

Dokumentation uBasic (auf einem AVR)

Uwe Berger (bergeruw@gmx.net)

Stand: 08.09.2011

Inhalt

1 Motivation.....	3
2 Sprachumfang.....	3
2.1 Generell.....	3
2.2 Einschränkungen.....	4
2.3 uBasic-Syntax.....	5
2.3.1 Darstellungsformen für Zahlen.....	5
2.3.2 Operatoren.....	5
2.3.2.1 Arithmetische Operatoren.....	5
2.3.2.2 Bit-Operatoren.....	5
2.3.2.3 Logische Operatoren.....	6
2.3.2.4 Vergleichsoperatoren.....	6
2.3.3 Schleife von/bis (for/to/next).....	6
2.3.4 Bedingte Anweisung (if/then/else).....	6
2.3.5 Sprung (goto).....	7
2.3.6 Unterprogramm aufrufen (gosub).....	7
2.3.7 Programm-Ende (end).....	7
2.3.8 Zufallswert (srand/rand).....	7
2.3.9 absoluter Betrag (abs).....	8
2.3.10 Complement (not).....	8
2.3.11 Ausgabe (print).....	8
2.3.12 Variable setzen (let).....	8
2.3.13 Feld-Variablen (dim).....	9
2.3.14 Eingabe (input).....	9
2.3.15 DATA/READ/RESTORE.....	9
2.3.16 Kommentar (rem).....	10
2.3.17 BASIC-Befehle zur String-Verarbeitung.....	10
2.3.17.1 Allgemeines.....	10
2.3.17.2 String-Variablen.....	10
2.3.17.3 String-Felder.....	10
2.3.17.4 Zusammenfügen von Teilstrings.....	11

2.3.17.5 Vergleichsoperationen mit Strings.....	11
2.3.17.6 LEFT\$.....	11
2.3.17.7 RIGHT\$.....	11
2.3.17.8 MID\$.....	12
2.3.17.9 CHR\$.....	12
2.3.17.10 STR\$.....	12
2.3.17.11 UPPER\$/LOWER\$.....	12
2.3.17.12 INSTR\$.....	13
2.3.17.13 LEN.....	13
2.3.17.14 VAL.....	13
2.3.17.15 ASC.....	13
2.3.17.16 Ermittlung der maximal zulässigen Größe einer Zeichenkette.....	13
2.3.18 BASIC-Befehle zur Interaktion mit der einbettenden Applikation.....	14
2.3.18.1 C-Routinen aufrufen (call).....	14
2.3.18.2 Zugriff auf interne C-Variablen (vpeek/vpoke).....	14
2.3.19 AVR-spezifische BASIC-Befehle.....	14
2.3.19.1 EEPROM-Inhalt setzen (epoke).....	14
2.3.19.2 EEPROM-Inhalt lesen (epeek).....	15
2.3.19.3 Pause-Befehl (wait).....	15
2.3.19.4 I/O-Portrichtung (Ein- oder Ausgang) festlegen (dir).....	15
2.3.19.5 I/O-Port setzen (out).....	15
2.3.19.6 I/O-Port auslesen (in).....	16
2.3.19.7 ADC-Auslesen (adc).....	16
2.4 BASIC-Fehlerbehandlung.....	16
3 Funktionsweise des Interpreters.....	17
4 Einbinden in eigene Programme.....	18
4.1 Parametrisierung (ubasic_config.h).....	18
4.2 Übersetzen, Testen.....	20
4.3 Einbinden, Start eines Basic-Programmes in eigene Applikationen.....	20
4.4 Schnittstelle zu anderen internen C-Funktionen und -Variablen.....	21
4.4.1 Basic-Befehl CALL.....	21
4.4.2 Basic-Befehle VPEEK, VPOKE.....	24
5 Variabler Zugriff auf Basic-Quelltext.....	24
5.1 Ziel	24
5.2 Umsetzung.....	25
6 Aufruf von externen Unterprogrammen.....	26
7 Codegenerierung.....	27
7.1 Verzeichnisse.....	27
7.2 Plattformabhängige Makefiles.....	27
7.3 Build-Tool für Fastparser (René Böllhoff).....	28
8 Formale Syntax-Beschreibung (EBNF).....	29
9 Bekannte Fehler.....	30
10 Kontakt.....	30

1 Motivation

Welcher Mikrocontroller-Programmierer kennt das Problem nicht: man hat eine schicke Firmware auf den MC gebrannt, braucht schnell eine neue (einfache) Funktionalität und will/kann nicht gleich an den C-Code der Firmware ran. Was liegt also näher, Funktionen beliebig "nachladen" und ausführen zu lassen? Dieses Ansinnen mit Binär-Code-Fragmenten zu machen, dürfte ein schwieriges, wenn nicht sogar unmögliches Unterfangen sein. Und man ist wieder von einem Compiler abhängig. Script-Sprachen sind da viel besser geeignet, da sie verständlicher und leichter zu programmieren sind. Voraussetzung ist dabei natürlich, dass ein entsprechender Script-Interpreter auf der Zielplattform verfügbar ist.

Jetzt könnte man natürlich einen eigenen und u.U. speziell für Mikrocontroller angepassten Sprachsyntax entwickeln und implementieren (Bsp. [ECMDSript](#) bei [ethersex](#)). Viel sinnvoller erscheint es aber, wenn man auf alt bewährte und bekannte Dinge zurückgreift: jeder (alte) Programmierer hat mal mit Basic angefangen oder zu mindestens davon gehört! Der Zufall wollte es, dass [Adam Dunkle](#) ein C-Gerüst für einen kleinen und ressourcenschonenden [TinyBasic-Interpreter \(uBasic\)](#) veröffentlicht hat. Mit minimalen Modifikationen ist das Ding auch auf einem AVR sofort lauffähig und beeindruckt durch den geringen Ressourcen-Verbrauch.

Auf dieses Gerüst aufsetzend, entstand uBasic für AVRs.

Ziel ist es, einen universellen Basic-Interpreter zu haben, der in AVR-Programme einfach eingebunden werden kann. Die Basic-Programme können über vorhandene Schnittstellen (seriell, Ethernet o.ä.) geladen werden oder sind auf einem externen Speichermedium (SD-Card, Dataflash o.ä.) verfügbar und einlesbar.

Folgende Eigenschaften weist uBasic auf:

- relativ einfach zu verstehender Quellcode, der es nach kurzer Einarbeitungszeit möglich macht, den Sprachumfang zu erweitern
- modular aufgebaut, einfach in eigene Applikationen integrierbar
- kleiner übersetzter Code, geringer Speicherverbrauch
- Basic-Syntax ist an das bekannte TinyBasic angelehnt
- Sprachumfang und interner Speicherverbrauch parametrierbar
- Basic-Befehle für den Zugriff auf Funktionen und Variablen der einbindenden Firmware vorhanden
- einfache Schnittstelle zur Implementierung eigener Zugriffsmethoden auf das Speichermedium des Basic-Quelltextes

2 Sprachumfang

2.1 Generell

Der Sprachumfang lehnt sich, mit einigen Einschränkungen (siehe weiter unten), an das bekannte Tiny-Basic an.

Basic-Zeilen fangen mit einer eindeutigen Zeilennummer an, diese werden in der folgenden

Syntaxbeschreibung nicht mit aufgeführt! Innerhalb des Interpreters wird die Richtigkeit der Zeilennummer (Eineindeutigkeit, Reihenfolge) nicht abgeprüft. Sie spielen aber bei Sprungbefehlen (*goto*, *gosub-return*) sowie *for-to-next* schon eine entscheidende Rolle!

Alternativ kann, die entsprechende Konfiguration vorausgesetzt, die Zeilennummerierung weggelassen werden. Sprungziele (GOTO, GOSUB) sind natürlich weiterhin zu nummerieren.

Innerhalb von uBasic wird nicht zwischen Groß- und Kleinschreibung unterschieden.

Ein Basic-Programm endet mit an einer *end*-Anweisung.

In der Folge werden:

- Befehle ohne einschließende Klammern ö.ä. angegeben
- erforderliche Syntaxelemente in <...> angegeben
- alternative Syntaxelemente mit einem | getrennt
- optionale Syntaxelemente in [...] angegeben

Kombinationen sind möglich.

Bedeutung innerhalb folgender Syntaxbeschreibung:

- *val* → ein numerischer Wert
- *str* → ein String (eingeschlossen in "...")
- *expr* → eine Expression (Ausdruck) mit numerischen Ergebnistyp
- *strexpr* → eine Expression (Ausdruck), welche eine Zeichenkette (String) zum Ergebnis hat
- *var* → eine numerische Variable
- *strvar* → eine Stringvariable
- *rel* → Relation (Vergleichsoperation)
- ... → weitere beliebige Statements/Zeichen o.ä.

2.2 Einschränkungen

Folgende Einschränkungen gelten für Basic-Programme:

- systembedingte Einschränkungen:
 - Schachtelungstiefe for-Befehl: ist begrenzt und via define einstellbar (uBasic_config.h)
 - Schachtelungstiefe gosub-Befehl: ist begrenzt und via define einstellbar (uBasic_config.h)
 - Länge des Basic-Quelltext: ist begrenzt durch vorhandene Speichergrößen
- im Vergleich zu anderen verbreiteten Basic-Dialekten (außer TinyBasic):
 - Wertebereiche Variablen:
 - signed Integer (Wertebereich ist Plattformabhängig (16Bit, 32Bit usw.))

- die max. Größe von String-Variablen wird durch das Define `MAX_STRINGLEN` in `ubasic_config.h` festgelegt.
- Variablennamen: nur ein Buchstabe von 'a'...'z' bzw. 'A'...'Z' (es gilt a=A usw.); bei String-Variablen wird ein \$-Zeichen angehängen (z.B.: a\$)
- Anzahl Variablen: für Integer- und String-Variablen jeweils max. 26 und via Define einstellbar (`uBasic_config.h`)

2.3 uBasic-Syntax

2.3.1 Darstellungsformen für Zahlen

Es sind innerhalb eines Basic-Programmes folgende unterschiedliche Darstellungsformen für Zahlen zulässig:

- Dezimalzahlen: 1234
- Hexadezimalzahlen: 0x12AB
- Dualzahlen: 0b10101010

Die Ausgabe (PRINT-Anweisung) von Zahlen erfolgt prinzipiell dezimal.

2.3.2 Operatoren

2.3.2.1 Arithmetische Operatoren

Operator	Bedeutung
+	Addition zweier Werte; z.B. 1+2
-	Subtraktion zweier Werte; z.B. 3-2
/	Division zweier Werte; z.B. 4/2
*	Multiplikation zweier Werte; z.B. 3*5
%, mod	Modulo (Divisionsrest); z.B. 5%4 bzw. 5 mod 4

2.3.2.2 Bit-Operatoren

Operator	Bedeutung
	bitweise OR-Verknüpfung; z.B. 2 3 bzw. 2 or 3
&	bitweise AND-Verknüpfung; z.B. 2&4 bzw. 2 and 4
xor	bitweise XOR-Verknüpfung; z.B. 3 xor 6
shr	Rechtsverschiebung; z.B. 4 shr 1
shl	Linksverschiebung; z.B. 4 shl 1

2.3.2.3 Logische Operatoren

Operator	Bedeutung
and	Logisches Und
or	Logisches Oder

2.3.2.4 Vergleichsoperatoren

Operator	Bedeutung
<	kleiner
>	größer
=	gleich
>=	größer gleich
<=	kleiner gleich
<>	ungleich

Hinweis: diese Vergleichsoperatoren sind nur in *if-then-else*-Anweisungen einsetzbar, nicht in *for-next*-Schleifen (bis auf '=' natürlich...).

2.3.3 Schleife von/bis (for/to/next)

```
for var=<val|expr|var> to|downto <val|expr|var> [step <val|expr|var>]  
...  
next <var>
```

Schachtelungen von *for-next*-Schleifen sind möglich.

2.3.4 Bedingte Anweisung (if/then/else)

```
if <var|val|expr><rel><var|val|expr> then ... [else ...]
```

Es ist eine Kurzform der *if*-Anweisung zulässig, bei der das *then* weggelassen werden darf. Bei Verwendung dieser Kurzform darf es dann aber keinen *else*-Zweig geben. Es wird dann eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben und das Programm abgebrochen.

Korrektes Beispiel:

```
IF A=1 GOTO 100
```

Fehlerhaftes Beispiel:

```
IF A=1 GOTO 100 ELSE GOTO 200
```

Mehrere Relationen können mit den logischen Operatoren *and* oder *or* verknüpft werden. Negationen (*not*) und Klammerungen sind dabei nicht zulässig.

Hinweis: Nach *then* bzw. *else* ist nur ein Statement oder Ausdruck möglich. Sollten jeweils längere

Programmstücke notwendig sein, kann man sich mit Unterprogrammen (*gosub-return*) behelfen.

2.3.5 Sprung (goto)

```
goto <val> | <expr> | <var>
```

val gibt eine gültige Zeilennummer an bzw. das Ergebnis von *expr* oder *var* ist eine solche, zu der im Kontext gesprungen werden soll.

2.3.6 Unterprogramm aufrufen (gosub)

```
gosub <val> | <expr> | <var> | <str>  
...  
return
```

val eine gültige Zeilennummer an bzw. das Ergebnis von *expr* oder *var* ist eine solche, an der das Unterprogramm beginnt. Ende-Anweisung im Unterprogramm ist *return*, es wird zur Zeile nach dem entsprechenden *gosub*-Befehl zurückgesprungen und die Abarbeitung des Programms fortgesetzt.

Mit *str* ist es möglich ein externes Unterprogramm aufzurufen. Extern heißt, der Quelltext ist nicht im aktuellen Basic-Programm enthalten, sondern befindet sich z.B. in einer eigenen Datei. Das Unterprogramm wird dabei geöffnet, von der ersten Zeile abgearbeitet und muss zwingend mit einem *return*--Befehl enden, um in das aufrufende Programm zurückzukehren. Variableninhalte usw. bleiben über die Programmgrenzen hinaus erhalten. Siehe auch entsprechendes Kapitel (6; S.26 ff.) in dieser Dokumentation.

Schachtelungen von *gosub*-Anweisungen sind möglich, wobei aber die Schachtelungstiefe begrenzt ist (siehe Einstellungen in *ubasic_config.h*).

2.3.7 Programm-Ende (end)

```
end
```

Beendet ein Basic-Programm. Unterprogramme (*gosub-return*) sollten nach der Ende-Anweisung stehen.

2.3.8 Zufallswert (srand/rand)

Zufallsgenerator initialisieren:

```
srand
```

Einen Zufallswert zwischen 0 >= ... <= (Wert in Klammern) erzeugen:

```
<var>=rand(<val | var | expr>)
```

Kann auch selbst Element eines Ausdrucks sein.

Für die Implementierung der Zufallsfunktionen auf Nicht-AVR-Plattformen wurden die entsprechenden Routinen der libc verwendet. Als seed-Wert für srand() dient die aktuelle Uhrzeit.

Für AVR-Plattformen werden nicht die entsprechenden Routinen aus der libc verwendet. Der seed-Wert wird aus dem aktuellen Speicherinhalt des SRAM errechnet, als rand()-Funktion wird auf ein Algorithmus zurückgegriffen, der u.a. auf der Webseite <http://www.firstpr.com.au/dsp/rand31/> zu finden ist.

2.3.9 absoluter Betrag (abs)

```
<var>=abs(<val|var|expr>)
```

Kann auch selbst Element eines Ausdrucks sein.

2.3.10 Complement (not)

```
<var>=not(<val|var|expr>)
```

Kann auch selbst Element eines Ausdrucks sein.

2.3.11 Ausgabe (print)

```
print <val|var|expr|str|strvar|strexpr|tab(expr)> [<,|;> [<val|var|expr|str|strvar|strexpr|tab(expr)>]]
```

Zwischen den einzelnen Ausdrücken wird ein Leerzeichen ausgegeben, wenn als Trennzeichen ein Komma angegeben wird. Ein Semikolon unterdrückt die Ausgabe des Leerzeichen. Stehen Komma oder Semikolon am Zeilenende, wird der Zeilenvorschub unterdrückt.

Mit Hilfe der tab(n)-Option können n Leerzeichen ausgegeben werden. Bsp.:

```
print tab(5); "*"
end
```

Es werden fünf Leerzeichen und danach ein Stern ausgegeben.

Die Ausgabe erfolgt auf der "Standard-Ausgabe", welche in den entsprechenden Defines in ubasic_config.h definiert ist.

2.3.12 Variable setzen (let)

```
[let] <var|strvar>=<var|val|expr|str|strval|strexpr>
```

Die Angabe von *let* ist optional.

2.3.13 Feld-Variablen (dim)

```
DIM <var|strvar><(><val|var|expr><)>
```

Mit Hilfe der Basic-Anweisungen *dim* ist es möglich einzelne Variablen als Felder zu deklarieren. Bsp.:

```
10 dim a(10)
20 a(1)=42
30 print a(1)
40 end
```

In Zeile 10 wird die Variable *a* als Feld mit 10 Elementen definiert. In den folgenden Zeilen wird auf das jeweils 2.Element des Feldes zugegriffen (Index 0...9).

Nach der Definition einer Variablen als Feld darf nur noch die Feld-Schreibweise der Variable, also z.B. *a(1)*, verwendet werden! Zugriffe auf Elemente außerhalb der mit *dim* definierten Größe werden mit einem Fehler quittiert. Ebenso wird bei der Definition eines Feldes verfahren, welches die Größe des verfügbaren Speichers übersteigen würde.

Analoges gilt für die Definition von Zeichenkettenfelder (z.B. *dim a\$(10)*).

2.3.14 Eingabe (input)

```
INPUT [str ;] <var|strvar > [[,] var|strvar]
```

Ermöglicht die interaktive Eingabe von Werten und deren Zuweisung zu Variablen. Bsp.:

```
10 input "a="; a
20 print a
30 input a, b$
40 print a, b$
50 end
```

Die Eingaben können (derzeit) Integer- oder Stringvariablen zugewiesen werden. Werden bei Integervariablen nichtnumerische Zeichen eingegeben, werden der entsprechenden Variable intern der Wert 0 zugewiesen.

Hinweis: Während des Inputbefehls befindet sich das BASIC-Programm in einer Eingabeschleife und steht an dieser Stelle. D.h. auch, dass parallel zum BASIC-Interpreter laufende Programmteile ebenfalls nicht abgearbeitet werden.

2.3.15 DATA/READ/RESTORE

Mit der DATA-Anweisung können konstante Werte im Quelltext hinterlegt werden, welche mit READ Variablen zugewiesen werden können. Mit RESTORE kann der Zeiger innerhalb der DATA-Liste auf die erste Stelle zurückgesetzt werden.

Ein Beispiel:

```
read a, b, c
print a, b, c
print "****"
restore
read a
print a
```

```
data 23, 24
data 0xff
end
```

Neben Integer-Werten können auch Zeichenketten zugewiesen werden. Stimmen Variablen-Typ des READ-Befehls mit dem entsprechend nächsten DATA-Wert-Typ nicht überein, wird ein BASIC-Programmfehler generiert.

2.3.16 Kommentar (rem)

```
rem [...]
```

Der nach *rem* folgende Text wird durch den Interpreter übersprungen und die Abarbeitung wird in der nächsten Basic-Programmzeile fortgesetzt.

2.3.17 BASIC-Befehle zur String-Verarbeitung

2.3.17.1 Allgemeines

Mit dem Define UBASIC_STRING in ubasic_config.h (Kapitel 4.1; S.18) kann der String-Support eingeschaltet werden. Damit stehen eine Reihe von BASIC-Befehlen zur Verfügung, die eine Verarbeitung von Zeichenketten ermöglichen.

Man sollte sich aber bewußt sein, dass hierfür verhältnismäßig viel dynamischer Speicher zur Laufzeit benötigt wird (siehe auch Kapitel 2.3.17.2). Gerade beim Einsatz des Interpreters auf ressourcenarmen Plattformen sollte man sich überlegen, ob man wirklich Zeichenkettenoperationen benötigt.

2.3.17.2 String-Variablen

String-Variablenamen bestehen aus einem Buchstaben und einem angehängenen \$-Zeichen. Groß-/Kleinschreibung ist gleichbedeutend. Bsp.: a\$, b\$

String-Variablen müssen nicht vor der ersten Benutzung deklariert werden. Intern wird der entsprechende Speicherplatz erst unmittelbar vor dem ersten Setzen der Variable reserviert. Die maximale Größe einer String-Variable wird durch das Define MAX_STRINGLEN in ubasic_config.h vorgegeben. Wird diese Länge durch eine String-Operation (voraussichtlich) überschritten, bricht das BASIC-Programm mit einer entsprechenden Fehlermeldung ab. Das gleiche gilt, wenn bei der Speicherplatzreservierung für String-Variablen nicht mehr ausreichend dynamischer RAM zur Verfügung steht.

Da die Reservierung des Speicherplatzes für String-Variable erst bei der ersten Zuweisung erfolgt, ist eine Ausgabe/Abfrage einer String-Variable vor dem ersten Setzen unzulässig und wird mit einem Fehler und BASIC-Programmabbruch quittiert.

Es können gleichzeitig die selben Namen für Integer- und String-Variablen verwendet werden, die Unterscheidung erfolgt durch das \$-Zeichen. Also z.B. Integervariable a; Stringvariable a\$ dürfen gleichzeitig im Programm verwendet werden.

2.3.17.3 String-Felder

Zeichenkettenfelder sind zulässig. Die Definition erfolgt analog der von Integer-Felder:

```
dim a$(10)
```

Zu beachten ist, dass z.B. mit obiger Definition Speicherplatz für 10 Zeichenketten mit der Länge von MAX_STRINGLEN (Kapitel 4.1; S.18 ff.) definiert werden. D.h. also, dass man bei ressourcenarmen Plattformen sehr (sehr) sparsam mit Zeichenkettenfeldern umgehen sollte!

2.3.17.4 Zusammenfügen von Teilstrings

Zeichenketten können durch den „+“-Operator zusammengefügt werden.

Bsp.:

```
c$ = "BASIC" + " ist cool!"  
a$ = "BASIC"  
b$ = " ist cool!"  
c$ = a$ + b$
```

Als Ergebnis beider Varianten steht in c\$ jeweils der String „BASIC ist cool!“.

Die Summe der Teilstringlängen darf nicht die maximal mögliche Länge (Definiere MAX_STRINGLEN in ubasic_config.h) überschreiten. Ansonsten bricht das BASIC-Programm mit einer entsprechenden Fehlermeldung ab.

2.3.17.5 Vergleichsoperationen mit Strings

Es sind die, in Kapitel 2.3.2.4(S. 6) aufgeführten Vergleichsoperationen auch für Zeichenketten zulässig. Intern wird die C-Funktion strcmp() verwendet. D.h. deren jeweilige Rückgabewerte sind für das Ergebnis entsprechend maßgebend.

2.3.17.6 LEFT\$

```
<strvar>=left$(<str|strvar|strexpr>, <var|val|expr>)
```

Als Ergebnis wird der Teilstring mit der angegebenen Anzahl von Zeichen (von links beginnend) zurückgegeben. Ist die Anzahl der mittels Parameter angeforderten Zeichen größer als die Zeichenkette, wird die Zeichenkette vollständig zurückgegeben.

Bsp.:

```
a$ = left$("BASIC ist cool!", 5)
```

Weist a\$ die Zeichenkette „BASIC“ zu.

2.3.17.7 RIGHT\$

```
<strvar>=right$(<str|strvar|strexpr>, <var|val|expr>)
```

Als Ergebnis wird der Teilstring mit der angegebenen Anzahl von Zeichen (von rechts beginnend) zurückgegeben. Ist die Anzahl der mittels Parameter angeforderten Zeichen größer als die Zeichenkette, wird die Zeichenkette vollständig zurückgegeben.

Bsp.:

```
a$ = right$("BASIC ist cool!", 9)
```

Weist a\$ die Zeichenkette „ist cool!“ zu.

2.3.17.8 MIDS

```
<strvar>=mid$(<str|strvar|strexpr>, <var|val|expr>, <var|val|expr>)
```

Als Ergebnis wird der Teilstring mit der angegebenen Anzahl von Zeichen, ab einem angegebenen Offset von links beginnend, zurückgegeben. Ist die Anzahl der mittels Parameter angeforderten Zeichen ab dem Offset größer als die Zeichenkette wird die Zeichenkette vollständig zurückgegeben.

Bsp.:

```
a$ = mid$("BASIC ist cool!", 6, 3)
```

Weist a\$ die Zeichenkette „ist“ zu.

Hinweis: die Zählung des Offsets beginnt bei 0.

2.3.17.9 CHR\$

```
<strvar>=chr$(<var|val|expr>)
```

Es wird das ASCII-Zeichen, welches durch den numerischen Wert repräsentiert wird, zurückgegeben.

Bsp.:

```
print chr$(65)
```

Es wird das Zeichen „A“ ausgegeben.

2.3.17.10 STR\$

```
<strvar>=str$(<var|val|expr>)
```

Wandelt eine Zahl in einen String um.

Bsp.:

```
print str$(42)
```

Es wird die Zeichenkette „42“ ausgegeben.

2.3.17.11 UPPER\$/LOWER\$

```
<strvar>=upper$(<str|strvar|strexpr>)  
<strvar>=lower$(<str|strvar|strexpr>)
```

Wandelt die übergebene Zeichenkette in Groß- bzw. Kleinbuchstaben (upper\$ bzw. lower\$) um. Das Ergebnis ist die umgewandelte Zeichenkette.

2.3.17.12 INSTR\$

```
<var>=instr$(<str|strvar|strexpr>, <str|strvar|strexpr>)
```

Es wird in der ersten übergebenen Zeichenkette das Vorkommen der zweiten übergebenen Zeichenkette gesucht. Ergebnis der Funktion ist die Position des ersten Auftretens, wobei 0 die erste Stelle bezeichnet. Ist der Zeichenkette nicht enthalten wird -1 zurückgegeben.

2.3.17.13 LEN

```
<var>=len(<str|strvar|strexpr>)
```

Gibt die Länge der übergebenen Zeichenkette zurück.

Bsp.:

```
print len("BASIC")
```

Gibt 5 aus.

2.3.17.14 VAL

```
<var>=val(<str|strvar|strexpr>)
```

Wandelt eine Stringzahl in den entsprechenden Integerwert um.

Bsp.:

```
print val("42")
```

Ergibt die Integerzahl 42.

Hinweis: Besteht der die Zeichenkette nicht nur aus Zahlen, wird der Wert 0 zurückgegeben.

2.3.17.15 ASC

```
<var>=asc(<str|strvar|strexpr>)
```

Ermittelt den ASCII-Code des ersten Zeichens der übergebenen Zeichenkette.

Bsp.:

```
print asc("B")  
print asc("BASIC")
```

Gibt jeweils 66 aus.

2.3.17.16 Ermittlung der maximal zulässigen Größe einer Zeichenkette

Die maximale Größe einer Zeichenkette wird zum Zeitpunkt der Übersetzung des Interpreters durch das Define MAX_STRINGLEN (ubasic_config.h, Kapitel 4.1, Seite 18) festgelegt. In bestimmten Situationen ist es ganz interessant diese Maximalgrenze zu wissen. Die BASIC-Konstante M_STRLEN beinhaltet diesen Wert. Bsp.:

```

print m_strlen
a$=""
for i=1 to m_strlen
    if (i%10)=0 then b$ = "|" else b$ = "*"
    a$=a$+b$
next i
print a$
end

```

Innerhalb der FOR/NEXT-Schleife wird ein String mit der maximal zulässigen Länge generiert. Jedes zehnte Zeichen wird durch ein „|“ gekennzeichnet.

2.3.18 BASIC-Befehle zur Interaktion mit der einbettenden Applikation

2.3.18.1 C-Routinen aufrufen (call)

```
[<var>=]call(str[, <val|var|expr>[, <val|var|expr>]])
```

str: Name der Funktion

Die folgenden Parameter sind die (konfigurierten) Übergabe der C-Funktion.

Aufruf von internen C-Routinen. Dazu muss in `ubasic_call.*` einige Voraussetzungen geschaffen werden, siehe auch entsprechendes Kapitel (4.4.1; S.21 ff.) in diesem Dokument.

Funktioniert als Ausdruck, wie auch als Statement.

2.3.18.2 Zugriff auf interne C-Variablen (vpeek/vpoke)

Setzen einer internen C-Variable:

```
vpoke(<str>)=<val|var|expr>
```

Auslesen einer internen C-Variable:

```
<var>=vpeek(<str>)
```

str: Name der internen C-Variable

Bei `vpoke` wird die interne C-Variable auf den Wert nach dem Istgleich gesetzt. Der Rückgabewert von `vpeek` ist der Inhalt der internen C-Variable.

Siehe auch entsprechendes Kapitel (4.4.2; S.24 ff.) in diesem Dokument.

2.3.19 AVR-spezifische BASIC-Befehle

2.3.19.1 EEPROM-Inhalt setzen (epoke)

```
epoke(<val|var|expr>)=<val|var|expr>
```

Der Wert in den Klammern gibt die Adresse im EEPROM an, deren Inhalt mit dem Wert rechts neben dem Istgleich gefüllt werden. Der Befehl ist AVR-spezifisch.

2.3.19.2 EEPROM-Inhalt lesen (epeek)

```
<var>=epeek(<val|var|expr>)
```

Kann auch selbst Element eines Ausdrucks sein. Der Wert in den Klammern gibt die Adresse im EEPROM an, deren Inhalt zurück gegeben werden soll. Der Befehl ist AVR-spezifisch.

2.3.19.3 Pause-Befehl (wait)

```
wait <val|var|expr>
```

Die Pauszeit ist in Millisekunden anzugeben. Intern wird `_delay_ms()` aus `util/delay.h` (mit allen Konsequenzen) verwendet, also der Prozessor wartet wirklich und ist damit auch AVR-spezifisch.

2.3.19.4 I/O-Portrichtung (Ein- oder Ausgang) festlegen (dir)

```
dir(<port_str>, <pin>)=<val|var|expr>
```

port_str: AVR-Port „a“, „b“, „c“, „d“... (plattformspezifisch!)

pin: Pin-Nr. des Port (kann eine Zahl, eine Variable oder ein Ausdruck sein)

Es wird das angegebenen Pin des jeweiligen Ports als Aus- oder Eingang gesetzt. Dabei werden alle Werte >0 als Ausgang und Werte =0 wird als Eingang gewertet.

Der Befehl ist AVR-spezifisch. Welche Ports angesteuert werden können ist abhängig vom verwendeten Mikrocontroller und kann in `ubasic_config.h` eingestellt werden.

2.3.19.5 I/O-Port setzen (out)

```
out(<port_str>, <pin>)=<val|var|expr>
```

port_str: AVR-Port „a“, „b“, „c“, „d“... (plattformspezifisch!)

pin: Pin-Nr. des Port (kann eine Zahl, eine Variable oder ein Ausdruck sein)

Es wird das angegebenen Pin des jeweiligen Ports auf 0 oder 1 gesetzt. Dabei werden alle Werte größer 0 als 1 und Werte gleich 0 als 0 gewertet.

Der Befehl ist AVR-spezifisch. Welche Ports angesteuert werden können ist abhängig vom verwendeten Mikrocontroller und kann in `ubasic_config.h` eingestellt werden.

2.3.19.6 I/O-Port auslesen (in)

```
var=in(<port_str>, <pin>)
```

port_str: AVR-Port „a“, „b“, „c“, „d“... (plattformspezifisch!)

pin: Pin-Nr. des Port (kann eine Zahl, eine Variable oder ein Ausdruck sein)

Es wird das angegebene Pin des entsprechenden Ports ausgelesen und als Ergebnis zurückgegeben.

Der Befehl ist AVR-spezifisch. Welche Ports angesteuert werden können ist abhängig vom verwendeten Mikrocontroller und kann in ubasic_config.h eingestellt werden.

2.3.19.7 ADC-Auslesen (adc)

```
var=adc(<val|var|expr>)
```

Die Nummer in Klammern gibt den entsprechenden ADC an.

Der Befehl ist AVR-spezifisch. Die Konfiguration der möglichen ADC-Kanäle ist abhängig vom verwendeten Mikrocontroller und kann in ubasic_config.h eingestellt werden.

2.4 BASIC-Fehlerbehandlung

Soweit der Interpreter Fehler im Basic-Programm erkennt, werden sie in folgender Form auf der Standard-Ausgabe ausgegeben:

```
error <error-number> at sourceline: <linenum> (<basic-linenum>?) in program <name>
```

Dabei entspricht <linenum> der Zeile im BASIC-Quelltext (also nicht die BASIC-Zeilenummer) und <basic-linenum> der BASIC-Zeilenummer (soweit vorhanden). Wenn innerhalb der Konfiguration der Support für externe Unterprogramme aktiviert ist, bezeichnet <name> die Programm-Datei, in der der Fehler aufgetreten ist.

<error-number> hat folgende Bedeutungen (siehe auch uBasic.h):

```
#define SYNTAX_ERROR          1
#define UNKNOWN_ADC_CHANNEL   2
#define UNKNOWN_IO_PORT      3
#define FOR_WITHOUT_TO        4
#define UNKNOWN_STATEMENT     5
#define UNKNOWN_CALL_FUNCT    6
#define UNKNOWN_CALL_FUNCT_TYP 7
#define UNKNOWN_CVAR_NAME     8
#define SHORT_IF_WITH_ELSE    9
#define GOSUB_STACK_DETH     10
#define FOR_STACK_DETH       11
#define GOSUB_STACK_INVALID  12
#define UNKNOWN_SUBPROC      13
#define GOSUB_NO_EXT_SUBPROC  14
#define ARRAY_OUT_OF_RANGE   15
#define OUT_OF_MEMORY        16
#define NOT_ENOUGH_DATA      17
#define UNKNOWN_LINENUMBER   18
```



```
#define INPUT_IS_NOT_NUMBER      19
#define UNKNOWN_VARIABLE        20
#define STRING_TO_LARGE         21
#define DATA_READ_TYPE_DIFF    22
#define STRINGVAR_NOT_INIT      23
```

Für die richtige Differenzierung des Fehlers wird keine Garantie gegeben. Fakt ist aber, dass wenn ein Fehler auftritt, ist etwas am Basic-Programm faul (oder das Ende des dynamischen Speichers erreicht)!

Bei Auftreten eines Fehlers, wird das Basic-Programm abgebrochen.

3 Funktionsweise des Interpreters

Der uBasic-Interpreter unterteilt sich in zwei Komponenten:

- dem Tokenizer (tokenizer.*)
- dem eigentlichen uBasic (ubasic*.*)

Der Tokenizer analysiert den zu interpretierenden Code schrittweise nach ihm bekannten Syntaxelementen. Dazu sind in tokenizer.c zwei Methoden implementiert:

- mittels einer Schlüsselwort-Tabelle (keywords[]) und einer Routine für Einzelzeichen (singlechar()), welche jeweils für jedes potentielle Syntaxelement sequenziell durchsucht werden.
Vorteil: die Schlüsselwörter sind transparent im Quelltext abgelegt
Nachteil: langsam
- der Fastparser, welcher mittels eines optimierten Binär-Baum arbeitet. Dabei wird der Baum zeichenweise der Baum. Ist man an einem Blatt angekommen, hat man ein gültiges Schlüsselwort und damit das entsprechende Token gefunden.
Vorteil: extrem schnell
Nachteil: es wird ein Tool zur Generierung des optimierten Binär-Baums benötigt

Weiterhin stellt tokenizer.c diverse Funktionen zur Verfügung, um das aktuelle Token abzufragen, die Tokenanalyse fortzuführen sowie bei einigen Token deren Wert zurückzugeben (String, Variable, Wert etc.).

In uBasic.c ist die vorgeschriebene Reihenfolge der einzelnen Tokenelemente, welche damit den eigentlichen Basic-Syntax ausmachen, und die daraus resultierenden Reaktionen, teilweise über mehrere Prozeduren verteilt, implementiert. Dabei wird hauptsächlich zwischen Statements (statement()) und Expression-Elementen (expr() -> term() -> factor(...)) unterschieden.

Einige der Funktionen/Prozeduren werden rekursiv aufgerufen (vor allem expr() in ubasic.c). Dies bringt, gerade bei den beschränkten Ressourcen auf einem Mikrocontroller, die Gefahr mit sich, dass der Stack überlaufen könnte. Hauptsächlich könnte dies bei sehr komplexen Expressions auftreten. D.h., also, dem Interpreter bei solchen Problemen nicht zu komplexe Basic-Ausdrücke mit vielen Klammern vorwerfen.

Durch diese sinnvolle und konsquente Aufteilung der Interpreter-Funktionen ist es relativ leicht möglich weiter Syntax-Elemente hinzuzufügen. Der "Durchlauf" durch die einzelnen Interpreter-Elemente ist leicht zu verstehen. Einfach mal den Quelltext lesen!

4 Einbinden in eigene Programme

4.1 Parametrisierung (*ubasic_config.h*)

Mit Hilfe diverser Defines in *ubasic_config.h* kann der Basic-Sprachumfang, der Speicherverbrauch sowie einige AVR-spezifische Dinge gesteuert werden. Folgende Defines sind definiert:

```
#define PRINTF(...) usart_write(__VA_ARGS__)
```

Definiert die Standardausgabe für den Basic-Befehl *print* (Kapitel 2.3.11; S.8), im obigen Beispiel über die serielle Schnittstelle.

```
#define MAX_STRINGLEN 40
```

Maximale Länge eines Strings innerhalb des Basic-Befehls *print* bzw. von String-Variablen. (Bsp.: maximal 40 Zeichen)

```
#define MAX_INPUT_LEN 11
```

Maximale Länge einer Eingabe bei BASIC-Befehl *input* (Kapitel 2.3.14; S.9). (Bsp.: maximal 11 Zeichen)

```
#define MAX_GOSUB_STACK_DEPTH 2
```

Maximale Schachtelungstiefe innerhalb von *gosub*-Anweisungen. (Bsp.: maximale Schachtelungstiefe 2)

```
#define MAX_FOR_STACK_DEPTH 4
```

Maximale Schachtelungstiefe von *for-next*-Anweisungen. (Bsp.: maximale Schachtelungstiefe 4)

```
#define MAX_VARNUM 26
```

Maximale Anzahl von Basic-Variablen. Da Variablennamen nur aus einem Buchstaben bestehen können, sind maximal 26 Variablen möglich. (Bsp.: maximal 26 Variablen)

```
#define MAX_KEYWORD_LEN 8
```

Maximallänge der Schlüsselwörter in der Tabelle `keywords[]` (tokenizer.*). (Bsp.: maximal 8 Zeichen)

```
#define MAX_NAME_LEN 8
```

Maximale Länge von Funktions- und Variablennamen in *call*-, *vpeek*- und *vpoke*-Anweisungen über den die Variable bzw. Funktion via Basic angesprochen wird. (Bsp.: maximal 8 Zeichen)

```
#define UBASIC_ABS          1
#define UBASIC_NOT          1
#define UBASIC_XOR          1
#define UBASIC_SHL          1
#define UBASIC_SHR          1
#define UBASIC_CALL         1
#define UBASIC_CVARS        1
#define UBASIC_REM          1
```

```
#define UBASIC_PRINT      1
#define UBASIC_RND        1
#define UBASIC_INPUT      1
#define UBASIC_HEX_BIN    1
```

Über diese Defines kann der Sprachumfang des Basic-Interpreters beeinflusst werden. Ist der Wert mit 0 angegeben, steht das jeweilige Sprachelement nicht zur Verfügung. Die Define-Namen sind sprechend, mit CVARS sind die Basic-Befehle *vpeek* und *vpoke* für den Zugriff auf interne C-Variablen gemeint. Das Abwählen von nicht benötigten Basic-Elementen spart Speicherplatz.

```
#define UBASIC_EXT_PROC    1
```

Über dieses Define wird das Einbinden von externen Unterprogrammen mittels des *gosub*-Befehls gesteuert (Kapitel 2.3.6; S.7).

```
#define UBASIC_ARRAY      1
```

Variablen können als Felder definiert werden (Basic-Befehl *dim*; Kapitel 2.3.13; S.9).

```
#define UBASIC_DATA        1
```

Die BASIC-Befehle DATA/READ/RESTORE sind zulässig (Kapitel 2.3.15; S.9).

```
#define UBASIC_STRING      1
```

Zeichenkettenverarbeitung ist zulässig (Kapitel 2.3.17; S.10).

```
#define UBASIC_NO_LINE_NUM_ALLOWED  1
```

Es muss nicht vor jeder BASIC-Programmzeile eine Zeilennummer stehen.

```
#define USE_LINE_NUM_CACHE    1
#define MAX_LINE_NUM_CACHE_DEPTH  8
```

Es besteht die Möglichkeit häufig durch *goto* oder *gosub* angesprungene Basic-Zeilen intern zu puffern, um beim zweiten Anspruch dieser gepufferten Basic-Zeile selbige schneller zu finden und damit die Laufzeit zu verkürzen. Das obige erste Define schaltet diesen internen Puffer ein (Wert 1; aus mit Wert 0), mit dem zweiten Define legt man die maximale Anzahl der gepufferten Zeilen fest.

```
#define BREAK_NOT_EXIT      1
```

Mit diesem Define kann die Abbruchmethode bei Auftreten eines Fehlers im Basic-Programm (z.B. Syntax-Fehler) beeinflusst werden. Beim Wert 0 wird an den betreffenden Stellen im Code ein *exit(1)* ausgeführt und damit alles abgebrochen, also auch das Programm, in welches der Interpreter eingebettet ist. Beim Wert 1 wird nur die Abarbeitung des Basic-Programms abgebrochen, das Rahmenprogramm läuft weiter.

```
#define TOKENIZER_FASTPARSER    1
```

Schnelleren Parser einschalten.

```
#define USE_AVR              1
```

Mit diesem Define können AVR-spezifische Basic-Anweisungen ein- (Wert 1) oder ausgeschaltet werden (Kapitel 2.3.19; S.14). Sämtliche folgenden Defines sind damit in Gänze deaktivierbar. Sind AVR-

spezifische Dinge ausgeschaltet, sollte es möglich sein, den Basic-Interpreter auch auf anderen Plattformen einzusetzen.

```
#define USE_PROGMEM 1
```

Ist dieses Define mit dem Wert 1 belegt, werden einige statische Teile des Interpreters (z.B. die Tabelle `keywords[]` in `tokenizer.c`) in den AVR-Programmspeicher verlagert und von dort auch gelesen. Damit wird der SRAM-Bereich des AVR entlastet. Zum Beispiel spart dieses gesetzte Define, bei allen eingeschalteten Sprachelementen, ca. 200 Byte des wertvollen SRAM-Bereiches, der sonst für die Tabelle `keywords[]` verwendet werden würde. Umgekehrt wächst allerdings der verbrauchte Platz im Programmspeicher, weil die PROGMEM-Leseroutinen etwas mehr Code generieren.

```
#define AVR_WAIT 1
#define AVR_EPEEK 1
#define AVR_EPOKE 1
#define AVR_DIR 1
#define AVR_IN 1
#define AVR_OUT 1
#define AVR_ADC 1
#define AVR_RND 1
```

Mit diesen Defines kann der Sprachumfang AVR-spezifischer Befehle gesteuert werden. Bei Wert 0 steht das entsprechende Sprachelement nicht zur Verfügung, was Speicherplatz im Programmspeicher und SRAM des AVR spart.

```
#define HAVE_PORTA 0
#define HAVE_PORTB 1
#define HAVE_PORTC 1
#define HAVE_PORTD 1
```

Mit diesen Defines wird festgelegt, welche I/O-Port mit den Basic-Befehlen *dir*, *in* und *out* gesteuert werden können. Grund für die diese Festlegung ist zum einen der verwendete Hardwarearchitektur des Mikrocontroller, nicht jeder Typ hat alle Ports. Oder zum anderen möchte man vielleicht bestimmte Ports von der Ansteuerung durch Basic-Befehle ausschließen.

```
#define ADC_COUNT_MAX 4
```

Gibt die Anzahl der, durch den Basic-Befehl `adc` abfragbaren ADC-Kanäle an.

4.2 Übersetzen, Testen

Prinzipiell ist es möglich, uBasic auf verschiedenen Plattformen einzusetzen. Im Quelltextpaket sind mehrere Testprogramme für unterschiedliche Hardwareplattformen und Betriebssysteme enthalten. Bitte dazu die Kommentare in den einzelnen Testprogrammen lesen!

4.3 Einbinden, Start eines Basic-Programmes in eigene Applikationen

Das Einbinden des Interpreters in eigene Programme geht relativ einfach. Prinzipiell ist nur `ubasic.h` entsprechend zu includieren. Ggf. sind die Defines `PRINTF` (in `ubasic_config.h` für BASIC-Befehl *print*) an die eigene Ausgaberroutinen anzupassen. Des weiteren kann man in `ubasic_config.h` teilweise

den Basic-Sprachumfang steuern (siehe weiter unten).

Zur Abarbeitung des Basic-Programmes ist ungefähr folgender Konstrukt im eigenen Programm einzubauen:

```
uBasic_init(program);  
do {  
    uBasic_run();  
} while(!uBasic_finished());
```

`uBasic_init()` setzt einen internen Pointer auf den Anfang des Programmtextes und initialisiert ein paar weitere interne Variablen.

Die folgende do-while-Schleife wird solange abgearbeitet, bis das Basic-Programm endet, wobei `uBasic_run()` jeweils immer genau eine Basic-Zeile abarbeitet. Es ist also z.B. denkbar, in dieser Schleife auch noch das zu tun/aufzurufen, was während des Basic-Programmlaufes "parallel" im Mikrocontroller abgearbeitet werden soll. Anmerkung: es kann aber kein zweites Basic-Programm parallel laufen!

Eine weitere Variante, um die Abarbeitung des Basic-Programmes in einer bestehenden Hauptschleife einzubauen, könnte ungefähr so aussehen:

```
while (1) {  
    ...  
    // irgendwo Programm laden und uBasic_init(program) aufrufen  
    ...  
    if (!uBasic_finished) uBasic_run;  
    ...  
}
```

Als Referenz für das Einbinden des Basic-Interpreters in eigene Programme, wird das Studium der Beispielp Programme, welche im Quellcode-Archiv enthalten sind, angeraten.

4.4 Schnittstelle zu anderen internen C-Funktionen und -Variablen

4.4.1 Basic-Befehl CALL

Der *call*-Befehl ermöglicht eine drastische Erweiterung des Sprachumfangs von uBasic. Mit Hilfe dieses Mechanismus können (fast) beliebige C-Funktionen des Programms angesprochen werden, in welches der Interpreter eingebunden ist. Dabei ist die Anzahl Übergabeparameter, deren Typ sowie der Rückgabewert der Funktion für uBasic frei einstellbar.

Dazu sind allerdings einige Dinge in den Quelltext-Dateien `ubasic_call.h` und `ubasic_call.c` vorzubereiten.

Das folgende Erläuterung bezieht sich auf die Einbindung folgender C-Funktionen im Basic-Interpreter und deren Aufrufmöglichkeit mit dem Basic-Befehl *call*:

```

void a(void) {
    DDRB |= (1 << PB1);
    PORTB |= (1 << PB1);
}

void b(int p1) {
    DDRB |= (1 << PB1);
    if (p1) PORTB |= (1 << PB1); else PORTB &= ~(1 << PB1);
}

int c(int p1) {
    int r=0;
    ADMUX = p1;
    ADMUX |= (1<<REFS0);
    ADCSRA = (1<<ADEN) | (1<<ADPS1) | (1<<ADPS0);
    ADCSRA |= (1<<ADSC);
    while (ADCSRA & (1<<ADSC));
    r = ADCW;
    ADCSRA |= (1<<ADSC);
    while (ADCSRA & (1<<ADSC));
    r = ADCW;
    ADCSRA=0;
    return r;
}

```

Dabei ist a() eine Prozedure ohne Übergabeparameter und Rückwert, b() eine Prozedure mit einem Übergabeparameter aber ohne Rückgabewert und c() mit einem Übergabeparameter und einem Rückgabewert.

ubasic_call.h:

```

(1)
// Funktionspointertypen
#define VOID_FUNC_VOID      0
#define VOID_FUNC_INT      1
#define INT_FUNC_INT       2

(2)
// Strukturdefinition fuer Funktionspointertabelle
typedef struct {
    char* funct_name;
    union ftp {
        void (*VoidFuncVoid)(void);
        void (*VoidFuncInt) (int);
        int (*IntFuncInt) (int);
    } funct_ptr;
    unsigned char typ;
} callfunct_t;

```

(1) Es empfiehlt sich für jeden „Funktionstyp“ ein eigenes Define anzulegen. Mit „Funktionstyp“ ist die jeweilige Anzahl/Typ der Übergabeparameter und ob es einen Rückgabewert gibt, gemeint. Es reicht ein Define für unterschiedliche C-Funktionen gleichen Typs.

(2) Für jeden neuen „Funktionstyp“ ist in der Strukturdefinition callfunct_t ein entsprechender Eintrag in der union-Definition ftp aufzunehmen. Einige Beispiele sind im obigen Quellcodefragment aufgeführt.

ubasic_call.c:

```
(3)
// Funktionspointertabelle
callfunct_t callfunct[] = {
    {"a", .funct_ptr.VoidFuncVoid=a,    VOID_FUNC_VOID},
    {"b", .funct_ptr.VoidFuncInt=b,      VOID_FUNC_INT},
    {"c", .funct_ptr.IntFuncInt=c,        INT_FUNC_INT},
    {NULL, {NULL}, 255}
};

...

(4)
// je nach Funktionstyp (3.Spalte in Funktionspointertabelle)
// Parameterliste aufbauen und Funktion aufrufen
switch (callfunct[idx].typ){
    case VOID_FUNC_VOID:
        callfunct[idx].funct_ptr.VoidFuncVoid();
        break;
    case VOID_FUNC_INT:
        accept(TOKENIZER_COMMA);
        p1=expr();
        callfunct[idx].funct_ptr.VoidFuncInt(p1);
        break;
    case INT_FUNC_INT:
        accept(TOKENIZER_COMMA);
        p1=expr();
        r=callfunct[idx].funct_ptr.IntFuncInt(p1);
        break;
}

...

(5)
// bei Funktionspointertypen ohne Rueckgabewert ein Token
// weitergelesen...
if ((callfunct[idx].typ == VOID_FUNC_VOID) ||
    (callfunct[idx].typ == VOID_FUNC_INT)
    ) tokenizer_next();
```

(3) In der Tabelle callfunct[] sind die einzelnen, durch uBasic aufrufbaren C-Funktionen einzufügen. Dabei entspricht die 1.Spalte dem Namen der Funktion, mit dem die Funktion mittels des uBasic-Befehl *call* aufgerufen werden soll. Die 2.Spalte nimmt den Zeiger auf die C-Funktion auf, wobei aber unbedingt darauf zu achten ist, dass die entsprechend korrekte Typdefinition aus der union ftp (uBasic_call.h) verwendet wird. Das gleiche gilt für die 3.Spalte, die das entsprechende Define für den Funktionstyp aufnimmt.

(4) In dem switch-Block in der Prozedur call-statement() muss für jeden Funktionstyp ein entsprechender case-Zweig vorhanden sein, in dem die jeweiligen Parameter des *call*-Befehles (uBasic) via Tokenizer-Aufrufe ausgelesen werden, der entsprechende Funktionsaufruf über den jeweiligen Funktionspointer erfolgt sowie der u.U. vorhandene Rückgabewert verarbeitet wird.

(5) Bei C-Funktionen ohne Rückgabewert, der auch an den call-Befehl (uBasic) zurück gereicht wer-

den soll, ist das entsprechende Funktionstyp-Define in der if-Anweisung (`call_statement()`), mit ODER verknüpft, aufzunehmen.

Selbstverständlich sind die Header-Dateien, in denen die entsprechenden C-Variablen definiert sind, zu includieren.

4.4.2 Basic-Befehle VPEEK, VPOKE

Mit den Basic-Anweisungen *vpeek* und *vpoke* ist es möglich auf interne C-Variablen der Rahmen-Programms zuzugreifen, in das der Interpreter eingebettet ist. Dazu sind in `ubasic_cvars.c` diese Variablen dem Interpreter über die dort definierte Tabelle `cvars[]` bekannt zumachen.

Beispiel (`ubasic_cvars.c`):

```
// Variablenpointertabelle
cvars_t cvars[] = {
    {"a", &va},
    {NULL, NULL}
};
```

In dem Beispiel wird die interne C-Variable `va` vom Typ Integer mit dem Namen „a“ verknüpft. Über diesen Namen kann mit den Basic-Befehlen *vpeek* und *vpoke* auf den Inhalt der Variablen zugegriffen werden. Es sind nur Integervariablen einbindbar, da der Basic-Interpreter nur mit Integer arbeiten kann.

Selbstverständlich sind die Header-Dateien, in denen die entsprechenden C-Variablen definiert sind, zu includieren.

5 Variabler Zugriff auf Basic-Quelltext

5.1 Ziel

Ziel der in der Folge beschriebenen Systematik ist es, das Einlesen des Basic-Quelltextes von einem beliebigen Medium zu ermöglichen. Medien könnten z.B. sein:

- ein Array innerhalb des (Haupt-)Programms (so wie in der Ursprungsversion mit dem Nachteil, dass die Größe des Arrays konstant ist und von Anfang an den frei verfügbaren dynamischen Speicher entsprechend reduziert; die max. Größe eines Basic-Programmes wird durch die Dimension dieses Arrays begrenzt)
- Flash-RAM, EEPROM eines Mikrocontrollers, soweit vorhanden (z.B. AVR-Mikrocontroller)
- angeschlossene externe Speicherbausteine
- ein eventuell vorhandenes Filesystem (SD-Karte, Festplatte usw.)
- usw.

Voraussetzung ist, dass innerhalb des Quelltext-Mediums, mittels geeigneter Funktionen und berechenbarer Zeiger, frei und in jede Richtung positioniert werden kann, da ja der Quelltext-Parser (`tokenizer.c`) nicht nur sequenziell arbeitet, sondern, je nach Kontext, auch Programmtext überspringen oder im selbigen zurückspringen (`goto`, `gosub`, `for-next` usw.) sowie neu analysieren muss. Bei uBasic handelt es sich halt um einen Interpreter, der den Quelltext zur Laufzeit analysiert und unmittelbar aus-

führt.

5.2 Umsetzung

Der eigentliche Zugriff auf den Basic-Quelltext erfolgt innerhalb des Parsers (tokenizer.c) mittels eines Zeigers, der immer auf die aktuelle Position innerhalb des Basic-Programmes zeigt. Folgende Funktionen müssen mit diesem Zeiger realisierbar sein:

- Abfrage der Zeigersposition
- Abfrage des Wertes der Speicherzelle, auf die der Zeiger aktuell zeigt
- Inkrementieren des Zeigers um eine Stelle weiter
- Setzen einer beliebigen neuen Zeigerposition
- Basic-Programmende-Erkennung

Sämtliche relevanten Stellen im uBasic-Quelltext sind mit Defines realisiert, deren Umsetzung je nach Medium-Zugriffsart neu definiert werden können. Die entsprechenden Definition erfolgen in der Header-Datei tokenizer_access.h und haben folgende Bedeutungen (mit jeweils dem Beispiel für den Zugriff auf einen definierten Bereich im Speicher):

```
#define PTR_TYPE char const *
```

Definition des Types der Variable, die den Zeigerwert beinhaltet. Könnte theoretisch auch vom Typ Integer o.ä. sein, wenn die jeweilige Zugriffsart dies erfordert.

```
static PTR_TYPE ptr;
```

Definition der Zeigervariable selbst.

```
#define PROG_PTR ptr
```

Bezeichnet die Zeigervariable im Quelltext.

```
#define SET_PROG_PTR_ABSOLUTE(param) (PROG_PTR = (param))
```

Setzt den Zeiger auf die Position param (absolut zum Anfang). Wichtig ist, dass auch der physische Zeiger des entsprechenden Mediums danach auf die korrekte Position zeigt bzw. der Inhalt der referenzierten Speicherzelle mittels GET_CONTENT_PROG_PTR ermittelbar ist.

```
#define GET_CONTENT_PROG_PTR *ptr
```

Gibt den Inhalt der Speicherzelle zurück, auf die der Zeiger zeigt. Hinweis: Routinen wie z.B. fgetc() für einen Dateizugriff aus stdio.h inkrementieren automatisch ihren internen Zeiger auf die nächste Stelle in der Datei!

```
#define INCR_PROG_PTR ++ptr
```

Erhöht den Wert des Zeiger um eine Stelle. Wichtig ist, dass auch der physische Zeiger des entsprechenden Mediums danach auf die korrekte Position zeigt und der Inhalt der referenzierten Speicherzelle mittels GET_CONTENT_PROG_PTR abfragbar ist.

Theoretisch könnte auch SET_PROG_PTR_ABSOLUTE verwendet werden:

```
#define INCR_PROG_PTR (SET_PROG_PTR_ABSOLUT(PROG_PTR+1))
```

Aber vielleicht gibt es, je nach Medium, optimalere Operationen (wie z.B. bei Zugriffen via `fseek()/fgetc()` innerhalb eines Dateisystems). Aus diesen Grund ist dieses Define extra herausgeführt.

```
#define END_OF_PROG_TEXT GET_CONTENT_PROG_PTR == 0
```

Bedingung mit der das physische Ende des Basic-Programmtextes erkannt werden kann. Das Ergebnis muss wahr (größer 0) sein, wenn das Programmende erreicht ist.

Im Quelltextarchiv sind Beispiele für unterschiedliche Zugriffsmethoden auf den Basic-Quelltext zu finden, um die Funktionsweise verdeutlichen:

- Programm im Flash-Speicher eines AVR-Mikrocontrollers
- Programm auf einer SD-Karte an einem AVR-Mikrocontroller
- über direkte Dateisystemzugriffe unter Linux

6 Aufruf von externen Unterprogrammen

Innerhalb des `gosub`-Befehles ist es möglich, statt einer Programmzeile innerhalb des aktuellen Programms, auch ein weiteres externes Programm als String anzugeben. Beispiel:

```
10 GOSUB "UP1"
```

Dieses Programm (hier UP1) wird im Fall des Aufrufs geöffnet, von der ersten Zeile abgearbeitet und bei Auftreten eines `return` wieder verlassen, um die Kontrolle dem aufrufenden Programm zurückzugeben. Sämtliche Variableninhalte usw. bleiben über die Programmgrenzen hinaus erhalten, wirken also wie „globale Variablen“. Das gleiche gilt für sämtliche Stack- und Cache-Bereiche (`for-next`, `gosub`, Zeilennummern-Cache) des Hauptprogrammes.

Die Umschaltung in den jeweiligen Programmkontextes erfolgt mit der Prozedur `switch_proc()` in `ubasic_ext_proc.c`. Diese Prozedur muss für das jeweilige Speichermedium angepasst werden. Prinzipiell sind jeweils folgende Schritte zu implementieren:

- Schließen des derzeit geöffneten Programms;
- Öffnen des Programms dessen Name als Parameter übergeben wurde
- Setzen der Zeiger `PROG_PTR` und `programm_ptr` auf den Anfang des neuen Programms;
- Aufruf `tokenizer_init()`
- Setzen der Variable `current_proc` auf aktuellen Programmname
- Fehlerbehandlung nicht vergessen, z.B. Programm nicht vorhanden

Ob der Aufruf von externen Unterprogrammen möglich ist, wird über das Define

```
#define UBASIC_EXT_PROC 1
```

gesteuert.

Das Define

```
#define MAX_PROG_NAME_LEN 8
```

gibt die maximale Länge des Programmnamen an.

Beispiele für verschiedene Speichermedien sind im Quelltextarchiv enthalten.

7 Codegenerierung

7.1 Verzeichnisse

Ausgehend vom Verzeichnis `avr-basic/uwe_berger/` befinden sich folgende Unterverzeichnisse im Projektordner:

- `avr_basic/`
der eigentliche BASIC-Interpreter
- `basic/`
einige BASIC-Testprogramme
- `doku/`
die Dokumentation
- `ds1307/`
Zugriffsroutinen auf RTC-IC DS1307 (für AVR)
- `fastparser_build_tool/`
Tool zur Generierung des Binärbaums für den FastParser
- `lc7981/`
Zugriffsroutinen auf LCD auf Basis LC7981 (für AVR)
- `mem_check/`
Routinen zur Ermittlung des Speicherverbrauchs auf einem AVR
- `sd_card/`
Routinen für Zugriff auf SD-Karten (für AVR)
- `uart/`
Routinen für serielle Schnittstelle (für AVR)
- `/`
diverse Makefiles und Rahmenprogramme für verschiedene Plattformen

7.2 Plattformabhängige Makefiles

Wie Eingangs bereits erwähnt, kann der BASIC-Interpreter auf unterschiedlichen Plattformen (gemeint ist dabei Hardware und Betriebssystem) eingesetzt werden. Dem entsprechend gibt es deshalb auch unterschiedliche Makefiles und Rahmenprogramme für die Übersetzung.

Makefiles (Rahmenprogramm):

- `Makefile_arduino (ubasic_avr_sd.c):`
Arduino-Board (Duemilanove) mit SD-Karten-Erweiterung und RTC DS1307
- `Makefile_avr_pgm (ubasic_avr_pgm.c):`
einfaches AVR-Board mit Mega168 oder Mega328, BASIC-Programme befinden sich im Programmflash des AVR

- `Makefile_avr_sd (ubasic_avr_sd.c):`
dito, aber SD-Karte
- `Makefile_avr_sd_lc7981 (ubasic_avr_sd_lc7981.c):`
dito, aber SD-Karte und Grafik-LCD LC7981
- `Makefile_file (ubasic_file.c):`
für Linux, BASIC-Programm wird als Aufrufparameter übergeben
- `Makefile_mingw (ubasic_file.c):`
dito, aber für Windows mit installierten MinGW

Folgende make-Aufrufe weisen alle Makefiles in der Regel auf:

- `make -f Makefile_xxx`
Übersetzen des Projektes
- `make -f Makefile_xxx clean`
Löschen aller ausführbaren Programme, Objekte usw.
- `make -f Makefile_xxx pretty_code`
dito, sowie Textfiles ins UNIX-Format konvertieren und Execute-Flag rücksetzen
- `make -f Makefile_xxx flash`
nur für AVR, Flashen des Programms auf die MCU

7.3 Build-Tool für Fastparser (René Böllhoff)

Mit dem gesetzten Define `TOKENIZER_FASTPARSER` (siehe auch Kapitel 4.1; S. 18ff.) ist es möglich den extrem schnellen Parser in `tokenizer.c` einzuschalten. Wie bereits in Kapitel 3 (Seite 17ff.) erfolgt hier die Erkennung der einzelnen BASIC Syntax-Elemente mit Hilfe eines optimierten Binär-Baums. Dieser Binär-Baum muss vor Übersetzung des Projektes und Verwendung des Fastparsers einmalig (es sei denn, man implementiert weitere BASIC-Schlüsselwörter) erzeugt werden.

Das dazu notwendige Tool befindet sich im Unterverzeichnis `fastparser_build_tool/`. Folgende Vorgehensweise:

- `make -f Makefile_xxx`
Übersetzung des Tools ansich
- Anpassung der Datei `basic_keywords.txt` (falls der Syntax erweitert wurde)
- `make -f Makefile_xxx build`
Generierung des Binär-Baums
- die dabei entstandenen Dateien `tokenizer_data.c` und `tokenizer_data.h` ins Verzeichnis `avr_basic/` kopieren

Das war es!

Von dieser Stelle nochmal herzlichen Dank an René Böllhoff, dass er seinen Fastparser dem Projekt zur Verfügung gestellt hat.

8 Formale Syntax-Beschreibung (EBNF)

```
Line      = [number | number ":" ] [statement] "\\n";
statement = PRINT printlist |
            [LET] (var "=" expression | str_var "=" str_expression) |
            GOTO expression |
            GOSUB (expression | characterstr) |
            RETURN |
            IF relation {log_operator relation} {THEN statement [ELSE statement] [THEN statement]} |
            FOR var "=" expression ( TO | DOWNTTO ) expression [STEP expression] |
            NEXT var |
            REM { any_character } |
            DIM (var | str_var) "(" expression ")" |
            INPUT [characterstr ";" ] (var | str_var) {[ "," ] (var | str_var)} |
            DATA (number | characterstr) {[ "," ] (number | characterstr)} |
            READ (var | str_var) {[ "," ] (var | str_var)} |
            RESTORE |
            SRAND |
            WAIT expression |
            OUT "(" characterstr "," expression ")" "=" expression |
            EPOKE "(" expression ")" "=" expression |
            VPoke "(" characterstr ")" "=" expression |
            DIR "(" characterstr "," expression ")" "=" expression |
            CALL "(" characterstr "," exprlist ")";
printlist = [printitem | printitem separator printlist];
printitem = (expression | characterstr | str_expression | "TAB" "(" expression ")");
varlist   = var | var "," varlist;
exprlist  = expression | expression "," exprlist;
expression = ["-" | "+"] (term | "(" term ")");
term       = factor | factor operator term;
factor     = var | ["+" | "-"] number | expression | function;
function   = RAND "(" expression ")" |
            ABS "(" expression ")" |
            NOT "(" expression ")" |
            EPEEK "(" expression ")" |
            ADC "(" expression ")" |
            IN "(" characterstr "," expression ")" |
            CALL "(" characterstr "," exprlist ")" |
            VPEEK "(" characterstr ")" |
            VAL "(" str_expression ")" |
            LEN "(" str_expression ")" |
            ASC "(" str_expression ")" |
            INSTR$ "(" str_expression "," str_expression ")" |
            M_STRLEN ;
str_expression = str_term | "(" str_term ")";
str_term       = str_factor | str_factor str_operator str_term;
str_factor     = str_var | characterstr | str_expression | str_function;
str_function   = "LEFT$" "(" str_expression "," expression ")" |
                "RIGHT$" "(" str_expression "," expression ")" |
                "MID$" "(" str_expression "," expression "," expression ")" |
                "CHR$" "(" str_expression ")" |
                "STR$" "(" str_expression ")" |
                "UPPER$" "(" str_expression ")" |
                "LOWER$" "(" str_expression ")";
relation       = expression relop expression | str_expression relop str_expression;
number         = decnumber | hexnumber | dualnumber;
decnumber      = decdigit {decdigit};
hexnumber      = "0" ("x" | "X") hexdigit {hexdigit};
dualnumber     = "0" ("b" | "B") dualdigit {dualdigit};
separator      = "," | ";" ;
var            = ("A" | "..." | "Z" | "a" | "..." | "z") [(" expression ")];
str_var        = ("A" | "..." | "Z" | "a" | "..." | "z") "$";
decdigit       = "0" | "..." | "9";
hexdigit       = "0" | "..." | "9" | "A" | "..." | "F" | "a" | "..." | "f";
dualdigit      = "0" | "1";
relop          = "<" | ">" | "=" | "<=" | ">=" | "<>" | "<>";
operator       = "+" | "-" | "*" | "/" | "%" | "mod" | "|" | "&" | "xor" | "shl" | "shr";
log_operator   = "and" | "or";
str_operator   = "+";
characterstr   = "\\ " { any_character } "\\ " ;
```

Mit diversen Tools können aus obiger EBNF-Beschreibung Syntax-Diagramme generiert werden. Ein

Online-Tool ist z.B. unter <http://www-cgi.uni-regensburg.de/~brf09510/syntax.html> zu finden.

9 Bekannte Fehler

- Speicherzugriffsverletzung bei Einzelzuweisung von Zeichenketten, welche größer als MAX_STRINGLEN sind
- print mit Zeichenketten in Klammern generiert einen BASIC-Syntaxfehler

Sollten weitere Fehler gefunden werden, können sie gern über die unten angegebene E-Mailadresse gemeldet werden.

10 Kontakt

Uwe Berger; bergeruw@gmx.net

Webseite zum Projekt: http://www.mikrocontroller.net/articles/AVR_BASIC