|  |
| --- |
|  |
| Dokumentation des PIC16C84 Simulators |
| Studiengang Informationstechnik an der  Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe |
|  |
| **Benedikt Bock, Mario Waxenegger** |
| **19.05.2014** |

|  |
| --- |
|  |

Inhalt

[Abbildungsverzeichnis III](#_Toc388180271)

[Listings III](#_Toc388180272)

[1 Einleitung 1](#_Toc388180273)

[2 PIC16C84 1](#_Toc388180274)

[2.1 Befehlssatz 1](#_Toc388180275)

[2.2 Architektur 1](#_Toc388180276)

[3 Handhabung 1](#_Toc388180277)

[4 Realisierung 1](#_Toc388180278)

[4.1 Wahl der Programmiersprache und des Grundkonzepts 1](#_Toc388180279)

[4.2 Programmstruktur 1](#_Toc388180280)

[4.2.1 goButton 2](#_Toc388180281)

[4.2.2 executeStep 4](#_Toc388180282)

[4.2.3 Interrupthandler 8](#_Toc388180283)

[4.2.4 checkTimer0 12](#_Toc388180284)

[4.2.5 analyzeAndExecute 15](#_Toc388180285)

[4.2.6 countWDT und WDTTimeout 16](#_Toc388180286)

[4.3 EEPROM 18](#_Toc388180287)

[4.3.1 Read 18](#_Toc388180288)

[4.3.2 Write 19](#_Toc388180289)

[4.4 BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS 21](#_Toc388180290)

[4.4.1 MOVF 21](#_Toc388180291)

[4.4.2 SUBWF 21](#_Toc388180292)

[4.5 BIT-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS 21](#_Toc388180293)

[4.5.1 BTFSC 21](#_Toc388180294)

[4.6 LITERAL AND CONTROL OPERATIONS 21](#_Toc388180295)

[4.6.1 CALL 21](#_Toc388180296)

[4.6.2 SLEEP 21](#_Toc388180297)

[5 Zusammenfassung 23](#_Toc388180298)

Abbildungsverzeichnis

[Abbildung 1: PAP GoKlasse::run() 3](#_Toc388180299)

[Abbildung 2: PAP Steuerwerk::executeStep() 5](#_Toc388180300)

[Abbildung 3: PAP Steuerwerk::testForInterrupt() 8](#_Toc388180301)

[Abbildung 4: PAP Steuerwerk::callInterrupt() 10](#_Toc388180302)

[Abbildung 5: PAP Steuerwerk::checkTimer0() 13](#_Toc388180303)

[Abbildung 6: PAP Steuerwerk::analyzeAndExecute 15](#_Toc388180304)

[Abbildung 7: PAP Steuerwerk::countWDT() 16](#_Toc388180305)

[Abbildung 8: PAP Steuerwerk::isWDTTimeOut() 17](#_Toc388180306)

[Abbildung 9: PAP Speicher::eepromRead() 19](#_Toc388180307)

[Abbildung 10: PAP Speicher::eepromWrite() 20](#_Toc388180308)

[Abbildung 11: PAP SleepKlasse::run() 22](#_Toc388180309)

Listings

[Listing 1: GoKlasse::run() 4](#_Toc388180310)

[Listing 2: Steuerwerk::executeStep() 6](#_Toc388180311)

[Listing 3: Steuerwerk::testForInterrupt() 9](#_Toc388180312)

[Listing 4: Steuwerk::callInterrupt() 10](#_Toc388180313)

[Listing 5: MainWindow::slotRBValueChanged() 12](#_Toc388180314)

[Listing 6: Steuerwerk::checkTimer0() 15](#_Toc388180315)

[Listing 7: Steuerwerk::analyzeAndExecute() 16](#_Toc388180316)

[Listing 8: Steuerwerk::countWDT 17](#_Toc388180317)

[Listing 9: Steuerwerk::isWDTTimeOut() 18](#_Toc388180318)

[Listing 10: Speicher::eepromRead() 19](#_Toc388180319)

[Listing 11: Speicher::eepromWrite() 21](#_Toc388180320)

[Listing 12: SleepKlasse::run() 23](#_Toc388180321)

# Einleitung

Das in diesem Dokument beschriebene Projekt zur Implementierung eines Simulators für den Mikrocontroller "PIC16F84", dient dazu die Funktionsweise des im dritten Semester verwendeten Mikrocontrollers besser nachzuvollziehen. Mithilfe des Simulators ist es möglich die Speicherinhalte der einzelnen Register einzusehen sowie zu manipulieren. Überdies kann der Ablauf übersetzter Programme in Form von .LST-Dateien simulieren und mit Hilfe von Breakpoints genauer verfolgt werden. Der Umsetzung des Simulators liegt zu großen Teilen das Datenblatt des "PIC16C84" von "Mikrochip Technology Inc." zugrunde.

# PIC16C84

## Befehlssatz

Der PIC16C84 arbeitet bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Programmcounter) mit 8 Bit Registern. Diese werden mit einem aus 35 Anweisungen bestehenden RISC-Befehlssatz beschrieben, welche nur grundlegende Operationen durchführen können (vlg. CISC-Befehlssätze haben für komplexere Operationen fertige Befehle). Dabei unterscheidet man zwischen bit- und byteorientierten Befehlen sowie Programmflussoperationen und solche Befehle, die mit Konstanten arbeiten, wobei sich die letzten beiden teilweise überschneiden z.B.) RETLW. Im Programmspeicher liegen die Befehle kodiert als 14-Bitwerte vor.

## Architektur

Alle Mikrocontroller der PIC-Familie sind nach der Harvard-Architektur konzipiert. Im Gegensatz zur Von-Neumann-Architektur werden dabei Programm- und Datenspeicher von unterschiedlichen Bussen angesteuert, was die Geschwindigkeit des Systems um den Faktor zwei steigern kann. Die zugrunde liegende Busstruktur wurde im Rahmen des Simulators jedoch nicht berücksichtig, da sie für die korrekte Ausführung der Programme keine Rolle spielen.

Im Speicher findet die sogenannte Adressspiegelung Einsatz. Der Speicher ist in zwei Bänke unterteilt. Zu großen Teilen verweisen die Einträge von Bank 0 und Bank 1 auf die selben Registerinhalte (z.B. General Purpose Register). Unter den Special Function Registern gibt es doppelt belegte Adressen. Ein Beispiel heirfür sind die Register PORTA und TRISA.

# Simulator

## Allgemeine Definition

Ein Simulator bzw. eine Simulation soll in erster Linie Vorgänge, Zusammenhänge und Objekte der realen Welt abstrahieren und vereinfacht nachstellen. Somit lassen sich aus der Simulation Rückschlüsse auf das echte System ziehen. Darüber hinaus lassen sich Szenarien ohne Risiken durchspielen und ihr Ablauf in der Realität besser abschätzen.

## Vor- und Nachteile der Simulation

Wie bereits im vorigen Abschnitt erwähnt, können mittels einer Simulation Erfahrung über das zugehörige reale System gesammelt werden. Das bedeutet im Klartext, dass Lernwillige sich im Falle des PIC16C84 die Hardware nicht kaufen müssen und damit auch keine Gefahr besteht diese durch falsche Handhabung zu beschädigen.

Nachteilig an der Verwendung eines Simulationsprogrammes ist im konkreten Fall des PIC-Simulators mangels identischer Taktung zum echten Mikrocontroller die Gegebenheit zeitkritische Anwendungen nicht sinnvoll nachbilden zu können.

# Handhabung

## Programm laden

Um ein Programm zu laden klickt man unten rechts auf den Button "Browse". Darauf öffnet sich ein Dialog, über den man die gewünschte .LST-Datei auswählt. Nach einem Klick auf "Load LST" erscheint in der darüber liegenden Tabelle der gesamte Inhalt des gewählten Dokuments. Dabei wird die Startadresse 0000 direkt grün markiert.

## Programm starten und debuggen

Um das geladene Programm zu starten genügt ein Klick auf "Go" (links unter dem angezeigten Quelltext). Wurde dieser betätigt läuft das Programm ohne Unterbrechungen durch bis man auf "Stop" klickt. Während des Programmlaufes ist es außerdem möglich, die Geschwindigkeit zu ändern. Dafür verändert man den Wert Verzögerung (rechts neben "Go").

Möchte man das Programm Schritt für Schritt ausführen lassen, so erreicht man dies durch den Button "Execute Step". Auch das setzen von Breakpoints ist möglich. Durch Doppelklicken auf eine Codezeile färbt sich diese rot und das Programm stoppt während eines aktiven "Go"-Befehls, wenn es an dieser Stelle angelangt. Es muss sich hierbei um eine Zeile mit übersetztem Maschinencode handeln. Ein equ Befehl kann also nicht als Breapoint gewählt werden.

## Händische Speichermanipulation

Links von der Programmansicht sind zwei Fenster zur Visualisierung des Speicherinhaltes vorhanden. Der obere zeigt die gesamten Register des RAMs, das andere listet die Special Function Register auf. Möchte man einen Wert im Speicher händisch Manipulieren, so kann dies über einen Doppelklick auf den entsprechenden HEX-Eintrag der gewünschten Speicherzelle bewerkstelligt werden. Das ist allerdings nur in der allgemeinen Speicheransicht möglich. Über das SFR-Widget können keine Werte geändert werden.

Auf der rechten Seite lassen sich zwei Kontrollbausteine zur Ansteuerung der beiden Ports RA und RB finden. Durch einfaches Anklicken des aktuellen Wertes eines Pins wird selbiger zum toggeln gebracht.

## Watchdog, Stack und weitere Anzeigen

Neben den bisher genannten GUI-Elementen, gibt es noch eine Checkbox mit der sich der Watchdog an-/abschalten lässt. Darüber wird die aktuelle Laufzeit in µs angegeben. Damit lässt sich erkennen wie viel Zeit noch nötig ist, bis der Watchdog eingreift. Außerdem kann die Frequenz mit der die Befehle abgearbeitet werden verändert werden. Abhängig davon wird die Dauer pro Befehlszyklus berechnet und ebenfalls ausgegeben. Mittels des Clear-Buttons kann die momentane Gesamtlaufzeit des Programms auf 0 zurückgesetzt werden.

Oberhalb der Port-Visualisierung findet man den Stack. Dort werden die Rücksprungadressen von CALL-Befehlen abgelegt und angezeigt. Im Gegensatz zum echten PIC gibt es hier keine Begrengzung der Stackgröße auf 8 Einträge.

Unterhalb des Programmlistings werden explizit die von den Prozessoroperationen betroffenen Flags im Status-Register und der gesamte Programmcounter als HEX-Wert angezeigt.

# Realisierung

## Wahl der Programmiersprache und des Grundkonzepts

Bei der Wahl der Programmiersprache für dieses Projekt fiel unsere Wahl auf C++. Diese Sprache haben wir bereits theoretisch im 2. Semester erlernt. Das Projekt bot nun die Möglichkeit auch praktische Erfahrungen mit dieser Sprache zu sammeln.

Durch die Vorlesung Software Engineering I im 3. Semester haben wir bereits Einblicke in das Themenfeld Entwurfsmuster bekommen. Dies führte zu der Idee den Simulator gemäß dem Model-View-Controller-Entwurfsmuster (MVC-Entwurfsmuster) zu strukturieren. Dies hat zur Folge, dass die GUI als eigenständiges Modul aufgefasst wird. Dieses Entwurfsmuster wurde mit Sicherheit, vor allem bei der Trennung von Model und Controller, nicht in Gänze umgesetzt, da dies einen immensen Aufwand nach sich gezogen hätte und nicht in Relation zum eigentlich Projektziel stand.

## Programmstruktur

Das Programm besteht im Wesentlichen aus drei Klassen:

* Mainwindow Klasse
* Steuwerwerk Klasse
* Prozessor Klasse

Die Mainwindow Klasse verwaltet hierbei die GUI und enthält alle nötigen Methoden um die GUI aktuell zu halten. Außerdem enthält die Klasse eine Referenz auf ein Steuerwerkobjekt. Die Steuerwerkklasse übernimmt zum einen die Aufgaben des Controllers aus dem MVC-Entwurfsmuster und zum anderen grob die Aufgaben des Steuerwerks des PIC. Die Mainwindow Klasse ruft Methoden des Steuerwerks auf. Wenn die Steuerwerk Klasse Methoden ausführt, die Inforamtionen ändert, welche für die GUI wichtig sind, dann wird die Mainwindow Klasse benachrichtigt. Diese führt dann entsprechende Aktualisierungen aus.

Die Prozessor Klasse stellt die Funktionalität der ALU des PIC nach. Im Wesentlichen werden hier die eigentlichen Befehle ausgeführt. Das Steuerwerk enthält ein Prozessorobjekt.

Es gibt noch ein paar zusätzliche Klassen, die im Folgenden aufgeführt werden. Die Prozessor Klasse beinhaltet ein Objekt der Speicher Klasse. Diese Klasse stellt den Speicher (incl. EEPROM) des PIC dar.

Zusätzlich gibt es eine Codeline Klasse. Ein Objekt dieser Klasse repräsentiert eine Codezeile des PIC-Programms. Dazu werden in dem Objekt die Zeile selbst, die dezimale Befehlsrepräsentation, sowie ein boolescher Wert gespeichert. Der boolesche Wert gibt an ob auf diese Zeile ein Breakpoint gesetzt wurde. Organisiert werden die Objekte in einem Vektor, der im Steuerwerkobjekt hinterlegt ist. Erzeugt wird der Vektor durch eine weitere Klasse namens Parser. Diese Klasse stellt nur eine statische Methode zur Verfügung. Diese Methode liest die angegebene LST-Datei zeilenweise ein und erzeugt die Codelineobjekte.

Abschließend gibt es noch zwei weitere Klassen. Diese stellen allerdings keine eigenständige Funktionalität dar. Viel mehr beschreiben die beiden Klassen Funktionen des Simulators die in einem separaten Thread laufen müssen um die GUI flüssig zu halten. Die eine Klasse heißt Goklasse. Diese implementiert den „Go“ Button (siehe Kapitel ). Die andere Klasse ist die Sleep Klasse. Diese implementiert den Befehl „sleep“ (siehe Kapitel SLEEP4.6.2).

Im Folgenden werden die wesentlichen Abläufe des Simulators dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass hier nicht weiter auf die GUI eingegangen wird. In den Programmablaufplänen sind die Benachrichtigungen an die GUI nicht berücksichtigt.

### goButton

Wird der go Button gedrückt, so wird ein Objekt der GoKlasse erstellt und die Methode *run()* in einem separaten Thread ausgeführt. Abbildung 1 zeigt den PAP der *run()* Methode. In Listing 1 ist ab Zeile 18 Code zu sehen, der eine Verzögerung in die Schleife einbaut. Hintergrund ist, dass während *executeStep()* die GUI mehrmals Benachrichtigt wird. Die GUI braucht hier ein bisschen Zeit um die Benachrichtigungen abzuarbeiten. Zudem wird im Listing *isRunning* nicht direkt auf false gesetzt. Dies geschieht u.a. mit dem Aufruf *emit slotGoClicked()*.

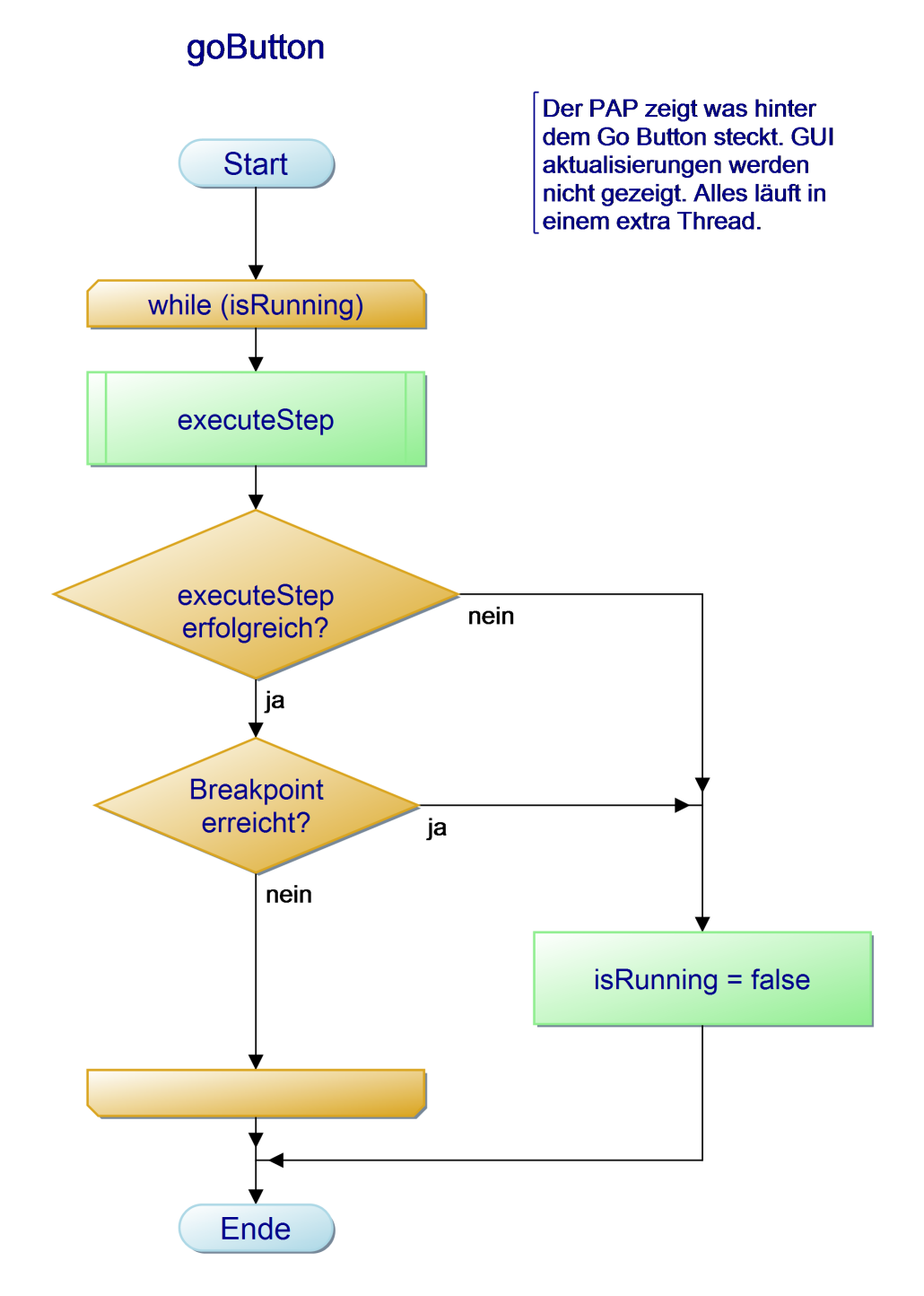


Abbildung 1: PAP GoKlasse::run()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void GoKlasse**::**run**()** |
|  | **{** |
|  | **while(**sW**->**isRunning**)** |
|  | **{** |
|  | **if(!**sW**->**executeStep**())** |
|  | **{** |
|  | emit slotGoClicked**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | //Stop falls breakpoint erreicht |
|  | **if(**sW**->**pc**->**breakpoint**)** |
|  | **{** |
|  | emit slotGoClicked**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | //Pause |
|  | int v**=**50**;** // falls ds Signal nicht schnell genug verarbeitet wird -> mindestverzögerung 50ms |
|  | emit getVerzoegerung**(&**v**);** |
|  | QThread**::**msleep**(**50**);** // warte darauf, dass signal abgearbeitet wurde |
|  | QThread**::**msleep**(**v**-**50**);** |
|  | **}** |
|  | **}** |

Listing : GoKlasse::run()

### executeStep

Diese Funktion führt einen Befehl des Programms aus. Abbildung 2 zeigt den PAP der Methode. Der PAP ist selbsterklärend. Die Funktionsaufrufe (z.B. Interrupthandler) werden im Folgenden aufgeführt. Im Anschluss an den PAP ist der Programmcode zu finden. Funktionsaufrufe mit dem vorangestellten Schlüsselwort „emit“ stellen Benachrichtigungen an die GUI dar.

Aufgerufen wird diese Methode zum einen durch das Mainwindow wenn der „Execute Step“ Button gedrückt wird und zum anderen zyklisch durch die Goklasse. Siehe hierzu Kapitel

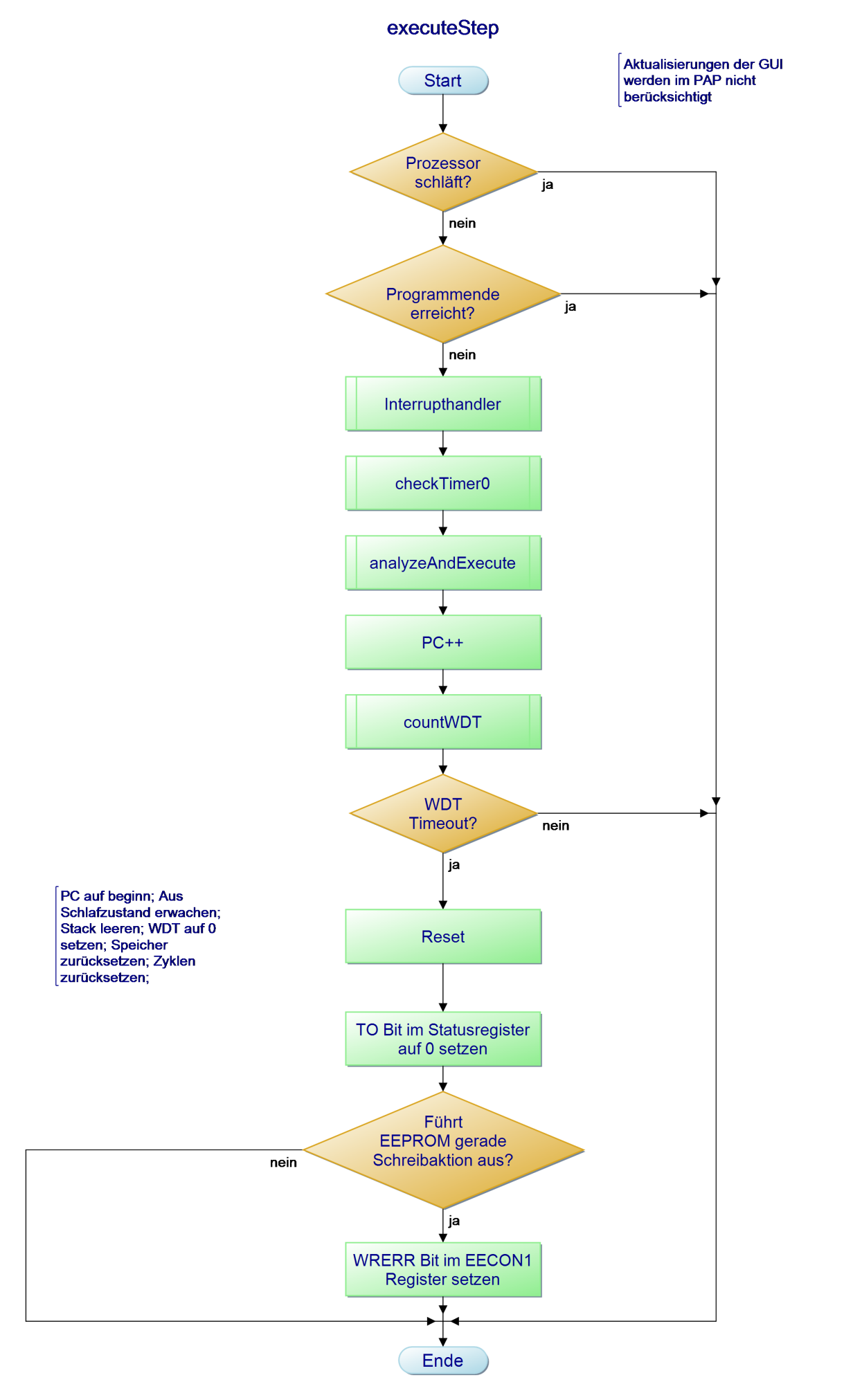


Abbildung : PAP Steuerwerk::executeStep()

|  |  |
| --- | --- |
|  | /\* |
|  | \* Gibt false zurück, wenn PC nicht mehr auf Codezeile zeigt, |
|  | \* d.h. wenn das Programm am Ende angelangt ist. |
|  | \* |
|  | \* Zeigt der PC auf einen gültigen Befehl, wird true zurückgegeben. |
|  | \*/ |
|  | bool Steuerwerk**::**executeStep**(**void**)** |
|  | **{** |
|  | **if(**isSleeping**())** |
|  | **return** **false;** |
|  | **if(**programmEndeErreicht**())** |
|  | **return** **false;** |
|  |  |
|  | testForInterrupt**();** |
|  | **if(**pc**->**breakpoint**)** |
|  | emit setLineColorRed**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | **else** |
|  | emit setLineColorWhite**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  |  |
|  | **if(**pc **!=** maschinencode**.**end**())** |
|  | **{** |
|  | //Ursprünglichen Cycle Wert für Watchdog speichern |
|  | alu**->**vorherigeCycles **=** alu**->**cycles**;** |
|  | checkTimer0**();** |
|  | analyzeAndExecute**(**pc**->**command**);** |
|  | pc**++;** |
|  | alu**->**speicher**.**writePC**(**pc **-** maschinencode**.**begin**());** |
|  | countWDT**();** |
|  | **}** |
|  | **else** |
|  | **return** **false;** |
|  | emit refreshStorageGUI**();** |
|  |  |
|  | **if(**isWDTTimeOut**())** |
|  | **{**//WDT reset, Power on Reset |
|  | emit reset**();** |
|  | alu**->**speicher**.**writeOnBank**(**0**,**3**,**0x0008**);** //TO Bit im Status register clearen |
|  | **if(**int currentEECON1**=**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**1**,**8**)&**0x0002**)**// Führt eeprom gerade ein schreibaktion durch? |
|  | alu**->**speicher**.**writeOnBank**(**1**,**8**,**currentEECON1 **|=** 0x0008**);** //-> WRERR bit (EECON1) setzen |
|  | emit refreshStorageGUI**();** |
|  | **return** **false;** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | **if(!**programmEndeErreicht**())** |
|  | **{** |
|  |  |
|  | emit setLineColorGreen**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | emit gotoLineNumber**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | **}** |
|  | **else** |
|  | **{** |
|  | //GoKlasse muss beendet werden |
|  | **return** **false;** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | **return** **true;** |
|  | **}** |

Listing : Steuerwerk::executeStep()

### Interrupthandler

Die Funktion Steuerwerk::testForInterrupt() entspricht dem Interrupthandler. Diese Funktion wird in Abbildung 3 als PAP dargestellt und Listing 3 zeigt den entsprechenden Auszug aus dem Programm. Zunächst wird geprüft ob Interrupts global aktiviert sind. Ist dies der Fall, so werden die einzelnen Interrupts des PIC (External RB0 Pin, TMR0 Overflow, PORTB change und EEPROM write complete) geprüft. Ist einer der Interrupts aktiviert und das entsprechende Flagbit gesetzt, so wird die Funktion callInterrupt aufgerufen. Näheres dazu im Anschluss.

Die Flags werden bei den entsprechenden Interrupts gesetzt.



Abbildung : PAP Steuerwerk::testForInterrupt()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Steuerwerk**::**testForInterrupt**()** |
|  | **{** |
|  | int intcon **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,**0x0b**);** //Intconregister lesen |
|  | **if(**intcon **&** 0x0080**)** //ist das GIE Bit gesetzt? |
|  | **{** |
|  | **if((**intcon**&**0x0020**)&&(**intcon**&**0x0004**))** //sind T0IE unf T0IF gesetzt? |
|  | **{** |
|  | callInterrupt**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  | **if((**intcon**&**0x0010**)&&(**intcon**&**0x0002**))** //sind INTE unf INTF gesetzt? |
|  | **{** |
|  | callInterrupt**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  | **if((**intcon**&**0x0008**)&&(**intcon**&**0x0001**))** //sind RBIE unf RBIF gesetzt? |
|  | **{** |
|  | callInterrupt**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  | **if((**intcon**&**0x0040**)&&(**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**1**,**0x08**)&**0x0010**))** //sind EEIE unf EEIF (in EECON1 Register) gesetzt? |
|  | **{** |
|  | callInterrupt**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **}** |

Listing : Steuerwerk::testForInterrupt()

**callInterrupt**

Wie bereits erwähnt ruft diese Funktion die eigentliche Interruptroutine des Programms auf. Dazu werden zunächst alle Interrupts global deaktiviert. Anschließend wird der PC auf den Stack gepusht. Abschließend wird Adresse 4 in den PC geladen. Listing 4 zeigt den entsprechenden Code. Der Sprung ist hierbei mit dem call Befehl des PIC umgesetzt. Besondere beachtung gilt Zeile 12. Hier wird der PC dekrementiert. Dies hängt damit zusammen, dass während der call Routine der PC erhöht wird. Man möchte normalerweise an den nachfolgenden Befehl zurück springen. Bei einem Interrupt ist das anders. Hier will man an den Befehl zurück springen, an dem der Interrupt eingetreten ist. Daher Zeile 12.

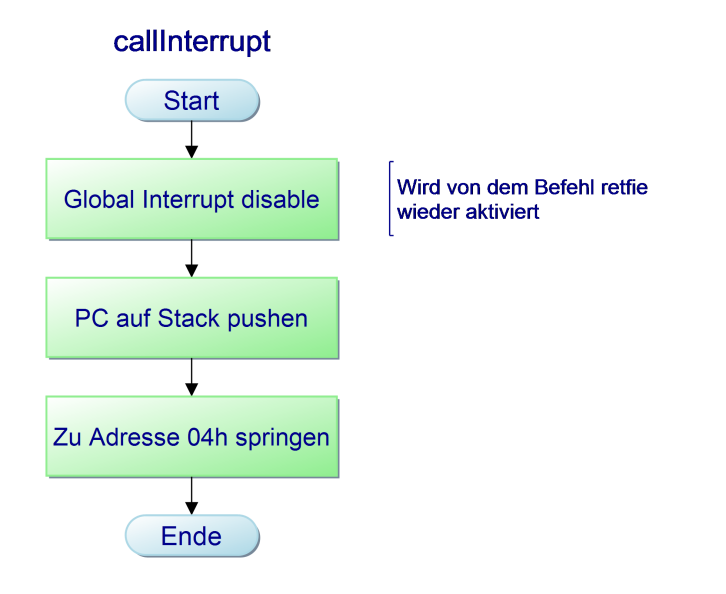


Abbildung : PAP Steuerwerk::callInterrupt()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Steuerwerk**::**callInterrupt**()** |
|  | **{** |
|  | //GIE deaktivieren |
|  | int newValue **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,**0xb**)** **&** 0x007f**;** |
|  | alu**->**speicher**.**writeOnBank**(**0**,**0xb**,**newValue**);** |
|  | //aktuelle Zeile deaktivieren |
|  | **if(**pc**->**breakpoint**)** |
|  | emit setLineColorRed**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | **else** |
|  | emit setLineColorWhite**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | //PC-- |
|  | pc**--;** |
|  | //Call 0x0004 |
|  | alu**->**call**(**0x0004**,this);** |
|  | //neuen PC in PCL schreiben |
|  | alu**->**speicher**.**writePC**(**pc **-** maschinencode**.**begin**());** |
|  | //Befehl 0x0004 aktivieren |
|  | emit setLineColorGreen**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | emit gotoLineNumber**(**getCurrentLineNumber**()-**1**);** |
|  | **}** |

Listing : Steuwerk::callInterrupt()

**Realisierung der Flags**

Die Flags werden bei entsprechenden Ereignissen gesetzt. Für den Timer0 Overflow Interrupt wird das Flag von der checkTimer0 Methode geprüft und gesetzt (siehe Kapitel 4.2.4). Ebenso wird der EEPROM write complete Interrupt vom EEPROM write Thread ausgelöst (siehe Kapitel ).

Für den RB0 und RB changed Interrupt befindet sich die auslösende Methode im Mainwindow. Die Methode heißt slotRBValueChanged und wird ausgeführt, wenn ein Wert von PORTB manuell geändert wird. Dies entspricht zwar streng genommen nicht dem MVC-Entwurfsmuster, da das Steuerwerk vom Mainwindow verändert wird, macht aber durchaus Sinn. Diese beiden Interrupts sind die einzigen beiden Interrupts, die über Pins von außen getriggert werden.

Zunächst wird der aktuelle Wert der zu toggelnden Zelle ausgelesen und negiert (noch nicht zurückgeschrieben!).

Nun wird geprüft ob einer der Interrupts (RB0/INT oder RB7:RB4/INT) ausgelöst worden ist. Entsprechend werden dann die Interrupt-Flags gesetzt. Um Flanken prüfen zu können wird jedes Mal der aktuelle Wert von RB0 zwischengespeichert (Zeile 42 in Listing 5).

Am Ende der Routine wird der neue Wert des Registers bestimmt (Zeile 56-59 in Listing 5) und zurück geschrieben, falls der entsprechende Pin auch im Tris-Register als Input definiert ist.

|  |  |
| --- | --- |
|  | void MainWindow**::**slotRBValueChanged**(**int row**,** int column**)** |
|  | **{** |
|  | **if(**steuerwerk **==** **NULL)** |
|  | **return;** |
|  |  |
|  | **if(**row **==** 0**)** |
|  | **return;** |
|  |  |
|  | int currentValue **=** ui**->**tw\_RB**->**item**(**row**,** column**)->**text**().**toInt**();** |
|  | //wert an der stelle toggeln |
|  | int newValue **=** **(~**currentValue**)** **&** 1**;** |
|  |  |
|  | ui**->**tw\_RB**->**item**(**row**,** column**)->**setText**(**QString**::**number**(**newValue**));** |
|  |  |
|  | ui**->**tw\_RB**->**setCurrentCell**(-**1**,-**1**);** |
|  | ui**->**tw\_RB**->**clearSelection**();** |
|  |  |
|  | // RB0/INT - Interrupt |
|  | // Edge-Select auswählen |
|  | int option **=** steuerwerk**->**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**1**,** 0x01**);** |
|  | bool intedg **=** CHECK\_BIT**(**option**,** 6**);** |
|  |  |
|  | int value **=** steuerwerk**->**readForGUI**(**0**,** 0x06**);** |
|  | int bit **=** 7 **-** column**;** |
|  |  |
|  | bool newRB0Value **=** CHECK\_BIT**(**value**,** 0**);** |
|  |  |
|  | **if(**bit **==** 0**)** |
|  | **{** |
|  | **if(**intedg**)** // positive Flanke |
|  | **{** |
|  | **if(!**lastRB0Value **&&** newRB0Value**)** |
|  | setIntf**();** |
|  | **}** |
|  | **else** // negative Flanke |
|  | **{** |
|  | **if(**lastRB0Value **&&** **!**newRB0Value**)** |
|  | setIntf**();** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | lastRB0Value **=** newRB0Value**;** |
|  |  |
|  |  |
|  | // RB7:RB4 - Interrupt ausgelöst |
|  | int trisbValue **=** steuerwerk**->**readForGUI**(**1**,** 0x06**);** |
|  |  |
|  | **if(**bit **>=** 4 **&&** bit **<=** 7**)** |
|  | **{** |
|  | bool isInput **=** CHECK\_BIT**(**trisbValue**,** bit**);** |
|  |  |
|  | **if(**isInput**)** |
|  | setRbif**();** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | **if(**newValue **==** 0**)** |
|  | value **&=** **~(**1 **<<** bit**);** |
|  | **else** |
|  | value **|=** 1 **<<** bit**;** |
|  |  |
|  | // nur schreiben, wenn im TrisRegister der PIN als Input definiert ist |
|  | int trisBValue **=** steuerwerk**->**readForGUI**(**1**,** 0x06**);** |
|  | bool isInput **=** CHECK\_BIT**(**trisBValue**,** bit**);** |
|  |  |
|  | **if(**isInput**)** |
|  | steuerwerk**->**writeRBFromGUI**(**value**);** |
|  |  |
|  | refreshStorageElements**();** |
|  | **}** |

Listing : MainWindow::slotRBValueChanged()

### checkTimer0

Diese Methode implementiert die Funktionen des Timer0 (TMR0). Dabei kann der TMR0 durch einen externen Takt oder intern hochgezählt werden. Zudem kann jeweils noch ein Vorteiler dazu geschaltet werden. Für den externen Takt kann festgelegt werden, ob auf eine steigende oder fallende Flanke reagiert werden soll. Abbildung 5 zeigt den entsprechenden PAP. Listing 6 zeigt den entsprechenden Programmabschnitt. *externalClockCycles* entspricht dabei dem Takt aus dem PAP.

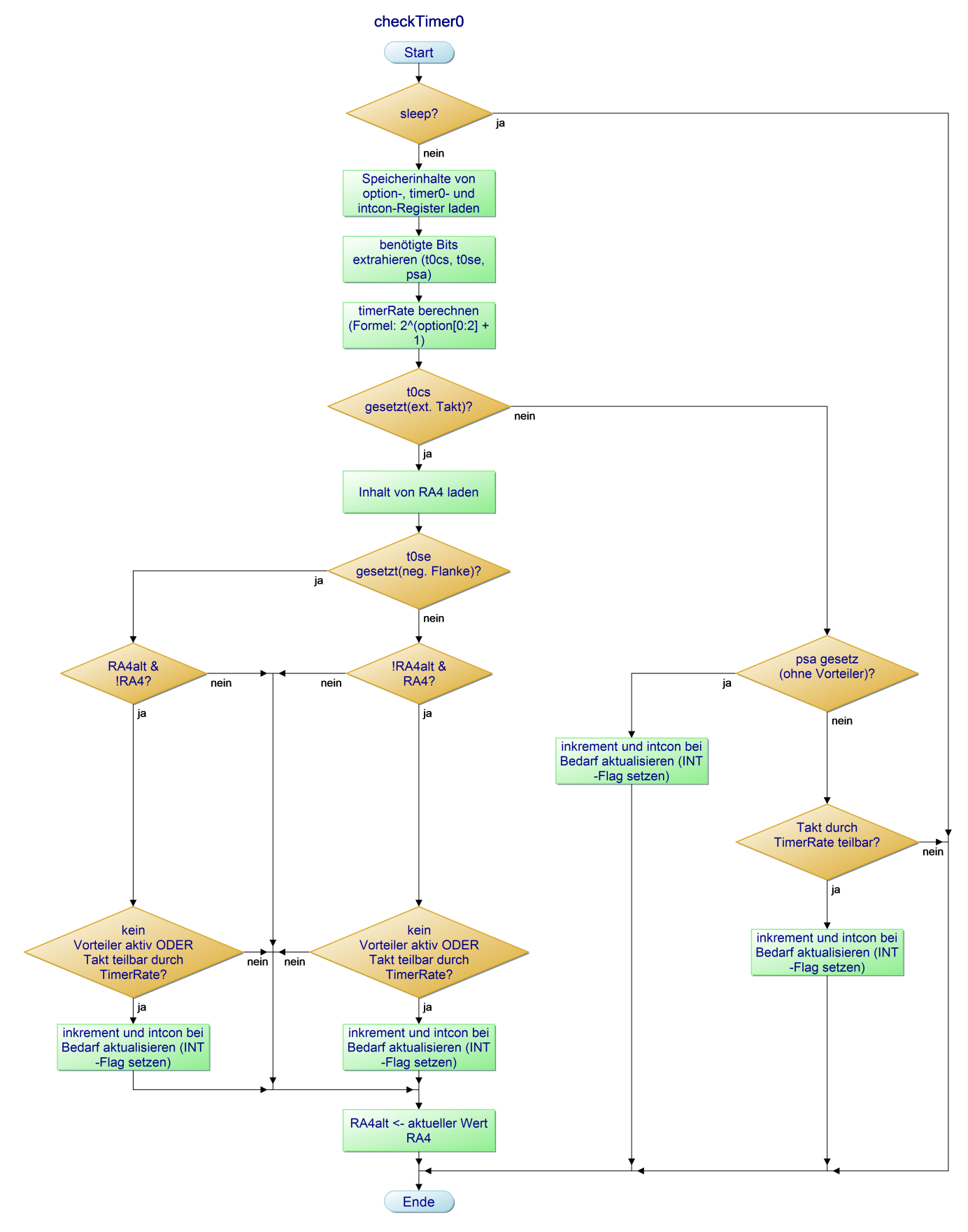


Abbildung : PAP Steuerwerk::checkTimer0()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Steuerwerk**::**checkTimer0**()** |
|  | **{** |
|  | // wenn PIC im sleep-Modus ist, soll Timer nicht behandelt werden |
|  | **if(**isSleeping**())** |
|  | **return;** |
|  |  |
|  | // benötigte Register laden |
|  | int option **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**1**,** 0x01**);** |
|  | int timer0 **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,** 0x01**);** |
|  | int intcon **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,** 0x0B**);** |
|  |  |
|  | // Flags aus Registern auslesen |
|  | bool t0cs **=** CHECK\_BIT**(**option**,** 5**);** // TMR0 clock select |
|  | bool t0se **=** CHECK\_BIT**(**option**,** 4**);** // TMR0 select edge |
|  | bool psa **=** CHECK\_BIT**(**option**,** 3**);** // pre-scaler activated |
|  |  |
|  | int timerRate **=** **(**int**)** pow**(**2.0d**,** **(**double**)((**0x07 **&** option**)** **+** 1**));** |
|  |  |
|  | **if(**t0cs**)** // RA4 - externer Takt |
|  | **{** |
|  | int ra **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,** 0x05**);** |
|  | bool RA4 **=** CHECK\_BIT**(**ra**,** 4**);** |
|  |  |
|  | **if(**t0se**)** // negative Flanke |
|  | **{** |
|  | **if(**RA4alt **&&** **!**RA4**)** |
|  | **{** |
|  | // wenn kein Vorteiler aktiv ist oder der n-te Takt gegeben ist |
|  | **if(**psa **||** externalClockCycles **%** timerRate **==** 0**)** |
|  | **if(**incrementTimerAndCheckOverflow**(**timer0**))** // bei Überlauf BIT2 im INTCON-Register setzen |
|  | setTimer0InterruptFlag**(**intcon**);** |
|  |  |
|  | externalClockCycles**++;** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **else** // positive Flanke |
|  | **{** |
|  | **if(!**RA4alt **&&** RA4**)** |
|  | **{** |
|  | // wenn kein Vorteiler aktiv ist oder der n-te Takt gegeben ist |
|  | **if(**psa **||** externalClockCycles **%** timerRate **==** 0**)** |
|  | **if(**incrementTimerAndCheckOverflow**(**timer0**))** // bei Überlauf BIT2 im INTCON-Register setzen |
|  | setTimer0InterruptFlag**(**intcon**);** |
|  |  |
|  | externalClockCycles**++;** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | ra **=** alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,** 0x05**);** |
|  |  |
|  | RA4alt **=** CHECK\_BIT**(**ra**,** 4**);** |
|  | **}** |
|  | **else** // interner Takt |
|  | **{** |
|  | **if(**psa**)** // ohne Vorteiler --> Vorteiler ist dem Watchdog zugewiesen |
|  | **{** |
|  | **if(**incrementTimerAndCheckOverflow**(**timer0**))** // bei Überlauf BIT2 im INTCON-Register setzen |
|  | setTimer0InterruptFlag**(**intcon**);** |
|  | **}** |
|  | **else** // mit Vorteiler |
|  | **{** |
|  | **if(**alu**->**getCycles**()** **%** timerRate **==** 0**)** |
|  | **if(**incrementTimerAndCheckOverflow**(**timer0**))** // bei Überlauf BIT2 im INTCON-Register setzen |
|  | setTimer0InterruptFlag**(**intcon**);** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **}** |

Listing : Steuerwerk::checkTimer0()

### analyzeAndExecute

Die Methode interpretiert den aktuellen Befehlscode und führt die entsprechende Methode des Prozessors aus. Mehr Informationen zu den Befehlsmethoden finden sich in Kapitel Befehle. Zu beachten ist, dass Listing 7 nur einen Ausschnitt der Methode zeigt.

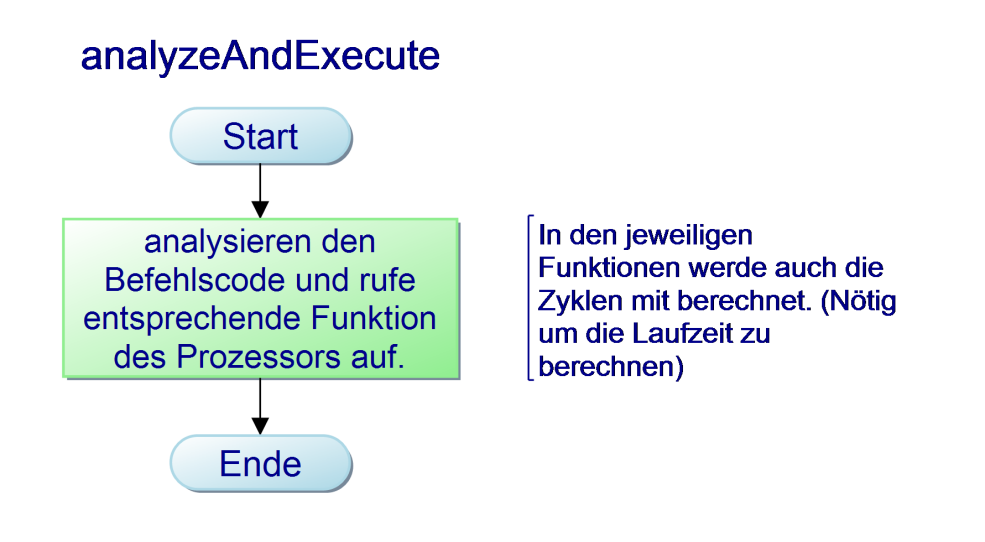


Abbildung 6: PAP Steuerwerk::analyzeAndExecute

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Steuerwerk**::**analyzeAndExecute**(**int command**)** |
|  | **{** |
|  | command **=** command **&** 0x3FFF**;** |
|  |  |
|  | // BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS |
|  | // ADDWF |
|  | // 00 0111 dfff ffff == 0x0700 |
|  | //& 11 1111 0000 0000 == 0x3f00 |
|  | **if((**command**&**0x3f00**)==**0x0700**)** |
|  | alu**->**addwf**(**command**);** |
|  |  |
|  | // ANDWF |
|  | // 00 0101 dfff ffff = 0x0500 |
|  | //& 11 1111 0000 0000 = 0x3f00 |
|  | **if((**command**&**0x3f00**)==**0x0500**)** |
|  | alu**->**andwf**(**command**);** |
|  |  |
|  | // CLRF |
|  | // 00 0001 1fff ffff == 0c0180 |
|  | //& 11 1111 1000 0000 == 0x3f80 |
|  | **if(** **(**command**&**0x3f80**)** **==** 0x0180**)** |
|  | alu**->**clrf**(**command**);** |
|  |  |
|  | //CLRW |
|  | // 00 0001 0xxx xxxx = 0x0100 |
|  | //& 11 1111 1000 0000 = 0x3F80 |
|  | **if((**command **&** 0x3f80**)==** 0x0100**)** |
|  | alu**->**clrw**();** |
|  |  |
|  | /\* |
|  | \* Hier folgen alle anderen Befehle |
|  | \* nach dem gleichen Schema. |
|  | \*/ |
|  |  |
|  | //RETLW |
|  | // 11 01xx kkkk kkkk = 0x3400 |
|  | // 11 1100 0000 0000 = 0x3C00 |
|  | **if((**command **&** 0x3c00**)==**0x3400**)** |
|  | alu**->**retlw**(**command**,this);** |
|  |  |
|  | //RETURN |
|  | // 00 0000 0000 1000 = 0x0008 |
|  | **if(**command **==** 0x0008**)** |
|  | alu**->**preturn**(this);** |
|  |  |
|  | // SLEEP |
|  | // 00 0000 0110 0011 = 0x0063 |
|  | **if(**command**==**0x0063**)** |
|  | alu**->**psleep**(this);** |
|  |  |
|  | // SUBLW |
|  | // 11 110x kkkk kkkk = 0x3c00 |
|  | **if((**command**&**0x3e00**)==**0x3c00**)** |
|  | alu**->**sublw**(**command**);** |
|  |  |
|  | // XORLW |
|  | // 11 1010 kkkk kkkk = 0x3A00 |
|  | //& 11 1111 0000 0000 = 0x3F00 |
|  | **if((**command**&**0x3f00**)==**0x3a00**)** |
|  | alu**->**xorlw**(**command**);** |
|  | **}** |

Listing : Steuerwerk::analyzeAndExecute()

### countWDT und WDTTimeout

Die Methode countWDT zählt den internen Watchdog Timer hoch. Der Watchdog wird in Zyklen gezählt. So kann in Abhängigkeit der eingestellten Frequenz die vergangene Zeit berechnet werden.

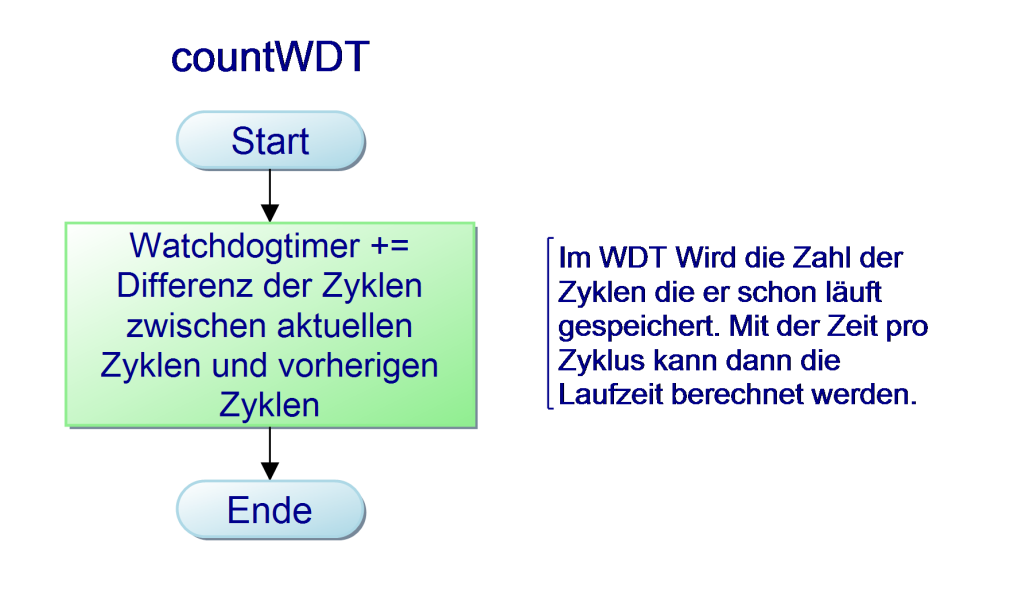


Abbildung : PAP Steuerwerk::countWDT()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Steuerwerk**::**countWDT**(**void**)** |
|  | **{** |
|  | wdt **+=** alu**->**cycles **-** alu**->**vorherigeCycles**;** |
|  | **}** |

Listing : Steuerwerk::countWDT

Hinter der Verzweigung *WDT Timeout?* in Abbildung 2 auf Seite 5 verbirgt sich eine weitere Methode. Abbildung 8 zeigt den PAP. Im Listing ist die Abfrage durch eine Switch-Case-Anweisung realisiert.

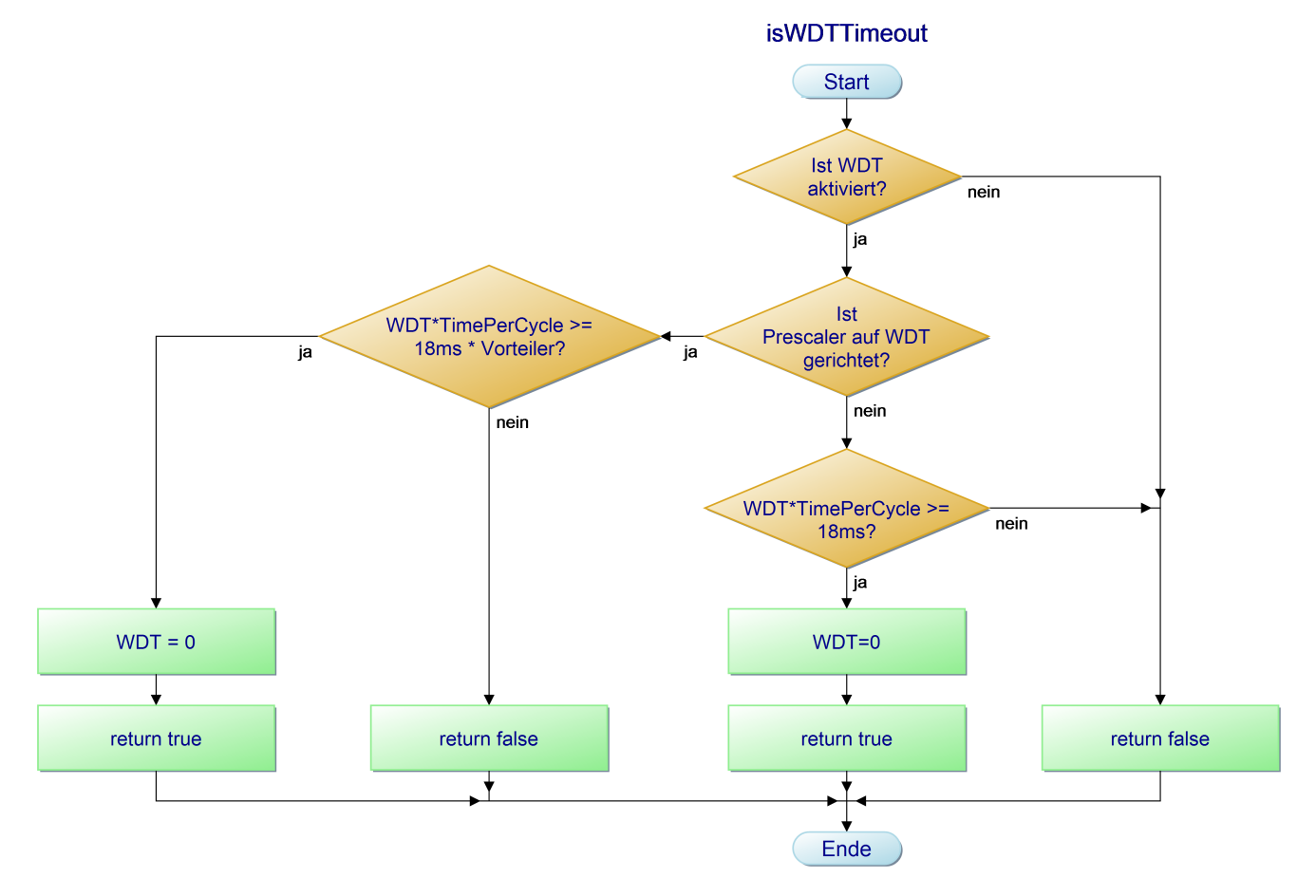


Abbildung : PAP Steuerwerk::isWDTTimeOut()

|  |  |
| --- | --- |
|  | bool Steuerwerk**::**isWDTTimeOut**()** |
|  | **{** |
|  | **if((**alu**->**speicher**.**address\_2007h **&** 0x0004**)==**0**)** //WDT ist deaktiviert |
|  | **return** **false;** |
|  |  |
|  | **if((**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**1**,**1**)&**0x0008**)==**0**)** //Prescaler ist auf TMR0 gerichtet -> 18ms (1:1) |
|  | **{** |
|  | **if(**wdt**\***alu**->**timePerCycle**>=**18000**)** //timer >= 18 ms? |
|  | **{** |
|  | wdt**=**0**;** |
|  | **return** **true;** |
|  | **}** |
|  | **else** |
|  | **return** **false;** |
|  | **}** |
|  | **switch** **(**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**1**,**1**)&**0x0007**)** **{** |
|  | **case** 0**:** //1:1 |
|  | **if(**wdt**\***alu**->**timePerCycle**>=**18000**)** //timer >= 18 ms? |
|  | **{** |
|  | wdt**=**0**;** |
|  | **return** **true;** |
|  | **}** |
|  | **else** |
|  | **return** **false;** |
|  | **break;** |
|  | **case** 1**:** //1:2 |
|  | **if(**wdt**\***alu**->**timePerCycle**>=**2**\***18000**)** |
|  | **{** |
|  | wdt**=**0**;** |
|  | **return** **true;** |
|  | **}** |
|  | **else** |
|  | **return** **false;** |
|  | **break;** |
|  |  |
|  | /\* |
|  | \* Alle anderen Fälle |
|  | \*/ |
|  |  |
|  | **case** 7**:** //1:128 |
|  | **if(**wdt**\***alu**->**timePerCycle**>=**128**\***18000**)** |
|  | **{** |
|  | wdt**=**0**;** |
|  | **return** **true;** |
|  | **}** |
|  | **else** |
|  | **return** **false;** |
|  | **break;** |
|  | **default:** |
|  | **break;** |
|  | **}** |
|  | **return** **false;** |
|  | **}** |

Listing : Steuerwerk::isWDTTimeOut()

## EEPROM

Der EEPROM kann innerhalb des PIC als eigenständiges Modul aufgefasst werden (schreiben und lesen geschehen asynchron). Aus diesem Grund laufen die Methoden zum lesen und schreiben jeweils in einem eigenen Thread. Die Threads werden bei der Konstruktion des Speicherobjekts erzeugt und gestartet. *terminateEEPROM* ist dabei lediglich eine Variable um die Threads am Programmende beenden zu können.

### Read

Die Read-Anforderung wird über das RD Bit im EECON1 Register abgebildet.

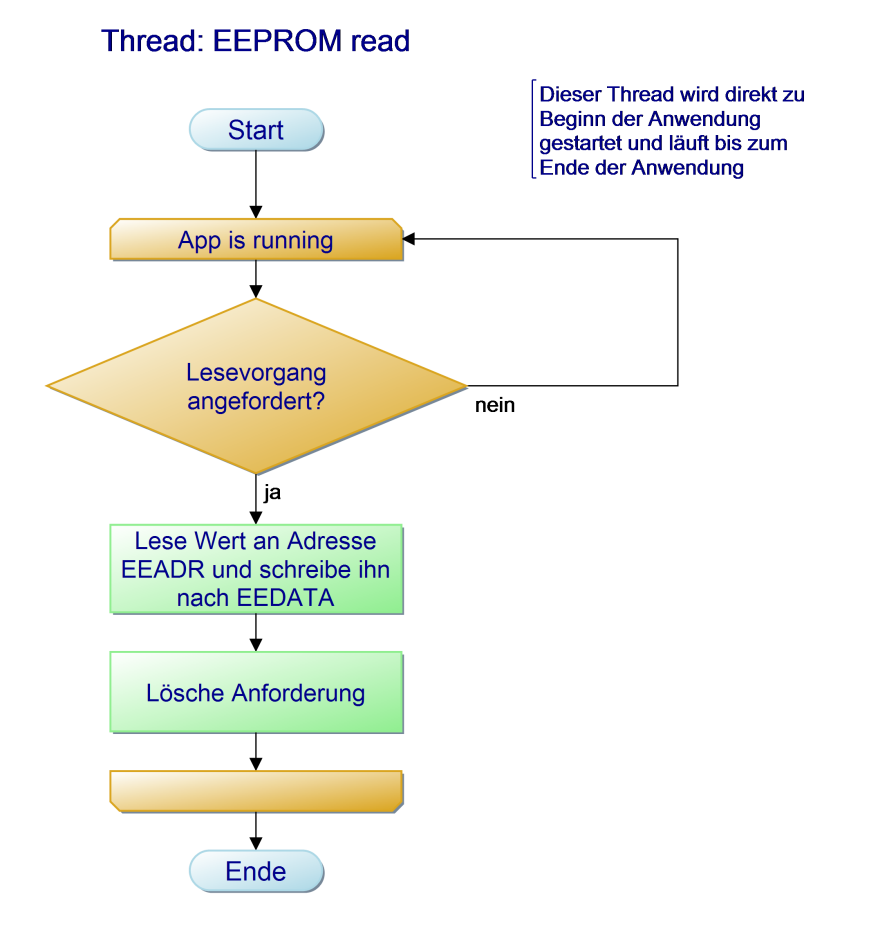


Abbildung : PAP Speicher::eepromRead()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Speicher**::**eepromRead**()** |
|  | **{** |
|  | **while(!**terminateEEPROM**)** |
|  | **{** |
|  | **if(\***eecon1**&**0x0001**)**// RD Bit ist 1 |
|  | **{** |
|  | **if(\***eeadr **>** EEPROM\_SIZE**)** |
|  | **\***eedata**=**0**;** |
|  | **else** |
|  | **\***eedata **=** eeprom**[\***eeadr**];** |
|  | **\***eecon1 **=** **\***eecon1 **&** 0xfffe**;** //lösche RD bit |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **}** |

Listing : Speicher::eepromRead()

### Write

Wenn die initiale Sequenz zum schreiben erkannt wurde, wird zunächst geprüft, ob Schreibzugriffe erlaubt sind und ob eine Schreibanforderung (WR Bit im EECON1 Register) vorliegt. Zu beachten ist, dass die *break-*Anweisung in Zeile 26 von Listing 11 lediglich in die übergeordnete Schleife springt.



Abbildung : PAP Speicher::eepromWrite()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void Speicher**::**eepromWrite**()** |
|  | **{** |
|  | **while(!**terminateEEPROM**)** |
|  | **{** |
|  | **if(**eecon2**==**0x0055**)** |
|  | **{** |
|  | **while(!**terminateEEPROM**)** |
|  | **{** |
|  | **if(**eecon2**==**0x00aa**)** |
|  | **{** |
|  | **if((\***eecon1**&**0x0006**)==**0x0006**)** //WREN und WR bit gesetzt? |
|  | **{** |
|  | **if(\***eeadr **<=**EEPROM\_SIZE**)** |
|  | **{** |
|  | eeprom**[\***eeadr**]=** **\***eedata**;** |
|  | **}** |
|  |  |
|  | //clear WR |
|  | **\***eecon1 **&=** 0xfffd**;** |
|  |  |
|  | //set EEIF |
|  | **\***eecon1 **|=** 0x0010**;** |
|  |  |
|  | **}** |
|  |  |
|  | **break;** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **}** |
|  | **}** |

Listing : Speicher::eepromWrite()

## BYTE-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS

### MOVF

### SUBWF

## BIT-ORIENTED FILE REGISTER OPERATIONS

### BTFSC

## LITERAL AND CONTROL OPERATIONS

### CALL

### SLEEP

**Eckdaten**

Syntax: [ label ] SLEEP

Operanden: keine

Operation: 00h -> WDT,

0 -> WDT prescaler,

1 -> TO,

0 -> PD

Status Bits: TO, PD

Befehlscode: 00 0000 0110 0011

Beschreibung: Das power-down Status bit, PD wird auf 0 gesetzt. Time-out Status bit, TO wird gesetzt. Watchdog Timer wird auf 0 gesetzt.

Cycles: 1

**Implementierung**

Wird der sleep Befehl ausgeführt, so wird ein Objekt der SleepKlasse erzeugt und die *run()* Methode in einem neuen Thread ausgeführt. Abbildung 11 zeigt den PAP der *run()* Methode. Das isSleeping Attribut zeigt allen anderen relevanten Methoden (z.B. executeStep) das schlafen des Prozessors an. Attribut gehört dabei zum Steuerwerk. Im Listing 12 *iAmSleeping* dem Attribut isSleeping. In dieser Implementierung ist lediglich der WDT Time Out als Abbruchbedingung für den Schlafzustand implementiert. Daher wird dieser weiter hochgezählt. Tritt dann der TimeOut ein, wird der Schlafzustand wieder aufgehoben (isSleeping=false) und das TO Bit auf 0 gesetzt. **Achtung, sollte der WDT über die GUI deaktiviert sein, so wird der sleep Befehl nicht mehr beendet!**

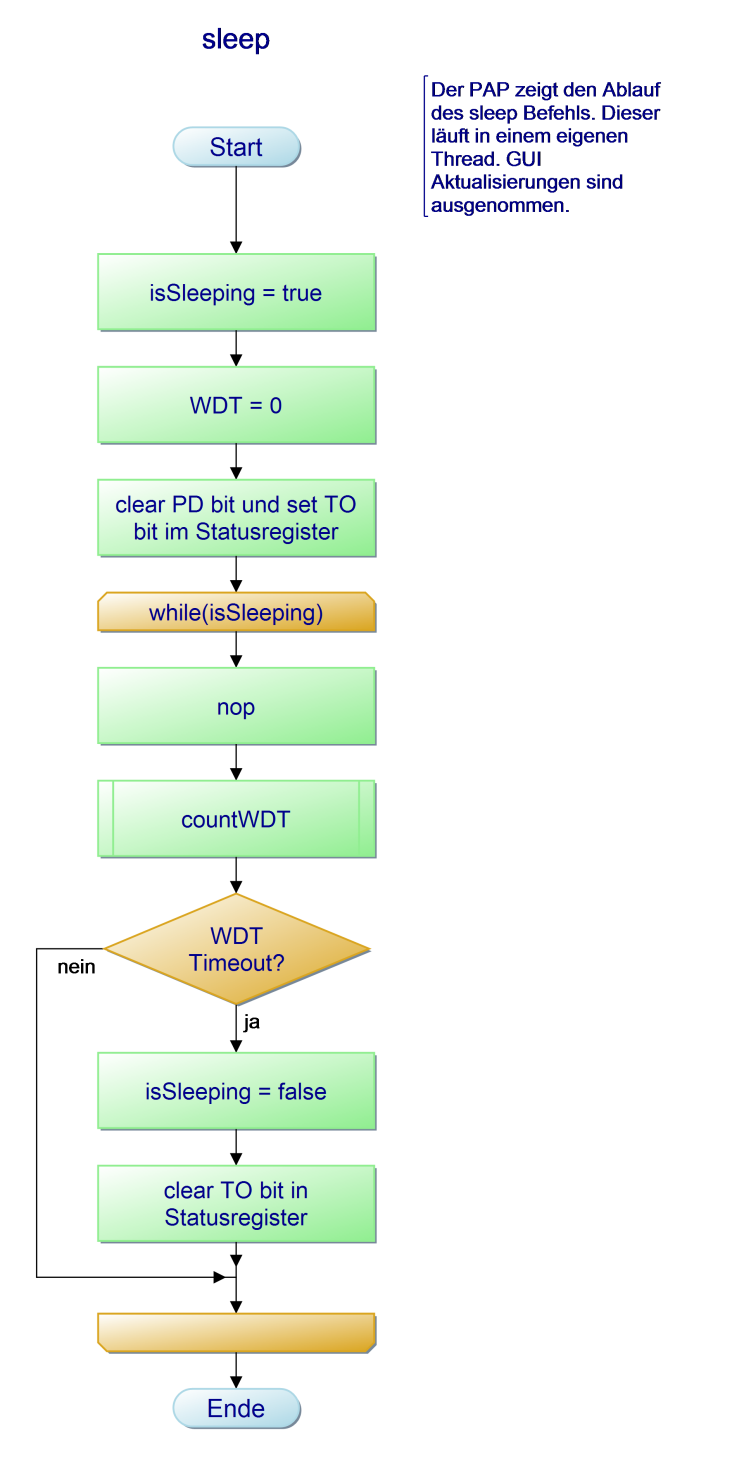


Abbildung : PAP SleepKlasse::run()

|  |  |
| --- | --- |
|  | void SleepKlasse**::**run**()** |
|  | **{** |
|  | sW**->**iAmSleeping **=** **true;** |
|  | sW**->**wdt **=** 0**;** |
|  | int currentStatus**=**sW**->**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,**3**);** //Lese Status register |
|  | currentStatus **=** **(**currentStatus **|** 0x0010**)** **&** 0xfff7**;** //clear PD and set TO bit in Status register |
|  | sW**->**alu**->**speicher**.**writeOnBank**(**0**,**3**,**currentStatus**);** |
|  |  |
|  | **while(**sW**->**isSleeping**())** |
|  | **{** |
|  | sW**->**alu**->**vorherigeCycles **=** sW**->**alu**->**cycles**;** |
|  |  |
|  | sW**->**alu**->**nop**();** |
|  | sW**->**countWDT**();** |
|  |  |
|  | emit sW**->**refreshRuntime**();** |
|  |  |
|  | **if(**sW**->**isWDTTimeOut**())** |
|  | **{** |
|  | sW**->**iAmSleeping**=false;** |
|  | currentStatus**=**sW**->**alu**->**speicher**.**readOnBank**(**0**,**3**);** //Lese Status register |
|  | currentStatus **=** currentStatus **&** 0xffef**;** //clear TO bit in Status register |
|  | sW**->**alu**->**speicher**.**writeOnBank**(**0**,**3**,**currentStatus**);** |
|  | emit sW**->**refreshStorageGUI**();** |
|  | **return;** |
|  | **}** |
|  | QThread**::**msleep**(**50**);** //verzögerung um GUI nicht zu überlasten |
|  | **}** |
|  | **}** |

Listing : SleepKlasse::run()

# Zusammenfassung