

# Manöverprädiktion an innerstädtischen Knotenpunkten durch Exklusion alternativer Manöveroptionen

Claas Rodemer<sup>\*</sup>, Robert Kastner<sup>†</sup> und Hermann Winner<sup>‡</sup>

**Zusammenfassung:** Kollisionswarnsysteme für den Einsatz an innerstädtischen Knotenpunkten unterliegen allgemein der Problematik der unbekanntenen Fahrerhandlung. In diesem Beitrag wird eine Methode vorgestellt, die das vom Fahrer beabsichtigte Manöver anhand des Ausschlusses alternativer Manöver prädiziert. Vorteile dieser Vorgehensweise sind die Unabhängigkeit von der Qualität der Ortung und der Detaillierung des genutzten Kartenmaterials. Die mit dem gewählten Ansatz erreichbare Prädiktionsqualität wird anhand der Messdaten einer Probandenstudie im realen Straßenverkehr evaluiert und die Detektionsqualität analysiert.

**Schlüsselwörter:** Fahrerassistenzsysteme, Fahrerabsichtsdetektion, Manövervorhersage, innerstädtische Knotenpunkte.

## 1 Einleitung und Zielsetzung der Arbeit

Obwohl im Bereich des automatisierten Fahrens in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt worden sind, ist davon auszugehen, dass der Mensch als Fahrer mittelfristig für das Fahren in innerstädtischen Situationen unabdingbar ist. Dies ist sowohl in der im Vergleich zu außerstädtischen Verkehrssituationen höheren Komplexität als auch in den erschwerten Bedingungen der Umfeldwahrnehmung begründet. Unfallstatistiken zeigen, dass die Mehrheit der Unfälle innerorts mit Personenschäden an Knotenpunkten stattfindet und Unfälle hauptsächlich durch menschliches Fehlverhalten verursacht werden [1]. Bis auf wenige Ausnahmen [2], [3] sind bisher jedoch noch keine Systeme zur Unterstützung des Fahrers in diesen Situationen im Serieneinsatz. Die genannten existenten Systeme werten die aktuellen Positionen und Bewegungen der beteiligten Fahrzeuge aus und warnen vor drohenden Kollisionen mit den eigenen Fahrkorridor kreuzenden Verkehr. Eine Manöverprädiktion des Egofahrzeugs in der Annäherungsphase an den Knotenpunkt wird hier jedoch nicht durchgeführt, da der Systemeingriff erst bei unmittelbarer Kollisionsgefahr erfolgt. Dies liegt neben der in Kreuzungssituationen erschwerten Objektdetektion auch an der Problematik der unbekanntenen Fahrerabsicht. Je nach beabsichtigtem Manöver

---

<sup>\*</sup> Claas Rodemer ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt (rodemer@fzd.tu-darmstadt.de).

<sup>†</sup> Robert Kastner ist Section Leader Functions Technology, Automobile Functions and Material Technology, Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH, Carl-Legien-Strasse 30, 63073 Offenbach, (Robert\_Kastner@de.hrdeu.com).

<sup>‡</sup> Hermann Winner ist Leiter des Fachgebiets Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt, Otto-Berndt-Straße 2, 64287 Darmstadt (winner@fzd.tu-darmstadt.de).

des Fahrers sind verschiedene Objekte der Situation relevant, wie in Abbildung 1 dargestellt ist. Während z.B. entgegenkommende Verkehrsteilnehmer für ein Geradeausfahren oder Rechtsabbiegen des Egofahrzeugs auf Vorfahrtsstraßen irrelevant sind, müssen diese jedoch im Falle eines Linksabbiegens als potentielle Kollisionsobjekte betrachtet werden. Hierdurch verschlimmert sich der als Warndilemma bekannte Zielkonflikt zwischen einem frühen und potentiell stärker fehlerbehafteten und einem späten, aber weniger effektiven Warn- oder Eingriffszeitpunkt von Assistenzsystemen weiter.

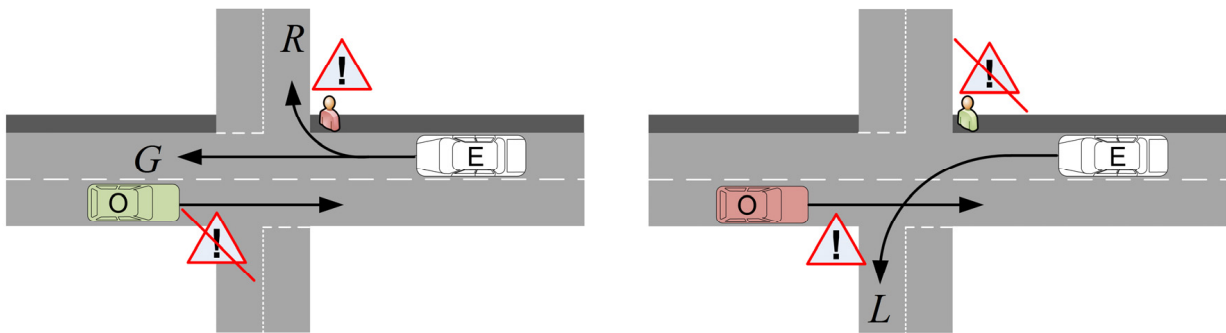


Abbildung 1: Einfluss der Fahrerabsicht.

## 1.1 Zielsetzung

Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist eine frühzeitige Prädiktion der Fahrerintention (Fahrerabsicht) und damit der Handlung des Fahrers des Egofahrzeugs auf Manöverebene (Rechtsabbiegen, Linksabbiegen und Geradeausfahren) bereits während einer Kreuzungsannäherung. Da sich menschliche Intentionen selbst nicht direkt über Sensorik bestimmen lassen, werden sie indirekt über eine Auswertung von beobachtbaren Parametern erfasst. Der in der Straßenverkehrsordnung vorgeschriebene Weg zur Äußerung von Abbiegeintentionen mittels des Fahrtrichtungsanzeigers wird in der Praxis nur teilweise angewendet. Feldstudien ermitteln eine durchschnittliche Nutzungsrate des Fahrtrichtungsanzeigers für Abbiegemanöver von lediglich 75 % [4]. Für eine Assistenzfunktionalität an Kreuzungen entscheidend ist weiterhin der Zeitpunkt der Manöverprädiktion. Je früher ein Manöver erkannt wird, umso mehr Zeit steht für eine potentielle Warnung zur Verfügung und entsprechend verlängert sich die für den Fahrer zur Verfügung stehende Reaktionszeit. Angestrebt wird daher eine Prädiktion des vom Fahrer auszuführenden Manövers, bevor dies initiiert wird und somit durch eine physikalische Richtungsänderung des Fahrzeugs erfassbar ist. In der diesem Beitrag zugrundeliegenden Forschungsarbeit wird insbesondere untersucht, welche im Fahrzeug mit Serien- bzw. seriennahen Sensoren messbaren Größen dazu geeignet sind, eine möglichst frühzeitige Manöverprädiktion an Knotenpunkten bei gleichzeitig geringen Falsch-Positiv-Raten auch ohne Verwendung des Fahrtrichtungsanzeigers zu ermöglichen. Hierfür wurde ein prototypisches System in einem Versuchsfahrzeug realisiert, mit dem eine Probandenstudie zur Datenerhebung durchgeführt worden ist. Neben den fahrdynamischen Daten wurden auch mittels Kamera- und Radarsensoren gewonnene Umfeldinformationen analysiert. Weiterhin wurde die Kopfpose der Fahrer erfasst und für die Manöverprädiktion ausgewertet.

## 2 Stand der Technik und Forschung

In der Literatur findet sich eine Vielzahl von Ansätzen zur Detektion unterschiedlichster Fahrerabsichten. Die Arbeiten unterscheiden sich zum einen bezüglich der detektierten Absichten und zum anderen in den dazu verwendeten Methoden. Diverse Ansätze leiten das vom Fahrer beabsichtigte Manöver aus der Beobachtung der zurückgelegten Trajektorie des Fahrzeugs [5], [6] oder aus einer Auswertung des Geschwindigkeitsverlaufs einer Kreuzungsannäherung her [7]. Weiterhin finden sich auch Ansätze, die auf der Verwendung hochgenauer Lokalisierungen und fahrstreifengenauen digitalen Karten basieren [8], [9]. In neueren Arbeiten wird zudem verstärkt der Fahrer selbst und sein Verhalten im Fahrzeug als zusätzliche Informationsquelle genutzt. Hier finden sich Methoden, die die Körperbewegung des Fahrers [10], [11] sowie seine Kopf- und Blickbewegung auswerten und zur Manöverprädiktion nutzen [12], [13].

Generell lassen sich die Ansätze in diskriminative Verfahren zur reinen Klassifizierung und generative Verfahren zur Klassifizierung und Ermittlung einer zugehörigen Wahrscheinlichkeit einteilen. Eine dementsprechend gestaltete aktuelle Übersicht von Arbeiten zur Fahrerabsichtsdetektion findet sich in [14].

Allen Arbeiten gemein ist der Ansatz, Messgrößen mit hinterlegten Werten oder Mustern zu vergleichen und somit die jeweils aktuelle Fahrerabsicht aus einer Auswahl von Alternativen durch die größte Übereinstimmung zu ermitteln. Solche Positiv-Detektionsansätze werden i.d.R. nur in bestimmten Situationen aktiviert und sind daher abhängig von der Qualität der Ortung und des genutzten Kartenmaterials. Insbesondere bei der Verwendung von Standard-Navigationskarten in Verbindung mit 1-Frequenz-GNSS Empfängern ergeben sich somit Lokalisierungsungenauigkeiten  $> 10$  m. In für die Lokalisierung ungünstigen Situationen, wie sie beispielsweise in Hochhausschluchten oder bei temporären Abweichungen zwischen der digitalen Karte und der realen Verkehrsführung auftreten, erhöhen sich die Abweichungen weiter. Hier werden vor allem Berechnungsmethoden, die das Verhalten in Abhängigkeit des Abstandes zu einem Bezugspunkt auswerten, vor große Herausforderungen gestellt. Da für den Serieneinsatz eines Systems zur Manövervorhersage nicht von der durchgängigen Verfügbarkeit aktueller und hochgenauer Kartendaten ausgegangen werden kann, verbleibt somit ein Unsicherheitsfaktor.

## 3 Exklusionsansatz

### 3.1 Konzept

Für den hier vorgestellten Ansatz zur Prädiktion des Fahrmanövers bei Erreichen eines Knotenpunktes wird auf die Nutzung einer hochgenauen Lokalisierung verzichtet. Um eine Unabhängigkeit von der Lokalisierungsgenauigkeit zu erreichen, wird ein Konzept entwickelt, das auf dem Ausschluss von alternativen Manövern beruht. Im Unterschied zu den im Stand der Technik beschriebenen Methoden ist hier also das Ziel nicht die Detektion eines Manövers anhand der größten Übereinstimmung, sondern die Exklusion alternativer Optionen.

So wird beispielsweise ein Rechtsabbiegen nicht direkt detektiert, sondern die alternativen Optionen Linksabbiegen und Geradeausfahren ausgeschlossen. Dieses Vorgehen hat gegenüber der Positiv-Detektion von Manövern weiterhin den Vorteil, dass bereits der Ausschluss einer Manöverooption einen Informationsgewinn darstellt. Während der Entfall einer Option bei ursprünglich drei Alternativen im Positiv-Ansatz noch zu keiner Detektion führt, lässt sich diese Information bei der Exklusion bereits nutzen um Falsch-Positiv-Warnungen von speziellen Funktionalitäten wie beispielsweise einer Linksabbiegeassistentenz zu unterdrücken.

Darüber hinaus unterscheidet sich das lokalisierungsunabhängige Exklusionskonzept dadurch von nur in Kreuzungsnähe aktiven Positiv-Detektionsansätzen, dass es dauerhaft aktiv ist und daher kontinuierlich Exklusionswahrscheinlichkeiten für die betrachteten Manöver berechnet.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Wahl des Bezugspunktes. Bei Positiv-Detektionsansätzen wird die aus einer digitalen Karte bekannte ortsfeste Position einer Kreuzung als Bezugspunkt genutzt, auf die sich das Fahrzeug über die Zeit zubewegt und somit seinen jeweiligen Abstand verkleinert ( $x_0 - x_2$  in Abbildung 2).  $R$  bezeichnet hier die errechnete Wahrscheinlichkeit für ein Rechtsabbiegemanöver,  $L$  die Wahrscheinlichkeit für ein Linksabbiegen und  $G$  die Wahrscheinlichkeit für ein Geradeausfahren. Entsprechend sind die Exklusionswahrscheinlichkeiten, also die Wahrscheinlichkeiten, dass ein Manöver nicht ausgeführt wird, mit  $\bar{R}$ ,  $\bar{L}$  und  $\bar{G}$  bezeichnet.

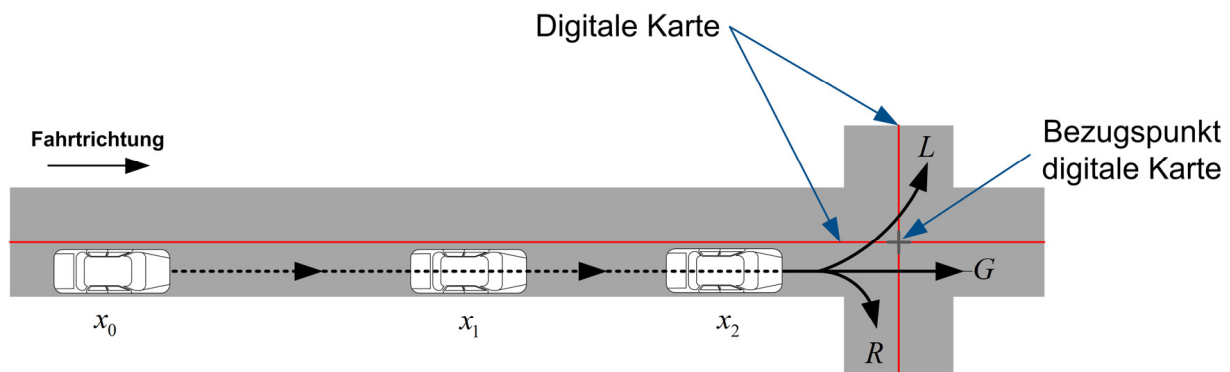


Abbildung 2: Positiv-Detektion.

Beim Exklusionskonzept dagegen ist das Egofahrzeug selbst der Bezugspunkt, unabhängig von seiner absoluten Positionierung. Es werden Ausschlusswahrscheinlichkeiten für jedes Manöver für verschiedene Prädiktionshorizonte  $s_i$  vor dem Ego-Fahrzeug berechnet. Die Aussagen der parallel in jedem Rechenschritt betrachteten Prädiktionshorizonte lassen sich als "Bugwelle" interpretieren, die das Ego-Fahrzeug vor sich her schiebt, wie in Abbildung 3 dargestellt ist.

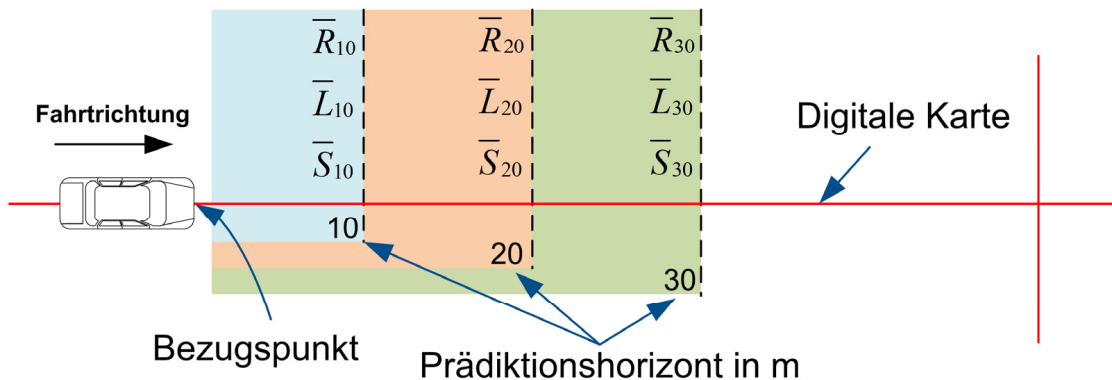


Abbildung 3: Exklusionsansatz.

### 3.2 Datenerhebung

Zur Untersuchung des vorgestellten Ansatzes ist ein Versuchsfahrzeug mit Messtechnik zur Erfassung der fahrzeuginternen CAN Bus Daten ausgerüstet worden. Weiterhin wurden ein stereokamerabasierter Headtracker, zusätzliche Radarsensorik und eine Frontkamera integriert. Somit ist das System in der Lage, mittels Seriensensorik im Fahrzeug messbare fahrdynamische Größen, Fahrereingaben, Daten der Fahrerkopfpose und Blickrichtung sowie aus der Umfeldwahrnehmung gewonnene Kontextinformationen für Manövervorhersagen zu nutzen. Umgebungsinformationen, die für die Manövervorhersage genutzt werden, sind hierbei die Existenz und Richtung benachbarter Fahrstreifen (in gleiche Richtung befahren oder entgegenkommend) sowie auf der Straßenoberfläche detektierte Richtungspfeile.

Das beschriebene Versuchsfahrzeug wurde in einer Probandenstudie zur Datenerhebung im realen Stadtverkehr mit 30 Teilnehmern (je 15 m/w, durchschnittliches Alter 43,3 Jahre) genutzt, die jeweils ca. 150 verschiedene Kreuzungen durchfahren haben. Die zu befahrende Strecke war hierbei für alle Probanden gleich und den Probanden vorgegeben.

Während der Datenaufzeichnung in der Probandenstudie wurde ein konventioneller GPS Empfänger mit Dead-Reckoning-Funktionalität genutzt, um anhand digitalen Kartenmaterials von OpenStreetMap [15] über MapMatching-Verfahren den aktuell verbleibenden Abstand bis zum Erreichen der nächsten Kreuzung sowie die dort gültige Vorfahrtsregelung zu ermitteln. Um die somit entstehende Lokalisierungsungenauigkeit zu berücksichtigen, wird der ermittelte Abstand lediglich in 10 m-Intervalle eingeteilt und zusammen mit den Messwerten gespeichert. Die in der Anfahrt auf die Kreuzungen gesammelten Daten werden zur Wahrscheinlichkeitsbestimmung der Manövervorhersagen genutzt. Um die Anwendbarkeit auf verschiedene innerstädtische Kreuzungstypen zu gewährleisten, wird eine Systematik zur Klassifizierung von innerstädtischen Kreuzungen bezüglich des vom Fahrer geforderten Verhaltens angewendet. Somit ergeben sich verschiedene Kreuzungsgruppen und auch die Streckenführung der Testroute. Aufgrund der Unterschiede, die sich durch die jeweils vom Fahrer geforderte Verhaltensweise ergeben, werden die Gruppen getrennt voneinander betrachtet.

### 3.3 Positiv-Detektionsansatz

Um die Leistungsfähigkeit des Exklusionsansatzes einordnen zu können, wird zunächst ein Positiv-Detektionsansatz untersucht. Das Vorgehen unterscheidet sich von im Stand der Technik und Forschung vorgestellten Ansätzen dadurch, dass aus den Messdaten Indikatoren gebildet werden, deren einzelne Ergebnisse zur Manövervorhersage kombiniert werden. Hierzu werden die Werte der Eingangssignale in Intervalle eingeteilt, für die jeweils eine Wahrscheinlichkeit für die Ausführung eines Manövers hinterlegt ist. Jeder Indikator beschreibt daher anhand der hinterlegten Häufigkeitsfunktion die Zugehörigkeit des Eingangssignals zu den Manöveroptionen Rechtsabbiegen, Linksabbiegen und Geradeausfahren. Dadurch, dass die Indikatoren die Transformation der Eingangssignale in Manöverwahrscheinlichkeiten durchführen, lassen sich mit dem beschriebenen Ansatz unterschiedlichste Arten sowohl kontinuierlicher als auch diskreter Informationen zu Gesamtmanöverwahrscheinlichkeiten kombinieren. Das beschriebene Vorgehen ermöglicht weiterhin die Integration von Kontextinformationen der Kreuzungssituation, wie beispielsweise den Typ und die Fahrstreifenzugehörigkeit von Richtungspfeilen auf der Straßenoberfläche, als auch die Erkennung charakteristischer Muster in Signalverläufen vor der Ausführung eines bestimmten Manövers [16]. Weiterhin zeichnet sich das Vorgehen durch eine hohe Variabilität aus, da ohne Veränderungen in der Struktur Indikatoren situationsabhängig hinzugefügt oder entfernt werden können und für verschiedene Vorfahrtsregelungen lediglich die hinterlegten Wahrscheinlichkeitsfunktionen umgeschaltet werden müssen.

Bei der Positiv-Detektion werden die Wahrscheinlichkeitsfunktionen ausschließlich anhand Daten gleicher Manöver und Kreuzungen derselben Gruppe errechnet. Somit werden beispielsweise für ein Rechtsabbiegen auch nur Rechtsabbiegemanöver genutzt und auf das Vorkommen bestimmter Merkmale (beispielsweise der Existenzhäufigkeit eines Wertes in einem bestimmten Wertebereich) durchsucht. Durch analoges Vorgehen für Linksabbiegemanöver und Geradeausfahrten stehen somit drei Wahrscheinlichkeitsfunktionen zur Verfügung.

### 3.4 Exklusionsansatz

Der Exklusionsansatz basiert auf dem gleichen Grundprinzip wie die oben beschriebene Positiv-Detektionsweise und verwendet ebenso Indikatoren, um aus Messwerten Manöverwahrscheinlichkeiten zu berechnen. Die Bildung der Indikatoren unterscheidet sich jedoch. Da das Ziel ist, die Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, dass ein Manöver  $M$  nicht in einem betrachteten Prädiktionshorizont ausgeführt wird, werden die Trainingsmengen der vorhandenen Daten aufgeteilt in die Gruppen  $M$  und  $\bar{M}$ .

Zum Ausschluss eines Rechtsabbiegemanövers werden daher beispielsweise die Messdaten sämtlicher Manöver der zugehörigen Kreuzungsgruppe wie folgt aufgeteilt: Eine Menge an Nicht-Rechts-Manövern  $N_{\bar{R}}$  (alle Geradeaus  $N_G$  und Linksabbiegemanöver  $N_L$ ) und die Menge aller Rechtsabbiegemanöver  $N_R$ . Analog zu diesem Vorgehen werden die Mengen  $N_{\bar{L}}$  und  $N_L$  sowie  $N_{\bar{G}}$  und  $N_G$  gebildet.

Durch diese Einteilung der jeweils drei Manöveroptionen in je zwei Gruppen  $M_i$  und  $M_{\bar{i}}$  entsteht eine ungleiche Anzahl an Einträgen pro Gruppe. Dieser Umstand muss

durch eine entsprechende Gewichtung mit dem Verhältnis der Größen beider Gruppen zueinander berücksichtigt werden.

Für jeden genutzten Indikator werden seine Eingangsdaten analog dem Vorgehen des Positiv-Detektionsansatzes in Intervalle unterteilt. Für die Gruppen  $M_i$  und  $M_{\bar{i}}$  werden daraufhin jeweils Auftretenshäufigkeiten  $n_i$  und  $n_{\bar{i}}$  der Eingangswerte pro Intervall der Größe aus den Daten der Probandenstudie ermittelt. Dies erfolgt für alle betrachteten Prädiktionshorizonte vor dem Fahrzeug und anhand der in der Datenaufzeichnung ermittelten Abstandsintervalle bis zum Erreichen der Kreuzung.

Die somit bekannten Häufigkeiten  $n_i$  und  $n_{\bar{i}}$  werden gemäß folgender Formel zu einer Exklusionswahrscheinlichkeit des betrachteten Manövers kombiniert:

$$ex_M = \frac{n_{\bar{i}}}{n_i + n_{\bar{i}}}$$

In dem Fall, dass die Gruppe  $M_i$  keine Einträge  $n_i$  für ein Eingangssignal innerhalb eines Intervalls enthält, die Gruppe  $M_{\bar{i}}$  dagegen schon, ergibt sich somit eine Exklusionswahrscheinlichkeit von 100 % für das Manöver  $M$ .

Beispielhaft sind in den Tabellen 1 - 3 die über die beschriebene Vorgehensweise ermittelten Ausschlusswahrscheinlichkeiten des Lenkradwinkelindikators dargestellt. Positive Werte resultieren aus einer Lenkraddrehung nach links und negative Werte aus einem Rechtseinschlag. Erwartungsgemäß nehmen die Ausschlusswahrscheinlichkeiten mit zunehmendem Prädiktionshorizont ab und nähern sich in einer Grenzwertbetrachtung jeweils einem Wert von  $p = 50\%$  an.

Tabelle 1: Wahrscheinlichkeitsverteilung für Manöver  $\bar{G}$ .

Lenkradwinkel $\delta$ \ Prädiktionshorizont	$\delta < -30^\circ$	$-30^\circ \leq \delta < 30^\circ$	$\delta \geq 30^\circ$
10 m	0,98	0,10	0,82
20 m	0,96	0,33	0,86
30 m	0,70	0,48	0,61

Tabelle 2: Wahrscheinlichkeitsverteilung für Manöver  $\bar{L}$ .

Lenkradwinkel $\delta$ \ Prädiktionshorizont	$\delta < -30^\circ$	$-30^\circ \leq \delta < 30^\circ$	$\delta \geq 30^\circ$
10 m	0,99	0,76	0,05
20 m	0,95	0,52	0,08
30 m	0,89	0,50	0,26

Tabelle 3: Wahrscheinlichkeitsverteilung für Manöver  $\bar{R}$ .

Prädiktionshorizont \ Lenkradwinkel $\delta$	$\delta < -30^\circ$	$-30^\circ \leq \delta < 30^\circ$	$\delta \geq 30^\circ$
10 m	0,01	0,90	1,00
20 m	0,03	0,66	0,89
30 m	0,11	0,51	0,73

Mit den bekannten Wahrscheinlichkeitsverteilungen  $\bar{R}$ ,  $\bar{L}$  und  $\bar{G}$  lässt sich für jeden Indikator anhand des aktuellen Wertes des Eingangssignals das Manöver mit der höchsten Exklusionswahrscheinlichkeit ausschließen. Aus obigem Beispiel resultieren somit für einen Lenkeinschlag nach rechts mit  $\delta < -30^\circ$  Exklusionswahrscheinlichkeiten für die nächsten 10 m Fahrstrecke von  $\bar{G}_{10} = 98\%$ ,  $\bar{L}_{10} = 99\%$  und  $\bar{R}_{10} = 1\%$ .

Zur Auswahl eines zu exkludierenden Manövers wird das Maximum der drei Werte des betrachteten Prädiktionshorizonts herangezogen, in dem Beispiel wird daher ein Linksabbiegen in den nächsten 10 m ausgeschlossen.

Erlauben wie im angegebenen Beispiel die Exklusionsraten eine sichere Aussage und liegt ein ausreichend großer Abstand zur Exklusionsrate des dritten Manövers vor, lässt sich auch das Manöver mit der zweithöchsten Exklusionswahrscheinlichkeit ausschließen. Somit verbleibt lediglich das Manöver mit der geringsten Exklusionswahrscheinlichkeit, welches das prädiizierte Manöver ist.

Dieses Vorgehen wird für die Evaluation des Ansatzes für jeden aufgezeichneten Zeitschritt der Messdaten ausgeführt und somit das Manöver mit der höchsten Ausschlusswahrscheinlichkeit für verschiedene Distanzhorizonte vor dem Fahrzeug bestimmt.

## 4 Ergebnisse

Zu Vergleichszwecken werden die Prädiktionsleistungen des Positiv-Detektionsansatzes und des Exklusionsansatzes gegenübergestellt. Hierzu wird ein Referenzzeitpunkt von 1 s vor Beginn des jeweiligen Manövers betrachtet. Der Beginn des Manövers wird wie folgt ermittelt [16]: Für Abbiegemanöver wird a posteriori aus der beim Abbiegen gefahrenen Bahnkurve mittels Gierrate und Lenkradwinkel deren Krümmung ermittelt. Die Krümmungsberechnung erfolgt ausschließlich über die fahrzeugeigene Sensorik und ist daher frei von Lokalisierungsungenauigkeiten. Der zugehörige Kurvenscheitelpunkt wird mittels Integration über die zurückgelegte Strecke bestimmt und ein 5 %iger Anteil der Strecke bis zum Erreichen des Scheitelpunkts als Referenzpunkt des Manöverbeginns herangezogen, auf den sich die nachfolgenden Werte beziehen. Da dieses Vorgehen prinzipbedingt nicht für Geradeausfahrten anwendbar ist, wird für diese Manöver der aus den Kartendaten entnommene Kreuzungsmittelpunkt verwendet. Zum Ausgleich der Lokalisierungsunsicherheit wird in der Evaluation pauschal eine Zeitspanne von  $t = 3$  s von dem Geradeaus-Referenzpunkt subtrahiert. Bei den hier betrachteten X-Kreuzungen ergeben sich 3 mögliche Manöver: Rechts- und Linksabbiegen sowie Geradeausfahren. Ein stochasti-



scher Ratevorgang würde daher bei einer hinreichend großen Anzahl eine Vorhersagewahrscheinlichkeit von 1/3 ergeben. Wird ausschließlich der gemäß oben beschriebenen Vorgehen auf der Ego-Geschwindigkeit basierende Geschwindigkeitsindikator zur Manövervorhersage genutzt, ergibt sich beim in Abschnitt 3.3 vorgestellten Positiv-Detektionsansatz lediglich eine Detektionsqualität von 38,4 % aller Manöver, die richtig vorhergesagt werden. Obwohl eine niedrige Geschwindigkeit intuitiv direkt mit einem Abbiegemanöver in Verbindung gebracht werden kann, gelingt aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Kreuzungsgeometrien die Unterscheidung zwischen Rechts- und Linkabbiegevorgängen nicht. Äußere Einflüsse, wie z.B. die Rotphase einer Lichtsignalanlage, tragen ebenfalls zu der schlechten Detektionsleistung bei. Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, erfolgt eine Evaluation des Exklusionsansatzes durch eine Auswertung des exkludierten Manövers zum gleichen Zeitpunkt. Der Exklusionsansatz ist hier in der Lage, ebenfalls ausschließlich unter Verwendung des Geschwindigkeitsindikators, in 79,2 % aller evaluierten Kreuzungsanfahrten 1 sec. vor Manöverbeginn eine der Manöveroptionen wahrheitsgemäß auszuschließen. Dies entspricht ca. doppelt so vielen richtigen Prädiktionen im Vergleich zum Positiv-Detektionsansatz. Beim Ausschluss zweier Manöver der drei Optionen verbleibt automatisch nur ein nicht exkludiertes Manöver, das auch das prädiizierte Manöver ist. Daher lässt sich die hier erreichte Prädiktionsrate von 56,8 % direkt mit den 38,4 % des Positiv-Detektionsansatzes vergleichen. Zu Vergleichszwecken ist in Tabelle 4 die Prädiktionsleistung verschiedener Indikatoren gegenübergestellt.

Tabelle 4: Prädiktionsleistung der Indikatoren 1 Sekunde vor Manöverbeginn.

Indikator	Prädiktionsleistung der Ansätze		
	Positiv-Detektionsansatz	Exklusion einer Option	Exklusion von 2 Optionen
Geschwindigkeit	38,4 %	79,2 %	57,6 %
Lenkradwinkel	47,3 %	79,5 %	46,3 %
Kopffrotation	47,5 %	82,6 %	54,6 %

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept der indikatorbasierten Exklusion wurde anhand beispielhaft ausgewählter Indikatoren implementiert und mit den Daten einer Probandenstudie evaluiert. Im direkten Vergleich zeigt sich ein deutlicher Vorteil zugunsten des Exklusionsansatzes bezogen auf den Wahrheitsgehalt der getroffenen Aussagen der Indikatoren. Bereits die Exklusion einer alternativen Option lässt sich als Informationsgewinn zur Unterdrückung von Falsch-Positiv-Reaktionen von Fahrerassistenzsystemen nutzen. Neben weitergehenden Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit des Ansatzes wird der Fokus zukünftiger Forschungsaktivitäten auf der Fragestellung liegen, inwiefern maschinelle Lernverfahren genutzt werden können, um die Exklusionsaussagen der einzelnen Indikatoren zu Gesamtaussagen zu verbinden.

## Literatur

- [1] L. Evans, "Comment: The Dominant Role of Driver Behavior in Traffic Safety," *American Journal of Public Health*, vol. 86, no.6, 1996.
- [2] "BAS PLUS with Cross-Traffic Assist," [http://techcenter.mercedes-benz.com/en/bas\\_plus\\_cross\\_traffic\\_assist/detail.html](http://techcenter.mercedes-benz.com/en/bas_plus_cross_traffic_assist/detail.html), Zugriff am 06.08.2015.
- [3] "Volvo Auto Brake," <http://www.multi-vu.com/mnr/71400582-all-new-volvo-XC90-safest-car>, Zugriff am 06.08.2015.
- [4] R. Ponziani, "Turn Signal Usage Rate Results: A Comprehensive Field Study of 12,000 Observed Turning Vehicles", SAE Technical Paper 2012-01-0261.
- [5] H. Berndt und K. Dietmayer, "Driver Intention Inference with Vehicle Onboard Sensors," *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES)*, 2009, S. 102–107.
- [6] A. Kurt, J. L. Yester, Y. Mochizuki und Ü. Özgüner, "Hybrid-State Driver/Vehicle Modelling, Estimation and Prediction," *Proc. IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, 2010, S. 806–811.
- [7] M. Liebner, F. Klanner, M. Baumann und C. Ruhhammer, "Velocity-Based Driver Intent Inference at Urban Intersections in the Presence of Preceding Vehicles," in *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, vol. 5, issue 2, 2013.
- [8] S. Lefèvre, J. Ibañez-Guzmán und C. Laugier, "Context-based Estimation of Driver Intent at Road Intersections," *IEEE Symposium on Computational Intelligence in Vehicles and Transportation Systems (CIVTS)*, Paris, France, 2011.
- [9] B. Tang, S. Khokhar und R. Gupta, "Turn Prediction at Generalized Intersections," *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Seoul, Korea, 2015, S. 1399–1404.
- [10] S. Y. Cheng und M. M. Trivedi, "Turn-Intent Analysis Using Body Pose for Intelligent Driver Assistance," in *IEEE Pervasive Computing*, vol. 5, issue 4, 2006.
- [11] A. Jain et al., "Know Before You Do: Anticipating Maneuvers via Learning Temporal Driving Models," *Cornell Tech Report*, 2015.
- [12] M. Liebner, F. Klanner und C. Stiller, "Der Fahrer im Mittelpunkt – Eye-Tracking als Schlüssel zum mitdenkenden Fahrzeug?," in *8. Workshop Fahrerassistenzsysteme (FAS2012)*, Walting, Deutschland, 2012, S. 87–96.
- [13] A. Doshi, M. Trivedi, "A comparative exploration of eye gaze and head motion cues for lane change intent prediction," *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Eindhoven, Niederlande, 2008, S. 49–54.
- [14] F. Klanner, M. Liebner, "Fahrerabsichtserkennung und Risikobewertung," in *Handbuch Fahrerassistenzsysteme*, 3rd ed., H. Winner et al. Springer, Berlin, Deutschland, 2015, S. 701–719.
- [15] "OpenStreetMap," <http://www.openstreetmap.org>, Zugriff am 06.08.2015.
- [16] C. Rodemerk, H. Winner und R. Kastner, "Predicting the Driver's Turn Intentions at Urban Intersections Using Context-based Indicators", *Proc. IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Seoul, Korea, 2015, S. 964–969.