

Verbesserung eines Bluetooth-basierten Warnsystems für den Straßenverkehr durch Datenlogging und innovative Visualisierungstechniken

Studienarbeit T3200

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Fahrzeugelektronik

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Luka Tadic

Abgabedatum:	14.07.2025
Bearbeitungszeitraum:	07.04.2025 - 14.07.2025
Matrikelnummer:	5726700
Kurs:	TFE22-1
Dualer Partner:	
Betreuerin / Betreuer:	Prof. Dr. Ing. Tobias Frank
Gutachterin / Gutachter:	Prof. Dr. Ing. Tobias Frank

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit T3200 mit dem Thema:

*Verbesserung eines Bluetooth-basierten Warnsystems für den
Straßenverkehr durch Datenlogging und innovative Visualisie-
rungstechniken*

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen
und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte
elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Friedrichshafen, den 2. Juli 2025

Luka Tadic

Kurzfassung

Abstract

Hilfsmittel

Abbildungsverzeichnis

1	Beispiel Rechtsabbiegen LKW	1
2	XPLR-AOA Explorer Kit	4
3	Datenlogger Cube (Avisaro 2.0) zur Speicherung von Sensor- und Prozessdaten	6

Abkürzungsverzeichnis

AoA Angle-of-Arrival

API Application Programming Interface

BLE Bluetooth Low Energy

LKW Lastkraftwagen

SDK Software Development Kit

CSV Comma-seperated values

JSON JavaScript Object Notation

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Zielsetzung	2
2	Rückblick auf das mobile Warnsystem	3
2.1	Konzept und Zielsetzung	3
2.2	Bluetooth AoA und technische Grundlagen	3
2.3	Herausforderungen und Gründe für die Projektpause	4
3	Grundlagen Datenlogger	6
3.1	Zweck und Funktionalität eines Datenloggers	6
3.2	Anwendungsbereiche im Kontext der Studienarbeit	7
3.3	Vorhandene Herausforderungen und Lösungsansätze	7
4	Entwicklung des Datenloggers	9
4.1	Anforderungen an die Software	9
4.2	Auswahl geeigneter Technologien und Tools	10
4.3	Implementierung und Integration in bestehende Systeme	10
4.4	Ergebnisse und Evaluation	10
5	Grundlagen der Visualisierung	10
5.1	Anforderungen an eine effektive Visualisierung	10
5.2	Darstellungsmöglichkeiten und -technologien	10
6	Entwicklung der neuen Visualisierung	10
6.1	Analyse der bestehenden Visualisierung	10
6.2	Konzept einer verbesserten Visualisierung	10
6.3	Implementierung der verbesserten Visualisierung	10
6.4	Ergebnisse und Benutzerfreundlichkeit	10
7	Test und Validierung	10
7.1	Testmethodik und -umgebung	10
7.2	Ergebnisse der Tests	10
7.3	Diskussion der Testergebnisse und Optimierungspotentiale	10
8	Kritische Bewertung und Ausblick	10
8.1	Reflexion der erreichten Ergebnisse	10
8.2	Grenzen der aktuellen Umsetzung	10
8.3	Vorschläge für zukünftige Weiterentwicklungen	10

1 Einleitung

1.1 Motivation

In den letzten Jahren ist die Zahl der tödlichen Verkehrsunfälle bedauerlicherweise gestiegen, was auf eine Vielzahl von Faktoren wie die steigende Verkehrsdichte sowie mangelnde Aufmerksamkeit und Sorgfalt im Straßenverkehr zurückzuführen sein kann. Um dieser negativen Entwicklung entgegenzuwirken, wurden unterschiedliche Maßnahmen ergriffen. Neben strengeren Sicherheitsgesetzen haben sich vor allem technologische Innovationen wie Fahrzeugkameras, Sensorik und verschiedene Fahrerassistenzsysteme als wesentliche Instrumente zur Unfallprävention herauskristallisiert.



Abbildung 1: Beispiel Rechtsabbiegen LKW

Eine besonders bedeutende Neuerung im Bereich der Lastkraftwagen (LKW)-Sicherheit stellen Abbiegeassistenten dar. Diese Systeme helfen, den toten Winkel zu reduzieren und somit Unfälle – insbesondere beim Rechtsabbiegen – zu vermeiden. Trotz dieser technischen Fortschritte besteht weiterhin Potenzial für weitere Verbesserungen. Eine umfassende Forschung und Entwicklung im Bereich von Fahrerassistenzsystemen könnte zukünftig dazu beitragen, das allgemeine Verkehrsrisiko weiter zu senken und die Verkehrssicherheit signifikant zu erhöhen. [1]

1.2 Zielsetzung

Zielsetzung dieser Studienarbeit ist es, einen leistungsfähigen Datenlogger zu entwickeln und die Visualisierung zu verbessern, um die Funktionalität des Fahrerassistenzsystems zu erhöhen und dadurch dessen Entwicklung zu erleichtern. Durch die Implementierung eines leistungsfähigen Datenloggers sollen Messwerte systematisch und zuverlässig erfasst werden können, was eine effektivere Zusammenarbeit im Entwicklungsteam ermöglicht und die Notwendigkeit einer dauerhaften Hardwareverbindung reduziert. Die Optimierung der Visualisierung dient dazu, Messergebnisse klarer und übersichtlicher darzustellen, um künftige Analysen und Tests zu vereinfachen und somit die Qualität und Genauigkeit der Positionsbestimmung zu erhöhen. Diese Verbesserungen sollen letztlich zu einer höheren Effizienz im Entwicklungsprozess führen und somit einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit leisten.

2 Rückblick auf das mobile Warnsystem

2.1 Konzept und Zielsetzung

Die vorherige Studienarbeit verfolgte das Ziel, ein mobiles Warnsystem zur Minimierung von Abbiegeunfällen zwischen LKW und ungeschützten Verkehrsteilnehmenden wie Fußgängerinnen und Radfahrerinnen zu entwickeln. Zentrales Element dieses Systems war eine mobile Applikation, die als aktiver Bluetooth-Sender fungieren sollte. In Kombination mit einem am LKW montierten Empfängerboard (basierend auf dem u-blox XPLR-AOA-1 Kit) sollte mithilfe der Angle-of-Arrival (AoA)-Technologie die Position des Smartphones lokalisiert und bei drohender Gefahr eine Warnung ausgegeben werden. Das System versprach einen kostengünstigen und einfach zugänglichen Ansatz zur Verbesserung der Verkehrssicherheit im städtischen Raum.

2.2 Bluetooth AoA und technische Grundlagen

Die AoA-Technologie ist Teil des Bluetooth 5.1 Standards und ermöglicht die Positionsbestimmung eines Senders durch Messung des Einfallswinkels der Funksignale an mehreren Antennen eines Empfängers. Voraussetzung hierfür ist jedoch ein exakter Zugang zu den Bluetooth-Sendeparametern sowie eine Antennenkonfiguration mit bekannten geometrischen Abständen. Das u-blox XPLR-AOA-1 Explorer Kit stellt hierzu eine geeignete Hardwarelösung dar, da es mit einem AoA-fähigen Empfängerboard und einem sogenannten Tag (Sender) ausgestattet ist. Ziel der Arbeit war es, das Smartphone funktional durch diesen Tag zu ersetzen. [1][2][3]

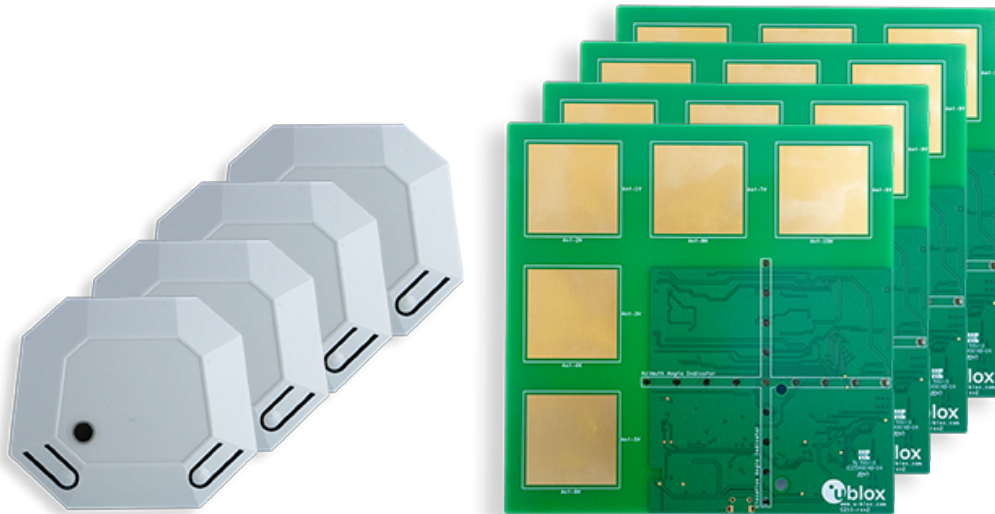


Abbildung 2: XPLR-AOA Explorer Kit

2.3 Herausforderungen und Gründe für die Projektpause

Im praktischen Verlauf der Umsetzung traten mehrere schwerwiegende technische Limitierungen auf, die die Fortführung des Projekts verhinderten:

- Aktuelle Smartphone-Firmware (insbesondere auf Android-Basis) verhindert in der Regel den vollständigen Zugriff auf die Bluetooth-Sendeparameter. Ein gezieltes Emittieren von Bluetooth Low Energy (BLE)-Signalen, wie es zur AoA-Ortung erforderlich ist, ist mit Standard-Software Development Kit (SDK) nicht möglich.
- Nur wenige aktuelle Mobilgeräte unterstützen Bluetooth 5.1 vollständig, was die Reichweite und Genauigkeit der Ortung stark einschränkt.

- Die Emulation des u-blox Tags durch das Smartphone scheiterte daher an mangelnden Systemrechten, fehlender Low-Level-Application Programming Interface (API)-Zugriffe und nicht ausreichender Hardwareunterstützung.

Diese Faktoren führten dazu, dass das Projekt in der geplanten Form nicht abgeschlossen werden konnte. Die zugrundeliegende Idee bleibt jedoch vielversprechend und kann in Zukunft wieder aufgegriffen werden, sobald sich die technischen Rahmenbedingungen verbessert haben.[4][5][6][7]

3 Grundlagen Datenlogger

3.1 Zweck und Funktionalität eines Datenloggers

Ein Datenlogger ist ein autonom arbeitendes Gerät oder Softwaremodul, das physikalische oder digitale Messwerte über einen definierten Zeitraum hinweg aufzeichnet. Ziel ist es, Veränderungen systematisch und zuverlässig zu erfassen, um sie später analysieren, auswerten oder dokumentieren zu können. Typische erfasste Daten umfassen beispielsweise Temperatur, Spannung, Zeitstempel, Lage- oder Positionsdaten.



Abbildung 3: Datenlogger Cube (Avisaro 2.0) zur Speicherung von Sensor- und Prozessdaten

Im Gegensatz zu interaktiven Messsystemen arbeitet ein Datenlogger in der Regel unabhängig und ohne dauerhafte Verbindung zu einem Steuergerät. Dies macht ihn besonders geeignet für mobile oder schwer zugängliche Anwendungen. Durch kontinuierliche Aufzeichnung lassen sich Messwerte nachvollziehbar dokumentieren, was vor allem in der Entwicklung, Fehlersuche und Validierung technischer Systeme von Bedeutung ist.

Wichtige Eigenschaften eines Datenloggers sind unter anderem eine ausreichende Speicherkapazität, Energieeffizienz und die Kompatibilität zu verschiedenen Datenformaten wie Comma-separated values (CSV) oder

JavaScript Object Notation (JSON). Moderne Logger bieten darüber hinaus Schnittstellen für drahtlose Datenübertragung oder automatisierte Synchronisation mit Analysetools.

3.2 Anwendungsbereiche im Kontext der Studienarbeit

Im Rahmen dieser Studienarbeit wird der Datenlogger gezielt eingesetzt, um die Entwicklungsarbeit am Bluetooth-AoA-basierten Lokalisierungssystem effizienter und flexibler zu gestalten. Ziel ist es, die Abhängigkeit von einer aktiven Verbindung zur Hardware während der Test- und Anpassungsphasen zu minimieren. Personen, die an der Parametrierung oder Feinjustierung des Systems arbeiten, sollen in die Lage versetzt werden, auch ohne direkte Verbindung zur u-blox-Hardware auf reale Messdaten zuzugreifen.

Der Datenlogger dient dabei nicht nur der reinen Aufzeichnung, sondern ermöglicht die Speicherung von tatsächlich erfassten, originalgetreuen Messwerten. Diese Werte können anschließend in separate Programme oder Auswertungswerkzeuge importiert werden, um dort Berechnungen, Analysen und grafische Darstellungen durchzuführen. Änderungen an Parametern oder Auswertelgorithmen können somit auf Basis gespeicherter Daten vorgenommen und getestet werden, ohne dass dafür eine erneute Datenerfassung mit der realen Sensorik notwendig ist.

Darüber hinaus erlaubt der Datenlogger eine „Offline-Simulation“ oder ein Daten-Replay mit echten Werten. Diese Vorgehensweise bietet den Vorteil, dass Optimierungen zunächst im Testsystem geprüft werden können. Erst wenn ein Ergebnis zufriedenstellend ist, wird es auf das reale System übertragen. Damit leistet der Datenlogger einen wesentlichen Beitrag zur Entkopplung von Entwicklung und Hardwareverfügbarkeit, was vor allem in Teamkonstellationen und bei paralleler Arbeit an mehreren Teilaspekten des Systems von großem Nutzen ist.

3.3 Vorhandene Herausforderungen und Lösungsansätze

Bei der Entwicklung eines zuverlässigen Datenloggers im Kontext des BluetoothAoA-Systems treten verschiedene Herausforderungen auf. Eine der zentralen Schwierigkeiten liegt in der exakten zeitlichen Zuordnung der erfassten Daten. Für eine sinnvolle Auswertung müssen Zeitstempel, Empfangswinkel und weitere Messgrößen synchronisiert und konsistent gespeichert werden.

Ein weiteres Problem stellt die effiziente und verlustfreie Speicherung

großer Datenmengen dar. Hierbei müssen sowohl die Speicherkapazität als auch die Lesbarkeit und Weiterverwendbarkeit berücksichtigt werden. Gerade im Hinblick auf die spätere Analyse mit gängigen Tools wie Python oder MATLAB ist ein gut strukturiertes Datenformat – etwa CSV oder JSON – von hoher Bedeutung.

Auch die Integration in bestehende Entwicklungsprozesse erfordert eine durchdachte Schnittstellengestaltung. Der Datenlogger muss flexibel und modular aufgebaut sein, damit er problemlos in verschiedene Testumgebungen eingebunden werden kann. Gleichzeitig soll der Energieverbrauch möglichst gering gehalten werden, um auch den mobilen Einsatz über längere Zeiträume hinweg zu ermöglichen.

Lösungsansätze bestehen in der Verwendung eines einfachen, standardisierten Speicherformats, einem modularen Softwaredesign mit klar dokumentierten Schnittstellen sowie in der Implementierung grundlegender Fehlererkennungs- und Synchronisationsmechanismen. Diese Maßnahmen sollen sicherstellen, dass der Datenlogger zuverlässig, energieeffizient und nutzerfreundlich eingesetzt werden kann.

4 Entwicklung des Datenloggers

4.1 Anforderungen an die Software

Die Software des Datenloggers muss in der Lage sein, Messwerte des Bluetooth-AoA-Systems automatisch und kontinuierlich zu erfassen, zu speichern und für die spätere Analyse verfügbar zu machen. Zu den grundlegenden funktionalen Anforderungen gehört die Unterstützung strukturierter Exportformate wie CSV oder JSON, um die Weiterverarbeitung in gängigen Tools wie Python oder MATLAB zu ermöglichen. Zudem soll die Software konfigurierbar sein, um Messparameter wie Samplingrate oder Filterbedingungen flexibel anpassen zu können.

Nicht-funktionale Anforderungen betreffen insbesondere die Zuverlässigkeit und Ressourcenschonung. Die Anwendung soll auch bei längeren Aufzeichnungen stabil laufen, sparsam mit Speicher und Energie umgehen und eine einfache Bedienbarkeit bieten. Eine modulare Architektur ist dabei essenziell, um Erweiterungen oder Anpassungen effizient umzusetzen.

Für das vorliegende Projekt ist außerdem besonders wichtig, dass die Software auch ohne direkte Verbindung zur u-blox-Hardware einsatzfähig ist. Aufgezeichnete Daten müssen für eine Offline-Auswertung und Visualisierung nutzbar sein, um iterative Verbesserungen an Parametern oder Algorithmen unabhängig von der Hardwareumgebung vornehmen zu können.

- 4.2 Auswahl geeigneter Technologien und Tools
- 4.3 Implementierung und Integration in bestehende Systeme
- 4.4 Ergebnisse und Evaluation
- 5 Grundlagen der Visualisierung**
 - 5.1 Anforderungen an eine effektive Visualisierung
 - 5.2 Darstellungsmöglichkeiten und -technologien
- 6 Entwicklung der neuen Visualisierung**
 - 6.1 Analyse der bestehenden Visualisierung
 - 6.2 Konzept einer verbesserten Visualisierung
 - 6.3 Implementierung der verbesserten Visualisierung
 - 6.4 Ergebnisse und Benutzerfreundlichkeit
- 7 Test und Validierung**
 - 7.1 Testmethodik und -umgebung
 - 7.2 Ergebnisse der Tests
 - 7.3 Diskussion der Testergebnisse und Optimierungspotentiale
- 8 Kritische Bewertung und Ausblick**
 - 8.1 Reflexion der erreichten Ergebnisse
 - 8.2 Grenzen der aktuellen Umsetzung
 - 8.3 Vorschläge für zukünftige Weiterentwicklungen