

Mikroprozessor Workshop
Wintersemester 2019/2020

Vier Gewinnt auf dem Motorola 68HC11 Prozessor

Benutzer- und Programmierhandbuch

Michael Persiehl (tinf102296)
Guillaume Fournier-Mayer (tinf101922)

18. April 2020, Hamburg

Inhaltsverzeichnis

1 Benutzerhandbuch	2
1.1 Aufgabenstellung	2
1.2 Spielregeln	2
1.3 Bedienung	3
1.4 Ausgabe	4
1.4.1 Spielstart	4
1.4.2 Spielende	4
1.5 Inbetriebnahme	4
2 Programmiererhandbuch	8
2.1 Spielfeld	8
2.1.1 Zelle	8
2.1.2 Buffer	11
2.2 Eingabe	12
2.2.1 Tastenbyte auslesen	12
2.2.2 Flankenerkennung und Entprellung	12
2.3 Ausgabe	14
2.3.1 LCD	14
2.3.2 Spielfeld	14
2.3.3 Text	14
2.4 Cursor	16
2.4.1 Aufbau	16
2.4.2 Steuerung	16
2.5 Logik	18
2.5.1 Umrechnung der Boardadresse in eine Bufferadresse	18
2.5.2 Prüfen des Zelleninhalts	18
2.5.3 Spielerwechsel	19
2.5.4 Feststellen der Anzahl an zusammenhängenden Steinen	19
3 Listening	21
3.1 Viergewinnt	22
3.2 Board	26
3.3 Debug	32
3.4 Input	39
3.5 LCDutils	43

Inhaltsverzeichnis

3.6	Logic	51
3.7	Utils	59
3.8	Trainer11Register	61

1 Benutzerhandbuch

1.1 Aufgabenstellung

Für den Mikroprozessor-Workshop im Wintersemester 2020 wurde das Spiel *4 Gewinnt* auf dem Motorola 68HC11 Prozessor umgesetzt. Als Software wurde *Geany* und als Compiler wurde *miniIDE* unter Windows verwendet.

Unser Ziel ist es *4 Gewinnt* für zwei Spieler auf dem 68HC11 Board in Assembler zu programmieren. Für die Steuerung werden dabei die Tasten-, zur Anzeige der Spieldaten der LCD des Boards genutzt.

1.2 Spielregeln

Das Spiel wird auf einem 7 Felder breiten und 6 Felder hohen Spielbrett gespielt (Abbildung 1.2), in das die Spieler abwechselnd ihre Spielsteine fallen lassen. Jeder Spieler besitzt 21 gleichfarbige Spielsteine (Spieler 1 komplett gefüllt, Spieler 2 innen leer. (Abbildung 1.1))

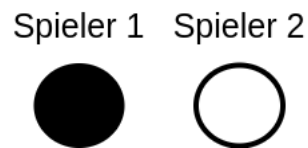


Abbildung 1.1: Spielsteine

Wenn ein Spieler einen Spielstein in eine Spalte fallen lässt, besetzt dieser den untersten freien Platz der Spalte. Gewinner ist der Spieler, der es als erster schafft, vier oder mehr seiner Spielsteine waagerecht, senkrecht oder diagonal in eine Linie zu bringen. Das Spiel endet unentschieden, wenn das Spielbrett komplett gefüllt ist, ohne dass ein Spieler eine Viererlinie gebildet hat.

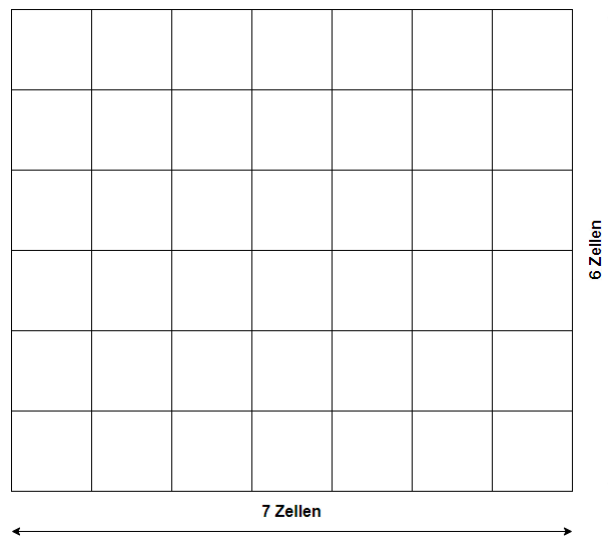


Abbildung 1.2: Spielfeld

1.3 Bedienung

Das Spiel wird mit vier Tasten gesteuert. Dabei wird der Cursor mit der linken und der rechten Taste, jeweils um eine eine Spalte in die gewünschte Richtung bewegt. Mit der unteren Taste wird ein Stein, an der aktuellen Cursorposition, in die Spalte geworfen. Über die Resettaste kann das komplette Spiel zurückgesetzt werden. Spieler 1 ist nun wieder am Zug.

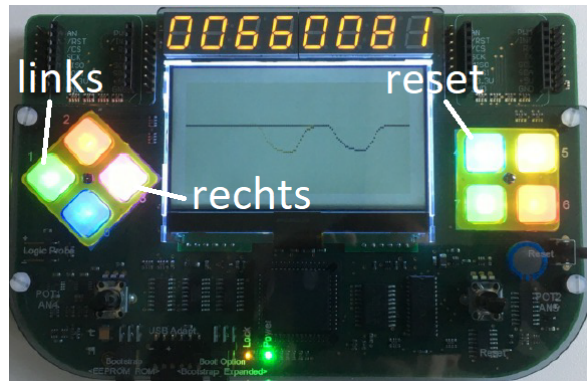


Abbildung 1.3: Board

1.4 Ausgabe

1.4.1 Spielstart

Nach erfolgreichem Programmstart wird das leere Spielfeld in der mitte des LCD's angezeigt. Links davon befindet sich ein Textfeld *turn*, welches den Namen des Spielers anzeigt, der zurzeit dran ist. Beim Programmstart sowie beim Zurücksetzen des Spieles startet immer *Spieler 1*. Unter dem Spielfeld ist der Cursor zu sehen, der zum Start des Spieles auf die mittlere Spalte zeigt.

1.4.2 Spielende

Falls ein Spieler gewonnen hat, wird unter dem Spielfeld der gewinnende Spieler angezeigt. Zusätzlich ist Eingabe blockiert und das Spiel lässt sich nur mit den Resetbutton zurücksetzen.

1.5 Inbetriebnahme

Zum Ausführen des Spiels muss zuerst die Assemblerdatei in einer IDE wie z.B. Geany (Freeware: <https://www.geany.org/>) geöffnet werden (rote Markierung, Abbildung 1.4).

1 Benutzerhandbuch

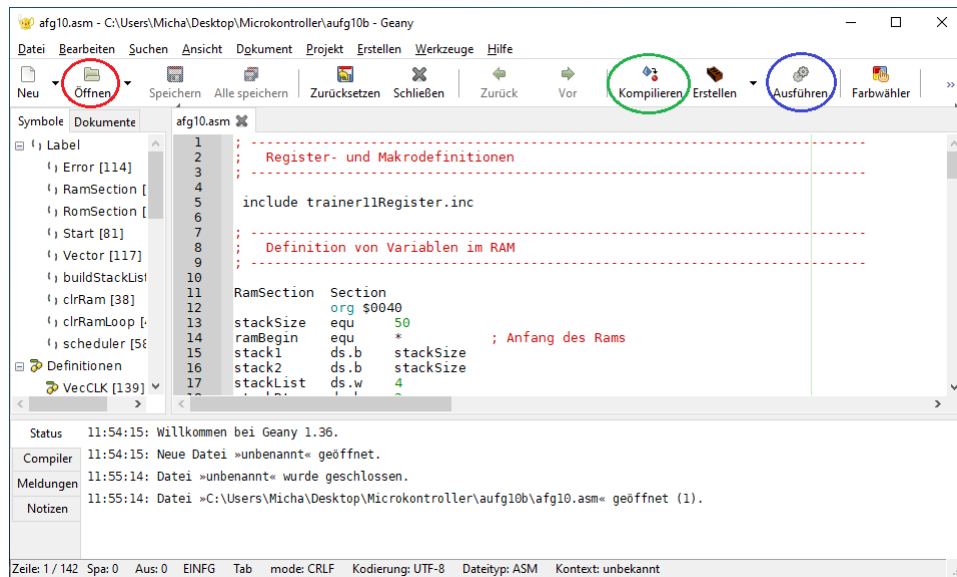


Abbildung 1.4: Geany IDE

Als nächstes müssen die Einstellungen in Geany geändert werden: Zunächst der verwendete Compiler, welchen wir von miniIDE nutzen, welche vorher im Verzeichnis `C:\miniide` installiert sein muss (ansonsten muss der Pfad zum Compiler später entsprechend angepasst werden). Ebenfalls benötigt wird die Software *Realterm* in dem Verzeichnis `C:\realterm`. Unter dem Stichwort *Dokument* → *Dateityp festlegen* → *Kompilersprachen* muss *Assembler* ausgewählt werden, danach im Menü-band unter *Erstellen* erreicht man den Punkt *Kommandos zum Erstellen konfigurieren* (Abbildung 1.5).

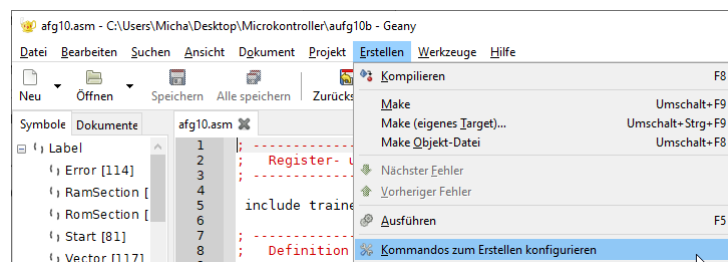


Abbildung 1.5: Geany IDE Menü

1 Benutzerhandbuch

Hier muss nun unter *Kommandos für ASM* folgendes eingetragen werden:

```
C:\miniIDE\ASM11 %f -l
```

und unter *Befehle zum Ausführen*:

```
C:\Realterm\realterm "first" "display=1" "rows=40" "baud=9600"  
"sendfile=%d\%e.s19"
```

#	Label	Kommando	Arbeitsverzeichnis	Zurücksetzen
Kommandos für ASM				
1.	Assembler	C:\miniIDE\ASM11 %f -l		
2.				
3.				
Regulärer Ausdruck für Fehlermeldungen:				
Dateityp-unabhängige Befehle				
1.	Make	make		
2.	Make (eigenes Target)...	make		
3.	Make Objekt-Datei	make %e.o		
4.				
Regulärer Ausdruck für Fehlermeldungen:				
Notiz: Element 2 öffnet ein Dialog und fügt das Ergebnis am Ende des Kommandos an				
Befehle zum Ausführen				
1.	Ausführen	C:\Realterm\realterm "first" "display=1" "rows=40" "baud=9600" "sendfile=%d\%e.s19"		
2.				

%d, %e, %f, %p, %l werden innerhalb der Kommando- und Verzeichnissfelder ersetzt - Details gibt es in der Dokumentation.

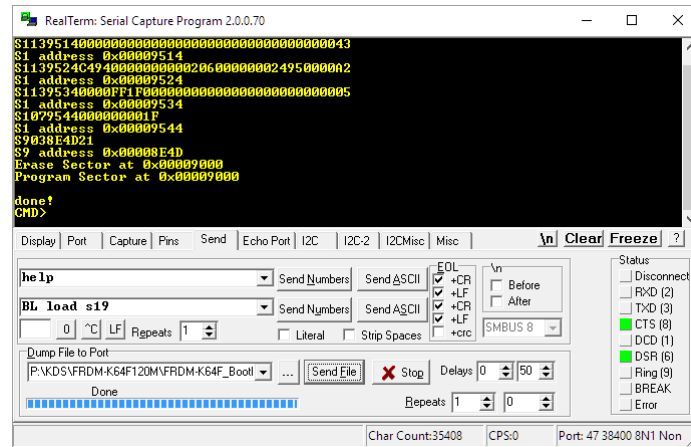
Abbrechen OK

Abbildung 1.6: Geany IDE Konfiguration

Gegebenenfalls muss hier noch *Port=* mit der Nummer des entsprechenden COM-Ports ergänzt werden.

Nach dem bestätigen per *OK* müssen die Daten kompiliert und auf das Board überspielt werden (grüne und blaue Markierungen, Abbildung 1.4). Nach dem Klick auf *Ausführen* öffnet sich jetzt *Realterm* (Abbildung 1.7). Nach betätigung des Resetschalters können die Daten mit *Send File*, im Reiter *Send*, ans Board übertragen werden.

7



2 Programmiererhandbuch

2.1 Spielfeld

In dem folgenden Kapitel wird das Spielfeld, dessen Aufbau in Zellen und die interne Repräsentation, als Buffer, im Speicher erläutert.

2.1.1 Zelle

Eine Zelle wird auf dem LCD als Block von Pixeln betrachtet. Dabei besteht die Zelle aus folgender Formel:

$$64Pixel = 8Pixel \cdot 8Pixel \tag{2.1}$$

Diese 64 Pixel werden intern als acht hintereinander liegende Bytes repräsentiert. Dabei steht das erste Bit des ersten Bytes für den Pixel in der oberen linken Ecke. Um ein Pixel anzusteuern, wird das jeweilige Bit auf 1 bzw. auf 0 gesetzt.

	1. Byte	2. Byte	3. Byte	4. Byte	5. Byte	6. Byte	7. Byte	8. Byte
1. Bit	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Bit	2	2	2	2	2	2	2	2
3. Bit	3	3	3	3	3	3	3	3
4. Bit	4	4	4	4	4	4	4	4
5. Bit	5	5	5	5	5	5	5	5
6. Bit	6	6	6	6	6	6	6	6
7. Bit	7	7	7	7	7	7	7	7
8. Bit	8	8	8	8	8	8	8	8

Abbildung 2.1: Darstellung einer Zelle im RAM

Leere Zelle

Eine Leere Zelle ist jene, die kein Spielstein beinhaltet und somit nur aus Rand besteht. Um den vertikalen Rand darzustellen, müssen alle Bits des ersten und achten Bytes auf 1 gesetzt werden. Für den horizontalen Rand müssen alle ersten und achten Bits des 2,3,4,5,6 und 7 Bytes auf 1 gesetzt werden.

	1. Byte	2. Byte	3. Byte	4. Byte	5. Byte	6. Byte	7. Byte	8. Byte
1. Bit	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Bit	2	2	2	2	2	2	2	2
3. Bit	3	3	3	3	3	3	3	3
4. Bit	4	4	4	4	4	4	4	4
5. Bit	5	5	5	5	5	5	5	5
6. Bit	6	6	6	6	6	6	6	6
7. Bit	7	7	7	7	7	7	7	7
8. Bit	8	8	8	8	8	8	8	8

Abbildung 2.2: Darstellung einer leeren Zelle im RAM

Spieler 1 Zelle

Eine Zelle mit einem Spielstein von Spieler 1 ist jene, die aus Rand und aus einem gefüllten Spielstein besteht.

2 Programmiererhandbuch

	1. Byte	2. Byte	3. Byte	4. Byte	5. Byte	6. Byte	7. Byte	8. Byte
1. Bit	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Bit	2	2	2	2	2	2	2	2
3. Bit	3	3	3	3	3	3	3	3
4. Bit	4	4	4	4	4	4	4	4
5. Bit	5	5	5	5	5	5	5	5
6. Bit	6	6	6	6	6	6	6	6
7. Bit	7	7	7	7	7	7	7	7
8. Bit	8	8	8	8	8	8	8	8

Abbildung 2.3: Darstellung einer Zelle mit einem Spielstein von Spieler 1 im RAM

Spieler 2 Zelle

Eine Zelle mit einem Spielstein von Spieler 1 ist jene, die aus Rand und aus einem leeren Spielstein besteht.

2 Programmiererhandbuch

	1. Byte	2. Byte	3. Byte	4. Byte	5. Byte	6. Byte	7. Byte	8. Byte
1. Bit	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Bit	2	2	2	2	2	2	2	2
3. Bit	3	3	3	3	3	3	3	3
4. Bit	4	4	4	4	4	4	4	4
5. Bit	5	5	5	5	5	5	5	5
6. Bit	6	6	6	6	6	6	6	6
7. Bit	7	7	7	7	7	7	7	7
8. Bit	8	8	8	8	8	8	8	8

Abbildung 2.4: Darstellung einer Zelle mit einem Spielstein von Spieler 2 im RAM

2.1.2 Buffer

Das gesamte Spielfeld wird intern als Buffer repräsentiert. Änderungen am Spielfeld werden zunächst im Buffer getätigt, bevor der gesamte Inhalt an den LCD geschickt wird.

Die Größe des Buffers berechnet sich dabei aus folgender Formel:

$$\text{Buffergrösse} = \text{Zeilen} \cdot \text{Spalten} \cdot \text{Zellengrösse} \quad (2.2)$$

Da das Spielfeld aus sechs vertikalen Zellen und sieben horizontalen Zellen besteht und diese wiederum aus acht Bytes bestehen, ergibt sich folgende Buffergröße:

$$336\text{Byte} = 6 \cdot 7 \cdot 8\text{Byte} \quad (2.3)$$

2.2 Eingabe

In dem folgenden Kapitel wird die Eingabe durch Tastendruck, deren Entprellung und Flankenerkennung erläutert.

2.2.1 Tastenbyte auslesen

Um auf einen Tastendruck zu reagieren wird in regelmäßigen Abstand das *PIO_B*-Byte ausgelesen. Dabei ist dieses *n-aus-8-Kodiert*. Jedes Bit repräsentiert dabei den Zustand eines Tasters. Ist ein Bit auf 0 gesetzt, ist die Taste zurzeit gedrückt und umgekehrt.

Taste 0 (11111110) Setzt abhängig davon wer zurzeit dran ist, einen entsprechenden Stein an der Cursorposition. Sobald der Stein gesetzt worden ist, wird die Logik angesteuert um einen möglichen Sieg zu ermitteln.

Taste 1 (11111101) Bewegt den Cursor nach Links.

Taste 3 (11110111) Bewegt den Cursor nach Rechts.

Taste 4 (11101111) Setzt das Spiel zurück.

2.2.2 Flankenerkennung und Entprellung

Da das einlesen des *PIO_B*-Bytes in einer Schleife ****SIEHE MAINLOOP**** ausgeführt wird, muss sichergestellt werden, dass nur eine Flanke pro Tastendruck ausgewertet wird. Zusätzlich muss, durch die fehlende Hardwareentprellung der Tasten, die Entprellung in Software realisiert werden.

Dazu wird zunächst das *buttonFlag* getestet. Ist es nicht gesetzt, kann auf eine Taste reagiert und das Flag gesetzt werden. Ist es jedoch gesetzt, wird ein Timer inkrementiert. Ist dieser größer als 250, wird das *buttonFlag* zurück gesetzt, welches es wieder ermöglicht auf einen Tastendruck zu reagieren. Falls der Timer jedoch kleiner als 250 ist, muss weiterhin gewartet werden und ein Entprellen der Tasten zu gewährleisten.

2 Programmiererhandbuch

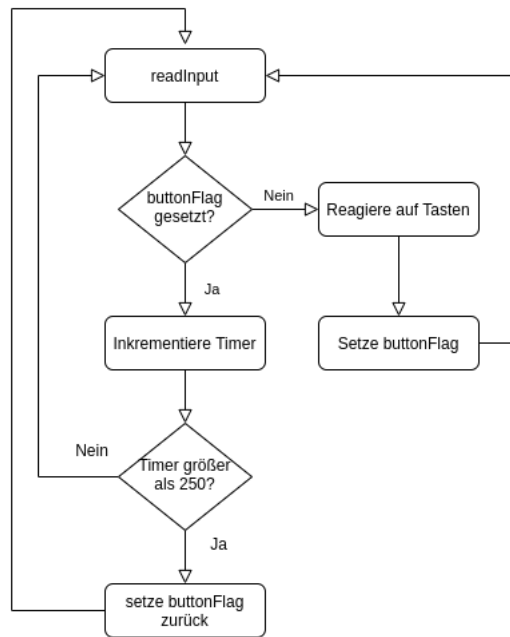


Abbildung 2.5: Programmablaufplan: *readInput*

2.3 Ausgabe

In diesem Kapitel wird erläutert wie die Ausgabe auf dem LCD realisiert wurde. Dabei werden die Eigenschaften des Displays und die Representation von Text innerhalb des Speichers erklärt.

2.3.1 LCD

Als Display steht dem Board ein *NHD-C12864A1Z-FSW-FBW-HTT* zur Verfügung. Dieses besitzt 128 x 64 Pixel. Da der Cursor jedoch 8 Pixel hoch ist, bildet das LCD 128 Spalten und acht Zeilen ab.

2.3.2 Spielfeld

Um das Spielfeld zu zentrieren wird auf jede horizontale Berechnung die Konstante *boardOffset* addiert.

Diese berechnet sich aus folgender Formel:

$$\text{boardOffset} = \frac{\text{Displaybreite} - \text{Spielfeldbreite}}{2} \quad (2.4)$$

Konkret bedeutet das:

$$36 = \frac{128\text{Pixel} - 7\text{Zeilen} \cdot 8\text{Pixel}}{2} \quad (2.5)$$

2.3.3 Text

Da kein dynamischer Text für die Ausgabe benötigt wird, wird jeglicher Text aus dem Speicher ausgelesen.

Dabei besteht ein Buchstabe aus zwei bis vier Bytes. Zusätzlich wird ein Leerzeichen, in Form eines leeren Bytes, an das Ende des Buchstaben angefügt.

Somit ergibt sich beispielsweise folgende Bytefolge für den Buchstaben *T*:

\$02,\$7E,\$02,\$00

Um nun eine Buchstabenfolge als Text auszugeben, wird die Länge dieser im ersten Byte gespeichert. Somit ist es möglich, in einer Schleife eine Buchstabenfolge auszugeben, ohne den dahinter liegenden Speicher mit auszulesen. Alternativ könnte hier auch ein Stopbyte verwendet werden. Dies hätte den Vorteil, dass auch Texte, die länger als 254 Zeichen lang sind, Ausgegeben werden können.

Die folgende Tabelle zeigt die Kodierung mit dem Beispieltext *Player*:

2 Programmiererhandbuch

P:	30,\$7E,\$12,\$12,\$0C,\$00
l:	\$02,\$7E,\$00
a:	\$20,\$54,\$54,\$78,\$00
y:	\$1C,\$A0,\$A0,\$7C,\$00
e:	\$38,\$54,\$54,\$48,\$00
r:	\$7C,\$08,\$04,\$08,\$00
:	\$00,\$00

2.4 Cursor

In diesem Kapitel wird der Cursor mit allen Funktionen und Bestandteilen erläutert. Darunter fallen unter anderem eine Variable (cursorColumn, deklariert in Viergewinnt.asm, Größe 1 Byte) zur Beschreibung der horizontalen-Position auf dem Board, welche die Spalte, die durch den Cursor ausgewählt wird repräsentiert und eine Konstante (cursorRow, in Viergewinnt.asm deklariert, hat den Wert 6) für die vertikale-Position des Cursors direkt unterhalb des Spielfelds.

2.4.1 Aufbau

Der Cursor wird auf dem LCD durch einen 6 Byte Breiten, ausgefüllten Pfeil unter dem Spielfeld (Zeile 6) dargestellt (Abbildung 7).

	1. Byte	2. Byte	3. Byte	4. Byte	5. Byte	6. Byte	7. Byte	8. Byte
1. Bit	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Bit	2	2	2	2	2	2	2	2
3. Bit	3	3	3	3	3	3	3	3
4. Bit	4	4	4	4	4	4	4	4
5. Bit	5	5	5	5	5	5	5	5
6. Bit	6	6	6	6	6	6	6	6
7. Bit	7	7	7	7	7	7	7	7
8. Bit	8	8	8	8	8	8	8	8

Abbildung 2.6: Cursor auf dem LCD

2.4.2 Steuerung

Der Cursor startet nach betätigen des Resets (Taste 4 des Boards) oder bei Programmstart in der Mitte des Spielfeldes (Spalte 4). Er kann durch die Tasten 1 (nach links) und 3 (nach rechts) horizontal unter dem Spielfeld bewegt werden. Bei weiterer Bewegung und einer Cursorposition am Spielfeldrand erscheint der Cursor am gegenüberliegenden Spielfeldrand um schnelleres manövrieren

2 Programmiererhandbuch

zu ermöglichen (Abbildung 8). Bei Versetzen des Cursors wird zuerst auf dem LCD der alte Cursor gelöscht, dann die Variable `cursorColumn` für links um 1 reduziert oder für rechts um 1 erhöht. Danach wird der Cursor erneut auf dem LCD an der geänderten `cursorColumn` angezeigt.

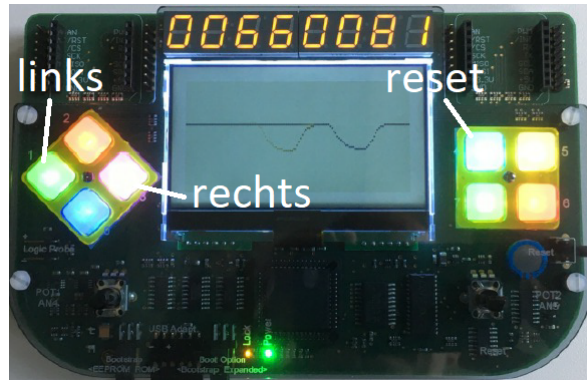


Abbildung 2.7: Board

2.5 Logik

In dem folgenden Abschnitt wird die Spiellogik bzw. die genutzten Algorithmen im Detail erläutert. Darunter fallen Unterprogramme zur Adressberechnung, zum Prüfen ob eine Zelle leer ist, zum Spielerwechsel, zum Feststellen der Länge einer Steinfole sowie zum Feststellen des Spielendes.

2.5.1 Umrechnung der Boardadresse in eine Bufferadresse

Da das Spielfeld im Buffer Zeilenweise hintereinander weg verläuft, also alle 42 Zellen hintereinander liegen, aber auf dem Display die Zeilen untereinander angeordnet sind, müssen die Koordinaten umgerechnet werden können.

Zum umrechnen einer Spielfeldkoordinate wird folgende Formel verwendet:

$$Adresse = (Spalte \cdot 8) + (Zeile \cdot 56) \quad (2.6)$$

Die Multiplikatoren ergeben sich aus einer Zellenhöhe von 8 für die Zeilenzahl und aus einer Zellenbreite von 8 bei 7 Zellen pro Zeile = 56. Also bei einer Spielfeldkoordinate bei Spalte 3 und Zeile 2 wäre die Berechnung folgende:

$$136 = (3 \cdot 8) + (2 \cdot 56) \quad (2.7)$$

2.5.2 Prüfen des Zelleninhalts

Um Feststellen zu können ob ein Spieler eine zusammenhängende Steinfole besitzt, muss es nicht nur möglich sein zu erkennen ob eine Zelle leer oder belegt ist, sondern ebenfalls von welchem Spieler ein Stein ist.

Dazu wird erst im 3. Byte der Zelle (der Rand eines eventuellen Spielsteins für beide Varianten) geprüft ob nur Nullen (leere Zelle) oder auch Einsen (ein Spielstein von Spieler 1 oder Spieler 2) vorhanden sind.

Wenn ein Spielstein gefunden wurde, wird danach geprüft ob in der Mitte des Steins Einsen vorhanden sind (ausgefüllter Spielstein) oder nicht (innen leer) um ihn einem Spieler zuzuordnen.



Abbildung 2.8: Zellenbelegung

2.5.3 Spielerwechsel

Zum Wechsel des Spielers wird der aktuelle Spieler aus der Variable „player“ ausgelesen (Spieler 1 oder Spieler 2). Danach wird dann auf den jeweils anderen Spieler gewechselt.

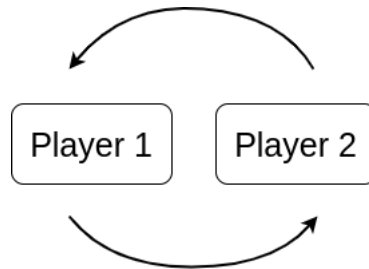


Abbildung 2.9: Spielerwechsel

2.5.4 Feststellen der Anzahl an zusammenhängenden Steinen

Da der Zustand eines gewonnenen Spiels nur direkt nach dem setzen eines Steins vorkommen kann, wird direkt nach jedem Zug darauf geprüft.

Um Festzustellen wie viele Steine zusammenhängend vom gleichen Spieler sind, werden immer von dem neu gelegten Stein zwei gegenüberliegende Seiten geprüft. Um die Gesamtzahl zu bestimmen muss am Ende noch eins abgezogen werden, damit der neu gelegte Stein nicht doppelt gezählt wird.

2 Programmiererhandbuch

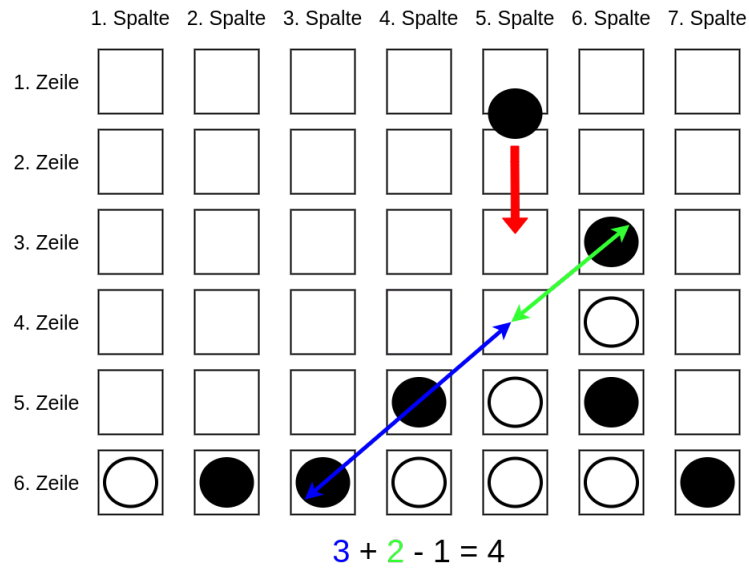


Abbildung 2.10: Zusammenhängend Steine

Eine Ausnahme bilden die Richtungen oben und unten. Da über dem neugelegten Stein keine weiteren Steine sein können, wird nur nach unten geprüft. Wenn bei dem Zählen der zusammenhängenden Steine mehr als vier erkannt werden, bedeutet dies das Spielende und es wird die Variable *playerWonFlag* auf 1 gesetzt um anschließend weitere Spielzüge zu sperren.

3 Listening

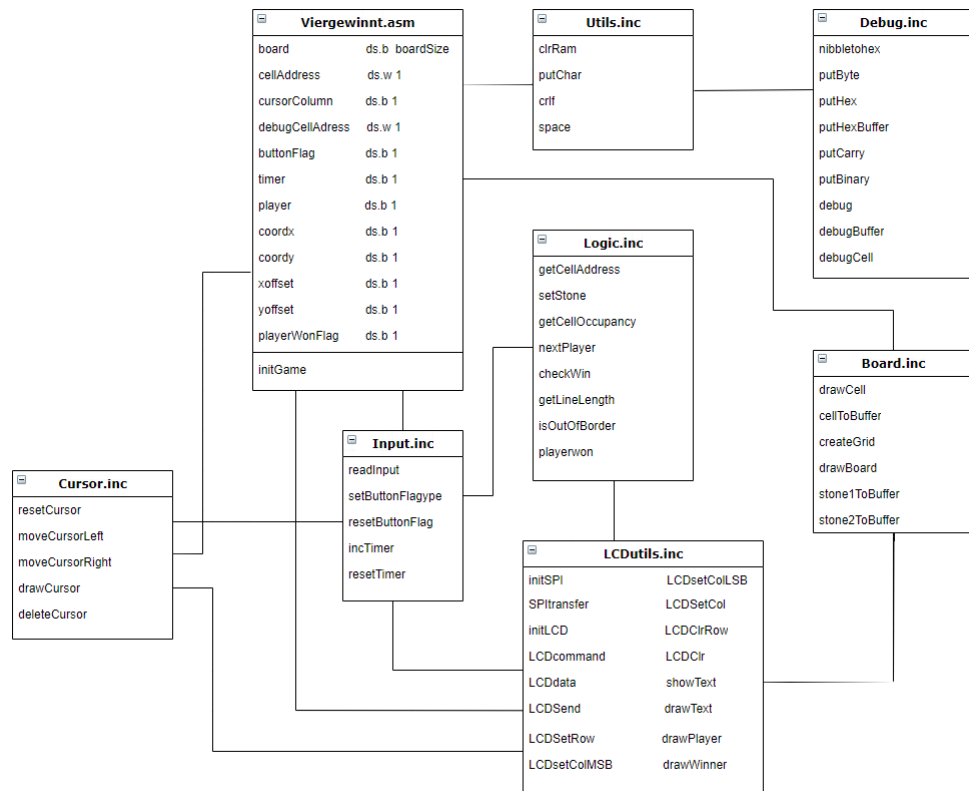


Abbildung 3.1: Programmstruktur

3.1 Viergewinnt

Listing 3.1: Viergewinnt.asm

```

1  ;-----
2  ; Viergewinnt.asm:
3  ;
4  ; @Author: Michael Persiehl (tinf102296), Guillaume Fournier-Mayer (tinf101922)
5  ; Implementiert das Spiel "4-Gewinnt" für 2 Spieler auf dem Motorola 68HC11.
6  ;-----
7
8
9  ;-----
10 ;   Register- und Makrodefinitionen
11 ;-----
12
13 include trainer11Register.inc
14
15
16 ;-----
17 ;   Definition von Variablen im RAM
18 ;-----
19
20 RamSection      Section
21                  org $0040
22
23 ramBegin        equ      *           ; Anfang des Rams
24 board           ds.b      boardSize  ; Der Buffer für das Spielfeld
25 cellAddress     ds.w      1           ; Die Adresse für eine Zeile des
26                                     ; Spielfeldes (als Funktionsparameter)
27
28 cursorColumn    ds.b      1           ; Horizontale Position des Cursors
29                                     ; in Pixeln
30
31 debugCellAdress ds.w      1           ; Die Adresse für eine Zeile des
32                                     ; Spielfeldes (Funktionsparameter
33                                     ; fürs Debugging)
34
35 buttonFlag       ds.b      1           ; Flag zur Flankenerkennung
36                                     ; -> 1 = gedrückt, 0 = nicht gedrückt
37
38 timer           ds.b      1           ; Timer zum entprellen der Tasten
39 player          ds.b      1           ; Der Spieler der aktuell am Zug ist
40                                     ; (1 = Spieler 1, 2 = Spieler 2)
41
42 coordx          ds.b      1           ; X-Koodrindate auf dem Spielfed
43 coordy          ds.b      1           ; Y-Koodrindate auf dem Spielfed
44 xoffset         ds.b      1           ; X-Offset für Linienerkennung
45 yoffset         ds.b      1           ; Y-Offset für Linienerkennung
46 playerWonFlag   ds.b      1           ; Flag um Tasten zu sperren wenn ein
47                                     ; Spieler gewonnen hat

```


3 Listening

```

48
49 RomSection      Section
50                 org $C000
51
52                 include Utils.inc
53                 include LCDutils.inc
54                 include Board.inc
55                 include Cursor.inc
56                 include Input.inc
57                 include Logic.inc
58
59                 switch      RamSection
60 ramEnd           equ        *           ; Ende des Rams
61
62
63 ;-----
64 ;   Beginn des Programmcodes im schreibgeschuetzten Teil des Speichers
65 ;-----
66
67                 switch      RomSection
68 pageCmdMsk       dc.b        %10110000      ; Steuerkommando fürs Display
69 colCmdMskM       dc.b        %00010000      ; Steuerkommando fürs Display
70 colCmdMskL       dc.b        %00000000      ; Steuerkommando fürs Display
71 adrMask          dc.b        %00000111      ; Maske
72
73 LCDCols          equ        128             ; Horizontale Pixeln des LCD's
74 LCDRows          equ        8              ; Vertikalen Bytes des LCD's
75 boardSize        equ        336            ; Byteanzahl des Buffers
76 byteSize         equ        8              ; Größe eines Bytes in Bit
77 rowLength        equ        56             ; Zeilenlänge des Spielfeldes
78                                     ; in Pixeln
79
80 cursorRow        equ        6              ; Vertikale Position des Cursors
81                                     ; in Byte
82
83 boardOffset       equ        36             ; horizontaler Versatz des
84                                     ; Spielfeldes
85
86 boardMiddleColumn equ        24            ; Die mittlere Spalte des
87                                     ; Spielfeldes
88
89
90 ;-----
91 ;   Konstanten für Textausgabe auf dem LCD
92 ;   der erste Wert jeder Konstante repräsentiert deren Länge in Byte
93 ;-----
94
95 turnText
96     dc.b        21,$02,$7E,$02,$00      ; T
97     dc.b        $3C,$40,$40,$7C,$00     ; u
98     dc.b        $7C,$08,$04,$08,$00     ; r

```

3 Listening

```

99      dc.b      $7C,$08,$04,$78,$00      ; n
100     dc.b      $28,$00                  ; :
101
102 playerText
103     dc.b      30,$7E,$12,$12,$0C,$00    ; P
104     dc.b      $02,$7E,$00                ; l
105     dc.b      $20,$54,$54,$78,$00        ; a
106     dc.b      $1C,$A0,$A0,$7C,$00        ; y
107     dc.b      $38,$54,$54,$48,$00        ; e
108     dc.b      $7C,$08,$04,$08,$00        ; r
109     dc.b      $00,$00                    ;
110
111 oneText
112     dc.b      4,$04,$7E,$00,$00          ; 1
113
114 twoText
115     dc.b      5,$64,$52,$52,$4C,$00      ; 2
116
117 wonText
118     dc.b      17,$00,$00,$3C,$40,$20
119     , $40,$3C,$00                        ; w
120     dc.b      $38,$44,$44,$38,$00        ; o
121     dc.b      $7C,$08,$04,$78,$00        ; n
122
123
124 ; -----
125 ;   Hauptprogramm
126 ; -----
127
128 initGame
129
130     psha
131
132     ldaa      #$0C                        ; Löscht das Terminal
133     jsr      putChar
134     jsr      clrRam                        ; Überschreibt den Ram mit Nullen
135     jsr      initSPI                      ; Initialisierung der SPI-Schnittstelle
136     jsr      initLCD                      ; Initialisierung des Displays
137     jsr      LCDClr                       ; Löscht das Display
138     jsr      createGrid                   ; Schreibt das Spielfeld in den Buffer
139     jsr      drawBoard                    ; Schreibt den Bufferinhalt auf den LCDs
140     jsr      resetCursor                  ; Setz den Cursor in die Mitte des
141                                           ; Spielfeldes
142     ldaa      #1
143     staa      player                      ; wechselt zu Spieler 1
144     jsr      showText
145     jsr      drawPlayer
146     pula
147
148     rts
149

```

3 Listening

```
150 Start
151     lds    $$3FFF                ; Einstiegspunkt des Spieles
152     jsr    initGame
153
154 mainLoop                ; Hauptschleife
155     jsr    readInput
156     bra    mainLoop
157
158 End    bra    *
159
160
161 ; -----
162 ;   Vektortabelle
163 ; -----
164 VSection    Section
165     org     VRESET                ; Reset-Vektor
166     dc.w    Start                ; Programm-Startadresse
```

3.2 Board

Listing 3.2: Board.inc

```

1      switch RomSection
2      ; -----
3      ; Board.inc:
4      ;
5      ; Verwaltet den Buffer, welcher das Spielfeld repräsentiert.
6      ; Bietet Funktionen um den Buffer zu befüllen und diesen auf dem LCD zu
7      ; Zeichnen.
8      ; -----
9
10
11     ; -----
12     ; drawCell:
13     ;
14     ; Zeichnet eine Zelle auf den LCD-Display.
15     ;
16     ; @param cellAddress: Relative Zellenadresse vom Anfang des Buffers
17     ; -----
18
19 drawCell
20     pshx
21     pshy
22     psha
23     pshb
24
25     ; Berechne die absolute Adresse der Zelle im Buffer
26     ldy    #board
27     xgdy
28     addd   cellAddress
29     xgdy
30
31     ; Zeile und Spalte der Zelle berechnen und in D (Spalte)
32     ; und X (Zeile) Speichern
33     ldd    cellAddress
34     ldx    #rowLength
35     idiv
36
37
38     psha
39     pshb
40
41     ; Zeile setzen
42     xgdx
43     tba
44     jsr    LCDSetRow
45
46     pulb
47     pula

```

3 Listening

```
48
49     ; Bildschirm Versatz mit berücksichtigen
50     tba
51     adda    #boardOffset
52     ldb     #0
53 drawCellLoop
54
55     ; Spalte setzen
56     jsr     LCDSetCol
57
58     ; Zeichen (Byte) an LCD senden
59     psha
60     lda     0,y
61     jsr     LCDdata
62     pula
63
64     iny
65     inca
66     incb
67     cmpb    #8
68     bne     drawCellLoop
69
70     pulb
71     pula
72     puly
73     pulx
74     rts
75
76
77 ; -----
78 ; cellToBuffer:
79 ;
80 ; Schreibt eine leere "Zelle" (8 * 8 Bit) an der Position angegeben
81 ; durch "cellAddress" in den Buffer "Board".
82 ;
83 ; @param cellAddress: Relative Zellenadresse vom Anfang des Buffers
84 ; -----
85
86 cellToBuffer
87     pshx
88     psha
89     pshb
90
91     ; Berechne Adresse der Zelle im Buffer
92     ldx     #board
93     xgdx
94     addd    cellAddress
95     xgdx
96
97
98     lda     #%11111111    ; linker Rand der Zelle
```

3 Listening

```
99      staa    0,x
100
101      lda     #%10000001
102      staa    1,x
103
104      lda     #%10000001
105      staa    2,x
106
107      lda     #%10000001
108      staa    3,x
109
110      lda     #%10000001
111      staa    4,x
112
113      lda     #%10000001
114      staa    5,x
115
116      lda     #%10000001
117      staa    6,x
118
119      lda     #%11111111      ; rechter Rand der Zelle
120      staa    7,x
121
122      pulb
123      pula
124      pulx
125      rts
126
127
128 ; -----
129 ; creatGrid:
130 ;
131 ; Füllt den komplettenden Buffer "Board" mit leeren Zellen.
132 ; -----
133
134 createGrid
135     psha
136     pshb
137
138     ldd     #0
139     std     cellAddress
140 createGridLoop
141     jsr     cellToBuffer
142     addd    #byteSize
143     std     cellAddress
144     cmpd    #boardSize
145     bne     createGridLoop
146
147     pula
148     pulb
149     rts
```

3 Listening

```
150
151
152 ; -----
153 ; drawBoard:
154 ;
155 ; Zeichnet den kompletten Buffer auf den Display.
156 ; -----
157
158 drawBoard
159     psha
160     pshb
161
162     ldd     #0
163     std     cellAddress
164 drawBoardLoop
165     jsr     drawCell
166     addd    #byteSize
167     std     cellAddress
168     cmpd    #boardSize
169     bne     drawBoardLoop
170
171     pula
172     pulb
173     rts
174
175 ; -----
176 ; stone1ToBuffer:
177 ;
178 ; Schreibt einen Spielstein für Spieler1 (gefüllt) in den Buffer,
179 ; der Spielstein wird dabei mit der leeren Zelle oder-Verknüpft.
180 ;
181 ; @param cellAddress: Relative Zellenadresse vom Anfang des Buffers
182 ; -----
183
184 stone1ToBuffer
185     pshx
186     psha
187     pshb
188
189     ; Berechne Adresse der Zelle im Buffer
190     ldx     #board
191     xgdx
192     addd    cellAddress
193     xgdx
194
195     lda     #%00011000      ; Stein für Spieler 1 (gefüllt)
196     oraa    2,x
197     staa    2,x
198
199     lda     #%00111100
200     oraa    3,x
```

3 Listening

```
201      staa      3,x
202
203      lda       #%00111100
204      oraa      4,x
205      staa      4,x
206
207      lda       #%00011000
208      oraa      5,x
209      staa      5,x
210
211      pulb
212      pula
213      pulx
214      rts
215
216
217 ; -----
218 ; stone2ToBuffer:
219 ;
220 ; Schreibt einen Spielstein für Spieler2 (leer) in den Buffer,
221 ; der Spielstein wird dabei mit der leeren Zelle oder-Verknüpft.
222 ;
223 ; @param cellAddress: Relative Zellenadresse vom Anfang des Buffers
224 ; -----
225
226 stone2ToBuffer
227     pshx
228     psha
229     pshb
230
231     ; Berechne Adresse der Zelle im Buffer
232     ldx        #board
233     xgdx
234     addd       cellAddress
235     xgdx
236
237     lda        #%00011000      ; Stein für Spieler 2 (leer)
238     oraa       2,x
239     staa       2,x
240
241     lda        #%00100100
242     oraa       3,x
243     staa       3,x
244
245     lda        #%00100100
246     oraa       4,x
247     staa       4,x
248
249
250     lda        #%00011000
251     oraa       5,x
```


3 *Listening*

```
252      staa    5,x
253
254      pulb
255      pula
256      pulx
257      rts
```

3.3 Debug

Listing 3.3: Debug.inc

```

1      switch RomSection
2
3      ; -----
4      ; Debug.inc:
5      ; Bietet Funktionen zum Debugging. Gibt Akkumulatoren, Register und CCR aus.
6      ; Basisfunktionen von J.Voelker.
7      ; Ergänzt um debugBuffer und debugCell.
8      ; -----
9
10     ; -----
11     ;   Vier Bits - ein Nibble - aus B als Hexadezimalzahl ausgeben
12     ; -----
13
14     nibbletohex      dc.b      "0123456789ABCDEF"
15
16     putNibble        pshy
17                     psha
18                     pshb
19
20                     andb #$0F      ; Nibble maskieren,
21                     ldy #nibbletohex ; aus der Zeichentabelle
22                     aby             ; das passende Zeichen waehlen
23                     ldaa 0,y        ; und in A laden.
24
25                     jsr putChar
26
27                     pulb
28                     pula
29                     puly
30                     rts
31
32     ; -----
33     ;   Inhalt von B als Hexadezimalzahl ausgeben
34     ; -----
35
36     putByte          pshb
37
38                     rorb             ; Oberes Nibble von B zur Ausgabe vorbereiten
39                     rorb
40                     rorb
41                     rorb
42                     jsr putNibble
43
44                     pulb
45
46                     jsr putNibble    ; Unteres Nibble von B ausgeben
47                     rts

```

3 Listening

```
48
49 ; -----
50 ;   Inhalt von D als Hexadezimalzahl ausgeben
51 ; -----
52
53 putHex      psha
54             ldaa #'$'
55             jsr putChar
56             pula
57
58             pshb
59             tab          ; Zuerst A ausgeben, den oberen Teil von D
60             jsr putByte
61             pulb
62
63             jsr putByte  ; Anschliessend B ausgeben, den unteren
64                         ; Teil von D
65
66             jsr space
67             rts
68
69 ; -----
70 ;   Inhalt von D als Hexadezimalzahl ausgeben
71 ; -----
72
73 putHexBuffer
74             pshb
75             tab          ; Zuerst A ausgeben, den oberen Teil von D
76             jsr putByte
77             pulb
78
79             jsr putByte  ; Anschliessend B ausgeben, den unteren
80                         ; Teil von D
81
82             jsr space
83             rts
84
85
86 ; -----
87 ;   Carry-Flag als Binaerzahl ausgeben
88 ; -----
89
90 putCarry    psha
91
92             bcs putC1     ; War das Carry-Flag gesetzt ?
93
94             ldaa #'0'
95             bra putCAusgabe
96
97 putC1       ldaa #'1'
98
```

3 Listening

```

99 putCAusgabe    jsr putChar
100
101                pula
102                rts
103
104 ; -----
105 ;   Wert in A als Binaerzahl ausgeben
106 ; -----
107
108 putBinary      psha
109                ldaa #'%'
110                jsr putChar
111                pula
112
113                psha
114
115                rola                ; Das oberste Bit ins Carry-Flag rotieren
116                bsr putCarry        ; und als Binaerzahl ausgeben.
117                rola
118                bsr putCarry
119                rola
120                bsr putCarry
121                rola
122                bsr putCarry
123                rola
124                bsr putCarry
125                rola
126                bsr putCarry
127                rola
128                bsr putCarry
129                rola
130                bsr putCarry
131
132                ldaa #32            ; Leerzeichen anfüegen
133                jsr putChar
134
135                pula
136                rts
137
138 ; -----
139 ;   Alle Register ausgeben, dabei nichts veraendern, auch die Flags
140 ;   bleiben erhalten
141 ; -----
142
143 debug          ; Alter PC          (Stackpointer + 7)
144                pshy                ; (Stackpointer + 5)
145                pshx                ; (Stackpointer + 3)
146                pshb                ; (Stackpointer + 2)
147                psha                ; (Stackpointer + 1)
148                tpa                ;
149                psha                ; (Stackpointer + 0)   Flags in A holen
                                                    und ebenfalls sichern.

```

3 Listening

```
150
151 ; -----
152
153 tsx                ; Stackpointer in X holen
154
155 ldaa #'P'          ; PC=
156 jsr putChar
157 ldaa #'C'
158 jsr putChar
159 ldaa #'='
160 jsr putChar
161
162 ldd 7,x            ; Den alten PC vom Stack in D laden
163 jsr putHex
164
165 ; -----
166
167 ldaa #'D'          ; D=
168 jsr putChar
169 ldaa #'='
170 jsr putChar
171
172 ldd 1,x            ; Gesicherten Inhalt von D vom Stack laden
173 jsr putHex
174
175 ; -----
176
177 ldaa #'X'          ; X=
178 jsr putChar
179 ldaa #'='
180 jsr putChar
181
182 ldd 3,x            ; Gesicherten Inhalt von X vom Stack laden
183 jsr putHex
184
185 ; -----
186
187 ldaa #'Y'          ; Y=
188 jsr putChar
189 ldaa #'='
190 jsr putChar
191
192 ldd 5,x            ; Gesicherten Inhalt von Y vom Stack laden
193 jsr putHex
194
195 ; -----
196
197 ldaa #'S'          ; SP=
198 jsr putChar
199 ldaa #'P'
200 jsr putChar
```

3 Listening

```
201      ldaa #'='
202      jsr putChar
203
204      xgdx                ; Den Stackpointer selbst in D laden
205      jsr putHex
206
207      ; -----
208
209      ldaa #'C'           ; CCR=
210      jsr putChar
211      ldaa #'C'
212      jsr putChar
213      ldaa #'R'
214      jsr putChar
215      ldaa #'='
216      jsr putChar
217
218      tsx                ; Nochmal den Stackpointer in X holen
219      ldaa 0,x           ; Die auf dem Stack gesicherten Flags
220                        ; in A laden
221
222      jsr putBinary
223
224      ; -----
225
226      jsr crlf
227
228      pula              ; Alten Inhalt
229      tap              ; der Flags zurueckholen
230      pula
231      pulb
232      pulx
233      puly              ; Alle Register wiederhergestellt.
234      rts              ; Nach dem Ruecksprung ist auch der
235                        ; Stackpointer wieder wie vorher.
236
237
238 ; -----
239 ; debugBuffer:
240 ;
241 ; Gibt den gesamten Buffer in Hexadezimal auf dem Terminal aus.
242 ;
243 ; @param board: Das Board (Buffer)
244 ; -----
245 debugBuffer
246     pshx
247     psha
248     pshb
249
250     ldx    #board
251     ldd    #336
```

3 Listening

```
252 debugBufferLoop
253     psha
254     pshb
255     ldd     0,x
256     jsr     putHexBuffer
257     pulb
258     pula
259     inx
260     inx
261     subd    #2
262     bne     debugBufferLoop
263
264
265     pulb
266     pula
267     pulx
268     rts
269
270
271 ; -----
272 ; debugCell:
273 ;
274 ; Gibt eine Zelle des Buffers in Hexadezimal auf dem Terminal aus.
275 ;
276 ; @param debugCellAdress: Relative Zellenadresse vom Anfang des Buffers
277 ; @param board: Das Board (Buffer)
278 ; -----
279 debugCell
280     pshx
281     psha
282     pshb
283
284     ldx     #board
285     xgdx
286     addd    debugCellAdress
287     xgdx
288
289     ldd     #8
290 debugCellLoop
291     psha
292     pshb
293     ldd     0,x
294     jsr     putHexBuffer
295     pulb
296     pula
297     inx
298     inx
299     subd    #2
300     bne     debugCellLoop
301
302     jsr     crlf
```

3 *Listening*

```
303     pulb
304     pula
305     pulx
306     rts
```


3.4 Input

Listing 3.4: Input.inc

```

1      switch RomSection
2      ; -----
3      ; Input.inc:
4      ;
5      ; Verarbeitet die Benutzereingaben und reagiert dementsprechend.
6      ; -----
7
8
9      ; -----
10     ; readInput:
11     ;
12     ; Liest das Datenbyte des Tastenfeldes (PIO_B) aus und reagiert entsprechend
13     ; auf die Taste.
14     ;
15     ; @param PIO_B: Das Signal Byte der 8 Tasten in 1 aus n Kodierung
16     ; -----
17
18 readInput
19     psha
20     pshb
21
22     ldaa    PIO_B           ; Lese Button byte ein
23     ldab    buttonFlag     ; Lese ButtonFlag ein
24
25     cmpb    #1             ; 1 Wenn Taste gedrückt
26     beq     testButtonRelease
27
28 button4                                     ; Wenn Taste 4 gedrückt, reset
29                                     ; des Spiels
30     cmpa    #%11101111
31     bne     button0
32     jsr     setButtonFlag
33     jsr     initGame
34     bra     readInputEnd
35
36 button0                                     ; Wenn Taste 0 gedrückt, setze Stein
37     tst     playerWonFlag   ; alle Tasten ausser reset sperren wenn
38                                     ; das Spiel gewonnen ist
39     bne     readInputEnd
40
41     cmpa    #%11111110
42     bne     button1
43     jsr     setButtonFlag
44     jsr     setStone
45
46     ldab    coordy         ; testen ob ein Stein gesetzt werden
47                                     ; konnte, wenn nicht KEIN

```

3 Listening

```

48                                     ; Spielerwechsel / checkWin
49     cmpb    #$FF
50     beq     readInputEnd
51
52     jsr     checkWin
53     cmpa    #1
54     beq     someoneWon
55
56     jsr     nextPlayer
57     jsr     drawPlayer
58
59     bra     readInputEnd
60
61 button1                                     ; Wenn Taste 1 gedrückt, setze Flag
62                                     ; und bewege Cursor nach Links
63     cmpa    #%11111101
64     bne     button3
65     jsr     setButtonFlag
66     jsr     moveCursorLeft
67     bra     readInputEnd
68 button3                                     ; Wenn Taste 3 gedrückt, setze Flag
69                                     ; und bewege Cursor nach Rechts
70     cmpa    #%11110111
71     bne     readInputEnd
72     jsr     setButtonFlag
73     jsr     moveCursorRight
74     bra     readInputEnd
75
76
77 testButtonRelease
78     jsr     incTimer                                     ; entprellen der Tasten mit einem Timer
79     ldab    timer
80     cmpb    #250
81     bne     readInputEnd
82     jsr     resetTimer
83
84     cmpa    #%11111111                                     ; Überprüfe ob Taste losgelassen
85                                     ; wurde -> Reset Buttonflag
86     bne     readInputEnd
87     jsr     resetButtonFlag
88
89
90
91     bra     readInputEnd
92 someoneWon
93     jsr     playerwon
94
95 readInputEnd
96
97     pulb
98     pula

```

3 Listening

```
99         rts
100
101
102 ; -----
103 ; setButtonFlag:
104 ;
105 ; Setzt ein Flag das eine Taste gedrückt -und bisher noch nicht
106 ; losgelassen wurde.
107 ;
108 ; @return buttonFlag: auf 1 gesetzt
109 ; -----
110
111 setButtonFlag
112     psha
113
114     ldaa    #1
115     staa    buttonFlag
116
117     pula
118     rts
119
120
121 ; -----
122 ; resetButtonFlag:
123 ;
124 ; Setzt das Buttonflag zurück.
125 ;
126 ; @return buttonFlag: auf 0 gesetzt
127 ; -----
128
129 resetButtonFlag
130     psha
131
132     ldaa    #0
133     staa    buttonFlag
134
135     pula
136     rts
137
138
139 ; -----
140 ; incTimer:
141 ;
142 ; Inkrementiert einen Timer zum entprellen der Tasten.
143 ;
144 ; @param timer: der Timer der inkrementiert werden soll
145 ; @return timer: der inkrementierte Timer
146 ; -----
147
148 incTimer
149     psha
```

3 Listening

```
150
151     ldaa    timer
152     adda    #1
153     staa    timer
154
155     pula
156     rts
157
158
159 ; -----
160 ; resetTimer:
161 ;
162 ; Setzt den Timer zum entprellen der Tasten zurück.
163 ;
164 ; @param timer: der Timer der zurückgesetzt werden soll
165 ; @return timer: der zurückgesetzte Timer
166 ; -----
167
168 resetTimer
169     psha
170
171     ldaa    #0
172     staa    timer
173
174     pula
175     rts
```

3.5 LCDutils

Listing 3.5: LCDutils.inc

```

1      switch RomSection
2      ; -----
3      ; LCDutils.inc:
4      ;
5      ; Bietet Funktionen um das Display zu initialisieren und anzusteuern.
6      ; -----
7
8
9      ; -----
10     ; initSPI:
11     ;
12     ; Initialisiert die SPI-Schnittstelle.
13     ; -----
14
15     initSPI
16         psha
17         ldaa #%00000011
18         staa PORTD
19         ldaa #%00111010
20         staa DDRD ; TXD,MOSI,SCK,-SS = out
21         ldaa #%01010010 ; 125kHz,Mode=0
22         staa SPCR ; enable,no int
23         pula
24         rts
25
26
27     ; -----
28     ; SPItransfer:
29     ;
30     ; Hilfsmethode für LCDsend
31     ; -----
32
33     SPItransfer
34         staa SPDR ; Byte senden
35
36     SPIwait2
37         tst SPSR ; Warten mal anders
38         bpl SPIwait2 ; auf MSB = SPIF = 1
39         ldaa SPDR ; Antwortbyte holen
40         rts
41
42
43     ; -----
44     ; initLCD:
45     ;
46     ; Initialisierung des Displays.
47     ; -----

```

3 Listening

```
48
49 initLCD      psha
50              ldaa #$A2
51              bsr LCDcommand
52              ldaa #$A0
53              bsr LCDcommand
54              ldaa #$C8
55              bsr LCDcommand
56              ldaa #$24
57              bsr LCDcommand
58              ldaa #$81
59              bsr LCDcommand
60              ldaa #$2F
61              bsr LCDcommand
62              ldaa #$2F
63              bsr LCDcommand
64              ldaa #$AF
65              bsr LCDcommand
66              bclr PORTA,%01000000      ; PA6 = DIMM
67              pula                      ; Hintergrundbeleuchtung an
68              rts
69
70
71 ; -----
72 ; LCDcommand:
73 ;
74 ; Sendet ein Kommandobyte an das Display.
75 ;
76 ; @param Akku a: Das zu sendende Kommandobyte
77 ; -----
78
79 LCDcommand
80              bclr PORTD,%00100000 ; PD5, LCD_A0=0
81              bra LCDsend
82
83
84 ; -----
85 ; LCDdata:
86 ;
87 ; Sendet ein Datenbyte an das Display.
88 ;
89 ; @param Akku a: Das zu sendende Datenbyte
90 ; -----
91
92 LCDdata
93              bset PORTD,%00100000 ; PD5, LCD_A0=1
94              bra LCDsend
95
96
97 ; -----
98 ; LCDSend:
```

3 Listening

```
99 ;
100 ; Hilfsmethode für LCDcommand und LCDdata.
101 ; Sendet ein Daten- oder Kommando an das Display.
102 ;
103 ; @param Akku a: Das zu sendende Datenbyte
104 ; -----
105
106 LCDSend
107     psha
108     ldaa    PIO_C
109     anda    #%00111111 ; SPI_SEL = 0 = LCD
110     staa    PIO_C
111     pula
112
113     psha
114     jsr     SPItransfer
115
116     ldaa    PIO_C ; Deselect LCD
117     oraa    #%11000000 ; SPI_SEL = 3 = EEPROM
118     staa    PIO_C
119
120     pula
121     rts
122
123 ; -----
124 ; LCDSetRow:
125 ;
126 ; Setzt die Zeile des LCD-Cursors.
127 ;
128 ; @param Akku a: Die Cursorzeile
129 ; -----
130 LCDSetRow
131     psha
132     oraa    pageCmdMsk
133     jsr     LCDcommand
134     pula
135     rts
136
137 ; -----
138 ; LCDsetColMSB:
139 ;
140 ;
141 ; Hilfsmethode für LCDSetCol.
142 ; Setzt die ersten vier Bits der Spalte des LCD-Cursors.
143 ;
144 ; @param Akku a: die ersten vier Bits der Spalte des LCD-Cursors
145 ; -----
146
147 LCDsetColMSB
148     psha
149     oraa    colCmdMskM
```

3 Listening

```
150         jsr     LCDcommand
151         pula
152         rts
153
154
155 ; -----
156 ; LCDsetCollSB:
157 ;
158 ; Hilfsmethode für LCDSetCol.
159 ; Setzt die letzten vier Bits der Spalte des LCD-Cursors.
160 ;
161 ; @param Akku a: die letzten vier Bits der Spalte des LCD-Cursors
162 ; -----
163
164 LCDsetCollSB
165         psha
166         oraa     colCmdMskL
167         jsr     LCDcommand
168         pula
169         rts
170
171
172 ; -----
173 ; LCDSetCol:
174 ;
175 ; Setzt die Spalte des LCD-Cursors.
176 ;
177 ; @param Akku a: die Spalte des LCD-Cursors
178 ; -----
179
180 LCDSetCol
181         psha
182         psha
183         anda     #%00001111
184         jsr     LCDsetCollSB
185         pula
186         lsra                     ;Shifte um 4 nach links
187         lsra
188         lsra
189         lsra
190         jsr     LCDSetColMSB
191         pula
192         rts
193
194
195 ; -----
196 ; LCDClrRow:
197 ;
198 ; Hilfsmethode für LCDClr.
199 ; -----
200
```


3 Listening

```
201 LCDClrRow
202     psha
203     pshb
204     ldab    #LCDCols
205     ldaa    #0
206     jsr     LCDSetCol
207
208 LCDClrRowFor
209     jsr     LCDdata
210     decb
211     bne     LCDClrRowFor
212
213     pulb
214     pula
215     rts
216
217
218 ;-----
219 ; LCDClr:
220 ;
221 ; Löscht alle Pixel des LCD's.
222 ;-----
223
224 LCDClr
225     psha
226     ldaa    #0
227 LCDClrFor
228     jsr     LCDSetRow
229     jsr     LCDClrRow
230     inca
231     cmpa    #LCDRows
232     bne     LCDClrFor
233
234     ldaa    #0           ; Setze Cursor wieder auf 0:0
235     jsr     LCDSetCol
236     jsr     LCDSetRow
237     pula
238     rts
239
240
241 ;-----
242 ; showText:
243 ;
244 ; Schreibt die Texte für "Player" und "Turn:" auf den LCD.
245 ;-----
246
247 showText
248
249     psha
250     pshb
251     pshx
```

3 Listening

```
252
253
254         ldd     #0
255         ldx     #turnText      ; Text "Turn:" oben links auf LCD
256         jsr     drawText
257
258
259         ldaa    #1
260         ldab    #0
261         ldx     #playerText    ; Text "Player" in die 2. Zeile, links auf LCD
262         jsr     drawText
263
264         pulx
265         pulb
266         pula
267
268         rts
269
270
271 ; -----
272 ; drawText:
273 ;
274 ; Zeichnet den Text an die übergebene Zeile und Spalte des Displays
275 ;
276 ; @param Akku a: Zeile des LCD's
277 ; @param Akku b: Spalte des LCD's
278 ; @param Register x: Adresse des Textes im Speicher
279 ; -----
280
281 drawText
282
283         psha
284         pshb
285         pshx
286
287         jsr     LCDSetRow
288         tba     ; nach setzen der Zeile, Spalte in A schreiben
289         ldab    0,x
290         inx     ; erstes Byte in X ist die Länge des Texts
291
292 drawTextLoop
293
294         jsr     LCDSetCol
295         psha
296         ldaa    0,x
297         jsr     LCDdata
298         pula
299         inca
300         inx
301         decb
302         bne     drawTextLoop
```

3 Listening

```
303
304     pulx
305     pulb
306     pula
307     rts
308
309
310 ; -----
311 ; drawPlayer:
312 ;
313 ; Schreibt die Spielernummer des Spielers, welcher gerade am Zug ist.
314 ;
315 ; @param player: Die Nummer des Spielers, welcher gerade am Zug ist
316 ; -----
317
318 drawPlayer
319
320     psha
321     pshb
322     pshx
323     pshy
324
325
326     ldaa    #1
327     ldy     #playerText
328     ldab    0,y
329     incb
330
331     psha
332     ldaa    player
333     cmpa    #2
334     pula
335
336     beq     drawPlayer2
337
338 drawPlayer1
339     ldx     #oneText
340     jsr     drawText
341     bra     drawPlayerEnd
342 drawPlayer2
343     ldx     #twoText
344     jsr     drawText
345 drawPlayerEnd
346
347     puly
348     pulx
349     pulb
350     pula
351
352     rts
353
```

3 Listening

```
354
355 ; -----
356 ; drawWinner:
357 ;
358 ; Schreibt eine Nachricht an den Spieler, welcher das Spiel gewonnen hat,
359 ; auf den LCD.
360 ; Löscht alle anderen Texte vom LCD und sperrt alle Tasten außer der
361 ; Reset-Taste.
362 ;
363 ; @param player: Die Nummer des Spielers, welcher gewonnen hat
364 ; -----
365
366 drawWinner
367     psha
368     pshb
369     pshx
370
371     ldaa    #6                ; Zeichne "Spieler"
372     ldab    #boardOffset
373     ldx     #playerText
374     jsr     drawText
375
376     addb    0,x              ; Zeichne die Spielernummer
377     psha
378     ldaa    player
379     cmpa    #2
380     pula
381     beq     drawWinner2      ; bestimmen welcher Spieler gewonnen hat
382
383 drawWinner1                  ; Fall Spieler1 gewonnen
384     ldx     #oneText
385     jsr     drawText
386     bra     drawNumberEnd
387
388 drawWinner2                  ; Fall Spieler2 gewonnen
389     ldx     #twoText
390     jsr     drawText
391
392 drawNumberEnd
393     addb    0,x
394     ldx     #wonText
395     jsr     drawText
396
397     pulx
398     pulb
399     pula
400     rts
401
402
```

3.6 Logic

Listing 3.6: Logic.inc

```

1      switch RomSection
2      ; -----
3      ; Logic.inc:
4      ;
5      ; Bietet alle Funktionen zur Spiellogik (Berechnen des Gewinners,
6      ; Zugwechsel, etc.).
7      ; -----
8
9
10     ; -----
11     ; getCellAddress:
12     ;
13     ; Rechnet eine Spielfeldkoordinate (X und y) in eine Adresse im Buffer um.
14     ;
15     ; @param Akku a: X-Wert der Spielfeldkoordinate
16     ; @param Akku b: Y-Wert der Spielfeldkoordinate
17     ; @return cellAddress: Die Adresse der Zelle relativ zur Bufferadresse
18     ; -----
19
20     getCellAddress                ; Address = (b * 56) + (a * byteSize)
21         psha
22         pshb
23         pshb
24
25         ldab    #8
26         mul
27         std     cellAddress
28
29         pulb
30
31         ldaa    #rowLength
32         mul
33         addd    cellAddress
34         std     cellAddress
35
36         pulb
37         pula
38         rts
39
40
41     ; -----
42     ; setStone:
43     ;
44     ; Prüft, ob in die Spalte an der aktuellen Cursorposition ein Stein
45     ; gelegt werden kann. Wenn die Position gültig ist, wird ein Stein
46     ; gesetzt.
47     ;

```

3 Listening

```
48 ; @param cursorColumn: Die Spalte, in die ein Stein gesetzt werden soll
49 ;-----
50
51 setStone
52     pshb
53     psha
54     pshx
55     pshy
56
57
58     ldaa    #0
59     ldab    cursorColumn
60     subb    #boardOffset
61
62     ldx     #byteSize
63     idiv
64     xgdx
65     tba
66     ldab    #5
67
68     ldy     #6
69 freeCellLoop
70     jsr     getCellAddress    ; Ergebnis in Variable cellAddress
71
72     psha
73     jsr     getCellOccupancy
74     cmpa    #0                ; Wenn Leer dann wird der
75                                ; Stein gesetzt
76
77     pula
78     bne     checkNextCell
79
80     psha
81     ldaa    player            ; Überprüfe welcher Spieler dran ist
82     cmpa    #1
83     pula
84     bne     Player2Stone
85
86 Player1Stone
87     jsr     stone1ToBuffer
88     bra     setStoneEnd
89
90 Player2Stone
91     jsr     stone2ToBuffer
92     bra     setStoneEnd
93
94 checkNextCell
95     decb
96     dey
97     bne     freeCellLoop
98
```

3 Listening

```
99  setStoneEnd
100
101      ; speichern der Spielfeldkoordinaten zum prüfen ob gewonnen wurde
102      staa    coordx
103      stab    coordy
104
105      jsr     drawBoard
106
107      puly
108      pulx
109      pula
110      pulb
111      rts
112
113
114  ; -----
115  ; getCellOccupancy:
116  ;
117  ; Gibt die Belegung einer Zeller wieder.
118  ;
119  ; @param cellAddress: Die Zellenadresse
120  ; @return Akku a: 0 = leer, 1 = Spieler1, 2 = Spieler2
121  ; -----
122
123  getCellOccupancy                                ; Rückgabewert in a
124      pshb
125      pshx
126
127      ldx     #board
128      xgdx
129      addd    cellAddress
130      xgdx
131      ; 3. Byte der Zelle: prüfen ob Zelle nur Nullen enthält (keinen Stein)
132      lda     3,x
133      ; erste und letzte 1 repräsentieren den Zellenrand
134      cmpa    #%10000001
135      beq     isEmpty
136      cmpa    #%10111101
137      beq     isPlayer1
138      cmpa    #%10100101
139      beq     isPlayer2
140
141  isEmpty
142      ldaa    #0
143      bra     getCellOccupancyEnd
144
145  isPlayer1
146      ldaa    #1
147      bra     getCellOccupancyEnd
148
149  isPlayer2
```

3 Listening

```
150         ldaa    #2
151         bra     getCellOccupancyEnd
152
153 getCellOccupancyEnd
154
155         pulx
156         pulb
157         rts
158
159
160
161 ; -----
162 ; nextPlayer:
163 ;
164 ; Wechselt den aktuellen Spieler. Wenn Spieler1 am Zug ist, wird auf
165 ; Spieler2 gewechselt und umgekehrt.
166 ;
167 ; @param player: Der Spieler, der aktuell am Zug ist
168 ; @return player: 1 = Spieler1, 2 = Spieler2
169 ; -----
170
171 nextPlayer
172         psha
173
174         ldaa    player
175         cmpa    #1
176         beq     setPlayer2
177
178 setPlayer1
179         ldaa    #1
180         staa    player
181         bra     nextPlayerEnd
182
183 setPlayer2
184         ldaa    #2
185         staa    player
186
187 nextPlayerEnd
188
189         pula
190         rts
191
192
193 ; -----
194 ; checkWin:
195 ;
196 ; Überprüft, ob der aktuelle Spieler eine Viererreihe erreicht hat
197 ;
198 ; @param coordx: Die X-Koordinate des gesetzten Steins
199 ; @param coordy: Die Y-Koordinate des gesetzten Steins
200 ; @return Akku a: 0 = False, 1 = True
```


3 Listening

```
201 ;-----
202
203 checkWin
204
205     pshb
206
207
208     ; Vertikal
209     ldaa    #0                ; Richtung unten
210     ldab    #1
211     jsr     getLineLength
212     cmpa    #4
213     bhs     checkWinTrue
214
215
216     ; Horizontal
217     ldaa    #1                ; Richtung Rechts
218     ldab    #0
219     jsr     getLineLength
220     tab
221     pshb
222     ldaa    #-1               ; Richtung Links
223     ldab    #0
224     jsr     getLineLength
225     pulb
226     deca
227     aba
228     cmpa    #4
229     bhs     checkWinTrue
230
231
232     ; Diagonal Oben Rechts nach unten Links
233     ldaa    #1                ; Richtung Oben Rechts
234     ldab    #-1
235     jsr     getLineLength
236     tab
237     pshb
238     ldaa    #-1               ; Richtung unten Links
239     ldab    #1
240     jsr     getLineLength
241     pulb
242     deca
243     aba
244     cmpa    #4
245     bhs     checkWinTrue
246
247
248     ; Diagonal unten Rechts nach links Oben
249     ldaa    #-1               ; Richtung links Oben
250     ldab    #-1
251     jsr     getLineLength
```

3 Listening

```
252         tab
253         pshb
254         ldaa    #1                ; Richtung unten Rechts
255         ldab    #1
256         jsr     getLineLength
257         pulb
258         deca
259         aba
260         cmpa    #4
261         bhs     checkWinTrue
262
263         bra     checkWinFalse
264
265 checkWinTrue
266         ldaa    #1
267         staa    playerWonFlag
268         bra     checkWinEnd
269
270 checkWinFalse
271         ldaa    #0
272
273 checkWinEnd
274
275         pulb
276         rts
277
278
279 ; -----
280 ; getLineLength:
281 ;
282 ; Zählt die Anzahl der verbundenen Steine des aktuellen Spielers in einer
283 ; Reihe.
284 ;
285 ; @param Akku a: X-Richtung in die gelaufen werden soll
286 ; @param Akku b: Y-Richtung in die gelaufen werden soll
287 ; @param player: Der Spieler, der aktuell am Zug ist
288 ; @return Akku a: Anzahl an Steinen die in einer Reihe gefunden wurden
289 ; -----
290
291 getLineLength
292
293         pshb
294         pshy
295         pshx
296
297         staa    xoffset
298         stab     yoffset
299         ldaa    coordx
300         ldab    coordy
301
302         ldx     #0                ; Zähler für die Länge einer Linie
```

3 Listening

```
303
304 getLineLengthLoop
305
306     adda    xoffset
307     addb    yoffset
308
309     psha
310     jsr     isOutOfBorder      ; Überprüfe ob nächster Stein sich noch
311     cmpa    #1                ; innerhalb des Spielfeldes befindet
312     pula
313     beq     getLineLengthLoopEnd
314
315     jsr     getCellAddress
316     psha
317     jsr     getCellOccupancy  ; Überprüft, ob die nächste Zelle
318     cmpa    player            ; den Stein des Spielers enthält.
319     pula
320     bne     getLineLengthLoopEnd
321
322     inx
323     cpx     #3                ; Laufe nur 3 Steine lang
324     bne     getLineLengthLoop
325
326 getLineLengthLoopEnd
327
328     xgdx
329     tba
330     inca
331     bra     getLineLengthEnd  ; Inkrementiere A, sodass der neu
332                                ; gelegte Stein mitgezählt wird
333 getLineLengthEnd
334
335     pulx
336     puly
337     pulb
338     rts
339
340
341 ; -----
342 ; isOutOfBorder:
343 ;
344 ; Gibt an ob die übergebenen Koordinaten sich innerhalb oder ausserhalb des
345 ; Spielfeldes befinden.
346 ;
347 ; @param Akku a: X-Kooridnate des Spielfeldes
348 ; @param Akku b: Y-Kooridnate des Spielfeldes
349 ; @return Akku a: 0 = innerhalb des Spielfeldes, 1 = ausserhalb des Spielfeldes
350 ; -----
351
352 isOutOfBorder
353
```

3 Listening

```
354     pshb
355
356     cmpa    #-1
357     beq     isOutOfBorderTrue
358     cmpa    #7
359     beq     isOutOfBorderTrue
360
361     cmpb    #-1
362     beq     isOutOfBorderTrue
363     cmpb    #6
364     beq     isOutOfBorderTrue
365
366     bra     isOutOfBorderFalse
367
368 isOutOfBorderTrue
369     ldaa    #1
370     bra     isOutOfBorderEnd
371
372 isOutOfBorderFalse
373     ldaa    #0
374     bra     isOutOfBorderEnd
375
376 isOutOfBorderEnd
377
378     pulb
379     rts
380
381 ; -----
382 ; playerwon:
383 ;
384 ; Gibt an ob die übergebenen Koordinaten sich innerhalb oder ausserhalb des
385 ; Spielfeldes befinden.
386 ;
387 ; @param Akku a: X-Kooridnate des Spielfeldes
388 ; @param Akku b: Y-Kooridnate des Spielfeldes
389 ; @return Akku a: 0 = innerhalb des Spielfeldes, 1 = ausserhalb des Spielfeldes
390 ; -----
391 playerwon
392
393     ; Flag setzen das die Eingabe blockiert und nur Reset erlaubt
394     jsr     LCDClr
395     jsr     drawBoard
396     jsr     drawWinner
397
398     rts
```

3.7 Utils

Listing 3.7: Utils.inc

```

1      switch RomSection
2      ; -----
3      ; Utils.inc:
4      ;
5      ; Hilfsmethoden für das Terminal und den RAM.
6      ; -----
7
8
9      ; -----
10     ; clrRam:
11     ;
12     ; Setzt alle Bits im RAM auf 0.
13     ; -----
14
15     clrRam
16         psha
17         pshx
18
19         ldaa    #0
20         ldx     #ramBegin
21
22     clrRamLoop
23         staa    0,x
24         inx
25         cpx     #ramEnd
26         bne     clrRamLoop
27
28         pulx
29         pula
30         rts
31
32
33     ; -----
34     ; putChar:
35     ;
36     ; Zeichen in A auf dem Terminal ausgeben.
37     ;
38     ; @param Akku a: Das auszugebende Zeichen
39     ; -----
40
41     putChar    brclr scsr, #$80, * ; Warte, bis der Ausgabepuffer leer ist
42                staa scdr           ; Zeichen in A abschicken
43                rts
44
45
46     ; -----
47     ; crlf:

```

3 Listening

```
48 ;  
49 ; Zeilenumbruch auf dem Terminal ausgeben.  
50 ;-----  
51  
52 crlf      psha  
53          ldaa #13      ; CR  
54          jsr putChar  
55          ldaa #10      ; LF  
56          jsr putChar  
57          pula  
58          rts  
59  
60  
61 ;-----  
62 ; space:  
63 ;  
64 ; Leerzeichen auf dem Terminal ausgeben.  
65 ;-----  
66  
67 space     psha  
68          ldaa #32      ; Leerzeichen  
69          jsr putChar  
70          pula  
71          rts
```

3.8 Trainer11Register

Listing 3.8: Trainer11Register.inc

```

1  ;***   Registerdefinitionen für den trainer11
2
3  PIO_A      equ   $8000
4  PIO_B      equ   $8001
5  PIO_C      equ   $8002
6  PIO_CONFIG equ   $8003
7
8  .ifndef MAP_PAGE
9  MAP_PAGE   equ   $00      ; wahlweise Offsets oder Adressen
10 .endif
11
12 ;*** Register ***
13
14 PORTA      equ   $00+MAP_PAGE    ; Port A Data Register
15
16 PIOC       equ   $02+MAP_PAGE    ; Parallel I/O Control Register
17 PORTC      equ   $03+MAP_PAGE    ; Port C Data Register
18 PORTB      equ   $04+MAP_PAGE    ; Port B Data Register
19 PORTCL     equ   $05+MAP_PAGE    ; Alternate Latched Port C
20
21 DDRC       equ   $07+MAP_PAGE    ; Port C Data Direction Register
22 PORTD      equ   $08+MAP_PAGE    ; Port D Data Register
23 DDRD       equ   $09+MAP_PAGE    ; Port D Data Direction Register
24 PORTE      equ   $0A+MAP_PAGE    ; Port E Data Register
25 CFORC      equ   $0B+MAP_PAGE    ; Timer Compare Force Register
26 OC1M       equ   $0C+MAP_PAGE    ; Action Mask Register
27 OC1D       equ   $0D+MAP_PAGE    ; Action Data Register
28 TCNT       equ   $0E+MAP_PAGE    ; Timer Counter Register
29 TIC1       equ   $10+MAP_PAGE    ; Timer Input Capture
30 TIC2       equ   $12+MAP_PAGE    ; Timer Input Capture
31 TIC3       equ   $14+MAP_PAGE    ; Timer Input Capture
32 TOC1       equ   $16+MAP_PAGE    ; Timer Output Compare
33 TOC2       equ   $18+MAP_PAGE    ; Timer Output Compare
34 TOC3       equ   $1A+MAP_PAGE    ; Timer Output Compare
35 TOC4       equ   $1C+MAP_PAGE    ; Timer Output Compare
36 TOC5       equ   $1E+MAP_PAGE    ; Timer Output Compare
37 TCTL1      equ   $20+MAP_PAGE    ; Timer Control Register 1
38 TCTL2      equ   $21+MAP_PAGE    ; Timer Control Register 2
39 TMSK1      equ   $22+MAP_PAGE    ; Timer Interrupt Mask Register 1
40 TFLG1      equ   $23+MAP_PAGE    ; Timer Interrupt Flag Register 1
41 TMSK2      equ   $24+MAP_PAGE    ; Timer Interrupt Mask Register 2
42 TFLG2      equ   $25+MAP_PAGE    ; Timer Interrupt Flag Register 2
43 PACTL      equ   $26+MAP_PAGE    ; Pulse Accumulator Control Register
44 PACNT      equ   $27+MAP_PAGE    ; Pulse Accumulator Count Register High
45 SPCR       equ   $28+MAP_PAGE    ; SPI Control Register
46 SPSR       equ   $29+MAP_PAGE    ; SPI Status Register
47 SPDR       equ   $2A+MAP_PAGE    ; SPI Data Register

```

3 Listening

```

48 BAUD      equ $2B+MAP_PAGE    ; SCI Baud Rate Register
49 SCCR1     equ $2C+MAP_PAGE    ; SCI Control Register 1
50 SCCR2     equ $2D+MAP_PAGE    ; SCI Control Register 2
51 SCSR      equ $2E+MAP_PAGE    ; SCI Status Register
52 SCDR      equ $2F+MAP_PAGE    ; SCI Data Register
53 ADCTL     equ $30+MAP_PAGE    ; A/D Control Register
54 ADR1      equ $31+MAP_PAGE    ; A/D Converter Result Register 1
55 ADR2      equ $32+MAP_PAGE    ; A/D Converter Result Register 2
56 ADR3      equ $33+MAP_PAGE    ; A/D Converter Result Register 3
57 ADR4      equ $34+MAP_PAGE    ; A/D Converter Result Register 4
58
59 OPTION     equ $39+MAP_PAGE    ; System Configuration Options
60 COPRST     equ $3A+MAP_PAGE    ; Arm/Reset COP Timer register
61 PPROG      equ $3B+MAP_PAGE    ; EEPROM Programming Control Register
62 HPRI0      equ $3C+MAP_PAGE    ; Highest Priority Interrupt Register
63 INIT       equ $3D+MAP_PAGE    ; RAM and I/O Mapping
64 TEST1      equ $3E+MAP_PAGE    ; Factory TEST Control Register
65 CONFIG     equ $3F+MAP_PAGE    ; COP, ROM and EEPROM Enables
66
67 ;*** Vektoren ***
68
69 VSCI       equ $FFD6
70 VSPI       equ $FFD8
71 VPAI       equ $FFDA
72 VPA0       equ $FFDC
73 VT0F       equ $FFDE
74 VTIC4      equ $FFE0
75 VTOC4      equ $FFE2
76 VTOC3      equ $FFE4
77 VTOC2      equ $FFE6
78 VTOC1      equ $FFE8
79 VTIC3      equ $FFEA
80 VTIC2      equ $FFEC
81 VTIC1      equ $FFEE
82 VRTI       equ $FFF0
83 VIRQ       equ $FFF2
84 VXIRQ      equ $FFF4
85 VSWI       equ $FFF6
86 VIOT       equ $FFF8
87 VCOP       equ $FFFA
88 VCLK       equ $FFFC
89 VRESET     equ $FFFE

```


Abbildungsverzeichnis

1.1	Spielsteine	2
1.2	Spielfeld	3
1.3	Board	4
1.4	Geany IDE	5
1.5	Geany IDE Menü	5
1.6	Geany IDE Konfiguration	6
1.7	Realterm	7
2.1	Darstellung einer Zelle im RAM	8
2.2	Darstellung einer leeren Zelle im RAM	9
2.3	Darstellung einer Zelle mit einem Spielstein von Spieler 1 im RAM	10
2.4	Darstellung einer Zelle mit einem Spielstein von Spieler 2 im RAM	11
2.5	Programmablaufplan: <i>readInput</i>	13
2.6	Cursor auf dem LCD	16
2.7	Board	17
2.8	Zellenbelegung	18
2.9	Spielerwechsel	19
2.10	Zusammenhängend Steine	20
3.1	Programmstruktur	21

Tabellenverzeichnis