

Universität Innsbruck
Informatik

Fakultät für Mathematik, Informatik und Physik



Seminararbeit

im Fach

SE Vertiefungsseminar

**IoT für autonome Fahrzeuge: Vernetzte
Fahrzeugkommunikation und intelligente
Infrastruktur**

Seminararbeit über die Anwendung des Internet of Things in der
Fahrzeugkommunikation und die Rolle intelligenter Infrastrukturen

by

Hasan Yücedag
Matriculation Nr.: 12201941
Studiengang: Informatik

Submission Date: 25. März 2026

Supervisors: Prof. Dr. Thomas Fahringer

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	4
2	Einleitung	4
2.1	Motivation und Zielsetzung	4
2.2	Aufbau der Arbeit	5
3	Relevante Arbeiten	5
4	Grundlagen des Internet of Things (IoT) und autonomes Fahren	6
4.1	Definition und Konzepte des IoT	7
4.2	Grundlagen des autonomen Fahrens	8
4.3	Schnittstellen zwischen IoT und autonomem Fahren	8
5	Vernetzte Fahrzeugkommunikation	8
5.1	Konzepte und Technologien für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2V)	9
5.2	Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I)	10
5.3	Rolle von Fahrzeug-zu-Alles-Kommunikation (V2X) im autonomen Fahren	11
6	Intelligente Infrastruktur und deren Rolle	11
6.1	Smart Cities und deren Einfluss auf die Fahrzeugkommunikation	12
6.2	Beispiele für intelligente Verkehrsinfrastrukturen	12
6.3	Herausforderungen und Anforderungen an die Infrastruktur	13
7	Anwendungen und Szenarien der vernetzten Kommunikation im autonomen Fahren	13
7.1	Sicherheits- und Unfallvermeidungsanwendungen	14
7.2	Verkehrseffizienz und Umweltfreundlichkeit	14
7.3	Echtzeit-Datenanalyse und Entscheidungsfindung	14
8	Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen	15
8.1	Datenschutz und Sicherheit im vernetzten Verkehr	15

8.2	Technologische Herausforderungen	16
8.3	Zukünftige Trends und Innovationen	16
9	Zusammenfassung und Fazit	17
10	Literaturverzeichnis	18
11	Abbildungsverzeichnis	21

1 Kurzfassung

Die Automatisierung und Vernetzung prägen die Entwicklung des autonomen Straßenverkehrs und eröffnen neue Perspektiven für die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und deren Umfeld. Vor diesem Hintergrund untersucht dieser Arbeit, wie das Internet of Things (IoT) auf die vernetzte Fahrzeugkommunikation einwirkt und welche Bedeutung dem Einsatz intelligenter Verkehrsinfrastrukturen für den autonomen Straßenverkehr zukommt. Dabei stehen Technologien der Fahrzeug-zu-Fahrzeug- bzw. Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2V bzw. V2I) im Vordergrund, die, sicher und effizient zur Kooperation autonomer Fahrzeuge beitragen. Darüber hinaus wird die Rolle von durch informierte Verkehrsinfrastrukturen wie intelligente Ampeln oder Echtzeit-Verkehrsleitsysteme für die Verkehrsentwicklung erörtert. Diese bilden die systemische Grundlage einer zukünftig sicheren Mobilität in städtischen Räumen. Erörtert werden schließlich zentrale Herausforderungen – wie Datenschutz und Sicherheit – und Entwicklungsperspektiven für intelligente IoT- und Infrastrukturen.[1]

2 Einleitung

Autonome Fahrzeuge und ihre Technologien verändern den Verkehr, und dabei spielt das IoT eine wichtige Rolle. Durch die Vernetzung von Fahrzeugen mit ihrer Umgebung und untereinander ergeben sich vielfältige sichere und effiziente Kommunikationsmöglichkeiten. Intelligente Verkehrssteuerungssysteme bilden hier ihre Grundlage. Technologien unterstützen die Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr und schaffen so Möglichkeiten für nachhaltige Mobilität.

2.1 Motivation und Zielsetzung

Einerseits ergibt sich mein Interesse für die Vernetzung moderner Fahrzeugsysteme aus rein wissenschaftlichem Interesse, andererseits beobachte ich die wachsende Prävalenz dieser Technologien in der Praxis. Die Verwendung von vernetzten Technologien verspricht einen immer größeren Beitrag zur Unfallprävention, Verkehrs-

optimierung und Emissionsreduktion zu leisten. Insbesondere die Möglichkeiten der Kommunikation von Fahrzeugen untereinander und mit ihrer umgebenden Infrastruktur sind entscheidend für die Implementierung autonomer Systeme in den existierenden Verkehr. Die Zielsetzung besteht daher darin, die Potenziale und Herausforderungen vernetzter Fahrzeugsysteme systematisch zu analysieren. Der Schwerpunkt wird hauptsächlich darauf gesetzt, die vorhandenen Kommunikationstechnologien zu kritisieren und ihre Interaktion mit intelligenten Infrastruktursystemen zu untersuchen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse aktueller Forschungsarbeiten wird die Praktikabilität des von mir vorgeschlagenen für einen sichereren und nachhaltigeren Verkehrssystems analysierten Themes demonstrieren.

2.2 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit beginnt mit den Grundlagen des IoT und beschäftigt sich mit der Bedeutung von Vernetzung für das autonome Fahren sowie einen Überblick über die relevanten Studien. Im Hauptteil werden die technischen Grundlagen und Einsatzmöglichkeiten von vernetzter Fahrzeugkommunikation, insbesondere V2V und V2I, sowie der Bedeutung von intelligenter Verkehrsinfrastruktur beschrieben. Abschließend erfolgen eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklung des Themas IoT in Bezug auf das autonome Fahren.

3 Relevante Arbeiten

Die Anwendung des Internets der Dinge (IoT) auf autonome Fahrzeuge ist Gegenstand intensiver Forschung, da sie neue Möglichkeiten der Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur eröffnet und so sicheres und effizientes Reisen fördert. Die folgende Arbeit gibt einen Überblick über aktuelle Forschungsergebnisse in diesem Bereich.

Die Studie „**Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles**“ liefert eine umfassende Analyse der Bedeutung des IoT für die Automobilindustrie. Diese Arbeit beschreibt, wie sich IoT-Technologien von einfachen Netzwerken zu vollständig autonomen Systeme

men entwickeln und eine Schlüsselrolle in der Zukunft der Mobilität spielen werden [1].

Ein weiterer wichtiger Beitrag ist die „**Optimized IoT Based Decision Making for Autonomous Vehicles in Intersections**“, die sich mit der Entscheidungsfindung autonomer Fahrzeuge an Verkehrskreuzungen beschäftigt. Die Autoren schlagen ein Optimierungssystem vor, das IoT-basierte Daten nutzt, um einen sicheren und effizienten Betrieb autonomer Fahrzeuge an Kreuzungen zu gewährleisten[2].

Die Arbeit „**Modeling Quality of IoT Experience in Autonomous Vehicles**“ entwickelt ein Modell zur Bewertung der Qualität des IoT-Erlebnisses in autonomen Fahrzeugen. Diese Studie untersucht, wie sich Faktoren wie Netzwerklatenz und Verbindungsstabilität auf das Fahrerlebnis und die Zuverlässigkeit des autonomen Fahrzeug-IoT auswirken[3].

Ein systematischer Überblick über die Rolle der DSRC-Technologie (Dedicated Short-Range Communications) im Kontext von Fahrzeug-zu-Fahrzeug- (V2V) und Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I) wird in der Studie „**DSRC Technology in Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) IoT System for Intelligent Transportation System (ITS): A Review**“ gegeben. Diese Technologie gilt als eine der vielversprechendsten für die Umsetzung von IoT-Anwendungen in der Fahrzeugkommunikation[4].

4 Grundlagen des Internet of Things (IoT) und autonomes Fahren

Das Internet der Dinge (IoT) und selbstfahrende Autos verändern die Art und Weise, wie wir uns fortbewegen, und machen den Transport intelligenter. Autonome Autos wollen selbstständig fahren, ohne die Hilfe von Menschen zu benötigen. In diesem Teil geht es darum, wie IoT und selbstfahrende Autos funktionieren, um ein Auto zu bauen intelligentes Transportsystem.

4.1 Definition und Konzepte des IoT

Unter IoT versteht man eine Menge Dinge, die mit dem Internet verbunden sind. IoT hilft dabei, physische Dinge und Prozesse aus der Ferne zu steuern, zu verwalten und zu betreuen. Abbildung 1 zeigt Beispiele für neue IoT-Anwendungen im Gesundheitswesen, in der Robotik, in intelligenten Städten und in intelligenten Transportsystemen.

Es wird erwartet, dass das IoT Milliarden neuer Geräte online vernetzen wird, was zu Diensten mit unterschiedlichen Anforderungen und hohen Qualitätsstandards führt. Ein Beispiel dafür sind autonome Fahrzeuge (AVs), bei denen es entscheidend ist, Sensordaten schnell und präzise zu verarbeiten, um Kollisionen zu vermeiden. Gleichzeitig stellen IoT-gesteuerte Fahrzeuge, die aus der Ferne kontrolliert werden, hohe Anforderungen an die Verzögerungszeit (Latenz) in der Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M). Solche aufstrebenden IoT-Dienste sind eng mit dem Alltag der Menschen und deren Privatsphäre verknüpft, da die Qualität der M2M-Kommunikation lebensbedrohliche Risiken oder wirtschaftliche Verluste zur Folge haben kann.

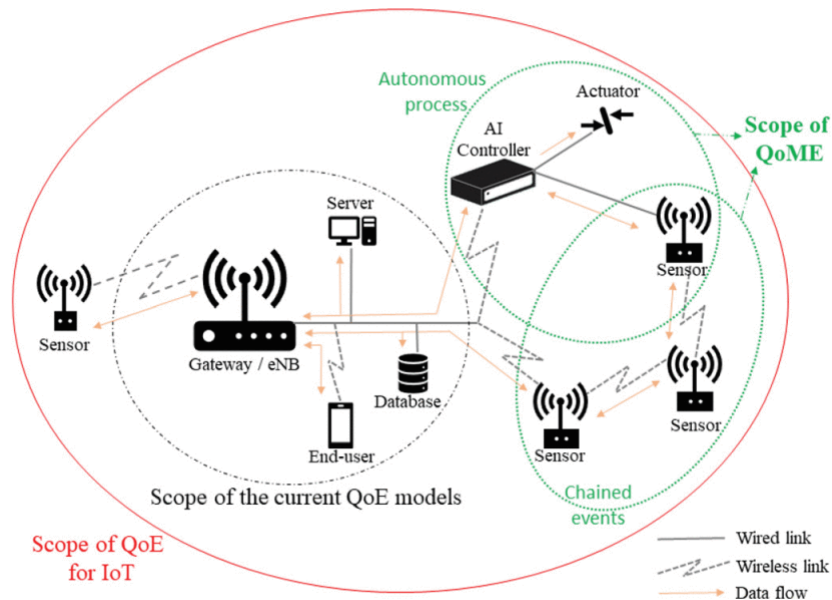


Abbildung 1: Scope of QoE for IoT [5]

4.2 Grundlagen des autonomen Fahrens

Unter autonomem Fahren versteht man die Fähigkeit eines Fahrzeugs, selbstständig und ohne menschliches Eingreifen von Punkt A nach Punkt B zu gelangen. Es gibt verschiedene Stufen des autonomen Fahrens, vom assistierten Fahren bis zum vollautomatisierten Fahren.[6] Fortschritte in den Bereichen Sensorik, künstliche Intelligenz (KI) und Konnektivität treiben die Entwicklung autonomer Fahrzeuge voran. Selbstfahrende Autos nutzen Sensoren wie LiDAR, Kameras und Radar, um ihre Umgebung zu erfassen und Echtzeitentscheidungen zu treffen, die von Algorithmen der künstlichen Intelligenz verarbeitet werden. Dadurch kann das Fahrzeug Hindernissen ausweichen, Abstand halten und auf Ampeln reagieren. Mehrere Unternehmen, darunter Tesla, Google und Nissan, bringen Fahrzeuge mit unterschiedlichen Selbstfahrfähigkeiten auf den Markt.[1]

4.3 Schnittstellen zwischen IoT und autonomem Fahren

Die Verbindungen zwischen dem Internet der Dinge (IoT) und selbstfahrendem Fahrzeug sind von großer Bedeutung für die Entwicklung intelligenter Transportsystem. Durch IoT können Fahrzeuge miteinander (Vernetzte Fahrzeuge zu Vernetztem Fahrzeug/ V2V), mit der Infrastruktur (Vernetztes Auto zur Infrastruktur/V2I) und sogar mit Fußgängern kommunizieren(Vernetztes Auto zu Fußgänger/V2P). Diese Art der Kommunikation wird als “Fahrzeug-zu-alles” (V2X) bezeichnet. Diese Schnittstellen ermöglichen den Echtzeit-Austausch von wichtigen Informationen wie Straßenzustand, Verkehrslage und Position anderer Fahrzeuge. Die Verwendung von Edge und Fog Computing in IoT Netzwerken ermöglicht eine schnelle Datenverarbeitung direkt am Rand des Netzwerks und führt zu verkürzte Wartezeit und verbesserte Reaktionszeiten bei entscheidenden Vorgängen.[2]

5 Vernetzte Fahrzeugkommunikation

Die Kommunikation zwischen vernetzten Fahrzeugen ist entscheidend für autonome Fahrzeuge und intelligente Mobilität. Dank IoT-Technologien können Fahrzeu-

ge untereinander und mit ihrer Umgebung kommunizieren, was die Sicherheit und Effizienz im Straßenverkehr verbessert. Kernaspekte sind die V2V-, V2I- und V2X-Kommunikation. Abbildung 2 zeigt, wie Netzwerke wie WLAN und Ad-hoc-Konnektivität sowie Datenschutz und -sicherheit die Grundlage für ein vernetztes, effizientes und sicheres Verkehrsnetzwerk bilden

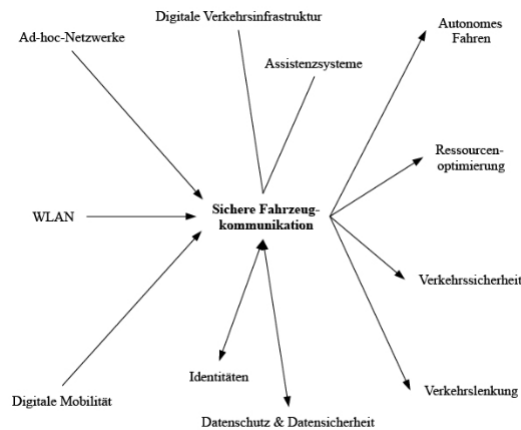


Abbildung 2: Sichere und Vernetzte Fahrzeugkommunikation [7]

5.1 Konzepte und Technologien für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2V)

Die Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (V2V) ermöglicht es Fahrzeugen, direkt Informationen wie Geschwindigkeit und Position auszutauschen. Diese Technologie zielt darauf ab, die Verkehrssicherheit zu erhöhen, indem sie Fahrer vor potenziellen Gefahren warnt, die außerhalb ihres Sichtfelds liegen. Durch ein Mesh-Netzwerk, in dem jedes Fahrzeug als Knotenpunkt fungiert, können Informationen effizient übermittelt und Reaktionszeiten verkürzt werden. Zwei Haupttechnologien stehen im Vordergrund: **DSRC** und **C-V2X** (basierend auf 4G/5G). DSRC bietet geringe Latenz, aber seine Einführung ist durch Infrastrukturkosten und Frequenzprobleme begrenzt. C-V2X nutzt bestehende Mobilfunknetze und verspricht größere Reichweite, aber seine Leistung in Szenarien mit hoher Geschwindigkeit und geringer Latenz ist noch unter Beurteilung. Das Fehlen einheitlicher Standards erschwert die Ent-

wicklung und kann zu Kompatibilitätsproblemen führen. Ein globaler Standard ist entscheidend für Interoperabilität und die volle Nutzung von V2V-Technologien[8].

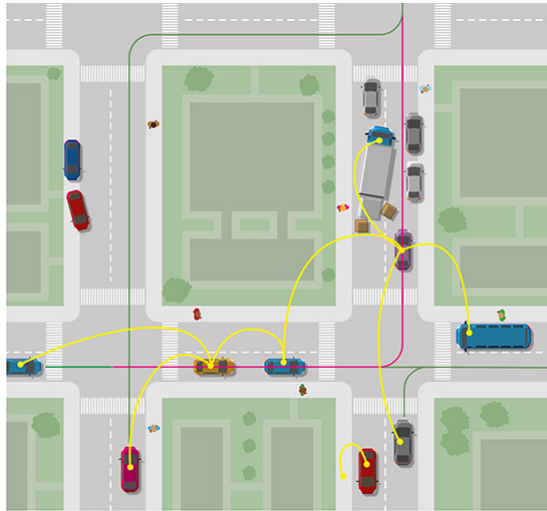


Abbildung 3: V2V-Systeme werden ein Maschennetz bilden und die Reichweite in überlasteten Gebieten erhöhen [8]

5.2 Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikation (V2I)

Das Vehicle-to-Infrastructure (V2I)-Kommunikationssystem ermöglicht es Fahrzeugen, Informationen mit Infrastrukturkomponenten wie Verkehrssignalen, Schildern, Kameras und Straßenlampen auszutauschen. Dieses bidirektionale, drahtlose Kommunikationssystem nutzt DSRC-Frequenzen (dedicated short-range communication) zur Übertragung von Echtzeitdaten. Das V2I-System erfasst Daten über den Straßenzustand, Verkehrsstaus und andere Vorfälle und gibt den Fahrern Hinweise zur Verbesserung des Verkehrsflusses und der Sicherheit. So kann V2I zum Beispiel die Ampelschaltzeiten (SPaT) auf der Grundlage von Verkehrsstaus anpassen, um den Kraftstoffverbrauch zu optimieren und Verspätungen zu verringern.[9]

Das Diagramm veranschaulicht die Architektur eines V2I-Systems und zeigt die Interaktionen zwischen Fahrzeug und Infrastrukturkomponenten. Es umfasst Sicherheitsanwendungen, die Verkehrssignale und straßenseitige Beschilderung überwachen und Informationen an den Fahrer weitergeben. Die Integration von Infrastruktur- und Fahrzeugdatensystemen ermöglicht ein effektives Verkehrsmanagement und erhöht die Verkehrssicherheit.

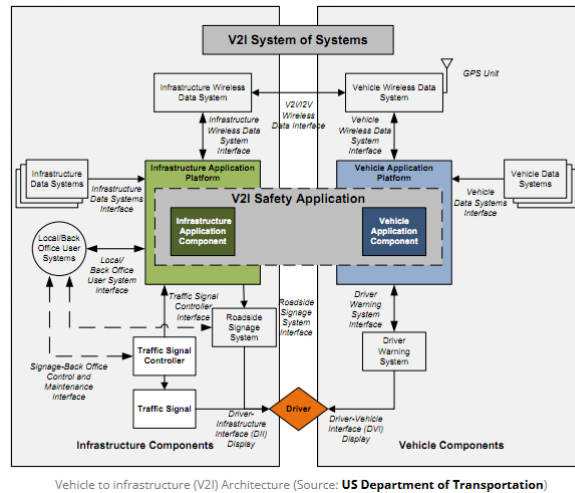


Abbildung 4: V2I-Vehicle to Infrastucture [9]

5.3 Rolle von Fahrzeug-zu-Alles-Kommunikation (V2X) im autonomen Fahren

Die umfassende Fahrzeug-zu-Alles-Kommunikation (V2X) schließt die Kommunikation zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Radfahrern um. V2X-Technologie wird als unverzichtbar für vollständig autonome Fahrzeuge betrachtet, da sie eine kontinuierliche Interaktion mit der Umgebung ermöglicht und dazu beiträgt, Unfälle zu vermeiden und den Verkehr sicherer zu gestalten. Durch den Einsatz von V2X können autonome Fahrzeuge präzise und zeitnah auf Verkehrsänderungen und mögliche Gefahren reagieren. Insbesondere die Integration von V2P (Vehicle-to-Pedestrian) und V2R (Vehicle-to-Roadside) verbessert die Sicherheit von schwächeren Verkehrsteilnehmern, indem sie deren Position und Bewegungen berücksichtigt und entsprechende Warnungen an autonome Fahrzeuge sendet [1][3].

6 Intelligente Infrastruktur und deren Rolle

Der systematische Ausbau moderner Verkehrsnetze bildet das Fundament für zukunftsweisende Mobilitätslösungen und selbstfahrende Transportmittel. Die Verknüpfung digitaler Technologien, besonders vernetzte Sensorsysteme, ermöglicht eine optimale Abstimmung zwischen Fortbewegungsmitteln und der umgebenden Infra-

struktur. Diese Entwicklung führt zu einem verbesserten Verkehrsfluss, gesteigerter Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer und einer deutlichen Entlastung der Umwelt, wodurch ein nachhaltiges und leistungsfähiges Mobilitätssystem der Zukunft entsteht.

6.1 Smart Cities und deren Einfluss auf die Fahrzeugkommunikation

Smart Cities nutzen digitale Technologien, um städtische Infrastrukturen effizienter zu gestalten. Ein zentrales Element dabei ist die Vernetzung von Fahrzeugen mit der städtischen Infrastruktur, bekannt als Vehicle-to-Infrastructure (V2I) Kommunikation. Diese ermöglicht den Austausch von Echtzeitinformationen zwischen Fahrzeugen und Verkehrseinrichtungen wie Ampeln, Verkehrsschildern und Sensoren. Durch V2I können Fahrzeuge beispielsweise Informationen über bevorstehende Ampelphasen erhalten und ihre Geschwindigkeit entsprechend anpassen, was den Verkehrsfluss optimiert und den Kraftstoffverbrauch reduziert. Zudem trägt die Integration von V2I zur Sicherheit bei, indem sie vor potenziellen Gefahren wie Baustellen oder Unfällen warnt.[10]

6.2 Beispiele für intelligente Verkehrsinfrastrukturen

Das kognitive Verkehrsinfrastrukturbeispiel zeigt adaptive Ampelsysteme zur Steuerung des Verkehrsflusses auf der Grundlage von Echtzeitanalysen und Anpassungen der Signalphasen. Stadtverkehrsplanung Die genauen Systeme wurden in Städten wie Barcelona und Amsterdam erfolgreich in der Reduzierung von Staus und der Förderung des Nahverkehrs eingesetzt. Ein weiteres Beispiel daran ist die Anwendung von Sensoren und Kameras zur Beobachtung von Verkehrsverhalten sowie zum Versenden von Informationen in Echtzeit an Verkehrsteilnehmer. Diese Technologien ermöglichen dies ebenfalls durch eine aktiv und vor allem gezieltere Verkehrssteuerung und führen somit zu einer Verringerung von Unfällen.[11]

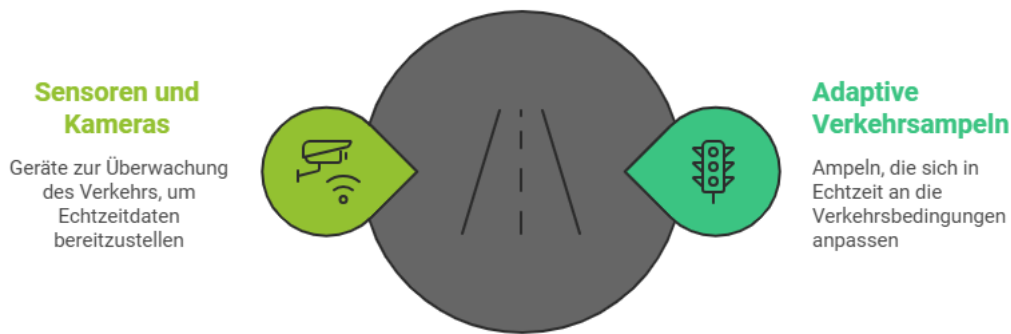


Abbildung 5: Intelligentes Verkehrsmanagement [12]

6.3 Herausforderungen und Anforderungen an die Infrastruktur

Die Integration von intelligenten Verkehrsinfrastrukturen hat verschiedene Implikationen oder Probleme mit sich. Eine herausforderung liegt somit darin die Befügung der Integration der verschiedenen System und IT Technologien für ein störungsfreien Informationsaustausch zu gewährleisten. Sowie gesteuert werden muss, um die privaten Bereiche der Nutzer abzusichern, und um die Integrität der Systeme zu gewährleisten. Die Beschaffung und Pflege solcher Infrastrukturen bilden weitere Schwierigkeiten insbesondere in Bezug auf den dauerhaften und kontinuierlichen Aufbau und die Skalierung. Letztendlich benötigen sie die Kundenakzeptanz und deren effektive Nutzung durch Regierungsbehörden, privaten Unternehmen und die Öffentlichkeit zur erfolgreichen Implementierung [13].

7 Anwendungen und Szenarien der vernetzten Kommunikation im autonomen Fahren

Die vernetzte Kommunikation ist ein zentraler Bestandteil des autonomen Fahrens und ermöglicht vielfältige Anwendungen, die zur Sicherheit, Effizienz und Umweltfreundlichkeit des Verkehrs beitragen.

7.1 Sicherheits- und Unfallvermeidungsanwendungen

Vernetzte Mobilität verändert grundlegend die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und ihrer Umgebung. Durch den Austausch von Positions- und Bewegungsdaten entsteht ein digitales Netzwerk zwischen allen Verkehrsteilnehmern. So weiß ein Auto stets, was andere Fahrzeuge in der Nähe tun. Auf der Autobahn etwa warnt Sie das System vor stark bremsenden Fahrzeugen, noch bevor Sie diese sehen können - wie ein wachsamer Beifahrer. Auch Ampeln und Verkehrsschilder werden Teil dieses Netzes und kündigen etwa Signalwechsel an. Diese Vernetzung steigert nicht nur den Fahrkomfort, sondern erhöht vor allem die Sicherheit. Kritische Situationen lassen sich früh erkennen und entschärfen. Selbst um Ecken herum sehen die Autos, etwa wenn sich auf einer Hauptstraße Fahrzeuge nähern, obwohl Gebäude die Sicht versperren. Bei dichtem Verkehr oder schlechter Sicht hilft diese Technik besonders - sie verleiht Fahrern quasi einen zusätzlichen Sinn fürs Verkehrsgeschehen[14].

7.2 Verkehrseffizienz und Umweltfreundlichkeit

Vernetzte Fahrzeuge tragen zur Optimierung des Verkehrsflusses bei, indem sie Echtzeitdaten über Verkehrsbedingungen austauschen. Dies ermöglicht die dynamische Anpassung von Routen, um Staus zu vermeiden und die Fahrzeit zu verkürzen. Zudem können Fahrzeuge Informationen über Ampelphasen erhalten und ihre Geschwindigkeit entsprechend anpassen, was den Kraftstoffverbrauch reduziert und die Emissionen verringert. Solche kooperativen Systeme fördern eine umweltfreundlichere und effizientere Mobilität[15].

7.3 Echtzeit-Datenanalyse und Entscheidungsfindung

Große Datenerfassung und intelligente Verarbeitung sind bei Autonomen Fahrzeugen erforderlich, um robust und effizient zu sein. Diese Fahrzeuge analysieren mit dank KI und maschinellem Lernen ihre Umgebung, erkennen Verkehrsmuster und reagieren darauf. Sie erstellen dann detaillierte Karten ihrer Umgebung und erkennen vorzeitig Gefahren. Sie verbessern ihren Entscheidungsprozess durch kontinuierliches Lernen und Simulieren und adaptieren sich an die neuen Verkehrssituationen,

was dazu beiträgt Lebensgefahr zu verringern, Verkehrsträgheit zu verbessern, die Kraftstoffeinsparung zuzulassen und damit die Verkehrswendigkeit auf eine umweltfreundlichere und effiziente Art und Weise zu bewegen[16].

8 Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen

Die fortschreitende Vernetzung im Verkehrswesen bringt sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit sich. Im Folgenden werden zentrale Aspekte beleuchtet, die für die zukünftige Entwicklung von Bedeutung sind.

8.1 Datenschutz und Sicherheit im vernetzten Verkehr

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von Fahrzeugen resultieren zu einem erheblichen Aufkommen und Verarbeiten personenbezogener Daten. Das betrifft also nicht nur technische Fahrzeugdaten, sondern auch Daten über das Fahrverhalten und die Bewegungsmuster der Nutzer. Um den Schutz dieser Daten zu gewährleisten, hat der Europäische Datenschutzausschuss Leitlinien zur Verarbeitung personenbezogener Daten im Zusammenhang mit vernetzten Fahrzeugen und mobilitätsbezogenen Anwendungen veröffentlicht. Diese betonen die Notwendigkeit transparenter Datenverarbeitungsprozesse und die Einhaltung der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO)[17].

Ein weiteres Anliegen ist die IT-Sicherheit vernetzter Fahrzeuge. Die Digitalisierung erhöht die Angriffsfläche für Cyberattacken, die sowohl die Sicherheit der Insassen als auch die Funktionalität der Fahrzeuge beeinträchtigen können. Das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) hat daher Maßnahmen zur Stärkung der IT-Sicherheit und des Datenschutzes im Rahmen der Strategie für automatisiertes und vernetztes Fahren implementiert[14].

8.2 Technologische Herausforderungen

Die Integration von KI, Sensorik und Kommunikationstechnologien stellt hohe Anforderungen an die Entwicklung und Umsetzung vernetzter Verkehrssysteme. Eine besondere Herausforderung ist die Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen und Herstellern. Die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur muss dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, damit der Informationsaustausch reibungslos funktioniert.

Darüber hinaus weist das Umweltbundesamt in seiner Broschüre darauf hin, dass die technologische und infrastrukturelle Basis für digitale Verkehrstechnologien dringend benötigt wird. So ist der Zugang zu leistungsfähigen Mobilfunknetzen allgegenwärtig und Sensoren können sowohl an Straßen als auch an Fahrzeugen installiert werden. Um den Verkehrsfluss zu optimieren und Emissionen zu reduzieren, müssen Echtzeitinformationen effizient verarbeitet und genutzt werden.

Wir schaffen diese Grundlagen, um die Integration von KI und anderen digitalen Technologien im Verkehrssektor voranzutreiben. Dies ermöglicht nicht nur eine effizientere Nutzung der bestehenden Infrastruktur, sondern schafft auch neue und sicherere Mobilitätslösungen[18].

8.3 Zukünftige Trends und Innovationen

Kontinuierliche Innovation wird die Zukunft des vernetzten Verkehrs prägen. Dazu gehören die Weiterentwicklung von autonomen Fahrsystemen, die Einführung von 5G für eine schnellere und zuverlässigere Kommunikation und die Umsetzung von Smart-City-Konzepten, die ein intelligentes Verkehrsmanagement beinhalten. Innovation und gesellschaftlicher Dialog werden einerseits als wichtig erachtet, um diese Entwicklungen erfolgreich umzusetzen, während seitens des BMDV die Automatisierung und Vernetzung des Straßenverkehrs erforscht werden sollte[19]

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass vernetzte Verkehrssysteme von Datenschutz, Informationssicherheit, technologischen Standards und Innovation leben. Alle Akteure haben das Potenzial, den vernetzten Verkehr nur durch Kooperation voll auszuschöpfen.

9 Zusammenfassung und Fazit

Das Zeitalter der Mobilität, das durch die Vernetzung und Automatisierung des Verkehrs eingeleitet wurde, ist seither von Sicherheit, Effizienz und Entwicklung geprägt. Das Projekt hat sich intensiv mit verschiedenen, sich nicht gegenseitig ausschließenden Aspekten des autonomen Fahrens und der vernetzten Kommunikation befasst, von den Grundlagen bis hin zu spezifischen Anwendungen und Herausforderungen.

Moderne Verkehrssysteme basieren auf der Kommunikation von Fahrzeug zu Fahrzeug (V2V), von Fahrzeug zu Infrastruktur (V2I) und von Fahrzeug zu Fahrzeug (V2X). V2V ermöglicht den direkten Datenaustausch zwischen Fahrzeugen, um Unfälle zu vermeiden und den Verkehrsfluss zu optimieren. Diese Kommunikation wird auf die Interaktion mit der Infrastruktur ausgeweitet, d. h. Ampeln, Verkehrssensoren usw., was in intelligenten Städten von großer Bedeutung ist. Wir kommen auch zu dem Schluss, dass die umfassendere V2X-Kommunikation alle Verkehrsteilnehmer integriert und einen wichtigen Beitrag zu Sicherheit und Effizienz leistet.

Intelligente Infrastrukturen, die die Grundlage für vernetzte Mobilitätslösungen bilden, waren ein zentrales Thema. Adaptive Ampelsysteme und Verkehrsüberwachungssysteme tragen unter anderem dazu bei, den Verkehrsfluss in intelligenten Städten zu optimieren. Solche Technologien erfordern jedoch ein hohes Maß an Interoperabilität, strenge Standards und erhebliche Investitionen in die Infrastruktur.

Wie die oben genannten Anwendungen zeigen, haben diese Technologien ein Potenzial für vernetzte Kommunikation. Neben der Aufrechterhaltung der Verkehrssicherheit durch Unfallvermeidungssysteme maximieren geeignete Routenplanungs- und Verkehrsmanagementsysteme die Effizienz des Warenflusses und schützen die Umwelt. Zuverlässige autonome Systeme werden durch Echtzeit-Datenanalyse und KI-gesteuerte Entscheidungsfindung erreicht.

Der Fortschritt ist langsam, aber die Herausforderungen bleiben. Die Vernetzung schafft neue Angriffsflächen und ist daher ein wichtiger Faktor für Datenschutz und IT-Sicherheit. Die wichtigsten technologischen Hürden, die es zu überwinden gilt, sind die Festlegung globaler Standards und die Integration verschiedener Systeme.

Gleichzeitig gehören zu den vielversprechenden Zukunftstrends die Nutzung von 5G-Netzen sowie fortschrittliche Sensortechnologien und die verstärkte Integration autonomer Fahrzeuge in Smart Cities.

Fazit: Um einen vernetzten und autonomen Verkehr zu erreichen, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Politik, Industrie und Forschung notwendig. Nur durch die Entwicklung einheitlicher Standards, Datenschutz und kontinuierliche Innovation kann das Potenzial dieser Technologien ausgeschöpft werden. Intelligente, sichere und nachhaltige Mobilitätslösungen sind die Zukunft des Verkehrs, und wie es aussieht, können sie mit vereinten Kräften erreicht werden.

10 Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] Xhelal Krasniqi und Edmond Hajrizi. „Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles“. In: *IFAC-PapersOnLine* 49.29 (2016), S. 269–274. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.11.078. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316325162>.
- [2] *Optimized IoT Based Decision Making For Autonomous Vehicles In Intersections — IEEE Conference Publication — IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8992978>. (Accessed on 10/31/2024).
- [3] *Modeling Quality of IoT Experience in Autonomous Vehicles — IEEE Journals & Magazine — IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9005248>. (Accessed on 10/31/2024).
- [4] *DSRC Technology in Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) IoT System for Intelligent Transportation System (ITS): A Review — SpringerLink*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-33-4597-3_10. (Accessed on 10/31/2024).

- [5] *Modeling Quality of IoT Experience in Autonomous Vehicles — IEEE Journals & Magazine — IEEE Xplore*. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9005248/figures#figures>. (Accessed on 10/31/2024).
- [6] *Wie funktioniert autonomes Fahren?* <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/autonomes-fahren/grundlagen/auto-automatisiert-funktion/>. (Accessed on 11/07/2024).
- [7] *Sichere Fahrzeugkommunikation — Kompetenzzentrum Öffentliche IT (ÖFIT)*. <https://www.oeffentliche-it.de/-/sichere-fahrzeugkommunikation>. (Accessed on 11/07/2024).
- [8] *Understanding Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication — The Automotive Trend Guid — Avnet Abacus*. https://my.avnet.com/abacus/solutions/markets/automotive-and-transportation/automotive/communications-and-connectivity/v2v-communication!/ut/p/z1/pdLRTToMwFABgp-FSeqCUgXddhwUEt7qxYW8MGGQkjC4MJb69RKfJlkmW2Ls239_m_CmSKEWyyd6rMusq1WT1sH-S9jN3SWAwBrFjcrPEgky4ExsYEOI2X8AHZhvUgQdYxgbQaSzYyptFc2oj-a-8dV0e_lgUrsuPAD1-_QbJ0ydgTjAIIf2XhqewGYTA5B_zR8EAEa8F8Rs1lCEfw2wFnPhk6mDl3a9sFYuBzcKHQEjg4ZiIrxKv_8EbXLslEi2xWvRFq3-1g7H267bH2410KDve71UqqwL_UXtNLgU2apDh9JTifa7JEL8Joop0_A!!/#. (Accessed on 11/07/2024).
- [9] *What is Vehicle to Infrastructure V2I Technology?* <https://blog.rgbsi.com/what-is-v2i-technology>. (Accessed on 11/07/2024).
- [10] *Intelligente Straßeninfrastruktur – Intel*. <https://www.intel.de/content/www/de/de/transportation/smart-road-infrastructure.html>. (Accessed on 11/16/2024).
- [11] *Revolutionierung des Transits: Europas beste intelligente Mobilitätslösungen*. <https://ee-ip.org/de/article/revolutionierung-des-transits-europas-beste-intelligente-mobilitaetsloesungen-7223>. (Accessed on 11/16/2024).
- [12] *- Napkin AI*. <https://app.napkin.ai/page/CgoiCHByb2Qtb25lEiwKBFbH2ZUaJDAwODQONDEyI>. (Accessed on 11/16/2024).

- [13] *Intelligente Verkehrssysteme (IVS)*. https://www.bmk.gv.at/themen/mobilitaet/alternative_verkehrskonzepte/telematik_ivs.html. (Accessed on 11/16/2024).
- [14] *BMDV - Automatisiertes und vernetztes Fahren im Überblick*. <https://bmdv.bund.de/DE/Themen/Digitales/Automatisiertes-und-ernetztes-Fahren/Automatisiertes-und-ernetztes-Fahren/automatisiertes-und-ernetztes-fahren.html>. (Accessed on 11/16/2024).
- [15] *Autonomes Fahren - Fraunhofer IKS*. <https://www.iks.fraunhofer.de/de/themen/autonomes-fahren.html>. (Accessed on 11/16/2024).
- [16] *Experteninterview zu KI und Autonomes Fahren: "Mut ist der Treibstoff für Innovationen eMove360: Portal for Mobility 4.0"*. <https://www.emove360.com/de/experteninterview-zu-ki-und-autonomes-fahren-mut-ist-der-treibstoff-fuer-innovationen/>. (Accessed on 11/16/2024).
- [17] *edpb_guidelines_202001_connected_vehicles_v2.0_adopted_de.pdf*. https://www.edpb.europa.eu/system/files/2021-08/edpb_guidelines_202001_connected_vehicles_v2.0_adopted_de.pdf. (Accessed on 11/16/2024).
- [18] *Digitalisierung und Automatisierung im Verkehr. Ein regulativer Rahmen für eine nachhaltige Entwicklung*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2023-07-07_broschuere_digitalisierung-im-verkehr.pdf. (Accessed on 11/16/2024).
- [19] *forschungsprogramm-avf.pdf*. https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/Digitales/forschungsprogramm-avf.pdf?__blob=publicationFile. (Accessed on 11/16/2024).

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

1	Scope of QoE for IoT [5]	7
2	Sichere und Vernetzte Fahrzeugkommunikation [7]	9
3	V2V-Systeme werden ein Maschennetz bilden und die Reichweite in überlasteten Gebieten erhöhen [8]	10
4	V2I-Vehicle to Infrastructure [9]	11
5	Intelligentes Verkehrsmanagement [12]	13