

## **Forschungsinitiative Ko-FAS: Neue Perspektiven für die Fahrzeugsicherheit**

Dipl.-Ing. **Stephan Zecha** M.Sc., Continental, Division Chassis & Safety,  
PSAD, IV, Alzenau  
Dr.-Ing. Ralph Rasshofer, BMW Forschung & Technik GmbH, München;

### **Kurzfassung**

Diese Ausarbeitung gibt eine Übersicht über die neue nationale Forschungsinitiative Ko-FAS (Kooperative Sensorik und kooperative Perzeption für die Präventive Sicherheit im Straßenverkehr).

Die Forschungsinitiative Ko-FAS beschäftigt sich mit Methoden zur Steigerung der Fahrzeugsicherheit durch die Verwendung von kooperativer Sensortechnologie und kooperativer Verkehrsumfeldwahrnehmung in Kombination mit geeigneten Schutzmaßnahmen. Ko-FAS ist eine der größten nationalen Forschungsinitiativen im Bereich der Fahrzeugsicherheit und wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert. Das Projekt ist in drei Verbundprojekte unterteilt, die sich mit unterschiedlichen Ansätzen der kooperativen Fahrzeugsicherheit beschäftigen.

Im Rahmen dieses Vortrags soll vor allem das Verbundprojekt Ko-TAG vorgestellt werden. Ko-TAG beschäftigt sich mit der Erforschung von kooperativen Sensorsystemen zur zuverlässigen Erkennung, Klassifizierung und Verfolgung von Verkehrsteilnehmern im Straßenverkehr. Dieses System besteht aus Sende-/Empfangseinheiten die in Fahrzeugen integriert sind und über Funkverbindung den Abstand und den Winkel zu Transpondereinheiten, die von anderen Verkehrsteilnehmern mitgeführt werden, ermitteln.

Die Verwendung eines solchen Sensorsystems erlaubt eine zuverlässige Ermittlung der Relativposition zwischen den Verkehrspartnern. Diese Informationen stehen annähernd kontinuierlich und sehr frühzeitig vor der Ausbildung von kritischen Verkehrssituationen zur Verfügung. Damit lassen sich die Kollisionsrisiken zwischen Verkehrsteilnehmern entsprechend kontinuierlich berechnen und bewerten. Dies erlaubt ein frühzeitiges, präventives Eingreifen bei der Entwicklung von kritischen Fahrsituationen oder Unfallsituationen.

### **Abstract**

This manuscript gives an overview about the new research initiative Ko-FAS concerning traffic safety. This new research initiative investigates different principles of cooperative

sensor technology which are applied in combination with proper protection measures in order to improve the safety of any traffic participant. Ko-FAS is one of the biggest national research initiatives concerning traffic safety which is supported by the ministry of economics. The initiative is divided up in three projects with each investigating different fields of cooperative traffic safety.

Within this presentation one of these projects the so called Ko-TAG project will be introduced. Ko-TAG copes with the research of cooperative sensor technology using transponder technology which is applied for the recognition, classification and tracking of traffic participants. The Ko-TAG system consists of transceiver units in the vehicles (onboard units) and transponder units distributed among the other traffic participants. By using the principles of a secondary radar system the distance and the angle from the onboard units to the transponder units can be determined.

The application of such a sensor system allows a highly reliable determination of the relative position between traffic partners. This distance information is almost steadily and already well in advance of the incurrence of critical traffic situations available. Thus collision risks can be predicted early in the evolution of such situations and allow a timely activation of predictive protection measures.

## **1. Zielsetzung Ko-FAS**

Innerhalb der Forschungsinitiative Ko-FAS werden verschiedene Möglichkeiten der vorausschauenden Sicherheit im Straßenverkehr auf Basis kooperativer Sensortechnologie erforscht. Durch die hier entwickelten Systeme soll die Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmer wesentlich gesteigert werden. Durch die Einführung der Sicherheitssysteme, die im Rahmen der KO-FAS Initiative entwickelt werden, wird eine signifikante Reduzierung der Unfallzahlen und Verkehrsopfere im zweistelligen Prozentbereich erwartet.

Um diese hochgesteckten Ziele erfüllen zu können, werden im Rahmen dieser Forschungsarbeiten neueste Ansätze im Bereich der Sensortechnologie vorangetrieben, als auch innovative Schutzmechanismen und verschiedene Verfahren der Evaluierung solcher Systeme erforscht.

Der zentrale Bestandteil von Ko-FAS ist die Entwicklung von sogenannten kooperativen Sensorkonzepten. Dabei werden 2 grundsätzliche Prinzipien kooperativer Technologie aufgegriffen:

- Kooperative Sensorik durch Verwendung von Transpondertechnologie

- Kooperative Sensornetzwerke, in denen über Austausch und Zusammenfassen von Informationen aus verschiedenen Umfoldsensoren ein Gesamtbild der Verkehrsumgebung erzeugt wird.

Das Ziel bei der Anwendung dieser kooperativen Technologie ist die nahtlose Erfassung der Verkehrsumgebung, im Speziellen auch die Erfassung verdeckter Verkehrsteilnehmer und die chronologische Verfolgung des Verkehrsgeschehens. Die chronologische Betrachtung des Verkehrsumfelds ermöglicht eine stetige und umfassende Bewertung der vorliegenden Kollisionsrisiken.

Die frühzeitige und chronologisch verfügbare Information über Kollisionsrisiken erlaubt die Anwendung verschiedener Maßnahmenstufen zur Prävention von Verkehrsunfällen oder zumindest zur signifikanten Verringerung der Kollisionsfolgen. Ein weiteres Ziel in der Forschungsinitiative Ko-FAS ist deshalb die Entwicklung verschiedener Schutzsysteme zur Unfallprävention. Es werden entsprechend innovative Systeme der Mensch-Maschine-Schnittstelle (MMI) entwickelt, die den Fahrer zielgerichtet auf eine Risikosituation aufmerksam machen. Darüber hinaus wird die Entwicklung von autonomen Fahrzeuingriffen vorangetrieben, die eine Kollision verhindern sollen, wenn der Fahrer dazu nicht mehr in der Lage ist. Für die letzte Phase vor einer nicht mehr zu vermeidenden Kollision werden Schutzmechanismen am Fahrzeug entwickelt, die eine erweiterte Knautschzone bereitstellen, um die Kollisionsschwere durch Abflachung der Crash Kennlinie zu verringern.

Im Rahmen der Entwicklung wird eine Anzahl an Versuchsfahrzeugen mit den in Ko-FAS entwickelten Technologien aufgebaut. Mithilfe dieser Testfahrzeuge wird die Wirksamkeit der neuen Sicherheitssysteme hinsichtlich statistisch relevanter Unfallszenen überprüft. Neben dem Realversuch wird die Wirksamkeit der kooperativen Schutzsysteme auch in virtuellen Testumgebungen überprüft.

## **2. Struktur der Forschungsinitiative**

Die Forschungsinitiative Ko-FAS gliedert sich in drei Verbundprojekte. Dabei beinhalten die beiden Verbundprojekte Ko-TAG und Ko-PER die Erforschung der unterschiedlichen kooperativen Sensortechnologien, wohingegen sich das Verbundprojekt Ko-KOMP vorrangig mit der Entwicklung von Schutzvorrichtungen beschäftigt und Wirksamkeitsbetrachtungen auf dem realen und virtuellen Testfeld betreibt. Dabei stellt das Verbundprojekt Ko-KOMP

Querschnittsfunktionen und –komponenten für die beide anderen Verbundprojekte bereit, wohingegen Ko-TAG und Ko-PER eigenständige Technologiesäulen darstellen.

Die Verbundprojekte sind über gemeinsame Arbeitsgruppen miteinander verzahnt und tauschen auf diesem Weg technische Spezifikationen, Arbeitsergebnisse und zum Teil auch Hardwarekomponenten aus.

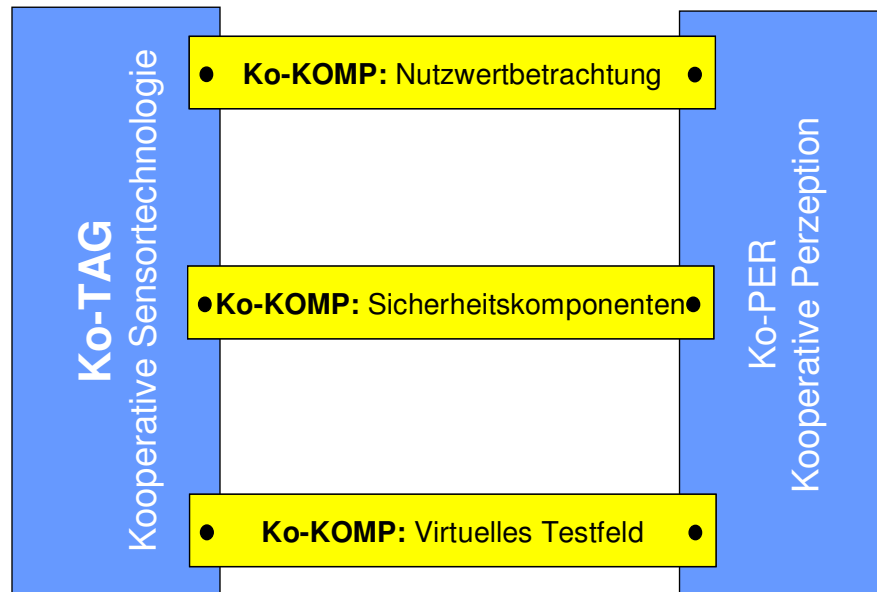


Bild 1: Struktur der Verbundprojekte innerhalb der Forschungsinitiative Ko-FAS

Aufgrund der Verwendung von Kommunikationstechnologien auf Basis des Protokollstandards 802.11p wird zwischen der Forschungsinitiative Ko-FAS und dem Forschungsprojekt SIM-TD zumindest ein informeller Austausch stattfinden, um einheitliche Kommunikationsstandards voranzutreiben.

### 3. Beschreibung der Verbundprojekte

#### 3.1 Übersicht Verbundprojekt Ko-TAG:

Im Rahmen des Verbundprojektes Ko-TAG wird kooperative Sensortechnologie auf Basis von Transpondersystemen erforscht. Diese Technologie soll vor allem in Hinblick auf die Anwendungsbereiche

- Schutz von schutzbedürftigen Verkehrsteilnehmern und
- Fahrzeug-Fahrzeug Sicherheit

erforscht werden.

Das Projekt Ko-TAG verwendet Sende-/Empfangeinheiten im Fahrzeug, die über proprietäre Code-Sequenzen Transponder, welche von den anderen Verkehrsteilnehmern

mitgeführt werden, abfragen und von dem jeweiligen Transponder des anderen Verkehrspartners einen Antwort-Code mit spezifischen Informationen erhält. Über diese Abfrage erhält das Fahrzeug beispielsweise Informationen über die Relativposition der anderen Verkehrspartner im Verkehrsumfeld und kann daraus mögliche Kollisionsrisiken berechnen. Dieses Grundprinzip ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt und wird im Kapitel 4 im Detail beschrieben.

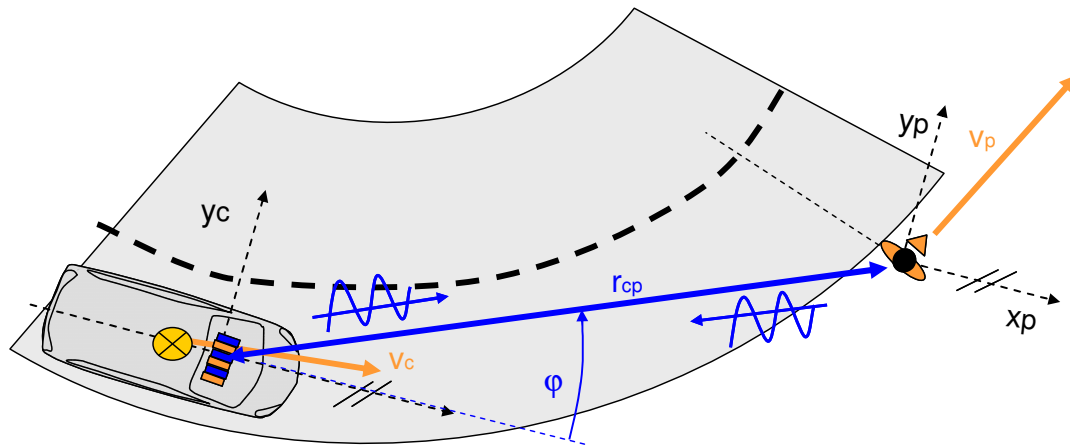


Bild 2: Funktionsprinzip Kooperatives Sensorsystem Ko-TAG

### 3.2 Übersicht Verbundprojekt Ko-PER

Das Verbundprojekt Ko-PER beschäftigt sich mit der Zusammenführung von Informationen aus dem Verkehrsumfeld unter Verwendung von Umfoldsensordaten aus den Fahrzeugen, Sensorinformationen aus der Infrastruktur und der Zusammenführung der Daten über Fahrzeug-Fahrzeug und Fahrzeug-Infrastrukturkommunikation.

Das Grundprinzip der kooperativen Technologie im KO-PER Projekt wird anhand von Bild 3 erläutert. Die Abbildung zeigt ein typisches Verkehrsszenario, in der ein einzelner Verkehrsteilnehmer nicht in der Lage ist sich ein ausreichendes Bild über seine Verkehrsumgebung zu verschaffen und dadurch ungewarnt in eine kritische Verkehrssituation gerät.

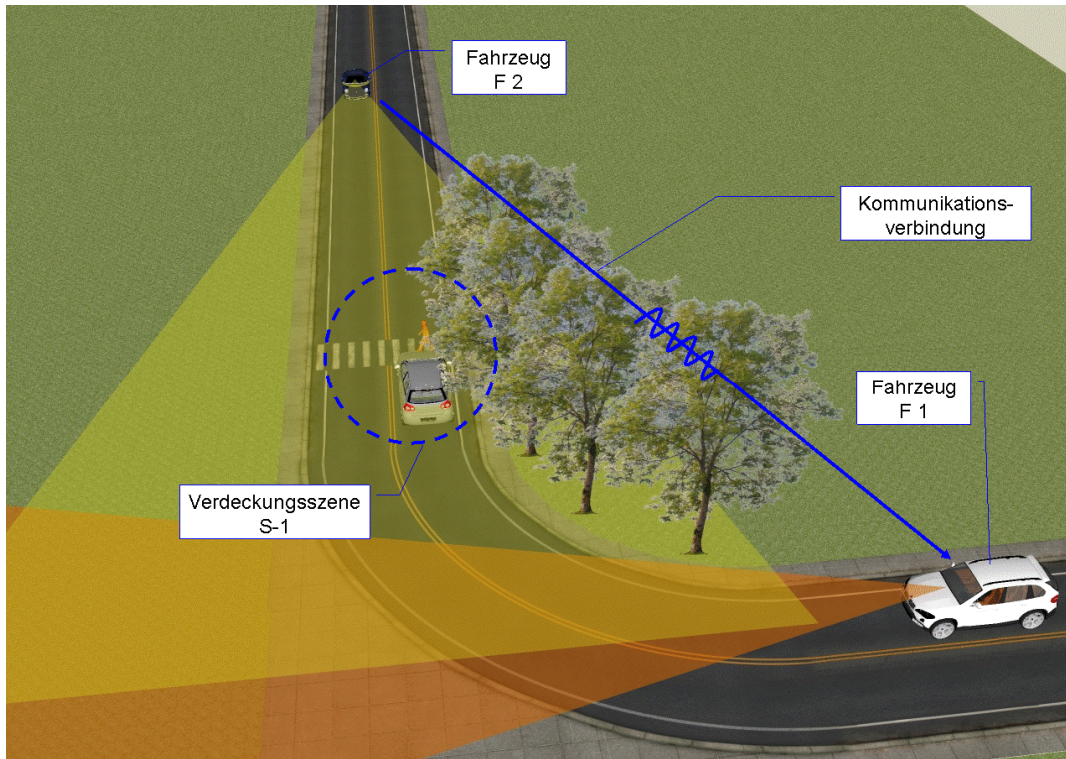


Bild 3: Verkehrssituation "S1" mit Verdeckung

In gezeigten Fall nähert sich ein Fahrzeug einer Verkehrssituation S-1 mit stehendem Fahrzeug und dahinter querendem Fußgänger. Die Szene kann von dem ankommenden Fahrzeug F-1 nicht wahrgenommen werden. Ein aus der anderen Fahrtrichtung kommendes Fahrzeug F-2 kann aus seiner Perspektive die Situation sehr gut erkennen. Über geeignete Umfeldsensoren ist das Fahrzeug F-2 in der Lage die Verkehrssituation zu erfassen und in Verbindung mit einem geeigneten Eigenlokalisierungssystem können die Verkehrspartner aus der Szene S-1 absoluten Positionen im Verkehrsumfeld zugeordnet werden.

Diese Objektinformationen werden über eine Fahrzeug-Fahrzeug Verbindung an das entgegenkommende Fahrzeug F-1 weitergemeldet. Das Fahrzeug F-1 ist auf Basis der empfangenen Informationen in Verbindung mit einem Eigenlokalisierungssystem jetzt sehr gut in der Lage die umfassende Verkehrsumgebung wahrzunehmen und potenzielle Kollisionsrisiken zu bewerten.

Das kooperative Erfassungsprinzip wird im Fall von Kreuzungssituationen durch Sensoren in der Infrastruktur ergänzt. Dazu werden Sensoren in einer ausreichenden Anzahl in der Kreuzungsperipherie verbaut, so dass eine lückenlose Erfassung der Verkehrsteilnehmer im

Bereich einer Kreuzung gewährleistet ist. Eine mögliche Ausstattungsvariante einer Kreuzung mit Umfoldsensoren ist im nachfolgen Bild 4 dargestellt.

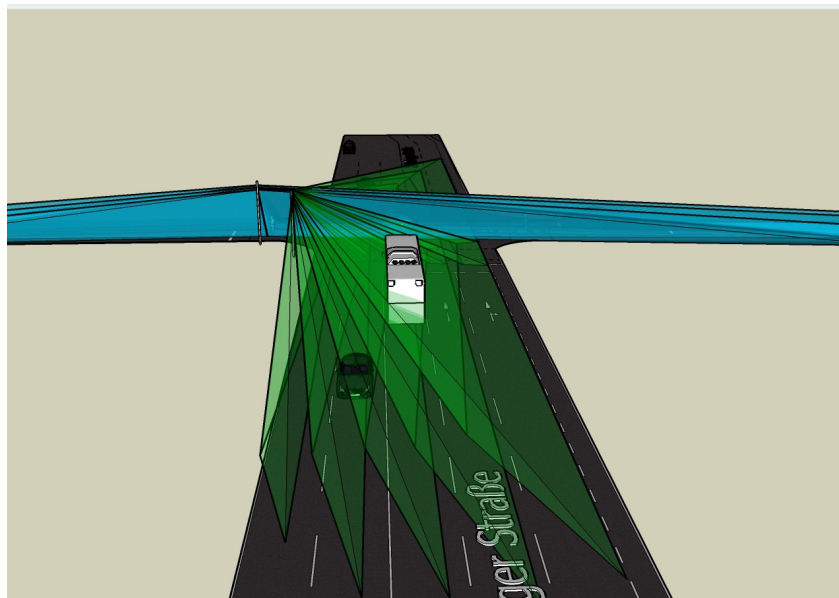


Bild 4: Kreuzung mit integrierten Umfoldsensoren

In diesem Fall ist vorgesehen, dass die Objektinformationen, welche von den verschiedenen Einzelsensoren erfasst werden, in eine virtuelle Kreuzungskarte eingetragen werden. Diese virtuelle Kreuzungskarte wird über ein "Broadcast" Verfahren an alle Verkehrsteilnehmer im Umfeld gesendet. Der Verkehrsteilnehmer im Umfeld der Kreuzung nutzt dann diese Objektinformationen um etwaige Kollisionsrisiken mit seinen umgebenden Verkehrspartnern abzuschätzen.

### 3.3 Übersicht Verbundprojekt Ko-KOMP

Im Rahmen des Verbundprojektes Ko-KOMP werden folgende Themengebiete bearbeitet:

- Entwicklung von Schutzvorrichtungen und -komponenten am Fahrzeug die unter Verwendung der Sensordaten aus den kooperativen Systemen zu einer Vermeidung von Kollisionen oder zumindest zu einer Minderung der Kollisionsschwere verwendet werden können
- Aufbau einer Simulationsumgebung zur virtuellen Nachbildung der Kommunikationsverbindungen für mannigfaltige Verkehrsszenarien
- Einschätzung der Schutzwirkung von integrierten kooperativen Sicherheitssystemen durch reale Fahrzeugversuche und Gesamtsystemsimulation unter Berücksichtigung statistisch relevanter Unfallszenarien (siehe Bild 5)



In Ko-KOMP werden Schutzkonzepte am Fahrzeug erforscht, die vor einer drohenden Kollision aktiviert werden und helfen den Unfall zu verhindern oder zumindest die Unfallschwere wesentlich zu mindern. Im Speziellen werden hier Systeme zur Erweiterung der äußeren Fahrzeughülle angedacht, genauso wie die zeitgerechte Aktivierung von autonomen Notbremsfunktionen. Die Verschiebung der Fahrzeughülle vergrößert die Deformationstiefe. Ein dabei angedachtes Konzept ist beispielsweise das "Ausstellen" der Seitentüren um den seitlichen Deformationsraum zu erhöhen. Derartige Systeme können aktiviert werden, sobald eine Kollision unvermeidbar ist.

Autonome Notbremsvorrichtungen werden hingegen bereits dann aktiviert, wenn eine Kollision ohne Eingriff in die Fahrzeugbewegung auftreten würde und nur noch durch autonome Maßnahmen eine Kollision verhindert werden kann.

Diese Schutzsysteme benötigen für Ihre Auslösung eine sehr zuverlässige Bewertung der vorliegenden Verkehrssituation. Deshalb bietet sich die Verknüpfung mit den kooperativen Sensorsystemen an, die eine präzise Erfassung und Bewertung des Verkehrsumfeldes ermöglichen.



Bild 5: Schutzkonzept autonome Notbremse im Einsatz mit Fußgängerschutztestanlage

#### **4. Technisches Konzept des Ko-TAG Systems**

##### **4.1 Prinzip der kooperativen Umfelderkennung**

Das im Verbundprojekt Ko-TAG angewandte kooperative Messverfahren entspricht in den Grundzügen dem aus der Avionik bekannten System des Sekundärradars. Die dort verwendeten Prinzipien zur Positionsermittlung werden jedoch für die Bedürfnisse des Straßenverkehrs adaptiert.



Das System besteht wie in Abbildung 6 dargestellt aus zumindest einer Fahrzeugeinheit (Ko-TAG), die einen Abfrageimpuls an seine Umgebung versendet und aus Sendeempfängereinheiten (Safe-TAG), die von den umgebenden Verkehrsteilnehmern mitgeführt werden. Diese kompakten Safe-TAG Einheiten sind in der Lage auf einen elektromagnetischen Abfrageimpuls hin mit einem gewissen Code zu antworten. Der Code enthält anonymisierte Informationen über die Art des Verkehrsteilnehmers (z.B. Fußgänger, Radfahrer, Auto, etc.). Darüber hinaus können weitere spezifische Daten übertragen werden. Die Abfrage der im Erfassungsbereich eines Fahrzeuges befindlichen Sendeempfänger erfolgt durch Aussendung eines Abfrageimpulses durch das Fahrzeug. Die Sendeempfänger empfangen den Abfrageimpuls und antworten mit ihrem eigenen Code, der die Art des Sendeempfängers, den Code des abfragenden Fahrzeuges und weitere frei wählbare Daten beinhaltet.

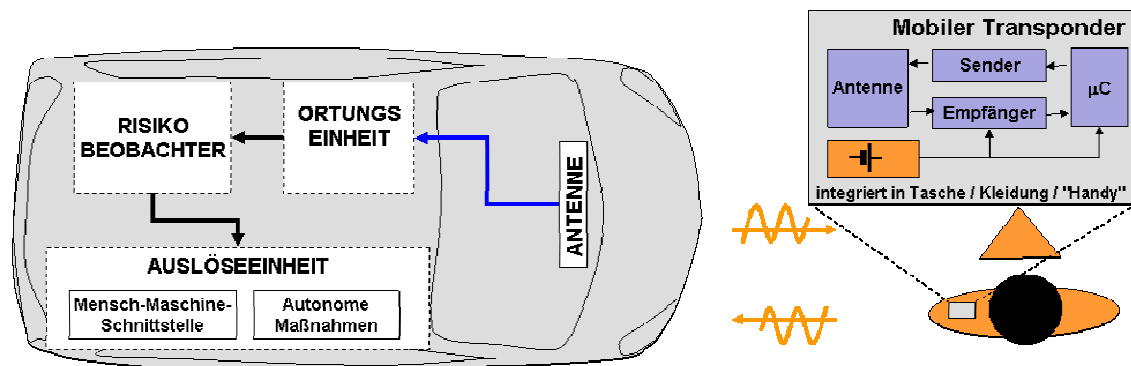


Bild 6: Technisches Konzept Ko-TAG

Der vom Safe-TAG emittierte Antwortimpuls wird vom abfragenden Fahrzeug mit Hilfe eines speziellen Mehrfachantennensystems empfangen, welches in der Lage ist, den Azimutwinkel der einfallenden Strahlung zu bestimmen. Wie in Vorarbeiten gezeigt wurde [AMULETT 1], kann diese Winkelbestimmung bei Wahl einer geeigneten Arbeitsfrequenz auch im Fall optischer Verdeckung und Störung durch Mehrwegeausbreitung mit hoher Präzision erfolgen. Sie erreicht im Mittel eine Genauigkeit von besser als  $\pm 1^\circ$ . Damit sind bei typischen Fahrgeschwindigkeiten im innerstädtischen Straßenverkehr in Echtzeit Aussagen möglich, ob sich beispielsweise eine mit einem Safe-TAG ausgestattete Person auf dem Gehweg oder auf der Strasse befindet.

Beim Ko-TAG System wird der im Fahrzeug empfangene Antwortimpuls des Safe-TAGs vom Abstandsmesssystem dekodiert. Aus der gemessenen Zeit zwischen Abfrageimpuls und Antwort wird die Laufzeit des Signals bestimmt. Nach Korrektur der im Antwortcode

mitübertragenen Antwortverzögerungszeit des Transponders lässt sich die Freiraumlafzeit in eine Information über den radialen Abstand des Sendeempfängers vom Fahrzeug umrechnen. Im Fahrzeug liegen nun als Rohdaten der Azimuthwinkel, der radiale Abstand, die "Klasse" des Verkehrspartners und eventuell noch weitere Informationen der Safe-TAG Einheit vor.

Die genannten Daten werden einer Fusionseinheit zugeführt, die die Verfolgung (Tracking) der erfassten Objekte vornimmt und die gesammelten Informationen ferner mit weiteren verfügbaren Informationsquellen fusionieren kann. Es entsteht so ein möglichst konsistentes, detailreiches und abgesichertes Modell des Fahrumfeldes. Das Fahrumfeldmodell stellt die Entscheidungsgrundlage für alle vorgesehenen Assistenz- und Sicherheitsfunktionen dar.

Von der Vielzahl der denkbar möglichen Applikationen für das Ko-TAG System werden im Rahmen der Projektlaufzeit zwei Applikationen erforscht und praktisch dargestellt:

#### **4.2 Ko-TAG Applikation "Sicherheit für den ungeschützten Verkehrsteilnehmer"**

Das in Ko-TAG geplante Fußgängerschutzsystem verfolgt zunächst alle durch Safe-TAGs kenntlich gemachte Fußgänger im Erfassungsbereich des Fahrzeuges in Abstand und Winkel und hält dabei den Kontakt auch im Falle optischer Verdeckung aufrecht.

Ist ein Fußgänger durch das System erkannt worden und liegt aufgrund des Trackings eine Orts- und Geschwindigkeitsinformation vor, kann das Risiko für eine Kollision mit dem Fußgänger errechnet werden. Die Risikoberechnung stellt sich kompliziert dar, da sowohl der Fußgänger als auch der Autofahrer gewisse Handlungsspielräume besitzen, die erst sehr spät mit absoluter Sicherheit eine Kollision vorhersagen lassen („Region of No Escape“). In der Regel muss das Schutzsystem deutlich vorher Maßnahmen ergreifen, um den potentiellen Unfall positiv zu beeinflussen. Dazu ist es nötig, speziell die realistischen Handlungsspielräume des Fußgängers genau abzuschätzen, da dieser im Vergleich zum Fahrzeug über eine größere Manövrierfähigkeit verfügt und kurzzeitig sehr hohe Eigendynamik entwickeln kann.

Um eine wesentlich bessere Einschätzung der zukünftigen Bewegung des Fußgängers zu erhalten und damit sicher das Kollisionsrisiko abschätzen zu können, wird sowohl das physiologische Bewegungsvermögen als auch das typische Bewegungsverhalten von Fußgängern im Projekt systematisch untersucht. Prinzipielle Möglichkeiten der Bewegungseinschätzung von Fußgängern wurden in [VDI-1] aufgezeigt. Wie in Bild 7 dargestellt, ist man damit in der Lage auf Basis eines vorliegenden Bewegungszustandes eines beobachteten Fußgängers zunächst einen realistischen Bewegungsspielraum

einzuschätzen und in der Folge noch präziser einen erwarteten Aufenthaltsbereich des Fußgängers einzuschätzen.

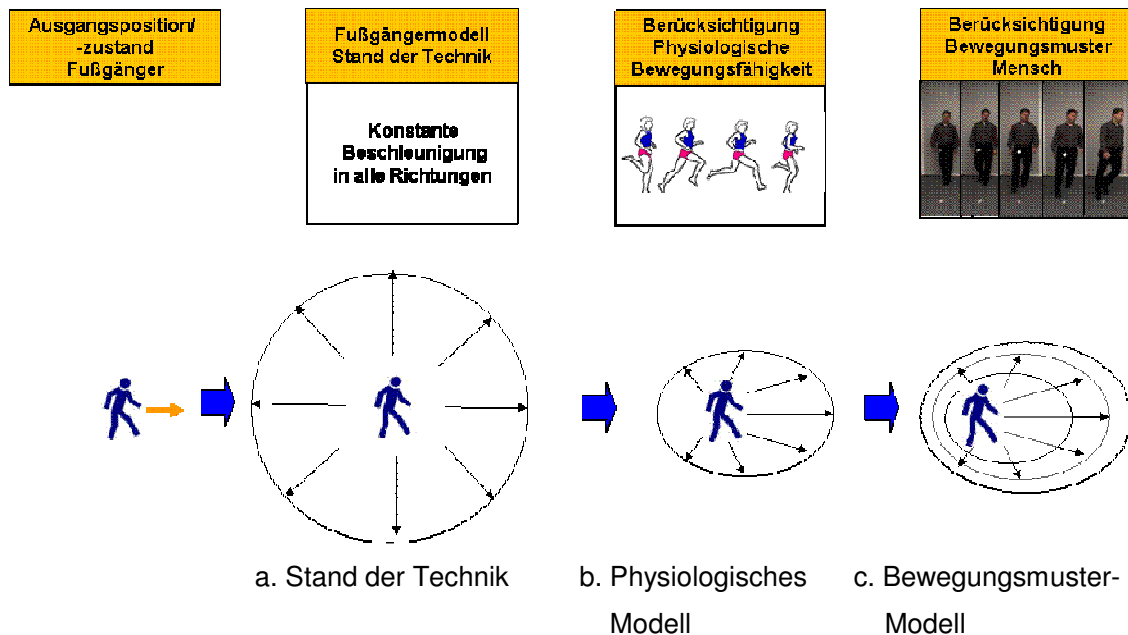


Bild 7: Bewegungsspielraum Fußgänger

Auf Basis der wesentlich verbesserten Einschätzung des Fußgängerbewegungsspielraums wird eine Kollisionswahrscheinlichkeit zwischen Fahrzeug und Fußgänger ermittelt. Übersteigt die Kollisionswahrscheinlichkeit einen Schwellwert, werden, abhängig von den vorliegenden Randbedingungen, gezielte Warn- und Schutzmaßnahmen initiiert. Ist eine Kollision mit hoher Wahrscheinlichkeit unvermeidlich, kann das System eine autonome Notbremsung durchführen.

#### 4.3 Ko-TAG Applikation "Rundumsicherheit"

Um den Nutzen des Ko-TAG Systems weiter zu steigern, bietet es sich an, die vor dem Fahrzeug „aufgebaute“ Detektionszone auf das gesamte Fahrzeug auszudehnen (360°-Sensierung), wodurch ein erheblicher Mehrwert geschaffen wird. Eine Rundumabdeckung bietet erstmals die Möglichkeit Gefahren zu erkennen, die bisherige Sensorik bislang nicht oder nur mit extrem hohem Aufwand detektieren konnte [FAS 2006-1].

Hierzu zählt beispielsweise ein drohender Seitenaufprall an einer Kreuzung oder einer nicht einsehbaren Straßeneinmündung. Dabei kommt vor allem die Eigenschaft des Ko-TAG Systems bei der Detektierung und Verfolgung (Tracking) optisch verdeckter Objekte zur Geltung. Durch die Einbeziehung von Momentangeschwindigkeiten und die exakte Kenntnis

der Dimensionen von sich bewegenden Objekten (Fahrzeugen), lassen sich mögliche Kollisionspfade präzise berechnen. Bei einer drohenden Kollision können die Fahrzeugführer somit noch rechtzeitig gewarnt und der Unfall entweder vermieden, oder aber die Unfallschwere abgemildert werden, selbst wenn höchst komplexe Situationen vorliegen. Potenzielle Applikationen die durch eine Rundumsensorik adressierbar sind, sind beispielsweise Frontcrash, Heckaufprall, Seitencrashes, ggf. Schleuderunfälle sowie Kreuzungs- und Abbiegeassistenzsysteme.

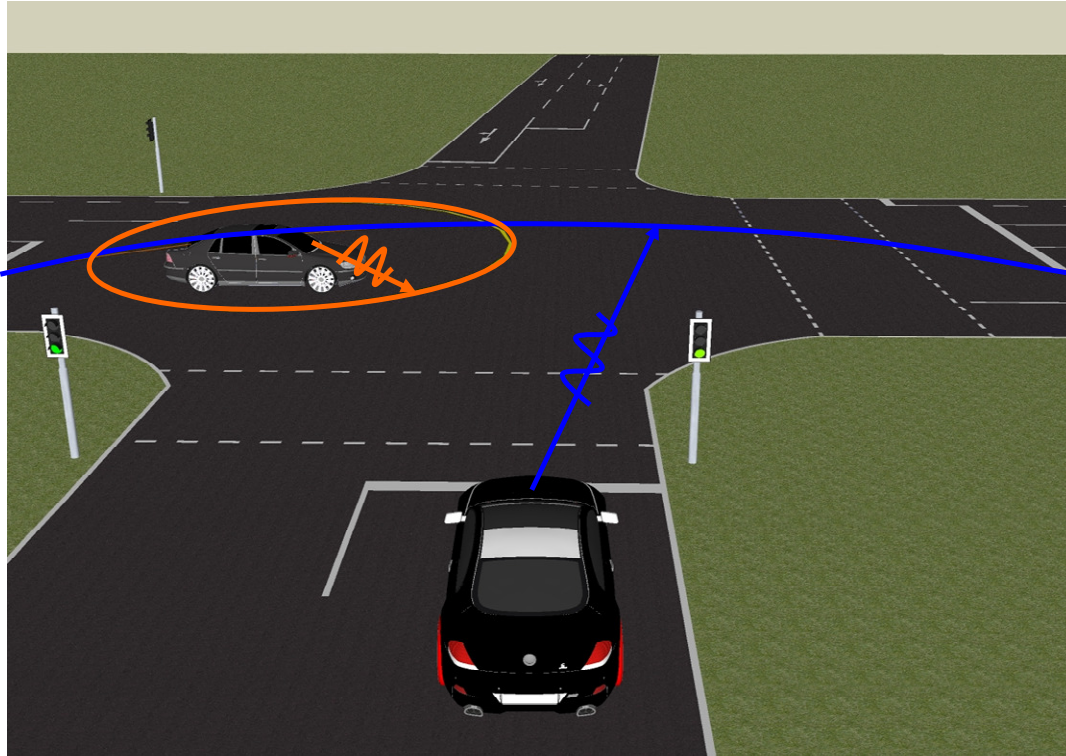


Bild 7: Typischer Anwendungsfall einer Rundumsensorik im Kreuzungsbereich

**Literaturhinweise:**

- [FAS 2008] Fußgängerschutz mittels kooperativer Sensorik  
Dr. R.H. Rasshofer, Daniel Schwarz, Dr. K. Gresser  
5. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS2008  
Walting  
April 2008
- [VDI 2008] Optimaler Fußgängerschutz durch situationsgerechte Einschätzung  
der Fußgängerbewegung  
Stephan Zecha, Woldemar Bauer, Dr. Oliver Scherf, Sebastian Bauer  
Oktober 2008
- [FAS 2006] Multifunktionale Fahrumgebungserfassung durch lidarbasierte  
Rundumsensorik  
Dr. R.H. Rasshofer, Dr. K. Gresser  
4. Workshop Fahrerassistenzsysteme FAS2006  
Löwenstein/Höslinsülz  
Oktober 2006