Jugend forscht
Regionalwettbewerb 2017

V2V Communication:
Gehört vernetzten Autos die Zukunft?

von Valentin Hohnhorst

Inhalt

1. Kurzfassung 2
2. Einleitung 3
3. Versuchsaufbau und -durchführung 4
3.1. Modellfahrzeuge 4
3.2. Streckennetz 7
3.3. Datenaustausch zwischen den Autos 8
4. Ergebnisse 9
4.1. Szenario „Rechts vor Links“ 9
4.1.1. „Rechts vor Links“ ohne V2V 9
4.1.2. „Rechts vor Links“ mit V2V 11
4.2. Szenario „Gegenverkehr“ 11
4.2.1. „Gegenverkehr“ ohne V2V 11
4.2.2. „Gegenverkehr“ mit V2V 13
4.3. Szenario „Kreuzung mit drei Autos“ 13
4.4. Szenario „Kolonnenfahrt“ 14
4.5. Szenario „Routenfindung“ 15
4.5.1. Szenario „Statische Routenfindung“ (ohne V2V) 15
4.5.2. Szenario „Dynamische Routenfindung“ (mit V2V) 16
5. Zusammenfassung der Ergebnisse 17
6. Danksagung 18
7. Quellen- und Literaturverzeichnis 18

1. Kurzfassung

„V2V Communication“ bezeichnet eine Technik, bei der mehrere Fahrzeuge Daten zu ihrer eigenen Fahrt senden und die entsprechenden Daten anderer Verkehrsteilnehmer empfangen, um damit ihre weitere Route zu berechnen.

Durch meine Experimente mit V2V Modellautos konnte ich zeigen, dass V2V Communication signifikante Vorteile mit sich bringt. Zum Beispiel verringert sich die Wartezeit an Kreuzungen, Ampeln können entfallen, stauträchtige Strecken werden vermieden und Unfallrisiken sinken.

Insgesamt zeigt das Projekt anhand der Simulation mit 2 bzw. 3 Autos und verschiedenen Szenarien, dass die Verkehrsleistung durch V2V Communication um bis zu 57% gesteigert werden kann. Damit erreichen V2V gesteuerte Fahrzeuge in einer vorgegebenen Zeit 57% mehr Zielpunkte als Autos ohne diese Technik.

Die Forschungsergebnisse verdeutlichen, dass V2V Communication unter ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten eine Schlüsseltechnik für den optimierten Verkehr von morgen ist.

2. Einleitung

Die Automobilindustrie steht vor einem radikalen Umbruch. Während früher an immer schnelleren und effizienteren Fahrzeugen geforscht wurde, sind die heutigen Zukunftsthemen der Automobilindustrie andere. Laut der Unternehmensberatung AlixPartners[1] lassen sich diese in vier Bereiche einteilen, welche mit dem Akronym C.A.S.E. abgekürzt werden: Connectivity, autonomes Fahren, (Car) Sharing und Elektrifizierung. Auch in der Studie „KPMG's Global Automotive Executive Survey 2017"[2] werden diese Bereiche als wichtige Zukunftsthemen identifiziert.

Während es bereits heute Elektroautos gibt, die mehrere 100 Kilometer fahren und man sich bei verschiedenen Car Sharing Anbietern Autos leihen kann, sind selbstfahrende Autos bis jetzt noch kein Teil unseres Alltags. Dennoch sind bereits heute viele Autos mit Assistenzsystemen ausgestattet, und sie sind teilweise sogar in der Lage, eigenständig einzuparken.

In meinem Projekt möchte ich mich auf den Bereich Connectivity konzentrieren. Vernetzung und ein schneller Datenaustausch bieten unterschiedlichste Möglichkeiten, die es erlauben, unseren Alltag sicherer und komfortabler zu gestalten. Bis jetzt jedoch sind Autos nicht miteinander vernetzt und tauschen sich nicht über Fahrziele oder mögliche Gefahren auf der Strecke aus. Es gibt zwar bereits heute Systeme, die eine einfache Integration von Smartphones in Autos ermöglichen (interne Vernetzung), doch ein Datenaustausch zwischen Auto A und Auto B liegt noch in weiter Ferne (externe Vernetzung). Dieser Teil der Connectivity wird auch als V2X Communication im Allgemeinen und als V2V Communication im Besonderen bezeichnet. V2X steht für „Vehicle to Everything". Der zentrale Teil von V2X ist V2V, „Vehicle to Vehicle". Bei der V2V Communication handelt es sich also um die „Auto zu Auto Kommunikation".

Auf diese möchte ich in dieser Arbeit mein Hauptaugenmerk legen. Ich ging von der Hypothese aus, dass durch einen gezielten Einsatz von V2V Communication die allgemeine Verkehrsleistung stark gesteigert werden kann. Hierzu plante ich, folgende Schlüsselfragen zu behandeln:

- Kann durch V2V Communication die Verkehrsleistung gesteigert werden, so dass mehr Autos schneller ihre Ziele erreichen?
- Lassen sich Staus und Unfälle vermeiden und gehören Ampeln und Einbahnstraßen schon bald der Vergangenheit an?
- Welche sonstigen Möglichkeiten entstehen durch eine konsequente Vernetzung von Autos?
- Welche Daten müssen zwischen den Fahrzeugen ausgetauscht werden, um die Vorteile effektiv zu nutzen?

Um Antworten auf diese Fragen zu finden, überlegte ich mir, ein Streckennetz und mehrere „miteinander redende" Fahrzeuge als Modell zu konstruieren. Durch den Vergleich von verschieden Messergebnissen erhoffte ich, Erkenntnisse über die tatsächlichen Vorteile einer Vernetzung von Fahrzeugen zu erlangen.

---

[1] Quelle: AlixPartners, LLP: A Complex Road Map to the Car of the Future, http://legacy.alixpartners.com/en/Publications/AllArticles/tabid/635/articleType/ArticleView/articleId/1771/A-Complex-Road-Map-to-the-Car-of-the-Future.aspx#sthash.oPUDU6KP.dpbs, Aufgerufen am 04.01.2017

[2] Quelle: KPMG International Cooperative: KPMG's Global Automotive Executive Survey 2017, https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/01/global-automotive-executive-survey-2017.pdf, Aufgerufen am 08.01.2017

3. Versuchsaufbau und -durchführung

Da ich für mein Projekt keine echten Fahrzeuge miteinander vernetzen und auf richtigen Straßen testen konnte, musste ich eine Alternative finden, um Ergebnisse zu erzielen. Ich konstruierte ein Streckennetz und baute Modellfahrzeuge, die in der Lage sind, miteinander zu kommunizieren.

3.1. Modellfahrzeuge

Das Modellfahrzeug, das ich für meine Versuche brauchte, sollte unterschiedliche Anforderungen erfüllen. Allein schon vom Thema her war es notwendig, dass es sowohl Daten senden als auch empfangen muss. Auch wollte ich ein Auto bauen, das in der Lage ist autonom zu fahren, da es zum einen schwierig ist, mehrere Autos gleichzeitig von Hand zu steuern. Zum anderen ist eine mögliche Vernetzung von Autos auch in der Realität stark mit autonom fahrenden Autos verknüpft.

Idealerweise bedeutet V2V für ein Auto, dass ein Computer aus empfangenen Daten von mehreren anderen Autos eine Entscheidung berechnet. Diese kann zum Beispiel sein: Halte an der nächsten Kreuzung an, da andere Autos die Kreuzung nutzen. Fahre danach geradeaus, da die kürzere Route mit Rechtsabbiegung an der Kreuzung durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen deutlich länger dauern würde als die Alternativroute.

Solche Entscheidungen müssen durch das Auto umgesetzt werden, entweder durch den menschlichen Fahrer oder autonom durch die Steuerungselektronik des Fahrzeugs. Letzteres beansprucht den Fahrer nicht und konfrontiert ihn nicht mit sich schnell ändernden Anweisungen.

Das Modellfahrzeug, das ich baute, ist somit selbstfahrend und mit Sender und Empfänger für die V2V Communication ausgestattet. Ich habe drei identische Autos konstruiert und mit der für die V2V Communication notwendigen Technik ausgestattet.

Da ich aus meinen ehemaligen Jugend forscht Arbeiten bereits Erfahrungen in Bezug auf den Bau von technischen Modellen und den oftmals auftretenden Problemen z.B. durch Verschleißteile hatte, war mir wichtig, dass die Modellfahrzeuge robust gebaut sind und sich etwaige Verschleißteile gut auswechseln lassen.

Die Modellfahrzeuge dienen sowohl zur Simulation von V2V Communication als auch zur Messung von Daten. Die Konstruktion folgt einer Sandwichbauweise, das bedeutet, dass das Auto aus mehreren Ebenen besteht. Der Unterbau des Fahrzeugs basiert auf dem PICAXE-20X2 Microbot, welcher als Bausatz verfügbar ist.

Die obere Platine ist selbst entwickelt und erweitert die Funktionen des Microbots. Sie trägt die Bauteile für die V2V Communication, einen Infrarotsender und -empfänger. Die Verwendung des Microbots als Unterbau für das Fahrzeug erschien vorteilhaft, da dieser bereits mit vielen benötigten Funktionen ausgestattet ist und sich mit Basic leicht und verständlich programmieren lässt.

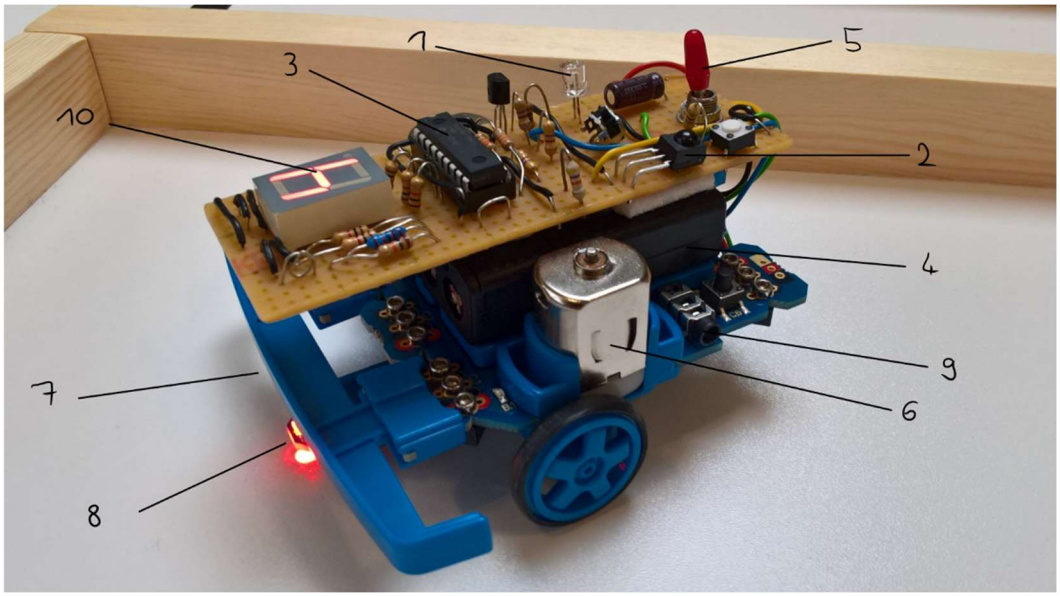

Abbildung 1: Simulationsfahrzeug

Die wichtigsten Bauteile des Simulationsfahrzeugs sind in Abbildung 1 markiert und werden im Folgenden erklärt.

1. **Infrarotsender**
   Als Sender wurde eine Infrarot LED vom Typ HE3-290AC[3] verwendet. Diese zeichnet sich insbesondere durch ihren hohen Abstrahlwinkel von 90 Grad aus. So können die Signale gut von den anderen Autos empfangen werden. Die ausgehenden Signale des Mikrocontrollers besitzen nur eine geringe Stromstärke. Daher werden sie unter Einsatz eines Transistors verstärkt.
2. **Infrarotempfänger**
   Der Infrarotempfänger ist vom Typ TSOP 4838[4]. Dieser erwies sich als vorteilhaft, da er mit einem integrierten Vorverstärker ausgestattet ist. Der Infrarotempfänger bildet zusammen mit dem Infrarotsender das Herzstück der V2V Communication. Bevor ich die beiden Bauteile auf die Platine aufgelötet habe, testete ich verschiedene Alternativen und Schaltpläne.
3. **Mikrocontroller**
   Im Fahrzeug sind zwei Mikrocontroller verbaut, die unterschiedliche Aufgaben haben. Im Unterbau des Fahrzeugs sitzt ein Mikrocontroller vom Typ Picaxe 20X2, der für die Steuerung des Autos verantwortlich ist und alle relevanten Streckeninformationen enthält. Dieser Mikrocontroller ist auch für die Verarbeitung und Auswertung der von den verschiedenen Sensoren eingehenden Daten verantwortlich.
   Auf der oberen Platine ist gut sichtbar ein weiterer Mikrocontroller (Bauteil 3) montiert. Dieser ist vom Typ Picaxe 18M2+ und steuert die 7-Segment Anzeige (Bauteil 10). Die beiden Mikrocontroller sind miteinander verbunden, was sehr wichtig für eine korrekte Funktionsweise der 7-Segment Anzeige ist. Erkennt der lichtempfindliche Widerstand (LDR, Bauteil 8) eine Veränderung, so wird diese unter bestimmten Umständen in Form eines Impulses von einem zum anderen Mikrocontroller weitergeleitet, so dass daraufhin die Ziffer auf der 7-Segment Anzeige verändert wird.

[3] Produktspezifikationen siehe Datenblatt: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/175000-199999/181713-da-01-en-IR_LED_5MM_HE3_290AC.pdf, Aufgerufen am 04.01.2017
[4] Produktspezifikationen siehe Datenblatt: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/150000-174999/171115-da-01-en-IR_EMPFAENGER_MODUL_TSOP_4838__VIS.pdf, Aufgerufen am 04.01.2017

4. **Batteriefach**
   Das Auto wird über drei 1,5 Volt Batterien mit Strom versorgt. Das Batteriefach bildet die mittlere Ebene in der Sandwichbauweise.
5. **Zentraler Ein-/Aus-Schalter**
   Zwar ist auf dem Unterbau des Fahrzeugs bereits ein Ein-/Aus-Schalter montiert gewesen, doch dieser machte nicht den Eindruck, dass er auch nach längerer Benutzung noch problemlos funktionieren würde. Es handelt sich um ein sogenanntes SMD, Surface Mounted Device, ein oberflächenmontierbares Bauteil. Daher entschloss ich mich den Schalter zu überbrücken und auf der oberen Platine einen robusteren Schalter anzubringen. Dieser dient als zentraler Ein-/Aus-Schalter für das gesamte Fahrzeug.
6. **Motoren**
   Der Microbot fährt mit Hilfe von zwei Motoren. Diese treiben jeweils eines der beiden Reifen an und lassen sich einzeln vom Mikrocontroller ansteuern.
   Zwischenzeitlich hatte ich mehrere Probleme mit den Motoren, da die Umdrehungsanzahl beider Reifen teilweise leicht unterschiedlich war. Das führte dazu, dass das Auto leicht nach links oder rechts fuhr anstelle geradeaus zu fahren. Zur Lösung dieses Problem erwog ich die Nutzung von Schrittmotoren. Doch dazu wäre ein vollkommener Umbau des Fahrzeugs notwendig gewesen. Daher entschloss ich mich, das Problem durch den Einbau einer Richtungskorrektur im Basic-Programm zu lösen.
7. **Stoßstange**
   Die Stoßstange ist ein Sensor, der das Auto im Zusammenspiel mit weiteren Bauteilen selbstfahrend macht. Die Stoßstange verfügt auf beiden Seiten über druckempfindliche Sensoren, die erkennen, ob das Fahrzeug gegen ein Hindernis fährt. Durch Auswertung dieser Daten lässt sich die Fahrtrichtung des Autos korrigieren.
8. **Linienverfolger**
   Der Microbot ist bereits mit mehreren Sensoren ausgestattet, die ich brauchte, um das Fahrzeug selbstfahrend zu machen. Mit Hilfe des integrierten Linienverfolgers ist es möglich, hellere und dunklere Stellen auf der Fahrbahn zu unterscheiden. Das Bauteil besteht aus einer LED und einem LDR, einem lichtempfindlichen Widerstand. Wie ich den Linienverfolger für die Streckenführung verwendete, beschreibe ich später.
9. **Mikrocontrollerschnittstelle**
   Das Fahrzeug ist mit zwei Mikrocontrollern ausgestattet. Um diese zu programmieren, muss eine Verbindung zu einem Computer hergestellt werden. Dies ist mit Hilfe eines Kabels möglich. Der Anschluss dient nur zur Übertragung von Programmen auf den im Unterbau angebrachten Mikrocontroller. Für den oberen Mikrocontroller habe ich auf der Platine Anschlusspunkte eingelötet.
10. **7-Segment Anzeige**
    Diese Anzeige symbolisiert auf welchem Streckenabschnitt sich das Fahrzeug aktuell befindet. Die genaue Funktion der 7-Segment Anzeige wird unter Abschnitt 3.2, Streckennetz, erklärt.

3.2. Streckennetz

Zusätzlich zu den Modellfahrzeugen brauchte ich ein Streckennetz, auf dem die Fahrzeuge fahren können. Hierbei war es wichtig, dass möglichst viele Strecken und Szenarien auf dem Streckennetz durchführbar sind.

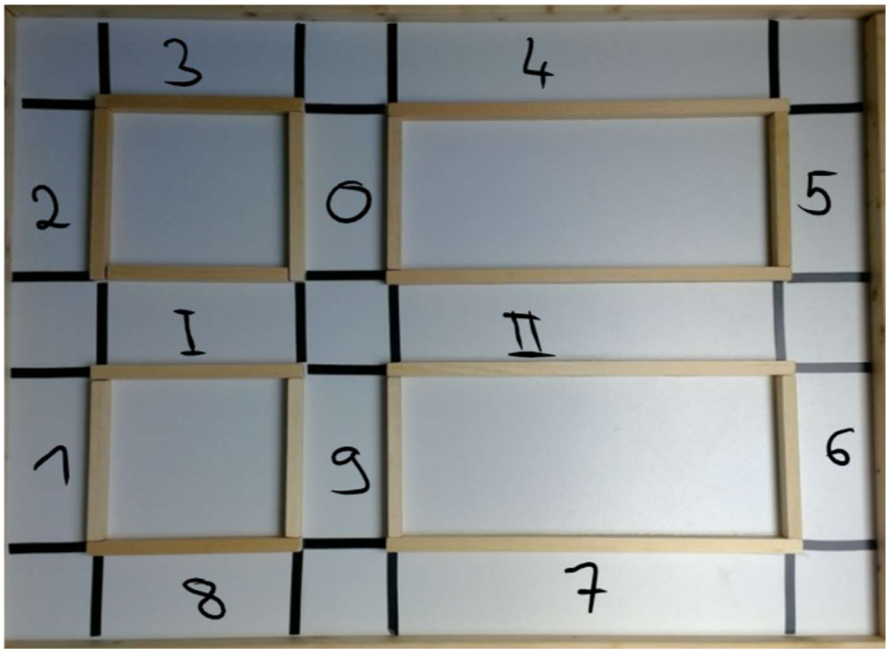

Abbildung 2: Streckennetz

Das oben abgebildete Streckennetz unterteilt sich in 12 Streckenabschnitte. Jedem dieser Abschnitte ist eine Zahl zugeordnet. Jedes Auto ist so programmiert, dass es über die 7-Segment-Anzeige signalisiert, auf welchem Streckenabschnitt es gerade steht. Da die 7-Segment Anzeige jedoch nur die Zahlen von 0 bis 9 anzeigen kann, verwendete ich für die verbleibenden beiden Streckenabschnitte Symbole für die römischen Ziffern I und II.

Wie zu erkennen ist, verfügt das Streckennetz über mehrere Kreuzungen, so dass verschiedenste Routen möglich sind.

Die Streckenabschnitte sind zwar breiter als das Modellfahrzeug, lassen aber trotzdem keinen Gegenverkehr oder Überholvorgänge zu. Sie sind an allen Seiten durch Banden eingefasst, die verhindern, dass das Auto die Strecke verlassen kann. Des Weiteren machen die Banden auch Korrekturen des Fahrkurses möglich. Falls ein Auto zum Beispiel zu weit nach links fährt und gegen die Bande stößt, registrieren die Sensoren in der Stoßstange dies und lösen eine Kurskorrektur aus, die ich programmiert habe.

Jeweils zu Beginn und am Ende eines jeden Streckenabschnitts sind schwarze Streifen angebracht. Durch diese weiß das Fahrzeug, wo Kreuzungen sind und wo Kurven gefahren werden sollen. Das Basic Programm liest während der gesamten Fahrt die Fahrbahnhelligkeit aus und kann dadurch jeden Strich erkennen. Die überfahrenen Striche werden gezählt und je nach Anzahl wird eine Aktion ausgelöst. Nach einer bestimmten Strichanzahl muss das Auto eine Kurve fahren oder die 7-Segment Anzeige erhöhen. In der folgenden Abbildung 3 ist eine Beispielroute abgebildet, um die genauen Vorgänge zu erläutern.

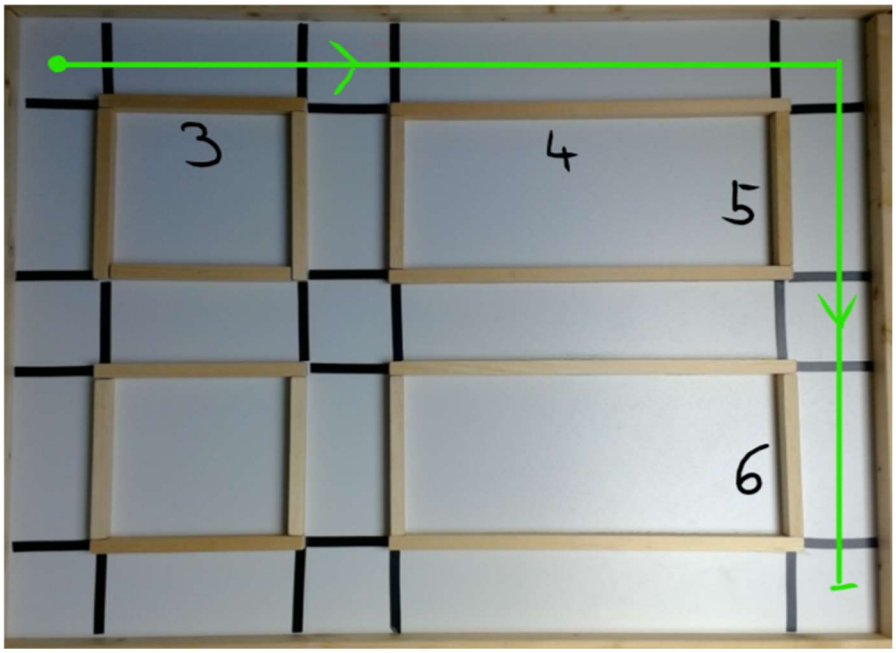

Abbildung 3: Beispielroute

Die Fahrt startet für das Auto in der linken oberen Ecke des Streckennetzes und endet in der rechten unteren Ecke. Zu Beginn der Fahrt zeigt das Fahrzeug die Zahl 3 auf der 7-Segment Anzeige an, um zu verdeutlichen, dass es aktuell auf bzw. kurz vor dem dritten Streckenabschnitt steht.

Bei Betätigung des Startknopfes fährt das Fahrzeug los und zählt die Fahrbahnmarkierungen, die schwarzen Linien, mit Hilfe des Linienverfolgers. Über das auf dem Mikrocontroller hinterlegten Programm weiß das Auto, dass es nach der dritten Fahrbahnmarkierung die 7-Segment Anzeige auf 4 erhöhen muss. Bei Überfahren der vierten Fahrbahnmarkierung leitet das Auto die Kurvenfahrt ein und erhöht die Anzeige auf 5. Die Kurvenfahrt ist so programmiert, dass der rechte Motor anhält während der linke Motor weiterläuft.

Nach weiteren vier Fahrbahnmarkierungen und erneutem Erhöhen der Anzeige erst auf 5 und dann auf 6 erreicht das Fahrzeug sein Streckenziel und hält an. Während der gesamten Fahrt kontrollieren die Sensoren des Fahrzeugs, ob es die rechte oder linke Fahrbahnbegrenzung berührt. In einem solchen Fall sorgt das Programm für eine Richtungskorrektur.

3.3. Datenaustausch zwischen den Autos

Da der Datenaustausch bei der V2V Communication eine große Rolle spielt und möglichst schnell von statten gehen soll, beschäftigte ich mich lange damit, die richtige Methode zu finden. In der Realität würde V2V Communication über das Internet laufen. Eine Vielzahl an Daten muss in Echtzeit auf Server hoch- und gleichzeitig von anderen Fahrzeugen wieder heruntergeladen werden. Somit würde das Auto bei einer V2V Communication zu einem Internet of Things (IoT) Gerät werden.

Anders als in der Realität bieten sich in der modellhaften Umsetzung nicht nur Möglichkeiten an, die auf dem Internet basieren, sondern zum Beispiel Übertragungen per Infrarot, Ultraschall oder Funk. Ich habe die Kommunikation über Infrarotsignale gewählt, da sie sich in Tests als gut funktionierend erwiesen.

In der Realität wäre es sinnvoll, dass jedes Auto Informationen zu seinem aktuellen Standort, zu seiner geplanten Route und zu seinem geplanten Fahrziel sendet. Meine Modellfahrzeuge reduzieren die Informationsmenge auf Signale zum aktuellen Standort in Form des Streckenabschnitts. Die sonstigen beiden Informationsarten sind bereits im Programm des Mikrocontrollers hinterlegt. Diese Lö-

sung habe ich aus folgenden Gründen gewählt: Der Mikrocontroller im Microbot ist nicht multitaskingfähig. Wenn er Infrarotdaten empfängt kann er nicht gleichzeitig senden. Auch kann der Mikrocontroller nicht Infrarotdaten empfangen und gleichzeitig die Sensoren des Fahrzeugs abfragen. Daher war hier eine Beschränkung und Reduzierung auf das Wesentliche notwendig.

Da ich drei Fahrzeuge baute, muss jedes Auto die Signale von zwei Fahrzeugen empfangen können. Diese Differenzierung war bereits eine Herausforderung. Auf das Senden bzw. Empfangen von weiteren Informationsarten habe ich daher verzichtet.

4. Ergebnisse

Ich überlegte mir verschiedene Routen, bei denen durch den Einsatz von V2V Communication die Art des Verkehrsflusses verändert werden konnte. Meine Messungen führte ich immer nach dem gleichen Schema durch, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Während auf manchen meiner Strecken nur zwei Autos gleichzeitig fuhren, führte ich auch komplexere Fahrten durch, bei denen drei Autos verwendet wurden. Zur Unterscheidung der Modellfahrzeuge gibt es ein grünes, ein rotes und ein blaues Auto.

Bei jedem entwickelten Szenario wird ein Vergleich zwischen einer heute im Alltag vorkommenden Situation und einer Umsetzung dieser unter Verwendung von V2V Communication aufgestellt.

4.1. Szenario „Rechts vor Links“

4.1.1. „Rechts vor Links“ ohne V2V

Bei der Überlegung des ersten Szenarios standen vor allem Alltagssituationen wie zum Beispiel Kreuzungen ohne Ampeln im Vordergrund. Heute gilt an einer Kreuzung ohne Ampeln grundsätzlich „Rechts vor Links“. Wie jedoch würde eine Begegnung von Autos mit V2V Communication an einer solchen Stelle aussehen? Um diese Frage zu beantworten, programmierte ich für zwei Autos jeweils eine eigene Strecke, die einen gemeinsamen Kreuzungspunkt enthält, an dem es zu einer klassischen „Rechts vor Links“ Situation kommen kann. Die Strecken des roten und grünen Fahrzeugs sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

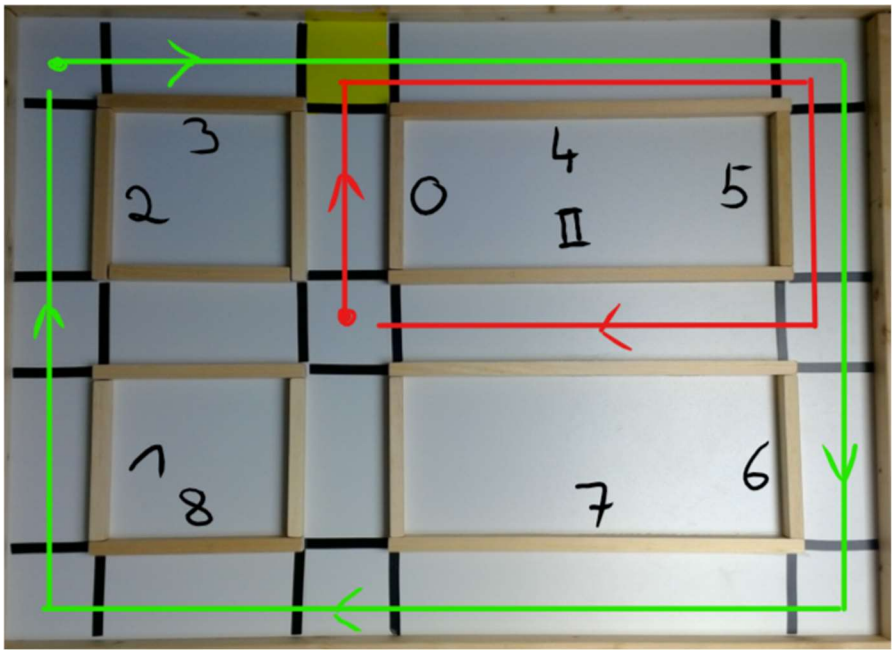

Abbildung 4: Strecke Rechts vor Links

Die Fahrstrecke des roten Autos beginnt genau in der Mitte des Streckennetzes und führt über die Streckenabschnitte 0, 4, 5 und II zurück zum Startpunkt. Das grüne Auto fährt eine größere Runde und startet in der linken, oberen Ecke des Streckennetzes. Es fährt über die Streckenabschnitte 3, 4, 5, 6, 7, 8, 1 und 2 zurück zum Ausgangspunkt. Beide Autos können an der gelbmarkierten Stelle aufeinandertreffen.

In der Realität gilt an einer solchen Stelle „Rechts vor Links“, somit darf das rote Fahrzeug als erstes weiterfahren und auf Streckenabschnitt 4 einbiegen. Das grüne Auto muss warten, wenn sich das andere Auto der Kreuzung nähert oder auf dieser steht.

Anders als in der Realität können meine Fahrzeuge jedoch nicht visuell erkennen, ob andere Autos zeitgleich die Kreuzung erreichen. Um „Rechts vor Links“ zu simulieren, musste ich auf die Infrarotsender und Empfänger der Fahrzeuge zurückgreifen. Auch wenn hierbei bereits ein Datenaustausch zwischen den beiden Autos stattfindet, hat er noch nichts mit einer tatsächlichen V2V Communication zu tun, sondern dient nur als Ersatz für ein visuelles Erkennen des anderen Fahrzeugs.

Ich implementierte einen Sendebefehl im Programm des roten Autos und Empfangsbefehle im Programm des grünen Autos. Wenn sich das rote Auto der Gefahrenstelle nähert, sich also auf Streckenabschnitt 0 befindet, sendet es mit einer bestimmten Frequenz Signale an das andere Auto. Dieses reagiert nur dann, wenn es sich ebenfalls in der Nähe der besagten Kreuzung befindet, also auf Streckenabschnitt 2 oder 3. Hier liest das grüne Auto den Infrarotempfänger aus und hält beim Empfang des Signals für eine bestimmte Zeit an. Dadurch kann das rote Fahrzeug sicher und ohne Zusammenstoß die Kreuzung passieren. Das grüne Auto folgt wenige Sekunden später.

Während einer 2-minütigen Messung konnte das rote Auto seine Strecke fünfmal fahren. Dafür vergab ich fünf Punkte. Das grüne Auto kam auf drei volle und eine halbe Runde. Um die Unterschiede in der Streckenlänge auszugleichen, vergab ich für das grüne Auto an zwei Stellen Punkte (Startpunkt und Ecke nach Streckenabschnitt 6). Somit bekam das grüne Auto 7 Punkte. Die Gesamtfahrleistung des Systems lag bei 12 Punkten.

Während der gesamten Messung kam es einmal zu der Konstellation, bei der „Rechts vor Links“ galt. Da das grüne Auto warten musste, lag die Gesamtfahrleistung unter dem Optimum. Ich wiederholte die Messung, um die erhaltenen Resultate zu bestätigen. Die gesamte Messung war reproduzierbar.

4.1.2. „Rechts vor Links“ mit V2V

Bei Anwendung der V2V Communication ist die Regel „Rechts vor Links“ hinfällig. Ich programmierte beide Autos so, dass sie ihre Position senden und die des anderen Fahrzeugs empfangen. Konkret sendet das grüne Auto auf den Streckenabschnitten 1 und 2. Empfängt das rote Auto ein Signal, wenn es sich auf dem Streckenabschnitt II befindet, fährt es eine Alternativroute, die in Abbildung 5 gestrichelt gekennzeichnet ist. Dadurch verlängert sich zwar die Strecke für das rote Auto, aber Wartezeiten werden vermieden.

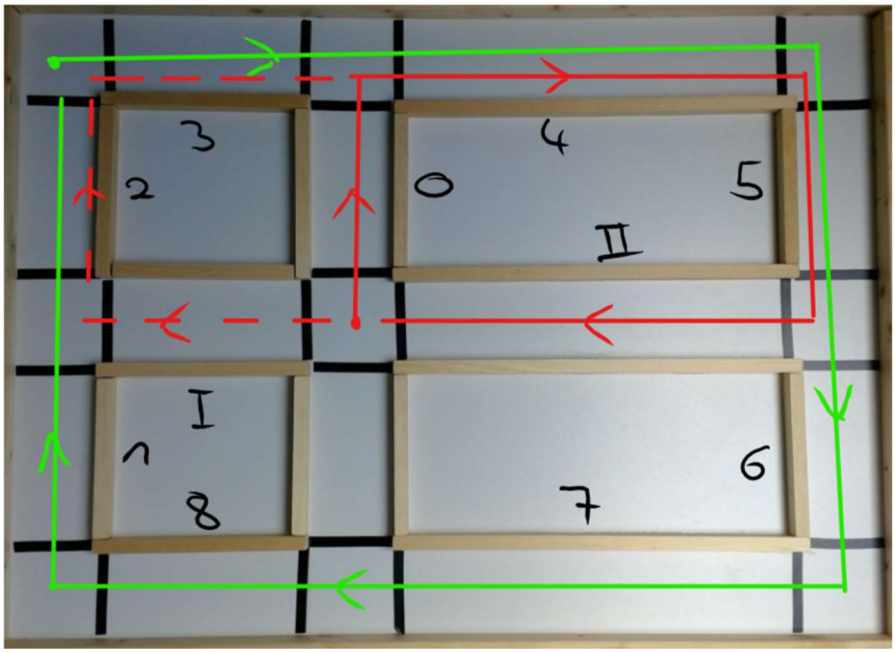

Abbildung 5: Strecke mit Alternativroute

Bei der 2-minütigen Messung blieb die Fahrleistung des roten Autos konstant zu der ohne V2V, das grüne Auto fuhr eine Runde mehr. Insgesamt erreichten die Autos 14 Punkte. Somit konnte durch den Einsatz der V2V Communication die Systemleistung um 16% gesteigert werden. Folgende Tabelle fasst die Messergebnisse zusammen. Die V2V Communication brachte in diesem Szenario Vorteile, da ein Auto in der gegebenen Zeit mehr Zielpunkte, das andere unverändert viele Zielpunkte erreichte. Durch die vernetzten Autos werden Stand- und Wartezeiten an Kreuzungen reduziert.

Szenario „Rechts vor Links“	Leistung grünes Auto (in Runden)	Leistung rotes Auto (in Runden)	Systemleistung (in Runden/%)
Szenario ohne V2V	7	5	12
Szenario mit V2V	9	5	14
Steigerung der Systemleistung			**16%**

Abbildung 6: Ergebnisse der Szenarios „Rechts vor Links“

4.2. Szenario „Gegenverkehr“

4.2.1. „Gegenverkehr“ ohne V2V

Bei Straßenarbeiten wird die Fahrbahn oftmals auf eine Spur verengt und eine Ampelschaltung eingerichtet, die den Einbahnwechselverkehr regelt. Eine solche Situation wollte ich nachstellen und entwarf dazu das Szenario „Gegenverkehr“.

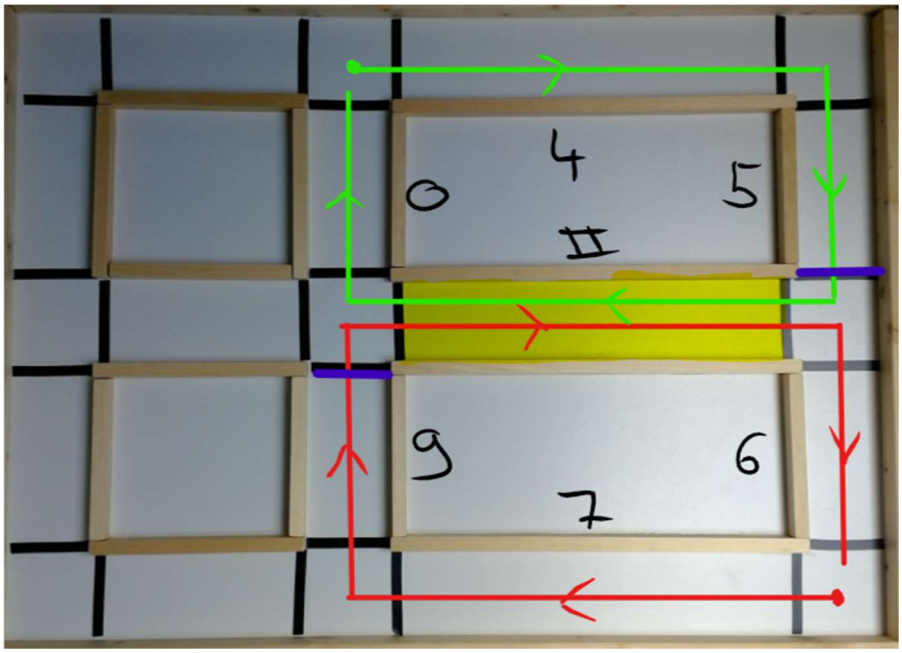

Abbildung 7: Strecke Gegenverkehr

Die Abbildung zeigt die unterschiedlichen Routen der beiden Fahrzeuge. Der gelb markierte Streckenabschnitt II stellt die entscheidende einspurige Straße dar. Auf dieser kann nur ein Auto gleichzeitig fahren, da es ansonsten zu Unfällen kommt. Um solche zu verhindern, sind sowohl auf der Strecke des grünen als auch des roten Autos Ampeln montiert. In der Abbildung sind diese durch lila Striche gekennzeichnet. Die Ampelschaltung sorgt dafür, dass Fahrzeuge immer nur in eine Richtung den Streckenabschnitt befahren können. Meine modellhaften Ampeln verfügen über einen Sender. Beide Fahrzeuge halten an den lila Linien an und warten dort auf das grüne Ampelsignal. Dieses wird auf unterschiedlichen Frequenzen gesendet, so dass nicht beide Autos gleichzeitig grün bekommen.

In der folgenden Abbildung ist der Signalzeitenplan der Ampeln dargestellt. Die Grünphasen dauern jeweils fünf Sekunden lang. Sie werden von einer 10-sekündigen Zwischenzeit unterbrochen. Diese wird benötigt, damit die Fahrzeuge den einspurigen Streckenabschnitt ohne Gegenverkehr befahren können. Nach 30 Sekunden werden die Ampelphasen wiederholt.

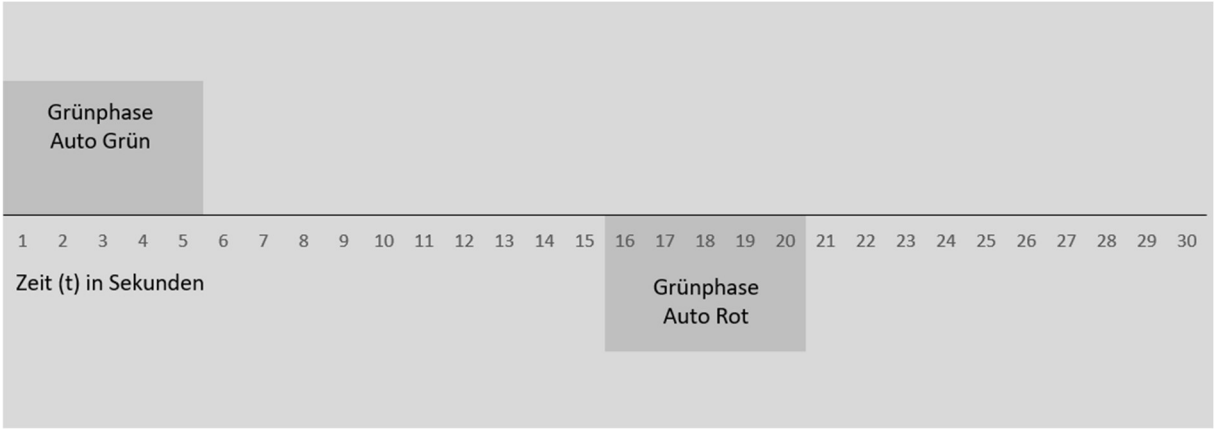

Abbildung 8: Signalzeitenplan

In meiner 2-minütigen Messung konnte das rote Auto seine Strecke viermal vollständig bewältigen. Das grüne Auto schaffte drei Runden. Auffallend waren die langen Wartezeiten der Fahrzeuge an den Ampeln und die Tatsache, dass oftmals beide Autos an den Ampeln standen. Die Ergebnisse waren jedoch nicht überraschend, da auch in der Realität lange Wartezeiten an Ampeln zu beobachten sind.

4.2.2. „Gegenverkehr“ mit V2V

Zur Bewältigung der oben beschriebenen Situation braucht man bei einer V2V Communication keine Ampeln. Beide Fahrzeuge senden durchgehend ihren aktuellen Standort und lesen den des anderen Autos aus, wenn sie an den Linien stehen, die in Abbildung 7 lila markiert sind. Wenn zum Beispiel das grüne Auto dort steht und das rote Auto gerade auf Streckenabschnitt 6 fährt, weiß das grüne Auto, dass die Strecke frei ist und es fahren kann. Generell bleiben die Fahrzeuge nur stehen und warten, wenn sich das andere Fahrzeug auf Streckenabschnitt II befindet. Wichtig war bei der Vernetzung und Programmierung, dass beide Autos gleichberechtigt sind. Kein Fahrzeug besitzt eine eingebaute Vorfahrt.

Bei der Programmierung wurde auch berücksichtigt, dass beide Autos gleichzeitig an den Stellen mit den lila Linien ankommen können. Die V2V Communication regelt auch in diesem Sonderfall den Verkehrsfluss.

Das Szenario „Gegenverkehr“ mit V2V Communication konnte in der Messung eindrucksvoll seine Überlegenheit zeigen. Insgesamt konnte mit Hilfe der V2V Communication die Systemleistung um 57% gesteigert werden. Die Ergebnisse des Szenarios sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Szenario „Gegenverkehr“	Leistung grünes Auto (in Runden)	Leistung rotes Auto (in Runden)	Systemleistung (in Runden/%)
Szenario ohne V2V	3	4	7
Szenario mit V2V	5	6	11
Steigerung der Systemleistung			**57%**

Abbildung 9: Ergebnisse des Szenarios „Gegenverkehr“

4.3. Szenario „Kreuzung mit drei Autos“

Das Szenario „Gegenverkehr“ führte ich auch mit drei Autos durch, um herauszufinden, ob die Überlegenheit der V2V Communication bei zunehmender Komplexität der Situation fortbesteht.

Sowohl das rote als auch das grüne Auto fuhren weiterhin die bereits oben beschriebene Strecke. Das blaue Auto, welches als drittes Fahrzeug hinzukam, schneidet die Strecke der anderen beiden Fahrzeuge an der Kreuzung in der Mitte des Streckennetzes. Es kommt von links (Streckenabschnitt I) und möchte an dieser Kreuzung links abbiegen. Um auch hier Kollisionen zu vermeiden, muss eine dritte Ampel installiert werden, siehe Abbildung 10.

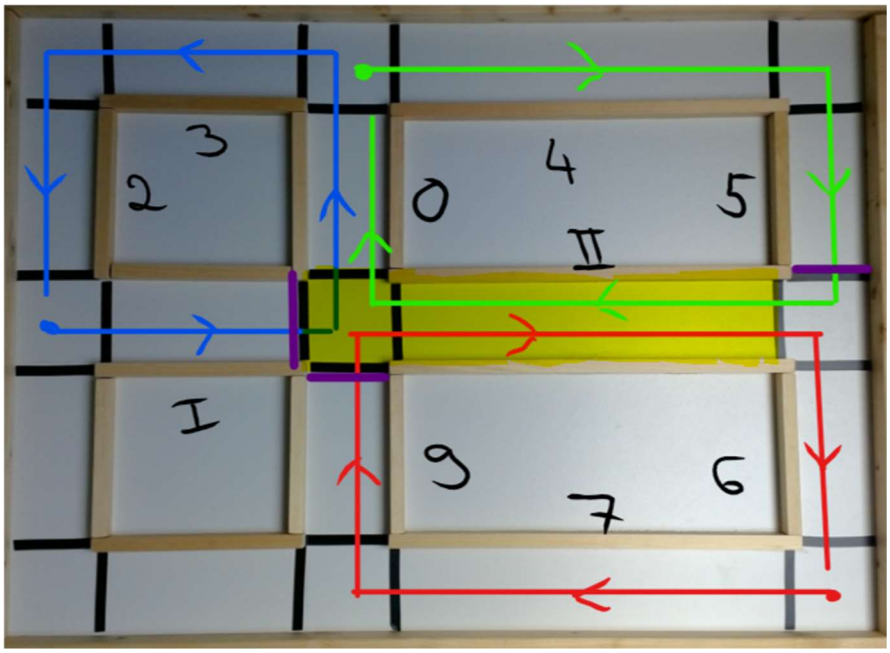

Abbildung 10: Strecke Kreuzung mit drei Autos

Meine Messungen für das Szenario „Kreuzung mit drei Autos“ ohne V2V ergaben, dass das grüne Auto erneut drei Runden schaffte. Auch das blaue Auto fuhr drei Runden. Das rote Auto konnte vier Runden beenden. Insgesamt lag die Systemleistung somit bei 10 gefahrenen Runden.

Im direkten Vergleich konnte durch die V2V Communication die Leistung um 40% gesteigert werden. Dies ist ein beachtliches Ergebnis. Es zeigt sich, dass Ampeln und die damit verbundenen langen Wartezeiten an Kreuzungen durch V2V abgeschafft werden können.

Die folgende Tabelle verdeutlicht die Messergebnisse.

Szenario „Kreuzung mit drei Autos“	Leistung blaues Auto (in Runden)	Leistung grünes Auto (in Runden)	Leistung rotes Auto (in Runden)	Systemleistung (in Runden/%)
Szenario ohne V2V	3	3	4	10
Szenario mit V2V	6	4	4	14
Steigerung der Systemleistung				**40%**

Abbildung 11: Ergebnisse des Szenarios „Kreuzung mit drei Autos“

4.4. Szenario „Kolonnenfahrt“

Es kommt häufig vor, dass mehrere Fahrzeuge über eine längere Zeit auf der gleichen Strecke fahren. Grundsätzlich bietet eine Kolonnenfahrt den Vorteil, dass die Abstände zwischen den Autos klein sein können und somit viele Fahrzeuge auf einem Streckenabschnitt fahren können.

Ich wollte untersuchen, wie sich eine Kolonnenfahrt auf einer speziellen Strecke verhält. Da die Fahrstrecke für alle drei Autos identisch ist, wählte ich eine einheitliche orange Farbe in der Abbildung. Bei dieser Strecke kann es an einer Kreuzung zu einer Konfliktsituation kommen. Diese ist in der folgenden Abbildung gelb markiert.

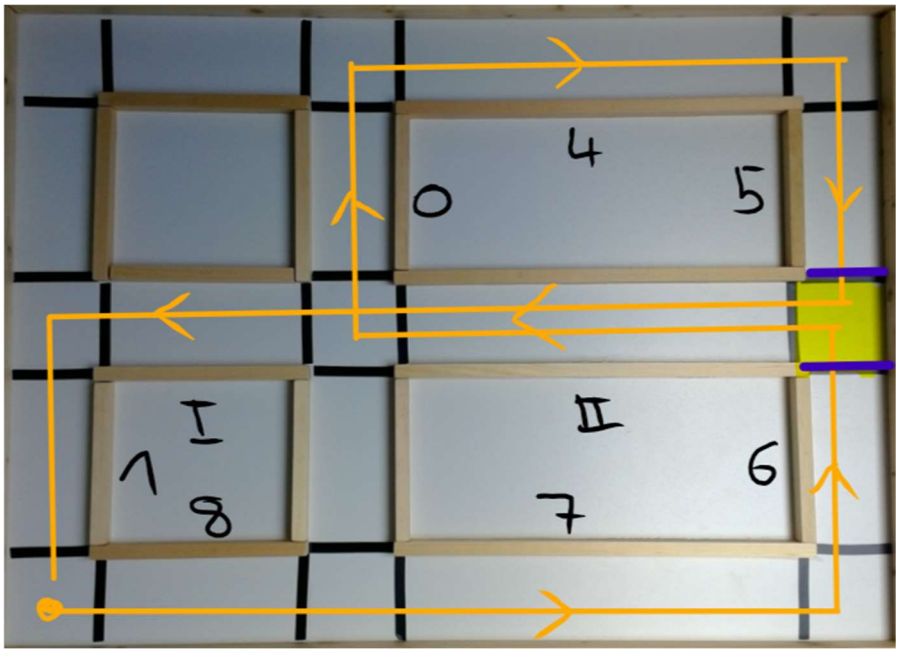

Abbildung 12: Strecke Kolonnenfahrt

Im klassischen Fall wird dieser Konfliktfall durch Ampeln gelöst. Dadurch besteht die Gefahr, dass nicht alle Autos als Kolonne über die Ampel und über die gesamte Strecke fahren, sondern die Kolonne auseinandergerissen wird.

Bei Einsatz der V2V Communication kann wieder auf die Ampel verzichtet werden. Da alle Fahrzeuge geschlossen als Kolonne fahren, ist es ausgeschlossen, dass es an dem Konfliktpunkt zu Kollisionen

kommt. Die Vorteile der Fahrt als Kolonne, welche durch die V2V Communication gewährleistet wird, sind in folgender Tabelle an meinen Messergebnissen zu erkennen.

Szenario „Kolonnenfahrt“	Leistung blaues Auto (in Runden)	Leistung grünes Auto (in Runden)	Leistung rotes Auto (in Runden)	Systemleistung (in Runden/%)
Szenario ohne V2V	5	4	3	12
Szenario mit V2V	5	5	4	14
Steigerung der Systemleistung				**16%**

Abbildung 13: Ergebnisse des Szenarios „Kolonnenfahrt“

4.5. Szenario „Routenfindung“

In diesem Szenario wurden die statische und die dynamische Routenfindung gegenübergestellt. Die dynamische Routenfindung basiert auf der V2V Communication. In diesem Szenario waren zwei Fahrziele vorgegeben, die in jeder Runde erreicht werden sollten. Sie waren für alle drei Autos identisch. Außerdem konnten sie durch unterschiedliche Strecken erreicht werden.

In der Realität kommt es oft vor, dass Autofahrer mit ungleichen Geschwindigkeiten fahren. Oftmals entstehen hinter langsamer fahrenden Autos Staus. Im Szenario „Routenfindung“ stellte ich eine solche Situation dar. Alle drei Fahrzeuge fahren mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Daraus resultiert, dass die maximale Systemleistung nicht dadurch erreicht werden kann, dass die Autos auf einer einheitlichen Strecke hintereinanderfahren.

4.5.1. Szenario „Statische Routenfindung“ (ohne V2V)

Alle drei Fahrzeuge fahren eine festgelegte Strecke, welche die in Abbildung 14 gelb markierten Ziele enthält. Auf beiden Strecken ist jeweils eine Ampel installiert, die den Verkehr an der Einfahrt zu Streckenabschnitt II regelt. Beide Ampeln sind in der untenstehenden Abbildung mit lilafarbenen Linien markiert. Die Ampelschaltung verhindert Kollisionen an der Kreuzung.

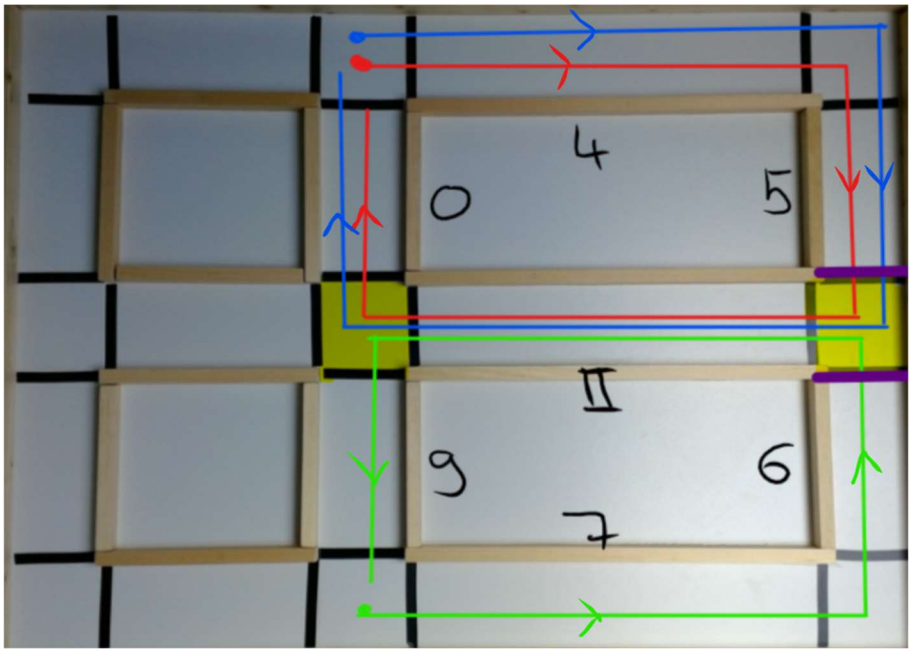

Abbildung 14: Strecken Statische Routenfindung

4.5.2. Szenario „Dynamische Routenfindung“ (mit V2V)

Während bei der statischen Routenfindung allen drei Autos feste Routen zugeteilt wurden, waren bei der dynamischen Routenfindung nur die Fahrziele relevant. Welche Route das Auto bei der dynamischen Routenfindung wählte, wurde kurzfristig während der Fahrt entschieden. Jedes Auto konnte am zweiten Fahrziel rechts oder links abbiegen. Somit existierten für jedes Auto zwei mögliche Strecken, die in der nachfolgenden Abbildung in orange dargestellt sind.

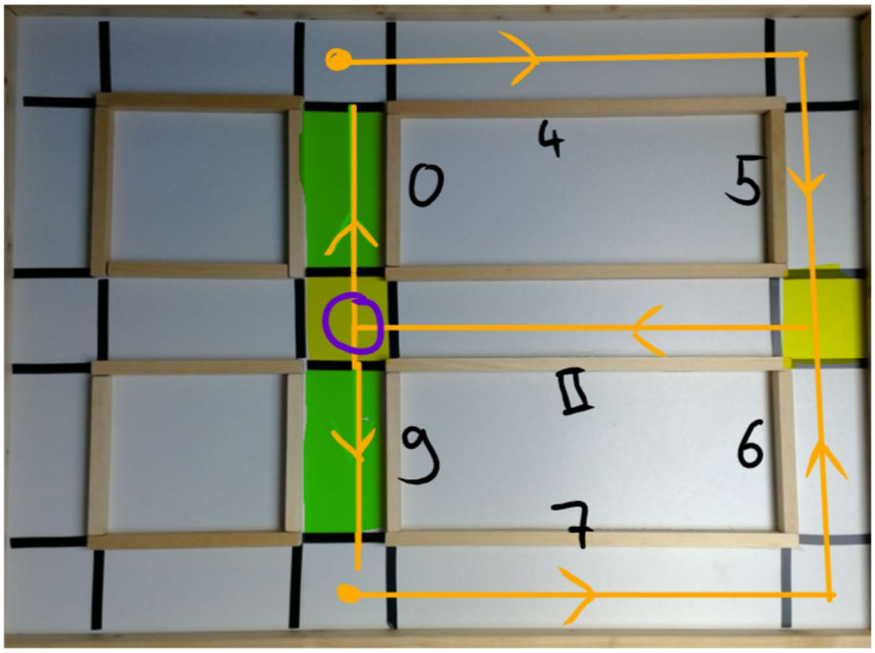

Abbildung 15: Strecke Dynamische Routenfindung

Der Entscheidungspunkt ist in der Abbildung mit einem lilafarbenen Kreis markiert. Die Entscheidung wurde auf Grundlage empfangener Daten getroffen. Das Auto biegt rechts ab, wenn es kein Signal von einem anderen Auto erhält, dass sich gerade auf dem Streckenabschnitt 0 befindet. Die Streckenabschnitte, die für die Entscheidung von Relevanz sind und auf denen die V2V Signale gesendet werden, sind grün markiert. Die Ampeln, die bei der statischen Routenfindung den Verkehr regelten, wurden durch V2V Communication ersetzt. Diese funktioniert wie auch schon in den anderen Szenarien.

Die Ergebnisse des gesamten Szenarios „Routenfindung“ sind in folgender Tabelle dargestellt.

Szenario „Routenfindung“	Leistung blaues Auto (in Runden)	Leistung grünes Auto (in Runden)	Leistung rotes Auto (in Runden)	Systemleistung (in Runden/%)
Szenario „statische Routenfindung“ (ohne V2V)	5	6	6	17
Szenario „dynamische Routenfindung“ (mit V2V)	7	7	7	21
Steigerung der Systemleistung				**24%**

Abbildung 16: Ergebnisse des Szenarios „Routenfindung“

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Vorteile durch V2V Communication waren bei allen Szenarien und Messungen erkennbar. Die Systemleistung ließ sich bei allen erforschten Szenarien um 16% bis zu 57% steigern. Das bedeutet, dass in einer gegebenen Zeit bis zu 57% mehr Zielpunkte erreicht werden. Somit können die Fahrzeiten aller Verkehrsteilnehmer in Summe um mehr als ein Drittel gesenkt werden. Mit diesem positiven Effekt gehen auch ein geringerer Energieverbrauch und reduzierte Umweltemissionen einher. Insgesamt ist der Einsatz von V2V Communication ökologisch, ökonomisch und sozial sinnvoll und sollte daher zu einem festen Bestandteil unserer Mobilität von morgen werden.

Durch meine Arbeit konnte ich alle zu Beginn gestellten Schlüsselfragen beantworten. V2V Communication ist ein wirksames Mittel, um die Verkehrsleistung stark zu steigern. Durch V2V werden Ampeln überflüssig. Dies stellt eine große Kostenersparnis dar. Ferner kann durch V2V die Wartezeit an Kreuzungen und anderen Konfliktpunkten reduziert werden. Ich konnte verschiedene weitere Vorteile aufzeigen, die durch eine konsequente Vernetzung entstehen. Sowohl die dynamische Routenfindung als auch das Konzept der Kolonnenfahrt sorgen für eine bessere Streckenauslastung und für weniger Staus.

Die Idee der V2V bzw. der V2X Communication lässt sich noch weiter ausführen und z.B. zur Unfallvermeidung nutzen. V2X im Sinne von „Vehicle to Everything“ kann verwendet werden, wenn ein auf der geplanten Strecke des Autos befindlicher Straßenabschnitt meldet: „Hier ist unter null Grad Celsius. Es ist spiegelglatt.“ Das Auto könnte dann eine alternative, sicherere Route wählen bzw. an der Gefahrenstelle langsamer fahren.

Während Autofahrer und auch selbstfahrende Autos nur das sehen, was in ihrem Sicht-/Kamerafeld liegt, ermöglicht V2V Communication ein vorausschauendes Fahrverhalten und kann den Autofahrer frühzeitig über etwaige Behinderungen auf der Strecke warnen. Die Wahrscheinlichkeit z.B., dass LKWs auf Stauenden auffahren, kann somit gesenkt werden. Auch ermöglicht V2V Communication Rettungskräften schneller zu Unfallstellen vorzurücken. Im Einsatz könnten diese eine eingebaute Vorfahrt erhalten, welche ihnen Prioritäten an Kreuzungen einräumt. Des Weiteren kann V2V dafür sorgen, dass Rettungsgassen von den V2V-Signale empfangenen Autos frühzeitig gebildet werden.

Eine solche eingebaute Vorfahrt durch V2V wäre auch für Fahrzeuge des öffentlichen Nahverkehrs denkbar. Busse z.B. transportieren wesentlich mehr Menschen als Autos und könnten durch kürzere Fahrzeiten an Attraktivität gewinnen, wodurch die Straßen entlastet würden. Auch in Bezug auf die für V2V Communication notwendigen Daten konnte ich in meiner Arbeit Erkenntnisse gewinnen. Abgesehen vom Fahrziel, dem aktuellen Standort und der geplanten Route sind keine weiteren Daten notwendig, um die Vorteile von V2V Communication effektiv zu nutzen. Diese Daten sind anonymisiert, was für den Datenschutz sehr wichtig ist. Prognosen[5] sagen, dass die Verkehrsbelastung in den nächsten Jahren weiter stark zunehmen wird. Diese Entwicklung wird durch selbstfahrende Autos nicht gebremst, sondern verstärkt werden. Somit sind Techniken, die den gesamten Verkehrsfluss besser koordinieren, essentiell notwendig. Eine solche Technik konnte ich mit meiner Arbeit ermitteln. V2V Communication hat den Vorteil, dass es sich um eine Digitalisierungstechnik handelt. Weitere Straßen brauchen nicht gebaut werden.

Zusammenfassend lässt sich mit dem Projekt nachweisen, dass V2V Communication viele Vorteile bietet und eine Möglichkeit ist, einen Verkehrskollaps in der Zukunft zu verhindern.

[5] Quelle: Transport Consulting International Röhling im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur: Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr: https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Verkehrsprognose_Sommer_2016.pdf?__blob=publicationFile, aufgerufen am 08.01.2017

6. Danksagung

Ich bedanke mich bei meinem Betreuer, Herrn Dr. Pleschinger, für dessen Unterstützung. Auch bedanke ich mich bei meinem Vater und meiner Mutter, die die schriftliche Ausarbeitung Korrektur gelesen haben.

7. Quellen- und Literaturverzeichnis

AlixPartners, LLP: A Complex Road Map to the Car of the Future, http://legacy.alixpartners.com/en/Publications/AllArticles/tabid/635/articleType/ArticleView/articleId/1771/A-Complex-Road-Map-to-the-Car-of-the-Future.aspx#sthash.oPUDU6KP.dpbs, Aufgerufen am 04.01.2017

KPMG International Cooperative: KPMG's Global Automotive Executive Survey 2017, https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/xx/pdf/2017/01/global-automotive-executive-survey-2017.pdf, Aufgerufen am 08.01.2017

Transport Consulting International Röhling im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur: Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr, https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Verkehrsprognose/Verkehrsprognose_Sommer_2016.pdf?__blob=publicationFile,
Aufgerufen am 08.01.2017