

# MESSSYSTEM ZUR BESTIMMUNG VON ÜBERHOLABSTÄNDEN VON KRAFTFAHRZEUGEN GEGENÜBER FAHRRADFÄHRERN

Jakob Seitzer  
Elektrotechnik, TEL17GR5, DHBW Stuttgart

**Kurzfassung:** Die Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Messsystems zur Ermittlung der Überholabstände von Kraftfahrzeugen gegenüber Fahrradfahrern. Zur Bestimmung der seitlichen Abstände werden Ultraschallsensoren (HC-SR04) verwendet, welche an einem Raspberry Pi Zero angebunden sind. Ein Temperatursensor (DS18B20) wird zur Kompensation der Temperaturabhängigkeit der Abstandsmessung verwendet. Das GPS-Modul GY-GPS6MV2 wird zur Bestimmung von Zeit und Position verwendet. Mit Hilfe einer Auswertungssoftware werden Überholvorgänge aus den aufgezeichneten Daten extrahiert.

**Schlüsselwörter:** Überholabstand, Abstandsmessung, Ultraschallsensoren, HC-SR04, GPS-Modul

**Abstract:** This student research project deals with the construction of a measurement system for recording overtaking distances between motor vehicles and bicycles. For measuring the distance on the left side of the bicycle, two ultrasonic ranging sensors (HC-SR04) are used and connected to a Raspberry Pi Zero. A temperature sensor (DS18B20) is used for compensation of temperature dependency of the distance measurement. The GPS-receiver GY-GPS6MV2 is used for detection of position and time. With an evaluation software the overtaking actions are detected in the measured data.

**Keywords:** overtaking distance, distance measurement, ultrasonic ranging module, HC-SR04, GPS-receiver

## 1 EINFÜHRUNG

Am 28.04.2020 trat die aktuell letzte Änderung der Straßenverkehrsordnung in Kraft. Zentrale Anpassung stellte hierbei die genaue Festlegung des Mindestüberholabstandes von Kraftfahrzeugen gegenüber Fahrradfahrern dar. Innerorts muss beim Überholen ein seitlicher Abstand von mindestens 1,5 m eingehalten werden - außerorts mindestens 2 m.

In einer groß angelegten Studie des Tagesspiegel Berlin aus dem Jahr 2018, wurde versucht die Überholabstände gegenüber Fahrradfahrern in Berlin zu dokumentieren [1]. Der entwickelte *Radmesser* ist nicht frei verfügbar. Aus diesem Grund können die Daten nicht unabhängig geprüft werden. Es bestehen noch weitere Konzepte zur Konstruktion eines Radmessers, diese sind jedoch nicht vollständig funktionsfähig [2]. Um die Ergebnisse der Studie des Tagesspiegels zu überprüfen und auch Daten über andere Städte zu erhalten, soll ein offenes Messsystem zur Erfassung der Überholabstände entwickelt werden.

## 2 SYSTEMBESCHREIBUNG

Für das Erfassen der Überholabstände wird ein Messsystem entwickelt werden, welches am Fahrrad montiert wird und automatisch die Abstände nach links aufzeichnet. Mit Hilfe einer Software werden anschließend die Überholabstände aus den gewonnenen Daten extrahiert.

### 2.1 Hardwarekomponenten

Als zentrales Hardwareelement wird eine Recheneinheit benötigt, welche mit den Abstandssensoren kommunizieren kann. Um eine unabhängige und einfache Funktionsweise zu erreichen, wird mit dem Raspberry Pi Zero gearbeitet. Dieser stellt 40 GPIO-Pins zur Verfügung, an welche Sensoren angeschlossen werden können. Mit der Sprache Python 3 wird eine Software für das Messsystem auf dem Raspberry Pi entwickelt. Auf der Micro-SD-Karte des Raspberry Pis werden die gemessenen Daten gespeichert werden.

Um den Überholabstand zu erfassen werden zwei Ultraschallsensoren verbaut. Als Standardbauteil im unteren Preissegment für Abstandssensoren bietet sich der Ultraschallsensor HC-SR04 an. Dieser erfasst zuverlässig einen Messbereich zwischen 4 cm und 5 m und wird in vielen studentischen Projekten verwendet [3] [4]. Die Messung erfolgt nach einem Triggerimpuls von 10 µs. Es werden Schallwellen mit einer Frequenz von 40 kHz ausgesendet und der Rückmelde-Pin des Sensors geht auf *High*. Wird der ausgegebene Schall innerhalb von

38 ms wieder empfangen, geht der Rückmelde-Pin zum Empfangszeitpunkt wieder auf *Low*, ansonsten nach  $t_{max} = 38 \text{ ms}$ .

Bei der Verwendung eines Ultraschallsensors muss die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Im Einsatzbereich des Messsystems ist mit Temperaturen zwischen  $-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  und  $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , was eine Abweichung der Schallgeschwindigkeit von bis zu 10 % zur Folge hat. Um die Temperaturabhängigkeit auszugleichen, wird die Temperatur mit dem Temperatursensor DS18B20 bestimmt. Dieser zeichnet sich durch einen günstigen Preis und eine weite Verbreitung in anderen Projekten aus [5] [6].

Bei dem GPS-Modul, welches für die Positions- und Zeitbestimmung benötigt wird, gibt es kaum etablierte Bauteile. Nach ausführlicher Recherche fiel die Entscheidung auf das GPS-Modul NEO-6 der Firma u-blox. Für die vereinfachte Konnektivität hin zum Raspberry Pi Zero wird das Modul GY-GPS6MV2 verwendet, auf welchem der Chip NEO-6 verbaut ist. Dieses Modul ist kostengünstig erhältlich und kann über die Universal Asynchronous Receiver Transmitter-Schnittstelle (UART) mit dem Raspberry verbunden werden [7].

Die Überholvorgänge werden durch die unterschiedlichen Zeitpunkte bestimmt, zu welchen das Kraftfahrzeug von den beiden Ultraschallsensoren erfasst wird. Um eine zeitlich unterschiedliche Erfassung durch die Ultraschallsensoren zu erreichen, müssen diese entweder in einem ausreichenden Abstand voneinander entfernt montiert sein, oder in zwei unterschiedliche Richtungen messen. Zuerst muss in diesem Zusammenhang bestimmt werden, welche maximale Distanz  $l_{max}$  ein Kraftfahrzeug zwischen zwei Messungen der Ultraschallsensoren zurücklegt. Innerhalb von Städten ist mit einer maximalen Geschwindigkeitsdifferenz von  $v_{max} = 70 \text{ km h}^{-1} \approx 19,44 \text{ m s}^{-1}$  zwischen Radfahrer und Kraftfahrzeug beim Überholen zu rechnen.

$$l_{max} = v_{max} \cdot t_{max} = 0,038 \text{ ms} \cdot 19,44 \text{ m s}^{-1} = 0,739 \text{ m} \quad (1)$$

Die Montage der beiden Ultraschallsensoren ist nicht in einem Abstand von 70 cm möglich, da der zur Verfügung stehende Platz auf dem Fahrrad begrenzt ist. Deshalb müssen die Ultraschallsensoren in zwei unterschiedliche Richtungen messen. Der minimale Winkel  $\alpha_{min}$ , welchen die Ultraschallsensoren voneinander abgewandt sein müssen, wird mit Hilfe der berechneten Strecke  $l_{max}$  und einer angenommenen Messdistanz von  $l_{Mess} = 1,5 \text{ m}$  bestimmt. Es gilt die Annahme, dass bei  $\alpha = 0^{\circ}$  die Ultraschallsensoren das Kraftfahrzeug zeitgleich erkennen.

$$\alpha_{min} = \arctan \frac{l_{max}}{l_{Mess}} = \frac{0,739 \text{ m}}{1,5 \text{ m}} = 26,23^{\circ} \quad (2)$$

Es besteht die Möglichkeit entweder einen Ultraschallsensor um mindestens  $\alpha_{min} = 26,33^{\circ}$  vom anderen abzuwenden, oder beide um mindestens  $\alpha_{min}/2 = 13,17^{\circ}$  gegeneinander zu verstellen. Um genauere Messergebnisse zu erzielen, werden beide Ultraschallsensoren um  $\alpha_{min}/2$  verdreht. Bei dieser Montageart ist der Winkel zwischen Ultraschallsensor und Kraftfahrzeug geringer und die Messabweichung fällt geringer aus.

Alle benötigten Bauteile werden auf eine in KiCad entwickelten Leiterplatte gelötet. Dies bietet sowohl die Möglichkeit einer dauerhaften und sicheren Montage, als auch eine exakte Positionierung der Ultraschallsensoren bezüglich des Winkels  $\alpha$ .

## 2.2 Software für das Messsystem

Wie bereits oben beschrieben, kann auf dem Raspberry Pi ein Programm in Python 3 entwickelt werden. Drei zentrale Anforderungen muss das Programm erfüllen:

1. Möglichst viele Abstandsmessungen
2. Hohe Ausfallsicherheit
3. Hohe Datensicherheit

**Möglichst viele Messungen** mit den Ultraschallsensoren sorgen für eine solide Datenlage. Hierfür werden die beiden Ultraschallsensoren durch den selben Impuls getriggert, sie starten zeitgleich ihre Messungen. Die Rückmelde-Pins werden durch die Software überwacht. Sobald einer der beiden Pins auf *High* ist, wird dieser Zeitpunkt als Startzeitpunkt für den Ultraschallsensor verwendet. Befinden sich beide Rückmelde-Pins im *High*-Zustand, wird überwacht, wie lange sie in diesem Zustand verbleiben. Fällt ein Rückmelde-Pin wieder auf *Low*, ist dessen Messung beendet und die Zeit  $t_{Mess}$ , kann zusammen mit der Schallgeschwindigkeit  $c_{Schall} = 340 \text{ m s}^{-1}$  zur Ermittlung der Messdistanz verwendet werden. Unter Berücksichtigung, dass der Schall in der Zeit  $t_{mess}$  sowohl Hin- als Rückweg zum Kraftfahrzeug zurück gelegt hat, bestimmt sich die Entfernung des KFZ  $l_{Mess}$  zu

$$l_{Mess} = \frac{1}{2} \cdot t_{Mess} \cdot c_{Schall} \quad (3)$$

Sobald beide Ultraschallsensoren ihre Messung beendet haben und das Messergebnis in einer CSV-Datei gespeichert wurde, wird unmittelbar im Anschluss wieder eine neue Messung initiiert. Das Erfassen der Zeit und Position ist weniger oft notwendig, da zwischen zwei erfassten Positionen interpoliert werden kann, solange diese nicht zu weit voneinander entfernt sind. Als maximaler zeitlicher Abstand  $t_{GPSmax}$  ergibt sich aus einem maximalen räumlichen Abstand, bei welchem noch interpoliert werden kann, von  $l_{GPSmax} = 20 \text{ m}$  und einer maximalen Geschwindigkeit des Fahrradfahrers von  $v_{bikemax} = 30 \text{ km h}^{-1} = 8,33 \text{ m s}^{-1}$ :

$$t_{GPSmax} = \frac{l_{GPSmax}}{v_{bikemax}} = 2,4 \text{ s} \quad (4)$$

Die Temperaturmessung nimmt eine Zeit von bis zu 750 ms in Anspruch [6] und wird deshalb nur in Minutenabständen durchgeführt. Eine starke Temperaturschwankung ist während einer Fahrradfahrt nicht zu erwarten, jedoch zwischen verschiedenen Fahrten. Um den Speicherverbrauch möglichst gering zu halten, wird darauf verzichtet die Positions- und Temperaturdaten zu jedem Messwert der Ultraschallsensoren hinzuzufügen. Diese werden lediglich einmal als eigene Zeile zum Zeitpunkt der Messung abgelegt.

Ein Eingriff in das Messsystem ist während des Betriebs nicht möglich und macht deshalb eine **hohe Ausfallsicherheit** erforderlich. Daten müssen zuverlässig aufgezeichnet werden. Aus diesem Grund ist ein Stehenbleiben oder Abbruch des Programms zu verhindern. Durch das sofortige und ständige Wiederholen der Messungen mit den Ultraschallsensoren besteht die Gefahr, dass nicht alle Messungen reibungslos ablaufen. Wird ein Triggerimpuls nicht korrekt erkannt, wird der normale Messzyklus durchbrochen. Durch Überwachung der Zeit, welche das Programm für eine Abstandsmessung benötigt, wird beim Überschreiten einer Zeitgrenze von 50 ms die Messung beendet. Zudem wird dem Benutzer durch eine Betriebsstatusanzeige bestehend aus zwei LEDs signalisiert, ob ein reibungsloser Programmdurchlauf gewährleistet ist. Zu Programmstart werden die einzelnen Komponenten getestet, bevor die Statusanzeige auf betriebsbereit (grüne LED) wechselt. Wird ein Sensor als fehlend oder fehlerhaft erkannt, wird dies dem Nutzer durch eine rote LED signalisiert. Eine Problembehebung muss im Einzelfall erfolgen.

Während einer Messfahrt sind verschiedene Szenarien denkbar, welche zu einem Absturz des Raspberry Pis führen können und nicht softwaretechnisch abgefangen werden können. Ein Spannungsausfall, entweder durch eine leere Powerbank oder das Herausrutschen eines Kabels sind ebenso denkbar, wie ein Unfall und eine damit einhergehende Beschädigung des Messsystems bzw. der Recheneinheit. Um die bis zu diesem Zeitpunkt erfassten Daten nicht zu verlieren, ist eine **hohe Datensicherheit** erforderlich. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Datei, welche zum Zeitpunkt des Programmabsturzes beschrieben wird, unbrauchbar wird und alle darin enthaltenen Daten verloren gehen. Um den Datenverlust zu minimieren, wird nach einer festgelegten Zahl an Messungen (5000) die bisherige Datei geschlossen und eine neue Datei mit fortlaufender Nummerierung erstellt, in welche die neuen Daten gespeichert werden. So gehen maximal 5000 Messwerte verloren, das bedeutet die Messwerte von maximal zwei Minuten.

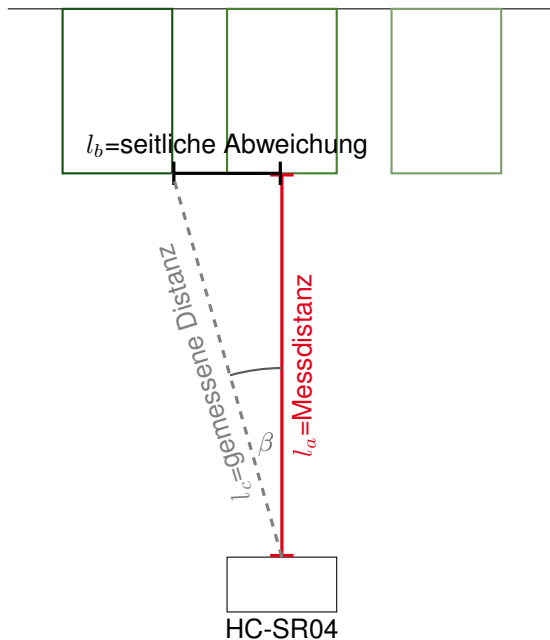
### 2.3 Auswertungssoftware für die Messdaten

Als Auswertungsgrundlage dienen die durch die Messsoftware erstellten CSV-Dateien, welche die gemessenen Abstandswerte, Positionen und Temperaturen beinhalten. Nach dem anfänglichen Einlesen der gemessenen Daten, welches das Zuweisen der Positions- und Temperaturdaten zu den Abstandsmesswerten beinhaltet, sowie die Glättung der gemessenen Abstände, werden diese auf Überholvorgänge untersucht. Kennzeichnend für Überholvorgänge ist ein Abfallen des Messwerts des hinteren Ultraschallsensors, während der vordere Ultraschallsensor weiterhin eine große Distanz erfasst. Danach ermitteln beide Ultraschallsensoren den gleichen kleinen Abstandswert, da sich das Kraftfahrzeug genau neben dem Fahrrad befindet und von beiden Ultraschallsensoren erfasst wird. Zum Ende des Überholvorgangs steigt der Messwert des hinteren Ultraschallsensors an, wohingegen der vordere Ultraschallsensor weiterhin das Kraftfahrzeug erfasst und einen kleinen Messwert liefert.

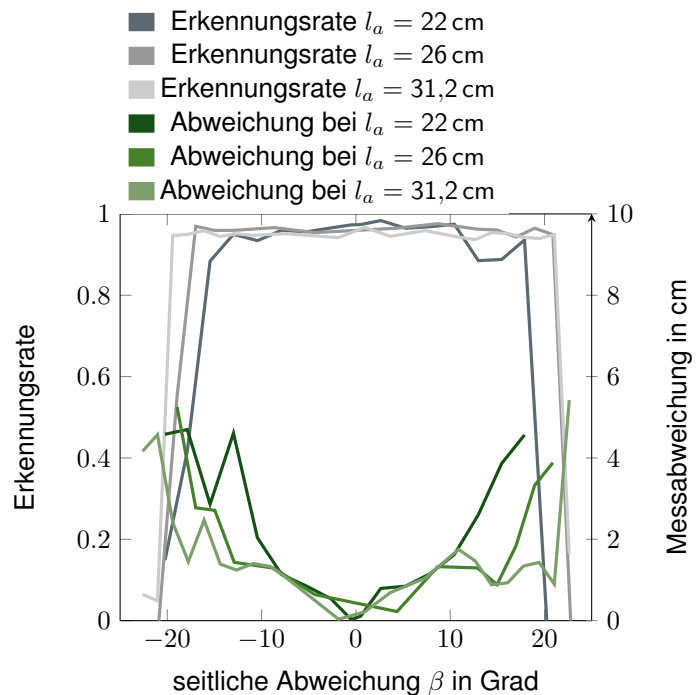
Da jedem Überholvorgang GPS-Koordinaten zugeordnet sind, ist eine Analyse der Überholvorgänge nach Regionen möglich. Um eine exakte regionale Analyse zu erhalten werden die Koordinaten in Adressen bestehend aus Stadt, Postleitzahl und Straße umgewandelt. Anhand dieser Informationen kann ein Vergleich zwischen verschiedenen Städten erfolgen. Innerhalb einzelner Städte können besonders gefährliche Straßenabschnitte erkannt werden. Um die GPS-Koordinaten in Adressen umzuwandeln wird eine Programmierschnittstelle verwendet (Application Programming Interface - API). Aus Kosten- und Kompatibilitätsgründen wird mit der API von OpenCageGeocoder gearbeitet. Nach Übergabe der Koordinaten wird die dazugehörige Straße gesucht und die gefundene Adresse mit Informationen über die Straße (Straßentyp, erlaubte Geschwindigkeit, Anzahl der Fahrspuren) zurückgegeben [8].

### 3 TESTS

#### 3.1 Hardwaretests



**Abbildung 1:** Messbereich der Ultraschallsensoren HC-SR04, in Farbe die eingesetzten Objekte



**Abbildung 2:** Messbereich der Ultraschallsensoren bei verschiedenen  $l_a$

Die Ultraschallsensoren müssen hinsichtlich ihres Messbereichs untersucht werden. Durch Tests muss nachgewiesen werden, dass die Ultraschallsensoren auch Objekte erfassen, welche nicht senkrecht vor den Ultraschallsensoren stehen. In diesem Zusammenhang wird untersucht, inwiefern eine schräge Messfläche (Vgl. Abb. 3) die Messungen beeinflusst und welchen Einfluss ein Abweichen aus der Messsenkrechten (Vgl. Abb. 1) auf die Messergebnisse hat.

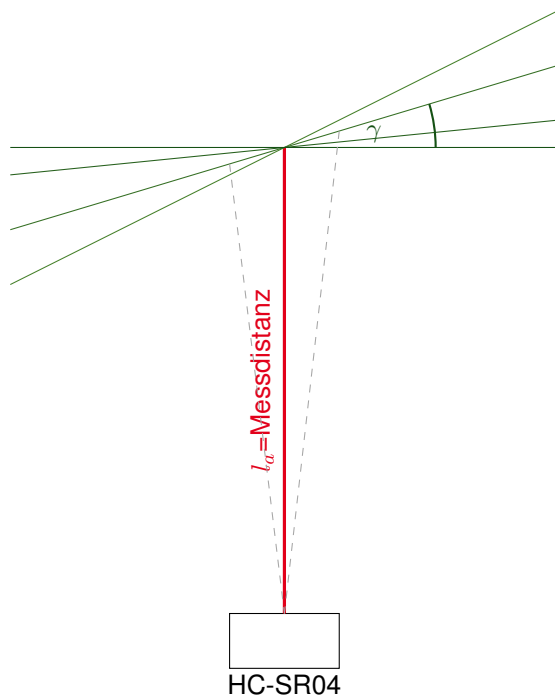
In Abb. 1 ist die seitliche Abweichungen eines Objekts von der Messsenkrechten dargestellt. Der Winkel  $\beta$  stellt den Messbereich dar und berechnet sich zu

$$\beta = \arctan\left(\frac{l_b}{l_a}\right) \quad (5)$$

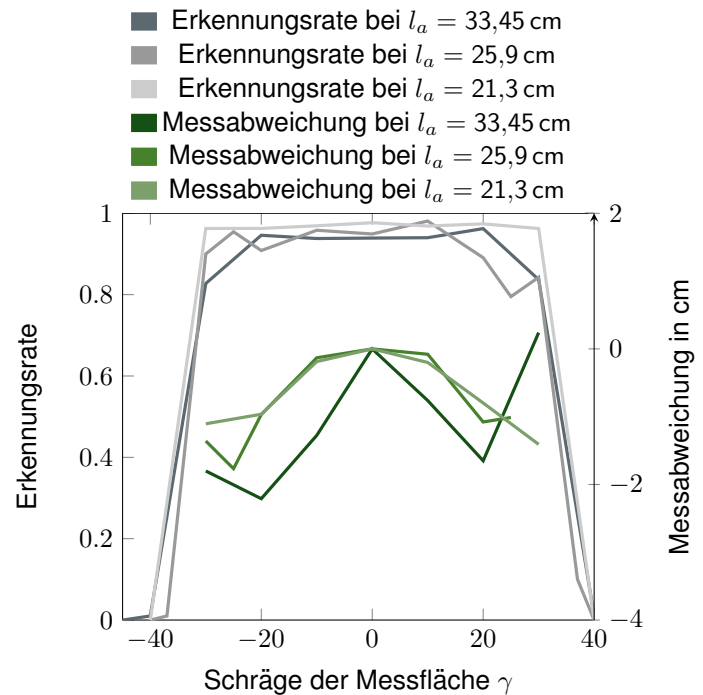
In Abb. 2 ist die Erkennungsrate in Abhängigkeit der seitlichen Abweichung  $\beta$  dargestellt. Die Erkennungsrate ist definiert als Anteil der Messungen, bei welcher das Objekt erkannt wird. Die Messabweichung ergibt sich aus der tatsächlich gemessenen Distanz abzüglich  $l_c$ . Für die in Abb. 2 dargestellten Punkte, wurden jeweils mindestens 40 000 Messungen durchgeführt und per Software ausgewertet. Bei steigender Messdistanz  $l_a$  vergrößert sich der Messbereich  $\beta$  leicht. Zu beobachten ist, dass bis zu einem Winkel  $\beta$  von bis zu  $19^\circ$  ein Objekt zuverlässig erkannt wird. Die Messabweichung steigt bereits bei  $\beta > 16^\circ$  stark an.

In Abb. 3 ist der Versuchsaufbau für eine schräge Messfläche skizziert. Der Winkel  $\gamma$  stellt die Schräge der Messfläche gegenüber einer normalen Messfläche, senkrecht zur Messrichtung der Ultraschallsensoren dar. In Abb. 4 sind die Erkennungsrate und die Messabweichung für variable Messdistanzen  $l_a$  in Abhängigkeit des Winkels  $\gamma$  dargestellt. Es gelten die selben Definitionen wie oben. Bei steigender Messdistanz  $l_a$  verkleinert sich die Erkennungsrate bei einem Winkel von  $\beta \geq 30^\circ$  leicht. Die Messabweichung steigt ebenfalls mit zunehmender Schräge  $\gamma$  der Messfläche an.

Das Zunehmen der Messabweichung ist mit dem Erkennungswinkel  $\beta$  der Ultraschallsensoren zu begründen. Wird die Messfläche mit dem Winkel  $\gamma$  schräger aufgestellt, rückt ein Teil der Messfläche innerhalb des Erkennungsbereichs näher an den Ultraschallsensor (Vgl. Abb. 3, grau gestrichelter Bereich).



**Abbildung 3:** Messgenauigkeit bei schrägen Flächen, in Farbe die neuen Messflächen



**Abbildung 4:** Genauigkeit der Messungen mit Ultraschallsensoren bei schrägen Reflexionsflächen

Es ist festzuhalten, dass die Ultraschallsensoren Objekte erkennen können, welche bis zu  $\beta = 19^\circ$  aus der Messsenkrechten abweichen. Die Schräge der Messfläche spielt bei  $\gamma \leq 19^\circ$  eine untergeordnete Rolle. Für eine zuverlässige Objekterkennung mit vernachlässigbaren Messabweichungen muss der Winkel  $\alpha/2$  (Vgl. oben) kleiner als der Winkel  $\beta$  des Messbereichs sein. Es gilt:

$$\frac{\alpha_{max}}{2} \leq \beta = 19^\circ \quad (6)$$

Bei verschiedenen Tests stellte sich ein Winkel von  $\alpha/2 = 16^\circ$  als optimal heraus.

### 3.2 Softwaretest Messsystem

Für das Messsystem ist ein stabiler Programmablauf sowie das Behandeln von fehlerbehafteten Messwerten und Sensorausfällen wichtig. Ein Fortlauf des Programms sowie eine nachträgliche Bearbeitungsmöglichkeit für fehlerhafte Messergebnisse stehen im Vordergrund.

In diesem Zusammenhang ist ein Langzeittest erforderlich, um Fehler zu erkennen, welche nicht bereits bei Programmstart auftreten. Unabhängig der Programmlaufzeit sind keine zusätzlichen Fehler aufgetreten. Nach rund 20 Stunden ist die Powerbank, welche zur Spannungsversorgung verwendet wird, erschöpft.

Beim GPS-Modul sind zwei unterschiedliche Fehler möglich. Es kann zu einem kurzfristigen Signalabbruch kommen oder zu einem dauerhaften Komplettausfall. In beiden Fällen wird der Programmablauf nicht negativ beeinflusst. Sind die GPS-Daten nur kurzfristig nicht verfügbar, kann zwischen den anderen Koordinaten interpoliert werden. Bei einem dauerhaften Sensorausfall hingegen ist es nicht mehr möglich Überholvorgänge geografisch zu verorten.

Die Ultraschallsensoren können verschiedene Fehler aufweisen. Bei einzelnen Messungen kann es zu falschen Messergebnissen kommen, die Ultraschallsensoren können verdeckt oder verschmutzt sein oder sie können komplett ausfallen. Das Programm des Messsystems wird nicht durch falsche Signale der Ultraschallsensoren beeinflusst, da durch einen Zeitabgleich auch ohne Rücksignal der Ultraschallsensoren mit neuen Messungen fortgefahren wird. Fehlerhafte Messergebnisse, welche außerhalb des Messbereichs der Ultraschallsensoren liegen können durch die Auswertungssoftware aussortiert werden und einzelne abweichende Messwerte können durch die Auswertungssoftware korrigiert werden (Vgl. Glättung). Ein Komplettausfall eines Ultraschallsensors führt zu einem fatalen Fehler bei der Erkennungssoftware, da diese zur Erkennung von Überholvorgängen auf die unterschiedlichen Messergebnisse der Ultraschallsensoren angewiesen ist.

### 3.3 Softwaretest Auswertungssoftware

Die Auswertungssoftware wird mit gezielt durchgeführten Überholvorgängen getestet. Die Überholvorgänge wurden mit einem möglichst exakten seitlichen Abstand durchgeführt, aufgrund von Lenkfehlern von Autofahrer und Fahrradfahrer, konnte die Distanz jedoch nicht exakt eingehalten werden. Die Auswertungssoftware erkannte die Überholvorgänge aus den aufgezeichneten Daten, kleine Abweichungen waren bei der ermittelten Distanzen zu erkennen. An Stellen ohne Überholvorgänge wurden keine Überholvorgänge extrahiert. Die Funktion der Software wurde somit für beide Richtungen nachgewiesen, korrektes Erkennen aber keine zu große Sensitivität.

## 4 FAZIT

Es wurde ein Messsystem zur Erfassung der seitlichen Überholabstände von Kraftfahrzeugen gegenüber Fahrradfahrern entwickelt. Überholvorgänge werden durch die Auswertungssoftware automatisch erkannt und regional verortet. Die Funktion des Messsystems wurde durch mehreren Testreihen nachgewiesen.

Weitere Tests mit verschiedenen Arten von Kraftfahrzeugen sind notwendig, genauso wie das Testen der Auswertungsmöglichkeiten, sobald Daten über viele Überholvorgänge vorliegen.

## LITERATUR

- [1] Tagesspiegel Online. (2018). "radmesser", Verlag Der Tagesspiegel GmbH, Adresse: <https://interaktiv.tagesspiegel.de/radmesser/index.html> (besucht am 12. 12. 2019).
- [2] Zweirat Stuttgart. (2020). "Friends of Open Bike Sensor, Citizen Science Project by Zweirat Stuttgart", Adresse: <https://github.com/Friends-of-OpenBikeSensor> (besucht am 28. 05. 2020).
- [3] K. A. Raza und W. Monnet, "Moving objects detection and direction-finding with HC-SR04 ultrasonic linear array", in *2019 International Engineering Conference (IEC)*, 2019, S. 153–158.
- [4] D. Vakula und Y. K. Kolli, "Low cost smart parking system for smart cities", in *2017 International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS)*, 2017, S. 280–284.
- [5] W. Jingzhuo und G. Chenglong, "Research on 1-Wire Bus Temperature Monitoring System", in *2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, 2007, S. 3–722–3–726.
- [6] B. Huang, J. Lei und Y. Bo, "The reading data error analysis of 1-wire bus digital temperature sensor DS18B20", in *2012 Proceedings of International Conference on Modelling, Identification and Control*, Wuhan, Hubei, China, Juni 2012, S. 433–436, ISBN: 978-1-4673-1524-1.
- [7] H. Fu, G. Xiong, S. Chen, M. Qiu, H. Xiong, Z. Shen, X. Dong, X. Su und X. Guo, "Design of Low-cost Position Differential Positioning System Based on STM32", in *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2018, S. 1420–1425. DOI: [10.1109/CAC.2018.8623492](https://doi.org/10.1109/CAC.2018.8623492).
- [8] OpenCage GmbH. (2020). "OpenCage Geocoder", Adresse: <https://opencagedata.com/> (besucht am 12. 05. 2020).