



**School of  
Engineering**

InES Institute of  
Embedded Systems

## **Bachelorarbeit**

# Messstation zur Registrierung von Geschiebe- Bewegungen im Fluss

---

**Autoren**

Tobias Keller  
Tobias Welti

---

**Betreuer**

Prof. Hans-Joachim Gelke, Dipl. El. Ing FH  
ZHAW Institute for Embedded Systems

---

**Partner**

Carlos Rodrigo Wyss  
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

---

**Datum**

4. Dezember 2014

## Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit an der School of Engineering

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat. (Bei Gruppenarbeiten gelten die Leistungen der übrigen Gruppenmitglieder nicht als fremde Hilfe.)

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle zitierten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt nachgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten die Paragraphen 39 und 40 (Unredlichkeit und Verfahren bei Unredlichkeit) der ZHAW Prüfungsordnung sowie die Bestimmungen der Disziplinarmassnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

.....

Unterschriften:

.....

.....

.....

Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Bachelorarbeiten zu Beginn der Dokumentation nach dem Titelblatt mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.

# Vorwort

---

Hier ein bisschen  
von dir und mir

---

## Kontakte

### Verfasser

Tobias Keller  
Schulstrasse 82  
CH-8952 Schlieren

E-Mail: häsch überhaupt ä privati adrässe?

Tobias Welti, MSc ETH Zürich  
Wissenschaftlicher Assistent ZHAW Institute for Embedded Systems  
Technikumstrasse 9  
CH-8401 Winterthur

E-Mail: [tobias.welti@zhaw.ch](mailto:tobias.welti@zhaw.ch)  
Homepage: <http://www.ines.zhaw.ch>

### Betreuer

Prof. Hans-Joachim Gelke, Dipl. El. Ing FH  
ZHAW Institute for Embedded Systems  
Technikumstrasse 9  
CH-8401 Winterthur

E-Mail: [hans.gelke@zhaw.ch](mailto:hans.gelke@zhaw.ch)  
Homepage: <http://www.ines.zhaw.ch>

### Partner

Carlos Rodrigo Wyss  
Eidg. Forschungsanstalt WSL  
Zürcherstrasse 111  
8903 Birmensdorf

E-Mail: [carlos.wyss@wsl.ch](mailto:carlos.wyss@wsl.ch)  
Homepage: <http://www.wsl.ch>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1. Ausgangslage . . . . .	6
1.2. Ausgangslage . . . . .	6
1.3. Überblick . . . . .	6
1.4. Datenlogger . . . . .	7
1.4.1. Messdaten sammeln . . . . .	7
1.4.2. Kontrolle über das Bussystem . . . . .	7
1.4.3. Steuerung des Betriebs . . . . .	7
1.4.4. Schnittstelle nach Aussen . . . . .	7
1.5. Sensoreinheit . . . . .	8
1.5.1. Messdatenerfassung . . . . .	8
1.5.2. Ereigniserkennung . . . . .	8
1.5.3. Datenübertragung . . . . .	8
1.6. Bussystem . . . . .	8
<b>2. Aufgabenstellung</b>	<b>9</b>
2.1. Aufgabenstellung . . . . .	9
2.1.1. Musskriterien . . . . .	9
2.1.2. Wunschkriterien . . . . .	10
2.1.3. Abgrenzungskriterien . . . . .	10
<b>3. Funktionale Anforderungen</b>	<b>11</b>
3.1. Datenlogger (F1...) . . . . .	11
3.1.1. F110 Busmaster . . . . .	11
3.1.2. F120 Sensorerkennung . . . . .	11
3.1.3. F130 Uhrzeit . . . . .	11
3.1.4. F140 Timestamp verteilen . . . . .	11
3.1.5. F160 Schnittstelle zum Steuerrechner . . . . .	11
3.1.6. F170 Steuerung Betriebsmodus . . . . .	11
3.1.7. F180 Daten sammeln . . . . .	12
3.1.8. F190 Daten speichern . . . . .	12
3.2. Sensoreinheit (F4...) . . . . .	12
3.2.1. F410 Ereignisdetektion . . . . .	12
3.2.2. F430 Datenübertragung . . . . .	12
3.2.3. F450 Rohdatenaufzeichnung . . . . .	12
<b>4. Nichtfunktionale Anforderungen</b>	<b>13</b>
<b>5. Grundlagen</b>	<b>14</b>
<b>6. Hardware-Konzept</b>	<b>15</b>
6.1. Hardware-Architektur . . . . .	15
6.1.1. Datenlogger . . . . .	15
6.1.2. Sensoreinheit . . . . .	15
6.1.3. Bussystem . . . . .	16
6.2. Komponentenauswahl . . . . .	16
6.2.1. Mikroprozessor . . . . .	16
6.2.2. Bus-System . . . . .	17

6.2.3. Speichermedium . . . . .	18
6.2.4. Sensor . . . . .	19
6.2.5. Schnittstelle . . . . .	19
6.3. Komponenten . . . . .	19
6.3.1. Cortex M4 Mikroprozessor . . . . .	19
6.3.2. Beschleunigungs-Sensor . . . . .	19
6.3.3. CAN Bus . . . . .	19
6.3.4. SD Karte . . . . .	20
6.3.5. UART Schnittstelle . . . . .	20
6.4. Datenlogger . . . . .	20
6.5. Sensoreinheit . . . . .	20
<b>7. Software-Konzept</b>	<b>22</b>
7.1. Software-Stack . . . . .	22
7.1.1. Überblick . . . . .	22
7.1.2. Messdatenerfassung . . . . .	23
7.1.3. Ereigniserkennung . . . . .	23
7.1.4. Timestamp . . . . .	24
7.1.5. Verwaltung der Messstation . . . . .	24
7.1.6. Busprotokoll . . . . .	26
7.1.7. Filesystem . . . . .	26
7.1.8. UART-Kommandozeile . . . . .	26
7.2. Funktionalität . . . . .	26
7.3. Konfiguration . . . . .	26
<b>8. Vorgehen</b>	<b>27</b>
<b>9. Resultate</b>	<b>28</b>
<b>10. Diskussion</b>	<b>29</b>
<b>11. Verzeichnisse</b>	<b>30</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>31</b>
Literaturverzeichnis . . . . .	31
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>32</b>
(Abbildungsverzeichnis) . . . . .	32
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>33</b>
(Tabellenverzeichnis) . . . . .	33
<b>Glossar</b>	<b>34</b>
(Glossar) . . . . .	34
(Listingverzeichnis) . . . . .	35
<b>A. Anhang</b>	<b>I</b>
A.1. Projektmanagement . . . . .	I
A.2. Weiteres . . . . .	I

# Liste der noch zu erledigenden Punkte

Hier ein bisschen blabla von dir und mir . . . . .	3
was gibt es bis jetzt? wie wirds gemacht? was gäbe es für alternativen? . . . . .	6
LITERATURVERWEISE! . . . . .	6
glossareintrag wieder entfernen . . . . .	6
Abkürzungsverzzzzeichenbeispieleintrag wieder entfernen . . . . .	7
remove following line . . . . .	8
etwas über signalerfassung. . . . .	14
etwas über signalverarbeitung (aufwand hilbert etc.) . . . . .	14
Tabelle verschiedener uCs zum Vergleich . . . . .	16
Kriterienliste RS485/CAN einfügen, Lit-Referenz auf White Paper von IXXAT . . . . .	18
Literatur-Referenzen in Tabelle 6.2 . . . . .	18
Sensorauswahl beschreiben . . . . .	19
Schnittstellenauswahl beschreiben . . . . .	19
Texten . . . . .	19
Texten . . . . .	19
Texten . . . . .	19
Texten . . . . .	19
Texten . . . . .	19
Texten . . . . .	19
Texten . . . . .	20
Texten . . . . .	20
Texten . . . . .	20
Texten . . . . .	20
Texten . . . . .	20
Glossar: Impact, Bus, Mikroprozessor, A/D-Wandler, Pin, Sensor, Threshold/Grenzwert, . . . .	22
FSM-figur anpassen auf neue Stati . . . . .	23
Ereigniserkennung beschreiben, welche Parameter können konfiguriert werden . . . . .	24
Zusammenhänge A/D-Wandlung und Ereigniserkennung und Übertragung beschreiben . . . . .	24
Verschiedene Betriebsmodi mit Grafiken beschreiben . . . . .	24

Berechnungen, in welchem Modus wie lange gemessen werden kann, und wie lange ein Sensor mit dem vorhandenen Speicher die Resultate zwischenspeichern kann. Allenfalls ein System erwähnen, das automatisch zwischen verschiedenen Modi hin- und herschalten kann. (Ist allerdings heikel). Wie viele Sensoren können in welchem Modus gleichzeitig am System betrieben werden, bei welcher Ereignisrate ist Schluss mit Busbandbreite. . . . .	24
Timestamp beschreiben, Rechnung über die Dauer der eindeutigen Zuweisung. . . . .	24
Busverwaltung beschreiben . . . . .	24
Figur 7.4 aufteilen auf zwei Seiten. (PDF-crop) . . . . .	25
Busprotokoll austüfteln. Darstellung siehe HW-Konzept Rioxo, genaue Beschreibung der Nachrichtentypen. Timestamp der einzelnen Peaks bezieht sich auf Offset vom Beginn des Impacts. . . . .	26
Kommunikationsdiagramm Bushandler . . . . .	26
Interrupt-System des Bushandlers aufführen . . . . .	26
Texten . . . . .	26
Frage: wird für jeden Sensor ein eigenes File geführt? Kann man alle Files offen lassen oder ist das keine gute Idee? Was ist besser, jedes mal das File-Ende zu suchen um neues anzuhängen? . . . . .	26
Dokumentation über die Kommandos, wird später für die Bedienungsanleitung gebraucht . . . . .	26
Texten . . . . .	26
Hier eine Art Bedienungsanleitung zur Konfiguration geben. Welches Kommando hat was zur Folge? (Wird Datenerfassung neu gestartet, werden allenfalls andere Sensoren deaktiviert etc. . . . .	26
läuft das Zeug? . . . . .	28
wie viele Sensoren mag's leiden? . . . . .	28
wie schnell kann fs sein? . . . . .	28
wie lange kann man aufzeichnen? . . . . .	28
was geht, was nicht? . . . . .	28
was haben wir nicht erreicht? . . . . .	28
wo haben wir mehr als gefordert erreicht? . . . . .	28
haben wir erfüllt? . . . . .	29
wo gabs Schwierigkeiten? . . . . .	29
worauf sind wir stolz . . . . .	29
was könnte man jetzt weiter noch machen? . . . . .	29
was ist noch geplant? . . . . .	29



# 1. Einleitung

## 1.1. Ausgangslage

es bis jetzt?  
s gemacht? was  
für alternativen?

TURVERWEISE!

## 1.2. Ausgangslage

Die Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) betreibt Messstationen zur Registrierung von Geschiebe-Bewegungen im Fluss mittels Geophonen, die unter Stahlplatten montiert sind. Diese Platten sind in einer Betonkonstruktion eingelassen, um sie im Flussbett zu fixieren. Die Geophone sind über Kabel mit einem Auswertungs-Rechner (Embedded PC) verbunden, der die Signale auswertet. Die baulichen Massnahmen für die Installation der Sensoren, der Auswertungsstation sowie der Stromversorgung sind sehr teuer.

## 1.3. Überblick

Das zu entwickelnde Messsystem kann grob in drei Komponenten aufgeteilt werden.

1. Datenlogger
2. Sensoreinheit
3. Bussystem

Der Datenlogger hat die Aufgabe, von mehreren Sensoreinheiten registrierte Ereignisse zu empfangen und zu speichern. Die Sensoreinheiten messen kontinuierlich Vibrationen, werten die Signale aus und erkennen Ereignisse, die einer vordefinierten Signalform entsprechen. Alle Einheiten sind über ein Bussystem verbunden, um miteinander kommunizieren zu können. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 1.1 ersichtlich. Die Stromversorgung der Anlage wird am Datenlogger angeschlossen. Parallel zum Kabel des Datenbusses wird die Stromversorgung der Sensoreinheiten geführt.

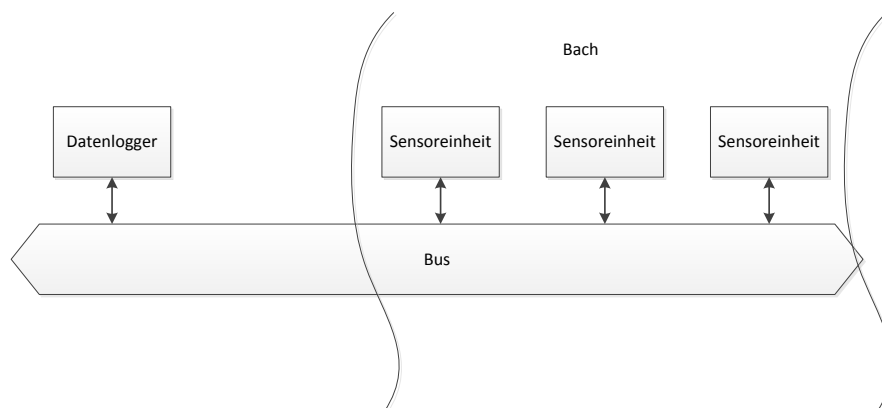


Abbildung 1.1.: Eine Messstation mit einem Datenlogger, der mehrere Sensoreinheiten im Bach steuert.

Hier wird der Beispielglossareintrag das erste Mal eingesetzt, hier gleich das zweite Mal: Beispielglossareintrag.

glossareintrag wieder entfernen

Erster Einsatz des Abkürzzzzzzzungsverzeichnisbeispieleintrag (AVZBE)s, zweiter Einsatz AVZBE.

Abkürzzzzzzzungsverzeichnis wieder entfernen

Diese drei Einheiten werden im Folgenden genauer definiert.

## 1.4. Datenlogger

Der Datenlogger hat verschiedene Aufgaben zu erfüllen:

- Sammeln und speichern der Messdaten der Sensoreinheiten.
- Kontrolle über das Bussystem.
- Steuerung des Betriebs der Anlage.
- Schnittstelle für die Konfiguration der Anlage und für das Auslesen der Messdaten.

### 1.4.1. Messdaten sammeln

Für jede angeschlossene Sensoreinheit führt der Datenlogger eine Datensammlung, in der die registrierten Ereignisse zeitlich sortiert abgespeichert werden. Die Datensammlungen werden in Dateien abgelegt, die auf einem externen, auswechselbaren Medium abgespeichert werden. So können die Messdaten auf einfache Art für die weitere Auswertung abgeholt werden.

### 1.4.2. Kontrolle über das Bussystem

Als Busmaster hat der Datenlogger die Aufgabe, allen angeschlossenen Einheiten eine eindeutige Identifikationsnummer (ID) zuzuweisen. Über diese ID erkennt der Datenlogger, von welcher Sensoreinheit Daten übertragen werden. Für die Zuordnung der Messdaten zu einem bestimmten Sensor benötigen die Sensoreinheiten ein fixes Erkennungsmerkmal, z.B. eine Seriennummer, die mit den Messdaten abgespeichert werden soll.

### 1.4.3. Steuerung des Betriebs

Die Messstation hat verschiedene Betriebsmodi, die über den Datenlogger angewählt werden können. Der Datenlogger steuert die einzelnen Sensoreinheiten entsprechend an.

### 1.4.4. Schnittstelle nach Aussen

Über eine Schnittstelle am Datenlogger kann ein Computer angeschlossen werden. Per Kommandozeile wird die Messstation konfiguriert, der Zustand überprüft und der Betriebsmodus gewählt.

## 1.5. Sensoreinheit

Die Aufgaben der Sensoreinheit umfassen:

- Erfassung von Messdaten.
- Erkennung von Ereignissen.
- Übertragung der Ereignisdaten an den Datenlogger.

Following line AVZBE

### 1.5.1. Messdatenerfassung

Der Sensor zur Erfassung der Daten wird mit einer vordefinierten Abtastrate ausgelesen. Die Abtastrate muss so gewählt werden, dass einzelne Ereignisse erkannt werden können, ohne unnötig viel Messdaten zu generieren.

### 1.5.2. Ereigniserkennung

Im Mikroprozessor werden die Messdaten fortlaufend analysiert. Überschreitet das gemessene Signal einen gewissen Pegel (Threshold), markiert dies den Beginn eines Ereignisses. Das Ereignis ist beendet, wenn der Signalpegel für eine gewisse Zeit unterhalb des Threshold bleibt. Für jedes Ereignis wird abgespeichert, wann es aufgetreten ist (Timestamp), wie lange es gedauert hat, wie hoch der Signalpegel maximal ausschlug und wie viele Signalspitzen (Peaks) aufgetreten sind. Allenfalls können auch die Höhen aller Peaks übertragen werden.

### 1.5.3. Datenübertragung

Die Sensoreinheit sendet die Messdaten regelmässig über das Bussystem an den Datenlogger. Nach Bestätigung des Erhalts werden die Messdaten aus dem Speicher der Sensoreinheit gelöscht.

## 1.6. Bussystem

Das Bussystem verbindet die Einheiten der Messstation miteinander. Die gesamten Messdaten und Steuerkommandos werden über den Bus übertragen. Das Bussystem muss die Datenmenge der angeschlossenen Sensoren bewältigen können, über die geforderte Distanz funktionieren und möglichst robust gegenüber äusseren Einflüssen sein. Der Busmaster hat die Möglichkeit, laufende Übertragungen von Sensoreinheiten zu unterbrechen, um Steuerkommandos zu senden.

## 2. Aufgabenstellung

### 2.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit soll eine Lösung erarbeitet werden, um zukünftige Installationen günstiger zu machen. Da solche Messanlagen an sehr vielen Orten auf der ganzen Welt aufgebaut werden, kann durch eine Vereinfachung der Installation viel Aufwand gespart werden.

Die Projektidee stammt von Bruno Fritschi (WSL). Sein Vorschlag sieht vor, die aufgezeichneten Signale direkt am Sensor auszuwerten und nur die gewünschten Ereignisse zu übertragen und zu speichern. Somit könnten die Daten über ein Bussystem übertragen werden und der Auswertungsrechner bräuchte weniger Leistung.

Dank der Bustopologie ist das Messsystem weniger komplex und kann einfacher installiert werden. Denkbar wäre die Integration in einer Gummimatte anstelle der Stahl- und Betonkonstruktion, da viel weniger Leitungen nötig sind.

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung der Auswertungshardware und des Bussystems. Die Qualität der gemessenen Signale soll mindestens erhalten werden. Die Auswertungsalgorithmen sind nicht Bestandteil der Arbeit und werden vom WSL zur Verfügung gestellt.

Die von der bisherigen Anlage gemachten Messdaten enthalten die Dauer und Intensität jedes Aufschlags (Ereignis) auf der Sensorplatte, sowie die Anzahl Ausschläge (Peaks) pro Aufschlag. Pro Minute wird ein Histogramm über die Intensitäten der Peaks gebildet und abgespeichert.

Denkbar wäre es, einen Prototyp für Vergleichsmessungen im Erlenbach (Alptal, SZ) an einer bestehenden Schwelle zu implementieren.

#### 2.1.1. Musskriterien

- Die Anlage zeichnet den Geschiebetransport im Bachbett auf. Die bisherige Aufzeichnungsrate von 10'000 Messpunkten pro Sekunde soll nicht unterschritten werden.
- Die Anlage liefert eine minütliche Zusammenfassung über die Ereignisse an jedem Sensor. Diese Zusammenfassung enthält die Anzahl, Dauer und Intensität der einzelnen Ereignisse sowie ein Histogramm über die Intensitätsverteilung.
- Die Messstation ist fähig, mindestens zehn Sensoren zu betreiben und ihre Messsignale aufzuzeichnen.
- Es ist möglich, die kompletten Rohdaten von einem Sensor über eine Dauer von 30 Minuten aufzuzeichnen. Während einer solchen Messung dürfen die anderen Sensoren ihre Messung einstellen.
- Die Sensoren können über bis zu fünfzehn Meter im Bachbett verteilt sein.
- Die Leistungsaufnahme der Anlage beim Betrieb von 10 Sensoren ist kleiner als zehn Watt.
- Die Datenaufzeichnung erfolgt in einem eigens entwickelten Datenlogger.
- Am Datenlogger kann ein Laptop angeschlossen werden, um Kontrollparameter der Messanlage zu setzen und um den Status der Anlage abzufragen.
- Die erfassten Messdaten werden im Datenlogger auf einer Speicherkarte gespeichert. Dies ermöglicht ein einfaches Abholen der Daten im Feld, indem die Speicherkarte ausgetauscht wird.

**2.1.2. Wunschkriterien**

- Die Anlage liefert für jedes Ereignis die Rohdaten in voller zeitlicher Auflösung.
- Der Sensoraufbau ermöglicht es, die Sensoren in einer Elastomerplatte zu verpacken. Die Elastomerplatte kann ohne Betonkonstruktion im Bachbett verankert werden.
- Am Datenlogger kann ein Laptop angeschlossen werden, um die erfassten Messdaten herunterzuladen.

**2.1.3. Abgrenzungskriterien**

- Es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, die Messeinheiten zur Produktreife zu bringen. Es wird lediglich aufgezeigt, wie solche Messeinheiten realisiert werden könnten.
- Eine Testinstallation in einem Bach ist nicht möglich. Allenfalls kann in der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich ein kleiner Testlauf stattfinden.
-

## **3. Funktionale Anforderungen**

### **3.1. Datenlogger (F1...)**

#### **3.1.1. F110 Busmaster**

Der Datenlogger übernimmt die Kontrolle des Bus. Bei Inbetriebnahme des Systems tastet der Datenlogger den Bus nach Sensoreinheiten ab und erteilt jeder Sensoreinheit eine eindeutige Identifikationsnummer (ID). Die ID des Datenloggers soll so gewählt werden, dass er jederzeit Priorität hat, auf den Bus zu schreiben.

#### **3.1.2. F120 Sensorerkennung**

Die angeschlossenen Sensoren werden vom Datenlogger erkannt und mit einer ID versehen. Anhand der ID wird die Priorität bei der Datenübertragung festgelegt und der Sensor identifiziert. Können wir die Seriennummer des Boards auslesen? Damit die ID immer gleich ist... über UART-Kommandozeile muss die ID jedes Sensors gesetzt werden können.

#### **3.1.3. F130 Uhrzeit**

Der Datenlogger verfügt über eine interne Uhr, um die Ereignisse in den Dateien mit einem lesbaren Zeitstempel zu versehen.

#### **3.1.4. F140 Timestamp verteilen**

Der Datenlogger sendet ein Signal an alle Sensoreinheiten, dass der Zeitstempel (Timestamp) neu gestellt werden soll. Ab dann beziehen sich die Timestamps auf die Dauer seit dem jetzigen Zeitpunkt.

#### **3.1.5. F160 Schnittstelle zum Steuerrechner**

Der Datenlogger bietet eine Schnittstelle, an der ein Steuerrechner (Laptop, PC) angeschlossen werden kann. Über diese Schnittstelle kann der Betrieb der ganzen Anlage gesteuert werden.

#### **3.1.6. F170 Steuerung Betriebsmodus**

Der Betriebsmodus der Sensoren wird vom Datenlogger aus gesteuert: Wie viele und welche Art von Daten gesammelt werden soll und ob alle Sensoren oder nur bestimmte aktiv sein sollen.

Folgende Betriebsmodi sind verfügbar:

- Normaler Modus: Alle Sensoren übermitteln die verarbeiteten Ereignisdaten. Zeitpunkt, Intensität, Dauer und Anzahl Ausschläge jedes Ereignis werden gespeichert.
- Detaillierter Modus: Alle Sensoren übermitteln die verarbeiteten Ereignisdaten sowie die gesamten Messdaten für die Dauer des Ereignis.

- Rohdatenmodus: Ein Sensor übermittelt kontinuierlich Rohdaten, die anderen Sensoren werden vorübergehend abgeschaltet.

### **3.1.7. F180 Daten sammeln**

Der Datenlogger fragt in regelmässigen Abständen bei den Sensoreinheiten an, ob Ereignisdaten zur Übertragung bereit sind. Diese übermitteln die vorliegenden Ereignisdaten.

### **3.1.8. F190 Daten speichern**

Die Daten werden vom Datenlogger auf einer Speicherkarte in Dateien abgelegt. Nach entsprechenden Befehlen vom Steuerrechner kann die Karte entfernt und ausgetauscht werden, um die Daten abzuholen.

## **3.2. Sensoreinheit (F4...)**

### **3.2.1. F410 Ereignisdetektion**

Die Sensoreinheit liest den Sensor mit einer definierten Abtastrate (Samplingrate) aus und wertet die Messdaten aus. Der Prozessor erkennt Ereignisse anhand definierter Kriterien. Zu jedem Ereignis werden folgende Daten gespeichert: Zeitpunkt (Timestamp), Dauer, Anzahl Peaks und höchster Peak. In einem zweiten Betriebsmodus können alle Messpunkte während einem Ereignis gespeichert werden.

### **3.2.2. F430 Datenübertragung**

Die Sensoreinheit übermittelt die Ereignisdaten über das Bussystem an den Datenlogger.

### **3.2.3. F450 Rohdatenaufzeichnung**

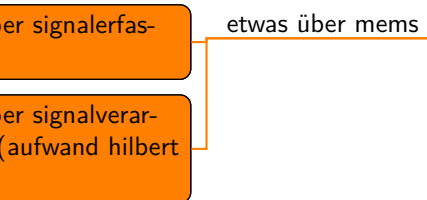
In einem Sondermodus werden alle Messpunkte gespeichert und über das Bussystem an den Datenlogger übertragen. In diesem Betriebsmodus kann nur eine Sensoreinheit aktiv sein, die anderen werden auf Standby geschaltet.

## 4. Nichtfunktionale Anforderungen

- Die gesamte Messstation soll eine geringere Leistungsaufnahme haben als eine aktuelle Messstation mit Geophonen. Für zehn Geophone sind dies zur Zeit zehn Watt.
- Die Installation soll weniger bauliche Massnahmen erfordern als eine aktuelle Messstation mit Geophonen.
- Die erfassten Ereignisdaten sollen mehr Details enthalten als mit den bisherigen Installationen.
- Sensoreinheiten müssen wasserdicht verpackt werden können.



## 5. Grundlagen



## 6. Hardware-Konzept

### 6.1. Hardware-Architektur

Anhand der funktionalen Vorgaben für die Messstation werden der Datenlogger, die Sensoreinheit und das Bussytem im folgenden genauer spezifiziert und die Komponenten ausgewählt.

#### 6.1.1. Datenlogger

Der Datenlogger sammelt die Daten der Sensoreinheiten über das Bussytem ein und speichert sie ab. Dafür benötigt er das Bussytem, einen Mikroprozessor, internen Speicher und ein leicht auswechselbares Speichermedium. Ausserdem soll über eine Schnittstelle ein Computer angeschlossen werden können, um den Betrieb der Messstation zu steuern. Der Datenlogger wird in einem wasserdichten Gehäuse untergebracht. Für den Austausch des Speichermediums wäre eine verschraubbare Öffnung denkbar.

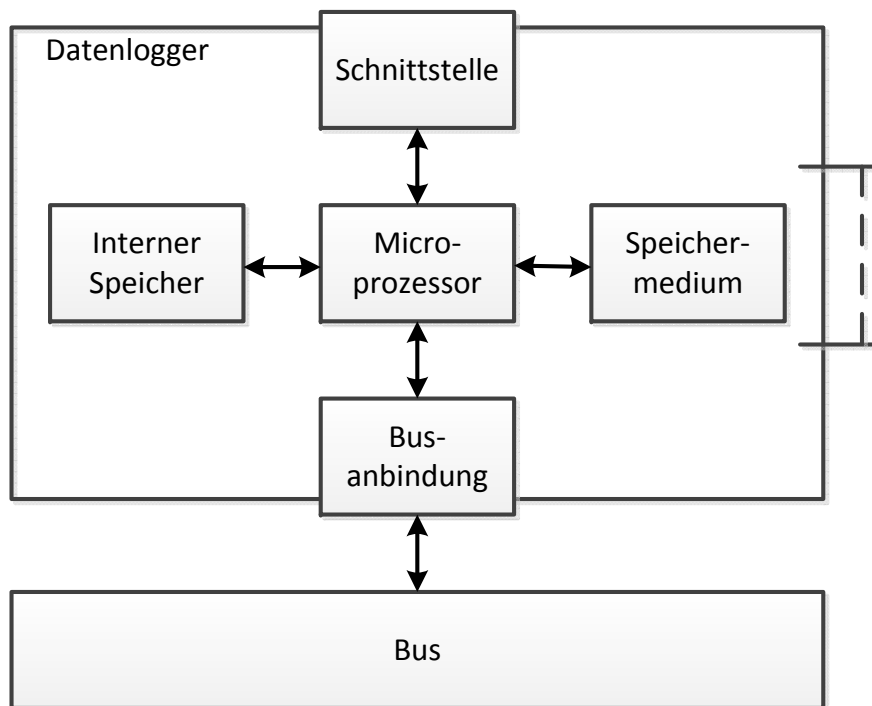


Abbildung 6.1.: Hardwarekonzept des Datenloggers.

#### 6.1.2. Sensoreinheit

Die Sensoreinheit benötigt einen Beschleunigungssensor, um die Einschläge von Geschiebe zu messen. Über einen Analog-Digital-Wandler (ADC) werden die Messsignale digitalisiert. Die gemessenen Signale werden von einem Mikroprozessor verarbeitet, im internen Speicher zwischengespeichert und über das Bussytem an den Datenlogger übertragen.

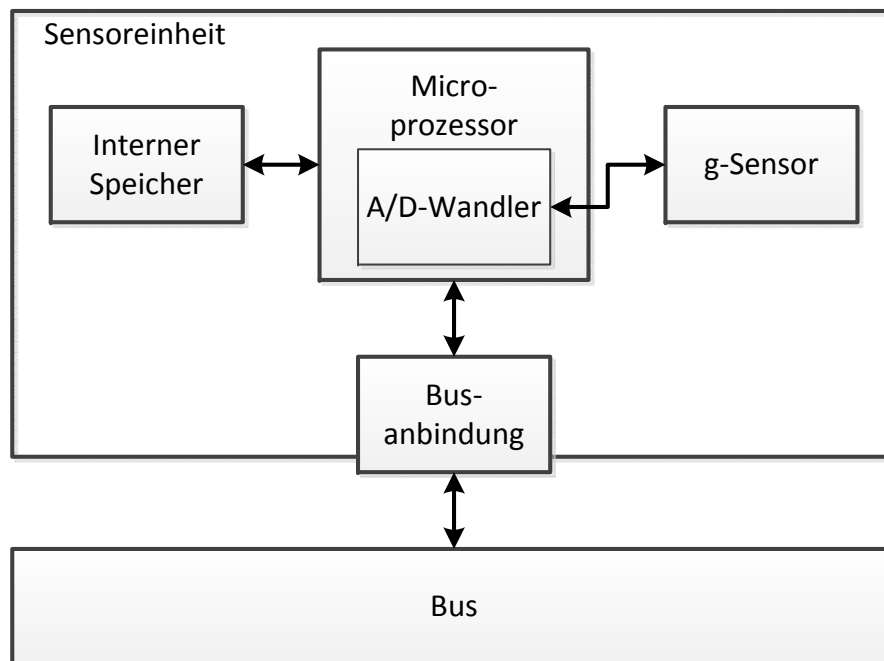


Abbildung 6.2.: Hardwarekonzept der Sensoreinheit.

### 6.1.3. Bussystem

Das Bussystem muss die Daten und Befehle zwischen Datenlogger und Sensoreinheiten übertragen. Die Reichweite des Bussystems muss genügen, um alle Komponenten der Messinstallation zu verbinden. Die Datenbandbreite muss die Übertragung der Messresultate aller Sensoren erlauben.

## 6.2. Komponentenauswahl

### 6.2.1. Mikroprozessor

Bei der Auswahl des Mikroprozessors werden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Rechenleistung genügend für allfällige zusätzliche Anforderungen.
- Analog-Digital-Wandler mit genügender Abtastrate und Auflösung.
- Digitaler Signal Prozessor integriert für die Verarbeitung der Messdaten.
- Ein-/Ausgänge für das Bussystem.
- Ein-/Ausgänge für den externen Speicher.
- möglichst geringer Stromverbrauch.

	Bitrate	Distanz	Clients	Besonderheiten
<b>CAN</b>	1 MBit/s 125 kBit/s	40 m 500 m	> 20	+ Collision Detection (CD) umgehen mit Polling durch Master. + Bei synchronem CAN wird CD durch ID gelöst. + CAN Controller sendet Interrupt Request bei erhaltener Nachricht.
<b>SPI</b>	..100 MBit/s	< 1 m	slave select	- Pro Client eine Slave Select Leitung - Daisy Chain $\Rightarrow$ alle MC beschäftigt. - Bei Ausfall eines MC ganzer Bus unterbrochen.
<b>RS485</b>	35 MBit/s 100 kBit/s	10 m 1200 m	>32	- Master am besten in der Mitte des Bus $\Rightarrow$ ungünstig. - Braucht 2..4 Drähte (bei Full Duplex) - braucht pull-up und pull-down Widerstände $\Rightarrow$ mehr Leistungsaufnahme.
<b>Ethernet</b>	100 MBit/s	100 m	> 20	+ Stromversorgung bei Power over Ethernet (PoE) integriert. - kein Bus sondern allenfalls Daisychain. - bei Daisychain kein PoE möglich.
<b>Feldbus</b>				ist eine Familie von Bussen, z.B. CAN-Bus
<b>I2C</b>	0.4..5 Mbit/s	wenige Meter	< 20	nur für kurze Distanzen, Bitrate nimmt rasch ab.

Tabelle 6.1.: Entscheidungsmatrix für die Auswahl des Bussystems.

### 6.2.2. Bus-System

Anhand folgender Kriterien wurde ein Bussystem ausgewählt:

- Übertragungsbandbreite genügend für fortlaufende Übertragung von Rohdaten einer Sensoreinheit.
- Reichweite mindestens 20 Meter.
- Robust gegenüber äusseren Einflüssen.
- Mindestens zwanzig Busteilnehmer möglich.

In Tabelle 6.1 sind die Eigenschaften diverser Bussysteme aufgeführt.

**Kommentare** SPI und I2C sind nur für kurze Distanzen geeignet und sind deshalb keine Option. Die Verwendung von Ethernet zur Datenübertragung würde zwei Schnittstellen auf jeder Sensoreinheit voraussetzen, um die Sensoren hintereinander zusammenzuhängen (Daisychain). Jedes Paket müsste vom Microcontroller weitergeleitet werden, wenn es für einen anderen Empfänger bestimmt ist. Dies führte zu einer zusätzlichen Belastung der Microcontroller. Stromversorgung über Ethernet ist mit PowerOverEthernet (PoE) zwar möglich, erfordert aber spezielle Geräte zur Speisung über den Stecker des Datenkabels. Dies verunmöglicht eine Daisychain mit PoE, neben dem Datenkabel wäre noch ein Kabel für die Stromversorgung notwendig.

liste  
CAN einfügen,  
Referenz auf White  
on IXXAT

**Vergleich CAN-Bus und RS485** CAN und RS: Stecker nicht definiert => wasserdichte Stecker einfach zu finden.

**Entscheidung** CAN-Bus erfüllt alle Kriterien und erlaubt es, den Busmaster am Ende des Bus zu platzieren. Dies ist ein Vorteil gegenüber RS485, wo der Master in der Mitte platziert werden sollte. CAN-Bus bietet bereits Kollisionserkennung und Fehlererkennung, während dies bei RS485 in der Software gelöst werden muss. Für CAN-Bus sind Bus-Treiber (Transceiver) erhältlich, die mit hohen Spannungen umgehen können, was das Bussystem robuster gegenüber Umwelteinflüssen macht. Die Grösse der Datenpakete ist bei CAN-Bus auf 8 Byte begrenzt, bei RS485 werden die Datenpakete über die Software frei definiert, was ein klarer Vorteil von RS485 darstellt. Insgesamt überwiegen die Vorteile von CAN-Bus klar.

### 6.2.3. Speichermedium

**Kriterien** Das externe Speichermedium soll möglichst klein sein, wenig Stromverbrauch haben und einfach auswechselbar sein. Bei Inaktivität sollte das Medium wenn möglich keinen Strom verbrauchen. Für einen mehrwöchigen unabhängigen Betrieb einer Messstation muss genügend Speicherkapazität bereitgestellt werden.

**Datenmenge** Pro Sensor werden bei hohem Geschiebeaufkommen maximal hundert Ereignisse pro Sekunde erwartet. Ein solches Geschiebeaufkommen stellt jedoch die Ausnahme dar. Ein Ereignis benötigt je nach verlangtem Detailgrad und Dauer des Ereignisses 10..90 Byte Speicherplatz. Für den normalen Betriebsmodus werden 50 Byte/Ereignis gerechnet, bei 5 Ereignissen pro Sekunde. Damit ergibt sich eine Datenrate von 250 Byte/s, die es pro Sensor abzuspeichern gilt. Mit zehn Sensoren im Einsatz müssen 2.5 kByte/s gespeichert werden.

**Unabhängige Betriebsdauer** Pro Gigabyte Speicherplatz können 111 Stunden Daten für zehn Sensoren gespeichert werden. Bei hohem Geschiebeaufkommen mit zwanzig mal mehr Ereignissen bleiben immer noch 5 Stunden Aufzeichnungszeit pro Gigabyte. Begnügt man sich mit weniger Details, reichen fallen pro Sensor in zehn Sekunden rund 400 Byte Daten an. Bei dieser Datenrate reicht ein Gigabyte für rund 700 Stunden. Auch bei hohem Geschiebeaufkommen kann die Anlage mehrere Tage an Daten speichern.

**Kapazität** Heute sind Speichermedien mit Kapazitäten bis über 128 GB erhältlich, so dass die Detailrate kein entscheidendes Kriterium mehr darstellt.

**Datentransfer** Für den Transfer der Daten aus dem Datenlogger auf einen Computer gibt es grundsätzlich zwei Varianten. Entweder man liest die Daten über eine Schnittstelle auf den Computer aus, oder man tauscht das Speichermedium aus. Das Auslesen via Schnittstelle benötigt zusätzlich Strom, das Wechseln des Speichermediums setzt einen mehr oder weniger komfortablen und trotzdem wasserdichten Zugang zum Medium voraus. Da heute Speichermedien mit kleinem Platzbedarf erhältlich sind, könnte ein solcher Zugang recht einfach mit einem Schraubverschluss realisiert werden.

**Vergleich** In Tabelle 6.2 werden verschiedene Speichermedien miteinander verglichen. In der Spalte 'Breite' ist aufgelistet, wie gross eine Öffnung mindestens sein muss, um das Speichermedium wechseln zu können. 'Pins' gibt an, wie viele Leitungen für den Anschluss des Mediums am Microcontroller nötig sind. Der Stromverbrauch in Klammern ist für den Standby-Modus des Speichermediums.

-Referenzen in  
5.2

	Breite	Pins	Stromverbrauch	Bemerkungen
<b>SD-Card</b>	24 mm	9	20..100 mA (0.2 mA)	4 bit breiter serieller Bus
<b>CompactFlash</b>	43 mm	50	max. 70 mA (k.A.)	paralleler Bus
<b>USB-Stick</b>	min. 12 mm	4	typ. 70 mA (k.A.)	

Tabelle 6.2.: Entscheidungsmatrix zur Auswahl des Speichermediums.

**Entscheid** Für einen verschraubbaren Verschluss ist die CompactFlash-Karte zu breit, das Gehäuse würde dadurch sehr gross werden. Die SD-Karte und der USB-Stick sind vergleichbar in der Grösse. Von der SD-Karte sind auch kleinere Varianten erhältlich. Eine Öffnung für den Austausch des Speichermediums kann eine gewisse Grösse ohnehin nicht unterschreiten, damit hineingegriffen werden kann. Da die SD-Karte im Standby den geringeren Stromverbrauch hat, wird der Datenlogger mit einem SD-Kartenleser ausgestattet.

#### 6.2.4. Sensor

Sensorauswahl b  
ben

#### 6.2.5. Schnittstelle

Schnittstellenaus  
beschreiben

### 6.3. Komponenten

Texten

#### 6.3.1. Cortex M4 Mikroprozessor

Texten

#### Flash Speicher

Texten

#### SDRAM

Texten

#### 6.3.2. Beschleunigungs-Sensor

Texten

#### 6.3.3. CAN Bus

Texten

### CAN Transceiver

### 6.3.4. SD Karte

### 6.3.5. UART Schnittstelle

## 6.4. Datenlogger

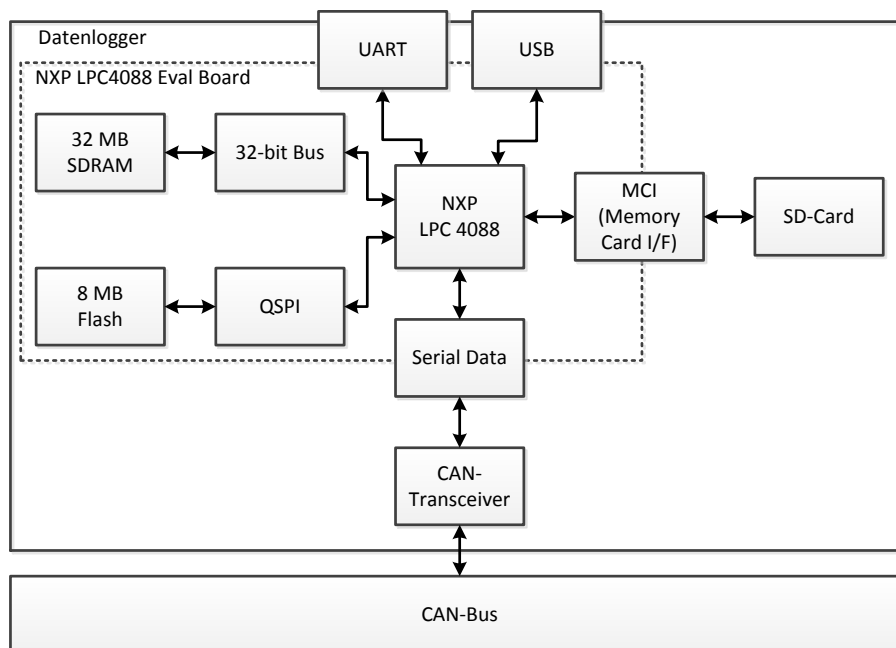


Abbildung 6.3.: Schematischer Hardware-Aufbau des Datenloggers.

### 6.5. Sensoreinheit

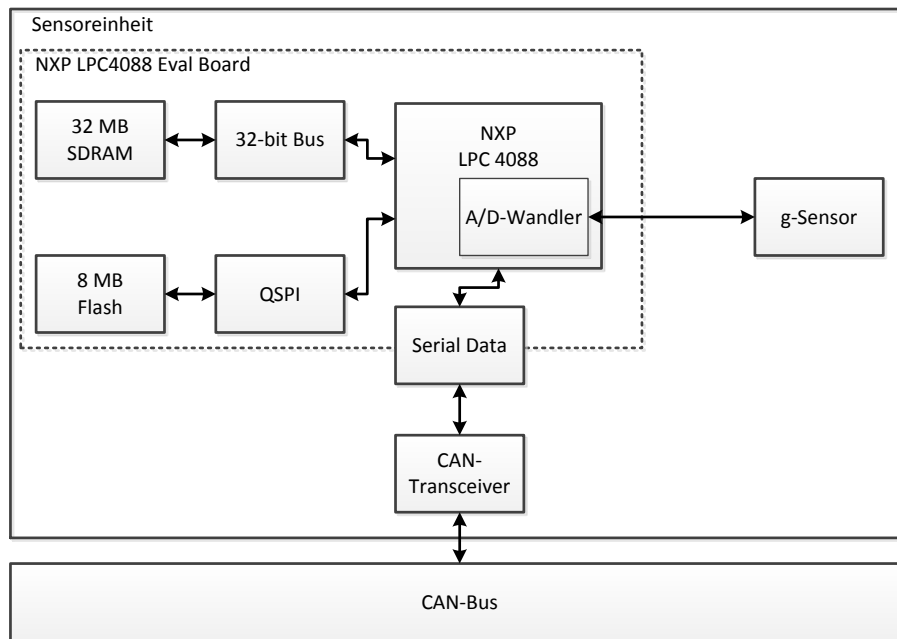


Abbildung 6.4.: Schematischer Hardware-Aufbau der Sensoreinheit.



## 7. Software-Konzept

### 7.1. Software-Stack

Impact, Bus,  
prozessor, A/D-  
Pin, Sensor,  
d/Grenzwert,

#### 7.1.1. Überblick

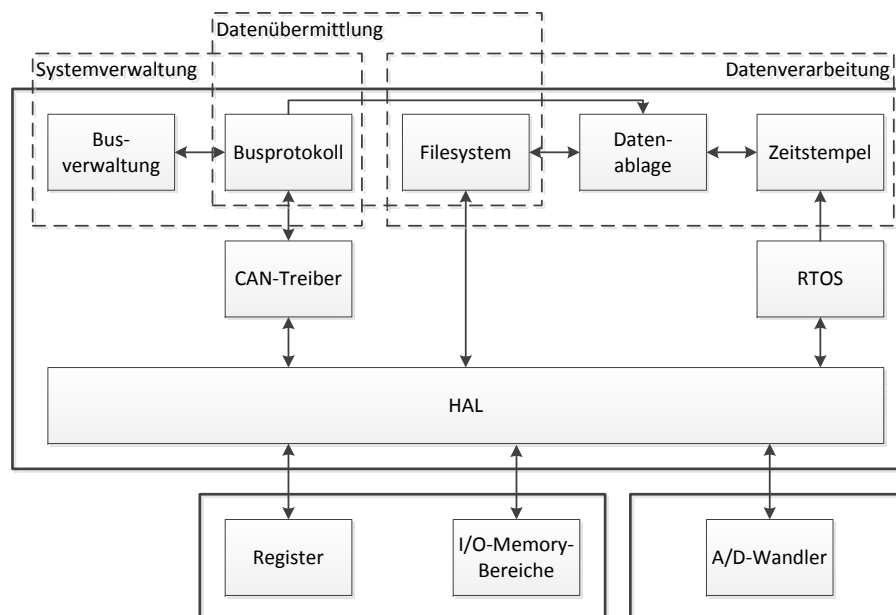


Abbildung 7.1.: Softwarestack des Datenloggers.

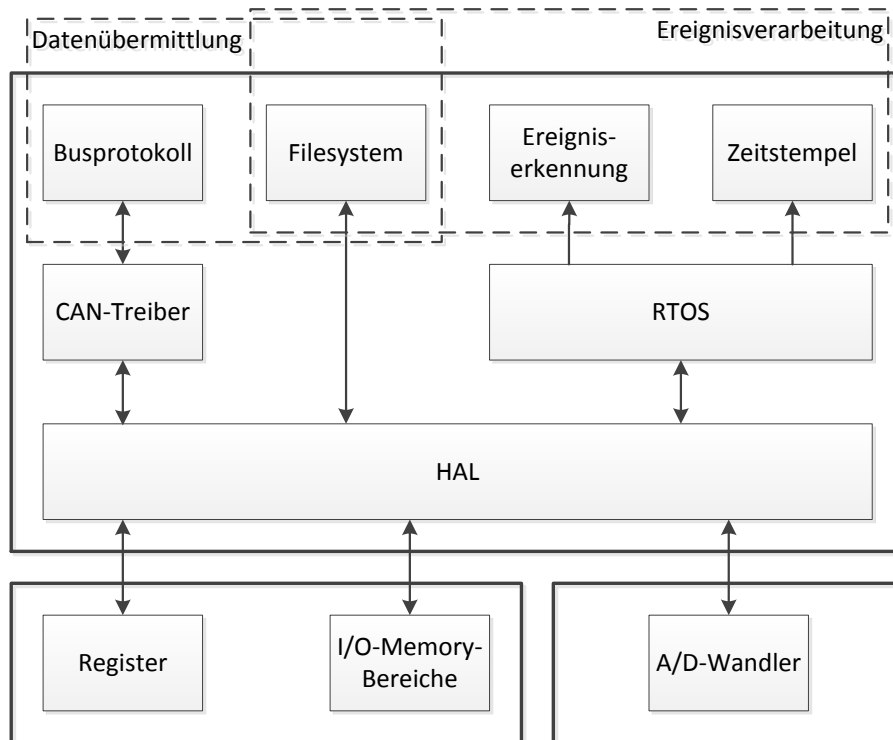


Abbildung 7.2.: Softwarestack der Sensoreinheit.

### 7.1.2. Messdatenerfassung

Der NXP LPC4088 Mikroprozessor verfügt über einen 12-bit A/D-Wandler, der über einen Multiplexer auf acht Pins messen kann. Auf dem verwendeten Quickstart-Board stehen 6 Pins für A/D-Wandlung zur Verfügung. Für die geplante Anwendung reicht ein A/D-Eingang, da der Beschleunigungs-Sensor die Beschleunigung nur auf einer Achse misst. Der A/D-Wandler des NXP LPC4088 wird mit einer Abtastrate von 10 kHz betrieben. Falls höhere Abtastraten nötig sind, kann der A/D-Wandler mit bis zu 400 kHz betrieben werden.

### 7.1.3. Ereigniserkennung

Vom WSL wurde die Ereigniserkennung bisher mittels Hilbert-Transformation gelöst. Die Hilbert-Transformation liefert die umhüllende Kurve des gemessenen Signals. Überschreitet die Umhüllende den Threshold, markiert dies den Start eines neuen Ereignisses. Fällt die Umhüllende unter den Threshold, ist das Ereignis beendet. Um den Rechenaufwand der Hilbert-Transformation zu umgehen, lösen wir die Ereigniserkennung einfacher.

FSM-figur anpas  
neue Stati

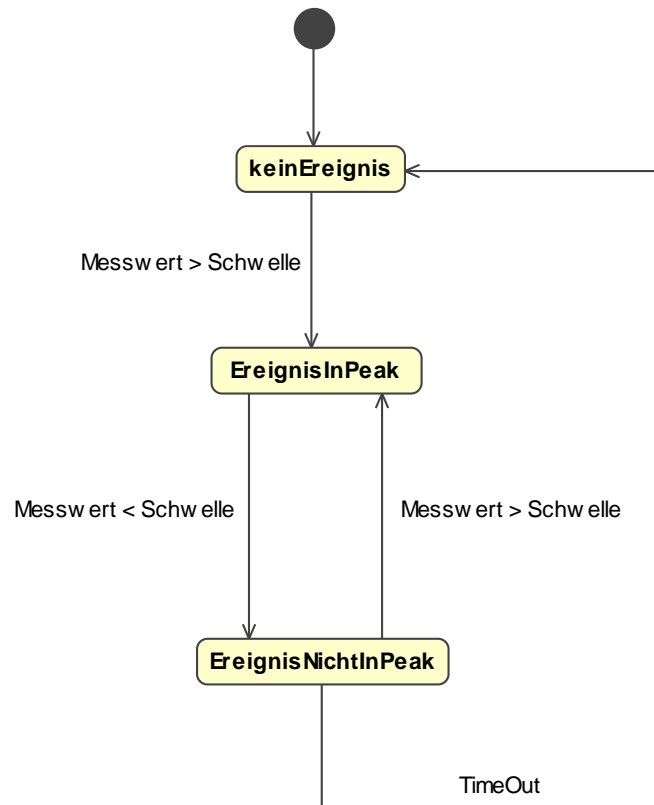


Abbildung 7.3.: Zustandsmaschine der Ereigniserkennung.

Erkennung be-  
n, welche Para-  
nnen konfigu-  
den

enhänge A/D-  
g und Ereigni-  
ng und Über-  
beschreiben

dene Betriebs-  
t Grafiken be-  
n

ungen, in wel-  
odus wie lange  
n werden kann,  
lange ein Sensor  
vorhandenen  
die Resultate  
speichern kann.  
s ein System  
n, das automa-  
schen verschie-  
odi hin- und  
en kann. (Ist  
s heikel). Wie  
soren können in  
Modus gleich-  
n System betrie-  
den, bei welcher  
ate ist Schluss

#### 7.1.4. Timestamp

#### 7.1.5. Verwaltung der Messstation

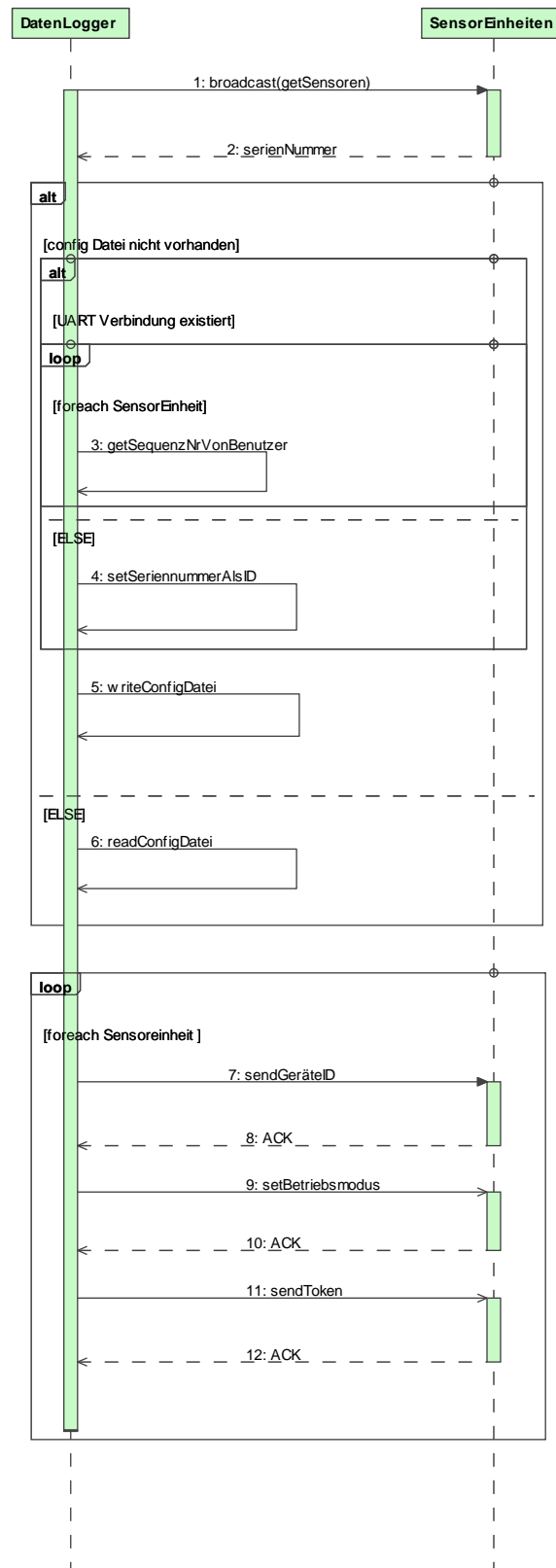


Abbildung 7.4.: Sequenzdiagramm des Startupvorgangs der Messstation.

### 7.1.6. Busprotokoll

protokoll austüf-  
stellung siehe  
zept Rioxo, ge-  
schreibung der  
tentypen. Ti-  
o der einzelnen  
zieht sich auf  
om Beginn des

### 7.1.7. Filesystem

nikationsdiagramm  
ler

### 7.1.8. UART-Kommandozeile

-System des  
lers aufführen

## 7.2. Funktionalität

ird für jeden  
in eigenes File  
Kann man alle  
en lassen oder  
eine gute Idee?  
besser, jedes  
File-Ende zu  
m neues anzu-

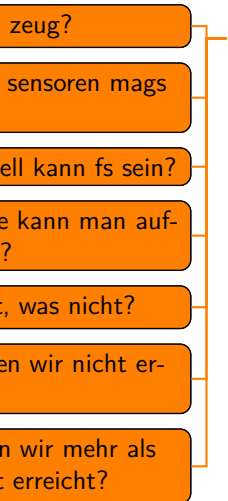
## 7.3. Konfiguration

ntation über die  
ndos, wird spä-  
ie Bedienungs-  
g gebraucht

e Art Bedie-  
leitung zur Kon-  
n geben. Wel-  
nmando hat  
Folge? (Wird  
fassung neu ge-  
werden allenfalls  
ensoren deakti-

## **8. Vorgehen**

## 9. Resultate



## 10. Diskussion

haben wir erfüllt

wo gabs schwierigkeiten?

worauf sind wir s

was könnte man weiter noch mac

was ist noch gep



## **11. Verzeichnisse**

# Literaturverzeichnis

- [1] B. Klaus and P. Horn, Robot Vision. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [2] L. Stein, ">Random patterns,"> in Computers and You, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70.

# Abbildungsverzeichnis

1.1. Eine Messstation mit einem Datenlogger, der mehrere Sensoreinheiten im Bach steuert.	6
6.1. Hardwarekonzept des Datenloggers. . . . .	15
6.2. Hardwarekonzept der Sensoreinheit. . . . .	16
6.3. Schematischer Hardware-Aufbau des Datenloggers. . . . .	20
6.4. Schematischer Hardware-Aufbau der Sensoreinheit. . . . .	21
7.1. Softwarestack des Datenloggers. . . . .	22
7.2. Softwarestack der Sensoreinheit. . . . .	23
7.3. Zustandsmaschine der Ereigniserkennung. . . . .	24
7.4. Sequenzdiagramm des Startupvorgangs der Messstation. . . . .	25

# Tabellenverzeichnis

6.1. Entscheidungsmatrix für die Auswahl des Bussystems. . . . .	17
6.2. Entscheidungsmatrix zur Auswahl des Speichermediums. . . . .	19

# Glossar

**Beispielglossareintrag** Ein Eintrag im Glossar, der nur für den Zweck der Demonstration der Anwendung des Glossars angelegt wurde. 7

# Akronyme

**AVZBE** Abkürzzzzzzungsverzeichnisbeispieleintrag 7, 8

## Listings

# A. Anhang

## A.1. Projektmanagement

- Offizielle Aufgabenstellung, Projektauftrag
- (Zeitplan)
- (Besprechungsprotokolle oder Journals)

## A.2. Weiteres

- CD mit dem vollständigen Bericht als pdf-File inklusive Film- und Fotomaterial
- (Schaltpläne und Ablaufschemata)
- (Spezifikationen u. Datenblätter der verwendeten Messgeräte und/oder Komponenten)
- (Berechnungen, Messwerte, Simulationsresultate)
- (Stoffdaten)
- (Fehlerrechnungen mit Messunsicherheiten)
- (Grafische Darstellungen, Fotos)
- (Datenträger mit weiteren Daten (z.B. Software-Komponenten) inkl. Verzeichnis der auf diesem Datenträger abgelegten Dateien)
- (Softwarecode)