

Rotorbalattenteisung

Theo Zwahlen

12. Dezember 2018

Abstract

Kurzfassung

Inhaltsverzeichnis

Abstract	2
Kurzfassung	2
 I Einführung	 4
1 Einleitung	4
2 Aufgabestellung	4
2.1 Problemaufspaltung	4
3 Eisverhinderung	5
3.1 Verhinderung durch Oberflächenstruktur	5
3.2 Mechanische Eisablösung	5
3.3 Elektrische Beheizung	5
3.3.1 CNT-Farbe	6
3.3.2 Textile Heizelemente	6
3.4 Beheizen durch Abwärme	6
4 Detektion	7
4.1 Sensoren zur Eisdetektion	7
4.2 Detektion von Vereisungsbedingungen	8
5 Energieübertragung	8
 II Beschrieb der Komponenten	 8
6 Aufbau der Komponenten	8
6.1 Heckrotorprüfstand	9
6.2 Prototyp	11
6.2.1 Software	11
7 Versuch zur Ermittlung der thermischen Energie	12

8 Versuch zur Eisbildung	12
8.1 Versuchsaufbau	12
8.2 Resultat	13

Literaturverzeichnis	13
Abbildungsverzeichnis	15
Tabellenverzeichnis	16

Einführung

1 Einleitung

Aeroscout entwickelt Drohnen für diverse Aufgaben.[1] Zukünftig sollen die Drohnen für Flüge im Hochgebirge eingesetzt werden. Dabei sind Anwendungen im Bereich der Bergrettung und der künstlichen Lawinenauslösung im Fokus. Heute werden solche Flüge mit bemannten Hubschraubern oder gar nicht ausgeführt. Flüge mit bemannte Hubschrauber sind sehr teuer und bei nur kleinen Risiken wird auf ein Flug verzichtet. Ein Drohnennflug ist im Vergleich billiger und wenn bei kritischen Wetterbedingungen Flüge möglich wären, wäre das ein sehr grosser Vorteil. Dazu müssen die Drohnen aber extremen, meteorologischen Bedingungen standhalten können. Ein grosses Problem stellt dabei die Vereisung der Rotorblätter dar. Durch die Formveränderung, die dabei am Rotorblatt erfolgt, ist die Aerodynamik gestört und die Drohne wird innert kürze flugunfähig. Diese Arbeit soll daher die Grundlage schaffen, um solche Vereisungen zu vermeiden. Sie erfolgt in enger zusammenarbeite mit Romeo Bee von der Maschinentechnik. Seine Projektarbeit bezieht sich auf die Fertigung eines neuen Heckrotorblätter, in welches die nötigen Enteisungsmassnahmen integriert sein sollen.

2 Aufgabestellung

Für den Heckrotor soll der Prototyp einer Enteisungsvorrichtung entwickelt werden. Dies beinhaltet die Recherche über bestehende Systeme, die Ausarbeitung von möglichen Lösungsansätzen und die Realisierung eines Testaufbaus mit dem Heckrotor. Nach Möglichkeit soll die Funktion bei verschiedenen Temperaturen und bei verschiedenen Luftfeuchtigkeiten aufgezeigt werden.

2.1 Problemaufspaltung

Die Aufgabenstellung kann in drei Teilprobleme unterteilt werden. Ein Teil ist die Enteisung als solches. Wie lässt sich Eisbildung verhindern oder wie entfernt man bereits

gebildetes Eis. Eine weitere Teilaufgabe besteht in der Detektion der Problematik. Welche Messungen sind nötig um Vereisung oder Vereisungsbedingungen sicher zu erkennen und darauf reagieren zu können. Die letzte Teilaufgabe beinhaltet den Aufbau des Prototypen mit Bau und Anschaffung der nötiger Elektronik und die Programmierung der nötigen Software.

3 Eisverhinderung

3.1 Verhinderung durch Oberflächenstruktur

Ein Ansatz ist, den Rotor mit einer Oberflächenstruktur zu fertigen, welche kein Ansetzen von Eis zulässt. Bis heute gibt es jedoch keine Oberfläche, die diese Anforderung erfüllt. Die Vereisung lässt sich durch Oberflächenstrukturen vermindern, jedoch nicht ganz ausschliessen. Weiter haben die Strukturen kurze Lebensdauern und sind schwer zu überprüfen. [Quelle]

3.2 Mechanische Eisablösung

Eine Methode, die bei kleineren Flugzeugen im Einsatz ist, löst das Eis durch mechanische Verformung. Luftdruck bläht an der Flügelvorderkante angebrachte Luftkissen auf und sprengt so das Eis weg. Die Methode beinhaltet zwei wesentlicher Schwierigkeiten. Zum einen müsste die Verformung genau im richtigen Moment erfolgen. Es muss sich bereits Eis gebildet haben, dieses darf aber die Flugfähigkeit der Drohne nur minimal beeinflussen. Weiter sind die nötigen Konstruktionen für eine solche Vorrichtung an einem drehenden Rotor sehr aufwändig.

3.3 Elektrische Beheizung

Die in der Aviatik etablierten Systeme basieren auf elektrischem Beheizen. Dabei gibt es zwei Varianten der Ansteuerung. Die eine hält nach der Einschaltung den Rotor durch ständige Beheizung Eisfrei. Das bedeutet aber einen ununterbrochenen Energiebedarf. In dieser Arbeit sprechen wir von AntiIcing. Weit effizienter ist DeIcing. Die

Beheizung erfolgt nur in kurzen Perioden und schmilzt so nur die Verbindung zwischen Eis und Rotor. So löst sich das Eis ab. Ein Nachteil dabei ist, dass sich das Eis welches sich zwischen zwei Perioden bildet, bereits Einflüsse auf das Flugverhalten der Drohne haben kann. Weiter ist zu beachten, dass die abgelösten Eisstücke zu Schäden führen können. Beim Superpuma, ein Hubschrauber welche die Schweizer Armee einsetzt, ist der Hauptrotor mit einem DeIcing-System ausgestattet. Der Heckrotor, verfügt jedoch über ein AntiIcing System, da gelöste Eisstücke den Hauptrotor oder den Hubschrauber selbst beschädigen könnten.

3.3.1 CNT-Farbe

Carbon Nanotube (CNT) sind leitfähige Fasern aus Kohlenstoff mit Durchmessern im Nanometerbereich. In Lacken und Kunststoffen gelöst führen sie zu elektrischer Leitfähigkeit. Die Fraunhofer-Gesellschaft bietet CNT Material in Form einer wasserbasierten Dispersion als Farbe oder Lack an. Die Farbe erzeugt eine homogene Erwärmung auf der aufgetragenen Fläche nach anlegen von elektrischer Spannung.[2] Über die Abriebfestigkeit der Dispersion gibt die Fraunhofer-Gesellschaft keine Auskunft. Eine Verarbeitung am Rotorblatt scheint ungünstig. An der Oberfläche aufgetragen sind die mechanischen Ansprüche zu hoch für einen langlebigen betrieb. Eine Einarbeitung in Schichten des Rotorblatt ist schwierig zu realisieren.

3.3.2 Textile Heizelemente

Die Forster Rohner AG stellt textile Heizelemente her[3]. Mit maximal $0.1 \frac{W}{cm^2}$ [3] ist die Leistung für eine Enteisung viel zu gering. Das verfahren zur Einarbeitung von Heizelement in Stoffe könnte jedoch gegebenen falls auch zur Einarbeitung in die Carbonlagen des Rotorblattes als Grundlage dienen. Der technische Partner von Forster Rohner, die Firma Interactive Wear, gibt keine Auskunft über Herstellungsverfahren.

3.4 Beheizen durch Abwärme

Eine Möglichkeit besteht darin, die Abwärme des Hauptmotors direkt zum beheizen des Rotor zu verwenden. Bei einigen Flugzeugen eingesetzte Methoden, bedienen sich

genau diesem Konzept. Dabei ist im Flügel des Flugzeuges eine Leitung integriert. Die Abgase entfliehen durch diese Leitung und erwärmen so den Flügel[4]. Da die Motoranlage beim Hauptteil der Drohne liegt und eine Zufuhr zum Heckrotor viel Entwicklungsarbeit erfordert, ist das Verfahren hier nicht weiter behandelt. Es ist aber als Idee für den Hauptrotor erwähnt.

4 Detektion

Die Erkennung von Eis ist ein weitgehendes Problem. Interesse an der Problematik haben vorwiegend die Sparten Windenergieanlagen und in der Luftfahrt sowohl Helikopter und Flugzeugverkehr. Die meisten verfügbaren Informationen und Messdaten stammen von Windenergieanlagen. Für die Ermittlung potenzieller Vereisungsbedingungen sind die Daten nur bedingt hilfreich. Vereisungsbedingungen sind im Flug anders als am Boden. Windenergiewerke stellen oft den Betrieb bei Vereisung ein und sind daher eher an vorhandenem Eis interessiert. Die verfügbaren Messdaten beziehen sich mehrheitlich auf die Verlässlichkeit von Eisdetektion und weniger auf Umgebungsbedingungen die eine Eisbildung begünstigen.

4.1 Sensoren zur Eisdetektion

Bemannte Hubschrauber, welche mit einem Enteisung System ausgerüstet sind, verfügen im Normalfall einen Eissensor am Rumpf. Laut Angaben eines Piloten der Schweizer Armee, erkennt er jedoch Vereisung bereit bevor der Sensor reagiert. Hinweise sind Eisbildung an den Scheibenwischern und unruhiges Verhalten der Maschine. Daraus lässt sich schliessen, dass eine Messung am Rumpf zur Beurteilung des Rotor nicht ideal ist. Die Sensoren zur Eisdetektion arbeiten auf unterschiedlichste Art und Weise. Ein System welches bei Windenergieanlagen verwendet wird, misst die Impedanz an der Oberfläche und ermittelt daraus eine Stufe für die Eisdicke. Mittels Funksignal sendet der Sensor die Daten zu einer Station. Über kleine Solarmodule gewinnt er die zum messen nötige Energie und arbeitet somit Kabellos[5]. Durch eine Einarbeitung eines solchen Sensors in das Rotorblatt liessen sich womöglich bessere Messresultate als mit Sensoren

am Rumpf erzielen. Diverse weitere Messsysteme zur Eisdetektion sind in der Arbeit von Mindermann[6] aufgeführt.

4.2 Detektion von Vereisungsbedingungen

Ein anderer Ansatz ist das Messen von Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise Lufttemperatur oder Luftfeuchtigkeit. Daraus lässt sich gegebenenfalls abschätzen ob eine Vereisung möglich ist oder nicht. Die Firma Airborne Innovations bietet einen Sensor an, der genau eine solche Prognose abgibt. Er misst Luftfeuchtigkeit und -temperatur und ermittelt durch einen Algorithmus ob eine Vereisung möglich ist oder nicht. Mittels RS-232-Schnittstelle gibt er eine Rotorblatt-Vereisungswarnung, ein Vergaser-Vereisungswarnung und die rohen Messwerte aus. Der Sensor wurde in einer Doktorarbeit für den Einsatz bei unbemannten Flugobjekten entwickelt. Der Sensor verfügt jedoch über keine Zertifizierung. Anfragen zur Erhältlichkeit blieben unbeantwortet[5].

5 Energieübertragung

Ein Problem das vorwiegend bei elektrischer Beheizung des Rotor besteht, ist die Energieübertragung auf den Rotor. Der Super Puma versorgt über einen mehrkontaktigen Schleifring sieben verschiedene Heizsegmente pro Rotor mit Energie[7]. Der Anspruch an die Schleifkontakte ist aber gross. Der Hauptrotor dreht mit $268 \frac{1}{min}$ [8] und es wird eine Leistung von 23kW[7] übertragen.

Beschrieb der Komponenten

6 Aufbau der Komponenten

Die Versuchsaufbauten zur Rotorblattenteisung bestehen im wesentlichen aus dem Heckrotorprüfstand und dem Prototypen. Der Prüfstand war bereits vorhanden und ist hier für zukünftig leichtere und schnellere Inbetriebnahme dokumentiert.

6.1 Heckrotorprüfstand

Der Prüfstand besteht aus einer Halterung, einem bürsten losen DC-Motor aus der Modellflugbranche und einem Regler zur Ansteuerung. Der Regler benötigt eine Speisung von 25V DC und verträgt einen Strom von maximal 100A. Sowohl der Regler als auch der Motor sind mit einem Lüfter bestückt. Um die Drehzahl zu detektieren ist ein induktiver Näherungsschalter verbaut und mit einem Tensy 3.2 Entwicklungsboard ausgewertet. Über eine serielle Schnittstelle gibt das Tensy die Drehzahl auf ein Terminal aus. Ein Servo-Tester stellt die Geschwindigkeit am Regler ein. Der Anstellwinkel der Rotorblätter lässt sich mechanisch an der Spindel verschieben. Während dem Betrieb ist er starr.

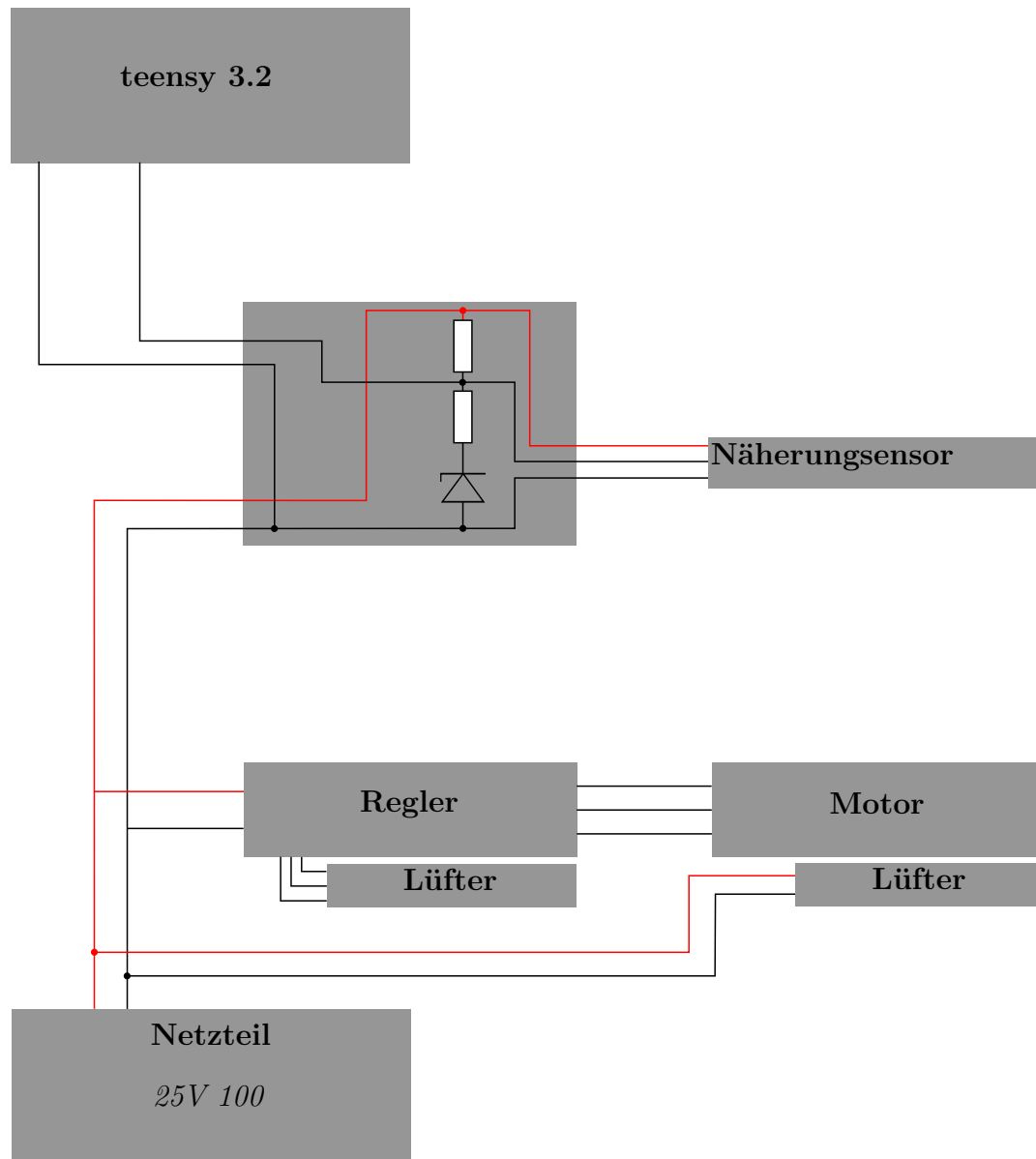


Abbildung 1 – Übersicht des Heckrotoraufbau

Der induktive Näherungsschalter ist so montiert, dass er bei jeder Umdrehung einmal ein und einmal aus ist. Das Teensy Board Misst jeweils die Zeit zwischen zwei Flanken. Aus jeweils 5 Werten bildet es das arithmetische Mittel. Mit 2Hz druckt das Board das Resultat auf die Console aus.

6.2 Prototyp

Der Prototyp übernimmt Funktion zum ausprobieren, zum messen und zum aufzeichnen. Kernstück ist das Tiny K22 Entwicklungsbord. Es ist eine Eigenentwicklung der Hochschule Luzern und verfügt über einen NXP K22FN512 ARM Cortex-M4F Mikrocontroller. Mit einem onboard debugger, dem bestückbaren SD-Kartenhalter und der kleinen Baugrösse, deckt es alle Ansprüche[9].

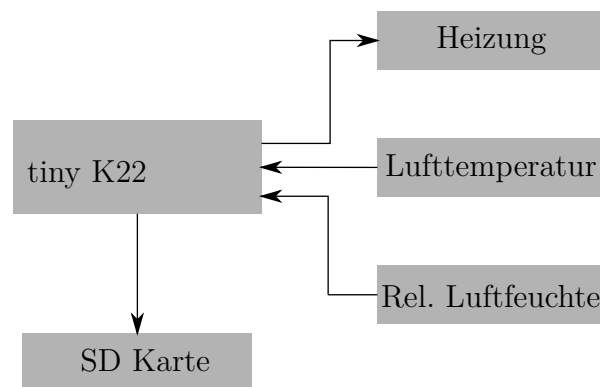


Abbildung 2 – Übersicht der Komponenten des Prototyp

6.2.1 Software

Mit einem FreeRTOS Echtzeitbetriebssystem laufen 4 Funktionen auf der Controller. Das Programm führt die Aktionen in insgesamt 8 Task aus. Die Grundlage für das Projekt bieten die Beispielprojekte tinyK22Demo[10] und tinyK20DataLogger [11] von Erich Styger. Das Bild zeigt die Prozesse, die das Betriebssystem ausführt. Die Schlüssel symbolisieren mit Mutexen geschützte Daten für prozessübergreifende Zugriffe.

Die Hauptaufgabe ist im Application-Task realisiert und dient zur Ansteuerung eines elektrischen Heizelement. Dabei lassen sich die Heizzeit, die inaktive Zeit und das PWM-Duty Cycle der Heizansteuerung zur Laufzeit verstellen. Zusätzlich ermöglicht der Task die Ein- und Ausschaltung der Heizung zur Laufzeit.

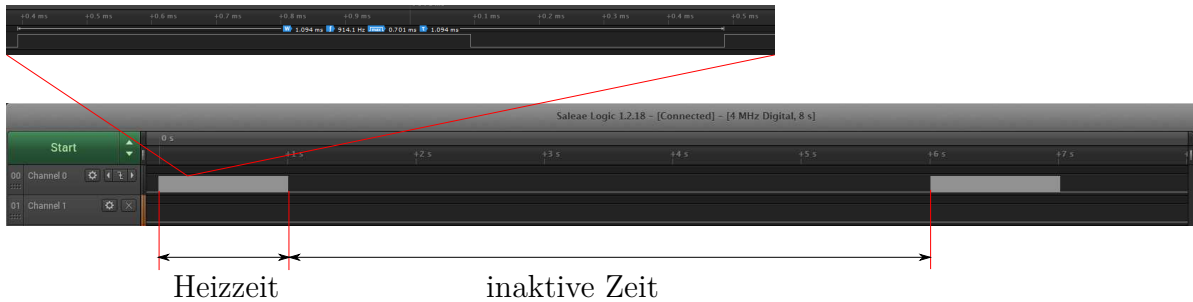


Abbildung 3 – Logic Analyser Aufnahme vom Ausgang zur Heizungsansteuerung

7 Versuch zur Ermittlung der thermischen Energie

Eine erste Versuchsrunde soll die nötige Energie zum lösen von Eis zeigen. Mit einem Heizdraht versehene Proben entsprechen dem Aufbau eines Rotorblatt. Auf gefrorene Stoffstücke sollen die Eisschicht imitieren. Gewicht das an den Stoffstücke hängt, simuliert die Fliehkraft, die am Rotor auf das Eis wirkt. Die Zeit bis sich der Stoff von der Probe löst soll zeigen welche Leistung pro Quadratzentimeter sinnvoll ist. Leider geben die Resultate keine sinnvolle Resultate. Die Leistung kann nicht in den Zusammenhang zur Leistung gebracht werden. Auch eine Wiederholung des Versuchs in der Klimakammer bei -10°C Lufttemperatur kann die Resultate nicht verbessern. Die

8 Versuch zur Eisbildung

8.1 Versuchsaufbau

In der Klimakammer soll durch besprühen mit Wasser Eis am drehenden Rotor ansetzen. Bei -10°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich von rund 80 % dreht der Rotor mit rund $5000 \frac{1}{\text{min}}$. Eine Düse zerstäubt Wasser zu Nebel. Eine Datenlogger zeichnet

Die Luftfeucht und die Lufttemperatur nahe dem Rotor auf. Ein Kamera zeichnet das Rotorblatt auf. Zusätzliche Eindrücke gibt eine Wärmebildkamera.

8.2 Resultat

Auf den Bildern der optischen Kamera lässt sich lediglich das Einsetzen des Nebels erkennen. Der Rotor dreht zu schnell und ist auf den Bildern verschwommen. Auf den Bildern der Wärmebildkamera ist mangels Kontrast auch nicht zu erkennen. Eine HighSpeed Kamera würde die Auswertung zukünftiger Versuche begünstigen. Die Eisbildung erfolgt unmittelbar nach dem einschalten des Wasser. Die Stromversorgung des Rotorantrieb läuft augenblicklich in die Strombegrenzung und die Drehzahl fällt auf rund $4000 \frac{1}{min}$. Das Eis setzt fast ausschliesslich and der Vorderkant in Drehrichtung an. Auf der Vorderseite (in Richtung Düse) ist die Eisschicht bis ca. 12mm von der Kante nach hinten. Auf der Hinterseite (von der Düse abgewandt) ragt die Eisschicht bis 26mm von der Kante weg.

Literatur

- [1] Aeroscout GmbH. Aeroscout - unmanned aircraft technology. <https://www.aeroscout.ch/>. Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.
- [2] Fraunhofer IPA. Cnt-flächenheizung. https://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/de/bauweisen_infrastruktur/cnt_flaechenheizung.html. Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.
- [3] Forster Rohner AG. Textile flächenheizstrukturen – sicher, flexibel, leistungstark. <http://www.frti.ch/technologie/>, . Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.
- [4] Aeronautics Guide. Wing anti-ice (wai) system. <https://okigihan.blogspot.com/2017/05/wing-and-horizontal-and-vertical.html#more>. Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.
- [5] Airborne Innovations. Aircraft icing warning sensor. <https://www.airborneinnovations.com/ai/products/icewarning/>. Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.

- [6] Pascal Mindermann. Detektion von atmosphärischem eis aufgrund der veränderung des wärmewiderstandes, 2014.
- [7] Schweizer Armee. Schulungsunterlagen zur Enteisungsvorrichtung des Super Puma, 2005.
- [8] Swiss Helicopter AG. Super puma as 332 c1. <https://www.swisshelicopter.ch/de/ueber-uns/flotte/super-puma-as-332-c1>, . Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.
- [9] Erich Styger. First tinyk22 board with nxp k22fn512 arm cortex-m4f. <https://mcuoneclipse.com/2017/12/08/first-tinyk22-board-with-nxp-k22fn512-arm-cortex-m4f/>, . Online; zugegriffen 12. Dezember 2018.
- [10] Erich Styger. tinyk22 demo. https://github.com/ErichStyger/mcuoneclipse/tree/master/Examples/KDS/tinyK22/tinyK22_Demo, . Online; zugriff 12. Dezember 2018.
- [11] Erich Styger. tinyk20 datalogger. https://github.com/ErichStyger/mcuoneclipse/tree/master/Examples/KDS/tinyK20/tinyK20_DataLogger, . Online; zugriff 12. Dezember 2018.
- [12] eologix sensor technology gmbh. Eologix sensor system. <https://eologix.com/de/product-ln/>. Online; zugegriffen 09. Dezember 2018.

Abbildungsverzeichnis

1	Übersicht des Heckrotoraufbau	10
2	Übersicht der Komponenten des Prototyp	11
3	Logic Analyser Aufnahme vom Ausgang zur Heizungsansteuerung	12

Tabellenverzeichnis