



**Hochschule für Technik  
und Wirtschaft Berlin**

*University of Applied Sciences*

Fachbereich: Ingenieurwissenschaften –  
Energie und Information  
Studiengang: Computer Engineering

# Bachelorarbeit

Entwicklung eines vollautomatisierten Embedded-Linux-Systems  
zur Ansteuerung und Auswertung eines Langzeittests

*zur Erlangung des akademischen Grades*

**Bachelor of Engineering**

von

Tim Nieter

05. Januar 2015 – 16. März 2015

**- Nicht öffentlich -**

Erstbetreuer: Prof. Dr. F. Bauernöppel

Zweitbetreuer: G. Schoel

Eingereicht am: 16. März 2015

# Eidesstattliche Erklärung

Tim Nieter  
Rudower Straße 95  
12351 Berlin

Hiermit versichere ich, dass ich die von mir vorgelegte Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen und Abbildungen –, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

Berlin, den 16. März 2015

Tim Nieter

---

(Unterschrift)

# Sperrvermerk

Die nachfolgende Bachelorarbeit mit dem Titel „Entwicklung eines vollautomatisierten Embedded-Linux-Systems zur Ansteuerung und Auswertung eines Langzeittests“ enthält vertrauliche Daten der Pepperl+Fuchs GmbH. Veröffentlichungen oder Vervielfältigungen der Arbeit – auch nur auszugsweise – sind ohne ausdrückliche Genehmigung der Pepperl+Fuchs GmbH nicht gestattet. Die Arbeit ist lediglich den Korrektoren sowie den Mitgliedern der Prüfungskommission zugänglich zu machen.

# Vorwort

**D**ie Netze sind in einer vernetzten Welt von netzartiger Bedeutung. Ohne Netze ist

Die vorliegende Arbeit ist auf Basis des Latex-Templates zu [1] erstellt worden.

[1] T. Gockel. Form der wissenschaftlichen Ausarbeitung. Springer-Verlag, Heidelberg, 2008. Begleitende Materialien unter <http://www.formbuch.de>.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	1
<b>2 Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1 Degradation . . . . .	2
2.2 Qt . . . . .	2
2.3 Datenbank . . . . .	4
<b>3 Anforderungsanalyse</b>	<b>5</b>
3.1 Szenario . . . . .	5
3.2 Anforderungen . . . . .	6
<b>4 Konzept</b>	<b>9</b>
4.1 Teststand . . . . .	9
4.1.1 Mess-Client . . . . .	11
4.1.2 Mess-Server . . . . .	11
4.1.3 PC-Client . . . . .	11
4.1.4 RS232 Protokoll . . . . .	11
4.2 Datenbank . . . . .	12
<b>5 Testen und Validieren</b>	<b>14</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>i</b>

# Abbildungsverzeichnis

2.2.1	QtCreator Version 2.0.1 . . . . .	3
3.1.1	Szenario . . . . .	5
4.1.1	Gesamt System . . . . .	10
4.2.1	Entity Relationship Modell . . . . .	12

# Tabellenverzeichnis

3.2.1	Intervalle . . . . .	6
3.2.2	Anforderungen . . . . .	8
4.2.1	Tabelle Setting . . . . .	13

# Abkürzungsverzeichnis

<b>SQL</b>	Structured Query Language .....	4
<b>ERM</b>	Entity-Relationship-Modell .....	12
<b>DUT</b>	Device Under Test .....	6
<b>GUI</b>	Graphical User Interface .....	2
<b>IDE</b>	Integrated Developement Environment .....	2
<b>SDK</b>	Software Developement Kit .....	2
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode .....	5





# 1 Einleitung

In diesem ersten Kapitel wird auf die Motivationen und die Zielsetzung dieser Arbeit eingegangen.

## 1.1 Motivation

Wann immer Systeme in der realen Welt eingesetzt werden, sollen sie so zuverlässig, fehlerfrei und vorhersehbar wie möglich arbeiten. Gerade wenn diese Systeme an kritischen Punkten zum Einsatz kommen und über lange Zeiträume agieren, sind diese Eigenschaften besonders wichtig.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, müssen alle Bauelemente eines solchen Systems diese Vorgaben erfüllen, denn die Zuverlässigkeit ist immer abhängig vom schwächsten Glied. Bei der Entwicklung eines Systems ist es somit entscheidend, alle Bauelemente vorher anhand der gegebenen Umstände zu qualifizieren. Dafür müssen die Grenzen ausgelotet werden, in denen sie zuverlässig betrieben werden können.

Eine dieser Grenzen ist die altersbedingte Änderung der Betriebsparameter, die sogenannte Degradation. Um das Degradationsverhalten eines Bauelementes bestimmen zu können, muss es über lange Zeiträume unter erschwerten Bedingungen betrieben und ausgewertet. Nur wenn ein Bauelement ein für die Anwendung akzeptables Degradationsverhalten aufweist, ist es für den Einsatz im Gesamtsystem geeignet.

Da ein hoher Einsatz von Ressourcen nötig ist, um jedes Bauelement individuell zu Prüfen, existieren automatisierte Teststände mit deren Hilfe der Aufwand minimiert werden soll.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

## 2 Grundlagen

Bei der Entwicklung des Teststandes kommen verschiedene Systeme, Schnittstellen und Konzepte zum Einsatz. Dieses Kapitel befasst sich mit der C++ Klassenbibliothek Qt und der RS232 Schnittstelle. Des Weiteren wird auf das Konzept einer Datenbank und den Vergleich der beiden Datenbanksysteme MySQL und SQLite eingegangen.

### 2.1 Degradation

Der Hauptgrund für mechanisches Versagen im Lebenszyklus eines Systems oder Bauelementes, liegt an der langsamen Ansammlung von nicht reversiblen Schäden. Dieser Prozess ist bekannt als Degradation, vgl. [ZSG11]:1586.

Die Schwierigkeit liegt in der Feststellung des mechanischen Versagen in messbaren Schritten. So ist die Bestimmung der Lebenszeit über die Zeit bis zum Ausfall zeitaufwändig. Einfacher ist es die Leistung des Bauelementes oder Systems zu erfassen, z.B. die optische Leistung einer LED. Auf diesem Weg kann ein Trend ausgemacht werden.

Um die Länge des Lebenszyklus eines Bauelementes bestimmen zu können, wird die Leistung dessen unter Last über einen langen Zeitraum hinweg aufgezeichnet. Anhand der daraus resultierenden Daten kann die zu erwartende Länge des Lebenszyklus ermittelt werden.

### 2.2 Qt

Qt ist eine umfangreiche C++-Klassenbibliothek zur Gestaltung und Entwicklung von Anwendungen. Vor allem bei Applikationen mit grafischen Benutzeroberflächen (englisch: Graphical User Interface (GUI)) ist Qt sehr beliebt.

Zusätzlich bringt Qt eine große Auswahl an Tools und Modulen mit sich, welche die Programmierung erheblich erleichtern (z.B. Netzwerkprogrammierung, Datenbankansbindung, OpenGL, etc.). Ein weiterer Vorteil ist die Plattformunabhängigkeit. So unterstützt Qt aktuell (Version 5.4, 10. Dezember 2014) einen Großteil der aktuellen Betriebssysteme wie Windows, Linux, Android, iOS und einige mehr.

Als Entwicklungsumgebung (englisch: Integrated Development Environment (IDE)) dient der Qt Creator (siehe Abbildung 2.2.1), welcher Teil des Software Development Kit (SDK) von Qt

ist und sowohl auf Linux, Windows als auch Mac OS X zur Verfügung steht. Er kommt mit einem Debugger, einem integrierten grafischen GUI Designer und einem Texteditor mit Funktionen wie Syntax-Hervorhebung und automatischer Vervollständigung.

Dabei kommen gängigen Compiler wie MinGW unter Windows zum Einsatz und es besteht die Möglichkeit eigene Toolchains anzulegen.

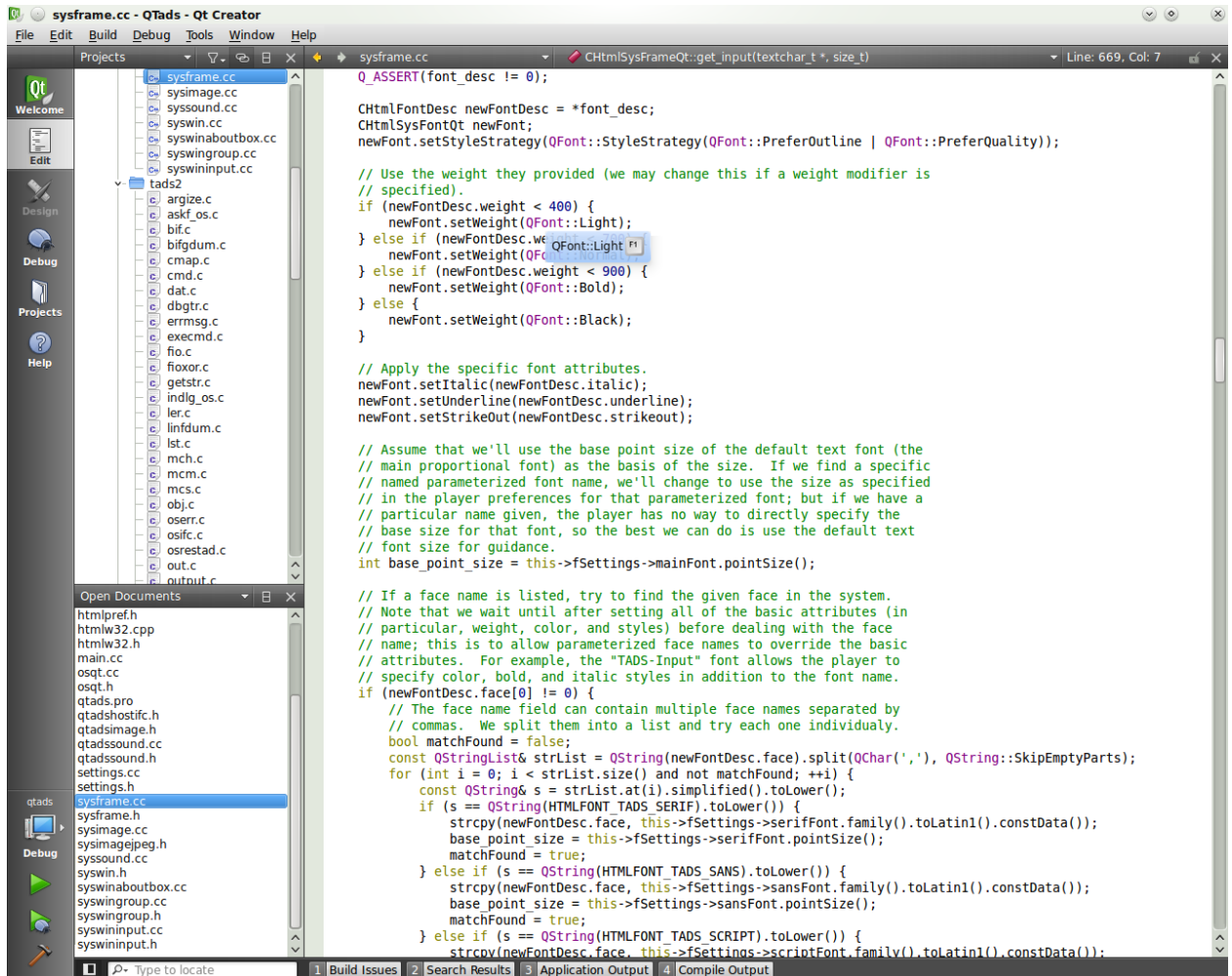


Abb. 2.2.1: QtCreator Version 2.0.1

## 2.3 Datenbank

Für das Speichern der Messdaten und Betriebsparameter wird eine Structured Query Language (SQL) Datenbank verwendet. Bei der Wahl des Datenbankverwaltungssystems, standen mehrere Optionen zur Auswahl und die Entscheidung wurde zwischen SQLite und MySQL gefällt. Beide System haben ihre Vor- und Nachteile.

**SQLite** ist ein SQL Datenbankverwaltungssystem, welches ohne einen Server auskommt und operiert stattdessen in einer einzigen Datei. Es wird vor allem im Embedded Bereich eingesetzt, da kaum Konfigurationen oder Verwaltung notwendig ist. Deshalb eignet es sich ausgezeichnet für sich schnell weiterentwickelnde Applikationen.

Aufgrund dieser Eigenschaften existieren allerdings auch Nachteile. So unterstützt SQLite nur eingeschränkt mehrere Nutzer gleichzeitig. Da das gesamte Datenbanksystem in einer einzigen Datei zusammengefasst ist, können mehrere zur selben Zeit durchgeführte Schreibzugriffe nicht unterstützt werden. Denn die einzige Sicherstellung der Datenintegrität erfolgt durch das Betriebssystem.

Des Weiteren ist SQLite aufgrund des Ein-Datei-Systems nur eingeschränkt skalierbar. Bei einer größeren Datenmenge oder erhöhten Anzahl an Zugriffen ist es nicht möglich diese Datei auf mehrere Systeme zu separieren, um somit die Last gleichmäßig zu verteilen.

**MySQL** ist ein weiteres SQL Datenbankverwaltungssystem, welches allerdings auf einer Serverarchitektur beruht. Es ermöglicht die Verwaltung von Nutzern und Rechte. Außerdem ist das System gut hinsichtlich Performance und Größe zu skalieren. Zusätzlich bietet MySQL viele Möglichkeiten für Performanceanpassungen, wie z.B. Query-Caching.

Jedoch gibt es auch hier Nachteile. So ist die Konfiguration wesentlich schwerer und komplexer. Durch die Notwendigkeit eines Servers benötigt MySQL mehr Ressourcen auf dem Host-System.

Die Wahl fällt auf das relationale Datenbankverwaltungssystem MySQL. Auch wenn SQLite einige Vorteile vor allem im Embedded Bereich besitzt, ist die fehlende Unterstützen von mehreren Nutzern gleichzeitig ein Ausschlusskriterium.

[SSH10]

## 3 Anforderungsanalyse

Das Ziel dieser Arbeit ist es, einen Teststand entwickeln, der über die Messung der Degradation von optoelektronischen Sendern. Dadurch soll eine Qualifizierung der Bauelemente erfolgen. In diesem Kapitel wird zunächst das Szenario näher beschrieben und anschließend die sich daraus entwickelnden Anforderungen definiert.

### 3.1 Szenario

Ein Unternehmen stellt verschiedene optoelektronischen Sensoren her. Zur Sicherstellung der Zuverlässigkeit der verwendeten Light-Emitting Diodes (LEDs) sollen diese mittels eines automatisierten Teststandes bezüglich ihres Degradationsverhaltens qualifiziert werden.

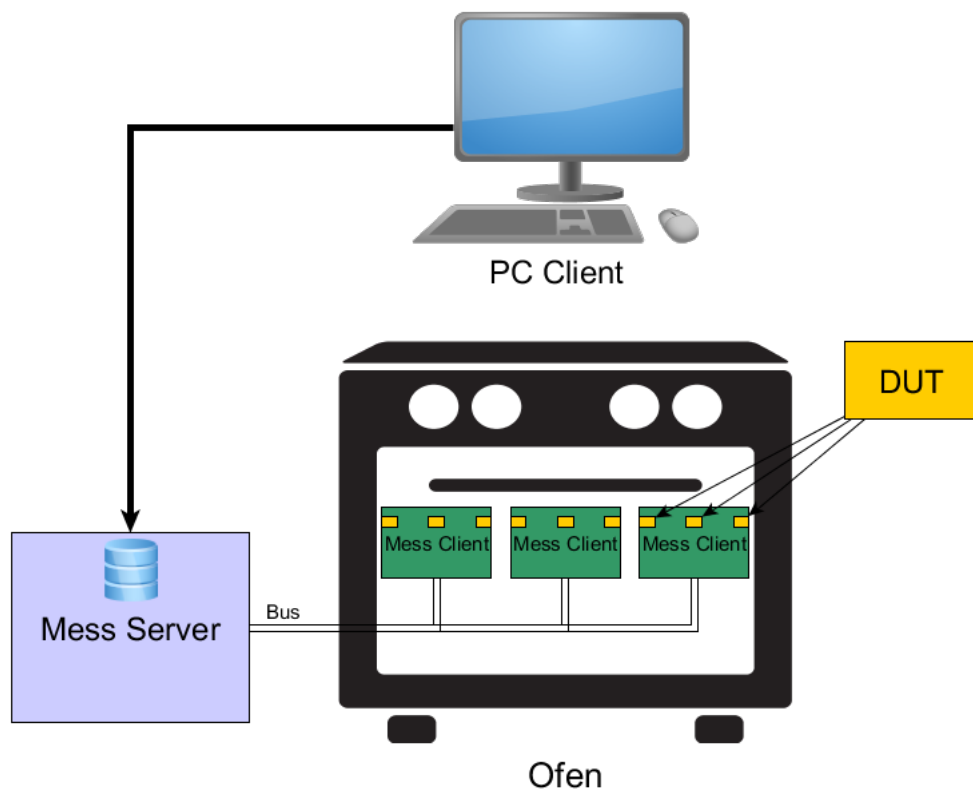


Abb. 3.1.1: Szenario

Der Teststand hat den in Abbildung 3.1.1 zu sehenden Aufbau. In einem Ofen befinden sich mehrere Mess-Clients. An diesen Mess-Clients sind jeweils 64 Devices Under Test (DUTs) fest angeschlossen, bei denen das Degradationsverhalten aufgezeichnet werden soll. Die Mess-Clients sind über einen Bus mit dem Mess-Server verbunden, welcher alle anfallenden Daten speichert. Von einem PC-Client wird dann auf den Mess-Server zugegriffen um die Daten abzugreifen und grafisch auszuwerten.

## 3.2 Anforderungen

Folgende Anforderungen werden dabei an das System gestellt:

- Individuelle Parametrierung der DUTs
- Automatische Erfassung der Messdaten
- Fernzugriff auf den Mess-Server

### Individuelle Parametrierung der DUTs

Immer 64 DUTs befinden sich auf einem Mess-Client. Dabei sollen verschiedene Parameter für die DUTs berücksichtigt werden. Zum einen sollen die Intervalle in denen Messwerte aufgenommen werden konfigurierbar sein. Dies soll in mindestens 3 verschiedenen Intervallen möglich sein.

Beispiel:

Zeitraum	Zeit zwischen Messungen
1. Woche	12 Stunden
2. bis 4. Woche	2 Tage
ab 5. Woche	7 Tage

**Tab. 3.2.1:** Intervalle

Des Weiteren soll für jeden Mess-Client ein Pulsepattern definierbar sein. Dieses Pulsepattern wird dann als Versorgungssignal für die DUTs verwendet.

### Automatische Erfassung der Messdaten

Die Messdaten der DUTs sollen zyklisch erfasst werden. Es soll die derzeitige Temperatur im Ofen, der gemessene Wert des Sensors und ein Zeitstempel gespeichert werden. Dabei sollen, wie bereits erwähnt, die Intervalle zwischen den Messungen konfigurierbar sein.

Für den einfachen und effizienten Zugriff auf die Daten, sollen diese in einer SQL Datenbank abgelegt werden. Dafür ist eine Kommunikationsschnittstelle zwischen der Datenbank und den Mess-Clients erforderlich, welcher über den Mess-Server realisiert werden soll.

**Fernzugriff auf den Mess-Server**

Zur Auswertung der Messdaten, soll es möglich sein, von einem PC-Arbeitsplatz aus eine Verbindung zu dem Mess-Server aufzubauen. Die Messdaten sollen dann grafisch auf dem PC-Client zur Auswertung aufbereitet werden. Auch soll ein Tunnelmodus direkten Zugriff von einem PC-Client auf einem Mess-Client ermöglichen. Dabei sollen die Parameter des Mess-Clients verändert werden können.

Diese Basis-Anforderungen und einige zusätzliche Anforderungen können wie in Tabelle 3.2.2 in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen unterteilt werden.



Art	Anforderung	Kommentar
Nicht-Funktional	Das System soll jederzeit verfügbar sein.	Bei Fehlern soll das System ohne große Ausfallzeit wieder Einsatzbereit sein. Zuverlässigkeit ist sehr wichtig.
Nicht-Funktional	Das Benutzerinterface soll zeitnah auf Anfragen reagieren.	Um Benutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, soll auf Nutzeranfragen ohne lange Wartezeiten reagiert werden.
Funktional	Das System soll das Degradationsverhalten eines DUT aufnehmen	Hauptanforderung des Systems. Messdaten sollen zu einem DUT gesammelt werden, um den Grad der Degradation bestimmen zu können.
Funktional	Neue Mess-Clients sollen am PC-Client parametrierbar sein.	Parameter sollen auf dem Mess-Client und in einer Datenbank gespeichert werden.
Funktional	Neue bereits parametrierte Mess-Clients sollen automatisch in das System integrierbar sein.	Ein parametrierter Mess-Client kann direkt an den Bus im Ofen angeschlossen werden.
Funktional	Zyklische Erfassung von Messdaten.	Intervalle der Messdatenerfassung sind konfigurierbar.
Funktional	Messdaten sollen grafisch dargestellt werden.	Um die Daten auswerten zu können sollen sie grafisch aufbereitet werden.
Funktional	Die Messdaten sollen in einer Datenbank abgelegt werden.	Zum einfachen und effizienten Zugriff auf die Daten.
Funktional	Die Messdaten sollen via Fernzugriff erreichbar sein.	Von einem PC-Client aus, soll auf die Daten im lokalen Netzwerk zugegriffen werden können.
Funktional	Der Status des Systems soll ablesbar sein.	Über eine Anzeige soll das System lokal überwacht werden können.
Funktional	Nutzer Fehler sollen abgefangen werden.	Fehler bei der Bedienung durch den Nutzer sollen unterbunden werden.

**Tab. 3.2.2:** Anforderungen

# 4 Konzept

Im folgenden Kapitel wird auf die Erstellung des Konzeptes eingegangen.

## 4.1 Teststand

Das Gesamtsystem setzt sich aus drei Untersystemen zusammen:

- Mess-Client
  - Übernimmt die lokale Ansteuerung der DUTs
  - Nimmt Messdaten auf und stellt sie zur Verfügung
- Mess-Server
  - Verwaltet angeschlossene Mess-Clients
  - Speichert alle Messdaten
  - Bildet das Bindeglied zwischen Mess-Client und dem PC-Client
- PC-Client
  - Parametriert die Mess-Clients
  - Wertet Messdaten aus und stellt sie leserlich da

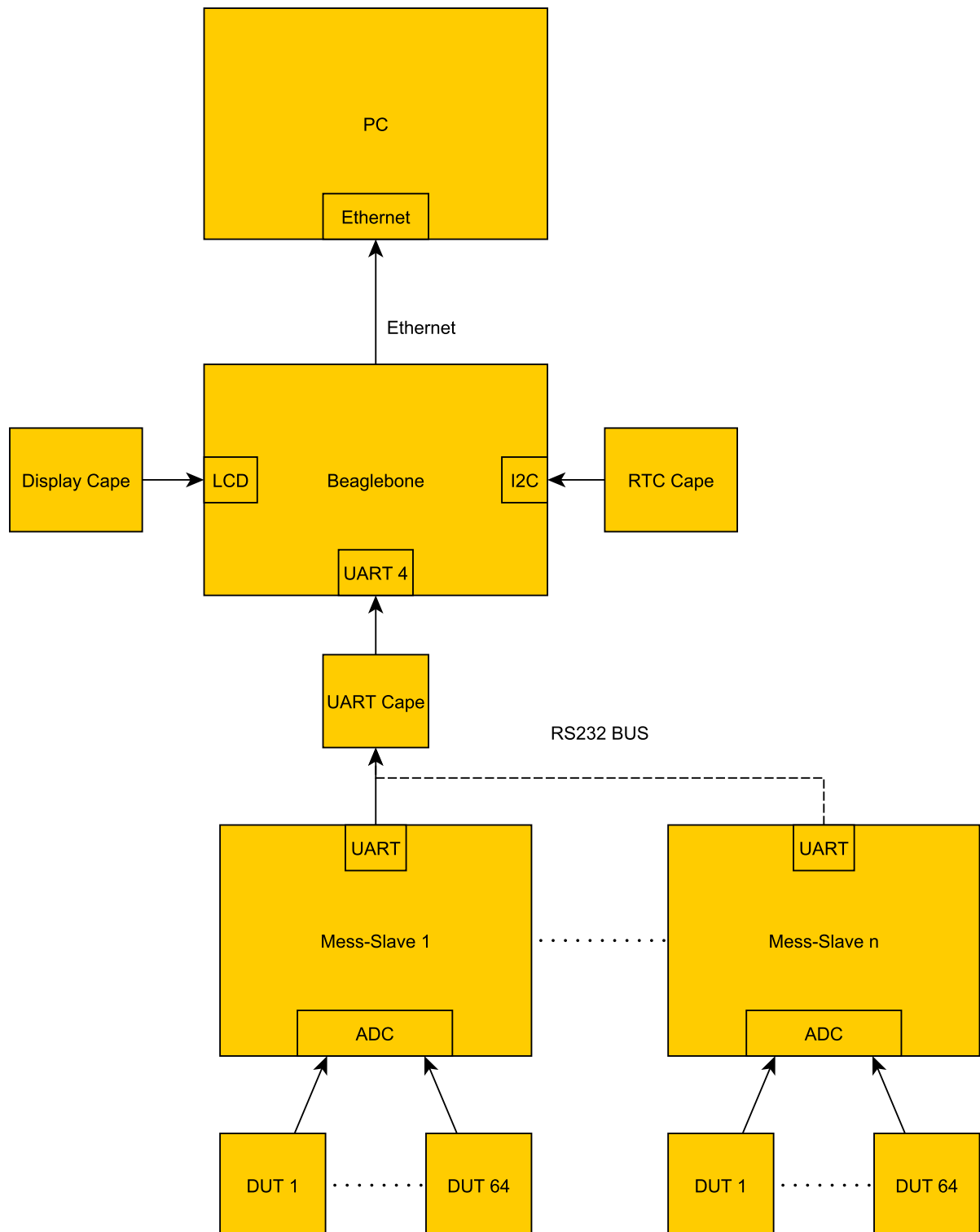


Abb. 4.1.1: Gesamt System

### 4.1.1 Mess-Client

Das Herzstück des Mess-Clients bildet ein STM8 8-Bit Mikrocontroller der Firma STMicroelectronics. Auf jedem Mess-Client sind 64 DUTs befestigt. In zyklischen Abständen werden die Messdaten der Prüfobjekte aufgenommen und über eine RS232-Schnittstelle zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung ??).

Dieses System war zum großen Teil bereits gegeben, so dass lediglich die Übertragung der RS232 Schnittstelle geregelt werden musste. Dazu wurde ein Protokoll für die Kommunikation entworfen (siehe Abschnitt 4.1.4).

### 4.1.2 Mess-Server

Als Mess-Server wird ein BeagleBone Black von Texas Instruments eingesetzt. Dabei handelt es sich um einen Einplatinen-Computer, der mit einem AM335x 1GHz ARM® Cortex-A8 Prozessor arbeitet. Das Betriebssystem ist eine Embedded Linux Debian Lösung.

### 4.1.3 PC-Client

asdasad

### 4.1.4 RS232 Protokoll

Das Protokoll für die Kommunikation über die RS232 Schnittstelle ist nötig, um die Validität, Vollständigkeit und Zuverlässigkeit der Übertragungen sicherzustellen.

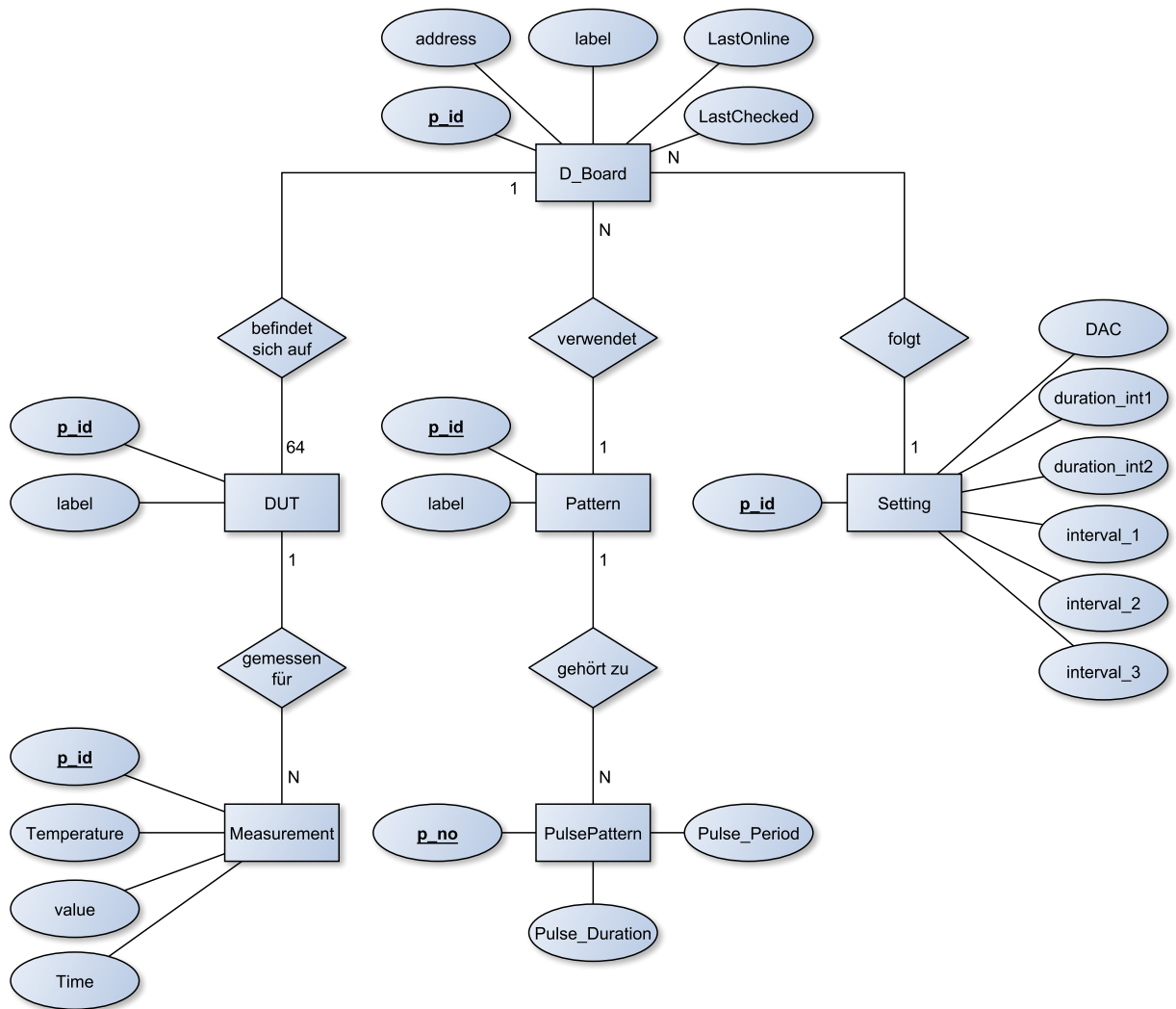
Folgende Kriterien sollen dabei gegeben sein:

- Adressierung individueller Kommunikationspartner
- Senden verschiedener Befehle
- Variable Größe der Daten
- Sicherstellung der Validität des Rahmens

Daraus ergibt sich folgendes Protokoll.

## 4.2 Datenbank

Aus den Anforderungen ergibt sich folgendes Entity-Relationship-Modell (ERM) (siehe Abbildung 4.2.1).



**Abb. 4.2.1:** Entity Relationship Modell

Die Datenbank muss folgende Daten für die Parameter der Mess-Clients aufnehmen:

Parameter	Beschreibung
DAC	Vorverstärkung
duration_int1	Dauer der Zeit die Werte im 1.Interval aufgenommen werden in Tagen
duration_int2	Dauer der Zeit die Werte im 2.Interval aufgenommen werden in Tagen
interval_1	Abstand zwischen den Messungen im 1. Interval in Minuten
interval_2	Abstand zwischen den Messungen im 2. Interval in Minuten
interval_3	Abstand zwischen den Messungen nach dem 2. Interval in Minuten

**Tab. 4.2.1:** Tabelle Setting

## 5 Testen und Validieren

TEST TEST 123

# Literaturverzeichnis

- [SSH10] SAAKE, G. ; SATTLER, K.U. ; HEUER, A.: *Datenbanken: Konzepte und Sprachen*. mitp, 2010 (Biber-Buch). – ISBN 9783826690570
- [ZSG11] ZHOU, Rensheng R. ; SERBAN, Nicoleta ; GEBRAEEL, Nagi: Degradation modeling applied to residual lifetime prediction using functional data analysis. In: *Ann. Appl. Stat.* 5 (2011), 06, Nr. 2B, 1586–1610. <http://dx.doi.org/10.1214/10-AOAS448>. – DOI 10.1214/10-AOAS448



