



DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

RHEINLAND-PFALZ



Induktive Klassifikation von Metallen

Daniel Anheuser
Christian Jeromin

Schule:

ThyssenKrupp Rasselheim GmbH

Induktive Klassifikation von Metallen



Ein Projekt von Christian Jeromin und Daniel Anheuser

ThyssenKrupp Rasselstein GmbH

Betreuer : Leo Fromm

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Vorwort	3
2. Problemstellung.....	3
3. Aktuelle Lage	3
4. Unsere Idee	4
5. Aufbau und Funktion eines induktiven Sensors.....	5
6. Durchführung der Messreihen.....	5
7. Ergebnis der Messreihen	6
6. Der Bau des Gerätes	8
6.1 Aufgetretene Probleme beim Bau.....	9
7. Erweiterungsmöglichkeiten	10
7.1 Einschränkungen	10
8. Kostenkalkulation	11
9. Fazit	11

1. Vorwort

Im Folgenden möchten wir Ihnen unser diesjähriges Jugend Forscht-Projekt vorstellen. Dazu möchten wir Ihnen einen Einblick von der Entstehung der Grundidee, über die Planung, bis zur Ausführung des Projekts gewähren. Des Weiteren möchten wir Ihnen Probleme und mögliche Erweiterungsvariationen präsentieren, auf die wir während der Entwicklung des Projekts gestoßen sind.

2. Problemstellung

In der Aus- und Fortbildung bei ThyssenKrupp Rasselstein arbeiten bereits Auszubildende ab dem 1. Lehrjahr mit verschiedenen Metallen. Insbesondere beim Drehen und Fräsen ist es daher wichtig, die Einstellungen der Maschinen den verschiedenen Metallen anzupassen. In Abhängigkeit des zu bearbeitenden Werkstoffs muss bei der Drehmaschine beispielsweise die Schnittgeschwindigkeit angepasst und ein geeigneter Meißel für die Bearbeitung des Materials gewählt werden. Bei falscher Auswahl dieser Aspekte kann nicht nur die Oberflächengüte beeinträchtigt werden, ggf. können sowohl der Meißel, als auch die Maschine Schaden nehmen. Dies stellt für die Arbeitgeberseite und der des Arbeitnehmers ein Problem dar.

Da in der Vergangenheit mehrfach Metalle miteinander vertauscht wurden (insbesondere Baustahl mit Edelstahl) und dies zu einigen Komplikationen im betrieblichen Ablauf führte, stellten wir uns die Frage, wie wir das Differenzieren der verschiedenen metallenen Werkstoffe vereinfachen könnten.

3. Aktuelle Lage

Momentan befinden sich die verschiedenen Metalle in einem externen Lagerraum. Dort sind diese in der Regel in Regalen sortiert, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Verwechslung minimiert wird. Zudem sind die unterschiedlichen Werkstoffe mit einem Farbcode markiert. Sofern beispielsweise ein neuer Rundstahl bearbeitet wird, kann mit Hilfe des Farbcodes und einer Tabelle ermittelt werden, um welchen Werkstoff es sich handelt. In diesem Fall ist eine Verwechslungsgefahr weitestgehend ausgeschlossen.

Da die Farbmarkierungen oftmals nur an den Enden eines Rundstahls aufgetragen stellt sich folgendes Problem: wird der Stahl bearbeitet, ist die Markierung binnen kurzer Zeit nicht mehr zu erkennen.

Reststücke, die meist noch einige Meter lang sind und noch zur Weiterverarbeitung verwendet werden können, werden von den Auszubildenden, mangels Erfahrung und Fachwissen, häufig in die falschen Regale eingeräumt.

Die nun ggf. falsch und ohne Farbcode gelagerten Werkstoffe können nun in den Umlauf geraten und zu Fehlproduktionen führen.

4. Unsere Idee

Aus diesem Grunde stellten wir uns die Frage, wie wir dieses Problem in Angriff nehmen könnten. Unser Wunsch war ein kleines, mobiles Gerät zu entwickeln, das dem Auszubildenden anzeigt, um welches Metall es sich handelt.

Um die Frage, wie das Gerät die verschiedenen Metalle unterscheiden soll, zu beantworten, griffen wir auf unser erlerntes Wissen, aus dem Lehrgang der Sensoren zurück. Hier lernten wir, dass induktive, analoge Sensoren bei unterschiedlichen Metallen eine spezifische Spannung bzw. Stromstärke ausgeben. (Die Funktionsweise eines induktiven Sensors wird unter Punkt 5 genauer erklärt)

Durch mehrere Messreihen wollten wir für die verschiedenen Metalle Referenzbereiche ermitteln, die das automatische Differenzieren ermöglichen sollten. Durch ein Potentiometer sollte es möglich sein, die Materialdicke im Voraus einzustellen, um den gemessenen Wert zwischen den richtigen Referenzbereichen vergleichen zu können. Wichtig hierbei ist, dass der Abstand zwischen Sensor und dem zu messenden Objekt stets gleich ist.

Beispiel: Ein Auszubildender hat eine Metallplatte mit einer Dicke von 10mm vor sich und möchte bestimmen um welches Material es sich handelt. Zu Beginn nimmt er einen Messschieber und misst die Dicke des Materials (sofern diese nicht bekannt ist) und stellt am Potentiometer den gemessenen Wert ein. Das Gerät sollte in diesem Fall den von dem induktiven Sensor ausgegebenen Wert, lediglich mit den Referenzbereichen der verschiedenen Metalle, aus den Messreihen mit 10mm dickem Material vergleichen. Nun sollte das Gerät über einen Display anzeigen, um welches Material es sich handelt.

5. Aufbau und Funktion eines induktiven Sensors

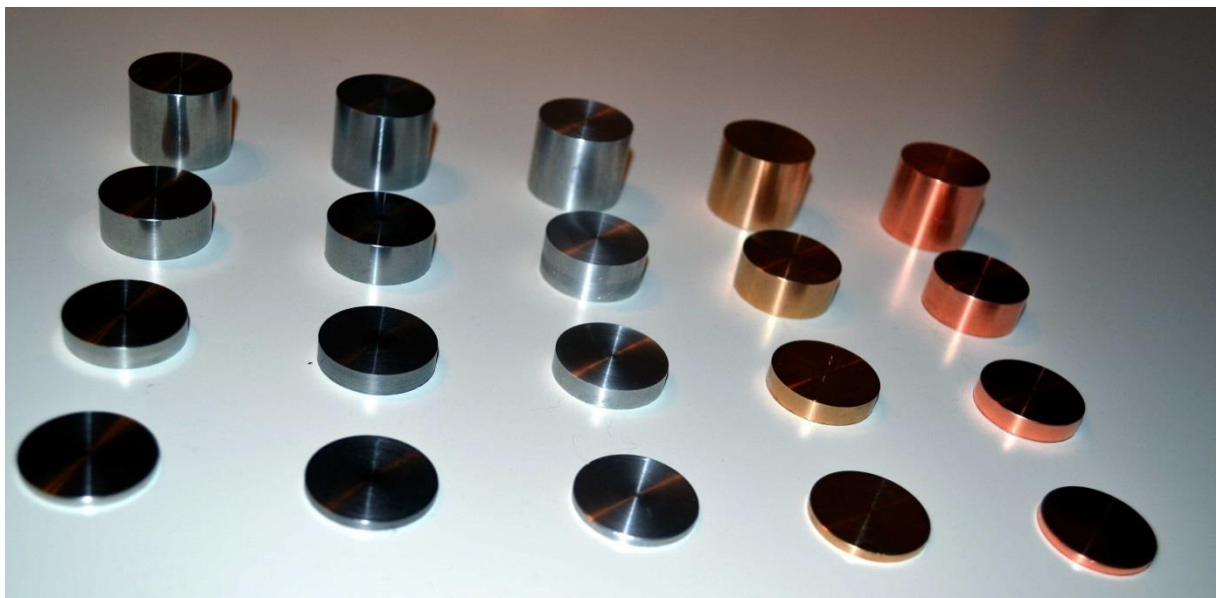
Der induktive Sensor besteht grundlegend aus einer Spule und einem Kondensator, die zusammengefasst als Oszillator bezeichnet werden. Unter Spannung entsteht zwischen diesen beiden Bauteilen ein Schwingkreis und ein elektromagnetisches Feld wird ausgesendet. In allen Metallen, die sich im Wirkungsbereich dieses Feldes befinden werden nach dem Induktionsgesetz Wirbelströme induziert. Die Energie, die diese Wirbelströme benötigen, wird von der des Schwingkreises aus Spule und Kondensator abgezogen. Bei einem analogen, induktiven Sensor wird daher das Ausgangssignal beeinträchtigt. Diese Veränderung ist in Form eines Spannungsfalls messbar und ist von Metall zu Metall unterschiedlich.



Induktiver Sensor

6. Durchführung der Messreihen

Um zu testen, ob es keine Überschneidungen der Referenzbereiche gibt, drehten wir uns kleine Scheiben aus Rundstahl ($\varnothing 25mm$) mit verschiedenen Dicken ($1mm, 5mm, 10mm, 20mm$) aus Kupfer, Aluminium, Baustahl, Edelstahl und einer Kupfer-Zink-Legierung und führten die ersten, grundlegenden Messungen durch.



Prüflinge

Die Versorgungsspannung des Sensors von 18V lieferten wir über ein Labornetzteil und die, vom Sensor ausgegebene Spannung, ließen wir über einen Multimeter ausgeben. In einer Tabelle trugen wir nun die Messergebnisse der verschiedenen Messreihen ein, um diese zu einem späteren Zeitpunkt besser auswerten zu können.

7. Ergebnis der Messreihen

Im Folgenden wird die Tabelle der Messreihen dargestellt, wobei der Maximalwert der verschiedenen Materialien, unabhängig von der Dicke(t), rot markiert ist und der Minimalwert in blau dargestellt wird.

Messreihe	1	2	3	4	5
Grundspannung	4,7 V				
Kupfer	1,67 V	1,66 V	1,66 V	1,61 V	1,68 V
Messing	0,69 V	0,678 V	0,691 V	0,685 V	0,695 V
Baustahl	0,254 V	0,259 V	0,255 V	0,262 V	0,256 V
Edelstahl	0,387 V	0,387 V	0,403 V	0,388 V	0,391 V
Aluminium	1,10 V	1,12 V	1,09 V	1,09 V	1,09 V

t=2mm

Messreihe	1	2	3	4	5
Grundspannung	4,7 V				
Kupfer	1,61 V	1,61 V	1,61 V	1,60 V	1,61 V
Messing	0,66 V	0,673 V	0,673 V	0,676 V	0,672 V
Baustahl	0,261 V	0,259 V	0,263 V	0,262 V	0,267 V
Edelstahl	0,376 V	0,377 V	0,380 V	0,378 V	0,377 V
Aluminium	1,10 V	1,09 V	1,10 V	1,10 V	1,10 V

t=5mm

Messreihe	1	2	3	4	5
Grundspannung	4,7 V				
Kupfer	1,61 V	1,643 V	1,63 V	1,61 V	1,61 V
Messing	0,665 V	0,670 V	0,663 V	0,664 V	0,67 V
Baustahl	0,255 V	0,255 V	0,260 V	0,259 V	0,258 V
Edelstahl	0,379 V	0,375 V	0,380 V	0,374 V	0,384 V
Aluminium	1,09 V	1,09 V	1,16 V	1,12 V	1,09 V

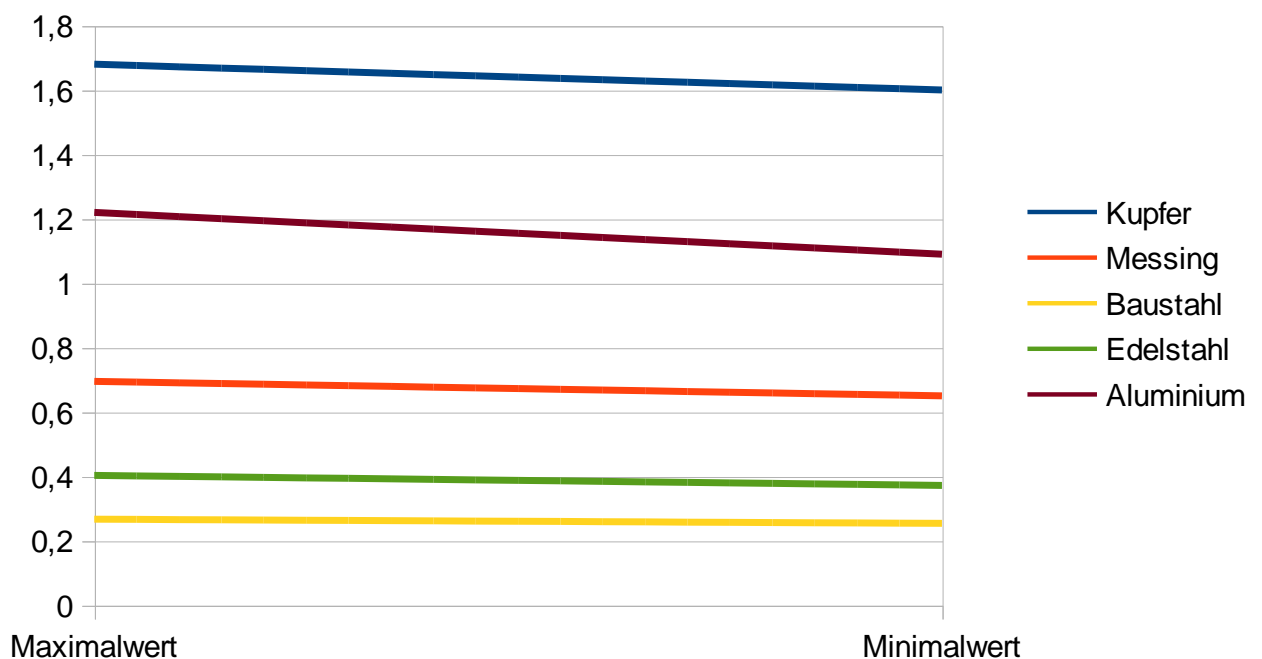
t=10mm

Messreihe	1	2	3	4	5
Grundspannung	4,7 V				
Kupfer	1,61 V	1,61 V	1,61 V	1,66 V	1,62 V
Messing	0,658 V	0,65 V	0,65 V	0,66 V	0,65 V
Baustahl	0,260 V	0,258 V	0,260 V	0,258 V	0,258 V
Edelstahl	0,372 V	0,373 V	0,372 V	0,374 V	0,377 V
Aluminium	1,14 V	1,15 V	1,14 V	1,15 V	1,22 V

t=20mm

Anhand der gemessenen Werte erstellten wir ein Liniendiagramm, um die Differenzierbarkeit von Maximal- und Minimalwerten der diversen Prüflinge zu verdeutlichen. Nach Auswertung erkannten wir, dass es im kompletten Spektrum keine Überschneidungen jeglicher Referenzbereiche gibt. Diese Erkenntnis schaffte die Grundlage für eine automatische Klassifikation unseres Projektes. Im Falle von Schnittstellen der verschiedenen Kennlinien, wäre es nicht möglich gewesen, ein Programm zu entwickeln, welches eine eindeutige Identifikation sicherstellen würde.

Ein weiterer Aspekt der uns eine Vereinfachung unseres Programms und damit auch des Projektes ermöglichte war, dass die analogen Ausgabewerte des induktiven Sensors unabhängig von der Dicke des zu prüfenden Materials sind. Daraus resultierend war es möglich auf den Einbau eines Potentiometers zu verzichten. Dies sparte sowohl Zeit für Einbau und Programmierung, als auch Platz im Gehäuse.



Kennlinien der Ausgangsspannungen

Um zu überprüfen, in wie fern sich eine Differenz der Spannungsversorgung auf den Ausgabewert des Sensors auswirkt, führten wir erneute Messreihen mit verschiedenen eingestellten Spannungen durch. Dabei kamen wir zu dem Ergebnis, dass der Ausgabewert erst bei einem Spannungsfall von 18V auf 13V beeinträchtigt wird. Dies führte zu der Idee, dass die Spannungsversorgung des Sensors eventuell mittels einer Batterie möglich sei.

6. Der Bau des Gerätes

Als Grundform unseres Gerätes dient ein Gehäuse, das dem eines mobilen Radargerätes ähnelt. Es befand sich in dem Elektrokeller der Aus- und Fortbildung. In dieses Gehäuse bohrten wir ein Loch für den ausgewählten M12 Sensor und konnten diesen, aufgrund des an der Außenseite des Sensors befindlichen Gewindes, von beiden Seiten mit Muttern kontern. Somit war stets der gleiche Abstand zwischen Sensor und dem, das zu überprüfenden Materials gewährleistet, sofern das Sensorende direkten Kontakt mit dem Prüfling hat. Da wir jedoch befürchteten, dass auf Dauer das Aufeinandertreffen von Sensorende und Prüfobjekt negative Einflüsse haben könnte, drehten wir eine Schutzvorrichtung aus PVC mit einem Innengewinde, das auf den Sensor montiert werden kann. Die Tatsache, dass PVC keinen Einfluss auf das Messergebnis eines induktiven Sensors hat, konnte uns die Befürchtung einer negativen Beeinträchtigung nehmen. Zudem hatte sich die Auflagefläche des Sensors vergrößert, wodurch die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers, durch nicht korrektes Auflegen verringert wurde.



Verbauter Sensor mit PVC Schutzvorrichtung

Da unser Gerät mobil und unabhängig von externen Spannungsversorgungen sein sollte, entschlossen wir uns im Inneren des Gehäuses zwei 9V Blockbatterien unterzubringen, welche in Reihe geschaltet eine Versorgungsspannung von 18V gewährleisten. Da – wie in den vorherigen Messreihen bereits festgestellt – kleinere Spannungsverluste auf den Ausgabewert des Sensor keinen negativen Einfluss haben, ist die Genauigkeit des Gerätes über einen längeren Zeitraum gewährleistet.

Um den analogen Spannungswert des induktiven Sensors verarbeiten und vergleichen zu können, frästen wir eine kleine Platine, die dem vorhandenem Platz im Gehäuse angepasst wurde, auf welche die benötigten Elemente festgelötet werden konnten. Auf dieser verbauten wir einen Mikrocontroller, der die analogen Werte, mittels eines von uns geschriebenen Programmes, vergleichen kann.

Des Weiteren verbauten wir einen Tastschalter, durch den die Spannungsversorgung des Sensors gesteuert wird. Dieser soll dafür sorgen, dass der Sensor nicht dauerhaft misst und somit die Zeit verlängert, in der die restliche Spannung der Batterien ausreicht, um eine präzise Klassifikation zu gewährleisten.

Am Tage der Präsentation wird auch der Quellcode des von uns geschriebenen Programms vorliegen. Dieser konnte aufgrund seiner Länge und der vorgegebenen, maximalen Seitenanzahl leider nicht hinzugefügt werden.

6.1 Aufgetretene Probleme beim Bau

Nachdem der Sensor einen Wert gemessen hat und von dem Mikrocontroller in einen der Referenzbereiche kategorisiert wurde, sollte ursprünglich die Bezeichnung des Metalls auf einem Display angezeigt werden. Da wir jedoch nicht die Möglichkeit hatten ein Display zu verbauen, welches die Bezeichnungen in voller Länge und für den Benutzer noch lesbar darstellen konnte, mussten wir uns für eine andere Alternative entscheiden. Zur Debatte standen entweder eine analoge Anzeige, bei der je nach Material der Zeiger in einen anderen Bereich ausschlagen würde, oder die Verwendung von LEDs, für die wir uns letztlich auch entschieden haben, da dies einerseits einen Parallaxenfehler ausschließt und andererseits der optische Eindruck von verschieden farbigen LEDs das Ablesen vereinfacht.

Im Bild auf der rechten Seite ist zu sehen, wie wir die Idee, das Display durch LEDs zu ersetzen umgesetzt haben. Das Beispiel zeigt, dass unser Gerät einen Prüfling als Edelstahl identifiziert hat und dies über die weiß leuchtende LED signalisiert. Bei einem anderen Material würde eine andere LED spezifisch reagieren.



Anzeigetafel

7. Erweiterungsmöglichkeiten

Da Mittel und Zeit des Projekts begrenzt waren, haben wir uns entschlossen, die induktive Klassifikation unseres Gerätes auf die Metalle Kupfer, Aluminium, Baustahl, Edelstahl und eine Kupfer-Zink-Legierung zu begrenzen. Durch weitere Messreihen wäre es möglich, neue Referenzbereiche aufzustellen und somit das Spektrum der Metalle, die von unserem Gerät unterschieden werden können, zu erweitern.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen kleineren Sensor zu verwenden. Der Durchmesser des zu messenden Objekts sollte mindestens genauso groß sein wie der des Sensors. Bei Verwendung eines zu großen Sensors können bei den Überprüfungen Unstimmigkeiten auftreten. D.h. für das Überprüfen von Rundstählen mit $\varnothing < 12\text{mm}$ wäre es sinnvoll das gleiche Gerät mit einem kleineren Sensor zu verwenden.

Wie bereits erwähnt stand uns die Option auf die Verwendung eines Displays nicht offen. Dieses hätte alternativ zu den LEDs eingebaut werden können und dem Benutzer die Bezeichnung des identifizierten Materials angezeigt. Es gibt jedoch die Möglichkeit eines anderen Gehäuses für dieses Gerät, welches den Einbau eines Displays ermöglicht. Dabei ist jedoch zu beachten, dass das Gerät weiterhin mobil und handlich bleiben soll.

Während wir uns mit dem Thema der Spannungsversorgung des Sensors und dem Einfluss von Spannungsverlusten beschäftigten, kam uns die Idee beispielsweise eine Prüftaste einzubauen. Bei Betätigung dieser hätte eine LED aufleuchten können, sofern die Batterien noch eine Spannung liefern, die eine eindeutige Klassifikation gewährleisten. Da uns für die Realisierung dieses zusätzlichen Hilfsmittels jedoch keine Zeit blieb und für die direkte Funktion unseres Gerätes keine Notwendigkeit darstellt, ließen wir es außen vor.

7.1 Einschränkungen

Obwohl unser Gerät in der Lage ist, alle von uns ausgewählten Prüflinge voneinander zu unterscheiden, ist die Anzahl der differenzierbaren Metalle beschränkt. Theoretisch kann das Gerät durch erneute Messreihen stets auf die Klassifikation von weiteren Metallen programmiert werden, praktisch steigt damit jedoch das Risiko von auftretenden Fehlern.

Je mehr Metalle unser Gerät differenzieren kann, desto geringer sind die Unterschiede zwischen den spezifischen Referenzbereichen und umso höher die Wahrscheinlichkeit bei geringfügigen Messfehlern des Sensors ein Prüfling falsch einzuordnen.

Zudem dürfen, wie bereits erwähnt, keine Überschneidungen von Referenzbereichen auftreten, da in diesem Fall keine eindeutige Klassifikation gewährleistet ist. Dadurch

ist es besonders problematisch gleiche Legierungen mit unterschiedlichem Mischverhältnis zu differenzieren, da je nach Größe des Unterschiedes nur minimale Spannungsschwankungen auftreten.

Es besteht auch keine Möglichkeit die einzelnen Bestandteile einer Legierung zu bestimmen. Im Gegensatz zu einem Spektrographen erkennt unser Gerät nur das geprüfte Material als Ganzes.

8. Kostenkalkulation

Induktiver Sensor m. Analogausgang	73,00 €
Spannungsregler	0,30 €
Kondensatoren	1,00 €
Mikrocontroller	1,20 €
LEDs	1,00 €
Drucktaster	1,30 €
Widerstände	0,50 €
Gehäuse	5,00 €
Gesamt	83,30 €

Tabelle Kostenkalkulation der Bauelemente

In der oben aufgeführten Tabelle sind die Materialkosten aufgelistet, die für den Bau unseres Gerätes anfallen. Die einzelnen Werte können jedoch je nach Bestellmenge und Anbieter abweichen. Der oben stehende Gesamtpreis von 83,30 € beinhaltet zudem noch keine Mitarbeiter- und Nebenkosten wie z.B. Ausgaben für Strom.

9. Fazit

Trotz einiger Komplikationen, die uns auf dem Weg bis zur Fertigstellung begegneten, sind wir vom endgültigen Resultat überzeugt.

Die anfänglichen Befürchtungen, dass unser Projekt nicht realisierbar sei, wie zum Beispiel durch sich überschneidende Referenzbereiche, konnten wir im Verlauf der verschiedenen Messreihen aus der Welt schaffen. Durch – für uns - neue Tätigkeiten, wie beispielsweise das Lötten einer Platine oder das Programmieren des Mikrocontrollers wurde unser Interesse an diesem Projekt stetig weiter angeregt.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass das Projekt als Ganzes einerseits mit viel Arbeit und einem hohen Zeitaufwand verbunden war, andererseits sammelten wir in dieser Zeit sehr viel neue Erfahrung. Dieses Projekt eigenständig zu planen und zu realisieren vermittelte uns einen hinreichenden Einblick in das selbstständige Arbeiten, weckte unsere Neugierde und machte viel Freude.