



1 Einleitung

Der Verkehr auf den Straßen nimmt immer weiter zu. Alleine zwischen 2015 und 2016 wuchs die Anzahl der in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge um 1,7 % auf 54,6 Millionen [Sta17]. Neben anderen Ursachen führte diese Entwicklung dazu, dass die Gesamtfahrleistung in Deutschland im genannten Zeitraum um 1,8 % anstieg [Bun16] und die erfassten Stautunden sowie Staukilometer um gut 20 % zugenommen haben [ADA17].

Diese Daten können und müssen durch eine umfangreiche Verkehrsbeobachtung ermittelt werden, denn mit ihnen wird die nötige Basis für weiterführende Forschung im Verkehrsbereich gelegt. Zusätzlich zeigen diese Zahlen, wie wichtig es ist, den Verkehr kontinuierlich zu analysieren, um beispielweise den Bedarf des Straßenausbaus zu ermitteln.

Gleichzeitig zeigt der Anstieg der jährlichen Fahrleistung, dass es immer wichtiger wird, den Straßenverkehr zu beaufsichtigen und direkt steuernden Einfluss auf die Verkehrsströme zu nehmen. So können Verkehrsleitschilder bei dichtem Verkehr schneller eine Umleitung empfehlen und den Verkehrsfluss entsprechend lenken, um weiteren Stau zu vermeiden.

In dieser Arbeit werden aktuelle Möglichkeiten der automatisierten Verkehrsbeobachtung aufgezeigt. Der Straßenverkehr besitzt mehrere Merkmale, die mit einer solchen erfasst werden können und die für viele Applikationen zur Verfügung stehen müssen.



Eine von diesen Applikationen ist die Steuerung einer Lichtsignalanlage, so dass möglichst viele Fahrzeuge eine Kreuzung in möglichst kurzer Zeit passieren können und dementsprechend auch weniger Fahrzeuge warten müssen. Hier kann der Verkehrsfluss durch die Beobachtung des Verkehrs mit entsprechender Einflussnahme deutlich verbessert werden.

Die Radartechnik ist im Vergleich zu anderen Messsystemen sehr gut geeignet, um in einer Verkehrsbeobachtung benutzt zu werden. Ein Radarsensor misst zuverlässig und genau die Entfernung r , den azimutalen Winkel φ und die radiale Geschwindigkeit v_r von Zielen. Eine zusätzliche Stärke ist seine Allwetterfähigkeit. Viele andere Systeme haben Schwierigkeiten, bei Dunkelheit, Nebel, Regen oder Schnee weiterhin verlässliche Daten zu liefern und die Verkehrsbeobachtung und -steuerung auch unter solchen Bedingungen zu gewährleisten. Ein Radarsensor hingegen wird von den äußeren Wittereinflüssen nur geringfügig beeinflusst.

Da jedoch die Kreuzungen vor allem in großen Städten immer komplexer werden, ist es für den Trackingalgorithmus im Radarsensor auch bei guten Bedingungen eine Herausforderung, sämtliche Fahrzeuge in Kreuzungssituationen richtig zu verfolgen. Dies gilt insbesondere in Straßensituationen mit engen Kurvenbahnen.

Der Radarsensor selbst gewinnt, während er den Verkehr auf einer Kreuzung beobachtet, laufend Daten über die Position und die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge. Damit ist es möglich, Informationen über die Lage und Ausrichtung der Fahrspuren im Sichtbereich des Radarsensors zu gewinnen. Es wird dargestellt, wie diese Informationen über die Fahrspuren gewonnen werden, und untersucht, wie sehr das Tracking davon profitieren kann. Mit der Annahme, dass weitere Fahrzeuge denselben Fahrspuren folgen, kann das Tracking verbessert werden, so dass Radarobjekte auch in Kurvenfahrten besser verfolgt werden können.

Dieses ist hilfreich, um sämtliche Fahrzeuge in unterschiedlichen Verkehrssituationen mit dem Radarsensor zu erkennen und zu verfolgen. Durch diese Technik der Verkehrsbeobachtung sollen potentielle Stausituationen im Voraus erkannt und durch entsprechende Verkehrsleittechniken vermieden werden, um den Fahrzeugdurchsatz auf der Straße zu erhöhen.



2 Straßenverkehr

Laut Duden ist Verkehr die "Beförderung, Bewegung von Fahrzeugen, Personen, Gütern, Nachrichten auf dafür vorgesehenen Wegen". Dabei gibt es verschiedene Arten von Verkehr, wie den Schiffs-, Flug- und Straßenverkehr, wobei in dieser Arbeit nur auf den Straßenverkehr eingegangen werden soll. Die vorgesehenen Wege sind hierbei die Straßen, auf denen Fahrzeuge bewegt und Personen und Güter befördert werden.

2.1 Infrastruktur

Die im Straßenverkehr benutzte Infrastruktur umfasst die Verkehrswege, wie Straßen, Fahrradwege und Bürgersteige, sowie alle dazugehörigen Aufbauten. Eine Straße ist zunächst ein befestigter Verkehrsweg, welcher Fahrzeugen und Fußgängern zur Fortbewegung dient. Sie ist ein Teil des Verkehrsnetzes, welches durch Kreuzungen, Kreiseln, Übergänge, Tunnel und Brücken ergänzt wird. Zusätzlich gehören Verkehrszeichen, Leitplanken sowie Lichtsignalanlagen, die zur Regelung und Lenkung des Verkehrsflusses dienen, zur Infrastruktur des Straßenverkehrs. Darin eingeschlossen sind alle Arten von Masten, die zur Anbringung von Signalen oder Schildern dienen.



2.1.1 Straßen

Das Straßennetz für den überörtlichen Verkehr besteht in Deutschland aus Autobahnen, Bundes-, Land-, Kreis- und Gemeindestraßen. Diese haben, Stand 2013, insgesamt eine Länge von ca. 23.4 Tsd. km [Bun15]. Die meist befahrenen Straßen im deutschen Raum sind die Autobahnen, welche im Normalfall zwischen zwei und vier Fahrspuren zusätzlich zu einem Standstreifen je Richtung haben. Den Autobahnen folgen die Bundesstraßen, welche ebenso dem überregionalen Verkehr dienen und dabei maximal 3-spurig sind, dabei jedoch meist nur eine Fahrspur je Richtung besitzen. Die etwas weniger ausgebauten Landesstraßen überbrücken mehrere Landkreise, während die kleineren Kreisstraßen Orte innerhalb eines Landkreises miteinander verbinden. Der Großteil des Straßennetzes, gemessen an der gesamten Straßenlänge, indessen besteht aus Gemeindestraßen.

2.1.2 Kreuzungen

Der verkehrstechnische Begriff für die umgangssprachliche Kreuzung ist Knotenpunkt. Ein solcher befindet sich dort, wo sich Verkehrswege gleicher Bauart kreuzen. Kreuzungen sind die Knotenpunkte des Verkehrsnetzes, während die Straßen die Verbindungselemente sind. Je nachdem wie hoch das Verkehrsaufkommen an einer Kreuzung ist, muss an dieser Stelle der Verkehr geregelt werden. Wenn nur wenig Verkehr vorhanden ist, wird die Regelung durch Verkehrsschilder und/oder Verkehrsregeln, wie "rechts vor links", vorgenommen. Wenn die Kreuzung größer ist und ein entsprechend hohes Verkehrsaufkommen besitzt oder keine eindeutige Vorzugsrichtung hat, werden häufig Lichtsignalanlagen zur Regelung eingesetzt, welche umgangssprachlich als Ampeln bezeichnet werden. Je besser die Regelung der Lichtsignalanlage auf die äußeren Verkehrsbedingungen abgestimmt ist, desto besser ist der Verkehrsfluss.



2.2 Verkehrsteilnehmer

Als Verkehrsteilnehmer wird jede Person bezeichnet, die aktiv am Straßenverkehr teilnimmt. Unterschieden werden die Verkehrsteilnehmer hauptsächlich in Fußgänger und Fahrzeugführer. Fußgänger sind Personen, die am Verkehr teilnehmen und dabei keine Verkehrsmittel benutzen, während als Fahrzeugführer solche Personen gelten, die ein Verkehrsmittel zur Fortbewegung nutzen. Dazu gehören sowohl Fahrradfahrer als auch Fahrer von Kraftfahrzeugen jeglicher Art.

2.3 Modal Split

Ein Modal Split zeigt die Verteilung des Verkehrs auf verschiedene Verkehrsmittel. Er wird im Normalfall für den Personentransport und den Gütertransport getrennt berechnet.

Für den Personentransport zeigt der Modal Split die Verkehrsmittelwahl von Verkehrsteilnehmern, also die Verteilung von Personen auf die verschiedenen Verkehrsmittel. Diese hängt von den Gegebenheiten der Umgebung ab. So werden beispielsweise in Großstädten mehr Strecken mit dem öffentlichen Personennahverkehr zurückgelegt als auf dem Land und dort, wo die Infrastruktur Rücksicht auf Fahrradfahrer nimmt, steigt deren Anzahl. Zusätzlich ist die Verteilung natürlich auch jahreszeitenabhängig, da zum Beispiel im Sommer mehr Motorräder unterwegs sind. Dennoch gibt der Modal Split eine gute Übersicht, welche Verkehrsmittel wie häufig genutzt werden.

Innerhalb der EU legte im Jahr 2012 im Durchschnitt jede Person mit motorisierten Fahrzeugen 12 652 km zurück [Eur14]. Mit ca. 82 % davon entfällt der Großteil der Personenbeförderung auf verschiedene Straßenfahrzeuge, wie Kraftfahrzeuge, Motorräder und Busse.

Der Modal Split im Gütertransport zeigt auf, wie die Güter anhand ihrer Masse auf verschiedene Transportmöglichkeiten verteilt werden. Dabei wurden 2012 innerhalb der EU die geleisteten Tonnenkilometer auf 3 768 Mio. tkm geschätzt [Eur14]. Hiervon



entfielen ca. 45 % auf den Straßenverkehr, der dicht gefolgt vom Schiffsverkehr den größten Anteil am Gütertransport innerhalb der EU hat.

Dadurch, dass sowohl im Personen- als auch im Gütertransport der größte Anteil der Transportleistung auf den Straßenverkehr entfällt, wird eine Beobachtung des Straßenverkehrs immer dringender notwendig, um Kapazitätsengpässe rechtzeitig zu erfassen und beheben zu können.

2.4 Fahrzeugklassen

Sowohl im Güter- als auch im Personentransport wird der größte Anteil auf der Straße transportiert, wofür verschiedenste Fahrzeuge genutzt werden. In manuellen Zählungen können durch das menschliche Sehen eine sehr große Zahl verschiedener Fahrzeugklassen unterschieden werden. Um diese Fahrzeuge automatisch unterscheiden zu können, werden sie in verschiedene Klassen aufgeteilt. Nach [FN12] lassen die Klassifizierungsgruppen, in denen die Kraftfahrzeuge (Kfz) jeweils in fünf bzw. acht verschiedene Fahrzeugklassen getrennt werden, eine sehr detaillierte Unterscheidung der einzelnen Fahrzeuge zu. Die Einteilung dieser Klassen wird in Tabelle 1 gezeigt. Dieser Detailgrad wird mittels automatischer Unterscheidung nur von speziellen Messsystemen erreicht.

Klassifizierungsgruppen			
1	2	5+1	8+1
Kfz	Pkw-ähnlich	Nicht klassifizierbare Kfz	Nicht klassifizierbare Kfz
		Pkw-Gruppe	Motorrad
			Pkw
	Transporter		
	Lkw-ähnlich	Pkw mit Anhänger	Pkw mit Anhänger
		Lkw > 3,5t ohne Anhänger	Lkw > 3,5t ohne Anhänger
		Lkw > 3,5t mit Anhänger/Sattelzug	Lkw > 3,5t mit Anhänger
			Sattelzug
Bus	Bus		

Tabelle 1: Fahrzeugartenerfassung an Zählstellen nach Gerätetyp aus [FN12]



Die detaillierte Verteilung der Fahrzeugtypen an verschiedenen Orten in Deutschland lässt sich aus [FN12] entnehmen. Abbildung 1 zeigt die Verteilung des Verkehrs auf die verschiedenen Fahrzeugtypen an der A2 bei der Abfahrt Braunschweig-Flughafen, Stand 2012.

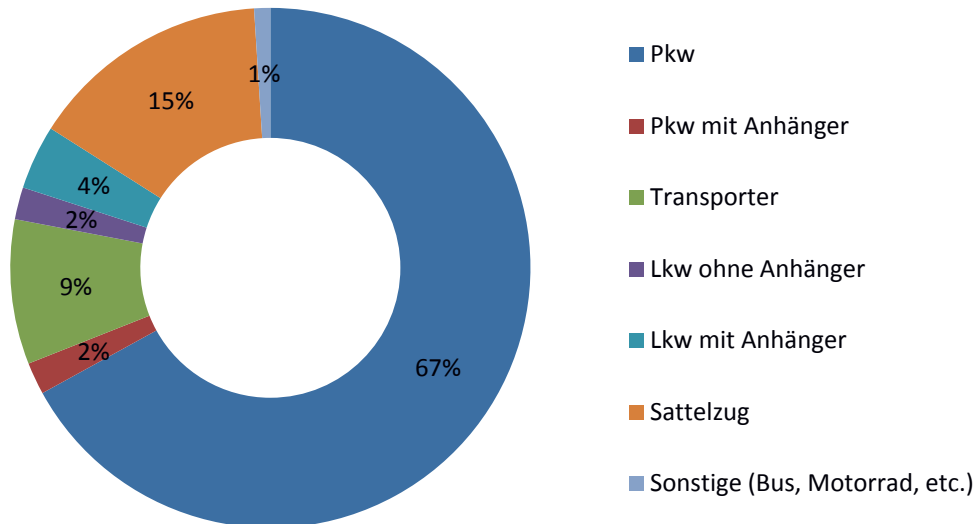


Abbildung 1: Verteilung des Verkehrs in verschiedene Fahrzeugtypen, gemessen auf der A2 an der Abfahrt Braunschweig-Flughafen im Jahr 2012 [FN12]



3 Verkehrsbeobachtung

In der automatischen Verkehrsbeobachtung werden Messungen durch verschiedene, wie in Abbildung 2 dargestellte Messsysteme durchgeführt, um verschiedenste Merkmale des Straßenverkehrs zu erfassen. Diese Merkmale liefern Informationen für weitergehende Anwendungen und Applikationen, welche im Straßenverkehr von Nutzen sein können.

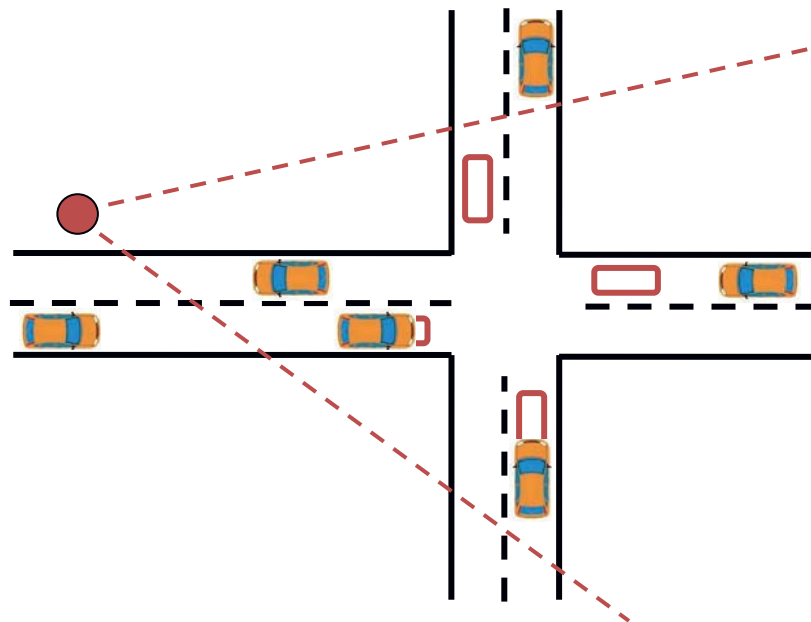


Abbildung 2: Unter Verkehrsbeobachtung stehende Kreuzung mit in Rot dargestellten Induktionsschleifen und einem neben der Straße angebrachten Messsystem



3.1 Merkmale

Um eine Aussage über den Zustand des allgemeinen Verkehrs oder einzelner Verkehrsteilnehmer treffen zu können, werden bei einer Verkehrsbeobachtung verschiedene Merkmale des Verkehrs erfasst.

Das grundsätzliche Merkmal für die Verkehrsbeobachtung ist die **Fahrzeugpräsenz**. Hierbei wird detektiert, ob sich an der beobachteten Stelle ein Fahrzeug befindet. Es gibt dabei Unterschiede, ob diese Präsenz bei bewegten oder stationären Fahrzeugen festgestellt werden soll. Erst wenn die Anwesenheit eines Fahrzeugs detektiert wird, können daraus weitere Merkmale abgeleitet werden.

Eines der am häufigsten genutzten Merkmale ist die **Anzahl der Fahrzeuge**, die eine bestimmte Stelle passieren. Sie wird bei vielen Verkehrszählungen bestimmt und gibt Aufschluss darüber, wie stark eine Straße belastet wird. Die Anzahl pro Zeiteinheit definiert die Verkehrsstärke, d. h. wie viele Fahrzeuge in einer bestimmten Zeit an der beobachteten Stelle vorbeifahren. Die Verkehrsdichte ergibt sich dahingegen aus der Anzahl der Fahrzeuge auf einer bestimmten Strecke [SL11]. So ist bei Stau auf einer Autobahn die Verkehrsdichte sehr hoch, aber die Verkehrsstärke sehr niedrig. Demnach kann hiermit der momentane Verkehrszustand bestimmt werden.

Daneben sind die **Position** und die **Geschwindigkeit** einzelner Fahrzeuge sowie des gesamten Verkehrs von Interesse. Die Position dient dazu, festzustellen, wo Fahrzeuge passieren, so dass beispielsweise eine Spurbelegung oder das Verhalten des Fahrzeugstroms in einer Baustelle erkannt werden kann. Die Geschwindigkeit gibt Aufschluss über die Verkehrsstärke sowie über die Verhaltensweise einzelner Verkehrsteilnehmer.

Zusätzlich ist die Art des Fahrzeuges, welches eine Beobachtungsstelle passiert, die sogenannte **Fahrzeugklasse**, von Interesse. Das Einordnen der Fahrzeuge in die in Abschnitt 2.4 dargestellten Klassen wird daher als Klassifikation bezeichnet.