



Hochschule Augsburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Studienrichtung Technische Informatik

Ingmar Kristian Klein

Entwicklung eines freien, universell verwendbaren
Prototyping-Boards für die STM32 ARM Cortex M3
Familie.

Verfasser der Bachelorarbeit:
Ingmar Kristian Klein
Matrikelnummer: 913617
Dominikanergasse 18
86150 Augsburg
Telefon: 0821 / 8107762
ingmar_klein@web.de

Fakultät für Informatik
Telefon: +49 821 5586-3450
Fax: +49 821 5586-3499

Erstprüfer: Prof. Dr. Hubert Högl
Zweitprüfer: -
Abgabe der Arbeit: 20.04.2011

Hochschule Augsburg
University of Applied
Sciences
Baumgartnerstraße 16
D 86161 Augsburg

Telefon +49 821 5586-0
Fax +49 821 5586-3222
<http://www.hs-augsburg.de>
poststelle@hs-augsburg.de

Copyright (C) 2011 Ingmar Kristian Klein.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Inhalt

1	KURZBESCHREIBUNG	1
2	ENTWURF	2
2.1	ANFORDERUNGEN	2
2.1.1	Flexibilität	2
2.1.1.1	Feste Bestandteile der Schaltung	2
2.1.1.2	Optionale Elemente	3
2.1.2	Lizenz	4
2.1.3	Kosten	5
2.1.4	Fertigung	5
2.2	SCHALTUNGSENTWURF	7
2.2.1	Theorie	7
2.2.1.1	STM32-Input	7
2.2.1.2	STM32-Output	8
2.2.1.3	CP2102 (optional)	9
2.2.2	Umsetzung	10
2.2.2.1	Schaltplan	11
2.2.2.2	Größe der Platine	14
2.2.2.3	Bauteilauswahl	14
2.2.2.4	Platzierung der Bauteile	17
2.2.2.5	Anschlüsse und Konfigurationsmöglichkeiten	18
2.2.2.6	Genauere Belegung der äußeren Stiftleisten	23
3	KICAD	24
3.1	EESchema	24
3.1.1	Tipps zu EESchema	25
3.2	CV _{PCB}	26
3.2.1	Tipp zu CV _{pcb}	26
3.3	PCB _{NEW}	26
3.3.1	Tipps zu PCB _{new}	27
4	BESTÜCKUNGSVARIANTEN / ANWENDUNGSBEISPIELE	27
4.1	STM32 + LDO-REGLER	28
4.2	STM32 + LDO REGLER + CP2102	29
4.3	STM32 + CP2102	30
4.4	NUR CP2102	30
5	FAZIT	32
6	ANHANG	33
6.1	GERBER-LAYER (FRONT, BACK)	33
6.2	FINALER KICAD SCHALTPLAN	34
6.3	SIGNALBELEGUNG DER AUSSENLEISTEN	35
6.4	BAUTEIL-STÜCKLISTE	36
6.5	GNU FREE DOCUMENTATION LICENSE	38

7 LITERATURVERZEICHNIS.....	45
------------------------------------	-----------

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Eingangsbeschaltung des STM32.....	7
Abbildung 2: Ausgangsbeschaltung des STM32.....	8
Abbildung 3: Beschaltung des optionalen CP2102.....	9
Abbildung 4: Frontansicht des fertigen Platinen-Layouts.....	10
Abbildung 5: Rückansicht des fertigen Platinen-Layouts.....	10
Abbildung 6: Bauteile Platinen-Vorderseite.....	17
Abbildung 7: Tabelle Boot-Modi.....	22
Abbildung 8: Großansicht: Layout Rückseite.....	33
Abbildung 9: Großansicht: Layout Vorderseite.....	33
Abbildung 10: Großansicht des Schaltplans.....	34
Abbildung 11: Pinbelegung der beiden Außenleisten.....	35

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Chronologischer Vergleich der Schaltungsbestandteile.....	11
Tabelle 2: Pinbelegung P_2.....	18
Tabelle 3: Pinbelegung P_3.....	18
Tabelle 4: Pinbelegung P_4.....	19
Tabelle 5: Pinbelegung P_8.....	19
Tabelle 6: Pinbelegung P_9.....	20
Tabelle 7: Pinbelegung P_10.....	20
Tabelle 8: Pinbelegung J_1.....	21
Tabelle 9: Pinbelegung J_3.....	22
Tabelle 10: Pinbelegung J_5.....	23
Tabelle 11: Pinbelegung J_6.....	23
Tabelle 12: Stückliste der Bauteile für eine voll bestückte Platine (Teil 1).....	36
Tabelle 13: Stückliste der Bauteile für eine voll bestückte Platine (Teil 2).....	37

Verzeichnis des Anhangs

Finale Gerber-Layer (Front, Back).....	33
Schaltplan.....	34
Signalbelegung der Außenleisten.....	35
Bauteil-Stückliste	36
Zitierte GNU FDL.....	38

Verzeichnis der Abkürzungen

LQFP	Low-Profile Quad Flat Package
THT	Through Hole Technology
SMD	Surface Mounted Device
SMT	Surface Mount Technology
LDO	Low Dropout
ESR	Equivalent Series Resistance
NAS	Network Attached Storage
ERC	Electric Rules Check
DRC	Design Rules Check

1 Kurzbeschreibung

Diese Arbeit behandelt den Entwurf einer freien Prototyping-Platine auf Basis eines ST Microelectronics STM32F103 Mikrocontrollers (z.B. STM32F103RET6¹ oder STM32F103RBT6²).

Die genannte Mikrocontroller-Familie basiert auf der ARM Cortex M3 Architektur³ und wurde ausgewählt, da sie im Vergleich zu ihren Vorgängern (ARM 7⁴-basiert) noch energieeffizienter arbeitet. Darüber hinaus bietet ST Microelectronics mit dieser Serie eine sehr gute Kompatibilität über die ganze Produktfamilie von STM32-Controllern hinweg, was eine hohe Flexibilität zulässt. Es ist somit möglich die Platine ohne Änderungen mit anderen Controllern der Serie zu bestücken, solange diese in der LQFP-64 Bauform vorliegen.

Geforderte Eigenschaften der fertigen Platine waren möglichst geringe Materialkosten, alle Bauteile sollten sich von Hand einlöten lassen, und zusätzlich sollte eine möglichst große Freiheit, was den Einsatz des Endprodukts betrifft, gegeben sein. Es sollte eine möglichst kleine sogenannte „Prototyping“-Platine entstehen. Also anders ausgedrückt eine Platine, auf der sich nur ein passender STM32-Controller mit minimaler Grundbeschaltung befindet, und auf der alle verfügbaren Schnittstellen nach außen geführt werden, um somit schnelle Versuchsaufbauten zu ermöglichen. Zusätzlich sollte natürlich noch die Stromversorgung für externe Beschaltungen vorhanden sein.

Neben den ursprünglichen Anforderungen, dem Entwurf des Schaltplans und des Platinenlayouts, findet auch das für den Entwurf genutzte Open-Source Entwurfsprogramm KICAD Erwähnung. Es wird gezeigt, auf welche Details in den einzelnen Entwurfschritten besonders zu achten ist, und welche Hinweise die Arbeit erleichtern und beschleunigen. Für die Umsetzung des Projekts wurde ausschließlich freie Software verwendet. Diese Entscheidung wurde getroffen, da auch diese Arbeit unter einer freien Lizenz bereitgestellt wird. Somit wird prinzipiell kein Nutzer ausgeschlossen.

¹ <http://www.st.com/internet/mcu/product/164485.jsp>

² <http://www.st.com/internet/mcu/product/164487.jsp>

³ <http://www.arm.com/products/processors/cortex-m/cortex-m3.php>

⁴ <http://www.arm.com/products/processors/classic/arm7/index.php>

Die für diesen Entwurf verwendete Software war:

- *Linux Mint 10*
- *KICAD (Build: (2010-03-14)-final)*
- *Gerbv 2.4.0*
- *diverse andere, über die Ubuntu Repositories verfügbare, Tools*

2 Entwurf

Im folgenden Abschnitt wird allgemein auf den Entwurf der Platine eingegangen.

2.1 Anforderungen

Zu Beginn der Arbeit galt es die Anforderungen an das Endprodukt festzulegen.

2.1.1 Flexibilität

2.1.1.1 Feste Bestandteile der Schaltung

Eine der wichtigsten Anforderungen stellt die Flexibilität dar. Hier geht es um den Einsatz zum Aufbau von Prototypen-Schaltungen. Das bedeutet, dass es dem Endanwender möglich sein soll, seine geplante Schaltung schnell und einfach mit Hilfe dieser Platine zu realisieren. Deshalb sollten alle IO-Pins, sowie die Stromversorgung (VDD, GND und zusätzlich 5V) des STM32F103 über Stiftheisten an den Rändern der Platine nach außen geführt werden, um diese in den externen Experimentierschaltungen nutzen zu können. Deshalb sollte die Platine möglichst im 2.54 mm Rastermaß aufgebaut sein, um sie auf sogenannten Experimentierplatinen aufstecken zu können.

Des Weiteren sollte die Stromversorgung des Mikrocontrollers ebenfalls flexibel gelöst werden. Es sollte möglich sein den Controller sowohl über USB direkt zu betreiben, als auch über eine externe 5V DC-Quelle. Für beide Fälle wird ein 5V zu 3.3V Regler benötigt, denn die Eingangsspannung des STM32F103RET6 ist mit 3.3V spezifiziert. Eine dritte Möglichkeit der Versorgung des Mikrocontrollers

über den internen Regler des optionalen CP2102 (siehe nächster Abschnitt) wurde im Laufe der Entwicklung hinzugefügt.

2.1.1.2 Optionale Elemente

Neben diesen festen Anforderungen an die Schaltung wurden auch optionale Bestandteile in die Überlegungen eingeschlossen. Die Lötstellen für diese Bauelemente wären später auf der fertigen Leiterplatte vorhanden, aber es wäre für die korrekte Funktion der restlichen Schaltung nicht nötig diese zu bestücken.

Die Anforderung sah einen 4-poligen Anschluss für die serielle Schnittstelle (VCC, RX, TX und GND) vor, um z.B. kleine Funkmodule oder dergleichen direkt anschließen zu können. In Folge dieser Überlegung wurde festgelegt, die Silabs CP2102⁵ USB to UART Bridge beim Platinenlayout einzuplanen. Daraus ergab sich wiederum die Notwendigkeit der Integration einer zusätzlichen Mini-USB Buchse für den CP2102, sowie eines weiteren 4-poligen seriellen Headers und eines separaten, optionalen Headers für die restlichen Ausgangssignale des CP2102. Da der interne 5V zu 3.3V Regler des CP2102 in der Lage ist, bis zu 100mA zu liefern, ist es somit möglich, auch den STM32F103RET6 damit zu betreiben. Aus diesem Grund wurde auch diese Möglichkeit noch als optionaler Teil des Layouts übernommen.

Somit sollten für die maximale Flexibilität des fertigen Layouts folgende Möglichkeiten der Bestückung bestehen:

- STM32-Controller und extra 5V zu 3.3V Regler für die Stromversorgung des Controllers
- STM32-Controller, 5V zu 3.3V Regler für den STM32, und CP2102 USB to UART Bridge
- STM32-Controller, CP2102 und Benutzung des internen 5V zu 3.3V Reglers des CP2102 für die Versorgung des STM32
- Nur CP2102

⁵ <http://www.silabs.com/products/interface/usbtouart/Pages/usb-to-uart-bridge.aspx>

2.1.2 Lizenz

Was die Flexibilität in den meisten Fällen sehr einschränkt, sind die Nutzungsbedingungen, bzw. die Lizenz, unter welcher die Arbeit veröffentlicht wird. Da dieses Projekt von Anfang an als freies Projekt geplant war, wird es konsequenterweise unter eben einer solchen freien Lizenz veröffentlicht.

Frei im Sinne der GPL⁶:

Text 1: Zitat der berühmten 4 Freiheiten, direkt von der offiziellen FSF-Homepage:

- The freedom to run the program, for any purpose (freedom 0).
- The freedom to study how the program works, and change it to make it do what you wish (freedom 1). Access to the source code is a precondition for this.
- The freedom to redistribute copies so you can help your neighbor (freedom 2).
- The freedom to distribute copies of your modified versions to others (freedom 3). By doing this you can give the whole community a chance to benefit from your changes. Access to the source code is a precondition for this.

Quelle: <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>

Bei dieser Arbeit handelt es sich nicht um ein Programm, sondern um den kompletten Platinenentwurf bzw. die komplette Bachelorarbeit. Von dieser Tatsache abgesehen, ändert sich nichts am Prinzip. Der Entwurf darf für jeden Zweck verwendet werden. Er darf studiert und nach eigenen Vorstellungen verändert werden (alle Entwurfsdaten werden frei zur Verfügung gestellt). Der Entwurf selbst und auch eine abgewandelte Version des ursprünglichen Entwurfs dürfen frei verteilt werden, solange auch alle Daten zur geänderten Version offengelegt werden. Die Arbeit steht also folglich (siehe Copyright Hinweis am Anfang und Kopie der Lizenz im Anhang) unter der GNU Free Documentation License⁷, kurz „FDL“. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um eine Umsetzung der GPL für Dokumente bzw. Dokumentationen. Da diese Arbeit keinen Programmcode enthält und nur eine Dokumentation des Themas darstellt, erschien die FDL als geeignet.

⁶ <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html>

⁷ <http://www.gnu.org/licenses/licenses.html#FDL>

2.1.3 Kosten

Da das Projekt frei für jeden verfügbar, sowie möglichst einfach und schnell für so viele Menschen wie möglich nutzbar sein soll, war eine Anforderung an das Projekt ein möglichst geringer Preis, bei gleichzeitiger Beibehaltung der vollen Funktionalität.

Dies kann zum Einen erreicht werden, indem nur die für die Grundfunktion nötigen Bauteile in den Schaltplan aufgenommen werden. So werden Elemente wie zusätzliche Sicherungen, Überspannungsschutz etc. absichtlich eingespart.

Zum Anderen müssen die im Schaltplan vorhandenen Bauteile sorgfältig ausgewählt werden. Man sollte zum Beispiel, falls möglich, immer gängige Bauteile wählen, von denen viele kompatible Versionen am Markt verfügbar sind. Denn je höher das Angebot, desto geringer der Preis. Auch sollte man die Platine fast überall fertigen können, ohne großartig von der lokalen Verfügbarkeit bestimmter Bauteile abhängig zu sein. Kompatible Teile sollten fast überall zu finden sein.

Nur Grundbauteile wie der eigentliche Mikrocontroller und die USB-to-UART-Bridge sind von der vorherigen Aussage ausgeschlossen. Diese können natürlich nur in gewissem Maße variiert werden, damit die Funktion der Platine weiterhin gewährleistet ist.

2.1.4 Fertigung

Auch in Punkto Fertigung gab es einige Anforderungen.

Die Leiterplatte selbst lässt man im Normalfall bei einem Dienstleister fertigen. Das liegt vor allem an den Durchkontaktierungen, die benötigt werden. Es ist zwar möglich, diese von Hand zu erstellen, allerdings steht der zeitliche Aufwand wohl meist in keinem Verhältnis zur Ersparnis. Deshalb lohnt sich der finanzielle Aufwand für das Beauftragen einer spezialisierten Firma.

Dadurch hat man mit der Platine selbst keine Arbeit, abgesehen von einer Inspektion nach Erhalt. Da sich diese Arbeit an alle Interessierten (vom Hobbybastler bis zum professionellen Entwickler) richten soll, ist es unabdingbar, dass alle Bauteile

so gewählt sind, dass sie ausnahmslos von Hand lötbar sind. SMD-Bauteile sollten folglich eine Größe von 0603⁸ nicht unterschreiten. Diese Größe, als Anhaltspunkt, kann mit etwas Geduld noch gut von Hand gelötet werden. Und was Elemente mit speziellen Bauformen, wie den CP2102 im QFN28 Package, betrifft, so musste ein wenig improvisiert werden. Diese Bauelemente sind eigentlich dafür vorgesehen mit speziellem Werkzeug (z.B. im Lötoven, Heißluft etc.) verlötet zu werden.

Um hier ein Einlöten von Hand zu ermöglichen, musste ein wenig am verwendeten Footprint im Entwurfsprogramm gefeilt werden. So wurden z.B. beim QFN28 Footprint des CP2102 die Löt pads so verändert, dass diese über die Grenzen des Chipgehäuses hinausragen, statt darunter zu verschwinden. Letzteres stellt nämlich genau das Problem für das Einlöten von Hand dar. Es ist zwar nicht einfach, aber auf diese Weise wenigstens möglich das Bauteil ohne spezielles Werkzeug zu verlöten. Ähnlich wurde auch bei den Löt pads des 8MHz-Quartz vorgegangen. Nur sollte man hier grundsätzlich etwas vorsichtiger sein, um die Taktgeberschaltung nicht mit zu hoher Kapazität negativ zu beeinflussen.

⁸ http://de.wikipedia.org/wiki/Surface-mounted_device

2.2 Schaltungsentwurf

2.2.1 Theorie

Die Theorie zum Entwurf kann an folgenden Diagrammen veranschaulicht werden.

2.2.1.1 STM32-Input

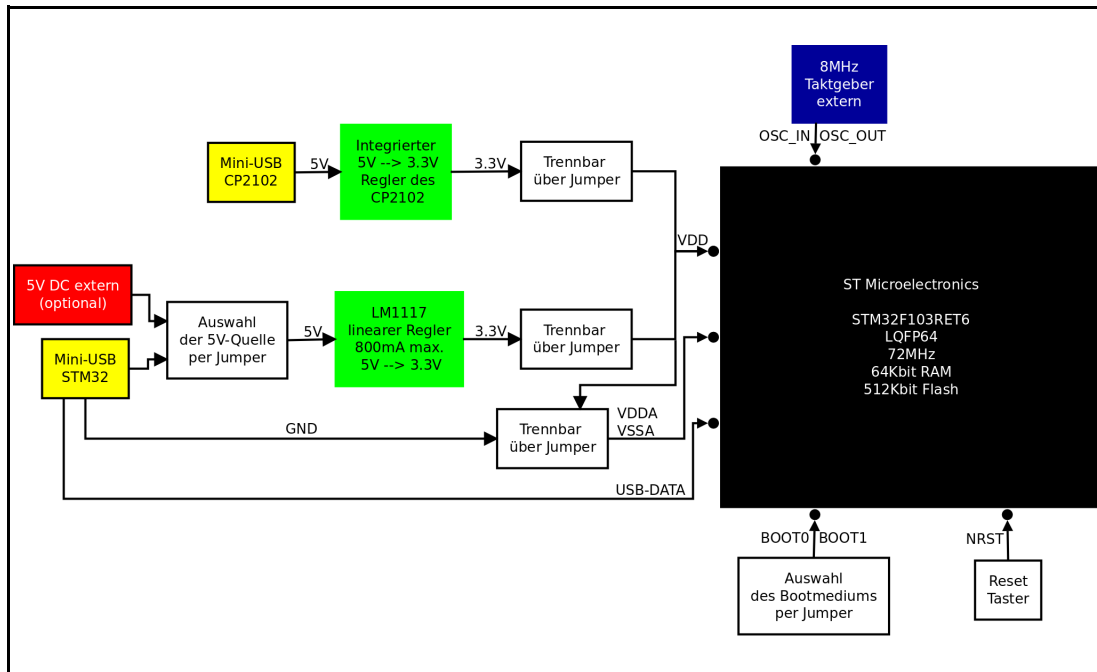


Abbildung 1: Eingangsbeschaltung des STM32

Wie man erkennen kann, ist für die direkte Kommunikation mit dem Mikrocontroller eine Mini-USB-Buchse vorgesehen. Daneben befindet sich die Möglichkeit die bereits erwähnten 5V-DC zur Versorgung des STM32 von außen zuzuführen. Es folgt die Auswahlmöglichkeit für die 5V-DC-Quelle, realisiert über einen Jumperblock.

Je nachdem, wie die Jumper gesetzt sind, werden entweder die 5V des USB-Anschlusses oder die von extern eingespeisten 5V genutzt, um den nachfolgenden 3.3V-Regler zu speisen. Die Verbindung zwischen 3.3V-Regler und STM32 ist wiederum über Jumper realisiert. Dies dient einerseits dazu, direkte Strommessungen durchführen zu können, andererseits ist es dadurch möglich den STM32 über den internen Regler des optionalen CP2102 versorgen zu können. Diese Verbindung ist damit logischerweise auch über Jumper trennbar.

Darunter sieht man noch die eben falls trennbare Verbindung zwischen den Eingängen der analogen Stromversorgung (VDDA und VSSA) und der allgemeinen Stromversorgung (VDD und GND). Hier ist die Verbindung trennbar realisiert, um extra Filter einsetzen zu können, oder gar den Analogteil komplett extra zu versorgen.

Die Datenverbindung zwischen STM32 und der Mini-USB-Buchse ist auch zu sehen. In blau sieht man den externen Taktgeber mit 8MHz, der nötig ist, da ohne dieses Element das USB-Modul des STM32 nicht funktioniert.

Am unteren Ende der Abbildung sieht man schließlich noch den Reset-Taster und die wieder über günstige Jumper umgesetzte Auswahl des Bootmediums.

2.2.1.2 STM32-Output

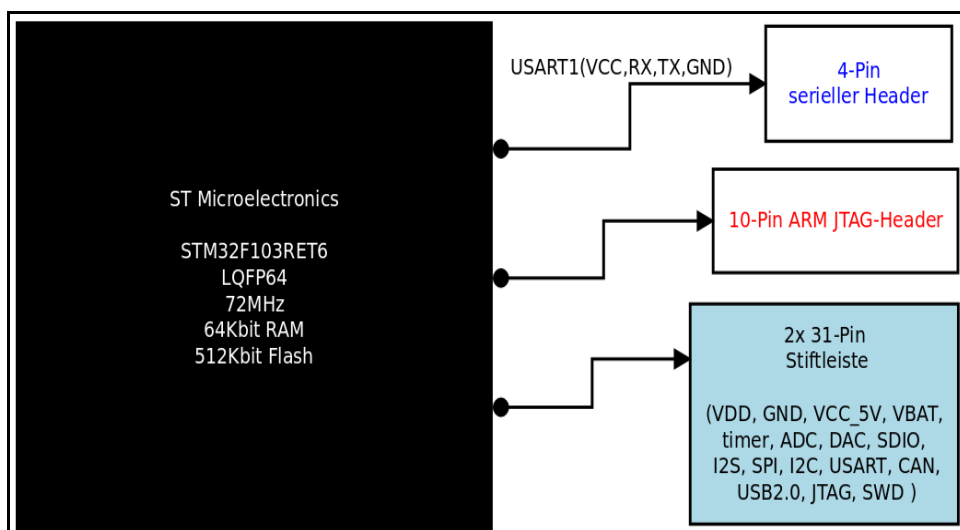


Abbildung 2: Ausgangsbeschaltung des STM32

Die Ausgangsbeschaltung wurde wie der Rest der Schaltung so simpel wie möglich gehalten. Man sieht die bereits im Abschnitt 2.1.1 erwähnte 4-polige Steckerleiste für die serielle Schnittstelle. Als Schnittstelle am STM32 wurde USART1 gewählt, da es sich dabei um die schnellste serielle Verbindung des STM32F103RET6 handelt.

Darüber hinaus wurde noch ein 10-poliger ARM JTAG Header eingeplant.

Die wichtigsten Teile stellen die zwei 31-poligen Stiftleisten dar, mit deren Hilfe die kompletten restlichen IO- sowie Power-Pins nach außen geführt werden. Bis auf

genau drei Pins (OSC_IN, OSC_OUT und BOOT0) werden also wirklich alle Pins direkt auf diese Außenleisten gelegt. Bei den beiden Clock-Pins war dies nicht der Fall, weil sie fest mit dem 8MHz-Quartz verbunden sind und dadurch die zusätzlichen Leiterbahnen die Taktgeberschaltung negativ beeinflussen würden.

Beim BOOT0-Pin handelt es sich nur um einen Input, der schon auf einem Jumperblock zur Wahl des Speicherbereichs für den Systemstart untergebracht ist. Eine weitere Verbindung auf die Außenleiste war somit nicht nötig.

2.2.1.3 CP2102 (optional)

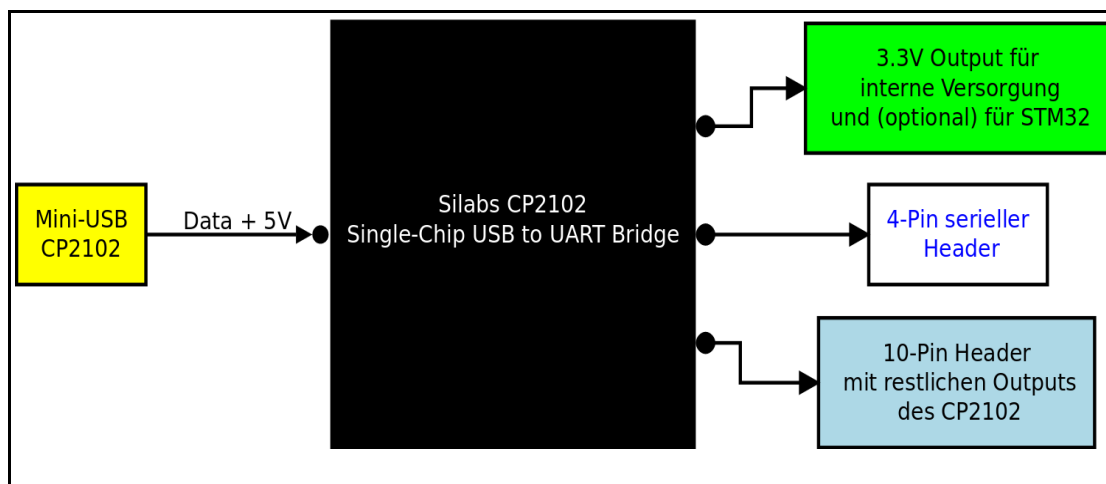


Abbildung 3: Beschaltung des optionalen CP2102

Die USB-to-UART-Bridge CP2102 aus dem Hause Silabs, hat als Eingangsbeschaltung nur eine Verbindung zum USB-Bus. Über diese Verbindung wird nicht nur die Datenübertragung gehandhabt, sondern diese dient dem Baustein auch zur Stromversorgung über die dem USB-Bus zugehörige 5V-Leitung.

Der CP2102 bietet einen internen 5V auf 3.3V-Regler, welcher in diesem Fall die Versorgung des Bausteins selbst mit 3.3V übernimmt und somit einen Ausgang des CP2102 darstellt. Über diesen Ausgang kann, wie schon oben erwähnt, auch der STM32 mit Strom versorgt werden. Davon abgesehen werden VCC, RX, TX und GND, wie schon STM32, auf eine 4-polige Steckerleiste geführt. Die restlichen Ausgangssignale des Chips werden auf einem 10-poligen Header zusammengefasst.

2.2.2 Umsetzung

Zu Beginn sollen zwei Bilder (Gerbv-Exporte) das fertige Platinenlayout veranschaulichen.

Danach wird Schritt für Schritt auf die einzelnen Bestandteile und die damit in Zusammenhang stehenden Entscheidungen zu Platzierung, Bauteilwahl etc. eingegangen.

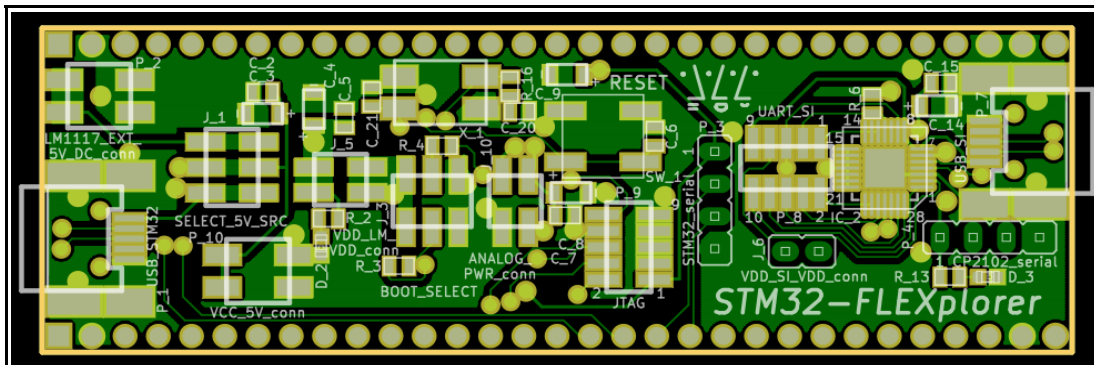


Abbildung 4: Frontansicht des fertigen Platinen-Layouts

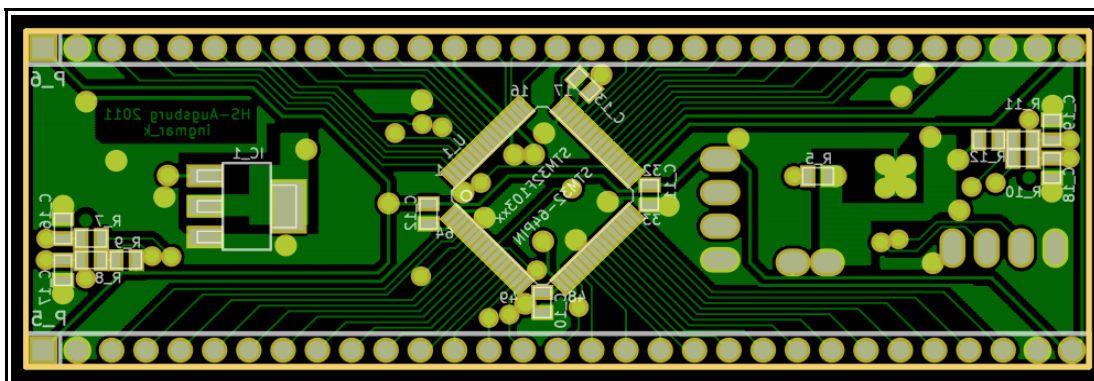


Abbildung 5: Rückansicht des fertigen Platinen-Layouts

Wie man erkennen kann, befindet sich der Großteil der Bauelemente auf der Vorderseite der Platine. Nur der STM32-Controller sowie der LDO-3.3V-Regler und einige kleinere SMD-Bauteile sind auf der Platinenrückseite platziert. Auf der Vorderseite hingegen finden sich alle Anschlussleisten, Kurzschlussbrücken, Taster und auch der Silabs CP2102.

Die beiden 31-poligen äußeren Stiftleisten lassen sich übrigens sowohl auf der Vorder- als auch auf der Rückseite der Platine verlöten, je nachdem, was für den eigenen Anwendungswunsch besser geeignet ist.

2.2.2.1 Schaltplan

Zu Beginn des Projekts waren, im Vergleich zum nun fertigen Schaltplan und Layout, noch einige Dinge ein wenig anders geplant.

Hier ein schneller Überblick über die zeitlichen Veränderungen:

Ursprünglicher Schaltplan	Änderung während der Entwurfsphase	Finale Zusammensetzung
STM32 LQFP64	STM32 LQFP64	STM32 LQFP64
STM32 LQFP48	STM32 LQFP48	---
Mini-USB für STM32-Controller	Mini-USB für STM32-Controller	Mini-USB für STM32-Controller
---	Silabs CP2102	Silabs CP2102
---	Mini-USB für CP2102	Mini-USB für CP2102
4-poliger serieller Header STM32-USART1	4-poliger serieller Header. Per Jumper wählbar, ob mit STM32-USART1 oder CP2102 verbunden	4-poliger serieller Header STM32-USART1
---	---	4-poliger serieller Header CP2102
---	10-poliger Header für restliche CP2102 Ausgänge	10-poliger Header für restliche CP2102 Ausgänge
Spannungsversorgung des STM32 über externen 5V → 3.3V LDO-Regler	Spannungsversorgung des STM32 über externen 5V → 3.3V LDO-Regler	Spannungsversorgung des STM32 über externen 5V → 3.3V LDO-Regler
---	---	Spannungsversorgung des STM32 über internen CP2102 5V → 3.3V Regler
---	---	10-poliger ARM JTAG Header
---	Stromversorgung über Jumperbrücke auftrennbar zur Strommessung	Stromversorgung über Jumperbrücke auftrennbar zur Strommessung
---	Verbindung der analogen Stromversorgung (VDDA, VSSA) trennbar zur Nutzung eigener Quellen und/oder Filter	Verbindung der analogen Stromversorgung (VDDA, VSSA) trennbar zur Nutzung eigener Quellen und/oder Filter
2x 30-polige Stiftleisten außen für STM32-Pins	2x 31-polige Stiftleisten außen für STM32-Pins	2x 31-polige Stiftleisten außen für STM32-Pins
---	---	2x2-polige Stiftleiste mit 5V und GND für Nutzung in externen Schaltungen

Tabelle 1: Chronologischer Vergleich der Schaltungsbestandteile

Ausgangspunkt und zeitliche Entwicklung

Erläuterungen zur Tabelle:

Der CP2102 war ganz zu Anfang noch nicht eingeplant. Stattdessen sollte die Möglichkeit bestehen, auf der Platine sowohl STM32-Controller im LQFP64 als auch LQFP48 Package unterzubringen. Die ersten Schaltplanentwürfe enthielten also noch beide Versionen des STM32, deren übereinstimmende Pins einfach miteinander verbunden waren. Die Grundidee war dadurch eine noch höhere Flexibilität bei der Controller-Auswahl zu erreichen.

Diese an sich gute Idee stellte sich dann aber im späteren Layout-Prozess als nicht praktikabel dar. Das Problem, dass die Umsetzung der Idee verhinderte, war folgendes: Der ursprüngliche Plan sah vor, die Footprints so zu platzieren, dass der LQFP-48 Footprint genau innerhalb des LQFP64-Footprints angeordnet wäre. Alle übereinstimmenden Pins sollten mit kurzen Leiterbahnen direkt vom LQFP48 nach außen auf die LQFP64-Pads verbunden werden. Was allerdings unterschätzt worden war, war der geringe Größenunterschied zwischen den Footprintabmaßen bzw. der zu geringe Abstand zwischen den Pinreihen. Darüber hinaus sind einige übereinstimmende Pins der beiden Footprints deutlich versetzt angeordnet, was eine Direktverdrahtung aufgrund des geringen Platzes unmöglich machte. Da eine Umsetzung der Idee dadurch nur bei deutlicher Vergrößerung der Platine möglich gewesen wäre, was wiederum die Anforderung an die Platinengröße kompromittiert hätte, wurde die Idee schließlich verworfen.

Stattdessen wurde einige Zeit nach Beginn der Arbeit am Schaltplan die Idee der optionalen Platzierung einer UART zu USB-Brücke geboren. Da an sich noch genug Platz auf der geplanten Platine vorhanden war und die Nutzungsvielfalt dadurch nur erhöht werden würde, wurde dieser Vorschlag prompt umgesetzt. So findet sich im finalen Schaltplan also der STM32-Mikrocontroller mit LQFP-64-Footprint, nur einmal, und zusätzlich der CP2102 mit eigenem Mini-USB-Anschluss, der autonom vom Rest der Schaltung agieren kann.

Hinweis:

Eine Abbildung des finalen Schaltplans ist im Anhang unter Punkt 6.2. (Abbildung 10) zu finden.

Ein allgemeiner Überblick über den Schaltplan wurde bereits im Abschnitt „2.2.1 Theorie“ behandelt. Deshalb folgt nun nur noch eine kurze stichpunktartige Zusammenfassung anhand der im Anhang abgebildeten Grafik:

- Mini-USB-Anschluss des STM32 mit Beschaltungen
- externe 5V-Versorgung
- Jumper zur Wahl der 5V-Quelle zwischen USB und extern
- LDO 3.3V Regler mit Eingangsfiler
- Power LED
- Kurzschlussbrücken zur Verbindung von STM32-VDD, entweder zur Ausgangsspannung des LDO-Reglers, oder den 3.3V des CP2102 internen Reglers
- Filter für die STM32-VDD
- Reset-Taster
- Filter für Stromversorgung des Analogteils des STM32 (VDDA, VSSA)
- 4-Pin Stiftleiste (VCC, RX, TX, GND) auf USART1 serielle Schnittstelle des STM32-Control
- Jumperblock für Konfiguration der Boot-Quelle über die beiden zugehörigen Pins Boot0, Boot1
- Jumperblock zum Trennen der direkten Verbindung zwischen VDD und VDDA sowie VSS (GND) und VSSA
- STM32 mit direkter Verbindung sämtlicher I/O-Pins auf zwei 31-polige Stiftleisten
- 10-Pin ARM JTAG Anschlussleisten
- extra Ausgang für 5V und GND zur Nutzung in externen Schaltungen
- 8MHz-Quartz mit nötiger Beschaltung (für USB erforderlich)
- 4-Pin Header (VCC, RX, TX, GND) für serielle Verbindung über CP2102

- Mini-USB-Anschluss des CP2102
- Beschaltung des CP2102 für Nutzung des internen 5V-->3.3V Reglers
- 10-Pin Anschluss mit allen restlichen Ausgangssignalen des CP2102

2.2.2.2 Größe der Platine

Die Größe der Platine war nicht fest geplant. So klein wie möglich war der Wunsch. Alle Output- bzw. IO-Pins des STM32 sollten auf die beiden außen liegenden Stiftleisten verteilt werden können. Des Weiteren war klar, dass diese Leisten ein Rastermaß von 2.54 mm aufweisen sollten, um mit Experimentier-Platinen, Steckbrettern und auch einfachen Lochrasterplatinen kompatibel zu sein.

Nach vorläufiger Fertigstellung des Schaltplans stand fest, dass pro Seite 31 Pins nötig waren, um alle Pins wie gewünscht unterbringen zu können. Daraus ergab sich dann die Platinenlänge von genau $31 \times 2.54 \text{ mm} = 78.74 \text{ mm}$. Die Platinenbreite wurde spontan auf $10 \times 2.54 \text{ mm}$ festgelegt. Durch den Aufbau der Stiftleisten ergibt sich damit ein reiner Pin-Abstand zwischen den beiden Leisten von 22,86 mm (DIL-kompatibel). Diese Grundmaße erwiesen sich als passend um alles unterbringen zu können. Somit wurden die gleich zu Beginn des Layout-Ablaufs festgelegten Platinenmaße bis zum Schluss beibehalten. Die im folgenden beschriebene Bauteilauswahl hängt demzufolge stark von den gewählten Platinenmaßen ab.

2.2.2.3 Bauteilauswahl

Hinweis:

Eine Stückliste ist im Anhang unter Punkt 6.4. zu finden (Tabellen 12 & 13).

Was die Bauteilauswahl betrifft, so rücken hier die bereits erwähnten Punkte Kosten und Fertigung in den Fokus. Die Vorgabe für die Fertigung lautete „alles sollte sich von Hand verlöten lassen“.

Deshalb wurde für die benötigten SMD-Teile eine Mindestgröße von ungefähr 0603⁹ festgelegt, denn diese Größe lässt sich mit etwas Ruhe und Geduld noch gut von Hand verarbeiten. Der nächstkleinere Schritt 0402 weist in dieser Hinsicht schon deutliche Probleme auf.

Des Weiteren sieht man am fertigen Layout, dass soviel wie möglich auf SMD-Teile zurückgegriffen wurde. Dies geschah sogar bei den sonst gewöhnlich in THT-Bauform verwendeten Stiftleisten/Jumperbrücken. Der Grund hierfür liegt, wie im vorherigen Abschnitt bereits angedeutet, in den geringen Platinenabmaßen. Während SMD-Bauteile nur Platz auf einer Seite der Platine in Anspruch nehmen, muss für THT-Teile auf beiden Platinenseiten Platz reserviert werden. Das führte recht schnell zu der Entscheidung, sämtliche Stiftleisten in SMD-Bauform zu nutzen, um den vorhandenen Platinenplatz effektiver ausreizen zu können. Das ist damit begründet, dass die auf der Rückseite verlaufenden Leiterbahnen von den STM32-Pins zu den äußeren Stiftleisten sehr oft mit den THT-Leisten kollidiert wären. Genau dieses Problem konnte durch Verwendung von SMD-Teilen vermieden werden.

Die einzigen Ausnahmen stellen die beiden 4-poligen Stiftleisten für die serielle Verbindung zum STM32 und zum CP2102, sowie die 2-polige Brücke zur Verbindung der vom CP2102 generierten 3.3V-Versorgungsspannung mit den VDD-Pins des STM32 dar. Hier war zum Einen gerade noch genug Platz auf beiden Seiten der Platine vorhanden, um diese auch in THT-Technik relativ problemlos unterzubringen. Zum Anderen ist der Platzbedarf einreihiger SMD-Stiftleisten recht hoch, was die Breite angeht. Gewöhnlich werden nämlich hier die Kontakte zur mechanischen Stabilisierung immer abwechselnd links und rechts angeordnet. Dadurch wird relativ viel Platz benötigt, den man hier mit THT-Teilen besser nutzen konnte.

Als Spannungsregler wurde aus Gründen der Kosten und Verfügbarkeit ein einfacher LDO-Regler mit einer festen Ausgangsspannung von 3.3V gewählt. Das ausgewählte Modell kann bis zu 0.8A liefern und sollte somit für so gut wie alle Versuchsaufbauten ausreichen. Rein von der Leiterbahnstärke betrachtet, sollte man auch Modelle mit höherem Maximalstrom einsetzen können, falls nötig.

⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Surface-mounted_device

Um eine saubere und stabile Versorgungsspannung zu gewährleisten, wurden teurere Tantal-Kondensatoren der Firma AVX mit niedrigerem ESR¹⁰ gewählt.

Diese kosten zwar in diesem Fall ca. das 3-fache des Standardmodells (~0,94 EUR/Stück im Vergleich zu 0,34 EUR/Stück), haben aber im Gegenzug einen ESR, der weniger als ein Zehntel des Standardmodells beträgt (Standard 4 Ohm, gewähltes Modell 0.3 Ohm). Darüber hinaus ist die Temperaturbelastbarkeit mit 125°C angegeben, was wiederum über den standardmäßigen 85°C liegt. Alles in Allem ergibt sich daraus eine verbesserte Filterung der Versorgungsspannung und eine erhöhte Stabilität.

Bei der Auswahl des Taktgebers half die von ST Micro bereitgestellte Application Note 2867¹¹ („Oscillator design guide for ST microcontrollers“). Mit Hilfe dieses Dokuments wurden der passende 8MHz-Quartz, geeignete Werte für die parallel angeordneten Kondensatoren, und der Wert des strombegrenzenden Widerstandes ermittelt. Die Wahl fiel hier auf einen etwas teureren Taktgeber der Firma MEC. Der Quartz weist Kennwerte von 60 Ohm ESR, Lastkapazität von 12pF, Temperaturbereich -40°C bis +85°C, und eine zusätzliche Erdung des Gehäuses auf. Diese Werte, die sich auch bei Betrachtung der Gleichungen aus dem oben erwähnten Dokument von ST Micro positiv bemerkbar machen, sollten den höheren Preis von ca. 0,82 EUR im Vergleich zum günstigsten Modell mit ca. 0,37 EUR rechtfertigen.

Davon abgesehen erfolgte die Auswahl der Bauteile schlicht anhand momentaner Verfügbarkeit und Preis.

¹⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_%28Elektrotechnik%29

¹¹ http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00221665.pdf

2.2.2.4 Platzierung der Bauteile

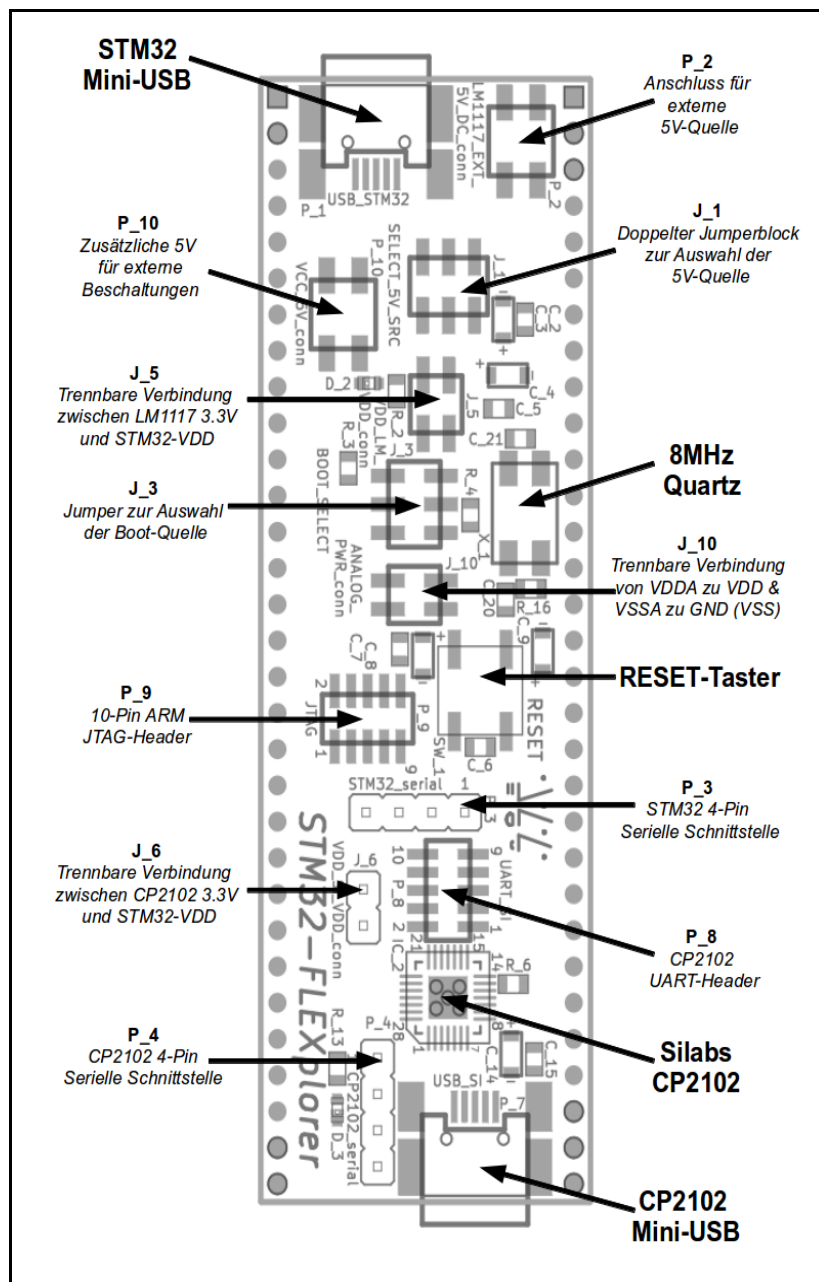


Abbildung 6: Bauteile Platinen-Vorderseite

Auf die Darstellung der Platinenrückseite wird an dieser Stelle verzichtet, denn darauf befinden sich nur zwei wichtige Bauteile. Dabei handelt es sich um den STM32-Controller und den LDO-Spannungsregler. Der Controller wurde mittig, um 45° gedreht, angeordnet, um eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Leiterbahnlängen zu erreichen. Der Regler wurde genau zwischen USB-Anschluss und STM32 platziert (siehe Abbildung 5).

2.2.2.5 Anschlüsse und Konfigurationsmöglichkeiten

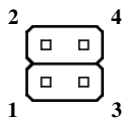
Im Folgenden werden die Einstellungsmöglichkeiten für den Betrieb der Platine und die Pinbelegungen der verschiedenen Anschlussleisten beleuchtet.

Hinweis: Alle nachfolgend dargestellten Ansichten beziehen sich auf die in Abbildung 7 dargestellte Orientierung der Platine.

Header / Anschlussleisten:

P_2 (Anschluss für externe 5V-Quelle)

An diesen Anschluss kann man eine externe 5V-DC Quelle und Erdung anschließen, um die Platine mit Hilfe dieser Quelle mit Strom zu versorgen. Über Jumper „J_1“ wird die verwendete Quelle mit dem Spannungsregler verbunden.



Pin No.	Definition
1	GND
2	5V (extern)
3	GND
4	5V (extern)

Tabelle 2: Pinbelegung P_2

P_3 (STM32 4-Pin Serielle Schnittstelle)

Dieser Header ist für die schnelle Verbindung zur seriellen Schnittstelle (USART1) des STM32-Mikrocontrollers gedacht.

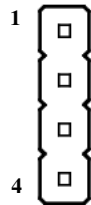


Pin No.	Definition
1	VDD (STM32 3.3V)
2	RX
3	TX
4	GND

Tabelle 3: Pinbelegung P_3

P_4 (CP2102 4-Pin Serielle Schnittstelle)

Diese Pinleiste erfüllt den gleichen Zweck wie P_3, nur dass sie mit dem CP2102 verbunden ist.

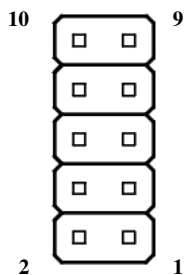


Pin No.	Definition
1	VDD (Silabs 3.3V)
2	RX
3	TX
4	GND

Tabelle 4: Pinbelegung P_4

P_8 (CP2102 UART-Header)

Die Stiftleiste P_8 stellt alle Ausgangssignale des CP2102 bereit (ohne die 4 auf P_4 befindlichen).



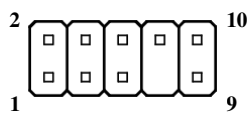
Pin No.	Definition
1	SUSPEND
2	CTS
3	\SUSPEND
4	RTS
5	\RST
6	DSR
7	RI
8	DTR
9	5V (USB_SI)
10	DCD

Tabelle 5: Pinbelegung P_8

P_9 (10-Pin ARM JTAG-Header)

Diese Kontaktleiste bietet die Verbindung zur Controller-internen Debug-Schnittstelle, JTAG. Damit kann z.B. der integrierte Speicher direkt beschrieben werden.

Somit ist es z.B. möglich, nicht mehr startfähige Systeme (wegen falscher oder fehlender Informationen im Speicher) wieder booten zu lassen.



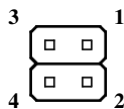
Pin No.	Definition
1	VDD
2	JTMS
3	GND
4	JTCK
5	GND
6	JTDO
7	KEY (=GND)
8	JTDI
9	GND
10	JNTRST

Tabelle 6: Pinbelegung P_9

P_10 (Zusätzliche 5V für externe Beschaltungen)

Dieser Anschluss ist für das Abgreifen der 5V-Versorgung für externe Beschaltungen gedacht. Sie sind nur verfügbar, wenn der STM32 entweder über seine eigene Mini-USB-Buchse mit Strom versorgt wird, oder die Schaltung über **P_2** versorgt wird.

ACHTUNG: Bei Versorgung des STM32 mit Strom über den internen 3.3V-Regler des CP2102 stehen die 5V auf diesem Anschluss nicht zur Verfügung!



Pin No.	Definition
1	5V (VCC)
2	GND
3	5V (VCC)
4	GND

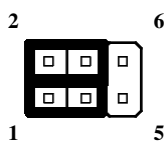
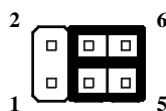
Tabelle 7: Pinbelegung P_10

Jumper / Kurzschlussbrücken:**J_1 (Doppelter Jumperblock zur Auswahl der 5V-Quelle)**

Mit diesem Jumperblock wird gewählt, über welche 5V-Quelle der STM32-Controller mit Strom versorgt werden soll. Die Verbindung ist doppelt ausgeführt, um eine problemlose Stromversorgung auch bei maximaler Belastung und im Falle eines schlechten Übergangswiderstandes eines der beiden Jumper zu gewährleisten.

Die Kontakte Nummer 3 und 4 stellen die Verbindung zum Spannungsregler dar. Dadurch ergeben sich 2 Möglichkeiten:

- **Versorgung über USB:**
Verbindung zwischen Pin Nummer 1 mit 3 und Nummer 2 mit 4.
- **Versorgung über eine externe 5V-Quelle:**
Verbindung zwischen Pin Nummer 3 mit 5 und Nummer 4 mit 6.

USB:**5V-Extern:**

Pin No.	Definition
1	5V (USB)
2	5V (USB)
3	5V (VCC)
4	5V (VCC)
5	5V (extern)
6	5V (extern)

Tabelle 8: Pinbelegung J_1

J_3 (Jumper zur Auswahl der Boot-Quelle)

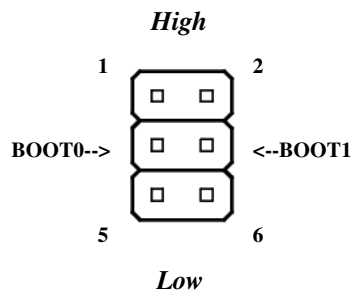
Über diese Steckbrücken wird gewählt, von welchem Speicherbereich gebootet werden soll. Es gibt 3 Möglichkeiten:

- **Main Flash memory:** Der interne Flash-Speicher
- **System memory:** Der Systemspeicher (Boot-ROM), in dem sich der Embedded Bootloader^{12 13} befindet, welcher von ST während der Produktion programmiert wird

¹² <http://www.st.com/stonline/books/pdf/docs/13801.pdf>

¹³ <http://www.st.com/stonline/products/literature/an/17066.pdf>

- **Embedded SRAM:** Der interne SRAM (beim Starten aus dem SRAM sind einige Hinweis zu beachten; mehr dazu im Datenblatt des Controllers)



Pin No.	Definition
1	VDD
2	VDD
3	BOOT0
4	BOOT1
5	GND
6	GND

Tabelle 9: Pinbelegung J_3

Tabelle zur Einstellung des Bootverhaltens (VDD=1, GND=0, x=don't care):

BOOT mode selection pins		Boot mode	Aliasing
BOOT1	BOOT0		
x	0	Main Flash memory	Main Flash memory is selected as boot space
0	1	System memory	System memory is selected as boot space
1	1	Embedded SRAM	Embedded SRAM is selected as boot space

Abbildung 7: Tabelle Boot-Modi

Quelle: ST Micro Dokument AN2586¹⁴ „STM32F10xxx hardware development: getting started“, Seite 15, Table 1

J_5 (Trennbare Verbindung zwischen LM1117 3.3V und STM32-VDD)

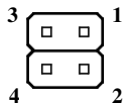
Verbindet man Pin Nummer 1 mit 2 und Pin Nummer 3 mit 4, so wird der STM32-Controller über den externen 3.3V-Regler mit Strom versorgt.

Wichtiger Hinweis:

Wählt man den zusätzlichen LDO-3.3V-Regler zur Stromversorgung, wie oben beschrieben, so sollte auf jeden Fall sichergestellt werden, dass die Kurzschlussbrücke

J_6 offen ist. Andernfalls könnte die Schaltung Schaden nehmen.

¹⁴ http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00164185.pdf



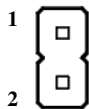
Pin No.	Definition
1	3.3V (LM)
2	VDD
3	3.3V (LM)
4	VDD

Tabelle 10: Pinbelegung J_5

J_6 (Trennbare Verbindung zwischen CP2102 3.3V und STM32-VDD)

Diese Kurzschlussbrücke stellt die Alternative zu J_5 dar. Sollte man den Mikrocontroller NICHT über den eigenständigen 5V → 3.3V LDO-Regler betreiben, sondern stattdessen den internen 3.3V-Regler des CP2102 nutzen wollen, so muss man hierzu nur die Brücke schließen.

Für die Nutzung dieser Option muss selbstverständlich der Silabs CP2102 verbaut und die Verbindungen auf J_5 müssen unbedingt **getrennt** sein.



Pin No.	Definition
1	VDD (STM32)
2	3.3V (Silabs CP2102)

Tabelle 11: Pinbelegung J_6

2.2.2.6 Genaue Belegung der äußeren Stiftleisten

Hinweis:

Unter Punkt 6.3. des Anhang ist eine Abbildung der genauen Signalbelegung der beiden 31-poligen Außenleisten der Platine zu finden (Abbildung 11).

Die als Abbildung 11 im Anhang hinterlegte Grafik soll der schnellen Übersicht dienen. Weitere Details zur Pinbelegung des einzelnen Controllers sind jeweils im zugehörigen Datenblatt zu finden. Die aufgeführte Pinbelegung bezieht sich speziell

auf den STM32F103RE, sollte allerdings aufgrund der von ST Microelectronics angepriesenen Kompatibilität innerhalb der Controller-Familie größtenteils auch für andere Modelle der STM32-Controller-Reihe im LQFP-64 Package gelten.

3 KICAD

Im folgenden Abschnitt wird auf das zum Entwurf genutzte Open-Source Programm KICAD eingegangen. Genutzt wurde „Build: (2010-03-14)-final“, direkt aus den Ubuntu Repositories unter Linux Mint 10.

Da während des gesamten Entwurfszeitraums keine größeren Probleme auftraten, wurde durchgängig diese Version genutzt. Da es online viele gute Anleitungen zur Nutzung von KICAD gibt (einige Links zum Thema befinden sich im Literaturverzeichnis), wird hier der normale Entwurfsablauf nur stichpunktartig erwähnt. Dazu wird noch der ein oder andere grundsätzliche Hinweis aufgeführt, durch den die Arbeit mit KICAD durchaus beschleunigt werden kann.

3.1 EESchema

Der Schaltplan wird im EESchema-Editor erstellt. Das heißt, man wählt aus vorhandenen Bauteilen (über Bibliotheken eingebunden) aus und verbindet diese den Vorgaben entsprechend. Da die Gemeinde der von KICAD angetanen Nutzer inzwischen recht beachtlich ist, sind entsprechend auch Daten zu einer Vielzahl von Bauteilen online frei verfügbar, in Form von sogenannte Bibliotheken. Trotzdem ist es oft der Fall, dass man nicht alle gewünschten Bauteile findet. An dieser Stelle kommt der integrierte Library Editor zum Bearbeiten von vorhandenen oder zum Erstellen neuer Bauteile und Bibliotheken ins Spiel. Hier lassen sich fast selbsterklärend neue Schaltsymbole kreieren, oder bestehende anpassen.

Ist der Schaltplan fertig, erstellt man im nächsten Schritt eine Netlist, die für die Verwendung im CVpcb benötigt wird.

3.1.1 Tipps zu EESchema

Während der Umsetzung des Projektes wurden einige Punkte zusammengetragen, die den Umgang mit dem Programm eventuell erleichtern, bzw. das Arbeiten beschleunigen können:

- *Als erstes sollte man online nach vorhandenen Modulen/Bibliotheken suchen, da sehr viele verfügbar sind.*
- *Alle Bauelemente sollten blockweise nach Funktion gruppiert werden.*
- *Der Plan wird viel übersichtlicher, wenn man nur nahe zusammen liegende Elemente direkt verdrahtet. Für alle anderen Teile sollte man mit Netnames arbeiten.*
- *Es sollte(n) unbedingt Beschreibungstext(e) in den Schaltplan eingefügt werden. Dadurch wird der Plan viel schneller verständlich und der Aufwand hält sich in Grenzen.*
- *Wird man nicht fündig, was das gewünschte Bauteil angeht, sollte man nicht den Aufwand scheuen, die nötigen Daten selbst mit Hilfe des Editors zu erstellen. Nach einigen Versuchen geht das Erstellen eigener Symbole und Bibliotheken schnell von der Hand.*
- *Konsistenz zwischen Pin-Benennung und -Belegung der Bauteile in Bibliotheken (*.lib) und den später gewählten Footprints (Modul *.mod) ist besonders zu beachten. Das ist deshalb sehr wichtig, da Footprint und Schaltsymbol nicht aus der selben Quelle stammen müssen!*
- *Ein ebenfalls wichtiger Aspekt beim Erstellen neuer Symbole ist die Auswahl der Pin-Art, bzw. des Pin-Typs. Zum Beispiel erwartet der ERC (Electric Rules Check) in KICAD bei Power-Inputs auch, dass diese getrieben werden. Durch eine falsche Auswahl an dieser Stelle kann zu späterer Zeit ein erheblicher Ausbesserungsaufwand entstehen.*
- *Beschwert sich der ERC über nicht getriebene Powereingänge, ist der Grund oft eine Stromversorgung von außen oder vergleichbares. Dagegen helfen die sogenannten „Power-Flags“.*
- *Man sollte beim späteren Platinenlayout besondere Vorsicht beim Ausfüllen der Beschreibungsfelder walten lassen. Zum Beispiel taucht eine Angabe im Feld "Value"*

ziemlich sicher im Silkscreen-Layer der Platine auf. War der Text an dieser Stelle nicht vorgesehen, heißt das nachbessern.

3.2 CVpcb

Das Tool CVpcb wird nach der Erstellung des Schaltplans gestartet und die dort erstellte Netlist wird geöffnet. Der Zweck dieses Teilprogramms ist die Zuweisung der für das Platinenlayout nötigen Footprints zu den einzelnen im Schaltplan vorhandenen Bauteilen. Sofern nicht schon im Schaltplan die entsprechenden Footprint-Daten angegeben wurden, weist man also jedem Bauteil den gewünschten Footprint zu und speichert am Ende die Netlist wieder.

3.2.1 Tipp zu CVpcb

Den gewählten Footprint kann man sich in einem extra Fenster anzeigen lassen, sofern man nicht ganz sicher ist, ob es sich um den Passenden handelt.

3.3 PCBnew

Der letzte Entwurfsschritt ist die eigentliche Erstellung des Platinenlayouts, anhand der zuvor erstellten Daten. Das Vorgehen ist folgendes:

- Die Platinenabmaße (PCB-Edges) müssen erstellt werden.
- Danach muss die Netlist geladen werden, wodurch automatisch die nötigen, angegebenen Module eingefügt werden.
- Die benötigten Maße (Leiterbahnbreite, Abstände, Maße der Vias etc.) müssen gewählt werden.
- Anschließend platziert man die Module, wie gewünscht.
- Falls nötig, erstellt man eigene, neue Footprints über den integrierten Editor.
- Die Verbindungen zwischen den Bauteilen werden danach mit Leiterbahnen realisiert.
- Anschließend kann man eventuell noch Lands/Zones und Cutout Zones einfügen.
- Abschließend prüft man nochmals alle Layer und bessert gegebenenfalls nach.

3.3.1 Tipps zu PCBnew

- *Die wichtigsten Bauteile sollten zuerst platziert und grundverdrahtet werden.*
- *Danach werden hierarchisch immer wieder Bauteile ins Layout eingefügt.*
- *Vias sollte man nur nutzen, falls es nicht anders geht. Sie benötigen viel Platz aufgrund der großen Keepout-Zone und sind auch signaltechnisch nicht immer optimal. Man sollte deshalb immer versuchen auf einer Platinenseite zu bleiben, wenn es geht.*
- *Das Rasternetz (Grid) muss immer passend zur Aufgabe gewählt werden. Zum Beispiel sollte man es beim Platzieren von RM2.54 Stiftleisten auf 2.54 mm setzen. Für das Verlegen von Leiterbahnen sollte man das Rasternetz wiederum so klein wie möglich wählen, um möglichst flexibel arbeiten zu können. Das Ergebnis muss am Ende auf jeden Fall mit dem DRC „Design Rule Check“ geprüft werden.*
- *Die bearbeitete Netlist kann immer wieder neu eingelesen werden. Änderungen werden jedesmal automatisch übernommen. Das heißt, nach nochmaligem Einlesen der neuen Netlist sind Änderungen im Schematic schnell übernommen.*
- *Sehr wichtig sind die Bedienflächen "Layer" und "Render", gerade bei Multilayer-Platinen! Damit kann die Übersicht über freie Flächen auf dem aktuellen Layer extrem erhöht werden. Sucht man Möglichkeiten für die Verlegung einer Leiterbahn, so kann das Ausblenden unnötiger Informationen gegebenenfalls neue Möglichkeiten eröffnen, die sonst übersehen worden wären.*
- *Bei Erstellung eigener Footprints sollte man folgende Stichpunkte beachten:*
 - *Genau an Spezifikation der Hersteller (Datenblätter) halten*
 - *Abweichen von Spezifikationen nur in Ausnahmefällen (z.B. Padverlängerung, um den CP2102 von Hand verlöten zu können)*
 - *Sichtbarkeit von Texten gleich beim Erstellen der Footprints wählen, denn das erspart später eventuell viel Arbeit*

4 Bestückungsvarianten / Anwendungsbeispiele

Wie bereits in Sektion 2.1.1.2 angedeutet, wurde die Platine so entworfen, dass sie in verschiedenen Konfigurationen genutzt werden kann. In diesem Abschnitt wird auf die unterschiedlichen Möglichkeiten der Bestückung und Konfiguration anhand einiger Beispiele eingegangen.

4.1 STM32 + LDO-Regler

Bei Nutzung der Platine in dieser Konfiguration müssen folgende Teile NICHT bestückt werden:

- P_7: Mini-USB-Anschluss CP2102
- P_4: Serielle Schnittstelle CP2102
- IC_2: Silabs CP2102
- P_8: Ausgänge des CP2102
- J_6: Verbindung 3.3V des CP2102 mit VDD des STM32
- R_5, R_6, R_10, R_11, R_12, R_13
- D_3
- C_14, C_15, C_18, C_19

Nötige Konfiguration:

Die 5V-Quelle muss über **J_1** gewählt werden. Hier steht die externe Stromversorgung über **P_2** oder die Versorgung über den **Mini-USB-Anschluss (P_1)** zur Verfügung.

Anwendungsbeispiele:

In dieser Zusammenstellung kann der STM32 voll genutzt werden. Besonders zu beachten ist der maximale Ausgangsstrom des 3.3V Reglers von 800mA, der inklusive aller Beschaltungen nicht überschritten werden darf!

Dadurch hat man die Möglichkeit alle bereitgestellten Schnittstellen durch Außenbeschaltungen voll auszunutzen.

Beispiele wären:

- Programmierung von Flash-EEPROMs über die SPI-Schnittstelle
- Auslesen von Sensorwerten über die I2C-Schnittstelle
- Einlesen von analogen Sensorwerten über den Analog-Digital-Wandler
- Aufbauen der nötigen Beschaltung (z.B. Batterie an Vbat und 32KHz Quartz an die entsprechenden Takteingänge) für die Nutzung der RTC zur zuverlässigen Ausführung chronologischer Aufgaben

- Kommunikation mit anderen ICs über die serielle Schnittstelle
- Anschluss zur Programmierung an einen beliebigen PC per USB

4.2 STM32 + LDO Regler + CP2102

Alle Teile werden im Grunde benötigt. Nur einige Stiftleisten können je nach Nutzungswunsch eingespart werden.

Nötige Konfiguration:

Wahl der 3.3V-Quelle nötig, das heißt entweder **J_5 geschlossen** und **J_3 offen** →

Versorgung über den LDO-Regler (max. 800mA).

Oder **J_5 offen** und **J_3 geschlossen** → **Versorgung über den internen Regler des CP2102** (max. 100mA).

Falls man sich für die Versorgung durch den LDO-Regler entscheidet, muss die 5V-Quelle über **J_1** gewählt werden. Hier steht die externe Stromversorgung über **P_2** oder die Versorgung über den **Mini-USB-Anschluss (P_1)** zur Verfügung.

Anwendungsbeispiele:

Im Vergleich zu 4.1. besteht durch den zusätzlichen CP2102 noch die Möglichkeit, direkt (gekreuzt) die RX und TX Leitungen der beiden 4-poligen Stiftleisten für die jeweilige serielle Schnittstelle zu verbinden (jeweils RX auf TX und umgekehrt) um direkt über den CP2102 bzw. die serielle Verbindung, einige Funktionen des STM32 zu kontrollieren. So könnte man sich zum Beispiel vorstellen, über den per USB an einem beliebigen Rechner verbundenen CP2102-Teil der Schaltung den STM32 zu resetten, indem man einen der Pins des Headers **P_8** mit dem NRST-Pin des STM32 verbindet.

Das stellt allerdings nur ein Beispiel für die vielen weiteren Verwendungsmöglichkeiten dar.

4.3 STM32 + CP2102

Folgende Teile müssen in dieser Zusammenstellung nicht bestückt werden:

- P_2: Anschluss für externe 5V-Versorgung
- P_10: Extra 5V-Versorgung für Außenbeschaltungen der Platine (in dieser Konfiguration nicht vorhanden)
- J_1: Jumperblock zur Auswahl der 5V-Quelle
- J_5: Verbindung zwischen der 3.3V-Ausgangsspannung des LDO-Reglers und den STM32-VDD-Pins
- IC_1: LDO-3.3V-Regler

Nötige Konfiguration:

Jumper J_6 muss geschlossen sein!

Anwendungsbeispiele:

Hier bieten sich die gleichen Möglichkeiten wie in Abschnitt 4.2. nur ist der Ausgangsstrom durch Nutzung des CP2102-Reglers auf insgesamt 100mA begrenzt.

4.4 Nur CP2102

In diesem Fall wird die Aufzählung, im Vergleich zu den vorangegangenen Punkten, umgedreht und nur diejenigen Teile werden angeführt, die bestückt werden müssen.

In diesem Fall müssen nur die folgenden Teile bestückt werden:

- P_7: Mini-USB-Anschluss CP2102
- P_4: 4-polige serielle Schnittstelle CP2102
- IC_2: Silabs CP2102
- P_8: Ausgänge des CP2102
- R_5, R_6, R_10, R_11, R_12, R_13
- D_3
- C_14, C_15, C_18, C_19

Nötige Konfiguration:

Es sind keine speziellen Einstellungen nötig!

Anwendungsbeispiel:

Eine Anwendungsmöglichkeit stellt die klassische Nutzung der Umsetzung von USB zu seriell dar, z.B. für die Überwachung von Systemen, die keine Schnittstellen zu Anzeigeräten jedweder Art haben. Diese Geräte sind dafür über die serielle Schnittstelle ansprechbar.

Ein Beispiel für diesen Einsatzzweck wären z.B. kleine NAS-Systeme. Diese Geräte ermöglichen Kontrolle, Überwachung des Bootvorgangs und eventuell nötiges Debugging bei Problemen über die serielle Schnittstelle. Sind die Geräte im Netzwerk aufgrund irgendwelcher Probleme nicht mehr erreichbar, verschafft eine Verbindung über die serielle Schnittstelle oft Klarheit. Da heute nur noch wenige PCs native Anschlussmöglichkeiten für die serielle Schnittstelle bieten, sind USB-to-UART Bridges wie der CP2102 für diese Zwecke ideal geeignet. Aber auch hierbei handelt es sich nur um ein Beispiel unter vielen.

5 Fazit

Wie bei Prototypen fast unvermeidbar, sind die finalen Kosten für das Projekt doch höher ausgefallen als erhofft. Zu bedenken ist allerdings, dass sich die Platine höchstwahrscheinlich in großen Stückzahlen durchaus für den ursprünglich anvisierten Preis von ca. 20,-EUR herstellen ließe.

Somit kann wohl trotzdem davon gesprochen werden, das Ziel eines möglichst niedrigen Preises erreicht zu haben. Das weitere Ziel der möglichst kleinen Platinengröße kann angesichts der geringen Platinenmaße von knapp 8 cm x 2.5 cm wohl ebenfalls als erfüllt angesehen werden.

Was leider zum Zeitpunkt der Abgabe dieser Arbeit noch nicht getestet werden konnte, ist die problemlose Funktion der Platine, sowie die damit verbundene Erfüllung der geforderten Flexibilität. Der Grund hierfür liegt einfach in der Fertigungsdauer, unvermeidbaren Wartezeiten bei Anfragen und schlichtweg relativ späten Änderungen im Layout-Prozess der Platine. Eventuell ist es noch möglich bis zum Abgabetermin eine der Platinen zu bestücken und somit die Lötbarkeit von Hand nachzuweisen. Alles Weitere wird wohl erst nach Abgabe der Arbeit verifiziert werden können.

Zum genutzten Entwurfsprogramm KICAD kann angemerkt werden, dass es über die gesamte Nutzungsdauer von gut 3 Monaten völlig stabil und problemlos arbeitete. Auch ging die Nutzung des Programms, nach einer gewissen Einarbeitungszeit, gut und recht intuitiv von der Hand. Nicht zuletzt aufgrund der großen Nutzergemeinde und dem großen Umfang frei verfügbarer Bauteildaten kann KICAD für vergleichbare Projekte jederzeit empfohlen werden.

Bei eventuellen auftretenden Problemen, bei Platine oder Grundlayout, kann man sich gegebenenfalls natürlich direkt an den Autor wenden.

6 Anhang

Finale Gerber-Layer (Front, Back)

6.1 Gerber-Layer (Front, Back)

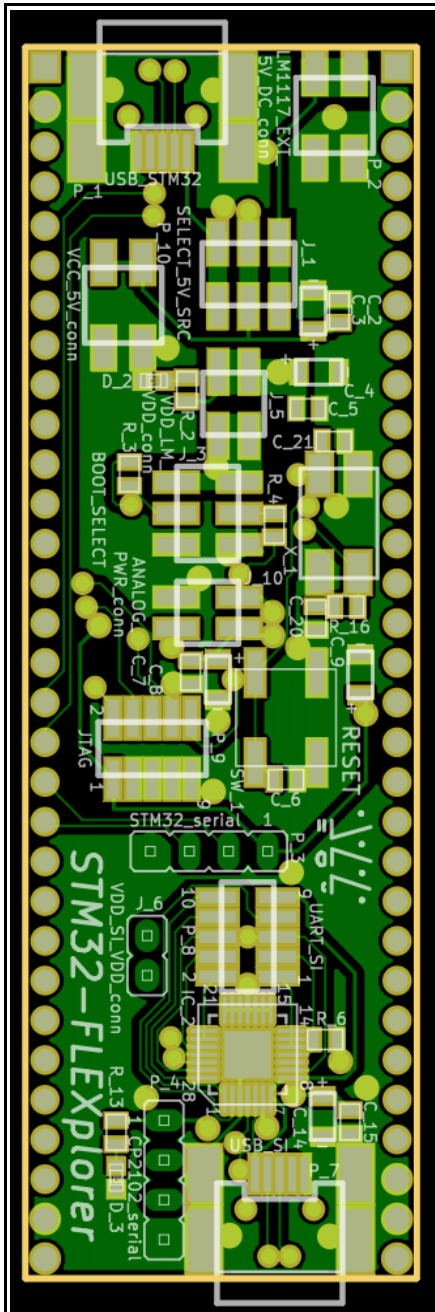


Abbildung 9: Großansicht: Layout Vorderseite

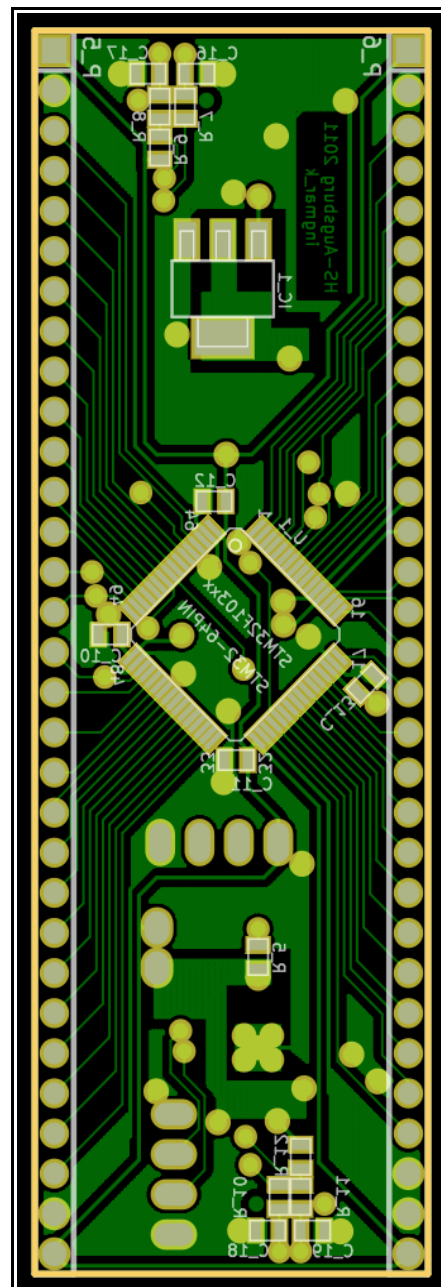


Abbildung 8: Großansicht: Layout Rückseite

Schaltplan

6.2 Finaler KICAD Schaltplan

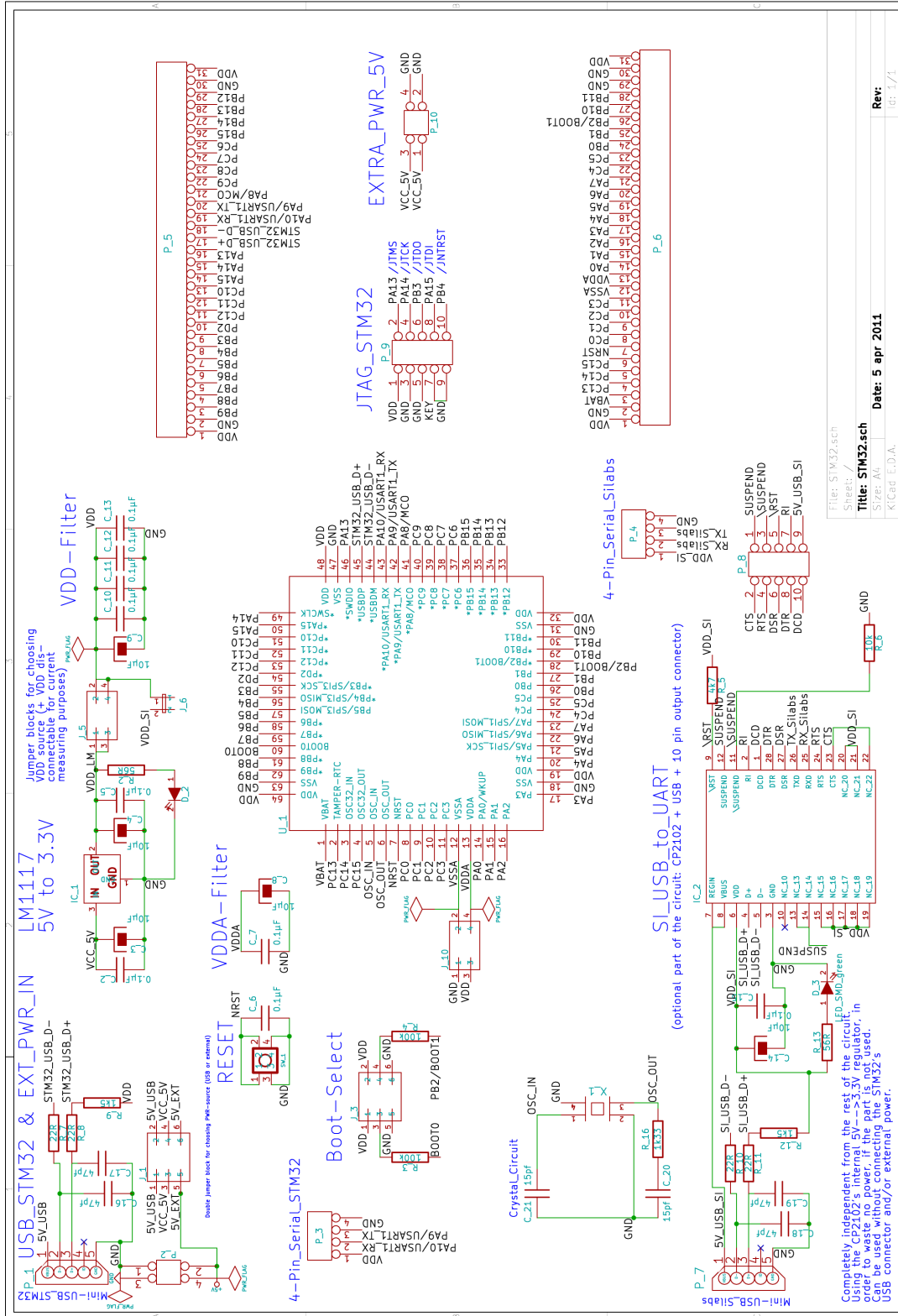


Abbildung 10: Großansicht des Schaltplans

Signalbelegung der Außenleisten

6.3 Signalbelegung der Außenleisten

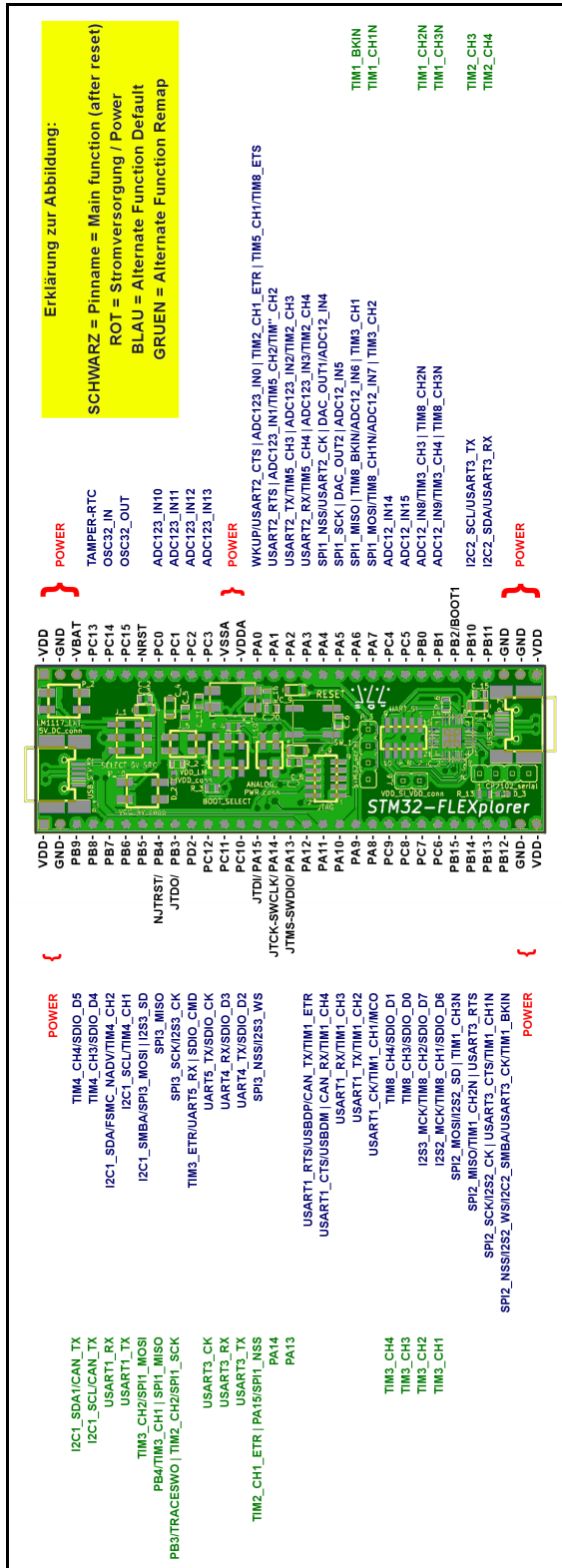


Abbildung 11: Pinbelegung der beiden Außenleisten

Bauteil-Stückliste**6.4 Bauteil-Stückliste**

Anzahl	Bauteil	Beispiel
1	STM32-Mikrocontroller	ST Microelectronics STM32F103RET6
1	Silabs USB-to-UART-Bridge	Silabs CP2102-GM
1	LDO-3.3V-Regler	Texas Instruments TLV1117-33CDCY
1	8MHz-Quartz SMD	MEC MQ-8.000-12-30/30/4085
1	RESET-Taster SMD	Omron B3SL1002P
2	Mini-USB B SMD	Molex 67503-1020
2	LED Grün 0603 SMD	Rohm SML-510MWT86N
9	Keramik-Kondensator SMD 0603 0.1 μ F	AVX 0603YC104JAT2A
5	Tantal Kondensator SMD 10 μ F	AVX TCJA106M006R0300
2	Keramik-Kondensator 0603 SMD 15pF	KEMET C0603C150J5GACTU
4	Keramik-Kondensator 0603 SMD 47pF	KEMET C0603C470J5GACTU
2	Widerstand 0603 SMD 100K	Vishay CRCW0603100KFKEA
1	Widerstand 0603 SMD 10K	Vishay CRCW060310K0FKEA
1	Widerstand 0603 SMD 4,7K	Vishay CRCW06034K70FKEA
2	Widerstand 0603 SMD 1,5K	Vishay CRCW06031K50FKEA

Tabelle 12: Stückliste der Bauteile für eine voll bestückte Platine (Teil 1)

1	Widerstand 0603 SMD 1,33K	Vishay CRCW06031K33FKEA
2	Widerstand 0603 SMD 56R	Vishay CRCW060356R0FKEA
4	Widerstand 0603 SMD 22R	Vishay CRCW060322R0FKEA
2	Stiftleiste RM2.54 einreihig, 31-polig (31x1)	HARWiN M20-9773646
2	Stiftleiste RM2.54 einreihig, 4-polig (4x1)	Durch Verschnitt der Harwin-Leisten gelöst (s.o.)
2	Stiftleiste RM2.54 SMD zweireihig, 4-polig (2x2)	FCi 95278-101-04LF
1	Stiftleiste RM2.54 einreihig, 2-polig (2x1)	HARWiN M20-9990245
2	Stiftleiste RM2.00 SMD zweireihig, 6-polig (3x2)	FCi 57202-G52-04LF
2	Stiftleiste RM2.00 SMD zweireihig, 4-polig (2x2)	Durch Verschnitt einer FCi-Leiste gelöst (s.o.)
8	Kurzschlussbrücken/Jumper RM2.00	HARWiN M22-1900046
2	Stiftleiste RM1.27 SMD zweireihig, 10-polig (5x2)	HARWiN M50-3600542

Tabelle 13: Stückliste der Bauteile für eine voll bestückte Platine (Teil 2)

Hinweis:

Die Bestückung mancher Stiftleisten wurde, wie in der Tabelle zu sehen, nicht mit direkt passenden Elementen gelöst. Der Grund hierfür war, zum Zeitpunkt der Zusammenstellung der Bauteile ein besserer Preis dieser Lösung.

Zitierte GNU FDL

Version 1.3, 3 November 2008

6.5 GNU Free Documentation License

Copyright © 2000, 2001, 2002, 2007, 2008 Free Software Foundation, Inc.
<<http://fsf.org/>>

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document "free" in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of "copyleft", which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The "Document", below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as "you". You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A "Modified Version" of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A "Secondary Section" is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document's overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The "Invariant Sections" are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The "Cover Texts" are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A "Transparent" copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not "Transparent" is called "Opaque".

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The "Title Page" means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, "Title Page" means the text near the most prominent appearance of the work's title, preceding the beginning of the body of the text.

The "publisher" means any person or entity that distributes copies of the Document to the public.

A section "Entitled XYZ" means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as "Acknowledgements", "Dedications", "Endorsements", or "History".) To "Preserve the Title" of such a section when you modify the Document means that it remains a section "Entitled XYZ" according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document's license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document's license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- I. Preserve the section Entitled "History", Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled "History" in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.
- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the "History" section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled "Acknowledgements" or "Dedications", Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled "Endorsements". Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled "Endorsements" or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version's license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled "Endorsements", provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents, make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled "History" in the various original documents, forming one section Entitled "History"; likewise combine any sections Entitled "Acknowledgements", and any sections Entitled "Dedications". You must delete all sections Entitled "Endorsements".

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an "aggregate" if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation's users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense, or distribute it is void, and will automatically terminate your rights under this License.

However, if you cease all violation of this License, then your license from a particular copyright holder is reinstated (a) provisionally, unless and until the copyright holder explicitly and finally terminates your license, and (b) permanently, if the copyright holder fails to notify you of the violation by some reasonable means prior to 60 days after the cessation.

Moreover, your license from a particular copyright holder is reinstated permanently if the copyright holder notifies you of the violation by some reasonable means, this is the first time you have received notice of violation of this License (for any work) from that copyright holder, and you cure the violation prior to 30 days after your receipt of the notice.

Termination of your rights under this section does not terminate the licenses of parties who have received copies or rights from you under this License. If your rights have been terminated and not permanently reinstated, receipt of a copy of some or all of the same material does not give you any rights to use it.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document specifies that a proxy can decide which future versions of this License can be used, that proxy's public statement of acceptance of a version permanently authorizes you to choose that version for the Document.

11. RELICENSING

"Massive Multiauthor Collaboration Site" (or "MMC Site") means any World Wide Web server that publishes copyrightable works and also provides prominent facilities for anybody to edit those works. A public wiki that anybody can edit is an example of such a server. A "Massive Multiauthor Collaboration" (or "MMC") contained in the site means any set of copyrightable works thus published on the MMC site.

"CC-BY-SA" means the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 license published by Creative Commons Corporation, a not-for-profit corporation with a principal place of business in San Francisco, California, as well as future copyleft versions of that license published by that same organization.

"Incorporate" means to publish or republish a Document, in whole or in part, as part of another Document.

An MMC is "eligible for relicensing" if it is licensed under this License, and if all works that were first published under this License somewhere other than this MMC, and subsequently incorporated in whole or in part into the MMC, (1) had no cover texts or invariant sections, and (2) were thus incorporated prior to November 1, 2008.

The operator of an MMC Site may republish an MMC contained in the site under CC-BY-SA on the same site at any time before August 1, 2009, provided the MMC is eligible for relicensing.

7 Literaturverzeichnis

Quellenangaben

STM32F103RE Datenblatt [Stand 06.01.2011]:

http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00191185.pdf

STM32F103RB Datenblatt [Stand 06.12.2010]:

http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00161566.pdf

Silabs CP2102 Datenblatt [Stand 14.01.2011]:

<http://www.silabs.com/pages/DownloadDoc.aspx?FILEURL=Support%20Documents/TechnicalDocs/cp2102.pdf&src=DocumentationWebPart>

ST Microelectronics „Oscillator design guide for ST microcontrollers“ [Stand 17.01.2011]:

http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00221665.pdf

ST Microelectronics „STM32F10xxx hardware development: getting started“ [Stand 17.01.2011]:

http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/APPLICATION_NOTE/CD00164185.pdf

Offizielle Seite der FSF zur grundlegenden GPL-Lizenz [Stand 22.01.2011]:

<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>

Empfohlener Lesestoff zum Thema

Zusammenfassung zum STM32:

<http://www.mikrocontroller.net/articles/STM32>

Insider's Guide to STM32:

<http://www.emcu.it/InsideCORTEX-1221142709.pdf>

Englische Zusammenfassung zur STM32-Familie:

<http://www.emcu.it/STM32.html>

Wiki-Artikel mit vielen nützlichen Links und Informationen zu KICAD:

<http://en.wikipedia.org/wiki/KiCAD>

Offizielle deutsche KICAD-Kurzanleitung:

http://kicad.sourceforge.net/wiki/DE:Mini_tutorial

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Augsburg, den 20.04.2011

Ingmar Klein