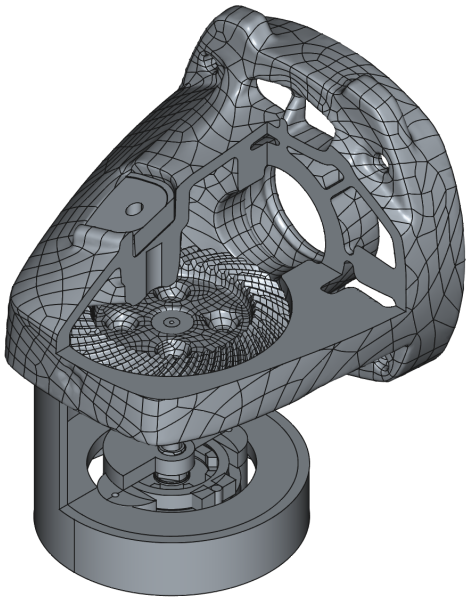
Senso Gear



Abschlussbericht der Kooperationsphase 2024/25 im Kurs KA19

Durchgeführt am Institut für Produktentwicklung am KIT

Betreut von Victor Mas

Jakob Knippertz knippeja@hector-seminar.de

Teodor Andrei andreite@hector-seminar.de

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **1**

2 Material und Methoden **2**

2.1 Aufbau des Winkelschleifers 2

2.2 Bauraumidentifikation 4

2.3 Verwendete Software 6

2.4 Stromerzeugung mittels Generator 7

2.5 Übertragung elektrischer Energie mittels Spulen 11

2.6 Design der sensorintegrierten Platine 15

3 Ergebnisse **21**

3.1 Datenübertragung 21

3.2 Strommessungen 21

3.3 Finaler Prototyp 23

Abstract

Power tools such as angle grinders are required for a wide variety of manual tasks and play a crucial role in the processing of a wide range of materials. Due to the high speeds and heavy loads, the tools are subject to continuous mechanical and thermal wear, which can affect the safety and longevity of the devices. Maintenance is often only carried out, if at all, after a defect or loss of performance has occurred. This leads to increased downtimes and avoidable costs. Condition monitoring of devices makes it possible to recognise wear at an early stage and replace defective or damaged components. In particular, the use of integrated sensor systems to record relevant operating data such as temperature, vibration and speed can be used for simple and efficient condition monitoring. The aim of this project is to design a circuit board that can be integrated into the given installation space of an angle grinder in order to carry out condition monitoring.

1 Einleitung

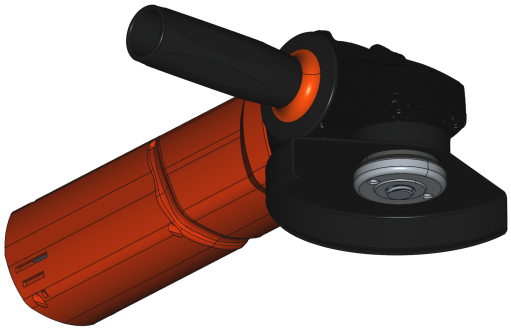
Elektrowerkzeuge wie Winkelschleifer werden für verschiedene handwerkliche Arbeiten benötigt und spielen eine entscheidende Rolle in der Bearbeitung von verschiedenen Materialien. Durch die hohen Drehzahlen und die starke Belastung unterliegen die Werkzeuge einem kontinuierlichen mechanischen und thermischen Verschleiß. Dieser beeinträchtigt die Sicherheit und Langlebigkeit der Geräte. Die Wartung der Geräte erfolgt nach dem Auftreten eines Defekts oder eines Leistungsverlustes. Dies führt zu erhöhten Ausfallzeiten und vermeidbaren Kosten. Der Nachhaltigkeitsaspekt ist relevant, da viele der Geräte statt einer Reparatur frühzeitig entsorgt werden.
Die Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) von Geräten eröffnet die Möglichkeit Verschleiß frühzeitig zu erkennen und defekte oder beschädigte Bauteile zu ersetzen. Die Anwendung von integrierten Sensorsystemen um relevante Betriebsdaten wie Temperatur, Vibration und Drehzahl aufzunehmen, kann für eine einfachen und effizienten Zustandsüberwachung genutzt werden. Meist sind diese Funktionen aber nur in industriellen Hochleistungsgeräten eingebaut und die Integration in handgeführte Elektrowerkzeuge fehlt.
Ziel dieses Projektes ist es, eine Platine zu entwerfen, und diese in gegebenem Bauraum eines Winkelschleifers einzubinden um eine Zustandsüberwachung durchführen zu können. Die Platine soll auf Abruf Daten über den Zustand des Gerätes senden können und ihren Strom direkt aus dem System des Winkelschleifers gewinnen. Der Fokus liegt in diesem Projekt auf dem Bereich des Erstellens der Platine und der Energiegewinnung aus dem System des Winkelschleifers.

2 Material und Methoden

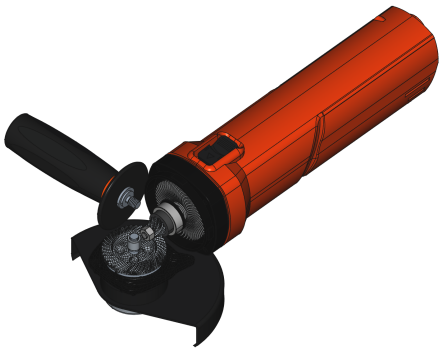
In diesem Kapitel werden alle in dem Projekt verwendeten Materialien und genutzte Software erläutert und physikalische Grundlagen erklärt. In Unterkapitel 2.1 wird zunächst der Winkelschleifer, in den die Platine integriert werden soll vorgestellt und die sich im Winkelschleifer bietenden Bauräume detailliert beschrieben. In 2.4 und 2.5 wird die Stromversorgung der Platine über einen Generator sowie zwei Spulen erläutert. In 2.3 wird die im Projekt verwendete Software erklärt. Die Entwicklung und Herstellung der Platine ist in 2.6 aufgeführt.

2.1 Aufbau des Winkelschleifers

Der Winkelschleifer ist ein elektrisches Handwerkzeug. Er wird zum Schleifen, Trennen und Polieren von Materialien wie Metall, Stein, Beton und Keramik verwendet wird. Der Antrieb des Winkelschleifers erfolgt über einen Elektromotor im Handgriffbereich. Seine Rotationsbewegung wird über ein Kegelradgetriebe auf einen drehbaren Scheibenaufsatz übertragen. Ein Kegelradgetriebe überträgt die Drehbewegungen zwischen zwei sich kreuzenden Drehachsen, meist im 90°-Winkel. In Abb. (a) und (b) ist das Modell CG 15-125 BL der Firma Fein zu sehen welches das Versuchsobjekt unseres Projektes darstellt.



(a) CAD Winkelschleifer Ansicht von unten



(b) Ansicht von oben ohne Zahnradabdeckung

Aufbau des Getriebes

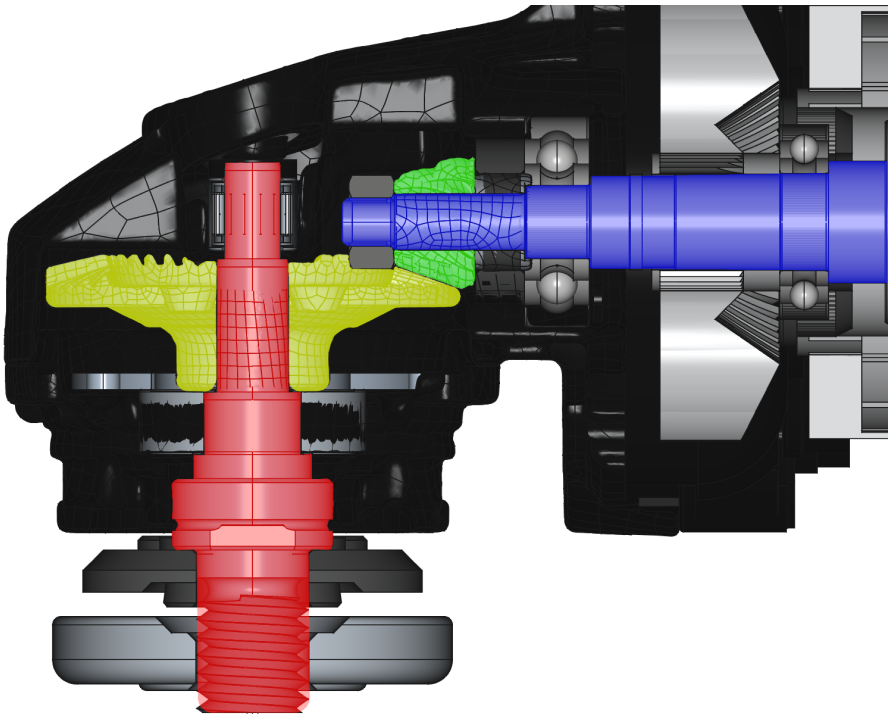


Abb. 1: Getriebe

In Abb.1 ist das Getriebe des Winkelschleifers in Seitenansicht zu sehen. Innerhalb des Getriebes soll die Sensorplatine zur Zustandsüberwachung eingebaut werden. Rechts, außerhalb des Bildes findet man den Elektromotor, welcher die horizontale Antriebsachse (blau), in Bewegung setzt. Das Eingangskegelrad (grün) befindet sich am Ende der Antriebsachse, welches die Rotation auf das Ausgangskegelrad (gelb) überträgt. Die vertikale Abtriebsachse (rot) bringt die Rotation zur Aufsatzscheibe am unteren Ende des Getriebes.

2.2 Bauraumidentifikation

Aufgrund der kompakten Bauweise des Winkelschleifers steht uns wenig Bauraum zur Verfügung. Der Einbau einer Sensorplatine und eines Energieversorgungssystems erfordert eine effiziente Nutzung des verfügbaren Bauraums. Dieser ist in zwei Bereiche unterteilt: den Raum über dem Zahnrad (rot) für die Sensorplatine und den Raum weiter unten an der Achse für die Energiegewinnung (blau). Der zweite Raum wird vergrößert indem Teile der Achse und der Bearing-Plate weggefräst werden. Das beeinträchtigt geringfügig die strukturelle Stabilität des Geräts. Da das Ergebnis des Projekts ein Prototyp und keine endgültige Lösung darstellt, kann die beeinträchtigte Stabilität vernachlässigt werden. Eine Verbindung der Bauräume erfolgt über Kabel, die durch die Getriebeachse geführt werden.

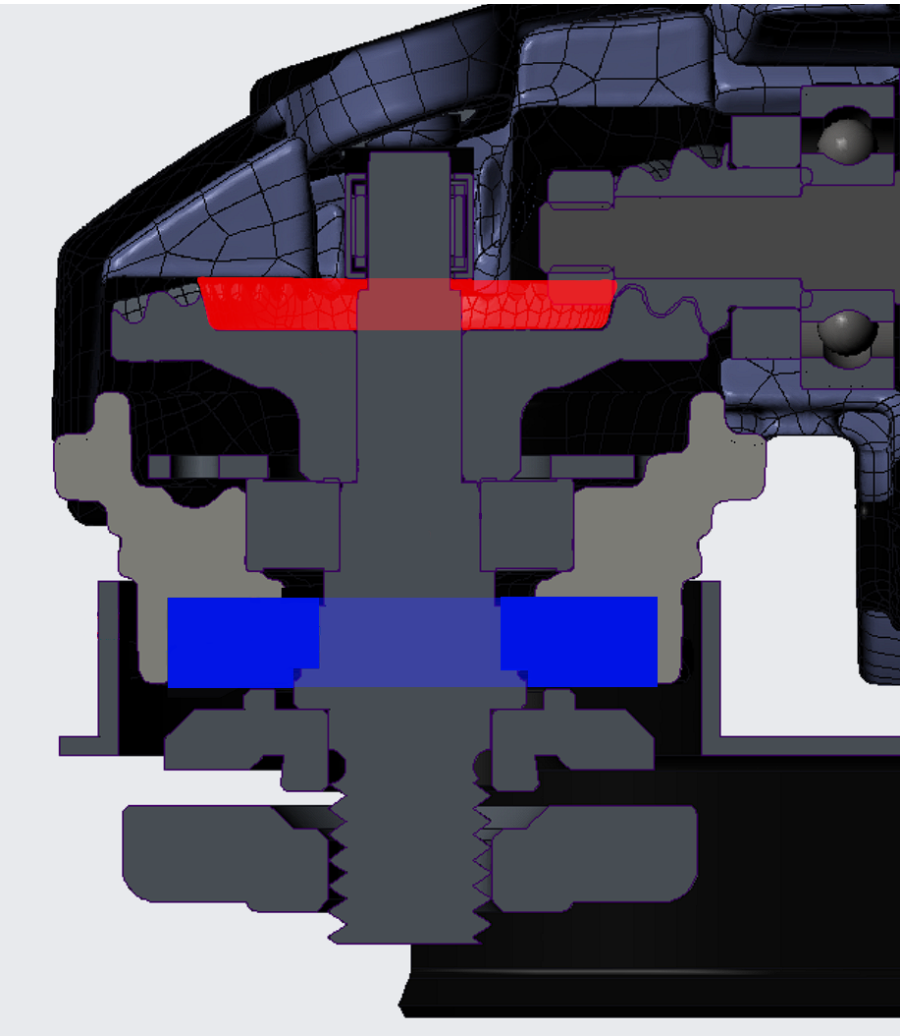


Abb. 2: Getriebe Seitenschnitt mit Bauraumabmessungen

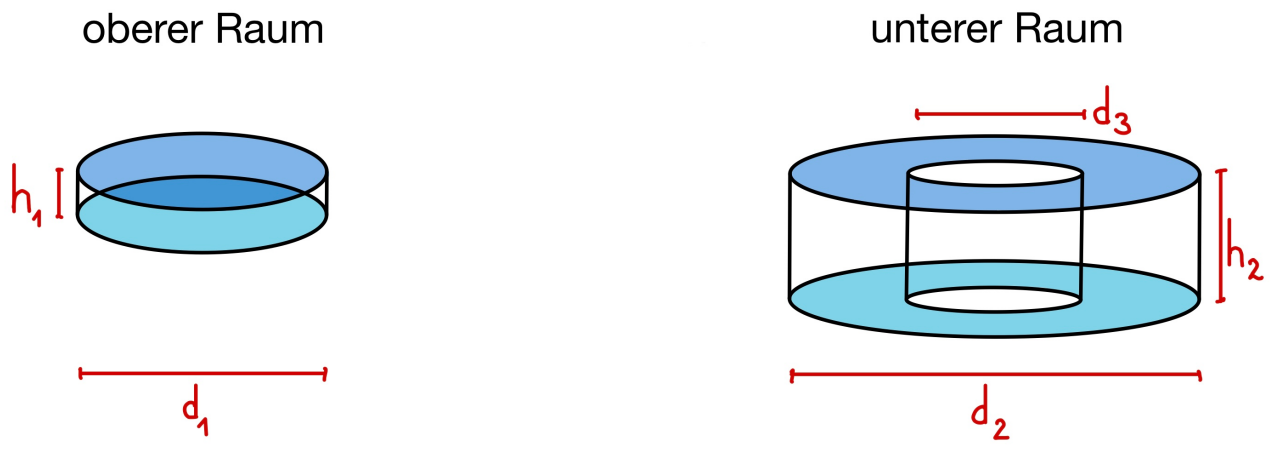


Abb. 3: Bauraum Maße

h_1: 5mm (10mm*); h_2: 8mm
d_1: 18mm (32mm*); d_2: 41mm; d_3: 15mm

In Abb.3 sind die beiden, für den Einbau der Elektronik, ausgewählten Bauräume zu sehen. Der obere Bauraum liegt auf dem Hauptzahnrad des Winkelschleifers und bietet Platz für eine Sensorplatine (Kap.2.6). Der untere Bauraum ist über die Achse mit dem oberen Bauraum verbunden. Er enthält die Stromversorgung der Platine (Kap.2.4 und Kap.2.5). Im finalen Prototyp wird der obere Bauraum vergrößert und entspricht nicht mehr den Maßen des Winkelschleifers. Dies ist in den Angaben mit einem Stern gekennzeichnet.

2.3 Verwendete Software

Die EDA-Software “KiCad”

KiCad ist eine Open-Source-Software zur Entwicklung von elektronischen Schaltungen und zur Erstellung von Leiterplattenlayouts. Sie verfügt über einen Schematik-Editor, in dem die Bearbeitung der elektronischen Schaltung stattfindet und einen PCB-Editor, in welchem die Anordnung der einzelnen Bauteile und das Design der Platine stattfindet. Nach der Entwicklung werden Gerber-Files aus dem Bauplan der Platine erstellt, welche von verschiedensten Firmen maschinell gefertigt werden können.

3D-Modelling Software “FreeCAD”

Computer-Aided Design (CAD) bezeichnet die computergestützte Erstellung von technischen Zeichnungen und 3D-Modellen. FreeCAD ist ein kostenloses quelloffenes 3D-CAD-Programm zur Konstruktion und Anylyse technischer Modelle. Es unterstützt verschiedene Konstruktionsmethoden wie Skizzieren, 3D-Modellierung und technische Zeichnungen. Es wird in vielen Bereichen wie Maschinenbau, Architektur, Elektrotechnik und Produktdesign eingesetzt. Nach der Entwicklung können z.B. step-Files aus dem Bauplan der Modelle erstellt werden. Diese dann im 3D-Drucker gefertigt werden können.

“Visual Studio Code” und Addon “Platformio”

Visual Studio Code ist eine quelloffene Programmierumgebung die viele verschiedene Programmiersprachen unterstützt. Durch das Addon Platformio können von Visual Studio Code aus Programme auf Mikrokontroller übertragen werden.

2.4 Stromerzeugung mittels Generator

Zur Bestimmung des Zustands des Winkelschleifers wird eine Platine mit Sensorik benutzt. Diese muss mit einer konstanten Spannung von 3,3V und einer Stromstärke von 100mA versorgt werden um den Mikrocontroller betreiben zu können. Da sich die Platine auf einem der Zahnräder des Winkelschleifers mitdreht und somit nicht von außen mit Strom versorgt werden kann, muss die Versorgung zum Beispiel über Energiegewinnung aus der Rotation des Winkelschleifers stattfinden. Dazu bietet sich ein Generator an, der auf kleinem Raum Strom aus der Rotation des Getriebes gewinnen kann.

Physikalische Grundlagen und allgemeiner Aufbau

Ein Generator wandelt mechanische Energie in elektrische Energie um. Dabei wird das Prinzip der elektromagnetischen Induktion für die Energieübertragung genutzt. Eine leitende Spule wird innerhalb eines magnetischen Feldes bewegt und eine elektrische Spannung wird dadurch in der Spule induziert. Ein Generator besteht aus zwei Hauptkomponenten: einem Stator und einem Rotor. Der Stator ist der unbewegliche Teil des Generators und enthält die Spulen, in denen durch elektromagnetische Induktion eine elektrische Spannung erzeugt wird. Der Rotor ist das rotierende Element und besteht entweder aus Permanent- oder Elektromagneten. Durch die Drehung des Rotors und damit einer zeitlichen Änderung des des Magnetfelds im Bereich der Statorspulen wird eine Spannung induziert. Die induzierte Spannung wird berechnet durch die Gleichung

$$U = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \tag{1}$$

Die Spannung U entspricht der Windungszahl N multipliziert mit der Flussänderung Φ pro Zeit.

Magnet- und Spulenverhältnis

Das Verhältnis zwischen der Anzahl der Spulen und der Magnete wirkt sich entscheidend auf die elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Gesamtsystems aus. Beim Bau eines Generators sollte auf ein harmonisches Verhältnis zwischen Magnetzahl und Spulenzahl geachtet werden. Ein harmonisches Verhältnis bezeichnet eine Konfiguration, bei der die räumliche Anordnung und die zeitliche Abfolge der magnetischen Feldänderungen so gewählt sind, dass in den Spulen eine gleichmäßige, sinusförmige Wechselspannung induziert wird. Fehlt diese Abstimmung, können unregelmäßige Induktionsmuster entstehen, die zu Spannungseinbrüchen, Leistungsverlusten und erhöhter thermischer Belastung der Wicklungen führen.

Materialauswahl

Beim Bau eines Generators sollte bei der Materialauswahl auf bestimmte Faktoren geachtet werden. Die Dicke des Spulendrahts wirkt sich direkt auf die Stromstärke und Spannung des Generators aus. Eine dünnerer Drahtstärke erlaubt eine höhere Anzahl an Wicklungen auf dem Spulenkörper. Dies führt zu mehr Gesamtwicklungen und gemäß Gleichung (1) zu einem Anstieg der induzierten Spannung. Jedoch steigt bei dünnerem Draht der elektrische Widerstand R dieses Drahtes.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \tag{2}$$

wobei ρ der spezifische Widerstand des Materials, l die Länge des Drahtes und A der Querschnitt des Drahtes ist. Bei dünnerem Draht steigt dei Länge des Drahtes da mehr Draht für Wicklungen benötigt wird. Daraus folgt der Anstieg des Widerstandes. Durch den Anstieg des Widerstands sinkt aber nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärke.

$$U = R \cdot I \tag{3}$$

Folglich ist eine Drahtdicke zu wählen, die den Anforderungen des Projektes entsprechend ein optimales Verhältnis zwischen Spannung und Stromstärke gewährleistet.
Das Material der Anker sollte eine bestimmte Eigenschaften besitzen. Es sollte magnetisierbar sein um das Magnetfeld aufzunehmen und zu leiten. Dadurch wird das Magnetfeld stärker und die Induktionswirkung der Spulen steigt. In der Praxis werden dafür weichmagnetische Stoffe verwendet, insbesondere dynamoelektrischer Stahl. Dieser hat eine hohe Magnetisierbarkeit und minimiert gleichzeitig die Verluste durch Wirbelströme.

Konstruktion des Generators

Im Rahmen des Projektes wurde ein Elektrogenerator entwickelt. Der Generator besteht aus einem feststehenden Stator, der mit Permanentmagneten besetzt ist. Auf dem Rotor des Generators befinden sich Kupferspulen. Der Stator besteht aus einem ringförmigen Halter der aus PLA-Kunststoff im 3D-Druckverfahren gefertigt wurde. PLA (Polyactid)-Kunststoff ist ein biologisch abbaubarer Kunststoff aus Maisstärke oder Zuckerrohr, der häufig in der 3D-Druck-Technologie verwendet wird da er geruchsarm ist und eine niedrige Schmelztemperatur hat. In den Halter können acht Neodym-Magnete der Maße (10x5x4mm) kreisförmig eingesetzt werden. Die Pole der Magnete wechseln sich ab und erzeugen so ein gleichmäßiges Wechselfeld. Der Rotor besteht aus dynamoelektrischem Stahl und lässt sich an die Achse des Winkelschleifers anbinden. Der Rotor fasst drei Spulen (Drahtdurchmesser: 0,2mm ;Windungszahl: 125 pro Spule), die manuell auf die drei Anker der Spule gewickelt wurden.

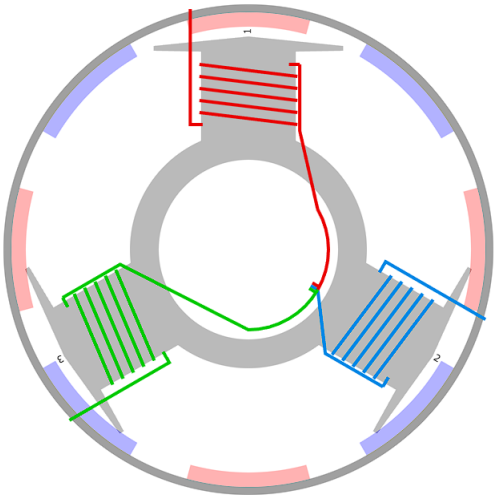


Abb. 4: 3-Phasen-Generator Verkabelung

Der entwickelte 3-Phasen-Generator wird wie in Abb.4 dargestellt verkabelt. Jeder der Spulen bildet eine Phase (in Rot/Blau/Grün dargestellt). Die Enden der einzelnen Spulendrähte werden über einen Widerstand zu einer Sternschaltung verknüpft um einen konstanten Ausgangsstrom zu erhalten. Die drei nach außen gerichteten Kabel werden abgegriffen und zur Versorgung von Verbrauchern genuzt.

Die Abbildungen 5-7 zeigen den entwickelten Generator.

Abb. 5: Generator Ansicht von oben

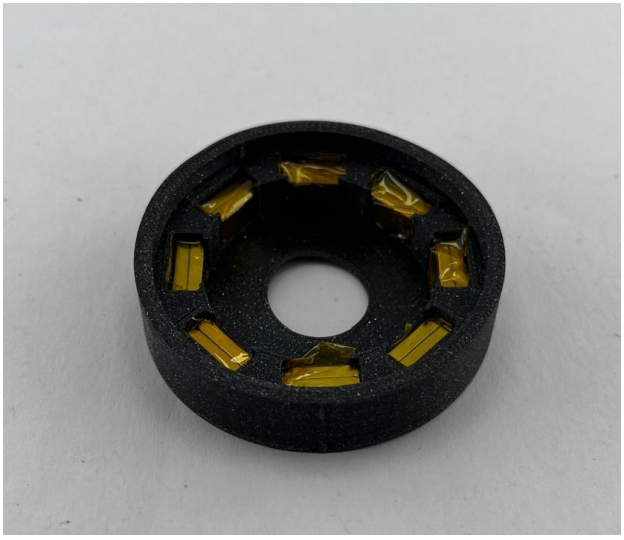


Abb. 6: Magnethülle

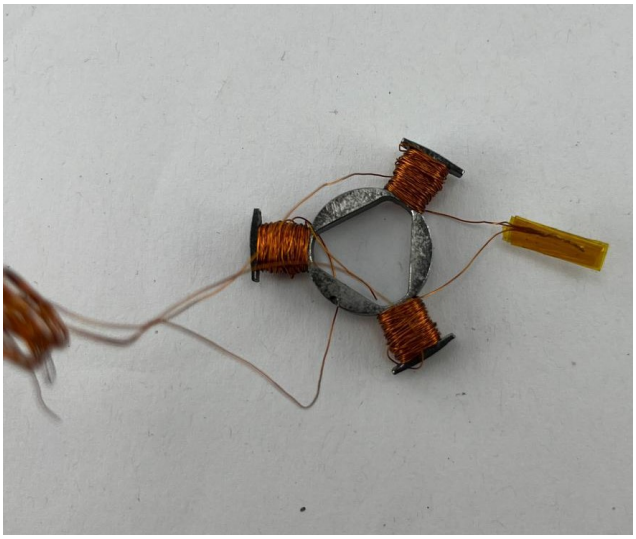


Abb. 7: Rotor mit Spulen

2.5 Übertragung elektrischer Energie mittels Spulen

Im Verlauf der Projektplanung wurde neben der Energieversorgung über einen Generator Kap.2.4, die Möglichkeit untersucht, die benötigte Versorgung der Platine über ein kontaktloses Spulensystem zu realisieren. Da diese Möglichkeit aber nicht völlig autark arbeitet sondern Strom aus der Batterie des Winkelschleifers benötigt, basiert die Platinenentwicklung und der Prototyp des Projektes auf der Versorgung über einen Generator. So kann ein System realisiert werden welches die Energie aus dem Drehmoment des Winkelschleifers zieht.

Physikalische Grundlagen und allgemeiner Aufbau der Energieübertragung mittels Spulen

Durch zwei Spulen lässt sich Energie drahtlos übertragen. Zugrunde liegt dabei das Prinzip der elektromagnetischen Induktion. Eine der Spulen (Primärspule oder Transmitterspule) wird mit einem wechselnden Pulsstrom durchsetzt und ein wechselndes Magnetfeld entsteht. Dieses durchsetzt die zweite Spule (Sekundärspule oder Recieverspule), in welcher eine elektrische Spannung induziert wird. Analog zum Generator lässt sich die induzierte Spannung in der Sekundärspule berechnen durch die Gleichung (1). Für den magnetischen Fluss Φ der Primärspule gilt:

$$\Phi = B \cdot A \cdot cos(\Theta) \tag{4}$$

A beschreibt die von Magnetfeld durchsetzte Fläche und cos(Θ) die Ausrichtung der beiden Spulen zueinander. Für die magnetische Flussdichte B gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N}{l} \cdot I \tag{5}$$

Die Flussdichte wird berechnet aus dem Produkt der Stromstärke I und dem Quotient aus Windungszahl N und Drahtlänge l. μ_0 ist die magnetische Feldkonstante und beträgt $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$. μ_r gibt die relative Permeabilität des zwischen den Spulen liegenden Materials an. Bei Luft beträgt $\mu_r = 1$. Theoretisch ist eine verlustfreie Stromübertragung möglich. In der Realität gibt es verschiedene Verlustmechanismen. Hauptsächlich geht Energie durch fehlende magnetische Kopplung zwischen den Spulen verloren. Wenn der Abstand zwischen den Spulen zu groß wird oder die Ausrichtung der Spulen zueinander ungünstig ist, durchsetzt das erzeugte Magnetfeld der Primärspule die Sekundärspule nicht mehr vollständig. Zusätzlich treten Verluste durch den elektrischen Widerstand des Spulendrahts auf.

Umsetzung der Energieübertragung im Projekt

Wie in Kap.2.5 beschrieben, wurde der Aufbau der Energieübertragung mittels Spulen im Projekt umgesetzt. Zwei Spulen der Firma Würth Elektronik aus der WE-WPCC Wireless Power Transmission Reihe wurden als Transmitter- und als Recieverspule verwendet. Die Auswahl der Spulen ließ sich durch den kleinen Bauraum und der Kompabilitätsmatrix (Anhang: Tab.3) auf wenige Möglichkeiten eingrenzen. Der Pulsstrom durch die Transmitterspule sowie die Umwandlung zurück zu Gleichstrom nach der Recieverspule wird durch zwei Mikrochips eines Inductive Charging Sets von Adafruit erreicht. Diese Microchips wurden von Spulen des Sets abgelötet und an die passenden ausgewählten Spulen angelötet. Der Aufbau der Energieübertragung mittels Spulen ist im Anhang Abb.[30] zu sehen. Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Bauteile und deren Maße:

Tabelle 1: Verwendete Spulen und Mikrochips

Funktion	Produktnummer	Maße	weitere Produktdaten
Transmitterspule	760308101107	⌀31 x 2,5mm	24μH; 2A; 315mΩ
Recieverspule	760308105309	⌀26 x 0,5mm	10,5μH; 1,5A; 450mΩ
Inductive Charging Set	Adafruit 1459		

Abbildungen 8 und 9 zeigen jeweils die im Projekt verwendeten Spulen mit den angelöteten Mikrochips. Abbildung 9 zeigt eine mögliche Ausrichtung der Spulen zueinander um Energie übertragen zu können.

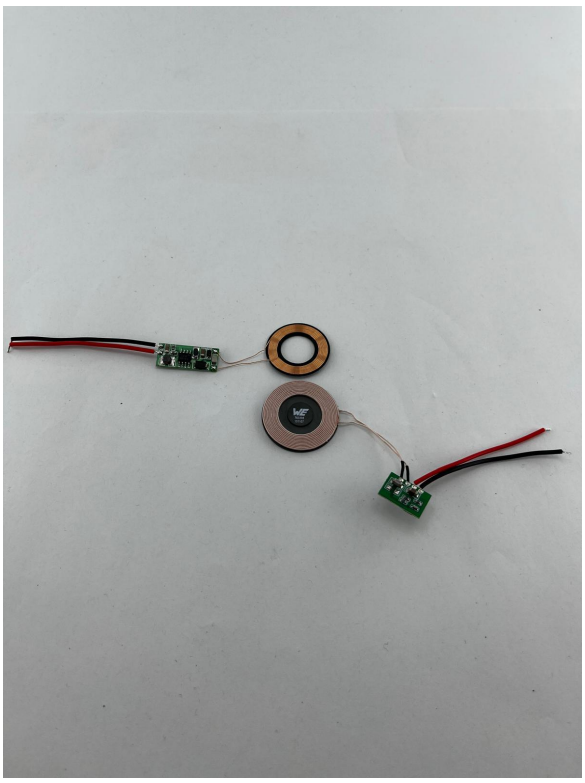


Abb. 8: Spulen nebeneinander

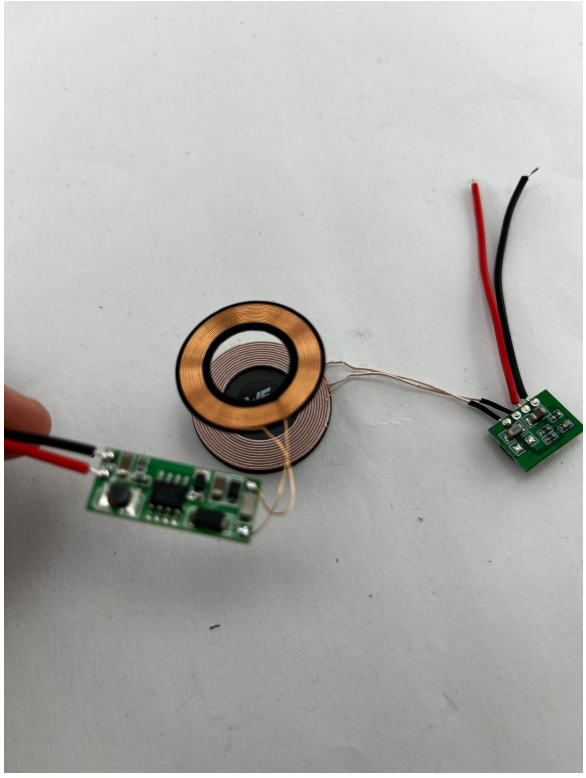


Abb. 9: Energieübertragung mittels Spulen

Für die Überprüfung der Spulenübertragung wurde die Recieverspule mit dem Versorgungseingang einer SparkFun MicroMod ATP-Trägerplatine verbunden. Auf der Platine wurde der MicroMod ESP32 befestigt. Zusätzlich wurde ein Joystick als Datenquelle angeschlossen um Testdaten zu simulieren. Beim Bewegen des Joysticks konnte mit einem BLE-Empfänger Daten des Joysticks empfangen werden.

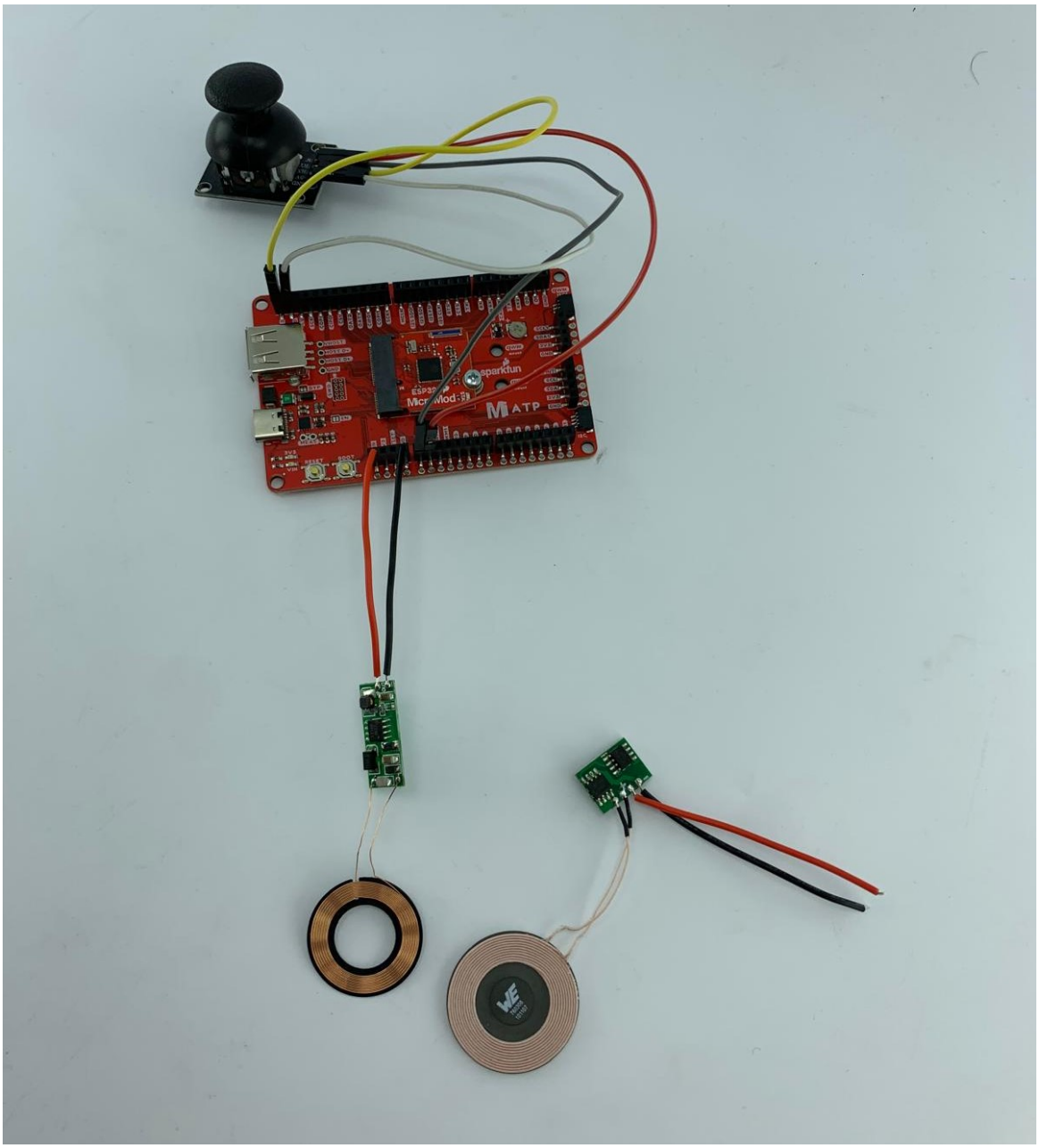


Abb. 10: Versorgung eines Dev Boards mit Spulen

2.6 Design der sensorintegrierten Platine

Aufbau der Platine

Zur Realisierung der Zustandsüberwachung eines Winkelschleifers wurde eine eigens konzipierte Platine mit KiCad entworfen. Die Platine ermöglicht die Anbindung verschiedener Sensoren um zustandsrelevante Daten aufnehmen zu können und an verknüpfte Geräte über Bluetooth senden zu können. Außerdem dient sie zur Stomaufbereitung des Generatorstroms. Da der Ausgangsstrom der Platinenversorgung über einen Generator aufbereitet werden muss, ist die Platine darauf ausgelegt in Kombination mit dem Generator genutzt zu werden. Bei der Stromübertragung über Spulen wird keine Aufbereitung benötigt. Die Bauteile der Platine sind im Anhang (Tab.[1]) aufgelistet.

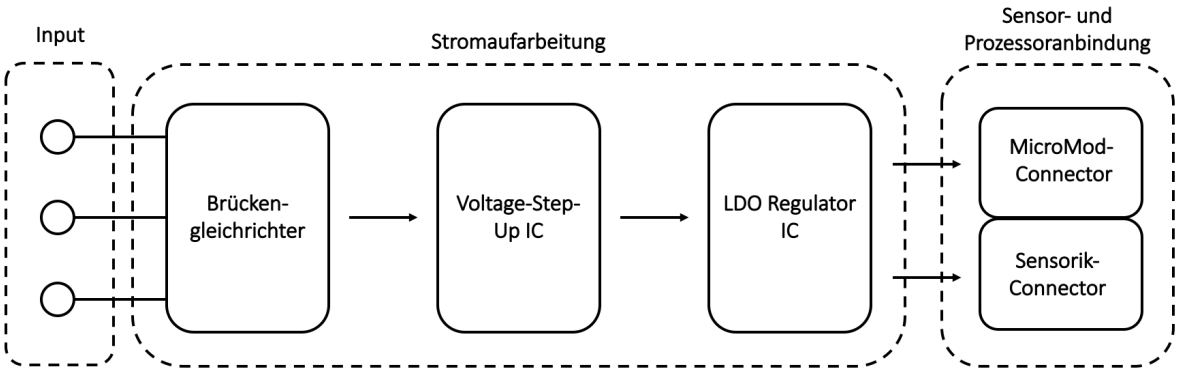


Abb. 11: Aufbau der Platine

Die Platine bietet drei Lötpunkte für die Ausgangsdrähte des Generators, die den Input der Platine darstellen. Darauf folgt ein dreistufiges Powermanagement um den Wechselstrom des Generators in stabilen Gleichstrom umzuwandeln. Nach der Stromaufbereitung folgt jeweils ein Connector-Modul für einen Mikrokontroller und für die Sensoranbindung.

Stromaufbereitung

Durch das Magnet-Spulen-Verhältnis von 8/3 entsteht am Generator ein 3-phasiges Wechselspannungsfeld. Jede Spule erzeugt eine sinusförmige Wechselspannung, wobei die drei Phasen um jeweils 120° zeitlich versetzt sind. Um die Platine mit dem gewonnenen Strom des Generators betreiben zu können muss diese 3-phasige Wechselspannung (AC) in Gleichspannung (DC) umgewandelt werden. Dafür wird ein 3-Phasen-Brückengleichrichter verwendet, der aus 6 Dioden(D1-D6) wie in Abb.12 angeordnet besteht. Für eine bessere Stabilität der Ausgangsspannung und zur Vermeidung von Störspitzen werden die Glättungskondensatoren C1 und C2 nachgeschaltet. Zusätzlich begrenzt die Spannungsschutzdiode D7 die Spannung auf 6V, um folgende Bauteile vor Überspannung und Spannungspeaks zu schützen. Die 3 Mountingholes H1-H3 sind die Verknüpfungspunkte, an welche die 3 Ausgangskabel des Generator angelötet werden können.

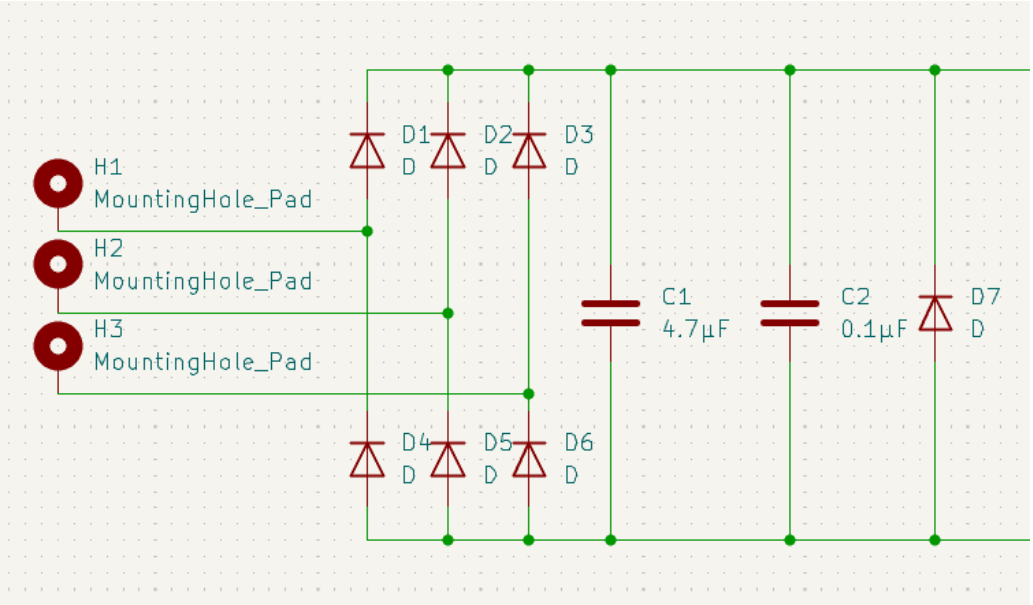


Abb. 12: Brückengleichrichter und Spannungsschutz

Nach der Gleichrichtung und Glättung der vom Generator erzeugten Wechselspannung erfolgt eine zweistufige Spannungsaufbereitung durch zwei IC´s (Integrated Circuits). Diese sorgen für eine stabile Versorgungsspannung. Im ersten Schritt wird durch ein Boost-Converter die relativ geringe Spannung vom Generator auf ein erhöhtes konstantes Niveau gehoben. Danach folgt ein Low-Dropout-Regler, der die Spannung auf eine stabile Ausgangsspannung von 3,3V regelt.

Anbindung eines Prozessors und Sensorik

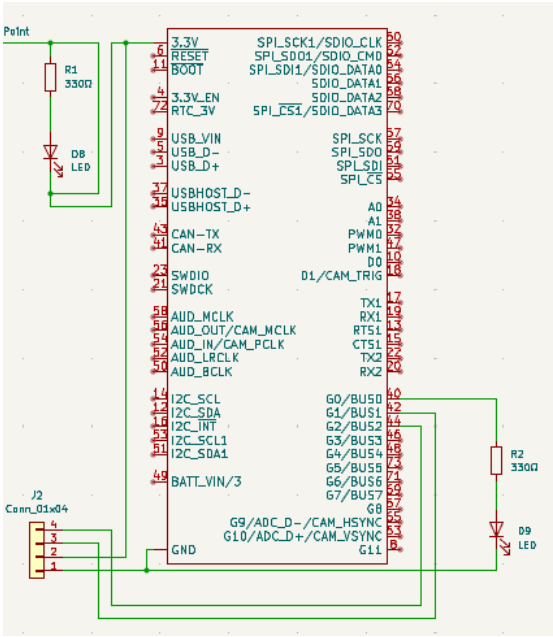


Abb. 13: Connector Modul in KiCad

Abb. 14: MicroMod ESP32

Nach der Stromaufbereitung folgt auf der Platine ein Connector-Modul, das die Anbindung eines Microcontrollers zum Aufnehmen, Speichern sowie Senden der Daten ermöglicht. Das Modul bildet die elektrische und mechanische Schnittstelle zwischen der Platine und dem Mikrocontroller und stellt die nötigen Versorgungspins zu Verfügung. Die 3,3V Versorgungsspannung aus der Stromaufbereitung wird direkt über den Connector zum Micro-Controller weitergeleitet. Durch diese modulare Anbindung kann der Micro-Controller ohne weitere Lötarbeit eingesetzt oder ausgetauscht werden.

Als Prozessor wurde der MicroMod ESP32 verwendet, da er wichtige Funktionen erfüllt und sich dennoch in begrenztem Bauraum einbinden lässt. Der Microcontroller verfügt über eine Antenne die Datenübertragung über Bluetooth sowie BLE (Bluetooth-Low-Energy) zulässt, um Sensordaten effizient übertragen zu können. Außerdem arbeitet der ESP32 trotz eines leistungsstarken Dual-Core-Prozessor energieeffizient und ist geeignet für energieautarke Anwendungen. Anstatt feste Sensoren auf die Platine zu löten, ist ein Pin-Connector auf der Platine verbaut. Dieser bietet die Möglichkeit verschiedene Sensoren je nach Versuchstyp anzubinden. Der Pin-Connector ist über das Connector Modul mit dem MicroMod ESP32 verbunden. Somit können aufgenommene Daten gespeichert und versendet werden.

PCB und Schematic Editor Ansichten der Platine

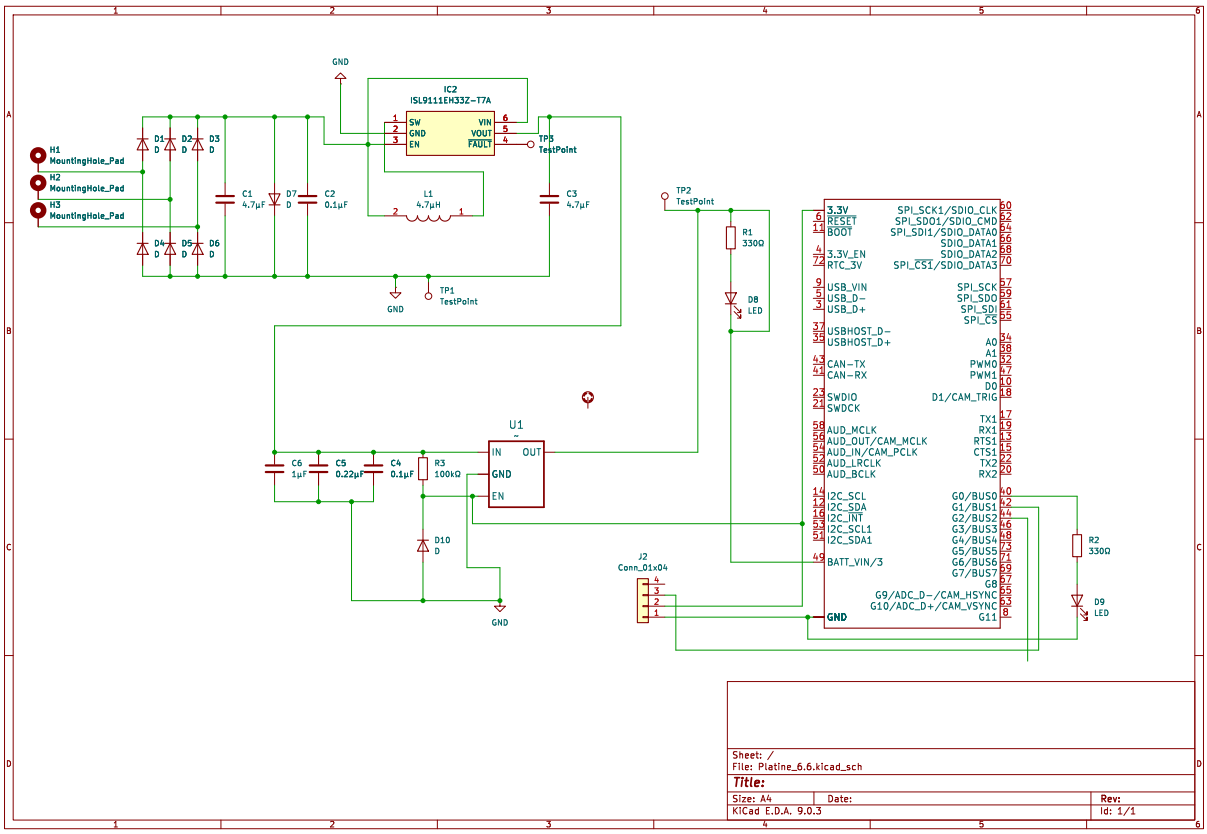


Abb. 15: Gesamtschaltplan im Schematic Editor

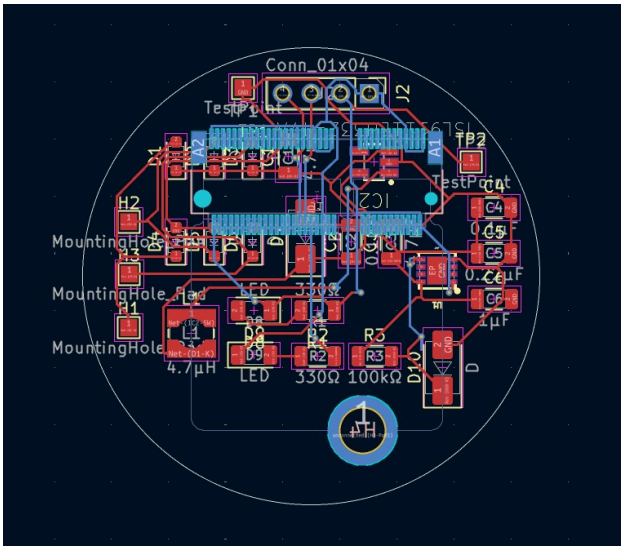


Abb. 16: Platine im PCB Editor

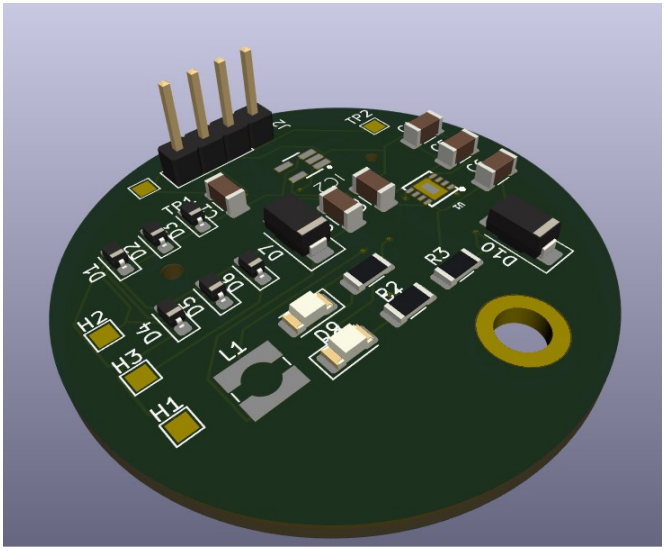


Abb. 17: 3D Render Ansicht der Platine

Front- und Backlayer der Platine im PCB Editor

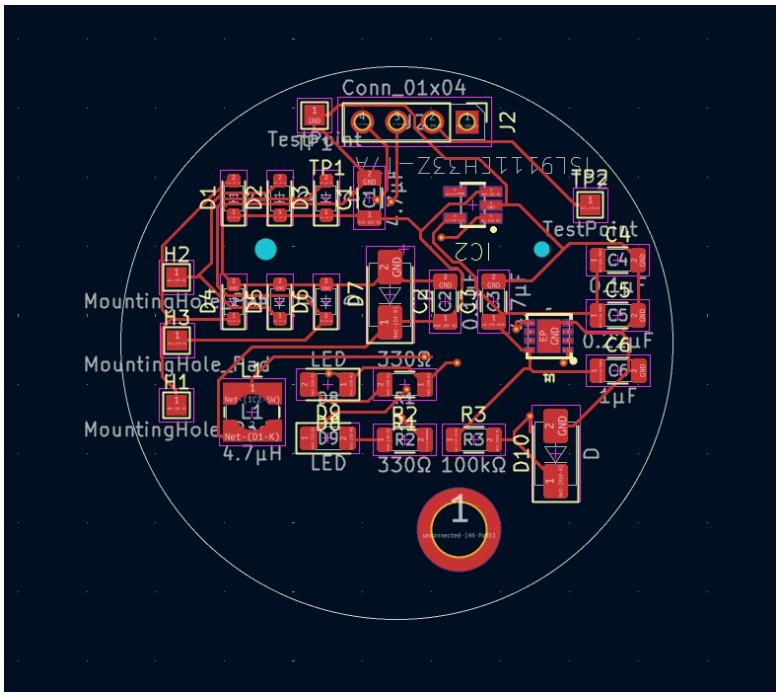


Abb. 18: Frontlayer

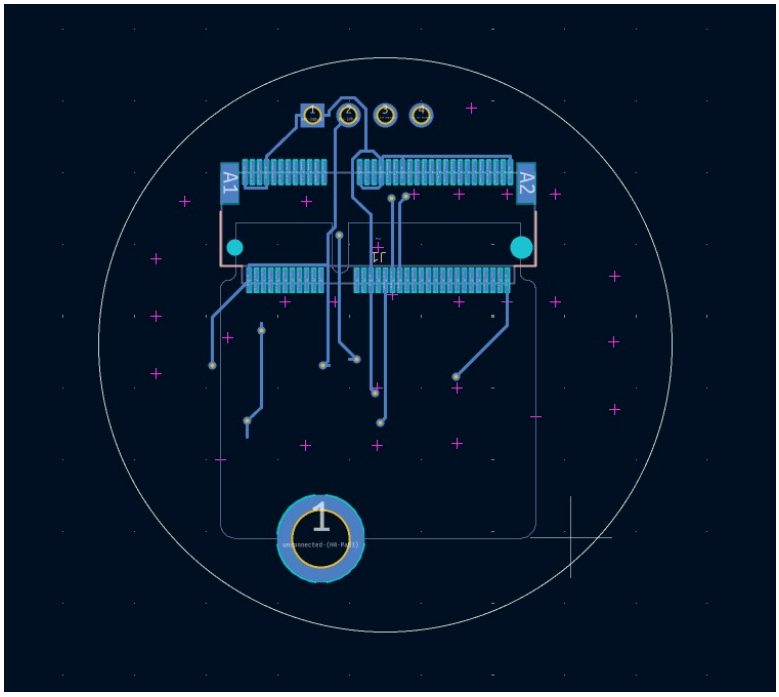


Abb. 19: Backlayer

Abbildungen der Platine

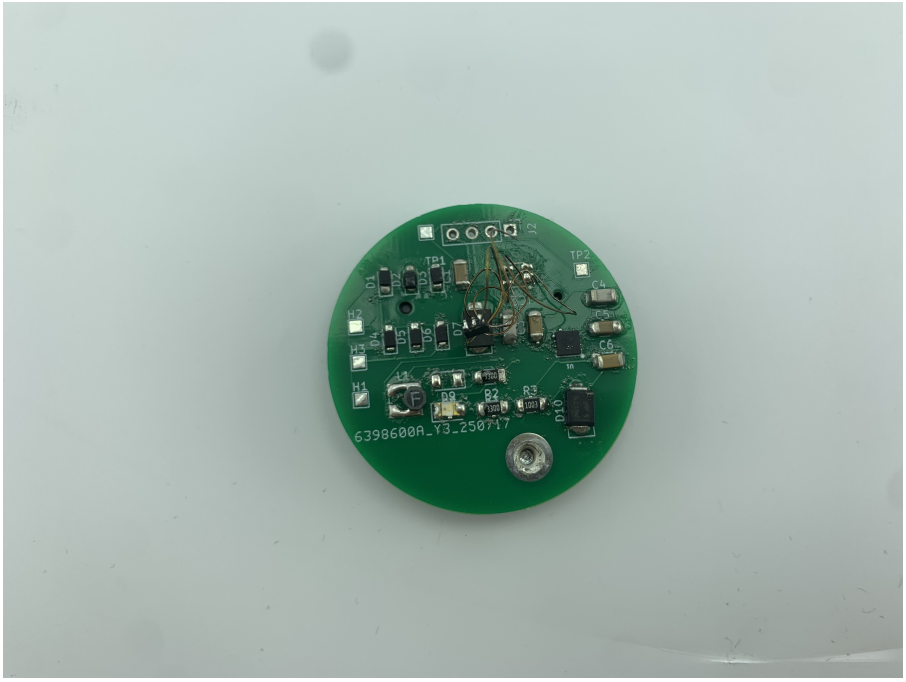


Abb. 20: Platine Frontansicht

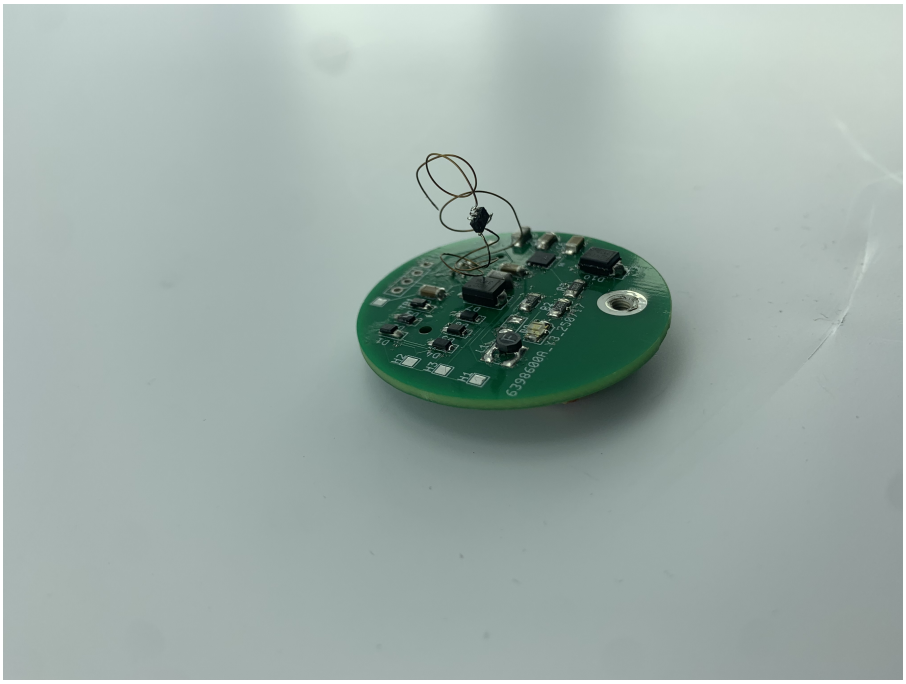


Abb. 21: Platine Seitenansicht

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Projekts vorgestellt. In Kapitel 3.2 werden die Ergebnisse der Versorgung der Platine präsentiert. Kapitel 3.1 beschreibt die Datenübertragung der Messdaten. In Kapitel 3.3 ist der im Projekt entwickelte Prototyp dargestellt.

3.1 Datenübertragung

Die Übertragung der Sensordaten vom Mikrocontroller zu einem beliebigen BLE fähigen Empfänger erfolgt über die eingebaute Antenne auf dem Mikrocontroller. Bei einem errechneten Verbrauch von 0,3W - 0,5W werden fortlaufend Messdaten der Sensoren übertragen und können dann für die Zustandsanalyse des Gerätes ausgewertet werden. Tests mit aufgenommenen Sensordaten ließen sich im Rahmen des Projektes nicht mehr durchführen, jedoch konnte mit Beispielcode die Funktionsfähigkeit der Datenübertragung bestätigt werden. Im Beispielcode Abb.32 im Anhang, werden die Koordinaten eines Joysticks ausgelesen und über BLE versendet. Mit einem BLE Scanner können die Daten empfangen werden.

3.2 Strommessungen

Im Rahmen des Projektes wurden zwei verschiedene Methoden der Versorgung der Sensorplatine getestet:

1. Induktion mittels zwei Spulen
2. Energiegewinnung über einen Generator

Strommessungen der Energieübertragung mittels Spulen

Durch die Induktion lässt sich der Strom mit leichtem Verlust übertragen und das Betreiben der Platine ist möglich. Die in Kap.3.1 getestete Datenübertragung lässt sich durch die Versorgung der Platine über Spulen erreichen. Grafiken zum Aufbau der Energieübertragung mittels Spulen und einem Test der Versorgung über Spulen sind im Kapitel 2.5 auf Abb.30 und Abb.10 zu sehen.

Strommessungen der Generatorversorgung

Durch ein Oszilloskop können Messungen des Ausgangsstroms vom Generator gemacht werden. Die Tests wurden mit einer Frequenz von 1500 Umdrehungen pro Minute durchgeführt. Die Ausgangskabel des Generators werden durch Verbindungskabel mit dem Oszilloskop verbunden und die Magnethülle mit einem Akkuschrauber gedreht.

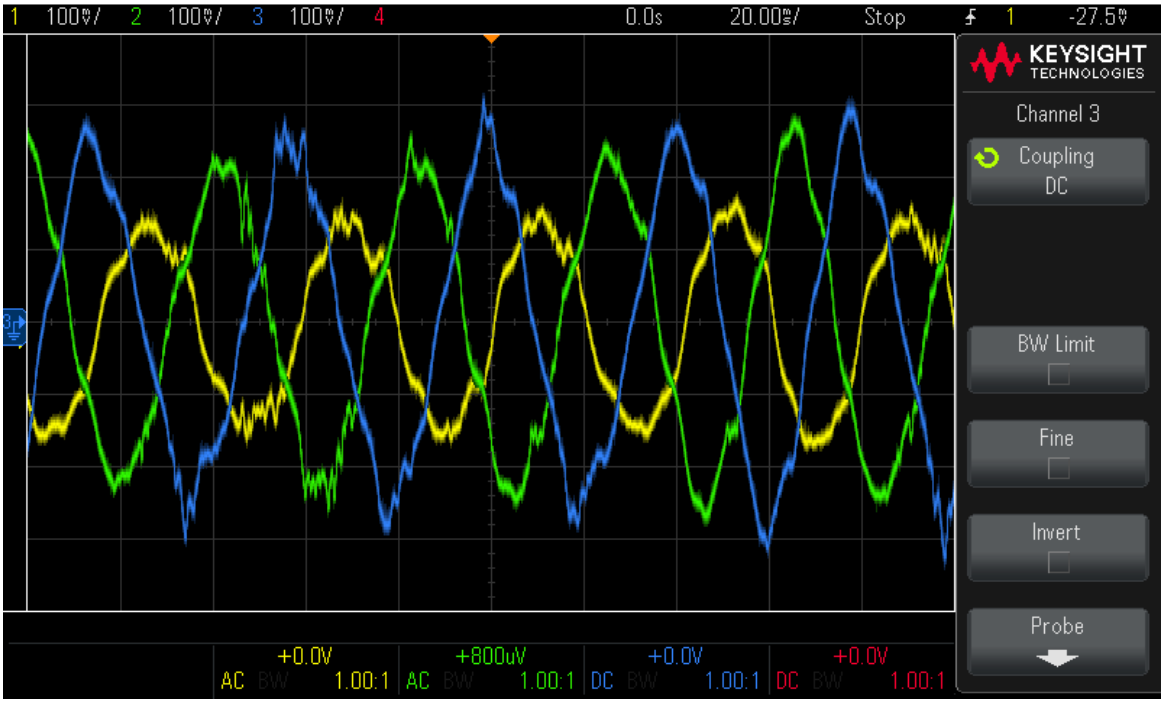


Abb. 22: Oszilloskopmessungen der Generatorversorgung

Im Oszilloskopbild ist die 120° Phasenverschiebung der drei Eingangsignale des Generators deutlich sichtbar. Das lässt sich durch die 3 Phasen des entwickelten Generators erklären. Die in Blau, Grün und Gelb dargestellten Messkurven repräsentieren die Signale der drei Phasen die über die über die entsprechenden Eingangskanäle des Oszilloskop erfasst werden. Die Kurven ähneln einer Sinuswelle. Die Sinuswellen haben eine Amplitude von ungefähr 300mV. Durch eine funktionierende Stromaufarbeitung und höhere Drehzahlen kann die erzeugte Spannung so gesteigert werden, dass sich die Platine versorgen lässt.

3.3 Finaler Prototyp

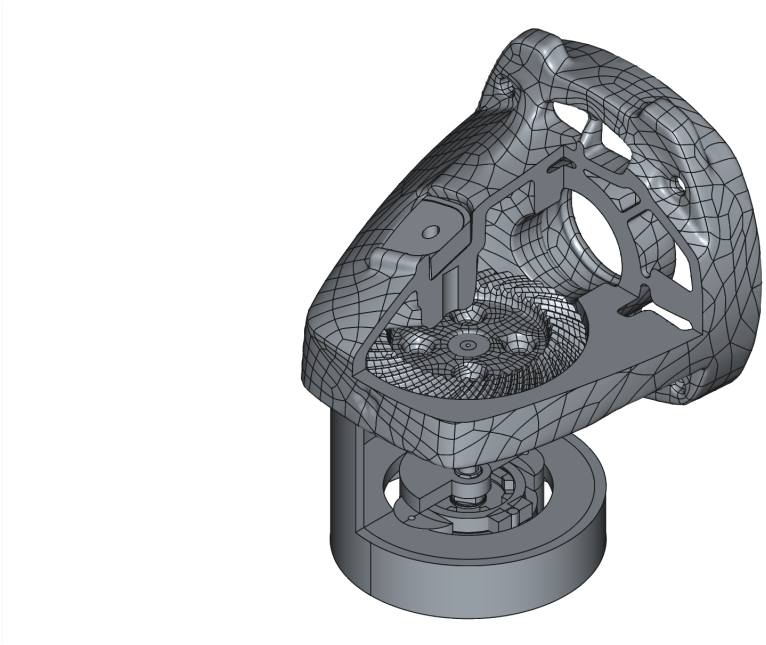


Abb. 23: Gesamtansicht des Prototyps

Der finale Prototyp schafft einen Rahmen, in dem die im Projekt behandelte Zustandsüberwachung durchgeführt werden kann. Der Prototyp wird aus PLA-Kustoff im 3D-Druck Verfahren hergestellt. Der Aufbau gleicht in großen Teilen dem des Winkelschleifergehäuses und unterscheidet sich nur durch einige Änderungen in der Skalierung der Bauteile. Die Stromversorgung über einen Generator sowie die Platine können in den Prototyp eingesetzt werden und stellen einen möglichen Aufbau der Zustandsüberwachung innerhalb eines Gerätes dar. Zwei große Teile des oberen und unteren Gehäuses wurden entfernt um die inneren Vorgänge von außen sichtbar zu machen. Der Prototyp besteht aus fünf Bauteilen. Das obere und untere Gehäuse, in dem sich die Generatorhülle, das Zahnrad und die Achse befindet. Innerhalb der Generatorhülle befindet sich der Magnetmantel, der die Magneten des Generators hält. Alle Teile werden von einer Achse zusammengehalten, die das Hauptzahnrad mit dem Generator verbindet. Zwei der Bauteile, das Zahnrad und das obere Gehäuse, sind doppelt so groß wie im original Maßstab des Winkelschleifers, um mehr Platz für Elektronik zu schaffen.

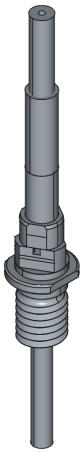


Abb. 24: Achse

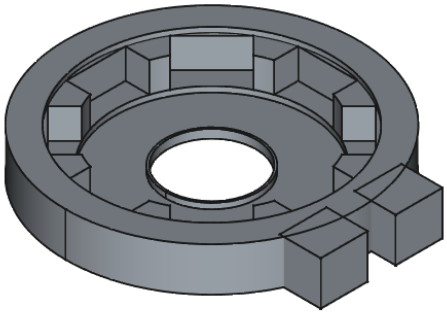


Abb. 25: Magnetmantel

Die Achse (Abb. 24) ist das einzige sich drehende 3D-gedruckte Bauteil. Sie ist ähnelt der orginalen Achse. Sie ist nach oben und unten verlängert zum Anschließen des Zahnrades und eines Akkuschraubers. Sie wird in der Mitte dünner und leicht verformt um den Bauraum zu vergrößern und den Ankerring zu befestigen. Zudem gibt es einen Hohlraum um die Kupferkabel der Anker durch die Achse zur Platine zu leiten. Im Magnetmantel (Abb. 25) werden die Magneten des Generators befestigt.

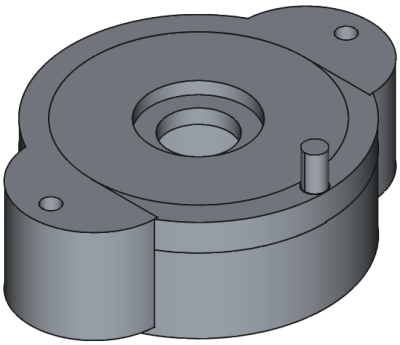


Abb. 26: untere Hülle des Generators

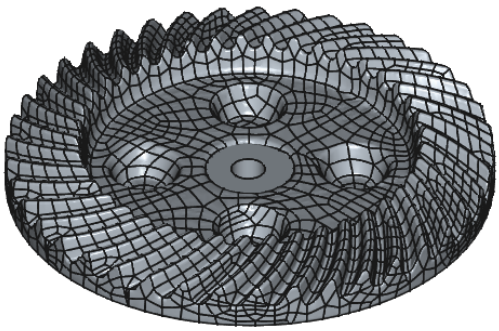


Abb. 27: Zahnrad

Die untere Hülle (Abb. 26) kann unten an der oberen Hülle angeschraubt werden und hält die Achse und den Magnetmantel am Platz. Das Zahnrad (Abb. 27) ist doppelt so groß im Vergleich zum Maßstab des Winkelschleifers, damit das Entwickeln einer passenden Platine leichter fällt.

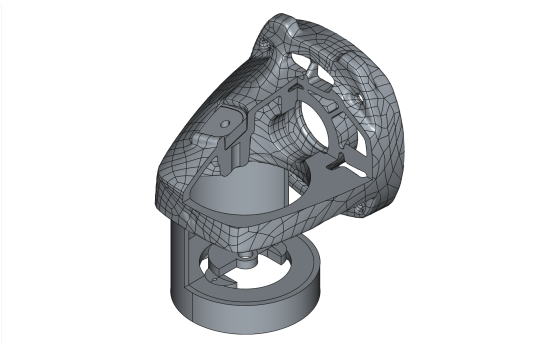


Abb. 28: obere Hülle des Generators

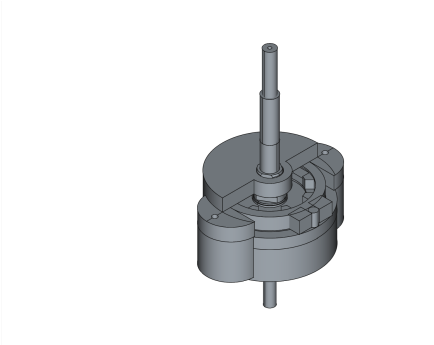


Abb. 29: finaler Prototyp ohne obere Hülle

Die obere Hülle (Abb. 28) ist das größte Bauteil. Die obere Hälfte ist direkt aus dem CAD-Modell des Winkelschleifers entnommen um das Modell veranschaulichender zu machen. Ein großes Sichtloch ist in die Hülle integriert um das obere Zahnrad und die darauf integrierte Platine einzusehen. Die untere Hälfte hält den Generator und die Achse in Position.

Abb. 30: 3D-Druck und Platine ohne Hülle

Abb. 31: Vollständiger 3D-Druck

Fazit und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war es eine Sensorplatine in einen Winkelschleifer einzubinden und zu versorgen, um eine Grundlage für die Zustandsüberwachung von verschiedensten Geräten zu schaffen. Die im Projekt entwickelte Platine vereint Energieaufarbeitung und Datenmessung. Außerdem wurde zur Versorgung der Platine ein Generator sowie ein Spulensystem entwickelt. Die Funktionalität der Stromversorgungssysteme konnte durch Messungen nachgewiesen werden, die der Platine hingegen nicht, da durch Verzögerungen und Fehler in der Platinenherstellung ausgiebige Versuche mit den entwickelten Bauteilen im Rahmen des Projektes nicht möglich waren. Die Funktionalität der Platine lässt sich nur theoretisch begründen. Die Funktionalität der Datenübertragung über den MicroMod ESP32 auf der Platine ließ sich durch eine Beispielübertragung bestätigen. Der Fokus des Projekts lag auf der Stromversorgung und Platinenentwicklung. Für die Umsetzung der Zustandsüberwachung, muss sich intensiv mit Sensorik und dem Auswerten der gewonnenen Daten beschäftigt werden. In einer vorausgehenden Arbeit [1] wird die Verwendung verschiedener Sensorik näher erläutert. Tests mit verschiedenen Sensoren und der entwickelten Platine wären für die weiterführende Arbeit essentiell. Außerdem müssten Tests im entwickelten Prototyp und danach im Winkelschleifer durchgeführt werden um die Funktionalität der Bauteile in der Praxis zu testen.

Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei allen, die zum Gelingen dieses Projekts beigetragen haben. Besonderer Dank gilt Dr. Victor Mas, der uns während der gesamten Projektlaufzeit betreut und uns bei Fragen und Problemen stets unterstützt hat. Ebenso danken wir dem IPEK (Institut für Produktentwicklung) am KIT sowie Felix Leitenberger, der die Kooperation ermöglicht hat. Ein weiterer Dank gilt Marius Homeyer, der die Fertigung der Generatoranker in der Firma THEMA Form- und Federntechnologie ermöglicht hat. Unser Dank richtet sich außerdem an alle Kursleiter, die uns in den vergangenen Jahren begleitet und unterstützt haben – insbesondere an Herrn Gruber und Frau Richert, die uns während der Kooperationsphase sowie bei der Präsentation und Abschlussdokumentation zur Seite standen. Abschließend danken wir Dr. Hans-Werner und Josephine Hector, die uns durch ihre Stiftung über sechs Jahre hinweg die Teilnahme am Hector-Seminar ermöglicht haben.

Quellenverzeichnis

Literaturquellen

[1] Julian Peters, Thomas Gwosch, Sven Matthiesen: Sensorintegrierende Zahnräder, 2022.

[2] Jürgen,Pannek: Grunlagen der Elektrotechnik (Script zur Vorlesung) Universität Bremen, 2015.

[3] Generator Verkabelung https://bavaria-direct.co.za/scheme/calculator/ (Letzter Zugriff: 14.07.25).

[4] KiCad https://www.kicad.org (Letzter Zugriff: 20.06.25).

[5] FreeCAD https://www.freecad.org/index.php?lang=de (Letzter Zugriff: 01.08.25).

[6] Würth Elektronik: Mix and Match Table https://www.we-online.com/files/pdf1/mix-and-match-table.pdf (Letzter Zugriff: 03.08.25).

Bildquellen

[1] https://www.sparkfun.com/sparkfun-micromod-esp32-processor.html MicroMod (Letzter Zugriff: 19.07.25).

[2] https://bavaria-direct.co.za/scheme/calculator/ (Letzter Zugriff: 14.07.25).

Alle weiteren Bildquellen wurden aus der verwendeten Software entnommen oder eigenständig erstellt.

Anhang

Auswahl der Spulen für die Stromübertragung

Tabelle 2: Transmitter- und Recieverspulen

Funktion	Herstellernummer	⌀Außen	⌀Innen	Dicke
Transmitter	760308101103	30mm	17mm	1,9mm
Transmitter	760308101107	31mm	17mm	2,8mm
Reciever	760308102210	28mm	16,2mm	1,8mm
Reciever	760308102213	29mm	18mm	0,6mm
Reciever	760308102212	29mm	12,8mm	0,6mm
Reciever	760308101309	26mm	17mm	0,5mm
Reciever	760308105309	26mm	17mm	0,5mm

Tabelle 3: Kompatibilitätsmatrix der Spulen

Transmitter / Reciever	102210	102213	102212	101309	105309
101103	✓	✓	–	–	✗
101107	✗	✓	✗	✓	✓

Tabelle 4: Bauteile der Platine

Anzahl	Funktion	Herstellernummer	Hersteller
1	Voltage-Step-Up IC	AP7361C-33Y5-13	Diodes Incorporated
1	Schaltspannungsregler	ISL9122AIRNZ-T7A	Renesas Electronics
6	Shottky Diode	RBE01VYM6AFHTR	Rohm Semiconductor
1	ZENER Diode 3,3V	1SMB5913BT3G	onsemi
1	ZENER Diode 6V	SMBJ5340B-TP	MCC
1	Spule	744029004	Würth Electronics
1	MicroMod Connector Modul	2199230-4	TE Connectivity
3	Kondensator 1 μF		
2	Kondensator 0,1 μF		
1	Kondensator 0,22 μF		
1	Widerstand 100 kΩ		
2	Widerstand 330 kΩ		

Code zum Test der Datenübertragung

```
#include <Arduino.h>
#include <ArduinoBLE.h>
#include <WiFi.h>

const char* serviceUUID = "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b";
const char* xCharUUID = "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8";
const char* yCharUUID = "e7add780-b042-4876-aae1-112855353cc1";

BLEService joystickService(serviceUUID);
BLEIntCharacteristic xCharacteristic(xCharUUID, BLERead | BLENotify);
BLEIntCharacteristic yCharacteristic(yCharUUID, BLERead | BLENotify);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  if (!BLE.begin()) {
    while (1);
  }

  BLE.setLocalName("ESP32 Joystick");
  BLE.setDeviceName("ESP32 Joystick");
  BLE.setAdvertisedService(joystickService);

  joystickService.addCharacteristic(xCharacteristic);
  joystickService.addCharacteristic(yCharacteristic);

  BLE.addService(joystickService);

  BLE.advertise();
}

void loop() {
  BLEDevice central = BLE.central();

  if (central) {
    while (central.connected()) {
      int xValue = random(-512, 513);
      int yValue = random(-512, 513);

      xCharacteristic.writeValue(xValue);
      yCharacteristic.writeValue(yValue);

      delay(100);
    }
  }
}
```

Abb. 32: Code: Testdatenübertragung

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichern wir, dass diese Arbeit unter der Beratung von Herrn Victor Mas und unserem Kursleiter Dietmar Gruber selbstständig verfasst wurde und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen verwendet wurden.

Jakob Knippertz

Teodor Andrei

Karlsruhe, den 04.09.2025