



Dokumentation Bachelorprojekt

Heiko Nöldeke, Marc Bolsch, Pascal Roschkowski, Philipp Otto

Entwurf und Ausarbeitung eines Traffic-Noise-Detector-Prototypen

Heiko Nöldeke, Marc Bolsch, Pascal Roschkowski, Philipp Otto

Traffic-Noise-Detector-Prototyp

Bachelorprojekt eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Mechatronik
am Departement Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Erstprüfer: Prof. Dr. Rasmus Rettig

Abgabedatum: 14. Juni 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	1
2	Zusammenfassung der Aufgabenstellung	2
3	Umgebungssituation	3
4	Konstruktion des Aufbaus	4
4.1	Basisstativ	4
4.2	Mikrofongehäuse	4
4.3	Unterbringung der Steuereinheit	6
4.4	Positionierung der Baugruppen entlang eines Arrays	7
5	Programmierung	8
5.1	Programmablauf	8
5.1.1	doaV2	8
5.1.2	create_pipe	8
5.1.3	updateValues	8
5.1.4	processFFT	8
5.1.5	getDataForSoundDetect	8
5.1.6	checkForBang	8
5.1.7	getAngle	9
5.1.8	cameraControl	9
5.2	Ortung der Geräuschquelle	9
6	Fazit	12

1 Vorwort

Im Rahmen eines Bachelors Projekts im Fachbereich Mechatronik an der HAW Hamburg, ist eine kleine Gruppe Studierender dazu beauftragt, eine praxisnahe Aufgabe zu lösen. Dazu gehört der Prozess der Produktentwicklung, aber auch die Erschaffung eines Prototypen. Diese Dokumentation dient dazu, die Arbeitsschritte und eine Produktbeschreibung festzuhalten. Auf der Basis der Arbeit von Maximilian Welz führen die vier genannten Autoren unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Rasmus Rettig eine Anpassung des <Bezeichnung> an die neue Aufgabenstellung an.

2 Zusammenfassung der Aufgabenstellung

Project Charter: Traffic-Noise-Detector (Lärmblitzer), Bachelor Project - Hr. Otto, Hr. Nöldeke, Hr. Bolsch, Hr. Roschkowski

Mission: Aufbau eines Prototypen zur Erkennung und Lokalisierung von Fahrzeugen mit (zu) hoher Lärm Emission (z. B. <https://www.auto-motor-und-sport.de/verkehr/laerm-blitzer-in-europa-fallen-gegen-auto-posen/>).

Deliverables (incl. timing):

- Anforderungsentwicklung (Mechanisch, Akustisch, Elektrisch, Algorithmisch)
- Systematische Auswahl / ggf. Kombination oder Weiterentwicklung
- Realisierung
- Test und Bewertung der Eignung
- Überarbeitung basierend auf den Testergebnissen [T0+6 Wochen]
- Abschlussintegration, Demonstration/Vortrag und Dokumentation [T0+12 Wochen]

Expected Scope / Approach / Activities:

- Einarbeitung in das Messsystem und die Programmierungsumgebung
- Einarbeitung in den Stand der Technik von Algorithmen zur Erkennung und Lokalisierung akustischer Signale
- Zielgerichtete Auswahl, Weiterentwicklung / Kombination im Hinblick auf genutzte Hardware sowie die Erkennung mit einer hohen Erkennungsrate

Strategic alignment factors:

Integration in der Arbeitsgruppe Urban Mobility Lab mit den laufenden Arbeiten

Timeframe/Duration:

- Start 1.10.2020 (Vorbereitung)
- Abschluss 30.3.2021 (gerne früher)

Team Resources:

Nutzung Labor Stiftstraße 69 Raum 109 mit der dort verfügbaren Infrastruktur (Elektronikentwicklung, Software Entwicklung, Server, Lötstation; Kamera, Testfahrzeug, Rechner)

Team Process:

- Regelmäßige Reviews (14 tägig)
- Optional: Teilnahme am Teammeeting

3 Umgebungssituation

In verschiedenen Städten um den Globus gibt es das Problem, dass Automobile teilweise so manipuliert werden, dass sie die maximal zulässige Lautstärke überschreiten. Bisher müssen diese Lautstärkesünder manuell von Polizeistreifen ausfindig gemacht und kontrolliert werden. Ähnlich dem Konzept der Geschwindigkeitskontrolle, mit Messung und Beweisaufnahme durch ein Foto, soll mit dieser Entwicklung eines ersten Prototypen eine automatisierte Erkennung der Lautstärke erfolgen und für den Bußgeldbescheid aufbereitet werden.

Wichtige Anforderungen dafür sind neben einer benutzerfreundlichen Bedienung ist auch eine Konstruktion, die den Einsatz im Straßenverkehr ermöglicht. Dazu kommt vor allem eine gute Transportfähigkeit und Wasserbeständigkeit.

4 Konstruktion des Aufbaus

Für ein ressourcenschonendes Arbeiten ist es von großer Bedeutung neben den Methoden der Produktentwicklung auch diejenigen Materialien zu verwenden, die ohnehin schon vorrätig sind. In den entsprechenden Abschnitten wird noch näher drauf eingegangen. Zu bemerken sei aber noch, dass eine Verwendung der verfügbaren Materialien nicht immer die beste Option ist.

4.1 Basisstativ

In dem Labor „Urban Mobility Lab“ liegt bereits das Fotostativ Manfrotto 055 bereit und kann verwendet werden. Herausfordernd kommt aber hinzu, dass sich ein 1/4“ Gewinde auf der Montageplatte befindet. Die folgenden Möglichkeiten zum Umgang mit dem Gewinde wurden diskutiert:

- Nutenstein mit 1/4“ Innengewinde
- Adapterplatte zwischen Montageplatte und Trägerprofil
- Tausch der 1/4“ Schraube durch eine Schraube mit M4 Außengewinde
- Tausch des Stativs

Nach einer Anfrage bei item Industrietechnik GmbH nach Nutensteinen mit entsprechendem 1/4“ Innengewinde, war bekannt, dass sich derartige Produkte auf dem Markt nicht ohne Weiteres besorgen lassen.

Der Tausch des Stativs durch ein alternatives, ebenfalls zur Verfügung stehende, wurde ausgeschlossen, da die Dimensionen des Stativs eindeutig zu massiv sind und der Anforderung einer leichten Transportierbarkeit im Wege stehen.

Eine Adapterplatte aus einem Aluminium-Flachprofil wurde ausgeschlossen, da nach einer Untersuchung des Fotostativs sich herauskristallisiert hat, dass die eingebaute UNC Schraube einfach durch eine M4 Schraube getauscht werden kann.

4.2 Mikrofongehäuse

Dadurch, dass die zum Einsatz kommenden Mikrofone fertig auf einer Platine ([Abbildung 1](#)) verbaut sind, aber damit nicht gegen Regenwasser geschützt sind, mussten im Entwicklungsprozess Gehäuse für die Mikrofone konstruiert und 3D-gedruckt werden. Nach sehr kurzer Diskussion war beschlossen, dass mittels CAD ein Gehäuse konstruiert und im vorhandenen 3D-Drucker gefertigt werden sollen ([Abbildung 2](#)).

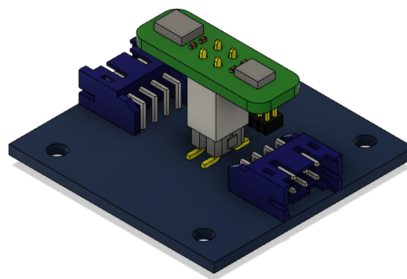


Abbildung 1: Mikrofonplatine

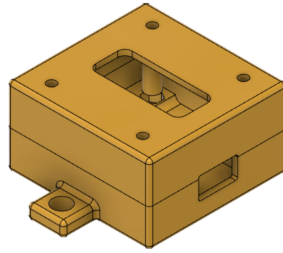


Abbildung 2: Mikrofongehäuse

In der ersten Version dieser Gehäuse ([Abbildung 3](#)) soll die Mikrofonplatine über Stifte an Position gehalten und der Gehäusedeckel im Anschluss durch einen Längspressverband mit dem Gehäuseboden verbunden werden.

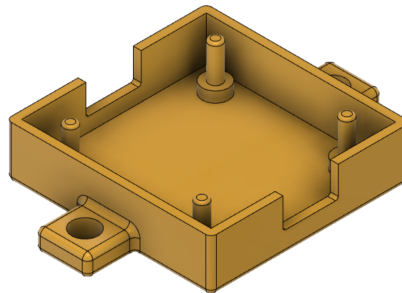


Abbildung 3: Mikrofongehäuse V 0.1

Nach dem Druck der sechs Gehäuse stellte sich heraus, dass:

1. die gedruckten Stifte nicht maßhaltig sind
2. die Löcher im Deckel nicht maßhaltig sind
3. viele druckbedingte Fäden an den Teilen beseitigt werden müssen

An der gedruckten Geometrie lässt sich im Nachgang nicht mehr viel bearbeiten, lediglich die Hülsen im Gehäusedeckel können aufgebohrt werden. Die Erfahrung hat aber gezeigt, dass das verwendete Filament vor allem an den Kontaktflächen der einzelnen Layer zu porös ist und beim Aufbohren sehr schnell bricht. Alle Gehäuse wurden entsorgt.

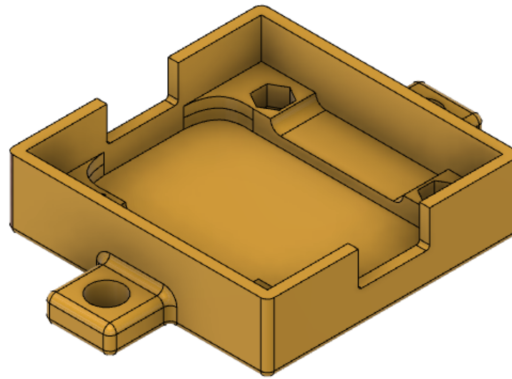


Abbildung 4: Mikrofongehäuse V 0.2

Für die zweite Version ([Abbildung 4](#)) der Gehäuse wurden die Stifte im Unterteil und die Hülsen im Deckel entfernt. Im Unterteil sind nun Sechskantaufnahmen für vier M2.5 Muttern und im Deckel Durchgangslöcher für entsprechend Lange Zylinderkopfschrauben. Durch Einpressen und Verkleben werden die Muttern in Position gehalten.

Die Mikrofonplatine wird auf die Flächen oberhalb der Mutter aufgelegt und das Gehäuse durch Anziehen der vier Schrauben verschlossen. Nach dem Druck eines neuen Prototyps wurde die Brauchbarkeit analysiert und das Gehäuse für die Massenproduktion freigegeben. Nachteilig ist, dass mit ausreichend großer Zugkraft die Gehäusedeckel trotz Verschraubung geöffnet werden können, zudem wirken die vier Schrauben etwas überdimensioniert. In einer zweiten Überarbeitung sollten diese beiden Punkte beachtet werden.

4.3 Unterbringung der Steuereinheit

Für den Raspberry Pi 4, die Raspicam <Modell einfügen> und die Powerbank Powerbank PLUS MacBook 20.100 mAh Space Grey sollte eine vorhandene wasserfeste Installationsbox verwendet werden <Modellbeschreibung einfügen>. Das Hauptproblem dabei war, die zu Powerbank in der Box zu platzieren, daher wurde sich entschlossen, eine neue Installationsbox zu bestellen (Hammond Manufacturing 1555VAL2GY). Für die sichere Positionierung aller Bauteile wird wieder auf die 3D-Druck-Technologie zurückgegriffen und ein Innenleben konstruiert.

Nach der ersten Konstruktion stellte sich heraus, dass die neu besorgte Installationsbox zu niedrig für das Innenleben ist und die USB Kontakte des Raspberry Pi 4 durch den Deckel stoßen ([Abbildung 5](#)). In einem Teamreview wurde eine mögliche Lösung entwickelt, bei der der Raspberry Pi 4 sowohl 180° um die Längs-, als auch 90° im Uhrzeigersinn um die Querachse gedreht, eingebaut werden sollte. Nach der Neukostruktion und der Ergänzung einer Stützkonstruktion für den Raspberry Pi 4, war es möglich in der Installationsbox alle Bauteile zu platzieren, ohne eine erneute Neuanschaffung zu tätigen. ([Abbildung 6](#))

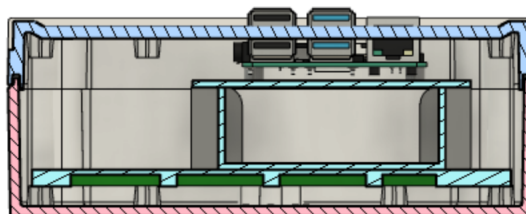


Abbildung 5: Schnitt Installationsbox V 0.1

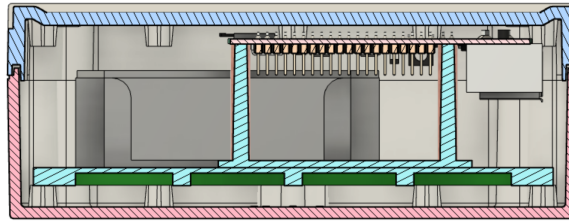


Abbildung 6: Schnitt Installationsbox V 0.2

4.4 Positionierung der Baugruppen entlang eines Arrays

Um die Mikrofone entlang einer Linie positionieren zu können, wurde ein 1,1 m langes vorhandenes item-Profil 6 30x30 eingesetzt, auf dem die Gehäuse der Mikrofone mit Nutensteinen in definiertem Abstand montiert werden können. Dazu wurden am Mikrofongehäuse jeweils rechts und links zwei Befestigungspunkte für M4 Schrauben designt. Als Gegenstück werden wieder Nutensteine eingesetzt.

Das Profil an sich wird, wie oben beschrieben, auch mittels eines Nutensteins auf dem Stativ befestigt. Die Installationsbox wird ebenfalls mit Nutensteinen mittig am Profil befestigt.

5 Programmierung

5.1 Programmablauf

Der Programmablauf wird in diesem Abschnitt Schritt für Schritt erklärt und anhand geeigneter Diagramme dargestellt. Zu einer genauen Übersicht des Ablaufes ist der Flowchart des Programmes (??) hilfreich. Nun eine chronologische Erklärung der Programmteile.

5.1.1 doaV2

Nach dem Programmaufruf wird die DOA Konfiguration, bestehend aus vorberechneten Werten, ausgelesen. Dies wird durch die doaV2 Klasse mithilfe der loadPrecalculatedValues Methode ermöglicht (s. Figure 1).

Hier wird zunächst die Konfigurationsdatei geöffnet. Nun werden für alle möglichen Mikrofonpaare alle vorberechneten Laufzeiten aller möglichen Winkel eingelesen und in das Array precalculatedCompareValues abgespeichert. Zuletzt wird der Zugriff auf die Datei gestoppt. Die DOA Klasse beinhaltet auch die Berechnung des Ursprungsortes eines Geräusches, auf die im späteren Programmverlauf weiter eingegangen wird.

5.1.2 create_pipe

Nach dem Laden der Laufzeiten wird mithilfe der create_pipe Methode ein FIFO angelegt, mit dem die Echtzeitmessungen zur Datenverarbeitung weitergegeben werden.

5.1.3 updateValues

Diese Methode stellt sicher, dass der Daten Buffer nach jedem FIFO Zyklus neu gefüllt ist. Die Methode bestimmt zuerst das Maximum an gemessenen Werten aus einem Zyklus und schreibt sie dann mithilfe der *fastAddValue* Methode im Signed UInt32 Format in den Speicher

5.1.4 processFFT

Eine einfache „Fast Fourier Transformation“, die ein Array an komplexen Gleitkommazahlen ausgibt. Mithilfe dieser Fouriertransformation ist es möglich, die Intensität der Geräusche von der zwischengespeicherten Aufnahme herauszufinden, um diese zu vergleichen.

5.1.5 getDataForSoundDetect

Im Programmablauf folgt diese einfache Getter-Methode, um die gepufferten Daten aus dem FIFO zur Weiterverarbeitung in ein Array zu schieben.

5.1.6 checkForBang

Die checkForBang Methode ist eine der wichtigsten im gesamten Programmablauf und sitzt direkt in einer Bedingung. Wenn durch diese Methode ein lautes Signal bestätigt wird, fährt das Programm in der Verarbeitung dieses Signales fort.

Wie in ?? zu erkennen, wird anfangs mithilfe der calcEnergy Methode aus derselben Klasse der Unterschied zwischen den Energieniveaus von Geräuschen ausgerechnet. Dies geschieht durch die schon erwähnte FFT. Wenn nun die errechnete Differenz den Wert 600000 überschreitet, kann davon ausgegangen werden, dass ein lautes und beobachtungswertes Event stattgefunden hat, da eine sehr hohe Energiedifferenz zu vorherigen Werten gemessen wurde.

5.1.7 getAngle

Diese Methode ist nun dafür verantwortlich, dem Geräuschevent eine eindeutige Richtung zuzuordnen, um eine Beweisführung zu ermöglichen. Sie ruft zwei weitere wichtige Methoden auf – `xcorr` und `compareValues`.

Mithilfe der vorberechneten Korrelationswerte für das Mikrofonarray kann die `xcorr` Methode verwendet werden, um die Korrelation zweier Signale zu finden.

Mit `compareValues` werden die Korrelationen verglichen und mit einer einfachen Sortierung die stärksten Übereinstimmungen gefunden, um daraus eine Richtung zu erschließen.

Mehr dazu im Abschnitt des Protokolls, dass auf die Berechnung des Winkels näher eingeht.

5.1.8 cameraControl

Die Klasse `cameraControl` benutzt nun, wenn sich der errechnete Winkel im richtigen Sichtfeld der Kamera befindet, zwei Methoden, um ein Foto zu erstellen und dies so zu bearbeiten, dass der Bereich der Schallquelle sichtbar wird. Mithilfe der einfachen Schnittstelle der `RaspiCam` und dazugehörigen Bibliotheken wird ein Bild im RGB-Format von der Kamera angefordert und abgespeichert. Nun wird mithilfe des errechneten Ergebnisses aus `getAngle` und `OpenCV` das Bild bearbeitet, indem durch mehrere `else if` abfragen zum richtigen Bildsegment iteriert wird und dann dieses Segment mit einem Rechteck hervorgehoben wird.

5.2 Ortung der Geräuschquelle

Das Orten einer Schallquelle ist im Gegensatz zum Erfassen eines lauten Geräusches deutlich umfangreicher. Hierzu wird die Kreuzkorrelation zwischen allen Mikrofonen untereinander errechnet um diese als Hilfe zu benutzen, um das mathematische Maximum zu berechnen.

Die Kreuzkorrelation ist eine Messung, die die Bewegungen von zwei oder mehr Sätzen von Zeitreihen-Daten relativ zueinander verfolgt. Sie wird verwendet, um mehrere Zeitreihen zu vergleichen und objektiv zu bestimmen, wie gut sie miteinander übereinstimmen und insbesondere, an welchem Punkt die beste Übereinstimmung auftritt. Die Kreuzkorrelation kann auch jegliche Regelmäßigkeiten in den Daten aufdecken.

Betrachten wir als Beispiel zwei reellwertige Funktionen f und g , die sich nur durch eine unbekannte Verschiebung entlang der x-Achse unterscheiden. Man kann die Kreuzkorrelation verwenden, um herauszufinden, um wie viel g entlang der x-Achse verschoben werden muss, damit es mit f identisch wird. Die Formel verschiebt im Wesentlichen die Funktion g entlang der x-Achse, wobei das Integral ihres Produkts an jeder Position berechnet wird. Wenn die Funktionen übereinstimmen, wird der Wert von $(f \star g)$ maximiert. Das liegt daran, dass Spitzen (positive Bereiche), wenn sie übereinstimmen, einen großen Beitrag zum Integral leisten. Ähnlich verhält es sich, wenn sich Talsohlen (negative Bereiche) ausrichten, leisten sie ebenfalls einen positiven Beitrag zum Integral, da das Produkt zweier negativer Zahlen positiv ist. Bei komplexwertigen Funktionen f und g stellt die Konjugierte von f sicher, dass ausgerichtete Spitzen (oder ausgerichtete Talsohlen) mit imaginären Komponenten positiv zum Integral beitragen.

Kreuzkorrelationen sind nützlich für die Bestimmung der Zeitverzögerung zwischen zwei Signalen, z. B. für die Bestimmung von Zeitverzögerungen für die Ausbreitung von akustischen Signalen über ein Mikrofonarray. Nach der Berechnung der Kreuzkorrelation zwischen den beiden Signalen zeigt das Maximum (oder Minimum, wenn die Signale negativ korreliert sind) der Kreuzkorrelationsfunktion den Zeitpunkt an, an dem die Signale am besten ausgerichtet sind; d. h., die Zeitverzögerung zwischen den beiden Signalen wird durch das Argument des Maximums die Kreuzkorrelation bestimmt. Diese mathematische Eigenschaft benutzen wir um mit $\tau = \arg_{t \in \mathbb{R}} \max((f \star g)(t))$ den zeitlichen Versatz zu errechnen.

In unserem Fall werden diese Maxima initial in Abhängigkeit der geometrischen Form des Mikrofonarray ausgerechnet. Dann wird in der `xcorr` Methode die maximale Latenz zwischen jeder möglichen Mikrofonpaarung ausgerechnet und diese dann in der `compareValues` Methode miteinander verglichen. Diese Methode vergleicht nun alle gemessenen Verzögerungen mit den vorher

ausgerechneten Verzögerungen, und zwar für jeden möglichen Winkel. Der Winkelbereich mit den größten Übereinstimmungen über alle Mikrofonpaarung, kann mit Sicherheit als der Bereich gekennzeichnet werden, aus dem das Geräusch kommt.

--

Abschnitt	Inhalt
Name	Mikrofonfunktionstest
Autor(en)	Philipp Otto
Priorität	hoch
Kritikalität	hoch
Verantwortlicher	Philipp Otto
Kurzbeschreibung	Mit diesem Test soll die fehlerfreie Funktion der Mikrofone getestet werden
Auslösendes Ereignis	Eingabe Konsole: „sudo ./RecordMicToRAM“
Akteure	Mikrofonpaar, Raspberry Pi, Jumperkabel
Vorbedingung	Raspberry eingerichtet, Mikrofone und Raspberry mit Kabel verbunden, Raspberry eingeschaltet
Nachbedingung	„RecordMicToRAM“ beendet, Prüfung der .txt-Datei ist erfolgt
Ergebnis	.txt- Datei erstellt
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Über die Konsoleneingabe wird das Programm gestartet 2. Das Programm zeichnet ca. 8 Sekunden lang den Mikrofon- ausgang auf 3. Das Programm erstellt eine .txt-Datei mit allen Messwerten 4. Die .txt-Datei wird auf Vollständigkeit überprüft
Alternativszenario	<ol style="list-style-type: none"> 1. b Die .txt-Datei enthält keine Messwerte 2. c Kabelverbindung wird überprüft

Tabelle 1:

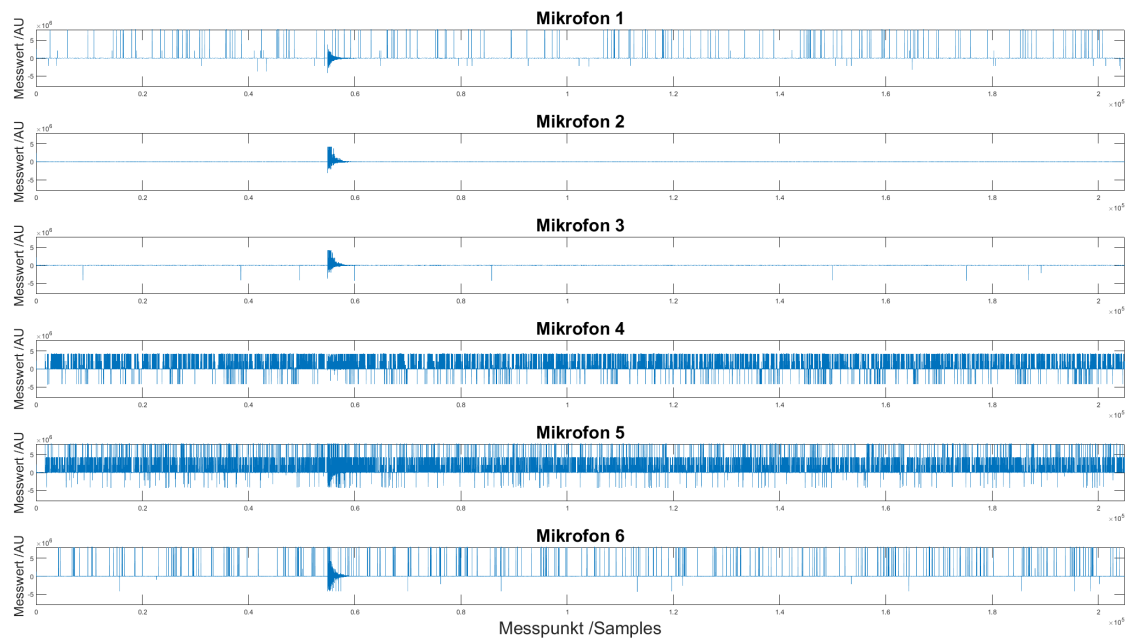


Abbildung 7: Test 2 d

6 Fazit

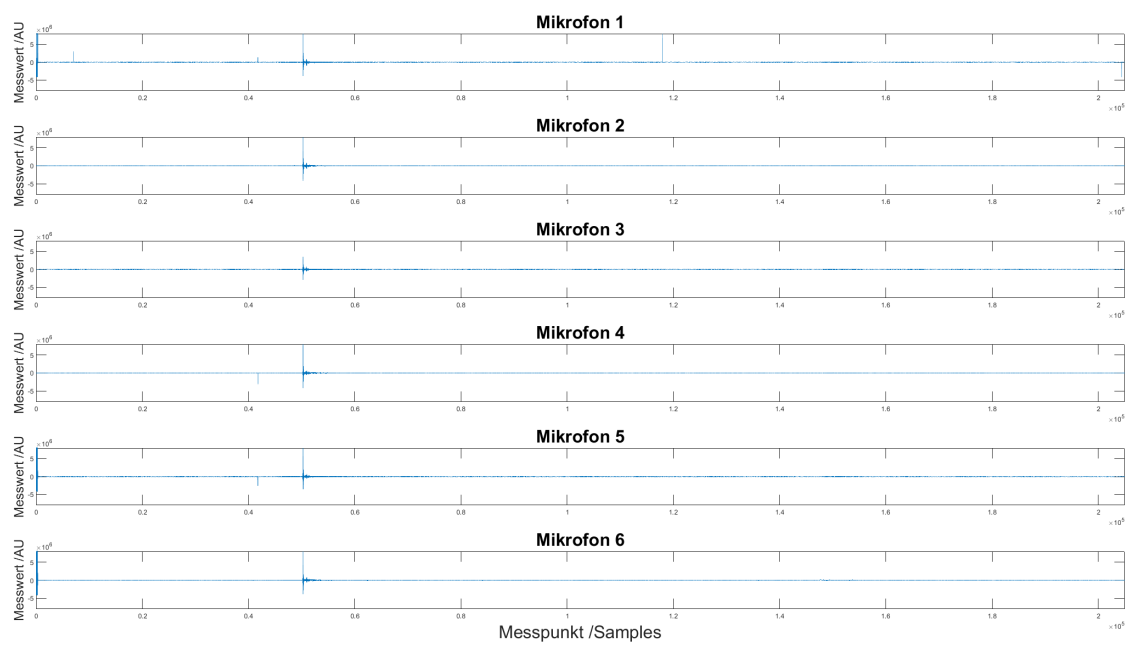


Abbildung 8: Test 3 d