

LumWeb

Universelle Maschinensteuerung mit Webinterface

HTL Paul-Hahn

Informationstechnologie

Diplomarbeit von:

Martin Anzinger

Florian Hahn

Betreut von:

Prof. Mag. Herbert Jachs

Linz, 10. Mai 2010

Version 0.8.2

Kurzfassung

Heutzutage ist die Möglichkeit, große Maschinen (zum Beispiel Heizungen) zusätzlich zu Bedienkonsolen auch einfach über den Webbrowser bedienen zu können, Standard in der Industrie. Auch viele Maschinen der Firma Hainzl sind schon mit einem Webinterface ausgestattet. Realisiert wird dies in Form von einem externen Server (PC), der mit der Maschine verbunden ist. Dadurch ergeben sich aber einige Probleme. Erstens muss die Bedienoberfläche für die Bedienkonsole und für das Webinterface separat entwickelt werden, es werden also zwei Entwickler benötigt. Daraus ergeben sich auch höhere Entwicklungskosten. Zweitens sind die Kosten für einen eherkömmlichen PC um einiges höher als ein Embedded System, bei der Anschaffung, als auch im laufenden Betrieb. Außerdem ist ein Embedded System um einiges robuster als ein herkömmlicher PC, da es in der Regel keine beweglichen Komponenten wie Lüfter oder Festplatten besitzt.

Das Ziel von LumWeb ist, die Vereinfachung der Userinterface-Erstellung für Maschinensteuerungsinterfaces, für Heizungen und andere Maschinen und dadurch die oben genannten Probleme zu beseitigen.

Erreicht wird das Ziel durch das Zusammenspiel von Embedded Webserver und Embedded WebClient auf einem Microcontroller System.

Das User Interface wird als HTML Seite mit SSI Tags definiert. Die Bedienseiten sind auf einem Serversystem gespeichert. Das Serversystem ist zuständig für die Kommunikation mit der Maschine und mit dem Benutzer. Die Seiten werden über HTTP an die Clients verteilt. Auf PC Systemen übernimmt der Browser die Darstellung. Auf uC Systemen übernimmt der WebClient die Darstellung. Dazu wertet er spezielle HTML Kommentare aus, die für die SSI Tags eingefügt werden.

Um eine Bedienseite zu erstellen werden in den HTML Code Bedienelemente in Form von SSI Tags eingebaut, zum Beispiel der Tag NumberInputField für die Eingabe einer Zahl. Zusätzlich muss eine ID angegeben werden, die das Element mit einer Einstellung der Maschine verbindet. Der ComTask wertet diese ID aus und liefert den entsprechenden Wert. Der Webserver fügt beim Auswerten der Tags außerdem spezielle HTML Kommentare ein, die der WebClient zur Darstellung auswertet. Der Client kann nur solche Tags darstellen, für die er Darstellungsmethoden implementiert.

Abstract

The Luminary Webinterface or LumWeb is a simple solution for making universal user interfaces. These user interfaces can be designed for different heatings or other machines that have any wired interface to access the settings. The major point is that the interface information are broadcasted over the HTTP protocol as a web page with special SSI tags. It's also possible that the user interface can be accessed by any web browser. The client on the micro controller board is also a embedded web browser with a graphical touchscreen interface.

This solution is more efficient because only one source for data and design is needed. It's also possible to do the settings from different user interfaces.

The functional principle is realized by an embedded web server. If a request comes to this server, it fetches the correct design file from the microSD card and begins to parse it. This file is mostly HTML code. In this HTML code are also some SSI tags. The server system is able to parse this tags and fetches the current values from the communication task. This communication task knows how to get the data from the machine and sends it back to the web server. The web server adds the HTML code for this tag and a special tag in a HTML comment. So the second tag is ignored by any web browser. Only the embedded web browser on the micro controller Board is able to parse this tags and shows it content on the touchscreen.

All the tags from the tag-library can be added, removed or expanded dynamically only by writing or editing single source-code file on the system.

Ehrenwörtliche Erklärung

Die Diplomarbeit „LumWeb“ wurde selbstständig erstellt. Alle verwendeten Quellen beziehungsweise Hilfsmittel sind in der Dokumentation vermerkt, und es wurden keine unerlaubten Hilfsmittel verwendet.

Datum

Anzinger Martin

Hahn Florian

Präambel

Das Projekt wurde als Ingenieursprojekt gemäß entsprechender Verordnung des Ministeriums durchgeführt. Betreut wurde das Projekt durch Prof. Mag. Herbert Jachs in Zusammenarbeit mit der Firma Hainzl.

Vorwort

LumWeb ist aus der Idee entstanden, ein Projekt mit moderner 32-Bit Mikrocontroller-Architektur in Kombination mit einem Real-Time Betriebssystem zu realisieren. Ein besonderer Danke gebührt unserem Betreuungslehrer Prof. Mag. Herbert Jachs, der uns dieses Projekt mit der Firma Hainzl überhaupt vorgeschlagen hat und den ersten Kontakt hergestellt hat, ohne ihn wäre die Diplomarbeit in der jetzigen Form gar nicht zu Stande gekommen. Außerdem ist er uns immer beratend zur Seite gestanden und hat uns unterstützt. Außerdem möchten wir uns generell bei der Firma Hainzl und besonders bei unserer Kontaktperson TITEL NAME bedanken, die uns ermöglicht haben, die Diplomarbeit umzusetzen und uns mit zwei LuminaryMicro DK-LM3S9B96 Boards eine realistische Hardware-Umgebung zu Entwicklungszwecken zur Verfügung gestellt haben.

Das grundlegende Konzept der Diplomarbeit wurde von Martin Anzinger und Florian Hahn gemeinsam entwickelt und entworfen. Martin Anzinger war speziell für die Entwicklung des Clients inklusive Touch-Interface, Embedded HTTP Client und der Tag-Library zuständig, außerdem hat er die Entwicklungsumgebung Eclipse für unserer Zwecke zusammengestellt und konfiguriert. Florian Hahn war für die Entwicklung des Servers zuständig, inklusive Erweiterungen des LWIP Servers um SSI Tags und SSI Parameterunterstützung und CGI Funktion, Implementierung des Com Tasks und der Task-Kommunikation, außerdem hat er die Code-Dokumentationsumgebung mit Doxygen erstellt.

Größere Probleme wurden gemeinsam besprochen und gelöst, wie zum Beispiel die Portierung von FreeRTOS und LWIP von dem schulintern verwendeten Luminary Micro Board auf das Board von der Firma Hainzl.

Inhaltsverzeichnis

1 Externe Komponenten.....	10
1.1 Entwicklungsumgebung.....	10
1.1.1 Eclipse.....	10
1.1.2 GCC.....	10
1.1.3 OpenOCD.....	11
1.1.4 DoxyGen.....	11
1.2 Hardwareumgebung.....	12
1.2.1 Luminary Micro DK-LM3S9B96.....	12
1.3 Softwareumgebung.....	15
1.3.1 FreeRTOS.....	15
1.3.1.1 Funktionsweise.....	15
1.3.1.1.1 Multitasking.....	15
1.3.2 LWIP.....	19
1.3.2.1 LWIP Funktionen.....	19
2 Konfiguration.....	22
2.1 FreeRTOS.....	22
2.1.1 Tasks.....	22
2.1.1.1 LWIP Task.....	22
2.1.1.2 Graphic Task.....	22
2.1.1.3 Com Task.....	23
2.1.1.4 Real Time Task.....	23
2.1.2 Queues.....	23
2.1.2.1 Com Queue.....	23
2.1.2.2 HTTPD Queue.....	23
2.2 LWIP.....	23
2.3 LumWeb.....	24
2.3.1 Generelle Einstellungen.....	24
2.3.2 Debuginformationen.....	25
2.3.3 Systemeinstellungen.....	26
3 LumWeb.....	29
3.1 Konzept.....	29

3.1.1 Betriebsarten.....	30
3.1.2 Vorteile von LumWeb.....	31
3.1.3 Tasks.....	31
3.1.4 Com-Task.....	31
3.1.5 LWIP-Task.....	32
3.1.6 Graphic-Task.....	32
3.1.7 Real Time Clock Task.....	32
3.1.8 Intertask-Kommunikation	32
3.2 Tag Library.....	33
3.2.1 Aufbau.....	33
3.2.2 Funktionen in der Taglib.....	33
3.2.2.1 renderSSI.....	33
3.2.2.2 onLoad.....	34
3.2.2.3 onDisplay.....	34
3.2.2.4 onEditValue.....	34
3.2.2.5 onDestroy.....	34
3.2.2.6 strFormatter.....	34
3.2.3 Erstellen eines Tags.....	35
3.3 Webserver.....	37
3.3.1 SSI.....	37
3.3.1.1 Verwendung.....	37
3.3.1.2 Syntax.....	37
3.3.1.3 SSI Parameter.....	38
3.3.1.4 Vorhandene SSI Tags.....	39
3.3.1.4.1 Eingabe-Tags.....	39
3.3.1.4.1.1 IntegerInputField.....	39
3.3.1.4.1.2 FloatInputField.....	40
3.3.1.4.1.3 SubmitInputField.....	41
3.3.1.4.1.4 CheckboxInputField.....	41
3.3.1.4.1.5 TimeInputField.....	42
3.3.1.4.2 Ausgabe-Tags.....	43
3.3.1.4.2.1 SavedParams.....	43
3.3.1.4.2.2 Hyperlink.....	43
3.3.1.4.2.3 Titel.....	44

3.3.1.4.2.4 Group.....	44
3.3.2 CGI.....	45
3.3.2.1 Set.cgi.....	45
3.3.3 Ablauf.....	47
3.3.3.1 Seitenaufruf.....	47
3.3.3.2 Speichern von Werten.....	48
3.3.4 Erstellen einer Bedienseite.....	49
3.3.5 Webclient.....	51
3.3.6 Interface.....	51
3.3.6.1 Lifecycle der Grafik Objekte.....	51
3.3.6.2 Stellaris Graphic Library.....	52
3.4 ComTask.....	54
3.4.1.1 Zugriff.....	54
3.4.1.1.1 xComMessage	55
3.4.1.2 Beispiele.....	55
3.4.1.3 Kommunikation mit der Maschine	56
3.4.1.3.1 sendToMachine.....	56
3.4.1.3.2 getFromMachine.....	56
4 Abbildungsverzeichnis.....	57
5 Anhang.....	58

Versionstabelle

Version	Datum	Änderung	Autor
0.1	23.03.2010	Erstellen der SW Doku	Anzinger Hahn
0.2	06.04.2010	Konzept erweitert	Hahn
0.3	09.04.2010	FreeRTOS, lwIP und ComTask dokumentiert	Hahn
0.4	16.04.2010	Ablaufpläne, Übersicht	Hahn
0.5	24.04.2010	Graphic dokumentiert und Englischen Abstract verfasst	Anzinger
0.6	05.05.2010	Dokumentation erweitert	Hahn, Anzinger
0.7	06.05.2010	SSI Parameter, Konfigurationsdatei dokumentiert	Hahn
0.8	07.05.2010	Vorwort, Korrektur-Lesung	Hahn
0.8.1	09.05.2010	SSI Tags neu dokumentiert, Abbildungsverzeichnis	Hahn, Anzinger
0.8.2	10.05.2010	Stellaris Graphic Library Dokumentation	Anzinger

1 Externe Komponenten

1.1 Entwicklungsumgebung

1.1.1 Eclipse

Eclipse¹ ist ein quelloffenes Programmierwerkzeug zur Entwicklung von Software verschiedenster Art. Ursprünglich wurde Eclipse als integrierte Entwicklungsumgebung für die Programmiersprache Java genutzt, aber mittlerweile wird es aufgrund seiner Erweiterbarkeit auch für viele andere Entwicklungsaufgaben eingesetzt. Für Eclipse gibt es eine Vielzahl von Erweiterungen sowohl quelloffen als auch von kommerziellen Anbietern.

Bei der Entwicklung von LumWeb wurde Eclipse 3.5² mit der Erweiterung CDT für C/C++-Programmierung verwendet.

1.1.2 GCC

GCC ist der Name der Compiler-Suite des GNU-Projekts.

GCC wird von einer Reihe von Systemen als Standardcompiler benutzt, darunter viele Linux-Distributionen, BSD, Mac OS X, NextStep, und BeOS bzw. ZETA. Er wurde auf mehr Systeme und Rechnerarchitekturen portiert als jeder andere Compiler und bietet sich besonders für Betriebssysteme an, die auf verschiedenen Hardware-Plattformen laufen sollen. Der GCC lässt sich auch als Cross-Compiler³ verwenden.

Insgesamt unterstützt der GCC mehr als 60 Plattformen.

Bei der Entwicklung von Lumweb wurde die *GNU Toolchain for ARM Processors*⁴ von CodeSourcery in Version 2009q1 verwendet. Dieses Paket enthält alle benötigten Programme und Bibliotheken, um Programme für ARM CPUs zu kompilieren und zu linkern. Sie ist speziell für ARM CPUs optimiert.

1 Wikipedia - Eclipse (IDE) – April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Eclipse_%28IDE%29&oldid=72909998

2 Eclipse 3.5 Download mit CDT - http://www.eclipse.org/downloads/download.php?file=/technology/epp/downloads/release/galileo/SR2/eclipse-cpp-galileo-SR2-linux-gtk-x86_64.tar.gz

3 Compiler, der auf einem bestimmten System (auch Hostplattform genannt) läuft, aber Kompilate (Objektdateien oder ausführbare Programme) für andere Systeme erzeugt.

4 CodeSourcery GNU Toolchain for ARM Processors – April 2010, <http://www.codesourcery.com/sgpp/lite/arm>

1.1.3 OpenOCD

Der OpenOCD⁵ JTAG Server ist eine Open Source On-Chip Debugginglösung für ARM basierte Zielsysteme. Unterstützt werden unter anderem: ARM7, ARM9 oder Cortex-M3. Es ermöglicht Debugging mit dem Standard GNU Debugger GDB für die ARM Architektur. Zusätzlich wird die Programmierung des internen und externen Flash Speichers unterstützt. Bei LumWeb wurde OpenOCD zum Flashen der Hardware verwendet.

1.1.4 DoxyGen

DoxyGen ist ein Werkzeug zum Erstellen von Softwaredokumentation. Dazu wird der Quelltext nach Definitionen von Funktionen, Strukturen, Variablen und speziellen Kommentaren durchsucht als HTML oder LaTeX dargestellt.

⁵ Beschreibung OpenOCD – April 2010, <http://www.amontec.com/openocd.shtml>

1.2 Hardwareumgebung

1.2.1 Luminary Micro DK-LM3S9B96

Als Entwicklungssystem wurde ein LuminaryMicro DK-LM3S9B96⁶ verwendet. Im Zuge der Diplomarbeit wurde zuerst das an der Schule verwendete Luminary Board verwendet, welches dann aber durch das DK-LM3S9B96 ersetzt wurde, das uns von der Firma Hainzl zur Verfügung gestellt worden ist und mit einem Touchscreen ein praxis-näheres Entwicklungssystem bietet.

Wichtige Eckdaten:⁷

- 3.5“ Farb-LCD
 - Auflösung: 320 x 240
 - Resistiver Touchscreen
- 80 MHz LM3S9B9 uC
 - 256kB Flash
 - 96kB Sram
 - integrierter Ethernet Controller
 - Card Reader
 - ARM Cortex 3M CPU

6 Luminary Micro DK-lm3s9b96 Produktbeschreibung - <http://www.luminarymicro.com/products/dk-lm3s9b96.html>

7 Luminary Micro – April 2010, <http://www.luminarymicro.com/products/dk-lm3s9b96.html>

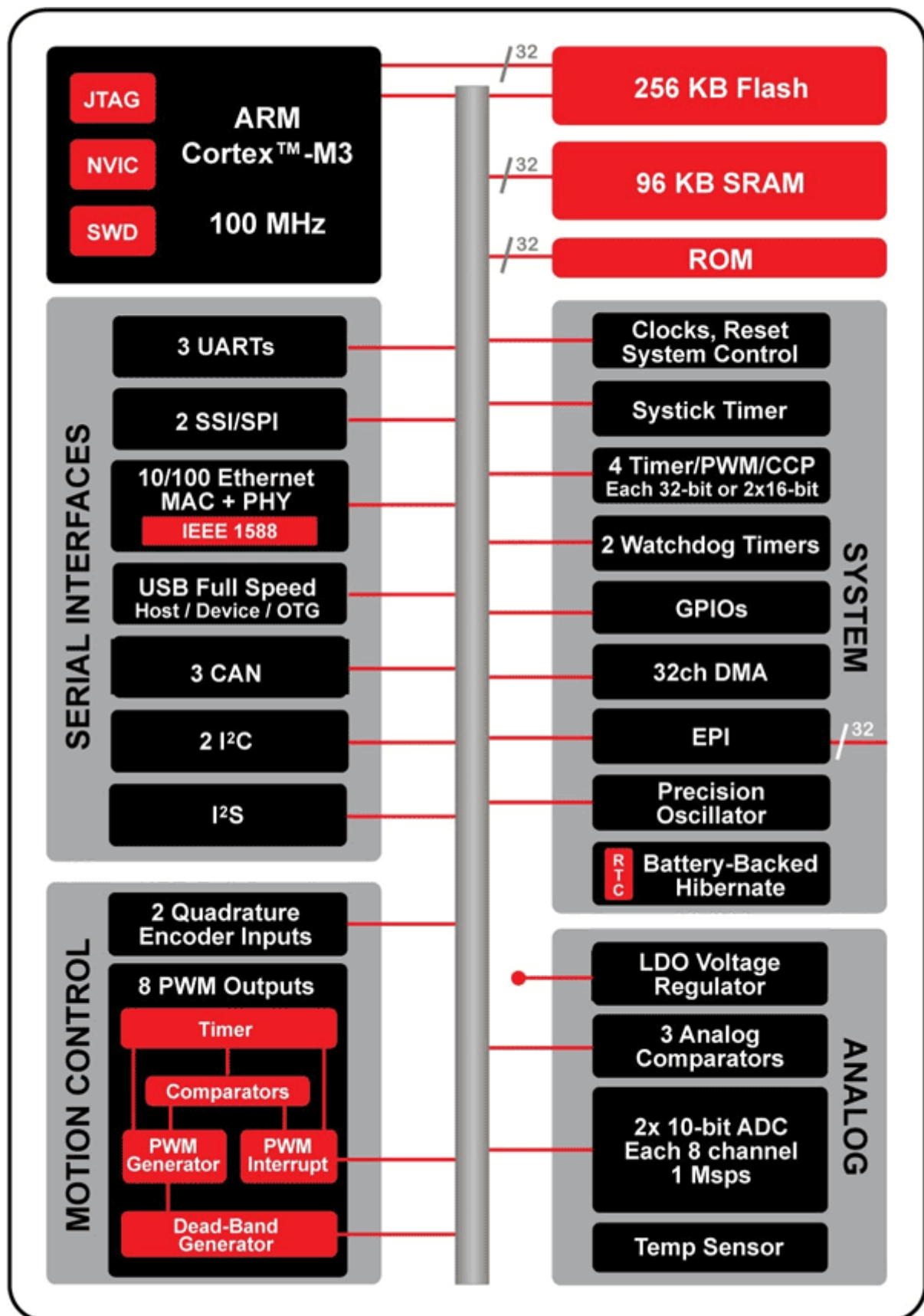


Abbildung 1: Blockschaltbild

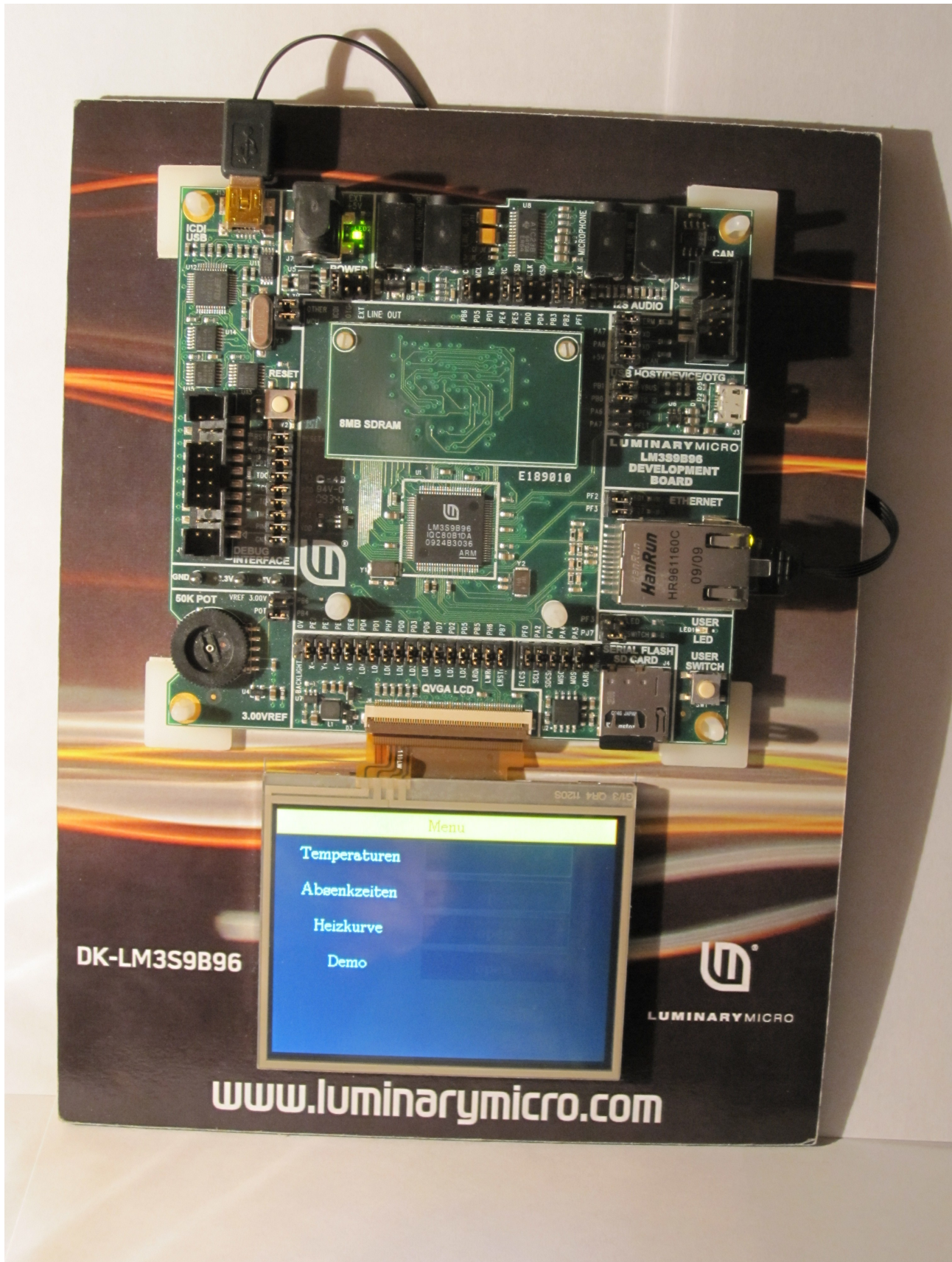


Abbildung 2: Luminary Developmentkit (LM3S9B96)

1.3 Softwareumgebung

1.3.1 FreeRTOS

Als Betriebssystem für eingebettete Systeme wird das in C geschriebene Open Source Realtime Operating System FreeRTOS⁸ in Version 6.0 verwendet, da es lizenzfrei verwendet werden kann und als sehr stabil gilt. Als Entwicklungssystem wurde es in Kombination mit einer ARM Cortex 3M CPU verwendet, FreeRTOS ist aber für viele verschiedene Hardwareplattformen verfügbar.

Im Gegensatz zu kommerziellen Systemen, wie embOS und CMX-RTX, fehlen FreeRTOS allerdings wichtige Synchronisationsmechanismen wie "Event Flags". Mutexe sind in neueren Versionen vorhanden.

Um Netzwerkanfragen, die grafische Darstellung am Display und die Ansteuerung der Maschine quasi-parallel realisieren zu können wird eine Multitaskingumgebung benötigt. FreeRTOS bietet diese Umgebung in Kombination mit Queues zur Interprocesskommunikation.

1.3.1.1 Funktionsweise⁹

Um eine gute Wartbarkeit zu gewährleisten, wird FreeRTOS weitestgehend in C entwickelt, lediglich wenige Funktionen sind in Assembler realisiert. Das Betriebssystem unterstützt seit der Version 4 zwei verschiedene Taskklassen. "Echte" Tasks und Koroutinen, denen nur wenig Speicher zur Verfügung steht.

1.3.1.1.1 Multitasking

Der Begriff **Multitasking** bezeichnet die Fähigkeit eines Betriebssystems, mehrere Aufgaben (Tasks) nebenläufig auszuführen. Dabei werden die verschiedenen Prozesse in so kurzen Abständen immer abwechselnd aktiviert, dass der Eindruck der Gleichzeitigkeit entsteht.

Die Nutzung von Multitasking bietet folgende Vorteile:¹⁰

- Durch die Multitasking und Intertask Kommunikation können komplexe Anwendungen in kleiner, besser wartbare Tasks zerlegt werden
- Die Zerlegung von Anwendungen vereinfacht das Testen, die Wiederverwendbarkeit und die

⁸ FreeRTOS Homepage <http://www.freertos.org/>

⁹ Wikipedia – FreeRTOS, April 2010, <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=FreeRTOS&oldid=69842333>

¹⁰ RTOS Fundamentals – Multitasking, April 2010, <http://www.freertos.org/implementation/index.html>

Arbeitsteilung in Teams

- Komplexe Timing Funktionen können von der Anwendung ins Betriebssystem ausgelagert werden

FreeRTOS bietet 2 Möglichkeiten, um Multitasking zu verwenden, *Tasks* und *Co-routines*¹¹.

Eine Real Time Anwendung, die FreeRTOS verwendet, kann als Sammlung von separaten Tasks realisiert werden. Jeder Task wird unabhängig von anderen Tasks in seinem eigenen Kontext¹² ausgeführt. Es kann zu jedem Zeitpunkt nur ein Task ausgeführt werden. Die Zeiteinteilung wird vom Scheduler¹³ gemanaget. Der Scheduler ist konfigurierbar, so dass präemptiver und kooperativer Betrieb möglich ist.

Vor- und Nachteile von Tasks:

- einfach
- keine Nutzungsbeschränkungen
- voll priorisierbar
- jeder Task hat einen eigenen Stack → höhere RAM-Nutzung

Auf *Co-routines* wird hier nicht eingegangen, da LumWeb ausschließlich Tasks verwendet.

Task-States

Jeder Task hat immer nur einen der folgenden „States“:

- *Running*
wenn ein Task ausgeführt wird, bezeichnet man ihn als *Running*
- *Ready*
Tasks die ausgeführt werden könnten, aber zurzeit nicht ausgeführt werden, da ein anderer Task mit gleicher oder höherer Priorität gerade ausgeführt wird, bezeichnet man als *Ready*

11 FreeRTOS Dokumentation – Tasks and Co-routines, April 2010, <http://www.freertos.org/taskandcr.html>

12 Als **Prozesskontext** bezeichnet man die gesamte Information, die für den Ablauf und die Verwaltung von Prozessen von Bedeutung ist.

13 Ein **Prozess-Scheduler** ist ein Steuerprogramm, das die zeitliche Ausführung mehrerer Prozesse in Betriebssystemen regelt

- *Blocked*
Tasks im *Blocked* State warten auf ein externes oder zeitliches Event
- *Suspended*
Tasks im *Suspended* State werden vom Scheduler ignoriert, dieser State wird nur durch explizites Aufrufen von *vTaskSuspend()* erreicht

Task Priorität

Jedem Task wird eine Priorität von 0 bis (`configMAX_PRIORITIES - 1`) zugewiesen.

Eine niedrige Prioritätsnummer bedeutet eine niedrige Priorität (Idle Task Priorität ist 0).

Der Scheduler preferiert Tasks mit höherer Priorität.

Task implementieren

Ein Task sollte folgende Struktur haben:

```
void vATaskFunction( void *pvParameters )
{
    for( ;; )
    {
        -- Task application code here. --
    }
}
```

Inter-task Kommunikation¹⁴

LumWeb verwendet zur Kommunikation zwischen Tasks ausschließlich Queues, darum wird hier nur auf diese Methode eingegangen.

Queues

Queues stellen die primäre Form der Inter-Task Kommunikation dar in FreeRTOS dar. Sie werden zum Senden und Empfangen von Nachrichten zwischen Tasks und zwischen Interrupts¹⁵ und Tasks verwendet. In den meisten Fällen werden sie als thread-sichere FIFO¹⁶ Buffer verwendet.

¹⁴ FreeRTOS Dokumentation - Inter-task Communication - <http://www.freertos.org/Inter-Task-Communication.html>

¹⁵ Unter **Interrupt** versteht man die kurzfristige Unterbrechung eines Programms, um eine andere, meist kurze, aber zeitkritische Verarbeitung durchzuführen.

¹⁶ **First In – First Out** (engl. etwa „Erster rein – Erster raus“)

Queues können Elemente mit „fixer“ Größe enthalten. Beim Erstellen einer Queue muss der Datentyp und die maximale Anzahl der Elemente angegeben werden.

Elemente werden als Kopie eingefügt, nicht als Referenz, darum sollten die Elemente nicht zu groß sein, um den Kopieraufwand zu minimieren.

Um große Elemente in Queues einzufügen sollten Zeiger verwendet werden. Dabei muss aber sichergestellt werden, dass klar definiert ist, welcher Task die Daten „besitzt“, um Speicherzugriffsfehler zu vermeiden.

Queues Erstellen

Mit dem Befehl `xQueueCreate`¹⁷ wird eine neue Queue erstellt:

```
xQueue2 = xQueueCreate( 10, sizeof( struct AMessage * ) );
```

Aus Queue lesen

Mit dem Befehl `xQueueReceive`¹⁸ wird ein Element aus der Queue gelesen:

```
xQueueReceive( xQueue, &(amp; pxRxdMessage ), ( portTickType ) 10 )
```

Queue senden

Mit dem Befehl `xQueueSend`¹⁹ wird ein neues Element in die Queue eingefügt:

```
xQueueSend( xQueue1, newElement, ( portTickType ) 10 );
```

17 FreeRTOS Dokumentation – `xQueueCreate`, April 2010, <http://www.freertos.org/a00116.html>

18 FreeRTOS Dokumentation – `xQueueReceive`, April 2010, <http://www.freertos.org/a00118.html>

19 FreeRTOS Dokumentation – `xQueueSend`, April 2010, <http://www.freertos.org/a00117.html>

1.3.2 LWIP

Als Netzwerkstack wird LWIP verwendet, da dieser gegenüber uIP viele Vorteile bietet. Zuerst wurde der uIP Webserver verwendet. Im Zuge des Boardwechsels wurde auch der Wechsel zu LWIP vollzogen. Zu den Vorteilen zählen DHCP Unterstützung und die Möglichkeit mehrere TCP Ports zu verwenden. Dadurch können Web Client und Web Server auf dem selben System implementiert werden.

lwIP (*lightweight IP*) ist ein weit verbreiteter Open Source TCP/IP stack für Microcontroller.

Der Fokus der lwIP TCP/IP Implementierung ist ein reduzierter Ressourcenverbrauch, bei voll Umfang von TCP. Dadurch eignet sich lwIP für Embedded Systems mit wenigen 10 kB RAM Speicher und ca. 40 kB Code Speicher.

1.3.2.1 LWIP Funktionen²⁰

LWIP bietet folgende Funktionen, die von LumWeb Verwendeten werden werden hervorgehoben:

- **IP** (Internet Protocol) inklusive Packet Forwarding über mehrere Network Interfaces
- **ICMP** (Internet Control Message Protocol) für Netzwerkwartung und Debugging
- **IGMP** (Internet Group Management Protocol) für Multicast Traffic Management
- **UDP** (User Datagram Protocol)
- **TCP** (Transmission Control Protocol)
- Raw/native API für verbesserte Performance
- Optional Berkeley-like socket API
- **DNS** (Domain names resolver)
- **SNMP** (Simple Network Management Protocol)
- **DHCP** (Dynamic Host Configuration Protocol)
- **AUTOIP** (für IPv4, konform mit RFC 3927)
- **PPP** (Point-to-Point Protocol)
- **ARP** (Address Resolution Protocol) für Ethernet

²⁰ LWIP Homepage – April 2010, http://lwip.wikia.com/wiki/LwIP_Wiki

IP²¹

Das **Internet Protocol (IP)** ist ein in Computernetzen weit verbreitetes Netzwerkprotokoll und stellt die Grundlage des Internets dar. Es ist die Implementierung der Vermittlungsschicht des TCP/IP-Modells bzw. der Vermittlungsschicht (engl. *Network Layer*) des OSI-Modells.

TCP²²

Das **Transmission Control Protocol (TCP)** (zu dt. *Übertragungssteuerungsprotokoll*) ist eine Vereinbarung (Protokoll) darüber, auf welche Art und Weise Daten zwischen Computern ausgetauscht werden sollen. Alle Betriebssysteme moderner Computer beherrschen TCP und nutzen es für den Datenaustausch mit anderen Rechnern. Das Protokoll ist ein zuverlässiges, verbindungsorientiertes, paketvermittelndes Transportprotokoll in Computernetzwerken. Es ist Teil der Internetprotokollfamilie, der Grundlage des Internets.

UDP²³

Das **User Datagram Protocol**, kurz **UDP**, ist ein minimales, verbindungsloses Netzwerkprotokoll, das zur Transportschicht der Internetprotokollfamilie gehört. Aufgabe von UDP ist es, Daten, die über das Internet übertragen werden, der richtigen Anwendung zukommen zu lassen.

DNS²⁴

Das **Domain Name System (DNS)** ist einer der wichtigsten Dienste im Internet. Seine Hauptaufgabe ist die Beantwortung von Anfragen zur Namensauflösung.

DHCP²⁵

21 Wikipedia – IP, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Internet_Protocol&oldid=72025803

22 Wikipedia – TPC, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Transmission_Control_Protocol&oldid=72692312

23 Wikipedia – UDP, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=User_Datagram_Protocol&oldid=72571839

24 Wikipedia – DNS, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Domain_Name_System&oldid=72335434

25 Wikipedia – DHCP, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Dynamic_Host_Configuration_Protocol&oldid=72275481

Das **Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)** ermöglicht die Zuweisung der Netzwerkkonfiguration an Clients durch einen Server.

AUTOIP²⁶

Zeroconf (*Zero Configuration Networking*, auch *Automatic Private IP Addressing*, kurz *APIPA*, oder *Auto-IP*) ist eine Technik zur konfigurationsfreien Vernetzung von Geräten in lokalen Rechnernetzen.

ARP²⁷

Das Address Resolution Protocol (ARP) ist ein Netzwerkprotokoll, das zu einer Netzwerkadresse der Internetschicht die physikalische Adresse (Hardwareadresse) der Netzzugangsschicht ermittelt und diese Zuordnung gegebenenfalls in den sogenannten ARP-Tabellen der beteiligten Rechner hinterlegt. Es wird fast ausschließlich im Zusammenhang mit IPv4-Adressierung auf Ethernet-Netzen, also zur Ermittlung von MAC-Adressen zu gegebenen IP-Adressen verwendet, obwohl es nicht darauf beschränkt ist.

²⁶ Wikipedia – AUTOIP, April 2010, <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Zeroconf&oldid=69159104>

²⁷ Wikipedia – ARP, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Address_Resolution_Protocol&oldid=71170206

2 Konfiguration

2.1 FreeRTOS

Die global Konfiguration für FreeRTOS befindet sich in in der Header Datei *uInterface/FreeRTOSConfig.h* . In der Datei wird das Verhalten von FreeRTOS konfiguriert. Da die Einstellungen über Define²⁸ Anweisungen in C-Headerdateien getroffen werden, können sie nur zur Übersetzungszeit verändert werden, d.h. Änderungen werden erst wirksam, wenn der Quelltext neu kompiliert und auf das Board geladen wird.

2.1.1 Tasks

Alle taskspezifischen Einstellungen, wie Stack Größe, Task Name, Task Priorität und Task Handler werden in der Datei *uInterface/taskConfig.h* gemacht.

2.1.1.1 LWIP Task

- *LWIP_STACK_SIZE*
Stack Größe des LWIP Tasks, Standardwert: 512*2 (Speicherstellen)
- *LWIP_TASK_NAME*
Name des LWIP Tasks, Standardwert: "lwip"
- *LWIP_TASK_PRIORITY*
Priorität des LWIP Tasks, Standardwert: (configMAX_PRIORITIES - 2)

2.1.1.2 Graphic Task

- *GRAPH_STACK_SIZE*
Stack Größe des Graphic Tasks, Standardwert: 512 (Speicherstellen)
- *GRAPH_TASK_NAME*
Name des Graphic Tasks, Standardwert: "graphics"
- *GRAPH_TASK_PRIORITY*
Priorität des Graphic Tasks, Standardwert: (configMAX_PRIORITIES - 2)

²⁸ Makro-Anweisungen für den C-Präprozessor

2.1.1.3Com Task

- *COM_STACK_SIZE*
Stack Größe des Com Tasks, Standardwert: 128*2 (Speicherstellen)
- *COM_TASK_NAME*
Name des Com Tasks, Standardwert: "com"
- *COM_TASK_PRIORITY*
Priorität des Com Tasks, Standardwert: (configMAX_PRIORITIES - 2)

2.1.1.4Real Time Task

- *TIME_TASK_NAME*
Name des Real Time Tasks, Standardwert: "clock"
- *TIME_TASK_PRIORITY*
Priorität des Real Time Tasks, Standardwert: (configMAX_PRIORITIES)

2.1.2 Queues

Alle queuespezifischen Einstellungen, wie Queue Größe und Queue Handler werden in der Datei `uInterface/queueConfig.h`

2.1.2.1Com Queue

- *COM_QUEUE_SIZE*
Anzahl der Elemente, die die Com Queue aufnehmen kann, Standardwert: 6

2.1.2.2HTTPD Queue

- *HTTPD_QUEUE_SIZE*
Anzahl der Elemente, die die HTTPD Queue aufnehmen kann, Standardwert: 6

2.2 LWIP

Die Einstellungen für den LWIP Stack werden in der Datei `uInterface/ethernet/lwipopts.h` gemacht.

- *SYS_LIGHTWEIGHT_PROT*

Wert: 1

- *NO_SYS*

Wert: 1, LWIP wird in Kombination mit einem Realtime Operation System verwendet, der LWIP Stack braucht sich um das Timing nicht zu kümmern.

2.3 LumWeb

2.3.1 Generelle Einstellungen

Generelle Einstellungen zu LumWeb werden in der Datei uInterface/setup.h gemacht.

Da die Einstellungen über Define Anweisungen in C-Headerdateien getroffen werden, können sie nur zur Übersetzungszeit verändert werden, d.h. Änderungen werden erst wirksam, wenn der Quelltext neu kompiliert und auf das Board geladen wird.

- *SYSTICK_INT_PRIORITY*

Priorität des SysTick Interrupts, Standardwert: 0x80

- *ETHERNET_INT_PRIORITY*

Priorität des Ethernet Interrupts, Standardwert: 0xC0

- *ENABLE_LOG*

Aktiviert die Ausgabe von Statusmeldungen in die Log-Datei auf der SD Karte */log/sys.log* , Standardwert: 0

- *ENABLE_GRAPHIC*

Aktiviert den grafischen Client , Standardwert: 0

- *ENABLE_SNTP*

Aktiviert den LWIP SNTP Client, Standardwert: 0

- *ENABLE_DNS*

Aktiviert den LWIP DNS Client, Standardwert: 0

- *ENABLE_NET_BIOS*

Aktiviert den LWIP NETBios Client, Standardwert: 0

2.3.2 Debuginformationen

Die Ausgabe von Debug-Informationen über die UART Schnittstelle²⁹ kann in der Datei `uInterface/setup.h` für die jeweiligen Teilbereiche aktiviert werden.

Da die Einstellungen über Define Anweisungen in C-Headerdateien getroffen werden, können sie nur zur Übersetzungszeit verändert werden, d.h. Änderungen werden erst wirksam, wenn der Quelltext neu kompiliert und auf das Board geladen wird.

- *DEBUG_MEMORY*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für das Speicherhandling, Standardwert: 0
- *DEBUG_GRAPHIC*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für die grafische Ausgabe, Standardwert: 0
- *DEBUG_HTTPC*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für den Webclient, Standardwert: 0
- *DEBUG_GRAPHIC_EDITOR*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für das Editieren von Werten mit der grafischen Oberfläche, Standardwert: 0
- *DEBUG_SSI*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für die SSI Funktionen (siehe [8.13.0.1.SSI](#)), Standardwert: 0
- *DEBUG_SSI_PARAMS*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für die SSI Parameterverarbeitung (siehe [8.13.0.1.3.SSI Parameter](#)), Standardwert: 0
- *DEBUG_LOG*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für das Mitprotokollieren in die Logdatei , Standardwert: 0
- *DEBUG_TAGS*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für die Tag-Library (siehe [#8.11.Tag Library](#)), Standardwert: 0

²⁹ Wikipedia – UART, Mai 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Universal_Asynchronous_Receiver_Transmitter&oldid=64893899

- *DEBUG_CGI*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für die CGI Funktionen (siehe [8.13.0.2.CGI](#)), Standardwert: 0
- *DEBUG_COM*
Aktiviert die Ausgabe von Debug-Informationen für dem COM Task , Standardwert: 0

2.3.3 Systemeinstellungen

Über die Konfigurationsdatei auf der SD Karte (*/conf/ipconfig.cnf*) werden die Einstellungen beim Starten des Systems gesetzt. Dazu werden die Einstellungen beim Systemstart aus der Konfigurationsdatei gelesen. Es ist also möglich, diese Einstellungen mit einem Neustart zu ändern, ohne das Programm neu übersetzen zu müssen.

Die Einstellungen betreffen die Netzwerkkonfiguration und Einstellungen zur Betriebsart von LumWeb (siehe [3.1.1.Betriebsarten](#)).

Folgende Einstellungen sind vorhanden:

- *USE_DHCP*
Legt fest, ob DHCP zur Adressvergabe verwendet wird
Mögliche Werte:
 - true
 - false (Standardwert)
- *DEFAULT_MENU_PAGE*
Legt die Startseite des Webclients fest
Mögliche Werte:
 - Name einer vorhandenen Webseite auf dem Serversystem
 - Standardwert: index.ssi
- *DEFAULT_SET_PAGE*
Name der CGI Funktion, die zum Verarbeiten der Änderungen verwendet wird
Mögliche Werte:
 - Name der CGI Funktion am Server
 - Standardwert: set.cgi
- *IS_SERVER*
Legt fest, ob das System als Server arbeitet (siehe [3.1.1.Betriebsarten](#))

Mögliche Werte:

- true
- false
- *IS_CLIENT*

Legt fest, ob das System als Client arbeitet (siehe [3.1.1.Betriebsarten](#))

Mögliche Werte:

- true
- false
- *REMOTE_IP*

Gibt die IP Adresse des Servers an, von dem das Benutzerinterface geladen wird und die Änderungen übertragen werden (nur für Client-Systeme relevant)

Mögliche Werte:

- valide IPv4 Adresse³⁰
 - *TIME_ZONE*
- Gibt die Differenz zur UTC³¹ an (nur relevant, wenn SNTP aktiviert ist, siehe [#7.6.1.Generelle Einstellungen](#))

Mögliche Werte:

- zum Beispiel 1 für die Timezone UTC+1 (Österreich)
- *IP_ADDRESS*

Gibt die IP Adresse des Systems an

Mögliche Wert:

- valide IPv4-Adresse
- *IP_SUBNETMASK*

Gibt die Subnetzmaske des Systems an

Mögliche Werte:

- valide IPv4-Subnetzmaske³²
- *IP_GATEWAY*

Gibt den Gateway³³ des Systems an

30 IPv4 benutzt 32-Bit-Adressen, die in vier Blöcke je 0 bis 255 unterteilt sind

31 Die **koordinierte Weltzeit**, international UTC (engl. *Universal Time Coordinated*)

32 Wikipedia – Subnetz, Mai 2010, <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Subnetz&oldid=73749190>

33 Ein **Gateway** erlaubt es Netzwerken, die auf völlig unterschiedlichen Protokollen basieren, miteinander zu kommunizieren.

Mögliche Werte:

- valide IPv4-Adresse

3 LumWeb

Lumweb besteht aus 3 Komponenten:

- **Webserver**
stellt die Benutzeroberfläche in Form von HTML-Seiten über HTTP zur Verfügung und wertet die Änderungen der Clients aus
- **Webclient**
stellt die HTML-Seiten auf Touchscreen dar und überträgt Änderungen zum Server
- **ComTask**
verwaltet die Kommunikation zwischen Webserver und der Maschine.

3.1 Konzept

Das Ziel von LumWeb ist, die Vereinfachung der Userinterface-Erstellung.

Erreicht wird das Ziel durch das Zusammenspiel der oben genannten Komponenten.

Das User Interface wird als HTML Seite mit SSI Tags definiert. Die Bedienseiten sind auf einem Serversystem gespeichert. Das Serversystem ist zuständig für die Kommunikation mit der Maschine und mit dem Benutzer. Die Seiten werden über HTTP an die Clients verteilt. Auf PC Systemen übernimmt der Browser die Darstellung. Auf eingebetteten Systemen übernimmt der Webclient die Darstellung. Dazu wertet er spezielle HTML-Kommentare aus, die für die SSI Tags vom Server eingefügt werden.

Um eine Bedienseite zu erstellen werden in den HTML-Code Bedienelemente in Form von SSI Tags eingebaut, zum Beispiel der Tag IntegerInputField für die Eingabe einer Zahl. Zusätzlich muss eine eindeutige Id angegeben werden, die das Element mit einer Einstellung auf der Maschine verbindet. Der ComTask wertet diese ID aus und liefert den entsprechenden Wert. Der Webserver fügt beim Auswerten der Tags außerdem spezielle HTML-Kommentare ein, die der Webclient zur Darstellung auswertet. Der Client kann nur solche Tags darstellen, für die er Darstellungsmethoden implementiert hat.

3.1.1 Betriebsarten

Ein LumWeb System kann auf zwei verschiedene Arten betrieben werden:

- **Server**

Zentrales System, das sich um die Bereitstellung des Benutzerinterfaces (über HTTP) und die Kommunikation mit der Maschine kümmert

- **Client**

Ein System, an dem Einstellungen über ein Benutzerinterface (welches vom Server geladen wird) vorgenommen werden können und zurück an das Serversystem gesendet werden

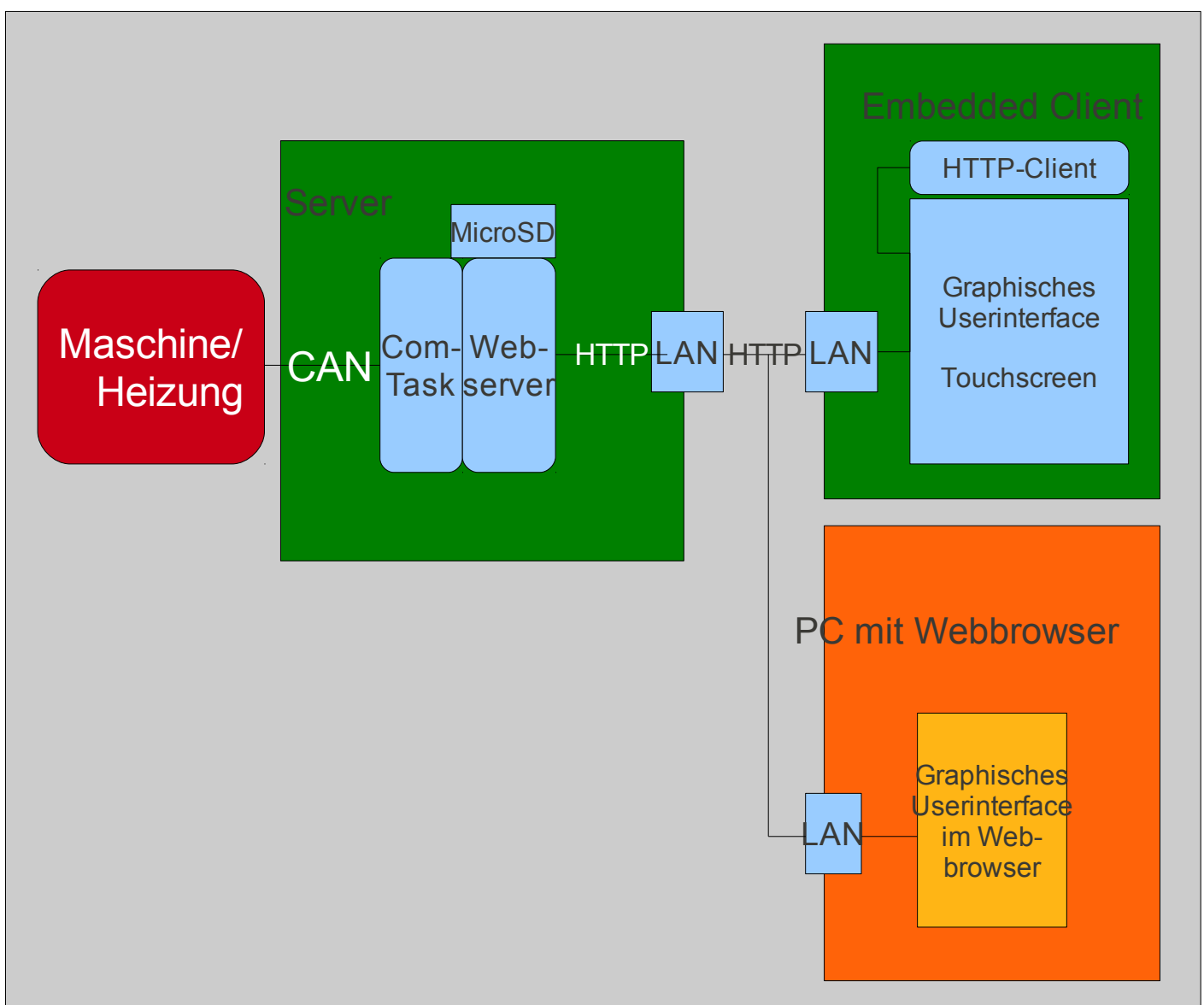


Abbildung 3: Schematischer Aufbau

3.1.2 Vorteile von LumWeb

- Modular aufgebaut
- 32 bit Microcontroller Technologie
- robustes Embedded System
- geringer Ressourcenverbrauch
- zentrale Benutzeroberfläche

3.1.3 Tasks

Lumweb ist modular aufgebaut und die Logik ist in mehrere Tasks aufgeteilt. Folgende Grafik gibt einen Überblick, in welchem Zusammenhang diese stehen und wie sie untereinander kommunizieren.

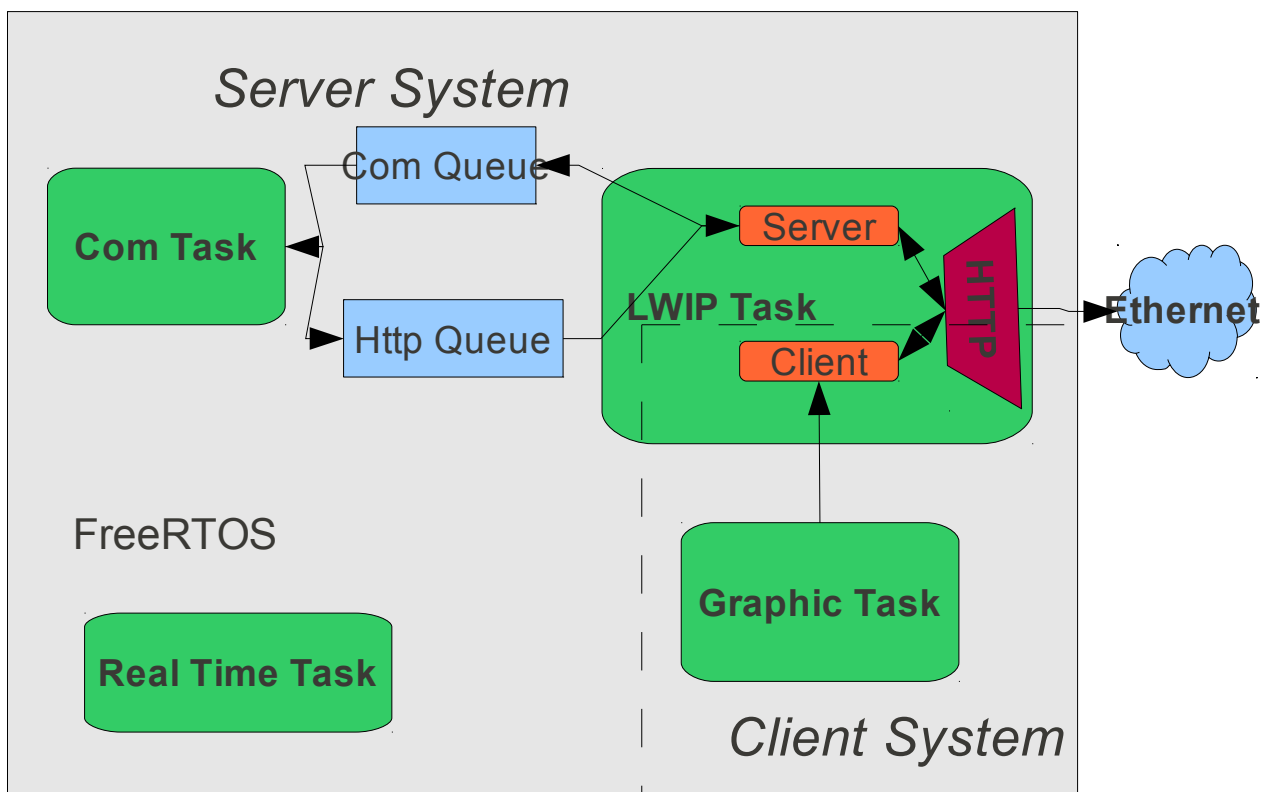


Abbildung 4: Intertaskkommunikation

3.1.4 Com-Task

Dieser Task ist für die Kommunikation mit der Maschine verantwortlich. Der Webserver stellt Anfragen an den Task via Com-Queue und lest Werte via Http-Queue zurück. Der Com-Task ist nur auf dem Server System aktiv, nicht auf Client Systemen. (siehe

3.1.5 LWIP-Task

Auf dem Server System wird der Webserver im LWIP-Task betrieben, im Client System ist der Webserver deaktiviert und der LWIP-Task nur für die Verwaltung der Netzwerkschnittstelle verantwortlich.

3.1.6 Graphic-Task

Der Graphic-Task ist für die Darstellung des Nutzerinterfaces auf einem Touchscreen verantwortlich. Dazu verwendet er dem Embedded Http Client.

3.1.7 Real Time Clock Task

Der Real Time Clock Task verwaltet die Systemuhr und stellt Zeit und Datumsfunktionen zur Verfügung. Ist SNTP³⁴ aktiviert und verfügt das System über eine Internetverbindung wird die Systemzeit mit einem Zeitserver im Internet synchronisiert.

3.1.8 Intertask-Kommunikation

Die Kommunikation zwischen dem LWIP Task (dem Webserver) und dem Com Task ist über Queues realisiert. (Siehe [Com-Task](#))

³⁴ Das **Network Time Protocol (NTP)** ist ein Standard zur Synchronisierung von Uhren in Computersystemen über paketbasierte Kommunikationsnetze

3.2 Tag Library

3.2.1 Aufbau

Die Tag Library oder Taglib ist ein Kernstück des LumWeb Web-Servers und des Embedded Clients. Sie beinhaltet alle Tags, die für die Funktionalität der Oberfläche verwendet werden können.

Ein Tag ist im programmiertechnischen Sinn eine Struktur mit indirekten Funktionsaufrufen. Ein Tag sieht wie Folgt aus:

```
typedef struct __taglibStruct
{
    int tagindex;
    char* tagname;

    void (* renderSSI)(char * pcBuf, int iBufLen, pSSIParam *params);

    void (* onLoad)(char*, int, void* basicDisplayLine);
    tWidget* (* onDisplay)(void* basicDisplayLine, int);
    void (* onEditValue)(void* basicDisplayLine);
    void (* onDestroy)(void* basicDisplayLine);
    char* (* strFormatter)(void* basicDisplayLine);

    void* userSpace;
} taglib;
```

3.2.2 Funktionen in der Taglib

3.2.2.1 renderSSI

```
void myRenderSSI(char * pcBuf, int iBufLen, pSSIParam *params);
```

Diese Funktion wird von Webserver aufgerufen, um den SSI-Tag in ein konformes HTML zu übersetzen und den für die GUI notwendigen HTML Kommentar zu erzeugen.

3.2.2.2onLoad

```
void myOnLoad (char*, int, void* basicDisplayLine);
```

Diese Funktion wird vom Embedded Client aufgerufen um aus dem GUI Kommentar eine *basicDisplayLine* zu erzeugen und in die Liste einzubinden. Es kann aber auch sein, dass nur Attribute für die GUI gesetzt werden, wie zum Beispiel ein Bit setzen zum Anzeigen des „Speichern“ oder „Menu“ Buttons.

3.2.2.3onDisplay

```
tWidget* myOnDisplay (void* basicDisplayLine, int zeilennummer);
```

Diese Funktion wird beim Anzeigen des Objekts am Display ausgeführt. Es ist zuständig für das generieren der Stellaris GUI Library Objekte. Als Parameter werden das darzustellende Objekt angegeben und die Zeilennummer in der das Objekt angezeigt wird.

3.2.2.4onEditValue

```
void myOnEditValue (void* basicDisplayLine);
```

Diese Funktion kann von der „onDisplay“ Funktion aufgerufen werden. Sie ist gedacht als Funktion, die den Editor beinhaltet. Dieser kann zum Beispiel eine eigene Oberfläche zur komfortablen Manipulation von numerischen Werten erstellen.

3.2.2.5onDestroy

```
void myOnDestroy (void* basicDisplayLine);
```

Diese Funktion wird beim Löschen des Objekts aufgerufen. Dabei muss man sich nicht um das Löschen der Objekte im Menü kümmern. Es sind nur Speicherbereiche freizugeben, welche zusätzlich zur *basicDisplayLine* angefordert worden sind.

3.2.2.6strFormatter

```
char* myStrFormatter (void* basicDisplayLine);
```

Der String-Formatter ist für die korrekte Umwandlung des Wertes zuständig, der auf der GUI dargestellt wird.

3.2.3 Erstellen eines Tags

Zum Erstellen eines Tags muss zuerst der statische Speicher dafür reserviert werden. Dies erfolgt durch das Erhöhen des folgenden Wertes in der *taglib/tags.h* Datei um die gewünschte Taganzahl:

```
#define NUM_CONFIG_TAGS
```

Anschließend müssen folgende Dateien im Ordner *taglib/tags* angelegt werden:

- **<gewünschter Name>.h** (Headerdatei)
- **<gewünschter Name>.c** (Quelltextdatei)

Die Headerdatei beinhaltet die Prototypen der einzelnen Funktionen. Diese Funktionen müssen dem Aufbau der **taglib**-Struktur entsprechen. Implementiert werden den Funktionen in der entsprechenden Quelltextdatei.

Danach muss noch in der *taglib/tags.h* die entsprechende include-Anweisung getätigt werden.

```
#include "taglib/tags/<gewünschter Name>.h"
```

Schließlich müssen noch die Zuweisungen in der *taglib/tags.c* Datei getätigt werden. Diese sind wie in dem folgenden Beispiel zu tätigen:

```
xTagList[8].tagindex = 8;  
xTagList[8].tagname = "FloatInputField";  
xTagList[8].renderSSI = vFloatRenderSSI;  
xTagList[8].onLoad = vFloatOnLoad;  
xTagList[8].onDisplay = xFloatOnDisplay;  
xTagList[8].onEditValue = vDummyOnEditValue;  
xTagList[8].onDestroy = vDummyOnDestroy;  
xTagList[8].strFormatter = pcFloatStrFormatter;  
xTagList[8].userSpace = NULL;
```

Hier ist die 8 durch den aktuellen Index und die Funktionsnamen rechts vom Gleichheitszeichen durch die eigenen Funktionen zu ersetzen.

Ist das Projekt jetzt neu kompiliert und auf das Board gespielt, können die Tags in den Seiten verwendet werden.

3.3 Webserver

Der Webserver stellt die zentrale Komponente des System dar. Der LumWeb-Webserver ist eine modifizierte Version des LWIP Webservers.

Zu den Modifikationen zählen:

- Unterstützung von SSI Paramtern (siehe [3.4.1.3. SSI Parameter](#))
- zahlreiche neue SSI Tags (siehe [3.4.1.4. Vorhandene SSI Tags](#))
- CGI Routine zum Speichern von Werten via ComTask (siehe [3.4.2.1. Set.cgi](#))

3.3.1 SSI

Server Side Includes³⁵ (dt.: Serverseitige Einbindungen), auch bekannt als **SSI**, sind in (meist HTML-) Dokumente eingebettete, einfach zu nutzende Scriptbefehle, die auf dem Webserver ausgeführt werden, bevor das Dokument an den Client ausgeliefert wird. Sie stellen eine einfacher zu verwendende Alternative zu Programmen/Scripten dar, die das ganze Dokument dynamisch generieren. Bei LumWeb werden SSI Tags unter anderem dazu verwendet, aktuelle Werte von der Maschine dynamisch in einem HTML-Dokument darzustellen.

3.3.1.1 Verwendung

Mit SSI kann die dynamische Ausgabe eines Programms in ein HTML-Dokument eingefügt werden. Die zur Verfügung stehenden Befehle sind bewusst spartanisch gehalten: Variablen speichern und ausgeben, CGI-Programme ausführen oder andere Dateien einbinden.

3.3.1.2 Syntax

Server Side Includes haben die folgende Syntax:

```
<!--#befehl parametername1="wert" parametername2="wert" -->
```

Das einleitende <!-- und das abschließende --> entsprechen den Zeichen für Beginn und Ende eines

³⁵ Wikipedia - Server Side Includes, April 2010, http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Server_Side_Includes&oldid=68847699

HTML- oder XML-Kommentares und sorgen dafür, dass der Browser die Befehle nicht anzeigt, falls SSI deaktiviert ist. Ist SSI aktiviert, dann wird das Kommentar durch den Rückgabe-Text einer SSI Funktion ersetzt.

Der LWIP Webserver unterstützt SSI Tags in Form von C Funktionen.

Die Signatur einer solchen C Funktion muss wie folgt aussehen:

```
void vCheckboxRenderSSI(char * pcBuf, int iBufLen, pSSIParam *params)
```

Die SSI C Funktion schreibt das Ergebnis in den Rückgabepuffer pcBuf. Dieser wird dann vom Webserver ausgegeben.

Dann muss die C Funktion noch mit einem SSI-Tagnamen verbunden werden. Das erfolgt über das Feld `tagname` in der Struktur `xTagList` verbunden.

Beispielinitialisierung:

```
xTagList[0].tagname = "IntegerInputField";  
xTagList[0].renderSSI = vIntegerRenderSSI;
```

Der Webserver überprüft beim Parsen der HTML Datei ob SSI-Tags vorkommen. Wird einer gefunden, wird überprüft, ob eine SSI Funktion am Server zur Verfügung steht. Dazu wird der Tagname überprüft. Dann wird die zugehörige Funktion vom SSIHandler aufgerufen.

3.3.1.3 SSI Parameter

Der LWIP -Webserver unterstützt von Haus aus keine SSI-Parameter, daher wurde diese Funktion im Rahmen der Diplomarbeit entwickelt und in den LWIP Webserver eingehängt. Dazu wurde die Funktion `send_data` des LWIP Webservers (befindet sich in `uInterface/ethernet/httpd/httpd.c`) um entsprechende Parsing-Funktionen erweitert.

Die SSI Parameter werden über eine einfach verkettete Liste verwaltet:

```
typedef struct SSIParam
{
    char *name;
    char *value;
    struct SSIParam* next;
} SSIParam;
```

Die Liste ist in die Struktur `http_state` des LWIP-Webservers eingehängt, um an die einzelnen SSI Funktionen übergeben werden zu können. Dazu wird die Parameterliste im SSI Handler (SSIHandler) an die SSI-Funktion übergeben.

Zur Manipulation der Parameterliste stehen folgende Funktionen zur Verfügung:

Fügt eine Element hinzu

```
int SSIParamAdd(pSSIParam* root, char* nameValue);
```

Gibt das Element aus der Liste mit \$name zurück

```
pSSIParam SSIParamGet(pSSIParam root, char* name);
```

Löscht alle Elemente aus der Liste und gibt den Speicher frei

```
void SSIParamDeleteAll(pSSIParam* root);
```

Gibt den Wert des Elements mit \$name aus der Liste zurück

```
char* SSIParamGetValue(pSSIParam root, char* name);
```

Die genaue Funktionsdokumentation ist in der Code-Dokumentation zu finden.

3.3.1.4 Vorhandene SSI Tags

3.3.1.4.1 Eingabe-Tags

Über Eingabe-Tags wird können Werte manipuliert werden.

3.3.1.4.1.1 IntegerInputField

Ein IntegerInputField dient zur Manipulation von ganzzahligen Werten. Es wird der aktuelle Wert in einem HTML-Eingabefeld angezeigt. Zusätzlich werden zu dem Feld noch Plus und Minus Buttons angezeigt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

SSI-Tag

```
<!--#IntegerInputField id=kurve label=Integer max=10 min=0 increment=1 -->
```

Parameter

- `id` → Verbindet das Eingabefeld mit einer Einstellung auf der Maschine, die Einstellung mit `id` wird per ComTask von der Maschine geladen und angezeigt
- `label` → Name, der beim Eingabefeld angezeigt wird
- `max` → Maximalwert; ganzzahlig
- `min` → Minimalwert; ganzzahlig
- `increment` → Schrittweite, um die der Wert beim drücke der Plus oder Minus Buttons erhöht, bzw erniedrigt wird

HTML-Darstellung



Abbildung 5:

Browserdarstellung

Integer Eingabefeld

3.3.1.4.1.2 FloatInputField

Ein FloatInputField dient zur Manipulation von Gleitkommawerten mit einer Nachkommastelle. Es wird der aktuelle Wert in einem HTML-Eingabefeld angezeigt. Zusätzlich werden zu dem Feld noch Plus und Minus Buttons angezeigt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

SSI-Tag

```
<!--#FloatInputField id=kurve label=Heizkurve max=2 min=1 increment=0.1 -->
```

Parameter

- `id` → Verbindet das Eingabefeld mit einer Einstellung auf der Maschine, die Einstellung mit `id` wird per ComTask von der Maschine geladen und angezeigt
- `label` → Name, der beim Eingabefeld angezeigt wird
- `max` → Maximalwert; Gleitkomma

- min → Minimalwert; Gleitkomma
- increment → Schrittweite, um die der Wert beim drücke der Plus oder Minus Buttons erhöht, bzw erniedrigt wird

HTML-Darstellung

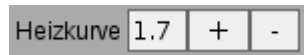


Abbildung 6:

Browserdarstellung

Gleitkommawert

Eingabefeld

3.3.1.4.1.3 SubmitInputField

Ein SubmitInputField dient zum Abspeichern der Werte. Es wird ein HTML-Button angezeigt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

SSI-Tag

```
<!--#SubmitInputField label=Speichern form_id=demo -->
```

Parameter

- label → Name, der beim Eingabefeld angezeigt wird
- form_id → id des Formulars, das gespeichert werden soll

HTML-Darstellung

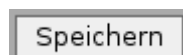


Abbildung 7:

Speichern

Button

3.3.1.4.1.4 CheckboxInputField

Ein CheckboxInputField dient zum Setzen von boolschen Werten (gesetzt oder nicht gesetzt). Es wird eine HTML-Checkbox angezeigt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

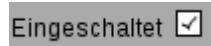
SSI-Tag

```
<!--#CheckBoxInputField id=running label=Eingeschaltet -->
```

Parameter

- `id` → Verbindet das Eingabefeld mit einer Einstellung auf der Maschine, die Einstellung mit `id` wird per ComTask von der Maschine geladen und angezeigt
- `label` → Name, der bei der Checkbox angezeigt wird

HTML-Darstellung



*Abbildung 8:
Browserdarstellung
ung Checkbox*

3.3.1.4.1.5 TimeInputField

Ein TimeInputField dient zur Manipulation von einem Zeitwert. Es werden zwei Eingabefelder (für Stunden und Minuten) angezeigt, dazu Plus- und Minus-Buttons.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

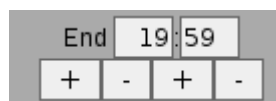
SSI-Tag

```
<!--#TimeInputField id=night label=Ende-->
```

Parameter

- `id` → Verbindet das Eingabefeld mit einer Einstellung auf der Maschine, die Einstellung mit `id` wird per ComTask von der Maschine geladen und angezeigt
- `label` → Name, der bei den Eingabefeldern angezeigt wird

HTML-Darstellung



*Abbildung 9:
Browserdarstellung
Zeiteingabefeld*

3.3.1.4.2 Ausgabe-Tags

Über Ausgabe-Tags können Informationen und Hyperlinks ausgegeben werden.

3.3.1.4.2.1 SavedParams

Gibt die Anzahl der erfolgreich gespeicherten Werte aus.

SSI-Tag

```
<!--#SavedParams -->
```

Parameter

Keine

HTML-Darstellung

A screenshot of a browser's status bar at the bottom, displaying the text "2 Parameter gesetzt" in a small, dark font.

Abbildung 10:

Browserdarstellung

Statusmeldung

3.3.1.4.2.2 Hyperlink

Ein Hyperlink dient zum Erstellen eines Verweises auf eine andere Bedienseite. Es wird ein HTML-Hyperlink erzeugt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

SSI-Tag

```
<!--#Hyperlink label=Menue value=/index.ssi-->
```

Parameter

- label → Name des Verweises
- value → URI der Zielseite

HTML-Darstellung

A screenshot of a browser window showing the word "Menue" in a large, serif font. The word is underlined, indicating it is a clickable link.

Abbildung 11: Link

3.3.1.4.2.3 Titel

Ein Titel dient zur Darstellung der Überschrift einer Bedienseite. Es wird ein HTML-Heading Element erzeugt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

SSI-Tag

```
<!--#Titel label=Temperaturen -->
```

Parameter

- label → Überschrift

HTML-Darstellung



Abbildung 12: Browserdarstellung

Titel

3.3.1.4.2.4 Group

Ein Group-Tag dient zum Gruppieren von anderen SSI-Tags mit Hilfe von Überschriften. Es wird ein HTML-Heading Element erzeugt.

Außerdem wird ein entsprechender Kommentar für den Embedded Client erzeugt.

SSI-Tag

```
<!--#Group label=Gruppe -->
```

Parameter

- label → Überschrift

HTML-Darstellung



Abbildung 13: Browserdarstellung

Gruppe

3.3.2 CGI

Die Kommunikation vom Benutzer zurück zur Maschine, also das Verändern von Einstellungen, wird über das **Common Gateway Interface (CGI)**³⁶ realisiert. CGI ist eine schon länger bestehende Variante, Webseiten dynamisch bzw. interaktiv zu machen, deren erste Überlegungen auf das Jahr 1993 zurückgehen.

Der LWIP Webserver unterstützt CGI in Form von C-Funktionen. Dazu muss eine Funktion mit folgender Signatur implementiert werden, die die übergebenen Parameter auswertet und eine Ergebnisseite liefert.

```
static char * SetCGIHandler(int iIndex, int iNumParams, char *pcParam[], char *pcValue[])
```

Diese Funktion muss mit eine URI verknüpft werden, damit der Webserver CGI Aufrufe erkennt und die entsprechende Funktion aufruft. Das „Mappen“ erfolgt über das Feld `g_psConfigCGIURIs`:

```
static const tCGI g_psConfigCGIURIs[] =  
{  
    { "/set.cgi", SetCGIHandler }, // CGI_INDEX_CONTROL  
};
```

3.3.2.1 Set.cgi

Set.cgi ist die CGI-Funktion, die bei LumWeb für das Auswerten der Änderungen zuständig ist. Über *set.cgi* können Werte auf der Maschine geändert werden. Dazu werden die Werte als GET-Parameter an die CGI-Funktion übergeben.

Beispielaufruf:

http://lumWebServer/set.cgi?id1=1&f_id2=

Unterstützte Datentypen

- **Integer**

³⁶ CGI ist ein Standard für den Datenaustausch zwischen einem Webserver und dritter Software, die Anfragen bearbeitet

Ganze Zahlen werden als *id=Zahl* übergeben

Beispiel: Wert von *id1* ist 1 → *id1=1*

- **Float (eine Nachkommastelle)**

Gleitkommazahlen werden als *f_id=Vorkommastelle.Nachkommastelle* übergeben. In der CGI Funktion der String in eine ganze Zahl umgewandelt, bevor der Wert an den ComTask gesendet wird, dazu wird der String in Vorkomma- und Nachkommastelle zerlegt, dann wird die Vorkommastelle mit 10 multipliziert und die Nachkommastelle addiert.

Beispiel: Wert von *id1* ist 1.1 → *f_id1=1.1* , an den ComTask wird 12 gesendet.

- **Zeit (Stunden:Minuten)**

Zeiten werden als *t_id1=stunden&t_id1=minuten* übertragen. In der CGI Funktion werden Stunden und Minuten als Minuten zusammengerechnet (Stunden * 60 + Minuten), bevor der Wert an den ComTask gesendet wird

Beispiel: Wert von *id1* ist 10:02 → *t_id1=10&t_id1=2*, an den ComTask wird 602 gesendet.

- **Boolean (Checkboxen)**

Gesetzte Checkboxen werden als *id=on* übertragen. In der CGI Funktion wird eine gesetzte Checkbox in den Integerwert 1 umgewandelt bevor der Wert an den ComTask gesendet wird.

Beispiel: gesetzte Checkbox *id1* → *id1=on* , an den ComTask wird 1 gesendet

3.3.3 Ablauf

3.3.3.1 Seitenaufruf

Client beantragt SSI Seite vom Server:

1. Benutzer stellt Anfrage an den HTTP Server
2. Datei von SD Karte einlesen
3. Datei nach SSI Tags und Parameter durchsuchen
4. SSI Tag Funktion am Server aufrufen
5. aktuelle Einstellungswerte vom ComTask laden
6. SSI Tag durch die aktuellen Werte ersetzen
7. fertige HTML Seite an Client senden

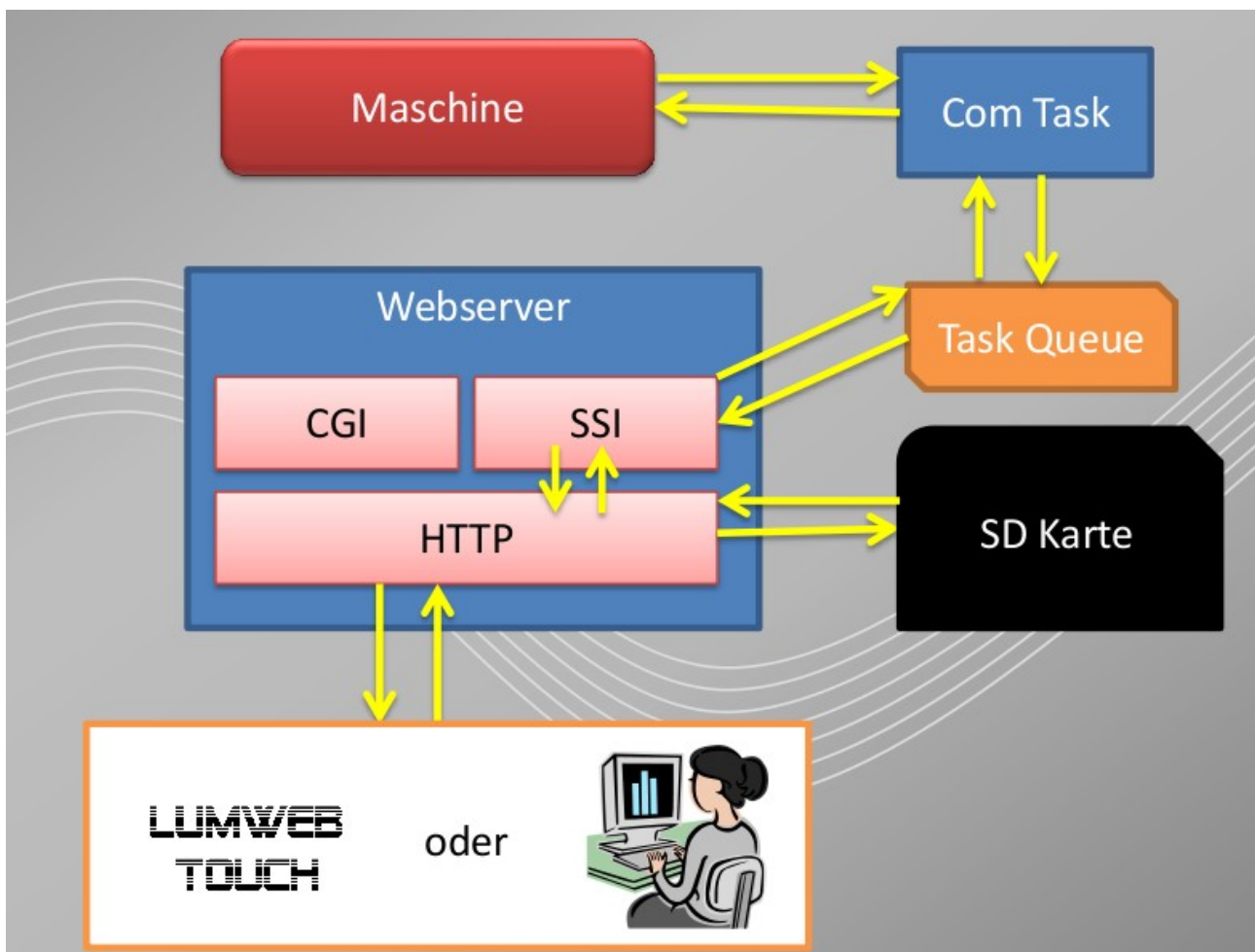


Abbildung 14: Ablauf Seitenaufbau mit Werte laden

3.3.3.2 Speichern von Werten

Client speichert Werte per Set.cgi -Client sendet GET Anfrage an set.cgi mit den zu speichernden Werten als GET Parameter

1. Benutzer stellt Anfrage an HTTP Server
2. Parameterstring wird vom der CGI Funktion verarbeitet und Überprüfung ob valide Werte übergeben wurden (nur Nummern gelten als Parameter)
3. Wert per ComTask setzen
4. Wert per ComTask zurücklesen (Kontrolle ob die Werte erfolgreich auf der Maschine gesetzt wurden)
5. Ergebnisseite zurücksenden wenn alle Parameter abgearbeitet sind

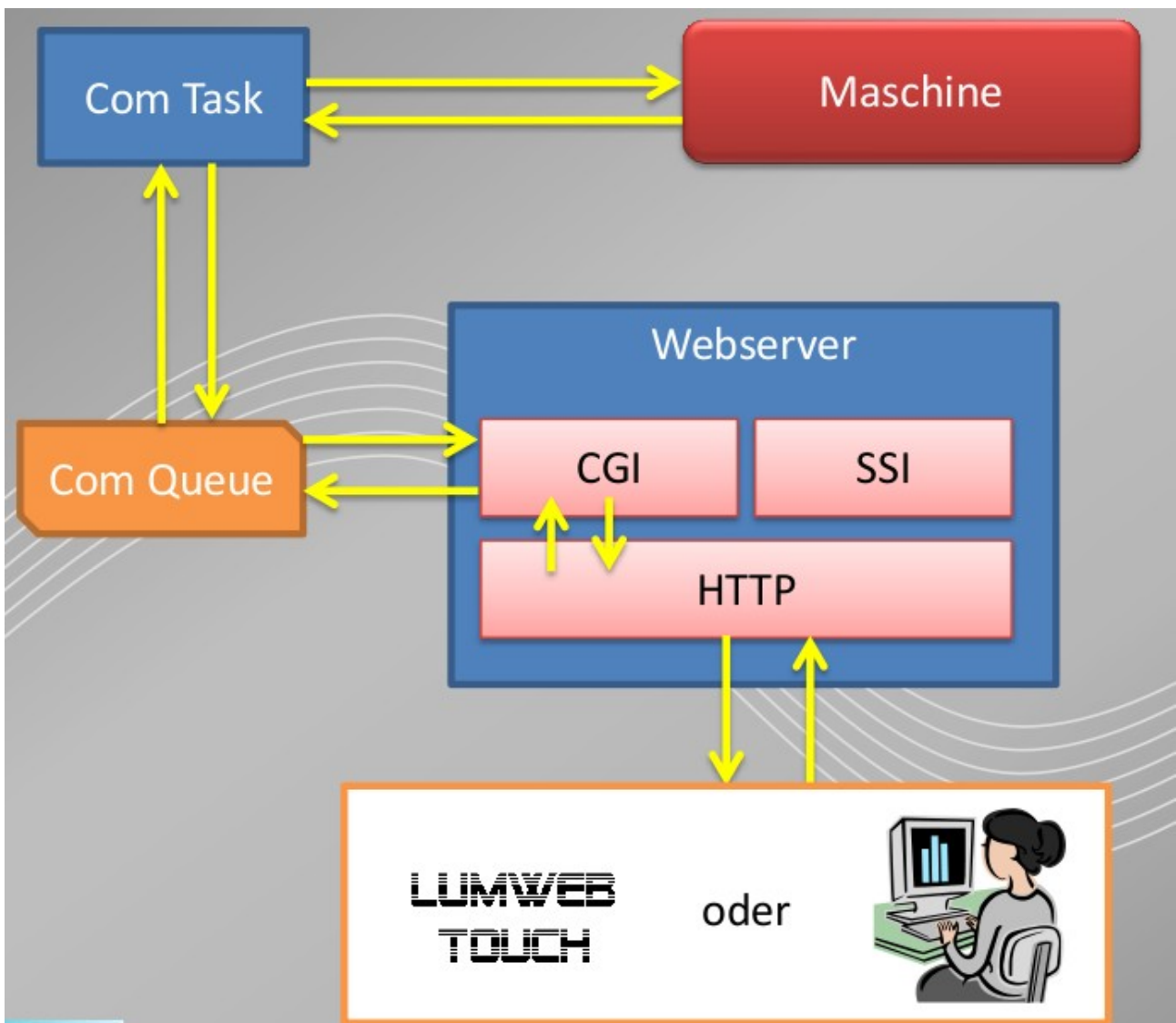


Abbildung 15: Ablauf Seiteninhalt zurücksenden an die Maschine

3.3.4 Erstellen einer Bedienseite

Das Layout der Seite im Browser wird in Form von Standard-HTML erzeugt. In dieses HTML-Dokument werden dann SSI-Tags zum Bearbeiten von Werten eingebettet. Die Bedienseite wird einmal definiert und kann vom Browser und vom Embedded-Client ausgewertet und dargestellt werden.

Diese Seiten müssen mit der Endung *.ssi* abgespeichert werden und im *httpd-fs* Ordner auf der SD Karte abgelegt werden.

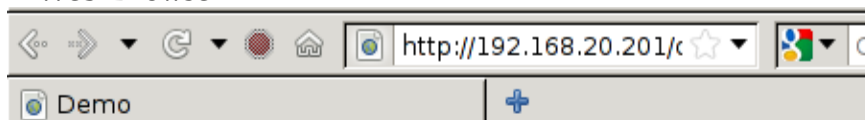
Folgende Bedienseite ermöglicht das Verändern eines Float-Werts (in diesem Beispiel eine Heizkurve) mit der Id *kurve* in dem Bereich von 1 bis 2. Zu der Eingabebox wird der Name *Heizkurve* ausgegeben. Erhöht wird der Wert um 0.1.

```
<html>
  <head>
    <title>Demo</title>
    <script type="text/javascript" language="javascript" src="js/funcs_c.js"></script>
  </head>
  <body>
    <div id="container">
      <center>
        <form method="get" action="set.cgi" name="demo" id="form-demo" onsubmit="return
submit_form(this)">
          <!--#Titel label=Demo --><br/>

          <!--#FloatInputField id=kurve name=Heizkurve min=1 max=2 increment=0.1 --><br/>

          <!--#SubmitInputField label=Speichern form_id=demo -->
        </form>
      </center>
    </div>
  </body>
</html>
```

Darstellung im Web-Browser



Demo

Heizkurve

Abbildung 16: Browserdarstellung einer Demoseite

Darstellung am Touch Client

3.3.5 Webclient

3.3.6 Interface

Das Interface des Webclients ist eine auf der Basis von Stellaris Graphic Library³⁷ erstellte Oberfläche für die Anzeige und Manipulation der Daten. Als Quelle für die Daten werden modifizierte HTML-Kommentare, hier im Dokument „Graphic Tags“ genannt, verwendet. Diese Kommentare werden durch das Parsen der SSI-Tags am Webserver erzeugt und in das HTML-Dokument eingebettet.

Der Aufbau bei den Graphic-Tags ist wie bei den SSI-Tags. Der Unterschied besteht nur darin, dass die Graphic Tags den Wert beinhalten, welcher zur Darstellung benötigt werden.

Der Aufbau eines Graphic Tags ist wie folgt:

```
<!--? befehl parametername1="wert" value="wert" -->
```

Für das Touch-Interface stehen also alle Tags zur Verfügung die für den Webserver vorhanden sind. Diese Tags müssen für eine ordnungsgemäße Funktion in der `uInterface/taglib/tags.c` Datei registriert werden. (siehe [3.3.3. Erstellen eines Tags](#))

3.3.6.1 Lifecycle der Grafik Objekte

Da die grafischen Objekte dynamisch geladen werden, gibt es auch einen speziellen Lifecycle. Dieser Lifecycle beginnt mit dem Laden der Menü-Seite vom Webserver und dem Speichern der Objekte in einer Liste (taglib-Funktion: **onLoad**). Ist diese Seite fertig geladen werden die ersten 5 Objekte angezeigt. Zur Darstellung wird die taglib-Funktion **onDisplay** aufgerufen.

Gibt es mehr als 5 Objekte, so erscheinen auf der Seite des Touchinterfaces die Buttons mit der Aufschrift „Up“ und „Down“. Mit diesen Buttons kann der Offset der 5 Objekte verändert werden, und somit auch Objekte, welche weiter hinten in der Liste gespeichert werden angezeigt werden. Bei jedem Scroll-Vorgang wird die jeweilige **onRender** Funktion des entsprechenden Objekts aufgerufen.

Bei diesem Scrollen wird auch der Speicher nicht benutzter Objekte freigegeben. Man muss dabei beachten, dass nur der Speicher der GUI freigegeben wird, nicht der Speicher des Objektes mit den Attributen.

Beim Auftreten einer Aktion wird die im Tag hinterlegte Funktion **onValueEdit** aufgerufen. Diese

³⁷ Luminary Graphic Library: http://www.luminarymicro.com/products/stellaris_graphics_library.html

muss jedoch selbst in der **onDisplay** Funktion festgelegt werden.

Wird ein Hyperlink-Tag gewählt auf dem Touchinterface, so wird das Laden einer neuen Seite angestoßen. Dabei werden dann die Objekte vollständig gelöscht. Alle Attribute in der Liste werden automatisch freigegeben. Wenn zusätzliche Variablen allokiert worden sind, so müssen diese mit der taglib-Funktion **onDelete** manuell verwaltet werden. **onDelete** wird automatisch beim löschen des Objektes aufgerufen.

Wird jedoch ein Objekt wie „IntegerInputField“ gewählt, so wird der entsprechende Editor zum Verarbeiten der Werte aufgerufen. Dabei werden aber die Objekte nicht freigegeben.

Nach dem Aufruf von **onDelete** ist der Lifecycle des Objektes beendet.

Achtung: Die Variable **userSpace** wird bei einer Änderung für alle Objekte des selben TAG-Typs übernommen. Sie ist für die Speicherung zusätzlicher Attribute gedacht.

3.3.6.2 Stellaris Graphic Library

Die Stellaris Graphic Library ist eine Sammlung an Widgets zum Darstellen Graphischer Objekte. Durch den Modulare und treiber basierten Aufbau, ist es möglich nur mit ändern des Graphik Treibers die Gesamte Oberfläche auf eine andere Displayhardware zu Portieren. Der Treiber ist zuständig für den Ablauf zum Zeichnen eines Pixels.

Der Modulare Aufbau mit den Widgets ist der zweite große Vorteil. Dadurch kann man mit sehr einfachen Mittel sehr schnell eine anspruchsvolle graphische Oberfläche erstellen. Die Widgets werden dabei in einer Baumstruktur eingehängt, die den Z-Index der Objekte festlegt.

Beispiele für Widgets sind:

- Buttons
- Checkboxes
- Slider
- Images
- Geometrische Figuren (CanvasWidget, Circle, ...)
- und viele mehr

Weiters beinhaltet die Stellaris Graphic Library auch die Unterstützung für die Touchscreen Einheit. Diese Touchscreen Funktionen werden mit dem Zeichnen eines Widgets sofort für selbiges aktiviert. Das heißt es ist nur mehr das wiederholende Aufrufen des Touchscreen-Handlers

erforderlich. Jedoch keine Abfrage über den aktuellen Stand des Touchscreens. Dies ist Aufgabe der Stellaris Graphic Library.

Aufruf der Zyklischen Touchscreen Aktionen:

```
while (1)
{
    //
    // Process any messages in the widget message queue.
    //
    WidgetMessageQueueProcess();
}
```

Die Informationen des Touchscreenes werden über einen Interrupt des ADC's in die WidgetMessageQueue geschrieben. Im obigen Beispiel wird der Aufruf des Message-Handlers demonstriert (WidgetMessageQueueProcess).

Ausschnitt aus der ISR-Tabelle in der startup.c Datei:

```
__attribute__((section(".isr_vector"))) void (* const g_pfnVectors[])(void) =
{
    (void(*) (void)) ((unsigned long) pulStack + sizeof(pulStack)),
    ... // für das Beispiel Irrelevante Einträge
    TouchScreenIntHandler, // ADC Sequence 3
    ... // für das Beispiel Irrelevante Einträge
}
```

3.4 ComTask

Der ComTask ist für die Kommunikation zwischen Maschine und Webserver zuständig. Dazu stellt er ein Interface zur Verfügung. Je nach Maschine und Verbindungsart (CAN, RS232) muss der ComTask modifiziert werden. Da während der Diplomarbeit noch kein Protokoll zur Kommunikation zur Verfügung gestanden ist, speichert der ComTask die Werte in Dateien auf der SD Karte anstatt mit einer Maschine zu kommunizieren. Diese Konfiguration dient aber ausschließlich Testzwecken.

3.4.1.1 Zugriff

Tasks greifen auf den ComTask über die Queue *xComQueue* zu. Dieser gibt die Antwort über *xHttpdQueue* an den Task zurück. Die Queues verwenden die Struktur *xComMessage* zum Nachrichtenaustausch. Nachdem ein Task eine Anfrage an ComTask geschickt hat, muss dieser Task pausiert werden (suspend). *XcomMessage* muss einen TaskHandler (taskToResume) enthalten, der auf den aktuellen Task (den Anfragenden) zeigt. Der ComTask verwendet diesen TaskHandler um den anfragenden Task wieder aufzuwecken, nachdem die Antwort in die *xHttpdQueue* enqueued wurde.

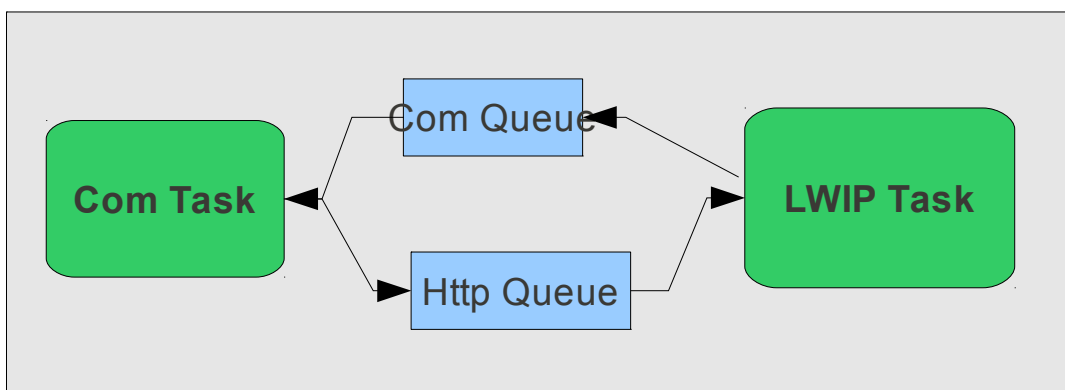


Abbildung 17: ComTask Zugriff

3.4.1.1.1 xComMessage

XcomMessage ist die Nachrichtenstruktur für die Kommunikation zwischen Com Task und LWIP Task.

```
typedef struct
{
    enum com_commands cmd; ///e.g. 'get', 'set'
    enum com_dataSource dataSource; /// e.g. 'conf', 'data'
    char *item; /// name of the selected item
    int value; /// value if a Item is set
    char *errorDesc; /// if not null, an error has occoured
    tBoolean freeItem; /// if true, free item in ComTask
    xQueueHandle from; /// address to return answer (name of the Queue)
    xTaskHandle taskToResume; /// If not null the specific task will be resumed
} xComMessage
```

Felder:

- *cmd* – Typ der Operation, entweder Wert setzen oder Wert auslesen
- *dataSource* – Datenquelle, zum Beispiel Konfigurationsdatei
- *item* – ID des Elements, das ausgelesen bzw verändert werden soll
- *value* – Wert des Elements
- *errorDesc* – Fehlercode, im Fehlerfall ist dieses Feld ungleich NULL
- *freeItem* – gibt an, ob der Speicher des Elements im Com Task freigegeben werden muss (True → Speicher des Elements wird im Com Task freigegeben)
- *from* – gibt an die Queue an, in die die Antwort zurückgegeben werden muss (Name der Queue)
- *taskToResume* – gibt an, welcher Task vom Com Task aufgeweckt werden muss

3.4.1.2 Beispiele

Anfrage vom Com Task an den LWIP Task:

```
xComMessage xCom_msg; // xComMessage Variable deklarieren
// Einstellungen treffen
xCom_msg.cmd = GET; // Element auslesen
xCom_msg.dataSource = DATA;
xCom_msg.from = xHttpdQueue;
```

```
xCom_msg.taskToResume = xLwipTaskHandle;  
xCom_msg.freeItem = pdFALSE;  
xCom_msg.item = id; // id des Elements angeben  
  
// Nachricht in xComQueue stellen  
xQueueSend(xComQueue, &xCom_msg, (portTickType) 0);
```

3.4.1.3 Kommunikation mit der Maschine

Der ComTask stellt zwei Funktionen zur Verfügung, in denen der Zugriff auf die spezielle Maschine implementiert werden muss, zum Beispiel über Can Bus oder RS232.

Folgende Methoden müssen implementiert werden:

- **int** sendToMachine(**char*** id, **int** value)
- **int** getFromMachine(**char*** id)

3.4.1.3.1 sendToMachine

Mit dieser Funktion wird ein Wert an die Maschine gesendet. Dazu wird die ID der Einstellung und der Wert der Einstellung übergeben. Diese Ids werden in den SSI Dateien (Interface) definiert. Die ID muss gegebenenfalls noch in eine für die Maschine verarbeitbare Form umgewandelt werden. Der Rückgabewert ist entweder:

- 0 → Wert erfolgreich gesendet
- ungleich 0 → Fehler beim Senden

3.4.1.3.2 getFromMachine

Diese Funktion liest eine Option von der Maschine und gibt den Wert zurück. Dazu wird der Funktion die ID der Option übergeben. Diese Ids werden in den SSI Dateien (Interface) definiert.

4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Blockschaltbild.....	13
Abbildung 2: Luminary Developmentkit (LM3S9B96).....	14
Abbildung 3: Schematischer Aufbau.....	30
Abbildung 4: Intertaskkommunikation.....	31
Abbildung 5: Browserdarstellung Integer Eingabefeld.....	40
Abbildung 6: Browserdarstellung Gleitkommawert Eingabefeld.....	41
Abbildung 7: Speichern Button.....	41
Abbildung 8: Browserdarstellung Checkbox.....	42
Abbildung 9: Browserdarstellung Zeiteingabefeld.....	42
Abbildung 10: Browserdarstellung Statusmeldung.....	43
Abbildung 11: Link.....	43
Abbildung 12: Browserdarstellung Titel.....	44
Abbildung 13: Browserdarstellung Gruppe.....	44
Abbildung 14: Ablauf Seitenaufbau mit Werte laden.....	47
Abbildung 15: Ablauf Seiteninhalt zurücksenden an die Maschine.....	48
Abbildung 16: Browserdarstellung einer Demoseite.....	49
Abbildung 17: ComTask Zugriff.....	54

5 Anhang

- Anhang A: Stellaris® Peripheral Driver Library – User Guide