

Entwurf und Implementierung einer DSP-Basierten Ansteuerung für Brus- hless DC-Motoren

Pratikumsbericht

vorgelegt von

Nguyen Trong Khoa

EDV.Nr.:951 990

dem Fachbereich VII – Elektrotechnik – Mechatronik – Optometrie
der Berliner Hochschule für Technik Berlin

vorgelegte Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering (B.Eng.)

im Studiengang

Humanoide Robotik

Tag der Abgabe 23. Februar 2026



Studiere Zukunft

Gutachter

Prof. Dr. Peter Gober Berliner Hochschule für Technik

Christopher Böhm

DesCap GmbH

Kurzfassung

Die Kurzfassung gibt ein kurzes und prägnantes Bild der gesamten Arbeit. Sie soll den Leser neugierig machen und klarmachen, was zu erwarten ist. Erreichte Ergebnisse werden kurz umrissen.

Abstract

Bachelor and Master-Theses usually are often written in german. Nevertheless, their content may be interesting for people being not able to read german. In order to awaken their interest in this topic, an abstract in english is given. The experimental results and analysis are shown in short

Aufgabenblatt – durch Original austauschen !!!

Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Abschlussarbeit ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

1	Praktikumsbetrieb	3
1.1	Vorstellung des Betriebes	3
1.2	Weg zur Praktikumsstelle	3
2	Praktikumstätigkeiten	5
2.1	Hardware-Design	5
2.2	Hardware-Testen	7
2.3	Filter	8
2.3.1	Mechanische Partikelfilter	8
2.3.2	GeruchsfILTER	9
2.3.3	Elektrostatische Filter	9
3	Reflexion	11

Abbildungsverzeichnis

Kapitel 1

Praktikumsbetrieb

1.1 Vorstellung des Betriebes

Die DesCap GmbH ist ein Start-up-Unternehmen mit Sitz in Berlin Alt-Mariendorf, welches sich im Bereich der Filtergeräte mit Schwerpunkt auf Atemschutz. Zu ihren Produkten, sowohl marktreif als auch unter Entwicklung, zählen vor allem filtrierende Gesichtsvisiere sowie Sensorensysteme zur Erfassung der Luftqualität und der sich darin befindenden Schadstoffe.

1.2 Weg zur Praktikumsstelle

Auf DesCap bin ich im April 2025, also etwa sechs Monate vor Praktikumsanfang, dank einer Email von Professor Hannes Höppner aufmerksam geworden. Da die Stellenausschreibung mich sehr angesprochen hat, habe ich mich entschieden, meine Bewerbung bei DesCap einzureichen. Der Bewerbungsprozess lief effizient und unkompliziert: es wurden insgesamt zwei Interviewgespräche geführt, das erste mit Ole (einem der Gründer) und Christopher (mein künftiger Kollege); beim zweiten Gespräch hat sich Sönke, der andere Gründer und zeitgleich Geschäftsführer, dazu gesellt. Der gesamte Bewerbungsablauf von der Bewerbung bis zur Vertragsunterzeichnung hat ungefähr 3 Wochen gedauert, und schon am 1 Mai 2025 begann mein erster Tag als Werkstudent. Zum Anfang des Wintersemesters 2025 verwandelte sich meine Werkstudentenstelle in ein sechsmonatiges Praktikum mit Schließung des Praktikumsvertrags. Dementsprechend erstreckte es sich vom 1 Oktober 2025 bis zum 1 April 2026. Es wurden durchschnittlich 20 Wochenstunden erbracht, sodass im Laufe der gesamten Praktikumsdauer 480 Stunden sich angehäuft haben.

Kapitel 2

Praktikumstätigkeiten

2.1 Hardware-Design

Meine Hauptaufgabe bei DesCap besteht in dem Designen und Validieren von PCBs für das Produkt "Work", welches zum Beispiel vor stäubigen Umgebungen bei handwerklichen Arbeiten schützt. Auf der Leiterplatte befinden sich unter anderem ein DC-Spannungswandler (zum gleichzeitigen Betreiben von zwei Lüftern) und ein MSP430 Mikrokontroller, mit dem sich alle Nutzerfunktionen realisieren lassen.

Schon bei der Einarbeitungsphase wurde darauf hingewiesen, dass ein komplett neues PCB-Design gemacht werden musste aufgrund des Mikrokontrollerwechsels (ATTiny zu MSP430). In den ersten zwei Wochen bekam ich die Aufgabe, mich mit der Schaltung des Vordesigns vertraut zu machen, wofür es enge Betreuung und Hilfestellung gab in Form von täglichen Treffen mit dem Engineering-Team. Dazu kamen auch kleinere Hardware-Recherchen, um etwa den richtigen Knopf oder die kostengünstigsten LEDs für das PCB zu finden.

Da ich im Vorfeld leider kein KiCad-Wissen verfügt habe, habe ich mich für 2 bis 3 Wochen im Anschluss mit den Grundlagen des PCB-Designs sowie der Bedienung von CAD-Softwares wie KiCad auseinandergesetzt. Das eigentliche Design hat 2 Wochen beansprucht, und während dieser Zeit gab es ständig Austausche, denn Christopher konnte sich über Github meinen Fortschritt ansehen und mir ggfs Rückmeldung geben. Da das neue Board über eine USB-Schnittstelle flaschbar sein sollte und diese strenge Anforderungen bezüglich Routens und Impedanzmatchings stellte, haben wir uns zusätzlich noch externe Expertise für ein ausführliches Design-Review geholt.

Dabei habe ich gelernt, wie man mit welchen Tools bspw. die Impedanz eines USB-Diff-Pairs berechnen kann, da es der kritischste Aspekt war. Für dieses allererste Design kamen wir auf 86Ω , also eine akzeptable Abweichung vom Idealwert 90Ω . Bei dem Review wurde außerdem der für

uns sehr wichtige Gesichtspunkt EMV (elektromagnetische Verträglichkeit) besprochen zwecks Zertifizierung. Es wurden die "best practices" erklärt, wie man unter anderem DC-DC-Wandler routen oder welche Glättungskondensatoren man dafür nehmen soll.

Der nächste Schritt war der Bestellungsablauf. Hier habe ich mich an erster Stelle um die Auswahl von Komponenten gekümmert: geläufige Bauteile wie Widerstände oder Kondensatoren wurden nach ihren Werten optimiert (BOM-Konsolidierung); bei anderen Bauteilen wie Knöpfen, Schaltern oder LEDs wurde auf Kosten und langfristige Verfügbarkeit geachtet, damit zukünftig zeitkritischen großen Bestellungen nicht am Supply-chain scheitern.

Eine Woche etwa nach Bestellungsabschluss kamen die Leiterplatten von China bei uns in Berlin an. Das Flashen vom MSP430, welches zur Erinnerung am meisten Kopfschmerzen bereitet hat, hat entgegen Erwartungen auf Anhieb funktioniert. Wir hätten gedacht, dass wir ein paar Design-Runden bräuchten, um das halbwegs auf die Reihe zu bekommen. Christopher war demgemäß sehr glücklich und hat infolgedessen alle zum Mittagessen in der Schindler-Mensa eingeladen.

Nach diesem enormen Meilenstein bestanden weitere Entwicklungsarbeiten, zumindest was das PCB-Design anging, nur noch in kleinen Modifikationen von einer Version zur anderen: manche Komponenten wurden gegen bessere und günstigere ausgetauscht, falsche Silkscreen-Texte wurden berichtigt usw. Lediglich bei der fünften Iteration ist eine Herausforderung aufgetreten, nämlich dass der Bestand für unseren USB-Stecker bei JLCPCB zu gering war und die Nachlieferung unsere Zeiteinschränkungen überschritten hat. Nach tagelanger Recherche wurde für eine nachhaltigere Variante entschieden. Allerdings musste ich selber den Footprint davon erstellen, da er nicht in der Standard-KiCad-Library vorhanden war. Aufgrund dessen, dass man im Kicads Footprint-Editor bei komplexen Geometrien im Gegensatz zu Solidworks z.B die Maßen und Abstände der Pads nicht genau in Verhältnis zueinander setzen kann, muss über Umwege gegangen werden. Letztendlich musste ich die mechanische Zeichnung vom Footprint in Solidworks umsetzen, diese im Anschluss mit Inkscape bearbeiten, um sie endlich als Vorlage in Kicad zu importieren.

Die Schwierigkeiten hören noch nicht auf. Die Pads des neuen USB-Steckers sind viel dichter bevölkert als beim alten, und das hat für einen veritablen Kampf gesorgt. Weil unser Stecker ein vertikaler und kein horizontaler ist wie die meisten USB-Stecker, müssen die D+ und D- Differentialleitungen in dem ganz schmalen Zwischenraum des Footprints überkreuzt verbunden werden. Dies erfordert, dass ein Via dazwischengequetscht werden muss, wodurch jedoch die DFM-Kapabilitäten (design for manufacturing) von unserem PCB-Produzenten JLCPCB regelrecht auf die Probe gesetzt werden.

Für das Produkt fungiert der oben erwähnte MSP430 als Funktionszentrale, und dieser muss natürlich auch programmiert werden. An dem Programmierprozess habe ich mich nicht direkt beteiligt, denn sonst wären mir die Aufgaben über den Kopf gewachsen. Nichtsdestoweniger musste ich mir die Datenblätter davon durchlesen, um am Ende den Code nachvollziehen zu können. Sowohl beim PCB-Design als auch beim Programmieren werfen mindestens 2 Leute einen Blick rein, um die Fehlerwahrscheinlichkeit zu minimieren. Meinen Beitrag zur MSP-Thematik habe ich nicht unbedingt auf C-Code-Ebene geleistet, sondern vielmehr auf Assembler-Ebene, denn ich musste etliche Schutzfunktionen implementieren und es ging nur, wenn man direkt den Linker-Skript modifiziert. Obwohl nicht notwendig, habe ich mich deswegen auch darin vertieft, wie Linker und Loader hinter der Kulisse funktionieren.

Abgesehen vom Hauptprodukt habe ich auch andere Designprojekte aufgenommen. Eines davon war ein Breakout-Board, das Partikelsensoren mit einem ESP32 verbindet. Dieses sollte Bestandteil von unserem Teststand zum Messen der Filtereffizienz, allerdings wurde es nicht in Betrieb genommen, weil wir uns anders überlegt haben.

Ein weiteres Projekt, an dem ich mich seit Kurzem beteilige, ist die Integration von Sensoren in das "WorkProdukt, die in der Lage sein sollen, sich untereinander mithilfe einer Basisstation über das LoRaWan-Protokoll Daten bezüglich der Innenraumluftqualität auszutauschen. Dies soll dem Zweck dienen, Simulationsergebnisse mit der wirklichen Betriebsfiltereffizienz zu vergleichen sowie Nutzer rechtzeitig warnen, sobald Grenzwerte überschritten werden. Dieses Projekt hat mir DesCap als Thema für die Bachelorarbeit vorgeschlagen und sieht vorerst folgende Unteraufgaben vor: Definieren von Anforderungen DesCaps (bzgl. Datenrate, Reichweite usw), Recherche und Auswahl eines geeigneten Mikrokontrollers bzw Entwicklungsboards, PCB-Prototypen entwerfen ...

2.2 Hardware-Testen

Da es sich um Verbraucherprodukte handelt, ist das Testen genauso wichtig, wenn nicht sogar wichtiger, als das Designen von Leiterplatten. Hiermit verbringe ich also viel Zeit bei DesCap, um sicherzustellen, dass alles zuverlässig funktioniert und alle Missbrauchsszenarien seitens des Nutzers abgedeckt werden. Dafür haben wir uns schon nach Bestellungsabgabe der PCBs eine umfangreiche Teststrategie überlegt. Dazu gehören unter anderem folgende Punkte:

1. Welche Größen von welchen Komponenten müssen erfasst werden? Z.B. Temperatur und Entladespannung der Batterie, PWM-Duty-Cycle der Lüfter, Ladestrom ...
 2. Zulässige Wertebereiche für gemessene Signale
-

3. Durchschnittliche Standzeit in verschiedenen Betriebsmodi

Bei der ersten Batch wurde alles noch manuell erfasst, das heißt die PCBs enthielten zahlreiche Testpads, die beim Bedarf gelötet und an das Messgerät herangeführt werden mussten. Schnell haben wir festgestellt, dass es zwar funktioniert hat, aber recht mühsam war, wenn man mehrere Boards hintereinander testen wollte. Mit dieser Erkenntnis habe ich mir zur Aufgabe gemacht, einen kostengünstigen PCB-Test-jig zu bauen.

Der Aufbau entspricht einem typischen kommerziellen Testjig, mit kleinen Anpassungen: die Pogopins, die die SMT-Testpads auf dem PCB berühren sollen, werden auf einem Perfboard gelötet und auf der Unterseite des 3D-gedruckten PCB-Trägers angebracht. Die Oberseite hat einen Ausschnitt mit der gleichen Geometrie wie das PCB selbst. Die Pogopins werden auf der anderen Seite über Drähte mit dem Messgerät verbunden (in diesem Fall der Analog Discovery 3).

Auf diesem Wege können sehr aussagekräftige Kennlinien aufgezeichnet werden:

Damit jegliche Entwicklungsschritte auch im Nachhinein nachvollziehbar sind, wird alles möglichst detailliert zu dokumentieren. Ich lege großen Wert darauf, nach Beenden jeder kleinen Aufgabe dies zu erledigen, bevor ich zur nächsten übergehe.

2.3 Filter

Da DesCap wie erwähnt sich mit tragbaren Atemschutzgeräten befasst, kommt man nicht um das Thema Filter herum, und genau das stellt einen weiteren wichtigen Tätigkeitsbereich für mich dar. Dabei setze ich mich hauptsächlich mit drei Richtungen der DesCap-Filterstrategie auseinander.

2.3.1 Mechanische Partikelfilter

An erster Stelle stehen rein mechanische Filter für die Partikelgrößen PM_{10} und $PM_{2.5}$ (alle Angaben in μm). In diesem Bereich beschäftigte ich mich zunächst mit den physikalischen Grundlagen der Partikelabscheidung. Mechanische Filter arbeiten im Wesentlichen nach dem Prinzip der Siebwirkung, der Trägheitsabscheidung, der Diffusion sowie der Interzeption. Abhängig von der Partikelgröße und der Strömungsgeschwindigkeit dominieren unterschiedliche Abscheidemechanismen. Während größere Partikel vor allem durch Trägheit und direkte Anlagerung an die Fasern abgeschieden werden, spielen bei kleineren Partikeln zusätzlich Diffusionseffekte eine wichtige Rolle.

Im Rahmen meines Praktikums analysierte ich verschiedene Filtermedien hinsichtlich ihrer Porenstruktur, Faserdurchmesser und Schichtdicke. Ein zentraler Aspekt war dabei stets das Ver-

hältnis zwischen Filtrationseffizienz und Atemwiderstand. Besonders bei tragbaren Atemschutzgeräten ist es entscheidend, einen möglichst hohen Abscheidegrad zu erreichen, ohne den Luftdurchfluss zu stark zu behindern. Ich unterstützte bei der Auswertung von Messdaten, in denen Druckverlust und Abscheideleistung experimentell bestimmt wurden. Zudem verglich ich unterschiedliche Materialkombinationen und deren Einfluss auf Gewicht, Baugröße und Austauschintervalle der Filter.

2.3.2 Geruchsfilter

Der zweite Schwerpunkt lag bei Geruchsfiltern. Im Gegensatz zu mechanischen Filtern geht es hier nicht primär um feste Partikel, sondern um gasförmige Stoffe und flüchtige organische Verbindungen. Die Filterwirkung basiert meist auf Adsorption, insbesondere durch Aktivkohle oder andere hochporöse Materialien mit großer innerer Oberfläche.

Ich beschäftigte mich mit den Grundlagen der Adsorptionsprozesse und deren Abhängigkeit von Faktoren wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Konzentration der Schadstoffe. Dabei lernte ich, dass die Leistungsfähigkeit eines Geruchsfilters stark von der Sättigung des Adsorptionsmaterials abhängt. Ein wichtiger Aspekt war daher die Abschätzung der Standzeit solcher Filter unter realistischen Einsatzbedingungen.

Im Rahmen meiner Aufgaben unterstützte ich bei der Bewertung verschiedener Aktivkohlematerialien hinsichtlich ihrer spezifischen Oberfläche und Adsorptionskapazität. Außerdem analysierte ich, wie sich die Integration eines Geruchsfilters in ein bestehendes Atemschutzsystem konstruktiv auswirkt, beispielsweise in Bezug auf Bauraum, Gewicht und Austauschbarkeit. Ziel ist es, eine möglichst kompakte Lösung zu entwickeln, die dennoch eine effektive Reduktion unangenehmer oder gesundheitsschädlicher Gase gewährleistet.

2.3.3 Elektrostatische Filter

Der dritte Themenbereich umfasste elektrostatische Filterkonzepte. Diese nutzen elektrische Ladungen, um Partikel aus der Luft zu entfernen. Dabei werden entweder die Partikel selbst ionisiert oder das Filtermedium ist elektrostatisch geladen, sodass die Partikel durch Coulomb-Kräfte angezogen und gebunden werden.

Ich habe Fachliteratur zu dem Thema Elektretmaterialien gelesen und theoretische Einblicke in deren Auf- sowie Entladungsmechanismen erworben. Mit dem Wissen wurde anschließend untersucht, inwiefern diese Technologie zur Effizienzsteigerung bei gleichbleibendem oder reduziertem Atemwiderstand beitragen kann. Kernpunkt war auch die Gegenüberstellung von rein mechanischen Filtern und Kombinationsfiltern. Hier haben wir uns Fragen gewidmet wie "wel-

che Kombination sowie Anordnung der 3 Filtersorten wäre optimal?" bzw. "würde die gesteigerte Filterleistung und -standzeit den höheren Produktpreis rechtfertigen?".

Kapitel 3

Reflexion

Insgesamt lässt sich sagen, dass die Praktikumszeit bei DesCap für mich sehr gelungen war. Dadurch, dass DesCap ein Startup und kein Großunternehmen ist, konnte ich von einer recht planaren Unternehmensstruktur zeugen. Das hatte für mich den Vorteil, dass alle mit allen was zu tun haben und man nicht auf einen repetitiven Aufgabenbereich eingeschränkt ist, sondern dynamisch bei vielen interessanten Tätigkeiten eingebunden wird.

Was den Inhalt und Umfang der Aufgabenstellungen anbelangt, bin ich auch sehr zufrieden mit dem Gelernten bzw. Geleisteten. Viel von dem erworbenen Wissen, vor allem wenn es um das PCB-Design, den Umgang mit Mikrokontrollern, 3D-Druck, oder die Datenerfassung und -auswertung mit Sensoren sind definitiv höchstrelevant für die Robotik.

Eine weitere Sache, die ich gelernt habe und die ich auch für erheblich halte, ist das Kollaborieren im Team. Anfangs musste ich mir viele "Hobbyisten-Gewohnheiten" abgewöhnen und mich daran erinnern, dass fehlende Dokumentation nichts Gutes bedeutet, denn dadurch werden vermeidbare Fallen und Fehler von anderen Teammitgliedern, die sich anderen Themen widmen. Diese Mentalität habe ich seither also für persönliche Projekte adoptiert, nämlich dass bei jedem Projekt sofort eine Github-Repo einzurichten ist mit einer ausführlichen README-Datei und Literatur über das Thema.

Apropos Hobbyisten vs professionell wurde mir klar, wie wichtig eine Strukturierung im Voraus ist. Hobbyisten-Projekte sind ja meistens kurzfristig, in sich selbst geschlossen und haben ein klar definiertes Endziel, weswegen ein direkt-loslegen-Ansatz selten Konsequenzen hat. Unternehmensprojekte sind hingegen offen, denn ein Produkt muss sich immer weiterentwickeln, um sich dem Markt und der Konkurrenz anzupassen. Außerdem gibt es Fristen einzuhalten, und ohne klare Struktur am Anfang würde man wertvolle Zeit verlieren.

Abschließend würden sich meiner Meinung nach ein paar Gedanken zur zwischenmenschlichen Ebene bei DesCap lohnen. Ebenfalls in dieser Hinsicht hat mir das Praktikum bei DesCap sehr

gefallen. Meine Kollegen waren besonders hilfsbereit und haben mich bei jeglicher Schwierigkeit gern unterstützt. Um mit einem Sprichwort alles zusammenzufassen: Ende gut, Anfang gut, alles gut.
