

FACHHOCHSCHULE AACHEN, CAMPUS JÜLICH

FACHBEREICH 09 - MEDIZINTECHNIK UND TECHNOMATHEMATIK  
STUDIENGANG ANGEWANDTE MATHEMATIK UND INFORMATIK

SEMINARARBEIT

---

**Überblick über die  
Messwerterfassungssysteme im  
Wasserbaulichen Versuchswesen am  
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau  
und Wasserwirtschaft**

---

*Autor:*

Valentin Meincke, 3283941

*Betreuer:*

Prof. Dr. Horst Schäfer

B. Sc. Bernd Böckmann

Aachen, 15. Dezember 2022



## Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Seminararbeit mit dem Thema

Überblick über die Messwerterfassungssysteme im Wasserbaulichen  
Versuchswesen am Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und  
Wasserwirtschaft

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Ich verpflichte mich, ein Exemplar der Seminararbeit fünf Jahre aufzubewahren und auf Verlangen dem Prüfungsamt des Fachbereiches Medizintechnik und Technomathematik auszuhändigen.

Name: Valentin Meincke

Aachen, den 15. Dezember 2022



Unterschrift des Studierenden

## Zusammenfassung

Diese Seminararbeit befasst sich mit der Messwerterfassung am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW). Unter Messwerterfassung versteht man das Messen von physikalischen Größen durch Sensoren und Messgeräte. Am IWW werden vor allem Ultraschallsensoren für die Abstandsmessung, Drucksensoren für die Druckmessung und Durchflussmesser für die Durchflussmessung verwendet. Weitere Messgeräte, die im Einsatz sind, sind DAQ-Boxen (Data Acquisition Boxen) von National Instruments und selbstgebaute Boxen für die Datenerfassung. Diese dienen der Umwandlung der Signale in einen digitalen Datenstrom, damit dieser an einen Computer weitergeleitet werden kann. Für die Übertragung der Daten zum Computer kommen drei verschiedene Protokolle zum Einsatz.

- National Instruments eigene Streaming Technologie.
- Modbus, ein Open Source Protokoll, das mit unterschiedlichen Betriebsmodi arbeitet.
- CSV.

Auf dem Computer kommt noch Software zum Einsatz. Diese dient der visuellen Darstellung und Auswertung der Messwerte. Verwendet wird dafür LabVIEW, eine Software von National Instruments und eine in Python und C++ selbstgeschriebene Software.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Vorstellung der Systeme</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Überblick der einzelnen Komponenten</b>	<b>3</b>
3.1	Hardware . . . . .	3
3.1.1	Sensorik . . . . .	3
3.1.2	Messwerterfassung . . . . .	7
3.2	Software . . . . .	10
3.2.1	Übertragungsprotokolle . . . . .	10
3.2.2	PC-Software . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Exemplarische Beschreibung eines Aufbaus</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Was sollte ein Übertragungsprotokoll für das Institut können?</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>16</b>
<b>A</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>17</b>
<b>B</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>20</b>

# 1 Einleitung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein grundlegendes Verständnis über die Messwerterfassung am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) zu schaffen. In der folgenden Arbeit wird näher darauf eingegangen, wie die Messwerterfassung am Institut erfolgt, welche Hard- und Software eingesetzt wird und welche Übertragungsprotokolle Anwendung finden. Dies dient dazu, am Ende die spezifischen Anforderungen, die ein Übertragungsprotokoll am IWW haben soll, zu nennen, damit ein entsprechendes Protokoll in Zukunft entwickelt werden kann. Zunächst muss man sich aber kurz damit auseinandersetzen, was Messwerterfassung überhaupt ist.

## Was ist Messwerterfassung?

‘Unter dem Begriff Messwerterfassung werden Methoden und Techniken zusammengefasst, mittels denen physikalische Größen wie Temperaturen, Drücke oder Schwingungen durch Sensoren und Messgeräte erfasst werden. Die Ermittlung von Messwerten, die Messmittel und deren Anwendung sowie die dazugehörigen Grundbegriffe der Messtechnik werden in der DIN 1319 definiert. Messwerte lassen sich sowohl analog als auch digital kommunizieren.’ [Del]

Auf die Fragen, welche physikalischen Größen am Institut gemessen, welche Messmittel verwendet und wie die Messwerte im Anschluss kommuniziert werden, wird im Nachfolgenden genauer eingegangen.

## 2 Vorstellung der Systeme

Wie zuvor in Kap.1 beschrieben, gibt es die unterschiedlichsten physikalischen Größen, die gemessen werden können. Außerdem gibt es die Möglichkeit, die Messwerte entweder analog oder digital zu übermitteln. Am Institut wird mit mehreren Systemen gearbeitet. Alle diese Systeme funktionieren jedoch nach dem gleichen Prinzip.

Am Anfang dieser Messkette steht ein Sensor, der eine physikalische Größe misst. Am IWW sind es Ultraschallsensoren für die Abstandsmessung und Drucksensoren für die Druckmessung. Diese geben die gemessenen Werte in analoger Form, als elektrischen Strom, weiter. Im Anschluss müssen diese aufbereitet, digitalisiert und dann zur Auswertung an einen Computer gesendet werden.

Für die Aufbereitung verwendet das IWW eigens gebaute Boxen, die den Strom in eine Spannung umwandeln. Dies passiert, da die DAQ-Boxen (Data Acquisition - Boxen) von National Instruments und auch die selbstgebaute Boxen für die Erfassung und Weiterleitung der Daten an den Computer einen Spannungseingang besitzen.

Die einzelnen Komponenten der Hard- und Software werden im nächsten Abschnitt näher erläutert, um ein genaueres Bild zu schaffen und um festzustellen, welche Anforderungen das Institut an ein Übertragungsprotokoll hat.

# 3 Überblick der einzelnen Komponenten

Im folgenden Kapitel wird ein genauer Einblick über die verwendete Hard- und Software gegeben.

## 3.1 Hardware

Die Hardware lässt sich dabei in die Sensorik und die Messwerterfassung unterteilen. Die Sensorik bildet dabei den Anfang der Messkette, gefolgt von den Geräten, die für die Messwerterfassung zuständig sind.

### 3.1.1 Sensorik

#### Ultraschallsensoren

Bei einem Ultraschallsensor handelt es sich um einen Sensor, der nach dem Prinzip der Echolaufzeitmessung Abstände misst. Das Prinzip der Echolaufzeitmessung funktioniert wie folgt:

‘Der Ultraschallsensor strahlt zyklisch einen kurzen, hochfrequenten Schallimpuls aus. Dieser pflanzt sich mit Schallgeschwindigkeit in der Luft fort. Trifft er auf ein Objekt, wird er dort reflektiert und gelangt als Echo zurück zum Ultraschallsensor. Aus der Zeitspanne zwischen dem Aussenden des Schallimpulses und dem Empfang des Echosignals berechnet der Ultraschallsensor intern die Entfernung zum Objekt.’ [Micb]

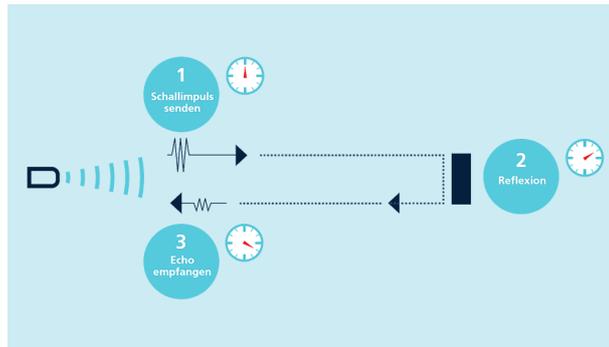


Abbildung 3.1: Ultraschall-Messprinzip: Echolotzeitmessung  
1

Dieses Prinzip lässt sich auch sehr gut visuell darstellen, wie in Abb. 3.1 zu sehen ist. Als erstes wird ein Schallimpuls ausgesendet, wie in der obigen Abbildung in Schritt 1 dargestellt. Wenn dieser Schall anschließend auf ein Objekt trifft, wie in Schritt 2 dargestellt, wird er reflektiert und am Ende wieder vom Ultraschallsensor, Schritt 3, empfangen. Die Entfernung lässt sich anschließend mit der Formel 3.1 berechnen.

$$s = \frac{1}{2} \cdot t \cdot c \quad (3.1)$$

Dabei steht  $t$  für die Zeit und  $c$  für die Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der, zum Zeitpunkt der Messung, vorhandenen Temperatur.

In der Industrie gibt es die unterschiedlichsten Arten von Ultraschallsensoren. Es gibt z. B. Einkopf- und Zweikopfsensoren. Bei einem Einkopfsensor befinden sich der Sender und der Empfänger im gleichen Gehäuse, während im Zweikopfsensor der Sender und der Empfänger in getrennten Gehäusen sitzen. Am IWW verwendet man Einkopfsensoren der Firma Microsonic. Aktuell sind zwei Typen im Einsatz. Zum einen der pico+35/I und zum anderen der pico+100/I. In Abb. 3.2 ist solch ein Sensor vom Typ 35/I zu sehen.

---

<sup>1</sup>Bild von <https://www.microsonic.de/de/service/ultraschallsensoren/prinzip.htm>



Abbildung 3.2: PicoPlus35 Sensortyp

2

Der Grund, weshalb zwei unterschiedliche Modelle verwendet werden, ist der unterschiedliche Messbereich der beiden Sensoren. Dabei hängt die verwendete Frequenz der Sensoren mit der möglichen Messreichweite zusammen. Das kommt daher, dass der Schall nach Aussendung absorbiert wird. Allgemein gilt, ‘Je höher die Ultraschallfrequenz, umso größer ist die Absorption und umso geringer ist die maximale Reichweite.’ [Her12]. Auch die minimale Messreichweite hängt damit zusammen. Denn nachdem der Sensor den Schall ausgesendet hat, muss er erst in den Empfangsbetrieb wechseln. In dieser Zeit kann der Sensor ein Echo nicht wahrnehmen.

Der pico+35/I verwendet eine Ultraschall-Frequenz von 400 kHz, wodurch ein effektiver Messbereich von 65 - 600 mm abgedeckt werden kann, während der pico+100/I eine Ultraschall-Frequenz von 200 kHz verwendet und somit einen effektiven Messbereich von 120 - 1300 mm ermöglicht. Als Ausgang haben die Sensoren einen Stromausgang. Die durch die Sensoren gemessene Entfernung wird dadurch dann als Stromstärke übergeben. Die Sensoren gibt es auch mit Spannungsausgang. Damit aber nicht Messdaten durch mögliche Spannungsabfälle aufgrund von langen Kabeln verfälscht werden, verwendet das Institut nur die Sensoren mit Stromausgang. In der Folge muss die Stromstärke zunächst in eine Spannung umgewandelt werden, da die DAQ-Boxen einen Spannungseingang haben. Dies geschieht am IWW durch einen Widerstand.

$$R = \frac{U}{I} \Leftrightarrow U = R \cdot I \quad (\text{Ohmsches Gesetz}) \quad (3.2)$$

---

<sup>2</sup>Bild von <https://www.microsonic.de/de/abstandssensoren/zyllindrisch/picoplus/standardsensoren/standardsensoren/picoplus35i.htm>

Im Anschluss wird das Signal dann an die DAQ-Boxen weitergeleitet. Hierbei werden aktuell zwei Typen von National Instruments verwendet. Auf diese wird im nächsten Kapitel genauer eingegangen.

Damit die Sensoren sich nicht gegenseitig beeinflussen, ist zu beachten, dass sie in gewissen Abständen zueinander aufgebaut oder so geschaltet werden, dass sie versetzt messen.

## Durchflussmesser

Das Institut verwendet die Durchflussmesser der Firma Meister, und zwar das Modell DIGA-4 (Nachfolger DHGA-4).



Abbildung 3.3: Durchfluss-Sensor der Baureihen DHGA

<sup>3</sup>

Hierbei handelt es sich um einen Flügelrad-Durchflussmesser. Das Prinzip dahinter ist ein Flügelrad in einem abgeschlossenen Behälter, welches sich durch die hindurchströmende Flüssigkeit dreht. Aus der Drehzahl kann dann der Durchfluss bestimmt werden. Im Anschluss wird das Signal analog weitergeleitet und gleich wie beim Ultraschallsensor verarbeitet.

---

<sup>3</sup>Bild von <https://meister-flow.de/produkte/dhga-2-dhga-4/>

Durch das Messen des Durchflusses, kann so eine Anpassung desselben erfolgen. Dies geschieht, indem ein elektrisches Ventil entweder auf oder zu geschaltet wird. Verwendet wird am Institut das *KIT POS. J3C*.

## Drucksensoren

Bei einem Drucksensor handelt es sich um einen Sensor, der die physikalische Größe Druck misst.

Am IWW werden dabei zwei verschiedene Drucksensoren verwendet. Zum einen der P31 der Firma WIKA und zum anderen der ATM.1ST der Firma STS. Die Firma WIKA baut drei unterschiedliche Typen von Drucksensoren (Dünnschichtsensoren, Dickschichtsensoren, Piezoresistive Drucksensoren). Diese drei Sensoren arbeiten nach dem gleichen Prinzip wie Dehnungsmessstreifen.

‘Ein Dehnungsmessstreifen oder kurz DMS ist ein Sensor, dessen Widerstand sich mit der angelegten Kraft ändert. Er wandelt mechanische Größen wie Kraft, Druck, Zug, Gewicht, usw., in eine messbare Änderung des elektrischen Widerstands um.’ [\[inc\]](#)

Was für ein Sensor der P31 genau ist, ist nicht bekannt. Bei dem Sensor der Firma STS handelt es sich um einen Piezoresistiven Drucksensor.

Beide Sensoren geben im Anschluss einen Strom aus, der gewandelt und anschließend von DAQ-Boxen in digitale Signale umgewandelt wird. Also gleich weiter verarbeitet wird, wie das Signal der Ultraschallsensoren.

### 3.1.2 Messwerterfassung

Die Messwerterfassung erfolgt über DAQ-Boxen. Zum Einsatz kommen aktuell welche von National Instruments und selbstgebaute.

#### National Instruments

Von National Instruments werden zwei Arten von DAQ-Boxen verwendet. Zum einen die USB X Series (Multifunction DAQ) USB-6351 und zum anderen das USB-6251 Multifunctional I/O.



Abbildung 3.4: DAQ-Box von National Instruments

4

Beide arbeiten nach dem gleichen Prinzip. Sie nehmen das Signal auf und wandeln es anschließend mittels eines Analog Digital Wandlers, auch Analog Digital Converter kurz ADC genannt, in ein digitales Signal um, welches dann an den Computer gesendet wird. Bei einem ADC wird die eingehende Spannung auf Zahlen abgebildet. Wenn man einen 16-Bit ADC hat, kann man z. B. eine mögliche Eingangsspannung von 0-1 V in  $2^{16}$  Zahlen auf der Y-Achse darstellen. Man spricht hier von der Auflösung eines ADCs. Dabei ist zu beachten, dass aufgrund der Quantisierung Informationen verloren gehen. Bei der Quantisierung handelt es sich um eine Abweichung zwischen dem Digitalsignal und dem eigentlichen Wert des Analogsignals, die auftritt, weil das Digitalsignal nur diskrete Werte und das Analogsignal den Wertebereich der reellen Zahlen verwendet.

---

<sup>4</sup>Bild von <https://www.ni.com>

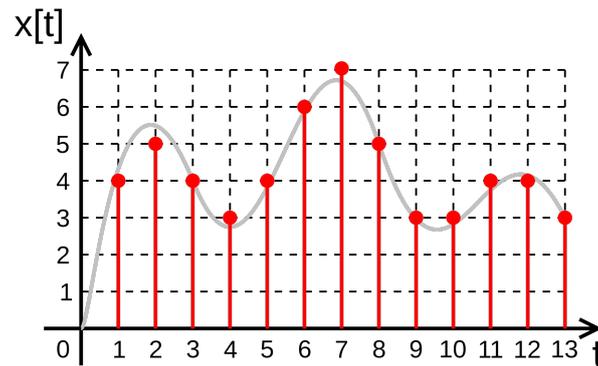


Abbildung 3.5: Digitalsignal (rote Punkte), Analogsignal (graue Linie)

5

Wie in Abb. 3.5 zu sehen kann das Analogsignal, dargestellt als graue Linie, jeden reellen Wert annehmen. Das Digitalsignal, dargestellt als rote Punkte, hingegen nicht. Diese Abweichung die z. B. bei  $t=2$  zu sehen ist, zwischen der grauen Linie und dem roten Punkt, ist der Quantisierungsfehler.

Damit das Signal möglichst genau abgebildet werden kann, wird eine relativ hohe Abtastrate gebraucht. Die Abtastrate beschreibt die Anzahl an Werten pro Sekunde, die in einen digitalen Wert umgewandelt werden. Je höher die Auflösung und die Abtastrate, umso genauer kann das Signal reproduziert werden. Beide DAQ-Systeme von National Instruments arbeiten mit einer Auflösung von 16-Bit und einer maximalen Abtastrate von 1.25 MS/s bei Single channel und 1 MS/s bei Multichannel Betrieb. MS/s steht für Megasamples (Millionen Samples) pro Sekunde [AD] und beschreibt, dass bei 1.25 MS/s, maximal 1.25 Millionen Werte pro Sekunde in einen digitalen Wert umgewandelt werden können. Die Systeme unterscheiden sich lediglich in kleinen Bereichen der Spezifikationen. So arbeitet der USB-6531 mit 4 Timern, während der USB-6251 mit 2 arbeitet. Außerdem ist die Buffergröße unterschiedlich. Die Unterschiede beeinflussen die Funktionsweise allerdings nicht.

<sup>5</sup>Bild von <https://de.wikipedia.org/wiki/Analog-Digital-Umsetzer#Quantisierung>

#### Eigene Entwicklung

Auch die selbstgebauten Boxen, dargestellt in Abb. 3.6, arbeiten nach diesem Prinzip. Dabei haben sie einen Microcontroller verbaut, der die Daten aufnimmt und anschließend mittels eines ADCs in einen digitalen Datenstrom umwandelt, der dann an einen Computer gesendet werden kann. Verbaute Microcontroller sind ein Arduino Nano und ein Teensy.



Abbildung 3.6: DAQ-Box vom IWW

## 3.2 Software

Im Folgenden werden sowohl die verwendeten Übertragungsprotokolle, als auch die am PC eingesetzte Software betrachtet. Diese beiden Komponenten bilden abschließend das Ende der Messkette.

### 3.2.1 Übertragungsprotokolle

Als Übertragungsprotokolle kommen unterschiedliche zum Einsatz. Die DAQ-Boxen von National Instruments verwenden ihre eigene Streaming Technologie. Die Geschwindigkeit und Länge von Kabeln ist hier durch den USB-Standard beschränkt. Weitere Informationen über die Arbeitsweise des Protokolls sind nicht erhältlich. Bei dem vom Institut selbstgebauten System werden die Messwerte, durch Komma getrennt, über eine serielle Schnittstelle an den Computer gesendet. Das bedeutet, es wird mit CSV Daten gearbeitet. Ebenfalls eingesetzt

wird das Modbus Protokoll. Dieses findet auch in der Industrie viel Verwendung. Dabei werden sogenannte *Clients*, in unserem Fall Messsensoren, an einen *Server* angeschlossen. Ein *Server* kann mehrere Geräte gleichzeitig verwalten. Jedoch senden die Geräte nur auf Anfrage des *Servers* Daten. Das Modbus-Protokoll kann in drei verschiedenen Betriebsmodi verwendet werden.

1. TCP - Im TCP Modus werden die Daten als TCP/IP Pakete versendet.
2. RTU - Im RTU (Remote Terminal Unit) Modus werden die Daten binär übertragen.
3. ASCII - Im ASCII Modus werden die Daten als ASCII-Code übermittelt.

Das IWW verwendet dabei den RTU Modus und überträgt die Daten somit in Binärform.

### 3.2.2 PC-Software

#### LabVIEW

LabVIEW ist eine Software von National Instruments, die es einem erlaubt, DAQ-Boxen (vom gleichnamigen Hersteller) zu konfigurieren, Daten zu sammeln und in Graphen darzustellen. Sie nutzt eine graphische Programmiersprache namens 'G', mit der die Nutzer anschaulich und einfach Programme zum Erfassen und Auswerten von Daten schreiben können. Zeitgleich können die Anwender auch eine Benutzeroberfläche graphisch programmieren.

#### Eigene Entwicklung

Bei der eigenen Entwicklung, zu sehen in Abb. 3.7, handelt es sich um eine Software, geschrieben in Python und C++, die gemessene Werte graphisch darstellt. Des Weiteren ermöglicht die Software dem Nutzer die Aufzeichnung der Messdaten in CSV Dateien.



Abbildung 3.7: Messwertfassungsoftware am IWW

## 4 Exemplarische Beschreibung eines Aufbaus

Damit die Hard- und Software in Kontext gesetzt werden kann, soll im Folgenden ein Versuchsaufbau am Institut betrachtet werden. Hier im Foto zu sehen ist das so genannte *Flächenmodell*.



Abbildung 4.1: Flächenmodell

Es erlaubt die Durchführung großflächiger Versuche. Dabei fließt das Wasser in bestimmten Höhen über den Boden. An den Gestellen sind in Abständen Ultraschallsensoren angebracht, welche die Höhe des Wassers messen.



Abbildung 4.2: An einem Gestell befestigter Ultraschallsensor

Zusätzlich kommen auch kleine tragbare Gestelle, an denen Sensoren angebracht sind, siehe Abb. 4.2, zum Einsatz.

Diese, von den Sensoren gemessenen Höhen, werden dann aufgenommen, umgewandelt, mittels der DAQ-Boxen an den Computer weitergeleitet und dort durch die Programme weiterverarbeitet.

## 5 Was sollte ein Übertragungsprotokoll für das Institut können?

Da das Institut immer mehr zu eigenen Systemen übergehen will, muss auch ein Übertragungsprotokoll entwickelt werden, welches den Anforderungen des Instituts entspricht. Die Anforderungen dafür sind:

1. Geschwindigkeit - Das Protokoll sollte eine hohe Datenübertragungsgeschwindigkeit haben, damit möglichst viele Messwerte erfasst werden können, um so ein genaueres Gesamtbild von dem Versuch zu erzeugen. Um das zu erreichen, ist eine Übertragung in Binärform anzustreben.
2. Fehlerkorrektur - Das Protokoll sollte eventuelle Übertragungsfehler beheben können.
3. Bidirektionalität - Das Protokoll sollte bidirektional sein, damit nicht nur Messwerte gesendet, sondern auch Regelschaltkreise angesteuert werden können.
4. Autokonfiguration - Das Protokoll sollte angeschlossene Sensoren erkennen und eigenständig konfigurieren.
5. Das Protokoll sollte die Möglichkeit bieten, Messzyklen zu starten und zu stoppen, damit nicht nur entweder ein konstanter Strom an Daten oder aber nur auf Anfrage Daten übertragen werden, da beides suboptimal ist.

Diese fünf Punkte bilden die Basisanforderungen, die das Institut an ein Protokoll stellt.

## 6 Fazit

Wie die vorangehenden Darstellungen und Ausführungen zeigen, ist die Messwerverfassung sehr vielfältig. Man kann die unterschiedlichsten physikalischen Größen messen und muss ggf. auch auf die gemessenen Werte reagieren, siehe Kap. 3.1.1. Die verwendeten Protokolle sollten ebenfalls so vielfältig sein. Da jedoch die zur Zeit verwendeten Protokolle den unterschiedlichen Anforderungen nicht vollumfänglich gerecht werden, so ist über das Protokoll von National Instruments nichts bekannt, das CSV Protokoll verfügt nicht über eine angemessene Geschwindigkeit und Modbus sendet Daten nur auf Anfrage des *Servers*, was ebenfalls die Geschwindigkeit senkt, wird es in Zukunft notwendig sein, ein Protokoll zu entwickeln, welches den Anforderungen des Instituts entspricht.

# A Literaturverzeichnis

- [76899] American national standard for calibration and use of germanium spectrometers for the measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides. *ANSI N42.14-1999*, pages i–, 1999.
- [AD] Inc. Analog Devices. Samples per second. <https://www.analog.com/en/design-center/glossary/samples-per-second.html>. Last Accessed: 2022-12-15.
- [AVS] AVS. J3c-s20. <https://actuatedvalvesupplies.com/app/uploads/2018/03/JJ-Electric-Actuator-J3CS20BSRDPS-Rev0.pdf>. Last Accessed: 2022-12-04.
- [Bey10] Michèle Beyer. Die gängigsten messprinzipien bei drucksensoren. <https://blog.wika.de/know-how/die-gangigsten-messprinzipien-bei-drucksensoren/>, 2010. Last Accessed: 2022-12-11.
- [cia] cosmos indirekt. Druckmessumformer. <https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Druckmessumformer>. Last Accessed: 2022-12-11.
- [cib] cosmos indirekt. Piezoresistiver effekt. [https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Piezoresistiver\\_Effekt](https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Piezoresistiver_Effekt). Last Accessed: 2022-12-11.
- [Del] Delphin Technology AG. Messwerterfassung. <https://www.delphin.de/messwerterfassung.html>. Last Accessed: 2022-11-30.
- [Flu] Flügelrad-durchflussmesser. <https://de.wikipedia.org/wiki/F1%C3%BCgelrad-Durchflussmesser>. Last Accessed: 2022-12-04.
- [Her12] Ekbert Hering. *Sensoren in Wissenschaft und Technik Funktionsweise und Einsatzgebiete*. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2012. S.180.

- [Hö] Höntzsch. Flügelradanemometer FA – zur Messung von Durchfluss- und Strömungsgeschwindigkeiten. <https://www.hoentzsch.com/de/messgeraete/kategorien/fluegelrad-fa>. Last Accessed: 2022-12-04.
- [inc] OMEGA Engineering inc. Dehnungsmessstreifen dms. <https://www.omega.de/prodinfo/dehnungsmessstreifen-dms-bruecken.html>. Last Accessed: 2022-12-11.
- [Ins] National Instruments. NI 6251 Specifications - NI. <https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/pci-pcie-pxi-pxie-usb-6251-specs/page/specs.html>.
- [kvm] kvm-concepts. Modbus. <https://www.kvm-concepts.de/wiki/m/modbus/>. Last Accessed: 2022-12-04.
- [meia] meister. Betriebsanleitung DHGA-2/-4. [https://meister-flow.de/mt-content/uploads/2019/07/betriebsanleitung-dhga-2-4-modul-basics-2017-10-26-de\\_de.pdf](https://meister-flow.de/mt-content/uploads/2019/07/betriebsanleitung-dhga-2-4-modul-basics-2017-10-26-de_de.pdf). Last Accessed: 2022-12-04.
- [meib] meister. DHGA-2/-4. <https://meister-flow.de/produkte/dhga-2-dhga-4/>. Last Accessed: 2022-12-04.
- [mica] microchip. Adc quantization error. <https://microchipdeveloper.com/adc:adc-quantization-error>. Last Accessed: 2022-12-09.
- [Micb] Microsonic. Messprinzip von ultraschallsensoren | microsonic. <https://www.microsonic.de/de/service/ultraschallsensoren/prinzip.htm>. Last Accessed: 2022-11-23.
- [Mic22a] Microsonic. *DataSheet pico+100/I*, 2022. Last Accessed: 2022-11-08.
- [Mic22b] Microsonic. *DataSheet pico+35/I*, 2022. Last Accessed: 2022-11-08.
- [Nat22a] National Instruments. Ni 6251 specifications. <https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/pci-pcie-pxi-pxie-usb-6251-specs/page/specs.html>, 2022. Last Accessed: 2022-11-08.
- [Nat22b] National Instruments. Pcie-6351 and usb-6351 specifications. <https://www.ni.com/docs/de-DE/bundle/pcie-usb-6351-specs/page/specs.html>, 2022. Last Accessed: 2022-11-08.
- [Smi20] Grant Maloy Smith. Was ist datenerfassung? <https://dewesoft.com/de/daq/was-ist-datenerfassung>, 2020. Last Accessed: 2022-12-15.

- [Sti] Joachim Herz Stiftung. Einflussfaktoren auf die schallgeschwindigkeit. <https://www.leifiphysik.de/akustik/schallgeschwindigkeit/grundwissen/einflussfaktoren-auf-die-schallgeschwindigkeit>. Last Accessed: 2022-12-14.
- [sts] sts. Atm.1st/n – präzisions pegel- und füllstandsonde 24mm. [https://www.stssensors.com/ch/products/gp-sts-level/pp-sts-level-atm/atm\\_1st\\_n-4/](https://www.stssensors.com/ch/products/gp-sts-level/pp-sts-level-atm/atm_1st_n-4/). Last Accessed: 2022-12-11.
- [Vog] Vogel Communications GroupDipl.-Ing. Dorothee Quitter. Optimierte Durchfluss-Sensoren. <https://www.konstruktionspraxis.vogel.de/optimierte-durchfluss-sensoren-a-436256/>. Last Accessed: 2022-12-04.
- [WIKa] WIKA. [https://www.wika.com/de-de/p\\_30\\_p\\_31](https://www.wika.com/de-de/p_30_p_31).WIKA. Last Accessed: 2022-12-11.
- [Wikb] Wikipedia. Analog-digital-umsetzer. <https://de.wikipedia.org/wiki/Analog-Digital-Umsetzer>. Last Accessed: 2022-12-15.

## B Abbildungsverzeichnis

3.1	Ultraschall-Messprinzip: Echolaufzeitmessung . . . . .	4
3.2	PicoPlus35 Sensortyp . . . . .	5
3.3	Durchfluss-Sensor der Baureihen DHGA . . . . .	6
3.4	DAQ-Box von National Instruments . . . . .	8
3.5	Digitalsignal (rote Punkte), Analogsignal (graue Linie) . . . . .	9
3.6	DAQ-Box vom IWW . . . . .	10
3.7	Messwerterfassungssoftware am IWW . . . . .	12
4.1	Flächenmodell . . . . .	13
4.2	An einem Gestell befestigter Ultraschallsensor . . . . .	14