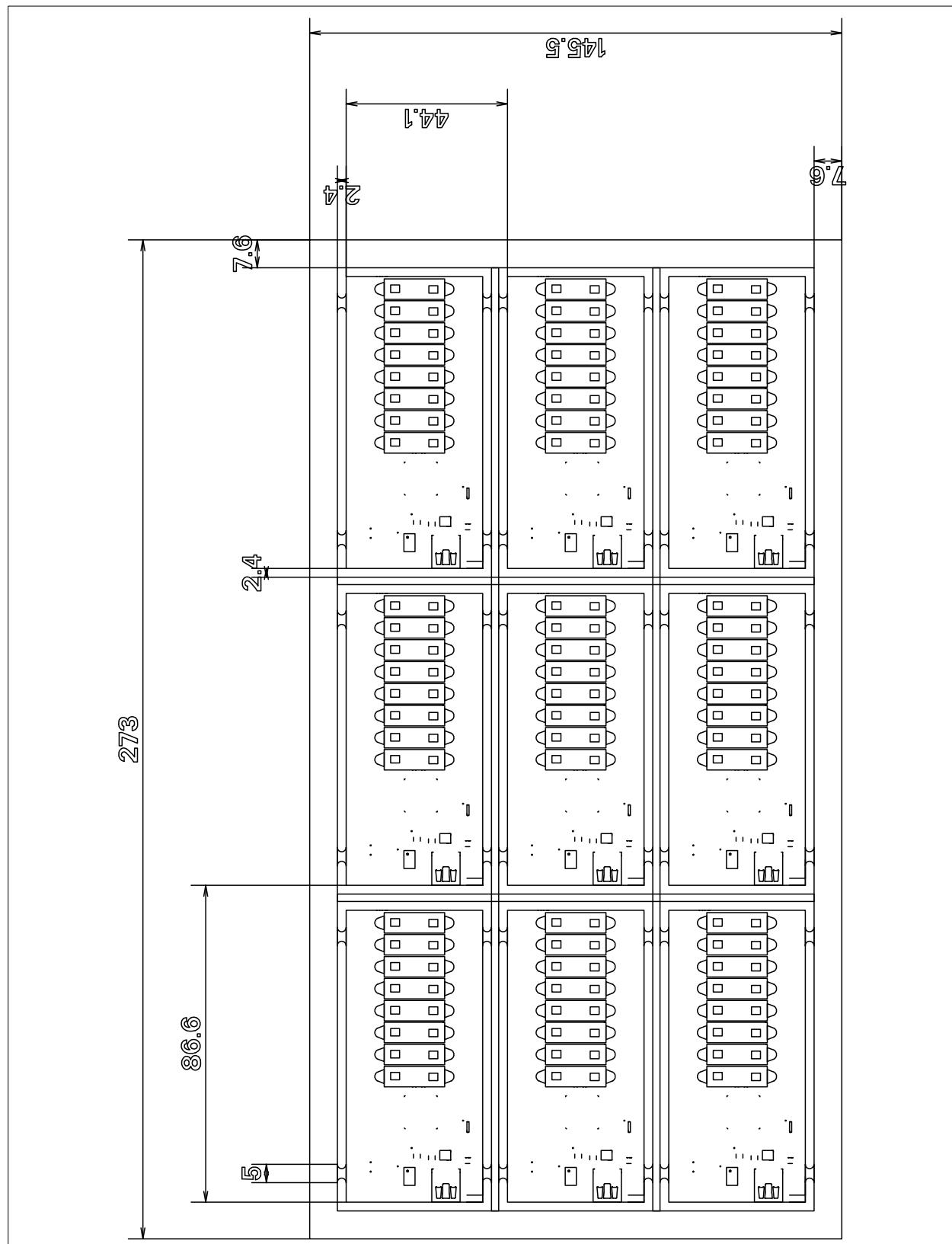
J

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

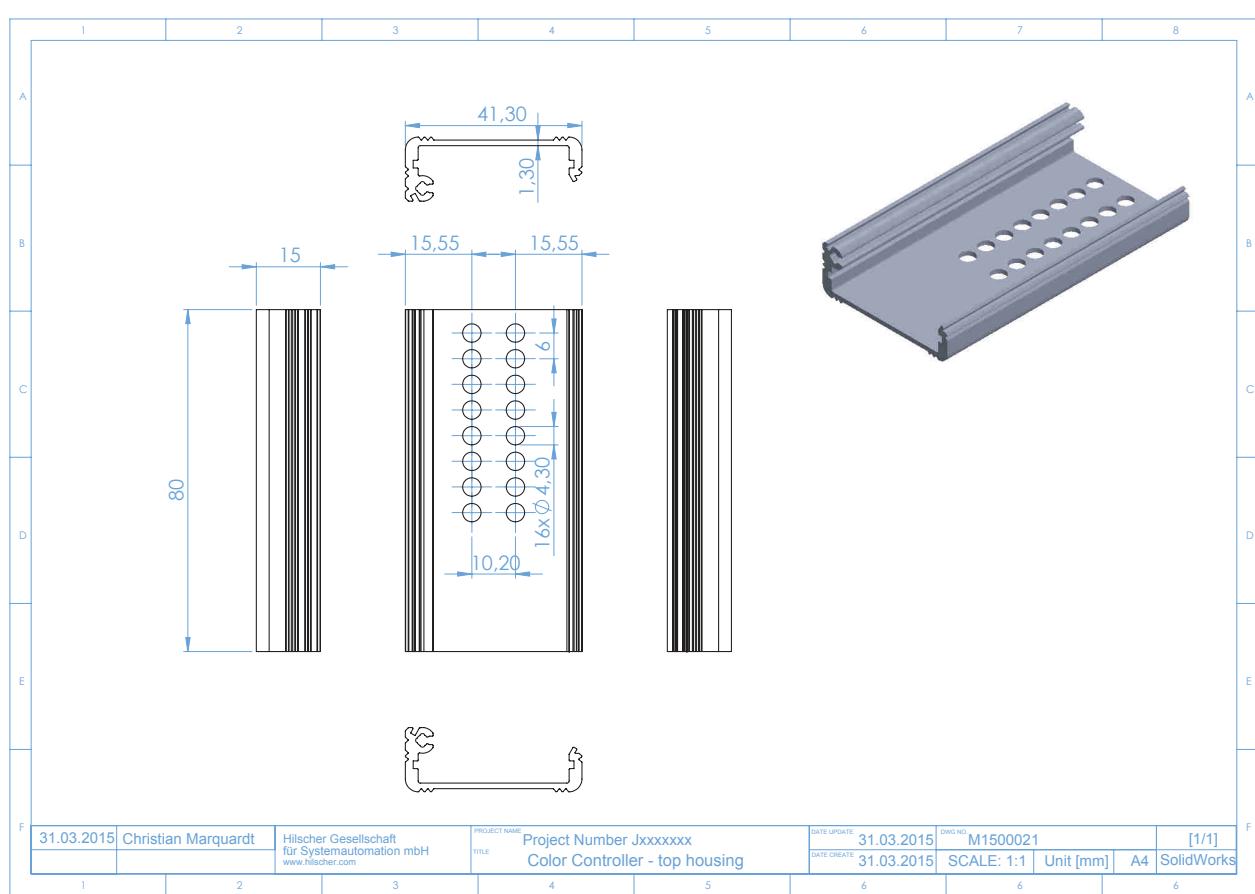
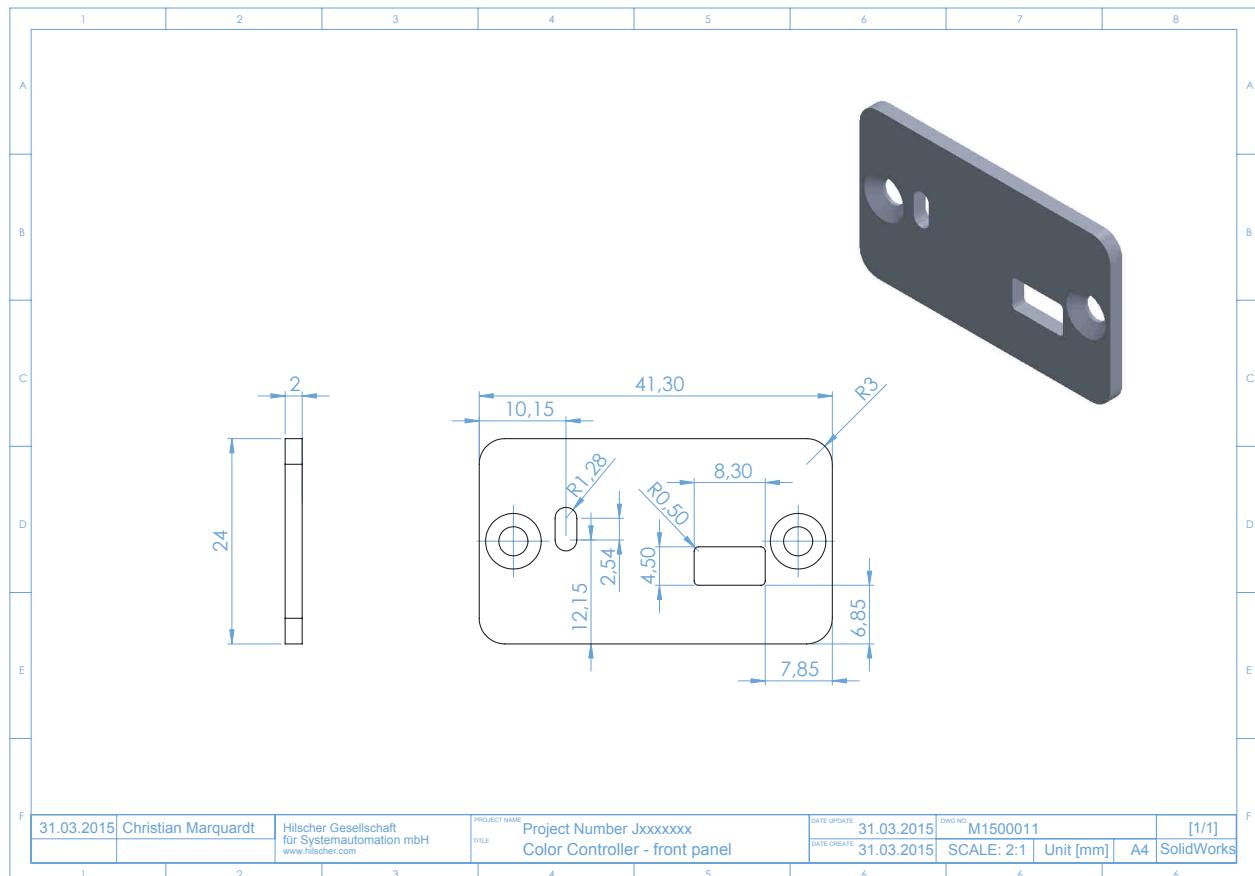
4.2 Color Controller - Layout



4.3 Color Controller - Nutzenplan



4.4 Color Controller - CAD-Plan Gehäuse



4.5 Versuchsaufbau - Parallele Messung mit 16 Sensoren

Abbildung 12 veranschaulicht den Versuchsaufbau für die parallele Farberfassung mehrerer LEDs. Hierbei sind alle 16 verfügbaren Messkanäle des *Color Controllers* über LWL mit den Duo-LEDs der Experimentierplatine verbunden. Auf dem Experimentierboard werden die grünen LEDs angesteuert. Diese sind im Datenblatt[12] als *Green* aufgeführt. Anschließend wird die Messung mit dem in Kapitel 3.5.3 beschriebenen Programm gestartet. Abbildung 13 zeigt einen Screenshot der Messung.

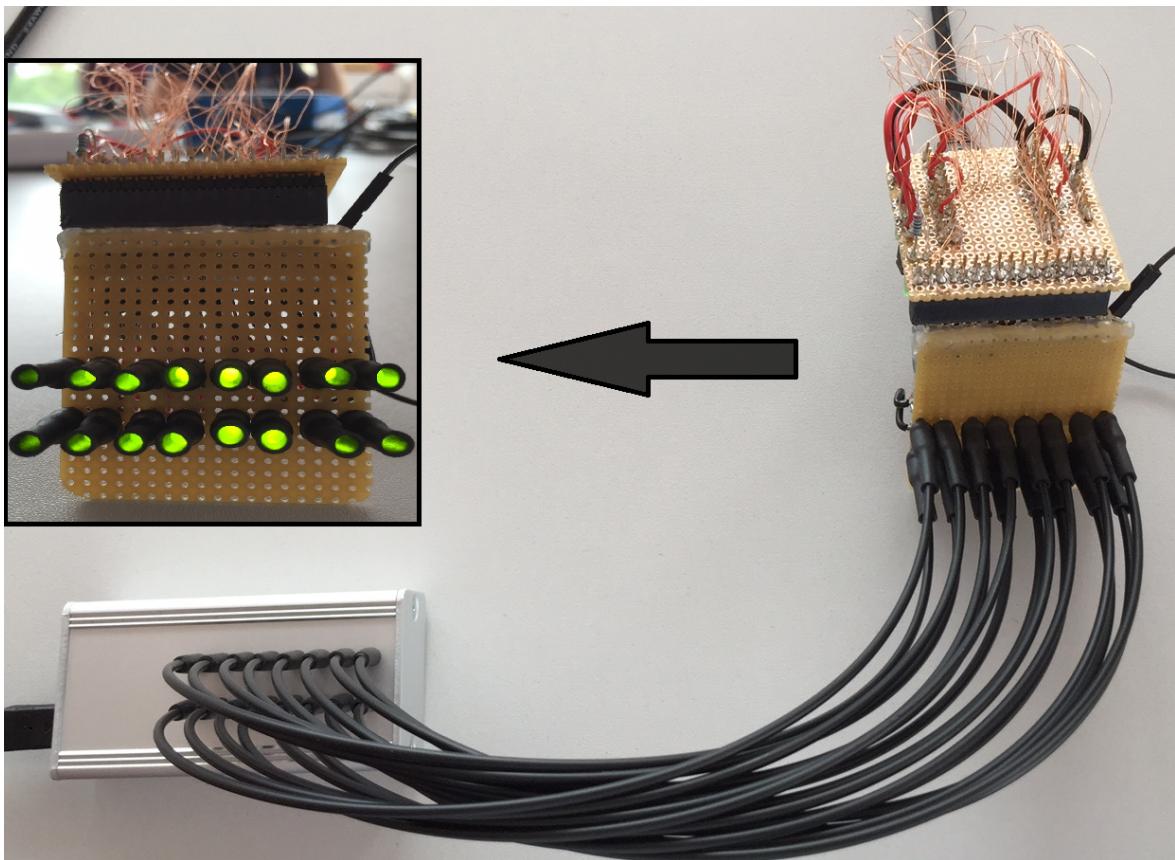
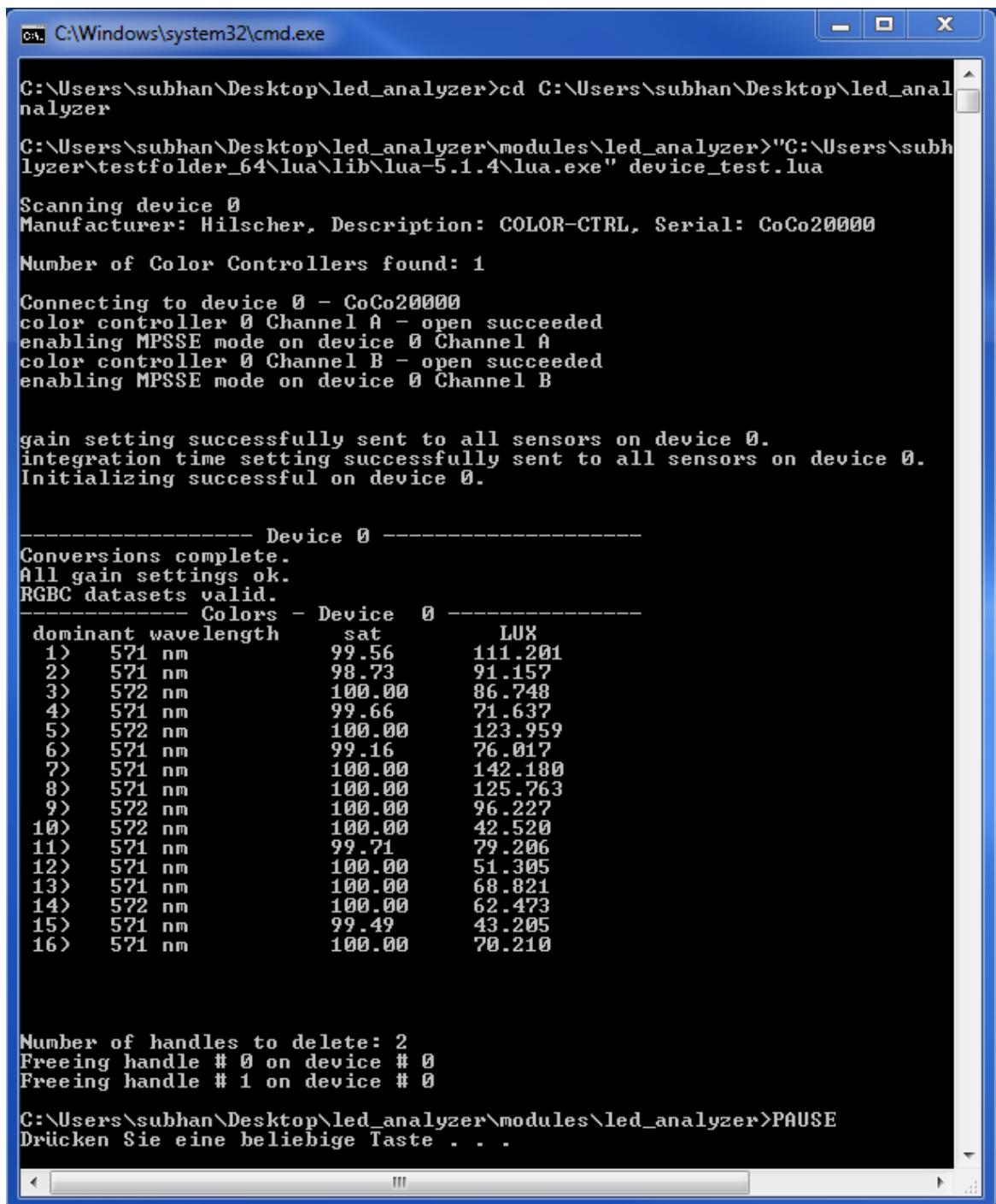


Abbildung 12: Versuchsaufbau - parallele Messung mit 16 Sensoren

Die Schwankungen zwischen den Messkanälen in Bezug auf dominanter Wellenlänge und Sättigung sind minimal. Die erfassten dominanten Wellenlängen liegen zwischen 571 nm und 572 nm, die Sättigungen erreichen nahezu alle 100%. Größere Abweichungen sind bei der Beleuchtungsstärke (Lux) zu vermerken. Einerseits lassen Toleranzen bei den verwendeten Widerständen Abweichungen im Vorwärtsstrom der LED zu, der sich wiederum auf seine Helligkeit auswirkt. Einen größeren Einfluss hat hier jedoch die Platzierung der Lichtwellenleiter an den LEDs. Wird der LWL mittig auf dem LED-Kopf angesetzt, nimmt der Messkanal, bedingt durch die räumliche Verteilung des abgestrahlten Lichts, größere Helligkeitswerte auf als bei einer seitlichen Platzierung. So misst zum Beispiel der siebte Messkanal in Abb. 13 mit 142 Lux mehr als drei mal so hohe Werte für die Beleuchtungsstärke, als der zehnte Messkanal. Der Ver-

suchsaufbau verbindet die Messkanäle mit den LEDs, gewährleistet jedoch nicht, dass alle Lichtwellenleiter an einer einheitlichen Stelle des LED-Kopfes befestigt sind. In der endgültigen Testumgebung (z.B. Testadapter) wird durch Fixierung der LWL eine einheitliche Positionierung zum LED-Kopf erreicht. Auf diese Weise können Schwankungen in der gemessenen Beleuchtungsstärke reduziert werden.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer>cd C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer>"C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer\modules\led_analyzer\device_test.lua"
Scanning device 0
Manufacturer: Hilscher, Description: COLOR-CTRL, Serial: CoCo20000
Number of Color Controllers found: 1
Connecting to device 0 - CoCo20000
color controller 0 Channel A - open succeeded
enabling MPSSE mode on device 0 Channel A
color controller 0 Channel B - open succeeded
enabling MPSSE mode on device 0 Channel B

gain setting successfully sent to all sensors on device 0.
integration time setting successfully sent to all sensors on device 0.
Initializing successful on device 0.

----- Device 0 -----
Conversions complete.
All gain settings ok.
RGBC datasets valid.
----- Colors - Device 0 -----
dominant wavelength      sat      LUX
 1> 571 nm      99.56    111.201
 2> 571 nm      98.73    91.157
 3> 572 nm     100.00    86.748
 4> 571 nm      99.66    71.637
 5> 572 nm     100.00   123.959
 6> 571 nm      99.16    76.017
 7> 571 nm     100.00   142.180
 8> 571 nm     100.00   125.763
 9> 572 nm     100.00    96.227
10> 572 nm     100.00    42.520
11> 571 nm      99.71    79.206
12> 571 nm     100.00    51.305
13> 571 nm     100.00    68.821
14> 572 nm     100.00    62.473
15> 571 nm      99.49    43.205
16> 571 nm     100.00    70.210

Number of handles to delete: 2
Freeing handle # 0 on device # 0
Freeing handle # 1 on device # 0
C:\Users\subhan\Desktop\led_analyzer\modules\led_analyzer>PAUSE
Drücken Sie eine beliebige Taste . . .
```

Abbildung 13: Screenshot - parallele Messung mit 16 Sensoren

4.6 Quellcode

```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-16"?>
2 <FT_EEPROM>
3   <Chip_Details>
4     <Type>FT2232H</Type>
5   </Chip_Details>
6   <USB_Device_Descriptor>
7     <VID_PID>2</VID_PID>
8     <idVendor>1939</idVendor>
9     <idProduct>0024</idProduct>
10    <bcdUSB>USB 2.0</bcdUSB>
11  </USB_Device_Descriptor>
12  <USB_Config_Descriptor>
13    <bmAttributes>
14      <RemoteWakeupEnabled>true</RemoteWakeupEnabled>
15      <SelfPowered>false</SelfPowered>
16      <BusPowered>true</BusPowered>
17    </bmAttributes>
18    <IOpullDown>false</IOpullDown>
19    <MaxPower>150</MaxPower>
20  </USB_Config_Descriptor>
21  <USB_String_Descriptors>
22    <Manufacturer>Hilscher</Manufacturer>
23    <Product_Description>COLOR-CTRL</Product_Description>
24    <SerialNumber_Enabled>true</SerialNumber_Enabled>
25    <SerialNumber>strSerialNo</SerialNumber>
26    <SerialNumberPrefix>FT</SerialNumberPrefix>
27    <SerialNumber_AutoGenerate>false</SerialNumber_AutoGenerate>
28  </USB_String_Descriptors>
29  <Hardware_Specific>
30    <Suspend_DBUS7>false</Suspend_DBUS7>
31    <TPRDRV>0</TPRDRV>
32    <Port_A>
33      <Hardware>
34        <UART>true</UART>
35        <_245FIFO>false</_245FIFO>
36        <CPUFIFO>false</CPUFIFO>
37        <OPTO>false</OPTO>
38      </Hardware>
39      <Driver>
40        <VCP>true</VCP>
41        <D2XX>false</D2XX>
42      </Driver>
43    </Port_A>
44    <Port_B>
45      <Hardware>
46        <UART>true</UART>
```

```
47      <_245FIFO>false</_245FIFO>
48      <CPUFIFO>false</CPUFIFO>
49      <OPTO>false</OPTO>
50  </Hardware>
51  <Driver>
52      <VCP>true</VCP>
53      <D2XX>false</D2XX>
54  </Driver>
55  </Port_B>
56  <IO_Pins>
57      <Group_AL>
58          <SlowSlew>false</SlowSlew>
59          <Schmitt>false</Schmitt>
60          <Drive>8mA</Drive>
61      </Group_AL>
62      <Group_AH>
63          <SlowSlew>false</SlowSlew>
64          <Schmitt>false</Schmitt>
65          <Drive>8mA</Drive>
66      </Group_AH>
67      <Group_BL>
68          <SlowSlew>false</SlowSlew>
69          <Schmitt>false</Schmitt>
70          <Drive>8mA</Drive>
71      </Group_BL>
72      <Group_BH>
73          <SlowSlew>false</SlowSlew>
74          <Schmitt>false</Schmitt>
75          <Drive>8mA</Drive>
76      </Group_BH>
77  </IO_Pins>
78  </Hardware_Specific>
79 </FT_EEPROM>
```

Listing 1: EEPROM Konfigurationstemplate

```
1 [ Strings ]
2 DeviceName = "COLOR-CTRL (Interface 0)"
3 VendorName = "Hilscher"
4 SourceName = "COLOR-CTRL (Interface 0) Install Disk"
5 DeviceID   = "VID_1939&PID_0024&MI_00"
6 DeviceGUID = "{BA394F09-0A47-4170-9759-25560CAA7E4E}"
7
8 [ Version ]
9 Signature   = "$Windows NT$"
10 Class       = "libusbk devices"
11 ClassGuid   = {ECFB0CFD-74C4-4f52-BBF7-343461CD72AC}
12 Provider    = "libusbK"
13 CatalogFile = COLOR-CTRL_(Interface_0).cat
14 DriverVer   = 12/01/2014, 3.0.7.0
```

Listing 2: Ausschnitt des Konfigurationsfiles von libusbK

Literaturverzeichnis

- [1] AMS (Hrsg.): *TCS3472_Datasheet_EN_v2.pdf*. ams, 04 2013. <http://ams.com/eng/Products/Light-Sensors/Color-Sensor/TCS34725>. – Vers. 1.0
- [2] EVERLIGHT ELECTRONICS CO., LTD. (Hrsg.): *17-21-Y2C-AN1P2-3T.pdf*. Everlight Electronics Co., Ltd., 11 2004. http://www.elpro.org/shop/_pdf_products_new/4011.pdf. – Rev. 1
- [3] FEASA ENTERPRISES LIMITED (Hrsg.): *Led Analysator*. Feasa Enterprises Limited, 09 2013. <http://www.feasa.ie/de/PDFs/LED%20ANALYSATOR.pdf>. – Rev. 7
- [4] FROMM, Prof. Dr.-Ing. P. ; KLEINMANN, Prof. Dr.-Ing. K. ; LIPP, Prof. Dr.-Ing. M.: *Skript Software Engineering*. Hochschule Darmstadt, 10 2013. – Rev. 2
- [5] FTDI (Hrsg.): *AN_135_MPSSE_Basics.pdf*. FTDI, 12 2013. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/AppNotes/AN_135_MPSSE_Basics.pdf. – Vers. 1.1
- [6] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD (Hrsg.): *AN_124_User_Guide_For_FT_PROG*. Future Technology Devices International Ltd, 08 2011. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/AppNotes/AN_124_User_Guide_For_FT_PROG.pdf. – Vers. 1.5
- [7] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD (Hrsg.): *DS_FT2232H.pdf*. Future Technology Devices International Ltd, 06 2012. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT2232H.pdf. – Vers. 2.21
- [8] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD (Hrsg.): *DS_FT4232H.pdf*. Future Technology Devices International Ltd, 01 2012. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT4232H.pdf. – Vers. 2.22
- [9] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD (Hrsg.): *DS_FT232H.pdf*. Future Technology Devices International Ltd, 01 2013. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232H.pdf. – Vers. 1.81
- [10] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES INTERNATIONAL LTD (Hrsg.): *TN_149_Create_a_Custom_Driver_Executable.pdf*. Future Technology Devices International Ltd, 08 2013. http://www.ftdichip.com/Support/Documents/TechnicalNotes/TN_149_Create_a_Custom_Driver_Executable.pdf. – Vers. 1.0
- [11] JONES, David L.: *PCBDesignTutorialRevA.pdf*, 06 2004. <http://fac-web.spsu.edu/ecet/dwilcox/ECET2210/Handouts/PCBDesignTutorialRevA.pdf>. – Rev. A
- [12] KINGBRIGHT (Hrsg.): *L-59EGW(Ver.22A).pdf*. Kingbright, <http://www.kingbright.com/attachments/file/psearch/000/00/00/L-59EGW%28Ver.22A%29.pdf>

- [13] MELZER, Matthias: *Erstellung der Fertigungsunterlagen.pdf*. Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH, 06 2012. – Rev. 1
- [14] TEXAS INSTRUMENTS (Hrsg.): *I2C Pullup Resistor Calculation.pdf*. Texas Instruments, 02 2015. <http://www.ti.com/lit/an/slva689/slva689.pdf>
- [15] WAIZI, Subhan: *FU_Color_Controller_Rev1.pdf*. Hilscher Gesellschaft für Systemautomation mbH, 03 2015. – Rev. 1
- [16] WIKIPEDIA: ams AG. http://de.wikipedia.org/wiki/Ams_AG
- [17] WIKIPEDIA: Dynamikumfang. <http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamikumfang>
- [18] WIKIPEDIA: FTDI. <http://de.wikipedia.org/wiki/FTDI>
- [19] WIKIPEDIA: I2C. <http://de.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>

Eidesstattliche Erklärung

Eidesstattliche Erklärung zum BPP Bericht

Ich versichere, die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer entnommen sind, habe ich als entnommen kenntlich gemacht. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit benutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt bzw. in wesentlichen Teilen noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Unterschrift :

Ort, Datum :

