

Simulation realer Unfalleinlaufszzenarien der German In-Depth Accident Study (GIDAS)

Erstellung und Nutzen von "pre crash scatter plots"

Dipl.-Ing. (FH) **C. Erbsmehl**, Dr.-Ing. **L. Hannawald**,
Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH

Kurzfassung

Der Fokus der technischen Innovationen der Automobilindustrie richtet sich aktuell auf die Entwicklung von sensorbasierten Sicherheitssystemen. Diese Systeme agieren in der Unfalleinleitungsphase. Um diese vorkollisionäre Phase eingehender zu beleuchten, ist eine Simulation des Unfalleinlaufszzenarios unter Verwendung der GIDAS Datenbank erforderlich. Basis dieser Simulation sind zum einen geometrische Informationen der Unfallstelle und zum anderen exakte Unfalldaten aus der GIDAS Datenbank. Die Zusammenführung dieser beiden Informationsquellen bietet die Möglichkeit einer exakten Nachbildung der Unfalleinlaufbewegung aller Beteiligten unter Nutzung der Programme MATLAB® / SIMULINK®. Ergebnis dieser Simulation sind Informationen über die jeweilige geometrische Position, die gefahrenen Geschwindigkeiten und eventuell eingeleitete Manöver der Beteiligten zu einer gewünschten "time to collision" (TTC). Mit diesen Ergebnissen ist es möglich, über "pre crash scatter plots" sinnvolle Sensorgeometrien zu entwerfen oder Effizienzabschätzungen von implementierten aktiven Sicherheitssystemen in Kombination mit Sensorcharakteristika durchzuführen.

Diese Simulation der Unfalleinlaufszzenarien kann auf jeden rekonstruierten Unfall der GIDAS Datenbank angewendet werden. Somit bilden die Ergebnisse eine gesicherte Datenbasis für Neu- und Weiterentwicklungen von aktiven Sicherheitssystemen oder Sensorcharakteristika.

1. Basis

Als Simulationsdatenbasis werden drei wesentliche Quellen verwendet; die GIDAS Datenbank, die digitalisierte Unfallskizze und, falls eine Sensorbewertung erfolgen soll, die Sensorcharakteristika.

1.1 GIDAS Datenbank

GIDAS ist ein Gemeinschaftsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT). Die Datenerhebung erfolgt seit 1999. In den beiden Erhebungsgebieten Dresden und Hannover werden jährlich ca. 2.000 Unfälle, anhand eines Stichprobenplans, vor Ort erhoben und rekonstruiert. Die aus der Erhebung und Rekonstruktion gewonnenen Daten werden anschließend in die GIDAS Datenbank überführt.

Da Ausgangsgeschwindigkeiten, Reaktionen, Wege und Verzögerungen das Grundgerüst des Unfälleinlaufes und somit auch der Simulation bilden, werden diese direkt aus der GIDAS Datenbank entnommen.

1.2 Digitale Unfallskizze

Parallel zur GIDAS Datenbank entsteht während der Unfalldokumentation eine Fallakte mit Unfallfotos, Verletzungsübersichten, Beschädigungsmustern und einer Unfallskizze. Diese Unfallskizze wird manuell vor der Simulation digitalisiert.

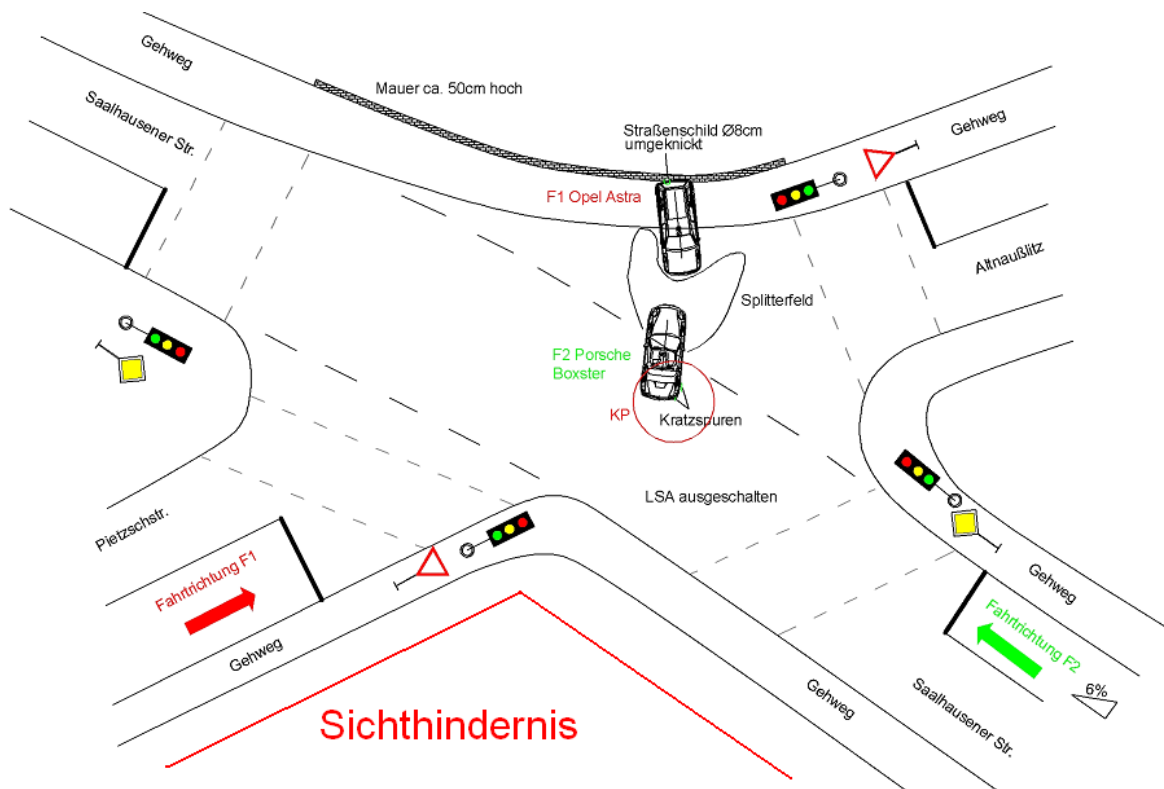


Bild 1: Unfallskizze

Während der Digitalisierung werden maßgebliche Informationen wie die Positionen der Sichthindernisse, Fahrlinien, Fahrspuren und Fahrbahnbegrenzungen wie in Bild 1 gezeigt in digitale Geometrien umgewandelt. Diese Informationen liegen nun als weitere Eingangsgrößen der Simulation vor.

1.3 Sensorcharakteristika

Falls mit der Unfalleinlaufsimulation eine Sensorbewertung erfolgen soll, ist es notwendig die Sensorspezifikationen als weitere Eingangsgröße zu definieren. Vorerst genügen hierzu die geometrischen Daten wie in Bild 2 gezeigt, wobei als weiteres Kriterium die Abweichung der Sensorgeometrie von der Fahrzeuglängsachse zu beachten ist.

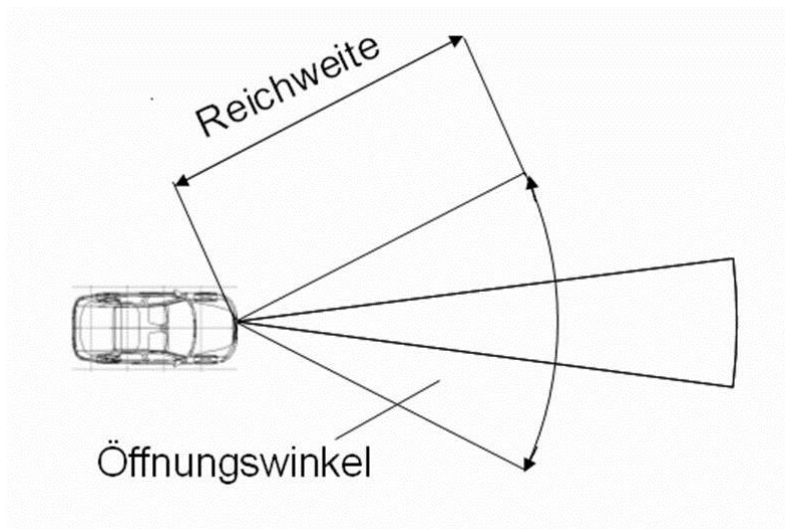


Bild 2: Sensorgeometrie

Zusätzlich zu den geometrischen Informationen können für eine Sensorbewertung die Zeit bis zur Ersterkennung, die Auffrischungsrate und die Position des jeweiligen Sensors am Fahrzeug variiert werden.

2. Simulation

Nachdem alle notwendigen Eingangsgrößen bekannt sind, erfolgt die Simulation nach folgendem Schema.

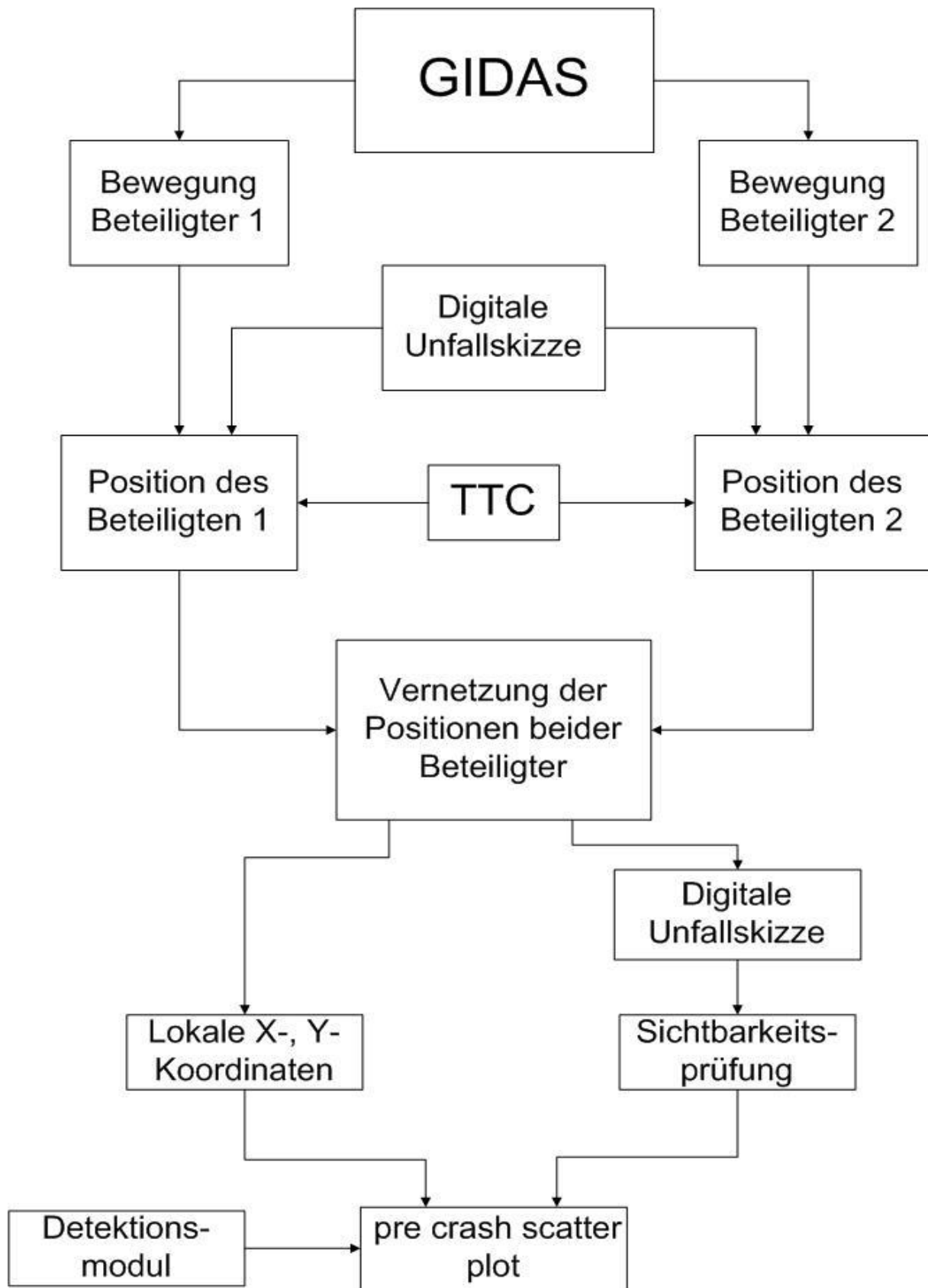


Bild 3: Schema der Simulation

2.1 Bewegung der Beteiligten

Im ersten Schritt der Simulation werden die Kollisionsgeschwindigkeiten, die Beschleunigungen / Verzögerungen, die Bremswege und die Ausgangsgeschwindigkeiten der beteiligten Fahrzeuge aus der GIDAS Datenbank extrahiert. Anhand dieser Parameter wird für jeden Beteiligten mittels Rückwärtsrechnung eine räumlich unabhängige Bewegung formuliert.

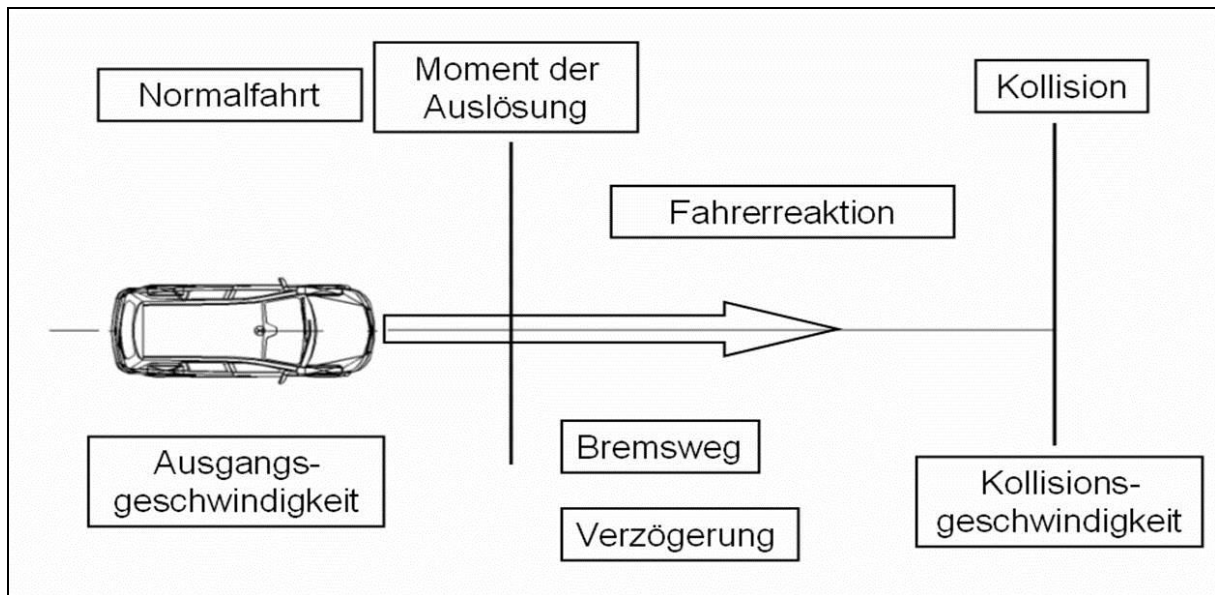


Bild 4: Formulierung der Bewegung jedes Fahrzeuges

2.2 Position der Fahrzeuge

Unter Verwendung der vorliegenden digitalen Unfallskizze, der Bewegungsgleichungen und einer bestimmten TTC wird nun die globale Position jedes Beteiligten bestimmt. Dazu wird anhand der Bewegungsgleichung zu einer bestimmten TTC der zurückzulegende Weg bis zur Kollision ermittelt. Zur Berechnung der Koordinaten eines jeden Beteiligten wird dieser Weg in die digitale Skizze projiziert.

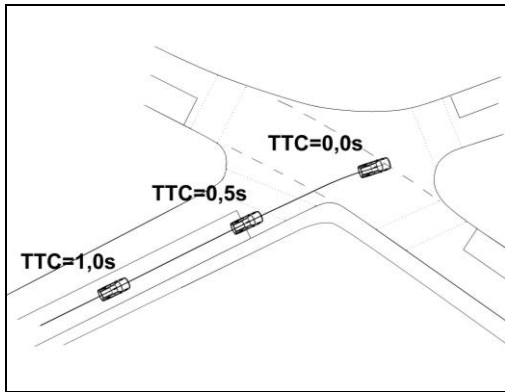


Bild 5: Globale Position Fahrzeug 1

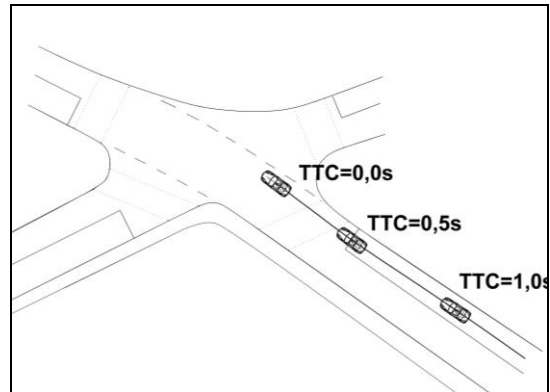


Bild 6: Globale Position Fahrzeug 2

2.3 Positionen und Sichtbarkeit

Nach der Bestimmung der globalen Positionen für jeden Beteiligten folgt die Zusammenführung dieser in einem Koordinatensystem. Nach dieser Transformation folgt die Bestimmung der lokalen Bezugskordinaten (Abstand in x- und y- Richtung) vom zu betrachtenden Fahrzeug zum Unfallgegner.

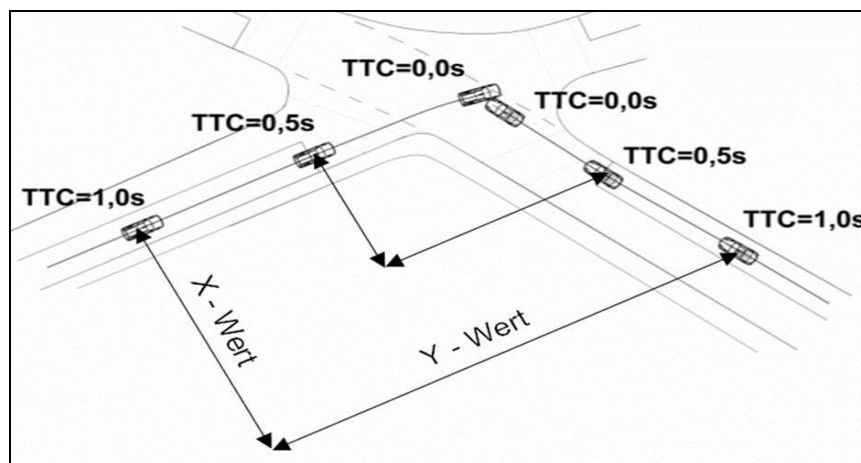


Bild 7: Zusammenführung der Fahrzeugpositionen

Parallel zur Berechnung der lokalen Bezugskordinaten werden die globalen Koordinaten beider Beteiligten in die digitale Unfallskizze projiziert. Anhand dieser projizierten Koordinaten und der Information über die Geometrie des Sichthindernisses wird eine Sichtbarkeitsprüfung durchgeführt, indem vier Sichtlinien erstellt werden. Die Sichtlinien verbinden die Fahrzeugfront des betrachteten Fahrzeuges mit den vier Eckpunkten des Unfallgegners. Schneiden mindestens drei dieser Sichtlinien das Sichthindernis nicht, gilt der Unfallgegner als sichtbar. In vereinfachter grafischer Form stellen sich die Sichtlinienbedingungen wie folgt dar.

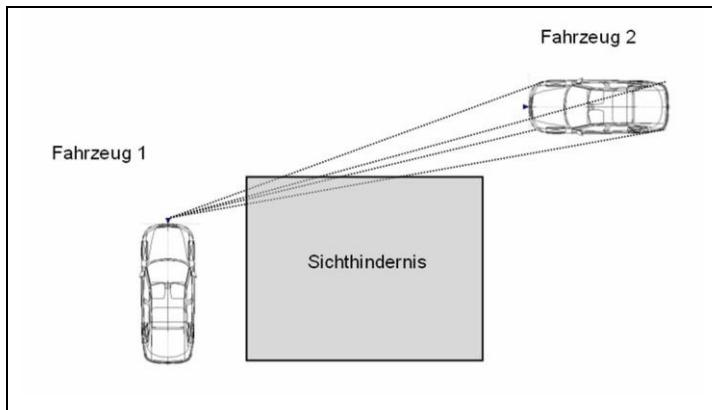


Bild 8: Sichtbarkeit (vier schneidende Sichtlinien)

Im nebenstehenden Bild schneiden alle vier Sichtlinien das Sichthindernis. In diesem Fall ist Fahrzeug 2 nicht sichtbar für Fahrzeug 1.

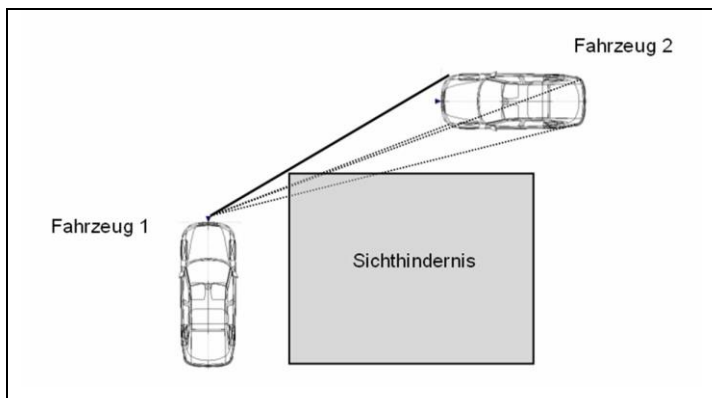


Bild 9: Sichtbarkeit (drei schneidende Sichtlinien)

Im nebenstehenden Bild schneiden drei Sichtlinien das Sichthindernis. Fahrzeug 2 ist nicht sichtbar.

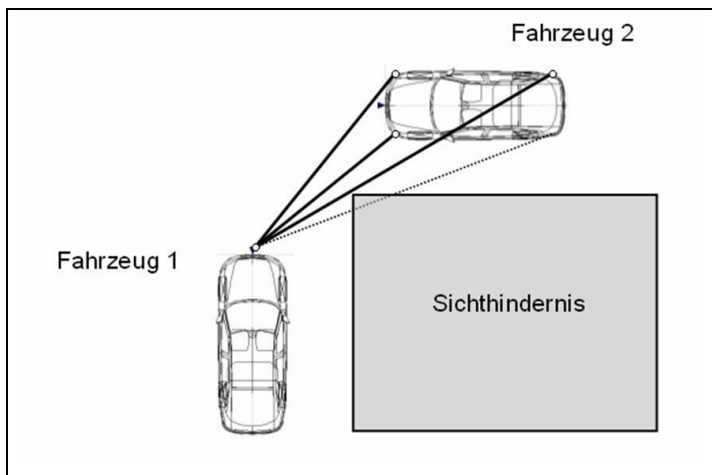


Bild 10: Sichtbarkeit (eine schneidende Sichtlinie)

Erst wenn mindestens drei Sichtlinien das Sichthindernis nicht schneiden, wie im nebenstehenden Bild gezeigt, gilt das Fahrzeug als sichtbar, gleiches gilt selbstverständlich auch, wenn kein Sichthindernis vorhanden ist.

Nach der Berechnung der x-/y- Koordinaten und der Prüfung der Sichtbarkeitsbedingung sind alle wesentlichen Voraussetzungen für eine Ergebnisdarstellung durch einen "pre crash scatter plot" erfüllt. Falls kein Sensor bewertet werden soll, kann ab diesem Punkt direkt mit der Ergebnisdarstellung begonnen werden.

2.4 Detektionsmodul

Mit den Informationen aus Simulation, Sichtbarkeitsprüfung und den Sensorcharakteristika lässt sich ein Funktionsschema zur Bewertung des verwendeten Sensors in Form eines Detektionsmoduls als Aufsatz auf die oben beschriebene Simulation beschreiben.

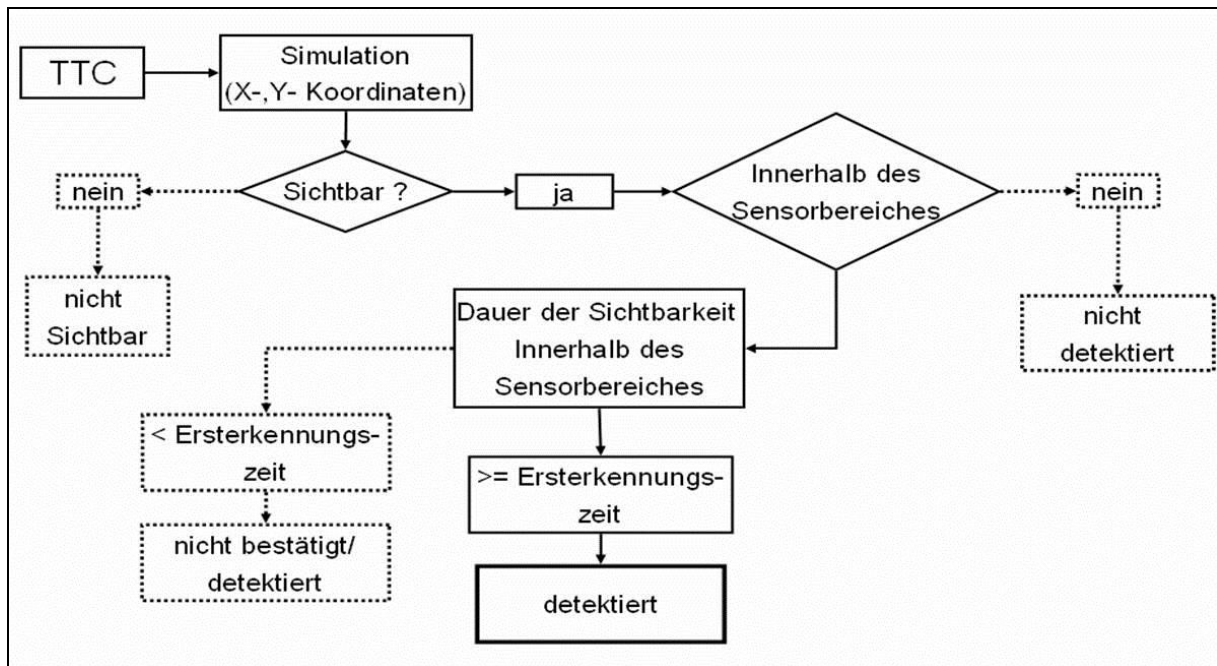


Bild 11: Schema Detektionsmodul

Das Detektionsmodul ordnet den aktuell simulierten Unfall durch Fallunterscheidungen in vier verschiedene Kategorien ein. Zuerst wird anhand der Ergebnisse der Sichtbarkeitsprüfung entschieden, ob der Gegner zur festgesetzten TTC theoretisch sichtbar ist. Falls nicht, wird der Ergebnisdatensatz dieses Unfalls mit "nicht sichtbar" ergänzt und das Detektionsmodul endet hier. Ist der Gegner sichtbar, wird unterschieden, ob sich die lokalen Koordinaten innerhalb der angegebenen Sensorgeometrie befinden, falls nicht ergänzt sich zum Datensatz die Information "nicht detektiert". Liegen die Koordinaten des gegnerischen Fahrzeuges innerhalb des Sensorbereiches, wird die Dauer der Sichtbarkeit innerhalb des geometrischen Sensorbereiches geprüft. Ist die Dauer der Sichtbarkeit innerhalb des Sensorbereiches kleiner als die Ersterkennungszeit des betrachteten Sensors, erhält der Ergebnisdatensatz die Information "nicht detektiert". Erst wenn alle drei Prüfungen positiv verlaufen sind, kann das Gegenfahrzeug eindeutig zur gewählten TTC als detektiert bezeichnet werden. Das Detektionsmodul bildet den Abschluss der Simulation.

3. Ergebnisse ("pre crash scatter plots")

Die Basis der Ergebnisdarstellung durch "pre crash scatter plots" bildet eine 2-dimensionale Abbildung der ermittelten lokalen Koordinaten des Gegenfahrzeuges, d.h. dem Abstand in fahrzeugfester x- und y- Richtung zum Gegenfahrzeug.

Sinnvoll wird eine solche Ergebnisdarstellung allerdings erst, wenn zusätzliche Informationen aus dem Ergebnisdatensatz wie zum Beispiel die Sichtbarkeit oder die Detektion mit eingebunden werden. Es werden zwei wesentliche Gruppen der "pre crash scatter plots" unterschieden, die sich jeweils in zwei Untergruppen aufteilen.

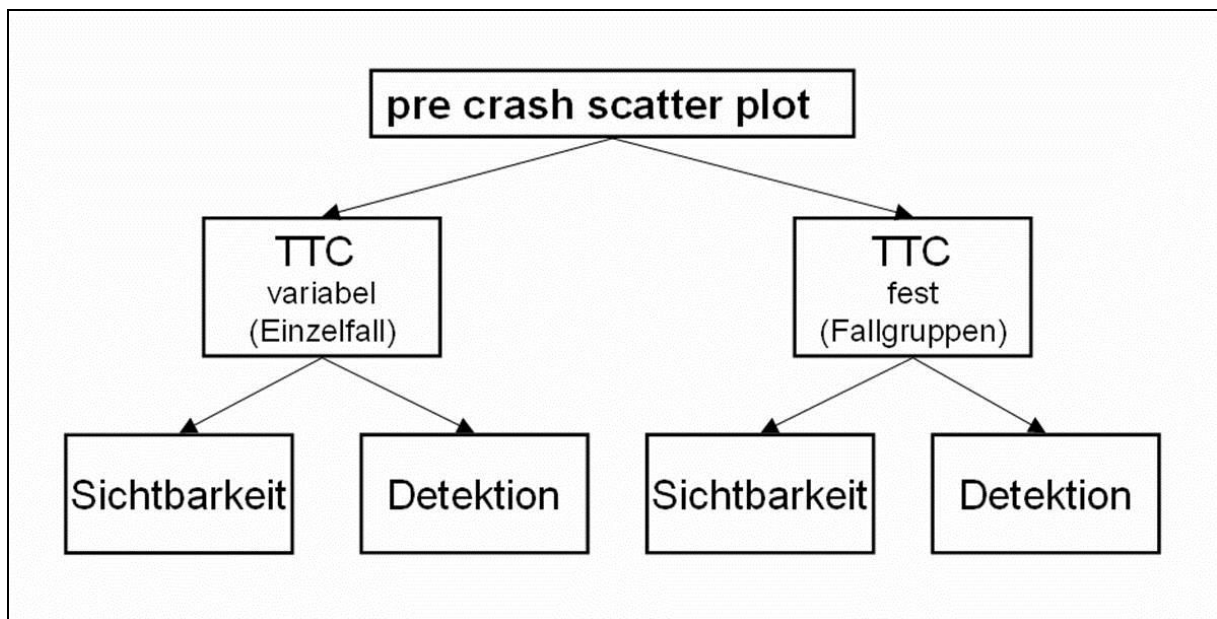
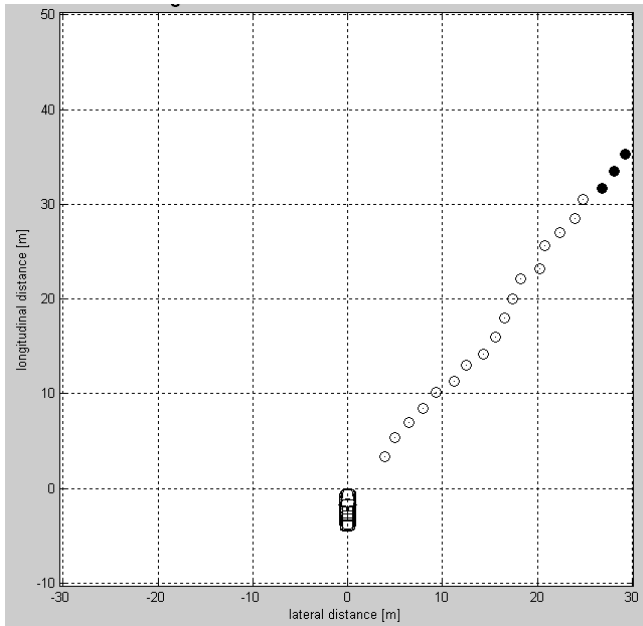


Bild 12: Übersicht "pre crash scatter plots"

3.1 Variable TTC

Um einen Unfalleinlauf mittels Simulation auf Sichtbarkeit oder Detektion durch einen bestimmten Sensor zu untersuchen, bietet sich ein "pre crash scatter plot" mit einer variablen TTC an. Ein Beispiel für die Untersuchung auf Sichtbarkeit wird im folgenden Bild gegeben. Bei dieser Darstellung wird die Position des Gegenfahrzeuges für mehrere TTCs bis hin zur Kollision bestimmt. Bei der Verwendung von variablen TTCs sollten keine Fallgruppen betrachtet werden, da die Darstellung unübersichtlich ist. Dargestellt sind die Punktkoordinaten des gegnerischen Fahrzeuges ergänzt mit Informationen zu dessen Sichtbarkeit. Ein ausgefüllter Punkt steht für nicht sichtbar ein Kreis für sichtbar.

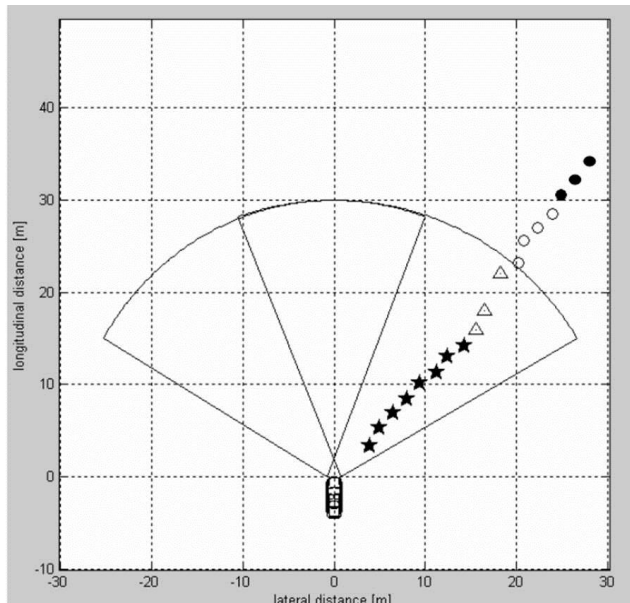


- nicht sichtbar
- sichtbar

Anhand eines solchen "pre crash scatter plots" können die Sichtbarkeitsbedingungen spezifisch am Einzelfall untersucht werden. Im nebenstehenden Beispiel ist die Position des Unfallgegners von 2.0 bis 0.1 sec TTC abgebildet. Die schwarzen Punkte verdeutlichen, dass der Unfallgegner bis 1.7sec TTC nicht sichtbar war. Das zukünftige und maximale Potential eines Sensors kann anhand eines solchen Diagramms untersucht werden.

Bild 13: "pre crash scatter plot", TTC variabel, Sichtbarkeit

Bei der Bewertung eines Sensors am Einzelfall kommen neben den Sichtbarkeitsinformationen noch die Ergebnisse des Detektionsmoduls hinzu. Die Darstellung erfolgt wiederum durch verschiedene Symbole.



- nicht sichtbar
- nicht detektiert (Geometrie)
- △ nicht bestätigt (Ersterkennung)
- ★ detektiert

Mit einem solchen Diagramm kann die Wirksamkeit eines bestimmten Sensors am Einzelfall untersucht werden. Im Beispiel ist zu erkennen, dass es für den bereits theoretisch sichtbaren Gegner erst weit nach dem Eintritt in den Sensorbereich zur Detektion kommt.

Bild 14: "pre crash scatter plot", TTC variabel, Detektion

3.2 Feste TTC

Um mit wenigen Diagrammen Sichtbarkeitsverhältnisse oder Sensoren zu einer fixen TTC zu bewerten, wird die oben beschriebene Simulation für jeden Einzelfall einer ausgewählten Gruppe durchgeführt und ein Ergebnisdatensatz erstellt. Eine ausgewählte Gruppe bildet sich zum Beispiel aus Radfahrern, Fußgängern, Lastkraftwagen oder Pkws. Da die GIDAS Datenbank aktuell über 17.000 Unfälle fasst (Stand Juli 2008), ist eine große Auswahl an Unfällen für verschiedene Gruppierungen möglich.

Ein "pre crash scatter plot" zur Untersuchung der Sichtbarkeitsbedingungen bei einer festgesetzten TTC wird im folgenden Beispiel gezeigt. Das Beispiel spiegelt 44 zufällig ausgewählte Pkw-Fahrrad Unfälle der GIDAS Datenbank wider und gibt Auskunft über Position und Sichtbarkeit eines jeden einzelnen Radfahrers im Bezug auf das Fahrzeug zu einer TTC von einer Sekunde.

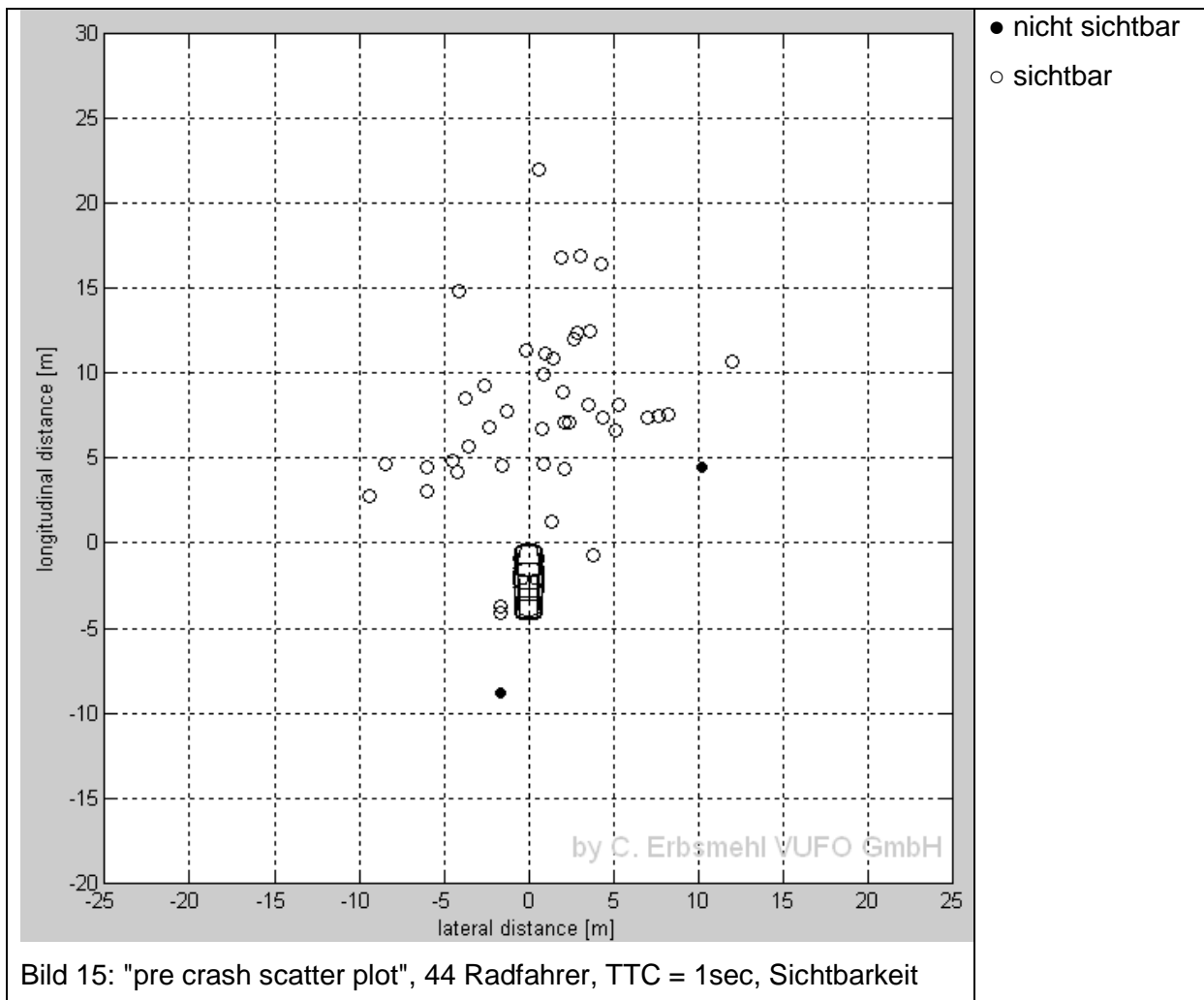
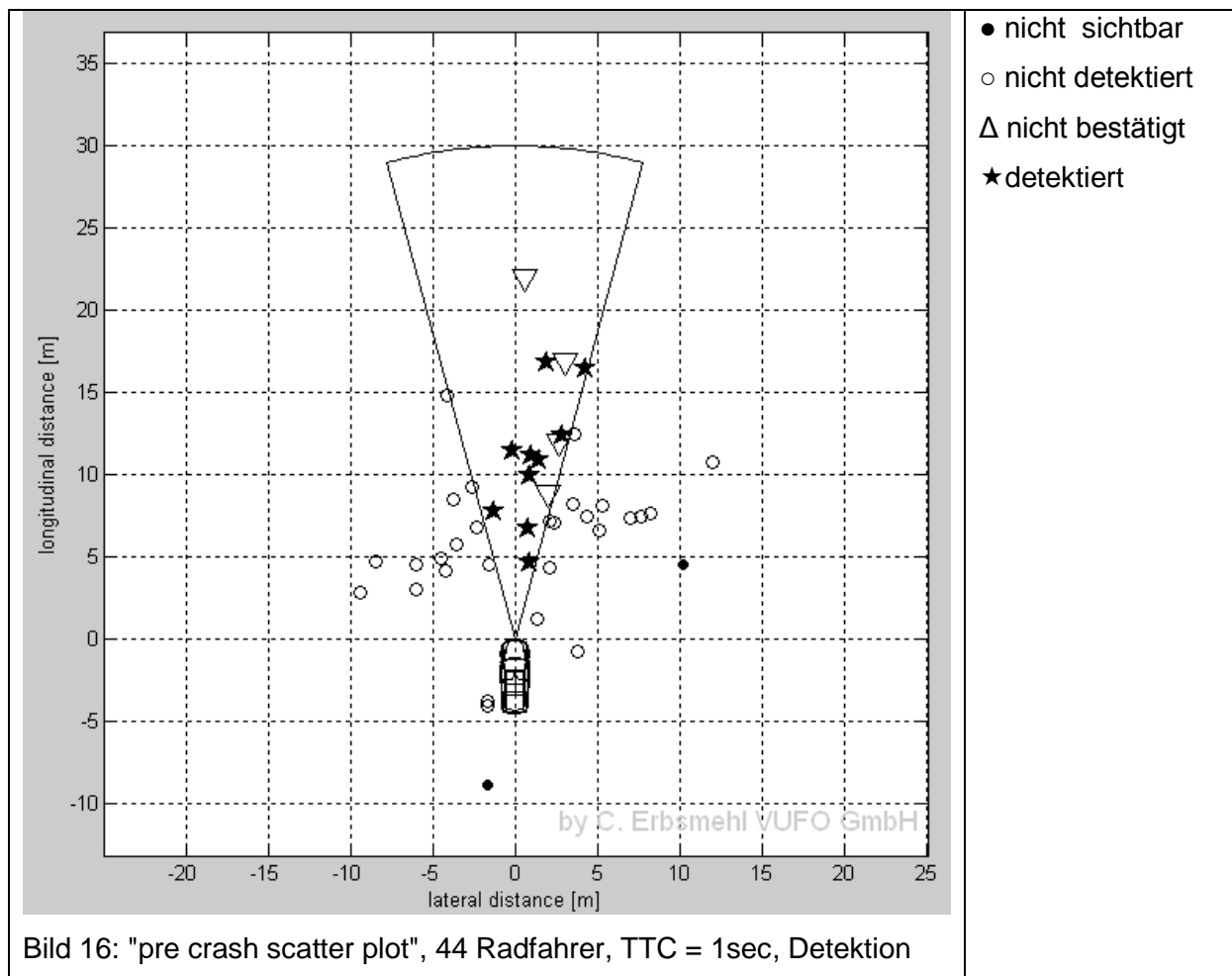


Bild 15: "pre crash scatter plot", 44 Radfahrer, TTC = 1sec, Sichtbarkeit

Wie das vorhergehende Bild gut zeigte, sind in diesem Fall zwei Radfahrer bei einer TTC von einer Sekunde für das Fahrzeug nicht sichtbar. Auf ähnliche Weise funktioniert die Sensorbewertung anhand mehrerer Unfälle bei einer festen TTC in einem Diagramm. Die durch das Detektionsmodul errechneten Eigenschaften "nicht bestätigt" und "detektiert" werden zu den geometrischen und Sichtbarkeits-Informationen hinzugefügt. Zur Kontrolle wird auch in diesem Bild die vorgegebene Sensorgeometrie visualisiert. Das folgende Bild zeigt wieder die 44 Radfahrer zu einer TTC von einer Sekunde. In diesem Beispiel wird ein Sensor mit 30° Öffnungswinkel, 30m Reichweite, einer Ersterkennungszeit von 373ms und einer Auffrischungsrate von 66ms mittig an der Fahrzeugfront verbaut.



Unter Verwendung dieses Sensors konnten eine Sekunde vor der Kollision 10 von 44 Radfahrern "detektiert" werden, vier innerhalb der Sensorgeometrie liegenden Radfahrern wurden "nicht bestätigt" und 28 "nicht detektiert" werden. Die restlichen zwei Radfahrer waren nicht sichtbar.

Zusammenfassung

Es wurde ein prinzipieller Ansatz der Nutzung von GIDAS Daten zur Simulation der Unfalleinleitungsphase beschrieben. Anhand dieser Simulation können Daten zu Position, Sichtbarkeit und Detektion verschiedener Unfallgegner bezogen auf ein Fahrzeug zeitlich unabhängig berechnet werden. Die Auswertung dieser Daten ermöglicht die Erstellung verschiedener "pre crash scatter plots".

"Pre crash scatter plots" bieten die Möglichkeit, auf der Basis von realen Unfalldaten verschieden gruppierte Unfälle zu einer festen oder variablen Zeit vor der Kollision zu untersuchen. Ein Ziel dieser Untersuchung ist die umfassende geometrische Darstellung der Unfallgegner zu bestimmten TTC und in Bezug auf Sichtbarkeit. Dies bietet die Möglichkeit neue Sensorgeometrien oder Charakteristika basierend auf realen Unfallszenarien zu entwerfen. Andererseits können auch bestehende Sensorsysteme durch Abbildung "detektierter" Unfallgegner an realen Unfällen verifiziert und bewertet werden.

Ein weiterer Schritt in Richtung Implementierung von aktiven Sicherheitssystemen in diesen Simulationsansatz ist angedacht, um somit eine umfassende Bewertung kompletter Sicherheitssysteme zu realisieren.