

# **Das grosse Buch für ESP32forth**

**version 1.9 - 14. Nov. 2023**



## **Autor**

- Marc PETREMANN      [petremann@arduino-forth.com](mailto:petremann@arduino-forth.com)

## **Mitarbeiter**

- Bob EDWARDS
- Vaclav POSELT
- Thomas SCHREIN

# Inhalt

Autor.....	1
Mitarbeiter.....	1
<b>Einführung.....</b>	<b>9</b>
Übersetzungshilfe.....	9
<b>Entdeckung der ESP32-Karte.....</b>	<b>10</b>
Präsentation.....	10
Die Stärken Punkten.....	10
GPIO-Ein-/Ausgänge auf ESP32.....	11
ESP32-Board-Peripheriegeräte.....	12
<b>Installieren Sie ESP32Forth.....</b>	<b>13</b>
Laden Sie ESP32forth herunter.....	13
Kompilieren und Installieren von ESP32forth.....	13
Einstellungen für ESP32 WROOM.....	15
Starten Sie die Kompilierung.....	16
<b>Fehler beim Hochladen der Verbindung beheben.....</b>	<b>18</b>
<b>Warum auf ESP32 in FORTH-Sprache programmieren?.....</b>	<b>20</b>
Präambel.....	20
Grenzen zwischen Sprache und Anwendung.....	21
Was ist ein FORTH-Wort?.....	21
Ein Wort ist eine Funktion?.....	21
FORTH-Sprache im Vergleich zur C-Sprache.....	22
Was FORTH Ihnen im Vergleich zur C-Sprache ermöglicht.....	23
Aber warum ein Stapel statt Variablen?.....	24
Sind Sie überzeugt?.....	24
Gibt es professionelle Bewerbungen, die in FORTH verfasst sind?.....	25
<b>Ein echtes 32-Bit FORTH mit ESP32Forth.....</b>	<b>27</b>
Werte auf dem Datenstapel.....	27
Werte im Gedächtnis.....	27
Textverarbeitung je nach Datengröße oder -typ.....	28
Abschluss.....	29
<b>Kommentare und Erläuterungen.....</b>	<b>31</b>
Schreiben Sie lesbaren FORTH-Code.....	31
Einrückung des Quellcodes.....	32
Kommentare.....	33
Stapelkommentare.....	33
Bedeutung von Stack-Parametern in Kommentaren.....	34
Wortdefinition Wortkommentare.....	35
Textkommentare.....	35
Kommentar am Anfang des Quellcodes.....	36
Diagnose- und Tuning-Tools.....	36
Der Dekompiler.....	36
Speicherauszug.....	37

Stapel monitor.....	37
<b>Wörterbuch / Stapel / Variablen / Konstanten.....</b>	<b>39</b>
Wörterbuch erweitern.....	39
Wörterbuchverwaltung.....	39
Stapel und umgekehrte polnische Notation.....	40
Umgang mit dem Parameterstapel.....	41
Der Return Stack und seine Verwendung.....	42
Speichernutzung.....	42
Variablen.....	42
Konstanten.....	43
Pseudokonstante Werte.....	43
Grundlegende Tools für die Speicherzuweisung.....	44
<b>Textfarben und Anzeigeposition auf dem Terminal.....</b>	<b>45</b>
ANSI-Kodierung von Terminals.....	45
Textfärbung.....	45
Anzeigeposition.....	47
<b>Lokale Variablen mit ESP32Forth.....</b>	<b>49</b>
Einführung.....	49
Der Fake-Stack-Kommentar.....	49
Aktion auf lokale Variablen.....	50
<b>Datenstrukturen für ESP32forth.....</b>	<b>53</b>
Präambel.....	53
Tabellen in FORTH.....	53
Eindimensionales 32-Bit-Datenarray.....	53
Tabellendefinitionswörter.....	54
Lesen und schreiben Sie in eine Tabelle.....	54
Praktisches Beispiel für die Verwaltung eines virtuellen Bildschirms.....	55
Management komplexer Strukturen.....	58
Definition von Sprites.....	60
<b>Reale Zahlen mit ESP32forth.....</b>	<b>62</b>
Die echten mit ESP32forth.....	62
Echte Zahlengenauigkeit mit ESP32forth.....	62
Reale Konstanten und Variablen.....	63
Arithmetische Operatoren für reelle Zahlen.....	63
Mathematische Operatoren für reelle Zahlen.....	63
Logische Operatoren für reelle Zahlen.....	64
Ganzzahlige ↔ reelle Transformationen.....	64
<b>Zahlen und Zeichenfolgen anzeigen.....</b>	<b>66</b>
Änderung der Zahlenbasis.....	66
Definition neuer Anzeigeformate.....	67
Anzeigen von Zeichen und Zeichenfolgen.....	69
String-Variablen.....	71
Wortcode zur Verwaltung von Textvariablen.....	71
Hinzufügen von Zeichen zu einer alphanumerischen Variablen.....	73
<b>Vokabeln mit ESP32forth.....</b>	<b>75</b>

Liste der Vokabeln.....	75
Grundlegende Vokabeln.....	76
Liste der Vokabelinhalte.....	76
Verwendung von Vokabeln.....	76
Verkettung von Vokabeln.....	77
<b>Verzögerte Aktionswörter.....</b>	<b>79</b>
Definition und Verwendung von Wörtern mit defer.....	80
Festlegen einer Vorwärtsreferenz.....	80
Abhängigkeit vom Betriebskontext.....	81
Ein praktischer Fall.....	82
<b>Wortschöpfungswörter.....</b>	<b>85</b>
Die Verwendung des Wortes does>.....	85
Beispiel für Farbmanagement.....	86
Beispiel: Schreiben in Pinyin.....	87
<b>Passen Sie Steckbretter an das ESP32-Board an.....</b>	<b>89</b>
Testplatten für ESP32.....	89
Bauen Sie ein Steckbrett, das für das ESP32-Board geeignet ist.....	89
<b>Stromversorgung der ESP32-Karte.....</b>	<b>91</b>
Wahl der Stromquelle.....	91
Stromversorgung über Mini-USB-Anschluss.....	91
Stromversorgung über 5V-Pin.....	91
Automatischer Start eines Programms.....	93
<b>Installieren und verwenden Sie das Tera Term-Terminal unter Windows.....</b>	<b>95</b>
Installieren Sie Tera Term.....	95
Tera Term einrichten.....	95
Verwendung von Tera Term.....	97
Kompilieren Sie den Quellcode in der Forth-Sprache.....	98
<b>Verwaltung von Quelldateien nach Blöcken.....</b>	<b>100</b>
Die Blöcke.....	100
Öffnen Sie eine Blockdatei.....	100
Bearbeiten Sie den Inhalt eines Blocks.....	101
Blockinhalte zusammenstellen.....	102
Praktisches Schritt-für-Schritt-Beispiel.....	102
Abschluss.....	103
<b>Bearbeiten von Quelldateien mit VISUAL Editor.....</b>	<b>104</b>
Bearbeiten Sie eine FORTH-Quelldatei.....	104
Bearbeiten des FORTH-Codes.....	104
Kompilieren von Dateiinhalten.....	105
<b>Das SPIFFS-Dateisystem.....</b>	<b>106</b>
Zugriff auf das SPIFFS-Dateisystem.....	106
Umgang mit Dateien.....	107
Abschluss.....	108
<b>Bearbeiten und Verwalten von Quelldateien für ESP32forth.....</b>	<b>109</b>
Editoren für Textdateien.....	109

Verwenden Sie eine IDE.....	110
Speicherung auf GitHub.....	112
Einige gute Praktiken.....	112
Die main.fs-Datei.....	113
Speichern Sie Dateien schnell in SPIFFS.....	114
Verwenden Sie das Wort RECORDFILE, wenn Sie ESP32forth starten.....	115
<b>Eine Ampel mit ESP32 managen.....</b>	<b>117</b>
GPIO-Ports auf der ESP32-Karte.....	117
Montage der LEDs.....	118
Verwaltung von Ampeln.....	119
Abschluss.....	119
<b>Hardware-Interrupts mit ESP32forth.....</b>	<b>121</b>
Unterbrechungen.....	121
Montage eines Druckknopfes.....	121
Softwarekonsolidierung des Interrupts.....	122
Weitere Informationen.....	123
<b>Verwendung des Drehgebers KY-040.....</b>	<b>125</b>
Encoder-Übersicht.....	125
Montage des Encoders auf dem Steckbrett.....	126
Analyse von Encodersignalen.....	127
Encoder-Programmierung.....	128
Testen der Kodierung.....	129
Erhöhen und dekrementieren Sie eine Variable mit dem Encoder.....	129
<b>Blinken einer LED pro Timer.....</b>	<b>131</b>
Erste Schritte mit der FORTH-Programmierung.....	131
Blinken nach TIMER.....	132
Hardware- und Software-Interrupts.....	133
Verwenden Sie die Wörter intervall und rerun.....	133
<b>Haushälterin-Timer.....</b>	<b>136</b>
Präambel.....	136
Eine Lösung.....	136
Ein FORTH-Timer für ESP32Forth.....	137
Verwaltung der Licht-Ein-Taste.....	138
Abschluss.....	140
<b>Software-Echtzeituhr.....</b>	<b>141</b>
Das Wort MS-TICKS.....	141
Verwalten einer Softwareuhr.....	141
<b>Messen der Ausführungszeit eines FORTH-Wortes.....</b>	<b>142</b>
Messung der Leistung von FORTH-Definitionen.....	142
Ein paar Schleifen testen.....	143
<b>Programmieren Sie einen Sonnenscheinanalysator.....</b>	<b>145</b>
Präambel.....	145
Das Miniatur-Solarpanel.....	145
Wiederherstellung eines Miniatur-Solarpanels.....	145
Messung der Solarpanelpotenzialspannung.....	146

Messung des Solarpanelstroms.....	147
Senkung der Solarpanelspannung.....	147
Programmierung des Solaranalysators.....	148
Verwalten der Aktivierung und Deaktivierung eines Geräts.....	150
Ausgelöst durch Timer-Interrupt.....	151
Vom Sonnenscheinsensor gesteuerte Geräte.....	152
<b>Installieren der OLED-Bibliothek für SSD1306.....</b>	<b>155</b>
<b>Die I2C-Schnittstelle auf ESP32.....</b>	<b>157</b>
Einführung.....	157
Master-Slave-Austausch.....	158
Adressierung.....	159
GPIO-Ports für I2C einstellen.....	160
I2C-Busprotokolle.....	160
Erkennen eines I2C-Geräts.....	160
<b>Das SSD1306 OLED-Display.....</b>	<b>162</b>
Auswahl einer Anzeigeschnittstelle.....	162
Online-Dokumentation.....	163
Anschließen des SSD1306 OLED-Displays.....	163
Gedächtnisorganisation.....	164
Organisieren Sie das SSD1306-Projekt.....	165
Erstellen Sie die Datei autoexec.fs.....	165
Erstellen der Datei main.fs.....	166
Erstellen der Datei config.fs.....	167
Erstellen der Datei oledTools.fs.....	167
Testen Sie unser SSD1306-Projekt.....	167
Verwenden Sie OLED-Vokabular.....	169
Initialisieren des I2C-Busses für das SSD1306 OLED-Display.....	169
Initialisierung der Anzeige für SSD1306.....	170
Erweitern Sie den OLED-Wortschatz.....	173
<b>Fügen Sie die SPI-Bibliothek hinzu.....</b>	<b>174</b>
Änderungen an der Datei ESP32forth.ino.....	174
Erste Modifikation.....	174
Zweite Modifikation.....	175
Dritte Modifikation.....	175
Vierte Modifikation.....	175
Kommunizieren Sie mit dem Anzeigemodul MAX7219.....	176
Suchen des SPI-Ports auf der ESP32-Karte.....	177
SPI-Anschlüsse am MAX7219-Anzeigemodul.....	177
SPI-Port-Softwareschicht.....	178
<b>Installieren des HTTP-Clients.....</b>	<b>180</b>
Bearbeiten der Datei ESP32forth.ino.....	180
HTTP-Client-Tests.....	181
<b>Verwaltung von digitalen/analogen Ausgängen.....</b>	<b>183</b>
Digital/Analog-Wandlung.....	183
D/A-Wandlung mit R2R-Schaltung.....	183

D/A-Wandlung mit ESP32.....	183
Möglichkeiten der D/A-Wandlung.....	185
<b>Rufen Sie die Uhrzeit von einem WEB-Server ab.....</b>	<b>186</b>
Senden und Empfangen der Uhrzeit von einem Webserver.....	186
<b>Verständnis der Übertragung per GET an einen WEB-Server.....</b>	<b>188</b>
Übertragung von Daten an einen Server per GET.....	188
Parameter in einer URL.....	188
Übergabe mehrerer Parameter.....	188
Verwalten der Parameterübergabe mit ESP32forth.....	189
<b>Datenübertragung an einen WEB-Server.....</b>	<b>191</b>
Datenaufzeichnung auf der Webserverseite.....	191
Zugangsschutz.....	191
Aufgezeichnete Daten anzeigen.....	192
Fügen Sie die zu übertragenden Daten hinzu.....	193
Abschluss.....	195
<b>Klangsynthese mit ESP32Forth.....</b>	<b>197</b>
Einfache Klangsynthese.....	197
Definition der Schallfrequenztabelle.....	197
Abrufen der Frequenz einer Musiknote.....	198
Verwalten der Notendauer.....	199
One-Note-Unterstützung.....	200
Musiknoten erstellen.....	200
Punktetest.....	202
Der Flug der Hummel.....	202
<b>Programm im XTENSA-Assembler.....</b>	<b>204</b>
Präambel.....	204
Kompilieren Sie den XTENSA-Assembler.....	205
Programmierung in Assembler.....	206
Zusammenfassung der grundlegenden Anweisungen.....	206
Ein Bonus-Disassembler.....	207
<b>Erste Schritte im XTENSA-Assembler.....</b>	<b>209</b>
Präambel.....	209
Aufrufen des Xtensa-Assemblers.....	209
Xtensa und der FORTH-Stack.....	209
Schreiben einer Xtensa-Makroanweisung.....	210
Verwalten des FORTH-Stacks im Xtensa-Assembler.....	212
Effizienz der im XTENSA-Assembler geschriebenen Wörter.....	214
<b>Der Zufallszahlengenerator.....</b>	<b>216</b>
Charakteristisch.....	216
Programmievorgang.....	217
RND-Funktion im XTENSA-Assembler.....	217
<b>Detaillierter Inhalt der ESP32forth-Vokabulare.....</b>	<b>219</b>
Version v 7.0.7.15.....	219
FORTH.....	219
asm.....	220

bluetooth.....	221
editor.....	221
ESP.....	221
httpd.....	221
insides.....	221
internals.....	221
interrupts.....	222
ledc.....	222
oled.....	222
registers.....	222
riscv.....	222
rtos.....	223
SD.....	223
SD_MMC.....	223
Serial.....	223
sockets.....	223
spi.....	223
SPIFFS.....	223
streams.....	223
structures.....	223
tasks.....	224
telnetd.....	224
visual.....	224
web-interface.....	224
WiFi.....	224
xtensa.....	224
<b>Anhang A – Zusammenfassung der Aufzeichnungen.....</b>	<b>226</b>
GPIO registers.....	226
<b>Ressourcen.....</b>	<b>229</b>
Auf Englisch.....	229
Auf Französisch.....	229
GitHub.....	229

# **Einführung**

Seit 2019 verwalte ich mehrere Websites, die sich der FORTH-Sprachentwicklung für ARDUINO- und ESP32-Karten sowie der eForth-Webversion widmen. :

- ARDUINO : <https://arduino-forth.com/>
- ESP32 : <https://esp32.arduino-forth.com/>
- eForth web : <https://eforth.arduino-forth.com/>

Diese Websites sind in zwei Sprachen verfügbar: Französisch und Englisch. Jedes Jahr bezahle ich für das Hosting der Hauptseite arduino-forth.com.

Es wird früher oder später – und zwar so spät wie möglich – passieren, dass ich die Nachhaltigkeit dieser Seiten nicht mehr gewährleisten kann. Die Folge wird sein, dass die von diesen Websites verbreiteten Informationen verschwinden.

Dieses Buch ist die Zusammenstellung von Inhalten meiner Websites. Es wird kostenlos über ein Github-Repository verteilt. Diese Verbreitungsmethode ermöglicht eine größere Nachhaltigkeit als Websites.

Wenn übrigens einige Leser dieser Seiten einen Beitrag leisten möchten, sind sie herzlich willkommen:

- Kapitel vorschlagen ;
- um Fehler zu melden oder Änderungen vorzuschlagen ;
- um bei der Übersetzung zu helfen...

## **Übersetzungshilfe**

Mit Google Translate können Sie Texte einfach, aber mit Fehlern übersetzen. Deshalb bitte ich um Hilfe bei der Korrektur der Übersetzungen.

In der Praxis stelle ich die bereits übersetzten Kapitel im LibreOffice-Format zur Verfügung. Wenn Sie bei diesen Übersetzungen helfen möchten, besteht Ihre Aufgabe lediglich darin, diese Übersetzungen zu korrigieren und zurückzugeben.

Das Korrigieren eines Kapitels nimmt wenig Zeit in Anspruch, von einer bis zu mehreren Stunden.

**Um mich zu erreichen :** petremann@arduino-forth.com

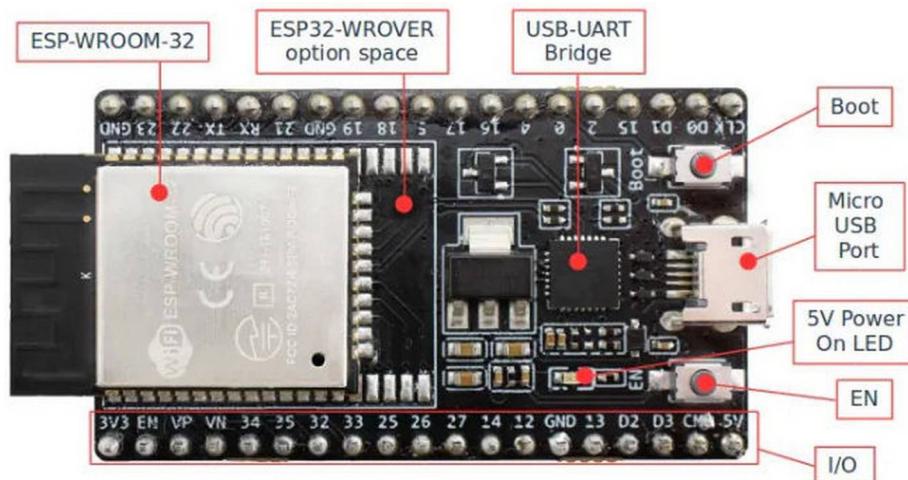
# Entdeckung der ESP32-Karte

## Präsentation

Das ESP32-Board ist kein ARDUINO-Board. Entwicklungstools nutzen jedoch bestimmte Elemente des ARDUINO-Ökosystems, wie beispielsweise die ARDUINO-IDE.

## Die Stärken Punkten

Hinsichtlich der Anzahl der verfügbaren Ports liegt die ESP32-Karte zwischen einem



ARDUINO NANO und ARDUINO UNO. Das Basismodell verfügt über 38 Anschlüsse :

Zu den ESP32-Geräten gehören :

- 18 Analog-Digital-Wandlerkanäle (ADC).
- 3 SPI-Schnittstellen
- 3 UART-Schnittstellen
- 2 I2C-Schnittstellen
- 16 PWM-Ausgangskanäle
- 2 Digital-Analog-Wandler (DAC)
- 2 I2S-Schnittstellen
- 10 kapazitive GPIOs

Die ADC- (Analog-Digital-Wandler) und DAC-Funktionalität (Digital-Analog-Wandler) sind bestimmten statischen Pins zugewiesen. Sie können jedoch entscheiden, welche Pins UART, I2C, SPI, PWM usw. sind. Sie müssen sie nur im Code zuweisen. Dies ist dank der Multiplexing-Funktion des ESP32-Chips möglich.

Die meisten Steckverbinder haben mehrere Verwendungszwecke.

Was das ESP32-Board jedoch auszeichnet, ist, dass es standardmäßig mit WLAN- und Bluetooth-Unterstützung ausgestattet ist, was ARDUINO-Boards nur in Form von Erweiterungen bieten.

## GPIO-Ein-/Ausgänge auf ESP32

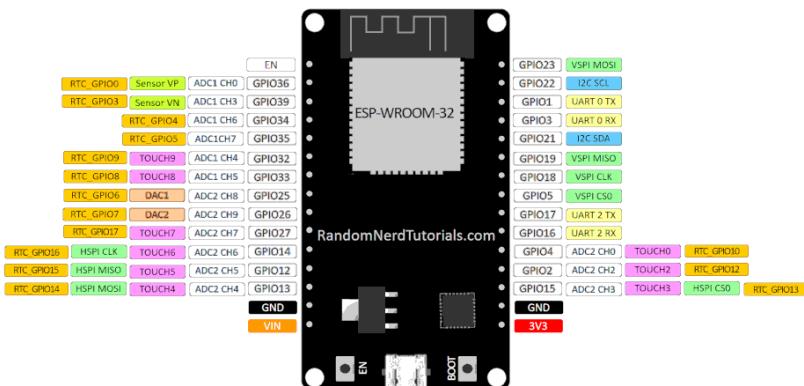
Hier im Foto die ESP32-Karte, anhand derer wir die Rolle der verschiedenen



Figure 1: position des E/S GPIO

GPIO-Ein-/Ausgänge erklären :

Die Position und Anzahl der GPIO-I/Os kann sich je nach Kartenmarke ändern. In diesem Fall sind nur die Angaben auf der physischen Karte authentisch. Im Bild, untere Reihe, von



links nach rechts: CLK, SD0, SD1, G15, G2, G0, G4, G16.....G22, G23, GND.

In diesem Diagramm sehen wir, dass die untere Reihe mit 3V3 beginnt, während sich dieser I/O auf dem Foto am Ende der oberen Reihe befindet. Daher ist es sehr wichtig, sich nicht auf das Diagramm zu verlassen, sondern den korrekten Anschluss der Peripheriegeräte und Komponenten auf der physischen ESP32-Karte noch einmal zu überprüfen.

Entwicklungsboards auf Basis eines ESP32 verfügen neben denen für die Stromversorgung in der Regel über 33 Pins. Einige GPIO-Pins haben besondere Funktionen :

<b>GPIO</b>	<b>Mögliche Namen</b>
6	SCK/CLK
7	SCK/CLK
8	SDO/SD0
9	SDI/SD1
10	SHD/SD2
11	CSC/CMD

Wenn Ihre ESP32-Karte über I/O GPIO6, GPIO7, GPIO8, GPIO9, GPIO10, GPIO11 verfügt, sollten Sie diese auf keinen Fall verwenden, da sie mit dem Flash-Speicher des ESP32 verbunden sind. Wenn Sie sie verwenden, funktioniert der ESP32 nicht.

GPIO1(TX0) und GPIO3(RX0) I/O werden für die Kommunikation mit dem Computer in UART über den USB-Port verwendet. Wenn Sie diese verwenden, können Sie nicht mehr mit der Karte kommunizieren.

GPIO36(VP), GPIO39(VN), GPIO34, GPIO35 I/O können nur als Eingang verwendet werden. Sie verfügen auch nicht über eingebaute interne Pullup- und Pulldown-Widerstände.

Mit dem EN-Anschluss können Sie den Zündstatus des ESP32 über ein externes Kabel steuern. Es wird mit der EN-Taste auf der Karte verbunden. Wenn der ESP32 eingeschaltet ist, liegt er bei 3,3 V. Wenn wir diesen Pin mit Masse verbinden, wird der ESP32 ausgeschaltet. Sie können es verwenden, wenn sich der ESP32 in einer Box befindet und Sie ihn mit einem Schalter ein-/ausschalten möchten.

## **ESP32-Board-Peripheriegeräte**

Um mit Modulen, Sensoren oder elektronischen Schaltkreisen zu interagieren, verfügt der ESP32 wie jeder Mikrocontroller über eine Vielzahl an Peripheriegeräten. Davon gibt es mehr als auf einem klassischen Arduino-Board.

ESP32 verfügt über die folgenden Peripheriegeräte :

- 3 UART-Schnittstellen
- 2 I2C-Schnittstellen
- 3 SPI-Schnittstellen
- 16 PWM-Ausgänge
- 10 kapazitive Sensoren
- 18 analoge Eingänge (ADC)
- 2 DAC-Ausgänge

Einige Peripheriegeräte werden bereits im Grundbetrieb von ESP32 genutzt. Somit gibt es pro Gerät weniger mögliche Schnittstellen.



# Installieren Sie ESP32Forth

## Laden Sie ESP32forth herunter

Der erste Schritt besteht darin, den Quellcode von ESP32forth in C-Sprache wiederherzustellen. Verwenden Sie vorzugsweise die aktuellste Version:

<https://esp32forth.appspot.com/ESP32forth.html>

Inhalt der heruntergeladenen Datei:

```
ESP32forth-7.0.x, x
  ESP32forth
    readme.txt
    esp32forth.ino
    optional
      SPI-flash.h
      serial-blueooth.h
      ... usw...
```

## Kompilieren und Installieren von ESP32forth

Datei **esp32forth.ino** in ein Arbeitsverzeichnis. Das optionale Verzeichnis enthält Dateien, die die Erweiterung von ESP32forth ermöglichen. Für unseren ersten Build und Upload von ESP32forth werden diese Dateien nicht benötigt.

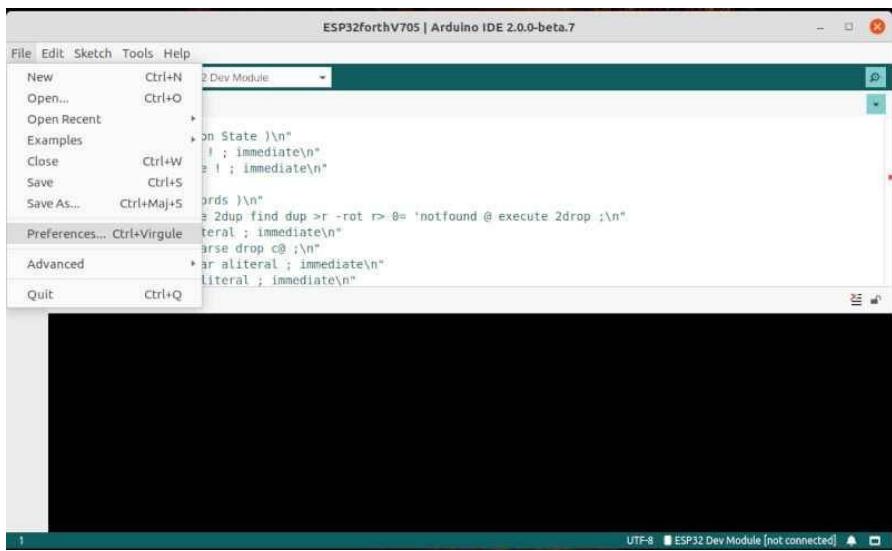
Um ESP32forth zu kompilieren, muss ARDUINO IDE bereits auf Ihrem Computer installiert sein:

<https://docs.arduino.cc/software/ide-v2>

Sobald ARDUINO IDE installiert ist, starten Sie es. ARDUINO IDE ist geöffnet, hier Version 2.0<sup>1</sup>. Klicken Sie auf *file* und wählen Sie *Preferences* :

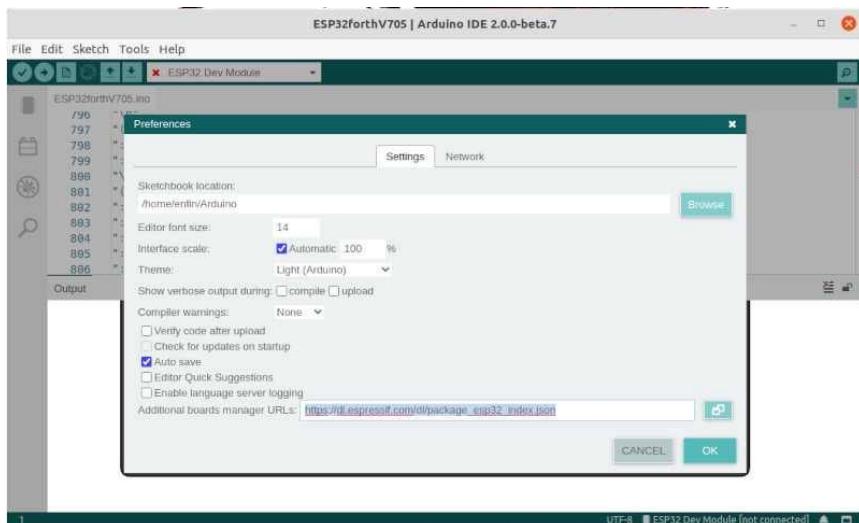
---

<sup>1</sup> Hinweis zu ESP32forth-Versionen – die sogenannte stabile Version 7.0.6.19 benötigt für die korrekte Kompilierung die Espressif-Board-Bibliotheken 1.0.6, die aktuelle Version 7.0.7.15 benötigt die Bibliotheken 2.0.x.

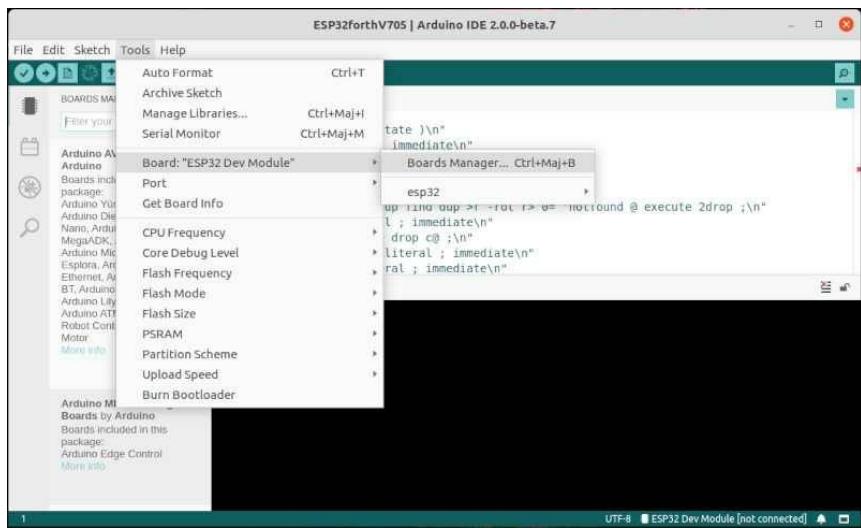


Gehen Sie im angezeigten Fenster zum Eingabefeld mit der Bezeichnung *Additional boards manager URLs* : und geben Sie diese Zeile ein:

[https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)



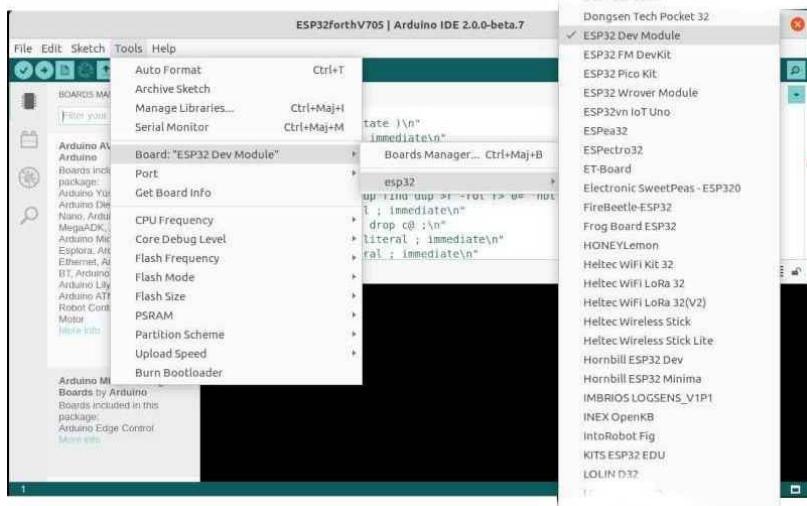
Klicken Sie anschließend auf *Tools* und wählen Sie *Board* :



Diese Auswahl sollte Ihnen die Installation von Paketen für ESP32 anbieten. Akzeptieren Sie diese Installation.

Anschließend sollten Sie auf die Auswahl der ESP32-Karten zugreifen können:

Auswahl der **ESP32 Dev Module** platine :



## Einstellungen für ESP32 WROOM

Hier sind die anderen Einstellungen, die vor dem Kompilieren von ESP32forth erforderlich sind. Greifen Sie auf die Einstellungen zu, indem Sie erneut auf *Extras klicken* :

```
-- TOOLS-----+ BOARD      -----+--- ESP32 -----+--- ESP32 Dev Module
      +--- Port: -----+--- COMx
      |
```

```

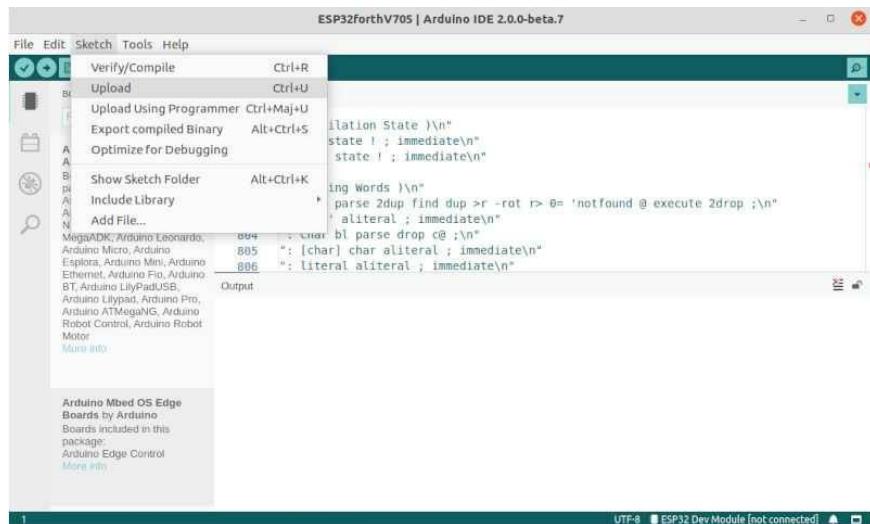
+-- CPU Frequency -----+ 240 Mhz
+-- Core Debug Level -----+ None
+-- Erase All Flash...-----+ Disabled
+-- Events Run On -----+ Core 1
+-- Flash Frequency -----+ 80 Mhz
+-- Flash Mode -----+ QIO
+-- Flash Size -----+ 4MB
+-- JTAG Adapter -----+ FTDI Adapter
+-- Arduino Runs on -----+ Core 1
+-- PSRAM -----+ Disabled
+-- Partition Scheme -----+ Default 4MB with SPIFFS
+-- Upload Speed -----+ 921600

```

## Starten Sie die Kompilierung

Jetzt muss nur noch ESP32forth kompiliert werden. Laden Sie den Quellcode mit *File* und *Open*.

Es wird davon ausgegangen, dass Ihr ESP32-Board an einen USB-Anschluss angeschlossen ist. Starten Sie die Zusammenstellung, indem Sie auf *Sketch* und *Upload* auswählen :



Wenn alles korrekt läuft, sollten Sie den Binärcode automatisch in die ESP32-Karte übertragen. Wenn die Kompilierung fehlerfrei verläuft, aber ein Übertragungsfehler vorliegt, kompilieren Sie die Datei **esp32forth.ino neu**. Drücken Sie zum Zeitpunkt der Übertragung die mit **BOOT gekennzeichnete Taste** auf der ESP32-Karte. Dadurch sollte die Karte für die Übertragung des ESP32forth-Binärcodes verfügbar sein.

Installation und Konfiguration der ARDUINO IDE im Video:

- Windows: <https://www.youtube.com/watch?v=2AZQfieHv9g>
- Linux: [https://www.youtube.com/watch?v=JeD3nz0\\_\\_nc](https://www.youtube.com/watch?v=JeD3nz0__nc)

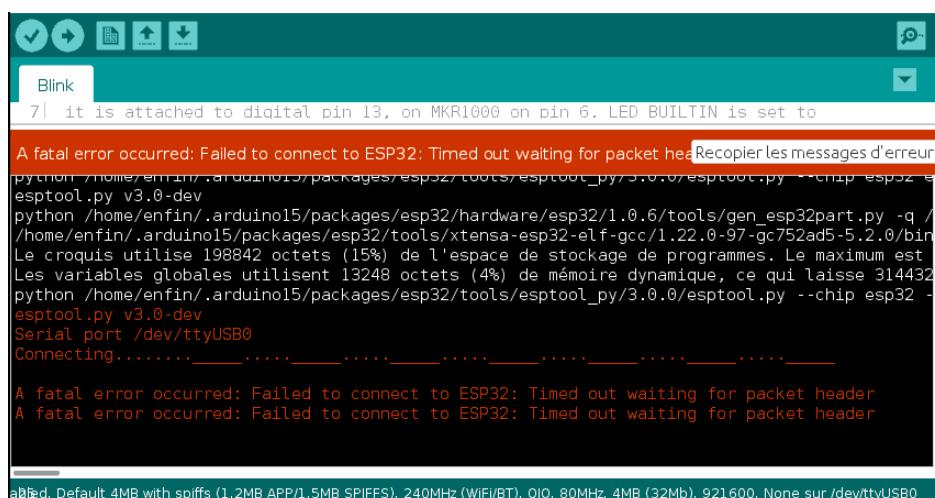


# Fehler beim Hochladen der Verbindung beheben

Erfahren Sie, wie Sie den schwerwiegenden Fehler beheben können, der beim Versuch, ein für alle Mal einen neuen Code auf Ihre ESP32-Karte hochzuladen, aufgetreten ist: "Failed to connect to ESP32: Timed out waiting for packet header".

Einige ESP32-Entwicklungsboards (siehe „Beste ESP32-Boards“) wechseln beim Herunterladen von neuem Code nicht automatisch in den Flash-/Upload-Modus.

Das bedeutet, dass beim Versuch, eine neue Skizze auf Ihr ESP32-Board hochzuladen, ARDUINO IDE keine Verbindung zu Ihrem Board herstellen kann und Sie die folgende Fehlermeldung erhalten:

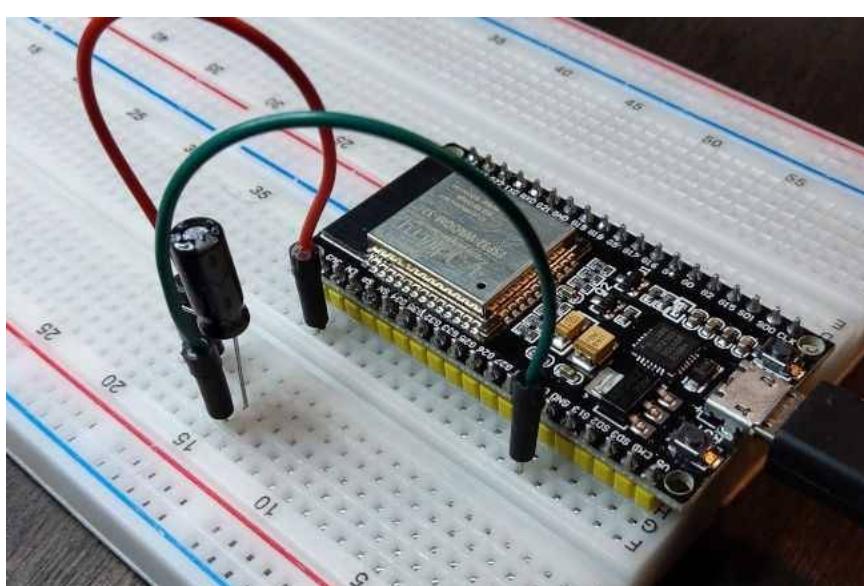


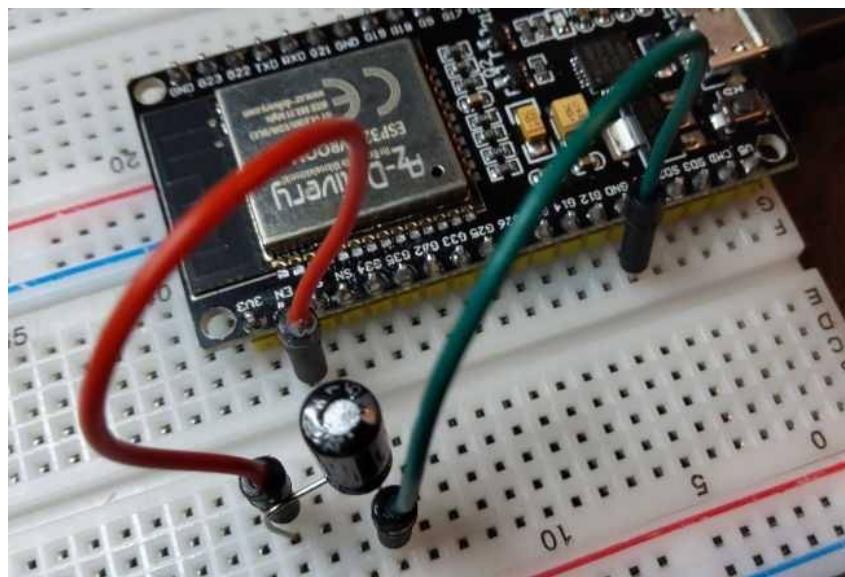
The screenshot shows the Arduino IDE interface with a terminal window open. The title bar says "Blink". The terminal output is as follows:

```
it is attached to digital pin 13, on MKR1000 on pin 6. LED BUILTIN is set to
A fatal error occurred: Failed to connect to ESP32: Timed out waiting for packet header
Recopier les messages d'erreur
python /home/enfin/.arduino15/packages/esp32/tools/esptool_py/3.0.0/esptool.py --chip esp32 -v
esptool.py v3.0-dev
python /home/enfin/.arduino15/packages/esp32/hardware/esp32/1.0.6/tools/gen_esp32part.py -q /
/home/enfin/.arduino15/packages/esp32/tools/xtensa-esp32-elf-gcc/1.22.0-97-gc752ad5-5.2.0/bin
Le croquis utilise 198842 octets (15%) de l'espace de stockage de programmes. Le maximum est
Les variables globales utilisent 13248 octets (4%) de mémoire dynamique, ce qui laisse 314432
python /home/enfin/.arduino15/packages/esp32/tools/esptool_py/3.0.0/esptool.py --chip esp32 -
esptool.py v3.0-dev
Serial port /dev/ttyUSB0
Connecting.....A fatal error occurred: Failed to connect to ESP32: Timed out waiting for packet header
A fatal error occurred: Failed to connect to ESP32: Timed out waiting for packet header
```

At the bottom of the terminal, it says "at86, Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS), 240MHz (WIFI/BT), QIO, 80MHz, 4MB (32Mb), 921600, None sur /dev/ttyUSB0"

Damit das ESP32-Board automatisch in den Flash-/Download-Modus wechselt, können wir einen 10uF-Elektrolytkondensator zwischen dem EN- und dem GND-Pin anschließen:





Diese Manipulation ist nur erforderlich, wenn Sie sich in der Hochladephase von ESP32forth von der ARDUINO IDE befinden. Sobald ESP32forth auf der ESP32-Platine installiert ist, ist die Verwendung dieses Kondensators nicht mehr notwendig.

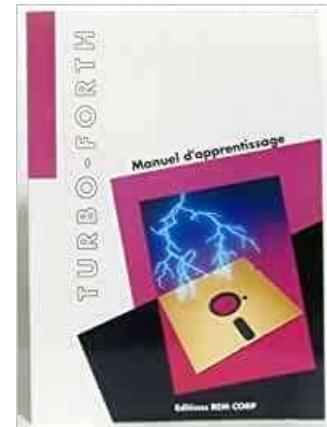
# Warum auf ESP32 in FORTH-Sprache programmieren?

## Präambel

Ich programmiere seit 1983 in FORTH. Ich habe 1996 mit dem Programmieren in FORTH aufgehört. Aber ich habe nie aufgehört, die Entwicklung dieser Sprache zu verfolgen. Ich habe 2019 wieder mit dem Programmieren auf ARDUINO mit FlashForth und dann mit ESP32forth begonnen.

Ich bin Co-Autor mehrerer Bücher über die FORTH-Sprache :

- Introduction au ZX-FORTH (ed Eyrolles - 1984 - ASIN:B0014IGOZO)
- Tours de FORTH (ed Eyrolles - 1985 - ISBN-13: 978-2212082258)
- FORTH pour CP/M et MSDOS (ed Loisitech - 1986)
- TURBO-Forth, manuel d'apprentissage (ed Rem CORP - 1990)
- TURBO-Forth, guide de référence (ed Rem CORP - 1991)



Das Programmieren in der FORTH-Sprache war schon immer ein Hobby, bis mich 1992 der Manager eines Unternehmens kontaktierte, das als Zulieferer für die Automobilindustrie tätig war. Sie hatten ein Interesse an der Softwareentwicklung in der Sprache C. Sie mussten einen Industrieautomaten bestellen.

Die beiden Softwareentwickler dieser Firma programmierten in der Sprache C: TURBO-C von Borland, um genau zu sein. Und ihr Code konnte nicht kompakt und schnell genug sein, um in den 64 Kilobyte großen RAM-Speicher zu passen. Es war 1992 und Flash-Speichererweiterungen gab es noch nicht. In diesen 64 KB RAM mussten wir MS-DOS 3.0 und die Anwendung unterbringen!

Einen Monat lang hatten C-Entwickler das Problem in alle Richtungen umgedreht, sogar Reverse Engineering mit SOURCER (einem Disassembler), um nicht wesentliche Teile des ausführbaren Codes zu entfernen.

Ich habe das mir vorgelegte Problem analysiert. Von Grund auf habe ich innerhalb einer Woche alleine einen perfekt funktionsfähigen Prototyp erstellt, der den Spezifikationen entsprach. Drei Jahre lang, von 1992 bis 1995, habe ich zahlreiche Versionen dieser Anwendung erstellt, die auf den Montagebändern mehrerer Automobilhersteller eingesetzt wurden.

# Grenzen zwischen Sprache und Anwendung

Alle Programmiersprachen werden auf diese Weise geteilt :

- ein Interpreter und ausführbarer Quellcode: BASIC, PHP, MySQL, JavaScript usw.  
Die Anwendung ist in einer oder mehreren Dateien enthalten, die bei Bedarf interpretiert werden. Das System muss den Interpreter, der den Quellcode ausführt, dauerhaft hosten ;
- ein Compiler und/oder Assembler: C, Java usw. Einige Compiler generieren nativen Code, also speziell auf einem System ausführbar. Andere, wie Java, kompilieren ausführbaren Code auf einer virtuellen Java-Maschine.

Eine Ausnahme bildet die FORTH-Sprache. Es integriert :

- ein Dolmetscher, der jedes Wort in der FORTH-Sprache ausführen kann
- ein Compiler, der das Wörterbuch der FORTH-Wörter erweitern kann

## Was ist ein FORTH-Wort?

Ein FORTH-Wort bezeichnet einen beliebigen Wörterbuchausdruck, der aus ASCII-Zeichen besteht und bei der Interpretation und/oder Kompilierung verwendet werden kann: Mit Wörter können Sie alle Wörter im FORTH-Wörterbuch auflisten.

Bestimmte FORTH-Wörter können nur bei der Kompilierung verwendet werden: **if else then** zum Beispiel.

Bei der FORTH-Sprache besteht das wesentliche Prinzip darin, dass wir keine Anwendung erstellen. In FORTH erweitern wir das Wörterbuch! Jedes neue Wort, das Sie definieren, ist ebenso Teil des FORTH-Wörterbuchs wie alle beim Start von FORTH vordefinierten Wörter. Beispiel :

```
: typeToLoRa ( -- )
    0 echo !      \ Deaktivieren Sie das Echo der Terminalanzeige
    ['] serial2-type is type
;
: typeToTerm ( -- )
    ['] default-type is type
    -1 echo !      \ Aktiviert das Display-Echo des Terminals
;
```

Wir erstellen zwei neue Wörter: **typeToLoRa** und **typeToTerm**, die das Wörterbuch vordefinierter Wörter vervollständigen.

## Ein Wort ist eine Funktion?

Ja und nein. Tatsächlich kann ein Wort eine Konstante, eine Variable, eine Funktion sein... Hier in unserem Beispiel die folgende Sequenz :

```
: typeToLoRa ... code... ;
```

hätte sein Äquivalent in der C-Sprache :

```
void typeToLoRa() { ...code... }
```

In der FORTH-Sprache gibt es keine Grenze zwischen Sprache und Anwendung.

In FORTH können Sie wie in der Sprache C jedes bereits definierte Wort in der Definition eines neuen Worts verwenden.

Ja, aber warum dann FORTH statt C?

Ich habe diese Frage erwartet.

In der C-Sprache kann auf eine Funktion nur über die Hauptfunktion main() zugegriffen werden. Wenn diese Funktion mehrere Zusatzfunktionen integriert, wird es bei einer Fehlfunktion des Programms schwierig, einen Parameterfehler zu finden.

Im Gegenteil, mit FORTH ist es möglich, über den Interpreter jedes vordefinierte oder von Ihnen definierte Wort auszuführen, ohne das Hauptwort des Programms durchlaufen zu müssen.

Der FORTH-Interpreter ist über ein Terminalprogramm und eine USB-Verbindung zwischen der ESP32-Karte und dem PC sofort auf der ESP32-Karte zugänglich.

Die Kompilierung von in FORTH-Sprache geschriebenen Programmen erfolgt in der ESP32-Karte und nicht auf dem PC. Es erfolgt kein Upload. Beispiel:

```
: >gray ( n -- n' )
    dup 2/ xor      \ n' = n xor ( 1 logische Verschiebung nach rechts )
;
```

Diese Definition wird per Kopieren/Einfügen in das Terminal übertragen. Der FORTH-Interpreter/Compiler analysiert den Stream und kompiliert das neue Wort **>gray**.

In der Definition von **>gray** sehen wir die Sequenz **dup 2/ xor**. Um diese Sequenz zu testen, geben Sie sie einfach in das Terminal ein. Um **>gray** auszuführen, geben Sie einfach dieses Wort in das Terminal ein, gefolgt von der Zahl, die umgewandelt werden soll.

## FORTH-Sprache im Vergleich zur C-Sprache

Das ist der Teil, den ich am wenigsten mag. Ich vergleiche die FORTH-Sprache nicht gern mit der C-Sprache. Aber da fast alle Entwickler die C-Sprache verwenden, werde ich die Übung ausprobieren.

Hier ist ein Test mit **if()** in C-Sprache:

```
if(j > 13) {                      // Wenn alle Bits empfangen wurden
    rc5_ok = 1;                     // Der Dekodierungsprozess ist OK
    detachInterrupt(0);   // Externen Interrupt deaktivieren (INT0)
```

```

        return;
}

```

Testen Sie mit if in FORTH-Sprache (Code-Snippet) :

```

var-j @ 13 >      \ Wenn alle Bits empfangen wurden
    if
        1 rc5_ok !
        di          \ Externen Interrupt deaktivieren (INT0)
        exit
    then

```

Hier ist die Initialisierung von Registern in C-Sprache :

```

void setup() {
    // Konfigurieren des Timer1-Moduls
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;           // Deaktiviert das Timer1-Modul
    TCNT1  = 0;           // Setzt den Vorladewert von Timer1 auf 0 (reset)
    TIMSK1 = 1;           // Überlauf-Interrupt aktivieren Timer1
}

```

Die gleiche Definition in der FORTH-Sprache:

```

: setup ( -- )
    \ Konfigurieren des Timer1-Moduls
    0 TCCR1A !
    0 TCCR1B !      \ Deaktiviert das Timer1-Modul
    0 TCNT1 !       \ Setzt den Vorladewert von Timer1 auf 0 (reset)
    1 TIMSK1 !      \ Überlauf-Interrupt aktivieren Timer1
;

```

## Was FORTH Ihnen im Vergleich zur C-Sprache ermöglicht

Wir verstehen, dass FORTH sofort Zugriff auf alle Wörter im Wörterbuch bietet, aber nicht nur darauf. Über den Interpreter greifen wir auch auf den gesamten Speicher der ESP32-Karte zu. Stellen Sie eine Verbindung zum ARDUINO-Board her, auf dem FlashForth installiert ist, und geben Sie dann einfach Folgendes ein:

```
hex here 100 dump
```

Sie sollten dies auf dem Terminalbildschirm finden :

3FFEE964	DF DF 29 27 6F 59 2B 42 FA CF 9B 84
3FFEE970	39 4E 35 F7 78 FB D2 2C A0 AD 5A AF 7C 14 E3 52
3FFEE980	77 0C 67 CE 53 DE E9 9F 9A 49 AB F7 BC 64 AE E6
3FFEE990	3A DF 1C BB FE B7 C2 73 18 A6 A5 3F A4 68 B5 69
3FFEE9A0	F9 54 68 D9 4D 7C 96 4D 66 9A 02 BF 33 46 46 45
3FFEE9B0	45 39 33 33 2F 0D 08 18 BF 95 AF 87 AC D0 C7 5D
3FFEE9C0	F2 99 B6 43 DF 19 C9 74 10 BD 8C AE 5A 7F 13 F1
3FFEE9D0	9E 00 3D 6F 7F 74 2A 2B 52 2D F4 01 2D 7D B5 1C
3FFEE9E0	4A 88 88 B5 2D BE B1 38 57 79 B2 66 11 2D A1 76

3FFEE9F0	F6 68 1F 71 37 9E C1 82 43 A6 A4 9A 57 5D AC 9A
3FFEEA00	4C AD 03 F1 F8 AF 2E 1A B4 67 9C 71 25 98 E1 A0
3FFEEA10	E6 29 EE 2D EF 6F C7 06 10 E0 33 4A E1 57 58 60
3FFEEA20	08 74 C6 70 BD 70 FE 01 5D 9D 00 9E F7 B7 E0 CA
3FFEEA30	72 6E 49 16 0E 7C 3F 23 11 8D 66 55 EC F6 18 01
3FFEEA40	20 E7 48 63 D1 FB 56 77 3E 9A 53 7D B6 A7 A5 AB
3FFEEA50	EA 65 F8 21 3D BA 54 10 06 16 E6 9E 23 CA 87 25
3FFEEA60	E7 D7 C4 45

Dies entspricht dem Inhalt des Flash-Speichers.

Und die C-Sprache konnte das nicht?

Ja, aber nicht so einfach und interaktiv wie in der FORTH-Sprache.

## Aber warum ein Stapel statt Variablen?

Der Stack ist ein Mechanismus, der auf fast allen Mikrocontrollern und Mikroprozessoren implementiert ist. Sogar die C-Sprache nutzt einen Stack, aber Sie haben keinen Zugriff darauf.

Nur die FORTH-Sprache bietet vollständigen Zugriff auf den Datenstapel. Um beispielsweise eine Addition durchzuführen, stapeln wir zwei Werte, führen die Addition aus und zeigen das Ergebnis an: **2 5 + .** zeigt **7** an.

Es ist ein wenig destabilisierend, aber wenn Sie den Mechanismus des Datenstapels verstehen, werden Sie seine beeindruckende Effizienz sehr zu schätzen wissen.

Mit dem Datenstapel können Daten viel schneller zwischen FORTH-Worten übertragen werden als durch die Verarbeitung von Variablen wie in der C-Sprache oder einer anderen Sprache, die Variablen verwendet.

## Sind Sie überzeugt?

Persönlich bezweifle ich, dass dieses einzelne Kapitel Sie endgültig zum Programmieren in der FORTH-Sprache bekehren wird. Wenn Sie ESP32-Boards beherrschen möchten, haben Sie zwei Möglichkeiten :

- Programmieren Sie das Programm in C-Sprache und nutzen Sie die zahlreichen verfügbaren Bibliotheken. Sie bleiben jedoch an die Möglichkeiten dieser Bibliotheken gebunden. Die Anpassung von Codes an die C-Sprache erfordert echte Programmierkenntnisse in der C-Sprache und die Beherrschung der Architektur von ESP32-Karten. Die Entwicklung komplexer Programme wird immer ein Problem sein.
- Probieren Sie das FORTH-Abenteuer aus und erkunden Sie eine neue und aufregende Welt. Natürlich wird es nicht einfach sein. Sie müssen die Architektur von ESP32-Karten, die Register und die Registerflags im Detail verstehen. Im

Gegenzug erhalten Sie Zugang zu einer Programmierung, die perfekt zu Ihren Projekten passt.

## Gibt es professionelle Bewerbungen, die in FORTH verfasst sind?

Oh ja! Beginnend mit dem HUBBLE-Weltraumteleskop, dessen bestimmte Komponenten in der FORTH-Sprache geschrieben wurden.

Der deutsche TGV ICE (Intercity Express) nutzt RTX2000-Prozessoren zur Steuerung von Motoren über Leistungshalbleiter. Die Maschinensprache des RTX2000-Prozessors ist die FORTH-Sprache.

Derselbe RTX2000-Prozessor wurde für die Philae-Sonde verwendet, die versuchte, auf einem Kometen zu landen.

Die Wahl der FORTH-Sprache für professionelle Anwendungen erweist sich als interessant, wenn wir jedes Wort als Blackbox betrachten. Jedes Wort muss einfach sein, daher eine relativ kurze Definition haben und von wenigen Parametern abhängen.

Während der Debugging-Phase ist es einfach, alle möglichen Werte zu testen, die von diesem Wort verarbeitet werden. Sobald dieses Wort vollkommen zuverlässig ist, wird es zu einer Blackbox, also zu einer Funktion, deren ordnungsgemäßes Funktionieren wir absolut vertrauen können. Von Wort zu Wort ist es in FORTH einfacher, ein komplexes Programm zuverlässig zu machen als in jeder anderen Programmiersprache.

Aber wenn es uns an Genauigkeit mangelt, wenn wir Gasanlagen bauen, ist es auch sehr leicht, dass eine Anwendung schlecht funktioniert oder sogar völlig abstürzt!

Schließlich ist es in der FORTH-Sprache möglich, die von Ihnen definierten Wörter in jeder menschlichen Sprache zu schreiben. Allerdings sind die verwendbaren Zeichen auf den ASCII-Zeichensatz zwischen 33 und 127 beschränkt. So könnten wir die Wörter **high** und **low** symbolisch umschreiben :

```
\ Aktiver Port-Pin, andere nicht ändern.  
: __/ ( pinmask portadr -- )  
    mset  
;  
\ Das Deaktivieren eines Port-Pins hat keine Auswirkungen auf die anderen.  
: \__ ( pinmask portadr -- )  
    mclr  
;
```

Ab diesem Moment können Sie zum Einschalten der LED Folgendes eingeben :

```
_o_ __/      \ allume LED
```

Ja! Die Sequenz **\_o\_ \_\_/** ist in FORTH-Sprache!

Mit ESP32forth stehen Ihnen hier alle Zeichen zur Verfügung, die ein FORTH-Wort bilden können:

```
~} | { zyxwvutsrqponmlkjihgfedcba ` _  
^] \ [ zyxwvutsrqponmlkjihgfedcba @ ?  
>=<; : 9876543210 / . - , + * ) ( ' & % $ # " !
```

Gute Programmierung.

# Ein echtes 32-Bit FORTH mit ESP32Forth

ESP32Forth ist ein echtes 32-Bit FORTH. Was bedeutet das ?

Die FORTH-Sprache bevorzugt die Manipulation ganzzahliger Werte. Diese Werte können Literalwerte, Speicheradressen, Registerinhalte usw. sein.

## Werte auf dem Datenstapel

Wenn ESP32Forth startet, ist der FORTH-Interpreter verfügbar. Wenn Sie eine beliebige Zahl eingeben, wird diese als 32-Bit-Ganzzahl auf dem Stapel abgelegt:

```
35
```

Wenn wir einen anderen Wert stapeln, wird dieser ebenfalls gestapelt. Der vorherige Wert wird um eine Position nach unten verschoben:

```
45
```

Um diese beiden Werte zu addieren, verwenden wir ein Wort, hier `+` :

```
+
```

Unsere beiden 32-Bit-Ganzzahlwerte werden addiert und das Ergebnis auf dem Stapel abgelegt. Um dieses Ergebnis anzuzeigen, verwenden wir das Wort `.` :

```
. \ zeigt 80 an
```

In der FORTH-Sprache können wir alle diese Operationen in einer einzigen Zeile konzentrieren:

```
35 45 +. \ 80 anzeigen
```

Im Gegensatz zur C-Sprache definieren wir keinen **int8-** , **int16-** oder **int32- Typ** .

Mit ESP32Forth wird ein ASCII-Zeichen durch eine 32-Bit-Ganzzahl bezeichnet, deren Wert jedoch auf [32..256[ begrenzt ist. Beispiel :

```
67 emit \ zeigt c
```

## Werte im Gedächtnis

Mit ESP32Forth können Sie Konstanten und Variablen definieren. Ihr Inhalt liegt immer im 32-Bit-Format vor. Aber es gibt Situationen, in denen uns das nicht unbedingt passt. Nehmen wir ein einfaches Beispiel und definieren ein Morsecode-Alphabet. Wir brauchen nur ein paar Bytes:

- eines, um die Anzahl der Morsezeichen zu definieren

- ein oder mehrere Bytes für jeden Buchstaben des Morsecodes

```
create mA ( -- addr )
    2 c,
    char . c,    char - c,

create mB ( -- addr )
    4 c,
    char - c,    char . c,    char . c,    char . c,

create mC ( -- addr )
    4 c,
    char - c,    char . c,    char - c,    char . c,
```

Hier definieren wir nur 3 Wörter, **mA** , **mB** und **mC** . In jedem Wort werden mehrere Bytes gespeichert. Die Frage ist : Wie werden wir die Informationen in diesen Worten abrufen ?

Die Ausführung eines dieser Wörter hinterlegt einen 32-Bit-Wert, einen Wert, der der Speicheradresse entspricht, an der wir unsere Morsecode-Informationen gespeichert haben. Es ist das Wort **c@** , das wir verwenden werden, um den Morsecode aus jedem Buchstaben zu extrahieren :

```
mA c@ . \ zeigt 2 an
mB c@ . \ zeigt 4 an
```

Das erste so extrahierte Byte wird zur Verwaltung einer Schleife zur Anzeige des Morsecodes eines Buchstabens verwendet :

```
: .morse ( addr -- )
    dup 1+ swap c@ 0 do
        dup i + c@ emit
    loop
    drop
;
mA .morse     \ zeigt .-
mB .morse     \ zeigt -...
mC .morse     \ zeigt ---.
```

Es gibt sicherlich viele elegantere Beispiele. Hier soll eine Möglichkeit gezeigt werden, 8-Bit-Werte, unsere Bytes, zu manipulieren, während wir diese Bytes auf einem 32-Bit-Stack verwenden.

## Textverarbeitung je nach Datengröße oder -typ

In allen anderen Sprachen gibt es ein generisches Wort wie **echo** (in PHP), das jede Art von Daten anzeigt. Ob Integer, Real, String, wir verwenden immer das gleiche Wort. Beispiel in PHP-Sprache:

```
$bread = "Gebackenes Brot";
$preis = 2,30;
echo $brot . " : " . $preis;
```

```
// zeigt Gebackenes Brot: 2,30
```

Für alle Programmierer ist diese Vorgehensweise DER STANDARD! Wie würde FORTH dieses Beispiel in PHP umsetzen?

```
: bread s" Baked bread" ;
: price s" 2.30" ;
bread type  s" : " type    price type
\ display   Baked bread: 2.30
```

Hier sagt uns der **type**, dass wir gerade eine Zeichenfolge verarbeitet haben.

Wo PHP (oder eine andere Sprache) über eine generische Funktion und einen Parser verfügt, kompensiert FORTH dies mit einem einzigen Datentyp, aber angepassten Verarbeitungsmethoden, die uns über die Art der verarbeiteten Daten informieren.

Hier ist ein absolut trivialer Fall für FORTH, bei dem eine Anzahl von Sekunden im Format HH:MM:SS angezeigt wird:

```
: :##           # 6 base !
# decimal
[char] : hold
;
: .hms ( n -- )
<# :## :## # # #> type
;
4225 .hms \ zeigt: 01:10:25
```

Ich liebe dieses Beispiel, weil bisher **KEINE ANDERE PROGRAMMERSPRACHE** in der Lage ist, diese HH:MM:SS-Konvertierung so elegant und prägnant durchzuführen.

Sie haben verstanden, das Geheimnis von FORTH liegt in seinem Wortschatz.

## Abschluss

FORTH hat keine Datentypisierung. Alle Daten durchlaufen einen Datenstapel. Jede Position im Stapel ist IMMER eine 32-Bit-Ganzzahl!

### **Das ist alles, was man wissen muss.**

Puristen hyperstrukturierter und ausführlicher Sprachen wie C oder Java werden sicherlich Häresie ausrufen. Und hier erlaube ich mir, sie zu beantworten : Warum müssen Sie Ihre Daten eingeben ?

Denn in dieser Einfachheit liegt die Stärke von FORTH: ein einzelner Datenstapel mit einem untypisierten Format und sehr einfachen Operationen.

Und ich zeige Ihnen, was viele andere Programmiersprachen nicht können, nämlich neue Definitionswörter zu definieren :

```

: morse: ( comp: c -- | exec -- )
  create
    c,
  does>
    dup 1+ swap c@ 0 do
      dup i + c@ emit
    loop
    drop space
  ;
2 morse: mA      char . c,    char - c,
4 morse: mB      char - c,    char . c,    char . c,
4 morse: mC      char - c,    char . c,    char - c,    char . c,
mA mB mC \ zeigt .- -... -.-.

```

Hier ist das Wort **morse:** zu einem Definitionswort geworden, ebenso wie **constant** oder **variable** ...

Denn FORTH ist mehr als eine Programmiersprache. Es handelt sich um eine Metasprache, also um eine Sprache zum Aufbau einer eigenen Programmiersprache....

# Kommentare und Erläuterungen

Es gibt keine IDE<sup>2</sup>, um in der FORTH-Sprache geschriebenen Code strukturiert zu verwalten und darzustellen. Im schlimmsten Fall verwenden Sie einen ASCII-Texteditor, bestenfalls eine echte IDE und Textdateien:

- **edit** oder **Wordpad** unter Windows
- unter Linux **edit**
- **PsPad** unter Windows
- **Netbeans** unter Windows oder Linux...

Hier ist ein Codeausschnitt, der auch von einem Anfänger geschrieben werden könnte:

```
: cycle.stop -1 +to MAX_LIGHT_TIME MAX_LIGHT_TIME 0 = if  
LOW myLIGHTS pin else 0 rerun then ;
```

Dieser Code wird von ESP32forth perfekt kompiliert. Aber bleibt es auch in Zukunft verständlich, wenn es geändert oder in einer anderen Anwendung wiederverwendet werden muss?

## Schreiben Sie lesbaren FORTH-Code

Beginnen wir mit dem Namen des zu definierenden Wortes, hier **cycle.stop**. Mit ESP32forth können Sie sehr lange Wortnamen schreiben. Die Größe der definierten Wörter hat keinen Einfluss auf die Leistung der endgültigen Anwendung. Wir haben daher eine gewisse Freiheit, diese Worte zu schreiben:

- wie Objektprogrammierung in JavaScript: **cycle.stop**
- der Camel- **cycleStop** codierung
- für Programmierer, die sehr verständliche Code **cycle-stop-lights**
- **csl-** Code mag

Es gibt keine Regel. Die Hauptsache ist, dass Sie Ihren FORTH-Code problemlos erneut lesen können. Allerdings haben Computerprogrammierer in der FORTH-Sprache bestimmte Gewohnheiten:

- Konstanten in Großbuchstaben **MAX\_LIGHT\_TIME\_NORMAL\_CYCLE**
- Wort, das andere Wörter definiert **defPin:** , d. h. Wort gefolgt von einem Doppelpunkt;

---

2 Integrierte Entwicklungsumgebung = Integrierte Entwicklungsumgebung

- Adresstransformationswort **>date** , hier wird der Adressparameter um einen bestimmten Wert erhöht, um auf die entsprechenden Daten zu verweisen;
- Speicherwort **date@** oder **date!**
- Datenanzeigewort **.date**

Und wie wäre es mit der Benennung von FORTH-Wörtern in einer anderen Sprache als Englisch? Auch hier gilt nur eine Regel: **völlige Freiheit** ! Seien Sie jedoch vorsichtig, ESP32forth akzeptiert keine Namen, die in anderen Alphabeten als dem lateinischen Alphabet geschrieben sind. Sie können jedoch diese Alphabete für Kommentare verwenden:

```
.date      \ Плакат сегодняшней даты
...code... ;
```

Oder

```
: .date      \ 海報今天的日期
...code... ;
```

## Einrückung des Quellcodes

Ob der Code zwei Zeilen, zehn Zeilen oder mehr umfasst, hat keinen Einfluss auf die Leistung des Codes nach der Kompilierung. Sie können Ihren Code also auch strukturiert einrücken:

- eine Zeile pro Wort der Kontrollstruktur **if else then** , **begin while repeat...**  
Für das Wort if können wir ihm den logischen Test voranstellen, den es verarbeiten wird;
- eine Zeile durch Ausführung eines vordefinierten Wortes, gegebenenfalls vorangestellt durch die Parameter dieses Wortes.

Beispiel :

```
60 constant MAX_LIGHT_TIME_NORMAL_CYCLE
: cycle.stop
  -1 +to MAX_LIGHT_TIME
  MAX_LIGHT_TIME 0 =
  if
    LOW myLIGHTS pin
  else
    0 rerun
  then
;
```

Wenn der in einer Kontrollstruktur verarbeitete Code spärlich ist, kann der FORTH-Code komprimiert werden:

```
: cycle.stop
  -1 +to MAX_LIGHT_TIME
```

```

MAX_LIGHT_TIME 0 =
if           LOW myLIGHTS pin
else         0 rerun
;           then
;

```

Dies ist häufig bei **case of endof endcase**- Strukturen der Fall ;

```

: socketError ( -- )
  errno dup
  case
    2 of      ." No such file "          endof
    5 of      ." I/O error "           endof
    9 of      ." Bad file number "    endof
    22 of     ." Invalid argument "   endof
  endcase
  . quit
;

```

## Kommentare

Wie jede Programmiersprache ermöglicht die FORTH-Sprache das Hinzufügen von Kommentaren im Quellcode. Das Hinzufügen von Kommentaren hat nach dem Kompilieren des Quellcodes keine Auswirkungen auf die Leistung der Anwendung.

In der FORTH-Sprache haben wir zwei Wörter, um Kommentare abzugrenzen:

- dem Wort **(** muss mindestens ein Leerzeichen folgen. Dieser Kommentar wird durch das Zeichen vervollständigt **)** ;
- Dem Wort **\** muss mindestens ein Leerzeichen folgen. Auf dieses Wort folgt zwischen diesem Wort und dem Ende der Zeile ein Kommentar beliebiger Größe.

Das Wort **(** wird häufig für Stapelkommentare verwendet. Beispiele:

```

dup  ( n - n n )
swap ( n1 n2 - n2 n1 )
drop ( n -- )
emit ( c -- )

```

## Stapelkommentare

Wie wir gerade gesehen haben, sind sie mit **(** und **)** gekennzeichnet . Ihr Inhalt hat keinen Einfluss auf den FORTH-Code während der Kompilierung oder Ausführung. Wir können also alles zwischen **(** und **)** setzen . Was die Stack-Kommentare betrifft, bleiben wir sehr prägnant. Das **--**-Zeichen symbolisiert die Wirkung eines FORTH-Wortes **.** Die Angaben vor **--** entsprechen den Daten, die vor der Ausführung des Wortes auf dem Datenstapel abgelegt wurden. Die Angaben nach **-** entsprechen den Daten, die nach der Ausführung des Wortes auf dem Datenstapel verbleiben. Beispiele:

- **words (--)** bedeuten, dass dieses Wort keine Daten im Datenstapel verarbeitet;

- **emit (c --)** bedeutet, dass dieses Wort Daten als Eingabe verarbeitet und nichts auf dem Datenstapel hinterlässt;
- **bl (--32)** bedeutet, dass dieses Wort keine Eingabedaten verarbeitet und den Dezimalwert 32 auf dem Datenstapel beläßt;

Es gibt keine Begrenzung hinsichtlich der Datenmenge, die vor oder nach der Ausführung des Wortes verarbeitet wird. Zur Erinnerung: Die Angaben zwischen ( und ) dienen nur zur Information.

## Bedeutung von Stack-Parametern in Kommentaren

Zunächst ist eine kleine, aber sehr wichtige Klarstellung notwendig. Dies ist die Größe der Daten im Stapel. Bei ESP32Forth belegen die Stack-Daten 4 Bytes. Es handelt sich also um Ganzzahlen im 32-Bit-Format. Einige Wörter verarbeiten Daten jedoch im 8-Bit-Format.

Was legen wir also auf den Datenstapel? Mit ESP32Forth werden es **IMMER 32-BIT-DATEN sein!** Ein Beispiel mit dem Wort **C!** :

```
create myDelimiter
  0 c,
64 myDelimiter c!  ( n1 n2 -- )
```

Hier gibt der Parameter **c** an, dass wir einen ganzzahligen Wert im 32-Bit-Format stapeln, dessen Wert jedoch immer im Intervall [0..255] enthalten ist .

Der Standardparameter ist immer **n** . Wenn es mehrere ganze Zahlen gibt, nummerieren wir sie: **n1 n2 n3 usw.**

Wir hätten das vorherige Beispiel also auch so schreiben können:

```
create myDelimiter
  0 c,
64 myDelimiter c!  ( c addr -- )
```

Aber es ist viel weniger explizit als die vorherige Version. Hier sind einige Symbole, die Sie im gesamten Quellcode sehen werden:

- **addr** gibt eine wörtliche Speicheradresse an oder wird von einer Variablen geliefert;
- **c** gibt einen 8-Bit-Wert im Intervall [0..255] an.
- **d** gibt einen Wert mit doppelter Genauigkeit an.  
Wird nicht mit ESP32Forth verwendet, das bereits im 32-Bit-Format vorliegt.
- **f1** gibt einen booleschen Wert an, 0 oder ungleich Null;
- **n** gibt eine ganze Zahl an. 32-Bit-Ganzzahl mit Vorzeichen für ESP32Forth;
- **str** gibt eine Zeichenfolge an. Entspricht **addr len --**
- **u** gibt eine vorzeichenlose Ganzzahl an

Nichts hindert uns daran, etwas deutlicher zu werden:

```
: SQUARE ( n -- n-exp2 )
    dup *
;
```

## Wortdefinition Wortkommentare

Definitionswörter verwenden **create** und **does>**. Für diese Wörter empfiehlt es sich, Stapelkommentare wie diesen zu schreiben:

```
\ Definieren Sie einen Befehl oder Datenstrom für SSD1306
: streamCreate: ( comp: <name> | exec: -- addr len )
    create
        here      \ leave current dictionary pointer on stack
        0 c,      \ initial lenght data is 0
    does>
        dup 1+ swap c@
        \ Senden Sie ein Datenarray an SSD1306,
        \ das über den I2C-Bus angeschlossen ist
        sendDatasToSSD1306
;
```

Hier wird der Kommentar durch das Zeichen | in zwei Teile geteilt :

- links der Aktionsteil, wenn das Definitionswort ausgeführt wird, mit dem Präfix **comp:**
- rechts der Aktionsteil des Wortes, der definiert wird, mit dem Präfix **exec:**

Auf die Gefahr hin, darauf zu bestehen, ist dies kein Standard. Es handelt sich lediglich um Empfehlungen.

## Textkommentare

Sie werden durch das Wort \ gefolgt von mindestens einem Leerzeichen und einem erläuternden Text gekennzeichnet:

```
\ Speichern Sie die Länge der dazwischen zusammengestellten
\ Daten unter <WORD> und here
: ;endStream ( addr-var len ---)
    dup 1+ here
    swap -      \ cdata-Länge berechnen
    \ c im ersten Byte des durch streamCreate: definierten Wortes speichern
    swap c!
;
```

Diese Kommentare können in jedem von Ihrem Quellcode-Editor unterstützten Alphabet geschrieben werden:

```
\ 儲存在 <WORD> addr 之間編譯的資料長度
\ <WORD> 和這裡
: ;endStream ( addr-var len ---)
    dup 1+ here
    swap -      \ 計算 cdata 長度
    \ 將 c 儲存在由 StreamCreate 定義的字的第一個位元組中:
```

```
swap c!
```

```
;
```

## Kommentar am Anfang des Quellcodes

Mit intensiver Programmierpraxis stehen Sie schnell vor Hunderten oder sogar Tausenden von Quelldateien. Um Fehler bei der Dateiauswahl zu vermeiden, wird dringend empfohlen, den Anfang jeder Quelldatei mit einem Kommentar zu markieren:

```
\ ****
\ Manage commands for OLED SSD1306 128x32 display
\   Filename:      SSD10306commands.fs
\   Date:         21 may 2023
\   Updated:       21 may 2023
\   File Version: 1.0
\   MCU:          ESP32-WROOM-32
\   Forth:         ESP32forth all versions 7.x++
\   Copyright:     Marc PETREMMAN
\   Author:        Marc PETREMMAN
\   GNU General Public License
\ ****
```

Alle diese Informationen liegen in Ihrem Ermessen. Sie können sehr nützlich sein, wenn Sie Monate oder Jahre später auf den Inhalt einer Datei zurückkommen.

Zögern Sie abschließend nicht, Ihre Quelldateien in der FORTH-Sprache zu kommentieren und einzurücken.

## Diagnose- und Tuning-Tools

Das erste Tool betrifft die Kompilierungs- oder Interpretationswarnung:

```
3 5 25 --> : TEST ( ---)
ok
3 5 25 -->      [ HEX ] ASCII A DDUP      \ DDUP don't exist
```

Hier existiert das Wort **DDUP** nicht. Jede Kompilierung nach diesem Fehler schlägt fehl.

## Der Dekompiler

In einem herkömmlichen Compiler wird der Quellcode in ausführbaren Code umgewandelt, der die Referenzadressen zu einer Bibliothek enthält, mit der der Compiler ausgestattet ist. Um ausführbaren Code zu erhalten, müssen Sie den Objektcode verknüpfen. Der Programmierer kann zu keinem Zeitpunkt allein mit den Ressourcen des Compilers auf den in seiner Bibliothek enthaltenen ausführbaren Code zugreifen.

Mit ESP32Forth kann der Entwickler seine Definitionen dekompilieren. Um ein Wort zu dekompilieren, geben Sie einfach **see** gefolgt vom zu dekompilierenden Wort ein:

```
: C>F ( øC --- øF) \ Conversion Celsius in Fahrenheit
    9 5 */ 32 +
;
see c>f
\ display:
```

```
: C>F
 9 5 */ 32 +
;
```

Viele Wörter im FORTH-Wörterbuch von ESP32Forth können dekompiliert werden.

Durch die Dekompilierung Ihrer Wörter können Sie mögliche Kompilierungsfehler erkennen.

## Speicherauszug

Manchmal ist es wünschenswert, die im Speicher befindlichen Werte sehen zu können. Der Wortdump **akzeptiert** zwei Parameter: die Startadresse im Speicher und die Anzahl der anzuzeigenden Bytes:

```
create myDATAS 01 c, 02 c, 03 c, 04 c,
hex
myDATAS 4 dump      \ displays :
3FFEE4EC                                01 02 03 04
```

## Stapel monitor

Der Inhalt des Datenstapels kann jederzeit mit dem Wort **.s** angezeigt werden. Hier ist die Definition des Wortes **.DEBUG**, das **.s** ausnutzt :

```
variable debugStack

: debugOn ( -- )
  -1 debugStack !
;

: debugOff ( -- )
  0 debugStack !
;

: .DEBUG
  debugStack @
  if
    cr ." STACK: " .s
    key drop
  then
;
```

Um **.DEBUG** zu verwenden, fügen Sie es einfach an einer strategischen Stelle im zu debuggenden Wort ein:

```
\ Anwendungsbeispiel:
: mein Test
: myTEST
  128 32 do
    i .DEBUG
    emit
  loop
;
```

Hier zeigen wir den Inhalt des Datenstapels nach der Ausführung von Wort i in unserer **do loop** an . Wir aktivieren den Fokus und führen **myTEST** aus :

```
debugOn
myTest
\ displays:
\ STACK: <1> 32
\ 2
\ STACK: <1> 33
\ 3
\ STACK: <1> 34
\ 4
\ STACK: <1> 35
\ 5
\ STACK: <1> 36
\ 6
\ STACK: <1> 37
\ 7
\ STACK: <1> 38
```

**debugOn** aktiviert ist , pausiert jede Anzeige des Inhalts des Datenstacks unsere **do loop**-Schleife . Führen Sie **debugOff** aus , damit das Wort **myTEST** normal ausgeführt wird.

# Wörterbuch / Stapel / Variablen / Konstanten

## Wörterbuch erweitern

Forth gehört zur Klasse der gewebten Interpretationssprachen. Das bedeutet, dass es auf der Konsole eingegebene Befehle interpretieren sowie neue Unterroutinen und Programme kompilieren kann.

Der Forth-Compiler ist Teil der Sprache und spezielle Wörter werden verwendet, um neue Wörterbucheinträge (d. h. Wörter) zu erstellen. Die wichtigsten sind `:` (eine neue Definition beginnen) und `;` (beendet die Definition). Versuchen wir es, indem wir Folgendes eingeben:

```
: *+ * + ;
```

Was ist passiert? Die Aktion von `:` besteht darin, einen neuen Wörterbucheintrag mit dem Namen `*+` zu erstellen und vom Interpretationsmodus in den Kompilierungsmodus zu wechseln. Im Kompilierungsmodus sucht der Interpreter nach Wörtern und anstatt sie auszuführen, installiert er Zeiger auf ihren Code. Wenn es sich bei dem Text um eine Zahl handelt, legt ESP32forth die Zahl nicht auf den Stapel, sondern erstellt sie im für das neue Wort zugewiesenen Wörterbuchraum. Dabei folgt er einem speziellen Code, der die gespeicherte Zahl bei jeder Ausführung des Worts auf den Stapel legt. Die Ausführungsaktion von `*+` besteht daher darin, die zuvor definierten Wörter `*` und `+` nacheinander auszuführen.

Das Wort `;` ist besonders. Es ist ein unmittelbares Wort und wird immer ausgeführt, auch wenn sich das System im Kompilierungsmodus befindet. Was bedeutet `;` ist zweifach. Erstens wird Code installiert, der die Kontrolle an die nächste externe Ebene des Interpreters zurückgibt, und zweitens kehrt es vom Kompilierungsmodus in den Interpretationsmodus zurück.

Probieren Sie jetzt Ihr neues Wort aus:

```
decimal 5 6 7 *+ .      \ zeigt 47 ok<#,ram> an
```

Dieses Beispiel veranschaulicht zwei Hauptarbeitsaktivitäten in Forth: das Hinzufügen eines neuen Worts zum Wörterbuch und das Ausprobieren, sobald es definiert wurde.

## Wörterbuchverwaltung

Das Wort `forget` gefolgt vom zu löschen Wort entfernt alle Wörterbucheinträge, die Sie seit diesem Wort gemacht haben:

```
: test1 ;
```

```
: test2 ;
: test3 ;
forget test2 \ test2 und test3 aus dem Wörterbuch löschen
```

## Stapel und umgekehrte polnische Notation

Forth verfügt über einen explizit sichtbaren Stapel, der zum Übergeben von Zahlen zwischen Wörtern (Befehlen) verwendet wird. Die effektive Verwendung von Forth zwingt Sie dazu, im Stapel zu denken. Das kann am Anfang schwierig sein, aber wie bei allem wird es mit der Übung viel einfacher.

In FORTH ist der Stapel analog zu einem Kartenstapel mit darauf geschriebenen Zahlen. Zahlen werden immer oben auf dem Stapel hinzugefügt und oben vom Stapel entfernt. ESP32forth integriert zwei Stacks: den Parameter-Stack und den Feedback-Stack, die jeweils aus einer Reihe von Zellen bestehen, die 16-Bit-Zahlen aufnehmen können.

Die FORTH-Eingabezeile:

```
dezimal 2 5 73 -16
```

lässt den Parameterstapel unverändert

Zelle	Inhalt	Kommentar
0	-16	(TOS) Oben rechts
1	73	(NOS) Als nächstes im Stapel
2	5	
3	2	

In Forth-Datenstrukturen wie Stapeln, Arrays und Tabellen verwenden wir normalerweise eine auf Null basierende relative Nummerierung. Beachten Sie, dass bei der Eingabe einer Zahlenfolge auf diese Weise die Zahl ganz rechts *zum TOS wird* und die Zahl ganz links unten im Stapel liegt.

Angenommen, wir folgen der ursprünglichen Eingabezeile mit der Zeile

```
+ - * .
```

Die Operationen würden aufeinanderfolgende Stapeloperationen erzeugen:

+	-	*	.
-16	57	-52	-104
73	5	2	
5	2		
2			

Nach den beiden Zeilen zeigt die Konsole Folgendes an:

```
decimal 2 5 73 -16      \ zeigt an: 2 5 73 -16 ok
+ - * .                 \ zeigt an: -104 ok
```

Beachten Sie, dass ESP32forth die Stapelemente bei der Interpretation jeder Zeile bequem anzeigt und dass der Wert -16 als 32-Bit-Ganzzahl ohne Vorzeichen angezeigt wird. Darüber hinaus ist das Wort . verbraucht den Datenwert -104 und lässt den Stapel leer. Wenn wir ausführen. Auf dem nun leeren Stack bricht der externe Interpreter mit einem Stack-Pointer-Fehler STACK UNDERFLOW ERROR ab.

Die Programmiernotation, bei der die Operanden zuerst erscheinen, gefolgt von den Operatoren, wird Reverse Polish Notation (RPN) genannt.

## Umgang mit dem Parameterstapel

Da es sich um ein stapelbasiertes System handelt, muss ESP32forth Möglichkeiten bieten, Zahlen auf den Stapel zu legen, sie zu entfernen und ihre Reihenfolge neu zu ordnen. Wir haben bereits gesehen, dass wir Zahlen einfach durch Eintippen auf den Stapel legen können. Wir können auch Zahlen in die Definition eines FORTH-Wortes integrieren.

Durch das Wort **drop** wird eine Zahl von der obersten Stelle des Stapels entfernt, sodass die nächste Zahl oben liegt. **swap** Worttausch werden die ersten beiden Zahlen ausgetauscht. **dup** kopiert die Zahl oben und verschiebt alle anderen Zahlen nach unten. **rot** dreht die ersten 3 Zahlen. Diese Aktionen werden im Folgenden vorgestellt.

drop	swap	rot	dup
-16	73	5	2
73	5	73	5
5	2	2	73
2			73

## Der Return Stack und seine Verwendung

Beim Kompilieren eines neuen Wortes stellt ESP32forth Verknüpfungen zwischen dem aufrufenden Wort und zuvor definierten Wörtern her, die bei der Ausführung des neuen Wortes aufgerufen werden sollen. Dieser Verknüpfungsmechanismus verwendet zur Laufzeit den Rstack. Die Adresse des nächsten aufzurufenden Wortes wird auf dem hinteren Stapel abgelegt, sodass das System nach Abschluss der Ausführung des aktuellen Worts weiß, wohin es zum nächsten Wort wechseln muss. Da Wörter verschachtelt werden können, muss ein Stapel dieser Rücksprungadressen vorhanden sein.

Der Benutzer dient nicht nur als Reservoir für Rücksprungadressen, sondern kann auch den Rückgabestapel speichern und von dort abrufen. Dabei muss jedoch sorgfältig vorgegangen werden, da der Rückgabestapel für die Programmausführung unerlässlich ist. Wenn Sie den Rückgabeakkku zur vorübergehenden Speicherung verwenden, müssen Sie ihn in seinen ursprünglichen Zustand zurückversetzen, da es sonst wahrscheinlich zu einem Absturz des ESP32forth-Systems kommt. Trotz der Gefahr gibt es Zeiten, in denen die Verwendung von Backstack als temporärer Speicher Ihren Code weniger komplex machen kann.

Zum Speichern auf dem Stapel verwenden Sie **>r** , um den oberen Rand des Parameterstapels an den oberen Rand des Rückgabestapels zu verschieben. Um einen Wert abzurufen, verschiebt **r>** den obersten Wert vom Stapel zurück an die Spitze des Parameterstapels. Um einfach einen Wert oben vom Stapel zu entfernen, gibt es das Wort **rdrop** . Das Wort **r@** kopiert den oberen Teil des Stapels zurück in den Parameterstapel.

## Speichernutzung

**@** (fetch) aus dem Speicher auf den Stapel geholt und mit dem Wort **!** von oben im Speicher abgelegt. (blind). **@** erwartet eine Adresse auf dem Stapel und ersetzt die Adresse durch ihren Inhalt. **!** erwartet eine Nummer und eine Adresse, um es zu speichern. Die Nummer wird an dem Speicherort abgelegt, auf den sich die Adresse bezieht, wobei dabei beide Parameter verbraucht werden.

Vorzeichenlose Zahlen, die 8-Bit-Werte (Byte) darstellen, können in zeichengroße Zeichen eingefügt werden. Speicherzellen mit **c@** und **c!** .

```
create testVar
    cell allot
$ f7 testVar c!
testVar c@ .      \ zeigt 247 an
```

## Variablen

Eine Variable ist ein benannter Speicherort im Speicher, der eine Zahl, beispielsweise das Zwischenergebnis einer Berechnung, außerhalb des Stapels speichern kann. Zum Beispiel :

### Variable x

erstellt einen Speicherort mit dem Namen **x** , der ausgeführt wird und die Adresse seines Speicherorts oben im Stapel belässt:

```
x . \ zeigt die Adresse an
```

Wir können die Daten dann an dieser Adresse abholen oder speichern:

```
Variable x
3 x !
x @ . \ zeigt an: 3
```

## Konstanten

Eine Konstante ist eine Zahl, die Sie während der Ausführung eines Programms nicht ändern möchten. Das Ergebnis der Ausführung des mit einer Konstanten verbundenen Wortes ist der Wert der auf dem Stapel verbleibenden Daten.

```
\ definiert VSPI-Pins
19 constant VSPI_MISO
23 constant VSPI_MOSI
18 constant VSPI_SCLK
05 constant VSPI_CS

\ legt die SPI-Portfrequenz fest
4000000 Konstante SPI_FREQ

\ SPI-Vokabular auswählen
only FORTH SPI also

\ initialisiert den SPI-Port
: init.VSPI ( -- )
    VSPI_CS OUTPUT pinMode
    VSPI_SCLK VSPI_MISO VSPI_MOSI VSPI_CS SPI.begin
    SPI_FREQ SPI.setFrequency
;
```

## Pseudokonstante Werte

Ein mit value definierter Wert ist ein Hybridtyp aus Variable und Konstante. Wir legen einen Wert fest, initialisieren ihn und er wird wie eine Konstante aufgerufen. Wir können einen Wert auch ändern, so wie wir eine Variable ändern können.

```
decimal
13 value thirteen
thirteen . \ Anzeige: 13
47 to thirteen
thirteen . \ Anzeige: 47
```

Das Wort **to** funktioniert auch in Wortdefinitionen und ersetzt den darauf folgenden Wert durch den Wert, der sich gerade ganz oben im Stapel befindet. Sie müssen darauf achten, dass auf **to** ein durch value definierter Wert folgt und nicht etwas anderes.

## Grundlegende Tools für die Speicherzuweisung

Die Wörter **create** und **allot** sind die grundlegenden Werkzeuge zum Reservieren von Speicherplatz und zum Anbringen einer Bezeichnung. Die folgende Transkription zeigt beispielsweise einen neuen Eintrag **graphic-array** im Wörterbuch :

```
create graphic-array ( --- addr )
  %00000000 c,
  %00000010 c,
  %00000100 c,
  %00001000 c,
  %00010000 c,
  %00100000 c,
  %01000000 c,
  %10000000 c,
```

Bei der Ausführung überträgt das Wort **graphic-array** die Adresse des ersten Eintrags.

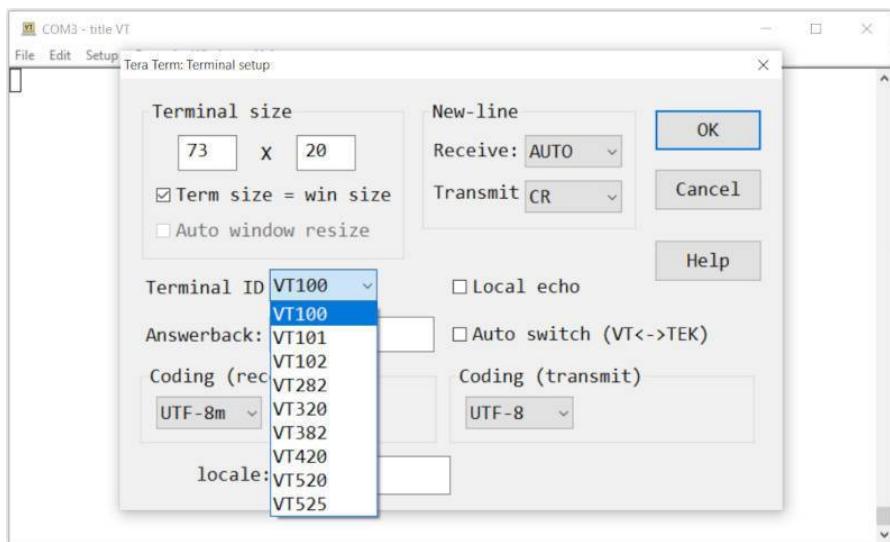
Wir können jetzt mit den zuvor erläuterten Abruf- und Speicherwörtern auf den dem **graphic-array** zugewiesenen Speicher zugreifen. Um die Adresse des dritten Bytes zu berechnen, das dem **graphic-array**, können wir **graphic-array 2 +** schreiben , wobei wir bedenken, dass die Indizes bei 0 beginnen.

```
30 graphic-array 2 + c!
graphic-array 2 + c@ .      \ affiche 30
```

# Textfarben und Anzeigeposition auf dem Terminal

## ANSI-Kodierung von Terminals

Wenn Sie Terminalsoftware zur Kommunikation mit ESP32forth verwenden, besteht eine gute Chance, dass dieses Terminal ein VT-Terminal oder ein gleichwertiges Terminal emuliert. Hier ist TeraTerm so konfiguriert, dass es ein VT100-Terminal emuliert:



Diese Terminals verfügen über zwei interessante Funktionen :

- Färben Sie den Seitenhintergrund und den anzuzeigenden Text
- Positionieren Sie den Anzeigecursor

Beide Funktionen werden durch ESC-Sequenzen (Escape-Sequenzen) gesteuert. So sind die Wörter **bg** und **fg** in ESP32forth definiert:

```
forth definitions ansi
: fg ( n -- ) esc ." [38;5;" n. ." m" ;
: bg ( n -- ) esc ." [48;5;" n. ." m" ;
: normal   esc ." [0m" ;
: at-xy ( x y -- ) esc ." [ " 1+ n. ." ;" 1+ n. ." H" ;
: page     esc ." [2J" esc ." [H" ;
```

**normal** Wort überschreibt die durch **bg** und **fg** definierten Farbsequenzen.

Das Wort **page** löscht den Bildschirm des Terminals und positioniert den Cursor in der oberen linken Ecke des Bildschirms.

## Textfärbung

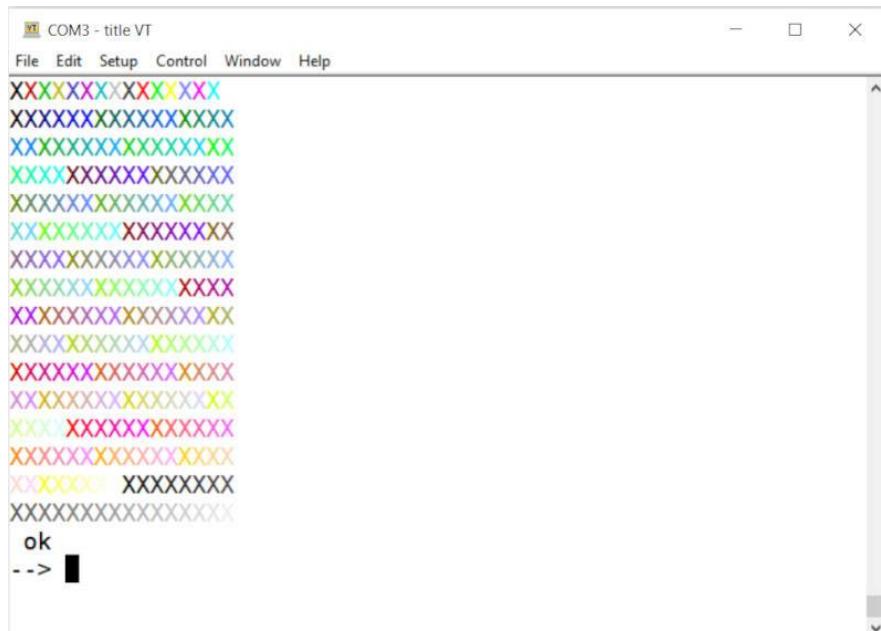
Sehen wir uns zunächst an, wie man den Text einfärbt :

```

: testFG ( -- )
page
16 0 do
  16 0 do
    j 16 * i + fg
    ." X"
  loop
  cr
loop
normal
;

```

Ausführen von **testFG** wird Folgendes angezeigt:



Um die Hintergrundfarben zu testen, gehen wir wie folgt vor:

```

: testBG ( -- )
page
16 0 do
  16 0 do
    j 16 * i + bg
    space space
  loop
  cr
loop
normal
;

```

Ausführen von **testBG** wird Folgendes angezeigt :



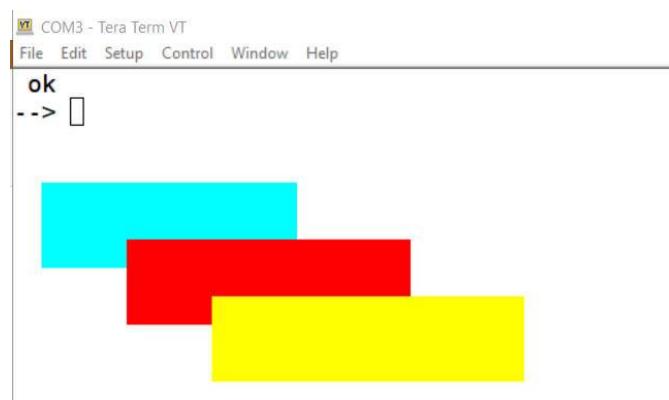
## Anzeigeposition

Das Terminal ist die einfachste Lösung zur Kommunikation mit ESP32forth. Mit ANSI-Escape-Sequenzen lässt sich die Darstellung von Daten leicht verbessern.

```
09 constant red
11 constant yellow
14 constant cyan
15 constant whyte
: box { x0 y0 xn yn color -- }
    color bg
    yn y0 - 1+      \ determine height
    0 do
        x0  y0 i + at-xy
        xn x0 - spaces
    loop
    normal
;

: 3boxes ( -- )
    page
    2 4 20 6 cyan box
    8 6 28 8 red box
    14 8 36 10 yellow box
    0 0 at-xy
;
```

Das Ausführen von **3boxes** zeigt Folgendes :



Sie sind nun in der Lage, einfache und effektive Schnittstellen zu erstellen, die die Interaktion mit den von ESP32forth kompilierten FORTH-Definitionen ermöglichen.

# Lokale Variablen mit ESP32Forth

## Einführung

Die FORTH-Sprache verarbeitet Daten hauptsächlich über den Datenstapel. Dieser sehr einfache Mechanismus bietet eine unübertroffene Leistung. Umgekehrt kann es schnell komplex werden, den Datenfluss zu verfolgen. Lokale Variablen bieten eine interessante Alternative.

## Der Fake-Stack-Kommentar

( und ) umrahmten Stapelkommentare aufgefallen sein . Beispiel:

```
\ addiert zwei vorzeichenlose Werte, hinterlässt Summe
\ und Übertrag auf dem Stapel
: um+ (u1 u2 -- Summenübertrag)
    \ hier die Definition
;
```

Hier hat der Kommentar ( **u1 u2 -- sum Carry** ) absolut keine Auswirkung auf den Rest des FORTH-Codes. Das ist reiner Kommentar.

Bei der Vorbereitung einer komplexen Definition besteht die Lösung darin, lokale Variablen zu verwenden, die durch { und } eingerahmt sind. Beispiel :

```
: 2OVER { a b c d }
    a b c d a b
;
```

Wir definieren vier lokale Variablen **abc** und **d** .

Die Wörter { und } ähneln den Wörtern ( und ) , haben aber überhaupt nicht die gleiche Wirkung. Codes zwischen { und } sind lokale Variablen. Die einzige Einschränkung: Verwenden Sie keine Variablennamen, die FORTH-Wörter aus dem FORTH-Wörterbuch sein könnten. Wir hätten unser Beispiel auch so schreiben können:

```
: 2OVER { varA varB varC varD }
    varA varB varC varD varA varB
;
```

Jede Variable nimmt den Wert des Datenstapels in der Reihenfolge ihrer Hinterlegung auf dem Datenstapel an. hier geht 1 in **varA** , 2 in **varB** usw.:

```
--> 1 2 3 4
ok
1 2 3 4 --> 2over
ok
1 2 3 4 1 2 -->
```

Unser Fake-Stack-Kommentar kann wie folgt vervollständigt werden:

```
: 2OVER { varA varB varC varD -- varA varB varC varD varA varB }
....
```

Die folgenden Zeichen `--` haben keine Wirkung. Der einzige Sinn besteht darin, unseren Fake-Kommentar wie einen echten Stack-Kommentar aussehen zu lassen.

## Aktion auf lokale Variablen

Lokale Variablen verhalten sich genau wie durch Werte definierte Pseudovariablen. Beispiel:

```
: 3x+1 { var -- sum }
    var 3 * 1 +
;
```

Hat den gleichen Effekt wie dieser:

```
0 value var
: 3x+1 ( var -- sum )
    to var
    var 3 * 1 +
;
```

In diesem Beispiel wird var explizit durch den Wert definiert.

Wir weisen einer lokalen Variablen mit dem Wort `to` oder `+to` einen Wert zu, um den Inhalt einer lokalen Variablen zu erhöhen. In diesem Beispiel fügen wir im Code unseres Wortes eine auf Null initialisierte lokale Variable `result` hinzu:

```
: a+bEXP2 { varA varB -- (a+b)EXP2 }
    0 { result }
    varA varA *      to result
    varB varB *      +to result
    varA varB * 2 * +to result
    result
;
```

Ist es nicht besser lesbar?

```
: a+bEXP2 ( varA varB -- result )
    2dup
    * 2 * >r
    dup *
    swap dup * +
    r> +
;
```

Hier ist ein letztes Beispiel, die Definition des Wortes `um+`, das zwei vorzeichenlose Ganzzahlen addiert und die Summe und den Überlaufwert dieser Summe auf dem Datenstapel belässt:

```

\ Addiert zwei ganze Zahlen ohne Vorzeichen,
\ hinterlässt Summe und Übertrag auf dem Stapel
: um+ { u1 u2 -- sum carry }
    0 { sum }
    cell for
        aft
            u1 $100 /mod to u1
            u2 $100 /mod to u2
            +
            cell 1- i - 8 * lshift +to sum
    then
next
sum
u1 u2 + abs
;

```

Hier ist ein komplexeres Beispiel für das Umschreiben von **DUMP** mithilfe lokaler Variablen:

```

\ lokale Variablen in DUMP:
\ START_ADDR          \ erste Adresse für Dump
\ END_ADDR             \ letzte Adresse für Dump
\ OSTART_ADDR          \ erste Adresse für Schleife im Dump
\ LINES                \ Anzahl der Zeilen für die Dump-Schleife
\ myBASE               \ aktuelle numerische Basis
internals
: dump ( start len -- )
    cr cr ." --addr-- "
    ." 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F  -----chars-----"
    2dup + { END_ADDR }           \ letzte Adresse für den Dump speichern
    swap { START_ADDR }          \ START-Adresse zum Dump speichern
    START_ADDR 16 / 16 * { OSTART_ADDR } \ calc. Adresse für Schleifenstart
    16 / 1+ { LINES }
    base @ { myBASE }           aktuelle Basis speichern
    hex
        \ äußere Schleife
LINES 0 do
    OSTART_ADDR i 16 * +          \ calc start address for current line
    cr <# # # # [char] - hold # # # #> type
    space space      \ and display address
    \ first inner loop, display bytes
    16 0 do
        \ calculate real address
        OSTART_ADDR j 16 * i ++
        ca@ <# # # #> type space \ display byte in format: NN
    loop
    space
    \ second inner loop, display chars
    16 0 do
        \ calculate real address
        OSTART_ADDR j 16 * i ++
        \ display char if code in interval 32-127
        ca@ dup 32 < over 127 > or
        if drop [char] . emit
        else emit
        then
    loop
loop

```

```

myBASE base !           \ restore current base
cr cr
;
forth

```

Die Verwendung lokaler Variablen vereinfacht die Datenmanipulation auf Stacks erheblich. Der Code ist besser lesbar. Beachten Sie, dass es nicht notwendig ist, diese lokalen Variablen vorab zu deklarieren. Es reicht aus, sie bei der Verwendung anzugeben, zum Beispiel: **base @ { myBASE }** .

**WARNUNG:** Wenn Sie lokale Variablen in einer Definition verwenden, verwenden Sie nicht mehr die Wörter **>r** und **r>**, da sonst die Gefahr besteht, dass die Verwaltung lokaler Variablen unterbrochen wird. Schauen Sie sich einfach die Dekompilierung dieser Version von **DUMP** an, um den Grund für diese Warnung zu verstehen:

```

dump cr cr s" --addr-- "type
s" 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F  -----chars----- type
2dup + >R SWAP >R -4 local@ 16 / 16 * >R 16 / 1+ >R base @ >R
hex -8 local@ 0 (do) -20 local@ R@ 16 * + cr
<# # # # 45 hold # # # #> type space space
16 0 (do) -28 local@ j 16 * R@ + + CA@ <# # # #> type space 1 (+loop)
0BRANCH rdrop rdrop space 16 0 (do) -28 local@ j 16 * R@ + + CA@ DUP 32 < OVER 127 > OR
0BRANCH DROP 46 emit BRANCH emit 1 (+loop) 0BRANCH rdrop rdrop 1 (+loop)
0BRANCH rdrop rdrop -4 local@ base ! cr cr rdrop rdrop rdrop rdrop rdrop ;

```

# Datenstrukturen für ESP32forth

## Präambel

ESP32forth ist eine 32-Bit-Version der FORTH-Sprache. Diejenigen, die FORTH seit seinen Anfängen praktizieren, haben mit 16-Bit-Versionen programmiert. Diese Datengröße wird durch die Größe der auf dem Datenstapel abgelegten Elemente bestimmt. Um die Größe der Elemente in Bytes herauszufinden, müssen Sie das Wort Zelle ausführen. Führen Sie dieses Wort für ESP32forth aus:

```
cell . \ zeigt 4 an
```

Der Wert 4 bedeutet, dass die Größe der auf dem Datenstapel platzierten Elemente 4 Bytes oder  $4 \times 8$  Bits = 32 Bits beträgt.

Bei einer 16-Bit-Forth-Version stapelt Zelle den Wert 2. Wenn Sie eine 64-Bit-Version verwenden, stapelt Zelle ebenfalls den Wert 8.

## Tabellen in FORTH

Beginnen wir mit relativ einfachen Strukturen: Tabellen. Wir werden nur ein- oder zweidimensionale Arrays diskutieren.

### Eindimensionales 32-Bit-Datenarray

Dies ist die einfachste Art von Tabelle. Um eine Tabelle dieses Typs zu erstellen, verwenden wir das Wort **create**, gefolgt vom Namen der zu erstellenden Tabelle:

```
create temperatures
  34 , 37 , 42 , 36 , 25 , 12 ,
```

In dieser Tabelle speichern wir 6 Werte: 34, 37...12. Um einen Wert abzurufen, verwenden Sie einfach das Wort **@**, indem Sie die nach **temperatures** gestapelte Adresse mit dem gewünschten Offset erhöhen:

```
temperatures      \ empile addr
  0 cell *        \ calcule décalage 0
  +                \ ajout décalage à addr
  @ .              \ affiche 34

temperatures      \ empile addr
  1 cell *        \ calcule décalage 1
  +                \ ajout décalage à addr
  @ .              \ affiche 37
```

Wir können den Zugangscode auf den gewünschten Wert faktorisieren, indem wir ein Wort definieren, das diese Adresse berechnet:

```
: temp@ ( index -- value )
    cell * temperatures + @
;
0 temp@ .  \ affiche 34
2 temp@ .  \ affiche 42
```

Sie werden feststellen, dass für n in dieser Tabelle gespeicherte Werte, hier 6 Werte, der Zugriffsindex immer im Intervall [0..n-1] liegen muss.

## Tabellendefinitionswörter

So erstellen Sie eine Wortdefinition für eindimensionale Ganzzahl-Arrays:

```
: array ( comp: -- | exec: index -- addr )
    create
    does>
        swap cell * +
;
array myTemps
    21 ,    32 ,    45 ,    44 ,    28 ,    12 ,
0 myTemps @ .  \ zeigt 21
5 myTemps @ .  \ zeigt 12
```

**array** -Variante zu erstellen, um unsere Daten kompakter zu verwalten :

```
: arrayC (comp: -- | exec: index -- addr)
erstellen
tut>
+
;
arrayC myCTime
21c, 32c, 45c, 44c, 28c, 12c,
0 myCTime c@. \anzeige 21
5 myCTime c@. \anzeige 12
```

Bei dieser Variante werden die gleichen Werte auf viermal weniger Speicherplatz gespeichert.

## Lesen und schreiben Sie in eine Tabelle

Es ist durchaus möglich, ein leeres Array mit n Elementen zu erstellen und Werte in dieses Array zu schreiben und zu lesen:

```
: arrayC ( comp: -- | exec: index -- addr )
    create
    does>
        +
;
arrayC myCTemps
    21 c,    32 c,    45 c,    44 c,    28 c,    12 c,
0 myCTemps c@ .  \ display 21
5 myCTemps c@ .  \ display 12
```

In unserem Beispiel enthält das Array 6 Elemente. Mit ESP32forth steht genügend Speicherplatz zur Verfügung, um deutlich größere Arrays, beispielsweise mit 1.000 oder 10.000 Elementen, zu verarbeiten. Es ist einfach, mehrdimensionale Tabellen zu erstellen. Beispiel für ein zweidimensionales Array:

```
63 constant SCR_WIDTH
16 constant SCR_HEIGHT
create mySCREEN
    SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * allot          \ réserve 63 * 16 octets
    mySCREEN SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * bl fill \ remplis avec 'space'
```

Hier definieren wir eine zweidimensionale Tabelle namens **mySCREEN**, die einen virtuellen Bildschirm mit 16 Zeilen und 63 Spalten darstellt.

Reservieren Sie einfach einen Speicherplatz, der das Produkt der Abmessungen X und Y der zu verwendenden Tabelle ist. Sehen wir uns nun an, wie man dieses zweidimensionale Array verwaltet:

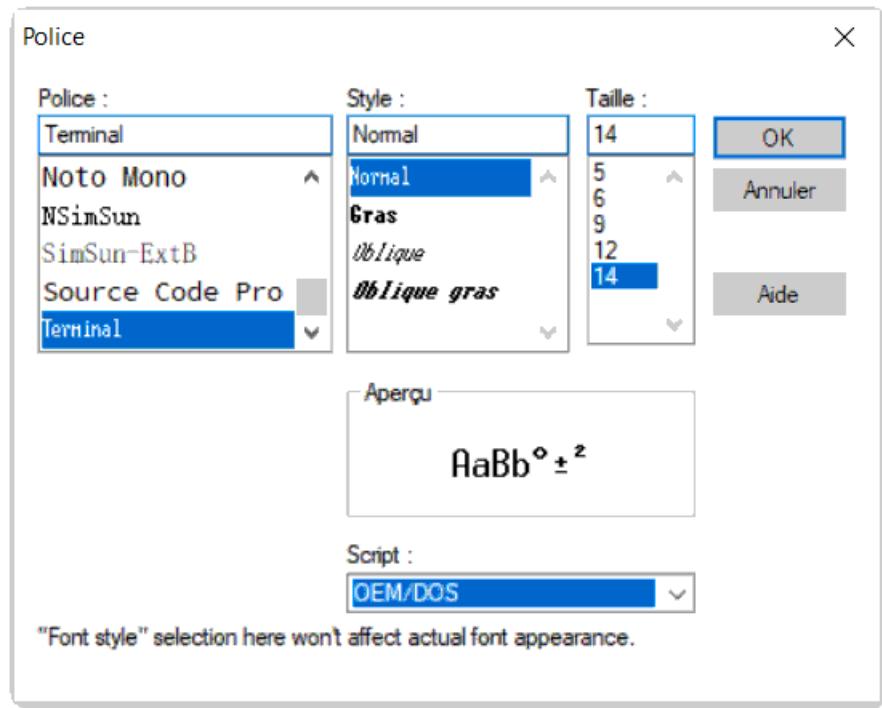
```
: xySCRaddr { x y -- addr }
    SCR_WIDTH y *
    x + mySCREEN +
;
: SCR@ ( x y -- c )
    xySCRaddr c@
;
: SCR! ( c x y -- )
    xySCRaddr c!
;
char X 15 5 SCR!      \ speichert char X am Hals 15 Zeile 5
15 5 SCR@ emit        \ wird angezeigt
```

## Praktisches Beispiel für die Verwaltung eines virtuellen Bildschirms

Bevor wir mit unserem Beispiel zur Verwaltung eines virtuellen Bildschirms fortfahren, sehen wir uns an, wie man den Zeichensatz des TERA TERM-Terminals ändert und anzeigt.

TERA TERM starten:

- Klicken Sie in der Menüleiste auf **Setup**
- Wählen Sie **Font** und **Font...**
- Konfigurieren Sie die Schriftart unten:



So zeigen Sie die Tabelle der verfügbaren Zeichen an:

```
: tableChars ( -- )
  base @ >r hex
  128 32 do
    16 0 do
      j i + dup . space emit space space
    loop
    cr
  16 +loop
  256 160 do
    16 0 do
      j i + dup . space emit space space
    loop
    cr
  16 +loop
  cr
  r> base !
;
tableChars
```

Hier ist das Ergebnis der Ausführung von **tableChars**:

```
--> tableChars
20   21 ! 22 " 23 # 24 $ 25 % 26 & 27 ' 28 ( 29 ) 2A *
21   22 , 23 . 24 : 25 ; 26 < 27 = 28 > 29 ? 2A :
22   23 > 24 = 25 ? 26 = 27 < 28 > 29 ? 2A :
23   24 < 25 = 26 = 27 > 28 > 29 ? 2A :
24   25 > 26 = 27 > 28 > 29 ? 2A :
25   26 > 27 > 28 > 29 ? 2A :
26   27 > 28 > 29 ? 2A :
27   28 > 29 ? 2A :
28   29 ? 2A :
29   2A :
2A   2B :
2B   2C :
2C   2D :
2D   2E :
2E   2F :
2F   2G :
2G   2H :
2H   2I :
2I   2J :
2J   2K :
2K   2L :
2L   2M :
2M   2N :
2N   2O :
2O   2P :
2P   2Q :
2Q   2R :
2R   2S :
2S   2T :
2T   2U :
2U   2V :
2V   2W :
2W   2X :
2X   2Y :
2Y   2Z :
2Z   2AA :
2AA   2AB :
2AB   2AC :
2AC   2AD :
2AD   2AE :
2AE   2AF :
2AF   2BE :
2BE   2CF :
2CF   2DF :
2DF   2EF :
2EF   2FF :
```

Diese Zeichen stammen aus dem MS-DOS-ASCII-Satz. Einige dieser Zeichen sind halbgrafisch. Hier ist eine sehr einfache Einfügung einer dieser Figuren in unseren virtuellen Bildschirm:

```
$db dup 5 2 SCR!      6 2 SCR!
$b2 dup 7 3 SCR!      8 3 SCR!
$b1 dup 9 4 SCR!      10 4 SCR!
```

Sehen wir uns nun an, wie wir den Inhalt unseres virtuellen Bildschirms anzeigen. Wenn wir jede Zeile des virtuellen Bildschirms als alphanumerische Zeichenfolge betrachten, müssen wir nur dieses Wort definieren, um eine der Zeilen unseres virtuellen Bildschirms anzuzeigen:

```
: dispLine { numLine -- }
SCR_WIDTH numLine *
mySCREEN + SCR_WIDTH-Typ
;
```

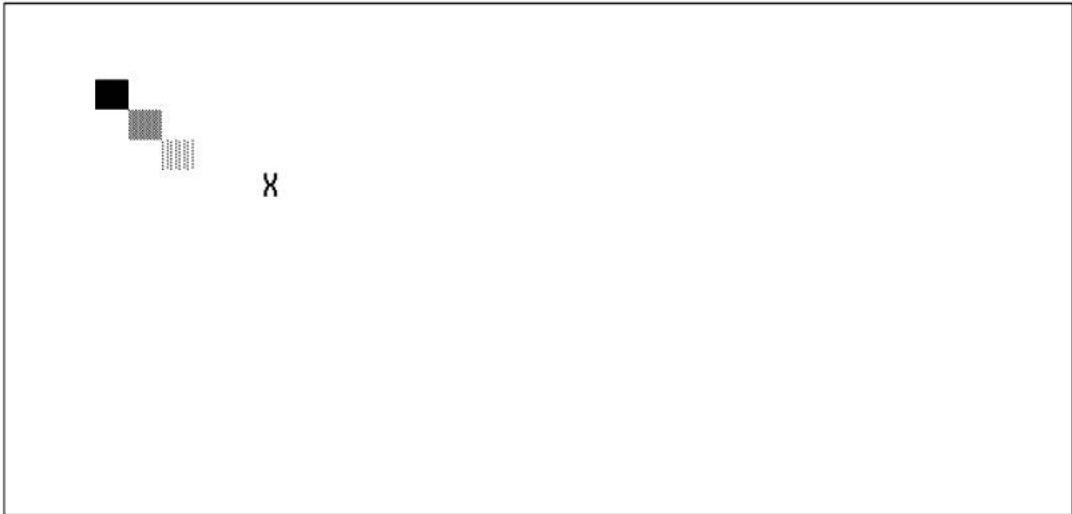
Unterwegs erstellen wir eine Definition, die es ermöglicht, dasselbe Zeichen n-mal anzuzeigen:

```
: nEmit ( c n -- )
  for
    aft dup emit then
  next
  drop
;
```

Und jetzt definieren wir das Wort, mit dem wir den Inhalt unseres virtuellen Bildschirms anzeigen können. Um den Inhalt dieses virtuellen Bildschirms klar zu erkennen, rahmen wir ihn mit Sonderzeichen ein:

```
: dispScreen
  0 0 at-xy
  \ affiche bord superieur
  $da emit   $c4 SCR_WIDTH nEmit     $bf emit     cr
  \ affiche contenu ecran virtuel
  SCR_HEIGHT 0 do
    $b3 emit   i dispLine           $b3 emit     cr
  loop
  \ affiche bord inferieur
  $c0 emit   $c4 SCR_WIDTH nEmit     $d9 emit     cr
;
```

Wenn Sie unser **dispScreen- Wort ausführen**, wird Folgendes angezeigt :



In unserem virtuellen Bildschirmbeispiel zeigen wir, dass die Verwaltung eines zweidimensionalen Arrays eine konkrete Anwendung hat. Unser virtueller Bildschirm ist zum Schreiben und Lesen zugänglich. Hier zeigen wir unseren virtuellen Bildschirm im Terminalfenster an. Diese Anzeige ist alles andere als effizient. Auf einem echten OLED-Bildschirm kann es aber deutlich schneller gehen.

## Management komplexer Strukturen

ESP32forth verfügt über das Strukturvokabular. Der Inhalt dieses Vokabulars ermöglicht die Definition komplexer Datenstrukturen.

Hier ist eine triviale Beispielstruktur :

```
structures
struct YMDHMS
    ptr field >year
    ptr field >month
    ptr field >day
    ptr field >hour
    ptr field >min
    ptr field >sec
```

Hier definieren wir die YMDHMS-Struktur. Diese Struktur verwaltet die Zeiger **>year**, **>month**, **>day**, **>hour**, **>min** und **>sec**.

des **YMDHMS**-Wortes besteht darin, die Zeiger in der komplexen Struktur zu initialisieren und zu gruppieren. So werden diese Zeiger verwendet :

```
create DateTime
YMDHMS allot

2022 DateTime >year !
03 DateTime >month !
21 DateTime >day !
22 DateTime >hour !
36 DateTime >min !
```

```

15 DateTime >sec    !

: .date ( date -- )
  >r
  ." YEAR: " r@ >year    @ . cr
  ." MONTH: " r@ >month   @ . cr
  ." DAY: " r@ >day      @ . cr
  ." HH: " r@ >hour     @ . cr
  ." MM: " r@ >min      @ . cr
  ." SS: " r@ >sec      @ . cr
  r> drop
;

DateTime .date

```

Wir haben das Wort **DateTime** definiert , das eine einfache Tabelle aus 6 aufeinanderfolgenden 32-Bit-Zellen ist. Der Zugriff auf jede Zelle erfolgt über den entsprechenden Zeiger. Wir können den zugewiesenen Speicherplatz unserer **YMDHMS**-Struktur neu definieren , indem wir das Wort **i8** verwenden , um auf Bytes zu verweisen:

```

structures
struct cYMDHMS
  ptr field >year
  i8  field >month
  i8  field >day
  i8  field >hour
  i8  field >min
  i8  field >sec

create cDateTime
  cYMDHMS allot

2022 cDateTime >year    !
03  cDateTime >month  c!
21  cDateTime >day    c!
22  cDateTime >hour   c!
36  cDateTime >min    c!
15 cDateTime >sec    c!

: .cDate ( date -- )
  >r
  ." YEAR: " r@ >year    @ . cr
  ." MONTH: " r@ >month   c@ . cr
  ." DAY: " r@ >day      c@ . cr
  ." HH: " r@ >hour     c@ . cr
  ." MM: " r@ >min      c@ . cr
  ." SS: " r@ >sec      c@ . cr
  r> drop
;
cDateTime .cDate    \ zeigt:
\ YEAR: 2022
\ MONTH: 3
\ DAY: 21
\ HH: 22
\ MM: 36
\ SS: 15

```

In dieser **cYMDHMS**-Struktur haben wir das Jahr im 32-Bit-Format beibehalten und alle anderen Werte auf 8-Bit-Ganzzahlen reduziert. Wir sehen im .cDate-Code, dass die

Verwendung von Zeigern einen einfachen Zugriff auf jedes Element unserer komplexen Struktur ermöglicht....

## Definition von Sprites

Wir haben zuvor einen virtuellen Bildschirm als zweidimensionales Array definiert. Die Dimensionen dieses Arrays werden durch zwei Konstanten definiert. Erinnerung an die Definition dieses virtuellen Bildschirms:

```
63 constant SCR_WIDTH
16 constant SCR_HEIGHT
create mySCREEN
    SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * allot
    mySCREEN SCR_WIDTH SCR_HEIGHT * bl fill
```

Der Nachteil dieser Programmiermethode besteht darin, dass die Dimensionen in Konstanten, also außerhalb der Tabelle, definiert werden. Interessanter wäre es, die Abmessungen der Tabelle in die Tabelle einzubetten. Dazu definieren wir eine an diesen Fall angepasste Struktur :

```
structures
struct cARRAY
    i8 field >width
    i8 field >height
    i8 field >content

create myVscreen      \ definit un ecran 8x32 octets
    32 c,           \ compile width
    08 c,           \ compile height
    myVscreen >width c@
    myVscreen >height c@ * allot
```

Um ein Software-Sprite zu definieren, geben wir ganz einfach diese Definition weiter:

```
: sprite: ( width height -- )
    create
        swap c, c,  \ compile width et height
    does>
    ;
2 1 sprite: blackChars
    $db c, $db c,
2 1 sprite: greyChars
    $b2 c, $b2 c,
blackChars >content 2 type  \ affiche contenu du sprite blackChars
```

Voici comment définir un sprite 5 x 7 octets:

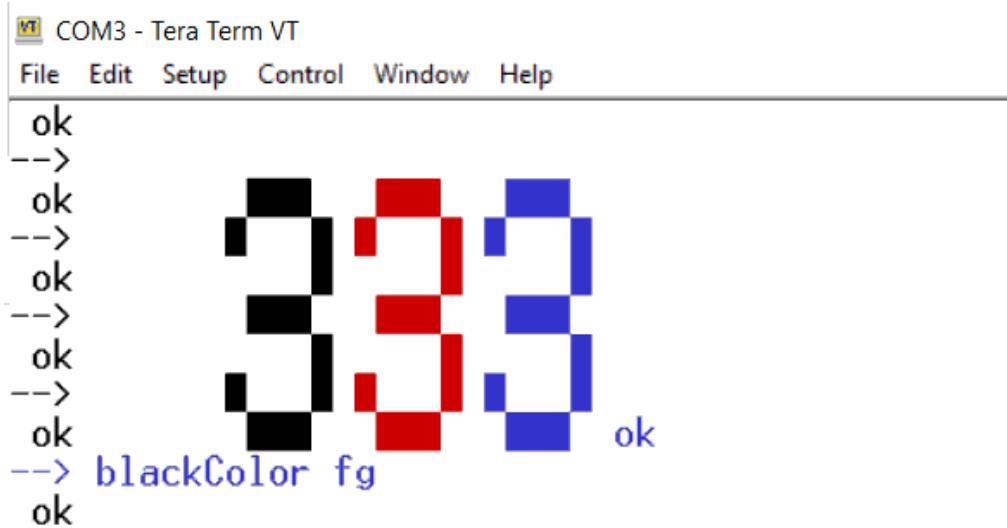
```
5 7 sprite: char3
$20 c, $db c, $db c, $db c, $20 c,
$db c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
$20 c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
$20 c, $db c, $db c, $db c, $20 c,
$20 c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
$db c, $20 c, $20 c, $20 c, $db c,
$20 c, $db c, $db c, $db c, $20 c,
```

Um das Sprite von einer xy-Position im Terminalfenster aus anzuzeigen, reicht eine einfache Schleife:

```
: .sprite { xpos ypos sprAddr -- }
    sprAddr >height c@ 0 do
        xpos ypos at-xy
        sprAddr >width c@ i *      \ calculate offset in sprite datas
        sprAddr >content +        \ calculate real address for line n in
sprite datas
        sprAddr >width c@ type  \ display line
        1 +to ypos             \ increment y position
    loop
;

0 constant blackColor
1 constant redColor
4 constant blueColor
10 02 char3 .sprite
redColor fg
16 02 char3 .sprite
blueColor fg
22 02 char3 .sprite
blackColor fg
cr cr
```

Ergebnis der Anzeige unseres Sprites:



Ich hoffe, der Inhalt dieses Kapitels hat Ihnen einige interessante Ideen gegeben, die Sie gerne teilen möchten ...

## Reale Zahlen mit ESP32forth

Wenn wir die Operation **1 3 /** in der FORTH-Sprache testen, ist das Ergebnis 0.

Es ist nicht überraschend. Grundsätzlich verwendet ESP32forth über den Datenstack nur 32-Bit-Ganzzahlen. Ganzzahlen bieten bestimmte Vorteile:

- Geschwindigkeit der Verarbeitung;
- Ergebnis von Berechnungen ohne Driftgefahr bei Iterationen;
- für fast alle Situationen geeignet.

Auch bei trigonometrischen Berechnungen können wir eine Tabelle mit ganzen Zahlen verwenden. Erstellen Sie einfach eine Tabelle mit 90 Werten, wobei jeder Wert dem Sinus eines Winkels multipliziert mit 1000 entspricht.

Aber auch ganze Zahlen haben Grenzen:

- unmögliche Ergebnisse für einfache Divisionsberechnungen, wie unser 1/3-Beispiel;
- erfordert komplexe Manipulationen, um physikalische Formeln anzuwenden.

Seit Version 7.0.6.5 enthält ESP32forth Operatoren, die sich mit reellen Zahlen befassen.

Reelle Zahlen werden auch Gleitkommazahlen genannt.

## Die echten mit ESP32forth

Um reelle Zahlen zu unterscheiden, müssen sie mit dem Buchstaben „e“ enden:

```
3          \ push 3 on the normal stack
3e         \ push 3 on the real stack
5.21e f.   \ display 5.210000
```

Es ist das Wort **F.** Dadurch können Sie eine reelle Zahl anzeigen, die sich oben auf dem reellen Stapel befindet.

## Echte Zahlengenauigkeit mit ESP32forth

Mit dem Wort **set-precision** können Sie die Anzahl der Dezimalstellen angeben, die nach dem Dezimalpunkt angezeigt werden sollen. Sehen wir uns das mit der Konstante **pi** an :

```
pi f.      \ display 3.141592
4 set-precision
pi f.      \ display 3.1415
```

Die Grenzgenauigkeit für die Verarbeitung reeller Zahlen mit ESP32forth beträgt sechs Dezimalstellen :

```
12 set-precision  
1.987654321e f.          \ display 1.987654668777
```

Wenn wir die Anzeigegenauigkeit reeller Zahlen unter 6 reduzieren, werden die Berechnungen immer noch mit einer Genauigkeit von 6 Nachkommastellen durchgeführt.

## Reale Konstanten und Variablen

Eine echte Konstante wird mit dem Wort **fconstant** definiert :

```
0.693147e fconstant ln2  \ natural logarithm of 2
```

**fvariable** definiert :

```
fvariable intensity  
170e 12e F/ intensity SF!  \ I=P/U --- P=170w  U=12V  
intensity SF@ f.          \ display 14.166669
```

ACHTUNG: Alle reellen Zahlen durchlaufen den **Stapel reeller Zahlen**. Bei einer realen Variablen durchläuft nur die Adresse den Datenstapel, die auf den realen Wert zeigt.

Das Wort **SF!** speichert einen reellen Wert an der Adresse oder Variablen, auf die seine Speicheradresse zeigt. Durch die Ausführung einer echten Variablen wird die Speicheradresse auf dem klassischen Datenstapel platziert.

Das Wort **SF@** stapelt den realen Wert, auf den seine Speicheradresse zeigt.

## Arithmetische Operatoren für reelle Zahlen

ESP32Forth verfügt über vier arithmetische Operatoren **F+ F- F\* F/** :

```
1.23e 4.56e F+ f.    \ display 5.790000      1.23-4.56  
1.23e 4.56e F- f.    \ display -3.330000     1.23-4.56  
1.23e 4.56e F* f.    \ display 5.608800      1.23*4.56  
1.23e 4.56e F/ f.    \ display 0.269736      1.23/4.56
```

ESP32forth hat auch diese Worte:

- **1/F** berechnet den Kehrwert einer reellen Zahl;
- **fsqrt** berechnet die Quadratwurzel einer reellen Zahl.

```
5. 1/F f. \display 0,200000 1/5  
5. fsqrt f. \ display 2.236068 sqrt(5)
```

## Mathematische Operatoren für reelle Zahlen

ESP32forth verfügt über mehrere mathematische Operatoren:

- **F<sup>\*\*</sup>** erhöht einen echten r\_val auf die Potenz r\_exp
- **FATAN2** berechnet den Winkel im Bogenmaß aus der Tangente.
- **FCOS** (r1 – r2) Berechnet den Kosinus eines Winkels, ausgedrückt im Bogenmaß.
- **FEXP** (ln-r – r) berechnet den reellen Wert, der e EXP r entspricht
- **FLN** (r – ln-r) berechnet den natürlichen Logarithmus einer reellen Zahl.
- **FSIN** (r1 – r2) berechnet den Sinus eines Winkels, ausgedrückt im Bogenmaß.
- **FSINCOS** (r1 – rcos rsin) berechnet den Kosinus und Sinus eines Winkels, ausgedrückt im Bogenmaß.

Einige Beispiele :

```
2e 3e f** f.      \ display 8.000000
2e 4e f** f.      \ display 16.000000
10e 1.5e f** f.  \ display 31.622776

4.605170e FEXP F.    \ display 100.000018

pi 4e f/
FSINCOS f. f.    \ display 0.707106 0.707106
pi 2e f/
FSINCOS f. f.    \ display 0.000000 1.000000
```

## Logische Operatoren für reelle Zahlen

Mit ESP32forth können Sie auch Logiktests an realen Daten durchführen:

- **F0<** (r -- fl) testet, ob eine reelle Zahl kleiner als Null ist.
- **F0=** (r – fl) zeigt wahr an, wenn der reelle Wert Null ist.
- **f<** (r1 r2 -- fl) fl ist wahr, wenn r1 < r2.
- **f<=** (r1 r2 -- fl) fl ist wahr, wenn r1 <= r2.
- **f<>** (r1 r2 -- fl) fl ist wahr, wenn r1 <> r2.
- **f=** (r1 r2 -- fl) fl ist wahr, wenn r1 = r2.
- **f>** (r1 r2 -- fl) fl ist wahr, wenn r1 > r2.
- **f>=** (r1 r2 -- fl) fl ist wahr, wenn r1 >= r2.

## Ganzzahlige ↔ reelle Transformationen

ESP32forth verfügt über zwei Wörter, um ganze Zahlen in reelle Zahlen umzuwandeln und umgekehrt:

- **F>S** (r -- n) wandelt eine reelle Zahl in eine ganze Zahl um. Belassen Sie den ganzzahligen Teil im Datenstapel, wenn die reelle Zahl Dezimalteile hat.

- **S>F** ( $n \leftarrow r$ :  $r$ ) wandelt eine ganze Zahl in eine reelle Zahl um und überträgt diese reelle Zahl auf den reellen Stapel.

Beispiel :

```
35 S>F
F.   \ display 35.000000
3.5e F>S .   \ display 3
```

# Zahlen und Zeichenfolgen anzeigen

## Änderung der Zahlenbasis

FORTH verarbeitet nicht irgendwelche Zahlen. Bei den Zahlen, die Sie beim Ausprobieren der vorherigen Beispiele verwendet haben, handelt es sich um vorzeichenbehaftete Ganzzahlen mit einfacher Genauigkeit. Der Definitionsbereich für 32-Bit-Ganzzahlen ist -2147483648 bis 2147483647. Beispiel:

```
2147483647 .          \ zeigt 2147483647 an
2147483647 1+ .       \ zeigt -2147483648 an
-1 u.                  \ zeigt 4294967295 an
```

Diese Zahlen können in jeder Zahlenbasis verarbeitet werden, wobei alle Zahlenbasen zwischen 2 und 36 gültig sind:

```
255 HEX . DECIMAL    \ zeigt FF an
```

Sie können eine noch größere numerische Basis wählen, aber die verfügbaren Symbole fallen dann außerhalb des alphanumerischen Satzes [0..9,A..Z] und es besteht die Gefahr, dass sie inkonsistent werden.

Die aktuelle numerische Basis wird durch eine Variable namens **BASE gesteuert**, deren Inhalt geändert werden kann. Um also auf Binär umzustellen, speichern Sie einfach den Wert **2** in **BASE**. Beispiel:

```
2 BASE !
```

und geben Sie **DECIMAL** ein, um zur dezimalen numerischen Basis zurückzukehren.

ESP32forth verfügt über zwei vordefinierte Wörter, mit denen Sie verschiedene numerische Basen auswählen können:

- **DECIMAL**, um die dezimale numerische Basis auszuwählen. Dies ist die numerische Basis, die standardmäßig beim Starten von ESP32forth verwendet wird.
- **HEX** zur Auswahl der hexadezimalen numerischen Basis.

Bei Auswahl einer dieser Zahlenbasen werden die Literalzahlen in dieser Basis interpretiert, angezeigt oder verarbeitet. Jede zuvor in einem anderen Zahlensystem als dem aktuellen Zahlensystem eingegebene Zahl wird automatisch in das aktuelle Zahlensystem umgewandelt. Beispiel :

```
DECIMAL           \ Basis in Dezimalzahl
255              \ Stapel 255
HEX              \ wählt die Hexadezimalbasis aus
1+               \ erhöht 255 zu 256
```

```
.          \ zeigt 100 an
```

**BASE** speichert . Beispiel :

```
: BINARY ( ---)      \ wählt die binäre Zahlenbasis aus
2 BASIS! ;
DECIMAL 255 BINARY . \ zeigt 11111111 an
```

Der Inhalt von **BASE** kann wie der Inhalt jeder anderen Variablen gestapelt werden:

```
VARIABLE RANGE_BASE      \ RANGE-BASE-Variablendefinition
BASE @ RANGE_BASE !      \ Speicherung des BASE-Inhalts in RANGE-BASE
HEX FF 10 + .            \ zeigt 10F an
RANGE_BASE @ BASE !     \ stellt BASE mit Inhalten von RANGE-BASE wieder
her
```

In einer Definition : kann der Inhalt von **BASE** den Rückgabestapel passieren:

```
: OPERATION ( ---)
  BASE @ >R        \ speichert BASE auf dem hinteren Stapel
  HEX FF 10 + .    \ Operation des vorherigen Beispiels
  R> BASE ! ;     \ stellt den anfänglichen BASE-Wert wieder her
```

**ACHTUNG** : Die Wörter **>R** und **R>** können nicht im interpretierten Modus verwendet werden. Sie können diese Wörter nur in einer Definition verwenden, die zusammengestellt wird.

## Definition neuer Anzeigeformate

Forth verfügt über Grundelemente, mit denen Sie die Anzeige einer Zahl an jedes beliebige Format anpassen können. Mit ESP32forth verarbeiten diese Grundelemente Ganzzahlen :

- **<#** beginnt eine Formatdefinitionssequenz;
- **#** fügt eine Ziffer in eine Formatdefinitionssequenz ein;
- **#S** entspricht einer Folge von **#** ;
- **HOLD** fügt ein Zeichen in eine Formatdefinition ein;
- **#>** vervollständigt eine Formatdefinition und hinterlässt auf dem Stapel die Adresse und Länge der Zeichenfolge, die die anzugebende Zahl enthält.

Diese Wörter können nur innerhalb einer Definition verwendet werden. Beispiel, um entweder eine Zahl anzuzeigen, die einen auf Euro lautenden Betrag mit dem Komma als Dezimaltrennzeichen ausdrückt:

```
: .EUROS ( n ---)
<# # # [char] , hold #S #>
  type space ." EUR" ;
1245 .euros
```

Ausführungsbeispiele :

```
35 .EUROS          \ zeigt 0,35 EUR an
3575 .EUROS        \ zeigt 35,75 EUR an
1015 3575 + .EUROS \ zeigt 45,90 EUR an
```

In der **.EUROS**-Definition beginnt die Anzeigeformat-Definitionssequenz mit dem Wort **<# .** Die beiden Wörter **#** platzieren die Einer- und Zehnerstellen in der Zeichenfolge. Das Wort **HOLD** fügt das Zeichen **,** (Komma) nach den beiden Ziffern auf der rechten Seite ein, das Wort **#S** vervollständigt das Anzeigeformat mit den Ziffern ungleich Null nach **,** **.** Das Wort **#>** schließt die Formatdefinition ab und legt die Adresse und die Länge der Zeichenfolge mit den Ziffern der anzuzeigenden Zahl auf dem Stapel ab. Das Wort **TYPE** zeigt diese Zeichenfolge an.

Zur Laufzeit befasst sich eine Anzeigeformatsequenz ausschließlich mit vorzeichenbehafteten oder vorzeichenlosen 32-Bit-Ganzzahlen. Die Verkettung der verschiedenen Elemente der Zeichenfolge erfolgt von rechts nach links, d. h. beginnend mit den niedrigstwertigen Ziffern.

Die Verarbeitung einer Zahl durch eine Anzeigeformatfolge erfolgt auf Basis der aktuellen Zahlenbasis. Die Zahlenbasis kann zwischen zwei Ziffern geändert werden.

Hier ist ein komplexeres Beispiel, das die Kompaktheit von FORTH demonstriert. Dazu muss ein Programm geschrieben werden, das eine beliebige Anzahl von Sekunden in das Format HH:MM:SS umwandelt:

```
: :00 ( ---)
    DECIMAL #
    6 BASE !
    #
    [char] : HOLD
    DECIMAL ;
: HMS (n ---)          \ zeigt das Zahlen-Sekunden-Format HH:MM:SS an
<# :00 :00 #S #> TYPE SPACE ;
```

Ausführungsbeispiele :

```
59 HMS      \ zeigt 0:00:59 an
60 HMS      \ zeigt 0:01:00 an
4500 HMS    \ zeigt 1:15:00 an
```

Erläuterung : Das System zur Anzeige von Sekunden und Minuten wird Sexagesimalsystem genannt. Einheiten werden im Dezimalformat ausgedrückt, **Zehner im** Sechtersystem. Das Wort **:00** verwaltet die Umrechnung von Einheiten und Zehnern in diese beiden Basen zur Formatierung der Zahlen, die Sekunden und Minuten entsprechen. Bei Zeiten sind alle Zahlen dezimal.

Ein weiteres Beispiel, um ein Programm zu definieren, das eine Dezimalzahl mit einfacher Genauigkeit in eine Binärzahl umwandelt und sie im Format bbbb bbbb bbbb bbbb anzeigt:

```
: FOUR-DIGITS ( ---)
# # # # 32 HOLD ;
: AFB ( d ---)          \ format 4 digits and a space
  BASE @ >R             \ Current database backup
  2 BASE !              \ Binary digital base selection
<#
  4 0 DO                \ Format Loop
    FOUR-DIGITS
  LOOP
  #> TYPE SPACE         \ Binary display
  R> BASE ! ;           \ Initial digital base restoration
```

Ausführungsbeispiel:

```
DECIMAL 12 AFB      \ zeigt      0000 0000 0000 0110 an
HEX 3FC5 AFB        \ zeigt      0011 1111 1100 0101 an
```

Ein weiteres Beispiel ist die Erstellung eines Telefonbuch, bei dem eine oder mehrere Telefonnummern einem Nachnamen zugeordnet sind. Wir definieren ein Wort anhand des Nachnamens :

```
: .## ( ---)
# # [char] . HOLD ;
: .TEL ( d ---)
  CR <# .## .## .## .## # # #> TYPE CR ;
: SCHNOKELOCH ( ---)
  0618051254 .TEL ;
SCHNOKELOCH \ zeigt: 06.18.05.12.54 an
```

Dieser Telefonbuch, der aus einer Quelldatei zusammengestellt werden kann, lässt sich leicht bearbeiten, und obwohl die Namen nicht klassifiziert sind, ist die Suche äußerst schnell.

## Anzeigen von Zeichen und Zeichenfolgen

Ein Zeichen wird mit dem Wort **EMIT angezeigt** :

```
65 EMIT \ zeigt A an
```

Die darstellbaren Zeichen liegen im Bereich 32..255. Es werden auch Codes zwischen 0 und 31 angezeigt, sofern bestimmte Zeichen als Steuercodes ausgeführt werden. Hier ist eine Definition, die den gesamten Zeichensatz der ASCII-Tabelle zeigt:

```
variable #out
: #out+! ( n -- )
  #out +!                      \ incrémenté #out
;
: (.) ( n -- a 1 )
```

```

DUP ABS <# #S ROT SIGN #>
;
: .R ( n 1 -- )
  >R (.) R> OVER - SPACES TYPE
;
: JEU-ASCII ( ---)
  cr 0 #out !
  128 32
  DO
    I 3 .R SPACE      \ affiche code du caractère
    4 #out+!
    I EMIT 2 SPACES   \ affiche caractère
    3 #out+!
    #out @ 77 =
    IF
      CR 0 #out !
    THEN
  LOOP ;

```

Beim Ausführen von **JEU-ASCII** werden die ASCII-Codes und Zeichen angezeigt, deren Code zwischen 32 und 127 liegt. Um die entsprechende Tabelle mit den ASCII-Codes im Hexadezimalformat anzuzeigen, geben Sie **HEX JEU-ASCII** ein :

hex jeu-ascii															
20	21 !	22 "	23 #	24 \$	25 %	26 &	27 '	28 (	29 )	2A *					
2B +	2C ,	2D -	2E .	2F /	30 0	31 1	32 2	33 3	34 4	35 5					
36 6	37 7	38 8	39 9	3A :	3B ;	3C <	3D =	3E >	3F ?	40 @					
41 A	42 B	43 C	44 D	45 E	46 F	47 G	48 H	49 I	4A J	4B K					
4C L	4D M	4E N	4F O	50 P	51 Q	52 R	53 S	54 T	55 U	56 V					
57 W	58 X	59 Y	5A Z	5B [	5C \	5D ]	5E ^	5F _	60 `	61 a					
62 b	63 c	64 d	65 e	66 f	67 g	68 h	69 i	6A j	6B k	6C l					
6D m	6E n	6F o	70 p	71 q	72 r	73 s	74 t	75 u	76 v	77 w					
78 x	79 y	7A z	7B {	7C	7D }	7E ~	7F	ok							

Zeichenfolgen werden auf verschiedene Arten angezeigt. Die erste, die nur bei der Komplilierung verwendet werden kann, zeigt eine durch das Zeichen " (Anführungszeichen) getrennte Zeichenfolge an:

```

: TITEL ." ALLGEMEINES MENÜ" ;
TITEL      \ zeigt das ALLGEMEINE MENÜ an

```

Die Zeichenfolge ist vom Wort **."** durch mindestens ein Leerzeichen getrennt.

Eine Zeichenfolge kann auch durch das Wort **s" zusammengesetzt** und durch das Zeichen **"** (Anführungszeichen) begrenzt werden:

```

: LIGNE1 ( --- adr len)
  S" D..Datenprotokollierung" ;

```

Durch die Ausführung von **LINE1** werden die Adresse und Länge der in der Definition kompliierten Zeichenfolge auf dem Datenstapel platziert. Die Anzeige erfolgt durch das Wort **TYPE**:

```
LINE1 TYPE \ zeigt D..Datenprotokollierung an
```

Am Ende der Anzeige einer Zeichenfolge muss auf Wunsch der Zeilenumbruch ausgelöst werden:

```
CR TITEL TYPE CR CR LINE1 TYPE CR
\ zeigt
\ ALLGEMEINES MENÜ
\
\ D..Datenprotokollierung
```

Am Anfang oder Ende der Anzeige einer alphanumerischen Zeichenfolge können ein oder mehrere Leerzeichen hinzugefügt werden:

```
SPACE          \ zeigt ein Leerzeichen an
10 SPACES      \ zeigt 10 Leerzeichen an
```

## String-Variablen

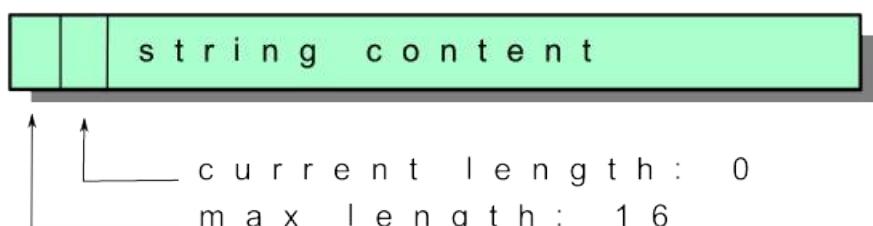
Alphanumerische Textvariablen sind in ESP32forth nativ nicht vorhanden. Hier ist der erste Versuch, die Wortfolge **STRING** zu definieren :

```
\ define a strvar
: string  ( comp: n --- names_strvar | exec: --- addr len )
    create
        dup
        c,          \ n is maxlen
        0 c,        \ 0 is real length
        allot
    does>
        2 +
        dup 1 - c@
    ;
```

Eine Zeichenfolgenvariable wird wie folgt definiert:

```
16 String strState
```

So ist der für diese Textvariable reservierte Speicherplatz organisiert:



## Wortcode zur Verwaltung von Textvariablen

Hier ist der vollständige Quellcode zum Verwalten von Textvariablen:

```
DEFINED? --str [if] forget --str [then]
create --str
```

```

\ compare two strings
: $= ( addr1 len1 addr2 len2 --- f1)
  str=
;

\ define a strvar
: string ( n --- names_strvar )
  create
    dup
    ,                                \ n is maxlen
    0 ,                                \ 0 is real length
    allot
  does>
    cell+ cell+
    dup cell - @
;

\ get maxlen of a string
: maxlen$ ( strvar --- strvar maxlen )
  over cell - cell - @
;

\ store str into strvar
: $! ( str strvar --- )
  maxlen$                      \ get maxlen of strvar
  nip rot min                  \ keep min length
  2dup swap cell - !          \ store real length
  cmove                         \ copy string
;

\ Example:
\ : s1
\   " this is constant string" ;
\ 200 string test
\ s1 test $!

\ set length of a string to zero
: 0$! ( addr len -- )
  drop 0 swap cell - !
;

\ extract n chars right from string
: right$ ( str1 n --- str2 )
  0 max over min >r + r@ - r>
;

\ extract n chars left from string
: left$ ( str1 n --- str2 )
  0 max min
;

\ extract n chars from pos in string
: mid$ ( str1 pos len --- str2 )
  >r over swap - right$ r> left$
;

\ append char c to string
: c+$! ( c str1 -- )

```

```

over >r
+ c!
r> cell - dup @ 1+ swap !
;

\ work only with strings. Don't use with other arrays
: input$ ( addr len -- )
    over swap maxlen$ nip accept
    swap cell - !
;

```

Das Erstellen einer alphanumerischen Zeichenfolge ist sehr einfach:

#### 64 String myNewString

Hier erstellen wir eine alphanumerische Variable **myNewString** , die bis zu 64 Zeichen enthalten kann.

Um den Inhalt einer alphanumerischen Variablen anzuzeigen, verwenden Sie einfach **den Typ** . Beispiel :

```

s" This is my first example.." myNewString $!
myNewString type \ display: This is my first example..

```

Wenn wir versuchen, eine Zeichenfolge zu speichern, die länger ist als die maximale Größe unserer alphanumerischen Variablen, wird die Zeichenfolge abgeschnitten:

```

s" This is a very long string, with more than 64 characters. It can't store
complete"
myNewString $!
myNewString type
\ disp: This is a very long string, with more than 64 characters. It can

```

## Hinzufügen von Zeichen zu einer alphanumerischen Variablen

Einige Geräte, zum Beispiel der LoRa-Sender, erfordern die Verarbeitung von Befehlszeilen, die die nicht alphanumerischen Zeichen enthalten. Das Wort **c+\$!** ermöglicht das Einfügen dieses Codes:

```

32 string AT_BAND
s" AT+BAND=868500000" AT_BAND $! \ set frequency at 865.5 Mhz
$0a AT_BAND c+$!
$0d AT_BAND c+$! \ add CR LF code at end of command

```

Der Speicherauszug des Inhalts unserer alphanumerischen Variablen **AT\_BAND** bestätigt das Vorhandensein der beiden Steuerzeichen am Ende der Zeichenfolge:

```

--> AT_BAND dump
--addr--- 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F -----chars-----
3FFF-8620 8C 84 FF 3F 20 00 00 00 13 00 00 00 41 54 2B 42 ...? .....AT+B
3FFF-8630 41 4E 44 3D 38 36 38 35 30 30 30 30 0A 0D BD AND=868500000...
ok

```

Hier ist eine clevere Möglichkeit, eine alphanumerische Variable zu erstellen, mit der Sie einen Wagenrücklauf (**CR+LF**) übertragen können, der mit dem Ende von Befehlen für den LoRa-Sender kompatibel ist:

```
2 string $crlf
$0d $crlf c+$!
$0a $crlf c+$!

: crlf ( -- )          \ same action as cr, but adapted for LoRa
  $crlf type
;
```

# Vokabeln mit ESP32forth

In FORTH existiert der Begriff von Prozedur und Funktion nicht. FORTH-Anweisungen werden WORDS genannt. Wie eine traditionelle Sprache organisiert FORTH die Wörter, aus denen es besteht, in VOKABULAREN, einer Reihe von Wörtern mit einem gemeinsamen Merkmal.

Beim Programmieren in FORTH geht es darum, ein vorhandenes Vokabular zu bereichern oder ein neues Vokabular zu definieren, das sich auf die zu entwickelnde Anwendung bezieht.

## Liste der Vokabeln

Ein Vokabular ist eine geordnete Liste von Wörtern, die vom zuletzt erstellten Wort bis zum zuletzt erstellten Wort durchsucht wird. Die Suchreihenfolge ist ein Stapel von Vokabeln. Durch das Ausführen eines Vokabularnamens wird der oberste Rand des Suchreihenfolgestapels durch dieses Vokabular ersetzt.

Um die Liste der verschiedenen in ESP32forth verfügbaren Vokabulare anzuzeigen, verwenden wir das Wort **voclist** :

```
-> internals voclist \ wird angezeigt
registers
ansi
editor
streams
tasks
rtos
sockets
Serial
ledc
SPIFFS
SD_MMC
SD
WiFi
Wire
ESP
structures
internalized
internals
FORTH
```

Diese Liste ist nicht begrenzt. Wenn wir bestimmte Erweiterungen kompilieren, können zusätzliche Vokabulare erscheinen.

Das Hauptvokabular heißt **FORTH** . Alle anderen Vokabeln sind dem **FORTH**- Vokabular zugeordnet .

## Grundlegende Vokabeln

Hier ist die Liste der wichtigsten Vokabeln, die in ESP32forth verfügbar sind :

- **ansi**- Anzeigeverwaltung in einem ANSI-Terminal;
- **editor** bietet Zugriff auf Befehle zum Bearbeiten von Blockdateien;
- **oled** Management von 128 x 32 oder 128 x 64 Pixel großen OLED-Displays. Der Inhalt dieses Vokabulars ist erst nach dem Kompilieren der Erweiterung **oled.h** **verfügbar** ;
- **structures** komplexer Strukturen;

## Liste der Vokabelinhalte

Um den Inhalt eines Vokabulars anzuzeigen, verwenden wir das Wort **vlist** , nachdem wir zuvor das entsprechende Vokabular ausgewählt haben:

```
sockets vlist
```

**Sockets**- Vokabular aus und zeigt seinen Inhalt an:

```
--> sockets vlist  \ zeigt an:  
ip. ip# ->h_addr ->addr! ->addr@ ->port! ->port@ sockaddr l, s, bs, SO_REUSEADDR  
SOL_SOCKET sizeof(sockaddr_in) AF_INET SOCK_RAW SOCK_DGRAM SOCK_STREAM  
socket setsockopt bind listen connect sockaccept select poll send sendto  
sendmsg recv recvfrom recvmsg gethostbyname errno sockets-builtins
```

Durch die Auswahl eines Vokabulars erhalten Sie Zugriff auf die in diesem Vokabular definierten Wörter.

Beispielsweise ist das Wort **voclist** nicht zugänglich, ohne zuvor die Vokularinterna aufzurufen .

Das gleiche Wort kann in zwei verschiedenen Vokabularien definiert werden und zwei unterschiedliche Aktionen haben: Das Wort **l** ist sowohl im **asm** als auch **im editor** Vokabular definiert .

Noch deutlicher wird dies beim Wort **server**, das in den Vokabularien **httpd** , **telnetd** und **web-interface** definiert ist .

## Verwendung von Vokabeln

Um ein Wort zusammenzustellen, das in einem anderen Vokabular als FORTH definiert ist, gibt es zwei Lösungen. Die erste Lösung besteht darin, einfach dieses Vokabular aufzurufen, bevor das Wort definiert wird, das Wörter aus diesem Vokabular verwendet.

Hier definieren wir ein Wort **vom serial2-type**, das das im seriellen Vokabular definierte Wort **serial2** verwendet :

```
serial \ Auswahlvokabular serial
: serial2-type ( a n -- )
    Serial2.write drop
;
```

Mit der zweiten Lösung können Sie ein einzelnes Wort aus einem bestimmten Vokabular integrieren:

```
: serial2-type ( a n -- )
    \ Wort aus Vokabular serial kompilieren
    [ serial ] Serial2.write [ FORTH ]
    drop
;
```

Die Auswahl eines Vokabulars kann implizit aus einem anderen Wort im FORTH-Vokabular erfolgen.

## Verkettung von Vokabeln

Die Reihenfolge, in der ein Wort in einem Vokabular gesucht wird, kann sehr wichtig sein. Bei Wörtern mit demselben Namen beseitigen wir Unklarheiten, indem wir die Suchreihenfolge in den verschiedenen Vokabeln steuern, die uns interessieren.

Bevor wir eine Vokabularkette erstellen, beschränken wir die Suchreihenfolge mit **only**:

```
asm xtensa
order \ zeigt:      xtensa >> asm >> FORTH
only
order \ zeigt:      FORTH
```

Anschließend duplizieren wir die Verkettung der Vokabeln mit dem Wort **also** :

```
only
order \ zeigt:      FORTH
asm also
order \ zeigt:      asm >> FORTH
xtensa
order \ zeigt:      xtensa >> asm >> FORTH
```

Hier ist eine kompakte Verkettungssequenz:

```
only asm also xtensa
```

Das letzte so verkettete Vokabular wird als erstes erforscht, wenn wir ein neues Wort ausführen oder kompilieren.

```
only
order \ zeigt:      FORTH
also ledc also serial also SPIFFS
```

```
order      \ zeigt:      SPIFFS >> FORTH
          \                         Serial >> FORTH
          \                         ledc >> FORTH
          \                         FORTH
```

Die Suchreihenfolge beginnt hier mit dem **SPIFFS**- Vokabular , dann mit **serial** , dann mit **ledc** und schließlich mit dem **FORTH**- Vokabular :

- Wenn das gesuchte Wort nicht gefunden wird, liegt ein Kompilierungsfehler vor;
- Wenn das Wort in einem Vokabular gefunden wird, wird dieses Wort zusammengestellt, auch wenn es im folgenden Vokabular definiert ist.

# Verzögerte Aktionswörter

Wörter mit verzögerter Aktion werden durch das Definitionswort **defer** definiert. Um die Mechanismen und das Interesse an der Nutzung dieser Wortart zu verstehen, schauen wir uns die Funktionsweise des internen Interpreters der FORTH-Sprache genauer an.

Jede durch : (Doppelpunkt) kompilierte Definition enthält eine Folge codierter Adressen, die den Codefeldern der zuvor kompilierten Wörter entsprechen. Im Herzen des FORTH-Systems akzeptiert das Wort **EXECUTE** diese Codefeldadressen als Parameter, Adressen, die wir mit **cfa** für *Code Field Address* abkürzen. Jedes FORTH-Wort hat ein **cfa** und diese Adresse wird vom internen FORTH-Interpreter verwendet:

```
' <Wort>
\ legt das CFA von <Wort> auf dem Datenstapel ab
```

Beispiel:

```
' WORDS
\ stapelt die WORDS cfa.
```

Aus diesem **cfa**, bekannt als einziger Literalwert, kann die Ausführung des Wortes mit **EXECUTE** erfolgen :

```
' WORDS EXECUTE
\ führt WORDS aus
```

Natürlich wäre es einfacher gewesen, **WORDS** direkt einzugeben. Sobald ein **cfa** als einziger Literalwert verfügbar ist, kann er manipuliert und insbesondere in einer Variablen gespeichert werden:

```
variable vector
' WORDS vector !
vector @ .
\ zeigt cfa der in der Vektorvariablen gespeicherten WORDS an
```

Sie können **WORDS** indirekt über den Inhalt von **vector** ausführen :

```
vector @ EXECUTE
```

Dadurch wird die Ausführung des Wortes gestartet, dessen **cfa** in der **vektor** Variablen gespeichert und dann vor der Verwendung durch **EXECUTE** wieder auf den Stapel gelegt wurde.

**Defer**- Definitionsworts ausgenutzt wird. Zur Vereinfachung erstellt **defer** einen Header im Wörterbuch, wie eine **variable** oder **eine constant**, aber anstatt einfach eine Adresse oder einen Wert auf dem Stapel abzulegen, startet es die Ausführung des Wortes, dessen **cfa** im parametrischen Bereich des definierten Wortes gespeichert **wurde** durch **defer**.

## Definition und Verwendung von Wörtern mit defer

Die Initialisierung eines durch **defer** definierten Wortes erfolgt durch **is** :

```
defer vector
' words is vector
```

Durch die Ausführung **des vector** wird das Wort ausgeführt, dessen **cfa** zuvor zugewiesen wurde :

```
vector      \ führt words aus
```

Ein von **defer** erstelltes Wort wird verwendet, um ein anderes Wort auszuführen, ohne dieses Wort explizit aufzurufen. Das Hauptinteresse dieser Wortart liegt vor allem in der Möglichkeit, das auszuführende Wort zu modifizieren:

```
' page is vector
```

Der **Vektor** führt jetzt **page** und nicht mehr **words** aus.

Wir verwenden die durch **defer** definierten Wörter im Wesentlichen in zwei Situationen:

- Definition einer Vorwärtsreferenz;
- Definition eines Wortes abhängig vom Betriebskontext.

Im ersten Fall ermöglicht die Definition einer Vorreferenz die Überwindung der Zwänge des unantastbaren Vorrangs von Definitionen.

Im zweiten Fall ermöglicht die Definition eines Wortes in Abhängigkeit vom Betriebskontext, die meisten Schnittstellenprobleme mit einer sich entwickelnden Softwareumgebung zu lösen, die Portabilität von Anwendungen aufrechtzuerhalten und das Verhalten eines Programms an Situationen anzupassen, die von verschiedenen gesteuert werden Parameter ohne Beeinträchtigung der Softwareleistung.

## Festlegen einer Vorwärtsreferenz

Im Gegensatz zu anderen Compilern erlaubt FORTH nicht, ein Wort vor seiner Definition in eine Definition zu kompilieren. Dies ist das Prinzip der Vorrangigkeit von Definitionen:

```
: word1 ( ---)    word2      ;
: word2 ( ---)      ;
```

von **word1** zu einem Fehler , da **word2** noch nicht definiert ist. So umgehen Sie diese Einschränkung mit **defer** :

```
defer word2
: word1 ( ---)    word2      ;
: (word2) ( ---)      ;
' (word2) is word2
```

Dieses Mal wurde **word2** ohne Fehler kompiliert. Es ist nicht erforderlich, dem vektorisierten Ausführungswort **word2** ein cfa zuzuweisen . Erst nach der Definition von **(word2)** wird der Parameterbereich von **word2** aktualisiert. Nach der Zuweisung des

vektorierten Ausführungsworts **word2** kann **word1** den Inhalt seiner Definition fehlerfrei ausführen . Die Ausbeutung von Wörtern, die durch **defer** geschaffen wurden , muss in dieser Situation die Ausnahme bleiben.

## Abhängigkeit vom Betriebskontext

ESP32forth nutzt nativ eine Verbindung über den seriellen Port 1 als Ein- und Ausgabestream.

Im ESP32forth-Quellcode finden wir diese Zeilen:

```
defer type  
defer key  
defer key?
```

Um den seriellen Port zu passieren, initialisiert ESP32forth das **type** wie folgt:

```
' default-type is type
```

Wenn wir ESP32forth im Servermodus aktivieren, wird **type** wie folgt umgeleitet :

```
: server ( port -- )  
  server  
  ['] serve-key is key  
  ['] serve-type is type  
  webserver-task start-task  
;  
;
```

Hier ist die **type** Umleitung, wenn wir einen TELNET-Fluss verwenden:

```
: connection ( n -- )  
  dup 0< if drop exit then to clientfd  
  0 echo !  
  ['] telnet-key is key  
  ['] telnet-type is type quit ;
```

Und wenn wir die Textanzeige auf ein OLED-Display umleiten wollten, müssten wir genauso auf die Schriftart **reagieren** . Im Kapitel *Einrichten des REYAX RYLR890 LoRa-Senders* nutzen wir diese **type** Eigenschaft wie folgt aus:

```
serial \ Serielles Vokabular auswählen  
: serial2-type ( a n -- )  
  Serial2.write drop ;  
: typeToLoRa ( -- )  
  0 echo ! \ Anzeigeecho vom Terminal deaktivieren  
  ['] serial2-type ist der Typ  
;  
: typeToTerm ( -- )  
  ['] default-type is type  
  -1 echo ! \ Anzeigeecho vom Terminal aktivieren  
;
```

Dadurch wird es sehr einfach, einen Textstrom an die serielle Schnittstelle 2 zu übertragen :

```

: optionChoice
    ." choice option:" ;
optionChoice      \ Auswahloptionen anzeigen: auf dem Terminal
typeToLoRa
optionChoice      \ Auswahloptionen anzeigen: bis serial2
typeToTerm        \ stellt die normale Anzeige wieder her

```

In diesem speziellen Fall definieren wir viele Wörter, die es Ihnen ermöglichen, einen LoRa-Sender mit gewöhnlichen Wörtern wie **emit**, **type**, usw... zu steuern. Wenn wir die Übertragung an den seriellen Port 2, also an den LoRa-Sender, nicht aktivieren, können die Wörter, die mit diesem Sender kommunizieren, einfach entwickelt werden :

```

\ Stellen Sie die ADRESSE des LoRa-Senders ein:
\ s" <adress>" Wert im Intervall [0..65535] [?] (Standard 0)
: ATaddress ( addr len -- )
    ." AT+ADDRESS="
    type crlf
,

```

**ATaddress** ausführen , wird der Textstream auf dem Terminal angezeigt. Wenn Sie es richtig befolgt haben, wissen Sie, welches Wort Sie ausführen müssen, um den Fluss von **ATaddress** zum seriellen Port 2 umzuleiten.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass wir dank verzögerter Ausführungswörter auf die Aktion bereits definierter FORTH-Wörter reagieren können.

## Ein praktischer Fall

Sie müssen eine Anwendung mit Anzeigen in zwei Sprachen erstellen. Hier ist eine clevere Möglichkeit, ein durch defer definiertes Wort auszunutzen, um Text auf Französisch oder Englisch zu generieren. Zunächst erstellen wir einfach eine Tagesabelle auf Englisch:

```

:noname s" Saterday" ;
:noname s" Friday" ;
:noname s" Thursday" ;
:noname s" Wednesday" ;
:noname s" Tuesday" ;
:noname s" Monday" ;
:noname s" Sunday" ;

create ENdayNames ( --- addr)
    , , , , ,

```

Dann erstellen wir eine ähnliche Tabelle für die Tage auf Französisch:

```

:noname s" Samedi" ;
:noname s" Vendredi" ;
:noname s" Jeudi" ;
:noname s" Mercredi" ;
:noname s" Mardi" ;
:noname s" Lundi" ;

```

```
:noname s" Dimanche" ;
create FRdayNames ( --- addr)
    . . . . .
```

Schließlich erstellen wir unser verzögertes Aktionswort **dayNames** und wie man es initialisiert:

```
defer dayNames

: in-ENGLISH
  ['] ENdayNames is dayNames  ;

: in-FRENCH
  ['] FRdayNames is dayNames  ;
```

Hier sind nun die Wörter, um diese beiden Tabellen zu verwalten:

```
: _getString { array length -- addr len }
  array
  swap cell *
  + @ execute
  length ?dup if
    min
  then
;

10 value dayLength
: getDay ( n -- addr len )      \ n interval [0..6]
  dayNames dayLength _getString
;
```

Folgendes bewirkt die Ausführung von **getDay** :

```
in-ENGLISH 3 getDay type cr  \ Anzeige: Wednesday
in-FRENCH  3 getDay type cr  \ Anzeige: Mercredi
```

Hier definieren wir das Wort **.dayList** , das den Anfang der Namen der Wochentage anzeigt:

```
: .dayList { size -- }
  size to dayLength
  7 0 do
    i getDay type space
  loop
;

in-ENGLISH 3 .dayList cr  \ display : Sun Mon Tue Wed Thu Fri Sat
in-FRENCH  1 .dayList cr  \ display : D L M M J V S
```

In der zweiten Zeile zeigen wir nur den Anfangsbuchstaben jedes Wochentags an.

In diesem Beispiel nutzen wir **defer**, um die Programmierung zu vereinfachen. In der Webentwicklung würden wir *Vorlagen verwenden*, um mehrsprachige Websites zu verwalten. In FORTH verschieben wir einfach einen Vektor in einem verzögerten Aktionswort. Hier verwalten wir nur zwei Sprachen. Dieser Mechanismus lässt sich leicht auf andere Sprachen erweitern, da wir die Verwaltung von Textnachrichten vom reinen Anwendungsteil getrennt haben.

# Wortschöpfungswörter

FORTH ist mehr als eine Programmiersprache. Es ist eine Metasprache. Eine Metasprache ist eine Sprache, die dazu dient, andere Sprachen zu beschreiben, zu spezifizieren oder zu manipulieren.

Mit ESP32forth können wir die Syntax und Semantik von Programmierwörtern über den formalen Rahmen grundlegender Definitionen hinaus definieren.

**constant** , **variable** und **value** definierten Wörter gesehen . Diese Wörter werden zur Verwaltung digitaler Daten verwendet.

Im Kapitel *Datenstrukturen für ESP32* haben wir auch das Wort **create** verwendet .

Dieses Wort erstellt einen Header, der den Zugriff auf einen im Speicher gespeicherten Datenbereich ermöglicht. Beispiel :

```
create temperatures
    34 , 37 , 42 , 36 , 25 , 12 ,
```

Dabei wird jeder Wert im Parameterbereich des Worts **temperatures** mit dem Wort , gespeichert .

Mit ESP32forth werden wir sehen, wie wir die Ausführung von durch **create** definierten Wörtern anpassen können.

## Die Verwendung des Wortes **does**>

Den Schlüsselwörtern **CREATE** und **DOES>**, die häufig zusammen verwendet werden, um benutzerdefinierte Wörter (Vokabularwörter) mit bestimmten Verhaltensweisen zu erstellen.

So funktioniert es im Allgemeinen in Forth:

- **CREATE** : Dieses Schlüsselwort wird verwendet, um einen neuen Datenraum im ESP32Forth-Wörterbuch zu erstellen. Es braucht ein Argument, nämlich den Namen, den Sie Ihrem neuen Wort geben;
- **DOES>** : Dieses Schlüsselwort wird verwendet, um das Verhalten des Wortes zu definieren, das Sie gerade mit **CREATE** erstellt haben . Es folgt ein Codeblock, der angibt, was das Wort tun soll, wenn es während der Programmausführung angetroffen wird.

Zusammen sieht es ungefähr so aus:

```
forth
CREATE my-new-word
    \ Code, der ausgeführt werden soll, wenn mein-neues-Wort auftritt
DOES>
```

```
;
```

Wenn das Wort **my-new-word** im FORTH-Programm auftritt, wird der im Teil **does>...;** angegebene Code verwendet wird durchgeführt.

```
\ Definieren Sie ein Register, ähnlich einer Konstante
: defREG:
    create ( addr1 -- <name> )
    ,
    does> ( -- regAddr )
    @
;
```

Hier definieren wir das Definitionswort **defREG:**, das genau die gleiche Wirkung hat wie **constant**. Aber warum sollte man ein Wort erschaffen, das die Wirkung eines bereits existierenden Wortes nachahmt?

```
$3FF44004 constant GPIO_OUT_REG
```

Oder

```
$3FF44004 defREG: GPIO_OUT_REG
```

sind ähnlich. Durch die Erstellung unserer Register mit **defREG:** haben wir jedoch folgende Vorteile:

- ein besser lesbarer ESP32forth-Quellcode. Wir erkennen leicht alle Konstanten, die ein ESP32-Register benennen;
- **does>-** Teil von **defREG:** zu ändern , ohne dann die Codezeilen neu schreiben zu müssen, die **defREG:** nicht verwenden würden.

Hier ist ein klassischer Fall, bei dem eine Datentabelle verarbeitet wird:

```
\ Definitionswort für eindimensionales Array
: array ( comp: -- <name> | exec: index <name> -- addr )
    create
    does>
        swap cell * +
    ;
array temperatures
    21 ,      32 ,      45 ,      44 ,      28 ,      12 ,
0 temperatures @ .  \anzeige 21
5 temperatures @ .  \anzeige 12
```

Der Ausführung von **temperatures** muss die Position des zu extrahierenden Werts in dieser Tabelle vorangestellt werden. Hier erhalten wir nur die Adresse, die den zu extrahierenden Wert enthält.

## Beispiel für Farbmanagement

In diesem ersten Beispiel definieren wir das Wort **color:**, das die auszuwählende Farbe abruft und in einer Variablen speichert:

```

0 value currentCOLOR

\ Wort als COLOR-Konstante definieren
: color: ( n -- <name> )
    create
    ,
    does>
        @ to currentCOLOR
;

$00 color: setBLACK
$ff color: setWHITE

```

Das Ausführen des Wortes **setBLACK** oder **setWHITE** vereinfacht den ESP32forth-Code erheblich. Ohne diesen Mechanismus hätte eine dieser Zeilen regelmäßig wiederholt werden müssen:

```
$00 currentCOLOR !
```

Oder

```
$00 constant BLACK
BLACK currentCOLOR !
```

## Beispiel: Schreiben in Pinyin

Pinyin wird auf der ganzen Welt häufig verwendet, um die Aussprache des Mandarin-Chinesisch zu lehren, und es wird auch in verschiedenen offiziellen Kontexten in China verwendet, beispielsweise auf Straßenschildern, Wörterbüchern und Lernbüchern. Es erleichtert Menschen, deren Muttersprache das lateinische Alphabet verwendet, Chinesisch zu lernen.

Um Chinesisch auf einer QWERTZ-Tastatur zu schreiben, verwenden Chinesen im Allgemeinen ein System namens „Pinyin-Eingabe“. Pinyin ist ein System zur Romanisierung des Mandarin-Chinesisch, das das lateinische Alphabet verwendet, um die Laute des Mandarin darzustellen.

Auf einer QWERTZ-Tastatur geben Benutzer Mandarin-Lautlaute in Pinyin-Romanisierung ein. Wenn jemand beispielsweise das Zeichen „你“ schreiben möchte („ní“, was auf Englisch „tu“ oder „toi“ bedeutet), kann er „ni“ eingeben.

In diesem sehr vereinfachten Code können Sie Pinyin-Wörter so programmieren, dass sie in Mandarin geschrieben werden. Der folgende Code funktioniert nur mit dem PuTTY-Terminal:

```
\ Funktioniert nur mit dem PuTTY-Terminal
Interna
internals
: chinese:
    create ( c1 c2 c3 -- )
        c, c, c,
```

```
does>
  3 serial-type
;
forth
```

Um den UTF8-Code eines chinesischen Schriftzeichens zu finden, kopieren Sie das chinesische Schriftzeichen, beispielsweise aus Google Translate. Beispiel :

```
Guten Morgen -> 早安 (Zao an)
```

Kopieren Sie 早, gehen Sie zum PuTTy-Terminal und geben Sie Folgendes ein:

```
key key key \ gefolgt von der Taste <Enter>
```

Fügen Sie das Zeichen 早 ein. ESP32forth sollte die folgenden Codes anzeigen:

```
230 151 169
```

Für jedes chinesische Schriftzeichen verwenden wir diese drei Codes wie folgt:

```
169 151 230 chinese: Zao
137 174 229 chinese: An
```

Verwenden :

```
Zao An      \ display 早安
```

Geben Sie zu, dass eine solche Programmierung etwas anderes ist als das, was Sie in der Sprache C tun können. Nein?

# **Passen Sie Steckbretter an das ESP32-Board an**

## **Testplatten für ESP32**

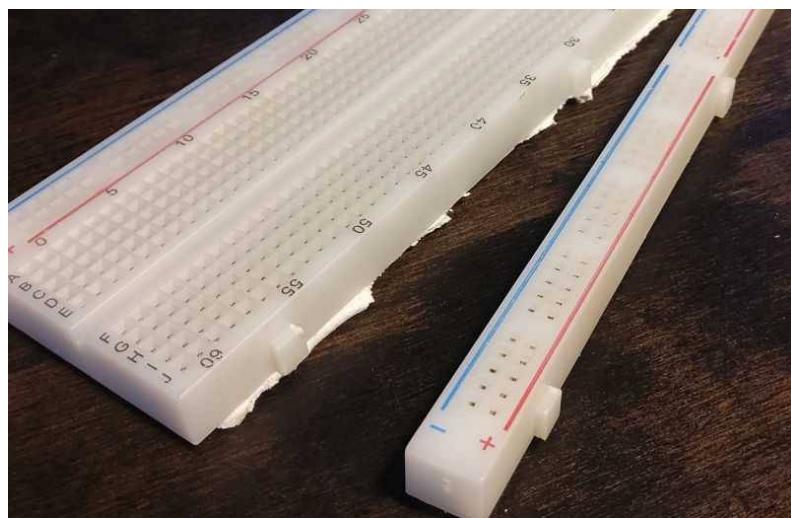
Sie haben gerade Ihre ESP32-Karten erhalten. Und die erste böse Überraschung: Diese Karte passt sehr schlecht auf das Testboard:



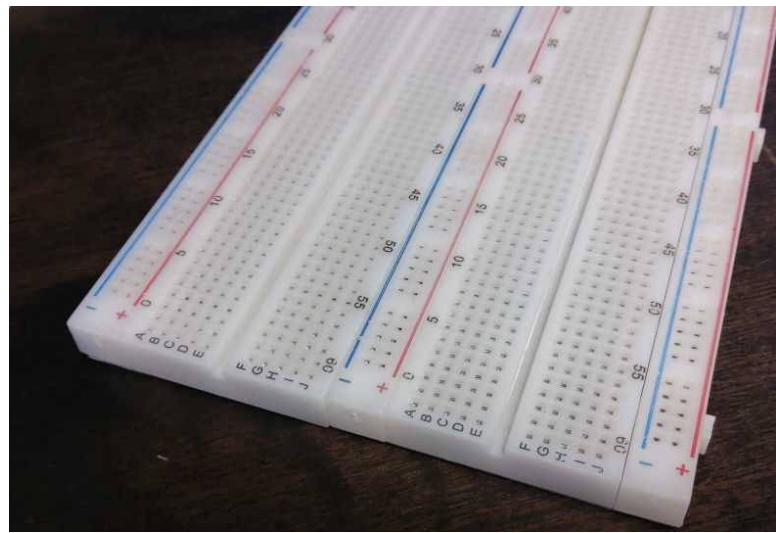
Es gibt kein Steckbrett, das speziell für ESP32-Boards geeignet ist.

## **Bauen Sie ein Steckbrett, das für das ESP32-Board geeignet ist**

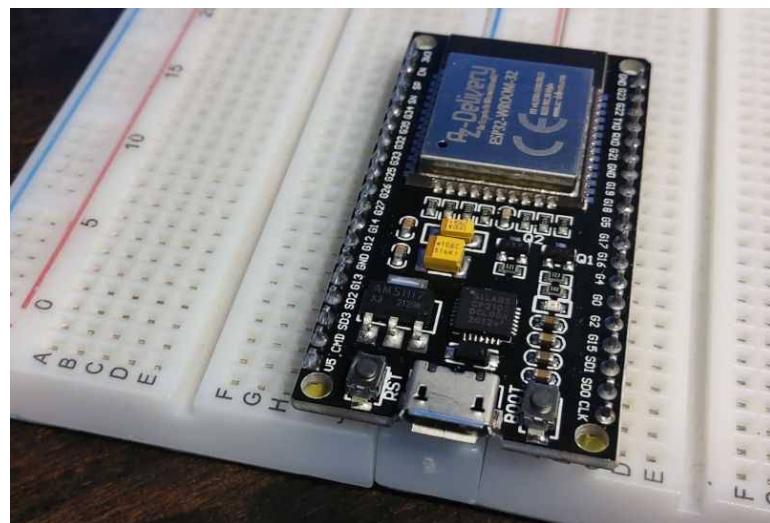
Wir werden unsere eigene Testplatte bauen. Dazu benötigen Sie zwei identische Testplatten. Auf einer der Platten werden wir eine Stromleitung entfernen. Verwenden Sie dazu einen Cutter und schneiden Sie von unten. Sie sollten diese Stromleitung folgendermaßen trennen können:



Mit dieser Karte können wir dann die gesamte Karte wieder zusammensetzen. An den Seiten der Testplatten befinden sich Sparren, um diese miteinander zu verbinden:



Und los geht's! Jetzt können wir unsere ESP32-Karte platzieren:



I/O-Ports können problemlos erweitert werden.

# Stromversorgung der ESP32-Karte

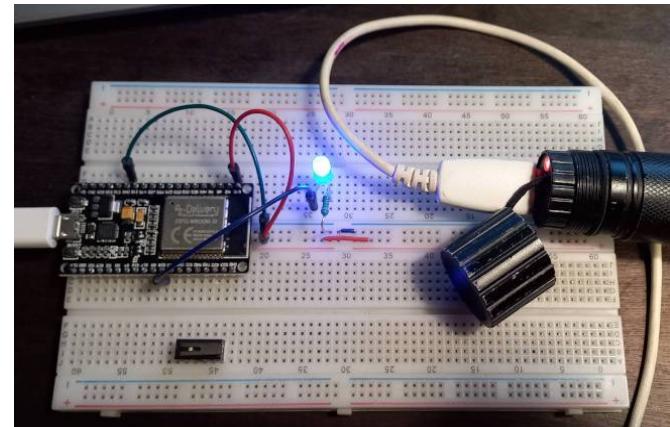
## Wahl der Stromquelle

Hier erfahren Sie, wie Sie eine ESP32-Karte mit Strom versorgen. Ziel ist es, Lösungen für die Ausführung von FORTH-Programmen bereitzustellen, die von ESP32forth kompiliert wurden.

## Stromversorgung über Mini-USB-Anschluss

Dies ist die einfachste Lösung. Wir ersetzen die vom PC kommende Stromversorgung durch eine andere Quelle:

- eine Netzstromversorgung, wie sie zum Aufladen eines Mobiltelefons verwendet wird;
- ein Backup-Akku für ein Mobiltelefon (Powerbank).



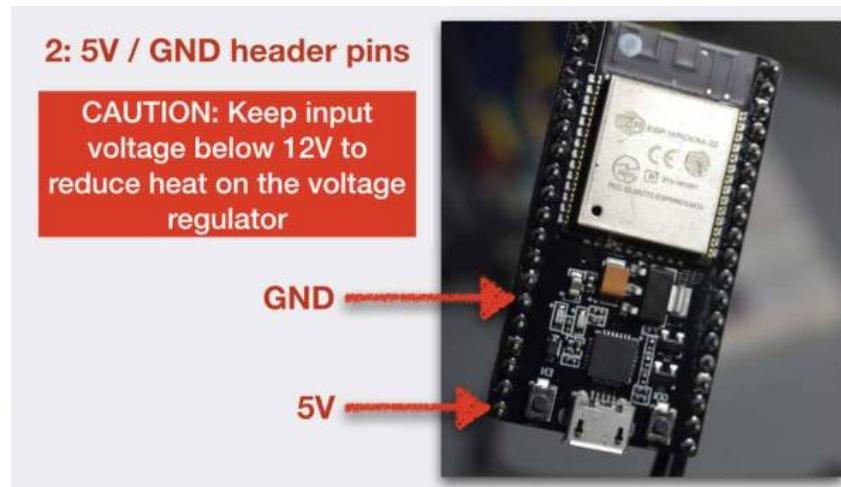
Hier versorgen wir unser ESP32-Board mit einem Backup-Akku für mobile Geräte.

## Stromversorgung über 5V-Pin

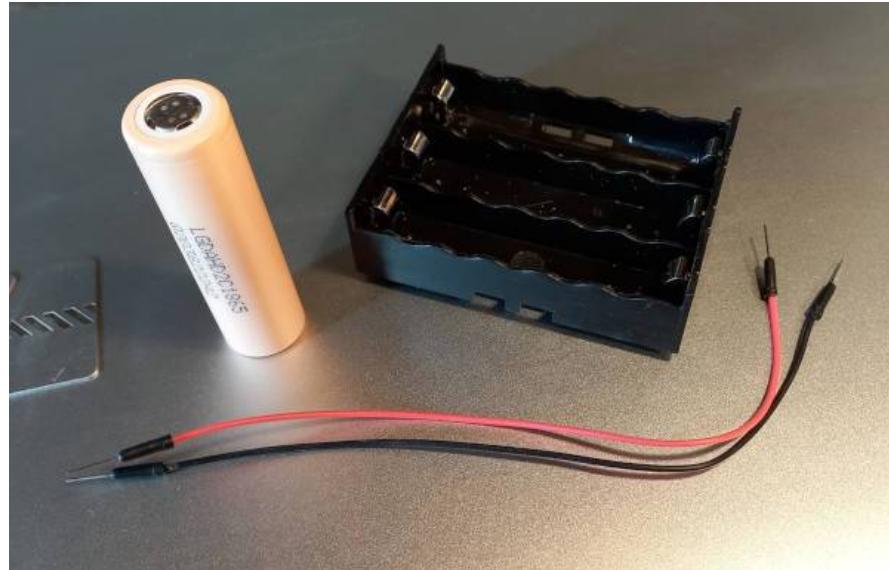
Die zweite Möglichkeit besteht darin, eine externe ungeregelte Stromversorgung an den 5-V-Pin und Masse anzuschließen. Alles zwischen 5 und 12 Volt sollte funktionieren.

Es ist jedoch am besten, die Eingangsspannung bei etwa 6 oder 7 Volt zu halten, um zu vermeiden, dass zu viel Strom durch Wärme am Spannungsregler verloren geht.

Hier sind die Anschlüsse, die eine externe 5-12-V-Stromversorgung ermöglichen:



Um die 5V-Stromversorgung nutzen zu können, benötigen Sie folgende Ausrüstung:



- zwei 3,7-V-Lithiumbatterien
- ein Batteriehalter
- zwei Dupont-Söhne

Wir löten ein Ende jedes Dupont-Kabels an die Anschlüsse der Batteriehalterung. Hier nimmt unser Halter drei Batterien auf. Wir werden nur eine Batterieeinheit betreiben. Die Batterien sind in Reihe geschaltet.

Sobald die Dupont-Drähte verlötet sind, installieren wir die Batterie und prüfen, ob die Ausgangspolarität eingehalten wird:



Jetzt können wir unsere ESP32-Karte über den 5-V-Pin mit Strom versorgen.

**ACHTUNG :** Die Batteriespannung muss zwischen 5 und 12 Volt liegen.

## Automatischer Start eines Programms

Wie können wir sicher sein, dass die ESP32-Karte gut funktioniert, sobald sie mit unseren Batterien betrieben wird?

Die einfachste Lösung besteht darin, ein Programm zu installieren und dieses Programm so einzustellen, dass es automatisch startet, wenn die ESP32-Karte eingeschaltet wird. Komplizieren Sie dieses Programm:

```
18 constant myLED

0 value LED_STATE

: led.on ( -- )
    HIGH dup myLED pin
    to LED_STATE
;

: led.off ( -- )
    LOW dup myLED pin
    to LED_STATE
;

timers also \ select timers vocabulary

: led.toggle ( -- )
    LED_STATE if
        led.off
    else
        led.on
    then
    0 rerun
;

: led.blink ( -- )
    myLED output pinMode
    ['] led.toggle 500000 0 interval
    led.toggle
;

startup: led.blink
bye
```

Installieren Sie eine LED am G18-Pin.

Schalten Sie den Strom aus und schließen Sie die ESP32-Karte wieder an. Wenn alles gut gelaufen ist, sollte die LED nach einigen Sekunden blinken. Dies ist ein Zeichen dafür, dass das Programm ausgeführt wird, wenn das ESP32-Board startet.

Ziehen Sie den USB-Anschluss ab und schließen Sie den Akku an. Das ESP32-Board sollte hochfahren und die LED blinken.

Das ganze Geheimnis liegt in der `startup: led.blink` . Diese Sequenz friert den von ESP32forth kompilierten FORTH-Code ein und legt das Wort `led.blink` als das Wort fest, das beim Starten von ESP32forth ausgeführt werden soll, sobald die ESP32-Karte eingeschaltet ist.

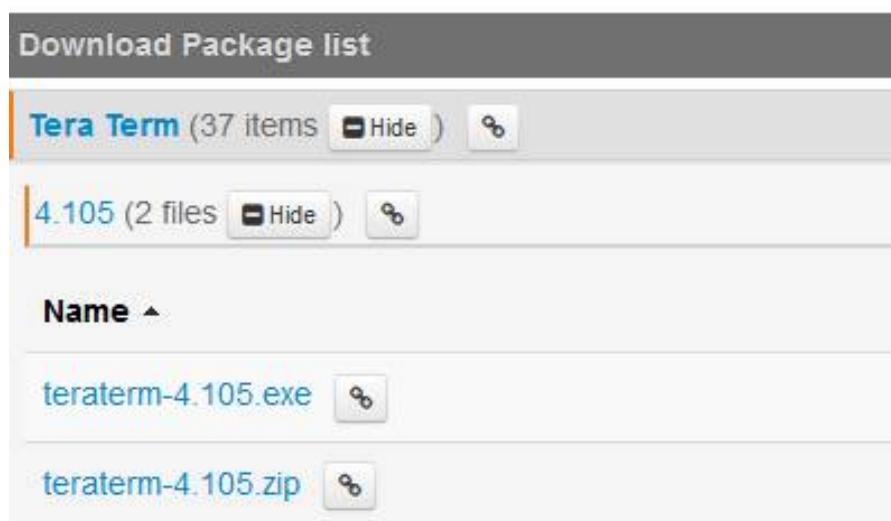
# Installieren und verwenden Sie das Tera Term-Terminal unter Windows

## Installieren Sie Tera Term

Die englische Seite für Tera Term finden Sie hier:

<https://ttssh2.osdn.jp/index.html.en>

Gehen Sie zur Download-Seite und holen Sie sich die EXE- oder ZIP-Datei:

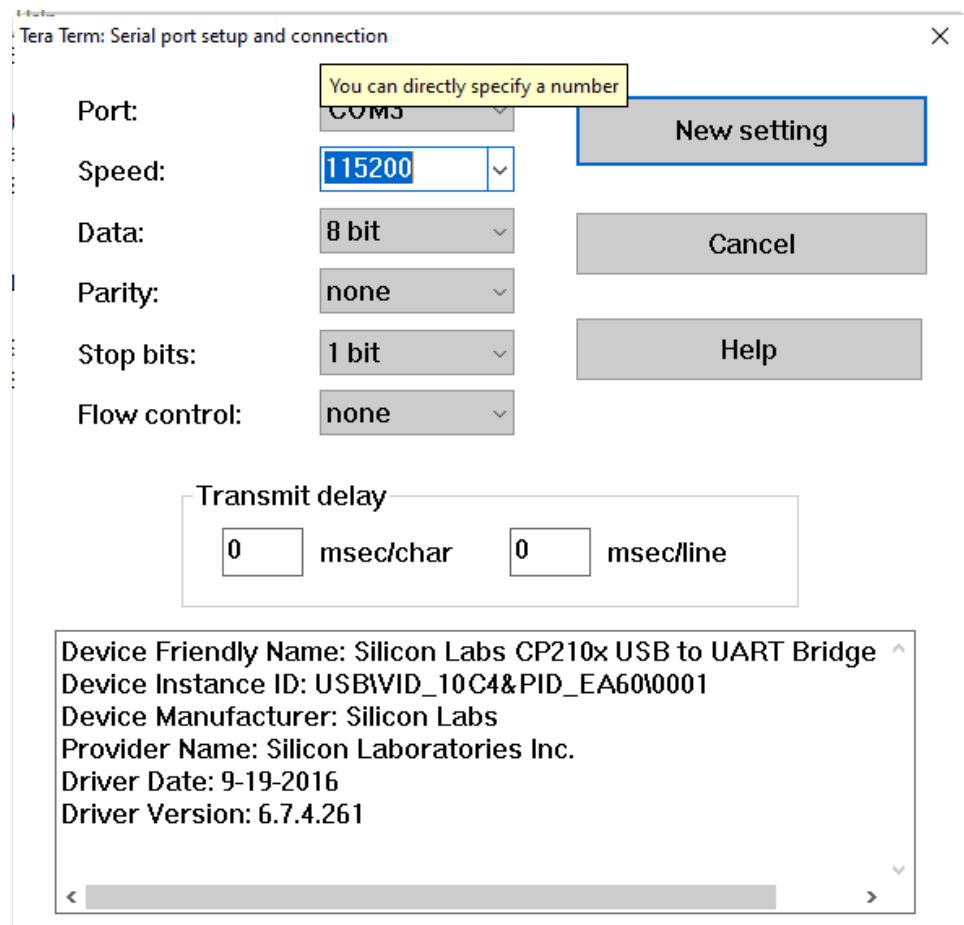


Installieren Sie Tera Term. Die Installation ist schnell und einfach.

## Tera Term einrichten

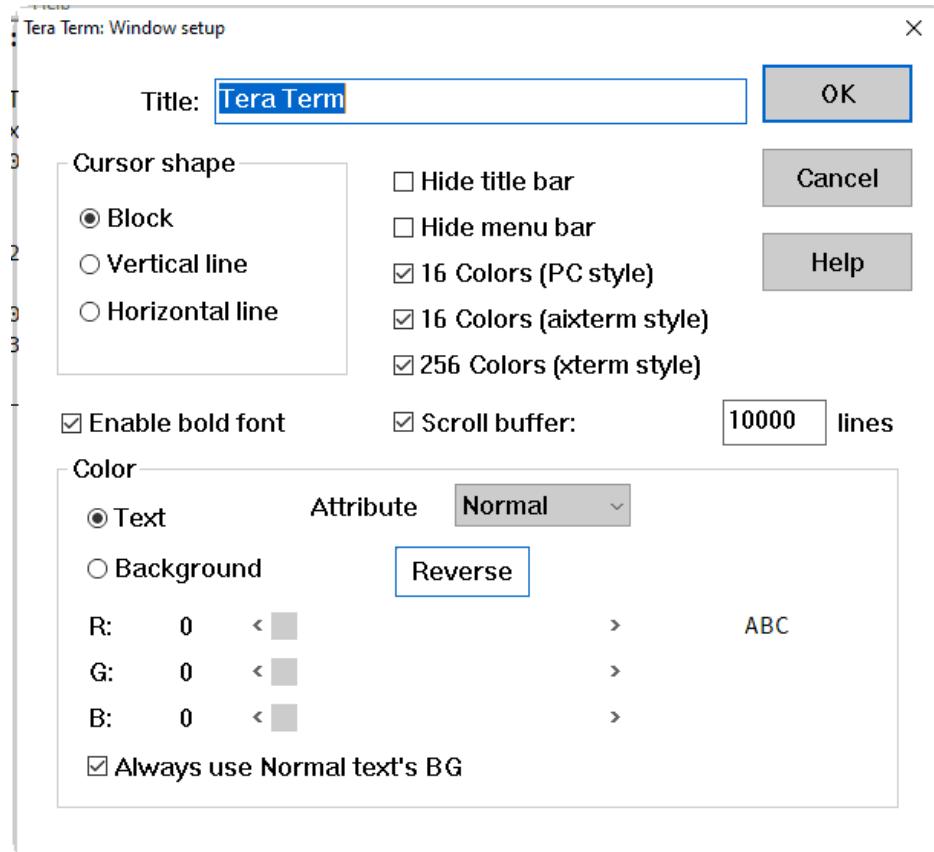
Um mit der ESP32-Karte zu kommunizieren, müssen Sie bestimmte Parameter anpassen:

- Klicken Sie auf Konfiguration -> Serieller Port



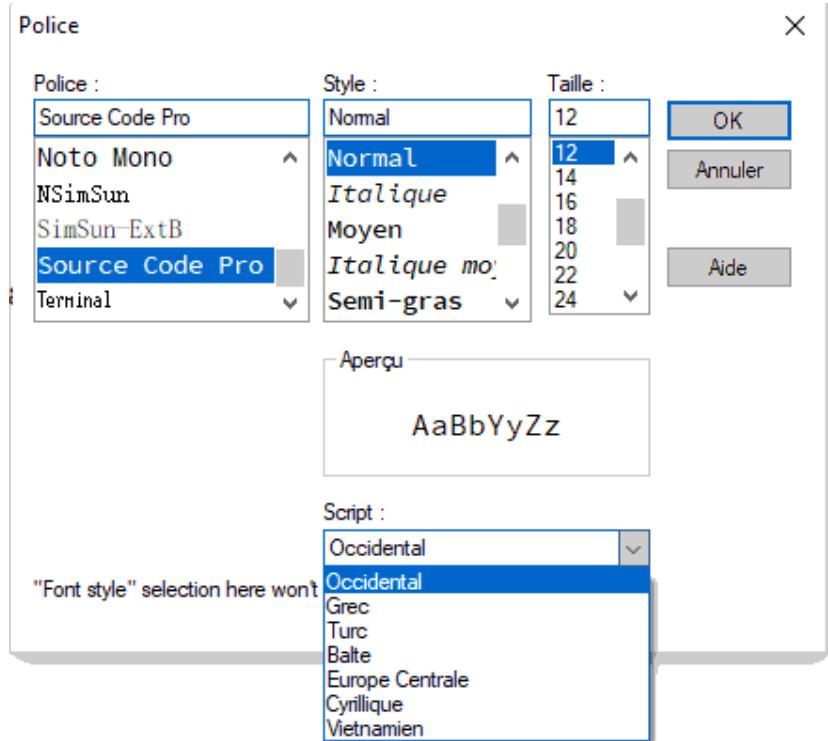
Für komfortables Betrachten:

- Klicken Sie auf Konfiguration -> Fenster



Für lesbare Zeichen:

- Klicken Sie auf Konfiguration -> Schriftart



Um alle diese Einstellungen beim nächsten Start des Tera Term-Terminals wiederzufinden, speichern Sie die Konfiguration:

- Klicken Sie auf *Setup -> Setup speichern*
- Akzeptieren Sie den Namen **TERATERM.INI**.

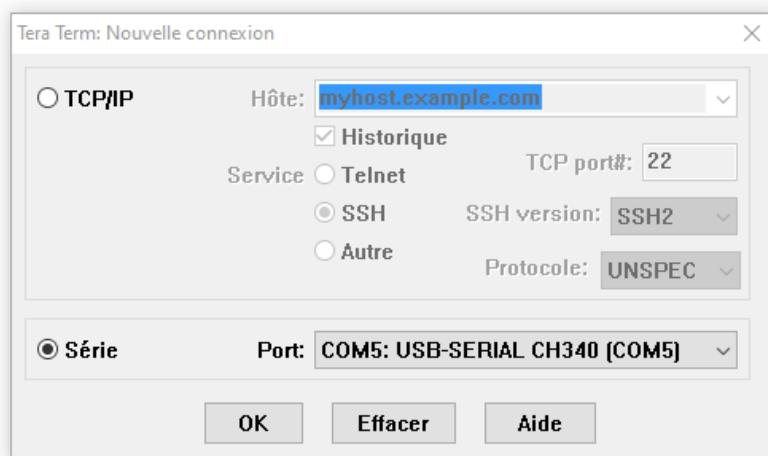
## Verwendung von Tera Term

Schließen Sie nach der Konfiguration Tera Term.

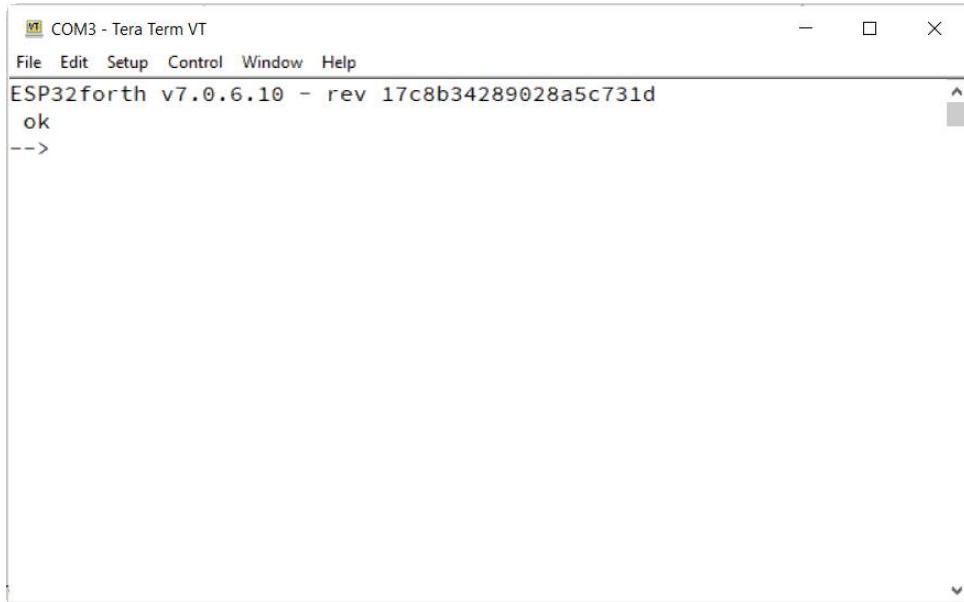
Verbinden Sie Ihr ESP32-Board mit einem freien USB-Anschluss Ihres PCs.

Starten Sie Tera Term neu und klicken Sie dann auf *Datei -> Neue Verbindung*

Wählen Sie den seriellen Port aus :



Wenn alles gut gelaufen ist, sollten Sie Folgendes sehen:



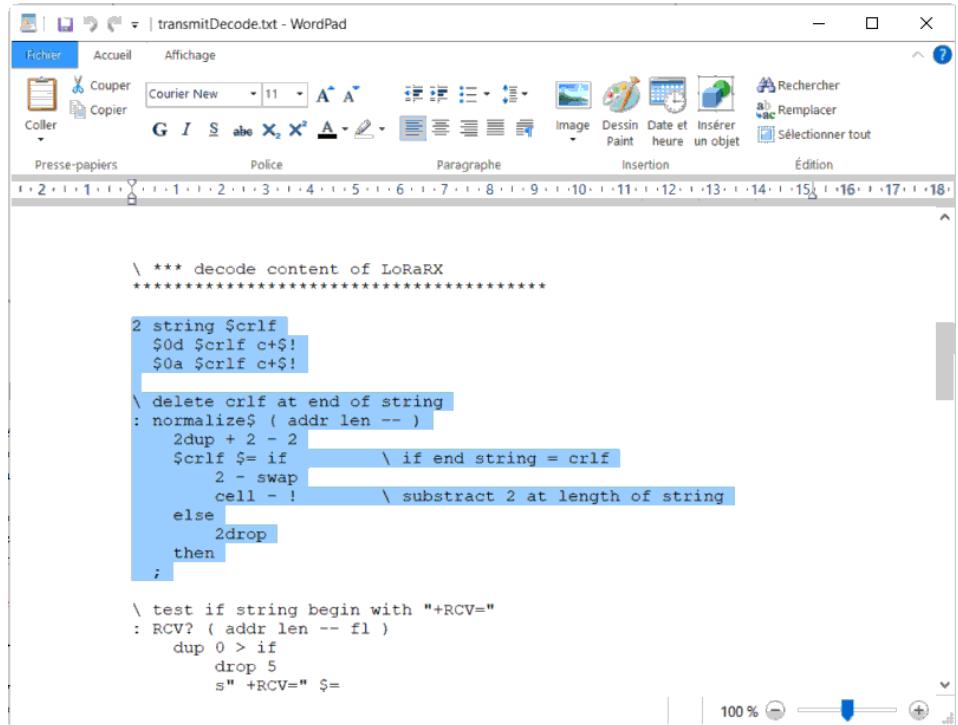
The screenshot shows a window titled "COM3 - Tera Term VT". The menu bar includes "File", "Edit", "Setup", "Control", "Window", and "Help". Below the menu, the text "ESP32forth v7.0.6.10 - rev 17c8b34289028a5c731d" is displayed. The main window contains the text "ok" followed by a double arrow symbol ("-->").

## Kompilieren Sie den Quellcode in der Forth-Sprache

Denken wir zunächst daran, dass sich die FORTH-Sprache auf dem ESP32-Board befindet! FORTH ist nicht auf Ihrem PC. Daher können Sie den Quellcode eines Programms in der FORTH-Sprache nicht auf dem PC kompilieren.

Um ein Programm in der FORTH-Sprache zu kompilieren, müssen Sie zunächst eine Quelldatei auf dem PC mit dem Editor Ihrer Wahl öffnen.

Anschließend kopieren wir den Quellcode zum Kompilieren. Hier Open-Source-Code mit Wordpad:



```
\ *** decode content of LoRaRX
*****
2 string $crlf
$0d $crlf c+$!
$0a $crlf c+$!

\ delete crlf at end of string
: normalize$ ( addr len -- )
  2dup + 2 - 2
  $crlf $= if           \ if end string = crlf
    2 - swap
    cell - !             \ subtract 2 at length of string
  else
    2drop
  then
;

\ test if string begin with "+RCV="
: RCV? ( addr len -- fl )
  dup 0 > if
    drop 5
    s" +RCV=" $=
```

Der Quellcode in FORTH-Sprache kann mit jedem Texteditor erstellt und bearbeitet werden: Notepad, PSPad, Wordpad.

Persönlich verwende ich die Netbeans-IDE. Mit dieser IDE können Sie Quellcodes in vielen Programmiersprachen bearbeiten und verwalten.

Wählen Sie den Quellcode oder Teil des Codes aus, der Sie interessiert. Klicken Sie dann auf Kopieren. Der ausgewählte Code befindet sich im PC-Bearbeitungspuffer.

Klicken Sie auf das Tera Term-Terminalfenster. Paste herstellen.

Bestätigen Sie einfach durch Klicken auf „OK“ und der Code wird interpretiert und/oder kompiliert. Um kompilierten Code auszuführen, geben Sie einfach das Wort FORTH zum Starten über das Tera Term-Terminal ein.

# Verwaltung von Quelldateien nach Blöcken

## Die Blöcke

Hier ein Block auf einem alten Computer :

```
BIK# 2 of 23 ; File=Forth Blocks
( Finger Painting Window Definition )

NEW.WINDOW SHEET
    " Finger Paint Window"  SHEET W.TITLE
    60 5 200 300           SHEET W.BOUNDS
    SIZE.BOX CLOSE.BOX +  SHEET W.ATTRIBUTES
    SYS.WINDOW             SHEET W.BEHIND

SHEET ADD.WINDOW
```

Ein Block ist ein Speicherplatz, dessen Einheit 16 Zeilen mit 64 Zeichen umfasst. Die Größe eines Blocks beträgt also  $16 \times 64 = 1024$  Bytes. Es ist genau so groß wie ein Kilobyte!

## Öffnen Sie eine Blockdatei

Eine Datei ist standardmäßig bereits geöffnet, wenn ESP32forth startet.

Datei **blocks.fb** .

Im Zweifelsfall führen Sie **default-use** aus .

Um herauszufinden, was in dieser Datei enthalten ist, verwenden Sie die Editor-Befehle, indem Sie zuerst **editor** eingeben .

Hier sind unsere ersten Befehle, die Sie kennen sollten, um den Inhalt von Blöcken zu verwalten:

- **l** listet den Inhalt des aktuellen Blocks auf
- **n** wählt den nächsten Block aus
- **p** wählt den vorherigen Block aus

ACHTUNG: Ein Block hat immer eine Nummer zwischen 0 und n. Wenn Sie am Ende eine negative Blocknummer erhalten, wird ein Fehler generiert.

# Bearbeiten Sie den Inhalt eines Blocks

Nachdem wir nun wissen, wie man einen bestimmten Block auswählt, sehen wir uns an, wie man Quellcode in die FORTH-Sprache einfügt ...

Eine Strategie besteht darin, mit einem Texteditor eine Quelldatei auf Ihrem Computer zu erstellen. Sie müssen dann nur noch Ihren Quellcode zeilenweise in die Blockdateien kopieren/einfügen.

Hier sind die wesentlichen Befehle zum Verwalten des Inhalts eines Blocks:

- **Mit wipe** wird der Inhalt des aktuellen Blocks geleert
- **d** löscht Zeile n. Die Zeilennummer muss im Bereich 0..14 liegen. Die folgenden Zeilen bewegen sich nach oben. Beispiel: 3 D löscht den Inhalt von Zeile 3 und ruft den Inhalt der Zeilen 4 bis 15 auf.
- **e** löscht den Inhalt der Zeile n. Die Zeilennummer muss im Bereich 0..15 liegen. Die anderen Zeilen gehen nicht nach oben.
- **a** fügt eine Zeile n ein. Die Zeilennummer muss im Bereich 0..14 liegen. Die nach der eingefügten Zeile liegenden Zeilen werden wieder nach unten verschoben. Beispiel: 3 Ein Test fügt test in Zeile 3 ein und verschiebt den Inhalt der Zeilen 4 nach unten nach 15.
- **r** ersetzt den Inhalt der Zeile n. Beispiel: 3 R test ersetzt den Inhalt von Zeile 3 durch test

Hier ist unser Block 0, der derzeit bearbeitet wird:

```
Block 0
| 0
create sintab \ 0...90 Grad, Index in Grad
0000 , 0175 , 0349 , 0523 , 0698 ,
0872 , 1045 , 1219 , 1392 , 1564 ,
1736 , 1908 , 2079 , 2250 , 2419 ,
2588 , 2756 , 2924 , 3090 , 3256 ,
3420 , 3584 , 3746 , 3907 , 4067 ,
4226 , 4384 , 4540 , 4695 , 4848 ,
5000 , 5150 , 5299 , 5446 , 5592 ,
5736 , 5878 , 6018 , 6157 , 6293 ,
| 10
| 11
| 12
| 13
| 14
| 15
ok
--> 10 R 6428 , 6561 , 6691 , 6820 , 6947 ,
CTRL-A Z for help | 115200 8N1 | NOR | Minicom 2.7.1 | VT102 | Déconr
```

Am unteren Bildschirmrand wird Zeile **10 R 6428, 6561, ....** in unseren Block bei Zeile 10 integriert.

Sie bemerken, dass Zeile 0 keinen Inhalt hat. Dies erzeugt einen Fehler beim Kompilieren des FORTH-Codes. Um dies zu beheben, geben Sie einfach **0 R** gefolgt von zwei Leerzeichen ein.

Mit etwas Übung haben Sie in wenigen Minuten Ihren FORTH-Code in diesen Block eingefügt.

Machen Sie bei Bedarf dasselbe für die folgenden Blöcke. Wenn Sie zum nächsten Block wechseln, erzwingen Sie das Speichern des Inhalts der Blöcke, indem Sie „**flush**“ **eingeben** .

## Blockinhalte zusammenstellen

Bevor wir den Inhalt einer Blockdatei kompilieren, prüfen wir, ob der Inhalt gut gespeichert ist. Dafür:

- Geben Sie **flush** ein und trennen Sie dann die ESP32-Karte.
- Warten Sie einige Sekunden und schließen Sie die ESP32-Karte wieder an.
- Geben Sie **editor** und **l** . Sie müssen Ihren Block 0 mit dem von Ihnen bearbeiteten Inhalt finden.

Um den Inhalt Ihrer Blöcke zusammenzustellen, haben Sie zwei Wörter:

- **load** mit vorangestellter Nummer des Blocks, dessen Inhalt wir ausführen und/oder kompilieren möchten. Um den Inhalt unseres Blocks 0 zu kompilieren, führen wir **0load aus** ;
- **thru** , dem zwei Blocknummern vorangestellt sind, führt den Inhalt der Blöcke aus und/oder kompiliert ihn, als würden wir eine Folge von **Ladewörtern ausführen** . Beispiel: **0 2 bis** führt den Inhalt der Blöcke 0 bis 2 aus und/oder kompiliert ihn.

Die Geschwindigkeit der Ausführung und/oder Kompilierung von Blockinhalten erfolgt nahezu augenblicklich.

## Praktisches Schritt-für-Schritt-Beispiel

Wir werden anhand eines praktischen Beispiels sehen, wie man Quellcode in Block 1 einfügt. Wir nehmen einen Code, der bereit ist, in unseren Block integriert zu werden:

```
1 list
editor
0 r \ tools for REGISTERS definitions and manipulations
1 r : mclr { mask addr -- }      addr @ mask invert and addr !  ;
2 r : mset { mask addr -- }      addr @ mask or addr !  ;
```

```

3 r : mtst { mask addr -- x }  addr @ mask and ;
4 r : defREG: \ define a register, similar as constant
5 r      create ( addr1 -- <name> ) ,
6 r      does> ( -- regAddr )          @ ;
7 r : .reg ( reg -- ) \ display reg content
8 r      base @ >r binary @ <#
9 r      4 for aft 8 for aft # then next
10 r     bl hold then next #>
11 r     cr space ." 33222222 22221111 11111100 00000000"
12 r     cr space ." 10987654 32109876 54321098 76543210"
13 r     cr type r> base ! ;
14 r : defMASK: create ( mask0 position -- )      lshift ,
15 r      does> ( -- mask1 )          @ ;
save-buffers

```

Kopieren Sie einfach Teile des obigen Codes, fügen Sie ihn ein und führen Sie diesen Code über ESP32 Forth aus:

- **1 list** , um auszuwählen und zu sehen, was Block 1 enthält
- **editor** , um den Vokabeleditor auszuwählen
- Kopieren Sie die Zeilen **n r...** in Dreierpaketen und führen Sie sie aus
- **save-buffers** speichert Code fest in einer Blockdatei

Schalten Sie die ESP32-Karte aus. Starten Sie es neu. Wenn Sie **1 list** eingeben, sollte der Code bearbeitet und gespeichert werden.

Um diesen Code zu kompilieren, geben Sie einfach **1 load** ein.

## Abschluss

Der verfügbare Dateispeicher für ESP32forth beträgt etwa 1,8 MB. Sie können daher problemlos Hunderte von Blöcken für Quelldateien in der FORTH-Sprache verwalten. Es wird empfohlen, Quellcodes aus stabilen Codeteilen zu installieren. Somit wird es während der Programmierung viel einfacher, in Ihren Code in der Entwicklungsphase zu integrieren:

```
2 5 thru \ integrierte pwm-Befehle für Motoren
```

anstatt diesen Code systematisch über die serielle Schnittstelle oder WLAN neu zu laden.

Der andere Vorteil von Blöcken besteht darin, dass sie die Einbettung von Parametern, Datentabellen usw. vor Ort ermöglichen, die dann von Ihren Programmen verwendet werden können.

# Bearbeiten von Quelldateien mit VISUAL Editor

## Bearbeiten Sie eine FORTH-Quelldatei

Um eine FORTH-Quelldatei mit ESP32forth zu bearbeiten, verwenden wir den visuellen Editor.

Um eine **dump.fs**- Datei zu bearbeiten , gehen Sie von dem Terminal aus, das an eine ESP32-Karte mit ESP32forth angeschlossen ist, wie folgt vor:

```
visual edit /spiffs/dump.fs
```

Der vollständige **DUMP**- Code ist hier verfügbar:

<https://github.com/MPETREMANN11/ESP32forth/blob/main/tools/dumpTool.txt>

das Wort **edit** folgt das Verzeichnis, in dem die Quelldateien gespeichert sind:

- Wenn die Datei nicht existiert, wird sie erstellt.
- Wenn die Datei vorhanden ist, wird sie im Editor abgerufen.

Notieren Sie sich den Namen der von Ihnen erstellten Datei.

Sie **fs** als Dateierweiterung für **Forth Source** .

## Bearbeiten des FORTH-Codes

Bewegen Sie im Editor den Cursor mit den auf der Tastatur verfügbaren Links-Rechts-Aufwärts-Abwärts-Pfeilen.



Das Terminal aktualisiert die Anzeige jedes Mal, wenn der Cursor bewegt oder der Quellcode geändert wird.

Um den Editor zu verlassen:

- CTRL-S: speichert den Inhalt der aktuell bearbeiteten Datei
- CTRL-X: Bearbeitung beenden:
  - N: ohne Dateiänderungen zu speichern
  - Y: mit Speicherung der Änderungen

## Kompilieren von Dateiinhalten

Das Kompilieren des Inhalts unserer **dump.fs**- Datei erfolgt folgendermaßen:

```
include /spiffs/dump.fs
```

Das Kompilieren geht deutlich schneller als über das Terminal.

Die mit ESP32forth in die ESP32-Karte eingebetteten Quelldateien sind persistent. Nach dem Ausschalten und erneuten Anschließen der ESP32-Karte bleibt die gespeicherte Datei sofort verfügbar.

Sie können so viele Dateien wie nötig definieren.

Daher ist es einfach, in die ESP32-Karte eine Sammlung von Tools und Routinen zu integrieren, aus denen Sie je nach Bedarf schöpfen können.

# Das SPIFFS-Dateisystem

ESP32Forth enthält ein rudimentäres Dateisystem im internen Flash-Speicher. Der Zugriff auf die Dateien erfolgt über eine serielle Schnittstelle namens SPIFFS für Serial Peripheral Interface Flash File System.

Auch wenn das SPIFFS-Dateisystem einfach ist, erhöht es die Flexibilität Ihrer Entwicklungen mit ESP32Forth erheblich:

- Konfigurationsdateien verwalten
- Integrieren Sie auf Anfrage verfügbare Softwareerweiterungen
- Modularisieren Sie Entwicklungen in wiederverwendbare Funktionsmodule

Und viele andere Verwendungsmöglichkeiten, die wir Ihnen zeigen werden...

## Zugriff auf das SPIFFS-Dateisystem

Geben Sie Folgendes ein, um den Inhalt einer durch visuelle Bearbeitung bearbeiteten Quelldatei zu kompilieren:

```
INCLUDE /spiffs/dumpTool.fs
```

Das Wort **include** muss immer vom Terminal aus verwendet werden.

Um die Liste der SPIFFS-Dateien anzuzeigen, verwenden Sie das Wort **ls** :

```
ls /spiffs/  
\ Zeigt an:  
\ dumpTool.fs
```

Hier wurde die Datei **dumpTool.fs** gespeichert. Für SPIFFS sind Dateierweiterungen irrelevant. Dateinamen dürfen keine Leerzeichen oder das /-Zeichen enthalten.

Lassen Sie uns eine neue **myApp.fs**- Datei mit **dem visual editor** bearbeiten und speichern . Lassen Sie uns noch einmal **ls** ausführen :

```
ls /spiffs/  
\ Anzeige:  
\ dumpTool.fs  
\ myApp.fs
```

Das SPIFFS-Dateisystem verwaltet keine Unterordner wie auf einem Linux-Computer. Um ein Pseudoverzeichnis zu erstellen, geben Sie es einfach beim Erstellen einer neuen Datei an. Lassen Sie uns beispielsweise die Datei **other/myTest.fs** bearbeiten . Sobald wir es bearbeitet und gespeichert haben, führen wir **ls aus** :

```
ls /spiffs/
\ Anzeige:
\ dumpTool.fs
\ myApp.fs
\ other/myTest.fs
```

Anderen Pseudoverzeichnis anzeigen möchten , müssen Sie **/spiffs/** mit dem Namen dieses Pseudoverzeichnisses folgen :

```
ls /spiffs/other
\ Anzeige:
\ myTest.fs
```

Es gibt keine Möglichkeit, Dateinamen oder Pseudoverzeichnisse zu filtern.

## Umgang mit Dateien

Um eine Datei vollständig zu löschen, verwenden Sie das Wort **rm** gefolgt vom Namen der zu löschen Datei:

```
rm /spiffs/other/myTest.fs
ls /spiffs/
\ anzeige:
\ dumpTool.fs
\ myApp.fs
```

Um eine Datei umzubenennen, verwenden Sie das Wort **mv** :

```
mv /spiffs/myApp.fs /spiffs/main.fs
ls /spiffs/
\ anzeige:
\ dumpTool.fs
\ main.fs
```

Um eine Datei zu kopieren, verwenden Sie das Wort **cp** :

```
cp /spiffs/main.fs /spiffs/mainTest.fs
ls /spiffs/
\ anzeige:
\ dumpTool.fs
\ main.fs
\mainTest.fs
```

Um den Inhalt einer Datei anzuzeigen, verwenden Sie das Wort **cat** :

```
cat /spiffs/dumpTool.fs
\ zeigt den Inhalt von dumpTool.fs an
```

Um den Inhalt einer Zeichenfolge in einer Datei zu speichern, gehen Sie in zwei Phasen vor:

- Erstellen Sie eine neue Datei mit **touch**
- Dump-Datei speichern mit **dump-file**

```
touch /spiffs/mTest.fs  \ erstellt eine neue mtest,fs-Datei
ls /spiffs/           \ zeigt Folgendes an:
ls /spiffs/

\ Zeichenfolge „Meinen Text in mTest einfügen“ in mTest speichern
r| ." Meinen Text in mTest einfügen" |   s" /spiffs/mTest"    dump-file

include /spiffs/mTest \ zeigt an: Meinen Text in mTest einfügen
```

## Abschluss

Im ESP32forth SPIFFS-Dateisystem gespeicherte Dateien sind dauerhaft verfügbar.

Wenn Sie das ESP32-Board außer Betrieb nehmen und anschließend wieder einstecken, sind die Dateien sofort verfügbar.

Der Inhalt der Dateien kann vor Ort durch **visual edit** geändert werden.

Dieser Komfort wird die Entwicklung viel schneller und einfacher machen.

# Bearbeiten und Verwalten von Quelldateien für ESP32forth

Wie bei den meisten Programmiersprachen liegen in der FORTH-Sprache geschriebene Quelldateien im einfachen Textformat vor. Die Erweiterung von Dateien in der FORTH-Sprache ist kostenlos:

- **txt**- Erweiterung für alle Textdateien;
- **forth** wird von einigen FORTH-Programmierern verwendet;
- **fth** komprimierte Form für FORTH;
- **4th** andere komprimierte Form für FORTH;
- **fs** unsere Lieblingserweiterung...

## Editoren für Textdateien

Editor edit unter Windows, der einfachste:

```
\ ****
\ Sinus and Cosinus
\ Filename: integerSinus.fs
\ Date: 17 juil 2021
\ File Version: 1.0
\ MCU: ESP32-WROOM-32
\ Forth: ESP32forth all versions 7.x++
\ Copyright: Marc PETREMANN
\ Author: Marc PETREMANN
\ GNU General Public License
\ ****

\ Sinus and Cosinus
\ Use table calculating integer sin.
\ Get values scaled by 10K.

create sintab \ 0...90 Grad, Index in Grad
0000 , 0175 , 0349 , 0523 , 0698 , 0872 , 1045 ,
1219 , 1392 , 1564 , 1736 , 1908 , 2079 , 2250 ,
2419 , 2588 , 2756 , 2924 , 3096 , 3256 , 3420 ,
3584 , 3746 , 3907 , 4067 , 4226 , 4384 , 4540 ,
4695 , 4848 , 5000 , 5150 , 5299 , 5446 , 5592 ,
5736 , 5878 , 6018 , 6157 , 6293 , 6428 , 6561 ,
6691 , 6828 , 6947 , 7071 , 7193 , 7314 , 7431 ,
7547 , 7660 , 7771 , 7880 , 7986 , 8090 , 8192 ,
R290 . R3R7 . R4R0 . R572 . R660 . R746 . R829 .
```

## Bearbeiten mit Bearbeiten unter Windows 11

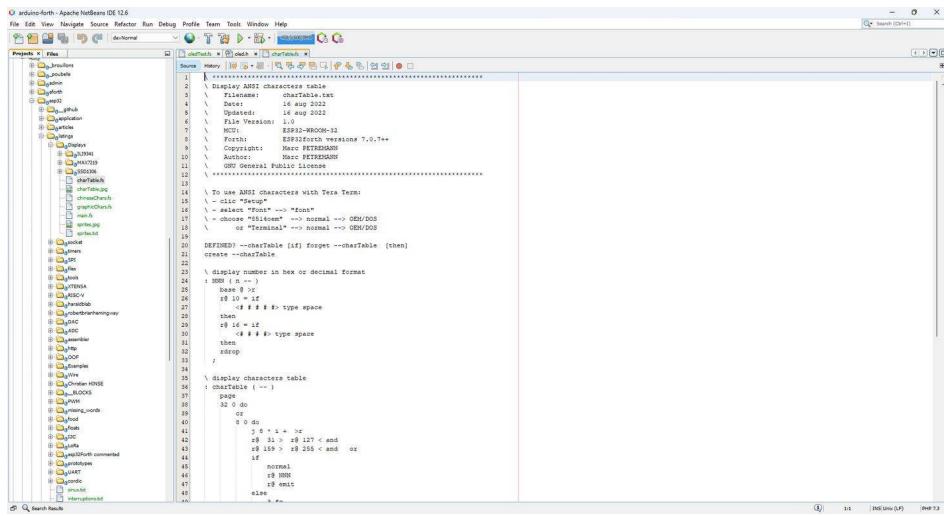
Andere Editoren wie **WordPad** werden nicht empfohlen, da Sie das Risiko eingehen, den Quellcode der FORTH-Sprache in einem Dateiformat zu speichern, das nicht mit ESP32forth kompatibel ist.

Unter Linux heißt das Äquivalent **gEdit**. MacOS verfügt außerdem über einen einfachen Texteditor.

Wenn Sie eine benutzerdefinierte Dateierweiterung wie **fs** für Ihre FORTH-Sprachquelldateien verwenden, muss diese Dateierweiterung von Ihrem System erkannt werden, damit sie vom Texteditor geöffnet werden können.

## Verwenden Sie eine IDE

Nichts hindert Sie daran, eine IDE zu verwenden<sup>3</sup>. Ich für meinen Teil bevorzuge **Netbeans**, das ich auch für PHP, MySQL, Javascript, C, Assembler verwende ... Es ist eine sehr leistungsstarke IDE und genauso effizient wie **Eclipse**:



## Bearbeiten mit Netbeans

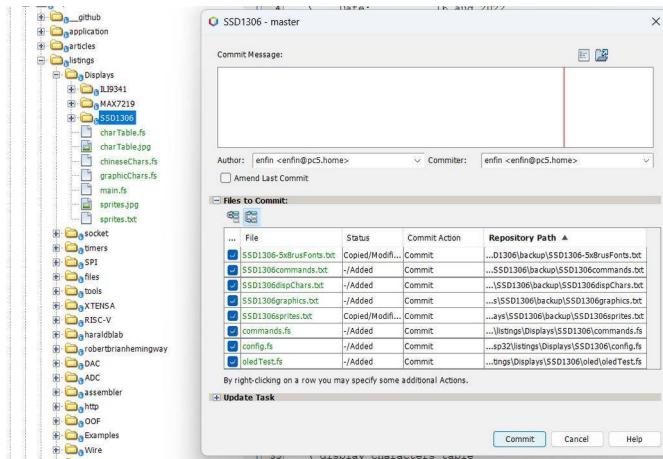
**Netbeans** bietet mehrere interessante Funktionen:

- Versionsverwaltung mit **GIT** ;
- Wiederherstellung früherer Versionen geänderter Dateien;
- Dateivergleich mit **Diff** ;
- One-Click- **FTP**- Übertragung zum Online-Hosting Ihrer Wahl;

**GIT**- Option besteht die Möglichkeit, Dateien in einem Repository zu teilen und die Zusammenarbeit bei komplexen Projekten zu verwalten. Mit **GIT** können Sie lokal oder kollaborativ verschiedene Versionen desselben Projekts verwalten und diese Versionen dann zusammenführen. Sie können Ihr lokales GIT-Repository erstellen. Jedes *Mal, wenn* eine Datei oder ein komplettes Verzeichnis festgeschrieben wird, bleiben die Entwicklungen unverändert. Auf diese Weise können Sie alte Versionen derselben Datei oder desselben Dateiordners finden.

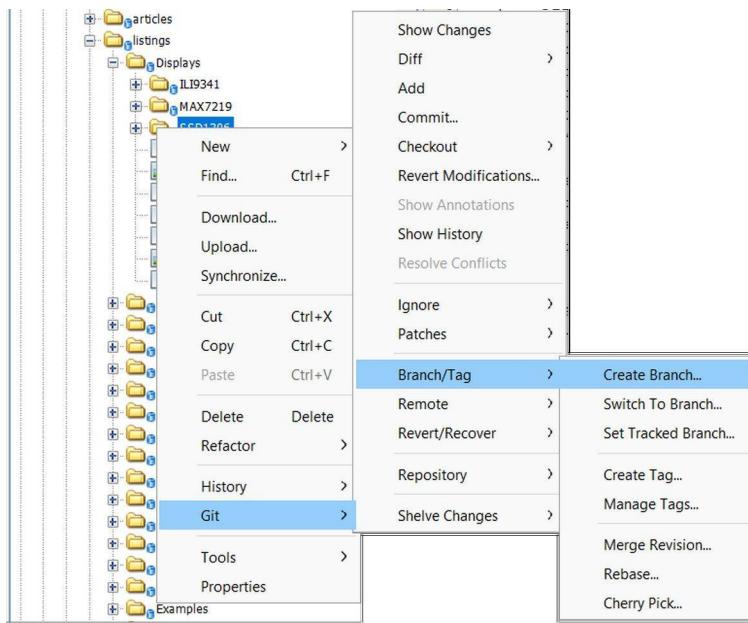
---

<sup>3</sup> Integrierte Entwicklungsumgebung



## GIT-Commit-Vorgang in Netbeans eines Ordners

Mit NetBeans können Sie einen Entwicklungszweig für ein komplexes Projekt definieren. Hier erstellen wir einen neuen Zweig:



## Erstellen einer Verzweigung für ein Projekt

Beispiel einer Situation, die die Gründung einer Zweigstelle rechtfertigt:

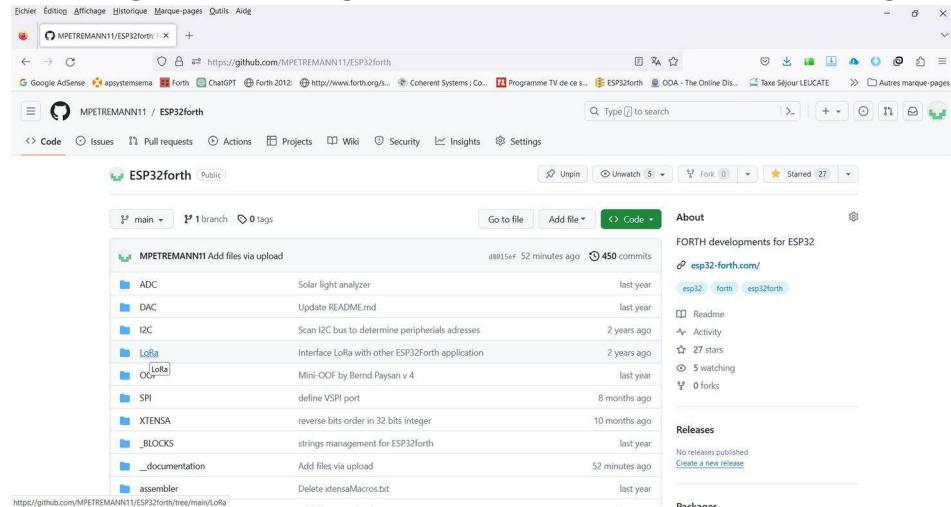
- Sie haben ein funktionierendes Projekt;
- Sie planen, es zu optimieren;
- Erstellen Sie einen Zweig und führen Sie die Optimierungen in diesem Zweig durch.

Änderungen an Quelldateien in einem Zweig haben keinen Einfluss auf Dateien im *main*.

Im Übrigen ist es mehr als ratsam, über physische Backup-Medien zu verfügen. Eine SSD-Festplatte kostet für 300 GB Speicherplatz etwa 50 €. Die Lese- oder Schreibzugriffsgeschwindigkeit von SSD-Medien ist einfach erstaunlich!

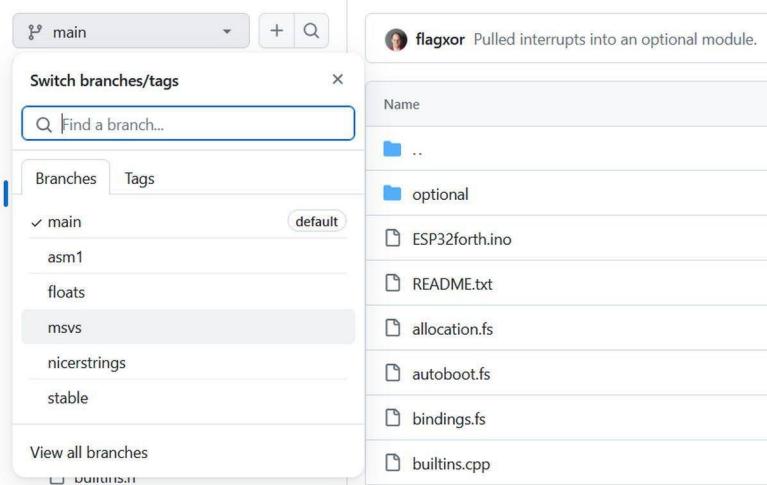
## Speicherung auf GitHub

**GitHub**<sup>4</sup>-Website ist neben **SourceForge**<sup>5</sup> einer der besten Orte zum Speichern von Quelldateien. Auf GitHub können Sie einen Arbeitsordner mit anderen Entwicklern teilen und komplexe Projekte verwalten. Der Netbeans-Editor kann eine Verbindung zum Projekt herstellen und ermöglicht das Übergeben oder Abrufen von Dateiänderungen.



## Speichern von Dateien auf GitHub

Auf **GitHub** können Sie Projektzweige (*fork*). Sie können bestimmte Teile Ihrer Projekte auch vertraulich behandeln. Hier die Zweige in den **flagxor/ueforth**-Projekten:



## Zugriff auf einen Projektzweig

## Einige gute Praktiken

Die erste gute Vorgehensweise besteht darin, Ihre Arbeitsdateien und Ordner richtig zu benennen. Sie entwickeln für ESP32Forth. Erstellen Sie daher einen Ordner mit dem Namen **ESP32forth**.

4 <https://github.com/>

5 <https://sourceforge.net/>

Erstellen Sie für verschiedene Tests einen **Sandbox**- Unterordner in diesem Ordner .

Erstellen Sie für gut strukturierte Projekte einen Ordner pro Projekt. Wenn Sie beispielsweise einen Roboter steuern möchten, erstellen Sie einen **robot**- Unterordner .

**Tools**- Unterordner . Wenn Sie eine Datei aus diesem Tools-Ordner in einem Projekt verwenden, kopieren Sie diese Datei und fügen Sie sie in den Ordner dieses Projekts ein. Dadurch wird verhindert, dass eine Änderung einer Datei in **Tools** Ihr Projekt später stört.

Die zweite Best Practice besteht darin, den Quellcode eines Projekts in mehrere Dateien zu verteilen:

- **config.fs** zum Speichern von Projekteinstellungen;
- **documentation** Verzeichnis zum Speichern von Dateien im Format Ihrer Wahl, die sich auf die Projektdokumentation beziehen;
- **myApp.fs** für Ihre Projektdefinitionen. Wählen Sie einen ziemlich eindeutigen Dateinamen. Um beispielsweise einen Roboter zu verwalten, verwenden Sie den Namen **robot-commands.fs** .

...	
LOTTOinterface.jpg	Add files via upload
README.md	Create README.md
euroMillionFR.fs	LOTO wining combinaisons numbers
generalWords.fs	general words for LOTTO program
gridsManage.fs	Manage content of LOTTO grids
interface.fs	text interface for LOTTO program
main.fs	LOTTO game main file
numbersFrequency.fs	stats frequency for LOTTO numbers

## Beispiel für die Benennung einer FORTH-Quelldatei

Der Inhalt dieser Dateien muss über das Terminal auf die ESP32-Karte übertragen werden, damit ESP32forth den FORTH-Code interpretiert und kompiliert.

### Die **main.fs**-Datei

ESP32forth verwaltet ein SPIFFS-Dateisystem <sup>6</sup>. Siehe das Kapitel *Das SPIFFS-Dateisystem*

Diese Dateien werden daher auf der ESP32-Karte gespeichert und können von ESP32forth gelesen werden. Wenn Sie eine **config.fs- Datei** im SPIFFS-Dateisystem geschrieben haben, ist hier die Codezeile, die Sie in **main.fs schreiben müssen, um auf den Inhalt von config.fs** zuzugreifen :

```
s" /spiffs/config.fs" included
```

<sup>6</sup> Flash-Dateisystem für serielle Peripherieschnittstellen

Ab diesem Zeitpunkt haben Sie zwei Möglichkeiten, den Inhalt von **config.fs zu interpretieren**. Vom Terminal aus:

```
include /spiffs/config.fs
```

Oder

```
include /spiffs/main.fs
```

Der Punkt ist, dass **main.fs** andere Dateien aufrufen kann. Beispiel :

```
\ OLED SSD1306 128x32 Entwicklungs- und Anzeigetests
s" /spiffs/config.fs" included
s" /spiffs/SSD10306commands.fs" included
```

Die Verarbeitung vieler Dateien dauert weniger als eine Sekunde. Diese Strategie vermeidet die wiederholte Übertragung des Quellcodes per serieller Verbindung über das Terminal.

Und wenn Sie mehrere Projekte auf mehreren ESP32-Boards verwalten, ist es einfacher, jedes Projekt mit einem einfachen Befehl **include /spiffs/main.fs** zu testen .

## Speichern Sie Dateien schnell in SPIFFS

Diese Methode wurde von Bob EDWARDS entwickelt. Code zum Kompilieren:

```
\ Diese Zeichen beenden alle Textzeilen in einer Datei
create crlf 13 C, 10 C,

\ Zeichnet den Eingabestream in einer Spiffs-Datei auf, bis
\ eine <EOF>-Markierung gefunden wird, schließen Sie dann die Datei
: RECORDFILE ( "filename" "filecontents" "<EOF>" -- )
    bl parse          \ read the filename ( a n )
    W/O CREATE-FILE throw >R  \ create the file to record to -
                           \ put file id on R stack

BEGIN
    \ read a line of the file from the input stream
    tib #tib accept
    tib over
    S" <EOF>" startswith? \ does the line start with <EOF> ?
    DUP IF
        \ Yes, so drop the end line of the file containing <EOF>
        swap drop
    ELSE
        swap
        tib swap
        \ No, so write the line to the open file
        R@ WRITE-FILE throw
        \ and terminate line with cr-lf
        crlf 2 R@ WRITE-FILE throw
    THEN
    UNTIL
        R> CLOSE-FILE throw
                           \ repeat until <EOF> found
                           \ Close the file
;
```

Funktionsweise **von RECORDFILE** ist einfach. Auf dieses Wort folgt der Name der Zielfile im SPIFFS-Dateisystem.

Die folgenden Zeilen enthalten den zu speichernden Code.

Fügen Sie am Ende des Codes einfach die Direktive **<EOF>** hinzu. ACHTUNG: Schreiben Sie **<EOF>** und nicht **<eof>** !!! Beispiel :

```
RECORDFILE /spiffs/main.fs
\ OLED SSD1306 128x32 dev and display test
s" /spiffs/SSD1306/config.fs" included
s" /spiffs/SSD1306/commands.fs" included
<EOF>
```

Dann kopieren wir den gesamten Code von **RECORDFILE** nach **<EOF>** . Diesen Code fügen wir in das Terminalfenster ein und übermitteln ihn an die ESP32-Karte. Dies zeigt das Terminal während der Übertragung des Quellcodes an:

```
--> RECORDFILE /spiffs/main.fs
--> \ OLED SSD1306 128x32 dev and display test
--> s" /spiffs/SSD1306/config.fs" included
--> s" /spiffs/SSD1306/commands.fs" included
--> <EOF>
ok
```

Sie können überprüfen, ob die neue Datei gespeichert wurde:

```
ls /spiffs/ \ displays :
SSD1306/config.fs
SSD1306/commands.fs
SSD1306/dispChars.fs
SSD1306.fs
main.fs
```

**main.fs**- Datei wurde erfolgreich gespeichert.

Wenn Sie den Inhalt einer Quelldatei ändern und diese mit **RECORDFILE** speichern, ersetzt dieser geänderte Inhalt den zuvor gespeicherten Inhalt.

In unserem Beispiel haben wir eine Datei mit einigen Zeilen gespeichert. Es funktioniert aber auch für sehr große Quelldateien. Senden Sie vorzugsweise große, finalisierte Dateien, die keine Änderungen oder Anpassungen mehr erfordern.

## Verwenden Sie das Wort RECORDFILE, wenn Sie ESP32forth starten

Verwenden Sie **Visual** , um die Datei **autoexec.fs** zu erstellen oder zu bearbeiten :

```
visual edit /spiffs/autoexec.fs
```

Dadurch wird der **visual** Editor geöffnet . Kopieren Sie den folgenden Code:

```
create crlf 13 C, 10 C,
: RECORDFILE
  bl parse
  W/O CREATE-FILE throw >R
  BEGIN
    tib #tib accept
    tib over
    S" <EOF>" startswith?
```

```

DUP IF
    swap drop
ELSE
    swap
    tib swap
    R@ WRITE-FILE throw
    crlf 2 R@ WRITE-FILE throw
THEN
UNTIL
R> CLOSE-FILE throw
;

```

**visual** Bearbeitungsbereich ein . Drücken Sie am Ende der Bearbeitung CTRL-S (Speichern) und dann CTRL-X und Y, um **visual** zu verlassen.

Starten Sie ESP32forth neu. Wenn alles gut gelaufen ist, ist **RECORDFILE** jetzt verfügbar, wenn ESP32forth startet:

```

RECORDFILE crlf FORTH spi oled telnetd registriert die WebUI-Login-Webschnittstelle
httpd ok LED OUTPUT INPUT HIGH LOW Tonfrequenz Duty ADC Pin Standardtaste?
Standardschlüssel Standardtyp Visual Set-Titelseite at-xy normal bg fg ansi....

```

# Eine Ampel mit ESP32 managen

## GPIO-Ports auf der ESP32-Karte

GPIO-Ports (General Purpose Input/Output) sind Ein-/Ausgabe-Ports, die in der Welt der Mikrocontroller weit verbreitet sind.

Der ESP32-Chip verfügt über 48 Pins mit mehreren Funktionen. Auf ESP32-Entwicklungsboards werden nicht alle Pins verwendet und einige Pins können nicht verwendet werden.

Es gibt viele Fragen zur Verwendung von ESP32-GPIOs. Welche Anschlüsse sollten Sie verwenden? Welche Konnektoren sollten Sie in Ihren Projekten vermeiden?

Wenn wir eine ESP32-Karte unter die Lupe nehmen, sehen wir Folgendes:



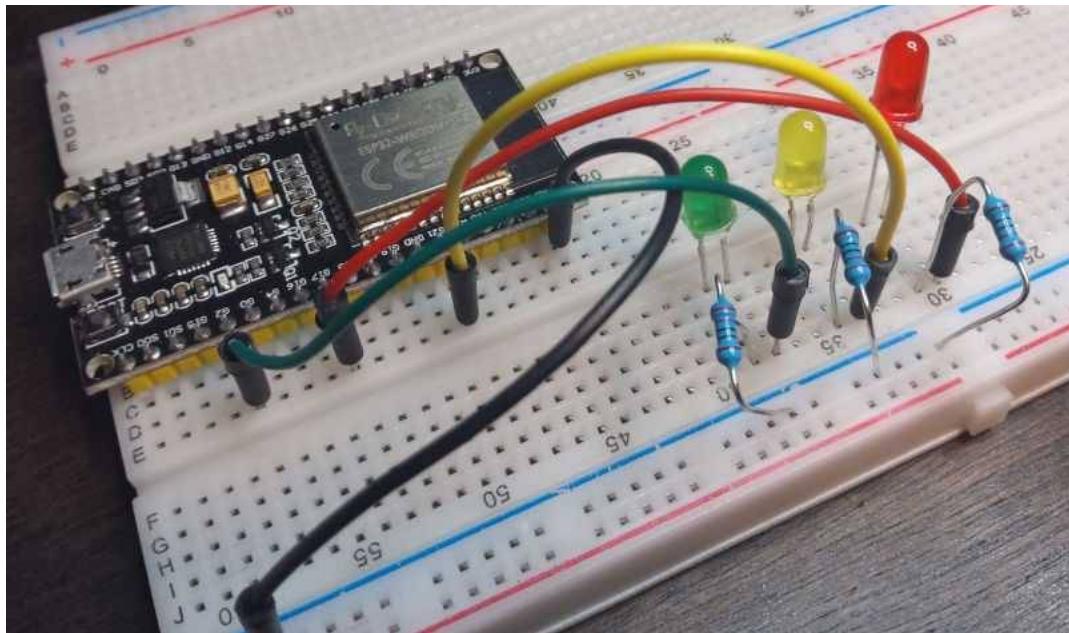
Jeder Anschluss ist durch eine Reihe von Buchstaben und Zahlen gekennzeichnet, hier von links nach rechts auf unserem Foto: G22 TXD RXD G21 GND G19 G18 usw.

Den Konnektoren, die uns für diese Handhabung interessieren, wird der Buchstabe G vorangestellt, gefolgt von einer oder zwei Zahlen. G2 entspricht beispielsweise GPIO 2.

Das Definieren und Betreiben eines GPIO-Anschlusses im Ausgabemodus ist recht einfach.

## Montage der LEDs

Der Zusammenbau ist recht einfach und nur ein Foto reicht:



- Grüne LED an G2 angeschlossen – grünes Kabel
- Gelbe LED an G21 angeschlossen – gelbes Kabel
- Rote LED an G17 angeschlossen – rotes Kabel
- Schwarzes Kabel mit GND verbunden

Wir definieren unsere LEDs mit **defPin**:

```
\ Use:
\ numGPIO defPIN: PD7  ( define portD pin #7)
: defPIN: ( GPIOx --- <word> | <word> --- GPIOx )
    value
;

2 defPIN: ledGREEN
21 defPIN: ledYELLOW
17 defPIN: ledRED

: LEDinit
    ledGREEN      output pinMode
    ledYELLOW     output pinMode
    ledRED        output pinMode
;
```

Viele Programmierer haben die schlechte Angewohnheit, Anschlüsse nach ihrer Nummer zu benennen. Beispiel :

```
17 defPin: pin17
```

Oder

```
17 defPin: GPIO17.
```

Um effektiv zu sein, müssen Sie die Anschlüsse nach ihrer Funktion benennen. Hier definieren wir die **ledRED-** oder **ledGREEN- Anschlüsse** .

Wofür? Da Sie an dem Tag, an dem Sie Zubehör hinzufügen und beispielsweise den G21-Stecker lösen müssen, einfach **21 defPIN: ledYELLOW** mit der neuen Steckernummer neu definieren. Der Rest des Codes bleibt unverändert und verwendbar.

## Verwaltung von Ampeln

Hier ist der Teil des Codes, der unsere LEDs in unserer Ampelsimulation steuert:

```
\ trafficLights führt einen Lichtzyklus aus
: trafficLights ( ---)
    high ledGREEN      pin      3000 ms      low ledGREEN      pin
    high ledYELLOW     pin      800 ms       low ledYELLOW     pin
    high ledRED        pin      3000 ms      low ledRED        pin
;

\ klassische Ampelschleife
: lightsLoop ( ---)
    LEDinit
    begin
        trafficLights
    key? until
;

\ Deutscher Ampelstil
: Dtraffic ( ---)
    high ledGREEN      pin      3000 ms      low ledGREEN      pin
    high ledYELLOW     pin      800 ms       low ledYELLOW     pin
    high ledRED        pin      3000 ms
    ledYELLOW high     800 ms
    \ simultaneous red and yellow ON
    high ledRED        pin  \ simultaneous red and yellow OFF
    high ledYELLOW     pin
;

\ deutsche Ampelschleife
: DlightsLoop ( ---)
    LEDinit
    begin
        Dtraffic
    key? until
;
```

## Abschluss

Dieses Ampelmanagementprogramm hätte durchaus in der Sprache C geschrieben sein können. Der Vorteil der FORTH-Sprache besteht jedoch darin, dass sie über das Terminal

die Kontrolle über die Analyse, Fehlerbeseitigung und Änderung von Funktionen sehr schnell ermöglicht (in FORTH sagen wir Wörter).

Das Verwalten von Ampeln ist in der C-Sprache eine einfache Übung. Wenn die Programme jedoch etwas komplexer werden, wird der Kompilierungs- und Upload-Prozess schnell mühsam.

Handeln Sie einfach über das Terminal und kopieren/fügen Sie einfach ein beliebiges Fragment des FORTH-Sprachcodes ein, damit es kompiliert und/oder ausgeführt wird.

Wenn Sie ein Terminalprogramm zur Kommunikation mit der ESP32-Karte verwenden, geben Sie einfach **DlightsLoop** oder **LightsLoop** ein , um zu testen, wie das Programm funktioniert. Diese Wörter verwenden eine bedingte Schleife. Drücken Sie einfach eine Taste auf der Tastatur und das Wort wird am Ende der Schleife nicht mehr abgespielt.

# Hardware-Interrupts mit ESP32forth

## Unterbrechungen

Wenn wir externe Ereignisse, beispielsweise einen Druckknopf, verwalten möchten, haben wir zwei Lösungen:

- Testen Sie den Zustand der Schaltfläche so regelmäßig wie möglich über eine Schleife. Wir werden entsprechend dem Status dieser Schaltfläche handeln.
- Verwenden Sie einen Interrupt. Wir weisen den Ausführungscode einem an einen Pin angeschlossenen Interrupt zu. Der Button ist mit diesem Pin verbunden und der Zustandswechsel führt dieses Wort aus.

Die Interrupt-Lösung ist die eleganteste. Dadurch können Sie das Hauptprogramm entlasten, indem Sie die Überwachung der Schaltfläche in einer Schleife vermeiden.

In seiner ESP32forth-Dokumentation gibt Brad NELSON ein einfaches Beispiel für die Interrupt-Behandlung:

```
17 input pinMode
: test ." pinvalue: " 17 digitalRead . cr ;
' test 17 pinchange
```

Allerdings besteht bei diesem Beispiel, so wie es geschrieben wurde, eine gute Chance, dass es nicht funktioniert. Wir werden sehen, warum und die Elemente bereitstellen, damit es funktioniert.

## Montage eines Druckknopfes

Der Taster wird als Eingang an die 3,3V-Stromversorgung des ESP32-Boards angeschlossen.

Der Druckknopfausgang ist mit dem GPIO17-Pin verbunden. Das ist alles.

Damit das Beispiel von Brad NELSON funktioniert, müssen Sie das **interrupts**- Vokabular auswählen , bevor Sie den Interrupt mit **pinchange** konfigurieren . Unterwegs definieren wir die **button** :

```
17 constant button
button input pinMode
: test ." pinvalue: "
    button digitalRead . cr
;
interrupts
' test button pinchange
```

### forth

Es funktioniert, aber es gibt einen unerwarteten Effekt, der dazu führt, dass der Interrupt unerwartet ausgelöst wird:

```
pinvalue: 0
pinvalue: 1
pinvalue: 1
pinvalue: 1
pinvalue: 0
pinvalue: 0
pinvalue: 0
pinvalue: 1
pinvalue: 1
pinvalue: 1
pinvalue: 0
pinvalue: 0
pinvalue: 1
```

Die Hardwarelösung würde darin bestehen, einen hochohmigen Widerstand an den Tastenausgang anzuschließen und mit GND zu verbinden.

## Softwarekonsolidierung des Interrupts

In der ESP32-Karte können Sie an jedem GPIO-Pin einen Widerstand aktivieren. Diese Aktivierung erfolgt durch das Wort `gpio_pulldown_en`. Dieses Wort akzeptiert als Parameter die GPIO-Pin-Nummer, deren Widerstand aktiviert werden muss. Im Gegenzug gibt dieses Wort 0 zurück, wenn die Aktion erfolgreich war, andernfalls einen Fehlercode:

```
17 Konstanttaste
Button-Eingang pinMode
:test." pinvalue: "
Schaltfläche digitalRead . cr
;
unterbricht
Schaltfläche gpio_pulldown_en ablegen
' Testtaste Pinchange
her
```

Das Ergebnis der Ausführung des Interrupts ist deutlich besser:

```

ok      button digitalRead . cr
ok      ;
ok  interrupts
ok button gpio_pulldown_en drop
ok ' test button pinchange
ok forth
--> pinvalue: 1
pinvalue: 0
pinvalue: 1
pinvalue: 0
pinvalue: 1
pinvalue: 0

```

Bei jeder Zustandsänderung kommt es zu einer Unterbrechung. Auf dem Screenshot oben wird bei jeder Statusänderung **pinvalue: 1** und dann **pinvalue: 0** angezeigt.

Es ist möglich, eine Unterbrechung allein bei der steigenden Flanke zu berücksichtigen. Dies ist möglich durch Angabe von:

**Schaltfläche GPIO\_INTR\_POSEDGE gpio\_set\_intr\_type drop**

Das Wort **gpio\_set\_intr\_type** akzeptiert diese Parameter:

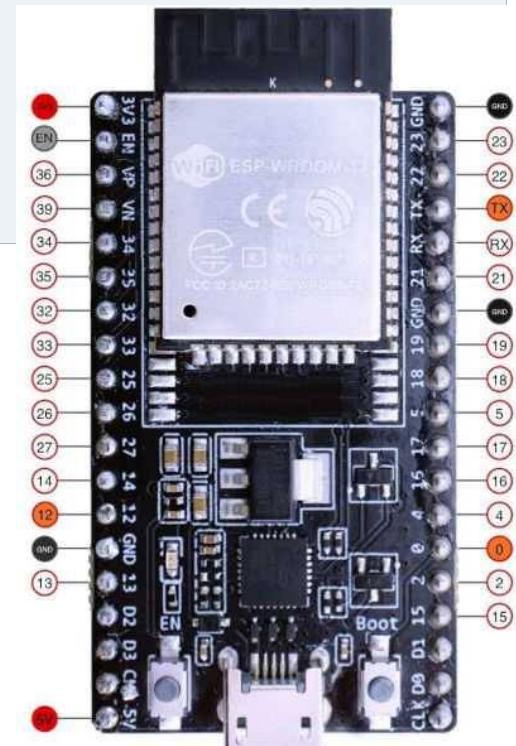
- **GPIO\_INTR\_ANYEDGE** zur Verwaltung von Interrupts mit steigender oder fallender Flanke
- **GPIO\_INTR\_NEGEDGE** verarbeitet Interrupts nur bei fallender Flanke
- **GPIO\_INTR\_POSEDGE** verwaltet Interrupts nur bei steigender Flanke
- **GPIO\_INTR\_DISABLE** zum Deaktivieren von Interrupts

Vollständiger FORTH-Code mit Erkennung steigender Flanken:

```

17 constant button
0 constant GPIO_PULLUP_ONLY
button input pinMode
: test ." pinvalue: "
    button digitalRead . cr
;
interrupts
button gpio_pulldown_en drop
button GPIO_INTR_POSEDGE gpio_set_intr_type
drop
' test button pinchange
forth

```



## Weitere Informationen

Für ESP32 können alle GPIO-Pins außer GPIO6 bis GPIO11 als Interrupt verwendet werden.

Verwenden Sie keine orange oder roten Stifte. Ihr Programm verhält sich möglicherweise unerwartet,

wenn Sie diese verwenden.

# Verwendung des Drehgebers KY-040

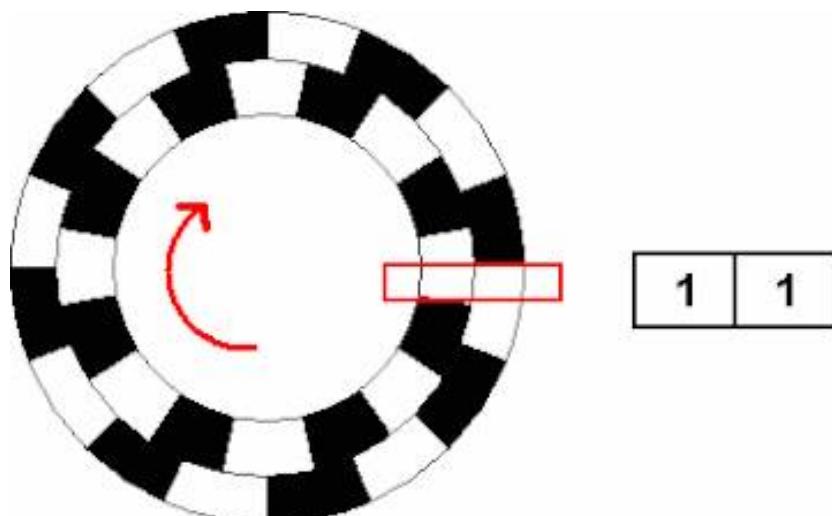
## Encoder-Übersicht

Um ein Signal zu variieren, haben wir mehrere Lösungen:

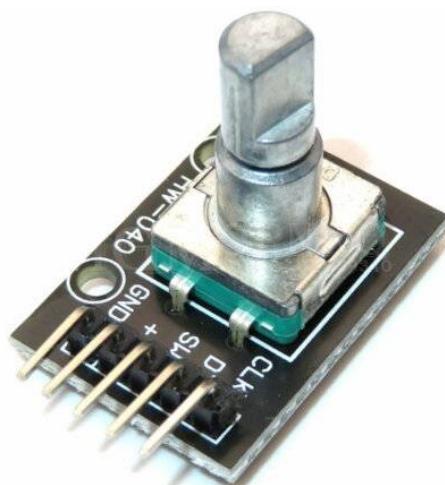
- ein variabler Widerstand in einem Potentiometer
- zwei Tasten zur Verwaltung der Variation per Software
- ein Drehgeber

Der Drehgeber ist eine interessante Lösung. Es kann als Potentiometer verwendet werden, mit dem Vorteil, dass es keinen Start- und Endanschlag hat.

Sein Prinzip ist sehr einfach. Hier sind die Signale, die unser Drehgeber aussendet:



Hier ist unser Encoder:



Internes Funktionsdiagramm:

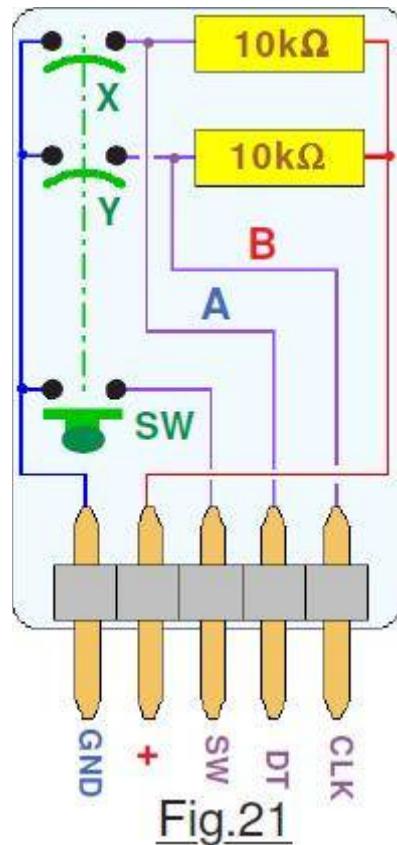


Fig.21

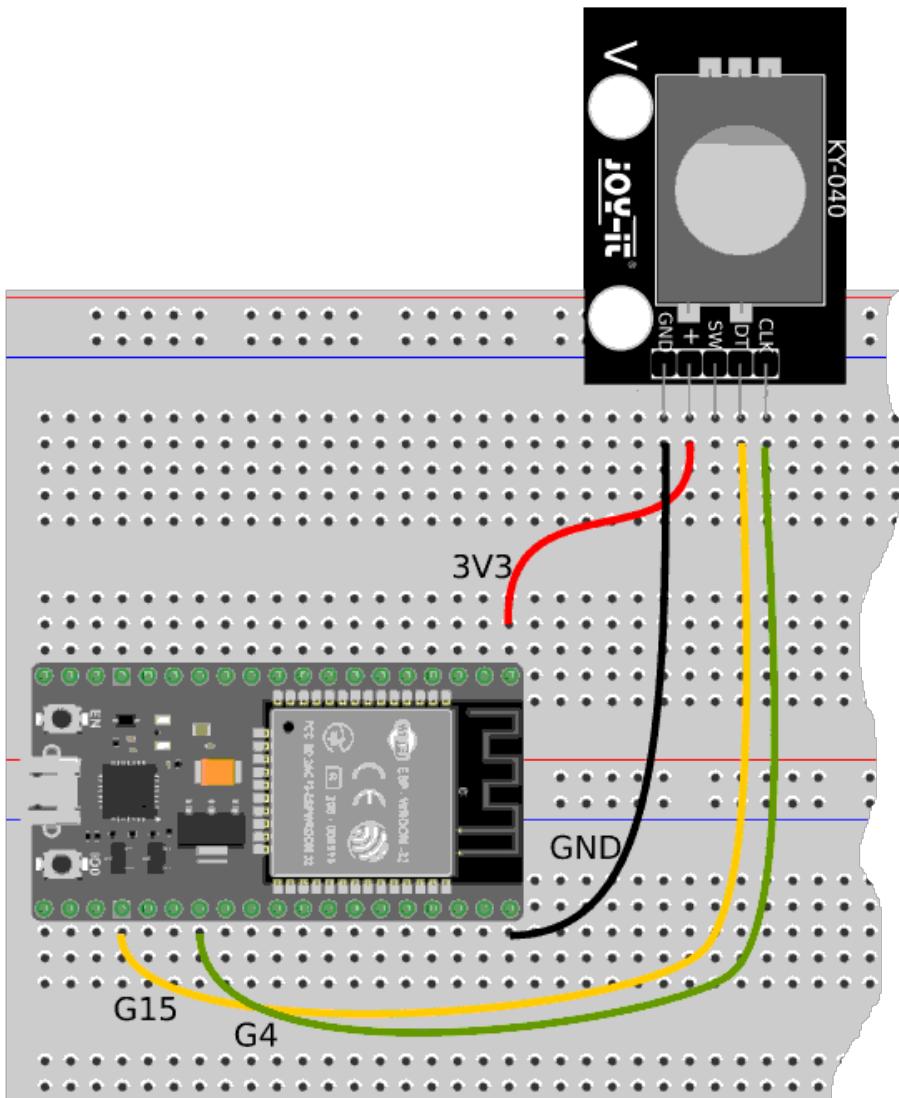
Nach diesem Diagramm interessieren uns zwei Terminals:

- A (DT) -> Schalter X
- B (CLK) -> Schalter Y

Dieser Encoder kann mit 5V oder 3,3V betrieben werden. Das kommt uns entgegen, da die ESP32-Karte über einen 3,3V-Ausgang verfügt.

## Montage des Encoders auf dem Steckbrett

Für die Verkabelung unseres Encoders mit der ESP32-Karte sind nur 4 Drähte erforderlich:

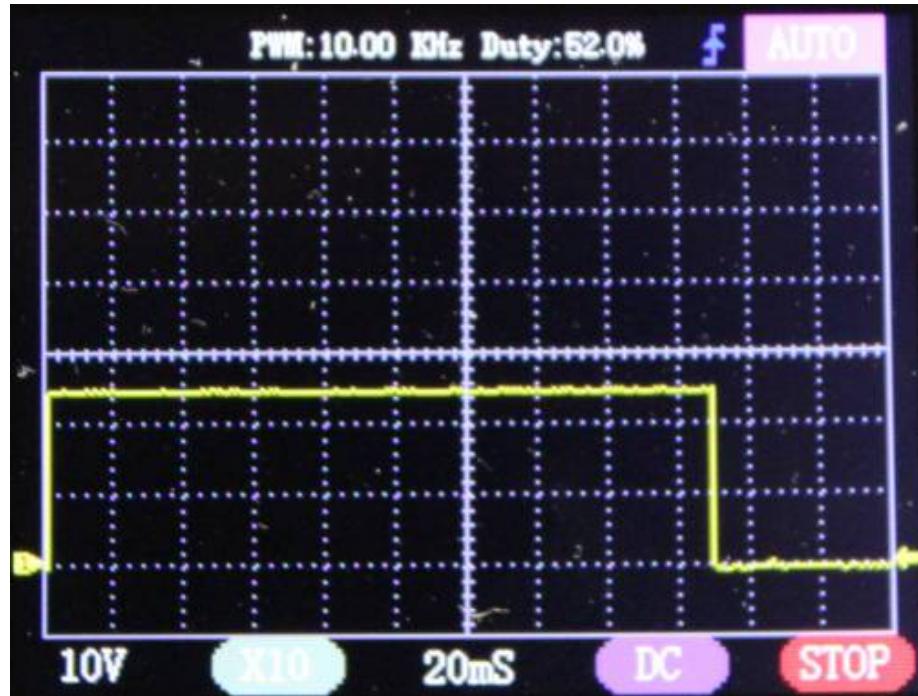


**BITTE BEACHTEN :** Die Position der Pins G4 und G15 kann je nach Version Ihrer ESP32-Karte variieren.

### Analyse von Encodersignalen

Da unser Encoder angeschlossen ist, erhält jeder Anschluss A oder B eine Spannung, hier 3,3V, deren Intensität durch einen Widerstand von 10KOhm begrenzt wird.

Die Analyse des Signals an Klemme G15 zeigt deutlich das Vorhandensein der 3,3-V-



Spannung:

Bei dieser Signalerfassung erscheint der Low-Pegel an Klemme G15 beim Betätigen der Encoder-Steuerstange. Im Leerlauf liegt das Signal an Klemme G15 auf High-Pegel.

Das ändert alles, denn auf Programmierebene müssen wir den G15-Interrupt als fallende Flanke verarbeiten.

## Encoder-Programmierung

Der Encoder wird per Interrupt verwaltet. Interrupts lösen das Programm nur aus, wenn ein bestimmtes Signal einen genau definierten Pegel erreicht.

Wir werden einen einzelnen Interrupt auf dem GPIO G15-Terminal verwalten:

```
interrupts\n\n\\ enable interrupt on GPIO G15\n: intG15enable ( -- )\n    15 GPIO_INTR_POSEDGE gpio_set_intr_type drop\n;\n\n\\ disable interrupt on GPIO G15\n: intG15disable ( -- )\n    15 GPIO_INTR_DISABLE gpio_set_intr_type drop\n;\n\n: pinsInit ( -- )\n    04 input pinmode\n                                \\ GO4 as an input
```

```

04 gpio_pulldown_en drop      \ Enable pull-down on GPIO 04
15 input pinmode              \ G15 as an input
15 gpio_pulldown_en drop      \ Enable pull-down on GPIO 15
intG15enable
;

```

Im Wort **pinsInit** initialisieren wir die GPIO-Pins G4 und G15 als Eingang. Dann bestimmen wir den Interrupt-Modus von G15 bei fallender Flanke mit **15 GPIO\_INTR\_POSEDGE gpio\_set\_intr\_type drop**.

## Testen der Kodierung

Dieser Teil des Codes darf nicht in einer Endassembly verwendet werden. Es dient lediglich der Überprüfung, ob der Encoder korrekt angeschlossen ist und ordnungsgemäß funktioniert:

```

: test ( -- )
  cr ." PIN: "
  cr ." - G15: " 15 digitalRead .
  cr ." - G04: " 04 digitalRead .
;

pinsInit  \ initialisiert G4 und G15
' test 15 pinchange

```

Es ist die Sequenz „**Test 15 Pinchange**“ , die ESP32Forth anweist, den Testcode auszuführen, wenn durch die Aktion von Terminal G15 ein Interrupt ausgelöst wird.

Ergebnis der Aktion auf unserem Encoder. Wir haben nur die Ergebnisse der am Stopp eintreffenden Aktionen gespeichert, einmal gegen den Uhrzeigersinn, dann im Uhrzeigersinn:

```

PIN:
- G15: 1  \ Rückwärtsdrehung im Uhrzeigersinn
- G04: 1
PIN:
- G15: 0  \ Rechtsdrehung
- G04: 1

```

## Erhöhen und dekrementieren Sie eine Variable mit dem Encoder

Nachdem wir den Encoder nun per Hardware-Interrupt getestet haben, können wir den Inhalt einer Variablen verwalten. Dazu definieren wir unsere Variable **KYvar** und die Wörter, mit denen wir ihren Inhalt ändern können:

```

0 value KYvar  \ content is incremented or decremented

\ increment content of KYvar
: incKYvar ( n --
    1 +to KYvar
;

\ decrement content of KYvar

```

```
: decKYvar ( n -- )
    -1 +to KYvar
; ;
```

Das Wort **incKYvar** erhöht den Inhalt von **KYvar**. Das Wort **decKYvar** dekrementiert den Inhalt von **KYvar**.

Wir testen die Änderung des Inhalts der Variablen **KYvar** über dieses Wort **testIncDec**, das wie folgt definiert ist:

```
\ wird durch Unterbrechung verwendet, wenn G15 aktiviert ist
: testIncDec ( -- )
    intG15disable
    15 digitalRead if
        04 digitalRead if
            decKYvar
        else
            incKYvar
        then
            cr ." KYvar: " KYvar .
    then
    1000 0 do loop \ small wait loop
    intG15enable
;

pinsInit
' testIncDec 15 pinchange
```

Durch Drehen des Encoder-Reglers nach rechts (im Uhrzeigersinn) wird der Inhalt der Variablen **KYvar** erhöht. Eine Drehung nach links dekrementiert den Inhalt der **KYvar**-Variablen:

```
pinsInit
' testIncDec 15 pinchange
-->
KYvar: 1      \ rotate Clockwise
KYvar: 2
KYvar: 3
KYvar: 4
KYvar: 3      \ rotate Contra Clockwise
KYvar: 2
KYvar: 1
KYvar: 0
KYvar: -1
KYvar: -2
```

# Blinken einer LED pro Timer

## Erste Schritte mit der FORTH-Programmierung

Jeder Programmieranfänger kennt dieses mehr als klassische Beispiel sehr gut: das Blinken einer LED. Hier ist der Quellcode in C-Sprache für ESP32:

```
/*
 * This ESP32 code is created by esp32io.com
 * This ESP32 code is released in the public domain
 * For more detail (instruction and wiring diagram),
 * visit https://esp32io.com/tutorials/esp32-led-blink
 */

// the code in setup function runs only one time when ESP32 starts
void setup() {
    // initialize digital pin GPIO18 as an output.
    pinMode(18, OUTPUT);
}

// the code in loop function is executed repeatedly infinitely
void loop() {
    digitalWrite(18, HIGH); // turn the LED on
    delay(500);           // wait for 500 milliseconds
    digitalWrite(18, LOW); // turn the LED off
    delay(500);           // wait for 500 milliseconds
}
```

In der FORTH-Sprache ist es nicht viel anders:

```
18 constant myLED

: led.blink ( -- )
    myLED output pinMode
    begin
        HIGH myLED pin
        500 ms
        LOW myLED pin
        500 ms
    key? until
;
```

Wenn Sie diesen FORTH-Code kompilieren, während ESP32forth auf Ihrem ESP32-Board installiert ist, und am Terminal **led.blink eingeben**, blinkt die mit dem GPIO18-Port verbundene LED.

Um in C-Sprache geschriebenen Code einzuschleusen, muss er auf dem PC kompiliert und dann auf die ESP32-Karte hochgeladen werden, was einige Zeit in Anspruch nimmt. Bei der FORTH-Sprache hingegen ist der Compiler auf unserem ESP32-Board bereits betriebsbereit. Der Compiler kompiliert das in der FORTH-Sprache geschriebene Programm in zwei bis drei Sekunden und ermöglicht seine sofortige Ausführung, indem er einfach das Wort eingibt, das diesen Code enthält, hier **led.blink** für unser Beispiel.

In der FORTH-Sprache können wir Hunderte von Wörtern zusammenstellen und sie sofort einzeln testen, was in der C-Sprache überhaupt nicht möglich ist.

Wir faktorisieren unseren FORTH-Code wie folgt:

```
18 constant myLED

: led.on ( -- )
    HIGH myLED pin
;

: led.off ( -- )
    LOW myLED pin
;

: waiting ( -- )
    500 ms
;

: led.blink ( -- )
    myLED output pinMode
    begin
        led.on      waiting
        led.off     waiting
    key? until
;
```

**led.on** eingeben, und ausschalten, indem wir **led.off eingeben**. Die Ausführung von **led.blink** bleibt weiterhin möglich.

Das Ziel der Faktorisierung besteht darin, eine komplexe und schwer lesbare Funktion in eine Reihe einfacherer und besser lesbarer Funktionen zu unterteilen. Bei FORTH wird die Faktorisierung empfohlen, um einerseits das Debuggen zu erleichtern und andererseits die Wiederverwendung faktorisierter Wörter zu ermöglichen.

Für diejenigen, die die FORTH-Sprache kennen und beherrschen, mögen diese Erklärungen trivial erscheinen. Dies ist für Leute, die in C programmieren, alles andere als offensichtlich, da sie gezwungen sind, Funktionsaufrufe in der allgemeinen Funktion **loop()** zu gruppieren .

Nachdem dies nun erklärt ist, werden wir alles vergessen! Weil...

## Blinken nach TIMER

Wir werden alles vergessen, was zuvor erklärt wurde. Denn dieses LED-Blinkbeispiel hat einen großen Nachteil. Unser Programm macht genau das und nichts anderes. Kurz gesagt, es ist eine echte Verschwendug von Hardware und Software, eine LED auf unserer ESP32-Karte zum Leuchten zu bringen. Wir werden eine ganz andere Art und Weise sehen, dieses Blinken zu erzeugen, ausschließlich in der FORTH-Sprache.

ESP32forth verfügt über zwei Wörter, die sehr nützlich sind, um dieses LED-Blinken zu verwalten: **interval** und **rerun** .

Aber bevor wir diskutieren, wie diese beiden Wörter funktionieren, werfen wir einen Blick auf den Begriff der Unterbrechung ...

## Hardware- und Software-Interrupts

Wenn Sie vorhaben, Mikrocontroller zu verwalten, ohne sich Gedanken über Hardware- oder Software-Interrupts machen zu müssen, dann geben Sie die Computerentwicklung für ESP32-Boards auf!

Sie haben das Recht zu starten und keine Unterbrechungen zu erleben. Und wir erklären Ihnen Interrupts und die Verwendung von Timer-Interrupts.

Hier ist ein Nicht-Computer-Beispiel dafür, was ein Interrupt ist:

- Sie erwarten ein wichtiges Paket;
- Sie gehen jede Minute zum Tor Ihres Hauses, um zu sehen, ob der Postbote angekommen ist.

In diesem Szenario verbringen Sie tatsächlich Ihre Zeit damit, nach unten zu gehen, nachzusehen und wieder nach oben zu gehen. Tatsächlich hat man kaum Zeit, etwas anderes zu tun ...

In Wirklichkeit sollte Folgendes passieren:

- du bleibst in deinem Zuhause;
- der Postbote kommt und klingelt;
- Du gehst runter und holst dein Paket ab...

Ein Mikrocontroller, der die ESP32-Karte enthält, verfügt über zwei Arten von Interrupts:

- **Hardware-Interrupts** : Sie werden durch eine physische Aktion an einem der GPIO-Eingänge der ESP32-Karte ausgelöst;
- **Software-Interrupts** : Sie werden ausgelöst, wenn bestimmte Register vordefinierte Werte erreichen.

Dies ist bei Timer-Interrupts der Fall, die wir als Software-Interrupts definieren.

## Verwenden Sie die Wörter **intervall** und **rerun**.

Das Wort **interval** ist im **timers**- Vokabular definiert . Es akzeptiert drei Parameter:

- **xt** , das den Code für das Wort ausführt, das beim Auslösen des Interrupts ausgelöst werden soll;
- **usec** ist die Wartezeit in Mikrosekunden, bevor der Interrupt ausgelöst wird.
- **t** ist die Nummer des auszulösenden Timers. Dieser Parameter muss im Bereich [0..3] liegen.

Nehmen wir teilweise den faktorisierten Code unseres LED-Blinkens:

```

18 constant myLED
0 value LED_STATE
: led.on ( -- )
    HIGH dup myLED pin
    to LED_STATE
;
: led.off ( -- )
    LOW dup myLED pin
    to LED_STATE
;
timers \ select timers vocabulary
: led.toggle ( -- )
    LED_STATE if
        led.off
    else
        led.on
    then
    0 rerun
;
' led.toggle 500000 0 interval
: led.blink
    myLED output pinMode
    led.toggle
;

```

Dem Wort **rerun** wird die Anzahl der vor der Definition von **interval** aktivierten Timer vorangestellt . Das Wort **rerun** muss in der Definition des vom Timer ausgeführten Wortes verwendet werden.

Das Wort **led.blink** initialisiert den von der LED verwendeten GPIO-Ausgang und führt dann **led.toggle** aus .

In dieser Sequenz FORTH '**led.toggle 500000 0 interval**' initialisieren wir Timer 0, indem wir den Ausführungscode des Wortes mit **rerun** wiederherstellen, gefolgt vom Zeitintervall, hier 500 Millisekunden, und dann der Nummer des auszulösenden Timers.

Das LED-Blinken beginnt unmittelbar nach der Ausführung des Wortes **led.blink** .

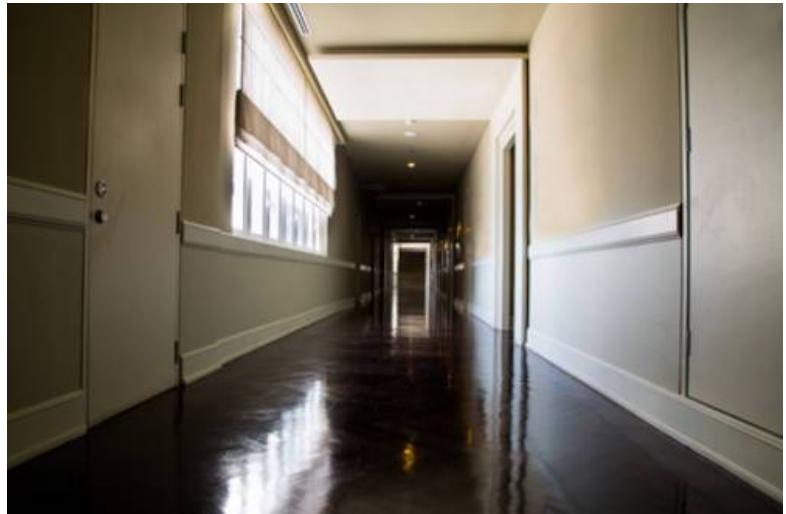
Der FORTH-Interpreter von ESP32forth bleibt zugänglich, während die LED blinkt, was in der C-Sprache unmöglich ist!

# **Haushälterin-Timer**

## **Präambel**

Wir schreiben das Jahr 1990. Er ist ein Computerprogrammierer, der viel arbeitet. Deshalb verlässt er manchmal etwas spät sein Büro.

Und während eines seiner späten Verlassen des Büros betrat er den Korridor, einen dieser Korridore mit einem Timer-Knopf an jedem Ende. Das Licht ist schon an. Doch aus Reflex drückt unser befreundeter Programmierer den Schalter und sticht sich in den Finger. Um den Timer zu blockieren, wird eine Holzspitze in den Schalter eingeführt.



Es ist die Putzfrau, die den Boden reinigt und ihm erklärt: „Ja. Der Timer läuft nur eine Minute der Knopf mit dieser kleinen Holzspitze“...

## **Eine Lösung**

Diese Anekdote löste im Kopf unseres Programmierers eine Idee aus. Da er einige Kenntnisse über Mikrocontroller hatte, machte er sich daran, eine Lösung für die Putzfrau zu finden.

Die Geschichte sagt nicht, in welcher Sprache er seine Lösung programmierte. Sicherlich im Assembler.

Die Steuerung der Lichter leitete er von seiner Schaltung ab:

- Durch einfaches Drücken wird der Timer für eine Minute gestartet.
- Wenn das Licht eingeschaltet ist, verkürzt ein kurzer Tastendruck die Zündverzögerung auf eine Minute.
- Das Geheimnis unseres Programmierers besteht darin, einen langen Druck von 3 Sekunden oder mehr geplant zu haben. Durch langes Drücken wird der Timer für 10 Minuten Beleuchtung gestartet;

- Wenn sich der Timer im Langlauf befindet, verringert ein weiterer langer Druck die Timer-Verzögerung auf eine Minute.
- Ein kurzer Piepton bestätigt die Aktivierung oder Deaktivierung eines langen Timerzyklus.

Die Putzfrau schätzte diese Verbesserung des Timers sehr. Sie musste den Knopf in keiner Weise mehr blockieren.

Was ist mit den anderen Arbeitern? Da diese Funktion niemandem bekannt war, nutzten sie den Timer weiter, indem sie kurz den Aktivierungsschalter drückten.

## Ein FORTH-Timer für ESP32Forth

Sie verstehen, wir werden **Timer verwenden**, um einen Timer zu verwalten, indem wir das zuvor beschriebene Szenario integrieren.

```
\ myLIGHTS mit GPIO18 verbunden
18 constant myLIGHTS

\ definiert maximale Zeit für den normalen oder
\ erweiterten Zyklus in Sekunden
60 constant MAX_LIGHT_TIME_NORMAL_CYCLE
600 constant MAX_LIGHT_TIME_EXXTENDED_CYCLE

\ maximale Zeit für normalen oder verlängerten Zyklus, in Sekunden
0 value MAX_LIGHT_TIME

timers
\ Beleuchtung wird ausgeschaltet, wenn MAX_LIGHT_TIME gleich 0 ist
: cycle.stop ( -- )
    -1 +to MAX_LIGHT_TIME          \ décrémente temps max de 1 seconde
    MAX_LIGHT_TIME 0 = if
        LOW myLIGHTS pin           \ coupe éclairage
    else
        0 rerun
    then
;

\ Timer 0 initialisieren
' cycle.stop 1000000 0 interval

\ startet einen Beleuchtungszyklus, n ist die Verzögerung in Sekunden
: cycle.start ( n -- )
    1+ to MAX_LIGHT_TIME          \ select. Temps max
    myLIGHTS output pinMode
    HIGH myLIGHTS pin             \ active éclairage
    0 rerun
;
```

Wir können unseren Timer bereits testen:

```
3 cycle.start  \ schaltet die Lichter für 3 Sekunden ein
10 cycle.start \ schaltet die Lichter für 10 Sekunden ein
```

Wenn wir `Cycle.start` neu starten , während das Licht an ist, starten wir erneut für einen neuen Beleuchtungszyklus von n Sekunden.

Daher müssen wir die Aktivierung dieser Zyklen noch über einen Schalter verwalten.

## Verwaltung der Licht-Ein-Taste

Das ist keine Raketenwissenschaft. Wir werden einen Druckknopf verwalten. Da wir über eine ESP32-Karte verfügen, die mit ESP32Forth programmierbar ist, werden wir diese nutzen, um diese Taste durch Interrupts zu verwalten. Die Interrupts, die die GPIO-Terminals auf der ESP32-Karte verwalten, sind Hardware-Interrupts.

Unser Taster ist am GPIO17 (G17)-Terminal montiert.

Wir definieren zwei Wörter, `intPosEdge` und `intNegEdge` , die die Art der Auslösung des Interrupts bestimmen:

- `intPosEdge` , um den Interrupt bei steigender Flanke auszulösen;
- `intNegEdge` , um den Interrupt bei fallender Flanke auszulösen.

```
17 constant button \ Mount-Taste auf GPIO17

Unterbrechungen\Interrupt-Vokabular auswählen

\Interrupt zum Auslösen des Signals aktiviert
: intPosEdge ( -- )
    button #GPIO_INTR_POSEDGE gpio_set_intr_type drop
;

\interrupt für Falldown-Signal aktiviert
: intNegEdge ( -- )
    button #GPIO_INTR_NEGEDGE gpio_set_intr_type drop
;
```

Anschließend müssen wir einige Variablen und Konstanten definieren:

- zwei Konstanten, `CYCLE_SHORT` und `CYCLE_LONG` , die verwendet werden, um die Dauer des Leuchtens der Lichter zu definieren. Hier haben wir für unsere Tests 3 und 10 Sekunden gewählt.
- die `msTicksPositiveEdge`- Variable , die die Position des von ms-ticks gelieferten Wartezählers speichert
- Konstante `DELAY_LIMIT` , die den Schwellenwert für die Bestimmung eines kurzen oder langen Tastendrucks bestimmt. Hier sind es 3000 Millisekunden oder 3 Sekunden. Ein normaler Benutzer wird die Licht-Ein-Taste NIEMALS 3 Sekunden lang drücken. Nur die Putzfrau kennt das Manöver, eine lange Dauerbeleuchtung zu haben...

```

03 constant CYCLE_SHORT      \ Leuchtdauer für kurzes Drücken, in Sekunden
10 constant CYCLE_LONG       \ Leuchtdauer für langes Drücken

\ speichert den Wert der MS-Ticks bei steigender Flanke
Variable msTicksPositiveEdge

\ Fristbegrenzung: wenn Verzögerung < DELAY_LIMIT, kurzer Zyklus
3000 constant DELAY_LIMIT

```

Das Wort **getButton** wird bei jedem Interrupt gestartet, der durch Drücken des an GPIO17 (G17) angeschlossenen Druckknopfs auf unserem ESP32-Board ausgelöst wird.

**getButton-** Ausführungen sind Interrupts auf G17 deaktiviert. Diese Unterbrechung wird am Ende der Definition wieder aktiviert. Diese Deaktivierung ist notwendig, um Interrupt-Stacking zu verhindern.

Auf die Deaktivierung folgt die **70000 0 do loop**. Diese Schleife wird zur Verwaltung von Kontakt-Bounces verwendet. Hier verwalten wir die Entprellung per Software.

```

\ Wort wird durch Interrupt ausgeführt
: getButton ( -- )
    button gpio_intr_disable drop
    70000 0 do loop \ anti rebond
    button digitalRead 1 =
    if
        ms-ticks msTicksPositiveEdge !
        intNegEdge
    else
        intPosEdge
        ms-ticks msTicksPositiveEdge @ -
        DELAY_LIMIT >
        if      CYCLE_LONG cr ." BEEP"
        else    CYCLE_SHORT cr ." ----"
    then
    cycle.start
    button gpio_intr_enable drop
;

```

Bei der steigenden Flanke zeichnet das Wort **getButton** den Zustand des Verzögerungszählers auf und positioniert die Interrupts bei der fallenden Flanke. Dann verlassen wir dieses Wort, indem wir die Unterbrechungen reaktivieren.

Bei der fallenden Flanke berechnet das Wort **getButton die seit der steigenden Flanke verstrichene Zeit**. Wenn diese Verzögerung größer als **DELAY\_LIMIT ist**, wird ein langer Zündzyklus eingeleitet. Andernfalls wird ein kurzer Zündzyklus eingeleitet.

Der Beginn eines langen Zündzyklus wird durch die Anzeige von „BEEP“ am Terminal angezeigt.

Im Originalszenario wird dies durch einen kurzen Piepton signalisiert.

Abschließend initialisieren wir den Button und den Hardware-Interrupt auf diesem Button:

```
\ Schaltflächen- und Interrupt-Vektoren initialisieren
button input pinMode          \ wählt G17 im Eingabemodus aus
button gpio_pulldown_en drop  \ aktiviert den Innenwiderstand von G17
' getButton button pinchange
intPosEdge

forth
```

## Abschluss

Sehen Sie sich das Montagevideo an: [https://www.youtube.com/watch?v=OHWMh\\_bIWz0](https://www.youtube.com/watch?v=OHWMh_bIWz0)

Diese sehr einfache Fallstudie zeigt, wie man den Timer und einen Hardware-Interrupt gleichzeitig verwaltet.

Diese beiden Mechanismen haben nur eine sehr geringe präventive Wirkung. Der Timer lässt den Zugriff auf den FORTH-Interpreter frei. Der Hardware-Interrupt ist auch dann betriebsbereit, wenn FORTH einen anderen Prozess ausführt.

Wir machen kein Multitasking. Es ist wichtig, es zu sagen!

Ich hoffe nur, dass dieser Lehrbuchkoffer Ihnen nun viele Anregungen für Ihre Entwicklungen gibt...

# Software-Echtzeituhr

## Das Wort MS-TICKS

Das Wort **MS-TICKS** wird in der Definition des Wortes **ms** verwendet :

```
DEFINED? ms-ticks [IF]
: ms ( n -- )
  ms-ticks >r
  begin
    pause ms-ticks r@ - over
  >= until
  rdrop drop
;
[THEN]
```

Dieses Wort **MS-TICKS** steht im Mittelpunkt unserer Untersuchungen. Wenn wir die ESP32-Karte starten, stellt ihre Ausführung die Anzahl der Millisekunden wieder her, die seit dem Start der ESP32-Karte vergangen sind. Dieser Wert wächst immer noch. Der Sättigungswert dieser Zählung beträgt  $2^{32}-1$  oder 4294967295 Millisekunden oder ungefähr 49 Tage ...

Bei jedem Neustart der ESP32-Karte beginnt dieser Wert wieder bei Null.

## Verwalten einer Softwareuhr

Aus den **HH MM SS-** Daten (Stunden, Minuten, Sekunden) lässt sich leicht ein ganzzahliger Wert in Millisekunden rekonstruieren, der der seit 00:00:00 verstrichenen Zeit entspricht. Wenn wir von dieser Zeit den Wert von **MS-TICKS subtrahieren**, erhalten wir einen Startzeitwert zur Bestimmung der tatsächlichen Zeit . Wir initialisieren daher einen Basiszähler **currentTime** aus dem Wort **RTC.set-time** :

```
0 value currentTime

\ store current time
: RTC.set-time { hh mm ss -- }
  hh 3600 *
  mm 60 *
  ss + + 1000 *
  MS-TICKS - to currentTime
;
```

Initialisierungsbeispiel: **22 52 00 RTC.set-time** initialisiert die Zeitbasis für 22:52:00...

Zur ordnungsgemäßen Initialisierung bereiten Sie die drei Werte **HH MM SS** gefolgt vom Wort **RTC.set-time vor** und achten Sie auf Ihre Uhr. Wenn die erwartete Zeit erreicht ist, führen Sie die Initialisierungssequenz aus.

Die umgekehrte Operation stellt die **HH MM- und SS -Werte** der aktuellen Zeit unter Verwendung dieses Wortes wieder her:

```
\ aktuelle Zeit in Sekunden abrufen
: RTC.get-time ( -- hh mm ss )
    currentTime MS-TICKS + 1000 /
    3600 /mod swap 60 /mod swap
;
```

Abschließend definieren wir das Wort **RTC.display-time** , mit dem Sie nach der Initialisierung unserer Softwareuhr die aktuelle Uhrzeit anzeigen können:

```
\ wird für die SS- und MM-Teilzeitanzeige verwendet
: :## ( n -- n' )
    # 6 base ! # decimal [char] : hold
;

\zeigt die aktuelle Uhrzeit an
: RTC.Anzeigezeit (--)
: RTC.display-time ( -- )
    currentTime MS-TICKS + 1000 /
    <# :## :## 24 MOD #S #> type
;
```

Der nächste Schritt wäre die Verbindung zu einem Zeitserver mit dem NTP-Protokoll, um unsere Software-Uhr automatisch zu initialisieren.

## Messen der Ausführungszeit eines FORTH-Wortes

### Messung der Leistung von FORTH-Definitionen

Beginnen wir mit der Definition des Wortes „**measure:**“ , das diese Ausführungszeitmessungen durchführt:

```
: measure: ( exec: -- <word> )
    ms-ticks >r
    ' execute
    ms-ticks r> -
    cr ." execution time: "
    <# # # [char] . hold #s #> type ." sec." cr
;
```

In diesem Wort rufen wir die Zeit durch **ms-ticks ab** , dann rufen wir den Ausführungscode des Wortes ab, das auf „**measure**“ folgt: Wenn wir dieses Wort ausführen, rufen wir den neuen Zeitwert durch **ms-ticks ab** . Wir machen den Unterschied, der der verstrichenen Zeit in Millisekunden entspricht, die das Wort zur Ausführung benötigt. Beispiel :

```
measure: words
\ zeigt an: execution time: 0.210sec.
```

Das Wort **words** wurde in 0,2 Sekunden ausgeführt. In dieser Zeit sind Übertragungsverzögerungen durch das Endgerät nicht berücksichtigt. Diese Zeit berücksichtigt auch nicht die Verzögerung, die durch **measure:** um den Ausführungscode des zu messenden Wortes abzurufen.

**measure:** gestapelt werden, gefolgt von dem zu messenden Wort:

```
: SQUARE ( n -- n-exp2 )
    dup *
;
3 measure: SQUARE
\ Zeigt an:
\ execution time: 0.000sec.
```

Dieses Ergebnis bedeutet, dass unsere **SQUARE**- Definition in weniger als einer Millisekunde ausgeführt wird.

Wir werden diesen Vorgang einige Male wiederholen:

```
: test-square ( -- )
    1000 for
        3 SQUARE drop
    next
;
3 measure: test-square
\ Zeigt an:
\ execution time: 0.001sec.
```

Indem wir das Wort **SQUARE** 1000 Mal ausführen , gefolgt von einem Stapeln von Werten und einem Entstapeln des Ergebnisses, kommen wir zu einer Ausführungszeit von 1 Millisekunde. Wir können vernünftigerweise folgern, dass **SQUARE** in weniger als einer Mikrosekunde ausgeführt wird!

## Ein paar Schleifen testen

Wir werden einige Schleifen mit 1 Million Iterationen testen. Beginnen wir mit einer **do-loop** :

```
: test-loop ( -- )
    1000000 0 do
        loop
;
measure: test-loop
\ Anzeige:
\ execution time: 1.327sec.
```

Sehen wir uns nun mit einer **for-next**- Schleife an :

```
: test-for ( -- )
    1000000 for
    next
;
```

```
measure: test-for
\ Anzeigt:
\ execution time: 0.096sec.
```

Die **for-next**- Schleife läuft fast 14-mal schneller als die **do-loop** .

Sehen wir uns an, was eine **Begin-Until**- Schleife zu bieten hat:

```
: test-begin ( -- )
  1000000 begin
    1- dup 0=
    until
;
measure: test-begin
\ Anzeigt:
\ execution time: 0.273sec.
```

Dies ist effizienter als die **do-loop** , aber immer noch dreimal langsamer als die **for-next**- Schleife.

Jetzt sind Sie in der Lage, noch effizientere FORTH-Programme zu erstellen.

# **Programmieren Sie einen Sonnenscheinanalysator**

## **Präambel**

Im Rahmen eines Solarprojekts, bei dem mehrere Solarmodule und deren Mikrowechselrichter zum Einsatz kommen, treten einige Probleme bei der Verwaltung der erzeugten elektrischen Energie auf.

Das Hauptanliegen besteht darin, große Verbrauchergeräte nur dann zu aktivieren, wenn die Solarmodule bei voller Sonne produzieren. Besonders betroffen ist ein Gerät, der Heißwasser-Cumulus:

- Aktivieren Sie das Gerät, wenn die Paneele direktem Sonnenlicht ausgesetzt sind.
- Deaktivieren Sie das Gerät, wenn Wolken vorziehen.

Mikrowechselrichter speisen Strom in das allgemeine Stromnetz ein. Wenn ein Gerät, das viel Strom verbraucht, bei Wolkendurchzug aktiv ist, wird dieses Gerät hauptsächlich über das allgemeine Netz mit Strom versorgt.

In diesem Artikel stellen wir eine Lösung vor, die die Wolkenerkennung mithilfe eines Miniatur-Solarpanels und einer ESP32-Karte ermöglicht.

Den vollständigen Code finden Sie hier:

<https://github.com/MPETREMMANN11/ESP32forth/blob/main/ADC/solarLightAnalyzer.txt>

## **Das Miniatur-Solarpanel**

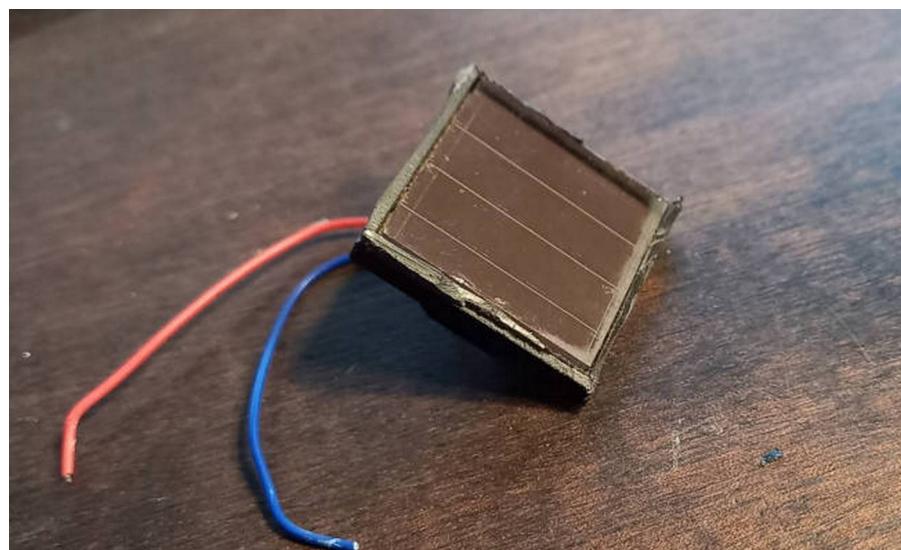
Zur Herstellung unseres Wolkendetektors verwenden wir ein sehr kleines Solarpanel, hier ein 25 mm x 25 mm großes Panel.

## **Wiederherstellung eines Miniatur-Solarpanels**

Dieses Miniatur-Solarpanel stammt aus einer defekten Gartenlampe:



Hier ist unser Mini-Solarpanel aus dieser Gartenlampe:



Wir opfern zwei Dupont-Anschlüsse, um verschiedene Messungen an unserer Prototypenplatte durchführen zu können. Diese Anschlüsse werden an die beiden roten und blauen Drähte angelötet, die aus dem Mini-Solarpanel kommen.

## **Messung der Solarpanelspannung**

Wir beginnen mit der Messung der Leerlaufspannung unseres Mini-Solarpanels, hier mit einem Oszilloskop. Diese Spannungsmessung kann auch mit einem Voltmeter durchgeführt werden:



Bei hellem Licht beträgt die gemessene Spannung 14,2 Volt!

Bei diffusem Licht sinkt die Spannung auf 5,8 Volt.

Durch das Abdecken des Mini-Solarpanels mit der Hand sinkt die Spannung auf nahezu 0 Volt.

## Messung des Solarpanelstroms

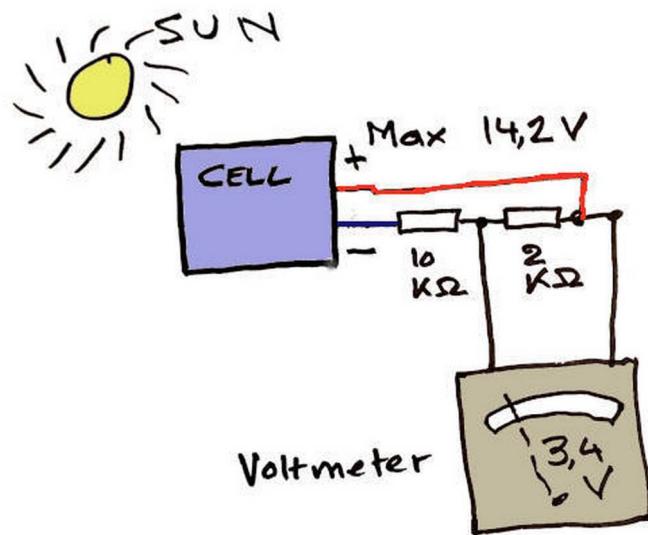
Der Strom, also die Intensität, muss mit einem Amperemeter gemessen werden. Geeignet ist die Amperemeterfunktion eines Universalreglers. Durch Kurzschließen des Mini-Solarpanels bei hellem Licht kann ein Strom von 10 mA gemessen werden.

Unser Mini-Solarpanel hat daher eine Leistung von ca. 0,2 Watt.

Bevor Sie unser Mini-Solarpanel an die ESP32-Karte anschließen, müssen Sie unbedingt die Ausgangsspannung senken. Es kommt nicht in Frage, diese Spannung von 14,2 Volt in einen Eingang der ESP32-Karte einzuspeisen. Eine solche Spannung würde die internen Schaltkreise der ESP32-Platine zerstören.

## Senkung der Solarpanelspannung

Die Idee besteht darin, die Spannung an unserem Mini-Solarpanel zu senken. Nach einigen Tests wählen wir zwei Widerstände aus, einen mit 220 Ohm, den anderen mit 1K Ohm. Montage dieser Widerstände:



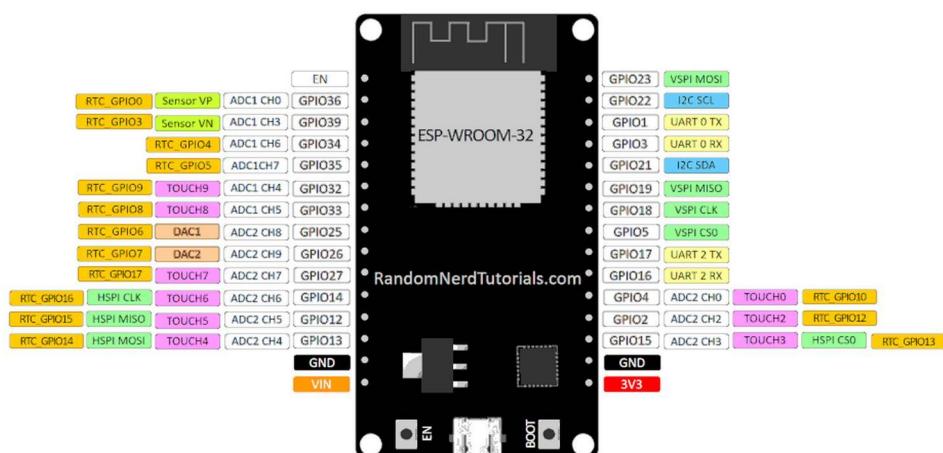
Die Spannungsmessung erfolgt zwischen den beiden Widerständen und dem Pluspol des Solarpannels.

Das Voltmeter zeigt nun bei hellem Licht eine maximale Spannung von 3,2V an, bei diffusem Licht eine Spannung von 0,35V.

## Programmierung des Solaranalysators

Die ESP32-Karte verfügt über 18 12-Bit-Kanäle, die eine Analog-Digital-Umwandlung (ADC) ermöglichen. Um die Spannung unseres Mini-Solarpanels zu analysieren, ist ein einzelner ADC-Kanal notwendig und ausreichend.

nur 15 ADC-Kanäle zur Verfügung:



Wir werden einen verwenden, den **ADC1\_CH6**- Kanal, der an Pin **G34** angeschlossen ist :

```

34 constant SOLAR_CELL

: init-solar-cell ( -- )
    SOLAR_CELL input pinMode
;

init-solar-cell

```

Um die Spannung am Punkt zwischen den beiden Widerständen abzulesen, führen Sie einfach **SOLAR\_CELL analogRead aus**. Diese Sequenz lässt einen Wert zwischen 0 und 4095 fallen. Der niedrigste Wert entspricht einer Nullspannung. Der höchste Wert entspricht einer Spannung von 3,3 Volt.

**solar-cell-read** definition zur Wiederherstellung dieser Spannung:

```

: solar-cell-read ( -- n )
    SOLAR_CELL analogRead
;

```

Testen wir diese Definition in einer Schleife:

```

: solar-cell-loop ( -- )
    init-solar-cell
    begin
        solar-cell-read cr .
        200 ms
    key? until
;

```

Beim Ausführen von **solar-cell-loop** wird alle 200 Millisekunden der ADC-Spannungsumwandlungswert angezeigt:

```

...
322
331
290
172
39
0
0
0
19
79
86
...

```

Hier wurden die Werte durch Beleuchten des Mini-Solarpanels mit einer Hochleistungslampe ermittelt. Nullwerte entsprechen dem Fehlen von Beleuchtung.

Tests mit der echten Sonne zeigen Messungen über 300.

## Verwalten der Aktivierung und Deaktivierung eines Geräts

Zunächst definieren wir zwei Pins, von denen ein Pin für die Verwaltung eines Aktivierungssignals und der andere für ein Deaktivierungssignal reserviert ist:

- G17-Pin mit einer grünen LED verbunden. Mit diesem Pin wird ein Gerät aktiviert.
- G16-Pin mit einer roten LED verbunden. Mit dieser PIN wird ein Gerät deaktiviert.

```
17 constant DEVICE_ON      \ green LED
16 constant DEVICE_OFF     \ red LED

: init-device-state ( -- )
  DEVICE_ON  output pinMode
  DEVICE_OFF output pinMode
;
```

Wir hätten einen einzigen Pin verwenden können, um das Remote-Gerät zu verwalten. Aber einige Geräte, wie zum Beispiel bistabile Relais, haben zwei Spulen:

- Die erste Spule wird mit Strom versorgt, so dass die Kontakte schalten. Der Zustand ändert sich nicht, wenn die Spule nicht mehr bestromt wird;
- Um in den Ausgangszustand zurückzukehren, wird die zweite Spule mit Strom versorgt.

Aus diesem Grund wird unsere Programmierung diesen Gerätetyp berücksichtigen.

```
\ Definieren Sie die High-State-Verzögerung des Triggers
500 value DEVICE_DELAY

\ setze HIGH-Level des Triggers
: device-activation { trigger -- }
  trigger HIGH digitalWrite
  DEVICE_DELAY ?dup
  if
    ms
    trigger LOW  digitalWrite
  then
;
```

Hier wird die Pseudokonstante **DEVICE\_DELAY** verwendet, um die Verzögerung anzugeben, während der das Steuersignal hoch gehalten werden soll. Nach dieser Zeit kehrt das Steuersignal in den Low-Zustand zurück.

Wenn der Wert von **DEVICE\_DELAY** Null ist, bleibt das Steuersignal hoch.

Es ist das Wort **trigger-activation**, das die Aktivierung des entsprechenden Pins verwaltet:

- **TRIGGER\_ON trigger-activation** setzt den an die grüne LED angeschlossenen Pin dauerhaft oder vorübergehend auf High;

- **TRIGGER\_OFF trigger-activation** setzt den an die rote LED angeschlossenen Pin dauerhaft oder vorübergehend auf High.

Wir definieren nun zwei Wörter, **device-ON** und **device-OFF**, die jeweils für die Aktivierung und Deaktivierung des Geräts verantwortlich sind, das über die Pins G16 und G17 gesteuert werden soll:

```
\ Gerätetestatus definieren: 0=LOW, -1=HIGH
0 value DEVICE_STATE

: enable-device ( -- )
  DEVICE_STATE invert
  if
    DEVICE_OFF LOW digitalWrite
    DEVICE_ON device-activation
    -1 to DEVICE_STATE
  then
;

: disable-device ( -- )
  DEVICE_STATE
  if
    DEVICE_ON LOW digitalWrite
    DEVICE_OFF device-activation
    0 to DEVICE_STATE
  then
;
```

Der Gerätetestatus wird in **DEVICE\_STATE** gespeichert . Dieser Status wird getestet, bevor versucht wird, den Status zu ändern. Wenn das Gerät aktiv ist, wird es nicht wiederholt reaktiviert. Das Gleiche gilt, wenn das Gerät inaktiv ist.

```
\ Triggerwert für sonnigen oder bewölkten Himmel definieren
300 value SOLAR_TRIGGER

\ wenn Solarlicht > SOLAR_TRIGGER, Aktion aktivieren
: action-light-level ( -- )
  solar-cell-read SOLAR_TRIGGER >=
  if
    enable-device
  else
    disable-device
  then
;
```

## Ausgelöst durch Timer-Interrupt

Der eleganteste Weg ist die Verwendung eines Timer-Interrupts. Wir verwenden Timer 0:

```
0 to DEVICE_DELAY
200 to SOLAR_TRIGGER
init-solar-cell
init-device-state

timers
: action ( -- )
  action-light-level
```

```

0 rerun
;

' action 1000000 0 interval

```

Von nun an analysiert der Timer jede Sekunde den Lichtfluss und reagiert entsprechend.  
Link zum Video: <https://youtu.be/lAjeev2u9fc>

Bei diesem Video berücksichtigen wir zwei Parameter:

- **0 to DEVICE\_DELAY** leuchten die LEDs dauerhaft. Die rote LED zeigt an, dass das Gerät deaktiviert ist. Die grüne LED zeigt die Geräteaktivierung an;
- **200 to SOLAR\_TRIGGER** bestimmt den Schwellenwert zum Auslösen des Sonnenscheinzustands. Dieser Parameter ist einstellbar, um ihn an die Eigenschaften des Mini-Solarmoduls anzupassen.

Das **action**-wort funktioniert per Timer-Interrupt. Für den Betrieb des Detektors ist daher keine allgemeine Schleife erforderlich.

## Vom Sonnenscheinsensor gesteuerte Geräte

Zusammenfassend haben wir zwei Steuerleitungen, eine Leitung entspricht der grünen LED im Video, die andere Leitung entspricht der roten LED. Das Programm ist so konzipiert, dass nicht beide Steuerleitungen gleichzeitig aktiv sein können.

Um ein kontinuierliches Signal auf einer der Steuerleitungen zu haben, muss der **DEVICE\_DELAY**- Wert nur Null sein. So initialisieren Sie dieses Szenario:

```

\ Beginnen Sie mit einem konstanten Befehlssignal
: start-CCS ( -- )
    0 to DEVICE_DELAY
    200 to SOLAR_TRIGGER
    init-solar-cell
    init-device-state
    disable-device
    [ timers ] ['] action 1000000 0 interval
;

```

Und um zeitgesteuerte Befehle zu erhalten, weisen wir **DEVICE\_DELAY** die Verzögerung des Aktivierungs- oder Deaktivierungsbefehls des Geräts zu.

```

\ Beginnen Sie mit einem temporären Befehlssignal
: start-TCS ( -- )
: start-TCS ( -- )
    300 to DEVICE_DELAY
    200 to SOLAR_TRIGGER
    init-solar-cell
    init-device-state
    disable-device
    [ timers ] ['] action 1000000 0 interval
;

```

**start-TCS**- Szenario ist typisch für eine impulsbetriebene bistabile Relaissteuerung. Das Relais wird aktiviert, wenn es einen Aktivierungsbefehl erhält. Auch wenn das Aktivierungssignal abfällt, bleibt das bistabile Relais aktiv. Um das bistabile Relais zu deaktivieren, muss ihm auf der Deaktivierungsleitung ein Deaktivierungsbefehl übermittelt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass unser Solarlichtanalysator eine Vielzahl von Geräten steuern kann. Es reicht aus, die Steuerschnittstellen dieser Geräte an die Eigenschaften der GPIO-Ports der ESP32-Karte anzupassen.



# Installieren der OLED-Bibliothek für SSD1306

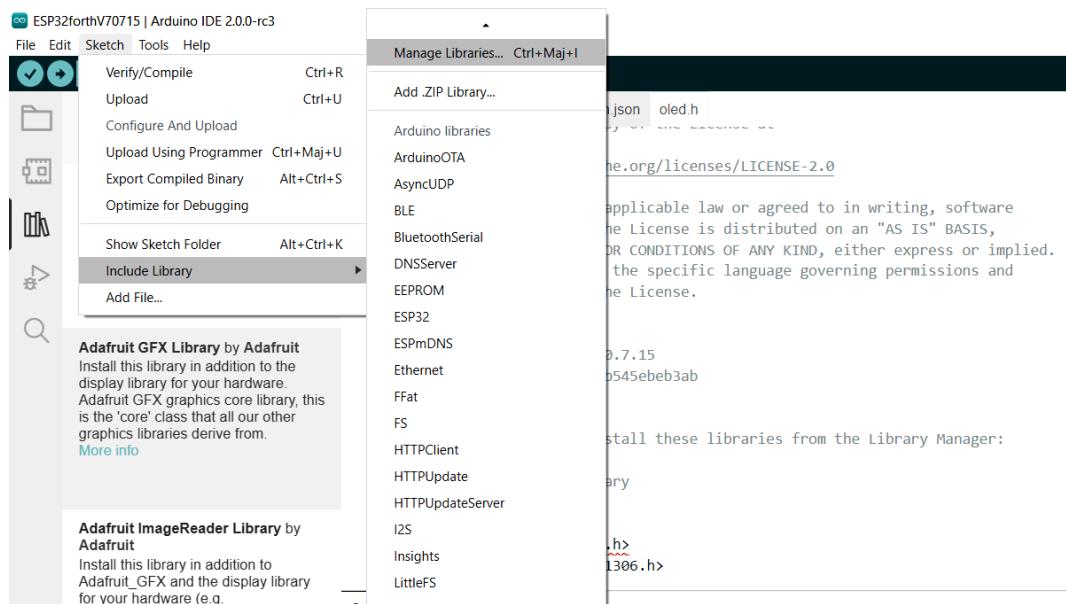
Seit ESP32forth Version 7.0.7.15 sind die Optionen im **optional** Ordner verfügbar:

Téléchargements > ESP32forth-7.0.7.15(1).zip > ESP32forth > optional	
Nom	Type
assemblers.h	Fichier H
camera.h	Fichier H
interrupts.h	Fichier H
oled.h	Fichier H
README-optional.txt	Document texte
rmt.h	Fichier H
serial-bluetooth.h	Fichier H
spi-flash.h	Fichier H

Um das **oled** Vokabular zu erhalten, kopieren Sie die Datei **oled.h** in den Ordner, der die Datei **ESP32forth.ino** enthält.

Starten Sie dann ARDUINO IDE und wählen Sie die neueste **ESP32forth.ino**-Datei aus.

Wenn die OLED-Bibliothek nicht installiert wurde, klicken Sie in der ARDUINO IDE auf *Sketch* und wählen Sie *Include Library* und dann *Manage Libraries*.



Suchen Sie in der linken Seitenleiste nach der Bibliothek **Adafruit SSD1306 by Adafruit**.

Sie können nun den Sketch compilieren und uploaden. Klicken Sie dazu auf *Sketch* und dann *Upload*.

Wenn der Sketch auf das ESP32-Board hochgeladen ist, starten Sie das TeraTerm-Terminal. Überprüfen Sie, ob das **oled**-Vokabular vorhanden ist :

```
oled vlist \ display:  
OledInit SSD1306_SWITCHCAPVCC SSD1306_EXTERNALVCC WHITE BLACK OledReset  
HEIGHT WIDTH OledAddr OledNew OledDelete OledBegin OledHOME OledCLS OledTextc  
OledPrintln OledNumln OledNum OledDisplay OledPrint OledInvert OledTextsize  
OledSetCursor OledPixel OledDrawL OledCirc OledCircF OledRect OledRectF  
OledRectR OledRectRF oled-builtins
```

# Die I2C-Schnittstelle auf ESP32

## Einführung

I2C (bedeutet auf Englisch: Inter-Integrated Circuit) ist ein Computerbus, der aus dem „Krieg der Standards“ hervorgegangen ist, den die Akteure der elektronischen Welt begonnen haben. Es wurde von Philips für Heimautomatisierungs- und Haushaltselektronikanwendungen entwickelt und ermöglicht den einfachen Anschluss eines Mikroprozessors und verschiedener Schaltkreise, insbesondere eines modernen Fernsehers: Fernbedienungsempfänger, Einstellungen des Niederfrequenzverstärkers, Tuner, Uhr, Verwaltung der Scart-Buchse usw. .

Es gibt unzählige Peripheriegeräte, die diesen Bus nutzen, er kann sogar per Software in jeden Mikrocontroller implementiert werden. Das Gewicht der Unterhaltungselektronikindustrie hat dank dieser zahlreichen Komponenten sehr niedrige Preise ermöglicht.

Dieser Bus wird von bestimmten Herstellern manchmal als TWI (Two Wire Interface) oder TWSI (Two Wire Serial Interface) bezeichnet.

Der Austausch findet immer zwischen einem einzelnen Master und einem (oder allen) Slave(s) statt, immer auf Initiative des Masters (niemals von Master zu Master oder von Slave zu Slave). Allerdings hindert nichts eine Komponente daran, vom Master- in den Slave-Status und umgekehrt zu wechseln.

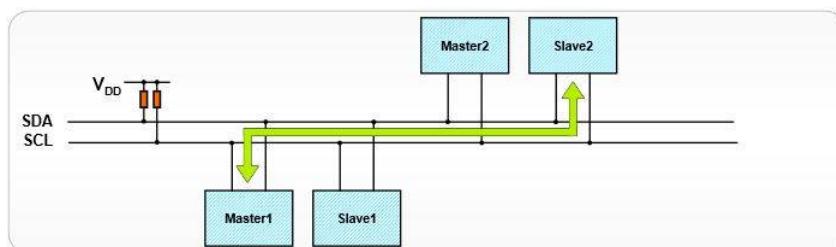


Figure 2: Prinzip eines I2C-Busses

Die Verbindung erfolgt über zwei Leitungen:

- SDA (Serial Data Line): bidirektionale Datenleitung,
- SCL (Serial Clock Line): bidirektionale Synchronisationstaktleitung.

Wir dürfen die Masse nicht vergessen, die den Geräten gemeinsam sein muss.

Beide Leitungen werden über Pull-up-Widerstände (RP) auf den Spannungsspeigel VDD gezogen.

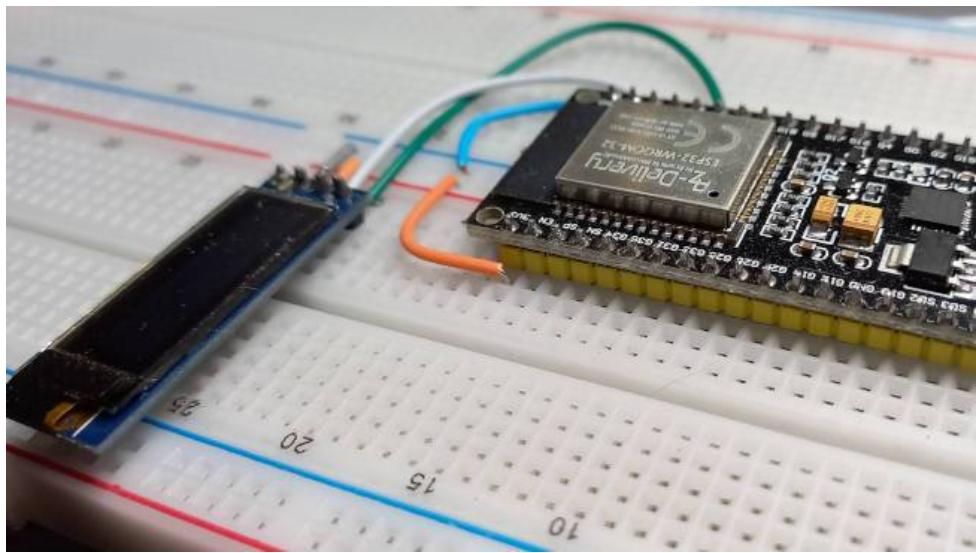


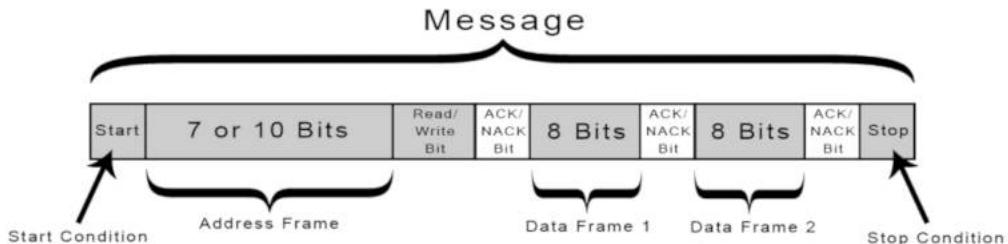
Figure 3: An den I2C-Bus angeschlossenes OLED-Display

## Master-Slave-Austausch

Die Nachricht kann in zwei Teile unterteilt werden:

- Der Master ist der Sender, der Slave ist der Empfänger:
  - Aussenden einer START-Bedingung durch den Master („S“),
  - Übertragung des Adressbytes oder der Adressbytes durch den Master zur Bezeichnung eines Slaves, wobei das R/W-Bit auf 0 steht (siehe Abschnitt zur Adressierung weiter unten),
  - Antwort vom Slave mit einem ACK-Bestätigungsbit (oder NACK-Nichtbestätigungsbit),
  - Nach jeder Quittierung kann der Slave eine Pause („PA“) anfordern.
  - Senden eines Befehlsbytes durch den Master für den Slave,
  - Antwort vom Slave mit einem ACK-Bestätigungsbit (oder NACK-Nichtbestätigungsbit),
  - Aussenden einer RESTART-Bedingung durch den Master („RS“),
  - Übertragung des Adressbytes oder der Adressbytes durch den Master zur Bezeichnung desselben Slaves, wobei das R/W-Bit auf 1 steht.
  - Antwort vom Slave mit einem ACK-Bestätigungsbit (oder NACK-Nichtbestätigungsbit).
- Der Master wird zum Empfänger, der Slave wird zum Sender:
  - Senden eines Datenbytes durch den Slave für den Master,

- Antwort vom Master mit einem ACK-Bestätigungsbit (oder NACK-Nichtbestätigungsbit),
- Übertragung weiterer Datenbytes durch den Slave mit Quittung vom Master,
- für das letzte vom Master erwartete Datenbyte antwortet er mit einem NACK, um den Dialog zu beenden,
- Ausgabe einer STOP-Bedingung durch den Master („P“).



**Startbedingung** : Die SDA-Leitung wechselt von einem hohen Spannungspiegel auf einen niedrigen Spannungspiegel, bevor die SCL-Leitung von hoch auf niedrig wechselt.

**Abschaltbedingung** : Die SDA-Leitung wechselt von einem niedrigen Spannungspiegel auf einen hohen Spannungspiegel, nachdem die SCL-Leitung von niedrig auf hoch wechselt.

**Adressrahmen** : eine eindeutige 7- oder 10-Bit-Sequenz für jeden Slave, die den Slave identifiziert, wenn der Master mit ihm kommunizieren möchte.

**Lese-/Schreibbit** : Ein einzelnes Bit, das angibt, ob der Master Daten an den Slave sendet (niedriger Spannungspiegel) oder Daten von ihm anfordert (hoher Spannungspiegel).

**ACK/NACK-Bit** : Auf jeden Frame einer Nachricht folgt ein Bestätigungs-/Nichtbestätigungsbit. Wenn ein Adressrahmen oder Datenrahmen erfolgreich empfangen wurde, wird ein ACK-Bit an den Absender zurückgegeben.

## Adressierung

I2C hat keine Slave-Auswahlleitungen wie SPI, daher braucht es eine andere Möglichkeit, dem Slave mitzuteilen, dass Daten an ihn und nicht an einen anderen Slave gesendet werden. Dies geschieht durch Adressierung. Der Adressrahmen ist immer der erste Rahmen nach dem Startbit in einer neuen Nachricht.

Der Master sendet jedem mit ihm verbundenen Slave die Adresse des Slaves, mit dem er kommunizieren möchte. Anschließend vergleicht jeder Slave die vom Master gesendete Adresse mit seiner eigenen. Wenn die Adresse übereinstimmt, wird ein ACK-Bit mit

niedriger Spannung an den Master zurückgegeben. Wenn die Adresse nicht übereinstimmt, unternimmt der Slave nichts und die SDA-Leitung bleibt hoch.

Auf diese Weise erkennt das **Wire.detect**- Wort Geräte, die an den I2C-Bus angeschlossen sind.

Sie können mehrere verschiedene Geräte an den I2C-Bus anschließen. Sie können nicht mehrere Kopien desselben Geräts an denselben I2C-Bus anschließen.

## GPIO-Ports für I2C einstellen

Das Einrichten der GPIO-Ports für den I2C-Bus ist sehr einfach:

```
\ Aktivieren Sie das Wire-Vokabular
Wire
\ Starten Sie die I2C-Schnittstelle über Pin 21 und 22 am ESP32 DEVKIT V1
\ wobei 21 als SDA und 22 als SCL verwendet werden.
21 22 wire.begin
```

## I2C-Busprotokolle

Der Dialog findet nur zwischen einem Meister und einem Sklaven statt. Dieser Dialog wird immer vom Master initiiert (Startbedingung): Der Master sendet die Adresse des Slaves, mit dem er auf dem I2C-Bus kommunizieren möchte.

Der Dialog wird immer vom Master beendet (Stop-Bedingung).

Das Taktsignal (SCL) wird vom Master generiert.

## Erkennen eines I2C-Geräts

Dieser Teil wird verwendet, um das Vorhandensein eines an den I2C-Bus angeschlossenen Geräts zu erkennen.

Sie können diesen Code kompilieren, um zu testen, ob angeschlossene und aktive Module am I2C-Bus vorhanden sind.

```
\ aktiviert das Wire-Vokabular
Wire
\ startet die I2C-Schnittstelle über Pin 21 und 22 auf ESP32 DEVKIT V1
\ mit 21 für sda und 22 für scl.
21 22 wire.begin

: spaces ( n -- )
  for
    space
  next
;
```

```

: .## ( n -- )
  <# # # #> type
;

\Nicht alle Bitmuster sind gültige 7-Bit-i2c-Adressen
: Wire.7bitaddr? ( a -- f )
  dup $07 >=
  swap $77 <= and
;

: Wire.detect ( -- )
  base @ >r hex
  cr
  ."      00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0a 0b 0c 0d 0e 0f"
$80 $00 do
  i $0f and 0=
  if
    cr i .## ." : "
  then
  i Wire.7bitaddr? if
    i Wire.beginTransmission
    -1 Wire.endTransmission 0 =
    if
      i .## space
    else
      ." -- "
    then
  else
    2 spaces
  then
loop
cr r> base !
;

```

Hier zeigt die Ausführung des Worts **Wire.detect** an, dass das OLED-Anzeigegerät an der Hexadezimaladresse 3c vorhanden ist:

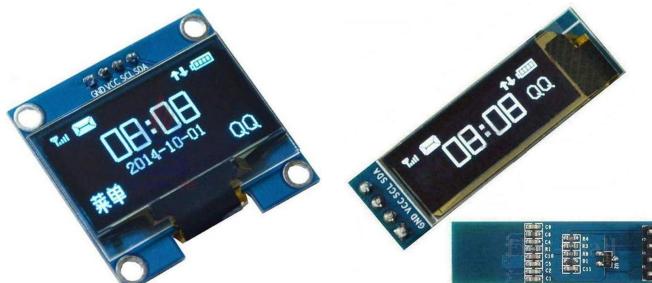
Wire.detect	00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0a 0b 0c 0d 0e 0f
00 :	-----
10 :	-- -- -----
20 :	-- -- -----
30 :	-- -- ----- 3c -----
40 :	-- -- -----
50 :	-- -- -----
60 :	-- -- -----
70 :	-- -- -----

Hier haben wir ein Modul an der Hexadezimaladresse 3c erkannt. Dies ist die Adresse, die wir zur Adressierung dieses Moduls verwenden werden...

# Das SSD1306 OLED-Display

Das OLED-Display gibt es in zwei Definitionen:

- 128 x 64 Pixel, Monochrom- oder Farbbildschirm. Wenn der Bildschirm farbig ist, bleiben die Pixel monochrom.
- 128 x 32 Pixel, monochromer Bildschirm.



Diese Displays sind mit SPI- oder I2C-Schnittstelle verfügbar.

Bevorzugen Sie die I2C-Schnittstelle, die den Anschluss mehrerer I2C-Schnittstellen an demselben I2C-Gerät ermöglicht. Das **OLED-** Vokabular ist darauf ausgelegt, die Übertragung über I2C an diese OLED-Displays zu verwalten.

## Auswahl einer Anzeigeschnittstelle

Die Wahl einer Anzeigeschnittstelle unterliegt mehreren Bedingungen:

- sein Preis;
- sein Stromverbrauch;
- seine Robustheit;
- seine einfache Programmierung und Verwendung.

Eine Anzeigeschnittstelle ist bei einem eigenständigen Setup sehr nützlich, um sehr klare Text- oder Grafikinformationen bereitzustellen.

Nach mehreren Recherchen fiel die Wahl auf ein OLED-Display dieser Art

Es kostet nur ein paar Euro.

Dieses Display nutzt OLED-Technologie, also ohne Hintergrundbeleuchtung.



Die Displayauflösung beträgt 128x32 Pixel. Es kann Text und Bilder anzeigen, jedoch nur in Schwarzweiß.

Im **DISPLAYOFF**- Modus ist der Stromverbrauch nahezu Null.

Es handelt sich um ein sehr weit verbreitetes und recht gut dokumentiertes Produkt.

## Online-Dokumentation

- Adafruit: Technische Dokumentation und Steuerung des OLED-Displays  
<https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
- Adafruit: SSD1306 C-Bibliothek  
[https://adafruit.github.io/Adafruit\\_SSD1306/html/files.html](https://adafruit.github.io/Adafruit_SSD1306/html/files.html)
- Adafruit: SSD1306 microPython  
<https://github.com/adafruit/micropython-adafruit-ssd1306>
- Punyforth: SSD1306 SPI Forth  
<https://github.com/zeroflag/punyforth/blob/master/arch/esp8266/forth/ssd1306-spi.forth>
- TG9541: Forth Oled-Display  
<https://github.com/TG9541/forth-oled-display/blob/master/ssd1306.fs>
- Yunfan: SSD1306 128x32 i2c von  
<https://gist.github.com/yunfan/2d3ee14697f3ebd3cb43ae411216d9aa>

## Anschließen des SSD1306 OLED-Displays

Das SSD1306 128x32 OLED-Display muss am I2C-Bus der ESP32-Karte verwendet werden.

Dieser I2C-Bus ist auf allen ESP32-Boards vorhanden.

Verbindung zu einer ESP32-Karte:

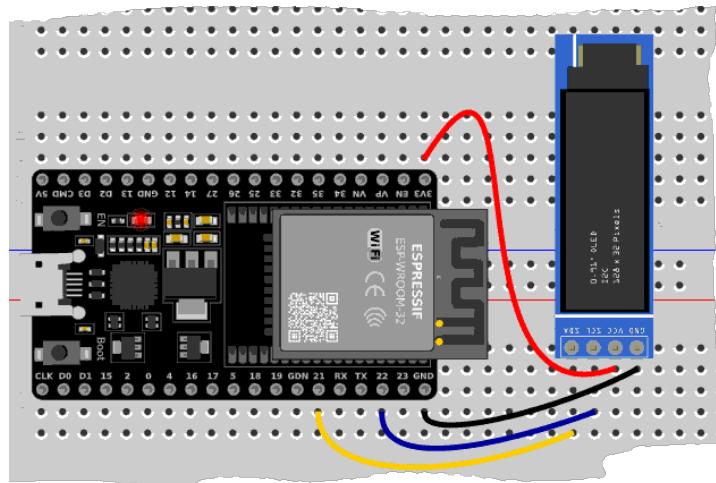


Figure 4: branchement de l'afficheur OLED SSD1306

Wie wir sehen, reichen 4 Drähte aus: 2 für die Stromversorgung des SSD1306 OLED-Displays (schwarze und rote Drähte), 2 für die Verbindung zum I2C-Bus (blaue und gelbe Drähte).

Die Stromversorgung des Displays erfolgt über die ESP32-Karte. Es ist nicht erforderlich, eine Hilfsstromversorgung zu verwenden. Der sehr geringe Stromverbrauch dieses Displays ermöglicht dies. Das OLED-Display SSD1306 verfügt über einen integrierten Schaltkreis, der die für seinen Betrieb erforderliche 5-V-Spannung zurückbringt.

## Gedächtnisorganisation

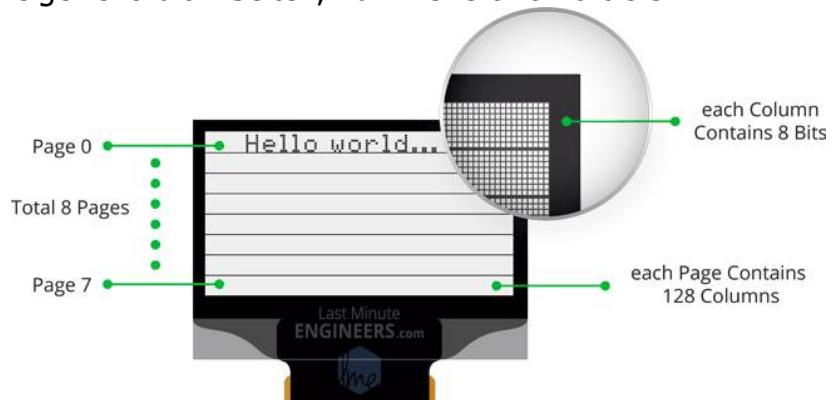
Der Bildschirm SSD1306 128x32 verwendet die gleichen internen Komponenten wie der Bildschirm SSD1306 128x64. Der interne Speicher ist beiden Modellen gemeinsam, der 128x32-Bildschirm nutzt nur einen Teil dieses Speichers.

Der interne Speicher des Displays verfügt über 1 KB RAM.

In diesem Diagramm ist hier die Organisation des Bildschirms für eine Auflösung von 128 x 64 Pixeln dargestellt:

Jede Spalte enthält 8 Bits. Pro Seite ist eine Zeile vorgesehen:

- Die 128x64-Anzeige: enthält 8 Seiten, nummeriert von 0 bis 7
- Die 128x32-Anzeige: enthält 4 Seiten, nummeriert von 0 bis 3



Jede Seite ist in Segmente unterteilt:

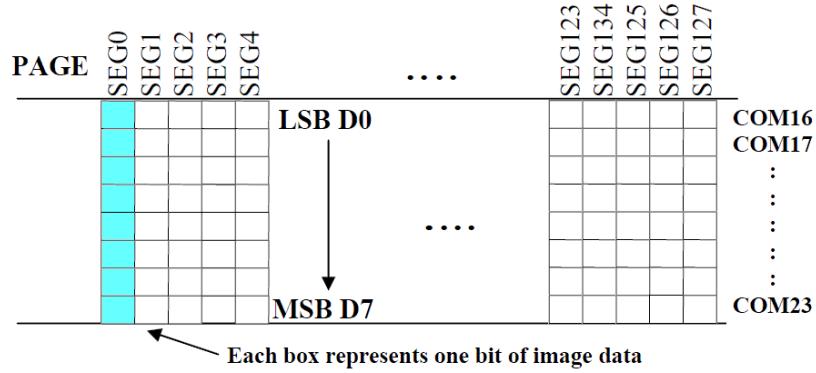


Figure 5: segmentation de l'espace mémoire de l'afficheur

Hier, in der Abbildung blau dargestellt, stellt ein Segment ein Byte dar. Das niederwertigste Bit steht oben.

Wir müssen nicht weiter gehen, um dieses Display mit dem **OLED**- Vokabular zu verwalten .

## Organisieren Sie das SSD1306-Projekt

Bevor wir zum Kern der Sache kommen, schauen wir uns an, wie wir unser Projekt organisieren werden. Erstellen Sie auf Ihrem Computer einen Arbeitsordner mit dem Namen **display** . Erstellen Sie in diesem Ordner einen Unterordner **SSD1306** .

Wir werden die Verwaltung von SPIFFS-Dateien und die Erstellung unseres FORTH-Codes in einem echten Projekt voll ausschöpfen.

### Erstellen Sie die Datei autoexec.fs

Erstellen Sie in Ihrem Arbeitsbereich, also auf Ihrem Computer, im Unterordner SSD1306 die Datei autoexec.fs und kopieren Sie diesen FORTH-Code hinein:

```

create crlf 13 C, 10 C,
: RECORDFILE  ( "filename" "filecontents" "<EOF>" -- )
    bl parse
    W/O CREATE-FILE throw >R
    BEGIN
        tib #tib accept
        tib over
        S" <EOF>" startswith?
        DUP IF
            swap drop
        ELSE
            swap
            tib swap
            R@ WRITE-FILE throw
            crlf 1+ 1 R@ WRITE-FILE throw

```

```

    THEN
UNTIL
R> CLOSE-FILE throw
;
: MAIN
  s" /spiffs/main.fs" included
;

```

Öffnen Sie als Nächstes das Terminal, das mit ESP32forth kommuniziert, und führen Sie dann **visual edit** aus :

```
visual edit /spiffs/autoexec.fs
```

Und kopieren Sie den oben beschriebenen Inhalt von **autoexec.fs**. Geben Sie am Ende der Bearbeitung mit dem Terminal STRG-S und STRG-X und Y ein. Starten Sie ESP32forth mit **bye neu**. Sie müssen die Wörter **RECORDFILE** und **MAIN** finden, indem Sie Folgendes eingeben :

```

ok
--> words
MAIN RECORDFILE crlf FORTH spi oled telnetd registers webui login  web-interface
httpd ok LED OUTPUT INPUT HIGH LOW tone freq duty adc pin default-key?
default-key default-type visual set-title page at-xy normal bg fg ansi

```

Diese Manipulationen werden uns einige Erleichterungen bieten, die wir nun näher erläutern werden.

## Erstellen der Datei main.fs

Unterordner **SSD1306** die Datei **main.fs** und kopieren Sie diesen FORTH-Code hinein:

```

RECORDFILE /spiffs/main.fs
DEFINED? --oledTest [if] forget --oledTest  [then]
create --oledTest
s" /spiffs/config.fs"      included
s" /spiffs/oledTools.fs"   included
<EOF>

```

Kopieren Sie diesen Code erneut und starten Sie das Terminal, das mit dem ESP32 und der ESP32forth-Karte kommuniziert. Kopieren Sie diesen Code in das Terminal. Starte es. Am Ende der Ausführung sollten Sie Ihre main.fs-Datei auf der ESP32-Karte finden:

```

--> ls /spiffs/
autoexec.fs
main.fs

```

So überprüfen Sie, ob der Inhalt von **main.fs** im SPIFFS-Dateisystem gespeichert wurde:

```
cat /spiffs/main.fs
```

sollte den Inhalt der Datei **/spiffs/main.fs** anzeigen .

## Erstellen der Datei config.fs

Unterordner **SSD1306** die Datei **config.fs** und kopieren Sie diesen FORTH-Code hinein:

```
RECORDFILE /spiffs/config.fs
\ Oled SSD1306-Abmessungen festlegen
alt
oled
128 to WIDTH
32 to HEIGHT
forth
\set Adresse der OLED SSD1306 Anzeige 128x32 Pixel
$3c constant I2C_SSD1306_ADDRESS
<EOF>
```

wie bei **main.fs** über das Terminal, um die neue Datei **config.fs** zu speichern.

## Erstellen der Datei oledTools.fs

Hier ist vorerst unsere letzte **oledTools.fs**- Datei, die Sie auf dem Computer erstellen und an die ESP32-Karte übertragen können :

```
RECORDFILE /spiffs/oledTools.fs
oled
: Oled128x32Init
  OledAddr @ 0=
  if
    WIDTH HEIGHT OledReset OledNew
    SSD1306_SWITCHCAPVCC I2C_SSD1306_ADDRESS OledBegin drop
  then
  OledCLS
  1 OledTextsize      \ Zeichne 2x skalierten Text
  WHITE OledTextc      \ Zeichne weißen Text
  0 0 OledSetCursor    \ Beginnen Sie in der oberen linken Ecke
  z" *Esp32forth*" OledPrintln OledDisplay
;
forth
<EOF>
```

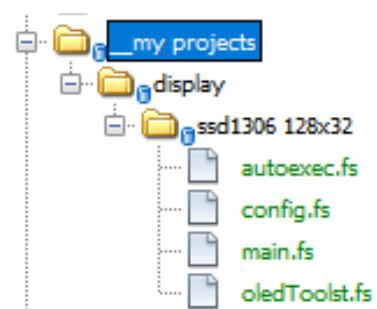
## Testen Sie unser SSD1306-Projekt

Hier ist die Struktur unseres Projekts auf unserer Computerfestplatte.

Alle FS-Erweiterungsdateien wurden an die ESP32-Karte übergeben, um im SPIFFS-Dateisystem gespeichert zu werden.

Um den Inhalt der Datei /SPIFFS/config.fs zu kompilieren, können Sie dies über das Terminalfenster testen, das mit ESP32forth kommuniziert :

```
include /spiffs/config.fs
```



Fiaure 6: fichiers du proiet

Wenn Sie den Inhalt der Datei **config.fs** niemals ändern , steht er ESP32forth immer zur Verfügung, sobald das ESP32-Board eingeschaltet wird.

**main.fs**- Datei übergeben haben ? Der Inhalt dieser Datei muss für den Aufruf der verschiedenen Projektdateien reserviert werden. Erinnerung an den Inhalt unserer main.fs-Datei, wie er auf der ESP32-Karte im SPIFFS-Dateisystem aufgezeichnet ist:

EFINED? --oledTest [if] forget --oledTest [then]

```
create --oledTest

s" /spiffs/config.fs"      included
s" /spiffs/oledTools.fs"   included
```

In den ersten beiden Zeilen können Sie einen Marker verwalten. Jedes Mal, wenn der Inhalt von **main.fs** interpretiert wird , testet ESP32forth, ob ein **--oledTest** -Wort vorhanden ist . Wenn dieses Wort existiert, wird es aus dem Wörterbuch gelöscht. Alle nach **--oledTest** kompilierten Wörter werden aus dem Wörterbuch entfernt.

In der zweiten Zeile erstellen wir das Wort **--oledTest** neu . Es ist nicht überraschend, dieses Wort zu entfernen und neu zu erstellen. Auf diese Weise wird jedes Mal, wenn der Inhalt von **main.fs** interpretiert wird , das Wörterbuch von ESP32forth mit Inhalten neu gestartet, die unser Projekt nicht stören.

Schließlich wird ESP32forth in den letzten beiden Zeilen von **main.fs** aufgefordert, den Inhalt der Dateien **config.fs** und **oledTools.fs** zu verarbeiten . Um diese globale Verarbeitung zu starten, können wir Folgendes eingeben:

```
include /spiffs/main.fs
```

Wenn Sie ein komplexes Projekt haben, müssen Sie diese Behandlung möglicherweise Dutzende oder sogar Hunderte Male eingeben. Erinnern Sie sich, dass wir in der Datei **autoexec.fs** das Wort **MAIN** definiert haben? Erinnerung an die Definition dieses Wortes :

```
: MAIN
  s" /spiffs/main.fs"      included
;
```

Sehr gut ! Wir können also einfach **MAIN** eingeben , anstatt **include /spiffs/main.fs** auszuführen...

Sollen wir den Test machen? OK. Schalten Sie die ESP32-Karte aus. Schalten Sie es wieder ein. Öffnen Sie das Terminal, das mit ESP32forth kommuniziert, und geben Sie MAIN ein. Alle Projektinhalte werden fast sofort ausgeführt und kompiliert! Geben Sie **Wörter ein** . Alle Wörter in unserem Projekt sind im **vierten Vokabular enthalten** .

Wir überprüfen, ob es funktioniert, indem wir jetzt Folgendes eingeben:

```
oled128x32Init
```

\*Esp32forth\* anzeigen :



Figure 7: résultat de l'exécution du mot Oled128x32Init

Von diesem Moment an können wir alle anderen Wörter unseres Projekts schreiben und umsetzen.

## Verwenden Sie OLED-Vokabular

Die Wörter, die wir zur Verwendung unseres SSD1306 128x32 OLED-Displays verwenden werden, sind im **OLED**- Vokabular verfügbar :

```
--> oled vlist
oledInit SSD1306_SWITCHCAPVCC SSD1306_EXTERNALVCC WHITE BLACK OledReset
HEIGHT WIDTH OledAddr OledNew OledDelete OledBegin OledHOME OledCLS OledTextc
OledPrintln OledNumln OledNum OledDisplay OledPrint OledInvert OledTextsize
OledSetCursor OledPixel OledDrawL OledFastHLine OledFastVLine OledCirc
OledCircF OledRect OledRectF OledRectR OledRectRF oled-builtins
```

## Initialisieren des I2C-Busses für das SSD1306 OLED-Display

Unser OLED-Display ist mit dem I2C-Bus verkabelt. Es ist daher an der hexadezimalen Adresse 3c auf diesem I2C-Bus verfügbar. Als erstes muss daher eine Konstante definiert werden :

```
\ set Adresse der OLED SSD1306 Anzeige 128x32 Pixel
$3c constant I2C_SSD1306_ADDRESS
```

Im Oled-Vokabular gibt es eine **OledAddr**- Variable , die für die Speicherung dieser 3c-Adresse verantwortlich ist. Wenn diese Adresse einen Nullwert enthält, liegt das daran, dass der I2C-Bus keine Verbindung mit unserem SSD1306-Display hergestellt hat. Es ist dieser Nullwert, der die Initialisierung dieser Verbindung bedingt:

```
OledAddr @ 0=
if
    \ init I2C communication with SSD1306
then
```

Hier ist der Initialisierungsteil unserer Kommunikation über den I2C-Bus zum SSD1306 OLED-Display :

```
WIDTH HEIGHT OledReset OledNew
SSD1306_SWITCHCAPVCC I2C_SSD1306_ADDRESS OledBegin drop
```

- **WIDTH HEIGHT OledReset OledNew**- Sequenz instanziert eine neue OLED-Sitzung für unser SSD1306-Display.
- Dem Wort **OledBegin** werden zwei Parameter vorangestellt:
  - **SSD1306\_SWITCHCAPVCC** , was die 3,3-V-Versorgung von der ESP32-Karte bestätigt, was in unserer Baugruppe der Fall ist. Wenn wir ein externes Netzteil verwendet hätten, ersetzen wir dieses Wort durch **SSD1306\_EXTERNALVCC** .
  - **I2C\_SSD1306\_ADDRESS** , die die Adresse des OLED-Displays auf dem I2C-Bus angibt.

Diese Initialisierung des I2C-Busses wird bei unserem SSD1306 OLED-Display nur einmal durchgeführt.

## Initialisierung der Anzeige für SSD1306

Um eine Anzeige zu starten, initialisieren wir die Anzeige:

- **OledCLS** , das die Löschung des Bildschirminhalts anfordert;
- **1 OledTextsize** , das die Größe des anzuzeigenden Textes angibt;
- **WHITE OledTextc**, der die Farbe des anzuzeigenden Texts angibt. Für das SSD1306-Display gibt es nur die Farben **WEISS** und **SCHWARZ** .

Hier ist das Wort **Oled128x32Init**, das eine ordnungsgemäße Initialisierung ermöglicht:

```
oled
: Oled128x32Init
    OledAddr @ 0=
    if
        WIDTH HEIGHT OledReset OledNew
        SSD1306_SWITCHCAPVCC I2C_SSD1306_ADDRESS OledBegin drop
    then
        OledCLS
        1 OledTextsize      \ Draw 1x Scale Text
        WHITE OledTextc     \ Draw white text
        0 0 OledSetCursor   \ Start at top-left corner
        z" *Esp32forth*" OledPrintln OledDisplay
    ;
forth
```

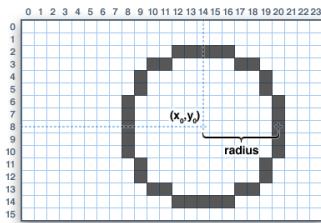
Beim Ausführen von **Oled128x32Init** sollte der Text **\*Esp32forth\*** auf dem OLED-Bildschirm angezeigt werden.

Hier ist eine Zusammenfassung der Textanzeige-Verwaltungsbefehle für das OLED-Display:

- **OledCLS** ( -- )  
Löscht den Inhalt des OLED-Bildschirms
- **OledDisplay** ( -- )  
überträgt die auf die Anzeige wartenden Befehle an das OLED-Display
- **OledHOME** ( -- )  
Positioniert den Cursor in Zeile 0, Spalte 0 auf dem OLED-Display. Diese Position ist pixelgenau.
- **OledInvert** ( -- )  
Kehrt die OLED-Bildschirmanzeige um
- **OledNum** (n -- )  
Zeigt die Zahl n als Zeichenfolge auf dem OLED-Bildschirm an
- **OledNumLn** ( n -- )  
Zeigt eine Ganzzahl auf dem OLED-Display an und wechselt zur nächsten Zeile
- **OledPrint** ( z-string -- )  
Zeigt Z-String-Text auf dem OLED-Bildschirm an
- **OledPrintln** ( z-string -- )  
Druckt Z-String-Text auf dem OLED-Bildschirm und wechselt zur nächsten Zeile
- **OledTextc** (WEISS|SCHWARZ -- )  
Legt die Farbe des anzuzeigenden Textes fest
- **OledSetCursor** (xy -- )  
Legt die Cursorposition fest
- **OledTextsize** (Größe -- )  
Legt die Größe des Texts fest, der auf dem OLED-Bildschirm angezeigt wird. Der Wert von n muss im Intervall [1..3] liegen. Für Text in normaler Größe ist size=1. Wenn Sie den Wert 4 überschreiten, wird der Text bei einer 4-zeiligen Anzeige abgeschnitten.

Und hier ist eine Zusammenfassung der Befehle zur Verwaltung der Grafikanzeige:

- **OledCirc** (xy radius color -- )  
Zeichnet einen Kreis mit Mittelpunkt xy, mit Radius radius und Farbe color (0|1)

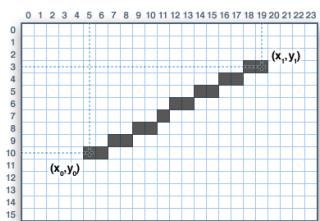


- **OledCircF** (xy-Radiusfarbe --)

Zeichnet einen Vollkreis mit Mittelpunkt bei xy, mit Radius und Farbe (0|1)

- **OledDrawL** (x0 y0 x1 y1 color -- )

Zeichnet eine Linie von x0 y0 bis x1 y1 der Farbe color.



- **OledFastHLine** (xy length color --)

Zeichnet eine horizontale Linie von xy mit der Dimensionslänge und der Farbe color.

- **OledFastVLine** (xy length color --)

Zeichnet eine vertikale Linie von xy mit der Dimensionslänge und der Farbe color.

- **OledPixel** ( xy color )

Aktiviert ein Pixel an der Position x y. Der Farbparameter bestimmt die Farbe des Pixels.

- **OledRect** (xy width height color --)

Zeichnet ein leeres Rechteck aus der xy-Position von size width height und color color.

- **OledRectF** ( xy width height color -- )

Zeichnet ein ausgefülltes Rechteck aus der xy-Position von size width height und color color.

- **OledRectR** ( xy width height radius color -- )

Zeichnet ein leeres Rechteck mit abgerundeten Ecken, ausgehend von der xy-Position, der Dimension width height, in der Farbe color, mit einem Radius radius.

- **OledRectRF** ( xy width height radius color -- )

Zeichnet von der xy-Position aus ein festes Rechteck mit abgerundeten Ecken der Bemaßung width height in der Farbe color mit einem Radius radius nach.

Das OLED-Display ermöglicht die Ausführung von Text- und Grafikverwaltungswörtern im gleichen Anzeigemodus. Kurz gesagt, Sie können Text und Grafiken mischen.

## Erweitern Sie den OLED-Wortschatz

**OledTriangle**- Erweiterung wie diese definieren kann, um die Definitionen in der Datei **oled.h** zu erweitern :

```
YV(oled, OledTriangle, oled_display->drawTriangle(n5, n4, n3, n2, n1, n0 ); DROFn(6)) \
```

Dabei ist jedoch nicht berücksichtigt, dass wir in der FORTH-Sprache programmieren und dass wir mit dieser Sprache unser OLED-Vokabular erweitern können. Wir werden daher auf unserem Computer in unserem Projektverzeichnis eine neue Datei mit dem Dateinamen **extendOledVoc.fs** erstellen. Inhalt :

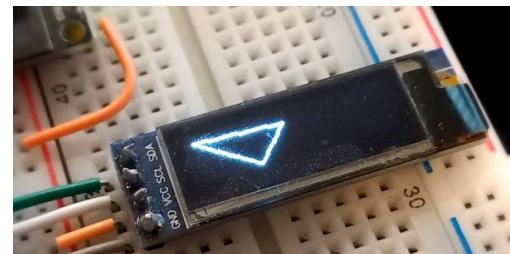
```
RECORDFILE /spiffs/extendOledVoc.fs
oled definitions
: OledTriangle { x0 y0 x1 y1 x2 y2 color -- }
    x0 y0 x1 y1 color OledDrawL
    x1 y1 x2 y2 color OledDrawL
    x2 y2 x0 y0 color OledDrawL
;
forth definitions
<EOF>
```

Anschließend kopieren wir diesen Code, fügen ihn ein und übermitteln ihn über das Terminal, das mit der ESP32-Karte kommuniziert, an ESP32. Wir sollten am Ende eine Datei **extendOledVoc.fs** im SPIFFS-Speicherraum haben. Wir ändern nun den Inhalt der Datei **main.fs** :

```
s" /spiffs/config.fs"           included
s" /spiffs/extendOledVoc.fs"     included
s" /spiffs/oledTools.fs"        included
```

Wir trennen die ESP32-Karte und schließen sie wieder an. Wir geben **MAIN** in das Terminal ein. Wenn alles gut gelaufen ist, sollten Sie das Wort **OledTriangle** finden , indem Sie einfach **oled** vlist eingeben.

Test unseres neuen Wortes **OledTriangle**:



```
oled
oledCLS OledDisplay
5 5 60 8 40 30 WHITE OledTriangle OledDisplay
```

# Fügen Sie die SPI-Bibliothek hinzu

Die SPI-Bibliothek ist in ESP32forth nicht nativ implementiert. Um es zu installieren, müssen Sie zunächst die Datei **spi.h** erstellen , die im selben Ordner installiert werden muss wie der Ordner, der die Datei **ESP32forth.ino** enthält .

Inhalt der **spi.h**- Datei (in C-Sprache) :

```
# include <SPI.h>

#define OPTIONAL_SPI_VOCABULARY V(spi)
#define OPTIONAL_SPI_SUPPORT \
    XV(internals, "spi-source", SPI_SOURCE, \
        PUSH spi_source; PUSH sizeof(spi_source) - 1) \
    XV(spi, "SPI.begin", SPI_BEGIN, SPI.begin((int8_t) n3, (int8_t) n2, (int8_t) n1, (int8_t) n0); DROFn(4)) \
    XV(spi, "SPI.end", SPI_END, SPI.end()); \
    XV(spi, "SPI.setHwCs", SPI_SETHWCs, SPI.setHwCs((boolean) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.setBitOrder", SPI_SETBITORDER, SPI.setBitOrder((uint8_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.setDataMode", SPI_SETDATAMODE, SPI.setDataMode((uint8_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.setFrequency", SPI_SETFREQUENCY, SPI.setFrequency((uint32_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.setClockDivider", SPI_SETCLOCKDIVIDER, SPI.setClockDivider((uint32_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.getClockDivider", SPI_GETCLOCKDIVIDER, PUSH SPI.getClockDivider()); \
    XV(spi, "SPI.transfer", SPI_TRANSFER, SPI.transfer((uint8_t *) n1, (uint32_t) n0); DROFn(2)) \
    XV(spi, "SPI.transfer8", SPI_TRANSFER_8, PUSH (uint8_t) SPI.transfer((uint8_t) n0); NIP) \
    XV(spi, "SPI.transfer16", SPI_TRANSFER_16, PUSH (uint16_t) SPI.transfer16((uint16_t) n0); NIP) \
    XV(spi, "SPI.transfer32", SPI_TRANSFER_32, PUSH (uint32_t) SPI.transfer32((uint32_t) n0); NIP) \
    XV(spi, "SPI.transferBytes", SPI_TRANSFER_BYTES, SPI.transferBytes((const uint8_t *) n2, (uint8_t *) n1, (uint32_t) n0); \
DROFn(3)) \
    XV(spi, "SPI.transferBits", SPI_TRANSFER_BITES, SPI.transferBits((uint32_t) n2, (uint32_t *) n1, (uint8_t) n0); DROFn(3)) \
    XV(spi, "SPI.write", SPI_WRITE, SPI.write((uint8_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.write16", SPI_WRITE16, SPI.write16((uint16_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.write32", SPI_WRITE32, SPI.write32((uint32_t) n0); DROP) \
    XV(spi, "SPI.writeBytes", SPI_WRITE_BYTES, SPI.writeBytes((const uint8_t *) n1, (uint32_t) n0); DROFn(2)) \
    XV(spi, "SPI.writePixels", SPI_WRITE_PIXELS, SPI.writePixels((const void *) n1, (uint32_t) n0); DROFn(2)) \
    XV(spi, "SPI.writePattern", SPI_WRITE_PATTERN, SPI.writePattern((const uint8_t *) n2, (uint8_t) n1, (uint32_t) n0); \
DROFn(3))

const char spi_source[] = R""""(
vocabulary spi   spi definitions
transfer spi-builtins
forth definitions
)""";
```

Die vollständige Datei ist auch hier verfügbar:

<https://github.com/MPETREMANN11/ESP32forth/blob/main/optional/spi.h>

## Änderungen an der Datei **ESP32forth.ino**

Datei **spi.h** kann nicht in ESP32forth integriert werden, ohne dass einige Änderungen an der Datei **ESP32forth.ino vorgenommen werden** . Hier sind die wenigen Änderungen, die an dieser Datei vorgenommen werden müssen. Diese Änderungen wurden in Version 7.0.7.15 vorgenommen, sollten aber auch auf andere neuere oder zukünftige Versionen anwendbar sein.

### Erste Modifikation

Code in Rot hinzugefügt:

```
#define VOCABULARY_LIST \
```

```

V(forth) V(internal) \
V(rtos) V(SPIFFS) V(serial) V(SD) V(SD_MMC) V(ESP) \
V(ledc) V(Wire) V(WiFi) V(sockets) \
OPTIONAL_CAMERA_VOCABULARY \
OPTIONAL_BLUETOOTH_VOCABULARY \
OPTIONAL_INTERRUPTS_VOCABULARIES \
OPTIONAL_OLED_VOCABULARY \
OPTIONAL_SPI_VOCABULARY \
OPTIONAL_RMT_VOCABULARY \
OPTIONAL_SPI_FLASH_VOCABULARY \
USER_VOCABULARIES

```

## Zweite Modifikation

Zusatz in Rot nach diesem Code:

```

// Hook to pull in optional Oled support.
# if __has_include("oled.h")
# include "oled.h"
# else
# define OPTIONAL_OLED_VOCABULARY
# define OPTIONAL_OLED_SUPPORT
# endif

// Hook to pull in optional SPI support.
# if __has_include("spi.h")
# include "spi.h"
# else
# define OPTIONAL_SPI_VOCABULARY
# define OPTIONAL_SPI_SUPPORT
# endif

```

## Dritte Modifikation

Zusatz in Rot:

```

#define EXTERNAL_OPTIONAL_MODULE_SUPPORT \
OPTIONAL_ASSEMBLERS_SUPPORT \
OPTIONAL_CAMERA_SUPPORT \
OPTIONAL_INTERRUPTS_SUPPORT \
OPTIONAL_OLED_SUPPORT \
OPTIONAL_SPI_SUPPORT \
OPTIONAL_RMT_SUPPORT \
OPTIONAL_SERIAL_BLUETOOTH_SUPPORT \
OPTIONAL_SPI_FLASH_SUPPORT

```

## Vierte Modifikation

Zusatz in Rot:

```
internals DEFINED? oled-source [IF]
```

```

oled-source evaluate
[THEN] forth

internals DEFINED? spi-source [IF]
  spi-source evaluate
[THEN] forth

```

Wenn Sie diese Anweisungen sorgfältig befolgen, können Sie ESP32forth mit ARDUINO IDE kompilieren und auf das ESP32-Board hochladen. Sobald diese Vorgänge abgeschlossen sind, starten Sie das Terminal. Sie müssen die ESP32forth-Willkommensaufforderung finden. Typ:

```
spi vlist
```

**spi**- Vokabular definierten Wörter finden :

```

SPI.begin SPI.end SPI.setHwCs SPI.setBitOrder SPI.setDataMode SPI.setFrequency
SPI.setClockDivider SPI.getClockDivider SPI.transfer SPI.transfer8 SPI.transfer16
SPI.transfer32 SPI.transferBytes SPI.transferBits SPI.write SPI.write16
SPI.write32 SPI.writeBytes SPI.writePixels SPI.writePattern spi-builtins

```

Sie können jetzt Erweiterungen über den SPI-Port ansteuern, beispielsweise die LED-Anzeigen MAX7219.

## Kommunizieren Sie mit dem Anzeigemodul MAX7219

Bei der SPI-Kommunikation gibt es immer einen Master , *der* die Peripheriegeräte (auch *Slaves genannt* ) steuert. Daten können gleichzeitig gesendet und empfangen werden. Das bedeutet, dass der Master Daten an einen Slave senden kann und ein Slave gleichzeitig Daten an den Master senden kann.

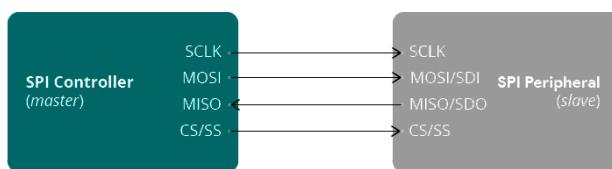


Figure 8: Steuern eines SPI-Geräts

Sie können mehrere Sklaven haben. Ein Slave kann ein Sensor, ein Display, eine microSD-Karte usw. oder ein anderer Mikrocontroller sein. Das bedeutet, dass Sie Ihren ESP32 mit **mehreren Geräten** verbinden können .

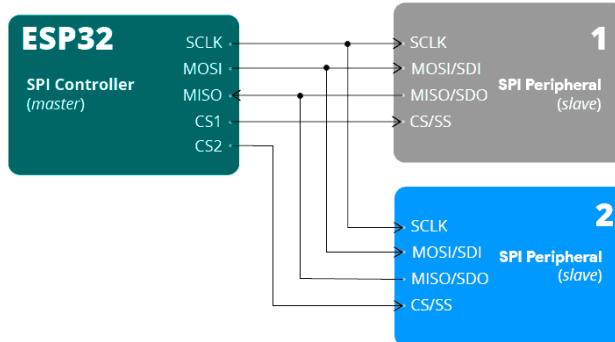


Figure 9: Steuerung von zwei SPI-Geräten

Ein Slave wird ausgewählt, indem der CS1- oder CS2-Selektor auf den niedrigen Pegel gestellt wird. Es werden so viele CS-Selektoren benötigt, wie Slaves verwaltet werden müssen.

## Suchen des SPI-Ports auf der ESP32-Karte

Auf einem ESP32-Board gibt es zwei SPI-Ports: HSPI und VSPI. Der SPI-Port, den wir verwalten werden, ist derjenige, dessen Pins das Präfix VSPI haben:

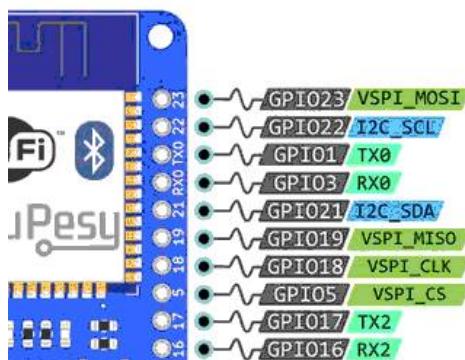


Figure 10: die beiden SPI-Ports auf der ESP32-Karte

Mit ESP32forth können wir daher die Konstanten definieren, die auf diese VSPI-Pins zeigen:

```
\ VSPI-Pins definieren
19 constant VSPI_MISO
23 constant VSPI_MOSI
18 constant VSPI_SCLK
05 constant VSPI_CS
```

Um mit dem Anzeigemodul MAX7219 zu kommunizieren, müssen wir nur die Pins VSPI\_MOSI, VSPI\_SCLK und VSPI\_CS verdrahten.

## SPI-Anschlüsse am MAX7219-Anzeigemodul

Hier ist die SPI-Port-Anschlussbelegung auf dem MAX7219-Modul:

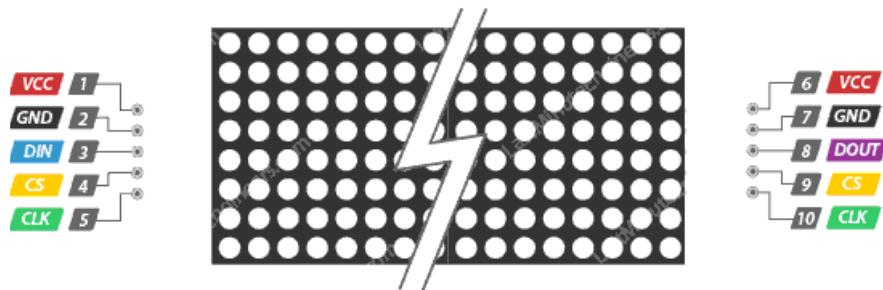


Figure 11: SPI-Anschlüsse am MAX7219-Modul

Verbindung zwischen dem MAX7219-Modul und der ESP32-Karte:

MAX7219		ESP32
DIN	<---->	VSPI_MOSI
CS	<---->	VSPI_CS
CLK	<---->	VSPI_SCLK

Die VCC- und GND-Anschlüsse sind mit einer externen Stromversorgung verbunden:

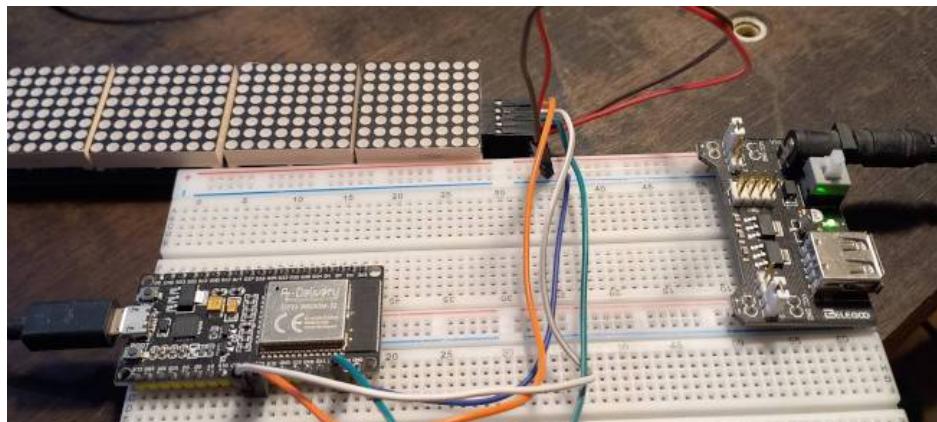


Figure 12: über ein externes Netzteil

Der GND-Teil dieser externen Stromversorgung wird mit dem GND-Pin der ESP32-Karte geteilt.

## SPI-Port-Softwareschicht

Alle Wörter zur Verwaltung des SPI-Ports sind bereits im **SPI**-Vokabular verfügbar.

Das einzige, was definiert werden muss, ist die Initialisierung des SPI-Ports:

```
\ Definieren Sie die SPI-Portfrequenz
4000000 constant SPI_FREQ

\ SPI-Vokabular auswählen
only FORTH SPI also

\ SPI-Port initialisieren
: init.VSPI ( -- )
    VSPI_CS OUTPUT pinMode
    VSPI_SCLK VSPI_MISO VSPI_MOSI VSPI_CS SPI.begin
    SPI_FREQ SPI.setFrequency
```

Jetzt können wir unser Anzeigemodul MAX7219 verwenden.

# Installieren des HTTP-Clients

## Bearbeiten der Datei ESP32forth.ino

ESP32Forth wird als Quelldatei bereitgestellt, geschrieben in der Sprache C. Diese Datei muss mit ARDUINO IDE oder einem anderen C-Compiler kompiliert werden, der mit der ARDUINO-Entwicklungsumgebung kompatibel ist.

Hier sind die Teile des Codes, die geändert werden müssen. Erster zu ändernder Teil:

```
#define ENABLE_SD_SUPPORT
#define ENABLE_SPI_FLASH_SUPPORT
#define ENABLE_HTTP_SUPPORT
// #define ENABLE_HTTPS_SUPPORT
```

Zweiter zu ändernder Teil:

```
// .....
#define VOCABULARY_LIST \
    V(forth) V(internal) \
    V(rtos) V(SPIFFS) V(serial) V(SD) V(SD_MMC) V(ESP) \
    V(ledc) V(http) V(Wire) V(WiFi) V(bluetooth) V(sockets) V(oled) \
    V(rmt) V(interrupts) V(spi_flash) V(camera) V(timers)
```

Dritter zu ändernder Teil:

```
OPTIONAL_RMT_SUPPORT \
OPTIONAL_OLED_SUPPORT \
OPTIONAL_SPI_FLASH_SUPPORT \
OPTIONAL_HTTP_SUPPORT \
FLOATING_POINT_LIST

#ifndef ENABLE_HTTP_SUPPORT
# define OPTIONAL_HTTP_SUPPORT
#else

# include <HTTPClient.h>
HTTPClient http;

# define OPTIONAL_HTTP_SUPPORT \
    XV(http, "HTTP.begin", HTTP_BEGIN, tos = http.begin(c0)) \
    XV(http, "HTTP.doGet", HTTP_DOGET, PUSH http.GET()) \
    XV(http, "HTTP.getPayload", HTTP_GETPL, String s = http.getString(); \
        memcpy((void *) n1, (void *) s.c_str(), n0); DROPN(2)) \
    XV(http, "HTTP.end", HTTP_END, http.end())
#endif
```

Vierter zu ändernder Teil:

```
vocabulary ledc ledc definitions
```

```

transfer ledc-builtins
forth definitions

vocabulary http http definitions
transfer http-builtins
forth definitions

vocabulary Serial Serial definitions
transfer Serial-builtins
forth definitions

```

Sobald die Datei **ESP32forth.ino** geändert wurde, kompilieren Sie sie und laden sie auf das ESP32-Board hoch. Wenn alles richtig gelaufen ist, sollten Sie über ein neues **http**-Vokabular verfügen :

```

http
vlist \ displays :
HTTP.begin HTTP.doGet HTTP.getPayload HTTP.end http-builtins

```

## HTTP-Client-Tests

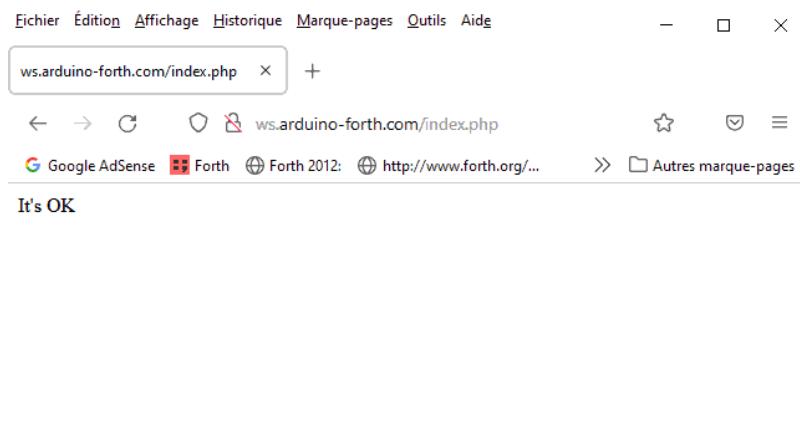
Um unseren HTTP-Client zu testen, können wir dies tun, indem wir einen beliebigen Webserver abfragen. Aber für das, was wir später betrachten, benötigen Sie einen persönlichen Webserver. Auf diesem Server erstellen wir eine Subdomain:

- Unser Server ist arduino-forth.com
- **ws-** Subdomain
- Wir greifen auf diese Subdomain mit der URL <http://ws.arduino-forth.com> zu

Da diese Subdomain erstellt wird, enthält sie kein auszuführendes Skript. Wir erstellen die Seite **index.php** und fügen dort diesen Code ein:

**It's OK**

Um zu überprüfen, ob unsere Subdomain funktioniert, fragen Sie sie einfach in unserem bevorzugten Webbrowser ab:



Wenn alles wie geplant verläuft, sollte in unserem bevorzugten Webbrowser der Text **It's OK** angezeigt werden. Sehen wir uns nun an, wie man dieselbe Serverabfrage von ESP32Forth aus durchführt ...

Hier ist der FORTH-Code, der schnell geschrieben wurde, um den HTTP-Client-Test durchzuführen:

```
WiFi

\ connection to local WiFi LAN
: myWiFiConnect
  z" mySSID"
  z" myWiFiCode"
  login
;

Forth

create httpBuffer 700 allot
httpBuffer 700 erase

HTTP

: run
  cr
  z" http://ws.arduino-forth.com/" HTTP.begin
  if
    HTTP.doGet dup ." Get results: " . cr 0 >
    if
      httpBuffer 700 HTTP.getPayload
      httpBuffer z>s dup . cr type
    then
  then
  HTTP.end
;
```

Wir aktivieren die WLAN-Verbindung, indem wir **myWiFiConnect** ausführen und dann **Folgendes** ausführen :

```
--> myWiFiConnect
192.168.1.23
MDNS started
ok
--> run

Get results: 200
8
It's OK
ok
```

Unser HTTP-Client hat den Webserver perfekt abgefragt und den gleichen Text angezeigt, den er von unserem Webbrowser abgerufen hat.

Dieser kleine erfolgreiche Test eröffnet den Weg zu enormen Möglichkeiten.

# Verwaltung von digitalen/analogen Ausgängen

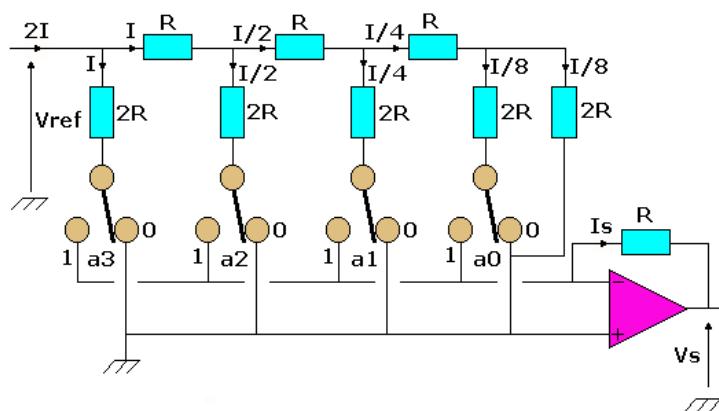
## Digital/Analog-Wandlung

Die Umwandlung einer digitalen Größe in eine zu dieser digitalen Größe proportionale elektrische Spannung ist eine sehr interessante Funktionalität auf einem Mikrocontroller.

Wenn Sie das Internet nutzen und einen VoIP-Telefonanruf tätigen, wird Ihre Stimme in numerische Werte umgewandelt. Das Ihres Gesprächspartners wird umgekehrt von Zahlen in Tonsignale umgewandelt. Dieser Prozess nutzt die Analog-Digital-Umwandlung und umgekehrt.

## D/A-Wandlung mit R2R-Schaltung

Hier ist das Grunddiagramm eines 4-Bit-Digital-Analog-Wandlers:



Der zu konvertierende Wert wird auf 4 Bits auf die 4 Pins  $a_0$  bis  $a_3$  verteilt. Die Referenzspannung wird oben links in die Schaltung eingespeist. Diese Spannung erzeugt eine Intensität von  $2I$ , wenn dieser Strom keinen Widerstand durchfließt.

Abhängig von den aktiven Bits wird für jedes Bit die Spannung geteilt und zu der der anderen aktiven Bits addiert. Wenn beispielsweise  $a_2$  und  $a_0$  aktiv sind, entspricht der Ausgangsstrom  $I_s$  der Summe  $I/2$  und  $I/8$ .

Für diese 4-Bit-Schaltung beträgt der Konvertierungsschritt  $I/16$ . Bei ESP32 erfolgt die Konvertierung auf 8 Bit. Der Konvertierungsschritt wird daher  $I/256$  sein.

## D/A-Wandlung mit ESP32

Kein ARDUINO-Board verfügt über einen D/A-Wandlungsausgang. Um eine D/A-Wandlung mit einer ARDUINO-Karte durchzuführen, müssen Sie eine externe Komponente verwenden.

Bei der ESP32-Karte haben wir zwei Pins, G25 und G26, die den D/A-Wandlungsausgängen entsprechen.

Für unser erstes D/A-Umwandlungsexperiment mit der ESP32-Karte werden wir zwei LEDs an die Pins G25 und G26 anschließen:

```
\ definiere Gx für LEDs
25 constant ledBLUE      \ blaue LED auf G25
26 constant ledWHITE     \ weiße LED auf G26
```

Bevor wir eine D/A-Wandlung durchführen, planen wir, die Pins G25 und G26 zu initialisieren :

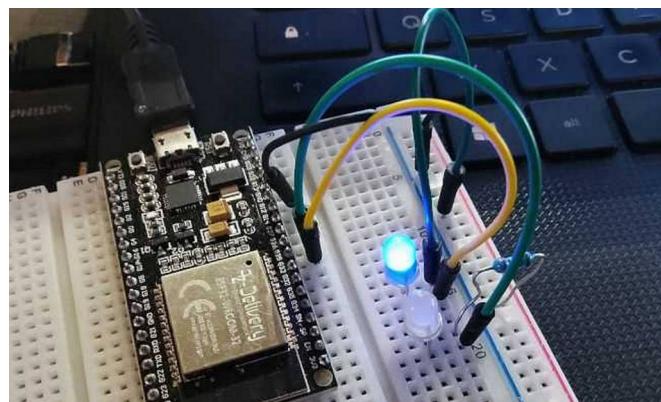
```
\ init Gx als Ausgabe
: initLeds ( -- )
    ledBLUE  output pinMode
    ledWHITE output pinMode
;
```

Und wir definieren zwei Wörter, mit denen wir die Intensität unserer beiden LEDs steuern können:

```
\ Intensität der BLAUEN LED einstellen
: BLset ( val -- )
    ledBLUE  swap dacWrite
;

\ Intensität der WEISSEN LED einstellen
: WHset ( val -- )
    ledWHITE swap dacWrite
;
```

Die Wörter **BLset** und **WHset** akzeptieren als Parameter einen numerischen Wert im Bereich 0..255.



Auf dem Foto lässt die Sequenz **200 BLset** nach **initLeds** die blaue LED mit reduzierter Leistung leuchten.

Um es mit voller Leistung einzuschalten, verwenden wir die Sequenz **255 BLset**

Um es vollständig auszuschalten, senden wir dieser Sequenz **0 BLset**

## **Möglichkeiten der D/A-Wandlung**

Hier haben wir mit unseren beiden LEDs eine einfache und uninteressante Baugruppe geschaffen.

Diese Montage hat den Vorzug, dass sie zeigt, dass die D/A-Wandlung perfekt funktioniert. Die D/A-Wandlung ermöglicht:

- Leistungssteuerung über einen speziellen Schaltkreis, beispielsweise einen Variator für einen Elektromotor ;
- Erzeugung von Signalen: Sinus, Quadrat, Dreieck usw.
- Konvertierung von Sounddateien
- Klangsynthese...

# Rufen Sie die Uhrzeit von einem WEB-Server ab

Kapitel *Software-Echtzeituhr* haben wir untersucht, wie man eine Echtzeituhr mithilfe der Eigenschaften des **timers** verwaltet .

Die Initialisierung dieser Echtzeituhr muss jedoch manuell erfolgen. Nachdem wir nun die Möglichkeit haben, mit einem Webserver zu kommunizieren, werden wir sehen, wie diese Initialisierung über einen Webserver durchgeführt wird.

## Senden und Empfangen der Uhrzeit von einem Webserver

Für den Serverteil erstellen wir ein neues **gettime.php**- Skript , dessen Inhalt wie folgt lautet:

```
<?php  
echo date('H i s')." RTC.set-time";
```

Wenn wir dieses Skript <http://ws.arduino-forth.com/gettime.php> in einem Webbrower ausführen, wird Folgendes angezeigt:

```
15 25 30 RTC.set-time
```

Wir haben die Arbeit so vorbereitet, dass der ESP32Forth-Interpreter nur diese Zeile ausführen muss. Hier ist der FORTH-Code zum Abrufen der Uhrzeit:

```
WiFi  
\ connection to local WiFi LAN  
: myWiFiConnect  
  z" mySSID"  
  z" myWiFiCode"  
  login  
;  
  
Forth  
  
0 value currentTime  
  
\ store current time  
: RTC.set-time { hh mm ss -- }  
  hh 3600 *  
  mm 60 *  
  ss + + 1000 *  
  MS-TICKS - to currentTime  
;  
  
\ used for SS and MM part of time display  
: :## ( n -- n' )  
  # 6 base ! # decimal [char] : hold  
;  
  
\ display current time  
: RTC.display-time ( -- )  
  currentTime MS-TICKS + 1000 /
```

```

<# :## :## 24 mod #S #> type
;

700 constant bufferSize
create httpBuffer
    bufferSize allot

0 buffer 700 erase

HTTP

: getTime
    cr
    z" http://ws.arduino-forth.com/gettime.php" HTTP.begin
    if
        HTTP.doGet
        if
            httpBuffer bufferSize HTTP.getPayload
            httpBuffer z>s evaluate
        then
    then
    HTTP.end
;

myWiFiConnect
getTime
RTC.display-time

```

Im Wort **getTime** ruft diese Sequenz **httpBuffer z>s equal** den Inhalt des Web-Transaktionspuffers ab und wertet seinen Inhalt aus. Dies ist möglich, weil der Webserver eine mit unserem FORTH-Interpreter kompatible Sequenz übermittelt hat. Wenn Sie die letzten drei Zeilen dieses Codes ausführen, wird Folgendes angezeigt:

```

--> myWiFiConnect
192.168.1.23
MDNS started
ok
--> getTime
ok
--> RTC.display-time
15:33:09 ok

```

Diese Initialisierung kann nur einmal durchgeführt werden, im Allgemeinen beim Starten von ESP32Forth. Diese Technik der Abfrage unseres eigenen Webservers vermeidet die Verhandlung mit einem Zeitserver.

Die meisten Zeitserver liefern Informationen in Formaten, die von FORTH nur schwer verarbeitet werden können: CSV, JSON, XML usw.

# Verständnis der Übertragung per GET an einen WEB-Server

## Übertragung von Daten an einen Server per GET

Es gibt zwei Methoden, Daten von einer Webseite an einen Webserver zu übertragen:

- **POST** ist die Methode, die im Allgemeinen für Formulare verwendet wird
- **GET**, das ist die Methode, die wir untersuchen werden

Es gibt andere Methoden, diese sind jedoch im Allgemeinen Maschine-zu-Maschine-Transaktionen über Webdienste vorbehalten.

## Parameter in einer URL

Beginnen wir damit, zu erklären, was eine URL ist: <http://my-website.com/> (z. B. URL).

Wir analysieren eine URL beginnend am Ende:

- **.com** ist die TLD (Top-Level-Domain)
- **my-website** ist der Domainname
- **http://** ist das Kommunikationsprotokoll.

Wir werden keinen erschöpfenden Kurs zu diesen Elementen durchführen. Das Einzige, was es zu wissen gibt, kommt jetzt.

Auf diese URL kann das Skript oder die HTML-Seite folgen, Beispiel: <http://my-website.com/index.php>

Wir können diese URL mit einer Parameterübergabe vervollständigen:

```
http://my-website.com/index.php?temp=32.7
```

Hier übergeben wir einen **temporären Parameter** mit dem Wert **32,7**.

Die Übergabe von Parametern mit der GET-Methode ist durch das **?-Zeichen** gekennzeichnet.

## Übergabe mehrerer Parameter

Mehrere Parameter können übertragen werden, indem man sie durch das Zeichen **&** trennt :

```
http://my-website.com/index.php?log=myLog&pwd=myPassWd&temp=32.7
```

Hier übergeben wir drei Parameter:

- **log** mit dem myLog-Wert
- **pwd** mit dem Wert myPassWd
- **temp** mit dem Wert 32,7

Um zu verstehen, wie der Server diese Daten erhält, erstellen wir ein **record.php- Skript**, das vorläufig einfach Folgendes enthält:

```
<?php  
var_dump($_GET);
```

und was dies anzeigt, wenn wir dieses Skript mit unserem bevorzugten Webbrowsere abfragen:

```
array(3) {  
    ["log"]=>  
    string(7) "myLogin"  
    ["pwd"]=>  
    string(10) "mypassword"  
    ["temp"]=>  
    string(4) "32.7"  
}
```

Das ist so ziemlich alles, was wir brauchen, um die Daten abzurufen und auf dem Server zu speichern. Das werden wir entdecken...

## Verwalten der Parameterübergabe mit ESP32forth

Zunächst ist es notwendig, Wörter zur Verwaltung von Zeichenfolgen zu haben. Sie finden diese Wörter im *Kapitel Darstellung von Zahlen und Zeichenfolgen*, Teil *Code von Wörtern zur Verwaltung von Textvariablen*.

Wir beginnen mit der Erstellung einer Zeichenfolge:

```
256 string myUrl  
s" http://ws.arduino-forth.com/record.php?log=myLog&pwd=myPassWd&temp=" myUrl $!
```

**myUrl** definiert . Diese Variable ist fast vollständig. Es fehlt lediglich der Wert des **temp-** Parameters . Um diesen Wert hinzuzufügen, führen wir **append\$** aus :

```
s" 32.5" myUrl append$  
myUrl type  
\ display: http://ws.arduino-forth.com/record.php?  
log=myLog&pwd=myPassWd&temp=32.5
```

Dies ist die URL, die wir in dieser Definition verwenden werden:

```

: sendData ( str -- )
  s" http://ws.arduino-forth.com/record.php?log=myLog&pwd=myPassWd&temp=" 
  myUrl $!
  myUrl append$ 
    \ cr myUrl type
  myUrl s>z HTTP.begin
  if
    HTTP.doGet dup 200 =
    if drop
      httpBuffer bufferSize HTTP.getPayload
      httpBuffer z>s type
    else
      cr ." CNX ERR: " .
    then
  then
  HTTP.end
;

myWiFiConnect
s" 32.65" sendData

```

Das Wort **sendData** ruft den Inhalt der Zeichenfolge ab, hier **32.65** , verkettet diesen Inhalt mit **myUrl** und initiiert dann eine Web-Client-Transaktion mit dem in **myUrl** genannten Server .

Sie werden feststellen, dass in der URL ein Parameter **log** vorhanden ist. Dieser Parameter kann für jede ESP32-Karte, die eine Transaktion zum Webserver initiiert, unterschiedlich sein. Es ist möglich, dass zehn, zwanzig oder sogar tausend ESP32-Karten ihre Daten auf einem einzigen Webserver speichern.

# Datenübertragung an einen WEB-Server

## Datenaufzeichnung auf der Webserverseite

Im vorherigen Kapitel „Übertragung per GET an einen WEB-Server verstehen“ haben wir erklärt, wie ESP32Forth Informationen an einen Webserver überträgt.

Sehen wir uns nun an, wie wir die Daten serverseitig speichern. Hier ist ein erstes Skript in PHP, das diese Aufzeichnung durchführt:

```
<?php
// echo "<pre>"; var_dump($_GET);
$handle = fopen("datasRecords.csv", "a");
$myDatas = array(
    'currentDateTime' => date("Y-m-d H:i:s"),
    'currentLogin'     => $_GET['log'],
    'currentTemp'      => $_GET['temp'],
);
fwrite($handle, implode(';', $myDatas) . "
");
fclose($handle);
echo "DATAs recorded";
```

Dieses Skript ist sehr einfach:

- Wir öffnen eine **dataRecords.csv -Datei** mit **fopen** .
- Wir bereiten die Daten für die Speicherung in einer **myDatas**- Tabelle vor
- Diese Daten speichern wir mit **fwrite**
- **implode** in das CSV-Format übertragen
- Wir schließen die Datei mit **fclose**

Datei **im CSV-** Format lässt sich leicht mit einer Tabellenkalkulation abrufen oder mit einem einfachen Texteditor lesen.

## Zugangsschutz

Wenn Sie unsere Erläuterungen aufmerksam verfolgt haben, werden Sie feststellen, dass wir zwei Parameter **log** und **pwd** übermitteln . Diese beiden Parameter dienen zunächst als Zugangsschlüssel zu unserem Datenaufzeichnungsskript.

Diesen Schutz haben wir eingerichtet, um den Zugriff auf das Skript durch einen unbefugten Sender zu verhindern. Hier akzeptieren wir zwei Sender :

```
<?php
```

```

// echo "<pre>"; var_dump($_GET);
$myAuths = array(
    'pooltemp' => 'pool2022',
    'housetemp' => 'house2022',
);

/**
 * Test authorization access
 * @param array $auths
 * @return boolean
 */
function testAuths($auths) {
    if(array_key_exists($_GET['log'], $auths) &&
$auths[$_GET['log']] == $_GET['pwd']) {
        return true;
    }
    return false;
}

// Recording datas in CSV file format
if (testAuths($myAuths)) {
    $handle = fopen("datasRecords.csv", "a");
    $myDatas = array(
        'currentDateTime' => date("Y-m-d H:i:s"),
        'currentLogin'     => $_GET['log'],
        'currentTemp'      => $_GET['temp'],
    );
    fwrite($handle, implode(';', $myDatas) . "
");
    fclose($handle);
    echo "DATAAs recorded";
} else {
    echo "AUTH failed";
}

```

Dieses Skript dient als Beispiel. Es ist bewusst einfach gehalten. Bei einer professionellen Anwendung würden die Schlüssel und Passwörter in der Datenbank gespeichert.

Hier ist eine Transaktion, die erfolgreich ausgeführt wird :

```
http://ws.arduino-forth.com/record.php?log=pooltemp&pwd=pool2022&temp=27.5
```

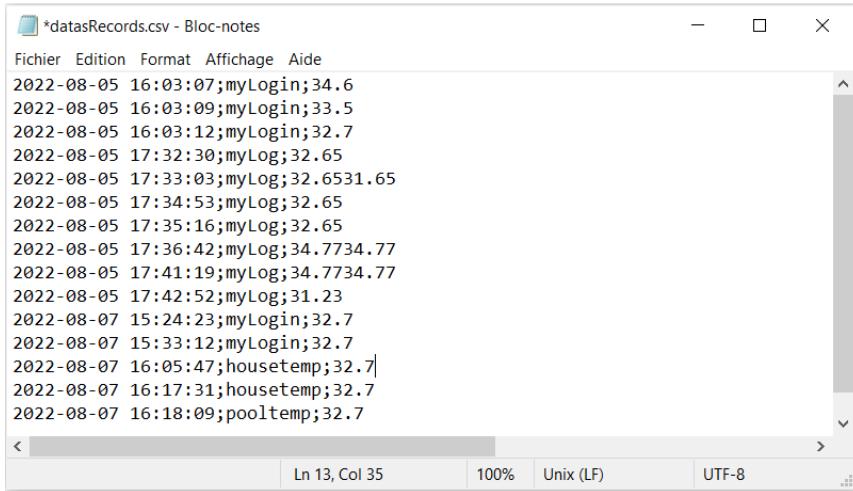
**log pwd** Paar , dessen Werte vom Datenaufzeichnungsskript getestet und genehmigt werden.

## Aufgezeichnete Daten anzeigen

Nom de fichier	Taille d...	Type de ...	Dernière modification
..			
datasRecords.csv	672	Fichier C...	07/08/2022 16:18:09
record.php	927	Fichier P...	07/08/2022 16:17:22
gettime.php	41	Fichier P...	04/08/2022 15:25:24
index.php	8	Fichier P...	03/08/2022 20:14:10

Für den Zugriff auf die erfassten Daten nutzen wir einen FTP-Client (Filezilla):

Dort finden wir unsere Datei **datasRecords.csv**. Laden Sie es einfach herunter, um den Inhalt mit einem beliebigen Texteditor anzuzeigen:



```
*datasRecords.csv - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage Aide
2022-08-05 16:03:07;myLogin;34.6
2022-08-05 16:03:09;myLogin;33.5
2022-08-05 16:03:12;myLogin;32.7
2022-08-05 17:32:30;myLog;32.65
2022-08-05 17:33:03;myLog;32.6531.65
2022-08-05 17:34:53;myLog;32.65
2022-08-05 17:35:16;myLog;32.65
2022-08-05 17:36:42;myLog;34.7734.77
2022-08-05 17:41:19;myLog;34.7734.77
2022-08-05 17:42:52;myLog;31.23
2022-08-07 15:24:23;myLogin;32.7
2022-08-07 15:33:12;myLogin;32.7
2022-08-07 16:05:47;housetemp;32.7
2022-08-07 16:17:31;housetemp;32.7
2022-08-07 16:18:09;pooltemp;32.7
```

In den letzten Zeilen finden wir unsere Übertragungstests mit zwei verschiedenen Logins. Das Skript **record.php** kann Transaktionen mit Hunderten verschiedener ESP32-Karten verarbeiten, jede mit einem anderen Login.

## Fügen Sie die zu übertragenden Daten hinzu

Wenn Sie einen Sensor vom Typ DHT11 oder DHT22 (Temperatur- und Feuchtigkeitssensor) verwalten, könnten Sie versucht sein, die Temperatur- und Feuchtigkeitswerte in einer einzigen Transaktion aufzuzeichnen. Nichts könnte einfacher sein, als dies zu tun. Hier ist der Aspekt der Transaktion, der dies ermöglicht:

```
http://ws.arduino-fourth.com/record.php?log=pooltemp&pwd=pool2022&temp=27.5&hygr=62.2
```

Damit es funktioniert, müssen Sie jedoch auf das PHP-Skript record.php reagieren:

```
<?php
// Recording datas in CSV file format
if (testAuths($myAuths)) {
    $handle = fopen("datasRecords.csv", "a");
    $myDatas = array(
        'currentDateTime' => date("Y-m-d H:i:s"),
        'currentLogin'     => $_GET['log'],
        'currentTemp'      => $_GET['temp'],
        'currentHygr'      => $_GET['hygr'],
    );
    fwrite($handle, implode(';', $myDatas)."\n");
    fclose($handle);
    echo "DATAs recorded";
} else {
    echo "AUTH failed";
}
```

Hier fügen wir einfach eine Zeile zur Tabelle **\$myDatas** hinzu .

Auf der FORTH-Seite werden wir die URL-Verwaltung verbessern:

```
256 string myUrl      \ declare string variable

: addTemp ( strAddrLen -- )
    s" &temp=" myUrl append$
    myUrl append$
;

: addHygr ( strAddrLen -- )
    s" &hygr=" myUrl append$
    myUrl append$
;

: sendData ( strHygr strTemp -- )
    s" http://ws.arduino-forth.com/record.php?log=myLog&pwd=myPassWd" myUrl
$!
    addTemp
    addHygr
    cr myUrl type
    myUrl s>z HTTP.begin
    if
        HTTP.doGet dup 200 =
        if drop
            httpBuffer bufferSize HTTP.getPayload
            httpBuffer z>s type
        else
            cr ." CNX ERR: " .
        then
    then
    HTTP.end
;

\ for test:
myWiFiConnect
s" 64.2"  \ hygrometry
s" 31.23" \ temperature
sendData
```

Wir haben zwei Wörter hinzugefügt, **addTemp** und **addHygr** . Jedes dieser Wörter verknüpft einen Parameter und seinen Wert mit der URL, die für die Webtransaktion zwischen Ihrer ESP32-Karte und dem Webserver verwendet wird.

Es gibt nur zwei Einschränkungen hinsichtlich der Anzahl der von der GET-Methode übergebenen Parameter:

- die Länge unserer URL wie in FORTH definiert, hier 256 Zeichen. Wenn Sie dieses Limit erhöhen möchten, stellen Sie einfach unsere URL mit einer längeren Anfangslänge ein: **512 string myUrl**
- die maximale Länge von URLs, die vom HTTP-Protokoll akzeptiert werden. Diese Länge kann nach aktuellen Standards 8000 Zeichen erreichen.

In Bezug auf FORTH haben wir andere Einschränkungen. Insbesondere, wenn wir Textdaten übermitteln möchten. Bestimmte Zeichen, zum Beispiel „&“, müssen codiert werden. Sie müssen diese Kodierung in FORTH durchführen.

## Abschluss

FRAGE: Wofür kann das alles genutzt werden?

Eine ESP32-Karte kostet jeweils weniger als 10 €/\$. Noch eher 5 €/\$, wenn Sie in großen Mengen kaufen. Wenn Sie einen Temperatursensor und ein Relais integrieren, können Sie beispielsweise Temperaturmessungen durchführen und Befehle vom Server übertragen, um ein Relais zu aktivieren/deaktivieren. Die Temperaturregelung mehrerer Räume wird ganz einfach. Das Gleiche gilt für die intelligente Bewässerung eines Gewächshauses.

Außerdem können Sie ganz einfach Zutritte überwachen und Lichter oder Alarme auslösen. Nehmen wir den Fall eines Portals. Sie genehmigen Durchgänge zwischen bestimmten Zeiten und verriegeln dasselbe Tor (magnetischer Saugnapf) über die ESP32-Karte.

Wir vertrauen auf Ihre Vorstellungskraft, um praktische Lösungen zu finden, die diese Datenübertragung zwischen ESP32-Karten und einem Webserver nutzen.

UND WARUM EIN WEB SERVER?

Mit einem Webserver ist die Abfrage einfach von überall aus möglich, mit einem auf Ihrem PC installierten Webbrowser, einem digitalen Tablet, einem Smartphone. Und ein einzelner Webserver kann eine unbegrenzte Anzahl verschiedener Skripte integrieren.



# Klangsynthese mit ESP32Forth

Für erste Klangexperimente benötigen Sie einen Lautsprecher, den Sie an einen GPIO-Ausgang anschließen. Da die Impedanz der Lautsprecher jedoch sehr niedrig ist, muss ein Transistor angeschlossen werden. Hier ist das empfohlene Diagramm für einen kleinen Lautsprecher.

In diesem Diagramm wird der GPIO4-Pin erwähnt. Tatsächlich kann diese Baugruppe an jedem GPIO-Ausgang der ESP32-Karte verwendet werden. Die beiden Ausgänge, die uns besonders interessieren werden, sind GPIO25 und GPIO26, die für DAC-Ausgänge (Digital to Analog Conversion) reserviert sind.

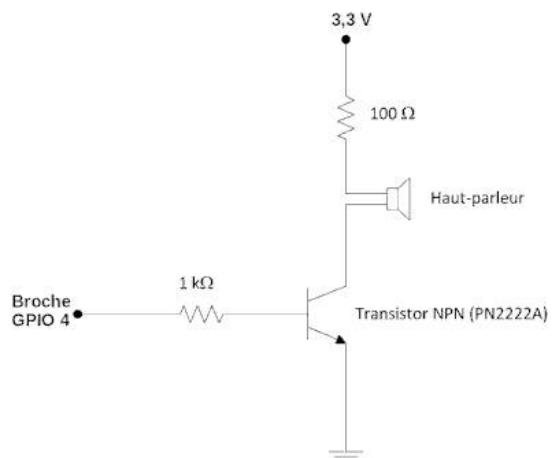


Figure 13: Anschließen eines Lautsprechers

## Einfache Klangsynthese

Wir werden die PWM-Signalerzeugung verwenden, jedoch an den DAC-Ausgängen.

Unser Lautsprecher ist über den PN2222A-Transistor, der als Impedanzadapter dient, mit dem GPIO25-Ausgang verbunden.

```
0 constant CHANNEL0      \define PWM-Kanal 0
25 constant BUZZER        \ Lautsprecher angeschlossen an GPIO25

ledc                      \ wählen Sie das ledc-Vokabular aus
: initTones ( -- )
    BUZZER CHANNEL0 ledcAttachPin
;
```

Das Wort **initTones** verbindet den GPIO25-Ausgang mit dem PWM-Kanal 0. Das Erzeugen eines Sounds geschieht folgendermaßen:

```
CHANNEL0 freq ledcWriteTone drop
```

Dabei ist freq die gewünschte Frequenz, multipliziert mit 1000. Um also die Note LA (A in englischer Notation) zu erzeugen, deren Frequenz 440 Hz beträgt, müssen Sie den Wert  $440 * 1000$  verwenden:

```
CHANNEL0 440000 ledcWriteTone drop
```

## Definition der Schallfrequenztabelle

Um die Klangfrequenzen von Musiknoten zu finden, haben wir Wikipedia aufgesucht. Wir erstellen eine Frequenztabelle, in der jede Frequenz in ihrer für **ledcWriteTone** verwendbaren Form aufgezeichnet wird :

```

\ frequency notes
\ source: https://fr.wikipedia.org/wiki>Note_de_musique
\ frequency is multiplied by 1000
create NOTES
\ octave -1
15350 , 17330 , 18360 , 19450 , 20600 , 21830 ,
23130 , 24500 , 25960 , 27500 , 29140 , 30870 ,
\ octave 0
32700 , 34650 , 36710 , 38890 , 41200 , 43650 ,
46250 , 49000 , 51910 , 55000 , 58270 , 61740 ,
\ octave 1
65410 , 69300 , 73420 , 77780 , 82410 , 87310 ,
92500 , 98000 , 103830 , 110000 , 116540 , 123470 ,
\ octave 2
130810 , 138590 , 146830 , 155560 , 164810 , 174610 ,
185000 , 196000 , 207650 , 220000 , 233080 , 246940 ,
\ octave 3
261630 , 277180 , 293660 , 311130 , 329630 , 349230 ,
369990 , 392000 , 415300 , 440000 , 466160 , 493880 ,
\ octave 4
523250 , 554370 , 587330 , 622250 , 659260 , 698460 ,
739990 , 783990 , 830610 , 880000 , 932330 , 987770 ,
\ octave 5
1046500 , 1108730 , 1174660 , 1244510 , 1318510 , 1396910 ,
1479980 , 1567980 , 1661220 , 1760000 , 1864660 , 1975530 ,
\ octave 6
2093000 , 2217460 , 2349320 , 2489020 , 2637020 , 2793830 ,
2959960 , 3135960 , 3322440 , 3520000 , 3729310 , 3951070 ,
\ octave 7
4186010 , 4434920 , 4698640 , 4978030 , 5274040 , 5587650 ,
5919910 , 6271930 , 6644880 , 7040000 , 7458620 , 7902130 ,
\ octave 8
8372020 , 8869840 , 9397280 , 9956060 , 10548080 , 11175300 ,
11839820 , 12543860 , 13289760 , 14080000 , 14917240 , 15804260 ,

```

Es gibt zwölf Töne pro Oktave, daher die Definition von 12 Werten pro Oktave. Hier nehmen wir nur 10 Zeilen oder 10 Oktaven auf. Denn ab 15Khz wären die Geräusche nicht mehr hörbar.

Um eine Note zu finden, müssen Sie lediglich ihre Position in einer Oktave kennen. Beispielsweise lautet unsere A-Note in Oktave 3: ((Oktave+1)\*12)+Position. Wenn sich A in der 10. Position in Oktave 3 befindet, lautet die zu bestimmende Adresse NOTES+4\*((OCTAVE+1\*12)+position)

## Abrufen der Frequenz einer Musiknote

Wir erstellen zunächst ein Wort **set.octave**, mit dem wir die gewünschte Oktave auswählen können. Dann definieren wir **get.note**, das die Häufigkeit der gewünschten Note abruft:

```

3 value OCTAVE
\ Oktave im Intervall -1..8 auswählen
: set.octave ( n[-1..8] )
    to OCTAVE
;

\ Note im Intervall 1..12 auswählen
: get.note ( n[1..12] -- )
    1- OCTAVE 1+ 12 * +  cell *      \ calc. offset in NOTES array
    NOTES + @                         \ fetch frequency of selected note
;

3 value OCTAVE
\ Oktave im Intervall -1..8 auswählen
: set.octave ( n[-1..8] )
    to OCTAVE
;

: OCT6 ( -- )      6 set.octave ;
: OCT5 ( -- )      5 set.octave ;
: OCT4 ( -- )      4 set.octave ;
: OCT3 ( -- )      3 set.octave ;
: OCT2 ( -- )      2 set.octave ;
: OCT1 ( -- )      1 set.octave ;

```

Wir werden später sehen, wie man Notizen verwaltet, indem man sie aus ihrer Notation heraus aufruft.

## Verwalten der Notendauer

Die Dauer einer Note ist das Zeitintervall zwischen dem Auslösen zweier aufeinanderfolgender Noten.

Eine Basisverzögerung wird durch die **WHOLE-NOTE-DURATION**- Konstante definiert .

Die Dauern sind in einem neuen **music** Vokabular definiert :

```

1600 constant WHOLE-NOTE-DURATION
WHOLE-NOTE-DURATION value duration

vocabulary music
music definitions
music also

\ set duration of a whole note
: o ( -- )
    WHOLE-NOTE-DURATION to duration
;

\ set duration of a white note
: o| ( -- )

```

```

WHOLE-NOTE-DURATION 2/ to duration
;

\ set duration of a black note
: .| ( -- )
    WHOLE-NOTE-DURATION 2/ 2/ to duration
;

\ set duration of a half black note
: .|' ( -- )
    WHOLE-NOTE-DURATION 2/ 2/ 2/ to duration
;

\ set duration of a quarter black note
: .|" ( -- )
    WHOLE-NOTE-DURATION 2/ 2/ 2/ 2/ to duration
;

```

Wir definieren Wörter, die die gewünschte Dauer symbolisieren: `o` für eine ganze Note, `\o` für eine halbe Note, `\.` für eine schwarze Notiz usw.

## One-Note-Unterstützung

Der Sustain einer Note ist die Zeitspanne, die die Note während ihrer Spielzeit hörbar ist. Wir definieren einen **sustain**- Wert , der den Prozentsatz des Emissions-Sustains der Note während ihrer Gesamtdauer ausdrückt. Wenn dieser Wert 100 beträgt, folgen die Noten aufeinander, ohne dass es zwischen den Noten zu einer Pause kommt.

```

\ Sustain der Note, im Intervall [0..100]
90 value SUSTAIN

ledc
\ Note im Intervall [0..100] halten
: sustain.note ( -- )
    duration SUSTAIN 100 */ ms
    CHANNEL0 0 ledcWriteTone drop
    duration 100 SUSTAIN - 100 */ ms
;

```

Das Wort **sustain.note** erzeugt zwei Verzögerungen. Die erste Verzögerung entspricht der Dauer der Notenpflege. Die zweite Verzögerung entspricht einer Stille-Aufrechterhaltungsverzögerung. Die Summe dieser beiden Verzögerungen entspricht immer der in der Dauer definierten Verzögerung.

## Musiknoten erstellen

Wir kommen zum interessantesten Teil und definieren die Noten anhand ihres Namens:

```

: create-note
    \ compile position in octave

```

```

create      ( position -- )
      ,
\ get note frequency in current octave
does>
@ 1- get.note
CHANNEL0 swap ledcWriteTone drop
sustain.note
;

\ notes in english notation
1 create-note C
2 create-note C#
3 create-note D
4 create-note D#
5 create-note E
6 create-note F
7 create-note F#
8 create-note G
9 create-note G#
10 create-note A
11 create-note A#
12 create-note B

\ notes in french notation
1 create-note DO
2 create-note DO#
3 create-note RE
4 create-note RE#
5 create-note MI
6 create-note FA
7 create-note FA#
8 create-note SOL
9 create-note SOL#
10 create-note LA
11 create-note LA#
12 create-note SI

: SIL ( -- )
  CHANNEL0 0 ledcWriteTone drop
  duration ms
;

forth definitions

```

Zusätzlich zu den zwölf Noten, von **DO** bis **SI** , definieren wir unser **SIL** , das eine Stille ist.

## Punktetest

Wir testen alle Noten Tonleiter für Tonleiter:

```
forth definitions
: music-scale ( -- )
    C C# D D# E F F# G G# A A# B
;

initTones
forth also music also
.|
80 to SUSTAIN
OCT1 music-scale
OCT2 music-scale
OCT3 music-scale
OCT4 music-scale
OCT5 music-scale
OCT6 music-scale
```

Wenn alles gut geht, müssen wir alle Noten in Halbtönschritten von Oktave 1 bis zur höchsten Oktave, hier 6, entfalten. Wir definieren keine zusätzliche Oktave. Es ist machbar. Die abgegebenen Geräusche erreichen jedoch einen Grenzbereich, um hörbar zu sein.

## Der Flug der Hummel

Dies ist ein erster Test zur Transponierung einer Partitur. Dazu sammeln wir ein besonders schwieriges Musikstück, **THE FLIGHT OF THE BOURDON** von **Rimsky KORSAKOV**.

Hier ist der erste Takt der ersten Zeile:



Figure 14: erster Takt – Der Hummelflug –  
Rimsky KORSAKOV

So kodieren wir diesen ersten Takt in französischer Notation:

```
OCT5 MI RE# RE DO#      RE DO# DO OCT4 SI
```

Oder in englischer Schreibweise:

```
OCT5 E D# D C#      D C# C OCT4 B
```

Hier ist der Code für die erste Zeile dieser Partition:

```
: 1stLine ( -- )
.|"  ( duration of a quarter black note )
OCT5 MI RE# RE DO#      RE DO# DO OCT4 SI
OCT5 DO OCT4 SI LA# LA      SOL# SOL FA# FA
```

```
MI RE# RE DO#      RE DO# DO OCT3 SI  
;
```

Ich entschuldige mich, wenn mir bei der Übersetzung der Partitur Fehler unterlaufen sind.  
In diesem Stadium ist es einfach, diese Musiklinie zu testen:

```
: flightBumbleBee ( -- )  
  initTones  
  1stLine  
;  
flightBumbleBee
```

Wir codieren zwei weitere Zeilen:

```
: 2ndLine ( -- )  
  .|" ( duration of a quarter black note )  
  OCT4 DO OCT3 SI FA# FA      SOL# SOL FA# FA  
  MI RE# RE DO#      RE DO DO# OCT2 SI OCT3  
  MI RE# RE DO#      RE DO DO OCT2 SI OCT3  
  MI RE# RE DO#      DO FA FA RE#  
;  
  
: 3rdLine ( -- )  
  .|" ( duration of a quarter black note )  
  MI RE# RE DO#      DO DO# RE RE#  
  MI RE# RE DO#      DO FA FA RE#  
  MI RE# RE DO#      DO DO# RE RE#  
  MI RE# RE DO#      RE DO DO# OCT2 SI OCT3  
;  
  
: flightBumbleBee ( -- )  
  initTones  
  1stLine  
  2ndLine  
  3rdLine  
;  
flightBumbleBee
```

Wir lassen Sie die anderen drei Zeilen der Partitur kodieren.

# Programm im XTENSA-Assembler

## Präambel

Für diejenigen, die mit Assemblersprache nicht vertraut sind: Es handelt sich um die unterste Ebene der Programmierung. Im Assembler sprechen wir den Prozessor direkt an.

Es ist auch eine schwierige Sprache, nicht sehr gut lesbar. Andererseits ist die Leistung außergewöhnlich.

Wir programmieren in Assembler:

- wenn es keine andere Lösung gibt, um auf bestimmte Funktionen eines Prozessors zuzugreifen;
- um bestimmte Teile des Programms schneller zu machen. Von einem Assembler generierter Code ist am schnellsten!
- zum Spass. Die Assembler-Programmierung ist eine intellektuelle Herausforderung;
- weil keine entwickelte Sprache alles kann. Manchmal können Sie in Assembler Funktionen programmieren, die zu komplex sind, um sie in einer anderen Sprache zu schreiben.

Als Beispiel ist hier der Huffman-Dekodierungscode, der im XTENSA-Assembler ausgeführt wurde:

```
/* input in t0, value out in t1, length out in t2 */
    srl t1, t0, 6
    li t3, 3
    beq t3, t4, 2f
    li t2, 2
    andi t3, t0, 0x20
    beq t3, r0, 1f
    li t2, 3
    andi t3, t0, 0x10
    beq t3, r0, 1f
    li t2, 4
    andi t3, t0, 0x08
    beq t3, r0, 1f
    li t2, 5
    andi t3, t0, 0x04
    beq t3, r0, 1f
    li t2, 6
    andi t3, t0, 0x02
    beq t3, r0, 1f
```

```

    li t2, 7
    andi t3, t0, 0x01
    beq t3, r0, 1f
    li t2, 8
    b 2f
    li t1, 9
1: /* length = value */
    move t1, t2
2: /* done */

```

Seit Version 7.0.7.4 enthält ESP32forth einen vollständigen XTENSA-Assembler. Dieser Assembler verwendet die Infix-Notation:

```

\ im herkömmlichen Assembler:
\ andi t3, t0, 0x01

\ im XTENSA-Assembler mit ESP32forth:
  a3 a0 $01 ANDI

```

ESP32forth ist die **allererste höhere Programmiersprache** für ESP32, die einen XTENSA-Assembler integriert.

Mit dieser Funktion kann der Programmierer seine Assembly-Makros definieren.

Jedes in der XTENSA-Assemblersprache von ESP32forth geschriebene Wort kann sofort in jeder Definition in der FORTH-Sprache verwendet werden.

## Kompilieren Sie den XTENSA-Assembler

Seit Version 7.0.7.15 bietet ESP32forth den XTENSA-Assembler als Option an. Um diese Option zu kompilieren:

- **optionalen** Ordner in dem Ordner, in dem Sie die ZIP-Datei der ESP32forth-Version entpackt haben
- Datei „**assemblers.h**“ in den Stammordner, der die Datei „**ESP32forth.ino**“ **enthält**
- Führen Sie die ARDUINO-IDE aus, kompilieren Sie **ESP32forth.ino** und laden Sie es auf die ESP32-Karte hoch

Wenn alles gut geklappt hat, greifen Sie auf den XTENSA-Assembler zu, indem Sie einmal Folgendes eingeben:

```
xtensa-assembler
```

So überprüfen Sie die korrekte Verfügbarkeit des XTENSA-Befehlssatzes:

```
assembler xtensa vlist
```

# Programmierung in Assembler

Um das zuvor Gesagte klar zu verstehen, hier eine Beispielhafte Definition von Brad NELSON:

```
\ Beispiel vorgeschlagen von Brad NELSON
code my2*
    a1 32 ENTRY,
    a8 a2 0 L32I.N,
    a8 a8 1 SLLI,
    a8 a2 0 S32I.N,
    RETW.N,
end-code
```

Wir haben gerade das Wort **my2\*** definiert , das genau die gleiche Wirkung hat wie das Wort **2\*** . Die Assemblierung des Codes erfolgt sofort. Wir können daher unsere Definition von **my2\*** vom Terminal aus testen:

```
--> 3 my2*
ok
6 --> 21 my2*
ok
6 42 -->
```

Diese Möglichkeit, einen zusammengestellten Code sofort zu testen, ermöglicht es, ihn vor Ort zu testen. Wenn wir etwas komplexen Code schreiben müssen, ist es einfach, ihn in Fragmente zu schneiden und jeden Teil dieses Codes mit dem ESP32forth-Interpreter zu testen.

Der XTENSA-Assemblercode wird nach dem zu definierenden Wort platziert. Es ist die Codesequenz **my2\*** , die das Wort **my2\*** erzeugt .

Die folgenden Zeilen enthalten den XTENSA-Assemblercode. Die Assemblydefinition endet mit der Ausführung von **end-code** .

## Zusammenfassung der grundlegenden Anweisungen

Liste der grundlegenden Anweisungen, die in allen Versionen der Xtensa-Architektur enthalten sind. Der Rest dieses Abschnitts bietet einen Überblick über die grundlegenden Anweisungen.

### Laden / Laden

```
L8UI, L16SI, L16UI, L32I, L32R,
```

### Lagern / Lagern

```
S8I, S16I, S32I,
```

## **Speicherbestellung**

```
MEMW, EXTW,
```

## **Sprünge**

```
CALLO, CALLX0, RET, J, JX,
```

## **Bedingte Verzweigung**

```
BALL, BNALL, BANY, BNONE, BBC, BBCI, BBS, BBSI, BEQ, BEQI, BEQZ, BNE,  
BNEI, BNEZ, BGE, BGEI, BGEU, BGEUI, BGEZ, BLT, BLTI, BLTU, BLTUI, BLTZ,
```

## **Schicht**

```
MOVI, MOVEQZ, MOVGEZ, MOVLTZ, MOVNEZ,
```

## **Arithmetik**

```
ADDMI, ADD, ADDX2, ADDX4, ADDX8, SUB, SUBX2, SUBX4, SUBX8, NEG, ABS,
```

## **Binäre Logik**

```
UND, ODER,
```

## **Lücke**

```
EXTUI, SRLI, SRAI, SLLI, SRC, SLL, SRL, SRA, SSL, SSR, SSAI, SSA8B,  
SSA8L,
```

## **Prozessorsteuerung**

```
RSR, WSR, XSR, RUR, WUR, ISYNC, RSYNC, ESYNC, DSYNC, NOP,
```

## **Ein Bonus-Disassembler**

Ein Assembler ist sehr gut. Die einfache Integration von Code in FORTH-Definitionen ist wunderbar. Aber einen XTENSA-Disassembler zu haben, ist königlich!

Nehmen wir die zuvor zusammengestellte Definition von **my2\*** . Die Demontage ist einfach:

```
' my2* cell+ @ 20 disasm  
\ zeigt an:  
\ 1074338656 -- a1 32 ENTRY, -- 004136  
\ 1074338659 -- a8 a2 0 L32I.N, -- 0288  
\ 1074338661 -- a8 a8 1 SLLI, -- 1188F0  
\ 1074338664 -- a8 a2 0 S32I.N, -- 0289  
\ 1074338666 -- RETW.N, -- F01D  
\ 1074338668 -- .....
```

Auf den Code unseres Wortes **my2\*** kann nur indirekt zugegriffen werden, dessen Adresse im Parameterfeld angegeben wird.

In jeder Zeile wird Folgendes angezeigt:

- die Adresse des zusammengestellten Codes
- der zerlegte Code an dieser Adresse auf 2 oder 3 Bytes
- der Hexadezimalcode, der dem zerlegten Code entspricht

Der Disassembler kann auch auf den gesamten bereits kompilierten oder assemblierten Code einwirken. Sehen wir uns den Code für Wort **2\* an** :

```
' 2* @ 20 disasm
\ display:
\ 1074606252 -- a12 a3 0 L32I.N,          -- 03C8
\ 1074606254 -- a5 a5 1 SLLI,              -- 1155F0
\ 1074606257 -- a15 a12 0 L32I.N,         -- 0CF8
\ 1074606259 -- a3 a3 4 ADDI.N,           -- 334B
\ 1074606261 -- 1074597318 J,             -- F74346
```

Die Demontage zeigt an, dass der Code zu einem bedingungslosen Sprung **1074597318 J** führt . Die Demontage kann problemlos an dieser neuen Adresse fortgesetzt werden:

```
1074597318 20 disasm
\ display:
\ 1074597318 -- a15 JX,                  -- 000FA0
\ 1074597321 -- a10 64672 L32R,        -- FCA0A1
\ 1074597324 -- a5 a7 1 S32I,          -- 016752
\ 1074597327 -- 1074633168 CALL8,      -- 08C025
\ 1074597330 -- a12 a3 0 L32I,          -- 0023C2
\ 1074597333 -- a2 a7 4 ADDI,          -- 04C722
\ 1074597336 .....
```

# Erste Schritte im XTENSA-Assembler

## Präambel

Der Assembler-Code ist nicht in eine andere Umgebung übertragbar oder erfordert enorme Anstrengungen, den Assembler-Code zu verstehen und anzupassen.

Eine FORTH-Version ist nicht vollständig, wenn sie keinen Assembler hat.

Eine Assembler-Programmierung ist nicht erforderlich. Aber in manchen Fällen kann das Erstellen einer Definition in Assembler viel einfacher sein als eine Version in C-Sprache oder in reiner FORTH-Sprache.

Aber vor allem bietet eine in Assembler geschriebene Definition eine unübertroffene Ausführungsgeschwindigkeit.

Wir werden anhand sehr einfacher und sehr kurzer Beispiele sehen, wie man die Programmierung von FORTH-Definitionen beherrscht, die im Xtensa-Assembler geschrieben wurden.

## Aufrufen des Xtensa-Assemblers

**xtensa-assembler** aufzurufen . Dieses Wort lädt den Inhalt des **xtensa-** Vokulars . Dieses Wort darf nur einmal beim Starten von ESP32forth und vor jeder Definition eines Wortes im xtensa-Code aufgerufen werden:

```
forth
DEFINED? code invert [IF] xtensa-assembler [THEN]
```

Wenn wir nun **order** eingeben , zeigt ESP32forth Folgendes an:

```
xtensa >> asm >> FORTH
```

Es ist diese Reihenfolge der Vokabeln, die beachtet werden muss, wenn wir ein neues Wort in der Xtensa-Assembly mithilfe der Definitionswörter **code** und **end-code** definieren möchten .

## Xtensa und der FORTH-Stack

Der Xtensa-Prozessor verfügt über 16 Register, a0 bis a15. In Wirklichkeit gibt es 64 Register, aber wir können von diesen 64 Registern nur auf ein Fenster mit 16 Registern zugreifen, das im Intervall 00..15 zugänglich ist.

Register a2 enthält den FORTH-Stapelzeiger.

Jedes Mal, wenn ein Wert gestapelt wird, wird der Stapelzeiger um vier Einheiten erhöht:

```
SP@. \ zeigt 1073632236 an
1
```

```

SP@. \display 1073632240
2
SP@. \display 1073632244
drop drop
SP@. \1073632236

```

So könnten wir dieses Wort **SP@** im Xtensa-Assembler umschreiben:

```

\ SP-Stack-Zeiger abrufen - entspricht SP@
code mySP@
    a1 32      ENTRY,
    a8 a2      MOV.N,  \ kopiere den Inhalt von a2 nach a8
    a2 a2 4    ADDI,   \ a2 erhöhen
    a8 a2 0    S32I.N, \ kopiere a8 in die Adresse, auf die a2+0 zeigt
                  RETW.N,
end-code

```

Testen wir dieses neue Wort **mySP@** :

```

mySP@ .
\ zeigt 1073632240 an
SP@ .
\ zeigt 1073632240 an

```

## Schreiben einer Xtensa-Makroanweisung

In unserer Definition des Wortes **mySP@ erhöht** die Sequenz **a2 a2 4 ADDI**, den Stapelzeiger um vier Einheiten. Ohne dieses Inkrement ist es unmöglich, einen Wert an die Spitze des FORTH-Stacks zurückzugeben. Mit FORTH schreiben wir ein Makro, das diesen Vorgang automatisiert.

Zunächst erweitern wir das **ASM**-Vokabular:

```

asm definitions

: macro:
    :
;

```

Unsere **macro:** definition ist mit **:** überflüssig , hat aber den Vorteil, dass der FORTH-Code dann etwas lesbarer wird, wenn wir eine Makroanweisung definieren, die das **xtensa-** Vokabular erweitert :

```

xtensa definitions

macro: sp++,
    a2 a2 4    ADDI,
    ;

```

**sp++** Makroanweisung können wir die Definition von **mySP@** neu schreiben :

```

forth definitions
asm xtensa

```

```

    \ Stack Pointer SP abrufen - Äquivalent für SP@ 
code mySP@ 
    a1 32      ENTRY, 
    a8 a2      MOV.N,  \ Inhalt von a2 in a8 kopieren 
        sp++, 
    a8 a2 0    S32I.N, \ kopiere a8 in die Adresse, auf die a2+0 zeigt 
        RETW.N, 
end-code

```

Es ist durchaus möglich, ein Makro in ein anderes zu integrieren. Im **mySP@** -Code kopiert die Codezeile **a8 a2 0 S32I.N** den Inhalt des Registers a8 an die Adresse, auf die a2 zeigt. Hier ist diese neue Makroanweisung:

```

xtensa definitions

\ Erhöhen Sie den Stapelzeiger und speichern Sie den Inhalt 
\ von ar in der Adresse, auf die der Stapelzeiger zeigt
Makro: arPUSH, { ar -- } 
    sp++, 
    ar a2 0 S32I.N, 
;

```

Diese Makroanweisung verwendet eine lokale Variable **ar** . Wir hätten darauf verzichten können, aber der Vorteil dieser Variable besteht darin, dass der Makrocode besser lesbar ist.

**mySP@** -Code mit dieser Makroanweisung.

```

forth definitions
asm xtensa

\ Stack Pointer SP abrufen - entspricht SP@ 
code mySP@3 
    a1 32      ENTRY, 
    a8 a2      MOV.N, 
    a8 arPUSH, 
        RETW.N, 
end-code

```

Vervollständigen wir unsere Liste der Makroanweisungen:

```

xtensa definitions

\ Stapelzeiger dekrementieren
macro: sp--,      ( -- ) 
    a2 a2 -4    ADDI, 
;

\ Speichere den Inhalt der Adresse, auf die der Stapelzeiger 
\ zeigt, in ar und dekrementiere den Stapelzeiger
macro: arPOP,     { ar -- } 
    ar a2 0    L32I.N,

```

```
sp--,  
;
```

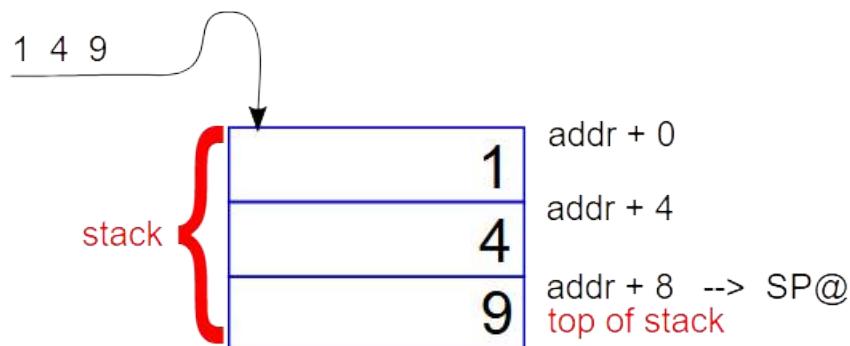
Mit diesen neuen Makros schreiben wir **swap** neu :

```
forth definitions  
asm xtensa  
  
code mySWAP  
    a1 32      ENTRY,  
    a9 arPOP,  
    a8 arPOP,  
    a9 arPUSH,  
    a8 arPUSH,  
                    RETW.N,  
end-code  
  
17 24 mySWAP
```

## Verwalten des FORTH-Stacks im Xtensa-Assembler

Auf die Position des FORTH-Stapelzeigers kann mit **SP@ zugegriffen werden**. Durch das Stapeln einer 32-Bit-Ganzzahl (Standardgröße für ESP32forth) wird dieser Stapelzeiger um vier Einheiten erhöht.

Wir haben besprochen, wie das Inkrementieren oder Dekrementieren dieses Stapelzeigers mithilfe der Makroanweisungen **sp++** und **sp--** verwaltet wird. Diese Makroanweisungen bewegen den Stapelzeiger um vier Einheiten.



Hier haben wir drei Werte gestapelt, **1** **4** und **9**. Bei jedem Stapeln wird der Stapelzeiger automatisch erhöht. Im Xtensa-Assembler befindet sich der Stapelzeiger im Register a2. Wir haben gesehen, dass wir den Inhalt dieses Registers mit den Makrobefehlen **sp++** und **sp--** manipulieren können. Die Manipulation dieses Registers hat eine direkte Auswirkung auf den von ESP32forth verwalteten Stapelzeiger.

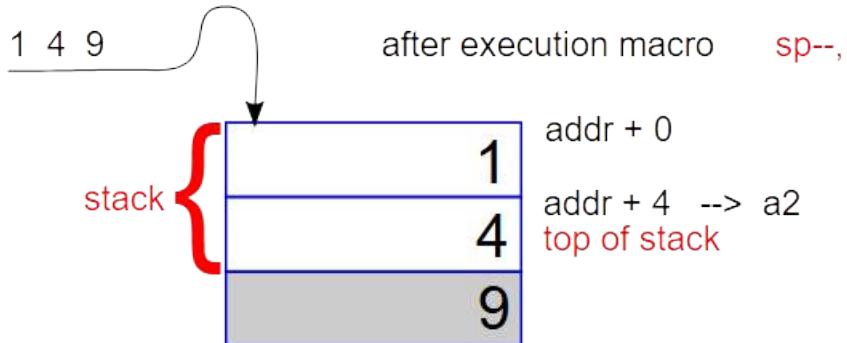
So haben wir das Wort **+** in Assembler umgeschrieben , indem wir den Stapelzeiger durch unsere **arPOP** und **arPUSH** -Makroanweisungen manipuliert haben :

```
code my+
    a1 32      ENTRY,
    a7  arPOP,
    a8  arPOP,
    a7 a8 a9    ADD,
    a9  arPUSH,
                RETW.N,
end-code
```

Es gibt eine andere Möglichkeit, Daten vom Stapel mithilfe der **L32I.N**- Anweisung abzurufen . Diese Anweisung verwendet einen unmittelbaren Index:

```
code my+
    a1 32 ENTRY,
        sp--,
    a7 a2 0    L32I.N,
    a8 a2 1    L32I.N,
    a7 a8 a9    ADD,
    a9 a2 0    S32I.N,
    RETW.N,
end-code
```

Bevor wir die Daten vom Stapel abrufen, dekrementieren wir den Stapelzeiger mit unserer Makroanweisung **sp--** ,. Dadurch bewegt sich der Zeiger um 4 Einheiten zurück.



Aber nur weil sich der Zeiger zurückbewegt, bedeutet das nicht, dass die zuvor gestapelten Daten verschwinden. Sehen wir uns diese Codezeile im Detail an:

```
a7 a2 0    L32I.N,
```

Dieser Befehl lädt Register a7 mit dem Inhalt der Adresse, auf die  $(a2)+n*4$  zeigt. Hier ist n 0. Diese Anweisung fügt den Wert 4 in unser Register a7 ein.

Sehen wir uns die folgende Zeile an:

```
a8 a2 1    L32I.N,
```

Register a8 wird mit dem Inhalt geladen, auf den  $(a2)+1*4$  zeigt. Diese Anweisung fügt den Wert 9 in unser Register a8 ein.

```
a9 a2 0      S32I.N,
```

Hier wird der Inhalt des Registers a9 an der Adresse gespeichert, auf die  $(a2)+1*0$  zeigt. Tatsächlich überschreiben wir den Wert 4 mit dem Ergebnis der Addition der Inhalte der Register a7 und a8.

Sehen wir uns ein letztes Beispiel an, in dem wir zwei Parameter verarbeiten und zwei davon auf den Datenstapel ausgeben. In diesem Beispiel schreiben wir das Wort **/MOD** um :

```
code my/MOD ( n1 n2 -- rem quot )
    a1 32          ENTRY,
    a7 arPOP,        \ divisor in a7
    a8 arPOP,        \ Wert, der durch a8 geteilt werden soll
    a7 a8 a9  REMS,  \ a9 = a8 MOD a7
    a9 arPUSH,
    a7 a8 a9  QUOS,  \ a9 = a8 / a7
    a9 arPUSH,
                RETW.N,
end-code

5 2 my/MOD . .      \ Anzeige 2 1
-5 -2 my/MOD . .    \ Anzeige 2 -1
```

Im Wort **my/MOD** verwenden wir dieselben Daten n1 und n2, die jeweils in den Registern a8 und a7 platziert sind. Es sind dann die **REMS**- und **QUOT**- Anweisungen , die die Berechnung der von **my/MOD** zurückgegebenen Ergebnisse ermöglichen .

## Effizienz der im XTENSA-Assembler geschriebenen Wörter

In unserem allerletzten Beispiel oben haben wir das Wort **/MOD** umgeschrieben . Die zu stellende Frage lautet: „Ist das Wort **my/MOD** wirklich schneller in der Ausführung als das Wort **/MOD** ?“

Dazu verwenden wir das Wort **measure:** , dessen FORTH-Code im Kapitel „*Messung der Ausführungszeit eines FORTH-Worts*“ erläutert wird .

```
: test1
    1000000 for
        5 2 /MOD
        drop drop
    next
;

: test2
    1000000 for
        5 2 my/MOD
        drop drop
    next
```

```
;  
  
measure: test1  \ Anzeige: Ausführungszeit: 0,856 Sekunden.  
measure: test2  \ Anzeige: Ausführungszeit: 0,600 Sek.
```

Die Wörter **test1** und **test2** sind ähnlich, außer dass **test2 my/MOD** ausführt . Über 1 Million Iterationen beträgt die Zeitersparnis 0,144 Sekunden. Es ist nicht viel, aber das Verhältnis scheint dennoch signifikant zu sein.

Umgekehrt sehen wir, dass die Ausführungszeit der FORTH-Sprache sehr schnell ist.

# Der Zufallszahlengenerator

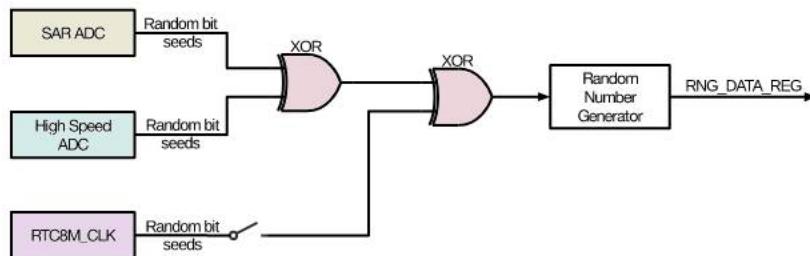
## Charakteristisch

Der Zufallszahlengenerator generiert echte Zufallszahlen, also eine Zufallszahl, die durch einen physikalischen Prozess und nicht durch einen Algorithmus generiert wird. Keine innerhalb des angegebenen Bereichs generierte Zahl erscheint mit größerer oder geringerer Wahrscheinlichkeit als jede andere Zahl.

Jeder 32-Bit-Wert, den das System aus dem RNG\_DATA\_REG-Register des Zufallszahlengenerators liest, ist eine echte Zufallszahl. Diese echten Zufallszahlen werden basierend auf thermischem Rauschen im System und asynchronem Taktversatz generiert.

Das thermische Rauschen kommt vom Hochgeschwindigkeits-ADC oder vom SAR-ADC oder von beiden. Immer wenn der Hochgeschwindigkeits-ADC oder SAR-ADC aktiviert wird, werden die Bitströme generiert und über ein XOR-Logikgatter als Zufalls-Seeds in den Zufallszahlengenerator eingespeist.

Wenn der RTC8M\_CLK-Takt für den digitalen Kern aktiviert ist, tastet der Zufallszahlengenerator auch RTC8M\_CLK (8 MHz) als zufälligen binären Startwert ab. RTC8M\_CLK ist eine asynchrone Taktquelle und erhöht die RNG-Entropie durch die Einführung von Schaltungsmetastabilität. Um maximale Entropie zu gewährleisten, wird jedoch auch empfohlen, immer eine ADC-Quelle zu aktivieren.



Wenn vom SAR-ADC Rauschen auftritt, wird der Zufallszahlengenerator mit einer Entropie von 2 Bits in einem Taktzyklus von RTC8M\_CLK (8 MHz) gespeist, die von einem internen RC-Oszillator erzeugt wird (weitere Einzelheiten finden Sie im Kapitel „Reset und Takt“). Daher ist es ratsam, das **RNG\_DATA\_REG-** Register mit einer maximalen Rate von 500 kHz zu lesen, um die maximale Entropie zu erhalten.

Wenn Rauschen vom Hochgeschwindigkeits-ADC auftritt, wird dem Zufallszahlengenerator in einem APB-Taktzyklus, der normalerweise 80 MHz beträgt, 2-Bit-Entropie zugeführt.

Daher ist es ratsam, das **RNG\_DATA\_REG- Register mit einer maximalen Rate von 5 MHz** zu lesen , um die maximale Entropie zu erhalten.

Eine 2-GB-Datenprobe, die vom Zufallszahlengenerator mit einer Frequenz von 5 MHz gelesen wird, wobei nur der Hochgeschwindigkeits-ADC aktiviert ist, wurde mit der Dieharder Random Number-Testsuite (Version 3.31.1) getestet. Die Probe hat alle Tests bestanden.

## Programmievorgang

Stellen Sie bei Verwendung des Zufallszahlengenerators sicher, dass mindestens SAR ADC, High Speed ADC oder RTC8M\_CLK zulässig sind. Andernfalls werden Pseudozufallszahlen zurückgegeben.

- SAR ADC kann mit dem DIG ADC-Controller aktiviert werden.
- Der Hochgeschwindigkeits-ADC wird automatisch aktiviert, wenn Wi-Fi- oder Bluetooth-Module aktiviert sind.
- RTC8M\_CLK wird durch Setzen des RTC\_CNTL\_DIG\_CLK8M\_EN-Bits im RTC\_CNTL\_CLK\_CONF\_REG-Register aktiviert.

Wenn Sie den Zufallszahlengenerator verwenden, lesen Sie das **RNG\_DATA\_REG - Register** mehrmals, bis genügend Zufallszahlen generiert wurden.

Name	Description	Address	Access
RNG_DATA_REG	Random number data	\$3FF75144	RO

```
\ Zufallszahlendaten
$3FF75144 constant RNG_DATA_REG

\ Holen Sie sich eine 32-Bit-Zufallszahl b=Zahl
: rnd ( -- x )
    RNG_DATA_REG L@
;

\ Zufallszahl im Intervall [0..n-1] erhalten
: random ( n -- 0..n-1 )
    rnd swap mod
;
```

## RND-Funktion im XTENSA-Assembler

Seit Version 7.0.7.4 verfügt ESP32forth über einen XTENSA-Assembler. Es ist möglich, unser **drittes Wort** im XTENSA-Assembler umzuschreiben :

```
forth definitions
asm xtensa
$3FF75144 constant RNG_DATA_REG

code myRND ( -- [addr] )
```

```
a1 32          ENTRY,  
a8 RNG DATA REG L32R,      \ a8 = RNG DATA REG  
a9 a8 0        L32I.N,      \ a9 = [a8]  
a9            arPUSH,       \ push a9 on stack  
                      RETW.N,  
end-code
```

# Detaillierter Inhalt der ESP32forth-Vokabulare

ESP32forth bietet zahlreiche Vokabulare:

- **FORTH** ist das Hauptvokabular;
- Bestimmte Vokabulare werden für interne Mechaniken für ESP32Forth verwendet, wie zum Beispiel **internals** , **asm...**
- Viele Vokabulare ermöglichen die Verwaltung bestimmter Anschlüsse oder Zubehörteile, wie **Bluetooth** , **OLED** , **SPI** , **WiFi wire**.

Hier finden Sie die Liste aller in diesen verschiedenen Vokabeln definierten Wörter. Einige Wörter werden mit einem farbigen Link dargestellt :

[align](#) ist ein gewöhnliches FORTH-Wort;

[CONSTANT](#) ist Definitionswort;

[begin](#) markiert eine Kontrollstruktur;

[key](#) ist ein verzögertes Ausführungswort;

[LED](#) ist ein Wort, das durch eine Konstante , eine Variable oder einen Wert definiert ist ;

[--registers](#) markiert einen Wortschatz.

**FORTH-** Vokabularwörter werden in alphabetischer Reihenfolge angezeigt. Bei anderen Vokabularen werden die Wörter in ihrer Anzeigereihenfolge angezeigt.

## Version v 7.0.7.15

### FORTH

<a href="#">-</a>	<a href="#">_rot</a>	<a href="#">_</a>	<a href="#">_</a>	<a href="#">_</a>	<a href="#">:_noname</a>	<a href="#">!</a>
<a href="#">?</a>	<a href="#">?do</a>	<a href="#">?dup</a>	<a href="#">_</a>	<a href="#">_."</a>	<a href="#">._s</a>	<a href="#">'_</a>
<a href="#">(local)</a>	<a href="#">_</a>	<a href="#">_`_`</a>	<a href="#">[char]</a>	<a href="#">[ELSE]</a>	<a href="#">[IF]</a>	<a href="#">[THEN]</a>
<a href="#">1</a>	<a href="#">_`</a>	<a href="#">_`</a>	<a href="#">}transfer</a>	<a href="#">@</a>	<a href="#">_*</a>	<a href="#">*/</a>
<a href="#">*/MOD</a>	<a href="#">/_</a>	<a href="#">/_mod</a>	<a href="#">#</a>	<a href="#">#!</a>	<a href="#">#&gt;</a>	<a href="#">#fs</a>
<a href="#">#s</a>	<a href="#">#tib</a>	<a href="#">_+</a>	<a href="#">+_!</a>	<a href="#">+loop</a>	<a href="#">+to</a>	<a href="#">≤</a>
<a href;"="">&lt;#</a>	<a href;"="">≤</a>	<a href;"="">&lt;&gt;</a>	<a href;"="">=</a>	<a href;"="">≥</a>	<a href;"="">≥=</a>	<a href;"="">&gt;BODY</a>
<a href;"="">&gt;flags</a>	<a href;"="">&gt;flags&amp;</a>	<a href;"="">&gt;in</a>	<a href;"="">&gt;link</a>	<a href;"="">&gt;link&amp;</a>	<a href;"="">&gt;name</a>	<a href;"="">&gt;params</a>
<a href;"="">&gt;R</a>	<a href;"="">&gt;size</a>	<a href;"="">0&lt;</a>	<a href;"="">0&lt;&gt;</a>	<a href;"="">0=</a>	<a href;"="">1-</a>	<a href;"="">1/F</a>
<a href="#">1+</a>	<a href="#">2!</a>	<a href="#">2@</a>	<a href="#">2*</a>	<a href="#">2/</a>	<a href="#">2drop</a>	<a href="#">2dup</a>
<a href="#">4*</a>	<a href="#">4/</a>	<a href="#">abort</a>	<a href="#">abort"</a>	<a href="#">abs</a>	<a href="#">accept</a>	<a href="#">adc</a>
<a href="#">afliteral</a>	<a href="#">aft</a>	<a href="#">again</a>	<a href="#">ahead</a>	<a href="#">align</a>	<a href="#">aligned</a>	<a href="#">allocate</a>
<a href="#">allot</a>	<a href="#">also</a>	<a href="#">analogRead</a>	<a href="#">AND</a>	<a href="#">ansi</a>	<a href="#">ARSHIFT</a>	<a href="#">asm</a>
<a href="#">assert</a>	<a href="#">at-xy</a>	<a href="#">base</a>	<a href="#">begin</a>	<a href="#">bg</a>	<a href="#">BIN</a>	<a href="#">binary</a>
<a href="#">bl</a>	<a href="#">blank</a>	<a href="#">block</a>	<a href="#">block-fid</a>	<a href="#">block-id</a>	<a href="#">buffer</a>	<a href="#">bye</a>
<a href="#">c,</a>	<a href="#">C!</a>	<a href="#">C@</a>	<a href="#">CASE</a>	<a href="#">cat</a>	<a href="#">catch</a>	<a href="#">CELL</a>
<a href="#">cell/</a>	<a href="#">cell+</a>	<a href="#">cells</a>	<a href="#">char</a>	<a href="#">CLOSE-DIR</a>	<a href="#">CLOSE-FILE</a>	<a href="#">cmove</a>

cmove>	CONSTANT	context	copy	cp	cr	CREATE
CREATE-FILE	current	dacWrite	decimal	default-key	default-key?	
default-type		default-use	defer	DEFINED?	definitions	DELETE-FILE
depth	digitalRead	digitalWrite		do	DOES>	DROP
dump	dump-file	DUP	duty	echo	editor	else
emit	empty-buffers		ENDCASE	ENDOF	erase	ESP
ESP32-C3?	ESP32-S2?	ESP32-S3?	ESP32?	evaluate	EXECUTE	exit
extract	F-	f.	f.s	F*	F**	F/
F+	F<	F<=	F<>	F=	F>	F>=
F>S	F0<	F0=	FABS	FATAN2	fconstant	FCOS
fdepth	FDROP	FDUP	FEXP	fg	file-exists?	
FILE-POSITION		FILE-SIZE	fill	FIND	fliteral	FLN
FLOOR	flush	FLUSH-FILE	FMAX	FMIN	FNEGATE	FNIP
for	forget	FORTH	forth-builtins	FOVER	FP!	
FPO	fp0	free	freq	FROT	FSIN	FSINCOS
FSQRT	FSWAP	fvariable	handler	here	hex	HIGH
hld	hold	httpd	I	if	IMMEDIATE	include
included	included?	INPUT	internals	invert	is	J
K	key	key?	L!	latesttxt	leave	LED
ledc	list	literal	load	login	loop	LOW
ls	LSHIFT	max	MDNS.begin	min	mod	ms
MS-TICKS	mv	n.	needs	negate	nest-depth	next
nip	nl	NON-BLOCK	normal	octal	OF	ok
only	open-blocks	OPEN-DIR	OPEN-FILE	OR	order	OUTPUT
OVER	pad	page	PARSE	pause	PI	pin
pinMode	postpone	precision	previous	prompt	PSRAM?	pulseIn
quit	r"	R@	R/O	R/W	R>	r1
r~	rdrop	read-dir	READ-FILE	recurse	refill	registers
remaining	remember	RENAME-FILE	repeat	REPOSITION-FILE		required
reset	resize	RESIZE-FILE	restore	revive	RISC-V?	rm
rot	RP!	RP@	rp0	RSHIFT	rtos	s"
S>F	s>z	save	save-buffers		scr	SD
SD_MMC	sealed	see	Serial	set-precision		set-title
sf,	SF!	SF@	SFLOAT	SFLOAT+	SFLOATS	sign
SL@	sockets	SP!	SP@	sp0	space	spaces
SPIFFS	start-task	startswith?	startup:	state	str	str=
streams	structures	SW@	SWAP	task	tasks	telnetd
terminate	then	throw	thru	tib	to	tone
touch	transfer	transfer	type	u.	U/MOD	UL@
UNLOOP	until	update	use	used	UW@	value
VARIABLE	visual	vlist	vocabulary	W!	W/O	web-
interface						
webui	while	WiFi	Wire	words	WRITE-FILE	XOR
Xtensa?	z"	z>s				

## asm

```
xtensa disasm disasm1 matchit address istep sextend m. m@ for-ops op >operands
>mask >pattern >length >xt op-snap opcodes coden, names operand 1 o bits
bit skip advance advance-operand reset reset-operand for-operands operands
>printop >inop >next >opmask& bit! mask pattern length demask enmask >>1
odd? high-bit end-code code, code4, code3, code2, code1, callot chere reserve
```

```
code-at code-start
```

## bluetooth

```
SerialBT.new SerialBT.delete SerialBT.begin SerialBT.end SerialBT.available  
SerialBT.readBytes SerialBT.write SerialBT.flush SerialBT.hasClient  
SerialBT.enableSSP SerialBT.setPin SerialBT.unpairDevice SerialBT.connect  
SerialBT.connectAddr SerialBT.disconnect SerialBT.connected  
SerialBT.isReady bluetooth-builtins
```

## editor

```
a r d e wipe p n l
```

## ESP

```
getHeapSize getFreeHeap getMaxAllocHeap getChipModel getChipCores getFlashChipSize  
getCpuFreqMHz getSketchSize deepSleep getEfuseMac esp_log_level_set ESP-builtins
```

## httpd

```
notfound-response bad-response ok-response response send path method hasHeader  
handleClient read-headers completed? body content-length header crnl= eat  
skipover skipto in@<> end< goal# goal strcase= upper server client-cr client-emit  
client-read client-type client-len client httpd-port clientfd sockfd body-read  
body-1st-read body-chunk body-chunk-size chunk-filled chunk chunk-size  
max-connections
```

## insides

```
run normal-mode raw-mode step ground handle-key quit-edit save load backspace  
delete handle-esc insert update ctype cremit ndown down nup up caret length  
capacity text start-size fileh filename# filename max-path
```

## internals

```
assembler-source xtensa-assembler-source MALLOC SYSFREE REALLOC heap_caps_malloc  
heap_caps_free heap_caps_realloc heap_caps_get_total_size heap_caps_get_free_size  
heap_caps_get_minimum_free_size heap_caps_get_largest_free_block RAW-YIELD  
RAW-TERMINATE REaddir CALLCODE CALL0 CALL1 CALL2 CALL3 CALL4 CALL5 CALL6  
CALL7 CALL8 CALL9 CALL10 CALL11 CALL12 CALL13 CALL14 CALL15 DOFLIT S>FLOAT?  
fill132 'heap 'context 'latesttxt 'notfound 'heap-start 'heap-size 'stack-cells  
'boot 'boot-size '!tib 'argc 'argv 'runner 'throw-handler NOP BRANCH OBRANCH  
DONEXT DOLIT DOSET DOCOL DOCON DOVAR DOCREATE DODOES ALITERAL LONG-SIZE  
S>NUMBER? 'SYS YIELD EVALUATE1 'builtins internals-builtins autoexec  
arduino-remember-filename  
arduino-default-use esp32-stats serial-key? serial-key serial-type yield-task  
yield-step e' @line grow-blocks use?! common-default-use block-data block-dirty  
clobber clobber-line include+ path-join included-files raw-included include-file  
sourcedirname sourcefilename! sourcefilename sourcefilename# sourcefilename&  
starts../ starts./ dirname ends/ default-remember-filename remember-filename
```

```

restore-name save-name forth-wordlist setup-saving-base 'cold park-forth
park-heap saving-base ctype cremit cases (+to) (to) --? }? ?room scope-create
do-local scope-clear scope-exit local-op scope-depth local! local!
<>locals locals-here locals-area locals-gap locals-capacity ?ins. ins.
vins. onlines line-pos line-width size-all size-vocabulary vocs. voc. voclist
voclist-from see-all >vocnext see-vocabulary nonvoc? see-xt ?see-flags
see-loop see-one indent+! icr see. indent mem= ARGS_MARK -TAB +TAB NONAMED
BUILTIN_FORK SMUDGE IMMEDIATE_MARK relinquish dump-line ca@ cell-shift
cell-base cell-mask MALLOC_CAP_RTCRAM MALLOC_CAP_RETENTION MALLOC_CAP_IRAM_8BIT
MALLOC_CAP_DEFAULT MALLOC_CAP_INTERNAL MALLOC_CAP_SPIRAM MALLOC_CAP_DMA
MALLOC_CAP_8BIT MALLOC_CAP_32BIT MALLOC_CAP_EXEC #f+s internalized BUILTIN_MARK
zplace $place free. boot-prompt raw-ok [SKIP]! [SKIP] ?stack sp-limit input-limit
tib-setup raw.s $@ digit parse-quote leaving, leaving )leaving leaving(
value-bind evaluate&fill evaluate-buffer arrow ?arrow. ?echo input-buffer
immediate? eat-till-cr wascr *emit *key notfound last-vocabulary voc-stack-end
xt-transfer xt-hide xt-find& scope

```

## interrupts

```

pinchange #GPIO_INTR_HIGH_LEVEL #GPIO_INTR_LOW_LEVEL #GPIO_INTR_ANYEDGE
#GPIO_INTR_NEGEDGE #GPIO_INTR_POSEDGE #GPIO_INTR_DISABLE ESP_INTR_FLAG_INTRDISABLED
ESP_INTR_FLAG_IRAM ESP_INTR_FLAG_EDGE ESP_INTR_FLAG_SHARED ESP_INTR_FLAG_NMI
ESP_INTR_FLAG_LEVELn ESP_INTR_FLAG_DEFAULT gpio_config gpio_reset_pin gpio_set_intr_type
gpio_intr_enable gpio_intr_disable gpio_set_level gpio_get_level gpio_set_direction
gpio_set_pull_mode gpio_wakeup_enable gpio_wakeup_disable gpio_pullup_en
gpio_pulldown_en gpio_pulldown_dis gpio_hold_en gpio_hold_dis
gpio_deep_sleep_hold_en gpio_deep_sleep_hold_dis gpio_install_isr_service
gpio_isr_handler_add gpio_isr_handler_remove
gpio_set_drive_capability gpio_get_drive_capability esp_intr_alloc esp_intr_free
interrupts-builtins

```

## ledc

```

ledcSetup ledcAttachPin ledcDetachPin ledcRead ledcReadFreq ledcWrite ledcWriteTone
ledcWriteNote ledc-builtins

```

## oled

```

OledInit SSD1306_SWITCHCAPVCC SSD1306_EXTERNALVCC WHITE BLACK OledReset HEIGHT
WIDTH OledAddr OledNew OledDelete OledBegin OledHOME OledCLS OledTextc
OledPrintln OledNumln OledNum OledDisplay OledPrint OledInvert OledTextsize
OledSetCursor OledPixel OledDrawL OledCirc OledCircF OledRect OledRectF
OledRectR OledRectRF oled-builtins

```

## registers

```

m@ m!

```

## riscv

```

C.FSWSP, C.SWSP, C.FSDSP, C.ADD, C.JALR, C.EBREAK, C.MV, C.JR, C.FLWSP,
C.LWSP, C.FLDSP, C.SLLI, BNEZ, BEQZ, C.J, C.ADDW, C.SUBW, C.AND, C.OR,
C.XOR, C.SUB, C.ANDI, C.SRAI, C.SRLI, C.LUI, C.LI, C.JAL, C.ADDI, C.NOP,
C.FSW, C.SW, C.FSD, C.FLW, C.LW, C.FLD, C.ADDI4SP, C.ILL, EBREAK, ECALL,
AND, OR, SRA, SRL, XOR, SLTU, SLT, SLL, SUB, ADD, SRAI, SRLI, SLLI, ANDI,

```

```

ORI, XORI, SLTIU, SLTI, ADDI, SW, SH, SB, LHU, LBU, LW, LH, LB, BGEU, BLTU,
BGE, BLT, BNE, BEO, JALR, JAL, AUIPC, LUI, J-TYPE U-TYPE B-TYPE S-TYPE
I-TYPE R-TYPE rs2' rs2#' rs2 rs2# rs1' rs1#' rs1 rs1# rd' rd#' rd rd# offset
ofs ofs. >ofs iiiii i numeric register' reg'. reg>reg' register reg. nop
x31 x30 x29 x28 x27 x26 x25 x24 x23 x22 x21 x20 x19 x18 x17 x16 x15 x14
x13 x12 x11 x10 x9 x8 x7 x6 x5 x4 x3 x2 x1 zero

```

## rtos

```
vTaskDelete xTaskCreatePinnedToCore xPortGetCoreID rtos-builtins
```

## SD

```

SD.begin SD.beginFull SD.beginDefaults SD.end SD.cardType SD.totalBytes
SD.usedBytes SD-builtins

```

## SD\_MMC

```

SD_MMC.begin SD_MMC.beginFull SD_MMC.beginDefaults SD_MMC.end SD_MMC.cardType
SD_MMC.totalBytes SD_MMC.usedBytes SD_MMC-builtins

```

## Serial

```

Serial.begin Serial.end Serial.available Serial.readBytes Serial.write
Serial.flush Serial.setDebugOutput Serial2.begin Serial2.end Serial2.available
Serial2.readBytes Serial2.write Serial2.flush Serial2.setDebugOutput serial-
builtins

```

## sockets

```

ip. ip# ->h_addr ->addr! ->addr@ ->port! ->port@ sockaddr l, s, bs, SO_REUSEADDR
SOL_SOCKET sizeof(sockaddr_in) AF_INET SOCK_RAW SOCK_DGRAM SOCK_STREAM
socket setsockopt bind listen connect sockaccept select poll send sendto
sendmsg recv recvfrom recvmsg gethostbyname errno sockets-builtins

```

## spi

```

SPI.begin SPI.end SPI.setHwCs SPI.setBitOrder SPI.setDataMode SPI.setFrequency
SPI.setClockDivider SPI.getClockDivider SPI.transfer SPI.transfer8 SPI.transfer16
SPI.transfer32 SPI.transferBytes SPI.transferBits SPI.write SPI.write16
SPI.write32 SPI.writeBytes SPI.writePixels SPI.writePattern SPI-builtins

```

## SPIFFS

```

SPIFFS.begin SPIFFS.end SPIFFS.format SPIFFS.totalBytes SPIFFS.usedBytes
SPIFFS-builtins

```

## streams

```

stream> >stream stream>ch ch>stream wait-read wait-write empty? full? stream#
>offset >read >write stream

```

## structures

```

field struct-align align-by last-struct struct long ptr i64 i32 i16 i8

```

```
type last-align
```

## tasks

```
.tasks main-task task-list
```

## telnetd

```
server broker-connection wait-for-connection connection telnet-key telnet-type  
telnet-emit broker client-len client telnet-port clientfd sockfd
```

## visual

```
edit insides
```

## web-interface

```
server webserver-task do-serve handle1 serve-key serve-type handle-input  
handle-index out-string output-stream input-stream out-size webserver index-html  
index-html#
```

## WiFi

```
Wire.begin Wire.setClock Wire.getClock Wire.setTimeout Wire.getTimeout  
Wire.beginTransaction Wire.endTransaction Wire.requestFrom Wire.write  
Wire.available Wire.read Wire.peek Wire.flush Wire-builtins
```

## xtensa

```
WUR, WSR, WITLB, WER, WDTLB, WAITI, SSXU, SSX, SSR, SSL, SSIU, SSI, SSAI,  
SSA8L, SSA8B, SRLI, SRL, SRC, SRAI, SRA, SLLI, SLL, SICW, SICT, SEXT, SDCT,  
RUR, RSR, RSIL, RFI, ROTW, RITLB1, RITLB0, RER, RDTLB1, RDTLB0, PITLB,  
PDTLB, NSAU, NSA, MULA.DD.HH, MULA.DD.LH, MULA.DD.HL, MULA.DD.LL, MULS.DD  
MULA.DA.HH, MULA.DA.LH, MULA.DA.HL, MULA.DA.LL, MULS.DA MULA.AD.HH, MULA.AD.LH,  
MULA.AD.HL, MULA.AD.LL, MULS.AD MULA.AA.HH, MULA.AA.LH, MULA.AA.HL, MULA.AA.LL,  
MULS.AA MULA.DD.HH.LDINC, MULA.DD.LH.LDINC, MULA.DD.HL.LDINC, MULA.DD.LL.LDINC,  
MULA.DD.LDINC MULA.DD.HH.LDDEC, MULA.DD.LH.LDDEC, MULA.DD.HL.LDDEC,  
MULA.DD.LL.LDDEC,  
MULA.DD.LDDEC MULA.DD.HH, MULA.DD.LH, MULA.DD.HL, MULA.DD.LL, MULA.DD  
MULA.DA.HH.LDINC,  
MULA.DA.LH.LDINC, MULA.DA.HL.LDINC, MULA.DA.LL.LDINC, MULA.DA.LDINC  
MULA.DA.HH.LDDEC,  
MULA.DA.LH.LDDEC, MULA.DA.HL.LDDEC, MULA.DA.LL.LDDEC, MULA.DA.LDDEC MULA.DA.HH,  
MULA.DA.LH, MULA.DA.HL, MULA.DA.LL, MULA.DA MULA.AD.HH, MULA.AD.LH, MULA.AD.HL,  
MULA.AD.LL, MULA.AD MULA.AA.HH, MULA.AA.LH, MULA.AA.HL, MULA.AA.LL, MULA.AA  
MUL16U, MUL16S, MUL.DD.HH, MUL.DD.LH, MUL.DD.HL, MUL.DD.LL, MUL.DD MUL.DA.HH,  
MUL.DA.LH, MUL.DA.HL, MUL.DA.LL, MUL.DA MUL.AD.HH, MUL.AD.LH, MUL.AD.HL,  
MUL.AD.LL, MUL.AD MUL.AA.HH, MUL.AA.LH, MUL.AA.HL, MUL.AA.LL, MUL.AA MOV,  
MOVSP, MOVT.S, MOVF.S, MOVGEZ.S, MOVLTZ.S, MOVNEZ.S, MOVEQZ.S, ULE.S, OLE.S,  
ULT.S, OLT.S, UEQ.S, OEQ.S, UN.S, CMPSOP NEG.S, WFR, RFR, ABS.S, MOV.S,  
ALU2.S UTRUNC.S, UFLOAT.S, FLOAT.S, CEIL.S, FLOOR.S, TRUNC.S, ROUND.S,  
MSUB.S, MADD.S, MUL.S, SUB.S, ADD.S, ALU.S MOVE, MOVGEZ, MOVLTZ, MOVNEZ,  
MOVEQZ, MAXU, MINU, MAX, MIN, CONDOP MOV, LSXU, LSX, L32E, LICW, LICT,  
LDCT, JX, IITLB, IDTLB, LSIU, LSI, LDINC, LDDEC, L32R, EXTUI, S32E, S32RI,
```

```

S32C1I, ADDMI, ADDI, L32AI, L16SI, S32I, S16I, S8I, L32I, L16UI, L8UI,
LDSTORE MOVI, IIU, IHU, IPFL, DIWBI, DIWB, DIU, DHU, DPFL, CACHING2 III,
IHI, IPF, DII, DHI, DHWBI, DHWB, DPFWO, DPFRO, DPFW, DPFR, CACHING1 CLAMPS,
BREAK, CALLX12, CALLX8, CALLX4, CALLX0, CALLXOP CALL12, CALL8, CALL4, CALL0,
CALLOP LOOPGTZ, LOOPNEZ, LOOP, BT, BF, BRANCH2b J, BGEUI, BGEI, BGEZ, BLTUI,
BLTI, BLTZ, BNEI, BNEZ, ENTRY, BEQI, BEQZ, BRANCH2e BRANCH2a BRANCH2 BBSI,
BBS, BNALL, BGEU, BGE, BNE, BANY, BBCI, BBC, BALL, BLTU, BLT, BEQ, BNONE,
BRANCH1 REMS, REMU, QUOS, QUOU, MULSH, MULUH, MULL, XORB, ORBC, ORB, ANDBC,
ANDB, ALU2 ALL8, ANY8, ALL4, ANY4, ANYALL SUBX8, SUBX4, SUBX2, SUB, ADDX8,
ADDX4, ADDX2, ADD, XOR, OR, AND, ALU XSR, ABS, NEG, RFDO, RFDD, SIMCALL,
SYSCALL, RFWU, RFWO, RFDE, RFUE, RFME, RFE, NOP, EXTW, MEMW, EXCW, DSYNC,
ESYNC, RSYNC, ISYNC, RETW, RET, ILL, ILL.N, NOP.N, RETW.N, RET.N, BREAK.N,
MOV.N, MOVI.N, BNEZ.N, BEQZ.N, ADDI.N, ADD.N, S32I.N, L32I.N, tttt t ssss
s rrrr r bbbb b y w iiiii i xxxx x sa sa. >sa entry12 entry12' entry12.
>entry12 coffset18 cof8 cof8. >cofs offset18 offset12 offset8 ofs18 ofs12
ofs8 ofs18. ofs12. ofs8. >ofs sr imm16 imm8 imm4 im numeric register reg.
nop a15 a14 a13 a12 a11 a10 a9 a8 a7 a6 a5 a4 a3 a2 a1 a0

```

# Anhang A – Zusammenfassung der Aufzeichnungen

.....

## GPIO registers

Name	Description	Address	Access
GPIO_OUT_REG	GPIO 0-31 output register	\$3FF44004	R/W
GPIO_OUT_W1TS_REG	GPIO 0-31 output register_W1TS	\$3FF44008	WO
GPIO_OUT_W1TC_REG	GPIO 0-31 output register_W1TC	\$3FF4400C	WO
GPIO_OUT1_REG GPIO	GPIO 32-39 output register	\$3FF44010	R/W
GPIO_OUT1_W1TS_REG	GPIO 32-39 output bit set register	\$3FF44014	WO
GPIO_OUT1_W1TC_REG	GPIO 32-39 output bit clear register	\$3FF44018	WO
GPIO_ENABLE_REG	GPIO 0-31 output enable register	\$3FF44020	R/W
GPIO_ENABLE_W1TS_REG	GPIO 0-31 output enable register_W1TS	\$3FF44024	WO
GPIO_ENABLE_W1TC_REG	GPIO 0-31 output enable register_W1TC	\$3FF44028	WO
GPIO_ENABLE1_REG	GPIO 32-39 output enable register	\$3FF4402C	R/W
GPIO_ENABLE1_W1TS_REG	GPIO 32-39 output enable bit set register	\$3FF44030	WO
GPIO_ENABLE1_W1TC_REG	GPIO 32-39 output enable bit clear register	\$3FF44034	WO
GPIO_STRAP_REG	Bootstrap pin value register	\$3FF44038	RO
GPIO_IN_REG	GPIO 0-31 input register	\$3FF4403C	RO
GPIO_IN1_REG	GPIO 32-39 input register	\$3FF44040	RO
GPIO_STATUS_REG	GPIO 0-31 interrupt status register	\$3FF44044	R/W
GPIO_STATUS_W1TS_REG	GPIO 0-31 interrupt status register_W1TS	\$3FF44048	WO
GPIO_STATUS_W1TC_REG	GPIO 0-31 interrupt status register_W1TC	\$3FF4404C	WO
GPIO_STATUS1_REG	GPIO 32-39 interrupt status register1	\$3FF44050	R/W
GPIO_STATUS1_W1TS_REG	GPIO 32-39 interrupt status bit set register	\$3FF44054	WO
GPIO_STATUS1_W1TC_REG	GPIO 32-39 interrupt status bit clear register	\$3FF44058	WO
GPIO_ACPU_INT_REG	GPIO 0-31 APP_CPU interrupt status	\$3FF44060	RO
GPIO_ACPU_NMI_INT_REG	GPIO 0-31 APP_CPU non-maskable interrupt status	\$3FF44064	RO
GPIO_PCPU_INT_REG	GPIO 0-31 PRO_CPU interrupt status	\$3FF44068	RO
GPIO_PCPU_NMI_INT_REG	GPIO 0-31 PRO_CPU non-maskable interrupt status	\$3FF4406C	RO
GPIO_ACPU_INT1_REG	GPIO 32-39 APP_CPU interrupt status	\$3FF44074	RO
GPIO_ACPU_NMI_INT1_REG	GPIO 32-39 APP_CPU non-maskable interrupt status	\$3FF44078	RO
GPIO_PCPU_INT1_REG	GPIO 32-39 PRO_CPU interrupt status	\$3FF4407C	RO
GPIO_PCPU_NMI_INT1_REG	GPIO 32-39 PRO_CPU non-maskable interrupt status	\$3FF44080	RO
GPIO_PIN0_REG	Configuration for GPIO pin 0	\$3FF44088	R/W
GPIO_PIN1_REG	Configuration for GPIO pin 1	\$3FF4408C	R/W
GPIO_PIN2_REG	Configuration for GPIO pin 2	\$3FF44090	R/W
GPIO_PIN38_REG	Configuration for GPIO pin 38	\$3FF44120	R/W
GPIO_PIN39_REG	Configuration for GPIO pin 39	\$3FF44124	R/W
GPIO_FUNC0_IN_SEL_CFG_REG	Peripheral function 0 input selection register	\$3FF44130	R/W
GPIO_FUNC1_IN_SEL_CFG_REG	Peripheral function 1 input selection register	\$3FF44134	R/W
GPIO_FUNC254_IN_SEL_CFG_REG	Peripheral function 254 input selection register	\$3FF44528	R/W
GPIO_FUNC255_IN_SEL_CFG_REG	Peripheral function 255 input selection register	\$3FF4452C	R/W
GPIO_FUNC0_OUT_SEL_CFG_REG	Peripheral output selection for GPIO 0	\$3FF44530	R/W
GPIO_FUNC1_OUT_SEL_CFG_REG	Peripheral output selection for GPIO 1	\$3FF44534	R/W
GPIO_FUNC38_OUT_SEL_CFG_REG	Peripheral output selection for GPIO 38	\$3FF445C8	R/W
GPIO_FUNC39_OUT_SEL_CFG_REG	Peripheral output selection for GPIO 39	\$3FF445CC	R/W
IO_MUX_PIN_CTRL	Clock output configuration register	\$3FF49000	R/W

Name	Description	Address	Access
IO_MUX_GPIO36_REG	Configuration register for pad GPIO36	\$3FF49004	R/W
IO_MUX_GPIO37_REG	Configuration register for pad GPIO37	\$3FF49008	R/W
IO_MUX_GPIO38_REG	Configuration register for pad GPIO38	\$3FF4900C	R/W
IO_MUX_GPIO39_REG	Configuration register for pad GPIO39	\$3FF49010	R/W
IO_MUX_GPIO34_REG	Configuration register for pad GPIO34	\$3FF49014	R/W
IO_MUX_GPIO35_REG	Configuration register for pad GPIO35	\$3FF49018	R/W
IO_MUX_GPIO32_REG	Configuration register for pad GPIO32	\$3FF4901C	R/W
IO_MUX_GPIO33_REG	Configuration register for pad GPIO33	\$3FF49020	R/W
IO_MUX_GPIO25_REG	Configuration register for pad GPIO25	\$3FF49024	R/W
IO_MUX_GPIO26_REG	Configuration register for pad GPIO26	\$3FF49028	R/W
IO_MUX_GPIO27_REG	Configuration register for pad GPIO27	\$3FF4902C	R/W
IO_MUX_MTMS_REG	Configuration register for pad MTMS	\$3FF49030	R/W
IO_MUX_MTDI_REG	Configuration register for pad MTDI	\$3FF49034	R/W
IO_MUX_MTCK_REG	Configuration register for pad MTCK	\$3FF49038	R/W
IO_MUX_MTDO_REG	Configuration register for pad MTDO	\$3FF4903C	R/W
IO_MUX_GPIO2_REG	Configuration register for pad GPIO2	\$3FF49040	R/W
IO_MUX_GPIO0_REG	Configuration register for pad GPIO0	\$3FF49044	R/W
IO_MUX_GPIO4_REG	Configuration register for pad GPIO4	\$3FF49048	R/W
IO_MUX_GPIO16_REG	Configuration register for pad GPIO16	\$3FF4904C	R/W
IO_MUX_GPIO17_REG	Configuration register for pad GPIO17	\$3FF49050	R/W
IO_MUX_SD_DATA2_REG	Configuration register for pad SD_DATA2	\$3FF49054	R/W
IO_MUX_SD_DATA3_REG	Configuration register for pad SD_DATA3	\$3FF49058	R/W
IO_MUX_SD_CMD_REG	Configuration register for pad SD_CMD	\$3FF4905C	R/W
IO_MUX_SD_CLK_REG	Configuration register for pad SD_CLK	\$3FF49060	R/W
IO_MUX_SD_DATA0_REG	Configuration register for pad SD_DATA0	\$3FF49064	R/W
IO_MUX_SD_DATA1_REG	Configuration register for pad SD_DATA1	\$3FF49068	R/W
IO_MUX_GPIO5_REG	Configuration register for pad GPIO5	\$3FF4906C	R/W
IO_MUX_GPIO18_REG	Configuration register for pad GPIO18	\$3FF49070	R/W
IO_MUX_GPIO19_REG	Configuration register for pad GPIO19	\$3FF49074	R/W
IO_MUX_GPIO20_REG	Configuration register for pad GPIO20	\$3FF49078	R/W
IO_MUX_GPIO21_REG	Configuration register for pad GPIO21	\$3FF4907C	R/W
IO_MUX_GPIO22_REG	Configuration register for pad GPIO22	\$3FF49080	R/W
IO_MUX_U0RXD_REG	Configuration register for pad U0RXD	\$3FF49084	R/W
IO_MUX_U0TXD_REG	Configuration register for pad U0TXD	\$3FF49088	R/W
IO_MUX_GPIO23_REG	Configuration register for pad GPIO23	\$3FF4908C	R/W
IO_MUX_GPIO24_REG	Configuration register for pad GPIO24	\$3FF49090	R/W

#### GPIO configuration / data registers

RTCIO_RTC_GPIO_OUT_REG	RTC GPIO output register	0x3FF48400	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_OUT_W1TS_REG	RTC GPIO output bit set register	0x3FF48404	WO
RTCIO_RTC_GPIO_OUT_W1TC_REG	RTC GPIO output bit clear register	0x3FF48408	WO
RTCIO_RTC_GPIO_ENABLE_REG	RTC GPIO output enable register	0x3FF4840C	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_ENABLE_W1TS_REG	RTC GPIO output enable bit set register	0x3FF48410	WO
RTCIO_RTC_GPIO_ENABLE_W1TC_REG	RTC GPIO output enable bit clear register	0x3FF48414	WO
RTCIO_RTC_GPIO_STATUS_REG	RTC GPIO interrupt status register	0x3FF48418	WO
RTCIO_RTC_GPIO_STATUS_W1TS_REG	RTC GPIO interrupt status bit set register	0x3FF4841C	WO
RTCIO_RTC_GPIO_STATUS_W1TC_REG	RTC GPIO interrupt status bit clear register	0x3FF48420	WO
RTCIO_RTC_GPIO_IN_REG	RTC GPIO input register	0x3FF48424	RO
RTCIO_RTC_GPIO_PIN0_REG	RTC configuration for pin 0	0x3FF48428	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN1_REG	RTC configuration for pin 1	0x3FF4842C	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN2_REG	RTC configuration for pin 2	0x3FF48430	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN3_REG	RTC configuration for pin 3	0x3FF48434	R/W

<b>Name</b>	<b>Description</b>	<b>Address</b>	<b>Access</b>
RTCIO_RTC_GPIO_PIN4_REG	RTC configuration for pin 4	0x3FF48438	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN5_REG	RTC configuration for pin 5	0x3FF4843C	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN6_REG	RTC configuration for pin 6	0x3FF48440	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN7_REG	RTC configuration for pin 7	0x3FF48444	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN8_REG	RTC configuration for pin 8	0x3FF48448	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN9_REG	RTC configuration for pin 9	0x3FF4844C	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN10_REG	RTC configuration for pin 10	0x3FF48450	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN11_REG	RTC configuration for pin 11	0x3FF48454	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN12_REG	RTC configuration for pin 12	0x3FF48458	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN13_REG	RTC configuration for pin 13	0x3FF4845C	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN14_REG	RTC configuration for pin 14	0x3FF48460	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN15_REG	RTC configuration for pin 15	0x3FF48464	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN16_REG	RTC configuration for pin 16	0x3FF48468	R/W
RTCIO_RTC_GPIO_PIN17_REG	RTC configuration for pin 17	0x3FF4846C	R/W
RTCIO_DIG_PAD_HOLD_REG	RTC GPIO hold register	0x3FF48474	R/W
<b>GPIO RTC function configuration registers</b>			
RTCIO_HALL_SENS_REG	Hall sensor configuration	0x3FF48478	R/W
RTCIO_SENSOR_PADS_REG	Sensor pads configuration register	0x3FF4847C	R/W
RTCIO_ADC_PAD_REG	ADC configuration register	0x3FF48480	R/W
RTCIO_PAD_DAC1_REG	DAC1 configuration register	0x3FF48484	R/W
RTCIO_PAD_DAC2_REG	DAC2 configuration register	0x3FF48488	R/W
RTCIO_XTAL_32K_PAD_REG	32KHz crystal pads configuration register	0x3FF4848C	R/W
RTCIO_TOUCH_CFG_REG	Touch sensor configuration register	0x3FF48490	R/W
RTCIO_TOUCH_PAD0_REG	Touch pad configuration register	0x3FF48494	R/W
,,,	,,,		
RTCIO_TOUCH_PAD9_REG	Touch pad configuration register	0x3FF484B8	R/W
RTCIO_EXT_WAKEUP0_REG	External wake up configuration register	0x3FF484BC	R/W
RTCIO_XTL_EXT_CTR_REG	Crystal power down enable GPIO source	0x3FF484C0	R/W
RTCIO_SAR_I2C_IO_REG	RTC I2C pad selection	0x3FF484C4	R/W

# Ressourcen

## Auf Englisch

- **ESP32forth** Seite verwaltet von Brad NELSON, dem Erfinder von ESP32forth. Dort finden Sie alle Versionen (ESP32, Windows, Web, Linux...)  
<https://esp32forth.appspot.com/ESP32forth.html>
- 

## Auf Französisch

- **ESP32 Forth** Website in zwei Sprachen (Französisch, Englisch) mit vielen Beispielen  
<https://esp32.arduino-forth.com/>

## GitHub

- **Ueforth** Ressourcen verwaltet von Brad NELSON. Enthält alle Forth- und C-Sprachquelldateien für ESP32forth  
<https://github.com/flagxor/ueforth>
- **ESP32forth** Quellcodes und Dokumentation für ESP32forth. Ressourcen verwaltet von Marc PETREMANN  
<https://github.com/MPETREMAN11/ESP32forth>
- **ESP32forthStation** Ressourcen verwaltet von Ulrich HOFFMAN. Eigenständiger Forth-Computer mit LillyGo TTGO VGA32-Einplatinencomputer und ESP32forth  
<https://github.com/uho/ESP32forthStation>
- **ESP32Forth** Ressourcen verwaltet von F. J. RUSSO  
<https://github.com/FJRusso53/ESP32Forth>
- **esp32forth-addons** Ressourcen verwaltet von Peter FORTH  
<https://github.com/PeterForth/esp32forth-addons>
- **Esp32forth-org** Code-Repository für Mitglieder der Forth2020- und ESP32forth-Gruppen  
<https://github.com/Esp32forth-org>
-

# Index

also.....	78	insides.....	224	spi.....	226
analogRead.....	151	internals.....	224	SPI.....	176
ansi.....	77	interrupts.....	225	SPIFFS.....	108, 226
Anzeigeposition.....	46	interval.....	135	startup:.....	94
asm.....	223	is.....	81	streams.....	226
autoexec.fs.....	117	Kommentar.....	50	string.....	72
Automatischer Start.....	94	ledc.....	200, 225	Stromversorgung.....	92
BASE.....	67	ledcAttachPin.....	200	struct.....	59
bg.....	46	ledcWriteTone.....	200	structures.....	59, 61, 227
bluetooth.....	224	load.....	104	tasks.....	227
c@.....	43	ls.....	108	telnetd.....	227
cat.....	109	ms-ticks.....	143	Tera Term-Terminal.....	96
constant.....	44	mv.....	109	Textfarben.....	46
cp.....	109	Netbeans.....	112	thru.....	104
create.....	86	normal.....	46	to.....	51
DECIMAL.....	67	oled.....	157, 225	touch.....	109
defer.....	81	OledReset.....	172	value.....	44
DOES>.....	86	only.....	78	variable.....	44
dump.....	38	page.....	46	visual.....	227
edit.....	106	pi.....	63	vlist.....	77
editor.....	77, 102, 224	RECORDFILE.....	117, 167	voclist.....	76
ESP.....	224	registers.....	225	web-interface.....	227
EXECUTE.....	80	rerun.....	135	WiFi.....	227
F.....	63	riscv.....	225	wipe.....	103
F>S.....	65	rm.....	109	Wire.detect.....	162
fconstant.....	64	rtos.....	226	xtensa.....	227
fg.....	46	S>F.....	66	xtensa-assembler.....	208, 212
flush.....	104	save-buffers.....	105	:noname.....	83
FORTH.....	222	SD.....	226	.s.....	38
FORTH-Wort.....	22	SD_MMC.....	226	{ .....	50
fvariable.....	64	see.....	37	}	50
GIT.....	112	Serial.....	226	# .....	68
HEX.....	67	set-precision.....	63	#> .....	68
HOLD.....	68	SF!.....	64	#S.....	68
httpd.....	224	SF@.....	64	+to.....	51
include.....	107 sq.	sockets.....	226	<#.....	68