

# **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
„Master of Science in Engineering“  
im Studiengang Embedded Systems

## **Der Objekt Orientierte Ansatz in der Entwicklung von Eingebetteten Systemen**

Ausgeführt von: Ney Fränz, BSc

Personenkennzeichen: 1610297013

BegutachterIn: FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Martin Horauer

Wien, den 13. Juni 2018



# Eidesstattliche Erklärung

„Ich, als Autor / als Autorin und Urheber / Urheberin der vorliegenden Arbeit, bestätige mit meiner Unterschrift die Kenntnisnahme der einschlägigen urheber- und hochschulrechtlichen Bestimmungen (vgl. Urheberrechtsgesetz idgF sowie Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien idgF).

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und Gedankengut jeglicher Art aus fremden sowie selbst verfassten Quellen zur Gänze zitiert habe. Ich bin mir bei Nachweis fehlender Eigen- und Selbstständigkeit sowie dem Nachweis eines Vorsatzes zur Erschleichung einer positiven Beurteilung dieser Arbeit der Konsequenzen bewusst, die von der Studiengangsleitung ausgesprochen werden können (vgl. Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien idgF).

Weiters bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit bis dato nicht veröffentlicht und weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe. Ich versichere, dass die abgegebene Version jener im Uploadtoolasas entspricht.“

Wien, 13. Juni 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'KeyF' with a stylized flourish.

Unterschrift

# Kurzfassung

In der Entwicklung von eingebetteten Systemen hat sich in den letzten Jahren einiges getan. Moderne Programmiersprachen wie C/C++ haben sich in der embedded Entwicklung etabliert und aufwendiges programmieren in Assembler sollte nur noch in wenigen Fällen von Nöten sein. Diese Arbeit beschäftigt sich hauptsächlich mit der Frage, ob der Einsatz einer objekt-orientierten Programmiersprache auf Plattformen mit nur wenigen kBytes an Flash Speicher sinnvoll ist und welchen Mehrwert diese für die Embedded Entwicklung haben könnte.

Hierbei sollen vor allem die gängigsten Konzepte (Klassen, Templates, etc.) der objektorientierten Sprache analysiert werden, um Solide Richtwerte über Performance und Speicherverbrauch geben zu können. Dazu soll der kompilierte Code analysiert und diverse Benchmark Tests durchgeführt werden. Zusätzlich wird der Vergleich mit einer klassischen funktionalen Programmiersprache dargestellt.

Als Referenz Programmiersprache wird C/C++ in Verbindung mit der ARM Cortex-M Architektur verwendet, da diese Kombination sehr interessant für stromsparende und kleinere IoT Projekte ist und sich wahrscheinlich in Zukunft durchsetzen wird. Am Anfang wird auch eine State-Of-the-art Analyse über die momentan verfügbaren ARM C++ Compiler durchgeführt um auflisten zu können welche Versionen und Erweiterungen von C++ unterstützt werden.

**Schlagworte:** Objektorientiertes Programmieren, C/C++, Embedded Software, ARM Cortex-M

# Abstract

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

**Keywords:** Keyword1, Keyword2, Keyword3, Keyword4

# Danksagung

Dies hier ist ein Blindtext zum Testen von Textausgaben. Wer diesen Text liest, ist selbst schuld. Der Text gibt lediglich den Grauwert der Schrift an. Ist das wirklich so? Ist es gleichgültig, ob ich schreibe: „Dies ist ein Blindtext“ oder „Huardest gefburn“? Kjift – mitnichten! Ein Blindtext bietet mir wichtige Informationen. An ihm messe ich die Lesbarkeit einer Schrift, ihre Anmutung, wie harmonisch die Figuren zueinander stehen und prüfe, wie breit oder schmal sie läuft. Ein Blindtext sollte möglichst viele verschiedene Buchstaben enthalten und in der Originalsprache gesetzt sein. Er muss keinen Sinn ergeben, sollte aber lesbar sein. Fremdsprachige Texte wie „Lorem ipsum“ dienen nicht dem eigentlichen Zweck, da sie eine falsche Anmutung vermitteln.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 State-of-Art Analyse</b>	<b>1</b>
1.1 Mikrocontroller Hardware Analyse . . . . .	1
1.1.1 Stromverbrauch und Effizienz . . . . .	1
1.1.2 MCU Peripherie . . . . .	1
1.1.3 Sicherheits- Features . . . . .	1
1.2 Work-Flow und Tools in der embedded Entwicklung . . . . .	1
1.2.1 Entwicklungs- Umgebungen . . . . .	1
1.2.2 Test und Qualitäts- Management . . . . .	1
1.2.3 Code Generatoren . . . . .	1
1.2.4 Low-Level Hardware Bibliotheken . . . . .	1
1.3 Programmiersprachen für die embedded Entwicklung . . . . .	1
1.3.1 Kompilierte Programmiersprachen . . . . .	1
1.3.2 Interpretierte Programmiersprachen . . . . .	1
1.4 Verfügbare C/C++ Compiler für die ARM Architektur . . . . .	1
1.4.1 GNU Arm Embedded Toolchain . . . . .	1
1.4.2 IAR Embedded Workbench . . . . .	1
1.4.3 ARM Compiler . . . . .	1
<b>2 Embedded C++</b>	<b>1</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>Quellcodeverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>8</b>
<b>A Anhang A</b>	<b>9</b>
<b>B Anhang B</b>	<b>10</b>

# 1 State-of-Art Analyse

## 1.1 Mikrocontroller Hardware Analyse

### 1.1.1 Stromverbrauch und Effizienz

### 1.1.2 MCU Peripherie

### 1.1.3 Sicherheits- Features

## 1.2 Work-Flow und Tools in der embedded Entwicklung

### 1.2.1 Entwicklungs- Umgebungen

### 1.2.2 Test und Qualitäts- Management

### 1.2.3 Code Generatoren

### 1.2.4 Low-Level Hardware Bibliotheken

## 1.3 Programmiersprachen für die embedded Entwicklung

### 1.3.1 Kompilierte Programmiersprachen

### 1.3.2 Interpretierte Programmiersprachen

## 1.4 Verfügbare C/C++ Compiler für die ARM Architektur

### 1.4.1 GNU Arm Embedded Toolchain

### 1.4.2 IAR Embedded Workbench

### 1.4.3 ARM Compiler

## 2 Embedded C++



# Literaturverzeichnis

- [1] ATMEL CORPORATION: *Atmel ATmega16 – 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash*, 2011.
- [2] GOOSSENS, M., F. MITTELBACH und A. SAMARIN: *Der LaTeX Begleiter*. Addison-Wesley Deutschland, Bonn, 2002.
- [3] HEMETSBERGER, H.: *AIT Stereo Sensor im Einsatz während der DARPA Urban Challenge 2007*, 2007. AIT Austrian Institute of Technology.
- [4] HUMENBERGER, M.: *Real-Time Stereo Matching for Embedded Systems in Robotic Applications*, 2011.
- [5] HUMENBERGER, M., D. HARTERMANN und W. KUBINGER: *Evaluation of Stereo Matching Systems for Real World Applications Using Structured Light for Ground Truth Estimation*. In: *Proceedings of the Tenth IAPR Conference on Machine Vision Applications (MVA2007)*, S. 433–436. MVA Conference Committee, 2007.
- [6] HUMENBERGER, M., C. ZINNER, M. WEBER, W. KUBINGER und M. VINCZE: *A fast stereo matching algorithm suitable for embedded real-time systems*. *Computer Vision and Image Understanding*, 114(11):1180–1202, 2010.
- [7] INTERNATIONAL STANDARDS OFFICE: *ISO 690 – Information and documentation: Bibliographical references: Electronic documents*, 1998.
- [8] KOPKA, H.: *LaTeX, Band 1: Einführung*. Pearson Studium, München, 3 Aufl., 2005.
- [9] KOPKA, H.: *LaTeX, Band 1: Einführung*. Pearson Studium, München, 3 Aufl., 2005.
- [10] POHN, J.: *Condition Monitoring Systeme für die zustandsorientierte Instandhaltung von Windkraftanlagen*, 2010.
- [11] SIEMENS AUTOMATION TECHNOLOGY: *SIMATIC*, 2011.
- [12] SIEMENS AUTOMATION TECHNOLOGY: *SIMATIC*, 2014. [Online] Verfügbar unter: <<http://www.automation.siemens.com/mcms/topics/de/simatic/Seiten/Default.aspx>> [Zugang am 17.10.2014].
- [13] TESCHL, S., K. M. GÖSCHKA und G. ESSL: *Leitfaden zur Verfassung einer Bachelorarbeit oder Master Thesis*, 2014.

- [14] ZINNER, C., W. KUBINGER und R. ISAACS: *Pfelib: a performance primitives library for embedded vision*. EURASIP Journal on Embedded Systems, 2007:1–14, 2007.

# Abbildungsverzeichnis

## Tabellenverzeichnis

# Quellcodeverzeichnis

# Abkürzungsverzeichnis

**ABC**    Alphabet

**WWW**   world wide web

**ROFL**   Rolling on floor laughing

## A Anhang A

## B Anhang B