
Bachelorarbeit

im Studiengang
Elektrotechnik - Automation

Herr
Wenxin Chen

Konzept und Entwicklung eines drahtlosen LED-Systems mit Audiosynchronisation

Mittweida, 2024

Inhalt

Hochschule Mittweida Fakultät: Ingenieurwissenschaften

Bachelorarbeit

Konzept und Entwicklung eines drahtlosen LED-Systems mit Audiosynchronisation

Autor:

Herr Wenxin Chen

im Studiengang:

Elektrotechnik - Automation

Seminargruppe:

EA19wA-B

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Michael Kuhl

Zweitprüfer:

M.Sc. Kevin Blümel

Einreichung

Mittweida, 2024

Bibliografische Beschreibung:

Titel der Arbeit:

Konzept und Entwicklung eines drahtlosen LED-Systems mit Audiosynchronisation

Verfasser:

Chen, Wenxin

Hochschule:

Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences

Fakultät:

Ingenieurwissenschaften

Studiengang:

Elektrotechnik - Automation

Abgabedatum:

16.09.2024

Art der Arbeit:

Bachelorarbeit

Referat:

Das Ziel dieses Projekts ist es, ein LED-Kleidungs-system zu entwerfen und zu erstellen, das drahtlos durch DMX-Software gesteuert wird. Das System ist in der Lage, Signale vom Steuergerät zu empfangen und zu verarbeiten und die LED-Streifen entsprechend den Anforderungen zu steuern. Um die Tragbarkeit des Systems sicherzustellen, sind alle erforderlichen Komponenten, einschließlich Empfänger, Prozessor, LED-Steuerungseinheit und tragbare Akku, in einem kompakten Gehäuse integriert. Dieses Gehäuse kann bequem an der Kleidung der Bühnenakteure angebracht werden.

Inhalt

Inhalt	4
Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
1 Einleitung:	9
2 Aufgabenstellung:	10
3 Stand der Technik:	11
3.1 Software:	11
DMX512:	11
Wireless DMX:	12
3.2 Hardware:	13
LED-Kleidung:	13
4 Konzept:	15
4.1 Gesamtkonzept:	15
4.2 Hardware Konzept:	16
4.2.1 DMX-USB Adapter	16
4.2.2 Wireless DMX-Funk	18
4.2.3 Mikrocontroller	19
4.3 Softwrekonzept	21
4.3.1 DMX-Software	21
4.3.2 Programmierung	22
5 Systementwurf:	25
5.1 Einleitung:	25
5.2 Hardware:	25
5.2.1 Haupteinheit:	26
5.2.2 Aktoren:	29
5.2.3 Kommunikationsmodule:	31
5.2.4 Stromversorgungssystem:	32
5.2.5 PCB-Design:	35
5.2.6 Gehäusedesign:	36
5.3 software:	39
5.3.1 Daslight5:	39
5.3.2 Programmierung	40
6 Test:	43
6.1 Messung der Leistungsaufnahme:	43
6.2 Zusammenfassung:	44
7 Fazit:	45
7.1 Zusammenfassung der Aufgaben:	45
7.2 Verbesserung:	45
Anlagen	46

Inhalt

Schematische Darstellung der Schaltung	46
Gerber der Leiterplatte	47
Programm	48
Verwendete Bibliotheken, Definitionen und Initialisierung	48
Funktionen	48
Setup-Funktion und Loop-Funktion	49
Literaturverzeichnis	51
Eigenständigkeitserklärung	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Gesamtkonzept	15
Abbildung 2 : DVC Fun[1]	17
Abbildung 3 : DVC Gold[2]	17
Abbildung 4 : Cameo DVC[3]	17
Abbildung 5 : Chauvet TX[4]	18
Abbildung 6 : Chauvet RX[5]	18
Abbildung 7 : transmitter[6]	18
Abbildung 8 : Receiver[7]	18
Abbildung 9 : Arduino Nano	19
Abbildung 10 : Arduino Uno	19
Abbildung 11 : Arduino Mega 2560	20
Abbildung 12 : Daslight	21
Abbildung 13 : Arduino IDE[12]	22
Abbildung 14 : Programmierung Einführung	22
Abbildung 15 : Ablauf Konzept	23
Abbildung 16 : System Skizze	25
Abbildung 17 : ATMEGA128P Schematisch	26
Abbildung 18 : Kristall Schematisch	27
Abbildung 19 : Reset-Taster Schematisch	27
Abbildung 20 : test_LED Schematisch	28
Abbildung 21 : ISP Schematisch	28
Abbildung 22 : LED Streifen	29
Abbildung 23 : LED Schaltplan	29
Abbildung 24 : LED Streifen Konzept	30
Abbildung 25 : LED Streifen Schematisch	30
Abbildung 26 : MAX481CUA+ Schematisch	31
Abbildung 27 : max. Leistung	32
Abbildung 28 : DC-DC-Wandler	32
Abbildung 29 : Rest Schaltplan	33
Abbildung 30 : Akku	33
Abbildung 31 : Stromversorgungssystem Schematisch	34
Abbildung 32 : PCB Vorderseite	35
Abbildung 33 : PCB Rückseite	35
Abbildung 34 : Gehäuse Skizze	36
Abbildung 35 : 3-polige Steckdose	37
Abbildung 36 : XLR-Steckdose	37
Abbildung 37 : Stromanschluss	37
Abbildung 38 : Stromschalter	37
Abbildung 39 : ZeigeLED Schematisch	38
Abbildung 40 : Gehäuse außen	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 41 : Im Gehäuse	38
Abbildung 42 : Kanäle Konzept	39
Abbildung 43 : Steuerkanäle	39
Abbildung 44 : Steuerkanäle Code	41
Abbildung 45 : Programmierung Ablaufdiagramm	42
Abbildung 46 : Rot Leistung	43
Abbildung 47 : Blau Leistung	43
Abbildung 48 : Grün Leistung	43
Abbildung 49 : max. Leistung	43
Abbildung 50 : System Zusammenfassung	44
Abbildung 51 : schematisch	46
Abbildung 52 : PCB Vorderseite	47
Abbildung 53 : PCB Rückseite	47
Abbildung 54 : Code1	48
Abbildung 55 : Code2	48
Abbildung 56 : Code3	49
Abbildung 57 : Code4	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 : Vergleich DVC	17
Tabelle 2 : Vergleich DMX-Funk	18
Tabelle 3 : Vout_Rset	33
Tabelle 4 : Steuerkanäle	40

1 Einleitung:

Mit der Entwicklung der modernen Bühnenkunst ist die Bühnenbeleuchtung als wichtige künstlerische Ausdrucksform immer komplexer und vielfältiger geworden. Diese Komplexität und Vielfalt spiegelt sich nicht nur in den Lichteffekten, sondern auch in der Präzision und Flexibilität der Lichtsteuerung wider. Als Antwort auf diese Anforderungen wurde das DMX512-Protokoll^[32] entwickelt, das speziell für die Steuerung der Bühnenbeleuchtung konzipiert wurde.

Das DMX512-Protokoll ist seit seiner Entwicklung durch das United States Institute for Theatre Technology (USITT) im Jahr 1986 der Industriestandard für die Steuerung von Bühnenbeleuchtung und Spezialeffekten. Es überträgt Daten über RS-485-Differenzsignale und kann bis zu 512 Kanäle pro Frame steuern, was ein zuverlässiges, effizientes und flexibles Mittel zur Beleuchtungssteuerung darstellt.

Mit der ständigen Innovation von Bühnenaufführungen kann die traditionelle Bühnenbeleuchtung allein jedoch nicht mehr den Bedürfnissen von Künstlern und Publikum gerecht werden. Das moderne Publikum erwartet dynamischere und eindringlichere Darbietungseffekte. Daher ist die Frage, wie die Kleidung der Darsteller auch Teil der Bühnenbeleuchtung werden können und so die visuelle Gesamtwirkung verstärken, ein wichtiges Thema geworden.

Die Einführung und Anwendung von LED-Kleidung bietet eine ideale Lösung für dieses Thema. LED-Kleidung kann mit Hilfe von eingebauten LED-Leuchten und Kontrollsystemen dynamisch in verschiedenen Farben und Helligkeiten verändert werden. Synchronisiert mit Bühnenbeleuchtung und Musik, um einen einzigartigen und fesselnden visuellen Effekt zu erzeugen. Durch die Verwendung des DMX512-Protokolls zur Steuerung von LED-Kleidung lassen sich diese nahtlos mit anderen Beleuchtungsgeräten auf der Bühne zu einem Gesamtbeleuchtungssystem integrieren. Dies bringt nicht nur mehr visuelle Ebenen in die Performance, sondern bietet auch mehr kreative Freiheit und Ausdrucksmöglichkeiten für den Künstler.

2 Aufgabenstellung:

2 Aufgabenstellung:

Design eines LED-Systems für LED- Kleidung, das drahtlos über eine DMX-Software gesteuert werden kann und über eine Audiosynchronisation verfügt.

Mehrere Aufgaben dieser Vervollständigung sind wie folgt.

- Die richtige dmx-Software auswählen.
- Die richtigen drahtlosen Kommunikationsmittel auswählen.
- Programmierung des Mikrocontroller.
- Bestimmen den Rest der für das System erforderlichen Hardware.
- PCB-Design
- Hardware-Anteil wird getestet.
- Praktischer Test der Funktionsweise.

3 Stand der Technik:

3.1 Software:

DMX512:

übersicht[32]

DMX512, bekannt als Digital Multiplex 512, ist ein Datenübertragungsprotokoll, das zwischen Bühnenbeleuchtung, Effekten und anderen Geräten verwendet wird. Vorgeschlagen und veröffentlicht vom United States Institute for Theatre Technology (USITT) im Jahr 1986, um die Steuerung der Bühnenbeleuchtung zu standardisieren.

Technische Details

Verwendet eine asynchrone serielle Kommunikation und nutzt RS-485 als physikalische Schicht. Jedes Datenpaket enthält ein Startbyte (Start Code) und bis zu 512 Datenbytes, wobei jedes Byte einen Kanal (Channel) des Geräteparameters steuert. Die Übertragungsrate beträgt 250 kbps. Es wird normalerweise ein fünfpoliges XLR-Kabel verwendet, obwohl in der Praxis auch dreipolige XLR-Kabel sehr häufig sind.

Anwendungen im aktuellen Stand

Bühnenbeleuchtungssteuerung: zur Steuerung von Dimmern, intelligenten Lampen, Lasern, Nebelmaschinen und anderen Geräten.

Architekturbeleuchtung: Sie wird zunehmend auch für die Steuerung der Beleuchtung von Gebäudefassaden eingesetzt.

Unterhaltungseinrichtungen: Beleuchtungs- und Effektsteuerung für Themenparks, Nachtclubs und andere Orte.

Vorteile

Stabilität und Zuverlässigkeit: RS-485 bietet eine hohe Störfestigkeit, was es ideal für komplexe Bühnenumgebungen macht.

Kompatibilität: DMX512 ist weitgehend kompatibel mit einer Vielzahl von Beleuchtungsgeräten und hat sich als Industriestandard etabliert.

Echtzeitfähigkeit: Die geringe Latenz bei der Datenübertragung ermöglicht eine Echtzeitsteuerung der angeschlossenen Geräte.

Einschränkungen

Eindirektionale Kommunikation: DMX512 ist ein unidirektionales Protokoll, das nur die Datenübertragung vom Controller zu den Geräten ermöglicht, jedoch keine Rückmeldungen von den Geräten empfangen kann.

Kanallimitierung: Es unterstützt maximal 512 Kanäle, was für größere Beleuchtungsanlagen nicht ausreichend sein kann.

Fehlende Redundanz: DMX512 verfügt über keine integrierten Fehlererkennungs- und Korrekturmechanismen und ist daher auf die Stabilität der physikalischen Schicht angewiesen.

Trends und zukünftige Entwicklungen

DMX512-A, die erweiterte Version von DMX512, bietet eine verbesserte Kompatibilität und einige zusätzliche Funktionen, wie die Unterstützung des RDM (Remote Device Management) Protokolls.

Mit der Entwicklung der Netzwerktechnologie sind sACN (Streaming Architecture for Control Networks) und Art-Net, ethernetbasierte Steuerungsprotokolle, zunehmend populär geworden und bieten eine höhere Flexibilität und Erweiterbarkeit.

Der zukünftige Trend besteht darin, DMX512 mit anderen Steuerungsprotokollen (wie DALI, KNX usw.) zu integrieren, um intelligentere und umfassendere Steuerungssysteme zu schaffen.

Forschungsschwerpunkt

Wireless DMX: Erforschung der drahtlosen Übertragung von DMX-Signalen unter der Prämisse der Stabilität.

Intelligente Beleuchtungssteuerung: Erforschung der Realisierung eines intelligenten Beleuchtungssteuerungssystems durch die Kombination von künstlicher Intelligenz und Internet of Things (IoT)-Technologie.

Effizientes Übertragungsprotokoll: Erforschung von effizienteren und zuverlässigeren Datenübertragungsprotokollen, um den Anforderungen einer modernen Bühnen- und Architekturlichtsteuerung gerecht zu werden.

Wireless DMX:

Technische Prinzipien[\[33\]](#)

Übertragungsart: Die drahtlose Kommunikation erfolgt über Funkfrequenzen und verwendet in der Regel den 2,4-GHz-Bereich oder den Bereich von 2,4 bis 2,4835 GHz.

Modulationsverfahren: Es werden verschiedene Modulationstechniken wie Frequenzmodulation (FM) und Pulsweitenmodulation (PWM) verwendet.

Protokollkompatibilität: Drahtlose DMX-Systeme unterstützen in der Regel die Kompatibilität mit dem kabelgebundenen DMX512-Protokoll, um die Interoperabilität mit vorhandenen Geräten sicherzustellen.

Technologische Merkmale

Flexibilität: Keine Verkabelung erforderlich, was eine freiere Platzierung von Lichtgeräten auf der Bühne oder im Veranstaltungsort ermöglicht.

Tragbarkeit: Ideal für den Transport von Lichtgeräten und für den Einsatz bei Veranstaltungen und Aufführungen.

Zuverlässigkeit: Hochwertige drahtlose DMX-Systeme bieten stabile Datenübertragung, um Störungen und Interferenzen in der Umgebung standzuhalten.

Technische Herausforderungen

Signalstörungen: Drahtlose DMX-Systeme können in einer komplexen Funkumgebung durch andere drahtlose Geräte gestört werden.

Verzögerungsprobleme: Die drahtlose Übertragung kann zusätzliche Übertragungsverzögerungen verursachen, was sich auf Anwendungen mit hohen Echtzeitanforderungen auswirken kann.

Sicherheitsaspekte: Drahtlose DMX-Systeme erfordern entsprechende Sicherheitsmaßnahmen, um unbefugten Zugriff oder Störungen zu verhindern.

Kommerzielle Produkte und Anwendungen

Produktvielfalt: Es gibt verschiedene Hersteller, die drahtlose DMX-Lösungen anbieten, darunter drahtlose DMX-Wandler, Sender, Empfänger usw.

Anwendungsbereiche: Drahtloses DMX wird hauptsächlich in Bühnenshows, Ausstellungen, architektonischer Beleuchtung und Filmen eingesetzt, um die Flexibilität und Bequemlichkeit der Lichtsteuerung zu verbessern.

Zukunftstrends

Leistungssteigerung: Mit dem technologischen Fortschritt werden drahtlose DMX-Systeme eine verbesserte Stabilität und Echtzeitübertragung bieten.

Sicherheitsverbesserungen: Möglicherweise werden zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen eingeführt, um drahtlose DMX-Systeme vor unerlaubtem Zugriff oder Störungen zu schützen.

Integrierte Intelligenz: Die Integration von drahtlosem DMX mit intelligenten Lichtsteuerungssystemen könnte zu fortgeschritteneren Anwendungen und Funktionen führen.

3.2 Hardware:

LED-Kleidung:

Technologieprinzipien[\[34\]](#)[\[35\]](#)

LED-Integration: LEDs sind in spezifischen Positionen in der Bekleidung eingebettet, normalerweise über flexible Leiterplatten (Flex PCB) oder leitfähige Verdrahtung verbunden.

Stromversorgung und Steuerung: LED-Bekleidung wird typischerweise mit Batterien betrieben und mit einem Controller ausgestattet, um die Beleuchtungseffekte zu steuern. Der Controller kann entweder eingebaut oder extern sein.

Lichteffektdesign: LED-Bekleidung kann verschiedene LED-Farben, Helligkeiten und

3 Stand der Technik:

Anordnungen verwenden, um unterschiedliche Lichteffekte und dynamische Muster zu erzeugen.

Technische Merkmale

Visuelle Attraktivität: LED-Bekleidung zieht mit ihren einzigartigen Lichteffekten und visuellen Reizen die Aufmerksamkeit auf sich und wird oft in Bühnenshows, Modenschauen und künstlerischen Präsentationen eingesetzt.

Maßgeschneiderte Anpassung: LED-Bekleidung kann entsprechend den kreativen Ideen des Designers angepasst werden, um eine Vielzahl von Lichteffekten und Modestilen zu erzielen.

Interaktivität: Einige LED-Bekleidungsdesigns bieten auch eine Interaktivität, indem sie auf Umgebungsbedingungen, Geräusche oder Körperbewegungen reagieren.

Anwendungsbereiche

Modepräsentationen: LED-Bekleidung wird häufig in Modenschauen, Bühnenauftritten und Kunstinstallationen eingesetzt, um den Künstlern und Designern mehr kreative Möglichkeiten zu bieten.

Eventdarbietungen: Bei Musikfestivals, Partys, Feiern und anderen Veranstaltungen sorgt LED-Bekleidung für visuelle Effekte und einzigartige Erlebnisse für die Teilnehmer.

Werbung und Promotion: Einige Marken und Unternehmen nutzen LED-Bekleidung für Markenwerbung, Promotionaktionen und Eventmarketing, um Aufmerksamkeit zu erregen.

Technische Herausforderungen

Tragekomfort: Die Integration von LED-Komponenten und Batterien kann das Gewicht und die Steifheit der Kleidung erhöhen und den Tragekomfort beeinträchtigen.

Haltbarkeit: Die Lichtkomponenten der LED-Bekleidung müssen eine ausreichende Haltbarkeit und Stabilität aufweisen, um den Beanspruchungen während des Tragens standzuhalten.

Batterielaufzeit: Die Batterielebensdauer und Ladezyklen der LED-Bekleidung können die tatsächliche Nutzungsdauer und Tragbarkeit beeinflussen.

Zukunftstrends

Technologische Innovation: Die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der LED-Technologie wird zu kleineren, helleren und energieeffizienteren LED-Lichtquellen führen.

Intelligente Steuerung: Mit dem Fortschritt bei der intelligenten Steuerungstechnologie könnten LED-Bekleidungen noch komplexere Lichteffekte und Interaktionsfunktionen bieten.

Wearable Tech Integration: LED-Bekleidung könnte mit Sensortechnologie und Smartphone-Apps integriert werden, um eine vielfältige Palette von Anwendungen wie Gesundheitsüberwachung und emotionale Ausdrucksformen zu ermöglichen.

4 Konzept:

4.1 Gesamtkonzept:

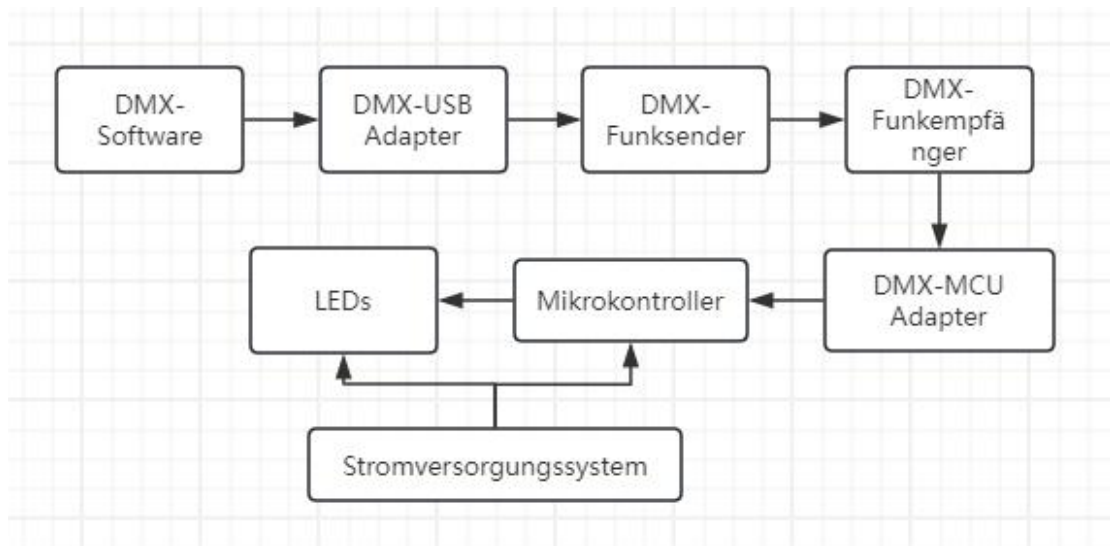


Abbildung 1: Gesamtkonzept

Ein mit DMX-Software ausgestatteter Computer sendet Steuersignale, die über einen DMX-USB-Adapter an einen DMX-Funksender übertragen werden.

Der Empfänger nimmt das Signal auf und leitet es über einen DMX-Mikrocontroller-Adapter an den Mikrocontroller weiter.

Der Mikrocontroller steuert dann die LEDs.

4.2 Hardware Konzept:

4.2.1 DMX-USB Adapter

Auswahl des DMX-Adapters

Bei der Auswahl des DMX-Adapters gibt es zwei Hauptlösungen.

Die erste Option ist ein unabhängiger Adapter, der nur die Hardware-Schnittstellenfunktion bietet und keine Software-Funktionen besitzt.

Die zweite Option ist ein Adapter, der sowohl Hardware als auch Software integriert, also eine integrierte Lösung.

Merkmale des unabhängigen Adapters

Ein unabhängiger Adapter dient nur als DMX-Signalkonverter, der das USB-Signal des Computers in ein DMX-Signal umwandelt. Obwohl diese Lösung möglicherweise in den Anfangskosten niedriger ist, bringt sie auch einige Herausforderungen mit sich. Zum Beispiel muss der Benutzer über technisches Wissen verfügen, um die Kompatibilität zwischen Software und Hardware zu installieren und zu debuggen. Zudem könnten Leistung und Effizienz der Echtzeitsteuerung nicht so hoch sein wie bei speziell entwickelten integrierten Systemen.

Vorteile des integrierten Adapters

Im Vergleich dazu bietet der Adapter, der sowohl Hardware als auch Software integriert, deutliche Vorteile:

Vereinfachte Benutzererfahrung: Integrierte Lösungen sind normalerweise als Plug-and-Play konzipiert und reduzieren die Komplexität bei Installation und Konfiguration. Der Benutzer muss keine kompatible Software und Hardware von verschiedenen Anbietern suchen, sodass das gesamte System schnell und effizient einsatzbereit ist.

Optimierte Leistung: Adapter mit integrierter Software sind so konzipiert, dass Hardware und Software optimal zusammenarbeiten, um die beste Leistung zu gewährleisten. Die Datenübertragungsgeschwindigkeit und Verarbeitungsfähigkeit sind verbessert, insbesondere bei der Verarbeitung komplexer Lichteffekte.

Reichhaltige erweiterte Funktionen: Adapter mit integrierter Software enthalten normalerweise viele erweiterte Funktionen, wie Effektgeneratoren, Timeline-Editoren und Szenenverwaltung. Diese Funktionen können die Kreativität und Komplexität der Lichtsteuerung erheblich steigern. Einige integrierte Lösungen unterstützen auch spezielle Werkzeuge und Plugins, die ihre Funktionalität und Anwendungsbereiche weiter erweitern.

Langfristige Kosteneffizienz: Obwohl die anfänglichen Kosten für integrierte Lösungen höher sein können, müssen Benutzer keine zusätzliche Software kaufen und konfigurieren. Langfristig könnten die Gesamtkosten niedriger sein. Außerdem wird die Zeit und der Aufwand, den Benutzer in Einrichtung und Konfiguration investieren müssen, reduziert, sodass sie schneller mit der tatsächlichen Nutzung beginnen können.

Fazit

Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren hat sich unser Projekt entschieden, einen Adapter zu wählen, der sowohl Hardware als auch Software integriert.

Vergleich

Basierend auf den Projektanforderungen haben wir drei Adapter ausgewählt, die Windows unterstützen und eine Musikrhythmusfunktion bieten: Daslight DVC Fun, Daslight DVC Gold und Cameo DVC DMX-Interface.



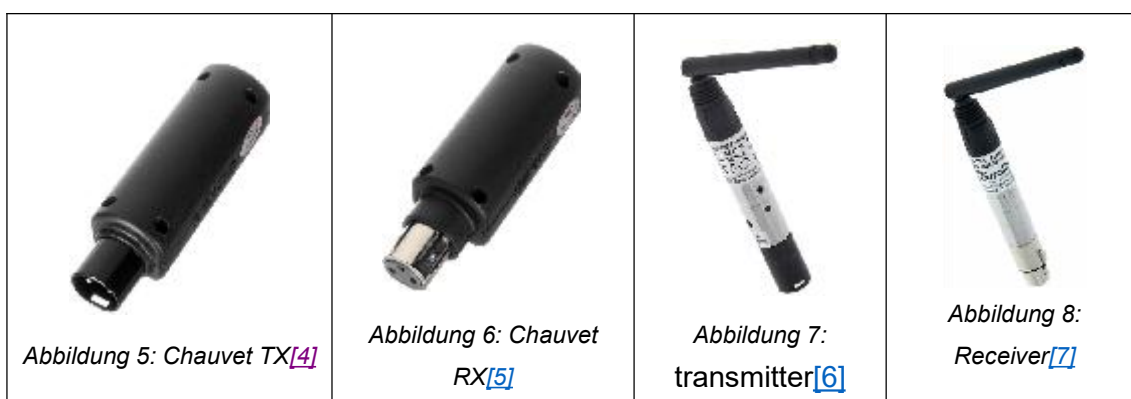
Produktname	Daslight DVC Fun	Daslight DVC Gold	Cameo DVC DMX-Interface
Typ	DVC	DVC	DVC 4
Versandgewicht	178g	381g	204g
Betriebssystem Windows	ja	ja	ja
Sound To Light	ja	ja	ja
DMX Kanäle über XLR	128	1024	512
Kosten	179€	449€	239€

Tabelle 1: Vergleich DVC

Da 128 DMX-Kanäle bereits ausreichen, um die LED-Kleidung zu steuern, und um die Kosten zu senken, haben wir uns letztendlich für DVC Fun entschieden.

4.2.2 Wireless DMX-Funk

Im Rahmen des Gesamtkonzepts unseres Projekts ist die Auswahl kompakter Wireless DMX-Funk von entscheidender Bedeutung, da sie zur Steuerung von LED-Kleidung eingesetzt werden. Nach sorgfältiger Auswahl haben wir die folgenden zwei Geräte als geeignet identifiziert: Chauvet DJ D-Fi XLR TX & RX und Eurolite QuickDMX Wireless Transmitter & Receiver.



Produktname	Chauvet DJ D-Fi XLR TX	Chauvet DJ D-Fi XLR RX	Eurolite QuickDMX Wireless transmitter	Eurolite QuickDMX Wireless Receiver
Gewicht	68g	45g	80g	
Reichweite	50m		400m	
Betriebsfrequenz	2,42-2,484 GHz		2.4 GHz	
Stromversorgung	funktioniert ohne externe Stromversorgung		Spannungsversorgung über mitgeliefertes Netzteil	
Kosten	54€	52€	65€	67€

Tabelle 2: Vergleich DMX-Funk

Da der Einsatzbereich auf die Bühne beschränkt ist, reicht eine Arbeitsreichweite von 50 Metern aus. Gleichzeitig ist der Chauvet DJ D-Fi XLR leichter und günstiger. Zudem macht die integrierte Stromversorgung das gesamte System einfacher und übersichtlicher. Daher haben wir uns letztendlich für den Chauvet DJ D-Fi XLR entschieden.

4 Konzept:

4.2.3 Mikrocontroller

Für den Mikrocontroller kommt in erster Linie das Arduino-Entwicklungsboard in Frage.

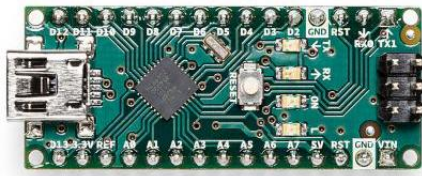


Abbildung 9: Arduino Nano

Arduino Nano^[8]

Der Arduino Nano ist ein kleines, vollständiges und steckbrettfreundliches Board, das auf dem ATmega328 (Arduino Nano 3.x) basiert. Es hat mehr oder weniger die gleiche Funktionalität wie das Arduino Duemilanove, aber in einem anderen Paket. Es fehlt nur eine Gleichstrombuchse und funktioniert mit einem Mini-B-USB-Kabel anstelle eines Standardkabels.

Er misst 18mm*45mm und hat eine Taktfrequenz von 16MHz, 22 digitale E/A-Pins, 8 analoge Ausgangspins und 6 Pins für die PWM-Wellenformausgabe.



Abbildung 10: Arduino Uno

Arduino Uno^[9]

Arduino Uno ist ein Mikrocontroller-Board basierend auf dem ATmega328P. Es verfügt über 14 digitale Ein-/Ausgangspins (davon 6 als PWM-Ausgänge nutzbar), 6 analoge Eingänge, einen 16-MHz-Keramikresonator (CSTCE16M0V53-R0), einen USB-Anschluss, eine Strombuchse, einen ICSP-Header und eine Reset-Taste. Es enthält alles, was zur Unterstützung des Mikrocontrollers benötigt wird; Schließen Sie es einfach mit einem USB-Kabel an einen Computer an oder betreiben Sie es mit einem AC-to-DC-Adapter oder einer Batterie, um loszulegen. Sie können an Ihrem Uno basteln, ohne sich zu viele Gedanken darüber zu machen, etwas falsch zu machen. Chip für ein paar Dollar und wieder von vorne anfangen. Seine Größe beträgt 68.6mm*53.4mm.

4 Konzept:



Abbildung 11: Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560[\[10\]](#)

Das Arduino Mega 2560 ist ein Mikrocontroller-Board, das auf dem ATmega2560 basiert. Es verfügt über 54 digitale Ein-/Ausgangspins (von denen 15 als PWM-Ausgänge verwendet werden können), 16 analoge Eingänge, 4 UARTs (Hardware Serial Ports), einen 16-MHz-Quarzoszillator, einen USB-Anschluss, eine Strombuchse, einen ICSP-Header, und eine Reset-Taste. Es enthält alles, was zur Unterstützung des Mikrocontrollers benötigt wird; Schließen Sie es einfach mit einem USB-Kabel an einen Computer an oder betreiben Sie es mit einem AC-zu-DC-Adapter oder einer Batterie, um loszulegen. Das Mega 2560-Board ist mit den meisten Shields kompatibel, die für das Uno und die früheren Boards Duemilanove oder Diecimila entwickelt wurden.

Auf der Grundlage der obigen Analyse der Mikrocontroller wurden der Arduino Uno als Mikrocontroller für das System ausgewählt. Im Vergleich zum Arduino Nano zeigt sich der Arduino Uno durch eine höhere Stabilität und Vielseitigkeit aus. Gleichzeitig ist er kompakter als der Arduino Mega 2560 und preislich attraktiver.

4.3 Softwrekonzept

4.3.1 DMX-Software

Da im Hardwarekonzept bereits der DVC Fun mit integrierter DMX-Software ausgewählt wurde, wird in diesem Projekt das DMX-Software **Daslight**^[11] verwendet.



Abbildung 12: Daslight

Daslight ist eine leistungsstarke DMX-Steuersoftware, die speziell für die Lichtsteuerung und -programmierung entwickelt wurde. Sie bietet eine intuitive Benutzeroberfläche und umfangreiche Steuerungsfunktionen, die sich für verschiedene Lichteffekte und komplexe Lichtshows eignen.

Funktionsbeschreibung

In diesem Projekt wird die Daslight Software zur Steuerung der LED-Kleidung verwendet. Ihre Hauptfunktionen umfassen:

- **Echtzeitsteuerung:** Mit Daslight können die Farben, Helligkeit und Effekte der LED-Streifen in Echtzeit angepasst werden, um unterschiedlichen Aufführungsanforderungen gerecht zu werden.
- **Szenenprogrammierung:** Daslight ermöglicht es den Benutzern, verschiedene Lichtszenarien und -sequenzen im Voraus zu programmieren, wodurch die Lichtwechsel während der Aufführung flüssiger und professioneller werden.
- **Musiksynchronisation:** Daslight verfügt über eine Musiksynchronisationsfunktion, die die Lichteffekte automatisch an den Rhythmus der Musik anpasst und so die visuelle Darstellung verstärkt.

Integration und Interaktion

Die Daslight Software wird nahtlos mit dem DVC Fun Hardware-Adapter integriert, um über DMX-Signale die LED-Kleidung zu steuern. Die spezifischen Integrations- und Interaktionsmethoden sind wie folgt:

- **DMX-Signalübertragung:** Die Daslight Software sendet DMX-Signale über die DVC Fun Hardware, um den Betrieb der LED-Streifen zu steuern.
- **USB-Verbindung:** Der Computer wird über einen USB-Anschluss mit der DVC Fun Hardware verbunden, sodass die Daslight Software direkt mit der Hardware kommunizieren kann.

4.3.2 Programmierung

Einführung

In diesem Projekt wird Arduino zur Steuerung der LED-Kleidung verwendet. Die Arduino-Plattform empfängt DMX-Signale über eine drahtlose Verbindung und steuert daraufhin die LED-Streifen. Die Programmierung auf Arduino erfolgt mithilfe der Arduino IDE und verwendet spezifische Bibliotheken zur Handhabung von DMX und LED-Steuerung.



Abbildung 13: Arduino IDE^[12]



Abbildung 14: Programmierung Einführung

Bibliotheken und Abhängigkeiten

Für die Programmierung des Arduino werden die folgenden Bibliotheken verwendet:

- **Adafruit_NeoPixel.h**: Zur Steuerung von LED-Streifen auf Basis von Neopixel (z. B. WS2812B) oder ähnlichen Protokollen.
- **Conceptinetics.h**: Dient zur Umsetzung des DMX-Protokolls auf einem Arduino.

4 Konzept:

Ablaufdiagramm von Code (Arduino):

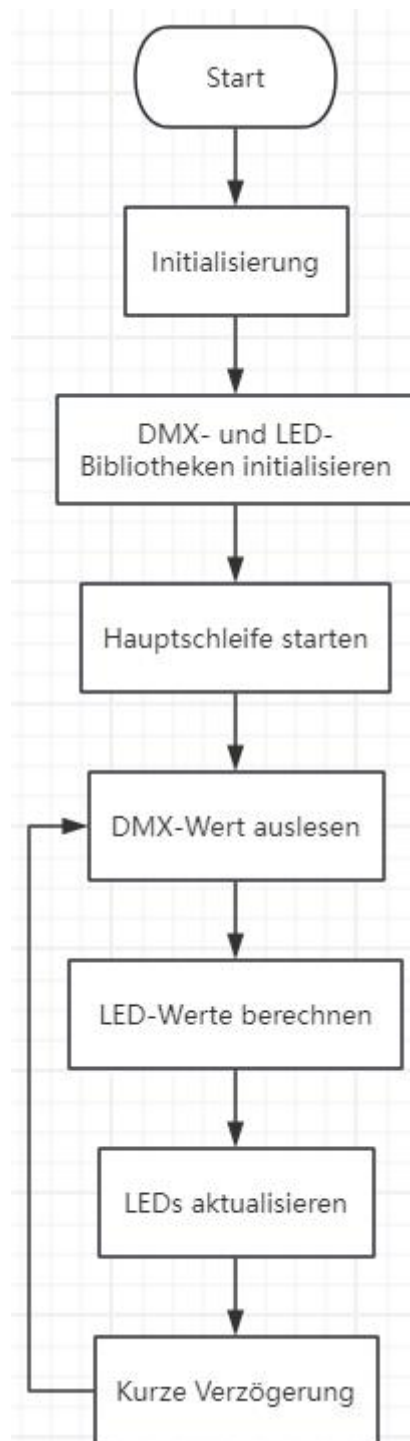


Abbildung 15:Ablauf Konzept

Erklärung des Ablaufdiagramms:

1. **Start:** Der Programmablauf beginnt.
2. **Initialisierung:** Das Arduino-Board wird initialisiert.
3. **DMX- und LED-Bibliotheken initialisieren:** Die notwendigen Bibliotheken zur Handhabung von DMX-Kommunikation und LED-Steuerung werden geladen und initialisiert.
4. **Hauptschleife starten:** Das Hauptprogramm tritt in eine kontinuierliche Schleife ein.
5. **DMX-Signal empfangen:** Das System wartet auf ein eingehendes DMX-Signal.
6. **DMX-Wert auslesen:** Der Wert des empfangenen DMX-Signals wird ausgelesen.
7. **LED-Werte berechnen:** Die ausgelesenen DMX-Werte werden in entsprechende LED-Steuerbefehle umgewandelt.
8. **LEDs aktualisieren:** Die LEDs werden mit den neuen Werten aktualisiert.
9. **Kurze Verzögerung:** Eine kurze Verzögerung wird eingefügt, um die Aktualisierungsrate zu kontrollieren.
10. **Zurück zu DMX-Signal empfangen:** Die Schleife kehrt zum Empfang des nächsten DMX-Signals zurück und der Zyklus wiederholt sich.

5 Systementwurf:

5.1 Einleitung:

Das System verwendet eine speziell für dieses Projekt entwickelte Lichtsteuerplatine. Die Platine empfängt DMX-Signale zur Steuerung der 6 Lichtleisten auf dem LED-Kleidungsstück. Das System ist in zwei Schnittstellen unterteilt, wobei eine Schnittstelle mit den 3 Lichtleisten an der oberen Körperhälfte und die andere Schnittstelle mit den 3 Lichtleisten an der unteren Körperhälfte verbunden ist.

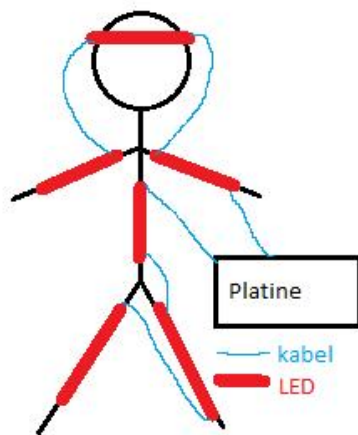


Abbildung 16: System Skizze

Das gesamte System besteht aus drei Hauptkomponenten: den externen LEDs, die für die Erzeugung der Bühneneffekte notwendig sind; der Lichtsteuerplatine, die für den Empfang der Signale und die Steuerung der LEDs verantwortlich ist; und den Batterien, die die LEDs und die Lichtsteuerplatine mit Strom versorgen.

5.2 Hardware:

Dieses Projekt nutzt nur einen kleinen Teil der Funktionen des Arduino. Um die Kosten zu senken und ein leichtgewichtiges Design zu erreichen, ist es notwendig, ein eingebettetes System zu entwerfen. Basierend auf den Schaltplänen von Arduino und dem DMX Shield identifizieren wir die für dieses Projekt erforderlichen Teile und integrieren diese wesentlichen Komponenten auf einer speziell für dieses Projekt entworfenen Lichtsteuerplatine. Dadurch können wir nicht nur die Ressourcennutzung optimieren, sondern auch die Gesamtleistung und Zuverlässigkeit des Systems steigern.

5.2.1 Haupteinheit:

Mikrocontroller: Beim Hardware-Design dieses Projekts wurde der Mikrocontroller ATMEGA328P-MMH[13] für die Hauptsteuereinheit gewählt. Dieser Chip ist eine chipgelötete Version des ATMEGA328P, der in Arduino verwendet wird, und verfügt über dieselben Funktionen und Leistungsvorteile wie der Arduino, bietet aber mehr Optimierung in Bezug auf Größe, Integration und Designflexibilität.

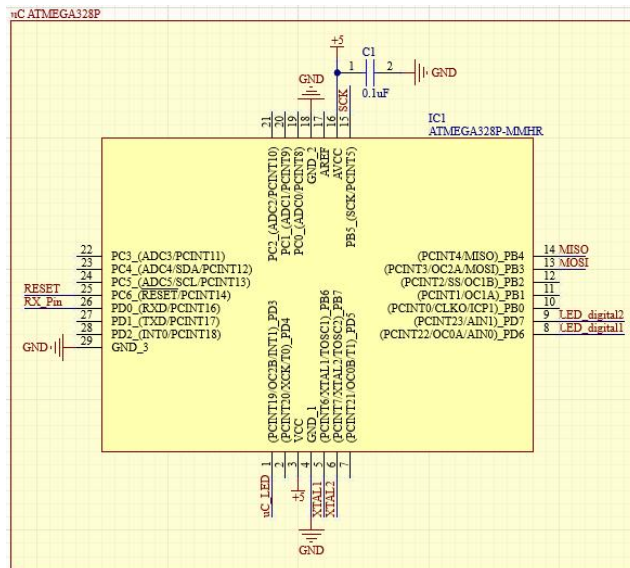


Abbildung 17: ATMEGA128P Schematisch

Quarz: Der ATMEGA328P benötigt einen externen 16-MHz-Quarz, um eine stabile Taktfrequenz sicherzustellen, die für präzise Signalverarbeitung und Datenübertragung erforderlich ist. Für dieses Projekt wurde die SMD-Version des 16-MHz-Quarzes gewählt(Quarze WE-XTAL 16.0MHz 30ppm 3.2 x 2.5mm[14]), um das Design der Leiterplatte weiter zu optimieren. Diese SMD-Variante reduziert nicht nur den Platzbedarf, sondern erhöht auch die Integrationsdichte und sorgt für eine kompaktere Schaltungsanordnung.

Lastkondensator: Bei der Verwendung eines Quarzes muss die Lastkapazität berücksichtigt werden, um eine stabile Funktion zu gewährleisten. Die Berechnung der Lastkapazität C_L erfolgt nach der folgenden Formel[36]:

$$C_L = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} + C_{stray}$$

Laut Datenblatt beträgt die Nennlastkapazität dieses Quarzes 18pF. Um dies zu erreichen, müssen geeignete Kondensatoren an den Quarz angeschlossen werden. Wir verwenden zwei identische Kondensatoren, d.h. $C_1=C_2$. Darüber hinaus liegt die parasitäre Kapazität C_{stray} üblicherweise im Bereich von 3 bis 5pF.

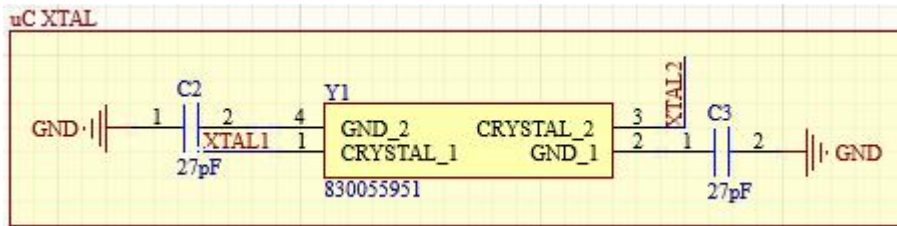


Abbildung 18: Kristall Schematisch

Durch Berechnung ergibt sich, dass für eine Lastkapazität C_L von 18pF die erforderlichen Kondensatoren einen Wert von 26 bis 30pF haben sollten. Unter Berücksichtigung der parasitären Kapazität haben wir uns für zwei 27pF SMD-Kondensatoren[15] entschieden.

Reset-Taster: Der Reset-Taster[16] ist so ausgelegt, dass der RESET-Pin über einen normalerweise $10\text{ k}\Omega$ großen Pull-up-Widerstand[17] mit VCC verbunden ist. Wenn der Knopf nicht gedrückt ist, bleibt der RESET-Pin auf einem hohen Pegel. Wird der Knopf gedrückt, wird der RESET-Pin auf den GND gezogen, wodurch der Mikrocontroller zurückgesetzt wird. Die Hauptfunktionen des Reset-Tasters sind: Systemreset, bei dem der ATMEGA328P neu gestartet wird und das Programm von der Startadresse neu ausgeführt wird, um den Mikrocontroller neu zu initialisieren und mögliche Fehlerzustände oder Programmprobleme zu beseitigen; Programmdiagnose, bei der der Entwickler während der Entwicklung und Fehlersuche den Mikrocontroller schnell neu starten kann, um das Programm zu testen und zu debuggen; und Systeminitialisierung, bei der in bestimmten Fällen sichergestellt wird, dass das System von einem bekannten Ausgangszustand startet, um spezifische Startanforderungen zu erfüllen.

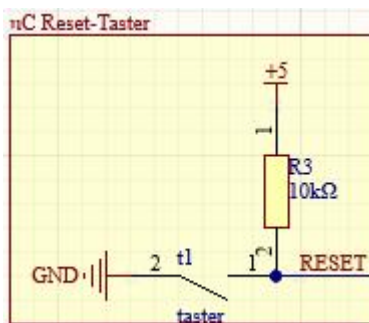


Abbildung 19: Reset-Taster Schematisch

test_LED[18]: Um sicherzustellen, dass der Mikrocontroller ordnungsgemäß funktioniert, wird ein Test-LED hinzugefügt. Wenn das Programm erfolgreich auf den Chip geschrieben wurde und normal läuft, wird das Test-LED in einem regelmäßigen Blinkmuster leuchten. Dieses Design ermöglicht die Echtzeitüberwachung des Mikrocontrollers und die Überprüfung, ob das System wie vorgesehen funktioniert.

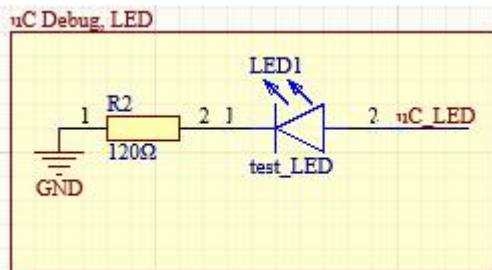


Abbildung 20: test_LED Schematisch

ISP6pin-Anschluss: Der ISP6pin-Anschluss wird für die Programmierung und das Debugging von Mikrocontrollern verwendet. ISP steht für „In-System Programming“, also Programmierung im System. Er ermöglicht die Programmierung und das Debugging von Mikrocontrollern, ohne dass diese physisch entfernt werden müssen, und wird daher häufig in der Entwicklung, dem Testen und der Produktion von Mikrocontrollern eingesetzt.

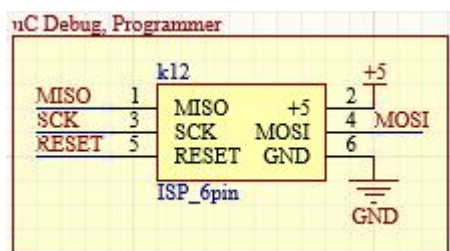


Abbildung 21: ISP Schematisch

5.2.2 Aktoren:

WS2812B LED Streifen[19]: Die Wahl des WS2812B LED-Streifens basiert hauptsächlich auf seiner hohen Integration und Benutzerfreundlichkeit. Der WS2812B integriert RGB-LEDs und einen Steuerchip in einem Bauteil, was das Schaltungsdesign vereinfacht und den Hardware-Ressourcenbedarf durch die Ein-Draht-Datenübertragung verringert. Dieser LED-Streifen ist mit Open-Source-Plattformen wie Arduino kompatibel und bietet dank umfangreicher Bibliotheken eine einfache Programmierung und Steuerung. Darüber hinaus ermöglicht der WS2812B eine präzise Steuerung der Helligkeit und Farbe jeder einzelnen LED, was ihn ideal für komplexe Lichteffekte macht. Seine flexible Kürz- und Verlängerbarkeit verleiht dem Design eine höhere Erweiterbarkeit. Zudem bietet der Streifen ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis und hohe Zuverlässigkeit, was ihn besonders geeignet für Anwendungen wie LED-Kleidung mit dynamischen Lichteffekten macht.

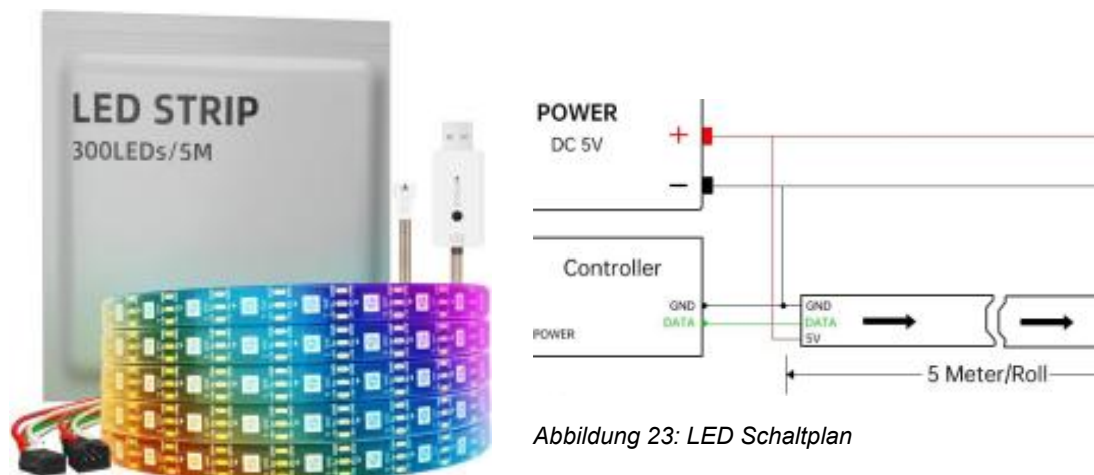


Abbildung 22: LED Streifen

Abbildung 23: LED Schaltplan

5 Systementwurf:

Dieses Projekt erfordert insgesamt 6 LED-Streifen. Am Oberkörper werden drei LED-Streifen benötigt: Zwei Streifen mit jeweils 30 LEDs werden an den Armen angebracht, ein weiterer Streifen mit ebenfalls 30 LEDs wird am Kopf befestigt. Am Unterkörper werden zwei LED-Streifen mit je 48 LEDs an den Beinen montiert, sowie ein Streifen mit 30 LEDs am Rumpf. Die drei LED-Streifen des Oberkörpers werden in Reihe geschaltet und mit der Leiterplatte (PCB) verbunden, ebenso die drei Streifen des Unterkörpers, die ebenfalls in Reihe geschaltet und an die PCB angeschlossen werden.



Abbildung 24: LED Streifen Konzept

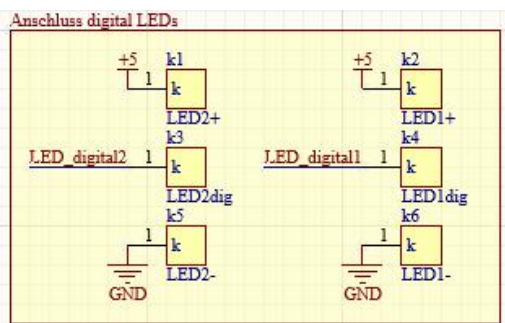


Abbildung 25: LED Streifen Schematisch

5.2.3 Kommunikationsmodule:

DVC Fun[1]: DVC Fun ist ein Gerät zur DMX-Steuerung, das eine Seite über USB mit einem Computer und die andere Seite über XLR mit DMX-Geräten verbindet. Es kann die Steuerungssignale des Computers effizient in DMX-Signale umwandeln, um eine präzise Steuerung der Lichtgeräte zu ermöglichen. Neben der Signalwandlung gewährleistet DVC Fun auch elektrische Kompatibilität, Signalstabilität und die Verträglichkeit mit bestehenden DMX-Geräten.

DMX-Funk[4][5]: Chauvet DJ D-Fi XLR wird für die drahtlose Übertragung von DMX-Signalen verwendet und hat eine Reichweite von 50 Metern. Der Sender wird über eine XLR-Schnittstelle mit dem DVC Fun verbunden, während der Empfänger an den XLR-Anschluss der Leiterplatte angeschlossen wird, um eine drahtlose Steuerung der Leiterplatte zu ermöglichen.

MAX481CUA+[20]: Das DMX Shield[21] bietet Unterstützung für das DMX512-Protokoll für Arduino, aber in diesem Projekt benötigen wir nicht das gesamte DMX Shield. Stattdessen verwenden wir nur den SMD-Version des gleichen Chips, nämlich den MAX481CUA+. Die Wahl des MAX481CUA+ liegt an seiner Verpackungsform (SOP-8), die für kompakte Schaltungsdesigns geeignet ist und eine effiziente Integration in begrenztem Raum ermöglicht.

Das von der XLR-Buchse empfangene DMX-Differenz-RS-485-Signal wird durch den MAX481CUA+ in ein einseitiges Signal umgewandelt, das vom ATMEGA328P verarbeitet werden kann, wobei die Signalstabilität und -treibfähigkeit gewährleistet werden. Diese Umwandlung ermöglicht es dem ATMEGA328P, das DMX-Signal präzise zu lesen und zu verarbeiten, um die gewünschten Steuerungsfunktionen zu realisieren.

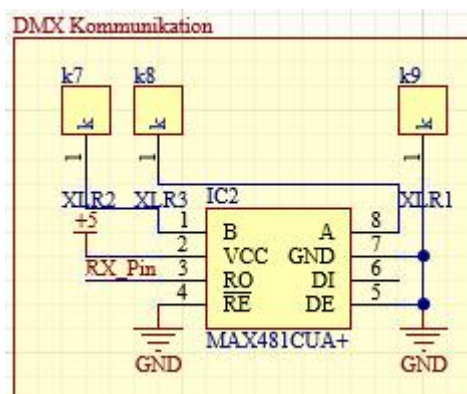


Abbildung 26: MAX481CUA+ Schematisch

5.2.4 Stromversorgungssystem:

Strombedarfseinschätzung: Die in diesem Projekt verwendeten LED-Streifen und der Mikrocontroller arbeiten beide mit einer Betriebsspannung von 5V. Messungen haben ergeben, dass das System bei voller Helligkeit der LEDs einen Gesamtstrom von 6A benötigt, was einer maximalen Leistung von 30W entspricht.



Abbildung 27: max. Leistung

DC-DC-Wandler:

BMR 450 Digital PoL Regulators. Input 4.5-14 V, Output up to 20 A / 100 W.[\[22\]](#)



Abbildung 28: DC-DC-Wandler

Zu Beginn des Projekts habe ich basierend auf den Angaben und der Nennleistung (14.4W/m) der LED-Streifen einen leistungsstarken DC-DC-Wandler ausgewählt, um sicherzustellen, dass das System auch bei maximaler Last stabil betrieben werden kann. Nach den tatsächlichen Messungen stellte sich jedoch heraus, dass der tatsächliche Stromverbrauch (8.3W/m) der LED-Streifen deutlich unter der angegebenen Nennleistung lag. Daher erfüllte der ausgewählte DC-DC-Wandler zwar die Anforderungen des Systems, war jedoch im Hinblick auf das Preis-Leistungs-Verhältnis überdimensioniert. Aufgrund des engen Zeitplans war es nicht mehr möglich, den Wandler zu ersetzen, weshalb er letztendlich verwendet wurde. Obwohl dies nicht die optimale Lösung im Hinblick auf das Preis-Leistungs-Verhältnis darstellt, gewährleistet seine Leistung dennoch einen stabilen Betrieb des Systems. Diese Erfahrung liefert wertvolle Erkenntnisse für zukünftige Design- und Optimierungsprozesse.

5 Systementwurf:

Laut dem Datenblatt kann durch das Setzen von R_{set} auf 0 Ohm eine Ausgangsspannung von 5 V erreicht werden.

V_{OUT} [V]	R_{set} [kΩ]			V_{OUT} [V]	R_{set} [kΩ]		
	Min	Typ	Max		Min	Typ	Max
0.7	155.00	159.00	169.00	0.991	21.38	21.60	21.82
0.752	109.89	111.00	112.11	1.00	18.51	18.70	18.89
0.758	99.00	100.00	101.00	1.10	15.94	16.10	16.26
0.765	89.10	90.00	90.90	1.158	13.56	13.70	13.84
0.772	80.09	80.90	81.71	1.20	11.39	11.50	11.62
0.79	64.35	72.50	73.23	1.25	9.50	9.60	9.70
0.80	57.52	58.10	58.68	1.50	7.72	7.80	7.88
0.821	51.38	51.90	52.42	1.669	6.14	6.20	6.26
0.848	40.69	41.10	41.51	1.80	4.65	4.70	4.75
0.88	36.04	36.40	36.76	2.295	3.27	3.30	3.33
0.899	31.88	32.20	32.52	2.506	2.08	2.10	2.12
0.919	28.02	28.30	28.58	3.30	0.99	1.00	1.01
0.965	24.55	24.80	25.05	5.00	0.00	0.00	0.05

Tabelle 3: $V_{\text{out}}_{R_{\text{set}}}$

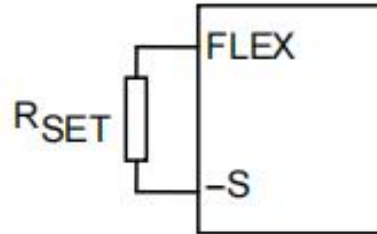


Abbildung 29: Rest Schaltplan

Stromversorgungsauswahl: Da das Produkt eine drahtlose Verbindung benötigt und tragbar sein soll, wurde ein **Akku** als Energiequelle gewählt.

Da die Spannung des Akkus die maximale Eingangsspannung des DC-DC-Wandlers von 14V nicht überschreiten darf, muss bei der Auswahl des Akkus besonders darauf geachtet werden. Da die maximale Leistung des Systems 30W beträgt, würde eine zu niedrige Akkuspannung zu einem zu hohen Strom führen, der möglicherweise die maximale Stromstärke des Akkus überschreiten könnte. Zudem muss der Akku aufgrund der Tragbarkeit möglichst kompakt sein.

Nach der Abwägung dieser Faktoren haben wir uns schließlich für einen Akkupack entschieden, der aus drei in Serie geschalteten Lithiumakkus besteht. Dieser Akkupack hat eine Ausgangsspannung von 11,1V und einen maximalen Strom von 4A[23]. Er erfüllt sowohl die Anforderungen der Eingangsspannung des DC-DC-Wandlers als auch die Stromanforderungen des Systems bei maximaler Leistung. Gleichzeitig ist seine Größe relativ kompakt, was den Anforderungen an die Tragbarkeit entspricht und somit eine praktische und tragbare Lösung bietet.



Abbildung 30: Akku

Sicherung: Wir haben uns für die SMF NANO CLIP SB 260V 4A Sicherung[24] entschieden, um den Schaltkreis zu schützen. Diese Sicherung ist eine oberflächenmontierte Schnell-Auslösungssicherung mit einem Nennstrom von 4A, der genau dem maximalen Ausgangsstrom der Akku entspricht. Diese Art von Sicherung kann schnell durchbrennen, wenn der Strom den festgelegten Wert überschreitet, und verhindert somit effektiv eine Überlastung des Schaltkreises und mögliche Schäden. Dadurch wird die Sicherheit und Stabilität des Systems gewährleistet.

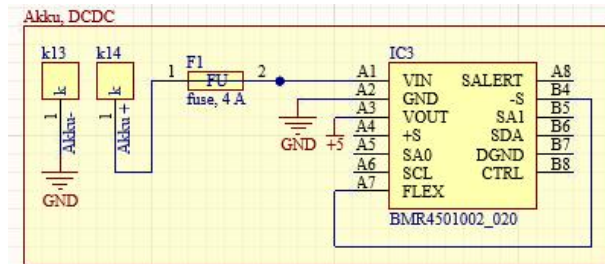


Abbildung 31: Stromversorgungssystem Schematisch

5.2.5 PCB-Design:

Da das Design dieses Projekts einen maximalen Strom von bis zu 6 A unterstützen muss, ist es bei der PCB-Design besonders wichtig, auf die Breite der Leiterbahnen zu achten. Um sicherzustellen, dass der Strom sicher und stabil durch die Leiterplatte fließt, muss die Breite der Leiterbahnen präzise berechnet werden, basierend auf der Strombelastbarkeit. Zu schmale Leiterbahnen können zu Überhitzung oder sogar Beschädigung führen, während ausreichend breite Leiterbahnen die Wärme effektiv ableiten und Überlastung verhindern können.

Da die maximale Leistung des Systems 30 W beträgt und die Eingangsspannung des DC-DC-Wandlers 11,1 V beträgt, ergibt sich ein maximaler Eingangsstrom von 2,7 A. Gleichzeitig kann bei einer Ausgangsspannung von 5 V der maximale Ausgangsstrom auf 6 A berechnet werden.

Laut den Tabellen des IPC-2221 Standards beträgt die Mindestleitungsbreite für einen Strom von 6A 4mm, während für einen Strom von 2,7A eine Mindestleitungsbreite von 1,5 mm erforderlich ist.[\[25\]](#)

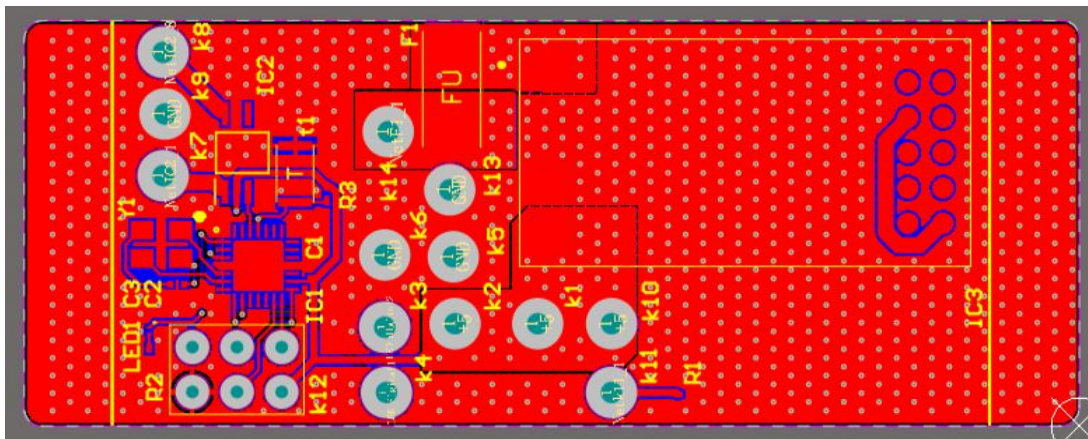


Abbildung 32: PCB Vorderseite

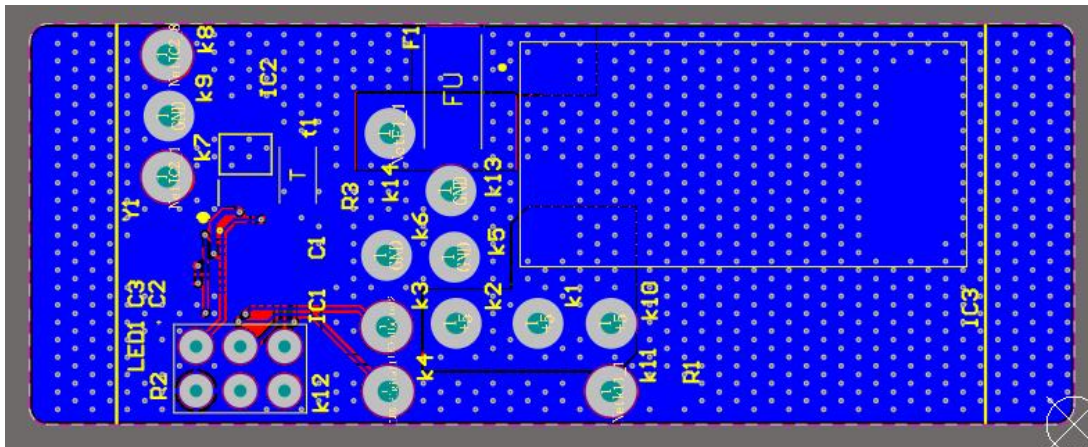


Abbildung 33: PCB Rückseite

5.2.6 Gehäusedesign:

Einleitung:

In diesem Projekt wurde das Gehäuse aus Karton gefertigt, um die Komponenten des Systems zu präsentieren. Obwohl es sich um eine provisorische Lösung handelt, muss das Gehäuse dennoch die grundlegenden Funktionsanforderungen erfüllen. Zunächst muss im Inneren des Gehäuses ausreichend Platz für den Akku, die PCB-Platine sowie für die Verlegung der Kabel vorgesehen werden, um sicherzustellen, dass alle Systemkomponenten stabil montiert und ordnungsgemäß funktionieren können. Um die Verbindung zwischen den internen und externen Schaltkreisen zu gewährleisten, müssen im Gehäuse mehrere Steckdosen installiert werden, die es den Kabeln ermöglichen, nach außen geführt zu werden und mit externen Geräten verbunden zu werden. Darüber hinaus müssen ein Netzschalter und eine Betriebsanzeige in das Gehäuse integriert werden, damit der Benutzer die Stromversorgung bequem ein- und ausschalten kann und den Betriebszustand des Geräts über die Anzeige überwachen kann.

Gehäusegröße:

In diesem Projekt hat die verwendete Akku eine Größe von 55mm × 69mm × 23mm, während die Größe der PCB-Platine 60mm × 23mm beträgt. Um ausreichend Platz für die Kabelverlegung zu gewährleisten und Toleranzen sowie eine gewisse Redundanz zu berücksichtigen, wurde die endgültige Gehäusegröße auf **100mm × 75mm × 28mm** festgelegt. Dieses Design bietet nicht nur genügend Platz für die Aufnahme der Akku und der PCB, sondern auch für andere notwendige Komponenten wie Stecker und Buchsen. Dadurch wird sichergestellt, dass das gesamte System sicher und stabil im Gehäuse untergebracht werden kann. Zusätzlich bietet der redundante Raum eine praktische Lösung für zukünftige Wartungs- und Anpassungsarbeiten.

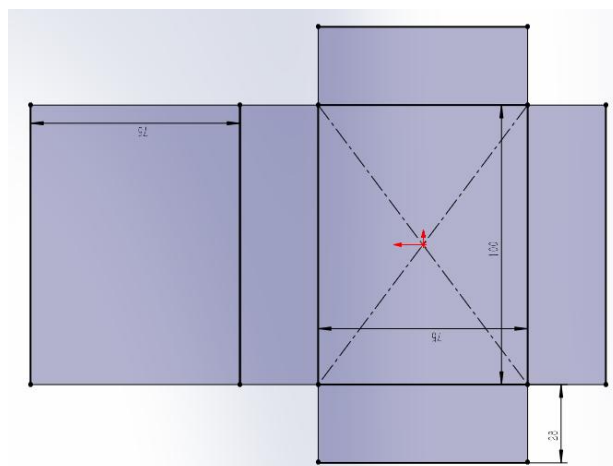


Abbildung 34: Gehäuse Skizze

5 Systementwurf:

Einbauelemente:

Zwei 3-polige Steckdosen[\[26\]](#): Diese Steckdosen sind jeweils für die Verbindung der LED-Streifen im Oberkörper- und Unterkörperbereich verantwortlich. Sie gewährleisten eine zuverlässige Verbindung zu den LED-Streifen und sorgen für eine stabile Signalübertragung.



Abbildung 35: 3-polige Steckdose

XLR-Steckdose[\[27\]](#): Wird verwendet, um DMX-Signale zu empfangen. Das Design der XLR-Steckdose stellt sicher, dass die DMX-Signale stabil eingegeben werden, was eine präzise Steuerung der Lichteffekte ermöglicht.



Abbildung 36: XLR-Steckdose

Stromanschluss[\[28\]](#): Dient dem Aufladen des Akkus. Dieser Anschluss verbindet den Akku mit dem Ladegerät und ermöglicht eine einfache Wartung und Sicherstellung der langfristigen Stabilität des Systems.



Abbildung 37: Stromanschluss

Stromschalter[\[29\]](#): Steuert den Betriebszustand des Systems. Mit dem Stromschalter kann das gesamte System bequem ein- oder ausgeschaltet werden.



Abbildung 38: Stromschalter

5 Systementwurf:

StromanzeigeLED[30]: Zeigt an, ob das System mit Strom versorgt wird. Diese Anzeige bietet dem Benutzer eine klare Rückmeldung zum Stromstatus und hilft dabei, sicherzustellen, dass das System korrekt mit Strom versorgt wird.

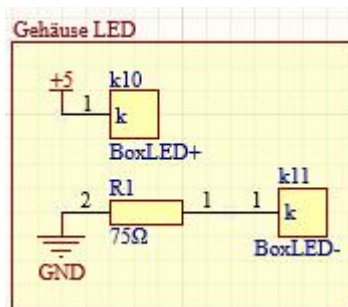


Abbildung 39: ZeigeLED Schematisch

zusammenfassung:

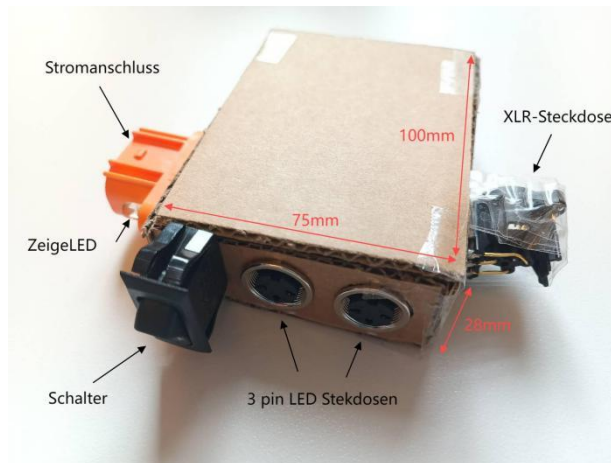


Abbildung 40: Gehäuse außen



Abbildung 41: Im Gehäuse

5.3 software:

5.3.1 Daslight5:

Dieses Produkt verwendet die Software Daslight5[31] zur Steuerung, die eine flexible und leistungsstarke Funktionalität bietet, um die LED-Streifen zu verwalten und anzupassen. Um 6 LED-Streifen präzise zu steuern, müssen in der Software insgesamt 24 Kanäle konfiguriert werden. Die Konfiguration erfolgt wie folgt:

6 RGB-Kanäle: Jedes LED-Band verwendet den RGB-Modus, wobei jedes RGB-Band 3 Kanäle beansprucht. Um daher 6 LED-Streifen zu steuern, werden insgesamt 18 Kanäle benötigt. Die Software Daslight5 bietet umfangreiche Funktionen zur Anpassung dieser RGB-Kanäle, einschließlich Farbauswahl, Helligkeitsregulierung und dynamischen Effekten. Benutzer können diese Funktionen nutzen, um die LED-Streifen vielfältig zu steuern und kreative Effekte zu erzielen.



Abbildung 42: Kanäle Konzept

6 Einzelkanäle: Neben den RGB-Kanälen müssen auch 6 Einzelkanäle (19-24) konfiguriert werden, um zu steuern, ob die Streifen die Befehle der Daslight5-Software ausführen oder auf die im PCB vorab gespeicherten komplexen Lichtmodi umschalten. Jeder Einzelkanal ist für den Betriebsmodus eines LED-Bandes zuständig. Diese Einzelkanäle ermöglichen es dem System, zwischen den von Daslight5 gesteuerten Lichtmodi und den zusätzlichen Lichtmodi auf dem PCB umzuschalten und somit komplexere Lichtmuster und flexible Steuerungsstrategien zu realisieren.

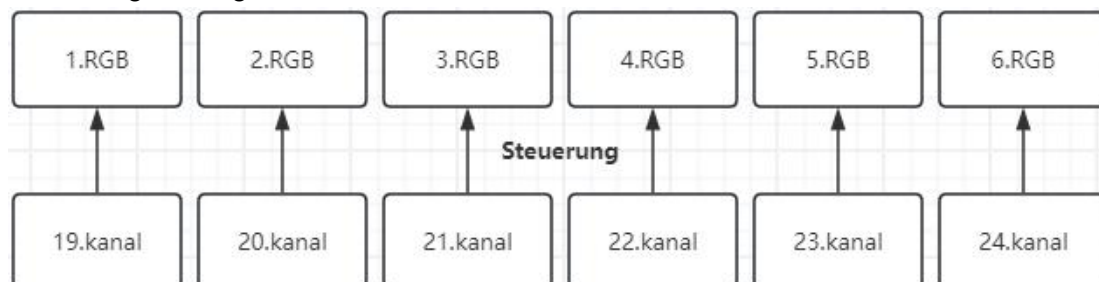


Abbildung 43: Steuerkanäle

Durch die Anpassung des DMX-Kanalwerts für die Steuerkanäle können die entsprechenden LED-Streifen unterschiedliche Lichtmodi ausführen. In diesem Projekt wird bei einem DMX-Kanalwert von 0 der Lichtsteuerbefehl der Daslight5-Software ausgeführt. Wenn der DMX-Kanalwert auf 1 bis 255 eingestellt ist, werden die auf der PCB gespeicherten voreingestellten Lichtmodi ausgeführt. Zur

Demonstration haben wir den Lichtmodus für den DMX-Kanalwert 1 auf „Farbverlauf-Wellen-Mode“ eingestellt, um dessen Effekt zu zeigen. Theoretisch können wir bis zu 255 verschiedene Lichtmodi konfigurieren, um komplexere Anforderungen und Effekte zu erfüllen.

DMX-Kanalwert	Lichtmodul
0	Daslight5
1	Farbverlauf-Wellen
2	...
...	...
255	...

Tabelle 4: Steuerkanäle

5.3.2 Programmierung

Einführung: Dieses Projekt verwendet ein Programm, das auf dem Arduino-Framework basiert und die Bibliotheken Adafruit_NeoPixel und Conceptinetics nutzt, um LED-Streifen über DMX512 zu steuern. Das Hauptziel des Programms besteht darin, die LED-Streifen gemäß den von der DMX-Steuerung gesendeten Befehlen zu steuern und verschiedene Lichteffekte zu realisieren.

Verwendete Bibliotheken:

Adafruit_NeoPixel: Diese Bibliothek ermöglicht die einfache Steuerung von NeoPixel-LED-Streifen.

Conceptinetics: Diese Bibliothek wird verwendet, um die Kommunikation mit dem DMX512-Protokoll zu ermöglichen.

Definitionen und Initialisierung:

DMX_SLAVE_CHANNELS: Definiert die Anzahl der DMX-Kanäle, die verwendet werden. In diesem Fall sind es 24 Kanäle, die 6 Gruppen mit je 3 Kanälen und sechs Steuerkanälen umfassen.

LED-Pins: Die Pins für die beiden LED-Streifen werden definiert (Pin 6 für den ersten und Pin 7 für den zweiten LED-Streifen).

groupSizes: Array, das die Anzahl der LEDs in jeder Gruppe definiert. Die Anzahl kann nach Bedarf angepasst werden.

Setup-Funktion:

Die DMX-Slave-Bibliothek wird aktiviert und die Startadresse für die DMX-Daten wird gesetzt.

Die LED-Streifen werden initialisiert und auf den Anfangszustand gesetzt.

Funktionen:

getGroupStart: Bestimmt die Startposition für jede Gruppe von LEDs basierend auf

dem Gruppenindex. Dies ermöglicht die genaue Steuerung der LEDs innerhalb einer Gruppe.

waveEffect: Implementiert den „Gradient Wave Effect“. Diese Funktion erzeugt einen Wellen-Effekt auf dem LED-Streifen, indem sie die Farben der LEDs basierend auf einer Sinusfunktion anpasst.

selectStrip: Wählt den entsprechenden LED-Streifen basierend auf dem Index aus.

Loop-Funktion:

Steuerung der LED-Streifen: Die Helligkeit und Farbe der LEDs werden basierend auf den Werten der DMX-Kanäle gesetzt. Der Code unterscheidet zwischen den beiden LED-Streifen und wendet die entsprechenden Farben an.

Lesen und Ausführen von Steuerbefehlen: Abhängig von den Werten der Steuerkanäle (Kanäle 19-24) wird die entsprechende Funktion ausgeführt. Bei einem Wert von 1 wird der Wellen-Effekt auf den LED-Streifen angewendet.

```
//Lesen und Ausführen von Steuerbefehlen 读取并执行控制命令
for (int i = 0; i < NUM_GROUPS; i++){
    switch (dmx_slave.getChannelValue (i + 19)){
        case 1:
            int startLED = getGroupStart(i);
            int endLED = startLED + groupSizes[i] - 1;
            waveEffect(selectStrip(i), startLED, endLED, waveOffset[i]);
            break;
        default:
            break;
    }
}
```

Abbildung 44: Steuerkanäle Code

LED-Anzeige: Ein Pin wird verwendet, um eine Status-LED ein- oder auszuschalten, um den Betrieb des Systems anzuzeigen.

Verzögerung und Aktualisierung:

Eine Verzögerung von 50ms wird eingeführt, um die Aktualisierungsrate der LED-Streifen zu steuern und eine Überlastung des Systems zu verhindern.

Zusammenfassung:

Das Programm implementiert eine umfassende Steuerung für die LED-Streifen, einschließlich der Möglichkeit, verschiedene Farben und Effekte über DMX512 zu steuern. Die Implementierung ermöglicht sowohl die Nutzung vordefinierter Lichteffekte als auch die flexible Anpassung der Steuerbefehle über die DMX-Kanäle.

Ablaufdiagramm:

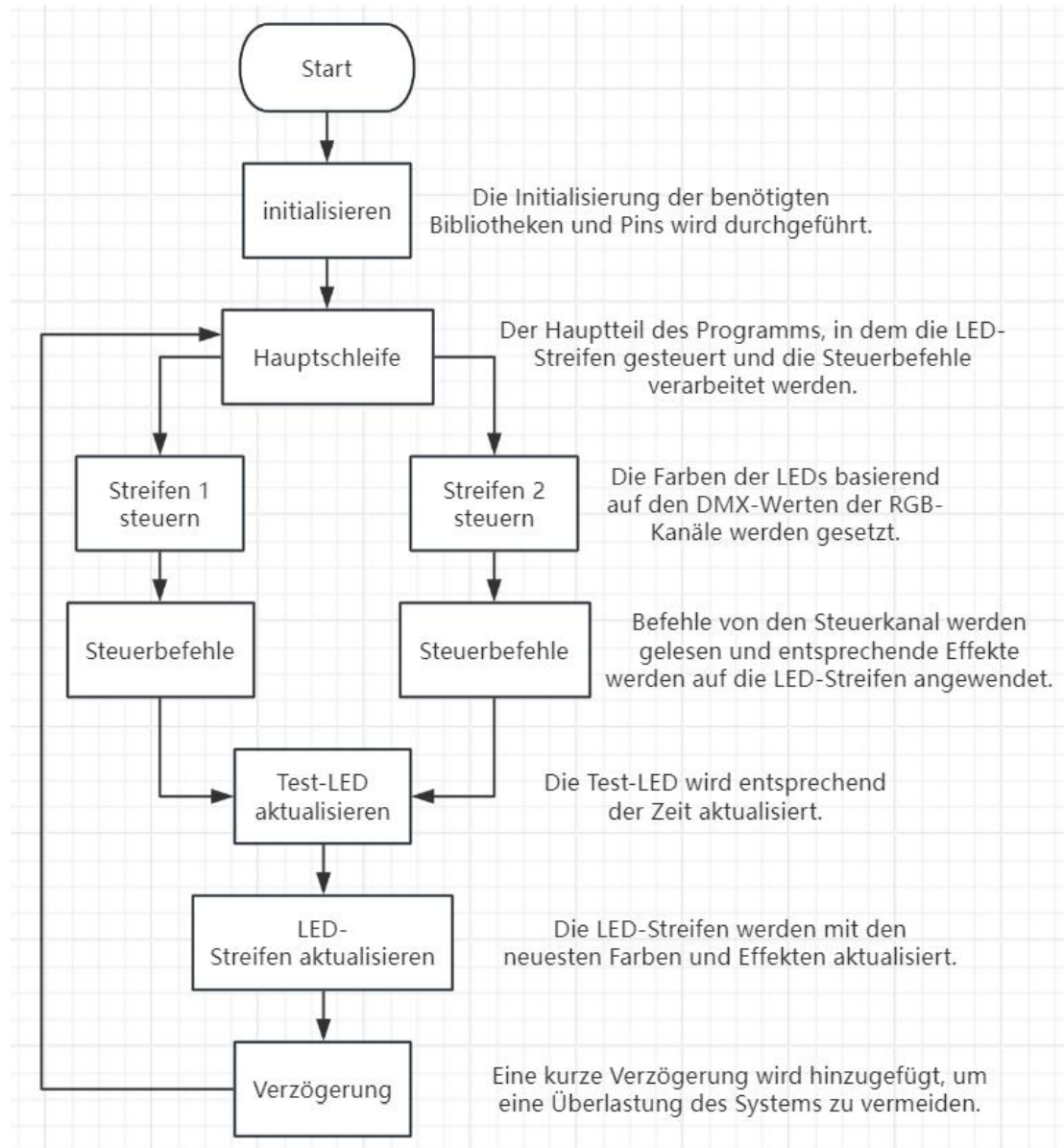


Abbildung 45 Programmierung Ablaufdiagramm

6 Test:

6.1 Messung der Leistungsaufnahme:

Das System wurde mit einem Laborstromversorgungsgerät betrieben, das gleichzeitig die Spannung und den Strom messen kann. Es wurden Messungen des Energieverbrauchs der LED-Streifen in verschiedenen Betriebsmodi durchgeführt: bei voller Helligkeit für Rot, Blau, Grün sowie für Weiß (RGB-Vollbeleuchtung).

Leistung bei voller Helligkeit Rot:

$$5.0V \times 2.7A = 13.5W$$



Abbildung 46: Rot Leistung

Leistung bei voller Helligkeit Blau:

$$5.0V \times 2.7A = 13.5W$$



Abbildung 47: Blau Leistung

Leistung bei voller Helligkeit Grün:

$$5.0V \times 2.8A = 14.0W$$



Abbildung 48: Grün Leistung

Leistung im RGB-Modus (voll eingeschaltet):

$$5.0V \times 6.0A = 30.0W$$



Abbildung 49: max. Leistung

6.2 Zusammenfassung:

Nachdem alle Komponenten dieses Projekts erfolgreich zusammengebaut wurden, wurde ein umfassender Funktionstest durchgeführt. Das System zeigte in allen Betriebsmodi eine stabile Leistung, und alle Komponenten arbeiteten einwandfrei zusammen. Bei vollständig aufgeladenem Akku konnte das System unter maximaler Leistung(30W) für 57 Minuten kontinuierlich betrieben werden, ohne dass es zu Problemen kam. Dies zeigt, dass das System in realen Einsatzumgebungen eine zuverlässige Leistung und ausreichende Akkulaufzeit bietet.

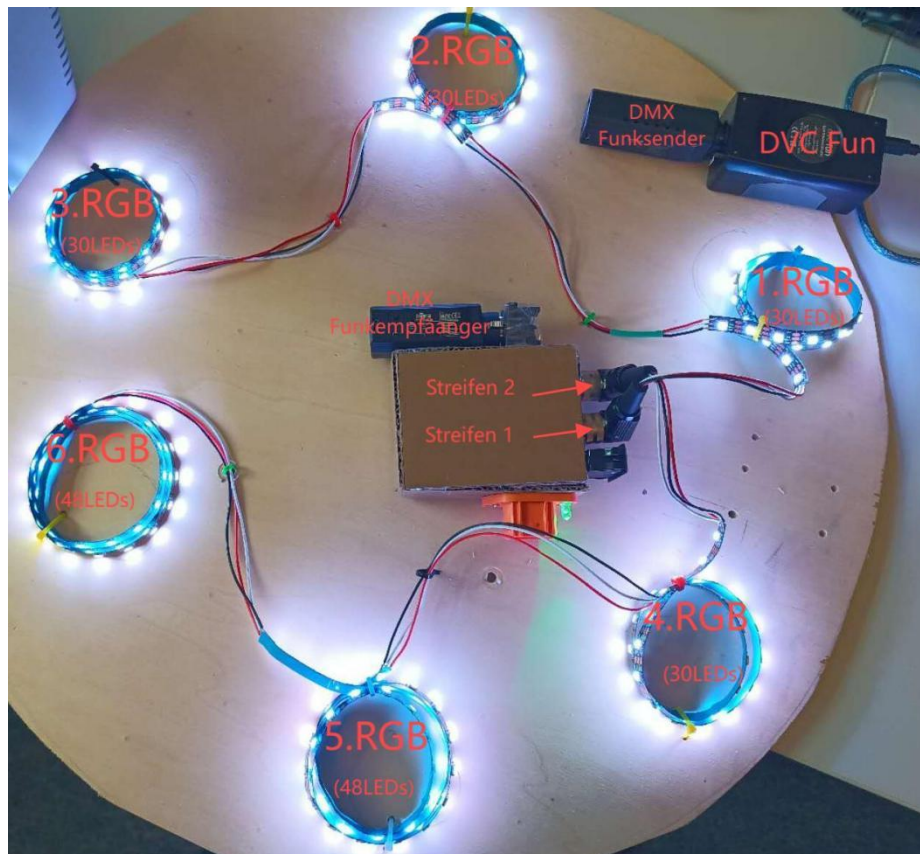


Abbildung 50: System Zusammenfassung

7 Fazit:

7.1 Zusammenfassung der Aufgaben:

Dieses Produkt ermöglicht eine erfolgreiche Fernsteuerung der LED-System mit einer Reichweite von bis zu 50 Metern, was es für die meisten Bühnenumgebungen geeignet macht. Die Steuerung erfolgt über die Daslight-Software auf einem Computer, wobei der Benutzer nicht nur die integrierten Funktionen der Software, wie den Musik-Synchronisationsmodus, nutzen kann, sondern auch über Steuerkanäle auf die voreingestellten Lichtmodi der PCB umschalten kann, um komplexere Lichteffekte zu steuern. Bei vollständig aufgeladener Akku kann das Produkt mindestens 57 Minuten lang ununterbrochen betrieben werden, was für die meisten Auftritte und Shows ausreichend ist. Diese Flexibilität und Akkulaufzeit machen das System ideal für Bühnenperformances, da es sowohl schnelle Lichtwechsel als auch einen zuverlässigen Betrieb über längere Zeiträume hinweg ermöglicht und den Anwendern eine stabile Leistung und eine einfache Steuerung bietet.

7.2 Verbesserung:

Auswahl des DCDC-Wandlers: Aufgrund eines Designfehlers wurde in diesem Projekt ein DCDC-Wandler verwendet, dessen Leistungskapazität weit über den tatsächlichen Anforderungen des Systems liegt. Obwohl der aktuelle Wandler seine Aufgabe zuverlässig erfüllt, wäre es aus Kostengründen sinnvoll, ein Modell zu wählen, das besser auf die benötigte Leistung abgestimmt ist. Ein geeigneterer DCDC-Wandler könnte nicht nur die Gesamtkosten des Systems senken, sondern auch die Energieeffizienz optimieren, ohne die Funktionalität oder Leistung zu beeinträchtigen. Dies stellt eine wichtige Möglichkeit dar, das Design zukünftiger Versionen zu verbessern und das Produkt wirtschaftlicher zu gestalten.

Gehäusedesign: In diesem Projekt wurde für Demonstrationszwecke ein Gehäuse aus Karton verwendet, das lediglich der Präsentation dient. Bei einer tatsächlichen Nutzung würde dieses Gehäuse durch eine präzisere, funktionellere Variante aus hochwertigeren Materialien ersetzt werden. Ein solches Gehäuse würde nicht nur die Stabilität und Haltbarkeit des Produkts erhöhen, sondern auch eine bessere Integration der internen Komponenten gewährleisten. Durch den Einsatz optimierter Materialien könnte zudem die Wärmeableitung verbessert und die allgemeine Widerstandsfähigkeit des Systems gegen äußere Einflüsse, wie Stöße oder Feuchtigkeit, erhöht werden. Dies stellt einen wichtigen Schritt für die Weiterentwicklung des Produkts dar.

Anlagen

Schematische Darstellung der Schaltung

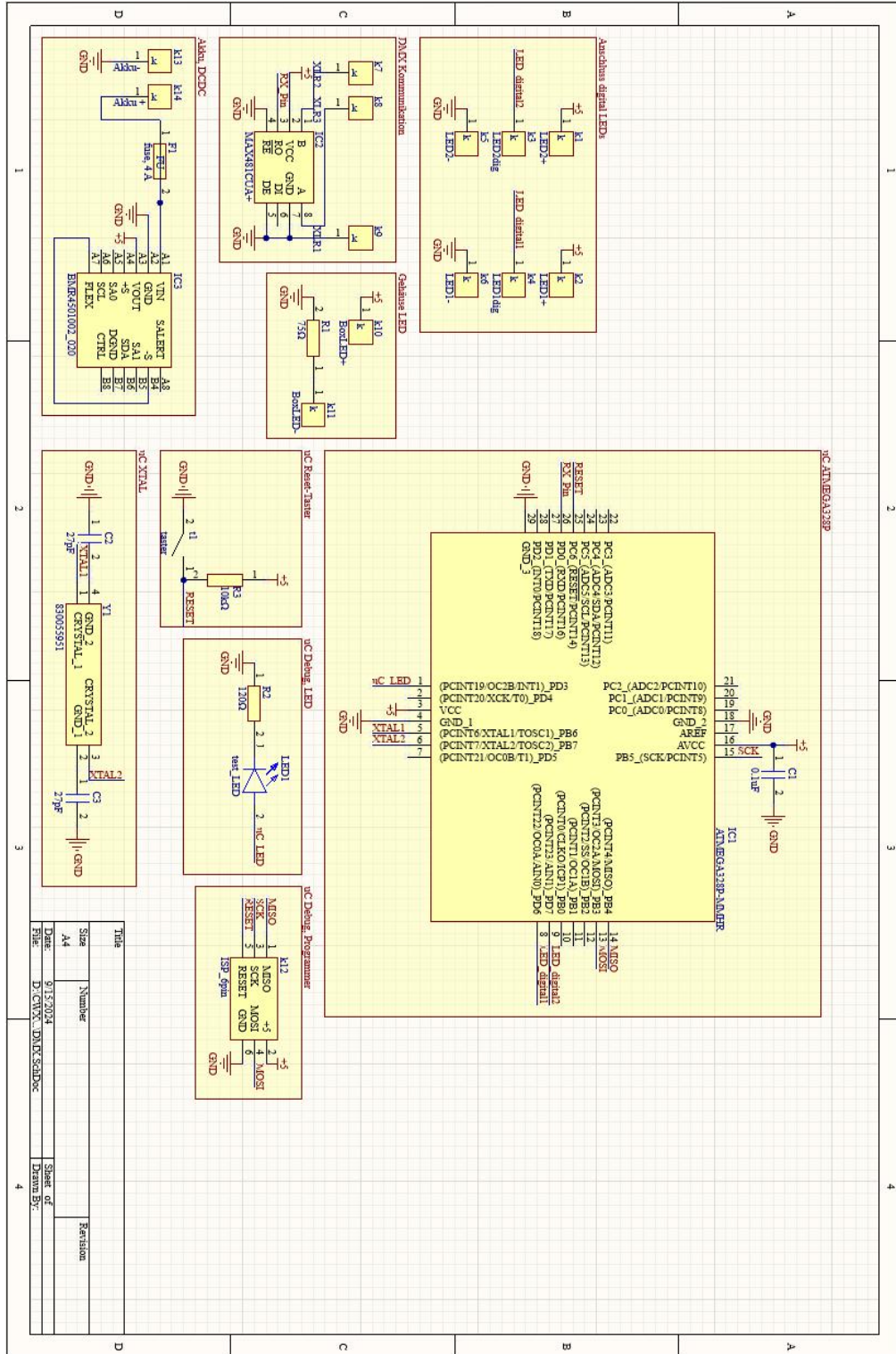


Abbildung 51: schematisch

Gerber der Leiterplatte

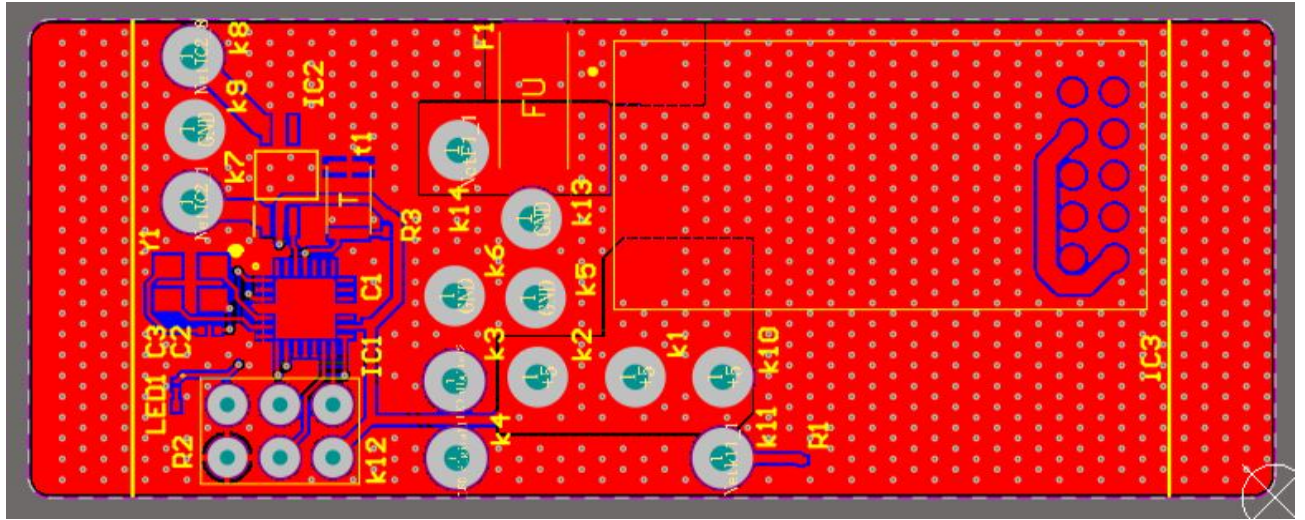


Abbildung 52: PCB Vorderseite

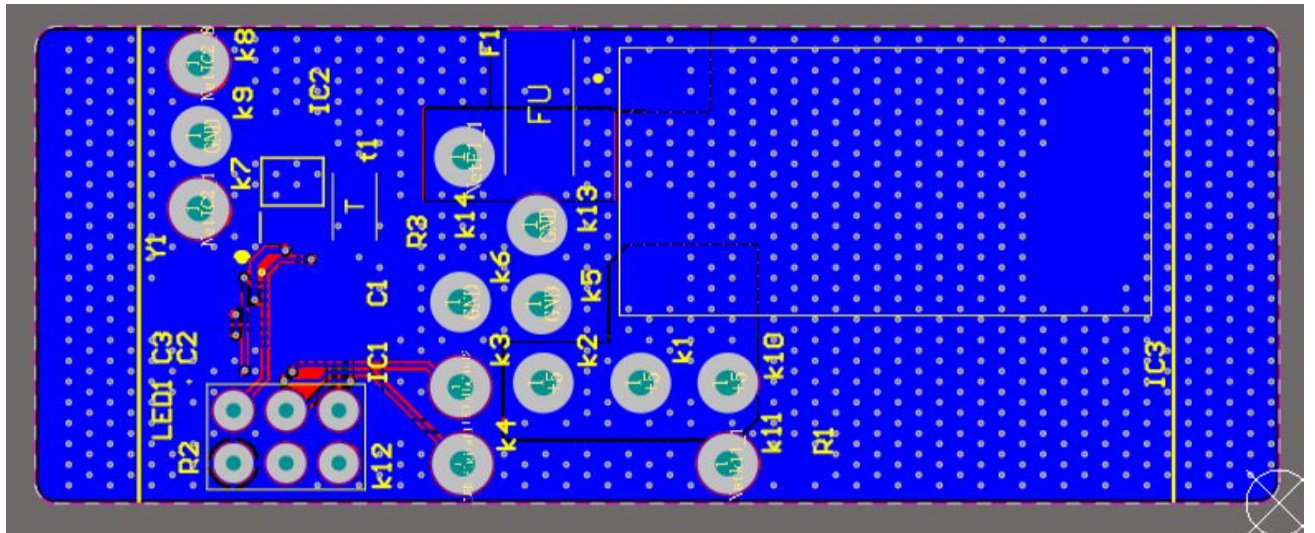


Abbildung 53: PCB Rückseite

Programm

Verwendete Bibliotheken, Definitionen und Initialisierung

```

1  #include <Adafruit_NeoPixel.h>
2  #include <Conceptinetics.h>
3
4  #define DMX_SLAVE_CHANNELS 24 // 6 Gruppen, 3 Kanälen pro Gruppe, 6 Steuerkanäle
5  // #define RXEN_PIN 2
6  const int ledPin = 3;
7  #define LED_PIN1 6
8  #define LED_PIN2 7
9  #define NUM_GROUPS 6 // Gesamtzahl der Gruppen 总的控制组数量
10
11 // Anzahl der LEDs pro Gruppe (benutzerdefiniert) 每组的 LED 数量 (自定义)
12 int groupSizes[NUM_GROUPS] = {30, 30, 30, 30, 48, 48}; // Kann nach Bedarf geändert werden 可根据需要修改
13
14 // Zwei LED-Streifen initialisieren 初始化两条灯带
15 Adafruit_NeoPixel strip1 = Adafruit_NeoPixel(groupSizes[0]+groupSizes[1]+groupSizes[2], LED_PIN1, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
16 Adafruit_NeoPixel strip2 = Adafruit_NeoPixel(groupSizes[3]+groupSizes[4]+groupSizes[5], LED_PIN2, NEO_GRB + NEO_KHZ800);
17
18 DMX_Slave dmx_slave(DMX_SLAVE_CHANNELS);
19
20 // globale Variable waveOffset 全局变量 waveOffset
21 int waveOffset[NUM_GROUPS] = {0, 0, 0, 0, 0, 0};
22
23 // globale Variable time_set 全局变量 time_set
24 int time_set = 0;

```

Abbildung 54: Code1

Funktionen

```

25
26 // Funktionen zur Ermittlung der Startposition 获取组起始位置的函数
27 int getGroupStart(int groupIndex) {
28     int start = 0;
29     for (int i = 0; i < groupIndex; i++) {
30         start += groupSizes[i];
31     }
32     if (groupIndex > 2) {
33         start -= groupSizes[0] + groupSizes[1] + groupSizes[2];
34     }
35     return start;
36 }
37
38 // Farbverlaufswelleneffekt-Funktion 渐变色波浪效果函数
39 void waveEffect(Adafruit_NeoPixel &strip, int startLED, int endLED, int &waveOffset) {
40     for (int i = startLED; i <= endLED; i++) {
41         int pos = (i * 256 / (endLED - startLED + 1)) + waveOffset;
42         strip.setPixelColor(i, strip.Color((sin(pos * 0.024) + 1) * 127, (sin(pos * 0.024 + 2) + 1) * 127, (sin(pos * 0.024 + 4) + 1) * 127));
43     }
44     waveOffset = (waveOffset + 31) % 256;
45     // Erhöhung des waveOffset und Durchführung einer Modulo-Operation zur Erzeugung des Wellenmusters
46     // 增加 waveOffset 并进行模运算以创建波浪效果
47 }
48
49 // Funktion: LED-Streifen wählen 选择灯带函数
50 Adafruit_NeoPixel& selectStrip(int i) {
51     return (i < 3) ? strip1 : strip2;
52 }

```

Abbildung 55: Code2

Setup-Funktion und Loop-Funktion

```
53
54 void setup() {
55     dmx_slave.enable();
56     dmx_slave.setStartAddress(1);
57     //dmx_slave.setRXENPin(RXEN_PIN);
58
59     pinMode(ledPin, OUTPUT);
60
61     strip1.begin();
62     strip1.show(); // Initialisierung der LED-Leiste 1 初始化灯带1
63     strip2.begin();
64     strip2.show(); // Initialisierung der LED-Leiste 2 初始化灯带2
65 }
66
67 void loop() {
68     // Steuerung LED-Streifen 1 控制灯带1
69     for (int i = 0; i < NUM_GROUPS/2; i++) {
70         int red = dmx_slave.getChannelValue(i * 3 + 1);
71         int green = dmx_slave.getChannelValue(i * 3 + 2);
72         int blue = dmx_slave.getChannelValue(i * 3 + 3);
73         int startLED = getGroupStart(i);
74         int endLED = startLED + groupSizes[i] - 1;
75         for (int j = startLED; j <= endLED; j++) {
76             strip1.setPixelColor(j, strip1.Color(red, green, blue));
77         }
78     }
79
80     // Steuerung LED-Streifen 2 控制灯带2
81     for (int i = 0; i < NUM_GROUPS/2; i++) {
82         int red = dmx_slave.getChannelValue((i + NUM_GROUPS/2) * 3 + 1);
83         int green = dmx_slave.getChannelValue((i + NUM_GROUPS/2) * 3 + 2);
84         int blue = dmx_slave.getChannelValue((i + NUM_GROUPS/2) * 3 + 3);
85         int startLED = getGroupStart(i + NUM_GROUPS / 2);
86         int endLED = startLED + groupSizes[i + NUM_GROUPS / 2] - 1;
87         for (int j = startLED; j <= endLED; j++) {
88             strip2.setPixelColor(j, strip2.Color(red, green, blue));
89         }
90     }
91 }
```

Abbildung 56: Code3

```

91 //Lesen und Ausführen von Steuerbefehlen 读取并执行控制命令
92 for (int i = 0; i < NUM_GROUPS; i++){
93     switch (dmx_slave.getChannelValue (i + 19)){
94         case 1:
95             int startLED = getGroupStart(i);
96             int endLED = startLED + groupSizes[i] - 1;
97             waveEffect(selectStrip(i), startLED, endLED, waveOffset[i]);
98             break;
99             default:
100             break;
101         }
102     }
103 }
104
105 //Die Status-LED wird entsprechend der Zeit aktualisiert.
106 time_set = (time_set + 1) % 100;
107 if (time_set < 50){
108     digitalWrite(ledPin, HIGH);
109 }else{
110     digitalWrite(ledPin, LOW);
111 }
112
113 strip1.show();
114 strip2.show();
115 delay(50); // Hinzufügen einer Verzögerung, um häufige Aktualisierungen zu vermeiden 添加适当的延时, 避免频繁更新
116 }

```

Abbildung 57: Code4

Literaturverzeichnis

- [1] Thomann. DVC Fun <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [2] Thomann. DVC Gold <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [3] Thomann. Cameo DVC <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [4] Thomann. Chauvet DJ D-Fi XLR TX <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [5] Thomann. Chauvet DJ D-Fi XLR RX <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [6] Thomann. Eurolite QuickDMX Wireless transmitter <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [7] Thomann. Eurolite QuickDMX Wireless Receiver <https://www.thomann.de> Ansehen am 26,06,2024
- [8] store.arduino. Arduino Nano <https://store.arduino.cc> Ansehen am 02,06,2024
- [9] store.arduino. Arduino Uno Rev3 <https://store.arduino.cc> Ansehen am 02,06,2024
- [10] store.arduino. Arduino Mega 2560 <https://store.arduino.cc> Ansehen am 02,06,2024
- [11] Daslight. Daslight <https://www.daslight.com> Ansehen am 02,06,2024
- [12] arduino. Arduino IDE <https://www.arduino.cc> Ansehen am 02,06,2024
- [13] Mouser. ATMEGA328P-MMH <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [14] Mouser. Quarze 16.0MHz <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [15] Mouser. Kondensator SMD 27pF <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [16] Mouser. Taster <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [17] Mouser. SMD 10 k Ohms <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [18] Mouser. Standard-LEDs - SMD <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [19] Amazon. WS2812B LED Streifen <https://www.amazon.de> Ansehen am 26,06,2024
- [20] Mouser. MAX481CUA+ <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [21] Amazon. DMX Shield <https://www.amazon.de> Ansehen am 26,06,2024
- [22] Mouser. DC-DC-WANDLER <https://www.mouser.de> Ansehen am 18,07,2024
- [23] rs-online. Li-Ion Akkupack <https://de.rs-online.com> Ansehen am 24,07,2024
- [24] Mouser. Sicherungen <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [25] Zachariah Peterson. Leiterbahnbreite und Stromstärke in Hochleistungs-PCB-Designs <https://resources.altium.com> Ansehen am 25,07,2024
- [26] reichelt. M8-Kupplung, 3-polig, Print, Hinterwandmontage <https://www.reichelt.com> Ansehen am 24,07,2024
- [27] Mouser. XLR-Anschlüsse <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [28] Mouser. Steckverbinder <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [29] Mouser. Wippschalter <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [30] Mouser. Standard-LED <https://www.mouser.de> Ansehen am 24,07,2024
- [31] Daslight. Daslight5 <https://www.daslight.com> Ansehen am 02,06,2024
- [32] Wikipedia. DMX512 <https://en.wikipedia.org> Ansehen am 02,06,2024
- [33] Wikipedia. WLAN <https://en.wikipedia.org> Ansehen am 02,06,2024

[34] Wikipedia. Leuchttexilie <https://en.wikipedia.org> Ansehen am 02,06,2024

[35] Wikipedia. Leuchtdiode <https://en.wikipedia.org> Ansehen am 02,06,2024

[36] yxc. Formel zur Berechnung der Lastkapazität eines Quarzoszillators
<https://www.yxc.hk> 02,06,2024

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 16.09.2024

Chen,Wenxin

