

# Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen durch Audio-Analyse

Levin Fober

11. Januar 2023

Jugend forscht

Ort: Heuchlingen (Ostalbkreis), Baden-Württemberg

Betreuer: Timo Lachenmaier, Ellen Blaha

Fachgebiet: Mathematik / Informatik

# Kurzfassung

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>II</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ideenfindung . . . . .	1
1.2 Lösungsansatz <b>UMBENENNEN</b> , da auch der Grund der Ausarbeitung hier genannt wird (da kostspielig usw.)??? . . . . .	1
<b>2 Vorgehensweise, Materialien und Methode</b>	<b>2</b>
2.1 Erste Datensammlung und manuelle Aufbereitung . . . . .	2
2.2 Analyse der Audiodaten via Dopplereffekt . . . . .	2
2.2.1 Verwendung der Reifengeräusche . . . . .	3
2.2.2 Verwendung der Motorgeräusche . . . . .	4
2.3 Analyse der Audiodaten via Lautstärkeänderung . . . . .	4
2.3.1 Versuch zur Bestimmung der Beziehung zwischen Lautstärke und Abstand . . . . .	4
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>5</b>
<b>4 Ergebnisdiskussion</b>	<b>5</b>
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>6 Abbildungsverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>7 Quellen- und Literaturverzeichnis</b>	<b>6</b>
<b>8 Unterstützungsleistungen</b>	<b>6</b>

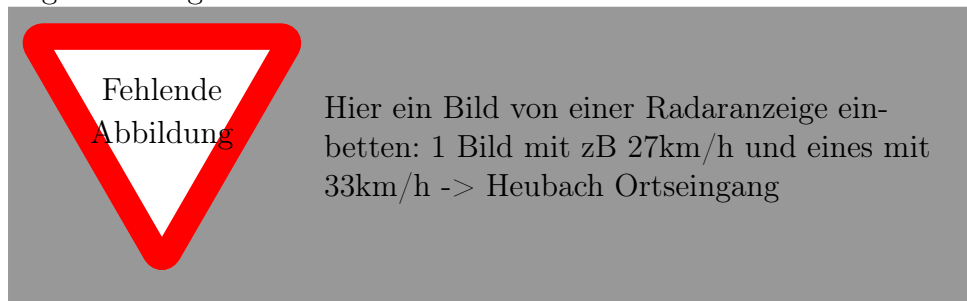
## Liste der noch zu erledigenden Punkte

Abbildung: Hier ein Bild von einer Radaranzeige einbetten: 1 Bild mit zB 27km/h und eines mit 33km/h -> Heubach Ortseingang . . . . .	1
Letzten Satz weglassen? . . . . .	1
Andere Begründung? . . . . .	2

# 1 Einleitung

## 1.1 Ideenfindung

Immer häufiger beobachte ich, auch in kleinen Wohnorten, dass sogenannte Geschwindigkeitsanzeigeanlagen aufgebaut werden, die dem Verkehrsteilnehmer die aktuell gefahrene Geschwindigkeit anzeigen.



Für Kommunen ist es hierbei wichtig, den richtigen Ort zum Aufstellen einer solchen Anzeige zu wählen, um kein Schild unnötigerweise aufzustellen. Neben der Auswahl des Ortes aufgrund der Straßenführung oder Gefahrenstellen spielt es eine große Rolle, ob das Tempolimit ...

## 1.2 Lösungsansatz UMBENENNEN, da auch der Grund der Ausarbeitung hier genannt wird (da kostspielig usw.)???

Bei der Recherche zur Funktion von Geschwindigkeitsmessanlagen fällt auf, dass nur Radar- bzw. Lasertechnik, hauptsächlich für mobile Geräte, oder im Boden eingelassene Kontaktschleifen bei stationären Anlagen zur Geschwindigkeitsmessung verwendet werden. Beide Optionen sind kostspielig, da spezielle Geräte angeschafft werden müssen. Radar- und Laserpistolen arbeiten nach dem Dopplerprinzip. Bei Laserpistolen werden in der Regel viele kurze, periodische Lichtimpulse ausgesendet, die von einem Fahrzeug zurückgeworfen werden. Aufgrund des Dopplereffekts sind die Zeitabstände der reflektierten Impulse kürzer als die der ausgesendeten Impulse. Mittels eines Vergleiches beider Periodendauern kann die Geschwindigkeit des Fahrzeugs ermittelt werden. Radarmesssysteme arbeiten ähnlich, unterscheidend ist jedoch, dass die Frequenz der zurückgeworfenen Radarwelle mit der gesendeten Frequenz überlagert wird. Die entstehende Schwebungsfrequenz gibt Aufschluss über die Fahrzeuggeschwindigkeit.

Ungenauigkeiten entstehen bei den genannten mobilen Messmethoden durch unsachgemäße Positionierung und Ausrichtung des Instruments zur Fahrbahn, weshalb ein Anfechten solcher Messungen vor Gericht möglich ist.<sup>1</sup>

Zur Kostensenkung soll deshalb eine Software entwickelt werden, die aufgrund von Audiodaten eine Geschwindigkeitsberechnung vorbeifahrender Fahrzeuge durchführen kann. Ziel ist es, diese Software auf Smartphones einzusetzen. Weiterer Vorteil einer Analyse auf Grundlage von Geräuschen ist, dass kein Messgerät ausgerichtet werden muss, da sich der Schall der Kfz kugelförmig, das heißt nicht gerichtet, ausbreitet. Somit kann die Bedienung erleichtert werden

---

<sup>1</sup>bussgeldkatalog.org. *Geschwindigkeitsmessung mittels Laser: Funktionsweise, Schwachstellen, Einspruch*. 2022. URL: <https://www.bussgeldkatalog.org/geschwindigkeitsmessung/laser/>.

Letzten Satz weglassen?

## 2 Vorgehensweise, Materialien und Methode

### 2.1 Erste Datensammlung und manuelle Aufbereitung

Für eine möglichst gute Datengrundlage wurde an einer geraden Straße Aufnahmen von insgesamt 21 vorbeifahrenden Kfz gemacht, sowohl von dicht aufeinanderfolgenden, als auch einzelnen Fahrzeugen. Als Aufnahmegerät wurde ein Smartphone mit integrierter Rekorder-App verwendet. Die zusammenhängende Aufnahme aller Fahrzeuge wurde anschließend von Hand in einzelne Abschnitte unterteilt und als WAV-Audiodateien gespeichert. **Dieses unkomprimierte Format wurde gewählt, um die Implementierung der Datenanalyse zu erleichtern.**

Andere Begründung?

### 2.2 Analyse der Audiodaten via Dopplereffekt

Da im Physik-Unterricht eine Abituraufgabe zur Geschwindigkeitsbestimmung eines Rennwagens mittels Differenz der Frequenz bei Annäherung und Entfernung behandelt wurde, ist das der erste verfolgte Ansatz. Es erscheint zudem einfach, die Geschwindigkeit akkurat zu ermitteln, da selbst ein Mensch eindeutige Frequenzveränderungen hören kann, beispielsweise bei einem vorbeifahrenden Krankenwagen mit Martinshorn. Allerdings muss bei normalen Kfz das Reifengeräusch anstelle des Martinshorns verwendet werden, da dieses mit Abstand die lauteste Geräuschquelle des Straßenverkehrs ist.

Wenn der Abstand des vorbeifahrenden Fahrzeugs zum Beobachter vernachlässigt und von konstanter Bewegungsgeschwindigkeit ausgegangen wird, können folgende Formeln zur Berechnung der Geschwindigkeit verwendet werden:

$$f_1 = f_0 * \frac{c}{c - v} \quad \text{und} \quad f_2 = f_0 * \frac{c}{c + v}$$

Dabei ist  $f_1$  die vom Beobachter registrierte Frequenz bei Annäherung und  $f_2$  die Frequenz bei Entfernung des Fahrzeugs. Die Konstante  $c$  wird mit  $c = 343 \frac{m}{s}$  als Schallgeschwindigkeit in Luft angenommen. Durch Messung beider Frequenzen kann das Frequenzverhältnis  $k = \frac{f_1}{f_2}$  berechnet und nach  $v$  umgestellt werden:

$$\begin{aligned} k &= \frac{f_0 * \frac{c}{c-v}}{f_0 * \frac{c}{c+v}} \\ k &= \frac{c+v}{c-v} \\ &\Leftrightarrow \\ v &= \frac{k-1}{k+1} * c \end{aligned}$$

Des Weiteren ist mit dem Dopplereffekt die Entfernungsbestimmung von Mikrofon und Fahrzeug möglich, indem die Änderungsgeschwindigkeit der Frequenz analysiert wird. Hierbei gilt: je größer die Änderungsrate, desto dichter sind Fahrzeug und Beobachter (siehe Abbildung 1).

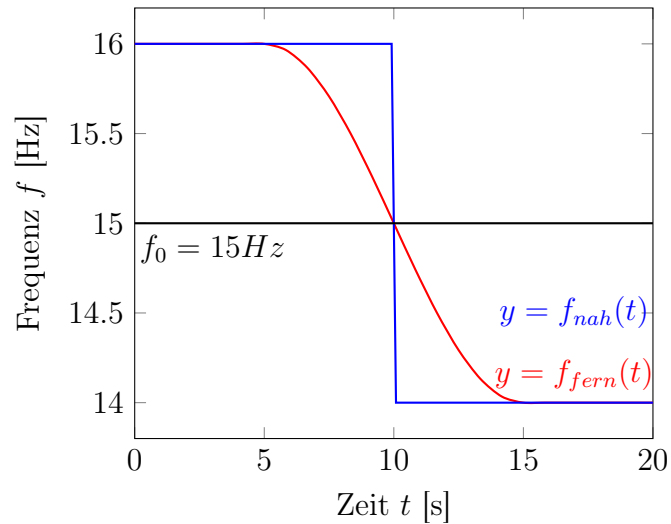
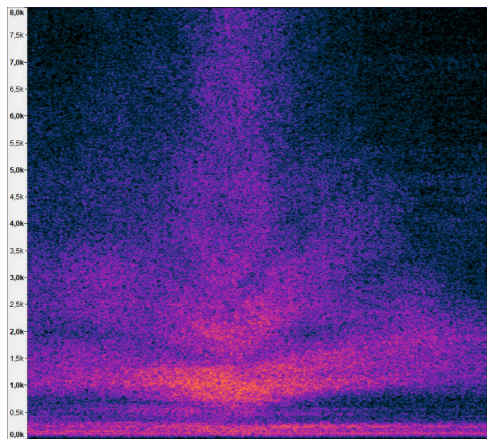


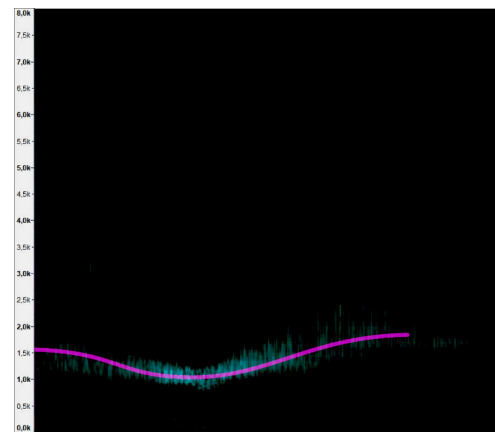
Abbildung 1: Beispielhafter Frequenzverlauf bei vorbeifahrendem Fahrzeug

### 2.2.1 Verwendung der Reifengeräusche

Für einen ersten Überblick wurden die Audio-Abschnitte in einen Spektrumanalysator geladen. Die Ergebnisse der visuellen Analyse sind in Abbildung 2 dargestellt.



(a) Spektrogramm



(b) Tonhöhe (EAC)

Abbildung 2: Ergebnisse Spektrumanalysator Reifengeräusche

Abbildung 2b wurde nachbearbeitet. Die pinkfarbene Linie zeigt den Verlauf der Tonhöhe über Zeit und kann als Frequenzgraph interpretiert werden. Ab der tiefsten Stelle des Graphen ist das vorbeifahrende Kfz am nächsten zum Mikrofon.

Beim Vergleich mit einem theoretisch berechneten Frequenzgraph (Abbildung 1) fällt auf, dass die aufgenommene Frequenz der Reifengeräusche vor Vorbeifahren (in der Beispielabbildung bei  $t = 10\text{s}$ ) nicht höher ist als nach dem Vorbeifahren, sondern bei niedrigerem Abstand geringer ist. Es konnte keine wissenschaftliche Erarbeitung dieses Phänomens gefunden werden, am wahrscheinlichsten ist jedoch eine Reflexion der akustischen Wellen am Boden, die mit den direkt zum Mikrofon laufenden Wellen interferieren und somit hohe Frequenzen auslöschen. Aufgrund dieser unklaren Messergebnisse kann dieser Ansatz jedoch nicht weiterverfolgt werden.

### 2.2.2 Verwendung der Motorgeräusche

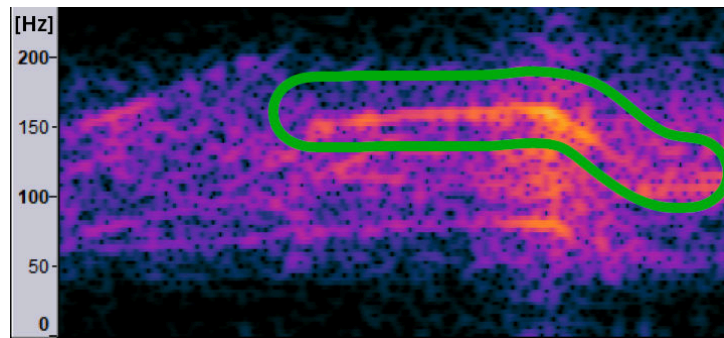


Abbildung 3: Spektrogramm Motorgeräusche

Nachdem sich die Reifengeräusche als unbrauchbar erwiesen haben, ist nun der nächste Ansatz, die Motorgeräusche aufgrund der eindeutigeren Tonhöhe – anstatt eines Rauschens – zu analysieren. Hierfür wird ein Tiefpass mit einer Grenze von  $150\text{Hz}$  auf die Audiospur gelegt, um Reifengeräusche möglichst gut herauszufiltern. Bei der manuellen Analyse stellt sich jedoch heraus, dass selbst die besten Aufnahmen unbrauchbar sind: Der in Abbildung 3 grün umrandete Frequenzverlauf stellt die aufgenommenen Motorgeräusche dar, bei denen die Dopplerverschiebung sichtbar ist. Zwar beinhaltet die Aufnahme vor dem Vorbeifahren des Kfz eindeutige Motorgeräusche, allerdings gibt es keine Messpunkte bei Entfernung des Fahrzeugs (hinter dem „Knick“ im Spektrogramm verschwindet die helle, gelbe Linie). Die Motorgeräusche, die direkt mit der Motordrehzahl zusammenhängen, konnten vom verwendeten Handymikrofon gar nicht aufgezeichnet werden, vermutlich unterläge es jedoch den gleichen Einschränkungen wie die aufgezeichneten Oberwellen. Somit kann auch diese Variante der Geschwindigkeitsbestimmung nicht verwendet werden.

## 2.3 Analyse der Audiodaten via Lautstärkeänderung

Für eine Berechnung der Geschwindigkeit von Fahrzeugen anhand ihrer Lautstärke muss das Verhältnis zwischen Lautstärke und Abstand bekannt sein. Dieses wird im folgenden Versuch experimentell erforscht. Die empirischen Ergebnisse werden anschließend mit einer mathematischen Beziehung verglichen.

### 2.3.1 Versuch zur Bestimmung der Beziehung zwischen Lautstärke und Abstand

Zuerst wurde eine Messreihe zum Verhältnis zwischen Lautstärke und Abstand im Innenraum durchgeführt. Hierfür wurde ein im Eck stehender Lautsprecher und ein Messmikrofon auf einem Stativ gegenübergestellt. Bei verschiedenen Abständen wurde daraufhin ein  $1\text{kHz}$ -Ton über den Lautsprecher abgespielt und vom Mikrofon aufgenommen. Bei der Auswertung der Messergebnisse stellte sich heraus, dass der Innenraum bei bestimmten Abständen die Töne „verschluckt“, da durch Reflexionen der Schallwelle an den Innenwänden des Raumes an diesen Punkten eine destruktive Interferenz entsteht. Da das Interferenzmuster von der Frequenz der Schallwelle abhängt, wurde anschließend der gleiche Versuch mit einem weißen Rauschen als ausgesendetes Geräusch verwendet, da





(a) Innenraum



(b) Im Freien

Abbildung 4: Versuchsaufbau zur Lautstärkebestimmung

somit durch das breite Frequenzspektrum die Tiefpunkte der Lautstärke vermieden werden konnten. Zur Berechnung des effektiven Schalldruckpegels (umgangssprachlich oft als „Schallpegel“ bezeichnet) wurde das Programm „Audacity“<sup>2</sup> und dessen „Measure RMS“-Funktion verwendet. Es stellte sich heraus, dass ... die Messmethode schlecht, da keine freie Ausbreitung (Fachbegriff recherchieren) ...

## 3 Ergebnisse

## 4 Ergebnisdiskussion

Nachteil: bei dichtem Verkehr eine Trennung der Fahrzeuge ermöglicht wird.

In halliger Umgebung gilt das  $1/r$ -Gesetz nur eingeschränkt: ... (siehe Wikipedia-Artikel [SSchalldruck#Abstandsabhängigkeit](#))

## 5 Zusammenfassung

---

<sup>2</sup>The Audacity Team und Community Contributors. *Audacity* ®. Version 3.2.1. URL: <https://www.audacityteam.org/>.

## 6 Abbildungsverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

1	Beispielhafter Frequenzverlauf bei vorbeifahrendem Fahrzeug . . . . .	3
2	Ergebnisse Spektrumanalysator Reifengeräusche . . . . .	3
3	Spektrogramm Motorgeräusche . . . . .	4
4	Versuchsaufbau zur Lautstärkebestimmung . . . . .	5

## 7 Quellen- und Literaturverzeichnis

### Literatur

bussgeldkatalog.org. *Geschwindigkeitsmessung mittels Laser: Funktionsweise, Schwachstellen, Einspruch*. 2022. URL: <https://www.bussgeldkatalog.org/geschwindigkeitsmessung/laser/>.

Team, The Audacity und Community Contributors. *Audacity* ®. Version 3.2.1. URL: <https://www.audacityteam.org/>.

## 8 Unterstützungsleistungen

---

Ich versichere, dass ich in dieser Arbeit keine Quellen verwendet habe, die nicht genannt wurden.

**Heuchlingen, 11. Januar 2023**  
Levin Fober

---