

# Projektseminar Echtzeitsysteme

Ausarbeitung von Team TRAL  
Proseminar eingereicht von  
Tim Burkert, Robert Königstein, Lars Stein, Adrian Weber  
am 19. März 2016



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



Fachgebiet Echtzeitsysteme

Elektrotechnik und  
Informationstechnik (FB18)

Zweitmitglied Informatik (FB20)

Prof. Dr. rer. nat. A. Schürr  
Merckstraße 25  
64283 Darmstadt

[www.es.tu-darmstadt.de](http://www.es.tu-darmstadt.de)

Gutachter: Clemens v. Loewenich  
Betreuer: Johannes Werner

ES-B-0060

---



---

# Erklärung zum Proseminar

Hiermit versichere ich, das vorliegende Proseminar selbstständig und ohne Hilfe Dritter angefertigt zu haben. Gedanken und Zitate, die ich aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommen habe, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde bisher nicht veröffentlicht.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Arbeit auch durch das Fachgebiet Echtzeitsysteme der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden kann.

Darmstadt, den 19. März 2016

---

(J. Walker)

---

---

## Inhaltsverzeichnis

---

1	Einleitung	1
1.1	Ne Ebene tiefer . . . . .	1
1.1.1	Undsoweiter . . . . .	1
2	Grundlegendes zur HW des Auto	2
2.1	Noch grundlegender . . . . .	2
2.1.1	Grundlage? . . . . .	2
2.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	2
3	Grundlegendes zu ROS und Lubuntu	3
3.1	Was ist ROS? . . . . .	3
3.1.1	Wie ist ROS aufgebaut? . . . . .	3
3.2	Betriebssystem . . . . .	3
3.3	Welche Möglichkeiten von ROS haben wir genutzt? . . . . .	4
4	Arbeitsumgebung	5
4.1	Noch grundlegender . . . . .	5
4.1.1	Grundlage? . . . . .	5
4.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	5
5	Projektkoordination	6
5.1	Noch grundlegender . . . . .	6
5.1.1	Grundlage? . . . . .	6
5.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	6
6	Aufgabenstellung	7
6.1	Pflichtimplementierung . . . . .	7
6.1.1	Grundlage? . . . . .	7
6.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	7
7	Lösung Pflichtimplementierung	8
7.1	Noch grundlegender . . . . .	8
7.1.1	Grundlage? . . . . .	8
7.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	8
8	FSM	9
8.1	Klassenstruktur . . . . .	9
8.1.1	FSM . . . . .	9
8.1.2	State . . . . .	9
8.1.3	Transition . . . . .	9
8.2	Deserialisieren . . . . .	9

---

9	JSON	10
9.1	Noch grundlegender . . . . .	10
9.1.1	Grundlage? . . . . .	10
9.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	10
10	Graphische Programmierung	11
10.1	Noch grundlegender . . . . .	11
10.1.1	Grundlage? . . . . .	11
10.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	11
11	Doku	12
11.1	Noch grundlegender . . . . .	12
11.1.1	Grundlage? . . . . .	12
11.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	12
12	Fazit	13
12.1	Noch grundlegender . . . . .	13
12.1.1	Grundlage? . . . . .	13
12.1.2	GRUNDLAGE! . . . . .	13
A	Erster Anhang	14



---

---

## Abbildungsverzeichnis

---



---

---

## Tabellenverzeichnis

---



---

## 1 Einleitung

---

### Einleitung

---

#### 1.1 Ne Ebene tiefer

---

---

##### 1.1.1 Undsoweiter

---



---

## 2 Grundlegendes zur HW des Auto

---

Hallo?

---

### 2.1 Noch grundlegender

---

Text

---

#### 2.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 2.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

## 3 Grundlegendes zu ROS und Lubuntu

---

Im Folgenden wird eine kurze Einleitung zu ROS und dem Betriebssystem, das auf dem Auto installiert war, Lubuntu, gegeben. Diese Grundausstattung an Software war bei allen Gruppen identisch.

---

### 3.1 Was ist ROS?

---

Im Projektseminar wird die Middleware ROS eingesetzt. ROS steht für Robot Operating System und wird heute vor allem von der Open Source Robotics Foundation fortentwickelt. Die Software ist dabei kein klassisches Betriebssystem, wie der Name vermuten lässt, sondern eine Middleware, die auf einem der klassischen Betriebssysteme (aktuell werden Mac-OS und Linux stabil unterstützt) aufgespielt wird. ROS sorgt für eine starke Hardware-Abstraktion, sodass fast beliebige Hardware eingesetzt werden kann und diese auch fast beliebig austauschbar ist. ROS abstrahiert diese und stellt allgemeine Programmierschnittstellen bereit. Zudem ermöglicht ROS eine einfache, standardisierte Kommunikation zwischen den Hard- und Softwarekomponenten. Die drei Hauptmotivationen, ROS einzusetzen sind Modularität, Portabilität und Wiederverwendbarkeit, sowie eine vereinfachte Softwareentwicklung (einfache Interfaces, Debugging, Monitoring, Testen).

---

#### 3.1.1 Wie ist ROS aufgebaut?

---

ROS besteht hauptsächlich aus drei Komponenten, die beliebig kombiniert und vernetzt werden können: Nodes, Topics und Services. Nodes sind Softwareknoten, die dafür zuständig sind, bereitgestellte Daten aufzunehmen und zu prozessieren. In den Nodes ist die Intelligenz des Autos implementiert und dort werden durch die Sensorik gewonnene Daten in Befehle für die Aktorik des Autos umgesetzt. Topics sind asynchrone Kommunikationslösungen, mit denen die Knoten Daten und Nachrichten, sog. Messages, austauschen können. Dabei sind Produktion und Konsumption der Daten getrennt, indem Messages an einer Stelle gepublished werden, und anschließend dem gesamten System zum Abruf zur Verfügung stehen. Andere Knoten können diese Nachrichten nun Empfangen (subscribe). Es ist also völlig unerheblich, wo genau die Daten herkommen, was bedeutet, dass beliebig viele Nodes die Topics publishen können und beliebig viele sie wiederum subscriben können. Services sind synchrone Kommunikationsmöglichkeiten. Während Topics einen viele-zu-viele-Nachrichtenaustausch ermöglichen, sind SServices dazu da, einen direkten Nachrichtenaustausch zwischen zwei Nodes zu ermöglichen. Ein Service besteht dabei aus einem Nachrichtenpaar aus einer Anfrage und einer Antwort auf diese.

---

### 3.2 Betriebssystem

---

In dem vorgegebenen Software Framework war als Grundlage des Projektseminars neben ROS das Betriebssystem Lubuntu (auch in Echtzeitversion) vorgegeben. Lubuntu ist ein Derivat des Linux-Betriebssystems Ubuntu, das LXDE als Desktop-Umgebung verwendet. Linux ist allgemein bekannt, weshalb wir an dieser Stelle nicht mehr weiter darauf eingehen möchten. Zu bemerken ist jedoch, dass bei uns der Echtzeitkernel nicht zum Einsatz kam, da die Hardware des Autos durch die Anwendungen nur zu ca. 30% ausgelastet war.

---

### 3.3 Welche Möglichkeiten von ROS haben wir genutzt?

---

Aufgrund unserer Codestruktur eines Zustandsautomaten, den wir in einem ROS-Node implementiert haben, kamen wir mit wenigen ROS-Nodes aus. Wie später beschrieben, haben wir lediglich drei Nodes für das generelle Management der Sensorik und Aktorik, der Kamera und für die FSM (Finite State Machine) benötigt. Wie gerade beschrieben, nutzen wir für die Kommunikation zwischen den einzelnen Codebausteinen ausschließlich Topics. Zur Kamerakalibrierung haben wir eine Kombination der von ROS bereitgestellten Kalibrierungsmöglichkeiten und Methoden der OpenCV-Bibliothek genutzt. Später in der Ausarbeitung werden wir noch ausführlicher auf die Details der Implementierung und Umsetzung eingehen.

---

## 4 Arbeitsumgebung

---

Hallo?

---

### 4.1 Noch grundlegender

---

Text

---

#### 4.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 4.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

## 5 Projektkoordination

---

Hallo?

---

### 5.1 Noch grundlegender

---

Text

---

#### 5.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 5.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

## 6 Aufgabenstellung

---

Im Folgenden soll die genaue Aufgabenstellung, sowie unsere daraus abgeleiteten Themen erläutert werden.

---

### 6.1 Pflichtimplementierung

---

Als Pflichtteil des Projektseminars wurde generell das Thema „autonomes Fahren mittels Sensorik“, „Kamera Inbetriebnahme und Erkennung von ArUco-Markern“, sowie als Anwendung von letzterem das „Durchfahren von ArUco-Toren“ vorgegeben.

---

#### 6.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 6.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

## 7 Lösung Pflichtimplementierung

---

Hallo?

---

### 7.1 Noch grundlegender

---

Text

---

#### 7.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 7.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

## 8 FSM

---

Wir betrachten nun etwas genauer wie unsere Konzept einer FSM zur Kontrollflusssteuerung in C++11 umgesetzt haben, dazu gehört neben der Wahl der Klassenstruktur auch die Einbindung nützlicher Features von C++11 um die Speicherverwaltung zu optimieren.

---

### 8.1 Klassenstruktur

---

Zur Modellierung einer FSM haben wir ein Konzept aus einer Controller Klasse **FSM** und zwei abstrakten Basisklassen **State** und **Transition** überlegt. Dabei stellen die abstrakten Basisklassen nur eine standardisiertes Interface bereit und erlauben somit einen schnelle Implementation von neuen abgeleiteten Klassen.

Erst die abgeleiteten Klassen implementieren eine genau Funktionalität, wie z.B. einer Wandfolgen oder eine Transition nach einem bestimmten Ereignis. Diese Klassen sind in dem dafür vorgesehen namespace **TRAL::STATES** und **TRAL::TRANSITIONS** zu finden.

---

#### 8.1.1 FSM

---

Die Klasse **FSM** implementiert die komplette Kontrollflusssteuerung und kümmert sich ebenso um das Laden einer FSM die zuvor graphisch mit Umlt erstellt wurde. Ebenso hält diese Klasse immer eine aktuelle Referenz zum dem globalen **MachineState**, in dieser Klasse sind alle Sensorinformationen aufbereitet konsolidiert.

#### **FSM::tick**

Die wichtigste Funktion diese Klasse ist die **tick** Funktion, diese wird zyklisch von der Rosnode `tral-fsm` aufgerufen. Dabei wird der Kontrollfluss an den aktuell aktiven State weitergeben. Wenn nun der aktive State einen neuen Ausgabe gesetzt hat und die Kontrolle wieder abgibt werden nun alle an diesen State befindlichen Transition überprüft ob diese Ausgelöst haben, sollte dies der Fall sein wird eine **transit** vollzogen.

#### **FSM::transit**

Beim Statewechsel wird zuerst dem aktuell noch aktiven State signalisiert das der nun verlassen wird, dabei kann der State zum Beispiel genutzte Ressourcen wieder freigeben. Darauffolgend wird dem neuen State signalisiert das dieser nun betreten wird und nötige Ressourcen belegen kann.

---

#### 8.1.2 State

---

Text

---

#### 8.1.3 Transition

---

Text

---

### 8.2 Deserialisieren

---



---

## 9 JSON

---

Hallo?

---

### 9.1 Noch grundlegender

---

Text

---

#### 9.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 9.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

---

## 10 Graphische Programmierung

---

Hallo?

---

### 10.1 Noch grundlegender

---

Text

---

#### 10.1.1 Grundlage?

---

Test

---

#### 10.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---



---

11 Doku

---

Hallo?

---

11.1 Noch grundlegender

---

Text

---

11.1.1 Grundlage?

---

Test

---

11.1.2 GRUNDLAGE!

---

Text

---

---

---

12 Fazit

Hallo?

12.1 Noch grundlegender

Text

12.1.1 Grundlage?

Test

12.1.2 GRUNDLAGE!

Text

