

Bachelorarbeit
Informatik-Ingenieurwesen

Reverse Engineering eines Kaffeevollautomaten

von
Niklas Joachim Eberhard Krüger

Februar 2019

Betreut von
Florian Meyer
Institut für Telematik, Technische Universität Hamburg

Erstprüfer | **Prof. Dr. Volker Turau**
Institut für Telematik
Technische Universität Hamburg

Zweitprüfer | **Florian Meyer**
Institut für Telematik
Technische Universität Hamburg

Eidesstattliche Erklärung

Ich, NIKLAS JOACHIM EBERHARD KRÜGER (Student im Studiengang Informatik-Ingenieurwesen an der Technischen Universität Hamburg, Matr.-Nr. 21491319), versichere an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in dieser oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungskommission vorgelegt.

Hamburg, 22. Februar 2019

Niklas Joachim Eberhard Krüger

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
1 Einführung	1
1.1 Aufgabenstellung	1
1.2 Aufbau der Arbeit	2
2 Grundlagen	3
2.1 Begrifflichkeiten	3
2.2 Stand der Technik	5
3 Hardware und Software	7
3.1 Der Kaffeevollautomat	7
3.1.1 Aufbau und Verkabelung	7
3.1.2 Serielle Kommunikation	8
3.1.3 Kommandos	9
3.1.4 Speicher	10
3.2 Libraries und Frameworks	10
3.2.1 Serielle Kommunikation	11
3.2.2 Speicher- und Austauschformat	11
3.2.3 Webseite	12
4 Methodik und Implementierung	15
4.1 Vorgehen	15
4.1.1 Veränderungen zur Bestimmung der Speicherstellen	16
4.1.2 EEPROM gezielt beschreiben	18
4.2 Das C++ Programm „./JuraCoffeeMemory“	18
4.2.1 Makefile	18
4.2.2 Interaktives Menü	19
4.2.3 Die API nach außen	22
4.2.4 Technische Umsetzung	24
4.3 Weitere kleine Tools	25
4.3.1 Formatieren eines Speicherauszugs	25
4.3.2 Display	25
4.4 Die Webseite	26
4.4.1 Technische Umsetzung	27

INHALTSVERZEICHNIS

5 Ergebnisse	31
5.1 EEPROM	31
5.1.1 Kaffeezubereitung	31
5.1.2 Kaffee Einstellungen	32
5.1.3 (Tee-) Wasser- und Dampfportionen	32
5.1.4 Weitere Maschinen Einstellungen	33
5.1.5 Filter	34
5.1.6 Spülung	34
5.1.7 Reinigung	34
5.2 RAM	34
5.2.1 Maschine an	35
5.2.2 Schale fehlt	35
5.2.3 Schale leeren	35
5.2.4 Trester leeren	36
5.2.5 Wasser füllen	36
5.2.6 Gerät reinigen	36
5.2.7 Maschine spült	36
5.2.8 Maschine vor dem Ausschalten spülen	36
5.2.9 Tassenbeleuchtung	36
5.2.10 Filter wechseln	37
5.2.11 Hahn offen & Teeportion	37
5.2.12 Dampfbezug & Wasserdampfportion	37
5.2.13 Pulver füllen	37
5.2.14 Bohnen füllen	38
5.2.15 Zubereitung	38
5.2.16 Geteilte Bits	38
5.2.17 Deutung und Zähler	39
5.3 Alleinstellungsmerkmal für die API und die Webseite	39
5.4 Display	39
6 Diskussion	41
6.1 Probleme	41
6.1.1 Kommunikation mit dem Kaffeevollautomaten	41
6.1.2 Serielle Kommunikation	42
6.1.3 Unbekannte Speicherorte	42
6.1.4 Weitere Automatisierung durch das C++ Programm	43
6.2 Aussagekraft der Ergebnisse	44
6.3 Einordnung zur Terminologie des Reverse Engineerings	44
7 Zusammenfassung	47
7.1 Ausblick	47
Literaturverzeichnis	49
A Große Abbildungen	51

INHALTSVERZEICHNIS

B Inhalt der CD

59

Abkürzungsverzeichnis

IoT	Internet der Dinge	1
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory	2
RAM	Random-Access Memory	2
MCU	Microcontroller Unit	5
SPI	Serial Peripheral Interface	5
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter	5
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	8
IDE	Integrated Development Environment	9
API	Programmierschnittstelle (engl. Application Programming Interface)	10
POSIX	Portable Operating System Interface	11
JSON	JavaScript Object Notation	11
XML	Extensible Markup Language	11
HTML	Hypertext Markup Language	12
CSS	Cascading Style Sheets	12
JS	JavaScript	12
AJAX	Asynchronous JavaScript and XML	12
CDN	Content Delivery Network	12
ROM	Read Only Memory	47
WAMP	Web Application Messaging Protocol	48

Abbildungsverzeichnis

3.1	Der „Jura Impressa S9“ Kaffeevollautomat	8
3.2	Umrechnung eines Befehls an den Kaffeevollautomaten	9
4.1	Arbeitsablauf zur systematischen Untersuchung des EEPROMs und RAMs	16
4.2	Ersatz der Schale des Kaffeevollautomaten	17
4.3	Interaktives Menü des C++ Programms „./JuraCoffeeMemory“	20
4.4	Schematischer Zusammenhang und Gruppierung der C++ Klassen	25
4.5	Webseite zur Kontrolle und Steuerung des Kaffeevollautomaten als Visualisierung der API	28
A.1	Schematische Darstellung des Speichers vom Kaffeevollautomaten	53
A.2	Abgefragte Speicherstellen für die API im EEPROM (1 Kästchen \equiv 1 Wort)	56
A.3	Abgefragte Speicherstellen für die API im RAM (1 Kästchen \equiv 1 Byte)	57

Tabellenverzeichnis

A.1	Befehlsübersicht der Jura Kaffeevollautomaten (S-Reihe)	52
A.2	Speicherpositionen im RAM (1)	54
A.3	Speicherpositionen im RAM (2)	55
A.4	Verfügbarer Zeichensatz des Displays	58
B.1	Inhalt der CD	59

Einführung

Heutige Geräte versprechen viel Komfort und eine einfache Handhabung. Über das Internet werden die Geräte zunehmend vernetzt und smart. Dabei sind Dinge erst einmal *Objekte* in der realen Welt, wie Menschen, Tiere, Pflanzen, Autos oder eben auch Kaffeemaschinen, die von Madakam [Mad15] unter anderem aufgezählt werden. Intelligente Dinge (engl. „Smart Things“) machen unsere Welt smart. Sie setzen sich aus einer Gruppe kontrollierbarer und steuerbarer Dinge mit einigen Sensorfunktionen zusammen, die an das Internet angebunden sind. Dies ermöglicht es jeder Zeit von überall auf reale Dinge zuzugreifen. Dabei ist der Begriff „Smart Things“ ein Schlagwort des Internet der Dinge (IoT). [Mad15]

Diese Welt benötigt jedoch nicht nur neue und bessere Dinge, sondern auch wiederverwertbare und reparierbare Dinge. Diese Bachelorarbeit möchte eine seit Jahren gut arbeitende Maschine smart machen und um eine neue Schnittstelle erweitern.

Daher befasst sich diese Arbeit mit einer Kaffeemaschine und in erster Linie mit ihrem Speicher. Dieser merkt sich nicht nur Betriebszustände, sondern auch Einstellungen, Zählerstände und evtl. vieles mehr. Die vorhandenen Informationen können nicht nur gelesen, sondern zum Teil auch verändert werden. Moderne Funktionen sind bereits ohne eine entsprechende graphische Schnittstelle in älteren Maschinen vorhanden. Sie müssen nur nutzbar gemacht werden.

Kamilaris, Pitsillides und Trifa stellen in ihrem Paper von 2011 [KPT11] dar, dass in naher Zukunft beispielsweise Kaffeemaschinen automatisch einen Kaffee nach Benutzerpräferenzen zubereiten können. Die Möglichkeit eigene Geräte nun über das Netzwerk verwalten zu können, führt zum *Web-enabled Smart Home*.

1.1 Aufgabenstellung

Diese Arbeit reverse engineered ein *Objekt* unseres Alltags. Dafür werden die Funktionen und Abläufe eines *Jura Impressa S9 Kaffeevollautomaten* untersucht. Der Kaffeevollautomat

1 EINFÜHRUNG

wird um eine neue Schnittstelle zur Interaktion mit dem Gerät erweitert, nachdem dessen Speicher untersucht worden ist. Welches Wort / Byte / Bit speichert welche Information? Welche Bedeutung haben diese auf den Betrieb? Hierfür sollen Skripte erstellt werden und der Speicher systematisch untersucht werden.

Wenn die Denkweise der Kaffeemaschine bekannt ist, sollen Werte im Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory ([EEPROM](#)) abgefragt, aber auch gezielt verändert werden sowie Statusinformationen aus dem Random-Access Memory ([RAM](#)) ausgelesen werden. Die erhaltenen Rohinformationen werden nach den gewonnenen Erkenntnissen aufbereitet und stehen so für weitere Projekte zur Verfügung.

Als kleine Demonstration entsteht am Ende ein Programm, welches Profile anlegen kann, sodass jeder Nutzer auf Knopfdruck einen Kaffee nach seinen Lieblings-Präferenzen zubereitet bekommt.

1.2 Aufbau der Arbeit

Kapitel [2](#) erörtert den Begriff *Reverse Engineering* und zeigt weitere Arbeiten auf. In Kapitel [3](#) werden der reale Kaffeemaschine, dessen Verkabelung und weitere Abhängigkeiten aufgeführt. Darauf aufbauend werden in Kapitel [4](#) das strategische Vorgehen und die nötigen Skripte entwickelt. Im Anschluss werden die Ergebnisse in Kapitel [5](#) aufbereitet. Kapitel [6](#) diskutiert aufgetretene Probleme und zeigt die Grenzen dieser Arbeit auf. Ebenso wird die Arbeit in das Feld des *Reverse Engineering* eingegliedert. Abschließend fasst Kapitel [7](#) die Arbeit zusammen.

Grundlagen

Dieses Kapitel differenziert den Begriff des *Reverse Engineering* und zeigt weitere Arbeiten zu Kaffeemaschinen sowie intelligenten Geräten auf.

2.1 Begrifflichkeiten

Der Titel dieser Arbeit lautet *Reverse Engineering eines Kaffeevollautomaten*, aber hinter der Terminologie des Begriffs *Reverse Engineering* steckt ein weites Spektrum an Bedeutungen. E. J. Chikofsky und J. H. Cross differenzieren in ihrem Paper [CC90] die Begriffe *Forward Engineering*, *Reverse Engineering*, *Redocumentation*, *Design Recovery*, *Restructuring*, und *Reengineering*.

Zugrunde liegt ein Produkt, welches während seiner Entwicklung mehrere Lebenszyklen durchlaufen hat. Kassem A. Saleh beschreibt in seinem Buch [Sal09] ausführlicher Entwicklungsaktivitäten, wie die Anforderungsanalyse, das Design, die Implementation, die Tests, die Installation und den Einsatz. Während der Implementation nennt er Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung, wie das Wasserfallmodell, den Prototypenbau, das Spiralmodell, den objektorientierten Ansatz, das inkrementelle und iterative Modell, sowie das agile Modell. Jede (Hardware- und) Softwareentwicklung durchläuft dabei, unabhängig vom Modell, die verschiedenen Entwicklungsaktivitäten. Das Voranschreiten zur nächsten Stufe, bis zur Fertigstellung des Produkts, stellt das *Forward Engineering* dar.

Der zweite Begriff des *Reverse Engineering* führt in die Gegenrichtung. Aus dem implementierten Produkt wird auf das Design, bzw. aus dem Design auf die Spezifikationen geschlossen. Dabei werden zum einen die Komponenten und ihr Zusammenspiel identifiziert, zum anderen wird aber immer eine höhere Abstraktionsebene, eine vorherige Stufe, rekonstruiert. Ein wichtiges Zitat, welches in Abschnitt 6.3 aufgegriffen wird, lautet: „Reverse engineering in and of itself does not involve changing the subject system or creating a new system based on the reverse-engineered subject system. It is a process of examination, not a process of change or replication.“[CC90]

2 GRUNDLAGEN

Redocumentation arbeitet auf einer Ebene und bringt primär eine andere Darstellung. Das Paper nennt „dataflow“, „data structure“ und „control flow“ als Beispiele, die über Werkzeuge wie Diagramm Generatoren, Syntaxhervorhebung und Querverweis Generatoren erzeugt werden können. Das Kernziel sei es die Zusammenhänge und Ablaufpfade hervorzuheben.

Breiter angelegt ist das *Design Recovery*, das für die Designwiederherstellung externe Informationen, Schlussfolgerungen, und Unschärfelogik mit einbezieht, um sinnvolle Abstraktionen auf höherer Ebene zu identifizieren, welche nicht aus dem System selbst hätten gewonnen werden können.

Restructuring umfasst das Nachbauen einer Darstellung innerhalb einer Ebene. Funktionalität und Semantik bleiben erhalten, während die Darstellung umgestaltet wird. Als Beispiel wird die Umstellung von unstrukturiertem Spaghetti Code zu strukturiertem „goto“ freien Code genannt. Der Begriff umfasst auch Datenmodelle, Entwurfsmuster und Anforderungsstrukturen. Dabei genügt das Wissen über die Struktur, ohne die Bedeutung dahinter zu verstehen, beispielsweise können „if“ und „case“ Ausdrücke ineinander überführt werden, ohne zu verstehen wann welcher Fall eintritt. Normalerweise werden daher ohne Anpassung der Spezifikation keine Veränderungen vorgenommen. *Restructuring* ist oft eine Form der präventiven Instandhaltung.

Zuletzt wird der Begriff *Reengineering* oder auch „Renovation and Reclamation“ als nachträgliche, neu erstellte Form beschrieben. Dafür geht *Reverse Engineering* zum abstrakten Verständnis dem *Forward Engineering* oder *Restructuring* voraus. Beim *Reengineering* sind Anpassung der Spezifikation und Veränderungen durchaus möglich. Ähnlich zum *Restructuring* verändert das *Reengineering* die unterliegende Struktur, ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen. Jedoch passiert es selten, dass beim *Reengineering* keine weiteren Funktionalitäten hinzugefügt werden. Damit ist der Begriff *Reengineering* allgemeiner gefasst als das *Restructuring*. Aber *Reengineering* ist kein Überbegriff für *Reverse Engineering* und *Forward Engineering*, nur weil es beides beinhaltet. Beide Disziplinen entwickeln sich unabhängig vom *Reengineering* weiter.

Auch K. A. Ingle [Ing94] grenzt das Reverse Engineering von anderen Konzepten ab. Das *Reengineering* wird, im Gegensatz zu dem *Reverse Engineering*, beschrieben als Neustrukturierung des Programmcodes ohne funktionale Änderungen am System. Diese Beschreibung passt zum dem Begriff des *Restructuring* aus dem Paper von E. J. Chikofsky und J. H. Cross [CC90].

Beim *Simultaneous Engineering* greifen während einer Produktentwicklung mehrere Arbeitsabläufe frühzeitig verzahnt ineinander, um einen Zeitgewinn gegenüber eines traditionellen Projektablaufs zu erzielen. Die schnelle und einfache Reproduzierbarkeit sei beispielsweise nicht das direkte Ziel des *Reverse Engineering*, sondern ein Ziel des *Simultaneous Engineering*, schreibt K. A. Ingle. Dennoch könne aber die Idee des *Simultaneous Engineering* in das *Reverse Engineering* aufgenommen werden.

Eine weitere Differenzierung findet zwischen dem *Hardware*- und dem *Software Reverse Engineering* statt. *Software Reverse Engineering* verfolgt das Ziel aus dem Programm Code ein übergeordnetes Design oder Spezifikationsangaben zu extrahieren. *Hardware Reverse Engineering* hingegen befasst sich mit dem Fertigungs- oder Produktionssystem. Das Buch von 1994 sah aber schon ein Zusammenwachsen beider Bereiche durch den Einsatz und die Einbettung von immer mehr Software in Hardwaresystemen kommen. Die Relevanz des Reverse Engineering würde hoffentlich weiter steigen, um keine vorhandenen Softwaresysteme neu bauen zu müssen. K. A. Ingle schreibt: „The aim of reverse engineering is to increase productivity through improved documentation.“[[Ing94](#)]

Diese Arbeit greift den Gedanken auf und versucht den Einfluss und die Bedeutung einzelner Speicherstellen für weitere Arbeiten zu dokumentieren.

2.2 Stand der Technik

Eine Bachelorarbeit der Universität Magdeburg zum Thema „Reverse-engineering a De’Longhi Coffee Maker to precisely bill Coffee Consumption“[[Off18](#)] behandelt eine De’Longhi Kaffeemaschine. Das Ziel ist es, den Verbrauch exakt zu bestimmen und das System damit um ein Abrechnungssystem zu erweitern. Dafür wird eine Microcontroller Unit ([MCU](#)) über das Serial Peripheral Interface ([SPI](#)) zwischen Master und Slave Einheiten geschaltet und Informationen werden aus dem proprietären De’Longhi Protokoll ausgelesen. Das Ergebnis der Arbeit ist unter anderem ein Verständnis über das interne Bus Protokoll der Maschine.

Ein Buch von Eldad Eilam [[Eil05](#)] stellt den Begriff des Reverse Engineering ähnlich wie zu Beginn in Abschnitt [2.1](#) dar, geht aber im Folgenden tiefer auf das Reverse Engineering von Low-Level Software ein. Ein Hauptaugenmerk des Buches liegt auf der sicherheitsrelevanten Seite sowie den Vorgänge und Lücken im Low-Level Bereich.

Diese Arbeit hingegen nutzt als Ansatz eine gegebene serielle Schnittstelle des Jura Kaffeevollautomaten mit einem ebenfalls proprietären Universal Asynchronous Receiver Transmitter ([UART](#)) Protokoll. Dabei wird aber nicht die Hardware geöffnet und beispielsweise die Firmware disassembliert und analysiert.

Soucek, Russ und Tamarit haben sich in ihrem Paper [[SRT00](#)] mit dem Aufbau eines Feldbusses befasst, um mehrere Küchengeräte zu vernetzen und über ein Gateway in das Internet zu bringen.

Diese Arbeit erstellt auf der Basis der Ergebnisse in Kapitel [5](#) eine Schnittstelle für einen Computer, der wiederum als Server mehrere Endgeräte anbinden kann.

Hardware und Software

Dieses Kapitel führt die gegebenen und verwendeten Hard- und Software Komponenten in dieser Arbeit auf und schafft die Grundlage für die eigene Implementierung. Am Ende dieses Kapitels kann der Kaffeevollautomat bereits angesteuert werden.

3.1 Der Kaffeevollautomat

Der „Jura Impressa S9“, siehe Abbildung 3.1(a), ist ein Kaffeevollautomat mit fünf Kaffebezugstasten: Spezialkaffee, 1 große Tasse Kaffee, 2 große Tassen Kaffee, 1 kleine Tasse Kaffee und 2 kleine Tassen Kaffee. Auf der rechten Seite befinden sich Bedienelemente für heißes (Tee-)Wasser und Wasserdampf zum Milchaufschäumen. Der Kaffeevollautomat wird für seinen Betrieb direkt mit der Netzspannung versorgt.

3.1.1 Aufbau und Verkabelung

Hinter der linken Wartungsklappe an der Vorderseite des Kaffeevollautomaten befindet sich neben mehreren Menü-Tasten eine serielle Schnittstelle. Über ein eigenes **UART** Protokoll kann hierüber mit der Maschine kommuniziert werden.

Abbildung 3.1(b) illustriert die Pinbelegung. Die 5 Volt Leitung kann für ein autark laufendes Projekt genutzt werden. In dieser Arbeit bezieht der Arduino seine Versorgungsspannung über den am USB Kabel befindlichen Computer. Von TX nach RX werden Befehle an den Kaffeevollautomaten verschickt. Auf der Rückrichtung von RX nach TX werden Antworten des Kaffeevollautomaten gelesen. GND ist abschließend die gemeinsame Erdung und Bezugsleitung für die serielle Kommunikation. Auf der Abbildung kreuzen sich die Leitungen RXD und GND am Stecker auf Seiten des Kaffeevollautomaten. GND ist über eine schwarze Markierung gekennzeichnet.

Ein Arduino Uno übersetzt als „Man in the middle“ die bekannten Kommandos in das Format der Kaffeemaschine. Die serielle Kommunikation läuft über die Pins Nummer 12 und 13. Über eine weitere serielle Verbindung per USB lässt sich der Arduino ansteuern.

3 HARDWARE UND SOFTWARE



■ Abbildung 3.1: Der „Jura Impressa S9“ Kaffeevollautomat

Aus Sicht des Computers ist der Arduino ein Gerätelaufwerk unter `/dev/ttyACM0` mit einer Baudrate von 9600. Diese Zahl findet sich zu Beginn des Arduino Uno Skripts wieder.

3.1.2 Serielle Kommunikation

Diese Arbeit baut auf das „CoffeeMachine“ Projekt [Kö18] auf und nutzt das Arduino Skript als Grundlage der Kommunikation, ebenso werden Kommandos und erste Speicherstellen aus der Weboberfläche aufgegriffen. Das Arduino Skript kodiert die **UART** Kommandos von und zu dem Kaffeevollautomaten.

Die Kommandos werden zeichenweise **ASCII** Zeichen für Zeichen übertragen. Dafür wird ein an den Kaffeevollautomaten adressiertes Byte (ein **ASCII**-Zeichen), bestehend aus acht Bits, in je vier Bytes aufgeteilt. Die dritte und sechste Stelle der neuen Bytes repräsentieren je zwei Bits des ursprünglichen Bytes. Bei der Übertragung an den Kaffeevollautomaten werden die restlichen Bits mit Nullen aufgefüllt. Abbildung 3.2 veranschaulicht dies an dem ersten Byte des Einschaltbefehls, die entsprechende American Standard Code for Information Interchange (**ASCII**)-Kodierung ist in Abbildung A.4 der zweiten und dritten Spalte zu entnehmen. Die Kodierung der, von dem Kaffeevollautomaten kommenden, Bytes erfolgt analog. Laut „Protocoljura“¹ bestehen die irrelevanten Bits der ankommenden Bytes aus einer Null und weiteren fünf Einsen pro Byte.

¹http://protocoljura.wiki-site.com/index.php/Protocol_to_coffeemaker

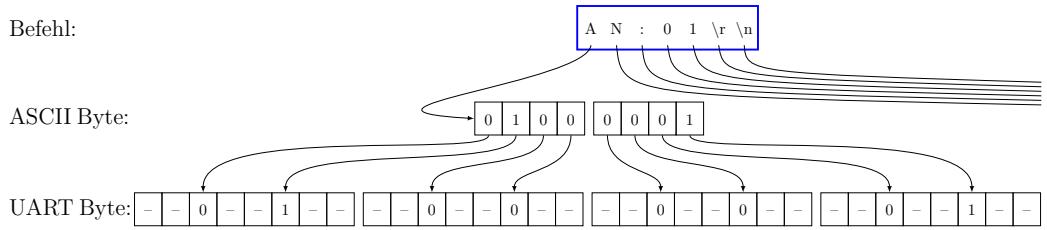


Abbildung 3.2: Umrechnung eines Befehls an den Kaffeevollautomaten

Vier Bytes kodieren auf diese Weise ein **ASCII** Zeichen und werden fortan als Gruppe bezeichnet. Zwischen jeder Gruppe gibt es eine Verzögerung von 8ms. Diese Verzögerung begrenzt hauptsächlich die Übertragungsgeschwindigkeit, was in Abschnitt 6.1.1 diskutiert wird.

3.1.3 Kommandos

Die Tabelle A.1 zeigt die Befehlsgruppen, sowie ausgewählte Befehle, die der Kaffeevollautomat versteht. Diese Befehle stammen aus dem „CoffeeMachine“ Projekt [Kö18].

Befehle beginnen entweder mit zwei Großbuchstaben, gefolgt von einem Doppelpunkt und i.d.R. einer zweistelligen Hexadezimalzahl, oder sie beginnen mit einem Fragezeichen gefolgt von i.d.R. zwei **ASCII**-Zeichen. Positionsnummern, egal ob Speicherposition, Betriebszustands-, Bezugstasten- oder Steuerungskomponenten-Nummer, werden durch zweistellige Hexadezimalzahlen repräsentiert und reichen von $0_{16} = 0_{10}$ bis $FF_{16} = 255_{10}$.

Zwei Ausnahmen des ersten Typs sind z.B. **TY** : zum Abfragen des Maschinen Typs und **WE:00,01FF** zum Schreiben des Wertes $01FF_{16} = 511_{10}$ an die Position 00. Eine Ausnahme des zweiten Typs ist z.B. **?D1DISPLAY_** und **?D2__TEST__**. Der volle Umfang möglicher Displayzeichen, sowie deren Benutzung, wird in Abschnitt 5.4 ausgeführt.

Einige Befehle, die aus weiteren Projekten mit Maschinen der S-Reihe bekannt sind, sind in dieser „Jura Impressa S9“ leider nicht implementiert. Dazu zählen **I_C** : zum Auslesen aller Eingaben, **FA:0A** eine unbelegte Bezugstaste, **CM** : für weitere Status Informationen, **CS** : für Sensor Informationen und **PM**: ein Befehl um Musik abzuspielen. Weitere Befehlsgruppen werden in der **README.rst** eines Github Repositories aufgeführt².

Die jetzt vorhandene Umgebung kann bereits über den seriellen Monitor der Arduino Integrated Development Environment (**IDE**) genutzt werden.

²<https://github.com/PromyLOPh/juramote>

3 HARDWARE UND SOFTWARE

3.1.4 Speicher

Über die Befehle RE:<address>, RT:<address> und RR:<address> sind Lesebefehle zu zwei Speichereinheiten des Kaffeevollautomaten bekannt: dem Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory ([EEPROM](#)) und dem Random-Access Memory ([RAM](#)).

EEPROM

Über den Befehl RT:<address>, siehe Tabelle A.1, lässt sich eine Zeile [EEPROM](#) Speicher abfragen. Die Adresse reicht von 0x00 bis 0xF0 in sechzehner Sprüngen.³ Als Antwort erhält man hinter dem kleingeschriebenen Kommando eine Zeichenkette bestehend aus 64 Hexadezimalzahlen. Da immer zwei Hexadezimalzahlen ein Byte⁴ repräsentieren, umfasst eine [EEPROM](#) Zeile **32 Bytes**. Der gesamte [EEPROM](#) umfasst damit insgesamt **512 Bytes**.

Über den Befehl RE:<address> können direkt Einheiten im [EEPROM](#) abgefragt werden. Die Adresse reicht von 0x00 bis 0xFF. Die kleinste adressierbare Einheit, das Wort, besteht daher aus vier Hexadezimalzahlen, also **2 Bytes**⁵.

Abbildung A.1(a) zeigt das Speicherschema des [EEPROM](#).

RAM

Der Lesebefehl für eine [RAM](#) Zeile lautet: RR:<address>. Man ist aber nicht gezwungen, am Zeilenanfang zu starten. Die Adresse reicht hier von 0x00 bis 0xFF. Als Antwort erhält man hinter dem kleingeschriebenen Kommando eine Zeichenkette bestehend aus 32 Hexadezimalzahlen, also **16 Bytes**. Bei einer Adresse größer als 0xF0 gibt es einen Zählerüberlauf und es werden wieder die ersten Bytes zurück gegeben. Der gesamte [RAM](#) Speicher verfügt, ähnlich zu RT im [EEPROM](#), über sechzehn Zeilen mit je 16 Bytes, also insgesamt **256 Bytes**. Daraus ergibt sich, dass die kleinste Einheit, ein Byte, aus zwei Hexadezimalzahlen besteht.

Abbildung A.1(b) zeigt das Speicherschema des [RAM](#).

3.2 Libraries und Frameworks

Diese Arbeit nutzt „libraries“ und „frameworks“. „Libraries“ sind thematisch gebündelte Funktionen und Routinen. Sie bieten eine Programmierschnittstelle (engl. Application Programming Interface) ([API](#)), die das eigene Programm ansprechen kann.

³Man ist daran aber nicht gebunden und kann wie im Folgenden beim [RAM](#) erklärt die Adressen von 0x00 bis 0xFF nutzen. Dies wird in dieser Arbeit auf den [EEPROM](#) aber **nicht angewendet**.

⁴Ein Byte besteht aus 8 Bits mit einem Wertebereich von $0_{10} - 255_{10} = 00_{16} - FF_{16} = 0x00 - 0xFF$.

⁵Zwei Bytes bestehen aus 16 Bits mit einem Wertebereich von $0_{10} - 65\,535_{10} = 00_{16} - FFFF_{16}$.

„Frameworks“ bieten daneben ganze Programmiergerüste und Routinen. Sie rufen, wenn nötig, selbst vorgesehene Funktionen auf und folgen damit dem Paradigma des „Inversion of Control“.

Auf dem aktuellen Stand bieten beide nicht nur leicht zugängliche Aufrufe, sondern sind auch sicher und robust in ihrem Einsatzgebiet.

3.2.1 Serielle Kommunikation

Bei dem Versuch die Grätedatei direkt anzusprechen kam es zu Problemen, die in Abschnitt 6.1.2 erörtert werden. Für die zuverlässige serielle Kommunikation kommt daher eine geeignete Library zum Einsatz.

libserial

Das selbst entwickelte C++ Programm nutzt „libserial“⁶ um sicher und zuverlässig über das Gerätelaufwerk mit dem Arduino (und letztlich dem Kaffeevollautomaten) zu kommunizieren. Diese Bibliothek bietet eine objektorientierte Schnittstelle für alle Portable Operating System Interface (**POSIX**) Systeme und ist unter Linux über die Paketverwaltung installierbar.

3.2.2 Speicher- und Austauschformat

Sowohl bei der Untersuchung des Speichers, als auch am Ende für das aufbereitete Ergebnis, werden Informationen gesammelt, verglichen und öffentlich zugänglich gemacht. Als beliebtes und flexibles Speicherformat wird in dieser Arbeit JavaScript Object Notation (**JSON**) verwendet. Es bietet viele Datenformate und ist unbegrenzt verschachtelbar. In dieser Arbeit werden hauptsächlich Zeichenketten, Zahlen, Unter-Objekte und -Arrays verwendet. Darüber hinaus kann es leicht vom C++ Programm, der Webseite, oder auch für viele weitere Projekte genutzt werden.

Kamilaris, Pitsillides und Trifa nennen in ihrem Paper [KPT11] alternativ noch Extensible Markup Language (**XML**) als oft verwendetes, aber recht langatmiges maschinenlesbares Dateiformat.

libjsoncpp

Die „libjsoncpp“⁷ bietet dem C++ Programm eine Lese- und Syntaxanalyse-Funktion zum Aufnehmen eines **JSON** Ausdrucks und eine Möglichkeit, ein **JSON** Objekt kompakt zusammengefasst oder leserfreundlich aufgefächert in einen Ausgabestrom zu schreiben. Als

⁶<https://github.com/crayzeewulf/libserial>

⁷<https://en.wikibooks.org/wiki/JsonCpp>

3 HARDWARE UND SOFTWARE

Ausgabestrom sind reine **JSON** Dateien nach einer Speicherauszugs-Aufnahme oder die Standardausgabe im Gebrauch als API vorstellbar.

3.2.3 Webseite

Eine kleine Webseite soll am Ende die ausgelesenen Werte visuell anschaulich präsentieren. Die JavaScript-Bibliothek jQuery und das Framework Bootstrap helfen dabei, dies zügig und ansprechend umzusetzen.

Bootstrap

Bootstrap⁸ ist ein von den Twitter Entwicklern begonnenes Projekt, um ursprünglich intern die Verwaltungswerzeuge zu vereinheitlichen. Daraus ist ein ganzes System an Design-Elementen geworden, welches heute sehr populär ist. Hypertext Markup Language (**HTML**), Cascading Style Sheets (**CSS**) und JavaScript (**JS**) werden zusammen eingesetzt und bieten Entwicklern eine Gitteranordnung für eine Mobile- und die Desktop-Ansicht, Inhaltselemente wie Tabellen und Abbildungen oder auch einzelne Komponenten wie Steckkarten, Prozentanzeigen und Knöpfe.

jQuery

jQuery⁹ ist eine freie **JS**-Bibliothek, die in der „slim“-Variante bereits über Bootstrap eingebunden ist. Um später wirklich mit dem Kaffeevollautomaten interagieren zu können, wird unter anderem Asynchronous JavaScript and XML (**AJAX**) aus dem vollständigen jQuery Paket benötigt (auch wenn daraus später ein synchrones JavaScript mit **JSON** wird).

Über das Content Delivery Network (**CDN**) eingebundene Paket stehen ab jetzt einfache Programmierschnittstellen zum Modifizieren der **HTML** Elemente, ein erweitertes Event-System, sowie **AJAX**-Funktionalitäten bereit.

JavaScript Cookie

JavaScript Cookie¹⁰ ist eine kleine JavaScript-**API**. Sie vereinfacht es, Webbrowser-Kekse (Cookies) zum Ablegen persönlicher Einstellungen zu erzeugen, zu bearbeiten und zu entfernen.

⁸<https://getbootstrap.com/>

⁹<https://jquery.com/>

¹⁰<https://github.com/js-cookie/js-cookie/>

Intro.js

Zu guter Letzt folgt mit Intro.js¹¹ noch eine Schritt-für-Schritt-Anleitung, die dem Seitenbenutzer eine kurze Einführung in den Aufbau und die Bedienung der Webseite geben soll.

¹¹<https://introjs.com/>

Methodik und Implementierung

Dieses Kapitel führt das Vorgehen und die Implementierung eines C++ Programms aus. Dadurch wird es möglich, Aussagen über den Speicher des Kaffeevollautomaten zu treffen. Immer wiederkehrende Arbeitsabläufe werden von diesem Programm übernommen und auf den unteren Ebenen automatisiert.

4.1 Vorgehen

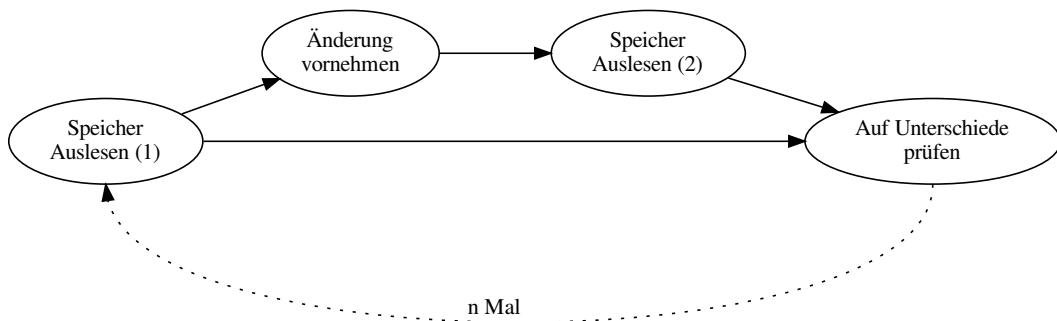
Die Speicher des Kaffeevollautomaten, der **EEPROM** und der **RAM**, können zeilenweise ausgelesen werden. Der nötige Zugriff zum Auslesen kann auf zwei Arten erfolgen: direkt am Speicherstein auf der Hauptplatine oder seriell über die vorhandene **UART** Schnittstelle. Abschnitt 6.1.1 diskutiert die Vor- und Nachteile, die dazu geführt haben im Folgenden die Kommunikation über die **UART** Schnittstelle und mithilfe der *libserial*-Library erfolgen zu lassen. Dadurch kann die Speicherabfrage als Blackbox Modell, ähnlich zum Blackbox Testing in [Sal09], betrachtet werden, wo nur mit Ein- und Ausgaben des Kaffeevollautomaten gearbeitet wird, ohne dessen Programm zu kennen.

Unabhängig voneinander wurden beide Speicher untersucht. Ein eigens entwickeltes C++ Programm setzt die sechzehn Zeilen einer Speicherabfrage zu einem gesamten Speicherauszug zusammen. Intern werden dabei je zwei Hexadezimalzahlen in eine ganzzahlige Dezimalzahl umgerechnet und in einem Vektor abgelegt. Dadurch sind Position und Wert bekannt.

Abbildung 4.1 visualisiert den Arbeitsablauf, der zur Bestimmung der Speicherstellen in dieser Arbeit angewandt wurde. Nach dem ersten Schritt ganz links wird nun von Hand eine möglichst elementare Veränderung an dem Kaffeevollautomaten vorgenommen, um gezielten Aktionen die Werteänderungen bestimmter Speicherzellen zuordnen zu können. Die angewandten Veränderungen werden in Abschnitt 4.1.1 beschrieben.

Nach einer erneuten Aufnahme eines Speicherauszugs können diese beiden nun verglichen werden. Das Programm iteriert durch den Vektor und vergleicht die Speicherwerte an der glei-

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG



■ Abbildung 4.1: Arbeitsablauf zur systematischen Untersuchung des EEPROMs und RAMs

chen Position. Bei Ungleichheit existiert ein Unterschied, der festgehalten wird. Dieser Ablauf wurde auf alle Einstellmöglichkeiten und Funktionen des Kaffeevollautomaten angewandt.

Bei dem **RAM**, im Gegensatz zum **EEPROM**, fiel jedoch auf, dass sich mehrere Speicherwerte auch ohne eine vorgenommene Veränderung änderten. Deshalb wurden viele Speicherauszüge im Ruhezustand aufgenommen und die sich regelmäßig ändernden Bytes ausgeschlossen. Zu Beginn der Ergebnisse über den **RAM** in Abschnitt 5.2 sind diese aufgeführt. Dennoch gab es gelegentliche Unregelmäßigkeiten, sodass das Vorgehen für den **RAM** um eine geschlossene Rückrichtung ergänzt wurde. In der Regel wurden pro **RAM** Funktion $n = 3$ Durchläufe vorgenommen und die gemeinsame Schnittmenge der Veränderungen bestimmt.

Bei einem zweiten Vorgehen wurde gezielt der **EEPROM** an bekannten Speicherstellen beschrieben. Hintergrund war die unbekannte Position bzw. später die Zusammensetzung des Beziege-Zählers im Einstellungsmenü des Kaffeevollautomaten. Abschnitt 4.1.2 führt dies im Folgenden aus.

4.1.1 Veränderungen zur Bestimmung der Speicherstellen

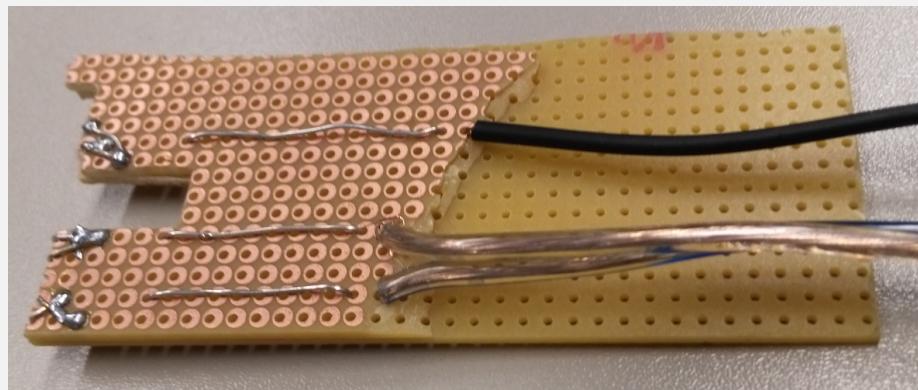
Für den **EEPROM** war es hilfreich, systematisch durch das Handbuch der Maschine zu gehen und zum Beispiel immer eine Menüoption zu variieren. Bei einer Skala (wie z.B. beim Kaffeepulver) hat es ausgereicht, den niedrigsten, den höchsten und den Standard-Wert im Speicher zu bestimmen; deckte sich die einstellbare Anzahl an Abstufungen mit der Differenz der Werte im Speicher, ließ sich auf die verbleibenden Werte schließen. Auch im normalen Gebrauch fiel unter anderem ein Einschaltzähler im **EEPROM** auf.

Für den **RAM** ging es mit den gezielt auslösbar Statusmeldungen los. Das Anheben des Wassertanks oder das Abziehen der unteren Schale löste eine Warnmeldung auf dem Display aus und wurde auch im **RAM** vermerkt. Ein zu hoher Wasserstand in der Schale konnte ohne Wasser mit einer eigenen Platine vorgegaukelt werden. Abbildung 4.2(a) zeigt die Fassung an der Rückwand innerhalb des Kaffeevollautomaten für die Schale. Abbildung 4.2(b) und

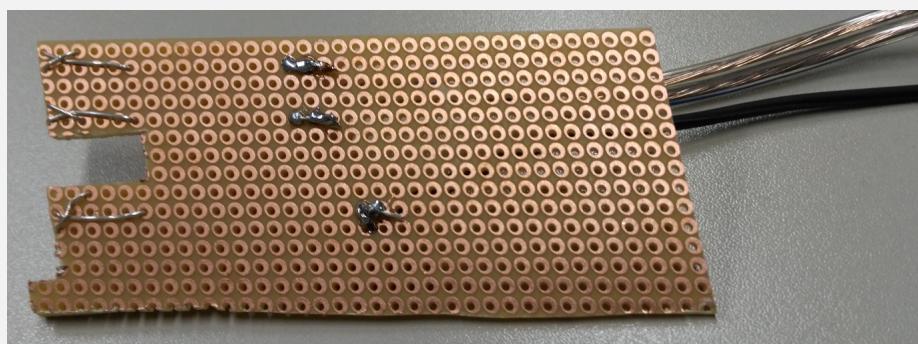
4.1 VORGEHEN



(a) Dargestellt ist die Fassung im Kaffeevollautomaten.



(b) Zu sehen ist die Oberseite des Ersatzes für die Schale.



(c) Zu sehen ist die Unterseite des Ersatzes für die Schale.

■ **Abbildung 4.2:** Ersatz der Schale des Kaffeevollautomaten

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG

4.2(c) visualisieren die Platine, an der leicht von außen mittels Krokodilklemmen die Kontakte im Inneren kurzgeschlossen werden konnten. Am schwierigsten sind komplexe Abläufe, wie die Zubereitung eines Kaffees. Hier konnte nur mehrfach zu gezielt gleichen oder ungleichen Zeitabständen der zweite Speicherauszug angestoßen werden.

Abschließend war auch für das Display ein kleines Programm nötig, um die volle Funktionsvielfalt festzustellen. Abschnitt 4.3 führt dies später aus.

In Abschnitt 6.2 wird die Aussagekraft dieser Ergebnisse noch diskutiert.

4.1.2 EEPROM gezielt beschreiben

Ziel war es die unbekannte Position bzw. später die Zusammensetzung des Beziege-Zählers im Einstellungsmenü des Kaffeevollautomaten zu entziffern. Dafür wurde die angezeigt Zahl in eine Hexadezimalzahl umgerechnet und im Speicherauszug des EEPROM des Kaffeevollautomaten gesucht. Da die Zahl eine Stromunterbrechung überstand und eine Änderung des einzigen übereinstimmenden Wertependants in Wort 15_{16} keine Änderung der Ausgabe hervorrief, begann die Suche an weiteren bekannten Speicherstellen im EEPROM. Bekannte Zähler in Wörtern wie 00_{16} , 01_{16} , 02_{16} , $0D_{16}$, $0E_{16}$ oder mehreren weiteren wurden einzeln auf sehr hohe Werte geändert. Manche Änderungen veränderten den Beziege-Zähler oder lösten Warnmeldungen an dem Kaffeevollautomaten aus.

Es folgte die Erkenntnis, dass sich der Beziege-Zähler aus mehreren Zählern zusammensetzt. Der Treter Füllstand in der Schale wird nicht gemessen, sondern im Betrieb gezählt, um den Füllstand zu erfassen. Auch die Reinigungsankündigung beruht auf Zählerständen über Kaffeebezüge und Spülungen. Die Wasser-Durchflussmenge des Filters wird ebenfalls erfasst und ab einem festen Wert eine Warnmeldung zum Wechseln ausgegeben.

Das gezielte Eingreifen in die Zählerstände ließ es zu, diese Grenzwerte exakt zu bestimmen. Die Ergebnisse befinden sich in Abschnitt 5.1.1.

4.2 Das C++ Programm „./JuraCoffeeMemory“

Für diese Arbeit wurde ein C++ Programm entwickelt, das die Kommunikation und die Aufschlüsselung der Antworten übernommen hat.

4.2.1 Makefile

In dem Projekt Ordner befinden sich auf der Hauptebene mehrere CPP- und HPP-, eine H- sowie eine Makefile-Datei. Sind die in der Readme .md genannten Abhängigkeiten und Voraussetzungen erfüllt, kann das Projekt mit dem Befehl make ohne Zusatzangaben kompiliert werden. Am Ende sollte dann auf der Hauptebene eine ausführbare Datei namens ./JuraCoffeeMemory herauskommen. Es werden neben Objekt-Dateien auch noch einige

4.2 DAS C++ PROGRAMM „./JURACOFFEEMEMORY“

weitere Tools im Unterordner `./tools/` erstellt, auf die später in Abschnitt 4.3 eingegangen wird.

Der Befehl `make clean` entfernt die Objekt-Dateien; mittels `make dist-clean` werden ebenfalls die ausführbaren Programme entfernt und der Projekt-Ordner wird in seinen Ursprungszustand zurück versetzt.

4.2.2 Interaktives Menü

Startet man in einem Terminal das Hauptprogramm `./JuraCoffeeMemory` wird das Hauptmenü angezeigt. Abbildung 4.3(a) visualisiert diesen Zustand. Das Listing 4.1 zeigt schematisch alle Menüoptionen.

```
Main Menu
|-- 1: EEPROM Skript
|-- 2: Ram Skript
|-- 4: Send a command
|-- 6: Dump EEPROM
|-- 7: Dump RAM
|-- 9: Options
|   |-- 1: Device path (/dev/ttyACM0)
|   |-- 2: EEPROM log file path (data/eeprom.json)
|   |-- 3: Ram log file path (data/ram.json)
|   '-- 4: Back
|-- 0: Analyse existing dumps
|   |-- Analyse Dumps Menu
|   |   |-- data/xxx.json
|   |   |   '-- Dumps
|   |   |-- C: Clear window
|   |   '-- Q: Quit
|   '-- Q: Quit
`-- Q / q / quit / exit: To leave
```

■ Listing 4.1: Menü-Baum `./JuraCoffeeMemory`

EEPROM / RAM Skript

Über die Nummer 1 startet aus dem Hauptmenü das *EEPROM Skript*, über die 2 das *RAM Skript*. Siehe hierfür Abbildung 4.3(b). In beiden Fällen wird das Vorgehen in Abschnitt 4.1 angewendet. Das Skript erzeugt initial einen Speicherauszug und merkt sich diesen. Der Anwender kann sich diesen über die Eingabe S ausgeben lassen oder an diesem Punkt über Q das Skript beenden. Um fortzufahren kann nun eine Aktion vorgenommen oder direkt ein Befehl abgesetzt werden. Das Skript erstellt im Anschluss einen weiteren Speicherauszug und fragt nach einem Kommentar zu den vorgenommenen Änderungen. Nach einer Texteingabe vergleicht das Programm die Speicherauszüge und hält Unterschiede in der Standardausgabe

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG

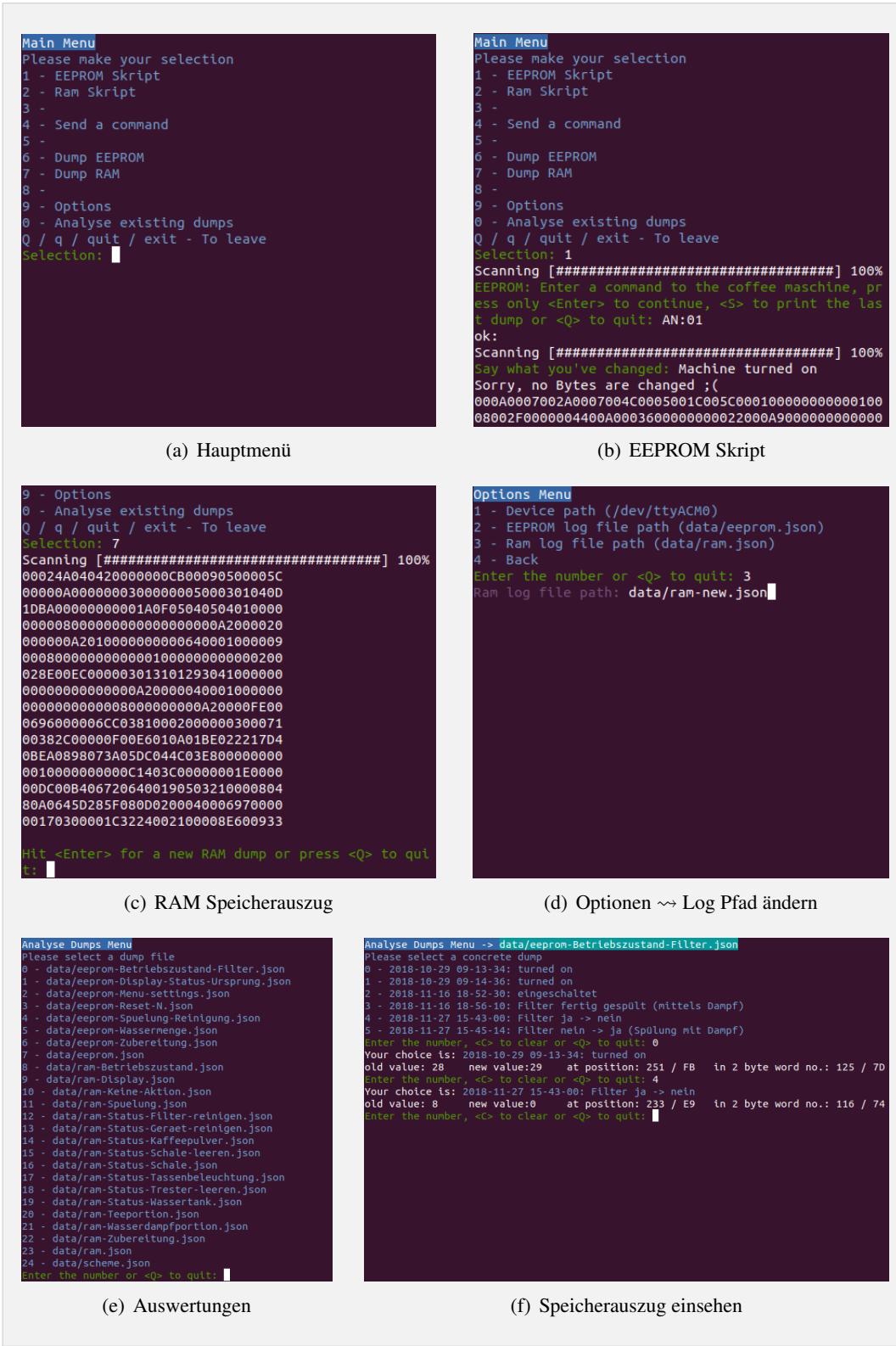


Abbildung 4.3: Interaktives Menü des C++ Programms „JuraCoffeeMemory“

4.2 DAS C++ PROGRAMM „/JURACOFFEEMEMORY“

und der **JSON** Ausgabedatei fest. Ebenso werden in der **JSON** Datei jedes Mal beide Speicherauszüge mit Zeitstempel und Kommentar abgelegt. Das Skript verwirft den vorletzten Speicherauszug und bietet die Fortführung mit dem Anwender Menü an.

Einen Befehl abschicken

Über die Nummer 4 startet aus dem Hauptmenü eine immer wiederkehrende Eingabeaufforderung, in der Befehle aus der Tabelle A.1 an den Kaffeevollautomaten verschickt werden können. Hierüber kann schnell ein Funktionstest der Verbindung zum Kaffeevollautomaten vorgenommen werden. Über Q kehrt der Anwender in das Hauptmenü zurück.

Speicherauszug

Über die Nummer 6 bzw. Nummer 7 kann ein einzelner Speicherauszug des **EEPROMs** bzw. des **RAMs** erstellt werden, der unverzüglich in der Standardausgabe ausgegeben wird. Abbildung 4.3(c) zeigt einen Speicherauszug des **RAMs**. Diese Funktion ist ein Teil des **EEPROM** bzw. **RAM** Skripts. Es fragt aber nicht nach einem Kommentar und fungiert rein lesend. Mithilfe des Hilfsprogramms zum Formatieren eines Speicherauszugs aus Abschnitt 4.3.1 kann man den Speicherauszug um Positionsangaben aufwerten und Speicherwerte dadurch kontrollieren.

Optionen

Über die Nummer 9 gelangt der Anwender in das Optionsmenü, wie in Abbildung 4.3(d) dargestellt. Es können für den aktuellen Prozess der Pfad zum Gerätelaufwerk des Arduinos und die Ausgabedateien für das **EEPROM** und **RAM** Skript angepasst werden. Nach der Eingabe eines neuen Pfades wird dieser sofort übernommen und angezeigt. Über die Nummer 4 kehrt der Anwender in das Hauptmenü zurück.

Analyse aufgenommener Speicherauszüge

In der **JSON** Datei werden im Knoten "data" die Wertänderungen hinter jedem entsprechenden Byte inklusive Kommentar festgehalten. Nach mehreren Durchläufen des **EEPROM** / **RAM** Skripts können hier schon direkt einige Zugehörigkeiten abgelesen werden.

Das C++ Programm bietet über die Nummer 0 auch die Option Unterschiede einzelner Aufnahmen über das Skript erneut auszugeben. Zuerst werden sämtliche **JSON** Dateien im Unterordner **data/** aufgelistet, siehe Abbildung 4.3(e). Nach der Wahl einer Datei wird eine Übersicht aller darin enthaltener Speicherauszüge ausgegeben. Durch die Wahl der entsprechenden Nummer werden der Kommentar und die veränderten Werte pro Byte aufgeschlüsselt.

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG

In Abbildung 4.3(f) ist dies für zwei Speicherauszüge dargestellt, die jeweils nur eine Änderung beinhalten.

Angaben in der Aufschlüsselung der Veränderungen

Sowohl im **EEPROM / RAM** Skript als auch in der Analyse aufgenommener Speicherauszüge können Veränderungen eingesehen werden. Das erste Beispiel aus Abbildung 4.3(f) lautet:

```
Your choice is: 2018-10-29 09-13-34: turned on  
old value: 28 new value:29 at position: 251 / FB in 2 byte word no.: 125 / 7D
```

■ **Listing 4.2:** Beispiel einer Abweichung zweier Speicherauszüge

Diese Ausgabe ist für den **EEPROM** und **RAM** prinzipiell gleich, die relevanten Stellen sind aber leicht verschieden. Zu Beginn erscheint die Uhrzeit und der bei der Aufnahme eingegebene Kommentar. Pro Zeile folgt danach eine Änderung. In diesem Fall änderte sich der Wert von 28 auf 29. Diese Aufnahme kommt aus dem **EEPROM**, für den die Befehle auf den 2 Byte *Wort* Adressen beruhen. Möchte man diesen Wert verändern, ist die letzte Spalte mit der hexadezimalen Zahl von Bedeutung, zum Beispiel WE : 7D, xxxx.

Für den **RAM** ist die normale Position eines Bytes von Bedeutung, hier würde sich der dezimale Wert 29 an der Position FB befinden. Über den Befehl RR:FB bekäme man die 29 als anfängliche Hexadezimalzahl zurück gegeben.

Farbcodierungen

Die verwendeten Farben sollen dem Anwender Orientierung und Struktur bei der Benutzung verschaffen. Normale Ausgaben und Benutzereingaben erscheinen in weißer Schrift. Weiße Schrift auf blauem Grund stellt Menü-Überschriften dar. In blauer Schrift sind Menüs dargestellt. Grüne Schrift vor der blinkenden Eingabemarke fordert zur Eingabe auf. Der Text beschreibt valide Eingaben. Abschließend beschreibt roter Text einen Fehler. Die aufgetretene Position wird in weißer Schrift auf rotem Grund hervorgehoben.

4.2.3 Die API nach außen

Das Hauptprogramm kann auch über vier Parameter aufgerufen werden. Die Ausgaben sind dann im fehlerfreien Fall farblose **JSON** Zeichenketten oder einfacher Text in die Standardausgabe.

Mögliche Fehlermeldungen sind für Entwickler in der `Readme.md` dokumentiert. Die Fehlerausgabe erfolgt wie im interaktiven Menü mit Farben. Für Entwickler bietet sich daher der Rückgabewert des Programms an.

4.2 DAS C++ PROGRAMM „./JURACOFFEEMEMORY“

./JuraCoffeeMemory command Von der Standardeingabe wird eine Zeichenkette erwartet, die an den Kaffeevollautomaten weiter gegeben wird. Mögliche Eingaben sind die Befehle aus der Tabelle A.1. Die Antwort des Kaffeevollautomaten erscheint als einfacher Text.

./JuraCoffeeMemory eepromWrite Bei diesem Aufruf wird von der Standardeingabe ein **JSON** Objekt erwartet. Alle dort genannten Bezeichnungen werden abgearbeitet und die neuen Werte im Speicher des Kaffeevollautomaten hinterlegt. Auf der obersten Ebene müssen sich aus `EEPROM_Status::getEntriesEEPROM()` bekannte Bezeichnungen befinden, die ein Unterobjekt mit der Bezeichnung `value` sowie je einen ganzzahligen Wert beinhalten. Listing 4.3 veranschaulicht dies an einem Beispiel.

Treffen die Bedingungen zu, wird ein Schreib-Befehl an den Kaffeevollautomaten gesandt. Die Antworten werden in einer Zeichenkette mit der verwendeten Bezeichnung und dem Text „###“ als Abstandshalter festgehalten und auf der Standardausgabe ausgegeben. Die Antwort auf das Beispiel Listing 4.3 steht in Listing 4.4.

```
{  
    "powder_quantity_special_coffee": {  
        "value": 11  
    },  
    "water_quantity_special_coffee": {  
        "value": 380  
    }  
}
```

■ Listing 4.3: Beispiel einer JSON Eingabe für./JuraCoffeeMemory eepromWrite

```
ok: powder_quantity_special_coffee###ok: water_quantity_special_coffee###
```

■ Listing 4.4: Antwort auf das Beispiel der JSON Eingabe

./JuraCoffeeMemory eeprom Nach ungefähr fünf Sekunden erhält man die aktuellen Einstellungen und Zählerstände des **EEPROM** in einem kompakten **JSON** Objekt. Im Gegensatz zum EEPROM Skript werden nur die nötigen Speicherstellen abgefragt. Die Bezeichnung der Speicherstellen, die auch der Name eines **JSON** Eintrags ist, befindet sich mit der zugehörigen Adresse in `EEPROM_Status::getEntriesEEPROM()`. Eine Adresse besteht aus der Position eines Wortes sowie einer oder beider Bytes. Von Hand sind dort zum Teil weitere Hintergrundinformationen, wie Standardwerte über die [N]-Taste des Kaffeevollautomaten, minimale und maximale Schranken, der Wert für einen deaktivierten Zustand oder überhaupt zulässige Werte hinterlegt.

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG

./JuraCoffeeMemory ram Ähnlich zum Abfragen des EEPROM wird hier aber der RAM in ungefähr drei Sekunden an den entscheidenden Stellen ausgelesen. Die Assoziation einer Bezeichnung mit ihrer Speicherposition geschieht in RAM_Status::getEntriesRAM(). Hier wird ein Byte und ggf. mehrere zusammenhängende Bits als ein Eintrag abgelegt. Als Ausgabe erfolgt ein kompaktes JSON Objekt.

4.2.4 Technische Umsetzung

Die Hauptdatei ist die JuraCoffeeMemory.cpp aus der später auch das ausführbare Programm ./JuraCoffeeMemory erzeugt wird. Die main-Funktion fängt die Argumente vom Programm Aufruf ab und übergibt entsprechend an die EEPROM_Status bzw. RAM_Status für die API oder leitet den Anwender durch das interaktive Menü.

Beim Aufruf des EEPROM Skripts wird die eeprom-Funktion betreten, für den RAM analog die ram-Funktion. Diese Funktionen bauen zu Beginn eine serielle Verbindung zum Arduino auf und blockieren damit alle anderen Prozesse. Danach wird eine Instanz der gleichnamigen Klasse erzeugt. Der Konstruktor liest dabei den Speicher aus und füllt Zeile für Zeile den raw Vektor in der Elternklasse Storage. Abschließend veranlasst der Konstruktor die Umrechnung der hexadezimalen Zeichenketten in einen langen Vektor aus einzelnen Werten, die in bytes abgelegt werden. Die Instanz wird mit dem Präfix old in der Ursprungsfunktion abgespeichert.

Dem Anwender wird, wie in Abschnitt 4.2.2 beschrieben, ein Menü präsentiert. Im Falle einer Eingabe in Form eines Befehls, wird diese über die serielle Verbindung gesendet und blockierend eine Antwort abgewartet, die dem Anwender ausgegeben wird. Gemäß dem Vorgehen in Abschnitt 4.1 wird ein weiterer Speicherauszug erstellt und die neue Instanz mit dem Präfix new abgespeichert.

Die Klasse Storage bietet zum byteweisen Abgleich eine Methode mit dem Namen diffBytesWith. Argumente sind eine weitere Instanz mit der verglichen wird, ein Vektor mit ausgeschlossenen Bytes, ein Merker ob in die JSON Datei geschrieben werden soll und ob bereits ein Kommentar vorliegt. Das EEPROM / RAM Skript nutzt ausschließlich das erste obligatorische Argument, indem die new Instanz die Methode und im Argument die old Instanz auruft. Die ram-Funktion nutzt an dieser Stelle zusätzlich das erste optionale Argument und exkludiert die im Vorgehen in Abschnitt 4.1 angesprochenen schwankenden Bytes, die in den Ergebnissen in Abschnitt 5.2 explizit genannt werden. Die nachträgliche Analyse wertet die Unterschiede erneut aus, nutzt aber die letzten beiden optionalen Argumente, um ein erneutes Beschreiben der JSON Datei mit den bereits vorliegenden Ergebnissen zu unterdrücken. Der Kommentar als letztes Argument wird in diesem Fall einfach nur ausgegeben, statt den Anwender nach einem Neuen zu fragen.

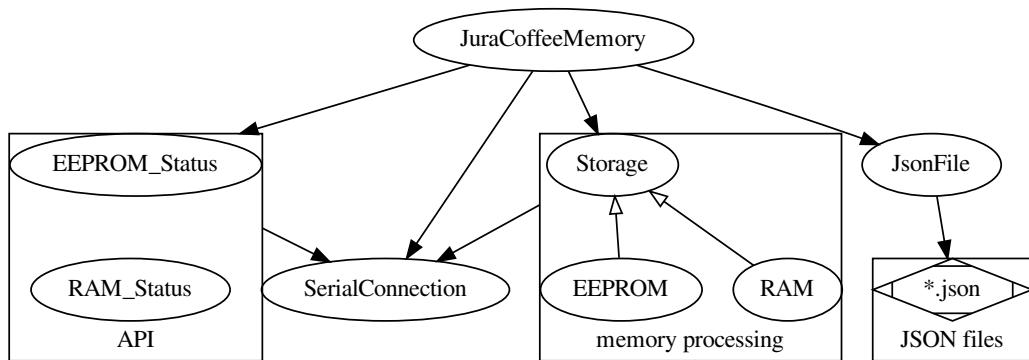


Abbildung 4.4: Schematischer Zusammenhang und Gruppierung der C++ Klassen

Zurück in der `eeprom- / ram`-Funktion der `JuraCoffeeMemory.cpp` wird die `old` Instanz freigegeben und die aktuelle `new` Instanz zur neuen `old` Instanz umbenannt, damit der Anwender das Verfahren wiederholen kann.

Zugrunde liegende Klassenstruktur

Abbildung 4.4 zeigt die Klasse `Storage` mit ihren Kindern `EEPROM`, `RAM`, `EEPROM_Status` und `RAM_Status`.

!!!ToDo!!!

4.3 Weitere kleine Tools

Im Unterordner `./tools/` befinden sich nach dem Aufruf von `make` drei kleine Programme.

4.3.1 Formatieren eines Speicherauszugs

Ruft man `./tools/format=dump` auf, kann man dem Programm eine Zeichenkette aus 1024 oder 512 Hexadezimalzeichen übergeben. Das Programm erkennt an der Größe `EEPROM` und `RAM` Eingaben und wertet den Speicherauszug um Angaben wie die Speicherposition und Dezimal-/Hexadezimalzahlen Formate auf.

4.3.2 Display

Um den verfügbaren Zeichensatz des Displays in der oberen linken Ecke an der Front des Kaffeevollautomaten zu bestimmen, wurde ein kleines Extraprogramm entwickelt. Anlass waren Sonderzeichen und die deutschen Umlaute, die sich über die gegebenen Befehle (`?D0`, `?D1xxx`, `?D2xxx`) nicht einfach auf das Display bringen ließen. Das Programm

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG

`./tools/display` iterierte dafür systematisch über die Zahlen von 0 bis ungefähr 260 und gab einen Befehl zum Anzeigen der Dezimalzahl sowie des dazugehörigen **ASCII**-Zeichens an den Kaffeevollautomaten. Dies umfasst das einfache und erweiterte **ASCII** Alphabet sowie einige weitere Zahlen bzw. Zeichen. Dabei stellte sich nur ein mittlerer Block des einfachen **ASCII**-Alphabets als interessant heraus, der jetzt eingegrenzt von eben diesem Programm durchlaufen wird. Ein weiteres Programm namens `./tools/display-screen-saver` veranschaulicht die damit verbundenen Möglichkeiten.

Die gegebenen Befehle über die serielle Verbindung `?D0`, `?D1xxx` und `?D2xxx` verändern nur den Standardtext „Kaffee bereit“. Andere Texte, wie das Programmenü oder Warnmeldungen, überlagern den Standardtext mit den einprogrammierten Texten aus den vorhandenen Sprachen.

Möchte man die Ausgaben des ersten Programms nachstellen, ist zu beachten, dass der Kaffeevollautomat eingeschaltet sein muss und auch an die erste Displayzeile ein Ausgabebe fehl gegangen sein muss, damit die Ausgabe sichtbar wird. Das Programm verändert dann die zweite Zeile. Folgende Befehlseingaben werden empfohlen:

1. `cd JuraCoffeeMemory/`
2. `make`
3. `./JuraCoffeeMemory`
4. 4 (Senden eines Kommandos)
5. AN:01 (Maschine einschalten)
6. `?D1xxx` (Etwas Text an die erste Displayzeile)
7. `<Strg>+D` (Verlassen des Programms)
8. `./tools/display`

4.4 Die Webseite

Die Webseite ist zu sehen in Abbildung 4.5. Nach ein paar Hinweisen kann im oberen Bereich der einzelne Kaffee sowie die gesamte Maschine konfiguriert werden. Für jede Kaffeeart ist es möglich, sich seine eigene Konfiguration in einem lokalen Webbrowser-Keks (Cookie) abzuspeichern und komfortabel in den Speicher des Kaffeevollautomaten zu schreiben um sich anschließend einen Kaffee zubereiten zu lassen. Der Keks kann auch wieder entfernt werden oder sich auf die Standardwerte zurücksetzen lassen. Prinzipiell kann hierüber der ganze bekannte **EEPROM** überschrieben werden.

Im nächsten Absatz sind Statusinformationen aus dem **RAM** einsehbar. Einige Meldungen werden am Bild des Kaffeevollautomaten visualisiert. Der Status kann über Refresh aktualisiert werden. Einfache „ja“ oder „nein“ Meldungen werden durch eine grünes „on“ oder rotes „off“ präsentiert. Informationen, die sich über mehrere Bits erstrecken, werden mit ihrem entsprechenden Zahlenwert dargestellt.

Im letzten Abschnitt befinden sich Zählerstände und Prozent-Anzeigen, die verdeutlichen wie weit es noch bis zur nächsten Warnmeldung, wie Trester leeren, Maschine reinigen oder Filter wechseln, ist.

Wenn am Computer der Mauszeiger auf einer Zahl oder Einstellung zum Finger wird, öffnet sich mit einem Klick ein Fenster, in dem der Wert verändert werden kann. Nach Möglichkeit werden der Standardwert, der Wert zum Deaktivieren und weitere Hinweis-Texte angeboten.

Unten rechts auf der Seite kann über Command ein Kommando aus der Tabelle A.1 an den Kaffeevollautomaten abgesetzt werden. Eine Liste bietet viele Vorschläge mit dazugehörigen Bezeichnungen. Rechts daneben aktualisiert ein Klick auf Refresh die Statusinformationen aus dem **RAM**. Ganz rechts in der Ecke kann eine Tour durch die Bedienung der Seite gestartet werden.

4.4.1 Technische Umsetzung

Die Webseite befindet sich im Projektunterordner `./website/`. Die Datei `data.php` nimmt Parameter entgegen und ruft damit das C++ Programm mit evtl. Datenübergaben auf. Die Antwort des C++ Programms wird in einem **JSON**-Objekt verpackt und der Webseite zurück gegeben. Bei Problemen wird auch die Fehlernummer (der Rückgabewert des Programms) einschließlich der Meldung leicht zugänglich in einem **JSON**-Objekt zurück gegeben.

Die für den Benutzer ersichtliche Webseite besteht primär aus den Dateien `index.html`, `script.js` für die Interaktion und `style.css` für das individuelle Layout. Weitere eingebundene Dateien sind das Favicon im Unterordner `favicon/`, Bilder im Unterordner `img/`, `intro.min.js` und `intro.min.css` für die Tour durch die Webseite, `offline_eeprom.json` und `offline_ram.json` für die Offline-Funktion, in der die Webseite ersichtlich ist, ohne eine Verbindung zu dem Kaffeevollautomaten zu haben.

Das **HTML** Dokument der Webseite besteht aus vielen leeren Inhaltselementen, die im Attribut `id="..."` Einträge haben, die mit den Bezeichnungen der **JSON** Elemente der Ausgabe von der API des C++ Programms übereinstimmen. Beim Seitenaufbau wird der **EPPROM** abgefragt. Wenn die Antwort nach ungefähr 5 Sekunden vorliegt wird der **RAM** abgefragt und anschließend nach ungefähr weiteren 3 Sekunden für jeden **JSON** Eintrag der Wert in das gleichnamige **HTML** Inhaltselement eingetragen.

4 METHODIK UND IMPLEMENTIERUNG

Coffee Manager
JURA IMPRESSIA S9 - TELEMATIK

Warning
This website is not yet designed for multi-user operation, but should not crash.

ToDo

- Units to the numbers
- Icon to multi bit messages: [Cup illumination](#), [Rinsing before switching off](#)

Small Coffee Powder quantity 2 Water quantity 1 Temperature (+1) 7 <input type="button" value="Cookie"/> <input type="button" value="Brew 1"/> <input type="button" value="Brew 2"/>	Big Coffee Powder quantity 0 Water quantity 1 Temperature (+2) 7 <input type="button" value="Cookie"/> <input type="button" value="Brew 1"/> <input type="button" value="Brew 2"/>	Special Coffee Powder quantity 0 Water quantity 1 Temperature (+4) 7 <input type="button" value="Cookie"/> <input type="button" value="Brew"/>																																
Water and Steam Water hardness 4 Filter 8 Steam portion 20 Tea portion 450																																		
Machine Machine type 1 Language 0 Economy mode 1 Incasso mode 0																																		
Time switches Autom. off in [h] 10 Autom. on at [h] 128 Autom. on at [m] 0																																		
Messages Clean machine off Cup illumination off Empty drip tray off Empty grounds off Fill beans off Fill powder off Fill water off On off Replacing filter 0 Rinsing before switching off off Tap closed 0 Tray missing on																																		
																																		
Counting states <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;">Coffee</th> <th style="width: 20%; text-align: right;">#</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 small coffee ☕</td> <td style="text-align: right;">42</td> </tr> <tr> <td>2 small coffees ☕ ☕</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>1 big coffee ☕</td> <td style="text-align: right;">9</td> </tr> <tr> <td>2 big coffees ☕ ☕</td> <td style="text-align: right;">7</td> </tr> <tr> <td>1 special coffee ☕</td> <td style="text-align: right;">75</td> </tr> <tr> <td>pulver coffees ☕ ☕ ☕</td> <td style="text-align: right;">28</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;">Machine</th> <th style="width: 20%; text-align: right;">#</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Starts</td> <td style="text-align: right;">153</td> </tr> <tr> <td>Filter replacements</td> <td style="text-align: right;">5</td> </tr> <tr> <td>Rinsings</td> <td style="text-align: right;">83</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;">Using</th> <th style="width: 20%; text-align: right;">%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Amount of ground</td> <td style="text-align: right;">87%</td> </tr> <tr> <td>Coffee preparations until next cleaning</td> <td style="text-align: right;">99%</td> </tr> <tr> <td>Rinsings until next cleaning</td> <td style="text-align: right;">122%</td> </tr> <tr> <td>Water consumption until the next filter change</td> <td style="text-align: right;">25%</td> </tr> </tbody> </table>			Coffee	#	1 small coffee ☕	42	2 small coffees ☕ ☕	7	1 big coffee ☕	9	2 big coffees ☕ ☕	7	1 special coffee ☕	75	pulver coffees ☕ ☕ ☕	28	Machine	#	Starts	153	Filter replacements	5	Rinsings	83	Using	%	Amount of ground	87%	Coffee preparations until next cleaning	99%	Rinsings until next cleaning	122%	Water consumption until the next filter change	25%
Coffee	#																																	
1 small coffee ☕	42																																	
2 small coffees ☕ ☕	7																																	
1 big coffee ☕	9																																	
2 big coffees ☕ ☕	7																																	
1 special coffee ☕	75																																	
pulver coffees ☕ ☕ ☕	28																																	
Machine	#																																	
Starts	153																																	
Filter replacements	5																																	
Rinsings	83																																	
Using	%																																	
Amount of ground	87%																																	
Coffee preparations until next cleaning	99%																																	
Rinsings until next cleaning	122%																																	
Water consumption until the next filter change	25%																																	
<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; width: fit-content;"> AN-01 On <input type="button" value="Send"/> Refresh Help </div>																																		

Abbildung 4.5: Webseite zur Kontrolle und Steuerung des Kaffeevollautomaten als Visualisierung der API.

4.4 DIE WEBSEITE

Eine Ausnahme bildet die Temperatur, die für alle drei Kaffeegrößen gilt, aber im Dokument drei verschiedene ID-Bezeichnungen besitzen muss. Ebenso ist etwas Handarbeit bei der Ausgabe der Prozent-Anzeigen vonnöten.

Das bei einem Klick aufgehende Fenster zum Bearbeiten von Werten aus dem **EEPROM** arbeitet ebenfalls über die ID-Bezeichnung und entnimmt weitere Informationen aus dem **JSON** Objekt welches zuletzt abgefragt und abgespeichert wurde.

Ergebnisse

Die „Jura Impressa S9“ besitzt einen **RAM** für Status, Messwerte und Zwischenberechnungen im Betrieb und einen **EEPROM** für Einstellungen und Zählerstände, die auch nach einer Stromunterbrechung erhalten bleiben. Durch die Anwendung des Vorgehens in Abschnitt 4.1 können Aussagen zu 40 von 255 Wörtern im **EEPROM** und 43 von 255 Bytes im **RAM** getroffen werden. Für den **RAM** bedeutet dies 19 Statusinformationen und die Position mehrerer Zähler.

5.1 EEPROM

In Abschnitt 3.1.4 wurde der vorhandene Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (**EEPROM**) Speicher mit seinen 512 Bytes aufgeführt. Im Folgenden wird vom „Wort“, bzw. dessen ersten (XX) und zweiten (YY) Byte gesprochen. Dabei gilt: „Wort“ = $256 \times$ „erstes Byte“ + „zweites Byte“ oder auch eine Antwort des Kaffeevollautomaten in der Form `re : YYXX`.

Abbildung A.1(a) zeigt noch einmal das Speicherschema des **EEPROM**.

5.1.1 Kaffeezubereitung

Der Kaffeevollautomat unterscheidet bei der Zubereitung zwischen einem einmaligen Pulver-Kaffee und der normalen Zubereitung über das Bohnenfach. Nur im Falle eines *Pulver-Kaffees* wird der Zähler in Wort 06_{16} um **einen inkrementiert**. *1 großer Kaffee*, *2 große Kaffees*, *1 kleiner Kaffee*, *2 kleine Kaffees* und ein *Spezialkaffee* werden bei einer Zubereitung über das Bohnenfach einzeln in den Zählern der Wörter 00_{16} bis 04_{16} in eben dieser Reihenfolge erfasst. Der in den Einstellungen des Kaffeevollautomaten angezeigte *Bezüge Zähler* gibt die Summe der bis hier genannten **sechs Zähler** aus.

Die Zähler in den Wörtern $0F_{16}$ und 15_{16} werden bei *jeder Zubereitung* jeweils um **einen inkrementiert**, egal ob ein einfacher oder ein doppelter Bezug erfolgt, ebenso egal ob als

5 ERGEBNISSE

Pulver-Kaffee oder über das Bohnenfach. Erreicht der Wert in $0F_{16}$ eine Anzahl von 220 Bezügen erscheint eine Reinigungsankündigung.

Darüber hinaus gibt es zwei *partielle Zähler* in den Worten $0D_{16}$ und 10_{16} , die ungefähr bei jeder dritten Zubereitung oder Spülung um einen inkrementiert werden. Der genaue Grund dafür ist bisher unbekannt.

Der *Trester-Stand* in der Schale dieses Kaffeevollautomaten wird nicht gemessen, sondern bei jeder Zubereitung in *zwei Zählern* vermerkt. In Wort $0E_{16}$ ist nicht genau bekannt, wann um einen inkrementiert wird. Ab einem Wert von 16 folgt dann aber die Meldung „Trester leeren“.

Ein zweiter Trester Zähler befindet sich hinter Wort 34_{16} . Je nach eingestellter Pulvermenge wird der Zähler um mehrere Einheiten erhöht. Ab einem Wert von 960 folgt ebenfalls die Meldung „Trester leeren“.

Beide Werte werden bei der Entnahme der Schale für mindestens 8 Sekunden automatisch auf 0 zurück gesetzt. Dies geschieht auch bei einer Reinigung.

5.1.2 Kaffee Einstellungen

Die *Pulvermenge* kann in 29 Stufen auf einer Skala von 0 bis 28 , für einen kleinen Kaffee in Wort 82_{16} , für einen großen Kaffee in Wort 83_{16} und für einen Spezialkaffee in Wort 84_{16} , jeweils im zweiten Byte eingestellt werden. Der Standardwert, über die [N]-Taste am Kaffeevollautomaten, beträgt 5 für einen kleinen Kaffee, 8 für einen großen Kaffee und 11 für einen Spezialkaffee. Die Menge wird automatisch für zwei kleine Kaffees und zwei große Kaffees hochgerechnet.

Die *Wassermenge* eines kleinen Kaffees wird in Wort 86_{16} , eines großen Kaffees in Wort 87_{16} und eines Spezialkaffees in Wort 88_{16} über beide Bytes hinweg gespeichert. Der Standardwert, über die [N]-Taste am Kaffeevollautomaten, beträgt 180 für einen kleinen Kaffee, 340 für einen großen Kaffee und 380 für einen Spezialkaffee. Auch hier wird die Menge automatisch auf zwei kleine Kaffees und zwei große Kaffees hochgerechnet.

Die *Temperatur* kann für einen kleinen Kaffee, für einen großen Kaffee und für einen Spezialkaffee jeweils normal oder hoch eingestellt werden. Der Standardwert liegt bei 0 im zweiten Byte von Wort 85_{16} und bedeutet eine normale Temperatur für alle Sorten. Möchte man einen kleinen Kaffee auf heiß stellen addiert man 1 , für einen großen Kaffee addiert man 2 und für einen Spezialkaffee addiert man 4 auf den alten Wert. Der Wert 7 ist somit das Maximum und bedeutet eine heiße Temperatur für alle Sorten.

5.1.3 (Tee-) Wasser- und Dampfportionen

In Wort BB_{16} wird die Größe einer *Dampfportion* in Sekunden abgespeichert. Nach der eingestellten Zeit endet automatisch die Dampfausgabe am Kaffeevollautomaten beim Bezug

einer Dampfportion.

In Wort BC_{16} wird die Größe einer *Teeportion* abgespeichert. Die Einheit ist hier nicht bekannt, es könnte sich aber um die Größenordnung von 0.1 Sekunden handeln. Wird das Drehrad von der Position „Kaffeetasse“ auf „Teeauslass“ gestellt wird eine Teeportion an heißem Wasser ausgegeben und automatisch beendet.

5.1.4 Weitere Maschinen Einstellungen

Wort 24_{16} speichert im ersten Byte die Information der *Wasserhärte*. Der Wert **0** deaktiviert die Wasserhärte-Funktion. Die Werte **1** bis **4** repräsentieren die vier Stufen, die im Benutzerhandbuch zur Maschine ausgeführt werden. In dem zweiten Byte wird der *Economy Mode* gesteuert. **1** aktiviert diesen und **0** deaktiviert diesen.

In Wort 25_{16} wird die *automatische Einschaltzeit* des Kaffeevollautomaten bei eingestellter Uhrzeit gespeichert. Das erste Byte speichert die *Stunde* in einem Wertebereich von **0** bis **23** und das zweite Byte die *Minute* in einem Wertebereich von **0** bis **59**. Der deaktivierte Zustand ist gegeben, wenn die Stunde auf **0** und die Minute auf **128** steht.

In Wort 26_{16} steht im zweiten Byte die *automatische Ausschaltzeit*. Möglich sind die Werte **0**, **1**, **2**, **4**, **6**, **8**, **10**, **12**, **14**, **16** und **18**. Wert **0** bedeutet deaktiviert, die übrigen Werte geben ein Intervall in halben Stunden an, nach dem sich der Kaffeevollautomat automatisch abschaltet. Das bedeutet, dass 0,5 Stunden das Minimum und 9 Stunden das Maximum ist.

In Wort 31_{16} befindet sich nach [Kö18] der *Maschinen Typ*. Dieser kann mittels RE : 31 gelesen und mittels WE : 31, xxxx überschrieben werden.

In Wort $7D_{16}$ befindet sich ein Zähler, der bei jedem Einschaltvorgang inkrementiert wird und somit die totale *Anzahl an Einschaltvorgängen* erfasst. Ausschaltvorgänge werden nicht vermerkt.

In Wort 81_{16} befindet sich im zweiten Byte die *Spracheinstellung*. Die folgenden Werte repräsentieren folgende Sprachen: **0** Deutsch, **16** Italienisch, **32** Niederländisch, **48** Spanisch, **64** Englisch, **80** Französisch und **96** Portugiesisch.

In Wort $B0_{16}$ wird im zweiten Byte mit einem Wert von **16** der *Inkasso Modus* aktiviert und mit einem Wert von **0** deaktiviert. Bei eingeschaltetem Inkasso Modus erfolgt kein Bezug mehr über die Bezugstasten an der Vorderseite des Gehäuses, jedoch wird die gedrückte Taste über die *UART* Schnittstelle weitergeleitet. Mit dem entsprechenden Befehl kann über die serielle Schnittstelle dann die Zubereitung angestoßen werden.

Man erhält von dem Kaffeevollautomaten auf Knopfdruck ?PAE für einen kleinen Kaffe, ?PAF für zwei kleine Kaffees, ?PAA für einen großen Kaffee, ?PAB für zwei große Kaffees, ?PAG für einen Spezialkaffee, ?PAJ für eine Dampfportion, ?PAI für Wasserdampf und ?PAK für heißes Teewasser.

5 ERGEBNISSE

5.1.5 Filter

In Wort $7D_{16}$ wird im zweiten Byte gespeichert, ob ein *Filter eingelegt* ist. Der Wert **0** steht für „nein“, **8** bedeutet „ja“. Dieser Wert hat Einfluss auf Zähler an anderen Speicherstellen, die zum Teil nur im Falle eines „ja“ weiter gezählt werden.

In Wort 05_{16} befindet sich ein *Filter-Zähler*, der für jeden neu eingesetzten Filter inkrementiert wird.

Bei einem Filterwechsel werden die Werte in den Worten $B1_{16}$, $B3_{16}$ und $C1_{16}$ (Bedeutung unbekannt) auf **0** zurück gesetzt. Erreicht der Wert in Wort $B3_{16}$ einen Stand von **500** sind 50 Liter Wasserdurchfluss erreicht und der Filter muss gewechselt werden. Laut Handbuch sollte ebenso spätestens nach zwei Monaten der Filter gewechselt werden.

5.1.6 Spülung

In Wort 07_{16} befindet sich ein Gesamtzähler für die *Anzahl an Spülungen*.

Die partiellen Zähler hinter den Worten $0D_{16}$ und 10_{16} werden auch bei einer Spülung angestoßen. Der Wert in den Worten 11_{16} , bei eingelegtem Filter auch $B1_{16}$ und $B3_{16}$, werden bei einer Spülung um **1** inkrementiert. Erreicht der Wert in Wort $B3_{16}$ den Wert **500** sind 50 Liter Wasserdurchfluss erreicht und der Filter muss gewechselt werden.

5.1.7 Reinigung

Die Meldung wird ausgelöst, wenn der Wert in Wort $0F_{16}$ einen Wert von **220** erreicht hat oder der Wert in Wort 11_{16} einen Wert von **180** erreicht hat. Im ersten Fall sind 220 Beziehe erfolgt, im zweiten Fall waren es 180 Spülungen.

In den Worten 07_{16} (Anzahl an Spülungen), 08_{16} (Bedeutung unbekannt), $7C_{16}$ (Bedeutung unbekannt) und am Ende nach der abschließenden Spülung bei eingelegtem Filter in $B1_{16}$ und $B3_{16}$ wird der Wert um **1** inkrementiert. In den Worten 10_{16} und $B3_{16}$ wird der Wert um **10** inkrementiert. Die Werte in den Worten $0E_{16}$, $0F_{16}$, 11_{16} und 34_{16} werden zurück auf **0** gesetzt. Wort 11_{16} wird jedoch anschließend an die abschließende Spülung gleich wieder um **1** inkrementiert.

Wort 29_{16} Byte 1 wird zu Beginn einer Reinigung auf **65** gesetzt und am Ende auf **0** zurück gesetzt.

5.2 RAM

In Abschnitt 3.1.4 wurde der vorhandene Random-Access Memory (**RAM**) Speicher mit seinen 256 Bytes aufgeführt. Jedes Byte besitzt acht Bits, die im Folgenden mit den Nummern

0 ($= 1 \times 2^0$) bis 7 ($= 1 \times 2^7$) bezeichnet werden. Abbildung A.1(b) zeigt noch einmal das Speicherschema des **RAM**.

Aufgrund starker, aber zum Teil regelmäßiger Schwankungen, wurden die folgenden Bytes über mehrere Speicherauszüge ohne zwischenzeitliche Veränderungen ermittelt und *für diese Arbeit ausgeblendet*: 02_{16} , 09_{16} , $0C_{16}$, $1C_{16}$ bis 21_{16} , 27_{16} , 28_{16} , $2A_{16}$, $2C_{16}$, $2E_{16}$, 41_{16} , 66_{16} , 67_{16} , $6A_{16}$, $6C_{16}$, 70_{16} , $7C_{16}$, 94_{16} , 95_{16} , 97_{16} , $9C_{16}$, $9D_{16}$, $A2_{16}$, $F1_{16}$ und FC_{16} bis FF_{16} .

Die Aufschlüsselung und der Bezugspunkt für die im Folgenden genannten Rubriken sind die Spalten der Tabelle A.2 und der Tabelle A.3.

Unterstrichene und hervorgehobene Zellen sind „immer“ abfragbar. Die einzige Voraussetzung ist die in Abschnitt 3.1.1 beschriebene Verkabelung, sowie eine angelegte Netzspannung an den Kaffeevollautomaten. Der Kaffeevollautomat muss sich dann nicht im eingeschalteten Zustand befinden.

Eingeklammerte Zellen sind nicht exklusiv für die genannte Rubrik, sie teilen sich den Wert mit weiteren Funktionen.

5.2.1 Maschine an

Sobald der Kaffeevollautomat eingeschaltet wird ändern sich die Werte mehrerer Speicherstellen im **RAM**. Tabelle A.2 zeigt die regelmäßigen Änderungen beim Einschalten in der ersten Spalte „Maschine an“. Der Umschwung der sieben Bits erfolgt sofort nach der Betätigung des „Ein“-Schalters, selbst wenn sich der Kaffeevollautomat noch aufwärm und „Bitte warten“ anzeigt. Eine Änderung nach der Aufwärmphase konnte nicht festgestellt werden.

Beim Ausschalten geschehen die Änderungen umgekehrt.

5.2.2 Schale fehlt

Die beiden linken Kontakte, die eine eingesetzte Schale verbinden, sind voneinander getrennt. Ohne eine eingesetzte Schale schaltet der Kaffeevollautomat sicherheitshalber alle Tätigkeiten ab. Dies wird auch im ausgeschalteten Zustand vermerkt.

Die Änderungen sind in Tabelle A.2 in der zweiten Spalte dargestellt. In Byte 16_{16} an Bit 0 und in Byte 69_{16} an Bit 0 steht nur eine 0, wenn der Kaffeevollautomat eingeschaltet ist. Die anderen beiden Bits enthalten zu jeder Zeit den aktuellen Status.

5.2.3 Schale leeren

Die linken beiden und der rechte Kontakt sind kurzgeschlossen. Der Wasserstand in der Auffangschale ist dann gefährlich hoch und der Kaffeevollautomat schaltet sicherheitshalber alle Tätigkeiten ab. Dies wird auch im ausgeschalteten Zustand vermerkt.

Die Änderungen sind in Tabelle A.2 in der dritten Spalte dargestellt.

5 ERGEBNISSE

5.2.4 Trester leeren

Hat einer der beiden Trester Zähler seine Grenze erreicht, erfolgt die Aufforderung den Trester zu leeren. Indem die Schale für mindestens acht Sekunden entnommen wird, werden beide Zähler auf **0** zurück gesetzt.

Eine wichtige Ergänzung zur Tabelle A.2 ist, dass nur der Trester Zähler im EEPROM in Wort 34_{16} die Änderung im RAM in Byte 80_{16} an den Bits **1** und **0** auslöst. Um allgemein diese Meldung ausschließen zu können muss sich der Kaffeevollautomat im eingeschalteten Zustand befinden.

5.2.5 Wasser füllen

Bei dieser Meldung schließt der magnetische Schwimmer im Wassertank nicht den Kontakt und die Meldung leuchtet auf. Der Wasserspiegel kann hierbei zu niedrig sein oder der Wassertank wurde zum Auffüllen oder Wasser Wechseln entnommen. Dies wird auch im ausgeschalteten Zustand vermerkt.

Die Änderungen sind in Tabelle A.2 in der fünften Spalte dargestellt.

5.2.6 Gerät reinigen

Sind 220 Beziege oder 180 Spülungen erreicht, wird eine Reinigung gefordert. In Byte 10_{16} an Bit **7** und in Byte 22_{16} an Bit **4** steht dann je eine **1**, siehe Tabelle A.2 Spalte sechs.

5.2.7 Maschine spült

Wenn der Kaffeevollautomat eine Spülung vornimmt wird dies in mehreren Bits vermerkt. Die Änderungen sind in Tabelle A.2 in der siebten Spalte dargestellt.

5.2.8 Maschine vor dem Ausschalten spülen

Der Kaffeevollautomat erzwingt eine Spülung vor dem Ausschalten, wenn während der Betriebszeit ein Kaffeebezug erfolgte, ohne eine abschließende Spülung vorgenommen zu haben. In Byte $0D_{16}$ an den Bits **3** und **2** steht in diesem Fall mal an dem einen und mal an dem anderen Bit eine **1**. Dieser Merker befindet sich sehr wahrscheinlich hier, auch wenn die genaue Bedeutung der einzelnen Bits nicht sicher bekannt ist.

5.2.9 Tassenbeleuchtung

Bei einer Zubereitung oder laut Benutzerhandbuch auch durch das Drücken einer beliebigen Taste im ausgeschalteten Zustand wird die Tassenbeleuchtung eingeschaltet. Nach drei Minuten schaltet die Tassenbeleuchtung dann wieder automatisch ab.

In Byte $0F_{16}$ an den Bits **2** bis **1** steht bei eingeschalteter Tassenbeleuchtung „immer“ mindestens eine **1**. Beim Betreten des Menüs oder auch beim Ausschalten wird mindestens eine **1** gesetzt. Eine genaue Aufschlüsselung oder Zuordnung der beiden Bits zu bestimmten Rahmenbedingungen konnte nicht hergestellt werden.

5.2.10 Filter wechseln

Ist ein Durchfluss von 50 Litern erfolgt, erscheint diese Meldung mit der Aufforderung den Wasserfilter auszuwechseln. Die Änderungen sind in Tabelle A.3 in der ersten Spalte dargestellt. Diese Meldungen kann im ausgeschalteten Zustand des Kaffeevollautomaten abgefragt werden.

5.2.11 Hahn offen & Teeportion

Wird der Drehknauf von der „Kaffeetasse“ weg gedreht, wird der *Hahn geöffnet*. Erreicht der Regler darüber hinaus die Stellung des „hinplätschernden Wasserhahns“, ist eine *Teeportion* aktiv.

Die Änderungen sind in Tabelle A.3 in der zweiten und dritten Spalte dargestellt. Auch diese Meldungen können im ausgeschalteten Zustand des Kaffeevollautomaten abgefragt werden.

5.2.12 Dampfbezug & Wasserdampfportion

Beim *Dampfbezug* wird bis zur erneuten Betätigung der Taste heißer Wasserdampf aus dem rechten Rohr ausgegeben. Eine *Wasserdampfportion* ist zeitlich begrenzt und kann in den Einstellungen dimensioniert werden.

Die Änderungen sind in Tabelle A.3 in der vierten und fünften Spalte dargestellt. Die einzige Position für eine sichere Unterscheidung ist in Byte 13_{16} an Bit **1**, wo nur bei dem Dampfbezug eine **1** steht.

5.2.13 Pulver füllen

Hinter der Wartungsklappe befindet sich die Wahltaste für vorgemahlenes Kaffeepulver. Wird diese betätigt, wird der nächste Kaffeebezug einmalig über das Pulverfach zubereitet und es werden keine Bohnen gemahlen. Dieser Modus kann ebenfalls über die serielle **UART** Schnittstelle mit dem Befehl FA : 03 ausgelöst werden.

In Byte 04_{16} an Bit **0** befindet sich dann eine **1**, die nach dem nächsten Bezug automatisch wieder auf **0** zurück gesetzt wird.

5 ERGEBNISSE

5.2.14 Bohnen füllen

In Byte $0E_{16}$ an Bit 7 steht eine 1 im Falle fehlender oder verklemmter Bohnen. Die Meldung verschwindet mit ausreichend Bohnen im Bohnenfach beim nächsten Bezug. Zusätzlich darf dabei kein Stein das Mahlwerk blockieren.

5.2.15 Zubereitung

Für eine Kaffeezubereitung werden im *ersten Schritt* die Bohnen gemahlen. In Byte 03_{16} an den Bits 7 und 4 steht dann je eine 1. In Byte 03_{16} an Bit 7 steht nur während einer Kaffeezubereitung eine 1 und nicht im Falle des manuellen Starts des Mahlwerks mit dem Befehl FN : 07 oder FN : 09.

Im *zweiten Schritt* wird der Kaffee Aufgebrüht und Ausgeschenkt. Die Änderungen sind in Tabelle A.3 in der letzten Spalte dargestellt.

Über die *gesamte Zeit* steht in Byte $0A_{16}$ an Bit 6 eine 1. Darüber hinaus steht in Byte $0A_{16}$ an den Bits 2 bis 0 die gewählte Portion kodiert. 1 steht für einen kleinen Kaffee, 2 steht für 2 kleine Kaffees, 3 steht für einen großen Kaffee, 4 steht für 2 große Kaffees und 5 steht für einen Spezialkaffee.

5.2.16 Geteilte Bits

In Tabelle A.2 und Tabelle A.3 sind mehrere Einträge eingeklammert. Im Folgenden sollen einige Zusammenhänge gegenübergestellt werden:

In Byte 03_{16} an den Bits 6 und 1 steht der Wert auf 1, wenn der Kaffeevollautomat eine Spülung vornimmt, eine Teeportion ausschenkt oder manchmal, wenn eine Zubereitung eines Kaffees erfolgt. In Byte 03_{16} an Bit 6 war gerade die Zubereitung unregelmäßig, während sich Byte 03_{16} an Bit 1 reproduzierbar verhielt. Auch in Byte 62_{16} an Bit 1 steht eine 1 und in Byte 68_{16} an Bit 5 steht eine 0 wenn die Maschine spült oder sich im zweiten Schritt der Zubereitung befindet. In Byte 68_{16} an Bit 6 steht eine 1, wenn eine Teeportion ausgegeben wird oder die Maschine spült.

In Byte 03_{16} an den Bits 3 und kommen eine Wasserdampfportion sowie das Einschalten direkt nach dem Ausschalten mit abschließender Spülung zusammen.

In Byte 04_{16} an Bit 3 steht eine 1, wenn die Schale fehlt, der Wassertank fehlt oder die Schale voll ist, aber auch beim offenen Hahn oder dem Dampfbezug.

In Byte 04_{16} an Bit 3 steht eine 0 bei einer Teeportion, beim Dampfbezug, bei einer Wasserdampfportion oder auch bei der Zubereitung eines Kaffees. In Byte $4C_{16}$ an Bit 0 steht eine 0 beim Wasser füllen oder offenem Hahn. Auch in Byte 91_{16} an Bit 0 steht eine 0 beim Wasser füllen aber wechselhaft bei der Zubereitung eines Kaffees.

5.3 ALLEINSTELLUNGSMERKMAF FÜR DIE API UND DIE WEBSEITE

In Byte 16_{16} an Bit 0 und Byte 69_{16} an Bit 0 steht eine 0, wenn die Schale fehlt oder die Maschine aus ist, andernfalls befindet sich der Kaffeevollautomat hier in einem betriebsbereiten Zustand.

5.2.17 Deutung und Zähler

Im **RAM** könnte Byte 13_{16} an den Bits 2 bis 0 für eine interne Wasserschaltung stehen.

In den Bytes 37_{16} bis $3C_{16}$, in Byte 43_{16} , sowie in den Bytes 71_{16} bis 75_{16} befinden sich sehr wahrscheinlich interne Zählerstände, die während einer Kaffeezubereitung oder allgemeiner beim Pumpen von Wasser inkrementiert werden. In dem Byte $8B_{16}$ sowie bis in das davor liegende Byte $8A_{16}$ reicht eine Zähler für primär den Dampfbezug oder eine Wasserdampfportion, aber auch bei einer Kaffeezubereitung oder Spülung bewegt sich der Zähler.

5.3 Alleinstellungsmerkmal für die API und die Webseite

Tabelle A.2 und Tabelle A.3 machen deutlich, dass es mehrfach redundante Speicherstellen im **RAM** gibt an denen potentiell die gleiche Information steht. Da die serielle Übertragung abgefragter Speicherstellen Zeit benötigt, versucht die **API** nur die wirklich nötigen Speicherstellen abzufragen und dadurch Zeit einzusparen.

Abbildung A.2 zeigt die abgefragte Speicherstellen für die **API** im **EEPROM**. Es werden vier Zeilen und drei einzelne Worte abgefragt. Da auch die Anfrage in der Übertragung Zeit benötigt, ist eine Zeile effizienter als sechzehn einzelne Wörter.

Abbildung A.3 zeigt die abgefragte Speicherstellen für die **API** im **RAM**. Hier können nur ganze Zeilen abgefragt werden, aber diese können an beliebiger Stelle beginnen. Es reichen für alle Funktionen vier Zeilen aus. Viele interne Zähler und Dopplungen können ausgelassen werden. Dennoch wird deutlich, dass die Bytes bestimmter Statusinformationen, die an verschiedenen Bits stehen, sehr nahe beieinander liegen und an anderer Stelle einzelner Bytes effizienter als ganze Reihen wären.

5.4 Display

Das Display der „Jura Impressa S9“ umfasst zwei Zeilen mit je acht Zeichen, die wiederum mit je 5×5 Lichtpunkten dargestellt werden. Tabelle A.4 zeigt die verfügbaren Schriftzeichen auf. Es handelt sich um arabische Zahlen, große lateinische Buchstaben sowie ein paar Sonderzeichen, die unter anderem eine Skala darstellen können.

0₁₀ bis 31₁₀ und alle **ASCII**-Zeichen über 97₁₀, auch aus der erweiterten **ASCII**-Tabelle von 128₁₀ bis 255₁₀ und darüber, stellt der Kaffeevollautomat nicht mehr als eindeutig bekannte

5 ERGEBNISSE

ASCII-Zeichen dar. Es handelt sich höchstens um verpixeltes Kanji und wurde in der Tabelle ausgelassen.

Diskussion

Dieses Kapitel benennt aufgetretene Probleme während der Arbeit und hinterfragt die Ergebnisse aus dem vorherigen Kapitel.

6.1 Probleme

Nicht nur die Kommunikation mit dem Kaffeevollautomaten, sondern auch das Verständnis der Vorgänge in der Maschine erfordert Arbeit.

6.1.1 Kommunikation mit dem Kaffeevollautomaten

Der direkte Zugang ist wahrscheinlich am schnellsten, im laufenden Betrieb aber schlecht möglich, da die Speicheradressen aktiv abgefragt werden müssten und damit Kurzschlüsse in der Elektronik produziert werden. Die serielle **UART** Schnittstelle ermöglicht das Abfragen im laufenden Betrieb, also auch im **RAM**. Jedoch benötigt das Auslesen seine Zeit, ungefähr 9 Sekunden für den gesamten **RAM** und ungefähr 15 Sekunden für den gesamten **EEPROM**. Gerade im **RAM** gibt es viele Veränderungen im Ruhezustand, sodass auf diesem Weg nie ein zusammenhängender Speicherauszug zu einem festen Zeitpunkt auslesen werden kann.

Ein weiterer Nachteil ist, dass während einer Übertragung das interne Bus System gehemmt ist. Eingaben an der Maschine, wie die Navigation durch das Menü, werden während der Erstellung eines Speicherauszugs verzögert umgesetzt. Aber auch in der Gegenrichtung sorgen wechselnde Displaytexte für Verzögerungen während der seriellen Übertragung.

Durch die Optimierung für die **API** benötigt das Auslesen nur noch ungefähr 3 Sekunden für den **RAM** und ungefähr 5 Sekunden für den **EEPROM**. Abbildung A.2 und Abbildung A.3 zeigen die dabei abgefragten Speicherstellen.

6 DISKUSSION

6.1.2 Serielle Kommunikation

Gerätedatei direkt ansprechen Um mit dem Arduino und letztlich dem Kaffeevollautomaten zu kommunizieren war der erste Versuch den Dateideskriptor `/dev/ttymACM0` sowohl lesend als auch schreibend zu nutzen. Zunächst funktionierte dies sehr gut, bis nach wenigen Tagen kaum reproduzierbares Fehlverhalten auftrat. Gerade Antworten der Kaffeemaschine kamen nur noch in Bruchstücken an. Dies wurde bei der Einrichtung bereits im Projekt „CoffeeMachine“[[Kö18](#)] in der `Readme.md` für die Ausführung auf einem Raspberry Pi beschrieben.

Versuche dies direkt zu lösen, in dem eine funktionierende Umgebung nachgebaut wurde, schlugen fehl. Dabei konnte über `screen /dev/ttymACM0 9600` und `exit` die serielle Verbindung initiiert werden. Die Einstellungen können dann über `stty -F /dev/ttymACM0` eingesehen werden, jedoch hatte es nicht den selben Effekt, nur diese Einstellungen gezielt über den Befehl

```
stty -F /dev/ttymACM0 9600 raw \
ignbrk -brkint -icrnl -imaxbel \
-opost -onlcr \
-isig -icanon -iexten -echo -echoe -echok -echoctl -echoke
```

■ **Listing 6.1:** stty zum setzen der Verbindungseinstellungen

zu setzen.

C++ und die *libserial*-Library Für eine sichere Verbindung wird in dem C++ Programm auf die im Linux Repository erhältliche Library *libserial* zurückgegriffen. Beim Verbindungsauftbau über die `connect()` Methode der *SerialConnection* Klasse wird die Schnittstelle initialisiert. Hier werden der Gerätepfad, die Baudrate und eine erwartete Mindestlänge festgelegt.

Kommandos gehen zuverlässig an den Arduino raus und ausgelesene Antworten kommen nun im Ganzen an. Der `read` Befehl ist ein blockierender Aufruf, der das Programm anhält bis eine Antwort vorliegt. Dies stellt für die Speicherauslesung kein Problem da, da die ordnungsgemäßigen Befehle immer ein `ok :` oder `xx : 0-F` Speicherauszug zurück geben.

6.1.3 Unbekannte Speicherorte

Bis auf den Speicherort des veränderbaren Standardtextes konnten alle Einstellungen und Grenzwerte sowie ein paar Funktionsabläufe festen Speicherstellen zugeordnet werden. Da der Standardtext eine Stromunterbrechung nicht übersteht, liegt er sehr wahrscheinlich im **RAM** oder einem weiteren flüchtigen Speicher der Maschine. Selbst unter der Annahme, dass die Maschine vielleicht nur die halbe **ASCII**-Tabelle pro Zeichen benutzt und dadurch zwei

Displayzeichen pro Byte kodiert, konnten einfache und monotone Texte wie AAAAAAAA nicht in einem Speicherauszug wiedergefunden werden.

Um dies weiter zu ergründen muss künftig ein Blick in die Maschine erfolgen um die vorhandenen Speicher und deren Größen zu bestimmen. Nach dem Datenblatt des Mikrocontrollers [Hol17] gibt es vier Ausführungen, von der aber keine den 256 Byte **RAM** und 512 Byte (256 Wörter) **EEPROM**, die über die seriellen Befehle adressierbar sind, entspricht.

Es wäre vorstellbar, dass die gegebenen Befehle aus Tabelle A.1 nicht den insgesamt zur Verfügung stehenden Speicher adressieren und nach außen kommunizieren. Andererseits ist es ebenfalls möglich dass viele unbekannte Speicherstellen gar keine Funktion besitzen; der vorhandene Speicher dieses Standard Mikrocontrollers würde von dem Programm dann nicht voll ausgenutzt werden.

6.1.4 Weitere Automatisierung durch das C++ Programm

Für den **EEPROM** ist es ein vertretbarer Aufwand Einstellungen am Gerät vorzunehmen, das Skript anzustoßen und einen Kommentar zu hinterlegen. Die Ergebnisse können aus der **JSON** Datei abgelesen werden.

Die wechselhaften Sprünge im **RAM** erforderten ein wiederholtes Anwenden des Skripts, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben. Hier könnte das C++ Programm dahingehend ausgebaut werden $n = 3$ Durchläufe mit dem selben Kommentar zu versehen. Die Auswertung sollte aber von Hand erfolgen und es sollten Ergebnisse aus variierenden Umgebungsbedingungen einbezogen werden. Zum Beispiel den Wasserfilter einmal aktivieren und einmal deaktivieren. Es bedürfte einer sehr guten künstlichen Intelligenz diese Umgebungen vorzuschlagen und die Ergebnisse zusammenzuführen.

Mit dem in Abschnitt 4.1 beschrieben ersten Vorgehen lassen sich Statusinformationen und Einstellmöglichkeiten sehr gut auslesen. Bedingte Abhängigkeiten, wie die Zusammensetzung eines Bezüge-Zählers aus mehreren Zählern, oder Abläufe, wie die zwei Schritte einer Kaffeezubereitung, wären durch ein starr hochgezogenes Computerprogramm unentdeckt geblieben.

Ausbaufähig ist die wieder bessere Trennung des **EEPROMs** und des **RAMs**. In den gefundenen Unterschieden des Skripts können weniger relevante Spalten ausgeblendet werden und es könnten die **JSON** Dateien mit einem Merker versehen werden, um der nachträglichen *Aufschlüsselung der Veränderungen* im C++ Programm eine bessere Differenzierung zu ermöglichen.

6 DISKUSSION

6.2 Aussagekraft der Ergebnisse

Die **EEPROM** Einstellmöglichkeiten können recht sicher festen Speicherstellen zugeordnet werden. Bei einigen partiellen Zubereitungszählern ist aber nicht bekannt, wann sie zählen und wofür. Die Firmware fehlt an dieser Stelle.

Im **RAM** sind mehrere Status Bits einigermaßen aussagekräftig, vor allem aber die im ausgeschalteten Betriebszustand, die auch in Tabelle A.2 und Tabelle A.3 hervorgehoben sind. Durch viele unregelmäßige Veränderungen wurden aber mehrere Bytes außer acht gelassen, die an bestimmten Bit Positionen wichtige Merker enthalten könnten.

Unsicherheit besteht durch mehrere Speicherpositionen für ein und die selbe Funktion. Entweder verbirgt sich hinter einzelnen Positionen noch eine andere Bedeutung oder eine bisher unbekannte Abhängigkeit für weitere Funktionen. Zustände könnten im **RAM** tatsächlich mehrfach erfasst werden.

6.3 Einordnung zur Terminologie des Reverse Engineerings

Diese Arbeit besteht im wesentlichen aus den zwei Teilen, den Speicher zu analysieren und zu verstehen, bzw. das Wissen darüber in einer neuen Oberfläche einfach zur Verfügung zu stellen. Ein kurzer Rückblick in Abschnitt 2.1 erinnert an die Begriffe *Forward Engineering*, *Reverse Engineering*, *Redocumentation*, *Design Recovery*, *Restructuring*, und *Reengineering*.

Für den ersten Teil wurden eine gegebene serielle Schnittstelle, sowie bereits implementierte Befehle ausgenutzt, um den Speicher auszulesen. Viele Aufnahmen, mit kleinen Veränderungen zwischendurch, ließen Rückschlüsse auf die Bedeutung der Werte an bestimmten Speicherstellen zu. Gerade mit den Überlegungen, was während einer Aktion am Kaffeevollautomaten alles im Speicher passiert, lässt sich diese Tätigkeit dem Begriff *Reverse Engineering* zuordnen. Aus dem fertig implementierten und gegebenen System werden Rückschlüsse auf das Design der Maschine gezogen. *Redocumentation* trifft aufgrund fehlender Spezifikationen und Quellcodeauszügen wenig zu. Betrachtet man aber das Benutzerhandbuch und Interneteinträge über Erfahrungen mit der Maschine als externe Informationen, sowie Schlussfolgerungen und Unschärfe logik über den **RAM**, kann dieser Part auch als *Design Recovery* über den Speicher angesehen werden.

Mit diesem Wissen des ersten Teils wurde dann im zweiten Teil etwas Neues geschaffen. Das Abfragen der aktuellen Einstellungen und Zustände bietet eine neue Oberfläche, die als *Redocumentation* oder *Restructuring* angesehen werden kann. Für die *Redocumentation* spricht das neue Ausgabeformat auf der Ebene der Implementierung. Ein eigenes Gerät ist zur Alternative (Ausnahmen siehe 7.1) für das kleine Display des Geräts geworden und gibt den aktuellen Zustand in ausführlicherer Weise aus. Ohne eine präventive Instandhaltung beabsichtigt zu haben ist *Restructuring* aber auch zutreffend, da Wissen aus dem ersten Teil

6.3 EINORDNUNG ZUR TERMINOLOGIE DES REVERSE ENGINEERINGS

hier eingeflossen ist. Wenn die Bedeutung bestimmter Speicherstellen nicht bekannt gewesen wäre, hätten die eingestellten Werte keine Bedeutung gehabt, was für den Begriff *Restructuring* spricht.

Für eine individuelle Zubereitung, wird nur die Datengrundlage kurz zuvor mit einem Impuls von außen verändert, der Kaffee wird dabei nach wie vor von den Standard Abläufen der Kaffeemaschine zubereitet. Die neue Oberfläche kann man als *Restructuring* oder dem allgemeineren *Reengineering* angesehen werden. Da die neue Oberfläche, über die serielle Schnittstelle in Verbindung mit einem eigenen Endgerät, aber sehr von den Bordmitteln der Maschine abweicht passt vielleicht das *Reengineering* etwas besser. Die Funktionalitäten der Maschine sind aber immer noch die Gleichen, das Programm menü muss nun jedoch nicht mehr verwendet werden, um die allgemeinen Geräte Einstellungen für den eigenen Kaffee anzupassen.

Im Detail ist die genaue Zuordnung der Begrifflichkeiten immer eine persönliche Auslegung dieser Begriffe. Sehr zutreffend ist das Zitat aus Abschnitt 2.1, denn diese Arbeit hat den Speicher intensiv betrachtet und mittels der Ergebnisse aus dem zweiten Teil um neue Perspektiven bereichert, ohne das Ziel verfolgt zu haben die Maschine zu klonen oder umzubauen.

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Speicher des Kaffeevollautomaten „Jura Impressa S9“ reverse engineered. Dafür wurde eine strukturierte Vorgehensweise in Abschnitt 4.1 entwickelt. Einstellung für Einstellung und Funktion für Funktion ergab sich die Bedeutung immer neuer Speicherstellen. Neu gebündelt wurden diese über eine leicht zugängliche API nach außen offen gelegt und abschließend auf einer kleinen Webseite visuell präsentiert. Dabei wurde die Vorgehensweise und die Aussagekraft der Ergebnisse kritisch hinterfragt und in den Kontext des Reverse Engineering eingeordnet.

7.1 Ausblick

Die in dieser Arbeit aufgeführten Ergebnisse sind noch nicht vollständig, zum Beispiel nennt das Benutzerhandbuch weitere Meldungen wie: Gerät verkalkt, Störung 2 oder Störung 8, sowie etliche Menümeldungen während der internen Programmabläufe. Die Speicherpositionen der Displaymeldungen sind unbekannt, evtl. sogar für alle Sprachen fest im Programmablauf hinterlegt. Die RAM Position für die Wahl der Display Meldung ist ebenfalls unbekannt, siehe Abschnitt 6.1.3. Die verbleibenden drei Meldungen konnten während dieser Arbeit nicht gezielt ausgelöst werden.

Mit entsprechendem zeitlichen und finanziellen Budget könnte die Arbeit weiter fortgeführt werden. Man könnte eine Umgebung schaffen, in der die drei Störungsmeldungen ausgegeben werden um deren Ursprung im RAM zu lokalisieren. Ebenso wäre es interessant fehlende Einheiten zu bestimmen. Zeit-, Gewichts- oder Durchflusseinheiten würden dem Anwender die Konfiguration vereinfachen.

Es wäre ebenfalls lohnenswert die Firmware aus dem Read Only Memory (ROM) der Maschine auszulesen und zu disassemblieren. Dadurch kann die Erkenntnis, welche Speicherstellen überhaupt vorgesehen und angesprochen werden, erlangt werden. Ebenso würden Vorgänge bei Funktionsabläufen verständlicher.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Kamilaris, Pitsillides und Trifa nennen in ihrem Paper [KPT11] als eine Grundanforderung für das intelligente Zuhause den echten Mehrbenutzer Betrieb. Die Aufbereitung der Webseite könnte durch Crossbar.io¹ mithilfe von AutobahnC++² erweitert werden. Über das Web Application Messaging Protocol (**WAMP**) könnte regelmäßig der Zustand des Kaffeevollautomaten an alle verbundenen Endgeräte weitergegeben werden, ohne dass ein Endgerät tätig werden muss und während der Kommunikation die Ressource bindet.

¹<https://crossbar.io/>

²<https://github.com/crossbario/autobahn-cpp>

Literaturverzeichnis

- [CC90] CHIKOFSKY, E. J. ; CROSS, J. H.: Reverse engineering and design recovery: a taxonomy. In: *IEEE Software* 7 (1990), Jan, Nr. 1, S. 13–17. <http://dx.doi.org/10.1109/52.43044>. – DOI 10.1109/52.43044. – ISSN 0740–7459 3, 4
- [Eil05] EILAM, Eldad: *Reversing : secrets of reverse engineering*. Indianapolis, Ind. : Wiley, 2005 <http://www.gbv.de/dms/ilmenau/toc/480966761eilam.PDF>. – ISBN 0764574817 9780764574818 5
- [Hol17] HOLTEK SEMICONDUCTOR INC. (Hrsg.): *HT46F46E/HT46F47E/HT46F48E/HT46F49E Cost-Effective A/D Flash MCU with EEPROM*. Rev. 1.50. Hsinchu, Taiwan: Holtek Semiconductor Inc., April 2017. <http://www.holtek.com.tw/documents/10179/11842/HT46f4xev150.pdf>. – <http://www.holtek.com/productdetail/-/vg/46f4xe> 43
- [Ing94] INGLE, Kathryn A.: *Reverse engineering*. New York u.a. : McGraw-Hill, 1994 <http://www.loc.gov/catdir/toc/mh022/94018447.html>. – ISBN 0070316937 9780070316935 4, 5
- [KPT11] KAMILARIS, Andreas ; PITSILLIDES, Andreas ; TRIFA, Vlad: The Smart Home meets the Web of Things. In: *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing* 7 (2011), Nr. 3, 145. <http://dx.doi.org/10.1504/ijahuc.2011.040115>. – DOI 10.1504/ijahuc.2011.040115 1, 11, 48
- [Kö18] KÖSTLER, Maximilian: *CoffeeMachine*. Git Repository. <https://collaborating.tuhh.de/e-17/General/CoffeeMachine>. Version: Januar 2018. – nicht öffentlich 8, 9, 33, 42, 59
- [Mad15] MADAKAM, Somayya: Internet of Things: Smart Things. In: *International Journal of Future Computer and Communication* 4 (2015), Nr. 4, 250–253. <http://dx.doi.org/10.7763/ijfcc.2015.v4.395>. – DOI 10.7763/ijfcc.2015.v4.395 1
- [Off18] OFF, Fabian: *Reverse-engineering a De'Longhi Coffee Maker to precisely bill Coffee Consumption*, Universität Magdeburg, Diplomarbeit, Februar 2018 5
- [Sal09] SALEH, Kassem A.: *Software engineering*. Boca Raton, Fla. : Ross, 2009. – ISBN 1932159940 9781932159943. – Literaturangaben 3, 15
- [SRT00] SOUCEK, Stefan ; RUSS, Gerhard ; TAMARIT, Clara: *The smart kitchen project-an application of fieldbus technology to domotics*. Citeseer, 2000 5

Große Abbildungen

Im Folgenden sind größere Abbildungen über den gesamten Speicher oder verfügbare Displayzeichen dargestellt.

A GROSSE ABBILDUNGEN

Kommando	Beschreibung	Rückgabewert
Betriebszustand (AN:<id>)		
AN:01	Einschalten	ok:
AN:02	Ausschalten	ok:
AN:03	Display Test	ok:
AN:<id>	u.v.m.	ok:
Bezugstaste (FA:<id>)		
FA:02	Gerät spülen	ok:
FA:0C	Spezialkaffee	ok:
FA:<id>	u.v.m.	ok:
Steuerungskomponenten (FN:<id>)		
FN:<id>	Pumpen, Heizung, u.v.m	ok:
Eingabestatus*		
IC:	Eingaben auslesen*	
Spiele Musik (easter egg)*		
PM:	Play music*	
Speicherzugriff		
RE:<address>	Liest 2 Byte EEPROM Speicher	re:[0000-FFFF]
WE:<address>,<value>	Schreibt 2 Byte in EEPROM	ok:
RT:<address>	Liest eine Zeile EEPROM	rt:[0-F 64x]
RR:<address>	Liest eine Zeile RAM	rr:[0-F 32x]
Sperrung		
?M3	Aktiviert den Inkassomodus	?ok
?M1	Deaktiviert den Inkassomodus	?ok
Display		
?D0	Standard Displaytext zurück setzen	?ok
?D1[A-Z 8-11x]	Displaytext Zeile 1	?ok
?D2[A-Z 8-11x]	Displaytext Zeile 2	?ok
Aktion an der Kaffeemaschine		
	1 kleiner Kaffee (Produkt 1)	?PAE
	2 kleine Kaffees (Produkt 2)	?PAF
	1 großer Kaffee (Produkt 3)	?PAA
	2 große Kaffees (Produkt 4)	?PAB
	Spezialkaffe (Produkt 7)	?PAG
	Dampf (Produkt 6)	?PAI
	1 Dampfportion (Produkt 5)	?PAJ
	1 Tasse Tee (Produkt 8)	?PAK

* Nicht alle Befehle sind in der Jura Impressa S9 implementiert, siehe weitere Geräte der S-Reihe

■ **Tabelle A.1:** Befehlsübersicht der Jura Kaffeevollautomaten (S-Reihe)

Adresse DEC	HEX	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adresse DEC	HEX	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C	0x0D	0x0E	0x0F
0	0x00																
16	0x10																
32	0x20																
48	0x30																
64	0x40																
80	0x50																
96	0x60																
112	0x70																
128	0x80																
144	0x90																
160	0xA0																
176	0xB0																
192	0xC0																
208	0xD0																
224	0xE0																
240	0xF0																

Σ 512 Byte

(a) EEPROM

Adresse DEC	HEX	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adresse DEC	HEX	0x00	0x01	0x02	0x03	0x04	0x05	0x06	0x07	0x08	0x09	0x0A	0x0B	0x0C	0x0D	0x0E	0x0F
0	0x00																
16	0x10																
32	0x20																
48	0x30																
64	0x40																
80	0x50																
96	0x60																
112	0x70																
128	0x80																
144	0x90																
160	0xA0																
176	0xB0																
192	0xC0																
208	0xD0																
224	0xE0																
240	0xF0																

Σ 256 Byte

(b) RAM

Abbildung A.1: Schematische Darstellung des Speichers vom Kaffeekondensator

A GROSSE ABBILDUNGEN

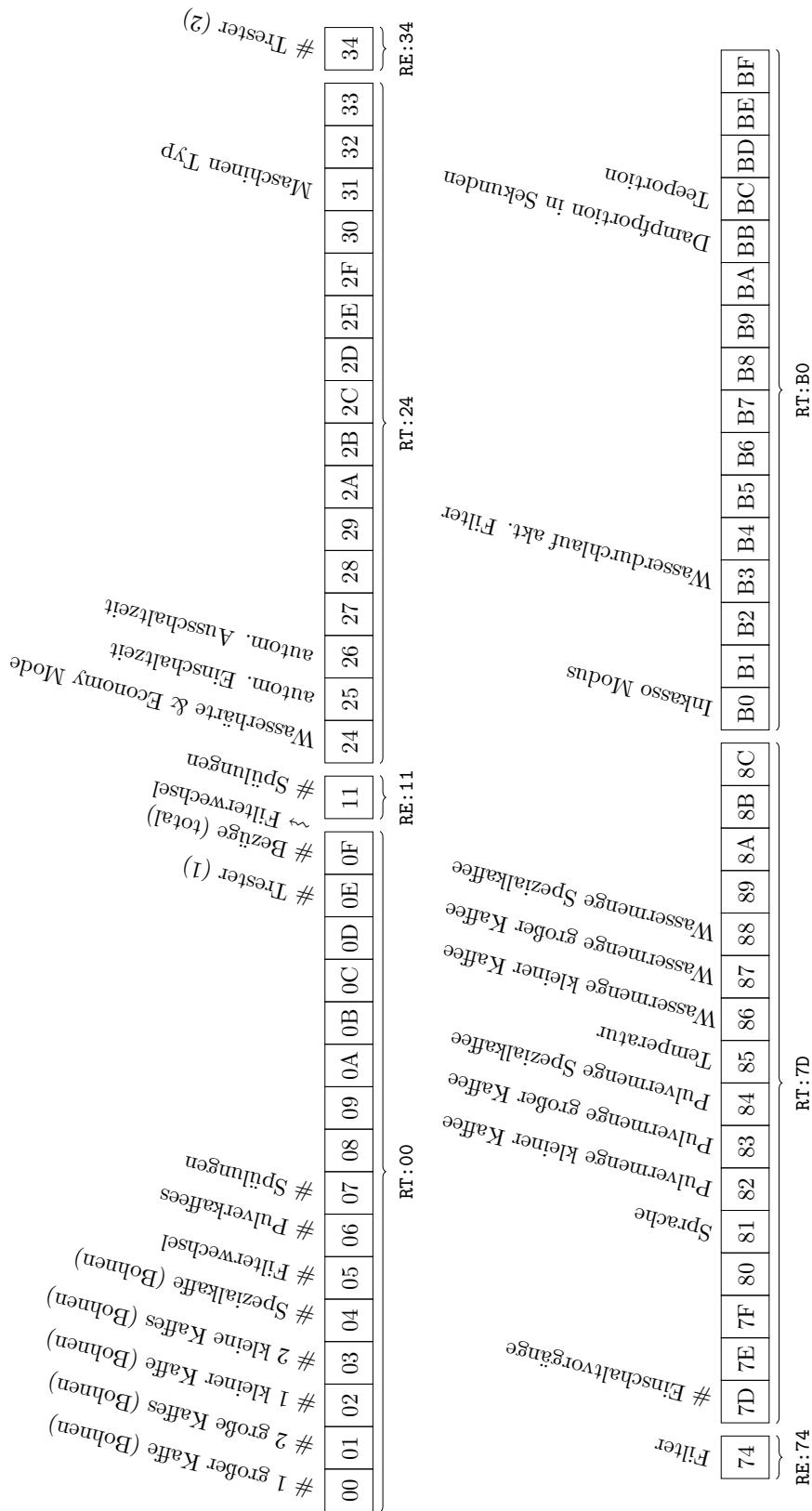
Funktion	Maschine fehlt	Schale fehlt	Trester leeren	Wasser füllen	Getrat reinigen	Maschine spül	Absehleidend spülen	Absehleidungs
Byte	03 ₁₆	0E ₁₆	04 ₁₆	04 ₁₆	10 ₁₆	03 ₁₆	0D ₁₆	0F ₁₆
Bit	<u>2: 0 → 1</u>	<u>2: 0 → 1</u>	(3: 0 → 1)	5: 0 → 1	(3: 0 → 1)	7: 0 → 1	(6,3,1: 0 → 1)	3 oder 2: 0 → 1
Byte	05 ₁₆	16 ₁₆	0E ₁₆	0E ₁₆	22 ₁₆	13 ₁₆		
Bit	<u>5: 0 → 1</u>	0: 1 → 0	<u>4: 0 → 1</u>	5: 0 → 1	<u>6: 0 → 1</u>	4: 0 → 1	3,1: 0 → 1	
Byte	16 ₁₆	29 ₁₆	1B ₁₆	80 ₁₆	0F ₁₆	17 ₁₆		
Bit	<u>1: 0 → 1</u>	<u>2: 1 → 0</u>	<u>1: 0 → 1</u>	1,0: 0 → 1	<u>4: 1 → 0</u>		1: 0 → 1	
Byte	44 ₁₆	69 ₁₆	29 ₁₆		4C ₁₆	62 ₁₆		
Bit	<u>0: 0 → 1</u>	0: 1 → 0	<u>6-3: 0 → 1</u>		(0: 1 → 0)		(1: 0 → 1)	
Byte			2B ₁₆		91 ₁₆			
Bit			<u>6-3: 0 → 1</u>		(1: 1 → 0)			
Byte	1A ₁₆				68 ₁₆			
Bit	<u>2: 1 → 0</u>				(6: 0 → 1)			
Bit	<u>1,0: 0 → 1</u>				(5,4: 1 → 0)			

■ Tabelle A.2: Speicherpositionen im RAM (1)

Funktion	Filter Wechselseitig	Haben offen	Tepperton	Dampfdecksitz	Wasserdruckpumpe	Pulverfüller	Bohnenfüller	Zubereitung	immer	1. Schritt	2. Schritt
Byte	10 ₁₆	04 ₁₆	03 ₁₆	04 ₁₆	03 ₁₆	04 ₁₆	0E ₁₆	03 ₁₆	03 ₁₆	03 ₁₆	03 ₁₆
Bit	5: 0 → 1	(3: 0 → 1)	(6: 0 → 1)	(3: 0 → 1)	(3: 0 → 1)	(3: 0 → 1)	0: 0 → 1	7: 0 → 1		1: 0 → 1	
Byte	22 ₁₆	0F ₁₆	0B ₁₆	0B ₁₆	0B ₁₆	0B ₁₆	0B ₁₆				
Bit	3: 0 → 1	<u>6: 1 → 0</u>	(3: 1 → 0)	(3: 1 → 0)	(3: 1 → 0)	(3: 1 → 0)	(3: 1 → 0)	(3: 1 → 0)		(3: 1 → 0)	
Byte	F8 ₁₆	4C ₁₆	0F ₁₆	13 ₁₆	13 ₁₆	13 ₁₆	13 ₁₆	13 ₁₆	13 ₁₆	17 ₁₆	17 ₁₆
Bit	<u>0: 0 → 1</u>	(0: 1 → 0)	<u>5: 0 → 1</u>	2-0: 0 → 1	2-0: 0 → 1	2-0: 0 → 1	2-0: 0 → 1	2-0: 0 → 1		3: 0 → 1	
Byte	4D ₁₆	4C ₁₆	49 ₁₆	49 ₁₆	49 ₁₆	62 ₁₆	62 ₁₆				
Bit	3,1: 0 → 1	(0: 1 → 0)	(0: 0 → 1)	(0: 0 → 1)	(0: 0 → 1)	(0: 0 → 1)	(0: 0 → 1)	(0: 0 → 1)		(1: 0 → 1)	
Byte		68 ₁₆	4C ₁₆	4C ₁₆	4C ₁₆	68 ₁₆	68 ₁₆				
Bit		(6: 0 → 1)	(0: 1 → 0)	(0: 1 → 0)	(0: 1 → 0)	(0: 1 → 0)	(0: 1 → 0)	(0: 1 → 0)		(5: 1 → 0)	
Byte	F9 ₁₆		4D ₁₆				0A ₁₆	03 ₁₆	03 ₁₆		
Bit	7,6,5,4,2: 0 → 1 (0 ₁₀ → 244 ₁₀)		3,1: 1 → 0				6: 0 → 1 0: 0 → 1	7,4; 0 → 1 (2-0: „Kaffee“) (7 nicht manuell)	7,4; 0 → 1 (2-0: „Kaffee“) (7 nicht manuell)		

■ Tabelle A.3: Speicherpositionen im RAM (2)

A GROSSE ABBILDUNGEN



■ Abbildung A.2: Abgefragte Speicherstellen für die API im EEPROM (1 Kästchen ≡ 1 Wort)

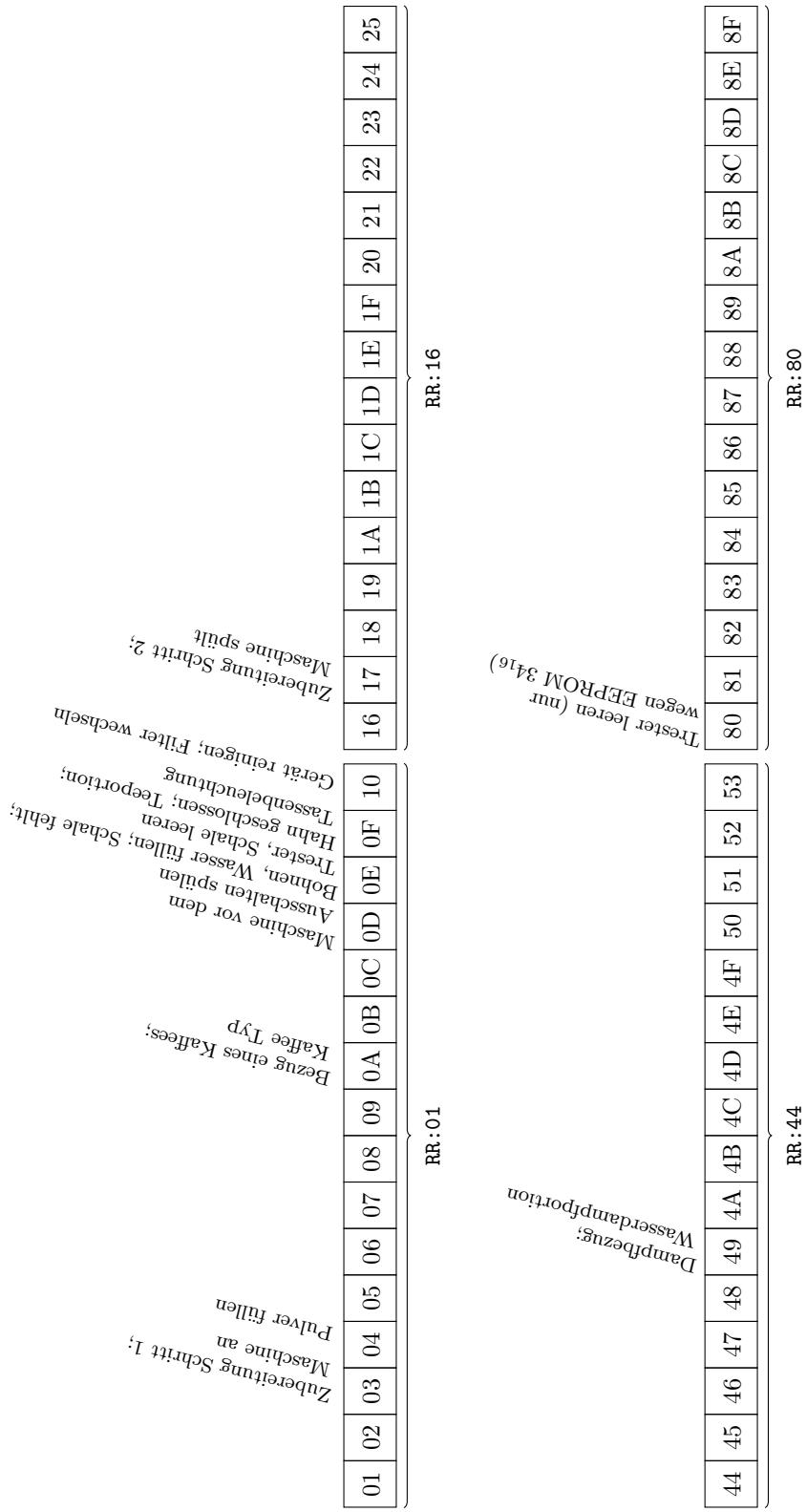


Abbildung A.3: Abgefragte Speicherstellen für die API im RAM (1 Kästchen \equiv 1 Byte)

A GROSSE ABBILDUNGEN

ASCII				Kaffeevollautomat			
hex	dez	Zeichen	Display	hex	dez	Zeichen	Display
0 – 31				...			
0x20	32	Leerzeichen	Leerzeichen	0x41	65	A	A
0x21	33	!	—	0x42	66	B	B
0x22	34	"	■■■	0x43	67	C	C
0x23	35	#	■■	0x44	68	D	D
0x24	36	\$	○	0x45	69	E	E
0x25	37	%	○○	0x46	70	F	F
0x26	38	&	※	0x47	71	G	G
0x27	39	,	“”	0x48	72	H	H
0x28	40	(„	0x49	73	I	I
0x29	41)	„	0x4A	74	J	J
0x2A	42	*	◊	0x4B	75	K	K
0x2B	43	+	+	0x4C	76	L	L
0x2C	44	,	,	0x4D	77	M	M
0x2D	45	-	-	0x4E	78	N	N
0x2E	46	.	.	0x4F	79	O	O
0x2F	47	/	/	0x50	80	P	P
0x30	48	0	0	0x51	81	Q	Q
0x31	49	1	1	0x52	82	R	R
0x32	50	2	2	0x53	83	S	S
0x33	51	3	3	0x54	84	T	T
0x34	52	4	4	0x55	85	U	U
0x35	53	5	5	0x56	86	V	V
0x36	54	6	6	0x57	87	W	W
0x37	55	7	7	0x58	88	X	X
0x38	56	8	8	0x59	89	Y	Y
0x39	57	9	9	0x5A	90	Z	Z
0x3A	58	:	:	0x5B	91	[〔
0x3B	59	;	;	0x5C	92	\	＼
0x3C	60	<	<	0x5D	93]	〕
0x3D	61	=	=	0x5E	94	^	■■
0x3E	62	>	>	0x5F	95	_	■■
0x3F	63	?	?	0x60	96	‘	■■
0x40	64	@	✉	97-127 a-z { ! } ~			
				...			

■ Tabelle A.4: Verfügbarer Zeichensatz des Displays

Inhalt der CD

Inhalt	Beschreibung
thesis.pdf	Diese Arbeit in digitaler Form
JuraCoffeeMemory/	Das entwickelte Projekt
JuraCoffeeMemory/arduino/arduino.ino	Das Arduino Skript aus [Kö18]
JuraCoffeeMemory/data/	Die aufgenommenen Speicherauszüge im JSON Format
JuraCoffeeMemory/doxygen/	Die Doxygen Dokumentation
JuraCoffeeMemory/manual_jura/	Handbuch und Abbildung des Kaffeevollautomaten aus [Kö18]
JuraCoffeeMemory/result/	Ergebnisse der Auswertung
JuraCoffeeMemory/tools/	Kleine Helfer-Programme und Codestücke
JuraCoffeeMemory/website/	Die Webseite zur Visualisierung

■ **Tabelle B.1:** Inhalt der CD