

Entwicklung einer Hardware-Health-Monitoring Lösung für Pepperl+Fuchs
HMI Systeme

Bachelorarbeit

des Studienganges Elektrotechnik
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mannheim

von
Vitali Mostowoj

018.09.2023

Bearbeitungszeitraum:	12 Wochen
Matrikelnummer, Kurs:	9960312, Tel20 At1
Ausbildungsfirma, Abteilung:	Pepperl + Fuchs SE, HMI
Standort:	Lilienthalstraße 200, 68307 Mannheim
Betreuer der Ausbildungsfirma:	Dr. Marc Seissler
Gutachter der Dualen Hochschule:	Prof. Dr. Joachim Priesnitz

Unterschrift (Betreuer)

Todo list

Sperrvermerk

„Der Inhalt dieser Arbeit darf weder als Ganzes noch in Auszügen Personen außerhalb des Prüfungsprozesses und des Evaluationsverfahrens zugänglich gemacht werden, sofern keine anders lautende Genehmigung des Dualen Partners vorliegt.“ [Ende der Sperrfrist: 31.12.2222]

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Thema: Entwicklung einer Hardware-Health-Monitoring Lösung für Pepperl+Fuchs HMI Systeme selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Ort, Datum

Unterschrift

Abstract

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
1.1 Pepperl + Fuchs / HMI	1
1.2 Intention und Ziel der Arbeit	2
1.3 Anforderungen	3
2 Stand der Technik	5
2.1 Vergleich von Computer Monitoring Software auf dem Markt	5
2.1.1 Computer Monitoring Software	5
2.1.2 HwiNFO	5
2.2 Produktfamilie VisuNet	6
2.2.1 VisuNet FLX & GXP	6
2.2.2 VisuNet RM Shell & Control Center	6
2.3 Software Design Konzepte	7
2.3.1 Adapter Pattern	7
2.3.2 Strategie Design Pattern	8
2.4 Datenbanken	10
2.4.1 SQL - Structured Query Language	10
2.4.2 SQLite Embedded Datenbank	11
2.5 MTBF und Reliability	12
3 Architektur Konzept	14
3.1 Datenerfassung	15
3.1.1 Entwurf einer Architektur zum Auslesen der Systemhardware	15

3.1.2	Entwurf eines Datenbankmodells zum Speichern der Messwerte . . .	15
3.2	Datenverarbeitung	15
3.2.1	Health Status Definition	15
3.2.2	Ermittlung des Health Status	15
3.2.3	Ermittlung der Systemstatus Historie	15
3.2.4	Ermittlung der Systemzuverlässigkeit	15
3.3	Dashboard	15
3.3.1	Bereitstellung der Daten	15
3.3.2	Konzeptentwurf zur Datenvisualisierung	15
3.4	Entwurf eines Task Scheduling Verfahrens	15
4	Prototypische Implementierung	16
4.1	Implementierung des Taskschedulers	17
4.2	Implementierung einer Plattform unabhängigen Datenerfassung	17
4.2.1	Umsetzung der Hardware Services	17
4.2.2	Umsetzung der Datenbank Services	17
4.2.3	Umsetzung der Strategien zur Datenerfassung	17
4.3	Implementierung der Datenverarbeitung	17
4.3.1	Implementierung der Algorithmen zur Health Status Erfassung . . .	17
4.4	Implementierung der Datenvisualisierung	17
4.4.1	Implementierung der API	17
4.4.2	Aufbau eines Dashboards	17
5	Ausblick	18
	Literaturverzeichnis	I

Abbildungsverzeichnis

1.1	Standorte der Pepperl+Fuchs SE	1
2.1	Pepperl+Fuchs VisuNet FLX	6
2.2	Adapter Pattern Struktur [1]	8
2.3	Strategie Pattern Struktur [1]	8
2.4	Volumen der weltweit generierten Daten bis 2027 [3]	10
2.5	SQL Befehls Kategorien [4]	10
2.6	Bathtub Curve [9]	12

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

P+F Pepperl+Fuchs

MTBF Mean Time Between Failures

HMI Human-Machine-Interface

SQL Structured Query Language

SEQUEL Structured English Query Language

1 Einleitung

Im folgenden Kapitel wird die Grundlage für die vorliegende Bachelorarbeit geschaffen. Hierbei werden die Motivation und das Ziel der Arbeit erläutert, um einen klaren Überblick über den Themenkontext zu bieten. Desweiteren werden die Anforderungen an das System gestellt.

1.1 Pepperl + Fuchs / HMI

Die Pepperl+Fuchs (P+F) wurde 1945 von Walter Pepperl und Ludwig Fuchs gegründet. Anfangs war sie eine Radioreparaturwerkstatt, welche sich erst nach der Entwicklung eines eigenen Näherungsschalters so wie eines eigensicheren Transistorverstärkers auf das Gebiet der Elektronik ausweitete. Inzwischen entwickelt, produziert und vertreibt P+F Baugruppen und Sensoren für den Automatisierungsmarkt.



Abbildung 1.1: Standorte der Pepperl+Fuchs SE

Im Bereich der Prozessautomation ist P+F führender Hersteller industrieller Sicherheitsausstattungen. Das Produktportfolio umfasst eine Reihe von industrieller Computer Systeme, welche zur Überwachung und Steuerung von Prozessen in Explosionsgefährdeten Bereichen genutzt werden. Die Human-Machine-Interface (HMI) Abteilung beschäftigt sich mit der Entwicklung dieser Systeme, welche eine Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine bilden. Da es eine Vielzahl an Anwendungen für HMI Systeme im Explosionsgefährdeten Bereichen gibt, wurde die Produktfamilie *VisuNet* speziell für den Einsatz in diesen Zonen konzipiert. Solche Ex-Zonen sind überall da zu finden, wo Explosionsgefährliche Stoffe gelagert oder gehandhabt werden. In diesen Zonen kann durch Gas oder Staub, eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen. Zudem kommen auch Umwelttechnische Einflüsse wie Sonne, Nässe, Hitze und Kälte, aber auch Einflüsse welche beispielsweise durch die Reinigung mit aggressiven Chemikalien entstehen, hinzu. Um in einer solchen Computerfeindlichen Umgebung dennoch ein Prozessleitsystem zu integrieren, setzte P+F mit den *VisuNet* Remote Monitoren auf die Thin-Client-Technologie. Hierbei verbindet sich der Ex-Geschützte Monitor aus der Explosionsgefährdeten Zone mit der Zentrale, meist Leistungsstärkeren, Recheneinheit in der No-Ex-Zone. Eingaben über Tastatur und Maus werden anschließend über den Monitor an die Zentrale Recheneinheit weitergeleitet, welche anschließend die neuen Ausgaben an den Monitor zurückschickt.

1.2 Intention und Ziel der Arbeit

Durch die Ex-Schutz Zertifizierung der *VisuNet* Plattformen, sind vorgeschriebene Betriebstemperaturgrenzen der Systeme einzuhalten. Durch integrierte Schutzschaltungen und weitere Sicherheitsmechanismen ist es den Geräten nicht möglich diese Grenzwerte zu überschreiten. Durch den Einsatz dieser Geräte in industriellen Umgebungen, können sich verschiedene Umwelteinflüsse wie beispielsweise die Sonneneinstrahlung, negativ auf das System auswirken. Zudem können diese Umwelteinflüsse das Gerät auch in Systemzustände bringen, welche den Zertifizierungsrichtlinien widersprechen. Durch eine falsche Einschätzung der Umweltfaktoren werden solche unzulässigen bzw. schädlichen Betriebe vom Endkunden meist nicht wahrgenommen.

Eine Möglichkeit dem zu begegnen, ist die auf der Hardware verbaute Sensorik zu nutzen, um den Zustand des Systems zu überwachen. Aus den Daten können anschließend

Rückschlüsse, auf Nutzungsverhalten und die daraus resultierenden Betriebszustände gezogen werden. Dem Nutzer können somit wichtige Informationen zum Systemzustand vermittelt werden, sodass Schädliche bzw. Kritische zustände endekt und vermieden werden können.

Primäres Ziel dieser Bachelorarbeit ist daher, die prototypische Entwicklung einer Hardware-Health Monitoring Lösung für die Pepperl+Fuchs HMI Plattformen *VisuNet GXP* und *FLX*. Hierbei soll eine Architektur und Konzepterweiterung für den Aufbau einer verteilten Health-Monitoring Lösung, welche möglichst plattformunabhängig ausgeführt werden kann, erstellt werden. Dazu gilt es Sensoren und Messwerte, welche bei der „Health“- Status Definition berücksichtigt werden sollen, auszuwählen und auszulesen. Des Weiteren soll ein Modell definiert werden, welches die Sensor-Messerte in einen plattformspezifischen Health-Status übersetzt um dem Benutzer den aktuellen Zustand (Ampel-Prinzip) mitzuteilen. Als prototypische Umsetzung soll ein Health Agent, entwickelt werden, welche Geräte-Daten (z.B. aktuelle Temperatur) der HMI Systeme ausliest, abspeichert, in der VisuNet RM Shell 6 dem Benutzer visualisiert und per Netzwerkprotokoll (z.B. MQTT oder SNMP) auch einen zentralen Servern bereitstellen kann.

1.3 Anforderungen

Durch das in Abschnitt 1.2 erläuterte Ziel dieser Arbeit, ergeben sich die unten aufgelisteten Anforderungen.

1. Schnittstelle zur Datenerfassung

a) Auslesen der System Sensorik

Das System benötigt eine zentrale Schnittstelle, welche das Auslesen der Sensoren der VisuNet Plattformen ermöglicht. Die *VisuNet* Plattformen unterscheiden sich in der ausgestatteten Elektronik so weit, dass verschiedene Ansätze zum Auswerten dieser Benötigt werden.

b) Speichern der Ausgelesenen Messwerte

Zur Verwaltung der gesammelten Daten, benötigt das System eine Zentrale Datenbank. Diese muss über eine übersichtliche und Effiziente Struktur verfügen, welche das Verarbeiten der gesammelten Daten im Nachgang ermöglicht.

2. Datenverarbeitung

a) Ermittlung des Health Status

Für die jeweiligen *VisuNet* Plattformen soll der System Health Status ermittelt werden. Dieser soll eine Aussage über den Betrieb des Systems geben.

b) Ermittlung der Health Status Historie

Über die gesammelten Health Status Daten soll zudem eine Historie erstellt werden. Diese soll eine Aussage über das generelle Nutzungsverhalten des Systems treffen.

c) Ermittlung der System Reliability

Zudem soll eine Aussage über den Zustand des Systems, mittels Reliability, getroffen werden.

3. Datendistribution

a) Visualisierung der Systemdaten

Die gesammelten Daten des Systems sollen über ein Dashboard visualisiert werden. In diesem soll dem Kunden, eine Auswertung des Systemverhaltens präsentiert werden.

b) Distribution der Daten zu einem externen Service

Die gesammelten Daten des Systems sollen über ein Netzwerkprotokoll (MQTT, SNMP) an einen Dritten Service übermittelt werden können.

2 Stand der Technik

2.1 Vergleich von Computer Monitoring Software auf dem Markt

2.1.1 Computer Monitoring Software

2.1.2 HWiNFO

2.2 Produktfamilie VisuNet

Zielhardware für das Healthmonitoring System sind die P+F VisuNet FLX und GXP Plattformen. Diese sind Bedien- und Beobachtungssystemen für Explosionsgefährdete bereiche. Din diese Berreichen ist der einsatz von

2.2.1 VisuNet FLX & GXP

2.2.2 VisuNet RM Shell & Control Center



Abbildung 2.1: Pepperl+Fuchs VisuNet FLX

2.3 Software Design Konzepte

Eine solide Softwarerchitektur ist entscheidend für die erfolgreiche Entwicklung und Wartung eines Programmes. Sie legt den Grundstein für die anschließende Implementierung. Durch eine gute Architektur wird sichergestellt, dass das Programm skalierbar, effizient, robust und gut zu warten ist.

Hierbei bieten sogenannte Design Patterns Abhilfe. *Jedes Muster beschreibt zunächst ein in unserer Umwelt immer wieder auftretendes Problem, beschreibt dann den Kern der Lösung dieses Problems, und zwar so, dass man diese Lösung millionenfach anwenden kann, ohne sich je zu wiederholen* (Christof Alexander *Eine Muster-Sprache* [Löcker Verlag, Wien, 1995, Seite x]). Diese Definition für Muster bezieht sich auch auf objektorientierte Design Patterns. Das Verwenden dieser Patterns ermöglicht Entwicklern, von der Erfahrung anderer zu profitieren, um bereits gelöste Probleme nicht nochmal lösen zu müssen. Zudem steigern sie auch die Codequalität. Der Code wird lesbarer und die Wartung dessen wird leichter. Zudem wird auch die Implementierung neuer Erweiterungen und das Eindenken in die Software durch gängige Design Patterns erleichtert. [1, S.25 ff]

Alle gut strukturierten objektorientierten Architekturen basieren auf Mustern (Grady Booch [1, S.21]). In den folgenden Kapiteln wird genauer auf die in dieser Arbeit verwendeten Design Patterns eingegangen.

2.3.1 Adapter Pattern

Zweck des Adapter Patterns ist die Anpassung der Schnittstelle einer Klasse an eine andere von dem Client erwartete Schnittstelle. Somit ermöglicht das Pattern die Zusammenarbeit von zwei Klassen, welche aufgrund ihrer Schnellen nicht möglich wäre. Das Adapter Pattern ist auch unter dem Namen Wrapper bekannt, welcher im folgenden Verlauf der Arbeit verwendet wird.

Das Pattern kommt immer dann zum Einsatz, wenn eine bereits existierende Klasse genutzt werden soll, jedoch die Schnittstelle der Klasse nicht mit den aktuellen Anforderungen des Clients übereinstimmt. Desweiteren wird das Pattern verwendet, wenn eine wiederverwendbare Klasse erzeugt werden soll, welche mit unabhängigen und nicht vorhersehbaren Klassen interagieren soll.

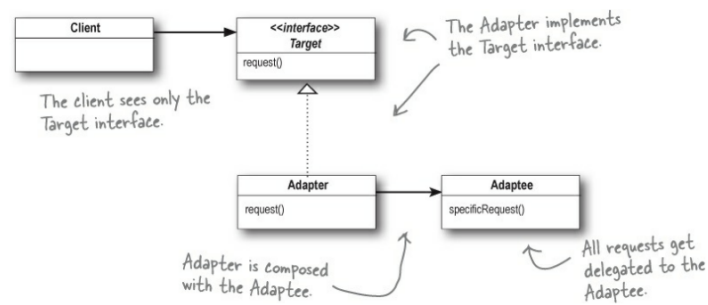


Abbildung 2.2: Adapter Pattern Struktur [1]

Das Design Pattern besteht aus einem *Target*, welches die vom Client verwendete Schnittstelle definiert. Zu dem kommt der *Client*, welcher mit den Objekten zusammen arbeitet, die der Zielschnittstelle entsprechen. Zuletzt beinhaltet das Adapter Pattern einen *Adaptee* so wie den *Adapter* selbst. Der *Adaptee* definiert eine bestehende Schnittstelle, welche vom *Adapter* adaptiert werden muss.

Der *Client* ruft die gewünschte Operation auf einer *Adapter*-Instanz auf, welche anschließend die gewünschten *Adaptee*-Operation ausführt.

2.3.2 Strategie Design Pattern

Zweck des Strategy (Strategie) Patterns ist es, eine Familie von einzelnen gekapselten und austauschbaren Algorithmen zu schaffen. Dieses Pattern ermöglicht eine variable und vom Client unabhängige Nutzung des Algorithmus.

Das Pattern kommt zum Einsatz wenn eine Reihe von zusammenhängenden Klassen sich nur in Ihrem Verhalten unterscheiden, verschiedene Varianten eines Algorithmus erforderlich werden, der Client keine Kenntnis von den vom Algorithmus verwendeten Daten haben soll, oder eine Klasse verschiedene Verhaltensweisen aufweist.

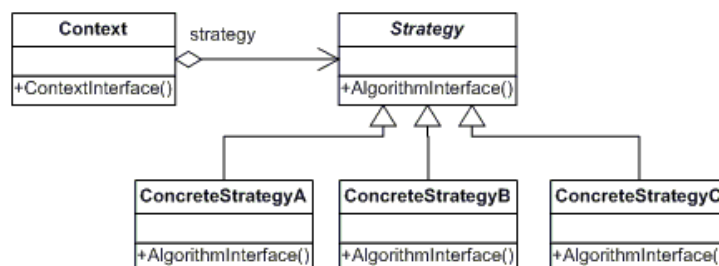


Abbildung 2.3: Strategie Pattern Struktur [1]

Das Design Pattern besteht aus den folgenden Teilnehmern. Die *Strategy*, welche eine gemeinsame Schnittstelle für die verwendeten Algorithmen deklariert. Einer oder mehreren *ConcreteStrategy*, welche die Implementierung der Algorithmen oder Klassen ist, so wie dem *Context*, welcher mit einer *ConcreteStrategy* ausgestattet wird. Desweiteren besitzt der *Context* eine Referenz auf das *Strategy* Objekt.[1, S.383 ff]

Über den *Context* kann anschließend zur Laufzeit des Programmes die benötigten *ConcreteStrategy* geladen und ausgeführt werden. Ein konkretes Beispiel hierzu wird im Buch Head First Design Patterns [2] behandelt, was den Nutzen dieses Patterns nochmal verdeutlicht.

2.4 Datenbanken

Weltweit wurden im Jahr 2022 Daten im Umfang von 103.66 Zettabyte erfasst. Diese Zahl wird sich laut Statistik 2.4 bis zum Jahr 2026 verdoppelt haben. Angesichts dieser Zahlen, sind Datenbanken aus der heutigen Zeit nicht weg zu denken. Sie bieten eine Möglichkeit, große Mengen an Daten Strukturiert abzuspeichern und anschließend auszuwerten.

Hierbei werden Datenbanken Grundsätzlich in Zwei Kategorien unterteilt. Relationale Datenbank und "Nicht relationale Datenbanken". Unterschiede der Datenbankarten machen sich in der Sprache zum Auswerten der DB, ihrer Skalierbarkeit, der Struktur, der Eigenschaften und der Unterstützung durch die Community bemerkbar.

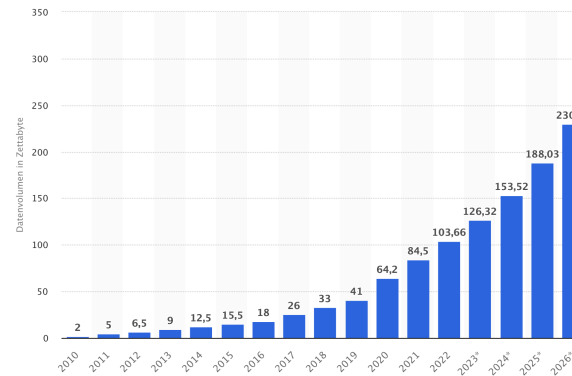


Abbildung 2.4: Volumen der weltweit generierten Daten bis 2027 [3]

2.4.1 SQL - Structured Query Language

IBM-Forscher Edgar F. Codd definierte 1969 ein Datenbankmodell für Relationale Datenbanken. Auf grundlagen seiner Forschung begann, in den folgenden Jahren, die entwicklung der Sprache Structured English Query Language (SEQUEL). Codd's Modell für basiert auf der zuordnung von Schlüssel. Nach einigen Überarbeitungen der implementierung wurde diese anschließend in Structured Query Language (SQL) umbenannt.

SQL ermöglicht insbesondere die Speicherung, Bearbeitung so wie eine Abfrage von Daten in einer Datenbank. Mithilfe des Prinzips der Schlüssel, können Datensätze miteinander verknüpft werden. Somit kann einem Benutzernamen beispielsweise ein echter Name, eine Telefonnummer und eine Email-Adresse

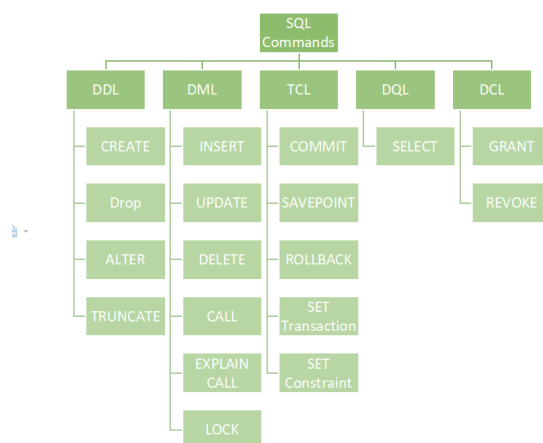


Abbildung 2.5: SQL Befehls Kategorien [4]

zugewiesen werden.

Die besondere eigenschaft von SQL ist das Konzepte von Arrays. Relationale Datenbanken bestehen aus Arrays, welche sich mit Hilfe von verschiedenen Befehlen erzeugen und bearbeiten. [5]

SQL bietet eine reihe von Befehlen, welche die Interaktion mit der Datenbank ermöglichen. Diese können Grundsätzlich in 5 Kategorien eingeteilt werden (siehe Abb. 2.5). Die wichtigsten Befehle sind dabei *INSERT*, *UPDATE* und *DELEAT*, mit welchen sich datensätze schreiben und bearbeiten lassen. Zudem der kommt der *SELECT* Befehl, welcher das auslesen von Datensätzen ermöglicht. Um die tabellenstruktur der Datenbank zu bearbeiten kommen die Befehle *CREATE* und *DROP* zum einsatz. [4]

Natürlich bietet die Programmiersprache eine weit aus komplexere Sysntax, um datensätze sortiet auswerten zu können. Eine vollständige dokumentation der Sprache findet sich auf der w3school webseite [6].

2.4.2 SQLite Embedded Datenbank

In der Vorarbeit zu dieser Bachelorarbeit wurde bereits eine auswahl für eine Datenbank getroffen. Dabei wurde sich nach einigen vergleichen für die SQLite Embedded Datenbank Engine entschieden.

Diese Bietet eine zuverlässige, kleine, schnelle und vollfunktionale Datenbank Engine, welche vollständige in das Gesamtsystem integriert werden kann [7]. Zur implementierung der Datenbank in die anwendung wird die System.Data.SQLite Bibliothek für C# verwendet.

2.5 MTBF und Reliability

Es gibt viele Ursachen, welche zu einem Ausfall elektronischer Komponenteten in einem system, führen können. Laut dem Technischen Bericht [8] ist in 50% der Fälle die Temperatur der Komponenten für einen Ausfall verantwortlich. Dies liegt an den unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Materials auf der Platine haben. Durch die unterschiedliche Ausdehnung der Bauteile und der Platine selbst, kommt es zu hohen belastungen der Lötstellen. Während sich dieser Zyklus wiederholt können Risse in den Verbindungen entstehen und ausbreiten. Diese können anschließend zu einem Bruch im elektrischen Stromkreis führen. [9]

Die in Abbildung 2.6 abgebildete Bathtub-Kurve ist ein Konzept, welches zur Beschreibung der Lebensdauer von Elektronischer komponenten verwendet wird. Dabei kann die Lebenszeit in drei Abschnitte unterteilt werden. Die Bathtub-Kurve beschreibt eine mittlere Betriebsdauer zwischen Ausfällen.

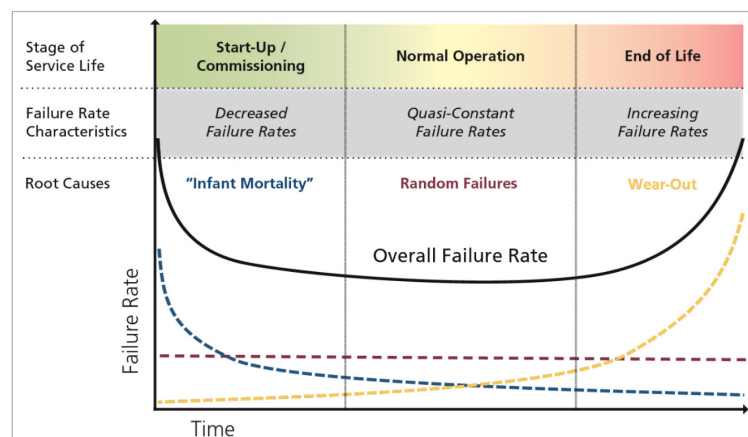


Abbildung 2.6: Bathtub Curve [9]

Sie weist drei betriebsphasen auf. In der erste Phase, bekannt als *Infant Mortality*, kommt es durch Konstruktions-, Produktions- und Werkstoffmängel häufig gleich zu begin des Betriebs zu Fehlern und Ausfällen. Geräte die von diesen Problemen nicht betroffen sind, laufen meist zuverlässig durch die Zweite Pahse der Kurve, bekannt als *Random Failures*. Hierbei kommt es nur deutlich seltener und vereinzelt zu Ausfällen. Zum ende der Lebensdauer kommt es, in der *Wear-Out* Phase, durch Alterung und Verschleiß wieder vermehrt zu Ausfällen. [9]

Der Mean Time Between Failures (MTBF) ist dabei eine statistische Kennzahl, die den durchschnittlichen Zeitraum in Stunden angibt, der zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen einer bestimmten Komponente, eines Systems oder eines Produkts verstrichen ist. Dieser weist zudem eine Temperaturabhängigkeit auf. Beispielsweise bei Kapazitäten kann im durchschnitt gesagt werden: *Eine erhöhung der Betriebstemperatur um 10°C, führt zu einer Halbierung der Lebenserwartung.* Ein MTBF von 100h sagt also aus, das ein System im Durchschnitt, 100h laufen wird bevor es zu einem Fehler kommen wird.[10]

Die Zuverlässigkeit (Reliability) eines Gerätes hingegen ist als die Wahrscheinlichkeit definiert, mit der ein System seine beabsichtigten Funktionen für einen festgelegten Zeitraum erfüllen wird. Hat ein System bei 100h eine Zuverlässigkeit von 0.8, so besteht eine 80% Wahrscheinlichkeit, dass das System nach 100h noch funktioniert.[10]

Die Zuverlässigkeit eines Systems kann über den MTBF mit Formel 2.1 berechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass man die Temperaturabhängigkeiten des Systems beachtet.

$$R(t) = e^{-\frac{t}{\text{mtbf}}} \quad (2.1)$$

3 Architektur Konzept

3.1 Datenerfassung

3.1.1 Entwurf einer Architektur zum Auslesen der Systemhardware

3.1.2 Entwurf eines Datenbankmodells zum Speichern der Messwerte

3.2 Datenverarbeitung

3.2.1 Health Status Definition

3.2.2 Ermittlung des Health Status

3.2.3 Ermittlung der Systemstatus Historie

3.2.4 Ermittlung der Systemzuverlässigkeit

3.3 Dashboard

3.3.1 Bereitstellung der Daten

3.3.2 Konzeptentwurf zur Datenvisualisierung

3.4 Entwurf eines Task Scheduling Verfahrens

4 Prototypische Implementierung

4.1 Implementierung des Taskschedulers

4.2 Implementierung einer Plattform unabhängigen Datenerfassung

4.2.1 Umsetzung der Hardware Services

4.2.2 Umsetzung der Datenbank Services

4.2.3 Umsetzung der Strategien zur Datenerfassung

4.3 Implementierung der Datenverarbeitung

4.3.1 Implementierung der Algorithmen zur Health Status Erfassung

4.4 Implementierung der Datenvisualisierung

4.4.1 Implementierung der API

4.4.2 Aufbau eines Dashboards

5 Ausblick

Literaturverzeichnis

- [1] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides, *Design Patterns - Entwurfsmuster als Elemente wiederverwendbarer objektorientierter Software*. mitp Verlags GmbH & Co.KG, 2015, ISBN: 978-3-8266-9700-5.
- [2] Eric Freeman, Elisabeth Robson, Bert Bates, Kathy Sierra, *Head First Design Patterns - A Brain Friendly Guide*. O'Reilly Media, Incorporated, 2004, ISBN: 978-0-5960-0712-6.
- [3] „Volumen der jährlich generierten/replizierten digitalen Datenmenge weltweit von 2010 bis 2022 und Prognose bis 2027“. (2023), Adresse: <https://datascientest.com/de/sql-alles-uber-die-datenbanksprache#:~:text=SQL%20oder%20%E2%80%9EStructured%20Query%20Language,darin%20enthaltenen%20Daten%20zu%20verwalten.%7D> (besucht am 11.08.2023).
- [4] „SQL | DDL, DQL, DML, DCL and TCL Commands“. (2023), Adresse: <https://www.geeksforgeeks.org/sql-ddl-dql-dml-dcl-tcl-commands/%7D> (besucht am 11.08.2023).
- [5] „SQL – Alles über die Datenbanksprache“. (2023), Adresse: <https://datascientest.com/de/sql-alles-uber-die-datenbanksprache#:~:text=SQL%20oder%20%E2%80%9EStructured%20Query%20Language,darin%20enthaltenen%20Daten%20zu%20verwalten.%7D> (besucht am 11.08.2023).
- [6] „SQL Tutorial“. (2023), Adresse: <https://www.w3schools.com/sql/%7D> (besucht am 11.08.2023).
- [7] „SQLite“. (2023), Adresse: <https://www.sqlite.org/index.html%7D> (besucht am 11.08.2023).
- [8] H. C. Fortna, „Avionics Integrity Program, Technical Report ASD-TR-84-5030“, Wright Patterson Air Force Base, Techn. Ber., 1984.
- [9] E. D. A. AMIR RUBIN, „LIFE EXPECTANCY OF ELECTRONIC EQUIPMENT POST-LOSS“, *AREPA*, 2020.

- [10] „Understanding MTBF and Reliability“. (2020), Adresse: <https://relyence.com/2020/05/27/understanding-mtbf-reliability/#:~:text=The%20key%20difference%20is%20that%20functioning%20at%20a%20certain%20time.&text=In%20this%20equation%3A%2C%20that%20you%20are%20interested%20in%7D> (besucht am 14.08.2023).