

Vorgelegt von

**Tomitsch Tanja**

00301550

Studienkennzahl: 324

[anja.tomitsch@htlstp.ac.at](mailto:anja.tomitsch@htlstp.ac.at)

Beurteiler/Beurteilerin

**Dipl.-Ing Wolfgang Uriel Kuran**

St. Pölten, am 18.10.2024

# Leitfähiger 3D-Druck

Einsatzmöglichkeit im Unterricht einer Höheren Technischen Lehranstalt

Bachelorarbeit zur Erlangung

des akademischen Grades Bachelor of Education (BEd)

im Hochschulstudium Facheinschlägige Studien ergänzende Studien

im Rahmen der Lehrveranstaltung ( [392FEA11] Modul 11: Bachelormodul/Bachelorarbeit)

Pädagogische Hochschule

Niederösterreich

Mühlgasse 67

2500 Baden

[www.ph-noe.ac.at](http://www.ph-noe.ac.at)

---

## Plagiatserklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die eingereichte Bachelorarbeit selbstständig angefertigt und die mit ihr unmittelbar verbundenen Tätigkeiten selbst erbracht habe. Ich erkläre weiters, dass ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Alle aus gedruckten, ungedruckten Werken oder dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte sind gemäß den Regeln für wissenschaftliche Arbeiten zitiert und durch Fußnoten bzw. durch andere genaue Quellenangaben gekennzeichnet. Die während des Arbeitsvorgangs gewährte Unterstützung einschließlich signifikanter Betreuungshinweise ist vollständig angegeben. Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.



Tanja Tomitsch

St. Pölten, am 18.10.2024

## Abstract Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit untersucht den Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs). Ziel ist es, die Potenziale dieser Technologie für die Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler zu evaluieren und ein nachhaltiges Produktivprogramm zu entwickeln. Basierend auf einem design-based Research-Ansatz wurden theoretische Grundlagen vermittelt, praktische Versuche durchgeführt und ein umfassendes Unterrichtskonzept entwickelt.

Die Untersuchung zeigte, dass der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament signifikant zur Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler beiträgt. Die praktische Arbeit ermöglichte den Schülern, theoretische Kenntnisse direkt anzuwenden und ihre Problemlösungsfähigkeiten zu stärken. Das Projekt "lichtsuchende Pflanze" demonstrierte die erfolgreiche Integration von Elektronik, Elektrotechnik und Signalverarbeitung.

Die Limitationen dieser Arbeit umfassen die begrenzte Stichprobe, kurzfristige Beobachtungen und technische Herausforderungen. Zukünftige Forschungen sollten diese Aspekte berücksichtigen und größere, langfristige Studien einbeziehen. Die Implementierung des entwickelten Produktivprogramms bietet eine praxisnahe und innovative Ausbildung, die Schüler optimal auf zukünftige berufliche Herausforderungen vorbereitet.

This bachelor thesis examines the use of electrically conductive 3D printing filament in workshop teaching at Higher Technical Colleges (HTLs). The aim is to evaluate the potential of this technology for improving students' technical and practical skills and to develop a sustainable productivity program. Based on a design-based research approach, theoretical foundations were conveyed, practical experiments were conducted, and a comprehensive teaching concept was developed.

The study showed that the use of electrically conductive 3D printing filament significantly contributes to improving students' technical and practical skills. The practical work allowed students to apply theoretical knowledge directly and strengthen their problem-solving abilities. The "light-seeking plant" project demonstrated the successful integration of electronics, electrical engineering, and signal processing.

The limitations of this work include the limited sample size, short-term observations, and technical challenges. Future research should address these aspects and include larger, long-term studies. The implementation of the developed productivity program offers a practical and innovative education that prepares students optimally for future professional challenges.

## Vorwort

Die fortschreitende Digitalisierung und Technologisierung prägen zunehmend die Bildungslandschaft und eröffnen neue Möglichkeiten für die technische Ausbildung an Schulen. Insbesondere der 3D-Druck hat sich als eine Schlüsseltechnologie etabliert, die nicht nur in der Industrie, sondern auch im Bildungssektor vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bietet. Die vorliegende Bachelorarbeit untersucht den Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs) und zielt darauf ab, ein nachhaltiges Produktivprogramm zu entwickeln, das die technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler stärkt.

Ein zentraler Bestandteil dieser Arbeit ist das Projekt "lichtsuchende Pflanze", das die erfolgreiche Integration von Elektronik, Elektrotechnik und Signalverarbeitung demonstriert. Durch die Kombination von Theorie und Praxis sollen die Schüler nicht nur in ihrem technischen Verständnis gefördert, sondern auch auf zukünftige berufliche Herausforderungen vorbereitet werden.

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein besonderer Dank gilt meinen Betreuern, die mir mit ihrer Expertise und ihren wertvollen Ratschlägen zur Seite standen. Ebenso danke ich den Schüler:innen der HTL St. Pölten, die an den vorbereitenden Arbeiten teilgenommen haben sowie den Lehrkräften, die dieses Projekt unterstützt und gefördert haben.

Ich hoffe, dass diese Arbeit einen Beitrag zur Weiterentwicklung des Werkstättenunterrichts leisten kann und dass die entwickelten Konzepte und Programme in der Praxis erfolgreich Anwendung finden.

Tanja Tomitsch

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	7
2	Grundlagen von elektrisch leitfähigem Filament und dem Einsatz im Schulunterricht.....	8
2.1	3D-Druck als Technologie .....	8
2.1.1	Entwicklung des 3D-Drucks .....	8
2.1.2	Elektrisch leitfähiges Filament.....	8
2.1.3	Einsatz von 3D-Druck im Unterricht .....	9
2.1.4	Vorteile der Integration in HTLs .....	9
3	Fragestellungen .....	10
3.1	Hauptforschungsfrage .....	10
3.2	Nebenforschungsfragen .....	10
4	Methodik .....	11
4.1	Forschungsdesign .....	11
4.2	Vorgehensweise .....	11
4.3	Vorbereitende Arbeiten: .....	11
4.4	Entwicklung des Produktivprogramms:.....	11
4.5	Erhebung und Messung:.....	12
4.6	Auswertung .....	12
4.7	Beschreibung der zukünftigen Zielgruppe.....	12
4.7.1	Auswahl der Zielgruppe.....	12
4.7.2	Anzahl und Geschlecht .....	13
4.7.3	Gründe für die Teilnahme oder Nicht-Teilnahme .....	13
4.7.4	Methodisches Vorgehen .....	13
5	Beantwortung der Fragestellungen.....	14
5.1	Hauptforschungsfrage .....	14
5.1.1	Inwieweit kann der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an HTLs zur Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler beitragen? .....	14
5.2	Nebenforschungsfragen .....	14
5.2.1	Wie kann der 3D-Druck im Unterricht so integriert werden, dass er die Kreativität und Problemlösungsfähigkeiten der Schüler:innen fördert? .....	14
5.2.2	Wie können die Schüler:innen optimal auf den Einsatz dieser Technologien, im Sinne eines Produktivprogrammes, vorbereitet werden? .....	15
5.2.3	Welche Ressourcen und Unterstützungen sind notwendig, um die Nachhaltigkeit und den langfristigen Erfolg des Programms sicherzustellen? .....	15
6	Vorbereitende Übung für das Produktivprogramm .....	16

6.1	Ablauf für die Schüler:innen .....	16
6.1.1	Phase 1 – Allgemeine Theorie .....	16
6.1.2	Phase 2 – Erste praktische Versuche .....	16
6.1.3	Phase 3 - Aufbau von Grundlagenwissen/Recherche .....	17
6.1.4	Phase 4 - Entwicklung eigener Projekte .....	17
7	Ergebnis aus den vorbereitenden Arbeiten .....	18
7.1	Schülerbezogene Ergebnisse .....	18
7.1.1	Beobachtungen während der praktischen Versuche .....	18
7.1.2	Interviews mit den Schülern.....	18
7.2	Materialbezogene Ergebnisse .....	19
7.3	Produktivprogramm .....	20
8	Lichtsuchende Pflanze – Produktivprogramm zum Einsatz in der Werkstätte der Abteilung Elektronik und Technischen Informatik an der HTL .....	21
8.1	Allgemeine Beschreibung .....	21
8.2	Angestrebte Funktionen.....	21
8.3	Verwendete Komponenten .....	21
8.3.1	3D-gedruckte „lichtsuchende Pflanze“ .....	21
8.3.2	Drehteller mit Motor .....	22
8.3.3	Mikrocontroller .....	23
8.3.4	Solarzellen .....	24
8.3.5	Schrittmotor .....	24
8.3.6	Akku .....	24
8.4	Umsetzung.....	25
8.4.1	Test der Komponenten.....	25
8.4.2	Testaufbau.....	27
8.4.3	Programmierung.....	33
9.	Zusammenfassung, Ausblick und Limitationen .....	35
9.1	Zusammenfassung.....	35
9.2	Ausblick.....	36
9.3	Limitationen .....	36
	Literaturverzeichnis .....	38
	Abbildungsverzeichnis.....	39
	Tabellenverzeichnis .....	40

# 1 Einleitung

Die fortschreitende Digitalisierung und Technologisierung prägen nicht nur die industrielle Landschaft, sondern wirken sich auch zunehmend auf den Bildungssektor aus. Eine der bahnbrechenden Technologien, die sowohl in der Industrie als auch im Bildungsbereich eine zentrale Rolle spielen, ist der 3D-Druck. Diese Technologie ermöglicht die schichtweise Herstellung dreidimensionaler Objekte direkt aus digitalen Modellen und bietet dabei zahlreiche Vorteile gegenüber traditionellen Fertigungsmethoden, wie zum Beispiel die Reduktion von Materialabfällen und die Fähigkeit zur Herstellung komplexer Geometrien.

In den letzten Jahren hat sich der 3D-Druck von einer reinen Prototyping-Technologie zu einer vielseitigen Produktionstechnologie entwickelt, die in einer Vielzahl von Branchen eingesetzt wird, einschließlich Medizin, Luft- und Raumfahrt, Automobilindustrie und Konsumgüterproduktion. Besonders innovativ ist die Entwicklung von elektrisch leitfähigem Filament, welches neue Anwendungsbereiche im Bereich der Elektronik und Sensorik eröffnet. Diese Materialien ermöglichen die Herstellung von funktionalen elektronischen Bauteilen direkt aus dem Drucker, was neue Möglichkeiten für die Integration von Elektronik in alltägliche Objekte bietet.

In diesem Kontext gewinnt der Einsatz von 3D-Drucktechnologien im Bildungswesen, insbesondere an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs), zunehmend an Bedeutung. Die Integration dieser Technologie in den Unterricht fördert nicht nur das technische Verständnis und die Kreativität der Schüler:innen, sondern auch ihre Problemlösungsfähigkeiten und ihr Verständnis für komplexe Produktionsprozesse. Durch die Möglichkeit, theoretisches Wissen in die Praxis umzusetzen, können Schüler:innen ihre Innovationsfähigkeit und praktischen Fertigkeiten entwickeln.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Produktivprogramms für den Einsatz von 3D-Drucktechnologien im Werkstättenunterricht an HTLs in der Abteilung Elektronik und Technischen Informatik. Dieses Programm soll Lehrer:innen und Schüler:innen dabei unterstützen, die Potenziale des 3D-Drucks und des elektrisch leitfähigen Filaments voll auszuschöpfen, um innovative Projekte zu realisieren, die sowohl technische als auch pädagogische Anforderungen erfüllen.

## **2 Grundlagen von elektrisch leitfähigem Filament und dem Einsatz im Schulunterricht**

Das folgende Kapitel bietet eine umfassende Übersicht über die Grundlagen von elektrisch leitfähigem Filament, einschließlich seiner Eigenschaften, Herstellung und aktuellen Einsatzmöglichkeiten. Darüber hinaus wird die Bedeutung und der Nutzen dieser Technologie im Schulunterricht, insbesondere an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs), beleuchtet. Dabei wird aufgezeigt, wie der Einsatz von elektrisch leitfähigem Filament dazu beitragen kann, technische und praktische Kompetenzen der Schüler zu fördern und ihnen wertvolle praktische Erfahrungen zu vermitteln.

### **2.1 3D-Druck als Technologie**

Der 3D-Druck, auch als eine Möglichkeit der additiven Fertigung bekannt, hat die Produktionslandschaft in den letzten Jahrzehnten grundlegend verändert. Diese Technologie ermöglicht es, dreidimensionale Objekte schichtweise aus digitalen Modellen zu erstellen, was gegenüber traditionellen Fertigungsmethoden zahlreiche Vorteile bietet, wie die Reduktion von Abfallmaterialien und die Fähigkeit, komplexe Geometrien zu produzieren. Die Ursprünge des 3D-Drucks reichen bis in die 1980er Jahre zurück, als Charles Hull das erste Patent für das Stereolithographie-Verfahren erhielt, das als Fundament der modernen 3D-Druck-Technologie gilt [1].

#### **2.1.1 Entwicklung des 3D-Drucks**

Die Entwicklung des 3D-Drucks ist durch kontinuierliche Innovationen und Fortschritte in verschiedenen Drucktechnologien gekennzeichnet, darunter Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS) und Direct Metal Laser Sintering (DMLS). Jede dieser Technologien hat spezifische Anwendungen und Vorteile. Laut Gibson et al. [2] hat insbesondere die FDM-Technologie im Bildungsbereich an Bedeutung gewonnen, da sie kostengünstig ist und eine breite Palette von Materialien unterstützt. Ein weiterer bedeutender Fortschritt war die Einführung multifunktionaler Drucker, die mehrere Materialien gleichzeitig verarbeiten können und so die Flexibilität und Anwendungsbereiche erheblich erweitern [3].

#### **2.1.2 Elektrisch leitfähiges Filament**

Eine der jüngsten Innovationen im 3D-Druck ist die Entwicklung von elektrisch leitfähigem Filament. Dieses spezielle Filament enthält Materialien wie Kohlenstoffnanoröhren oder Graphen, die elektrische Leitfähigkeit ermöglichen. Zeng et al. [4] haben in ihrer Studie die Potenziale von leitfähigem 3D-Druckfilament untersucht und festgestellt, dass diese Technologie besonders für die Herstellung funktionaler elektronischer Bauteile geeignet ist. Solche Materialien eröffnen neue Möglichkeiten im Bereich der Elektronik und Sensorik und ermöglichen die Herstellung integrierter Schaltkreise und Antennen direkt aus dem Drucker.



### **2.1.3 Einsatz von 3D-Druck im Unterricht**

Der Einsatz von 3D-Drucktechnologien im Unterricht, insbesondere an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs), bietet zahlreiche pädagogische Vorteile. Diese Technologie fördert nicht nur das technische Verständnis und die Kreativität der Schüler:innen, sondern auch ihre Problemlösungsfähigkeiten und ihr Verständnis für komplexe Produktionsprozesse. Novak und Weis [5] haben in ihrer qualitativen Studie gezeigt, dass Lehrer:innen die Integration von 3D-Druck in den Unterricht positiv bewerten, obwohl sie auch Herausforderungen wie mangelnde Schulungen und begrenzte Ressourcen erwähnen.

Die Möglichkeit, theoretisches Wissen praktisch anzuwenden, verstärkt den Nutzen des 3D-Drucks im Unterricht. Kostakis et al. [6] stellten fest, dass der Einsatz von 3D-Druck im STEM-Bereich (Science, Technology, Engineering, Mathematics) erheblich zur Förderung interdisziplinärer Kompetenzen beiträgt. Weitere Studien, wie die von Horvath und Cameron [7], unterstützen diese Sichtweise, indem sie die positiven Auswirkungen von 3D-Druck auf das Lernen und das Engagement der Schüler in naturwissenschaftlichen Fächern hervorheben.

### **2.1.4 Vorteile der Integration in HTLs**

Die Integration von 3D-Druck in den Unterricht von HTLs ist besonders sinnvoll, da diese Schulen darauf abzielen, Schüler:innen auf technische Berufe vorzubereiten. Der 3D-Druck ermöglicht es den Schüler:innen, theoretisches Wissen in die Praxis umzusetzen und eigene Prototypen zu entwickeln, was ihre Innovationsfähigkeit und ihr praktisches Verständnis stärkt. Laut Martin und Bartolo [8] trägt der Einsatz von 3D-Drucktechnologien dazu bei, die Kluft zwischen theoretischem Wissen und praktischen Fähigkeiten zu überbrücken, was für technische Ausbildungen von entscheidender Bedeutung ist.

### 3 Fragestellungen

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Integration von 3D-Drucktechnologien, insbesondere von elektrisch leitfähigem Filament, in den Werkstättenunterricht an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs). In diesem Kontext ist es von zentraler Bedeutung, sowohl die pädagogischen als auch die technischen Aspekte dieser Technologie zu verstehen und zu bewerten. Um die Zielsetzungen der Arbeit zu präzisieren und die Untersuchungen systematisch zu gestalten, wurden spezifische Forschungsfragen formuliert. Diese Fragen sollen dazu beitragen, die Potenziale und Herausforderungen des 3D-Drucks im Bildungsbereich zu identifizieren und praktische Ansätze für dessen effektive Nutzung zu entwickeln.

Im Folgenden werden die Forschungsfragen vorgestellt, die sich aus den theoretischen Grundlagen und den Zielsetzungen der Arbeit ableiten lassen. Sie gliedern sich in eine Hauptforschungsfrage und mehrere Nebenforschungsfragen, die die zentralen Aspekte der Thematik aus verschiedenen Perspektiven beleuchten.

#### 3.1 Hauptforschungsfrage

Inwieweit kann der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an HTLs zur Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler beitragen?

#### 3.2 Nebenforschungsfragen

- Wie kann der 3D-Druck im Unterricht so integriert werden, dass er die Kreativität und Problemlösungsfähigkeiten der Schüler fördert?
- Wie können die Schüler optimal auf den Einsatz dieser Technologien, im Sinne eines Produktivprogrammes, vorbereitet werden?
- Welche Ressourcen und Unterstützungen sind notwendig, um die Nachhaltigkeit und den langfristigen Erfolg des Programms sicherzustellen?

## 4 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik der vorliegenden Bachelorarbeit detailliert beschrieben. Ziel ist es, das Vorgehen bei der Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs) darzustellen. Dazu werden das Forschungsdesign, die Vorgehensweise, die Erhebung und Auswertung der Daten sowie die Beschreibung der Zielgruppe und der Messinstrumente erläutert.

### 4.1 Forschungsdesign

Um die vorliegende Bachelorarbeit wissenschaftlich und ergebnisorientiert zu gestalten, wurde ein design-based Research-Ansatz [9] gewählt. Diese Methodik ist in den Bildungswissenschaften verbreitet und ermöglicht eine iterative Entwicklung und Evaluation von Bildungsprogrammen durch enge Verknüpfung von Theorie und Praxis. Die Methodik besteht aus mehreren Phasen, die kontinuierlich weiterentwickelt und angepasst werden, basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen aus der praktischen Anwendung und Rückmeldungen der Teilnehmer:innen.

### 4.2 Vorgehensweise

Stichprobe: Für die vorbereitenden Arbeiten wurden 12 Schüler:innen der 2. Klasse der HTL St. Pölten, Abteilung Elektronik und Technische Informatik, ausgewählt. Diese Schülergruppe diente als Pilotgruppe zur Durchführung erster Versuche und zur Gewinnung von Erkenntnissen, die für die Entwicklung des Produktivprogramms notwendig sind.

### 4.3 Vorbereitende Arbeiten:

Theoretische Einführung: Die Schüler:innen erhielten zunächst eine Einführung in die Grundlagen des 3D-Drucks und die spezifischen Eigenschaften von elektrisch leitfähigem Filament [2], [3].

Praktische Versuche: Die Schüler:innen führten einfache Druckversuche mit leitfähigem Filament durch, um dessen elektrische Eigenschaften zu untersuchen. Dabei wurden einfache Testobjekte gedruckt und deren Widerstand mit einem Multimeter gemessen.

Theoretische Reflexion: Die Messergebnisse wurden anschließend im Unterricht diskutiert und mit den theoretischen Erwartungen verglichen.

### 4.4 Entwicklung des Produktivprogramms:

Basierend auf den Erkenntnissen aus den vorbereitenden Arbeiten wurde das Konzept für ein Produktivprogramm entwickelt. Ein zentrales Element dieses Programms ist das Projekt der "leitfähigen Blume", bei dem die Schüler:innen eine funktionsfähige, lichtsuchende Pflanze aus elektrisch leitfähigem Filament drucken und programmieren [4].

Befragung der Schüler:innen: Im Anschluss an die vorbereitenden Arbeiten wurden die Schüler:innen zu ihren Erfahrungen und Erkenntnissen befragt. Diese qualitative Befragung diente dazu, die Akzeptanz und die wahrgenommenen Lernfortschritte der Schüler zu evaluieren sowie Verbesserungsvorschläge für das Produktivprogramm zu sammeln.

## **4.5 Erhebung und Messung:**

Beobachtungsdaten: Durch Beobachtungen während der praktischen Versuche und durch halbstrukturierte Interviews wurden qualitative Daten erhoben. Die Interviews umfassten Fragen zu den Erfahrungen der Schüler:innen mit dem leitfähigen Filament, den Herausforderungen während der Versuche und den Lernerfahrungen.

Quantitative Daten: Widerstandsmessungen der gedruckten Objekte wurden quantitativ erfasst und analysiert, um die praktische Anwendbarkeit des Filaments zu überprüfen [4].

Beobachtungen und Fragen:

Was wurde beobachtet?: Während der praktischen Versuche wurden die Reaktionen und das Engagement der Schüler:innen beobachtet, ebenso wie ihre Fähigkeit, theoretische Konzepte in die Praxis umzusetzen.

Wonach wurde gefragt?: Die Interviews konzentrierten sich auf folgende Themen:

Verständnis der technischen Eigenschaften des leitfähigen Filaments

Praktische Herausforderungen beim Drucken und Messen

Wahrgenommene Lernfortschritte und Kompetenzentwicklung

Vorschläge zur Verbesserung des Programms und zur Integration in den regulären Unterricht

## **4.6 Auswertung**

Die gesammelten Daten wurden anschließend systematisch ausgewertet.

Durch dieses methodische Vorgehen konnte ein umfassendes Bild der Wirksamkeit und Praktikabilität des Einsatzes von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht gewonnen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen direkt in die Entwicklung und Optimierung des Produktivprogramms ein.

## **4.7 Beschreibung der zukünftigen Zielgruppe**

Die Zielgruppe des im Zuge dieser Arbeit zu entwickelnden Produktivprogrammes besteht aus Schüler:innen der zweiten Klasse der Höheren Technischen Lehranstalt (HTL) St. Pölten, Abteilung Elektronik und Technische Informatik. Diese Gruppe repräsentiert eine spezifische Auswahl von Schüler:innen, die auf eine technische Ausbildung mit Schwerpunkt auf Elektronik und Informatik vorbereitet werden.

### **4.7.1 Auswahl der Zielgruppe**

Die Schüler:innen der zweiten Klasse sind typischerweise zwischen 15 und 17 Jahre alt. Sie befinden sich in einem Bildungsniveau, das sie auf eine höhere technische Ausbildung vorbereitet. Die Schüler:innen haben bereits grundlegende Kenntnisse in den Bereichen Mathematik, Physik und Informatik erworben und sind mit den grundlegenden Konzepten der Elektronik vertraut. Diese Vorbildung bildet die Grundlage für die Integration von 3D-Drucktechnologien in ihren Unterricht.

#### **4.7.2 Anzahl und Geschlecht**

Die durchschnittliche Schüler:innenzahl in den zweiten Klassen der HTL St. Pölten beträgt etwa 80 Schüler:innen. In der Regel sind darunter etwa 5 Mädchen, was dem typischen Geschlechterverhältnis in technischen Ausbildungsrichtungen entspricht. Aufgrund der variablen Anmeldezahlen kann die genaue Anzahl der Mädchen in der Klasse jedoch nicht zuverlässig vorhergesagt werden.

#### **4.7.3 Gründe für die Teilnahme oder Nicht-Teilnahme**

Da alle Schüler:innen der zweiten Klasse einbezogen werden, gibt es keine spezifischen Auswahlkriterien für die Teilnahme. Nicht-Teilnahmen könnten aufgrund von Abwesenheit, Krankheit oder persönlichen Gründen auftreten. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass die Mehrheit der Schüler:innen am Unterricht und damit dem Produktivprogramm teilnehmen wird, da die Integration von 3D-Drucktechnologien in den Unterricht als integraler Bestandteil des Lehrplans betrachtet wird.

#### **4.7.4 Methodisches Vorgehen**

Diese Entwicklung eines Produktivprogrammes inkl. der Vorbereitung der Schüler:innen verfolgt ein deduktives Vorgehen, indem sie von bestehenden theoretischen Grundlagen und Hypothesen ausgeht und diese durch praktische Anwendungen und Experimente überprüft. Die Schüler:innen werden durch eine Kombination aus theoretischen Lektionen, praktischen Übungen und Projektarbeiten schrittweise an die Thematik herangeführt. Die gesammelten Daten und Erfahrungen werden systematisch ausgewertet, um die Auswirkungen der Verwendung von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament auf die technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler zu analysieren.

## 5 Beantwortung der Fragestellungen

In diesem Kapitel werden die zentralen Forschungsfragen der Arbeit systematisch beantwortet. Basierend auf den theoretischen Grundlagen und den empirischen Ergebnissen aus den vorbereitenden Arbeiten wird analysiert, inwieweit der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs) zur Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler beiträgt. Zudem werden die Nebenforschungsfragen hinsichtlich der Förderung von Kreativität und Problemlösungsfähigkeiten, der optimalen Vorbereitung der Schüler und der notwendigen Ressourcen für die Nachhaltigkeit des Programms beantwortet.

### 5.1 Hauptforschungsfrage

#### 5.1.1 Inwieweit kann der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an HTLs zur Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler beitragen?

Der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an HTLs bietet eine vielversprechende Möglichkeit, die technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler:innen zu verbessern. Durch die Arbeit mit dieser Technologie erhalten Schüler:innen praktische Erfahrungen im Umgang mit modernen Fertigungsverfahren und Materialien, die in der Industrie zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die Herstellung von funktionsfähigen elektronischen Bauteilen mittels 3D-Druck ermöglicht es den Schüler:innen, theoretische Kenntnisse in Elektrotechnik und Materialwissenschaften direkt anzuwenden und zu vertiefen. Studien haben gezeigt, dass der 3D-Druck das Verständnis für komplexe technische Zusammenhänge fördert und die Fähigkeit zur Problemlösung verbessert, indem die Schüler:innen aktiv in den Design- und Herstellungsprozess eingebunden werden [4][5][6]. Darüber hinaus fördert die Arbeit mit 3D-Druckern das Verständnis für die Schnittstellen zwischen verschiedenen technischen Disziplinen, wie Mechanik, Elektronik und Informatik, was zu einer ganzheitlicheren technischen Ausbildung beiträgt [8].

### 5.2 Nebenforschungsfragen

#### 5.2.1 Wie kann der 3D-Druck im Unterricht so integriert werden, dass er die Kreativität und Problemlösungsfähigkeiten der Schüler:innen fördert?

Um 3D-Druck im Unterricht effektiv zu integrieren und die Kreativität sowie Problemlösungsfähigkeiten der Schüler:innen zu fördern, ist es wichtig, projektbasierte Lernmethoden zu implementieren. Projekte, die realistische und relevante Probleme adressieren, motivieren die Schüler:innen und fordern sie dazu auf, innovative Lösungen zu entwickeln. Lehrkräfte sollten interdisziplinäre Projekte fördern, bei denen Schüler Designs entwerfen, prototypisieren und testen müssen, um ihre Ideen zu realisieren. Solche Projekte können von der Entwicklung einfacher mechanischer Teile bis hin zu komplexen elektronischen Schaltungen reichen, die mit leitfähigem Filament gedruckt werden. Durch die iterative Natur des Designprozesses und die Notwendigkeit, bei Problemen kreative Lösungen zu finden, werden sowohl die Kreativität als auch die Problemlösungsfähigkeiten der Schüler:innen gestärkt [5][6][7].

### **5.2.2 Wie können die Schüler:innen optimal auf den Einsatz dieser Technologien, im Sinne eines Produktivprogrammes, vorbereitet werden?**

Eine optimale Vorbereitung der Schüler:innen auf den Einsatz von 3D-Drucktechnologien im Sinne eines Produktivprogramms erfordert eine strukturierte und umfassende Schulung. Dies beginnt mit einer Einführung in die Grundlagen des 3D-Drucks, einschließlich der Funktionsweise von 3D-Druckern, der Eigenschaften verschiedener Druckmaterialien und der Verwendung von CAD-Software zur Erstellung digitaler Modelle. Weiterhin sollten die Schüler:innen in die spezifischen Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von elektrisch leitfähigem Filament eingeführt werden. Praktische Übungen und Projekte, die den gesamten Prozess von der Idee über das Design bis hin zur Fertigung und Nachbearbeitung abdecken, sind essentiell, um ein tiefes Verständnis zu entwickeln. Darüber hinaus sollten auch Aspekte wie Sicherheit, Wartung der Geräte und Qualitätskontrolle in den Unterricht integriert werden, um die Schüler:innen umfassend auf die praktische Anwendung vorzubereiten [4][5][7].

### **5.2.3 Welche Ressourcen und Unterstützungen sind notwendig, um die Nachhaltigkeit und den langfristigen Erfolg des Programms sicherzustellen?**

Um die Nachhaltigkeit und den langfristigen Erfolg eines Programms zur Integration von 3D-Drucktechnologien im Unterricht sicherzustellen, sind verschiedene Ressourcen und Unterstützungen erforderlich. Zunächst einmal müssen Schulen in geeignete Hardware investieren, darunter hochwertige 3D-Drucker, Materialien wie leitfähiges Filament und Zubehör für die Nachbearbeitung der Drucke. Ebenso wichtig ist die kontinuierliche Weiterbildung der Lehrkräfte, damit diese stets über die neuesten Entwicklungen und Best Practices im Bereich 3D-Druck informiert sind.

Ein unterstützendes Netzwerk, das den Austausch von Wissen und Erfahrungen zwischen Schulen, Lehrer:innen und externe Expert:innen fördert, kann ebenfalls zur Nachhaltigkeit beitragen. Weiterhin sollten Partnerschaften mit Unternehmen und Hochschulen aufgebaut werden, um Zugang zu zusätzlichem Know-how und Ressourcen zu erhalten. Schließlich ist es wichtig, regelmäßig Feedback von Schüler:innen und Lehrer:innen zu sammeln und das Programm basierend auf diesen Rückmeldungen kontinuierlich zu verbessern und anzupassen [5][6][7][8].

## 6 Vorbereitende Übung für das Produktivprogramm

Der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament bietet neue und innovative Möglichkeiten im technischen Schulunterricht. Dieses Konzept zielt darauf ab, Schüler schrittweise an die Thematik heranzuführen und sie auf die Anwendung dieser Technologie im Rahmen eines Produktivprogramms vorzubereiten. Der Unterricht wird von grundlegenden theoretischen Konzepten über praktische Experimente bis hin zu komplexen Projekten strukturiert, die die Anwendung des erlernten Wissens fördern und die technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler stärken.

### 6.1 Ablauf für die Schüler:innen

Im Folgenden werden die einzelnen Phasen für die vorbereitenden Übungen einzeln aufgelistet.

#### 6.1.1 Phase 1 – Allgemeine Theorie

##### Einführung in den 3D-Druck

- Historische Entwicklung und Grundlagen des 3D-Drucks
- Überblick über verschiedene 3D-Drucktechnologien (FDM, SLS, DMLS)

##### Eigenschaften von elektrisch leitfähigem Filament

- Zusammensetzung und Herstellung
- Elektrische Eigenschaften und Leitfähigkeit
- Vergleich mit konventionellem 3D-Druckmaterial

#### 6.1.2 Phase 2 – Erste praktische Versuche

##### Erste Versuche mit leitfähigem 3D-Filament

- Ziel: Verständnis der grundlegenden Eigenschaften von elektrisch leitfähigem Filament
- Materialien: 3D-Drucker, leitfähiges Filament, Multimeter
- Methodik: Druck von einfachen Testobjekten und Messung des elektrischen Widerstands
- Aufgaben:
  - Erstellen eines einfachen Designs (z.B. ein kleiner Streifen)
  - Drucken des Designs mit leitfähigem Filament
  - Messen des Widerstands mit einem Multimeter und Vergleich der Ergebnisse

##### Reflexion der Versuche

- Ziel: Vertiefung des theoretischen Verständnisses durch Reflexion der praktischen Erfahrungen
- Inhalte:
  - Diskussion der Messergebnisse und deren Bedeutung
  - Untersuchung der Faktoren, die die Leitfähigkeit beeinflussen (z.B. Druckparameter, Materialqualität)
  - Vergleich der theoretischen Annahmen mit den praktischen Ergebnissen



### **6.1.3 Phase 3 - Aufbau von Grundlagenwissen/Recherche**

#### **Kurze Theoriearbeit**

- Ziel: Festigung des theoretischen Wissens durch schriftliche Ausarbeitung
- Themen:
  - Funktionsweise und Anwendungen von 3D-Druck
  - Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von elektrisch leitfähigem Filament
  - Potenziale und Herausforderungen des Einsatzes von 3D-Druck im Unterricht
- Aufgaben:
  - Verfassen eines kurzen Essays zu den oben genannten Themen
  - Präsentation der Ergebnisse in Kleingruppen

### **6.1.4 Phase 4 - Entwicklung eigener Projekte**

#### **Planung und Design**

- Ziel: Anwendung des erlernten Wissens in eigenständigen Projekten
- Methodik: Projektbasierter Unterricht
- Aufgaben:
  - Identifikation eines Problems oder Bedarfs im schulischen Umfeld, das durch 3D-Druck gelöst werden kann
  - Entwicklung eines Projektplans und Design des zu druckenden Objekts
  - Auswahl geeigneter Materialien und Druckparameter

#### **Umsetzung und Dokumentation**

- Ziel: Praktische Umsetzung des Projekts und Dokumentation des Prozesses
- Materialien: 3D-Drucker, leitfähiges Filament, weitere benötigte Materialien
- Methodik: Hands-on-Lernen durch praktische Arbeit
- Aufgaben:
  - Druck des geplanten Objekts
  - Durchführung von Tests und Anpassungen
  - Dokumentation des gesamten Prozesses in Form eines Projektberichts

#### **Präsentation und Evaluation**

- Ziel: Präsentation der Projektergebnisse und Evaluation des Lernprozesses
- Methodik: Präsentationen und Peer-Feedback
- Aufgaben:
  - Präsentation der Projekte vor der Klasse
  - Diskussion der Ergebnisse und Lernerfahrungen
  - Reflexion und Feedback zur Verbesserung zukünftiger Projekte

## 7 Ergebnis aus den vorbereitenden Arbeiten

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus den vorbereitenden Arbeiten detailliert dargestellt. Diese Arbeiten umfassten theoretische Einführungen, praktische Versuche mit elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament sowie die Entwicklung eines Konzepts für ein Produktivprogramm. Die Ergebnisse werden in Bezug auf die Schülererfahrungen und die Materialeigenschaften des leitfähigen Filaments präsentiert.

### 7.1 Schülerbezogene Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Beobachtungen und der Interviews der Schüler:innen dargestellt.

#### 7.1.1 Beobachtungen während der praktischen Versuche

Während der praktischen Versuche mit dem elektrisch leitfähigen 3D-Druckfilament wurden verschiedene Aspekte beobachtet:

- Engagement der Schüler: Die Schüler zeigten ein hohes Maß an Interesse und Engagement während der Versuche. Besonders das direkte Arbeiten mit dem 3D-Drucker und das anschließende Messen der elektrischen Eigenschaften der gedruckten Objekte weckte ihre Neugier und Begeisterung.
- Umsetzung theoretischer Konzepte: Die Schüler konnten die zuvor erlernten theoretischen Konzepte erfolgreich in die Praxis umsetzen. Sie waren in der Lage, die Druckparameter anzupassen, einfache Schaltungen zu entwerfen und die gedruckten Objekte zu testen.
- Problemlösungsfähigkeiten: Bei auftretenden Problemen, wie z.B. ungleichmäßiger Materialfluss oder Druckfehler, zeigten die Schüler eine hohe Bereitschaft zur Problemlösung. Sie diskutierten mögliche Ursachen und erarbeiteten gemeinsam Lösungen.

#### 7.1.2 Interviews mit den Schülern

Die Interviews zielten darauf ab, ein tieferes Verständnis der Schülererfahrungen und ihrer Wahrnehmung der Lernfortschritte zu gewinnen. Folgende Themen wurden angesprochen:

- Verständnis der technischen Eigenschaften des leitfähigen Filaments: Die Mehrheit der Schüler:innen gab an, dass sie durch die praktischen Versuche ein besseres Verständnis für die technischen Eigenschaften des leitfähigen Filaments erlangt haben. Sie konnten die Unterschiede zu herkömmlichem Filament erklären und die spezifischen Einsatzmöglichkeiten beschreiben.
- Praktische Herausforderungen: Einige Schüler:innen berichteten von Herausforderungen, wie der genauen Kalibrierung des 3D-Druckers und der Handhabung des leitfähigen Filaments. Diese Herausforderungen wurden jedoch als wertvolle Lernerfahrungen betrachtet.
- Wahrgenommene Lernfortschritte und Kompetenzentwicklung: Die Schüler:innen äußerten, dass sie durch die praktischen Übungen nicht nur ihre technischen Fähigkeiten verbessert haben, sondern auch ein besseres Verständnis für die Anwendung von 3D-Drucktechnologien in der Elektronik gewonnen haben.

- Verbesserungsvorschläge für das Programm: Einige Schüler:innen schlugen vor, mehr Zeit für die Kalibrierung und das Testen der Drucker einzuplanen und zusätzliche Materialien bereitzustellen, um vielfältigere Projekte realisieren zu können.

### Statistische Auswertung der Interviews

Um die Erfahrungen und Meinungen der Schüler:innen zu quantifizieren, wurde eine Likert-Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) bis 5 (stimme voll und ganz zu) verwendet.

Thema	Mittelwert	Standardabweichung
Verständnis der technischen Eigenschaften	4,3	0,7
Praktische Herausforderungen	3,8	1,1
Wahrgenommene Lernfortschritte	4,5	0,5
Verbesserungsvorschläge	4,1	0,8

### Erklärung der Ergebnisse:

- Verständnis der technischen Eigenschaften (Mittelwert: 4,3; Standardabweichung: 0,7): Die Schüler:innen stimmten weitgehend zu, dass sie durch die praktischen Versuche ein gutes Verständnis für die technischen Eigenschaften des leitfähigen Filaments erlangt haben. Der relativ niedrige Standardabweichungswert zeigt eine konsistente Zustimmung unter den Schüler:innen.
- Praktische Herausforderungen (Mittelwert: 3,8; Standardabweichung: 1,1): Die Schüler:innen empfanden einige praktische Herausforderungen beim Umgang mit dem leitfähigen Filament. Die höhere Standardabweichung deutet darauf hin, dass die Erfahrungen variieren, wobei einige Schüler:innen mehr Schwierigkeiten hatten als andere.
- Wahrgenommene Lernfortschritte (Mittelwert: 4,5; Standardabweichung: 0,5): Die Schüler:innen fühlten sich durch die Übungen deutlich in ihren technischen Fähigkeiten gestärkt. Der niedrige Standardabweichungswert zeigt eine weitgehend einheitliche positive Wahrnehmung der Lernfortschritte.
- Verbesserungsvorschläge (Mittelwert: 4,1; Standardabweichung: 0,8): Die Schüler:innen hatten einige Vorschläge zur Verbesserung des Programms, insbesondere hinsichtlich der Zeitplanung und der Verfügbarkeit zusätzlicher Materialien. Die moderate Standardabweichung zeigt, dass die Meinungen hierzu etwas variieren, jedoch insgesamt positiv sind.

## 7.2 Materialbezogene Ergebnisse

Die Widerstandsmessungen der gedruckten Objekte wurden systematisch erfasst und analysiert, um die praktische Anwendbarkeit des leitfähigen Filaments zu überprüfen. Die Ergebnisse zeigten:

- Konsistenz der Leitfähigkeit: Die gedruckten Objekte wiesen eine konstante Leitfähigkeit auf, was die Eignung des Filaments für den Einsatz in funktionalen elektronischen Anwendungen bestätigte.
- Einfluss der Druckparameter: Es wurde festgestellt, dass die Druckparameter (z.B. Druckgeschwindigkeit, Temperatur) einen signifikanten Einfluss auf die Leitfähigkeit der gedruckten Objekte haben. Eine sorgfältige Anpassung dieser Parameter ist daher entscheidend für die Qualität der Druckergebnisse.

### 7.3 Produktivprogramm

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurde ein umfassendes Produktivprogramm entwickelt, das den Einsatz von 3D-Drucktechnologien im Werkstättenunterricht nachhaltig fördert. Dieses Programm umfasst:

- Theoretische Einführung und praktische Übungen: Ein strukturierter Aufbau, der die Schüler:innen schrittweise an die Thematik heranführt.
- Projektbasierter Unterricht: Die Durchführung von Projekten, die die Anwendung des erlernten Wissens fördern und die technischen Kompetenzen der Schüler:innen stärken.
- Fortlaufende Evaluation und Anpassung: Ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess, der auf regelmäßigen Rückmeldungen der Schüler:innen und Lehrkräfte basiert.

Durch die systematische Umsetzung dieses Programms wird die Integration von 3D-Drucktechnologien im Unterricht gefördert und die technische Ausbildung der Schüler:innen nachhaltig verbessert.

## **8 Lichtsuchende Pflanze – Produktivprogramm zum Einsatz in der Werkstätte der Abteilung Elektronik und Technischen Informatik an der HTL**

Dieses Kapitel beschreibt das entwickelte Produktivprogramm zur Herstellung einer lichtsuchenden Pflanze unter Verwendung von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament. Es wird detailliert erläutert, wie dieses Programm im Werkstättenunterricht an der Höheren Technischen Lehranstalt (HTL) St. Pölten implementiert wird, welche Komponenten und Methoden zum Einsatz kommen und wie die Schüler:innen an das Projekt herangeführt werden.

### **8.1 Allgemeine Beschreibung**

Es soll ein fortschrittliches Modell einer lichtsuchenden Pflanze entwickelt werden, das sich autonom zum Licht ausrichtet. Dabei wird die Präsenz einer simulierten "Pflanze" durch den Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druck erfasst. Dieses innovative System nutzt zwei Solarzellen, um eine Reaktion auf die Lichtverhältnisse (UV-Anteil im Sonnenlicht) zu ermöglichen. Die Solarzellen dienen dabei als Sensoren, die kontinuierlich ihre Umgebung erfassen. Durch die Auswertung dieser Daten passt die Pflanze ihre Ausrichtung an, um stets die beste Position einzunehmen. Dieser Ansatz vereint Elektronik/Elektrotechnik und Signalverarbeitung, um eine einzigartige Lösung zu schaffen.

### **8.2 Angestrebte Funktionen**

- Erkennen in welcher Stellung der größte Lichtanteil für die Pflanze vorhanden ist. Dies soll über Solarzellen erfolgen. Die Blume soll anschließend Richtung Licht gedreht werden.
- Erkennen, ob sich eine Pflanze im Topf befindet: Dies soll mittels elektrisch leitfähigem 3D-Druck realisiert werden. Befindet sich keine Pflanze im Topf, soll auch keine Suche stattfinden.

### **8.3 Verwendete Komponenten**

Im Folgenden findet sich eine kurze Beschreibung der verwendeten Komponenten für das Projekt „lichtsuchende Pflanze“.

#### **8.3.1 3D-gedruckte „lichtsuchende Pflanze“**

Als Basis für den 3D-Druck wurde ein bereits bestehendes Modell herangezogen und an die Anforderungen des Projektes angepasst. Konkret wurden Teile des Deckels der Box sowie der Stängel der Blume mit elektrisch leitfähigem 3D-Druckmaterial gefertigt. Im Deckel wechseln sich Schichten von leitendem und nichtleitendem Material ab, um bei Fehlen der „lichtsuchenden Pflanze“ keine Anpassungsreaktion zu initiieren. Die obersten drei Schichten des Deckels bestehen aus nichtleitendem PLA, gefolgt von vier elektrisch leitenden PLA-Schichten, drei nichtleitenden PLA-Schichten und wieder vier leitenden PLA-Schichten. Die untersten Layer sind wieder aus nichtleitendem Material gefertigt. Diese abwechselnde Schichtung ist notwendig, um durch den 3D-gedruckten Stängel der Pflanze den Stromkreis schließen zu können (Kontakt wird geschlossen). Der 3D-Druck wurde mit dem Prusa i3 MK4 durchgeführt. Durch das Multi-Material-Upgrade konnten die

Schichten ohne manuellen Eingriff durchgeführt werden. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die 3D-gedruckten- Einzelteile der „lichtsuchenden Pflanze“.



Abbildung 1: 3D-Druck-Einzelteile der "lichtsuchenden Pflanze"



Abbildung 2: 3D-Druck-zusammengebaute "lichtsuchende Pflanze"

### 8.3.2 Drehteller mit Motor

Der motorbetriebene Drehteller wurde in Anlehnung an das Modell <https://www.thingiverse.com/thing:3886963> erstellt und entsprechend der Bedürfnisse der aktuellen Anwendung, im Sinne des Projektes der „lichtsuchenden Pflanze“, angepasst. Konkret wurde die Motorhalterung mit dem Blumentopf (Fragezeichenkiste) verbunden. Der laut Thingiverse-Modell obere Teil des Drehtellers wird als Standfläche genutzt. Durch die umgekehrte Verwendung der beiden 3D-Druckteile kann verhindert werden, dass sich die Kabel des Schrittmotors verwickeln.

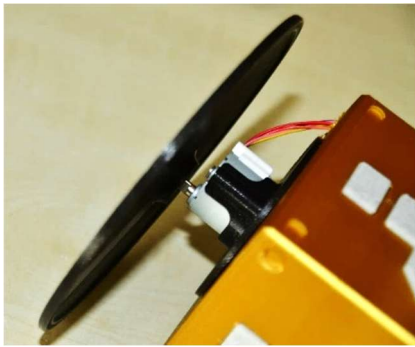


Abbildung 3: Drehteller mit Box verbunden

### 8.3.3 Mikrocontroller

Für die Steuerung des Modells der „lichtsuchenden Pflanze“ wurde der Arduino Micro als Mikrocontroller ausgewählt. Diese Entscheidung wurde aufgrund seiner kompakten Bauform getroffen, die perfekt in das begrenzte Gehäuse passt. Trotz seiner geringen Größe bietet der Arduino Micro eine ausreichende Anzahl von Pins, um die benötigten Sensorwerte zu erfassen und gleichzeitig Signale zu erzeugen. Somit erfüllt der Arduino Micro optimal die Anforderungen dieses Projekts, indem er eine optimale Balance zwischen Größe und Funktionalität bietet.



**ARDUINO  
MICRO**

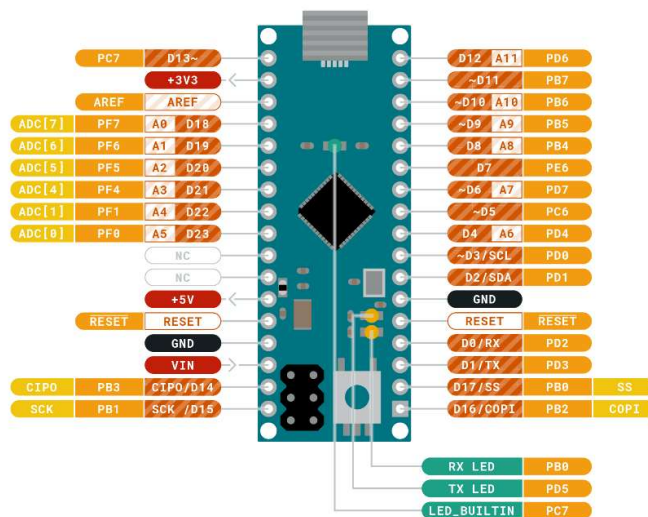


Abbildung 4: Pinbelegung des Arduino Micro

### 8.3.4 Solarzellen

Für die Umsetzung der „lichtsuchenden Pflanze“ wurden bewusst zwei Solarpanels mit einer Leistung von jeweils 0,5 Watt als Solarzellen ausgewählt. Diese Entscheidung basiert darauf, dass die Hauptfunktionalität der Pflanze darauf abzielt, sich zur Lichtquelle auszurichten, die Energiegewinnung ist hier keine Aufgabe.

### 8.3.5 Schrittmotor

Für die möglichst präzise Ausrichtung der Blume in Richtung der Lichtquelle/Sonne wird ein Motor benötigt. Hierbei fiel die Entscheidung auf einen Schrittmotor, genauer gesagt den 28BYJ-48, der mit einer Betriebsspannung von 5V arbeitet. Die Wahl eines Schrittmotors basiert darauf, dass dieser Drehungen in kleinen, vordefinierten Grad-Schritten ermöglicht. Der 28BYJ-48 erfüllt diese Anforderung. Zur Ansteuerung des Schrittmotors ist eine spezielle Ansteuerplatine notwendig, die bereits im Lieferumfang enthalten ist und in Abbildung 5 zu sehen ist. Diese Ansteuerplatine ermöglicht eine Steuerung des Schrittmotors über den Arduino Micro, wodurch eine genaue Ausrichtung der lichtsuchenden Pflanze in Richtung des Lichts gewährleistet wird.

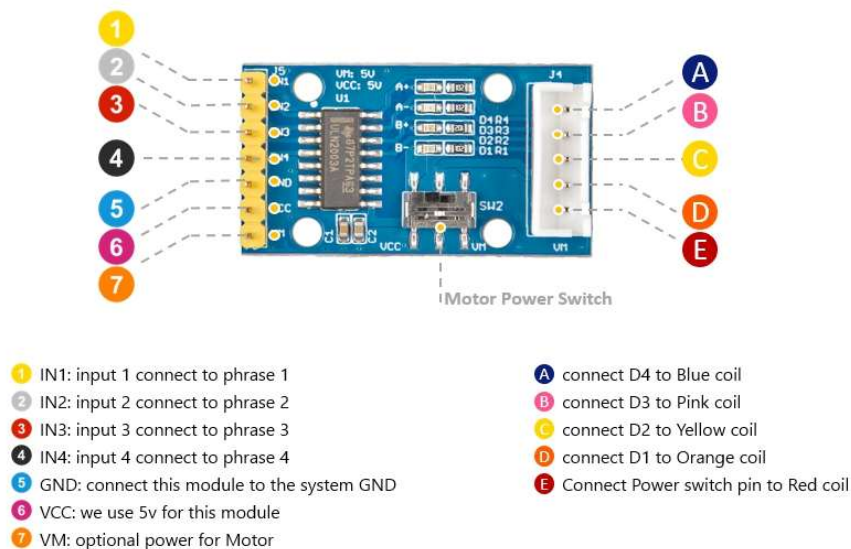


Abbildung 5: Pinbelegung des Schrittmotor-Treibers

### 8.3.6 Akku

Für die Stromversorgung des Systems wurde eine 5V-Powerbank als Akku gewählt. Diese Entscheidung basiert darauf, dass sowohl der Arduino als auch der Schrittmotor eine Betriebsspannung von 5V benötigen. Die Verwendung einer einheitlichen Spannungsquelle vereinfacht das Stromversorgungssystems.

Auch wenn der Arduino intern einen Spannungswandler hat und daher auch mit höheren Spannungen betrieben werden könnte, wurde die 5V-Powerbank gewählt, um potenzielle Verluste zu minimieren und eine effiziente Nutzung zu gewährleisten. Zusätzlich würde eine höhere Spannung für den Schrittmotor eine zusätzliche Spannungsumwandlung erfordern, was die Komplexität des Projektes erhöhen würde und zu weiteren Energieverlusten führen könnte.



## 8.4 Umsetzung

Die Umsetzung des Projektes „lichtsuchende Pflanze“ soll im Folgenden näher erläutert werden.

### 8.4.1 Test der Komponenten

Um die Funktion der benötigten Komponenten sicherzustellen, wurden diese, wie beschrieben, getestet. Die ursprünglich angedachten Messungen wurden zusätzlich durch Tageslichtmessungen ergänzt.

#### Solarzellen

Da die Leerlaufspannung lt. Angaben der Firma Reichelt (bei 8,2 V liegt, muss diese verringert werden, um mit einem Analogeingang des Arduinos erfassen werden zu können. Damit der Wert in jedem Fall unter 5 V liegt, wird beim finalen Aufbau ein 1:1-Spannungsteiler mit zwei 47 k $\Omega$ -Widerständen verwendet. [3]

Die Spannung der Solarzellen wurde mit einem Multimeter analysiert. Die erste Messung wurde abends bei Raumbeleuchtung durchgeführt, wobei festgestellt wurde, dass die beiden Solarzellen unterschiedliche Spannungen lieferten – nämlich 2,7 V und 3,3 V –, die deutlich unter den erwarteten 8,2 V lagen. Um diesem Umstand auf den Grund zu gehen, wurde eine zweite Messung mit einer starken Taschenlampe durchgeführt. Dies ergab bei beiden Solarzellen die einheitliche Spannung von 6,2 V. Eine dritte Messung bei bewölktem Tageslicht ergab bei beiden Solarzellen eine Spannung von 6,0 V. Dieser Unterschied kann durch das breitere Spektrum des Tageslichts erklärt werden, insbesondere durch einen höheren UV-Anteil (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

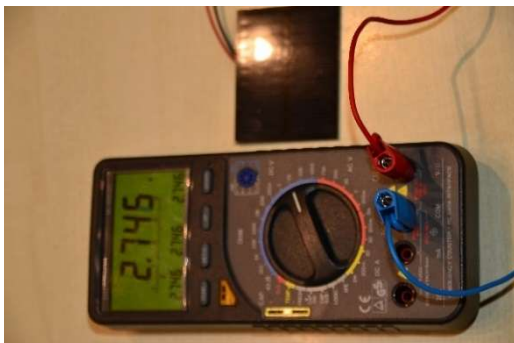


Abbildung 6: Fotozelle2 beleuchtet mit Deckenbeleuchtung



Abbildung 7: Fotozelle2 beleuchtet mit starker Taschenlampe

Tabelle 1: Messung der Leerlaufspannung der Solarzellen

	Solarzelle 1 In weiterer Folge links montiert	Solarzelle 2 In weiterer Folge rechts montiert
Leerlaufspannung abends bei Deckenbeleuchtung	3,3 V	2,7 V
Leerlaufspannung abends bei Beleuchtung mit starker Taschenlampe	6,2 V	6,2 V
Leerlaufspannung bei bewölktem Tageslicht	6,0 V	6,0 V

Grundsätzlich ist dem absoluten Spannungswert nur eine sekundäre Bedeutung zuzuordnen, da ausschließlich die Differenz der beiden Solarzellen ausgewertet wird.

Aufgrund der unterschiedlichen Leerlaufspannungen bei Deckenbeleuchtung wurde im Programm vorgesehen, diesen Unterschied über einen Korrekturfaktor (SOLAR\_CORRECTION\_FACTOR) auszugleichen. Dieser kann über die Funktion `calibratePanels()` in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ermittelt werden. Aufgrund der letzten Messung bei Tageslicht konnte festgestellt werden, dass die Zellen eine gleiche Spannung liefern und somit der SOLAR\_CORRECTION\_FACTOR nicht mehr notwendig wäre. Er wurde jedoch im Programm belassen und auf 1 gesetzt.

### Schrittmotor

Da im Datenblatt [4] des Schrittmotors keine Stromaufnahme angegeben war, wurde diese als Erstes gemessen.

Zur Ansteuerung des Schrittmotors wurde ein Testprogramm verwendet, das den Schrittmotor in eine Richtung drehen lässt. Der Motor wurde über ein Netzgerät versorgt. Es ergab sich ein Strom von 300 mA. Dieser Strom fließt unabhängig davon, ob sich der Motor bewegt oder die Position gehalten wird. Da dieser Strom an die Grenze der möglichen Versorgung über den 5V-Pin des Mikrocontrollers geht, muss der Schrittmotor über eine eigene Leitung mit Energie versorgt werden.

Um den Standby-Strom zu minimieren, werden im inaktiven Zustand die vier Steuereinschaltanschlüsse des Schrittmotors auf LOW gesetzt. Dadurch fließt nur dann Strom, wenn sich der Motor tatsächlich bewegt. Im Ruhezustand fließt zwar kein Strom, aber der Schrittmotor erzeugt auch kein Haltemoment. Dies ist in dieser Anwendung jedoch auch nicht erforderlich.

### 8.4.2 Testaufbau

Der Testaufbau am Steckbrett erfolgte in drei Schritten, die im Folgenden näher erläutert werden.

#### Testaufbau 1 – Arduino, Solarzellen, Schrittmotor, Netzgerät

Die beiden Spannungen, die durch die Solarzellen erzeugt wurden, wurden an zwei analogen Eingängen erfasst. Da der Testaufbau bei wenig Lichteinstrahlung durchgeführt wurde, konnte auf den Spannungsteiler verzichtet werden. In der Schaltung in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist dieser der Vollständigkeit halber bereits eingezeichnet. Des Weiteren wurde der Schrittmotor über den Arduino angesteuert. Die Versorgung des Schrittmotors erfolgte über ein Netzgerät, das auf 5 V eingestellt wurde. Der Rest der Schaltung wurde über den USB-Anschluss des Arduinos versorgt. Darüber erfolgte auch die Erfassung der Messwerte über die Funktion `Serial.print()`.

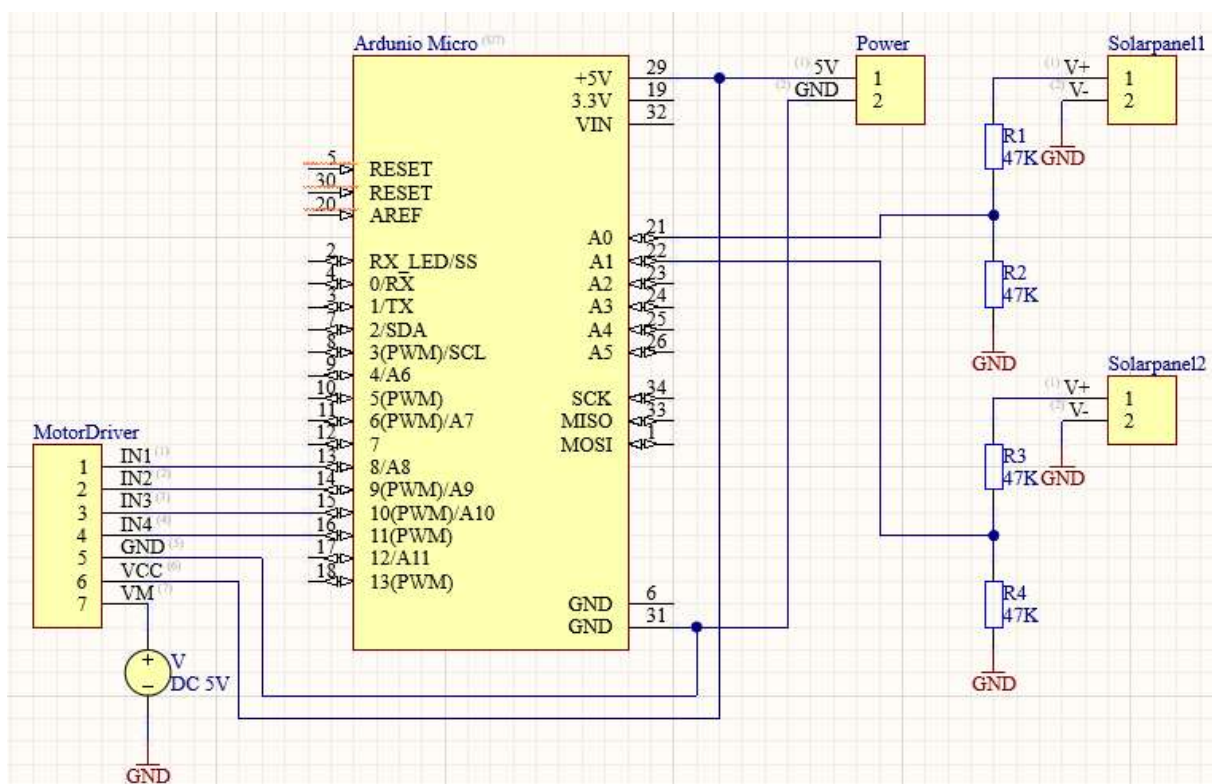


Abbildung 8: Schematik Aufbau 1 "ohne Blume als Schalter"

Der erste Testaufbau diente zum Testen der Programmierung. Es wurde ein Programm geschrieben, das die Spannungen der Solarzellen auswertet und bei einem Unterschied von mehr als 5% den Schrittmotor in die entsprechende Richtung dreht. Dieser Prozentwert kann im Programm über die Konstante `SOLAR_FACTOR` eingestellt und daher jederzeit an die aktuellen Bedürfnisse angepasst werden.

Es wurden 3 Fälle getestet

- Solarzellen werden gleichmäßig beleuchtet -> Motor steht
- Linke Solarzelle ist abgeschattet -> Motor dreht sich nach rechts
- Rechte Solarzelle ist abgeschattet -> Motor dreht sich nach links

Die Fälle wurden erfolgreich getestet.

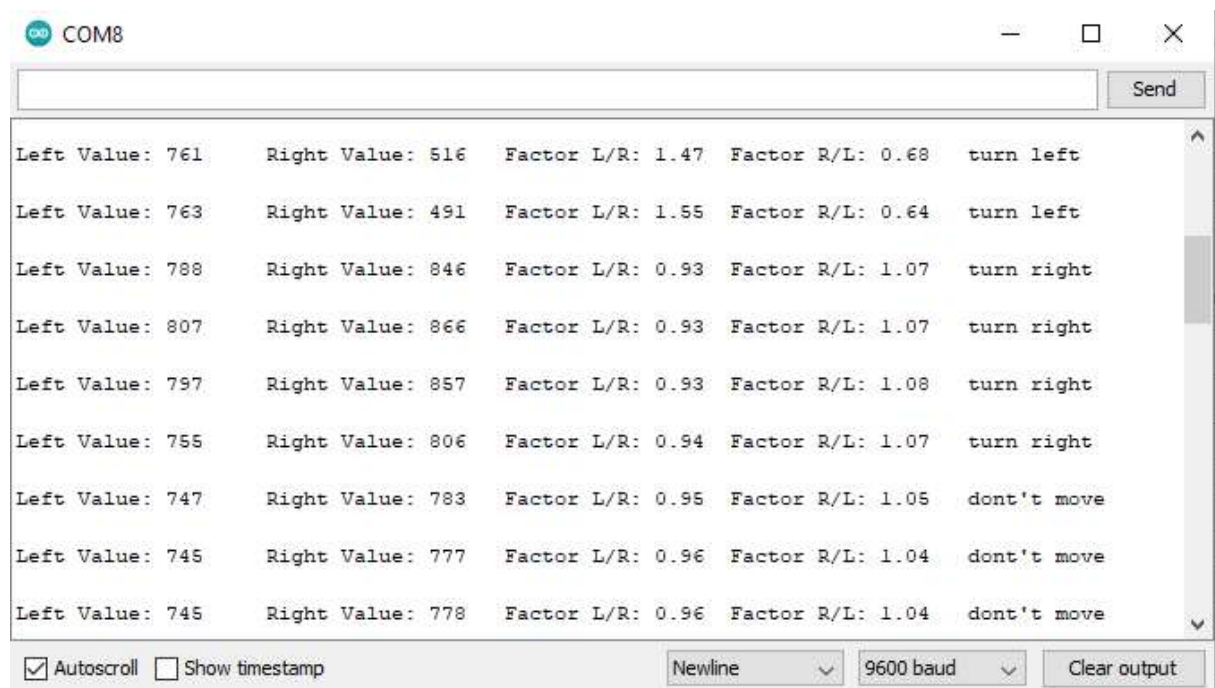


Abbildung 9: Beispiel für erfasste Spannungswerte und deren Auswirkung auf den Schrittmotor

## Testaufbau 2 – Arduino, Solarzellen, Schrittmotor, Netzgerät, Blume als Schalter

Im zweiten Testaufbau wurde die Blume als Schalter integriert. Dafür mussten zuerst die Kontakte an die beiden leitfähigen Flächen angebracht werden. Dazu wurde der Deckel von der Innenseite angebohrt und Litzendrähte mit Hilfe eines Lötkolbens mit der elektrisch leitfähigen Fläche verschmolzen. Diese Methode hat sich bereits im Zuge der Bachelorarbeit bestens bewährt. Die Kontakt- bzw. Isolationswiderstände wurden mit einem Multimeter gemessen und sind in Tabelle 2 dargestellt.

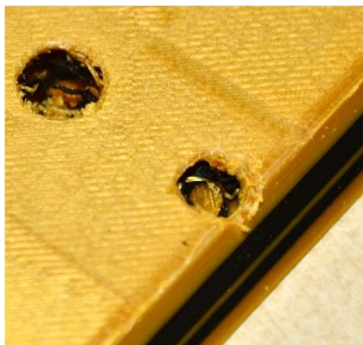


Abbildung 11: Deckelinnenseite mit unterschiedlichen Schichten

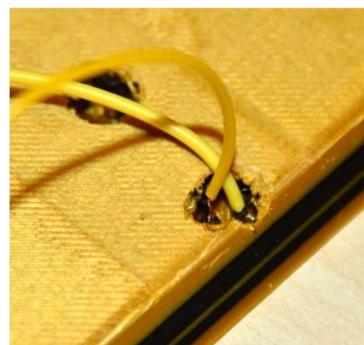


Abbildung 10: Deckelinnenseite mit Anschlussdrähten

Tabelle 2: Kontakt- und Isolationswiderstände des leitfähigen 3D-Druckmaterials

Widerstand vom Anschluss 1 zur oberen leitfähigen Schicht (leitender Wert)	10 kΩ
Widerstand vom Anschluss 1 zur unteren leitfähigen Schicht (isolierender Wert)	40 kΩ
Widerstand vom Anschluss 2 zur oberen leitfähigen Schicht (isolierender Wert)	35 kΩ
Widerstand vom Anschluss 2 zur unteren leitfähigen Schicht (leitender Wert)	2 kΩ

Anschließend wurde der Widerstand zwischen den beiden Anschlüssen ohne bzw. mit „Pflanze“ gemessen.

Tabelle 3: Widerstände des leitfähigen 3D-Druckmaterials ohne bzw. mit Blume als Schalter

Widerstand zwischen den beiden Anschlüssen ohne Blume	41 kΩ
Widerstand zwischen den beiden Anschlüssen mit Blume	14 kΩ

Aus den beiden Widerstandswerten aus Tabelle 3 wurde ein Spannungsteiler für die Erfassung mit dem Arduino dimensioniert.

Der Widerstand  $R_5$  soll zwischen den beiden Widerstandswerten liegen und wurde mit 22 kΩ (Widerstandsreihe E12) angenommen.

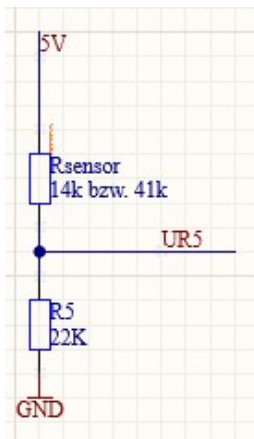


Abbildung 12: Spannungsteiler zur Erfassung der Spannung in Abhängigkeit der eingesetzten "Pflanze"

$$U_2 = 5V * \frac{R_5}{R_{Sensor} + R_5}$$

Tabelle 4: Spannungswerte ohne bzw. mit eingesetzter Blume

Spannung ohne eingesetzte Blume	1,75V
Spannung mit eingesetzter Blume	3,06V

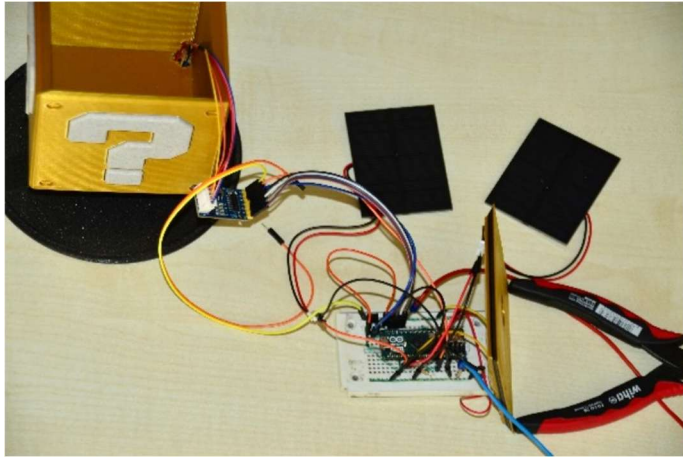


Abbildung 13: Testaufbau2 - mit Blume als Schalter ohne eingesetzte Blume

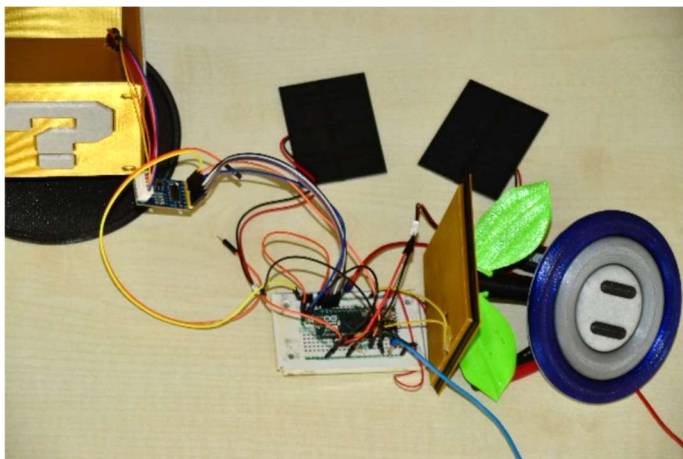
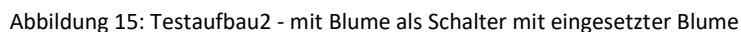


Abbildung 14: Testaufbau2 - mit Blume als Schalter mit eingesetzter Blume





### Testaufbau 3 – Arduino, Solarzellen mit Spannungsteiler, Schrittmotor, Powerbank, Pflanze als Schalter

Während der Tests wurde festgestellt, dass sich die verwendete Powerbank abschaltet, wenn zu wenig Strom fließt. Daher schaltet sich die Powerbank ab, wenn sich der Schrittmotor nicht bewegt. Zur Lösung dieses Problems könnte in einer Erweiterung ein geringer Stromfluss über einen Leistungswiderstand erzeugt werden, um sicherzustellen, dass die Powerbank nicht abschaltet.

Zusätzlich wurde festgestellt, dass es sinnvoller ist, eine Solarzelle vor und die zweite hinter der Pflanze zu montieren. Daher musste das Programm dahingehend angepasst werden. Zuerst wird abgefragt, ob die vordere Solarzelle heller beleuchtet ist als die hintere. Ist dies nicht der Fall, dreht sich die Pflanze, bis die vordere Solarzelle heller beleuchtet ist. Anschließend soll sie sich weiterdrehen, bis der Unterschied zwischen vorderer und hinterer Solarzelle nicht weiterwächst. Nimmt die Beleuchtung der vorderen Solarzelle ab, so soll die Drehrichtung umgekehrt werden.



Abbildung 16: Finaler Aufbau der "lichtsuchenden Pflanze"



### 8.4.3 Programmierung

In den nachfolgenden Codesnippets ist die verwendete Programmierung dargestellt. Die Beschreibung erfolgt in Form von Kommentaren innerhalb des Codes.

```
#include <Stepper.h>

// Stepper

#define STEPS_PER_REVOLUTION 2048
#define STEP_SIZE 200

#define STEPPER_IN1 8 // Pin 8 to IN1 on the ULN2003 driver
#define STEPPER_IN2 9 // Pin 9 to IN2 on the ULN2003 driver
#define STEPPER_IN3 10 // Pin 10 to IN3 on the ULN2003 driver
#define STEPPER_IN4 11 // Pin 11 to IN4 on the ULN2003 driver

Stepper myStepper = Stepper(STEPS_PER_REVOLUTION, STEPPER_IN1, STEPPER_IN3, STEPPER_IN2, STEPPER_IN4);

// Solar Panel
#define PIN_LEFT_SOLAR A0
#define PIN_RIGHT_SOLAR A1
#define PIN_SOLAR_SWITCH A2
#define PIN_MOTOR_SWITCH 12

#define SOLAR_CORRECTION_FACTOR 1.22 // (left Solarpanelvalue)/(right Solarpanelvalue) at normalized light;
// Received by function calibratePanels();
#define SOLAR_FACTOR 1.05 // threshold factor, when starting to turn; SOLAR_FACTOR = 1.00 for highest sensitivity
float solarFactor=1; // used by function calibratePanels() to receive the SOLAR_FACTOR

#define SWITCHING_LEVEL 450 // equals 2.2V; threshold level to detect if the flower is on place or not

void setup() {
    pinMode(STEPPER_IN1, OUTPUT);
    pinMode(STEPPER_IN2, OUTPUT);
    pinMode(STEPPER_IN3, OUTPUT);
    pinMode(STEPPER_IN4, OUTPUT);
    pinMode(PIN_LEFT_SOLAR, INPUT);
    pinMode(PIN_RIGHT_SOLAR, INPUT);
    pinMode(PIN_SOLAR_SWITCH, INPUT);
    pinMode(PIN_MOTOR_SWITCH, OUTPUT);

    myStepper.setSpeed(5); // Set the speed to 5 rpm
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    //calibratePanels(); // has to be run to get the differencefactor between the two panels (SOLAR_CORRECTION_FACTOR)
    float flowersSwitch = analogRead(PIN_SOLAR_SWITCH);

    if (flowersSwitch>SWITCHING_LEVEL){
        digitalWrite(PIN_MOTOR_SWITCH, HIGH);
        followLight();
    }
    else{
        digitalWrite(STEPPER_IN1, LOW);
        digitalWrite(STEPPER_IN2, LOW);
        digitalWrite(STEPPER_IN3, LOW);
        digitalWrite(STEPPER_IN4, LOW);
        digitalWrite(PIN_MOTOR_SWITCH, LOW);
    }
}
```

```
// This function displays the factor between the two panels to receive the constant SOLAR_CORRECTION_FACTOR
int calibratePanels(){
    float tempFactor;
    float leftSolarValue = analogRead(PIN_LEFT_SOLAR);
    float rightSolarValue = analogRead(PIN_RIGHT_SOLAR);
    writeSolarValues(leftSolarValue, rightSolarValue);
    tempFactor = leftSolarValue/rightSolarValue;
    solarFactor = (solarFactor+tempFactor)/2;
    Serial.print("Actual factor: ");
    Serial.print(tempFactor);
    Serial.print("    Mean factor: ");
    Serial.println(solarFactor);
    Serial.println();
}

// write values for testing
void writeSolarValues(int leftSolarValue, int rightSolarValue){
    Serial.println();
    Serial.print("Left Value: ");
    Serial.print(leftSolarValue);
    Serial.print("    ");
    Serial.print("Right Value: ");
    Serial.print(rightSolarValue);
    delay(1000);
    Serial.print("    ");
}

// for stepper testing
void stepperTest(){
    // Step one revolution in one direction:
    Serial.println("clockwise");
    myStepper.step(STEPS_PER_REVOLUTION);
    delay(500);
    // Step one revolution in the other direction:
    Serial.println("counterclockwise");
    myStepper.step(-STEPS_PER_REVOLUTION);
    delay(500);
}

void followLight(){
    float leftSolarValue = analogRead(PIN_LEFT_SOLAR);
    float rightSolarValue = analogRead(PIN_RIGHT_SOLAR);
    rightSolarValue = rightSolarValue * SOLAR_CORRECTION_FACTOR; //correctionfactor to equalize the difference between panels

    float factor_L_R = leftSolarValue / rightSolarValue;
    float factor_R_L = rightSolarValue / leftSolarValue;

    writeSolarValues(leftSolarValue, rightSolarValue);
    Serial.print("Factor L/R: ");
    Serial.print(factor_L_R);
    Serial.print("    ");
    Serial.print("Factor R/L: ");
    Serial.print(factor_R_L);
    Serial.print("    ");

    // left side is brighter, so turn left
    if (factor_L_R > SOLAR_FACTOR){
        myStepper.step(-STEP_SIZE);
        Serial.println("turn left");
    }
    // right side is brighter, so turn right
    else if (factor_R_L > SOLAR_FACTOR){
        myStepper.step(STEP_SIZE);
        Serial.println("turn right");
    }
    // equal brightness, so turn off stepper
    else{
        digitalWrite(STEPPER_IN1,LOW);
        digitalWrite(STEPPER_IN2,LOW);
        digitalWrite(STEPPER_IN3,LOW);
        digitalWrite(STEPPER_IN4,LOW);
        Serial.println("dont't move");
    }
    delay(1000);
}
```

## 9. Zusammenfassung, Ausblick und Limitationen

### 9.1 Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit beschäftigte sich mit der Integration von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament im Werkstättenunterricht an Höheren Technischen Lehranstalten (HTLs) und der Entwicklung eines entsprechenden Produktivprogramms. Ziel war es, die Potenziale dieser Technologie für die technische und praktische Ausbildung der Schüler:innen zu evaluieren und ein Unterrichtskonzept zu entwickeln.

#### Hauptforschungsfrage:

Die Untersuchung zeigte, dass der Einsatz von elektrisch leitfähigem 3D-Druckfilament zur Verbesserung der technischen und praktischen Kompetenzen der Schüler:innen beiträgt. Die Schüler:innen konnten theoretische Kenntnisse in Elektrotechnik und Materialwissenschaften direkt anwenden, was ihr Verständnis für komplexe technische Zusammenhänge vertiefte und ihre Problemlösungsfähigkeiten stärkte.

#### Nebenforschungsfragen:

- Integration im Unterricht: Die Einführung von projektbasierten Lernmethoden, bei denen Schüler:innen realistische und relevante Projekte durchführen, fördert die Kreativität und Problemlösungsfähigkeiten der Schüler:innen.
- Vorbereitung der Schüler:innen: Eine strukturierte und umfassende Schulung, beginnend mit theoretischen Grundlagen bis hin zu praktischen Übungen und Projekten, bereitet die Schüler:innen optimal auf den Einsatz der 3D-Drucktechnologie vor.
- Ressourcen und Unterstützungen: Die Bereitstellung geeigneter Hardware, kontinuierliche Weiterbildung der Lehrkräfte und ein unterstützendes Netzwerk aus Schulen, Unternehmen und Hochschulen sind entscheidend für die Nachhaltigkeit und den langfristigen Erfolg des Programms.

#### Vorbereitende Arbeiten:

Die praktischen Versuche und theoretischen Einführungen bestätigten, dass elektrisch leitfähiges 3D-Druckfilament im Unterricht effektiv eingesetzt werden kann. Die Schüler:innen zeigten ein hohes Engagement und verbesserten ihre technischen Fähigkeiten. Die Widerstandsmessungen der gedruckten Objekte bestätigten die praktische Anwendbarkeit des Filaments, und die Interviews mit den Schüler:innen lieferten wertvolle Rückmeldungen für die Weiterentwicklung des Programms.

#### Das Projekt "lichtsuchende Pflanze":

Die Entwicklung des Projekts "lichtsuchende Pflanze" konnte erfolgreich abgeschlossen werden und schuf eine Verbindung von Elektronik/Elektrotechnik und Signalverarbeitung. Die Entwicklung umfasste die Integration einer lichtsuchenden Funktion durch zwei Solarzellen, die eine möglichst genaue Ausrichtung der „Pflanze“ Richtung Lichtquelle mit einem Schrittmotor gewährleisten sowie die Steuerung durch einen Arduino Micro. Die Energieversorgung erfolgte über eine 5V-Powerbank, um eine einheitliche Spannungsquelle für den Arduino und den Schrittmotor sicherzustellen.

Die Analyse der Spannungswerte der Solarzellen zeigte, dass unterschiedliche Lichtverhältnisse zu verschiedenen Spannungen führen. Diese Erkenntnis floss in die Programmierung ein, um die Pflanze entsprechend der Helligkeit auszurichten. Insgesamt konnte das Projekt erfolgreich umgesetzt

werden und die Ergebnisse eröffnen interessante Möglichkeiten für zukünftige Erweiterungen. So könnte dieses Projekt ein hohes Potenzial in der pädagogischen Anwendung finden und verschiedene Disziplinen (wie unter anderem Elektronik/Elektrotechnik und Signalverarbeitung, aber auch Mechanik und Biologie) in einem Projekt zusammenfassen.

## 9.2 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten eine solide Grundlage für die weitere Integration von 3D-Drucktechnologien im Bildungsbereich. Zukünftige Forschungen könnten sich auf folgende Aspekte konzentrieren:

- Weiterentwicklung der Projekte: Die Entwicklung weiterer komplexer Projekte, die verschiedene Disziplinen integrieren, kann die technische Ausbildung der Schüler:innen weiter verbessern.
- Langzeitstudien: Langfristige Studien zur Wirksamkeit des Programms könnten wertvolle Erkenntnisse über die nachhaltige Entwicklung der technischen Kompetenzen der Schüler:innen liefern.
- Erweiterung des Netzwerks: Der Aufbau eines umfassenderen Netzwerks aus Schulen, Unternehmen und Hochschulen kann den Austausch von Wissen und Ressourcen fördern und die Weiterentwicklung des Programms unterstützen.
- Technologische Innovationen: Die Untersuchung neuer Materialien und Technologien im Bereich des 3D-Drucks kann zusätzliche Anwendungsfelder eröffnen und die Attraktivität des Unterrichts weiter steigern.

Die Implementierung des entwickelten Produktivprogramms in den Werkstättenunterricht der HTLs bietet den Schüler:innen eine praxisnahe und innovative Ausbildung, die sie optimal auf zukünftige berufliche Herausforderungen vorbereitet. Durch die kontinuierliche Weiterentwicklung und Anpassung des Programms kann die technische Ausbildung an HTLs nachhaltig verbessert und den aktuellen Anforderungen der Industrie angepasst werden.

## 9.3 Limitationen

Obwohl die Ergebnisse dieser Arbeit vielversprechend sind, gibt es einige Limitationen, die berücksichtigt werden müssen:

- Begrenzte Stichprobe: Die Untersuchung basierte auf einer relativ kleinen Stichprobe von 12 Schüler:innen. Dies könnte die Generalisierbarkeit der Ergebnisse einschränken. Zukünftige Studien sollten größere und vielfältigere Stichproben einbeziehen.
- Kurzfristige Beobachtungen: Die erhobenen Daten beziehen sich auf einen begrenzten Zeitraum. Langfristige Effekte des Einsatzes von 3D-Drucktechnologien im Unterricht wurden nicht untersucht. Langzeitstudien wären notwendig, um nachhaltige Auswirkungen auf die Lernentwicklung der Schüler zu bewerten.
- Technische Herausforderungen: Während der Versuche traten technische Herausforderungen auf, die den Unterrichtsfluss beeinträchtigen könnten. Eine kontinuierliche technische Unterstützung und regelmäßige Wartung der 3D-Drucker sind notwendig, um einen reibungslosen Einsatz sicherzustellen.
- Variabilität der Druckergebnisse: Die Qualität der gedruckten Objekte kann je nach Drucker, Material und Einstellungen variieren. Diese Variabilität könnte die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beeinflussen.

- Begrenzte Ressourcen: Die Verfügbarkeit von Ressourcen wie leitfähigem Filament und geeigneten 3D-Druckern ist begrenzt und könnte die breitere Implementierung des Programms behindern. Es bedarf weiterer Investitionen und Unterstützung durch die Bildungseinrichtungen.

Diese Limitationen bieten Ansatzpunkte für zukünftige Forschung und Entwicklung, um die Integration von 3D-Drucktechnologien im Bildungsbereich weiter zu optimieren und die technische Ausbildung der Schüler nachhaltig zu verbessern.

## Literaturverzeichnis

1. C. W. Hull, "Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography," U.S. Patent 4 575 330, 11. März 1986.
2. I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*, 2nd ed., New York, NY: Springer, 2014.
3. H. Lipson and M. Kurman, *Fabricated: The New World of 3D Printing*, Indianapolis, IN: John Wiley & Sons, 2013.
4. Y. Zeng, S. Zhang, J. Peng, and B. Z. Jang, "Conductive 3D Printing Filament: Towards the Development of Functional Wearable Electronics," *Journal of Materials Science*, vol. 51, no. 22, pp. 10430-10436, Nov. 2016.
5. E. Novak and M. Weis, "3D Printing in Education: A Qualitative Study of Teachers' Perceptions," *Journal of Educational Technology Systems*, vol. 44, no. 3, pp. 368-379, Mar. 2016.
6. M. Kostakis, V. Niaros, and V. Troullinou, "Integrating 3D Printing into STEM Education," *Journal of STEM Education*, vol. 17, no. 3, pp. 48-54, Jul. 2016.
7. J. Horvath and B. Cameron, *Mastering 3D Printing*, New York, NY: Apress, 2014.
8. M. J. Martin and P. J. Bartolo, "3D Printing in Medicine and Surgery," *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, vol. 12, no. 4, pp. 793-804, Apr. 2017.
9. D. Scott, B. Sheridan, and M. Clark, "Design-based Research: Putting a Stake in the Ground," *Journal of Learning Sciences*, vol. 29, no. 1, pp. 27-46, Jan. 2020.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 3D-Druck Einzelteile der "lichtsuchenden Pflanze" .....	22
Abbildung 2: 3D-Druck Zusammengebaute "lichtsuchende Pflanze" .....	22
Abbildung 3: Drehteller mit Box verbunden .....	23
Abbildung 4: Pinbelegung des Arduino Micro.....	23
Abbildung 5: Pinbelegung des Schrittmotor-Treibers .....	24
Abbildung 6: Fotozelle2 beleuchtet mit Deckenbeleuchtung.....	25
Abbildung 7: Fotozelle2 beleuchtet mit starker Taschenlampe .....	25
Abbildung 8: Schematik Aufbau 1 "ohne Blume als Schalter" .....	27
Abbildung 9: Beispiel für erfasste Spannungswerte und deren Auswirkung auf den Schrittmotor .....	28
Abbildung 10: Deckelinnenseite mit Anschlussdrähten.....	28
Abbildung 11: Deckelinnenseite mit unterschiedlichen Schichten .....	28
Abbildung 12: Spannungsteiler zur Erfassung der Spannung in Abhängigkeit der eingesetzten "Pflanze" .....	29
Abbildung 13: Testaufbau2 - mit Blume als Schalter ohne eingesetzter Blume .....	30
Abbildung 14: Testaufbau2 - mit Blume als Schalter mit eingesetzter Blume .....	30
Abbildung 15: Testaufbau2 - mit Blume als Schalter mit eingesetzter Blume .....	31
Abbildung 16: Finaler Aufbau der "lichtsuchenden Pflanze" .....	32
Abbildung 17: Programmierung Teil1 - Konstanten und Initialisierung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 18: Programmierung Teil2 - Setup .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 19: Programmierung Teil3 - Loop .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 20: Programmierung Teil4 - Ermittlung von SOLAR_CORRECTION_FACTOR.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 21: Programmierung Teil5 - Ausgabe der Spannungen der Solarzellen ....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 22: Programmierung Teil6 - Funktion followLight().....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Messung der Leerlaufspannung der Solarzellen.....	26
Tabelle 2: Kontakt- und Isolationswiderstände des leitfähigen 3D-Druckmaterials.....	29
Tabelle 3: Widerstände des leitfähigen 3D-Druckmaterials ohne bzw. mit Blume als Schalter .....	29
Tabelle 4: Spannungswerte ohne bzw. mit eingesetzter Blume .....	30