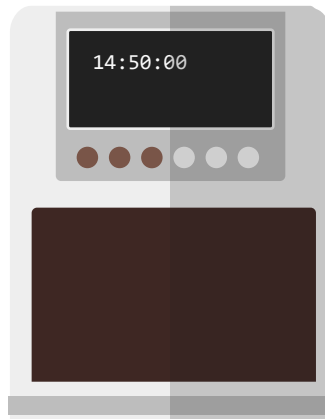


EVENT DRIVEN SYSTEMS

Erstellen einer nutzerfreundlichen Kaffeemaschine auf dem MCB2300 mit QP und einer Hierarchischen State Maschine



Peter Müller, Andreas Wilhelm, René Zarwel

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Anforderungen	2
2.1	User Stories	3
2.2	Technische Anforderungen	3
3	Umsetzung	4
3.1	Orthogonale Region	4
3.2	UML Modellierung	4
3.3	Verwendete Treiber	5
3.4	Anpassungen am Board Support Package	6
3.4.1	Handler für den Timer Interrupt	6
3.4.2	Handler für den ADC (nach lesen) Interrupt	7
3.5	Capture - Dispatch - Process	7
3.6	Menü	7
4	Resümee Umsetzung	8
4.1	Stolpersteine	8
4.2	Bewertung der Erkenntnisse	9
5	Persönliche Berichte	11
5.1	René Zarwel	11
5.2	Peter Müller	12
5.3	Andreas Wilhelm	13

1 Einleitung

Mit einem Zustandsautomaten lassen sich vielfältigste Aufgaben lösen. Von einfachen Taschenrechnern bis hin zu komplexen Smartwatches und intelligenten Routern sind verschiedenste Anwendungen gegeben.

Doch leider wird gerade bei komplexen Projekten in der Praxis häufig die Größe des benötigten Zustandsautomaten unterschätzt. Gerade während des gesamten Softwarelebenszyklus ergeben sich durch vielfältige Änderungen schnell unkontrollierbare Konstrukte, die sich nur mit viel Aufwand stabilisieren und erweitern lassen. Damit die Wartbarkeit nicht unter der Komplexität leidet, wurden diverse Pattern als Erweiterung eines einfachen Zustandsautomaten entwickelt. Hierzu zählt der hierarchische Zustandsautomat und das Active Object Pattern.

Dabei ist beim Active Object Pattern der “Process” Schritt klar vom “Dispatch” getrennt. Ein Event wird somit nicht direkt verarbeitet, sondern in eine Queue abgelegt. Ein Scheduler entscheidet anschließend, welche Events als nächstes verarbeitet werden sollen. Hierzu nimmt er eins aus der Queue und ruft den entsprechenden Eventhandler auf.

Durch dieses Vorgehen wird eine “Inversion of Control” erreicht, was die Verarbeitung von dem Event-Erzeugen gut entkoppelt und die Wartbarkeit deutlich steigert.

Um diese und weitere Pattern praktisch an einem Beispiel zu erproben, wird in dieser Arbeit die Umsetzung einer zeitgesteuerten Kaffeemaschine mittels eines Active Object getriebenen Zustandsautomaten beschrieben. Hierzu werden im nächsten Kapitel praxisnahe Anforderungen definiert, die anschließend mit einem MCB2300 Board unter Zuhilfenahme des QP Frameworks umgesetzt werden. Diese Umsetzung wird im folgenden Kapitel beschrieben und an Beispielen verdeutlicht. Das anschließende Kapitel gibt dann ein kurzes Fazit zur Umsetzung und bewertet die gewonnenen Erkenntnisse.

Im letzten Kapitel fließt noch ein getrenntes Feedback der Autoren ein, dass die individuelle Umsetzung veranschaulicht.

2 Anforderungen

Das Ziel der Umsetzung ist eine benutzerfreundliche Kaffeemaschine, welche auf dem MCB2300 realisiert werden soll. Damit der Nutzer seinen Kaffee immer zum gewünschten Zeitpunkt erhält, soll eine Zeitsteuerung für den Brühvorgang umgesetzt werden. Dadurch kann er z. B. am Vortag die Kaffeemaschine so einstellen, dass am nächsten Morgen, direkt nach dem Aufstehen, der Kaffee schon bereitsteht. Um dies zu erreichen ist ein Menü zum Einstellen der Alarmzeit einzubauen, bei dem sich sowohl Stunden als auch Minuten des geplanten Brühvorganges einstellen lassen.

Damit die Kaffeemaschine, z. B. während eines Urlaubs, keinen Kaffee zu unerwünschten Tagen zubereitet, soll sich die Zeitsteuerung (Alarm) auch deaktivieren lassen. Hierzu ist im Menü eine entsprechende Einstellung vorzusehen. Auch soll der Brühvorgang dann nicht stattfinden, wenn keine Kaffeekanne bereitsteht. So wird ein Schaden beim Nutzer vermieden, der durch einen unkontrollierten Brühvorgang entstehen würde.

Des Weiteren soll sich die Kaffeestärke vom Nutzer einstellen lassen, damit er den Kaffee so erhält, wie er ihn bevorzugt trinkt. Dazu ist im Menü eine Einstellung für die Kaffeestärke einzurichten, welche zusätzlich die aktuell eingestellte Stärke auch durch separate Leuchten dauerhaft und unabhängig von der momentanen Anzeige darstellt.

Aus diesen Anforderungen können folgende User Stories abgeleitet werden, die die benötigte Funktionalität noch einmal kurz zusammenfasst.

2.1 User Stories

- Als Kaffeetrinker möchte ich die momentane Uhrzeit auf dem Display sehen, um festzustellen, wann der nächste Kaffee gebraut wird.
- Als Kaffeetrinker möchte ich die Startzeit für den Brühvorgang einstellen, um erst so spät wie möglich aufstehen zu müssen.
- Als Kaffeetrinker möchte ich die Stärke zwischen leicht, mittel und stark einstellen, um den Kaffee an meine Vorlieben anzupassen.
- Als Kaffeetrinker möchte ich den automatischen Brühvorgang ein- bzw. ausstellen können, damit bei meiner Abwesenheit kein Kaffee gebrüht wird.
- Als Kaffeetrinker möchte ich, dass der Kaffee nicht ausgegeben wird, wenn kein Behälter unter der Ausgabe ist, um Sauereien zu vermeiden.

2.2 Technische Anforderungen

Zusätzlich zu den zuvor genannten funktionalen Anforderungen gibt es auch technische Anforderungen, welche die zur Verfügung stehende Hardware beschreiben. Mit ihnen wird die Umsetzung der funktionalen Anforderungen anhand der gegebenen Eingabe- und Ausgabemittel beschrieben.

Für die Bedienung der Kaffeemaschine steht ein Knopf (INT0) und ein Potentiometer zur Verfügung. Hierüber soll das Menü gesteuert werden. Da keine Kaffeekanne und eine entsprechende Platzierungserkennung zur Verfügung steht, soll zusätzlich während des Brühvorgangs diese mittels des Knopfes simuliert werden.

Um die Einstellungen und den aktuellen Status anzuzeigen, stehen ein LCD sowie eine Reihe LEDs zur Verfügung. Dabei soll vorrangig das LCD verwendet werden, da die LEDs der Anzeige der Kaffeestärke vorbehalten sind.

Im Folgenden wird die genaue Benutzung der Hardware beschrieben:

Clock Integration der (Real Time Clock) mit gegebenem Treiber. Die Zeit soll nach ISO auf dem LCD angezeigt werden: 23:34:30

Control Menu Über den INT0 Knopf wird ein Menü durchlaufen. Das Drücken des Knopfes wird als Bestätigung interpretiert. Das Menü wird sequentiell durchlaufen.

1. Startzeit für Brühvorgang
2. Kaffeestärke
3. Alarm An/Aus

Einstellen der Alarmzeit Die Werte werden von links nach rechts (Stunden, Minuten) mit dem Potentiometer eingestellt. Mit INT0 wird eine Zahl bestätigt und zur nächsten gewechselt. Nach einem vollständigen Durchlauf wird die Zeit gespeichert.

Einstellen der Kaffeestärke Mit dem Potentiometer wird zwischen leicht, mittel und stark gewechselt. Die LEDs zeigen die Stärke an. Zwei für leicht, vier für mittel und sechs für stark.

Einstellen des Alarms Mit dem Potentiometer wird zwischen Ein und Aus gewechselt. Mit INT0 wird die Aktion bestätigt.

Simulation Kaffeekanne Brüht die Maschine gerade Kaffee und wird der INT0 Knopf gedrückt, ist das gleichwertig zu dem Entfernen der Kanne.

3 Umsetzung

Mit den zuvor definierten Anforderungen konnte die Umsetzung beginnen. Hierzu musste das Projekt nicht von Grund auf neu erstellt werden. Als Basis diente ein vorhandenes Projekt zur Umsetzung einer Alarmuhr. Da die zeitgesteuerte Kaffeemaschine, wie die Alarmuhr, zu einem gewissen Zeitpunkt eine Aktion durchführen soll, war dieses Projekt eine sehr gute Vorlage.

Da bei der Alarmuhr lediglich das Keil Projekt vorhanden war, galt es zunächst den eingebauten Zustandsautomaten zu analysieren und mittels QM (QP Modeler) nachzubauen.

Bei der Analyse der Alarmuhr ist aufgefallen, dass diese das orthogonale Regionen Pattern zur Modellierung verwendet.

Nach dem Umbau galt es das bestehende QM-Modell mit der Alarmuhr auf das Projekt Kaffeemaschine anzupassen und entsprechend zu erweitern. Die Erweiterungen waren hierbei das komplette Einstellungs-Menü mit Abspeichern der Input-Daten, die Verwendung der Real Time Clock (RTC), das Kaffee brühen an sich, sowie die Simulation der Kaffeekanne. Der Alarm musste entsprechend auf die neue Prüfbedingung und das auszulösende Event angepasst werden.

3.1 Orthogonale Region

Mit orthogonalen Region lassen sich Zustandsautomaten bauen, die unabhängige Teilbereiche aufweisen. Dies bedeutet, dass sich ein System gleichzeitig in mehreren Zuständen befinden kann. So wird vermieden, dass die benötigten Zustände durch Kombination explodieren und unübersichtlich werden.

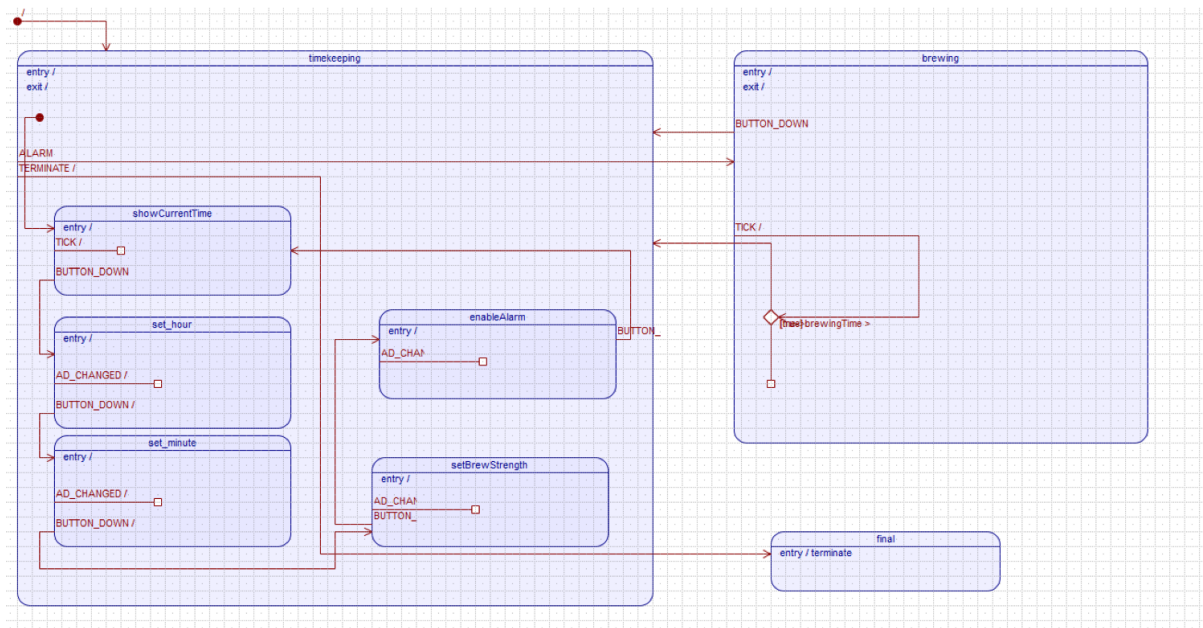
In Bezug auf die Alarmuhr hat sich dies in einer Trennung der Alarmeinstellung und -überwachung geäußert. Dadurch konnte gleichzeitig die Alarmzeit eingestellt bzw. die aktuelle Uhrzeit angezeigt und der Alarm kontrolliert ausgelöst werden.

Diese Trennung wurde bei der Modellierung der Kaffeemaschine übernommen.

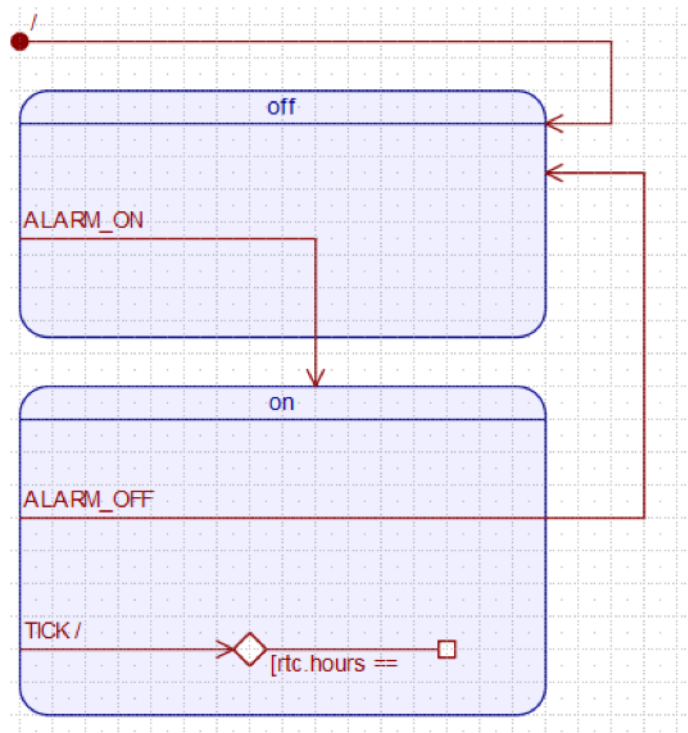
3.2 UML Modellierung

Im folgenden Modell ist der hauptsächliche Teilbereich des Zustandsautomaten mit dem Active Object Pattern mit dessen initial Status `timekeeping` dargestellt. Darin ist die Anzeige der aktuellen Uhrzeit, sowie das Einstellungs-Menü mit den einzelnen Status eingebettet. Initial wird in den Status `showCurrentTime` gewechselt. In diesem Status wird mit jedem TICK-Signal die aktuelle RTC ausgelesen und angezeigt. Nach Drücken des Knopfes wird in das Menü und den ersten Status `set_hour` gewechselt. Nach Einstellen der Alarm-Stunden durch das Potentiometer und bestätigen mit einem Knopf-Druck kommt man in den Status `set_minute`, in dem analog verfahren wird. In `setBrewStrength` kann nun die Stärke des Kaffees mit dem Potentiometer eingestellt werden. Nach Bestätigen gelangt man in den letzten Einstellungs-Menü-Status `enableAlarm`. Dabei wird der Alarm aktiviert oder deaktiviert. Mit einer erneuten Bestätigung wird wieder in den `showCurrentTime`-Status gewechselt.

In den brewing-Status wird nach Auslösen des Alarms gewechselt. Der Trigger hierfür kommt von der orthogonalen Region "Alarm" des Zustandsautomaten, auf den im anderen Modell noch genauer eingegangen wird. Nach Beenden des Brüehens wird wieder zurück in den `timekeeping`-Status gewechselt. Wenn während des Brüehens der Knopf gedrückt wird, was der Entnahme der Kaffeekanne entsprechen soll, wird das Brüehen sofort gestoppt und ebenfalls in den `timekeeping`-Status zurückgekehrt.



Nachfolgend wird die orthogonale Region des zuvor beschriebenen Zustandsautomaten gezeigt, welcher die Alarmüberwachung enthält. Wenn der Alarm aktiviert ist, befindet man sich im on-Status. Darin wird mit jedem TICK-Signal die RTC und die Alarmzeit verglichen und bei Übereinstimmung das ALARM-Signal getriggert.



3.3 Verwendete Treiber

Für die aktuelle Uhrzeit wurde eine auf dem Chip integrierte Real Time Clock (RTC) verwendet. Für das Auslesen der Uhrzeit wurde das bereitgestellte Board Support Package (BSP) genutzt. Ebenso wie für das initiale Setzen der Default-Uhrzeit. Dadurch musste kein zweiter Timer implementiert werden, welcher sonst für das Hochzählen der Uhrzeit zuständig gewesen wäre. Der Treiber beinhaltet einen eigenen Interrupt-Handler.

Um in das Einstellungs-Menü zu gelangen und die einzelnen eingestellten Werte zu bestätigen wurde der INT0-Knopf genutzt. Dieser wurde ebenfalls mit dem bereitgestellten Treiber bzw. BSP eingebunden. Dabei wird im Interrupt-Handler lediglich auf ein ButtonDown reagiert, was dem Drücken des Knopfes entspricht. Der Treiber besitzt ebenso einen eigenen Interrupt-Handler.

Alle Werte sind über das Potentiometer bzw. den dazugehörigen Analog-Digital-Converter einzustellen. Auch hierfür wurde der bereitgestellte Treiber/BSP verwendet. Dabei gilt zu beachten, dass vor der Verwendung des AD-Converters, dieser erst noch extra aktiviert werden muss. Auch dieser Treiber hat einen eigenen Interrupt-Handler.

Zur Visualisierung der aktuellen Uhrzeit, den Menü-Einträgen und den einzustellenden Werten wurde das LCD mit gegebenem Treiber/BSP benutzt.

Für die Darstellung der Kaffeestärke werden, je nach Wert, einzelne LEDs an- bzw. ausgeschaltet. Auch hierfür wurde der bereitgestellte Treiber des BSP genutzt.

3.4 Anpassungen am Board Support Package

Im BSP wurde der Software Layer zur Anbindung an die Hardware umgesetzt. Dies umfasst:

- ADC
- Button
- LCD
- RTC
- LEDs
- Timer

Es waren keine speziellen größeren Anpassungen nötig, da alle BSPs nach dem Einbinden und minimalen Anpassungen funktionierten und den Anforderungen entsprachen. Auch eine separate Entkopplung des Knopfes entfiel, da eine einfache Umsetzung bereits enthalten war.

Die einzigen Anpassungen waren das Triggern des jeweiligen passenden Events. Zusätzlich mussten in den Interrupt-Handlern das Sperren der Interrupts durch QF_INT_UNLOCK erweitert werden.

3.4.1 Handler für den Timer Interrupt

Im Timer1 Interrupt wird direkt auch gleich die A/D Umwandlung aktiviert.

```
__irq void T1_IRQHandler(void)
{
    ...
    QF_INT_UNLOCK();
    QF_tick();
    QF_INT_LOCK();
    ...
    /* ACK Timer1 int */
    ADOCR |= 0x01000000; /* Start A/D Conversion */
    T1IR = 1; /* Clear interrupt flag */
    VICVectAddr = 0; /* Acknowledge Interrupt */
}
```

3.4.2 Handler für den ADC (nach lesen) Interrupt

Das AD Event wird vom Interrupt-Handler in das Active Object dispatcht.

```
__irq void ADC_IRQHandler(void)
{
    short AD_next = (ADODR0 >> 6) & 0x3FF; /* Read Conversion Result */
    if (AD_last != AD_next)
    {
        AD_last = AD_next;
        adc_change();
    }
    VICVectAddr = 0; /* Acknowledge Interrupt */
}

void adc_change()
{
    ...
    QF_INT_UNLOCK();
    QACTIVE_POST(ao2,
                 (QEvent *)&event, (void *)0);
    QF_INT_LOCK();
}
```

3.5 Capture - Dispatch - Process

Wichtig bei diesem Projekt war Einhaltung der Trennung zwischen dem Einfangen von Events (Capture), dem Zuordnen des Events zum Handler (Dispatch) und der Verarbeitung des eigentlichen Events (Process). Eine Zentrale Rolle spielte hierbei auch das Inversion of Control nach dem Hollywood-Motto “Don’t call us, we call you” sodass das Event Capture, Event Dispatch und Event Process voneinander entkoppelt ist.

Das Capture ist in den einzelne Treibern enthalten. Hierbei wird intern, sobald ein Interrupt ausgelöst wurde, der jeweilige Interrupt-Handler aufgerufen. In diesem wird dann das jeweilige QM Event mit dem dazugehörigen Signal erzeugt und in die EventQueue eingefügt.

Das Abarbeiten der EventQueue ist Teil des Dispatch. Dabei wird ein Event aus der Queue genommen und anhand des aktuellen States der richtige Eventhandler bestimmt.

Beim Process wird nun die vom Dispatch aufgerufene Methode ausgeführt, was der eigentlichen Programm-Logik entspricht.

3.6 Menü

Das Menü auf dem LCD Display kann sequentiell durchlaufen werden. Dabei sieht die Ausgabe wie folgt aus:

```
1. Aktuelle Uhrzeit
=====
14:50:00
=====
```

2. Einstellen Alarmzeit (Stunde) mit dem Rad

```
=====
##:50:00
=====
```

3. Alarmzeit (Minute)

```
=====
14:##:00
=====
```

4. Stärke

```
=====
Set Strength
=====
[*] [*] [*] [ ] [ ] [ ]
```

5. Alarm An/aus

```
=====
Alarm On
=====
```

4 Resümee Umsetzung

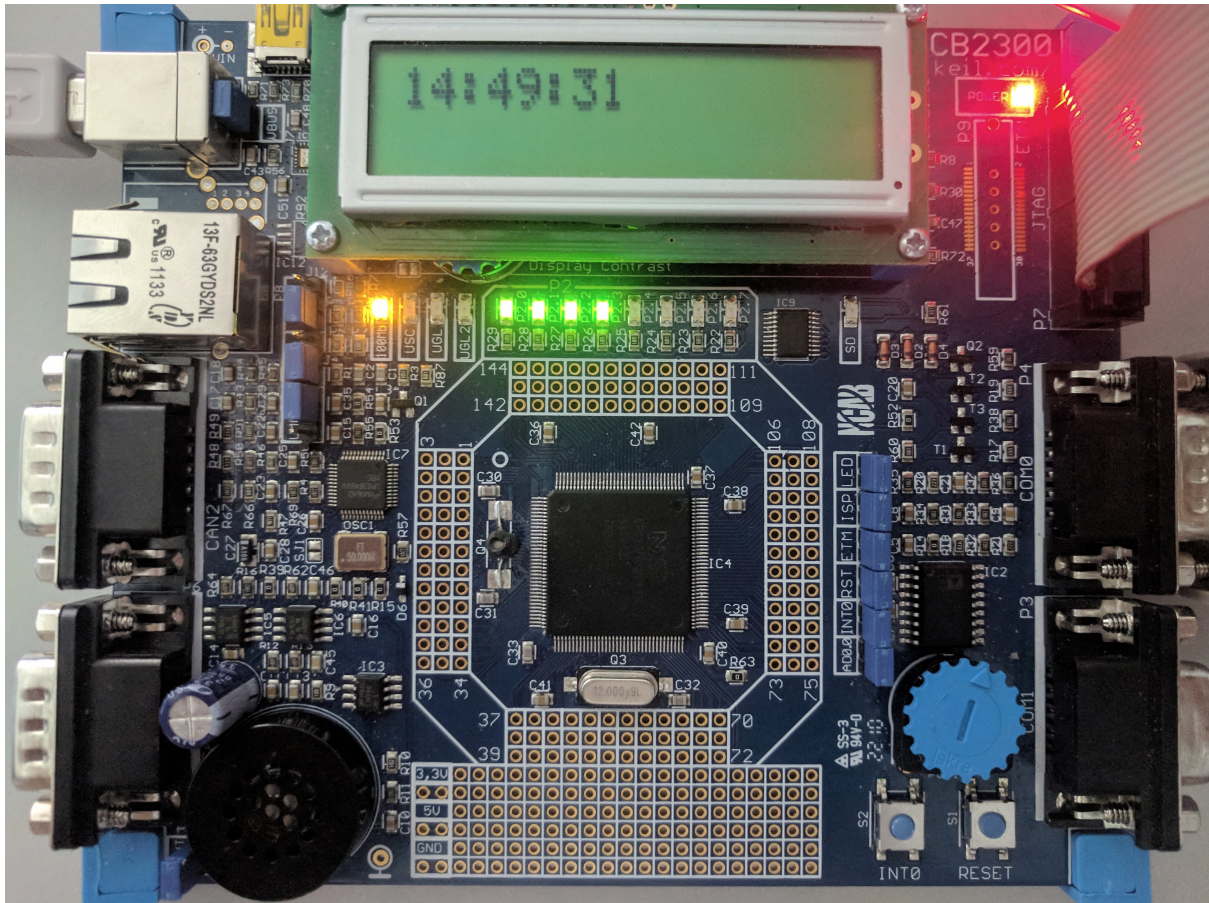
4.1 Stolpersteine

Wir konnten die Aufgaben sehr gut im Team lösen. Teilweise gab es aber kleine Hindernisse, die unseren Fortschritt verzögert haben.

Compile-Fehler in Keil waren manchmal schwer zu verstehen. Die richtige Strukturierung der einzelnen Dateien war ebenfalls schwierig.

QM ist gut dokumentiert und hat viele Beispiele. Trotzdem war es schwer die richtigen Framework-Funktionen zu finden und sie auch im richtigen Kontext zu verwenden. Die Arbeit mit zwei Tools an der gleichen Code-Basis war umständlich.

Durch die vier Interrupt-Handler bestehend aus dem des Timers, der RTC, des Knopfes und des Potentiometers gestaltete es sich relativ schwierig das System zu debuggen. Es war schlicht fast nicht möglich gewesen, eine Stelle näher zu analysieren, ohne dass das Programm nach kurzer Zeit abgebrochen hat. Ebenso nahezu unmöglich gestaltete sich das Debuggen eines Interrupt-Handlers selbst, da sich das Board dann anders verhalten und sich zum Beispiel aufgehängt hat.



4.2 Bewertung der Erkenntnisse

Wir haben gesehen, dass man mit Zustandsautomaten vielfältige Aufgaben auf unterschiedliche Weisen lösen kann. Dabei kann die Größe des Zustandsautomaten schnell unübersichtlich und komplex werden, sodass es Sinn ergab, diese auf mehrere Zustandsautomaten aufzuteilen. So, wie eben in unserem Fall, mit dem hierarchische Zustandsautomat, dem Active Object Pattern sowie dem Einbringen von orthogonalen Regionen. Allerdings wird es auch wieder schwieriger das ganze System zu debuggen, da viele entkoppelte Teile an der gesamten Verarbeitung beteiligt sind.

Durch die Verwendung von mehreren Interrupt-Handlern und den dadurch auftretenden Probleme, konnte weitere Erfahrungen in der embedded Programmierung gewonnen werden. Besonders natürlich auch hier im Hinblick auf das Debuggen.

Wir haben das Tool Keil für die embedded Programmierung kennen gelernt. Ebenso wie das Quantum Framework mit dem QP Modeler zur Modellierung der Kaffeemaschine und der Generierung der Code-Teile der State Machine.

Der QP Modeler half den Automaten grafisch übersichtlich darzustellen. Des Weiteren lässt sich daraus das Modell hervorragend für die Dokumentation des jeweiligen Projektes verwenden. Ein Nachteil ist aber definitiv, dass eben mit mehreren Programmen an derselben Code-Basis gearbeitet wird, was zu Problemen führt oder einfach teilweise nur umständlich ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass wir bei diesem Projekt unsere neuen Erkenntnisse mit State Machines und zugehörigen Pattern optimal einsetzen und verinnerlichen konnten. Wir haben die Schlüsselkomponenten für ein erfolgreiches Eventmanagement (Capture, Dispatch,

Process) mit der Inversion of Control erprobt sowie die objektorientierte Programmierung mit Polymorphie, Vererbung, Kapselung aktiv genutzt und an einem praktischen Beispiel umgesetzt.

5 Persönliche Berichte

5.1 René Zarwel

Die Umsetzung der Kaffeemaschine erfolgte vollständig in Zusammenarbeit an einem Rechner, sodass sich keine getrennten Aufgaben ergeben haben. Dies hatte den Vorteil, dass das Wissen gleichmäßig verteilt und Probleme schneller gefunden und gelöst wurden.

Da bei der Umsetzung der Kaffeemaschine immer in beiden Programmen Teile angepasst werden mussten, wäre eine Aufteilung schlicht und einfach auch nicht sinnvoll gewesen, da sich jede Änderung des QM-Modell's auch essentiell auf den Code auswirkt.

5.2 Peter Müller

Ich habe immer versucht das Team möglichst gut zu unterstützen. Da wir immer zu dritt gemeinsam gearbeitet haben, habe ich bei Gelegenheit Aufgaben alleine parallel erledigt.

Ich habe die Keil Konfiguration durchgeführt. Auch die zusätzlichen Einstellungen für den jLink. Ich habe teilweise selbst an den vorgegebenen Projekten programmiert und ansonsten im Pair Programming die anderen Teammitglieder begleitet und mitgedacht. Ich habe mir überlegt wie man die Kaffeemaschine in UML modelliert und Recherche zu analogen Beispielen von QM durchgeführt. Einige Zustände sowie Übergänge aus dem QM Modell stammen von mir. Ich habe die Anforderungen an die Maschine aufgenommen und niedergeschrieben. Den Fortschritt der Software habe ich mit einer Liste von Aufgaben überwacht und versucht dringende Aufgaben zu identifizieren.

Ich habe am Board unsere Software getestet und aktiv die Fehlersuche unterstützt.

Ich kannte schon das State Pattern in den Sprachen C++, Java und Go. Deshalb war es für mich besonders interessant, wie die Konzepte auch mit C umgesetzt werden können. Die Kombination aus Framework, C und Board war für mich eine große Herausforderung. Dank meines Teams konnte ich mehr über C lernen. Lehrreich war auch die Verwendung eines Modellierungswerkzeuges, um die Softwareentwicklung zu unterstützen. Ähnliche (aber von der Idee her andere) Tools kenne ich schon aus Arbeit und Privatem. Es ist schade, dass so wenig Zeit für das Teamprojekt war. Ich hätte gerne mehr an der Kaffeemaschine herumgeschraubt um sie benutzerfreundlicher sowie stabiler zu machen.

5.3 Andreas Wilhelm

In der Design-Phase bzw bei der Modellierung im QP Modeler war ich zusammen mit den anderen beiden aktiv an der Erstellung des Modells beteiligt.

Da ich bereits einiges an Erfahrung in der C und C++ Programmierung mitbringen konnte, konnte ich mich sehr gut bei der Implementierung und Umsetzung des Projektes einbringen und auch unterstützen, wenn es Fragen rund um die C/C++ Programmierung gab. Die meiste Zeit haben wir jedoch gemeinsam daran entwickelt, da damit auch das Wissen gleichmäßig verteilt wurde und somit keine großen Verständnislücken entstehen konnten. Wenn es gerade sinnvoll und überhaupt möglich war, konnte einer ab und zu etwas anderes, wie zum Beispiel Recherche-Arbeit, nebenher erledigen, sodass die anderen beiden im Pair Programming effektiver arbeiten konnten. Vor allem wenn es an das Testen und die Fehlersuche ging, war es ein immenser Vorteil, wenn einfach alle mitdenken und das auftretende Problem dadurch schnell und effektiv behoben werden konnte. Jeder konnte seine Erfahrungen und Ideen hervorragend einbringen, sodass es eine sehr gute Teamarbeit mit dem Resultat einer funktionierenden CoffeeMachine war.

Bei dieser Dokumentation war ich maßgeblich an dem Kapitel der Umsetzung, hierbei vor allem 3.2, 3.3 und 3.5 und der Resümee Umsetzung, besonders 4.2, beteiligt.

Für mich persönlich war dieses Projekt, ein recht anspruchsvolles Projekt, vor allem jedoch, wegen der recht knapp bemessenen Zeit. Dabei habe ich jedoch vieles über Zustandsautomaten gelernt und verinnerlicht können. Vor allem die Umsetzung von komplexeren und verschachtelten State Machines war eine sehr interessante Erfahrung, wobei es natürlich verglichen mit den Real-World-Projekten, noch sehr klein war. Aber die Konzepte sind klar. Besonders bemerkenswert war die Verwendung der objektorientierten Programmierung in Verbindung mit den State Machines. Auch die aktive Verwendung des QP Model konnte mein Horizont rund um Code-Modellierung-Generierungs-Tools erweitern. Wie bei fast jedem Embedded-Projekt treten irgendwelche Probleme auf, die es zu lösen gilt, was uns im Team meiner Meinung nach sehr gut gelungen ist.