

Entwicklung von Kreuzungsassistenzsystemen und Funktionalitätserweiterungen durch den Einsatz von Kommunikationstechnologien

Timo Kosch, Dirk Ehmanns

BMW Group Forschung und Technik
Hanauer Strasse 46, 80992 München
Timo.Kosch@bmw.de, Dirk.Ehmanns@bmw.de

Übersicht

Die Analyse von internationalen Unfallstatistiken zeigt Kreuzungen als einen relevanten Unfallschwerpunkt. Detaillierte Rekonstruktionen repräsentativer Unfälle führen zu der Erkenntnis, dass vor allem die Fehlinterpretation der Situationen durch die Fahrer die Unfallursache darstellt. An dieser Stelle kann die Verkehrssicherheit durch eine gezielte Fahrerassistenz gesteigert werden.

Bisherige Ansätze der Fahrerassistenz verwenden hauptsächlich eine Situationserfassung durch bordautonome Sensorik. Durch die Einführung neuartiger Kommunikationstechnologien lässt sich der Erfassungshorizont durch die gezielte Übermittlung von Daten aus der Infrastruktur und auch von anderen Fahrzeugen deutlich erweitern. Exemplarisch werden in diesem Beitrag die Assistenz an Ampeln für die Kommunikation mit der Infrastruktur und die Querverkehrsassistenz für die Kommunikation mit anderen Fahrzeugen betrachtet.

1. Unfallstatistik

Kreuzungsunfälle stellen einen nicht vernachlässigbaren Anteil an der Gesamtzahl der Verkehrsunfälle, auch solchen mit ernsthaften Verletzungen der Beteiligten. Tabelle 1 zeigt die Unfallzahlen im Kreuzungsbereich polizeilich erfaßter Ereignisse im Vergleich zu den Gesamtunfallzahlen aus nationalen Statistiken von Frankreich, Großbritannien und Deutschland.

	F (2003)		UK (2002)		D (2003)	
injury accidents	90 220		221 751		354 534	
fatalities	5 731		3 124		6 613	
serious injuries	19 207		30 521		85 577	

	at intersections						out of intersections					
	F		UK		D		F		UK		D	
injury accidents	26 729	30%	10 576	5%	147 994	42%	63 491	70%	211 175	95 %	206 540	58 %
fatalities	892	16%	124	4%	1 403	21%	4 839	84%	3 000	96 %	5 210	79 %
serious injuries	4 865	25%	1 393	5%	28 549	33%	14 342	75%	29 128	95 %	57 028	67 %

Tabelle 1: Unfallstatistik in Frankreich, Großbritannien und Deutschland

Die niedrigeren Unfallzahlen in Großbritannien sind möglicherweise auf die deutlich größere Zahl an Kreisverkehren zurückzuführen. Während Kreuzungsunfälle einen nicht unerheblichen Anteil der Unfälle mit Verletzten ausmachen (30...42% in Frankreich und Deutschland), sind tödliche Unfälle weniger häufig (16...21%). Die Zahlen zeigen, dass für Assistenzsysteme im Bereich aktiver Sicherheit an Kreuzungen ein deutliches Potential besteht, zu einer Reduktion der Unfallzahlen beizutragen.

Abbildung 1 zeigt die Situationen, die zu Unfällen führen. Mit den in diesem Artikel beschriebenen Assistenzsystemen adressieren wir Querverkehrsunfälle (Bild oben) sowie Rotlichtüberfahrt (Bild unten). Aus der Abbildung wird deutlich, dass eine Fehlinterpretation oder Unaufmerksamkeit zu fast zwei Dritteln den Unfällen zugrunde liegen. Wir erwarten hier durch eine gezielte Information und ggfs. Warnung des Fahrers ein deutliches Verbesserungspotential.

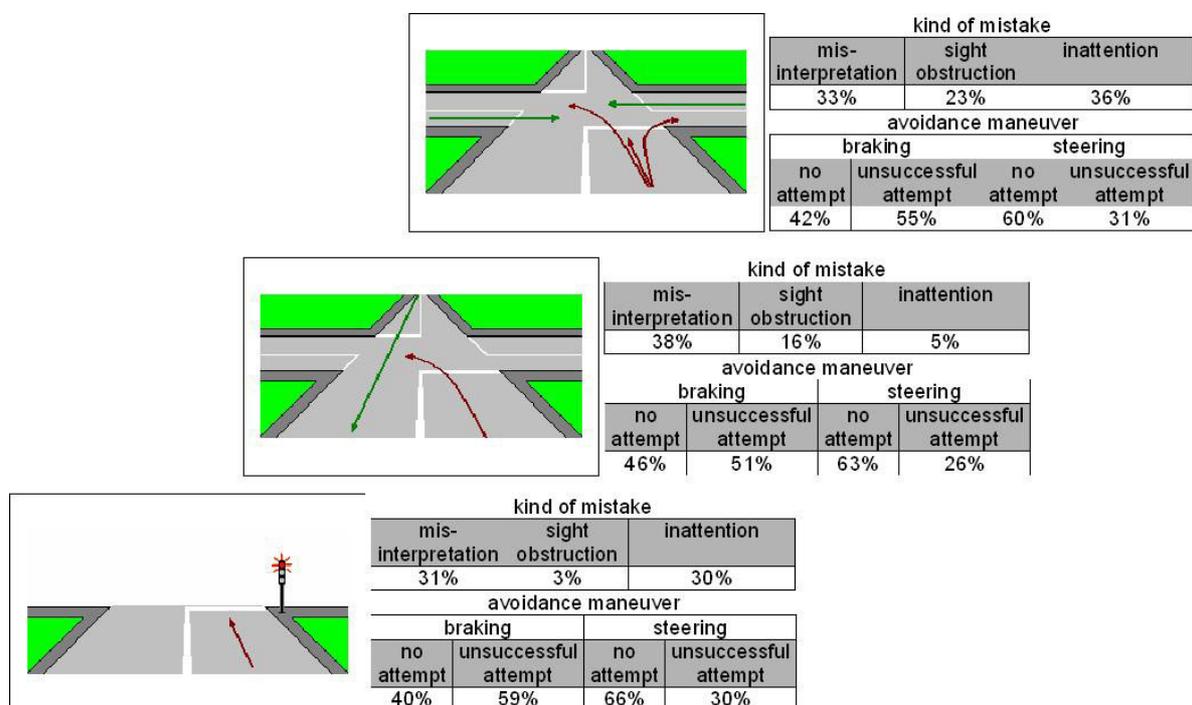


Abbildung 1: Unfallsituationen im Kreuzungsbereich

Die in diesem Artikel vorgestellten Zahlen und Ergebnisse entstammen Arbeiten, die zum großen Teil in dem Projekt PReVENT INTERSAFE durchgeführt wurden, das von der EU Kommission, Directorate General „Information Society and Media“ gefördert wird.¹

3. Lichtsignalassistentz

Die im Rahmen des Projektes PReVENT entwickelte Ampelassistentz hat, basierend auf der Unfallanalyse, im wesentlichen zum Ziel, Rotlichtmissachtungen zu vermeiden. Bei der Zufahrt auf eine schon länger Grünlicht anzeigende Ampel kommt es zudem häufig zu Geschwindigkeitsänderungen, die in der Unsicherheit der Fahrer über die verbleibende Restdauer der Grünphase begründet sind. Durch den

¹ http://www.prevent-ip.org/en/prevent_subprojects/intersection_safety/intersafe/

Einsatz von Kommunikationstechnologien lassen sich für den Fahrer und auch bordautonome Sensoren nicht sichtbare aktuelle Ampelraten ins Fahrzeug übertragen und dem Fahrer anzeigen.

Ziel der Vermeidung von Rotlichtmißachtungen ist es, den Fahrer zu warnen um ihn zu einer Bremsung zu veranlassen, falls er nicht auf das Rotlicht reagiert. Ähnlich wie bei der Stoppschildassistentz (untersucht im Projekt Invent, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wurde²) gibt es eine starke Ambivalenz, das *Warndilemma*, da eine Warnung so spät wie möglich erzeugt werden soll, um den Fahrer nicht mit unnötigen Meldungen zu ärgern, jedoch rechtzeitig genug erfolgen muss, damit er noch zum Stehen kommen kann (siehe Abbildung 2). Es zeigt sich jedoch, dass eine zum richtigen Zeitpunkt ausgelöste Warnung den Fahrer zum rechtzeitigen Bremsen veranlaßt und ein automatisiertes Eingreifen des Assistenzsystems nicht notwendig ist.

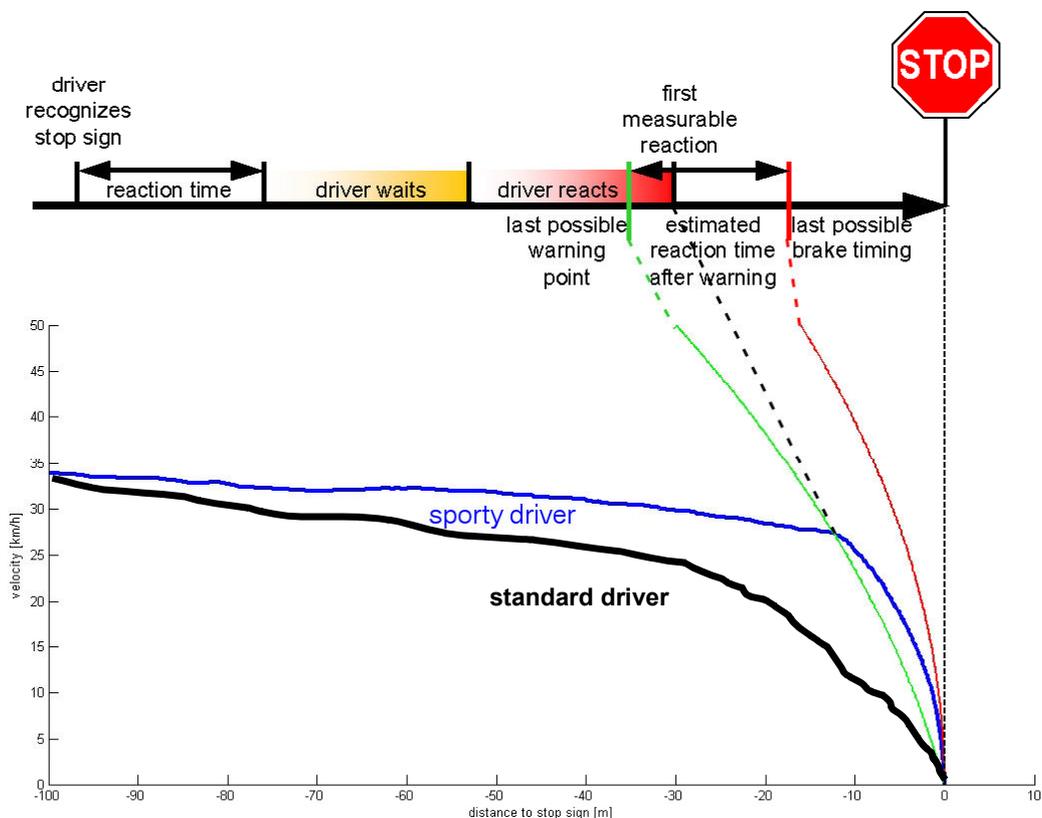


Abbildung 2: Geschwindigkeitsprofile und Warnzeitpunkte

Bei der Annäherung an ein Lichtsignal ist weder dem Fahrer noch dem Fahrzeug etwas über den künftigen Zustand des Signals bekannt. Dies führt dazu, dass Fahrer sich dem Signal mit verschiedenen Strategien nähern. Dies ist für Verkehrsfluß und Verkehrssicherheit suboptimal. Fahrer ändern bei der Annäherung auch ihre Geschwindigkeiten, wenn die Ampel ein grünes Signal zeigt (siehe Abbildung 3). Die Daten der Abbildung basieren auf Profilen von Testfahrern. Das Ampelsignal ist bei 0m auf der x-Achse. Diese Analyse motiviert die Information des Fahrers über die Länge der Ampelphase sowohl aus Komfort- wie auch aus Sicherheitsgründen.

² <http://www.invent-online.de/>

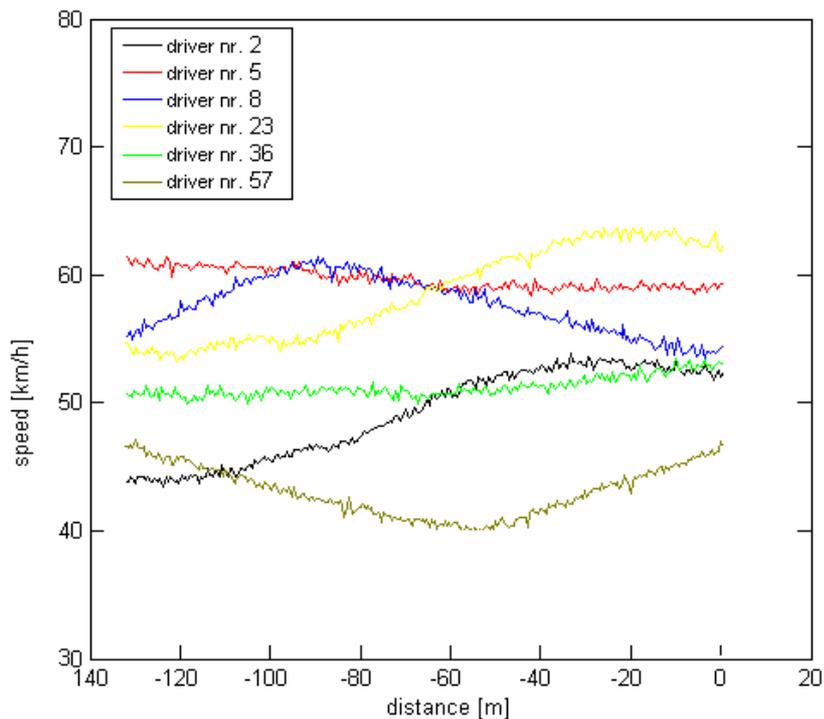


Abbildung 3: Geschwindigkeitsprofile bei Annäherung an eine grüne Ampel

Für die Annäherungsassistentz wird die benötigte Zeit bis zum Erreichen der Kreuzung wird berechnet. Sofern eine Überfahrt möglich ist, wird dem Fahrer die Information gegeben, sich mit der aktuellen Geschwindigkeit innerhalb der erlaubten Höchstgeschwindigkeit auf die Kreuzung zuzubewegen. Viele Lichtsignalsteuerungen sind heute phasenadaptiv und können, beispielsweise aufgrund von Anforderungen durch Fußgänger oder basierend auf Induktionsschleifeninformation ihre Phase kurzfristig ändern. Dies erschwert eine zuverlässige Annäherungsassistentz wesentlich und wird in künftigen Arbeiten näher betrachtet, verbunden mit der Evaluierung neuer Methoden zur verkehrsadaptiven Steuerung basierend auf lokalem drahtlosem Datenaustausch der Verkehrsteilnehmer und der Verkehrsinfrastruktur. Die Annäherungsinformation und die Rotlichtwarnung werden im gegenwärtigen Fahrzeug-Versuchsträger im Head-Up Display eingeblendet und z.T. durch akustische Information ergänzt. Während der Grünphase wird eine grüne Ampel mit der empfohlenen Annäherungsgeschwindigkeit eingeblendet (siehe linke Darstellung in Abbildung 4). Während des variablen Segments der Grünphase kann kein Hinweis gegeben werden. Um dennoch die korrekte Funktionsweise des Systems zu vermitteln, wird die leere Ampel angezeigt (rechts in der Abbildung).



Abbildung 4: Fahrerinformation in der Annäherungsphase

Stellt das System fest, dass eine sichere Überfahrt nicht mehr gewährleistet ist, erhält der Fahrer den Hinweis, anzuhalten (links in Abbildung 5). Droht er, das Rotlicht zu übersehen, so erhält er eine Warnung (rechts in der Abbildung).



Abbildung 5: Anhalteinformation

Um Informationen über künftige Phasenzustände auch im Fahrzeug verfügbar zu haben, werden die Ampelphaseninformationen periodisch per Funk in die Fahrzeuge übertragen. Zusätzlich senden die Fahrzeuge auch Informationen an die Lichtsignalsteuerung. Die Fahrzeuginformationen sind auch Grundlage für eine Querverkehrsassistenz. Bei der Querverkehrsassistenz ist zur Vermeidung von Unfällen bereits in der Annäherungsphase ein Hinweis auf potenzielle Kollisionen sinnvoll. Die geforderten Reichweiten und die hohe Anzahl an nicht relevanten Objekten in einer Kreuzung machen eine Detektion ausschließlich mit bordautonomer Sensorik extrem komplex. Hierbei kann drahtlose Kommunikationstechnologie die Informationslücken schließen, indem die Fahrzeugpositionen und –bewegungszustände zwischen den einzelnen Verkehrsteilnehmern ausgetauscht werden.

5. Kommunikationssystem

Aus den dargestellten Anwendungen lassen sich die Anforderungen an die Kommunikation ableiten. Die Umsetzung einer solchen Kommunikation wird z. B. im Rahmen des national vom BMBF geförderten Projekts Network on Wheels³ realisiert. Wichtig bei einem kommunikationsbasierten System ist eine möglichst weite Verbreitung der Technologie. Dies führt einerseits zu einer erhöhten Wirksamkeit andererseits auch zu einer größeren Wirtschaftlichkeit. Um eine solche Einführung zu beschleunigen, hat sich das Car to Car Communication Consortium⁴ gebildet, das auf Betreiben europäischer Automobilhersteller zustande gekommen ist. Mit Hilfe dieses Konsortiums werden Standards für die eingesetzte Kommunikation definiert, die die Voraussetzung für eine schnelle und effektive Markteinführung sind.

Um die angestrebten Assistenzfunktionen unterstützen zu können, muss ein zugrunde liegendes Kommunikationssystem sicherstellen, dass alle betroffenen Verkehrsteilnehmer und –infrastruktureinrichtungen die für die Applikation notwendigen Informationen korrekt, unverfälscht mit minimaler zeitlicher Verzögerung und in einer ausreichenden Entfernung erhalten. Besonders für die Querverkehrsassistenz ist eine hohe Auflösung der anderen Fahrzeugpositionen mit entsprechenden Anforderungen an Updateraten versendeter Positionen sowie tolerierbarer Übertragungsdauern.

Für den Kreuzungsassistenzprototypen kommt zur Zeit ein WLAN-basiertes Kommunikationssystem zum Einsatz. Die Eignung der für eine Standardisierung als

³ <http://www.network-on-wheels.de/>

⁴ <http://www.car-to-car.org>

IEEE802.11p aktuell diskutierten Technologie wird in diesem Zusammenhang evaluiert. Die relevante Statusinformation der Lichtsignalsteuerung wird per Broadcast an die Fahrzeuge in Funkreichweite ausgesendet (Inhalt siehe Tabelle 2). Um das Einspielen falscher Nachrichten zu unterbinden, kommen kryptographische Verfahren zum Einsatz. Die Statusnachricht beinhaltet Informationen zu allen Signalgruppen einer Kreuzung. Die Semaphoreninformation ist codiert als Position der Haltelinie plus zwei Richtungsvektoren, eine für die Richtung der Fahrzeuge, für die es relevant ist und eine für die Zielrichtung der Fahrzeuge (z.B. Abbiegesignal). Globale Zeitbasis ist UTC Zeit (Universal Time Coordinated).

position	assigned lane assigned direction
phase protocol	fixed segment of green phase maximum duration of green phase amber phase (speed limit) red phase red-yellow phase
status	working current phase

Tabelle 2: Informationen der Lichtsignalstatusnachrichten

Die Systemarchitektur des Kommunikationssystems fahrzeug- und lichtsignalseitig ist in Abbildung 6 dargestellt. Das System folgt den Richtlinien des Car-2-Car Communication Consortiums und unterstützt neben den Fahrerassistenzanwendungen auch Internet Protokoll (IP)-basierte Anwendungen.

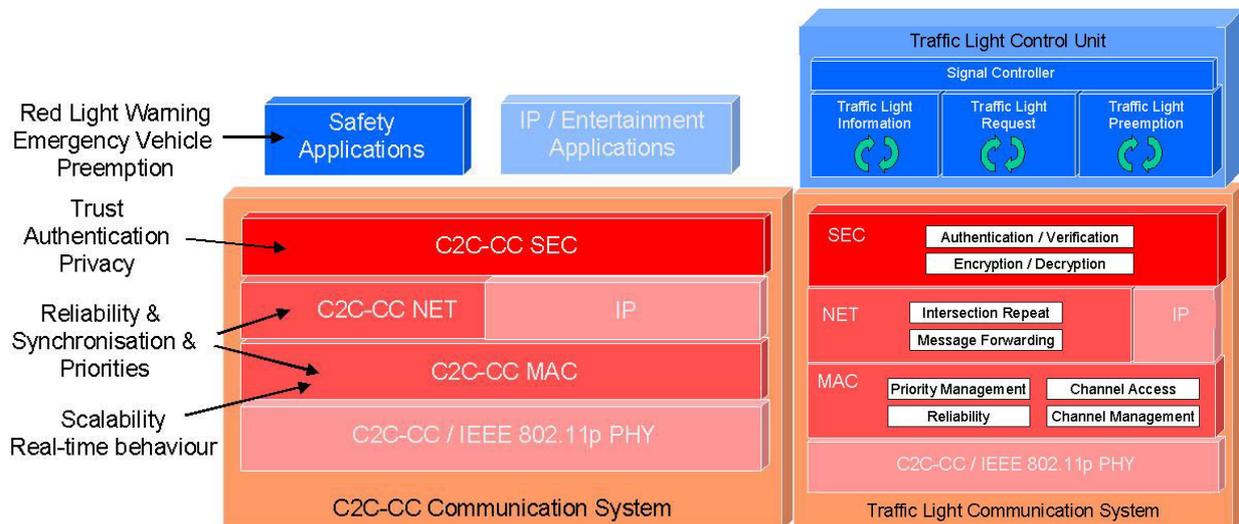


Abbildung 6: Kommunikationssystemarchitektur fahrzeug- und lichtsignalseitig

Eine spezielle Transport- und Netzschiicht und eine adaptierte IEEE802.11 WLAN Kanalzugriffsschiicht (MAC) stellen Routing- /Forwarding-, Zuverlässigkeits-, Synchronisierungs- und Priorisierungsfunktionalitäten zur Verfügung. Die Netzschiicht der Lichtsignalanlage hat für die Querverkehrsassistenz eine einfache Wiederholfunktion. Sie sendet Beacon-Pakete von Fahrzeugen erneut aus, um Abschirmungen durch Gebäude zu überbrücken. Die Datensicherheitskomponente beinhaltet Funktionen zur Berechnung von Hash-Codes (fingerprinting) und zur

Verschlüsselung mittels eines privaten Schlüssels (auch zur Authentifizierung), um Nachrichtenintegrität zu gewährleisten.

Das System ist installiert und wird getestet in einem Prototypen, der aus mobilen Lichtsignalanlagen besteht, an die ein Steuerrechner angeschlossen ist, der wiederum ein WLAN Funkmodul beinhaltet (siehe Abbildung 7). Testfahrzeuge sind ebenfalls mit Fahrzeugrechnern und integriertem WLAN Kommunikationsmodul ausgestattet. Zusätzlich sind die Fahrzeuge mit DGPS (Differential Global Positioning System) ausgestattet, um eine hochgenaue Eigenpositionierung durchführen zu können.

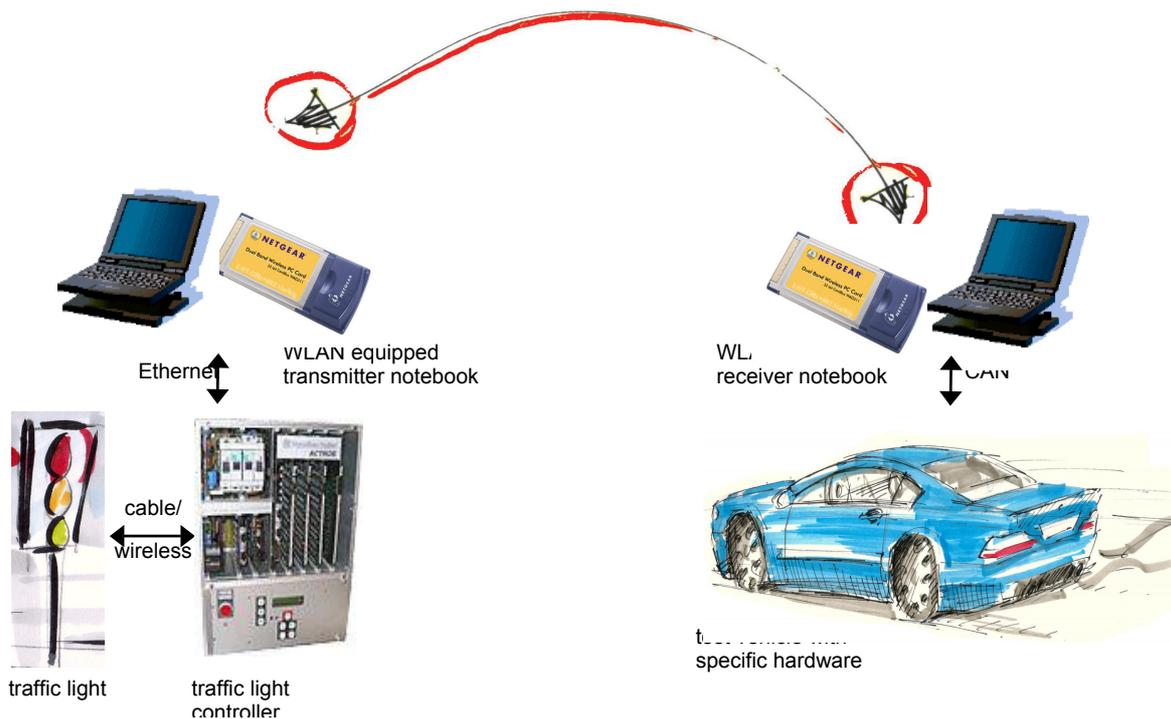


Abbildung 7: Prototypaufbau

7. Zusammenfassung

Der Artikel beschreibt die Erweiterung von Funktionalitäten der Kreuzungsassistenten um Mittel der digitalen drahtlosen Datenübertragung. Eine kommunikationsunterstützte Ampelannäherungsassistenten, Rotlichtüberfahrungsassistenten und Querverkehrsassistenten werden vorgestellt. Das Kommunikationssystem, mit speziellen Funktionen und Protokollen auf die Erfüllung der sich aus diesen Anwendungen ergebenden Anforderungen abzielend, ist in Versuchsträger integriert und dient der Erprobung neuer Kreuzungsassistentensysteme in laborartigen Tests.