



Holger Busche (Autor)
**Selbstorganisierende Fahrzeug-zu-Fahrzeug
Kommunikation**



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/6125>

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen,
Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>



Einleitung

Seit Erfindung des Automobils (Motorwagen) im Jahre 1886, in dem Carl Benz das erste Patent für ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor anmeldete [Mus04], wurde die Technologie eines Fahrzeuges ständig weiterentwickelt. Mit wachsender Technologie, welche sich durch kürzere Beschleunigungszeiten und immer höheren Geschwindigkeiten ausdrückte, stieg aber auch die Zahl der Unfälle mit Schwerverletzten und Toten immens [Bun11]. Erst 83 Jahre später, also 1969, wurde das Antiblockiersystem (ABS) auf der Internationalen Automobilausstellung vorgestellt. Sieben Jahre darauf, im Jahre 1976, folgte die bundesweite Gurtpflicht [Mös02]. Dies war der Beginn eines neuen Sicherheitsdenkens im Automobil und sollte die Zahl der Verkehrstoten deutlich reduzieren. Die treibende Kraft bei der Entwicklung des Automobils war der Wunsch, große Entfernungen möglichst schnell zu überwinden. Hierfür wurde viel Entwicklungsarbeit zur Steigerung der Beschleunigungskraft und Geschwindigkeit eines Fahrzeuges investiert. Dieser Trend sorgte dafür, dass schon bald der Sicherheitsgurt nicht mehr ausreichenden Personenschutz bei einem Unfall gewährleistete. Mit ABS verbesserte sich die Spurtreue und Lenkbarkeit des Automobils, besonders bei bestimmten Witterungsbedingungen. Ende 1980 wurde der Airbag zur Serienreife entwickelt [Rie10] und sollte Kopfverletzungen bei einem Auffahrunfall reduzieren oder gar vermeiden. Der Höhepunkt der Entwicklung passiver Sicherheitssysteme wurde 1995 mit der Einführung des Elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) erreicht. Diese Technologie basiert auf der ABS Technik und verhindert ein Ausbrechen des Fahrzeughecks nach schneller Lenkbewegung. Die nach der Historie vorgestellten Sicherheitsprinzipien werden als passive Systeme, bzw. ABS und ESP als semi-passives System, bezeichnet, welche in den

seltensten Fällen Unfälle vermeiden können. So zeigt das Statistische Bundesamt, dass in den letzten 17 Jahren die Anzahl von Straßenverkehrsunfällen nahezu konstant geblieben ist, während gleichzeitig die Anzahl von Getöteten bei einem Verkehrsunfall seit 1991 um 40 % gesunken ist [Bun11]. Ziel ist es, die Fahrzeugtechnologie und Infrastruktur so weiterzuentwickeln, dass eine weitere Reduzierung von Verkehrsunfällen erreicht wird. Dieses kann nur durch aktive Systeme, die direkt in das Fahrverhalten eingreifen und gegebenenfalls manipulieren, erreicht werden. Die Fahrzeugtechnik allein kann das sichere Fahren auf den Straßen nicht gewährleisten. Insgesamt tragen vier Parameter wesentlich zur Verkehrssicherheit bei: Das Verhalten des Verkehrsteilnehmers, die Infrastruktur, das Rettungswesen und die Fahrzeugtechnik. Gesucht werden also aktive Assistenzsysteme, die diese Parameter mitbeeinflussen. Seit 1998 kommt das *Adaptive Cruise Control* (ACC) System im Fahrzeug zum Einsatz. In Verbindung mit *Light Detection and Ranging* (LIDAR) oder *Radio Detection and Ranging* (RADAR) Sensoren kann der Abstand zu einem voraus fahrenden Fahrzeug ständig kontrolliert werden. Das ACC System kann deswegen als ein aktives System bezeichnet werden, weil beispielsweise die Fahrzeuggeschwindigkeit adaptiv zum Verkehrsfluss gesteuert werden kann. Dadurch lässt sich aktiv ein Auffahrunfall vermeiden.

Die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation beschreibt ein weiteres aktives Fahrerassistenzsystem, welches durch drahtlose Datenkommunikation zwischen den Fahrzeugen das Fahrverhalten und dadurch den Verkehrsfluss beeinflussen kann. Das in dieser Arbeit vorgestellte Selbstorganisierende Verkehrsinformationssystem kann drei Parameter zur Verkehrssicherheit beeinflussen. Dieses System basiert auf der Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation mit der Bezeichnung *Self-Organizing Traffic Information System* (SOTIS). Über einen direkten Datenaustausch zwischen den Fahrzeugen werden nahezu verzögerungsfrei relevante Verkehrsdaten übertragen. Dadurch, dass beim SOTIS System die Fahrzeuge über Fahrspuren und -richtungen hinweg Verkehrsnachrichten übertragen, werden auch Kommunikationslücken zwischen den Fahrzeugen überbrückt. Das heißt,

einzelne Fahrzeuge transportieren die Verkehrsnachrichten in Richtung des Gegenverkehrs weiter, bis ein Kommunikationspartner gefunden wird.

Der wesentliche Vorteil von SOTIS gegenüber herkömmlichen Verkehrsinformationssystemen ist, dass keinerlei Kommunikations-Infrastruktur notwendig ist, um relevante Verkehrsnachrichten zu verbreiten. Jedes Fahrzeug agiert als mobiler Sensor und sammelt selbständig Verkehrsdaten, welche z.B. über externe Schnittstellen zur Fahrzeugelektronik bereitgestellt werden. Die Übertragung von Verkehrsnachrichten wird über die SOTIS Komfortapplikation realisiert und die Übertragung von sicherheitsrelevanten Daten wird über die SOTIS Sicherheitsapplikation realisiert. Über standardisierte Datenpakete können so gleichzeitig Verkehrsnachrichten und Notfallberichte (*Emergency reports*) übertragen werden. Erste Ergebnisse haben gezeigt, dass schon bei niedriger SOTIS Fahrzeugausstattungsrate von 5 % ein gewinnbringender Nutzen erzielt wird [RB09a]. Unter diesen Bedingungen kann eine Verkehrsnachricht mit einer höheren zeitlichen Aktualität empfangen werden als heutige Radionachrichten bzw. *Traffic Message Channel* (TMC) Systeme dies leisten können. Dieses Ergebnis zeigt den großen Nutzen schon während einer Einführungsphase des SOTIS Systems, in der nur wenige Fahrzeuge mit einer Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation ausgestattet sein werden.

In einem Fahrzeug, welches mit der SOTIS Technologie ausgestattet ist, werden die empfangenen Verkehrsnachrichten über die Komfortapplikation dem Fahrer präsentiert. Der Fahrer kann, mit der ihm übermittelten Verkehrsnachricht entsprechend, sein Fahrverhalten anpassen. Indem eine neue Start-Ziel-Straßenroute abgefahren wird, können so längere Wartezeiten in Staus vermieden werden. Das führt zu einer schnelleren Auflösung von Verkehrsverstopfungen, wenn mehrere Verkehrsteilnehmer diese Entscheidung treffen. Mit höheren Fahrzeugausstattungsraten ist es denkbar, dass über die Informationen in einem SOTIS Datenpaket das Beschleunigen und Abbremsen eines Fahrzeuges adaptiv gesteuert wird. Das Ziel ist eine optimale Anpassung des Verkehrsflusses. Die SOTIS Sicherheitsapplikation wird ausgelöst, wenn ein Fahrzeug in einen Verkehrsunfall gerät. Nahezu verzögerungsfrei wird dann ein *Emergency Report*

übertragen. Nachfolgende Fahrzeuge werden so über den Unfall vor ihnen gewarnt und können dann rechtzeitig darauf reagieren. Ein automatisiertes Einleiten einer Bremsung wäre auch möglich, um weitere Auffahrunfälle zu vermeiden. Über die *Emergency Reports* können auch Rettungskräfte in kürzester Zeit informiert werden.

Im ersten Teil dieser Arbeit werden unterschiedliche drahtlose Verkehrsinformationssysteme vorgestellt. Unterschieden wird dabei zwischen der drahtlosen Kommunikation zwischen Fahrzeugen (Fahrzeug-zu-Fahrzeug) oder zwischen Fahrzeugen und einer zentralen Kommunikationsstation (Fahrzeug-zu-Infrastruktur). Es werden deren Vor- und Nachteile im Bezug auf Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikationssystemen diskutiert. Des Weiteren werden die Vorteile einer selbstorganisierenden Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation herausgestellt.

Im nächsten Abschnitt wird das selbstorganisierende Fahrzeug-zu-Fahrzeug Verkehrsinformationssystem (SOTIS) näher untersucht. Zur Bestimmung der benötigten SOTIS Systembandbreite wird zunächst, auf Basis der Verwendung einer digitalen Kommunikationstechnik, die Datenpaketgröße ermittelt. Die Datenpaketgröße bestimmt sich aus den zu übertragenden Inhalten und einem Paket-Header. Die Leistungsfähigkeit des SOTIS Systems wird durch die Verzögerungszeit zwischen räumlich entfernt liegender Verkehrsnachricht und Empfänger bewertet.

Der Nutzen eines Verkehrsinformationssystems steigt mit wachsender zeitlicher Aktualität der Nachrichten. Ziel des SOTIS Verkehrsinformationssystems ist die Verbreitung von Verkehrsnachrichten aus großer räumlicher Entfernung, zwischen Fahrzeug und Ort der Verkehrsbehinderung, mit hoher zeitlicher Aktualität. Hierzu werden die entfernungsabhängigen Verzögerungen, die ein SOTIS Datenpaket zur Übertragung benötigt, untersucht. Dabei gilt, je geringer die Verzögerung, desto aktueller die Verkehrsnachricht. Die Verzögerungszeit berechnet sich aus der Anzahl von kommunikationsfähigen Fahrzeugen auf der Straße. Zunächst werden hierfür die Verzögerungszeiten bei einer geringen Ausstattungsrate von 1-5 % berechnet. In diesem Fall wird der Funkkanal nur sehr gering

ausgelastet sein, weil nur wenige Fahrzeuge Datenpakete übertragen. Die Berechnungen zeigen, dass auch bei einer geringen Ausstattungsrate Verkehrsnachrichten aus 50 km Entfernung mit einer mittleren Verzögerungszeit von weniger als 10 Minuten empfangen werden können. Die erzielten analytischen Ergebnisse werden in Computersimulationen überprüft. Die Simulation berücksichtigt die Fahrzeugbewegungen anhand eines *Cellular Automaton* Bewegungsmodells mit exponentialverteilten Fahrzeugabständen. Auch der Funkkanal wird durch geeignete Modelle nachgebildet.

Mit wachsender Anzahl von Fahrzeugen, welche ein SOTIS Kommunikationssystem besitzen, wird auch der Kommunikationskanal stärker ausgelastet oder gar überlastet sein. Unter diesen Bedingungen wird ein selbstorganisierendes Kanalzugriffsverfahren notwendig, um SOTIS Datenpakete koordiniert versenden zu können. Mit diesem Mechanismus werden Paketkollisionen vermieden. Grundlage der Untersuchung ist einerseits das ALOHA und andererseits das *Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance* (CSMA/CA) Kanalzugriffsverfahren. Bei ALOHA überträgt ein Funkknoten ein Datenpaket direkt, ohne den Übertragungskanal zu beobachten. Beim CSMA/CA stellt ein Fahrzeug seine Datenübertragung zurück, falls der Kommunikationskanal von einem anderen Teilnehmer belegt wird. Zur Bewertung wie stark der Übertragungskanal unter CSMA/CA ausgelastet wird, wird auf analytischem Wege die Kanalauslastung und der Datendurchsatz berechnet. Die Herleitungen erfolgen über den Ansatz einer reinen *broadcast*-Kommunikation und präsentieren dadurch eine neuartige Lösung. Die analytischen Ergebnisse werden in Computersimulationen verifiziert. Die Differenzierung der Begriffe Kanalbelegung und Kanalauslastung wird in dieser Arbeit erstmalig beschrieben. Die Kanalauslastung dient zur Beschreibung der effektiven Ausnutzung des Kommunikationskanals und die Kanalbelegung beschreibt die Anzahl von vorhandenen Funkknoten.

Unter Berücksichtigung einer flächendeckenden SOTIS Ausstattung steigt die Kanalauslastung mit einem Anwachsen der Kanalbelegung. Die physikalische Funkschnittstelle gibt die Limitierung der Datenrate vor, die bei einer hohen Kanalauslastung erreicht oder überschritten wird. Die Auswirkung zeigt sich durch

einen Anstieg der CSMA/CA Kanalzugriffsverzögerungen und Paketkollisionen. Dann können SOTIS Datenpakete aus größeren Entfernungen nur verspätet empfangen werden. Hierzu werden zwei neuartige Verfahren zur Steuerung der Kanalauslastung untersucht. Ziel ist es, eine erhöhte Kanalauslastung durch Steuerung der Sendeleistung zu kontrollieren.

Gesucht wird ein möglichst robustes und selbstorganisierendes Verfahren zur Steuerung der Sendeleistung. Für zwei unterschiedliche Verfahren zeigt sich, dass in beiden Fällen die Kanalauslastung gesenkt werden kann. Dies bewirkt eine Reduzierung der SOTIS entfernungsabhängigen Nachrichtenverzögerung auch bei hoher Kanalbelegung.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in Computersimulationen überprüft und die Ergebnisse in einer Zusammenfassung erläutert.

II

Verkehrsinformationssysteme

Verkehrsnachrichten sollen einerseits aktuelle Stausituationen aber auch den momentanen Verkehrsfluss auf Autobahnen und Bundesstraßen anzeigen. Die lokal vorliegende Verkehrssituation innerhalb eines Straßensegments wird durch die gefahrene mittlere Geschwindigkeit charakterisiert.

In konventionellen Verkehrsinformationssystemen kommen Straßensensoren wie z.B. Überkopf-, Seitenstreifen- und Unterflurdetektoren bzw. Induktionsschleifen zum Einsatz, mit denen einerseits die jeweils lokal gültige Fahrzeugmenge und andererseits die mittlere Geschwindigkeit gemessen werden [Bas10]. In einem zentral organisierten Verkehrsinformationssystem werden die so gemessenen und jeweils lokal gültigen mittleren Geschwindigkeiten in einer Situationsanalyse ausgewertet. Die gemessenen Geschwindigkeiten werden zu einer Verkehrsnachricht aufbereitet und über Rundfunksysteme an die Verkehrsteilnehmer versendet. Allerdings kann die Verkehrssituation einfacher und zuverlässiger ermittelt werden, wenn Fahrzeuge die messtechnische Aufgabe selbst übernehmen. Durch Sensoren im Fahrzeug lässt sich die eigene Geschwindigkeit messen und in Verkehrsnachrichten verpacken. Über eine drahtlose Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation können die individuell gemessenen Geschwindigkeiten und die aktuellen Verkehrsnachrichten so direkt in jedes Auto übertragen und dort ausgewertet werden.

In diesem Kapitel werden unterschiedliche Verkehrsinformationssysteme und deren Funktionsweise beschrieben. Ziel ist es, die Einfachheit und die hohe Zuverlässigkeit eines Systems bestehend aus fahrzeugbasierten Sensoren, zur Messung des Verkehrsflusses, herauszustellen. Indem jedes Fahrzeug die Ver-

kehrsnachrichten über eine drahtlose Kommunikation an andere Fahrzeuge überträgt, entsteht ein fahrzeugbasiertes Kommunikationsnetz. Im Bereich der Forschung und Entwicklung beschäftigt man sich mit zwei Untergruppen von Kommunikationsnetzen. Die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation, in der Fahrzeuge über ein Kommunikationsmodul direkt miteinander kommunizieren und die Fahrzeug-zu-Infrastruktur Kommunikation, die für die Kommunikation zwischen einem Fahrzeug und einer Infrastruktur, z.B. Ampeln, Verkehrsschilder oder anderen Modulen steht. Oft werden diese beiden Untergruppen in dem Begriff Fahrzeug-zu-X Kommunikation zusammengefasst. Ziel ist es, über diese Kommunikationswege detaillierte Informationen über die Verkehrslage aus der lokalen Umgebung zu erhalten und zu verbreiten.

Dabei werden in der Telekommunikations- und Automobilindustrie unterschiedliche Ansätze zur Datenerfassung verfolgt. Einerseits kann eine Datenerfassung von aktueller Verkehrsinformation fahrzeugseitig stattfinden oder andererseits infrastrukturseitig. Im Projekt AKTIV-CoCar [Bu09] wurde eine Studie durchgeführt, in der zellulare Mobilfunktechnologien für zukünftige kooperative Fahrzeuganwendungen eingesetzt werden. Die Datenerfassung findet im Fahrzeug statt und die gewonnenen Informationen werden dann über das zellulare Netzwerk an einen zentralen Informationsdienst übermittelt. Dies ist eine reine Fahrzeug-zu-Infrastruktur Kommunikation, und sie ist zentral organisiert. In einem weiterführenden Projekt AKTIV-CoCarX [Bu09] werden Mobilfunktechnologien der 4. Generation und eine Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation, basierend auf dem WLAN Standard IEEE 802.11p, zur Optimierung des Systemverhaltens untersucht. Weitere Projekte wie NoW-Network on Wheels [FNS⁺08] und PRE-DRIVE C2X [Sch10] befassen sich mit der Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation und der Fahrzeug-zu-X Kommunikation mit einem hybriden Kommunikationsprotokoll. Hier werden Verkehrsdaten nicht unter Verwendung von zellulärer Mobilkommunikation verbreitet, sondern jedes Fahrzeug besitzt ein WLAN Kommunikationsmodul, mit dem es lokal mit anderen Fahrzeugen oder der Infrastruktur Daten austauscht. Das Projekt SIM^{TD} [Wei11] befasst sich weiterführend mit den erzielten Ergebnissen aus den vorausgegan-

genen Forschungsprojekten und bringt diese zur Anwendung. Die Europäische Kommission hat mittlerweile ein EU-weit einheitliches Frequenzband für die Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation mit einer Bandbreite von 30 MHz im 5,9 GHz-Band reserviert. Damit soll eine einheitliche Grundlage für die Fahrzeug-zu-X Kommunikation geschaffen werden. Der amerikanische Verband IEEE hat sich auch mit der Standardisierung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation befasst und die Kommunikationsschnittstelle in einem vorläufigen WLAN Standard mit der Bezeichnung IEEE 802.11p festgehalten. Der Vorteil besteht darin, dass auch dieser Standard im 5,9 GHz Frequenzbereich spezifiziert ist, und somit eine Kompatibilität zu dem europäischen Verfahren gewährleistet ist.

2.1 Zentral organisierte Verkehrsinformationssysteme

Die Koordinierung des Straßenverkehrs ist eine klassische Aufgabe der Verkehrstelematik. Bei zentral organisierten Systemen wird hier zwischen unidirektionalem und bidirektionalem Verhalten unterschieden. Dabei ist entscheidend, dass Verkehrsdaten z.B. Fahrzeuggeschwindigkeiten bei konventionellen Systemen an zentralen Straßenpunkten aufgezeichnet werden. Bei bidirektionalen Systemen übernimmt das Fahrzeug die Rolle eines mobilen Sensors, der während seiner Fahrt die Geschwindigkeiten misst. In beiden Systemen werden die Verkehrsdaten an einen zentralen Funkmast übertragen und von dort an eine Verkehrsinformationzentrale weitergeleitet. Das heißt, die aufgezeichneten Daten werden sowohl zentral verwaltet als auch an einen zentralen Knotenpunkt übertragen.

2.1.1 Unidirektionales Kommunikationssystem

Bei dem unidirektionalen System wird der Verkehrsfluss über Verkehrsdatenerfassungssysteme, wie z.B. Straßensensoren oder Kameraüberwachung, aus dem fließenden Verkehr gewonnen [Bas10]. Abbildung 2.1 zeigt beispielhaft das betrachtete Verkehrsinformationssystem. Über die gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeiten lässt sich die zeitliche Dauer, mit der ein Fahrzeug einen Strecken-

abschnitt durchfahren kann, abschätzen. Die gewonnenen Daten werden in einem zentralen Verkehrsinformationszentrum gesammelt. Zur Erstellung einer Verkehrsmeldung werden die gemessenen Werte und Daten aus anderen Quellen, z.B. Polizeifunk und ADAC, zusammengefasst. Die aufgezeichneten Daten werden von der Verkehrsleitzentrale zur Steuerung des Verkehrsflusses über Beeinflussungs- und Zuflussregelungsanlagen genutzt.

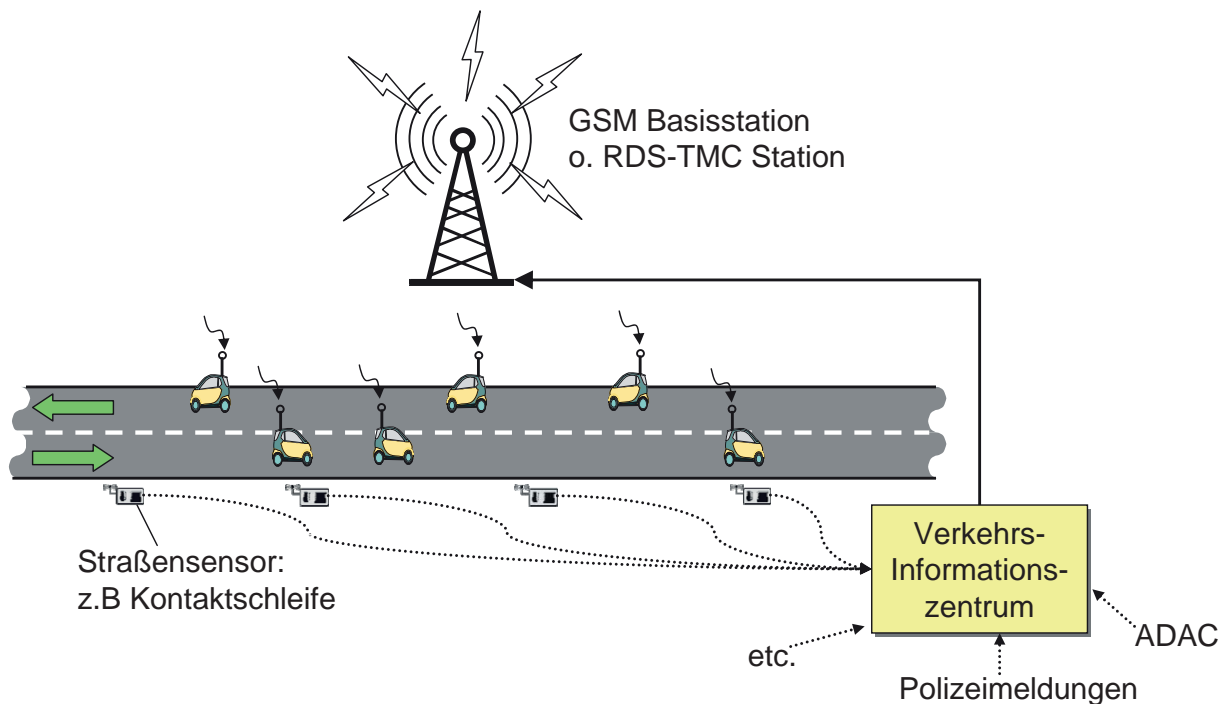


Abbildung 2.1: Unidirektionales Kommunikationssystem

Über ansteuerbare Verkehrsschilder kann der Verkehrsfluss homogenisiert werden und Staus lösen sich schneller auf. Radiostationen übertragen die Verkehrsmeldungen, um den Fahrzeughalter noch vor Erreichen des Staus zu warnen. Der Fahrzeughalter erfährt so von einem Verkehrsstau, indem er kontinuierlich die Radionachrichten verfolgt.

Erweiterte Technologien wurden durch das *Radio Data System* (RDS) mit dem *Traffic Message Channel* (TMC) eingeführt [KM99]. Bei TMC werden die gesammelten Verkehrsnachrichten parallel zum Rundfunk über den Radiokanal übertragen und lassen sich so über eine TMC-Funkschnittstelle empfangen.

Es werden immer nur Datenpakete mit einzelnen Verkehrsnachrichten gesendet. Flächendeckende Verkehrsinformationen über eine ganze Straße stehen dem Fahrer somit nicht zur Verfügung.

Dieses System ist veraltet und deckt längst nicht den gesamten Straßenverkehr ab. Das Automobil ist nur ein passiver Konsument der Verkehrsmeldungen, denn es trägt weder zur Datensammlung noch zur Verbreitung von Verkehrsinformationen bei. Schon Anfang der 2000er Jahre kamen neue Verbreitungsmedien über GSM, DAB oder UMTS hinzu. Verbessert wurde immer die Zugänglichkeit zu den Verkehrsnachrichten, nicht aber die Quellen dieser Nachrichten. Denn bisher konnten nur Verkehrsnachrichten dort gesammelt werden, wo auch Sensoren vorhanden sind. Das beschränkt sich wesentlich nur auf Autobahnen. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Verkehrsnachrichten auch nur dort empfangen werden können, wo eine Infrastruktur zur Funkkommunikation vorhanden ist.

2.1.2 Bidirektionales Kommunikationssystem

In Abbildung 2.2 wird ein zentrales Verkehrsinformationssystem mit bidirektionaler Kommunikation zwischen mehreren Mobilfunk-Basisstationen und Fahrzeugen gezeigt. In diesem System werden Mobiltelefone genutzt, um Ortsveränderungen bzw. Geschwindigkeiten zu messen. Befindet sich ein Nutzer mit einem Mobiltelefon in einem fahrenden Fahrzeug, so überschreitet das Fahrzeug dabei die Grenzen zwischen verschiedenen Funkzellen, in deren Mitte je eine Basisstation steht. Weil sich Mobiltelefone bei jedem Wechsel der Funkzelle bei der alten Zelle ab- und bei der neuen anmelden, dokumentieren sie ihre Ortsveränderung [Sch07]. Der Durchmesser der Funkzellen beträgt, je nach Region, einige Hundert Meter bis zu rund zehn Kilometer. Der Abstand zwischen Mobiltelefon und Funkmast lässt sich dann durch die Laufzeit des Funksignals bestimmen. Ein weiterer Indikator zur Lokalisierung des Fahrzeugs, ist die verwendete Sendeleistung des Mobiltelefons. Jedes Mobiltelefon misst ständig die Stärke des Funksignals, das von jedem der angepeilten Masten empfangen wird, und sendet den Messwert an die Antennen zurück. Durch Vergleichen der Messwerte

mit Karten, in denen die Signalstärken verzeichnet sind, lässt sich ein Mobiltelefon so genauer lokalisieren. Mit den zeitlich variierenden Fahrzeugpositionen lässt sich dann ermitteln, wie lange der Fahrer für die Strecke benötigt hat. Diese Daten werden als *Floating Phone Data* (FPD) bezeichnet und beschreiben das Fahrverhalten eines Fahrzeugs, wenn der Nutzer ein Mobiltelefon mitführt. Die gesammelten FPD werden in einem zentralen Verkehrsinformationszentrum verarbeitet und als Verkehrsnachricht aufbereitet. Von dort lassen sich die Verkehrsnachrichten, über zentrale Dienste z.B. TMCpro, abrufen [Dir08].

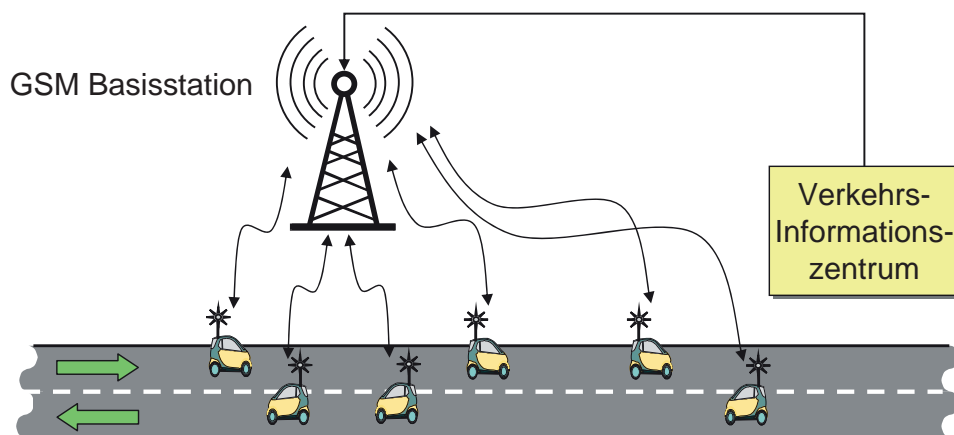


Abbildung 2.2: Bidirektionales Kommunikationssystem

Das Fahrzeug übernimmt keine aktive Funktion als mobiler Straßensensor. In einer zentralen Basisstation werden die Signallaufzeitdifferenzen und die Leistung des empfangenen Signals gemessen. Aus diesen Daten lässt sich eine Positionsveränderung des Fahrzeugs, bzw. ein Geschwindigkeitswert, berechnen. Durch Veränderung der Positionen der Fahrzeuge kann somit der Verkehrsfluss bestimmt werden. Die gemessenen Werte werden zu einem zentralen Verkehrsinformationszentrum übertragen und dort ausgewertet. Der Nutzer empfängt die zusammengefassten Verkehrsmeldungen über Rundfunk oder *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) Internetverbindung mit *download On-demand*.

Nachteile sind die zentrale Informationsverwaltung und die zellulare Kommunikation. Bei einer Funktionsstörung einzelner Basisstationen können Fahrzeugpositionen und Geschwindigkeiten auf einer Straße nicht mehr gemessen werden.

Bei einer Störung des Verkehrsinformationszentrums stehen für alle Straßen keine Verkehrsmeldungen mehr zur Verfügung.

2.1.3 Nachteile der zentralen Verkehrsinformationsverwaltung

- Um Fahrzeuggeschwindigkeiten flächendeckend zu erfassen, ist eine Vielzahl von Straßensensoren nötig. Weiterhin lassen sich nur die Straßen beobachten, welche mit Sensoren ausgestattet sind. Zur Zeit lässt sich deshalb der Stadtverkehr nicht flächendeckend beobachten, und es steht keine Verkehrsinformation zur Verfügung.
- Die von den Straßensensoren gemessenen Fahrzeuggeschwindigkeiten müssen zur Zeit noch an ein zentrales Verkehrsinformationszentrum signalisiert werden. Erst dort werden die Daten verarbeitet und stehen dann unterschiedlichen Diensten zur Verfügung. Das verursacht eine hohe zeitliche Verzögerung von typischen 20-30 Minuten und resultiert in einer veralteten Verkehrsmeldung. Somit können auch keine zeitkritischen Meldungen, z.B. Notfallmeldungen, zur Verfügung gestellt werden.
- Im Verkehrsinformationszentrum werden nur Verkehrsdaten von größeren Verkehrsaufkommen (Staus) verarbeitet und in die Meldungen aufgenommen. Kleinere Staus, die für den einzelnen Fahrer durchaus von Interesse sind, werden bei der Verarbeitung der Fahrzeuggeschwindigkeiten nicht berücksichtigt.
- Die Ausstattung der Straßen mit entsprechenden Sensoren ist sehr kostenintensiv und benötigt eine Infrastruktur zur Weiterleitung der gemessenen Daten. Werden Verkehrsdaten über das mobile Datennetzwerk versendet, so ist dies in der Regel mit der Entrichtung von entsprechenden Servicegebühren verbunden. Darüber hinaus können, bei Nutzung des Dienstes im Ausland, *Roaming*-Gebühren anfallen.
- Bei einem Ausfall des Mobilfunksystems oder des Verkehrsinformationszentrums können weder Fahrzeugdaten gesammelt noch Verkehrsnachrichten versendet werden.