



**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

5. 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 Disziplinar massnahmen 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

Inhaltsverzeichnis

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

6.2.3. Speichermedium	17
6.2.4. Sensor	18
6.2.5. Schnittstelle	18
6.3. Komponenten	18
6.3.1. Cortex M4 Mikroprozessor	18
6.3.2. Beschleunigungs-Sensor	18
6.3.3. CAN Bus	18
6.3.4. SD Karte	19
6.3.5. UART Schnittstelle	19
6.4. Datenlogger	19
6.5. Sensoreinheit	19
7. Software-Konzept	21
7.1. Software-Stack	21
7.1.1. Überblick	21
7.1.2. Messdatenerfassung	22
7.1.3. Ereigniserkennung	22
7.1.4. Timestamp	23
7.1.5. Verwaltung der Messstation	23
7.1.6. Busprotokoll	25
7.1.7. Filesystem	25
7.1.8. UART-Kommandozeile	25
7.2. Funktionalität	25
7.3. Konfiguration	25
8. Vorgehen	26
9. Resultate	27
10. Diskussion	28
11. Verzeichnisse	29
Literaturverzeichnis	30
Literaturverzeichnis	30
Abbildungsverzeichnis	31
(Abbildungsverzeichnis)	31
Tabellenverzeichnis	32
(Tabellenverzeichnis)	32
Glossar	33
Akronyme	34
(Glossar)	34
(Listingverzeichnis)	35
A. Anhang	I
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?	5
LITERATURVERWEISE!	5
etwas über signalerfassung.	13
etwas über signalverarbeitung (aufwand hilbert etc.)	13
Tabelle verschiedener uCs zum Vergleich	15
Kriterienliste RS485/CAN einfügen, Lit-Referenz auf White Paper von IXXAT	17
Literatur-Referenzen in Tabelle 6.2	17
Sensorauswahl beschreiben	18
Schnittstellenauswahl beschreiben	18
Texten	18
Texten	18
Texten	18
Texten	18
Texten	18
Texten	18
Texten	19
Texten	19
Texten	19
Texten	19
Texten	19
Glossar: Bus, Mikroprozessor, A/D-Wandler, Pin,	21
FSM-figur anpassen auf neue Stati	22
Ereigniserkennung beschreiben, welche Parameter können konfiguriert werden	23
Zusammenhänge A/D-Wandlung und Ereigniserkennung und Übertragung beschreiben	23
Verschiedene Betriebsmodi mit Grafiken beschreiben	23
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.	23
Timestamp beschreiben, Rechnung über die Dauer der eindeutigen Zuweisung.	23
Busverwaltung beschreiben	23

Figur 7.4 aufteilen auf zwei Seiten. (PDF-crop)	24
Busprotokoll austüfteln. Darstellung siehe HW-Konzept Rioxo, genaue Beschreibung der Nachrichtenentypen. Timestamp der einzelnen Peaks bezieht sich auf Offset vom Beginn des Impacts.	25
Kommunikationsdiagramm Bushandler	25
Interrupt-System des Bushandlers aufführen	25
Texten	25
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?	25
Dokumentation über die Kommandos, wird später für die Bedienungsanleitung gebraucht	25
Texten	25
Hier eine Art Bedienungsanleitung zur Konfiguration geben. Welches Kommando hat was zur Folge? (Wird Datenerfassung neu gestartet, werden allenfalls andere Sensoren deaktiviert etc.	25
läuft das Zeug?	27
wie viele Sensoren mag's leiden?	27
wie schnell kann fs sein?	27
wie lange kann man aufzeichnen?	27
was geht, was nicht?	27
was haben wir nicht erreicht?	27
wo haben wir mehr als gefordert erreicht?	27
haben wir erfüllt?	28
wo gabs Schwierigkeiten?	28
worauf sind wir stolz	28
was könnte man jetzt weiter noch machen?	28
was ist noch geplant?	28

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage

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 Geophone, 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 die Beschleunigung, werten die Signale aus und erkennen Ereignisse, die einer vordefinierten Signalform entsprechen. Alle Sensoreinheiten sind über ein Bussystem mit dem Datenlogger 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.

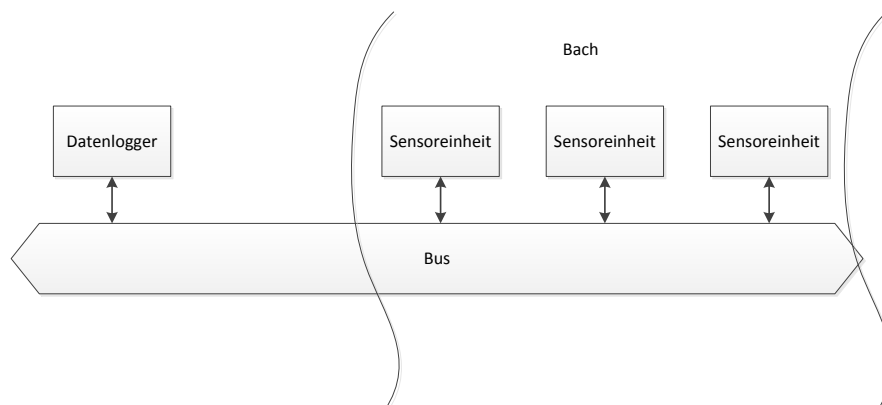


Abbildung 1.1.: Eine Messstation mit einem Datenlogger, der mehrere Sensoreinheiten im Bach steuert.

was gibt es bis j
wie wirds gemac
gäbe es für alter

LITERATURVER

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.

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 ungefähr 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

etwas über mems

etwas über signa
sung.

etwas über signa
beitung (aufwan
etc.)

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 Bussystem ein und speichert sie ab. Dafür benötigt er das Bussystem, 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.

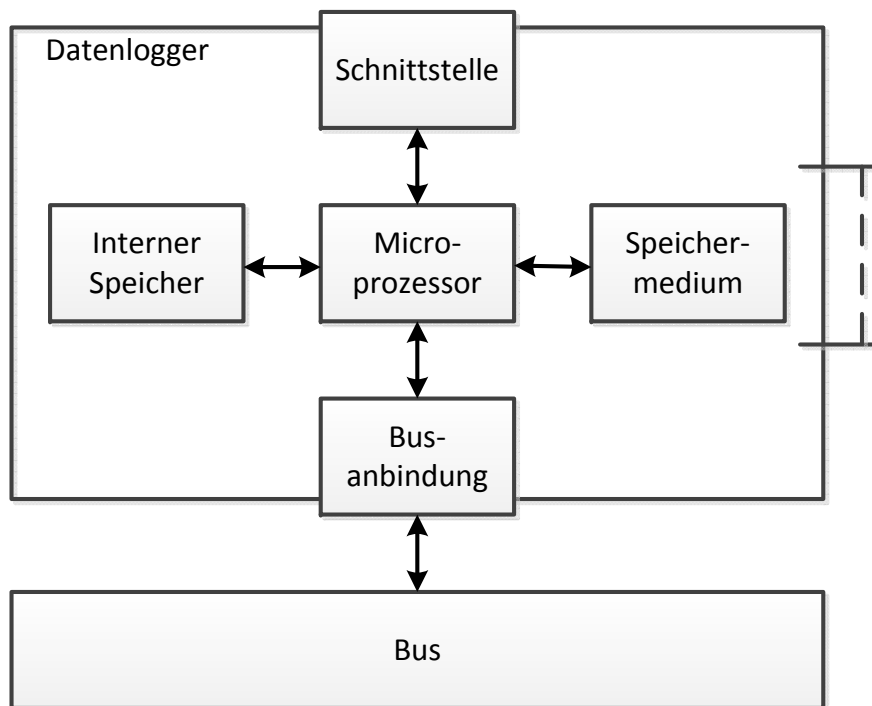


Abbildung 6.1.: Hardwarekonzept des Datenloggers.

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 Bussystem an den Datenlogger übertragen.

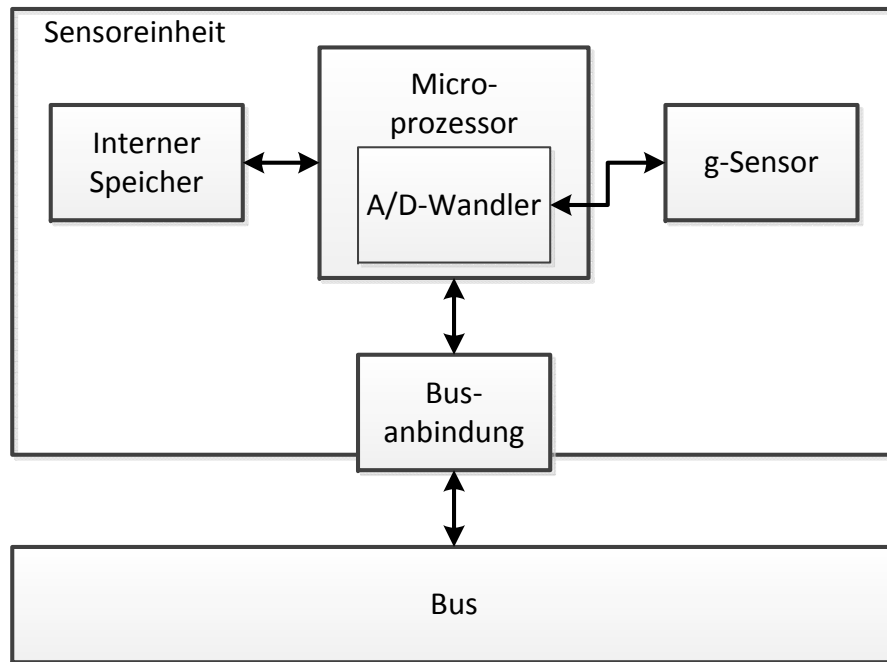


Abbildung 6.2.: Hardwarekonzept der Sensoreinheit.

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
CAN	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.
SPI	..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.
RS485	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.
Ethernet	100 MBit/s	100 m	> 20	+ Stromversorgung bei Power over Ethernet (PoE) integriert. - kein Bus sondern allenfalls Daisychain. - bei Daisychain kein PoE möglich.
Feldbus				ist eine Familie von Bussen, z.B. CAN-Bus
I2C	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.

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

Kriterienliste
RS485/CAN ein
Lit-Referenz auf
Paper von IXXA

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.

Literatur-Referenz
Tabelle 6.2

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

swahl beschrei-

6.2.5. Schnittstelle

cellenauswahl
oen

6.3. Komponenten

6.3.1. Cortex M4 Mikroprozessor

Flash Speicher

SDRAM

6.3.2. Beschleunigungs-Sensor

6.3.3. CAN Bus

CAN Transceiver

Texten

6.3.4. SD Karte

Texten

6.3.5. UART Schnittstelle

Texten

6.4. Datenlogger

Texten

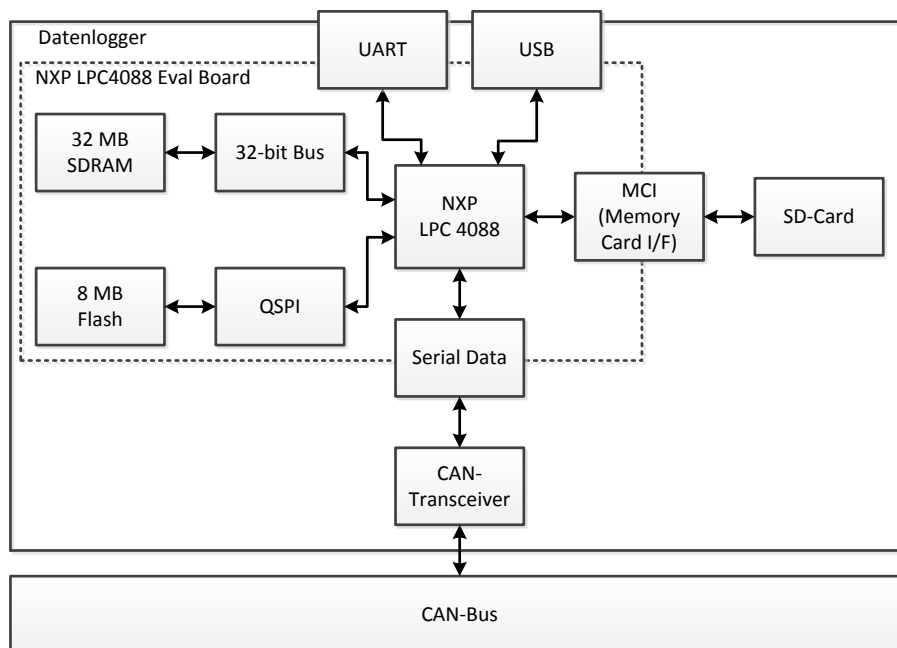


Abbildung 6.3.: Schematischer Hardware-Aufbau des Datenloggers.

6.5. Sensoreinheit

Texten

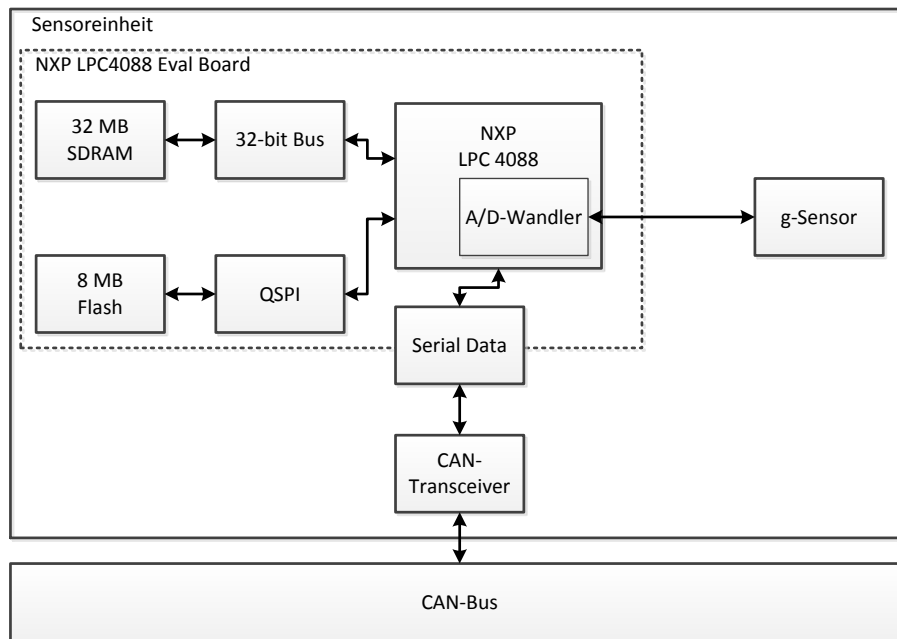


Abbildung 6.4.: Schematischer Hardware-Aufbau der Sensoreinheit.

7. Software-Konzept

7.1. Software-Stack

Glossar: Bus, Mi
zessor, A/D-War
Pin,

7.1.1. Überblick

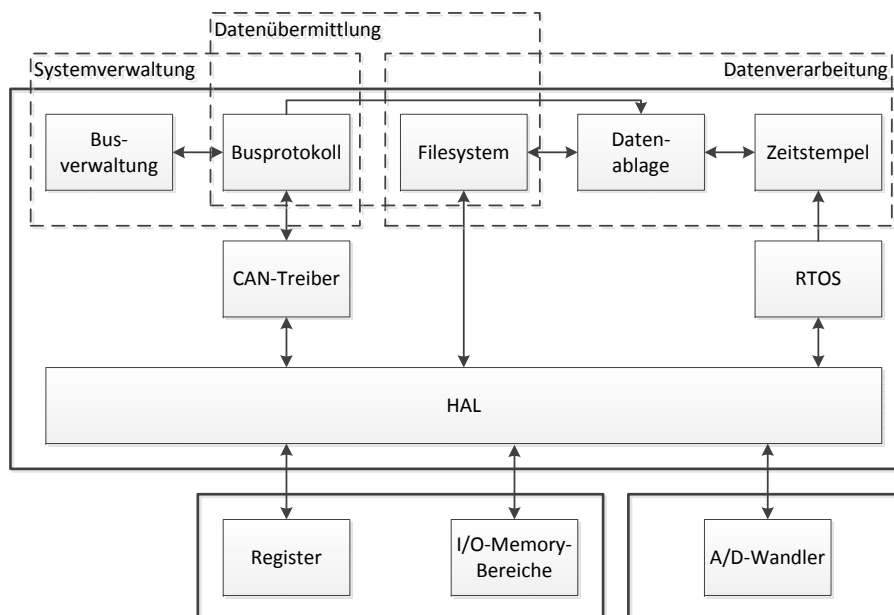


Abbildung 7.1.: Softwarestack des Datenloggers.

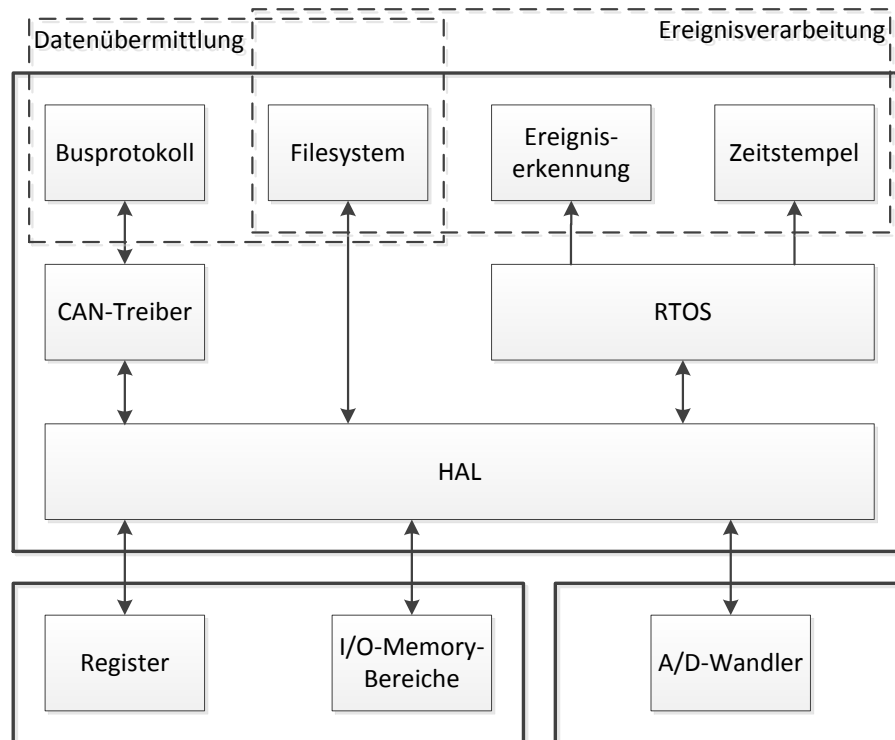


Abbildung 7.2.: Softwarestack der Sensoreinheit.

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.

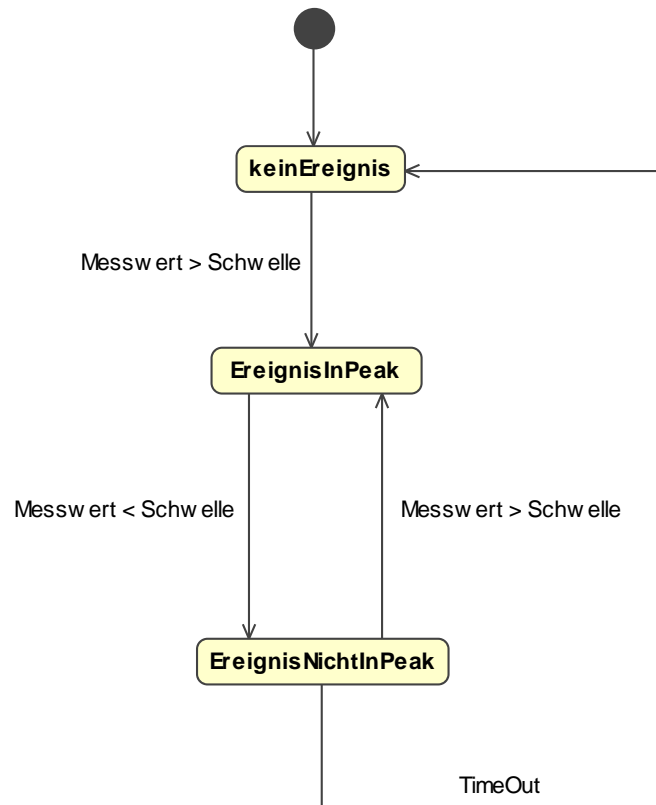


Abbildung 7.3.: Zustandsmaschine der Ereigniserkennung.

7.1.4. Timestamp

7.1.5. Verwaltung der Messstation

Ereigniserkennung
schreiben, welche
meter können ko
riert werden

Zusammenhänge
Wandlung und E
erkennung und
tragung beschrei

Verschiedene Be
modi mit Grafike
schreiben

Berechnungen, in
chem Modus wie
gemessen werden
und wie lange ei
mit dem vorhand
Speicher die Res
zwischenspeicher
Allenfalls ein Sys
erwähnen, das a
tisch zwischen v
denen Modi hin-
herschalten kann
allerdings heikel)
viele Sensoren kö
welchem Modus
zeitig am System
ben werden, bei
Ereignisrate ist S

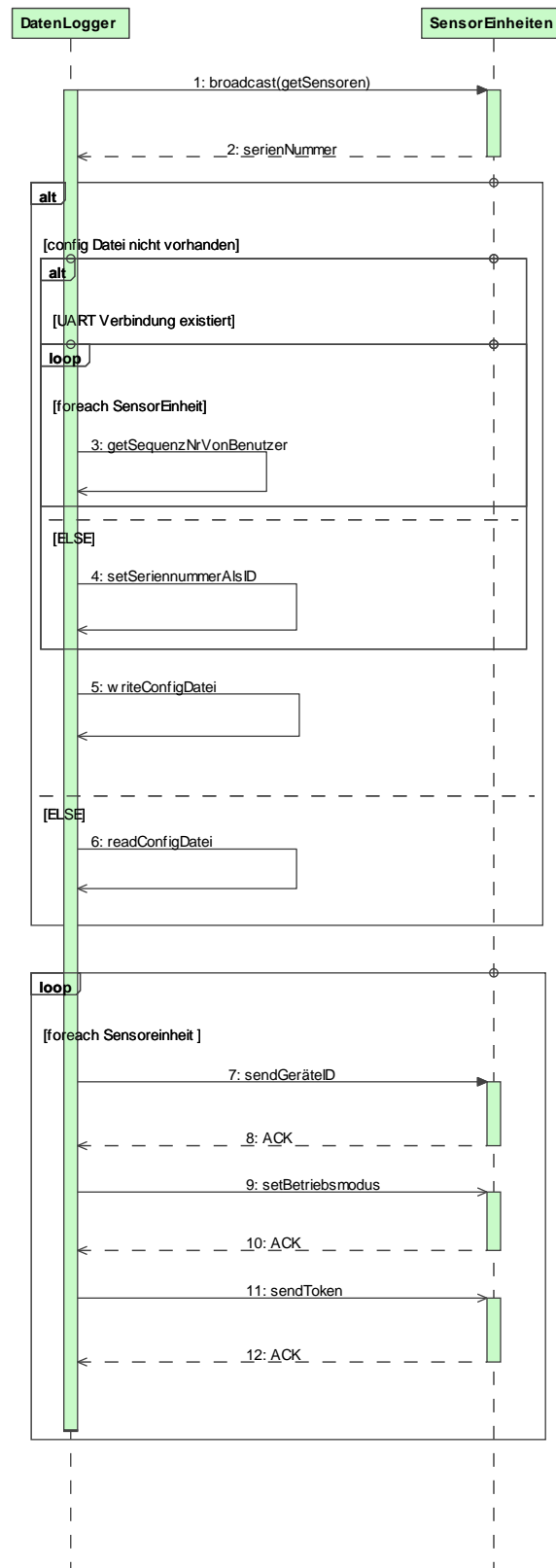


Abbildung 7.4.: Sequenzdiagramm des Startupvorgangs der Messstation.

7.1.6. Busprotokoll

7.1.7. Filesystem

7.1.8. UART-Kommandozeile

7.2. Funktionalität

7.3. Konfiguration

Busprotokoll aus
teln. Darstellung
HW-Konzept Ric
naue Beschreibu
Nachrichtentypen
mestamp der ein
Peaks bezieht sic
Offset vom Begi
Impacts.

Kommunikations
Bushandler

Interrupt-System
Bushandlers auff

Texten

Frage: wird für j
Sensor ein eigene
geführt? Kann m
Files offen lassen
ist das keine gut
Was ist besser, j
mal das File-End
suchen um neues
hängen?

Dokumentation
Kommandos, wir
ter für die Bedie
anleitung gebrau

Texten

Hier eine Art Be
nungsanleitung z
figuration geben
ches Kommando
was zur Folge? (
Datenerfassung
startet, werden a
andere Sensoren
viert etc.

8. Vorgehen

9. Resultate

läuft das zeug?

wie viele sensore
leiden?

wie schnell kann

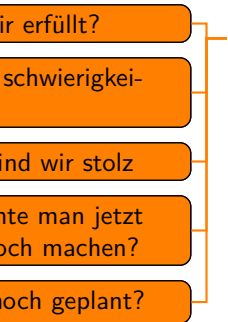
wie lange kann m
zeichnen?

was geht, was ni

was haben wir n
reicht?

wo haben wir me
gefordert erreich

10. Diskussion



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.	5
6.1. Hardwarekonzept des Datenloggers.	14
6.2. Hardwarekonzept der Sensoreinheit.	15
6.3. Schematischer Hardware-Aufbau des Datenloggers.	19
6.4. Schematischer Hardware-Aufbau der Sensoreinheit.	20
7.1. Softwarestack des Datenloggers.	21
7.2. Softwarestack der Sensoreinheit.	22
7.3. Zustandsmaschine der Ereigniserkennung.	23
7.4. Sequenzdiagramm des Startupvorgangs der Messstation.	24

Tabellenverzeichnis

6.1. Entscheidungsmatrix für die Auswahl des Bussystems.	16
6.2. Entscheidungsmatrix zur Auswahl des Speichermediums.	18

Glossar

Bussystem Ein elektrisches System für die Kommunikation zwischen mehreren Geräten. Ein Bussystem besteht aus Datenleitungen, über welche Signale gesendet werden, und aus Schnittstellen, an denen die Busteilnehmer angeschlossen werden. Die Besonderheit liegt darin, dass über ein Leitungssystem mehr als zwei Geräte miteinander kommunizieren können. Mittels eines Adressierungsschemas kann der/die Empfänger ausgewählt werden. 1, 5–8, 11, 14–17, 32

Datenlogger Ein Gerät zur Sammlung und Speicherung von Messdaten von mehreren Sensoreinheiten. 1, 2, 5–11, 14, 15, 17–19, 21, 31, *siehe* Sensoreinheit

Ereignis Eine Abfolge von Messwerten, die einer vordefinierten Form entspricht. Es kann zum Beispiel ein Schwellenwert (engl. threshold) definiert sein. Das Überschreiten dieses Wertes kann dann den Beginn, das Unterschreiten des Schwellenwertes das Ende eines Ereignisses markieren. 5–11, 17, 22

Geophon Ein Messgerät für Vibrationen des Bodens. Ein Geophon misst Bewegungen mittels einer magnetischen Masse, die beweglich in einer Spule aufgehängt ist. Wird das Geophon in Bewegung versetzt, schwingt die magnetische Masse aufgrund ihrer Trägheit und induziert dadurch einen Strom in der Spule. Durch Messung dieses Stroms kann die Bewegung registriert werden. 5, 12

Sensor Ein Messgerät für physikalische Größen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck oder Beschleunigung. 2–4, 6–11, 15–18, 22, 23, 25

Sensoreinheit Ein kombiniertes elektronisches Gerät zur Messung von physikalischen Daten und der Verarbeitung dieser Daten. Das Gerät verfügt über einen Mikroprozessor und einen Sensor. Optional kann auch eine Schnittstelle für die Kommunikation mit einem Datenlogger vorhanden sein. 1, 2, 5–7, 10–12, 14–16, 19, 20, 22, 31, *siehe* , &

Threshold Englisch für Schwellenwert. 7, 22

Timestamp Englisch für Zeitmarke. Mittels eines Timestamps kann ein Ereignis oder ein Messwert einem genauen Zeitpunkt zugeordnet werden. Der Timestamp wird dafür zu einem bestimmten Zeitpunkt auf null gesetzt (Reset) und in allen Messgeräten in vordefiniertem Takt erhöht. Der Timestamp gibt an, wie viel Zeit seit dem Reset vergangen ist. Durch die Wahl des Takts wird die zeitliche Auflösung definiert. 1, 2, 7, 10, 11, 23

Abkürzungsverzeichnis

WSL Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 5

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)