

# Lokale Gefahrenwarnung in Fahrzeug-Ad-Hoc-Netzen – Eine umfassende Analyse und aktuelle Lösungsansätze

Markus Straßberger, Christian Adler

BMW Group Forschung und Technik, Hanauerstraße 46, 80992 München  
Email: {markus.strassberger, christian.adler}@bmw.de, Tel: +49 89 382 21351

## Kurzfassung

Die spontane Vernetzung von Fahrzeugen mittels WLAN-Technologie ist eine viel versprechende Ergänzung von bereits existierenden Assistenzsystemen. Fahrzeuge können damit sicherheitsrelevante Kontextinformationen wie beispielsweise Gefahrenhinweise fortlaufend untereinander austauschen und den Fahrer auf diese Weise vorausschauend unterstützen. Doch die detaillierte Analyse der Anforderungen einer Anwendung zur lokalen Gefahrenwarnung offenbart eine Vielzahl von untereinander abhängigen Problemfeldern. Es zeigt sich, dass ein schlüssiges und funktionierendes Gesamtsystem viel komplexer ist als die Summe der Teilproblemlösungen.

Dieser Beitrag präsentiert eine umfassende Analyse der Anforderungen und Problemfelder der lokalen Gefahrenwarnung über Fahrzeug-Ad-hoc-Netze, sowie aktuelle Lösungsansätze, die im Rahmen des Projektes PReVENT - WILLWARN entstanden.

## Einleitung

Eines der Hauptziele aktueller Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Automobilbereich ist die nachhaltige Reduzierung der Zahl der Verkehrstoten. Die passiven Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz der Fahrzeuginsassen wurden dabei in den letzten Jahren kontinuierlich verbessert und perfektioniert. Zudem sind heutzutage auch reaktive Assistenzsysteme wie ABS oder ESP weit verbreitet, die den Fahrer in kritischen Situationen aktiv unterstützen, um Unfälle so weit wie möglich zu vermeiden.

Passiven, wie reaktiven Assistenzsystemen haftet jedoch der Nachteil an, dass sich das Fahrzeug bereits in einer kritischen Fahrsituation befindet, wenn die entsprechenden Systeme ausgelöst werden. Um die Unfallzahlen weiter zu senken setzt man deshalb zunehmend zusätzlich auf vorausschauende, proaktive Systeme. Diese überwachen kontinuierlich die nähere Umgebung des Fahrzeuges, um durch gezielte Eingriffe oder Hinweise kritische Fahrsituationen erst gar nicht entstehen zu lassen. Dabei kommen zumeist neuartige und oftmals teure Sensorsysteme zum Einsatz, wie beispielsweise Radar, Lidar oder

Bilderkennungsverfahren, die sich auf die Erkennung von Hindernissen konzentrieren. Aus diesen Gründen beschränkt sich der Einsatz dieser Systeme bislang auf wenige Fahrzeuge der Oberklasse.

Eine viel versprechende und kostengünstige Ergänzung zu diesen meist teuren und aufwändigen Sensorsystemen ist die spontane drahtlose Vernetzung von Fahrzeugen. Die Kernidee dabei ist, dass praktisch alle modernen Fahrzeuge schon heute die notwendige Sensorik besitzen, um ihre aktuelle Fahrsituation bzw. ihren Fahrkontext zu bestimmen. Erkennt ein Fahrzeug eine gefährliche Fahrsituation, kann es diese Erkenntnis anderen Fahrzeugen unmittelbar zur Verfügung stellen. Dadurch können Fahrer voraussehend, gezielt und rechtzeitig über mögliche sicherheitskritische Verkehrssituationen, Wetterverhältnisse oder Fahrbahnbeschaffenheiten informiert werden. Kritische Fahrsituationen, die daraus resultieren, dass Fahrer die Umweltbedingungen falsch einschätzen, können dadurch gezielt minimiert werden. Dies wird in Zukunft aktiv zur Senkung der Unfallzahlen beitragen können.

Um Nachrichten mit derlei Kontextinformationen untereinander austauschen zu können, bilden die Fahrzeuge ein spontanes Netzwerk (Vehicular Ad hoc NETWORK - VANET). Als zu Grunde liegende Übertragungstechnologie favorisieren aktuelle und kürzlich abgeschlossene Forschungsprojekte und Gremien (Network-On-Wheels<sup>1</sup>, Car-to-Car Communication Consortium<sup>2</sup>, PReVENT<sup>3</sup>, VSC<sup>4</sup>) ein auf die besonderen Anforderungen im Automobilbereich abgestimmtes Derivat des IEEE 802.11a Standards. Durch die direkte Vernetzung der Fahrzeuge untereinander und mit ihrer Umwelt, werden Fahrzeuge so implizit zu Kontext Providern. Assistenzsysteme können so in Zukunft adaptiver auf den aktuellen Fahrkontext reagieren.

---

1 <http://www.network-on-wheels.de/>

2 <http://www.car-to-car.org/>

3 <http://www.prevent-ip.org/>

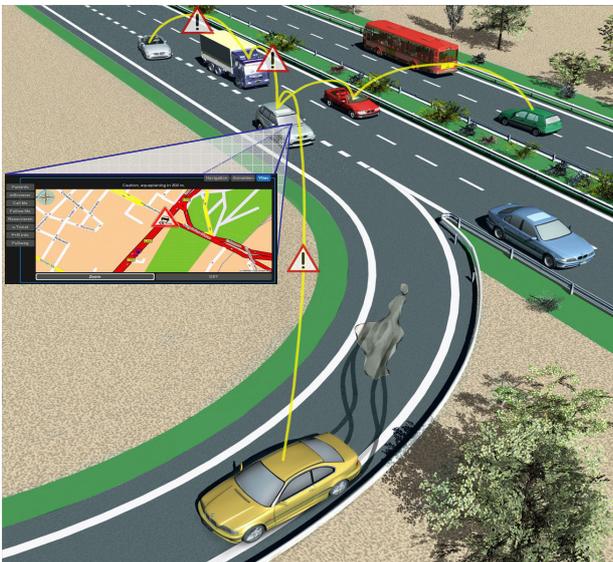
4 <http://www.nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/CAMP3/pages/VSCC.htm>

Obwohl die Funktions- und Wirkungsweise eines derartigen Warnsystems schon vor einigen Jahren prinzipiell beschrieben wurde, existiert noch immer keine umfassende Umsetzung. Bisher wurden lediglich einzelne Problemfelder des Gesamtsystems hinreichend genau evaluiert. Bei noch genauerer Betrachtung wird jedoch offensichtlich, dass die einzelnen Teilaspekte, angefangenen bei der Detektion von Ereignissen, bis hin zu adäquaten Anzeigekonzepten, eines derartigen kooperativen Warnsystems eng miteinander verstrickt sind. Dabei lässt sich feststellen, dass die Umsetzung des Gesamtsystems mehr ist als die Summe der Einzellösungen der Teilaspekte. Im Speziellen sind dies:

- (1) Individuelle Situationsanalyse
- (2) Kooperative Situationsanalyse
- (3) Wissensmanagement
- (4) Informationsverbreitung
- (5) Benutzerschnittstelle

Des Weiteren spielen auch Sicherheit und Datenschutz eine entscheidende Rolle.

Abbildung 1 zeigt exemplarisch eine Situation, in der ein Fahrzeug die Existenz eines Ölflecks erkannt hat und dies den Fahrzeugen in der Umgebung mitteilt [KOS04].



**Abbildung 1: Beispielszenario**

Im Folgenden werden die einzelnen Teilaspekte im Detail vorgestellt und deren wesentliche Anforderungen und Abhängigkeiten aufgezeigt.

## Individuelle Situationsanalyse

Ziel der kooperativen Gefahrenwarnung ist eine belastbare Vorhersage der Situation, in der sich das Fahrzeug in der unmittelbaren Zukunft befinden wird. Die Kernidee dabei ist, dass eine solche Vorhersage durch den Austausch des bereits relativ exakten Umgebungsbildes der einzelnen Fahrzeuge auch ohne teure und aufwändige neue Sensorsysteme erreicht werden kann.

Moderne Fahrzeuge können durch die Vielzahl an Sensoren auf die eigene momentane Fahrsituation schließen. Üblicher Weise existieren spezielle Sensoren oder Sensorgruppen, die gezielt eine spezielle Aufgabe hinsichtlich der Stabilisierung der Fahreigenschaften in kritischen Situationen ermöglichen, beispielsweise auf Basis aktueller Längs- und Querschleunigungswerte, Schlupf, Vortrieb, Gierrate oder Umdrehungszahl einzelner Räder. Die Auswertung dieser Eingangsgrößen beschränkt sich in der Regel aktuell auf die zur Stabilisierung des Fahrzeuges nötigen Regelsysteme. Die bereits vorhandenen Sensorwerte können über reine Regelungssysteme hinaus jedoch auch dazu verwendet werden, höherwertigen Kontext abzuleiten, beispielsweise, ob ein Fahrzeug gerade über einen Ölfleck gefahren ist. Während dieser abgeleitete Kontext bisher für die lokalen Assistenzsysteme nicht von Bedeutung ist, spielt er bei der gezielten Warnung vor gefährlichen Situationen eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Je genauer der Fahrer über den Streckenabschnitt informiert ist, den er in naher Zukunft befahren wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass er rechtzeitig und angemessen auf die entsprechende Situation reagiert. Anders als bei klassischen Regelsystemen hängt dabei eine zuverlässige Ableitung dieses Kontextes von einer Vielzahl an unterschiedlichen Parametern ab. Das Auftreten von Aquaplaning ist z.B. wahrscheinlicher, falls an der entsprechenden Position in der Vergangenheit eine ausreichend große Menge an Niederschlag pro Zeit gefallen ist. Auf der anderen Seite unterliegt der Mechanismus des Schließens bei Weitem nicht den strengen Echtzeitanforderungen von klassischen Regelsystemen. Dies ermöglicht den Einsatz von entsprechend angepassten Schlussfolgerungsmechanismen. Dabei hat die Güte der bereits vorhandenen Sensoren bzw. die Ableitung eines höherwertigen Kontexts spürbaren Einfluss auf die Anforderungen an die nötige Übertragungskapazität und den weiteren Evaluierungsprozess.

## Kooperative Situationsanalyse

Es ist typisch, dass innerhalb relativ kurzer Zeit eine große Anzahl Fahrzeuge die gleiche oder eine ähnliche Situation durchfahren. Dies ermöglicht weitere Verfahren der Situationsanalyse auf Basis existierender Sensoren, die von einem einzelnen Fahrzeug nicht in ausreichender Zuverlässigkeit erkannt werden können, oder sich durch die Kooperation in ihrer Komplexität deutlich reduzieren lassen (Abbildung 2).

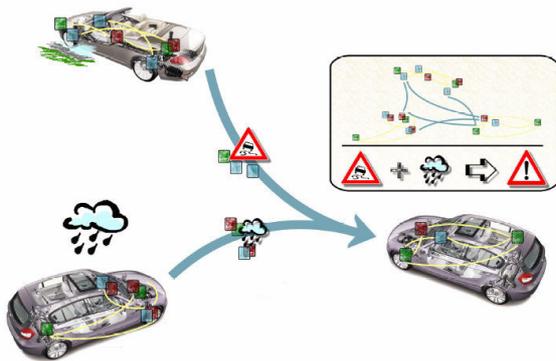


Abbildung 2: Kooperative Situationsanalyse

Stau bzw. Stauenden lassen sich z.B. einfach und zuverlässig aus der Veränderung der Position und Geschwindigkeit der vorausfahrenden Fahrzeuge errechnen, sofern eine ausreichende Dichte an ausgestatteten Fahrzeugen vorliegt. Ein anderes Beispiel ist das kooperative Erkennen von Hindernissen auf der Basis von Fahrdynamikanalysen der Fahrzeuge [NMK05]. Kernidee dabei ist, dass Hindernisse, die überraschend auftreten, häufig zu einem Ausweichmanöver eines oder mehrerer Fahrzeuge führen. Dabei kann ein Ausweichmanöver aufgrund hierfür typischer Kurvenverläufe der Quer- und Längsbeschleunigungen erkannt werden. Allerdings bietet die Existenz eines Ausweichmanövers noch kein ausreichendes Indiz dafür, dass an der entsprechenden Stelle tatsächlich ein persistentes verkehrgefährdendes Hindernis existiert. Ausweichmanöver können auch durch Ereignisse ausgelöst werden, die lediglich kurz existieren und im Weiteren kein Gefährdungspotential mehr besitzen (zum Beispiel

Wildwechsel oder eine unachtsam geöffnete Autotür). Eine anschließende gezielte Auswertung der Fahrcharakteristiken der nachfolgenden Fahrzeuge liefert jedoch wertvolle weitere Hinweise bezüglich der potentiellen Existenz eines Hindernisses. Plötzliches Bremsen, Lenkbewegungen oder die Tatsache, dass im Folgenden eine Stelle der Fahrbahn von keinem Fahrzeug mehr befahren wird, erhöhen die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Hindernis auf der Fahrbahn existiert. Im Umkehrschluss lösen Fahrzeuge, die an der entsprechenden Stelle keinerlei atypische Fahreigenschaft feststellen können, die Vermutung wieder auf.

Generell lässt sich feststellen, dass sich die individuelle Situationseinschätzung durch den gezielten Austausch individuellen Wissens signifikant steigern lässt. Dabei lassen sich drei grundlegende Verfahren ableiten [DSK05], basierend auf:

- Messwerten spezieller Fahrzeugsensoren.
- Fahrcharakteristiken bzw. Fahrdynamik.
- Analyse der Fahrzeugtrajektorien.

Tabelle 1 zeigt exemplarisch mögliche Analyseverfahren für unterschiedliche Gefahrenpotentiale.

Wie eingangs bereits erwähnt, ist das Ziel der lokalen Gefahrenwarnung eine möglichst exakte Vorhersage der zukünftigen Fahrsituation. Das im Fahrzeug bereits vorhandene Wissen muss aus den folgenden Gründen permanent neu ausgewertet werden:

- Informationen bezüglich einer ungewöhnlichen und potentiell bedrohlichen Situation, deren Zuverlässigkeit einen entsprechenden Hinweis an den Fahrer rechtfertigt, müssen rechtzeitig im Vorfeld extrahiert werden.
- Informationen, die für andere am System teilnehmende Fahrzeuge für deren weiteren Analyseprozess von Bedeutung sind, müssen gezielt kommuniziert und verteilt werden.

Tabelle 1 Gefahr	Mögliche Analyseverfahren für typische Gefahrenpotentiale		
	Fahrzeugsensoren	Charakteristische Fahrdynamik	Fahrzeugtrajektorien
Unfall	✓		
Notbremsung	✓		
Stauende		✓	✓
Hindernis		✓	✓
Sichtbehinderung	✓		
Windböen		✓	
Starkregen	✓		
Nebel	✓		
Aquaplaning	✓	✓	

Dabei kommt erschwerend hinzu, dass (im Gegensatz zu lokalen Regelsystemen) die benötigten Daten zumeist lückenhaft sind und die Zeitintervalle zwischen einzelnen Beobachtungen oft relativ groß sind. Hinzukommen Messungenauigkeiten bei der Bestimmung der Fahrzeugposition. Gerade sich bewegende oder dynamisch ändernde Gefahren, wie beispielsweise Wetterbedingungen oder Stauenden, stellen besondere Anforderungen an die räumlich-zeitlichen Schließverfahren.

Offensichtlich müssen dabei jedoch im Wesentlichen lediglich diejenigen Informationen ausgewertet werden, die sich in der unmittelbaren Umgebung des Fahrzeugs befinden, bzw. auf den Streckensegmenten, die potentiell in Kürze befahren werden. Dabei stellt sich die Frage nach dem Umfang des konkret auszuwertenden lokalen Umfeldes. Es erscheint wenig sinnvoll hierfür eine statisch festgelegte Distanz der Voraussicht festzulegen, da sinnvolle Zeitintervalle der Warnung stark von der tatsächlichen Situation abhängen. Ein flexibler Ansatz, der spezielle Situationen in Abhängigkeit des Fahrkontextes extrahiert, unterstützt eine gezielte Benachrichtigung des Fahrers, abgestimmt auf die individuellen Bedürfnisse in einer bestimmten Fahrsituation.

## Wissensmanagement

Sowohl die eigenen, als auch von anderen Fahrzeugen verbreitete Beobachtungen müssen im Fahrzeug in adäquater Weise verwaltet werden. Dabei muss das Wissensmanagement hinsichtlich Speicherbedarf und Zugriffskomplexität auf die speziellen Bedürfnisse der Fahrzeug-IT abgestimmt sein.

Die mittelfristige Speicherung von Rohsensordaten ist aufgrund des damit verbundenen Datenaufkommens hinsichtlich Speicherkomplexität unrealistisch. Dies bedeutet jedoch wiederum, dass für eine eventuell später durchzuführende Auswertung von Beobachtungen keine konkreten Messwerte mehr zur Verfügung stehen, bzw. diese später nicht mehr ausgetauscht werden können.

Offensichtlich ist jedoch ohnehin nicht jede Information so wichtig, als dass sie über einen bestimmten Zeitraum gespeichert oder verteilt werden müsste. Beispielsweise ist die Information, dass sich das Fahrzeug momentan auf einer trockenen Fahrbahn befindet, zumeist nur von geringem Interesse. Weiß das Fahrzeug jedoch, dass es kurz zuvor in dieser Region noch stark geregnet hat, so ist die Information von deutlich größerem Interesse. Konsequenter Weise hängt die Entscheidung, ob eine Beobachtung gespeichert werden soll vom aktuellen Kontext ab, in dem sich das Fahrzeug momentan befindet.

Prinzipiell kann angenommen werden, dass eine Information im Speziellen dann von Bedeutung ist, wenn sie

- ein Gefährdungspotential beschreibt, das vorher in dieser Form nicht bekannt war.
- ein bekanntes Gefährdungspotential signifikant bestärkt, bestätigt oder widerlegt.

Dabei variiert das beschriebene Gefährdungspotential hinsichtlich seiner Ausdehnung und Form. Es lassen sich dabei drei grundlegende Klassen unterscheiden, nämlich:

- Punktuell (z.B. Unfälle).
- Regionen mit linearer Ausdehnung entlang von Straßenabschnitten (z.B. Stau oder Baustelle).
- Regionen mit flächiger Ausdehnung (z.B. Wetterbedingungen).

Eine dreidimensionale Beschreibung von Gefährdungspotentialen ist dabei nicht notwendig. Daraus ergeben sich wiederum drei klassische Repräsentationsformen, nämlich

- Punkte (0-dimensional), typischer Weise repräsentiert als WGS-84 Koordinaten, teilweise unter Miteinbeziehung weiterer Konkretisierungen.
- Linien (1-dimensional), repräsentiert beispielsweise durch konkrete Streckenabschnitte oder relative Bezugssysteme dazu.
- Polygone (2-dimensional), repräsentiert beispielsweise durch Rechtecke, Polygonzüge oder konvexe Hüllen.

Diese Beschreibungen müssen schließlich so effizient wie möglich im Fahrzeug verwaltet werden. Neben der Speicherkomplexität spielen dabei vor allem die konkreten Zugriffszeiten auf die verwendete Wissensbasis eine entscheidende Rolle. Im Speziellen sind das:

- Das Einfügen von bisher unbekanntem Beobachtungen bzw. Gefährdungspotentialen.
- Das Auffinden von bereits bekannten Beobachtungen bzw. Gefährdungspotentialen.
- Die Aktualisierung von Gefährdungspotentialen (Ausdehnung, Intensität), sofern sich die Situation geändert hat.
- Das Löschen von Gefährdungspotentialen, sofern keine Gefahr mehr besteht.

- Das Zusammenführen von Beobachtungen, die sich auf das gleiche Gefährdungspotential beziehen.
- Die hierarchische Aggregation von unterschiedlichen Beobachtungen zu einer übergeordneten Gefahrendarstellung.
- Die Extraktion derjenigen Gefährdungspotentiale, denen sich das Fahrzeug unmittelbar nähert.

Die gespeicherten Informationen beschränken sich aufgrund des lokalen Charakters des Systems zumeist auf eine relativ kleine Region um die aktuelle Fahrzeugposition. Dies ermöglicht optimierte Zugriffsalgorithmen, vor allem zum schnellen Einfügen und Auffinden von Beobachtungen auf Basis der eigenen Fahrzeugposition. Räumliche Datenstrukturen von Geo-Informationssystemen (GIS) wie beispielsweise R-Bäume [GUT84] oder Quadrees [SAM84] erscheinen hier viel versprechend. Zudem kann das Wissensmanagement idealer Weise mit digitalem Kartenmaterial verknüpft werden, das in vielen Fahrzeugen vorhanden ist. Darüber hinaus muss auch ein effizientes Ableiten von nicht direkt beobachtbaren Gefährdungspotentialen gewährleistet sein. Dies gilt insbesondere dann, wenn sowohl Beobachtungen, als auch davon abgeleitetes Wissen mit Unsicherheit behaftet sind.

## Informationsverbreitung

Eine effektive Informationsverbreitung ist einer der schwierigsten Teilaspekte der kooperativen lokalen Gefahrenwarnung. Wie schon erwähnt haben praktisch alle anderen vorgestellten Teilaspekte entscheidenden Einfluss auf die tatsächliche Ausprägung der Informationsverbreitung. Deshalb unterliegt sie besonders vielen Anforderungen.

Die Konnektivität der Fahrzeuge in automobilen Ad-hoc-Netzen ist verkehrsbedingt großen Schwankungen unterlegen. Dies hat entscheidenden Einfluss auf die möglichen Ausbreitungsstrategien hinsichtlich Skalierung. Grundlegend muss dabei zwischen den folgenden zwei Extremen unterschieden werden:

- Falls nur wenige Fahrzeuge in einer Region mit einem entsprechenden System ausgestattet sind, ist eine schnelle Weiterleitung von Nachrichten aufgrund der geringen Konnektivität nur bedingt möglich. Trotzdem soll weitgehend sichergestellt werden, dass eine kritische Information in der Region, in der diese Information wichtig ist, erhalten bleibt. Dies bedingt, dass Fahrzeuge die entsprechende Nachricht speichern und physisch weiter tragen, bis sie einen geeigneten Kommunikationspartner

finden, der die Nachricht aufnimmt und wiederum weiter trägt. Die Ausbreitungsstrategie muss diesem so genannten physical store and forward Rechnung tragen.

- In Szenarien mit hoher Verkehrsdichte wird eine große Anzahl an Fahrzeugen um den Kanalzugriff konkurrieren. Gleichzeitig steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass viele Fahrzeuge in kurzer Folge Nachrichten generieren. Die Wahrscheinlichkeit ist dabei groß, dass aufgrund der wiederum großen Anzahl an Fahrzeugen, die diese Nachrichten weiterleiten sollen, die zur Verfügung stehende Kanalkapazität schnell erschöpft ist. Die Verbreitungsstrategie muss dem durch eine gezielte Koordination der Netzwerkknoten entgegenwirken.

Da der Funkkanal in gleicher Weise von einer Vielzahl an unterschiedlichen Applikationen genutzt werden soll, muss außerdem durch eine Priorisierungsstrategie sichergestellt werden, dass zeitkritische Nachrichten bevorzugt Zugriff auf den Funkkanal bekommen. Dies ist nötig, um die entsprechenden Latenzzeiten so gering wie möglich zu halten. Überdies hinaus ist auch zwischen sicherheitskritischen Nachrichten eine feingranulare Priorisierungsstrategie nötig. Dies trägt der Tatsache Rechnung, dass die konkrete Dringlichkeit selbst ein und derselben Information abhängig vom aktuellen Kontext der Fahrzeuge ist. Daher muss die Priorisierungsstrategie nicht nur verschiedene Applikationsklassen, sondern auch den Kontext der Fahrzeuge mit berücksichtigen.

Die Situation, in der sich die Fahrzeuge befinden, ist ständigen Änderungen unterworfen. Dies gilt in gleicher Weise für die Existenz von sicherheitsrelevanten Wetterbedingungen, Verkehrssituationen oder Fahrbahnbeschaffenheiten. Die Ausbreitungsstrategie muss sich deshalb schnell an die sich fortlaufend ändernden Rahmenbedingungen adaptieren können. Dies beinhaltet im Besonderen auch die Möglichkeit, das Verbreitungsgebiet und die Lebenszeit von Nachrichten permanent an den aktuellen Kontext anzupassen und veraltete Nachrichten durch entsprechend aktuellere zu ersetzen.

Des Weiteren ist es wichtig, die Bandbreite optimal zu nutzen, denn die verfügbare Kanalkapazität ist begrenzt und muss fair unter einer Reihe von Applikationen aufgeteilt werden. Sie sollte daher in jeder Situation so gut wie möglich genutzt werden. Andererseits lässt sich jedoch die Zuverlässigkeit von Applikationen wie der lokalen Gefahrenwarnung, deren Schlussfolgerungen

und Vorhersagen im Allgemeinen auf unsicherem Wissen basieren, durch das Vorhandensein einer Vielzahl an Kontextinformationen merklich erhöhen. Dies bedeutet, dass die noch verfügbare Bandbreite systematisch bis zu einem gewissen Grad ausgenutzt werden können sollte. Sobald die Kapazitätsgrenze des Kanals erreicht ist, muss jedoch weiterhin sichergestellt werden, dass Nachrichten, die nur einen relativ geringen erwarteten Nutzen für andere Fahrzeuge haben, die Übertragungschancen und Latenzzeiten anderer (momentan wichtigerer) Nachrichten nicht merklich negativ beeinflussen.

Die Informationsverbreitung muss zudem der Netzwerkdynamik bedingt durch die hohe Mobilität der Fahrzeuge Rechnung tragen. Das Übertragungsfenster von zwei sich entgegengerichteten Fahrzeugen bewegt sich gerade auf Autobahnen oftmals nur im Bereich von wenigen Sekunden. Es ist daher wahrscheinlich, dass nicht alle Nachrichten in dieser Zeit korrekt übertragen werden können. Aus diesem Grund sollte das Kommunikationssystem die Möglichkeit bieten, eine sinnvolle Reihenfolge der Nachrichten festzulegen, die übertragen werden sollen.

Generell tauschen die Fahrzeuge Wissen in Form von Nachrichten untereinander aus. Diese beinhaltet dabei genau diejenigen Kontextinformationen, die potentiell auch für die anderen Fahrzeuge in der Region von Bedeutung sind. Mit beeinflusst von den unterschiedlichen Analyseverfahren (Fahrzeugsensoren, charakteristische Fahrdynamik, Fahrzeugtrajektorien) kann der Nachrichteninhalt im Prinzip folgende Inhalte enthalten:

- Rohsensorinformationen.
- Abstrahierte Beobachtungen, basierend auf konkreten Sensormesswerten.
- Abgeleitete höherwertige Kontextinformationen bzw. Situationsbeschreibungen.
- Aggregierte Situationsbeschreibungen.

Die Übertragung von Rohsensordaten stellt sehr hohe Ansprüche an die zur Verfügung stehende Kanalkapazität, weshalb sie nicht sinnvoll erscheint.

Einen besonderen Einfluss auf das Gesamtsystem hat auch der Zeitpunkt der Nachrichtenerzeugung und des Versands. Offensichtlich erzeugen Fahrzeuge neue Warnnachrichten, sobald sie einen kritischen und für andere Verkehrsteilnehmer gefährlichen Fahrzustand erkannt haben. Um eine schnelle Adaption an die sich permanent ändernden Umstände zu gewährleisten müssen im Umkehrschluss jedoch auch Nachrichten erzeugt werden, die belegen, dass eine zuvor von anderen Fahrzeugen gemeldete Situation in dieser Form nicht mehr festgestellt werden konnte (Revocation-Message).

Schwierig wird es immer genau dann, wenn die zuvor gemeldete kritische Situation zwar nicht in der gleichen Art und Weise beobachtet werden konnte, die zur Erkennung notwendigen Rahmenfaktoren jedoch unterschiedlich waren. In diesen Fällen kann eine Hypothese weder eindeutig bekräftigt, noch widerlegt werden. Um jedoch trotzdem alle nachfolgenden Fahrzeuge bestmöglich bei ihrer Vorhersage zu unterstützen, wäre vielmehr eine differenzierte Aussage sinnvoll, welche die beobachtete Situation im Detail beschreibt und zudem die Rahmenbedingungen aufzeigt, die zu diesen Beobachtungen führten.

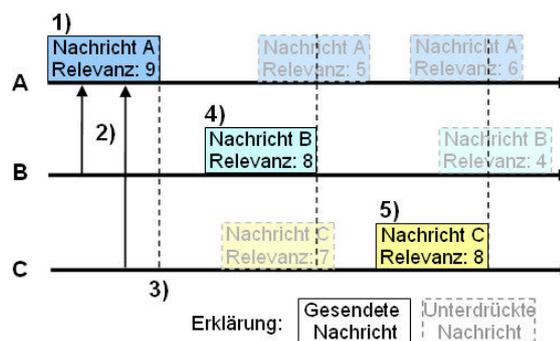
Als Veranschaulichung dieses Phänomens soll uns das Aquaplaning-Beispiel dienen. Ob das Phänomen Aquaplaning bei einem Fahrzeug auftritt oder nicht, hängt nicht nur von der momentanen Fahrbahnbeschaffenheit und der sich darauf befindenden Menge an Wasser und dessen Tiefe ab, sondern auch vom Geschwindigkeitsverlauf, dem Gewicht, dem Reifentyp und -Zustand und der auf den Zentimeter exakten Position. Die Detektionsmöglichkeit ist also abhängig von der aktuellen Fahrzeugkonfiguration und dem Fahrzustand. Die Tatsache, dass ein Fahrzeug an einer bestimmten Stelle, anders als zuvor gemeldet, kein Aquaplaning beobachten kann, ist also noch kein hinreichendes Indiz dafür, dass diese Stelle kein Gefährdungspotential für andere Verkehrsteilnehmer (mehr) besitzt. Prinzipiell lässt sich jedoch festhalten, dass ein Fahrzeug immer genau dann eine Nachricht erzeugen und versenden sollte, wenn die darin enthaltenen Informationen einen signifikanten Informationsgewinn bei den anderen mit dem System ausgestatteten Fahrzeugen darstellt.

Unter der Annahme, dass alle Fahrzeuge in einer bestimmten Region ähnlichen Kontext beobachten und austauschen, und sich aus diesem Grund die individuellen Erwartungshaltungen hinsichtlich eines bestimmten Ereignisses nicht grundlegend unterscheiden, entspricht der Informationsgewinn, den die Kommunikationspartner aus einer Beobachtung wahrscheinlich ziehen können, im Wesentlichen dem eigenen Erkenntnisgewinn. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass eine neue Nachricht immer dann erzeugt und verteilt werden sollte, wenn sich die eigene Erwartung signifikant von der tatsächlichen Beobachtung unterscheidet. Bei Gefahrenquellen, die abhängig von der eigenen Fahrzeugkonfiguration sind, sollten zudem entscheidende Parameter mit übertragen werden. Entspricht die Beobachtung im Wesentlichen dem Erwartungswert, minimiert sich damit der eigentliche Nutzen der Nachricht.

Eine neue Strategie zur Kontextverbreitung in automobilen Ad-hoc-Netzen, die den speziellen Anforderungen zur Kontextverbreitung in VANETs gerecht wird ist die relevanzbasierte Informationsverbreitung [SAE06]. Sie ermöglicht eine selbstorganisierende und situationsadaptive Verteilung von Kontextinformationen in automobilen Ad-hoc-Netzen. Der wesentliche Beitrag besteht in der Einführung einer Metrik, der Übertragungsrelevanz, die eine lokale Ordnung der Nachrichten im Nachrichtenspeicher jedes Fahrzeugs ermöglicht. Diese Ordnung ist im Speziellen genau dann vonnöten, wenn die verfügbare Bandbreite nicht ausreicht, um alle Nachrichten der Fahrzeuge in gewünschter Form übertragen zu können. Dabei werden genau diejenigen Nachrichten systematisch bevorzugt, die den größten geschätzten Nutzen für das Gesamtsystem darstellen (für die Gesamtheit der anderen am System teilnehmenden Fahrzeuge also den größten Nutzen darstellen). Entsprechend haben die relevantesten Nachrichten kurze Latenzzeiten und eine hohe Übertragungswahrscheinlichkeit. Die Nutzung der verfügbaren Bandbreite wird so systematisch kontrolliert, was wiederum zu einer merklichen Steigerung der Gesamtleistung des Systems führt.

Realisiert wird das Konzept durch eine fahrzeuginterne Nachrichtenauswahl mit Hilfe einer Relevanzfunktion und durch ein spezielles Kanalzugriffsverfahren. Beides richtet sich dabei nach dem erwarteten Nutzen, den die entsprechende Nachricht in der momentanen Situation für andere Fahrzeuge darstellt. Auf diese Weise wird zu jedem Zeitpunkt und in jeder Situation immer genau die Nachricht übermittelt, die den höchsten Nutzen für das Gesamtsystem darstellt. Die verfügbare Bandbreite wird somit optimal ausgenutzt.

Abbildung 3 veranschaulicht den Ablauf des Kanalzugriffsverfahrens anhand dreier Fahrzeuge, die drei unterschiedliche Nachrichten für die Übertragung haben, welche zuvor durch die fahrzeuginterne Nachrichtenauswahl selektiert wurden. Jeweils das Fahrzeug mit der relevantesten Nachricht bekommt auf Grund eines relevanzabhängigen Zählers als erstes Zugriff auf den Übertragungskanal, wodurch alle anderen Fahrzeuge mit ihren Nachrichten unterdrückt werden (zur Verdeutlichung sind auch die unterdrückten Nachrichten dargestellt). Bedingt durch z.B. die Wartezeit und weitere Parameter erhöht sich die Relevanz von unterdrückten Nachrichten so lange bis sie eventuell übertragen werden. Eine eben gesendete Nachricht hat dagegen i.d.R. im direkten Anschluss eine geringere Übertragungswahrscheinlichkeit.



**Abbildung 3: Relevanzbasiertes Kanalzugriffsverfahren**

- 1) Fahrzeug A überträgt eine Nachricht.
- 2) Fahrzeug B und C lauschen auf den Kanal und stellen fest, dass das Medium belegt ist.
- 3) Alle drei Fahrzeuge stellen fest, dass das Medium wieder frei ist und starten ihren relevanzbasierten Zähler.
- 4) Fahrzeug B besitzt die Nachricht mit der höchsten Relevanz und sendet deshalb als erstes, wodurch Fahrzeug A und C unterdrückt werden.
- 5) Fahrzeug C besitzt im nächsten Durchlauf die relevanteste Nachricht und sendet deshalb als erstes, wodurch wiederum alle anderen Fahrzeuge unterdrückt werden.

## Benutzerschnittstelle

Gefahren in der näheren Umgebung des Fahrers müssen dem Fahrer mitgeteilt werden. Dabei muss selbstverständlich überprüft werden, ob die Gefahr auch für den Fahrer relevant ist. Eine Möglichkeit wäre der Abgleich mit der einprogrammierten Route des Navigationssystems. Zusätzlich ist es ausschlaggebend, ob sich die Gefahr auf der gleichen Straßenseite wie das Fahrzeug befindet.

Bei der Warnung muss sichergestellt werden, dass der Fahrer nicht überfordert oder vom Straßengeschehen abgelenkt wird. Folglich sollte auch die Benutzerschnittstelle zum Fahrer kontextadaptiv handeln und den Fahrer entsprechend der aktuellen Fahrsituation informieren. Hierbei spielen Zeitpunkt und Art der Mitteilung die größte Rolle.

Hat das System mehrere Gefahren gespeichert, dann muss es entscheiden, welche dem Fahrer zuerst mitgeteilt wird. Hier ist ebenfalls ein relevanzbasiertes Vorgehen sinnvoll. So würde eine weiter entfernte aber sehr gefährliche Situation eher angezeigt

werden, als eine näher gelegene, aber weniger gefährliche.

Für die Art der Mitteilung gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Visuell (z.B. über ein Head-Up-Display).
- Akustisch (z.B. über die Lautsprecher).
- Sensitiv (z.B. über das Lenkrad).

Abbildung 4 zeigt eine Möglichkeit der lokalen Gefahrenwarnung im Fahrzeug durch die Einblendung eines Gefahrensymbols im Navigationssystem [KOS04].



**Abbildung 4: Anzeige einer lokalen Gefahrenwarnung**

## Datensicherheit und Datenschutz

Selbst wenn nicht aktiv in die Fahrdynamik des Fahrzeugs eingegriffen wird, muss die Vorhersage einer Situation möglichst fehlerfrei und genau sein, um auf eine breite Nutzerakzeptanz zu stoßen. Sie muss daher insbesondere sicher gegenüber gezielten Angriffen sein.

Bei der vorgestellten lokalen Gefahrenwarnung handelt es sich um ein kooperatives System, das Entscheidungen im Wesentlichen auf Informationen aufbaut, die von anderen Teilnehmern bereitgestellt werden. Aus diesem Grund müssen Mechanismen bereitgehalten werden, welche die Vertrauenswürdigkeit der verwerteten Informationen sicherstellen oder den Grad der Vertrauenswürdigkeit bei der weiteren Verrechnung mit einbeziehen. Klassische Verfahren wie beispielsweise Zertifizierung oder Reputationssysteme [MAG04] erzeugen jedoch hohen administrativen Aufwand und Kosten. Zusätzlich bieten diese Verfahren keinen ausreichenden Schutz davor, dass dem Fahrzeug gezielt falsche Sensorwerte vorgegaukelt werden.

Ein ergänzender Ansatz besteht darin, den konkreten Inhalt vor dem Hintergrund des eigenen bereits vorhandenen Wissens auf seine Plausibilität zu überprüfen [OST05]. Dieser Ansatz beruht auf der Annahme, dass nur sehr wenige Angreifer vielen aufrichtig agierenden Teilnehmern gegenüberstehen. Es muss daher ausgeschlossen werden, dass sich ein Angreifer gleichzeitig als eine Vielzahl von anderen unterschiedlichen Fahrzeugen ausgeben kann und so ein in sich

plausibles aber falsches Bild einer Situation vorgaukelt. Des Weiteren erhöht sich hierdurch die Komplexität der Schlussfolgerungsmechanismen. Dies beruht vor allem auf der dynamischen Natur vieler Gefährdungspotentiale.

Eine von der bisherigen Einschätzung der Situation abweichende Beobachtung kann mit begründet sein dadurch, dass

- sich die Situation tatsächlich inzwischen geändert hat.
- ein Sensor eines Fahrzeuges falsche Messwerte liefert.
- ein Angriff vorliegt.

Ein diesbezüglich fehlertolerantes System muss aus diesem Grund zu einem Zeitpunkt unter Umständen verschiedene Situationseinschätzungen vorhalten, um auf Basis noch folgender zusätzlicher Erkenntnisse zwischen einer fehlerhaften oder verfälschten Information und einer Veränderung der Situation zu unterscheiden. Dies hat jedoch zur Folge, dass das Wissensmanagement signifikant schwieriger ist und höhere Anforderungen an die Datenhaltung und Schlussfolgerungsmechanismen stellt. Typischer Weise erhöhen Protokolle zur Sicherstellung des Informationsaustausches zudem die Anforderungen an den Kommunikationskanal.

Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass Fahrzeuge keine Informationen verteilen, die Rückschlüsse auf Gewohnheiten oder den aktuellen Zustand des Fahrers zulassen. Insbesondere darf es nicht möglich sein, Bewegungsprofile einzelner Fahrer zu erstellen oder Verstöße gegen Straßenverkehrsregeln automatisiert aufzuzeichnen und zu ahnden. Sendet ein Fahrzeug z.B. periodisch seine aktuelle Geschwindigkeit, so darf dies nicht als Beweis einer eventuell vorliegenden Geschwindigkeitsüberschreitung verwendet werden. Dem kann dadurch vorgebeugt werden, dass derartige Kontextinformationen nicht von den Fahrzeugen verbreitet werden. Allerdings beruhen viele kooperative Assistenzdienste unter anderem gerade auch auf einer genauen Kenntnis der aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeiten, -Positionen und Fahrtrichtungen der umgebenden Fahrzeuge.

Die Beachtung von datenschutzrechtlichen Fragestellungen hat also unter Umständen signifikanten Einfluss auf die weiteren Analysemöglichkeiten.

Einen anderen Ansatz verfolgen Anonymisierungsstrategien, die zumeist auf dem Einsatz von Pseudonymen beruhen. Hierbei stellt sich allerdings die Frage nach einer geeigneten Pseudonymwechselstrategie.

Zusätzlich kann die Übermittlung von fahrzeugspezifischen Sensorwerten gegebenenfalls Rückschlüsse auf die Identität eines Fahrzeuges ermöglichen, was den Wechsel eines Pseudonyms weiter erschweren würde.

### Fazit

Wie sich zeigt, ist ein schlüssiges und funktionierendes Gesamtsystem viel komplexer als die Summe der Teilproblemlösungen. Viele der bisher vorgeschlagenen Lösungsansätze beschränken sich lediglich auf einen kleinen

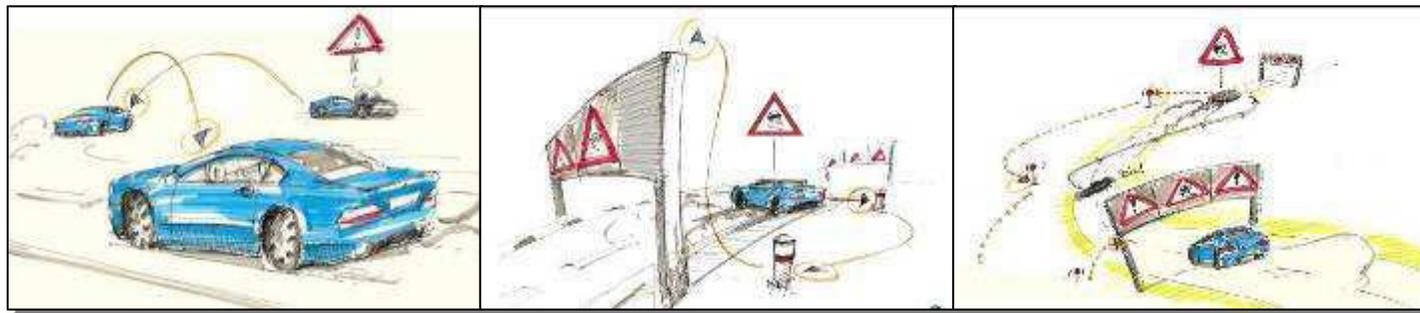
Problembereich. Aber für ein funktionierendes System muss das Gesamtproblem verstanden und gelöst werden.

Die erfolgreiche Umsetzung und Einführung des Systems setzt außerdem eine weiterhin enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschung und Behörden voraus. Die Standardisierung der benötigten Schnittstellen bietet der Zulieferindustrie und Systemanbietern zusätzliches Potential. Hochschulen und Behörden beteiligen sich an der Erarbeitung von Lösungen und Konzepten.

### Literatur

- [DSK05] F. Dötzer, M. Strassberger und T. Kosch. Classification for traffic related inter-vehicle messaging. In 5th International Conference on ITS, Telecommunications, Brest, Frankreich, 2005.
- [GUT84] A. Guttman. R-trees: a dynamic index structure for spatial searching. In SIGMOD Conference, Boston, USA, 1984.
- [KOS04] T. Kosch. Local Danger Warning based on Vehicle Ad-hoc Networks: Prototype and Simulation. In 1<sup>st</sup> International Workshop in Intelligent Transportation (WIT 2004), Hamburg, März 2004.
- [MAG04] P. Magiera. Reputationssysteme in großen, hoch-mobilen Ad-hoc-Netzen, Diplomarbeit, Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Informatik, 2004.
- [NMK05] G. Nöcker, K. Mezger, B Kerner. Vorausschauende Fahrerassistenzsysteme (Foresighted Driver Assistance Systems), Workshop Fahrerassistenzsysteme 2005, Walting, 06.-08. April 2005.
- [OST05] B. Ostermaier. Analysis and Improvement of Inter-Vehicle Communication Security by Simulation of Attacks, Diplomarbeit, Technische Universität München, Institut für Informatik, 2005.
- [SAE06] M. Straßberger, C. Adler und R. Eigner. Situationsadaptive Verbreitung von Kontextinformationen in automobilen Ad-hoc-Netzen. PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, vol. 29 (1), München, Saur Verlag, 2006.
- [SAM84] H. Samet. The Quadtree and Related Hierarchical Data Structures, ACM Computing Surveys, Vol. 16-2, 1984.

# Lokale Gefahrenwarnung in Fahrzeug-Ad-Hoc-Netzen.



Eine umfassende Analyse und aktuelle  
Lösungsansätze.

**Markus Straßberger, Christian Adler**  
**BMW Group**  
Forschung und Technik



# Lokale Gefahrenwarnung. Szenario.

**Potentielle Gefahren  
dem Fahrer verdeutlichen.**

4

**Systemarchitektur  
und Wissensmanagement.**

M

**Situation kooperativ  
im Vorfeld beurteilen.**

3

**Sicherheit (Security).  
Privatsphäre (Privacy).**

S

**Erkenntnisse kommunizieren  
und verbreiten.**

2

**Besonderheiten der  
Situation erkennen.**

1



# Lokale Gefahrenwarnung. Einflussfaktoren.

**Potentielle Gefahren  
dem Fahrer verdeutlichen.**

4

**Systemarchitektur  
und Wissensmanagement.**

M

**Situation kooperativ  
im Vorfeld beurteilen.**

3

**Sicherheit (Security).  
Privatsphäre (Privacy).**

S

**Erkenntnisse kommunizieren  
und verbreiten.**

2

**Besonderheiten der  
Situation erkennen.**

1



**Differenzierung.**

**Standardisierung.**

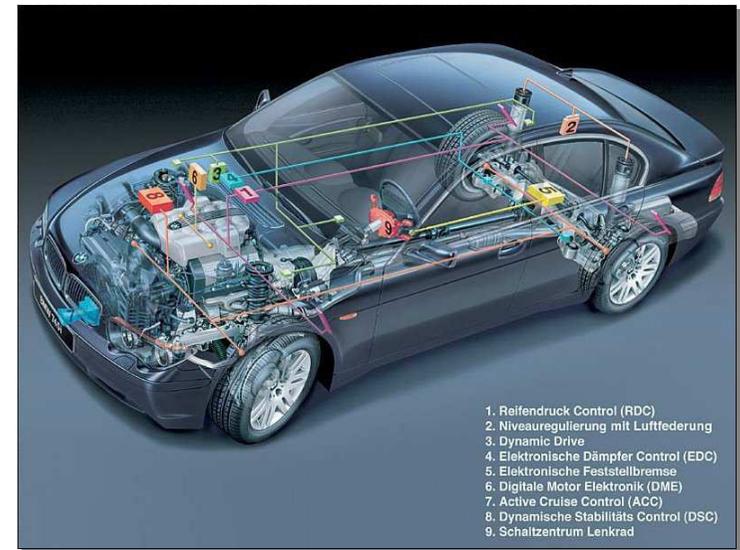
**Geschäftsmodell.**

# Technische Problemfelder. Individuelle Situationsanalyse.

- 4
- M
- 3
- S
- 2
- 1

## Bisher:

- **Regelsysteme, basierend auf einer Menge spezieller Sensoren (ABS, DSC/ESP, PDC, ACC ...).**
- **Rel. exakte Messgrößen als Basis für Regelungsalgorithmen.**
- **Eingreifen i.d.R. unabhängig von konkreter Ursache.**

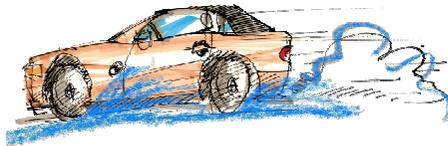


## Lokale Gefahrenwarnung:

- **Ableiten der Ursachen für ANDERE Verkehrsteilnehmer.**
- **Kein unmittelbares Eingreifen, geringere Echtzeitanforderungen.**
- **Unscharfes Schließen ermöglicht bessere Situationseinschätzung ohne zusätzliche Sensorik.**

# Technische Problemfelder. Individuelle Situationsanalyse.

## □ Fahrzustandsabhängige Detektion

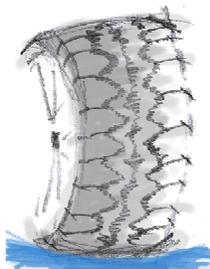


Schnell:  
Aquaplaning!

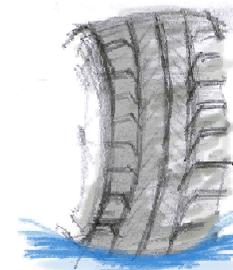


Langsam:  
unkritisch!

*deterministische vs. nicht-deterministische  
Detektion*



“schlechter” Reifen:  
Aquaplaning!



“guter” Reifen:  
unkritisch!

*objektive vs. subjektive  
Detektion*

4

M

3

S

2

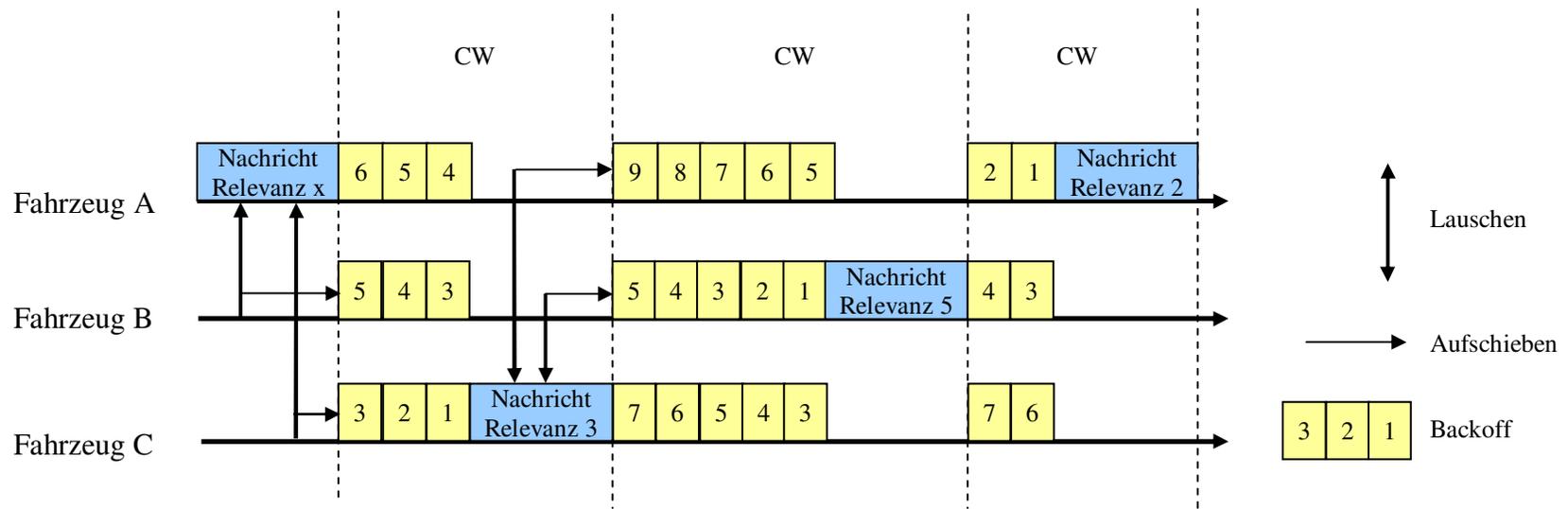
1



# Technische Problemfelder. Informationsverbreitung.

## □ Möglicher Lösungsansatz:

- Nachrichtenerzeugung, wenn beobachtete Situation von der Erwartungshaltung abweicht.
- Festlegung einer Reihenfolge auf den zu sendenden Nachrichten, basierend auf ihrer aktuellen Relevanz für die anderen Verkehrsteilnehmer.
- Kanalzugriff adaptiv nach Relevanz.

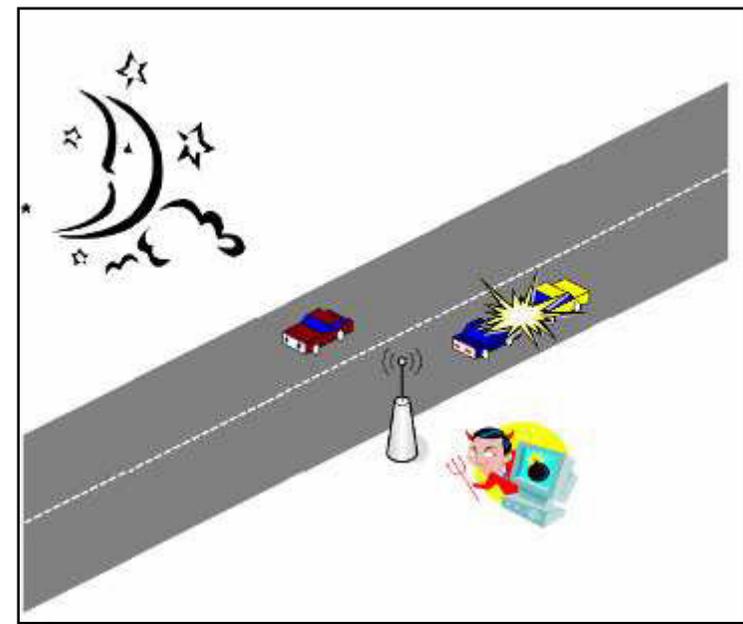
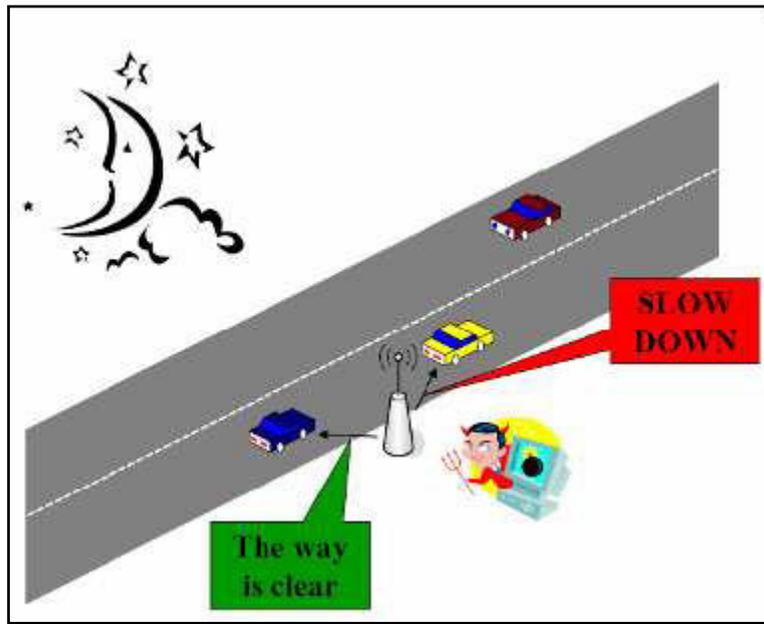


# Technische Problemfelder. Sicherheit und Datenschutz.

- 4
- M
- 3
- S
- 2
- 1

## □ Anforderungen:

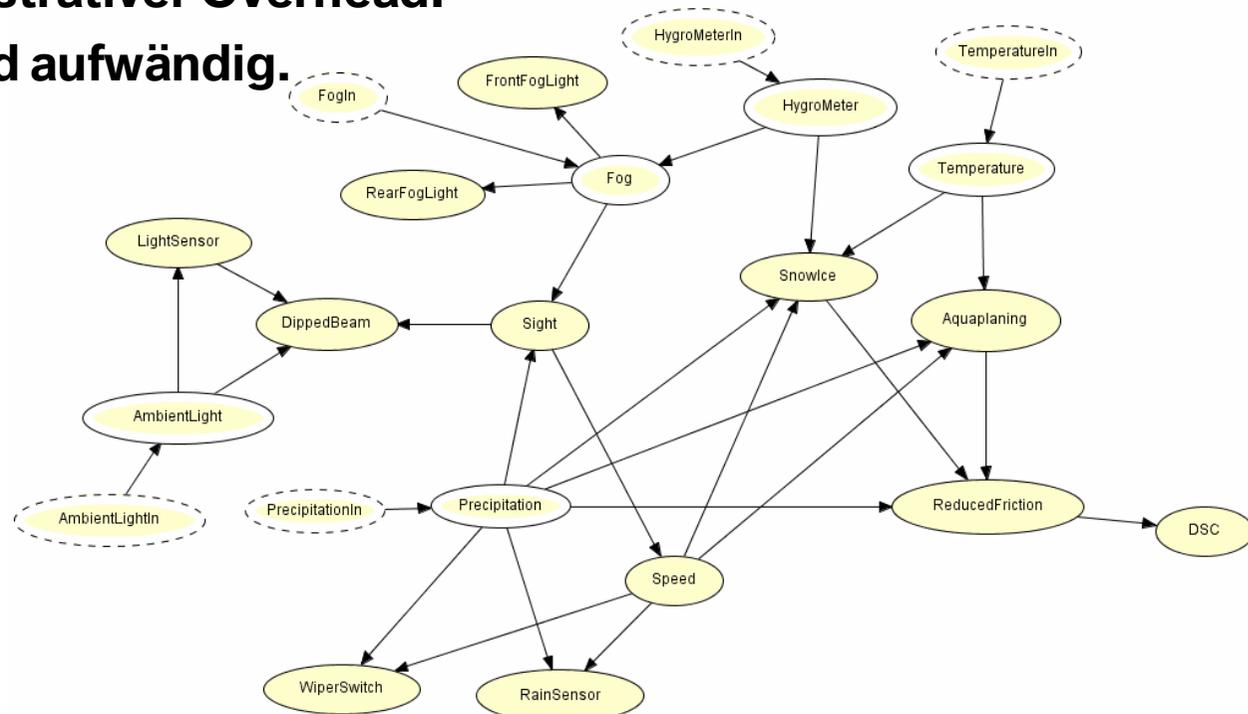
- System muss sicher vor Angriffen sein (Security).
- System darf nicht gestört werden können (Denial-of-Service).
- Fahrzeugsystem darf nicht von außen manipulierbar sein.
- Schutz der informationellen Selbstbestimmung (Privacy).
- Geringer Overhead.



# Technische Problemfelder. Sicherheit und Datenschutz.

## □ Möglicher Lösungsansatz: Informationszentriert

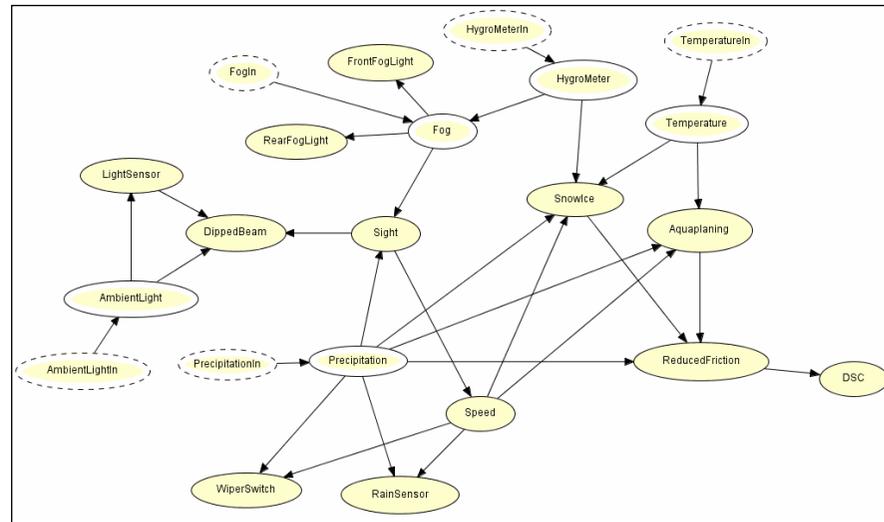
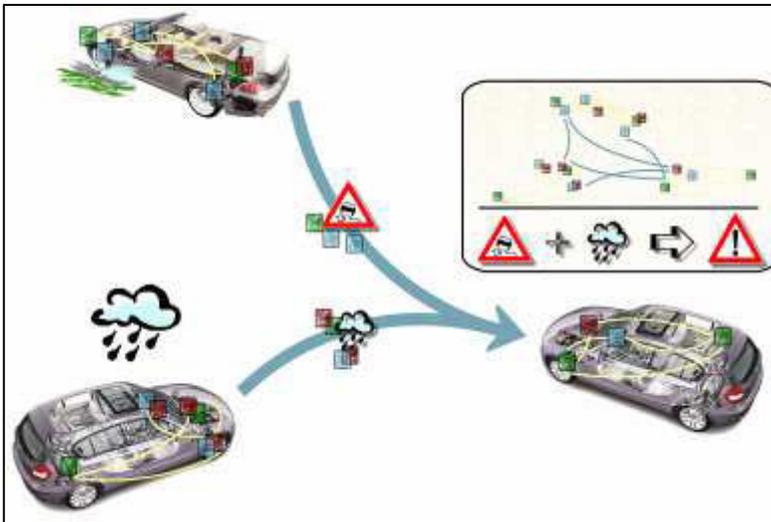
- Plausibilitätsprüfung der empfangenen Informationen.
- Möglichkeit der Anonymisierung.
- Generisches, fehlertolerantes System.
- Geringer administrativer Overhead.
- Rel. komplex und aufwändig.



# Technische Problemfelder. Kooperative Situationsanalyse.

## □ Situationsbewertung:

- Viele Fahrzeuge beobachten in kurzer Zeit die gleiche Situation.
- Einschätzung der Plausibilität der verfügbaren Information (Hypothesen).
- Vorhersagen auf unscharfem, lückenhaftem Wissen.
- Räumliche und zeitliche Einflussfaktoren.
- Erweiterte Analysemöglichkeiten und Validierung (kooperativ).
- Hohe Aktualität durch zeitnahe Widerrufe.



# Technische Problemfelder. Systemarchitektur und Wissensmanagement.

4

## □ Anforderungen:

- Geringe Speicher- und Rechenkomplexität.
- Effektive Unterstützung von relativ hohen Datenaufkommen.
- Miteinbezug von räumlichen und zeitlichen Einflussfaktoren.
- Unterstützung von unterschiedlich ausgeprägten Gefahren.
- Speicherung von Wissen für ANDERE Verkehrsteilnehmer.

M

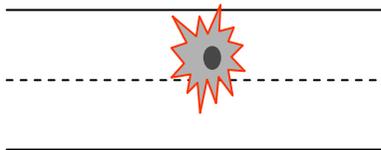
3

S

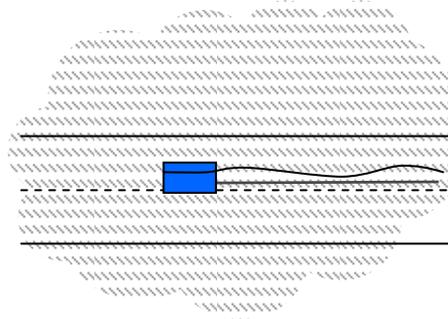
2

1

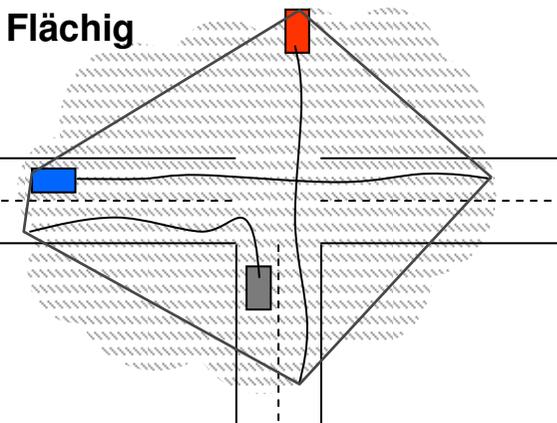
Punktförmig



Linear



Flächig



# Technische Problemfelder. Systemarchitektur und Wissensmanagement.

4

## □ Spezielle Problemfelder:

- Situationsdynamik.
- Positionsunschärfe.
- Matching von Gefahrenpotentialen.
- Extraktion der relevanten Gefahrenpotentiale.

M

## □ Mögliche Lösungsansätze:

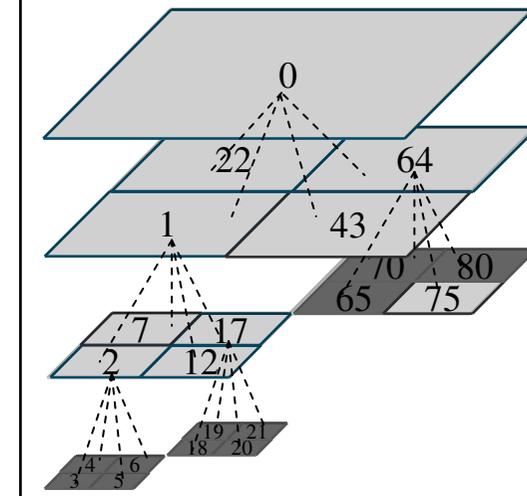
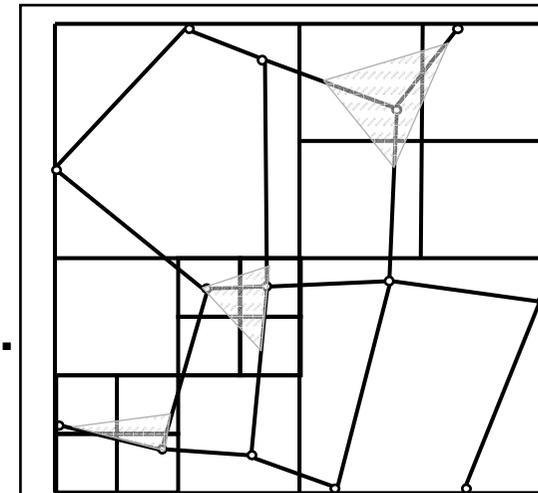
- GIS-Verfahren, bsp. Quadrees.
- Kopplung an Navigationssystem.

3

S

2

1



# Technische Problemfelder. Benutzerschnittstelle.

4

## □ Anforderungen:

- Nur für den Fahrer relevante Gefahrenpotentiale sollen mitgeteilt werden.
- Fahrer darf nicht überlastet werden.
- Große Spanne zwischen reinem Informationssystem und konkretem Warnsystem (abhängig vom Kontext).

M

3

S

2

1

**Imminent Dangers**  
**Action**

- requires immediate driver intervention
- example: accident of leading car, end of traffic jam ahead

Action required in:

1 – 2 seconds

**Particular Attention**  
**Attention**

- does not require immediate driver intervention, but driver should pay particular attention
- example: rain, snow, fog

10 – 60 seconds

**Driver Information**  
**Awareness**

- provides additional traffic related information
- example: high traffic, traffic jams, areas without warning availability

minutes

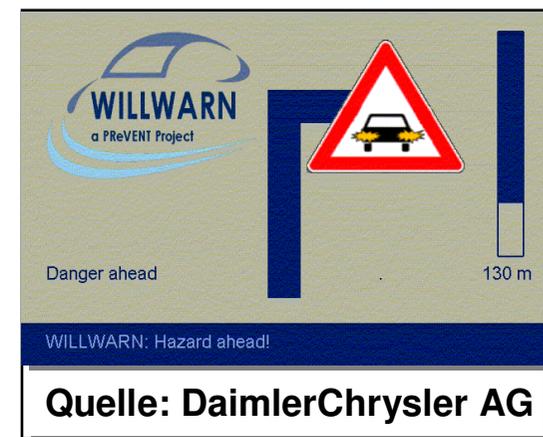
Quelle: PReVENT WILLWARN

# Technische Problemfelder. Benutzerschnittstelle.

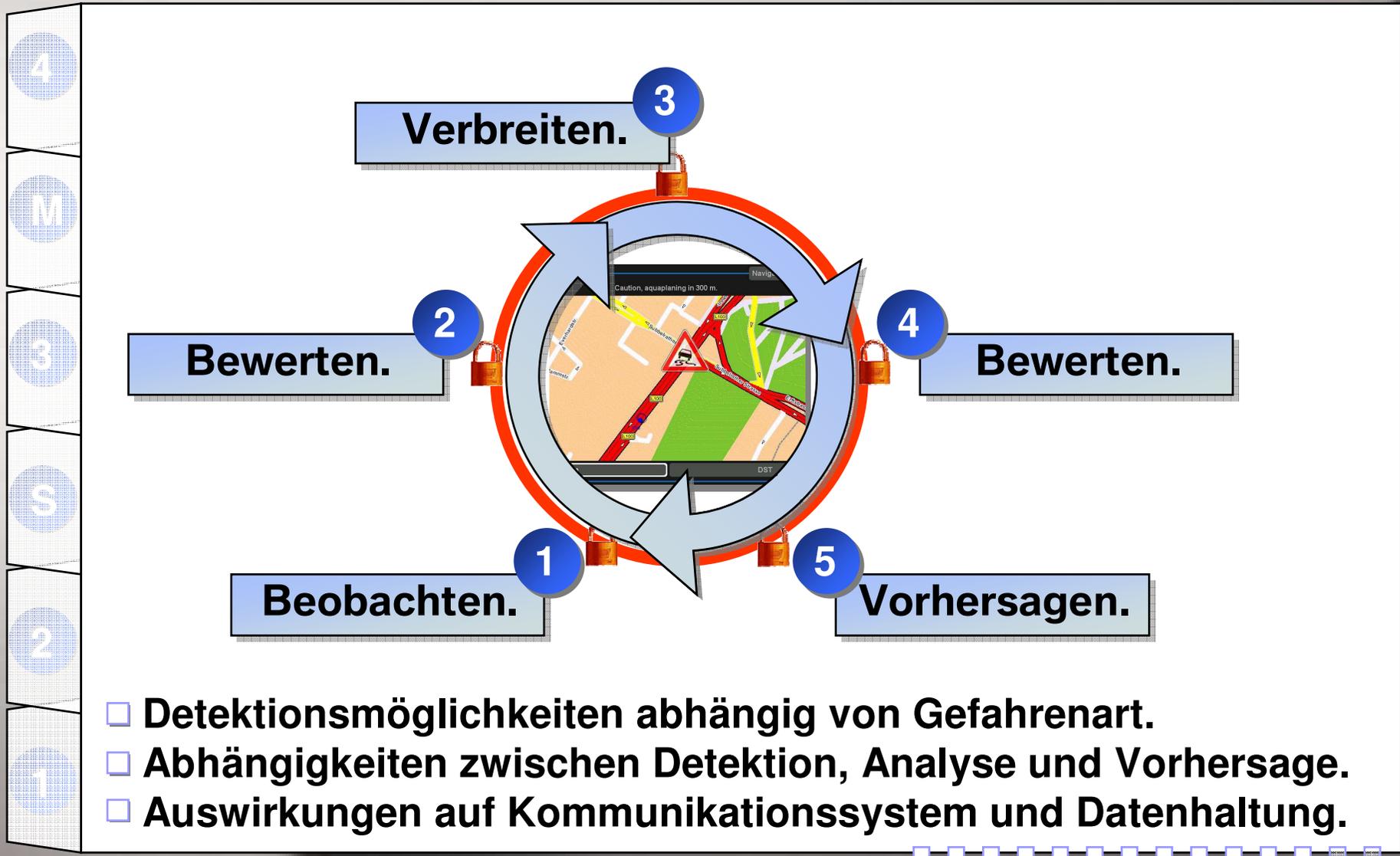
4

## □ Spezielle Fragestellungen:

- Welche Informationen soll dargestellt werden?
  - Kontextadaptive Auswahl der im Moment wichtigsten Informationen.
- Wie soll sie dargestellt werden?
  - Visuell, Akustisch, Haptisch.
- Wann soll sie dargestellt werden?



# Lokale Gefahrenwarnung. Technisches Fazit.



# Lokale Gefahrenwarnung. Fazit.

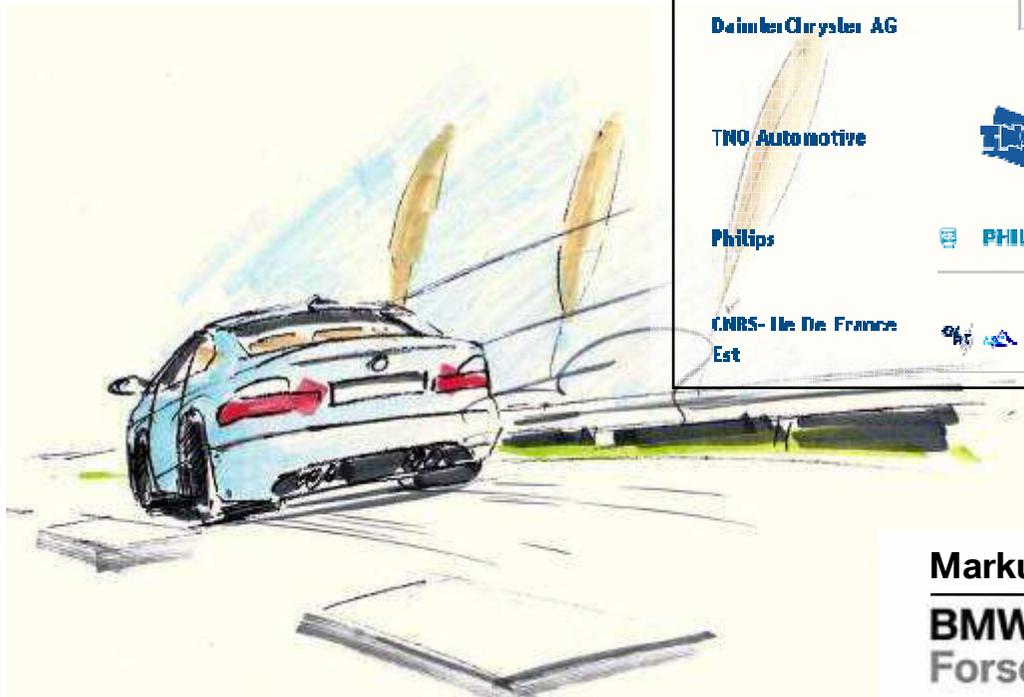


- **Kooperation ideale Ergänzung zu sensorbasierten voraussehenden Assistenzsystemen.**
- **Voraussichtlich hoher Kundennutzen bei relativ geringen Kosten.**
- **Gesamtlösung konzeptionell komplex.**
- **Viele Differenzierungsmöglichkeiten zwischen den Herstellern.**
- **Technische Realisierung / Umsetzbarkeit weit fortgeschritten.**
- **Schnelle Einführung im Wesentlichen abhängig von Standardisierungsprozess und Geschäftsmodellen.**



# Lokale Gefahrenwarnung. Vielen Dank.

- 4
- M
- 3
- S
- 2
- 1



<b>DaimlerChrysler AG</b>	<b>DAIMLERCHRYSLER</b>	<b>WILLWARN</b> a PREVENT Project
<b>TNO Automotive</b>		<b>BMW Forschung Und Technik GmbH</b>
<b>Philips</b>		<b>National Technical University of Athens</b>
<b>CNRS- Ile De France Est</b>		<b>HTW Forgis</b>

[Markus.Strassberger@bmw.de](mailto:Markus.Strassberger@bmw.de)  
**BMW Group**  
Forschung und Technik



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.**

