VDA Verband der Automobilindustrie

FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik

FAT-Schriftenreihe 394

PCM-F³: PCM Fit For Future

Erweiterung der GIDAS PCM-Daten hinsichtlich Repräsentativität, Infrastrukturdaten und Ausdehnung als Grundlage für Entwicklung, Test und Absicherung assistierter, vernetzter und automatisierter Fahrzeuge

PCM-F³: PCM Fit For Future

Erweiterung der GIDAS PCM-Daten hinsichtlich Repräsentativität, Infrastrukturdaten und Ausdehnung als Grundlage für Entwicklung, Test und Absicherung assistierter, vernetzter und automatisierter Fahrzeuge

Forschungsstelle

Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH – VUFO GmbH

Autoren

Marcus Petzold

Arsenii Shishkov

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) gefördert.

I. Hintergrund

Die PCM (Pre-Crash-Matrix) ist ein spezifiziertes Format, welches zur Beschreibung der Phase eines Verkehrsunfalls vor der ersten Kollision (der sogenannten Pre-Crash-Phase) genutzt werden kann. Mit dem PCM-Format lassen sich die Beteiligten, ihre Dynamik sowie die Umgebung darstellen und auswerten. Im GIDAS-Projekt (German-In-Depth-Accident-Study) wird es genutzt, um die unterschiedlichen Datenbankinhalte und -formate der Pre-Crash-Phase in einem einheitlichen und strukturierten Format abzulegen, um damit detailliertere Analysen durchzuführen und die Daten für Simulationsumgebungen vorzubereiten.

Die GIDAS-PCM wird seit 2011 erstellt, um Pre-Crash-Daten für Realunfälle, die im Rahmen der GIDAS untersucht werden, den FAT-Projektpartnern (Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.) bereitzustellen. Seit 2019 ist sie im aktuellen Format (Version 5.0) verfügbar. Hauptanwendungsfall der GIDAS-PCM ist die Analyse und Evaluation zeitabhängiger und fahrdynamischer Größen, um damit (zukünftige) Assistenzsysteme (virtuell) zu entwickeln und zu optimieren.

Die Komplexität bei der Entwicklung und Absicherung neuer ADAS/AD (Advanced Driver Assistance System/Autonomous Driving) Funktionalitäten steigt stetig. Um den Nutzen und die funktionale Sicherheit solcher Systeme schon frühzeitig analysieren und bewerten zu können, ist deren Simulation im realen Unfallgeschehen von entscheidender Bedeutung. Aus diesem Grund muss die Datenbasis der verfügbaren Szenarien und darüber hinaus das PCM-Format ständig weiterentwickelt werden und den immer neuen Herausforderungen gerecht werden. So ist es notwendig, Unfälle mit unterschiedlichen Beteiligungsarten sowie die Komplexität des Umfelds in einem ausreichend großen Bereich der Infrastruktur abzubilden.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes werden Konzepte erarbeitet und teilweise umgesetzt, um die GIDAS-PCM-Daten auf zukünftige Fragestellungen vorzubereiten.

II. Abkürzungen

Abkürzung	Beschreibung
PCM	Pre-Crash-Matrix
GIDAS	German In-Depth Accident Study
FAT	Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V.
ADAS	Advanced Driver Assistance System
AD	Autonomous Driving
BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
VUFO	Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH
CAD	Computer-Aided-Design
PKW	Personenkraftwagen
LKW	Lastkraftwagen
StVO	Straßenverkehrsordnung
VwV	Verwaltungsvorschrift
zGM	Zulässige Gesamtmasse

III. Inhalt

1. Einleitung _____ *1*

2. Stand der Technik _____ *3*

3. Teil 1 – Verbesserung der Repräsentativität der GIDAS-PCM durch Erweiterung der Beteiligungsarten um schwere LKW _____ *6*

3.1. Methodik _____ **7**

3.2. Ergebnisse _____ **14**

3.3. Zusammenfassung und Ausblick _____ **15**

4. Teil 2 – Erweiterung der GIDAS-PCM-Daten um Infrastrukturelemente (Verkehrszeichen) _____ *16*

4.1. Methodik _____ **18**

4.2. Ergebnisse _____ **22**

4.3. Zusammenfassung und Ausblick _____ **23**

5. Teil 3 – Erweiterung der Unfallumgebung in der GIDAS-PCM um prä- und postkollisionäre Bereiche _____ *24*

5.1. Methodik _____ **24**

5.2. Ergebnisse _____ **25**

5.3. Zusammenfassung und Ausblick _____ **29**

6. Projektzusammenfassung _____ *30*

7. Literaturverzeichnis _____ *32*

8. Abbildungsverzeichnis _____ *33*

9. Tabellenverzeichnis _____ *34*

1. Einleitung

Die FAT kooperiert seit 1999 mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Forschungsprojekt GIDAS zur detaillierten Erhebung von Verkehrsunfällen. GIDAS umfasst die zeitnahe und vor Ort durchgeführte Erhebung zusätzlicher Unfallmerkmale, um umfassende Daten zu Unfallhergang, Unfallentstehung, Randbedingungen und medizinischen Unfallfolgen zu sammeln. Diese anonymisierten Daten fließen in die GIDAS-Datenbank ein. [1]

Seit 2017 ist die GIDAS-PCM ebenfalls Bestandteil von GIDAS. PCM steht für Pre-Crash-Matrix und ist ein spezifiziertes Format zur Beschreibung der Phase eines Verkehrsunfalls vor der ersten Kollision, der sogenannten Pre-Crash-Phase. Mit der GIDAS-PCM lassen sich die Unfallbeteiligten, deren Dynamiken sowie die Umgebung darstellen und analysieren. Seit 2019 ist die aktuelle Version des Formats in der Version 5.0 definiert und veröffentlicht. Das Format ist seitdem für Unfall- oder Szenario-Datenbanken anwendbar und frei zugänglich.

In einer speziell gegründeten Expertengruppe werden GIDAS-PCM betreffende Themen in regelmäßigen Abständen diskutiert. Darüber hinaus werden Entwicklungsthemen besprochen und priorisiert, welche Einfluss auf die simulative Effektivitätsbewertung eines (hoch-) automatisierten Fahrzeuges haben können. So wurden drei Optimierungsmöglichkeiten identifiziert, für deren Entwicklung das aktuelle Projekt ins Leben gerufen wurde.

Im ersten Teil des Projekts wird untersucht, wie Lastkraftwagen (LKW) in der GIDAS-PCM ausreichend repräsentiert werden können. Da LKW mit einer zulässigen Gesamtmasse von über 7,5 Tonnen derzeit nicht in der aktuellen Formatspezifikation vorgesehen sind, werden diese Fahrzeuge per Definition ausgeschlossen. Daraus ergibt sich das Ziel, das PCM-Format und die Methodik zur automatischen Integration in die GIDAS-PCM-Datenbank anzupassen, um Unfälle mit LKW- und Anhänger-Beteiligung zu erweitern.

Ein weiteres Ziel des Projekts befasst sich mit der Frage, ob die vorhandenen Infrastrukturdaten in der PCM-Datenbank hinreichend erfasst sind. Obwohl Verkehrszeichen bereits in einer Bibliothek der PCM-Spezifikation enthalten sind, erfolgt derzeit keine systematische Überführung dieser Daten. Daher wurde die Entwicklung und Implementierung einer Methodik zur automatischen Überführung von Verkehrszeichen aus den GIDAS-Unfalldaten in die GIDAS-PCM als Ziel des zweiten Projektteils definiert.

Im dritten Teil des Projekts wird die Frage geklärt, ob die in der GIDAS-PCM erfassten Umgebungsinformationen ausreichen, um eine robuste simulative Effektivitätsbewertung von ADAS/AD zu gewährleisten. Ziel der Untersuchung ist die Ableitung systematischer und objektiver Kriterien, welche die Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadens zur Darstellung der Umgebungsumfänge ermöglichen. Dieser soll künftig Empfehlungen zur angemessenen räumlichen und zeitlichen Ausdehnung digitaler Unfallskizzen bereitstellen

Für die Erreichung der ersten beiden Ziele muss die aktuelle Methodik zur Erstellung der GIDAS-PCM angepasst werden. Für die Erstellung eines Unfalls im PCM-Format sind eine detaillierte Skizze, die Rekonstruktionsdaten sowie die vollständige Codierung des Unfalls in der GIDAS-Datenbank Voraussetzungen.

Die in GIDAS verfügbaren Unfallskizzen liegen im DXF-Format vor. Sie enthalten Informationen zur Unfallumgebung und den Trajektorien der Beteiligten. Die Trajektoriendaten werden

nach der Rekonstruktion automatisiert in die DXF-Skizze übertragen. Um diese Informationen zu strukturieren und anschließend automatisiert zu exportieren, werden die Inhalte der Skizzen in sogenannten Layern organisiert. Diese Layerstruktur ermöglicht es, verschiedene Objekte, wie beispielsweise Fahrbahnmarkierungen, voneinander zu unterscheiden. Die Skizzen repräsentieren die Umgebungsinformationen des Unfalls.

Die Rekonstruktion der Unfälle ist Bestandteil von GIDAS. Diese erfolgt mittels der Software PC-Crash, wobei die Ergebnisse im PRO-Format vorliegen. Diese Dateien enthalten unter anderem die rekonstruierten Fahrtrajektorien der beteiligten Verkehrsteilnehmer. Die Trajektorien geben die zeitabhängige Position der Beteiligten in einem kartesischen Koordinatensystem wieder. Diese Informationen, wie auch die Maße und Massen der Beteiligten werden exportiert und zur Erstellung der PCM-Datensätze weiterverwendet.

Das von der Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH (VUFO) entwickelte Tool VAST (VUFO Accident Simulation Tool) verarbeitet die Informationen aus den Skizzen und der Unfallrekonstruktion, um sie in das PCM-Format zu überführen. Zwei der drei Projektteile führen zu programmatischen Anpassungen des VAST, um die beschriebenen Erweiterungen und Verbesserungen in der Datenverarbeitung umzusetzen.

2. Stand der Technik

Das PCM-Format wurde ursprünglich 2011 von der VUFO entwickelt, um Pre-Crash-Daten für im Rahmen von GIDAS für ausgewählte Unfälle bereitzustellen. Das Format beschreibt detailliert die Unfallbeteiligten, deren Bewegungen und die Umgebung eines Unfalls. Es enthält jedoch keine Informationen über den Unfall selbst, wie z.B. Unfallbeschreibung, Unfalltyp oder Verletzungsschwere. Daher sollten spezifische Analysen stets in Verbindung mit der zugehörigen Unfall- oder Szenariodatenbank durchgeführt werden.

Die Struktur des PCM-Formats v5.0 umfasst verschiedene Tabellen, die in einer hierarchischen Beziehung zueinanderstehen (s. Abbildung 2-1). Einige der Umwelttabellen sind mit Eigenschaftstabellen (Meta-Daten) und Bibliothekstabellen verbunden, die länderspezifische Definitionen enthalten. Die Vervollständigung sowie Erweiterung um weitere länderspezifische Bibliotheken sind Hauptziele der zukünftigen PCM-Entwicklung.

Das PCM-Format ist ein Format, das sich kontinuierlich in Zusammenarbeit mit seinen Nutzern der FAT weiterentwickelt. Anwender werden aufgefordert, Vorschläge für Format-Erweiterungen, neue oder fehlende Objekte (OBJTYPE), Fehler in der Spezifikation sowie weitere Bibliotheken, insbesondere mit länderspezifischen Merkmalen, direkt an die VUFO zu senden. Auf diese Weise soll gewährleistet werden, dass alle Nutzer über einheitliche Definitionen verfügen und zukünftige Erweiterungen in der nächsten Version berücksichtigt werden können.

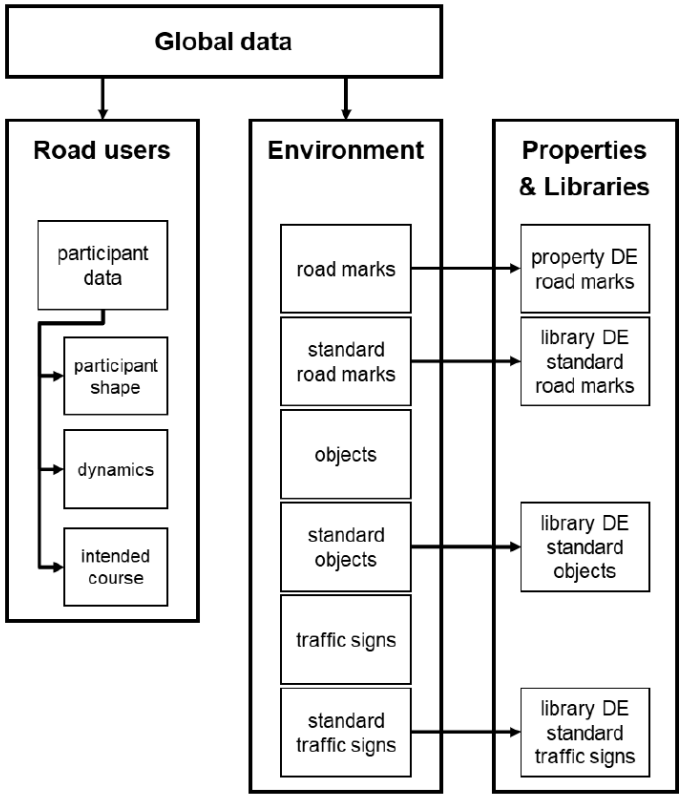


Abbildung 2-1: Hierarchischer Aufbau der PCM-Formatspezifikation v5.0

Ein PCM-Fall wird durch verschiedene Tabellen abgebildet. Die Tabelle *„global data“* enthält allgemeine Informationen zu den einzelnen Unfällen bzw. Szenarien, wie die Fallnummer, die Anzahl der Beteiligten, die Art des verwendeten Fahrdynamiksolvers sowie GPS-Koordinaten.

Die den beteiligten Verkehrsteilnehmern zugeordneten Tabellen sind unter der Überschrift *„road users“* zusammengefasst. Diese Gruppe umfasst die Tabellen *„participant data“*, *„participant shape“*, *„dynamics“* sowie *„intended course“*. Die Tabelle *„participant data“* enthält allgemeine Informationen zu den Beteiligten, wie etwa deren Typ, Länge, Breite und weitere relevante Daten. Im Gegensatz dazu beschreibt die Tabelle *„participant shape“* eine vereinfachte geometrische Form der Beteiligten, welche zur Darstellung in der Simulation herangezogen wird.

Die Tabelle *„dynamics“* dokumentiert die dynamischen Eigenschaften der Beteiligten. Hierzu zählen insbesondere deren Positionen und Beschleunigungen, die für jeden Zeitschritt der Simulation aufgezeichnet werden. Die Tabelle *„intended course“* beinhaltet hingegen den hypothetischen Verlauf der Bewegungen der Beteiligten, d. h. den geplanten Wunschpfad, den diese ohne das Eintreten der kritischen Situation voraussichtlich verfolgt hätten.

Infrastrukturinformationen werden in bis zu sechs weiteren Tabellen strukturiert, welche alle relevanten Daten zur Straßengeometrie, Fahrbahnmarkierungen und zu Objekten enthalten.

Da das Erscheinungsbild vieler Markierungen und Objekte durch gesetzliche Richtlinien definiert ist, können Bibliotheken in das PCM-Format integriert werden. Diese Bibliotheken oder Eigenschaftstabellen können genutzt werden, um auf standardisierte Informationen (wie bspw. Verkehrszeichen) zu referenzieren. Dadurch kann der Datensatz effizienter und kompakter gestaltet werden kann.

Die Überführung der Daten in das PCM-Format erfolgt automatisiert mithilfe des VAST (s. Abbildung 2-2). Hierfür werden Daten aus der GIDAS-Datenbank, die entsprechende Unfallskizze sowie die durch PC-Crash erzeugte PRO-Datei benötigt. Weitere Informationen, bspw. Fahrzeugdaten vom Kraftfahrt-Bundesamt können genutzt werden, um Daten zu verifizieren oder zu vervollständigen. Zunächst durchlaufen die Daten einen Pre-Prozess, bei dem alle Parameter des jeweiligen Unfalls zusammengeführt und in das PCM-Format konvertiert werden. Für die Übertragung der Skizzeninformationen in das PCM-Format wird das Programm „CAD2Shape“ der Firma Guthrie CAD/GIS Software Pty Ltd verwendet. Dieses Programm ermöglicht es die Unfallskizzen im DXF-Format Layer für Layer auszulesen und in Punktkoordinaten abzulegen. Nach der Umwandlung der Daten werden abschließend Plausibilitätsroutinen durchlaufen, um die Korrektheit und Qualität der erzeugten PCM sicherzustellen.

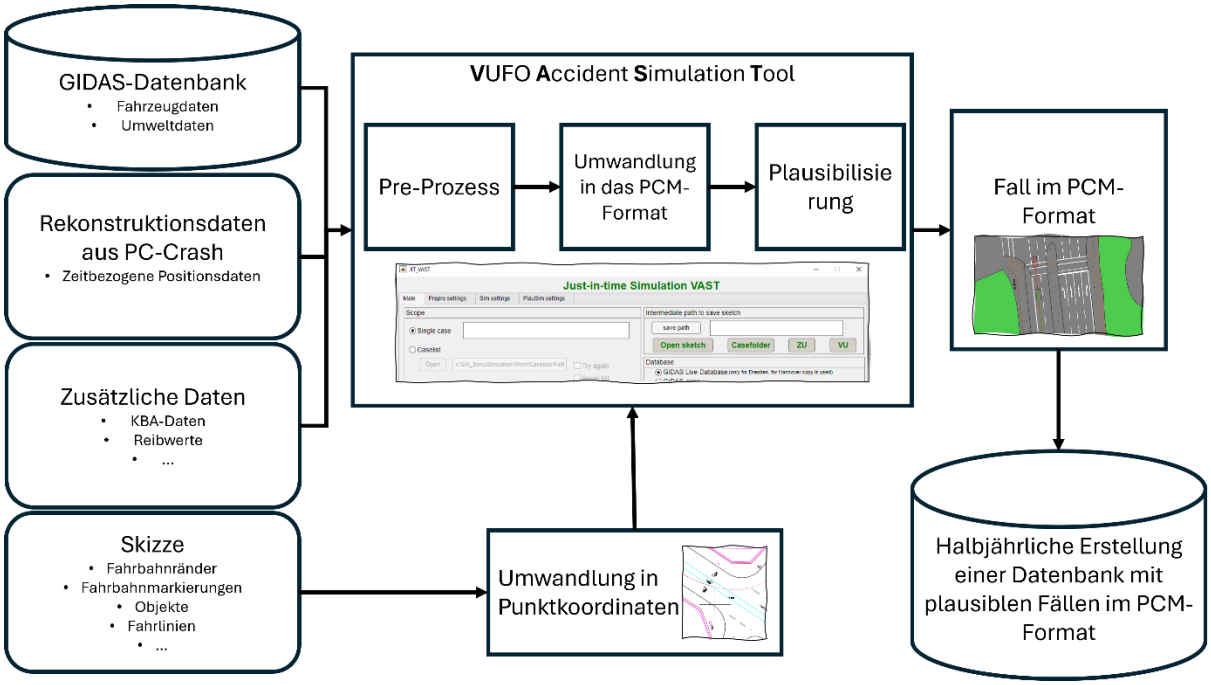


Abbildung 2-2: Flussschema der Erstellung eines Falls im PCM-Format

3. Teil 1 – Verbesserung der Repräsentativität der GIDAS-PCM durch Erweiterung der Beteiligungsarten um schwere LKW

In der GIDAS-Datenbank werden die Fahrzeuge unter anderem nach Art der Verkehrsteilnahme unterschieden. Dabei werden Fahrzeuge aller Klassen aufgenommen, die bei einem Unfall mit Personenschaden beteiligt waren. Es soll dabei sichergestellt werden, dass GIDAS repräsentativ für das Unfallgeschehen in Deutschland ist.

So soll in Zukunft auch die GIDAS-PCM-Datenbank eine höhere Repräsentativität erlangen. In diesem Projektteil stellt sich die Frage, ob LKW mit einer zulässigen Gesamtmasse (zGM) über 7,5t durch die GIDAS-PCM-Datenbank ausreichend repräsentiert sind. Daraus ergibt sich zwangsläufig eine zweite Fragestellung: Ist das Datenbankformat PCM v5.0 grundsätzlich geeignet, Lkw mit einer zGM über 7,5 t sowie potenzielle Anhängerkonfigurationen adäquat abzubilden?

Zur Beantwortung der ersten Frage erfolgt eine Analyse der Repräsentativität auf Basis des PCM-Datenbankabzugs vom 31.03.2025 (2024-2). Tabelle 3-1 zeigt die Anzahl der in der Datenbank enthaltenen Unfälle, gegliedert nach Unfallkonstellationen. Die rechte Spalte weist den jeweiligen Anteil der in der PCM-Datenbank vorhandenen GIDAS-Fälle aus.

Tabelle 3-1: Vergleich der Erstkollisionen zwischen der PCM- und der GIDAS-Datenbank nach Unfallkonstellation[2]

	PCM **n = 12.376**		*GIDAS* *n = 43.833**
Constellations	n	%	*%*
Car – car:	4.794	38,7	*25,0*
Car – pedestrian:	1.966	15,9	*8,6*
Car – motorbike:	1.286	10,4	*7,7*
Car – bicycle:	3.762	30,4	*20,1*
Car – truck:	244	2,0	*4,4*
Car – object:	288	2,3	*10,6*
Truck – truck:	2	0,0	*0,8*
Truck – pedestrian:	12	0,1	*0,7*
Truck – motorbike:	7	0,1	*0,5*
Truck – bicycle:	15	0,1	*1,5*
Other constellations	0	0,0	*18,8*
Accident without any collision**	0	0,0	*1,2*

Die grau hinterlegten Felder beziehen sich dabei auf LKW. Die Auswertung zeigt, dass schwere Lkw in der PCM-Datenbank bislang nicht ausreichend repräsentiert werden.

Auch bei der Analyse der Spezifikation des Datenbankformats PCM v5.0 zeigt sich, dass dieses derzeit nicht geeignet ist, schwere LKW und Anhängerkombinationen adäquat abzubilden. So fehlt in der Tabelle „participant_shape“ eine standardisierte geometrische Form für Lkw. Zudem enthält die Tabelle „participant_data“ keine spezifischen Informationen, die zur Beschreibung von Anhängern erforderlich sind.

Um zukünftig das Unfallgeschehen auch in der GIDAS-PCM repräsentativ wiederzugeben, wurde entschieden schwere LKW, also LKW mit einer zGM über 7,5t und zusätzlich nach Verfügbarkeit LKW mit Anhänger in die GIDAS-PCM zu überführen. Ziel dieses Projektteils ist die Entwicklung der vollumfänglichen Methodik, die programmatische Umsetzung des Algorithmus und die Anwendung auf den GIDAS-PCM-Datensatz.

3.1. Methodik

Die Implementierung schwerer LKW mit Anhänger in die GIDAS-PCM setzt eine Erweiterung der PCM-Formatspezifikation und eine programmatische Anpassung des VAST voraus. Zu Beginn des Projektes wird ein Datensatz mit möglichen PCM-Fällen mit Beteiligung schwerer LKW definiert. Die Ableitung des LKW-Datensatz ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

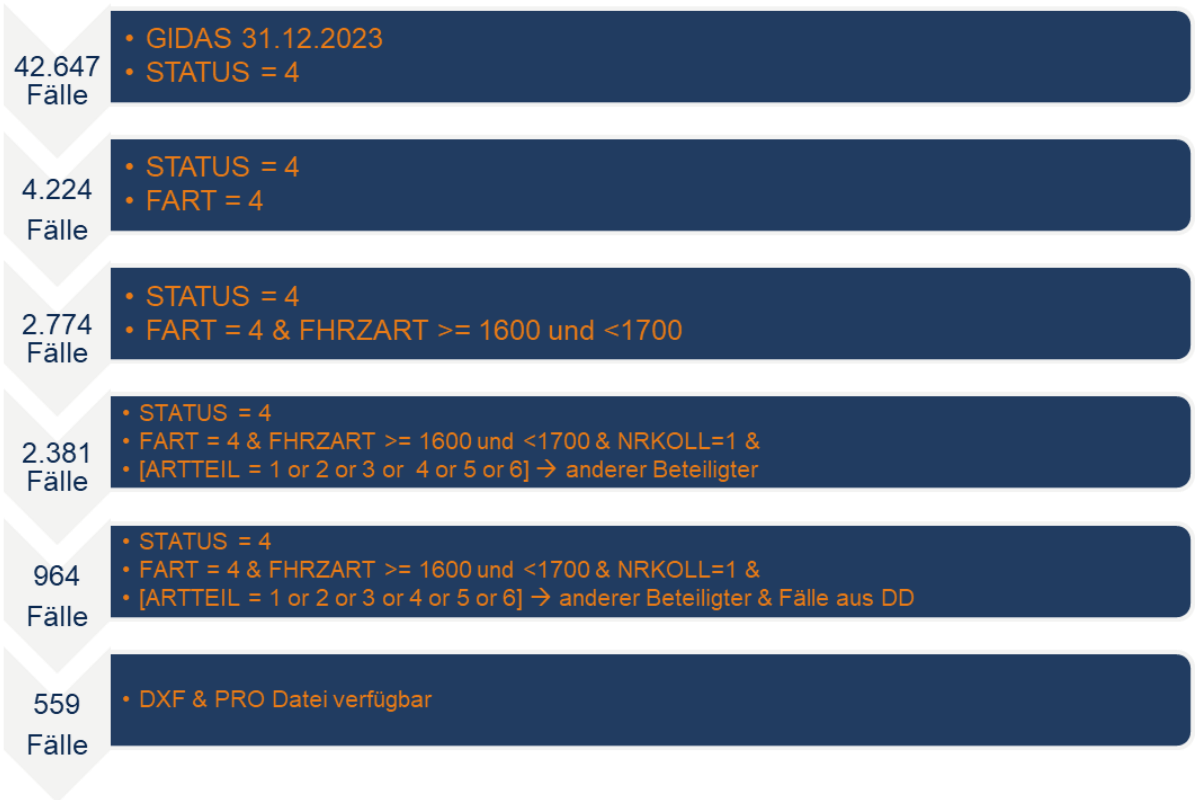


Abbildung 3-1: Definition LKW-Datensatz

Für den GIDAS-Datensatz vom 31.12.2023 (42.647 Fälle) werden nur Fälle ausgewählt, bei denen die Fallcodierung, Prüfung und Rekonstruktion abgeschlossen ist. Im nächsten Schritt werden die allgemeine Fahrzeugart (FART) auf LKW beschränkt (4.224 Fälle) und noch weiter nach der spezifischen Fahrzeugart (FHRZART) gefiltert, um Unfälle mit Transportern

auszuschließen (2.774 Fälle). Im darauffolgenden Schritt wird der Datensatz weiter eingeschränkt, sodass ausschließlich Fälle berücksichtigt werden, bei denen die Erstkollision zwischen einem schweren Lkw und einem Fahrzeug der Klassen M1/N1, N2/N3, M2/M3, einem motorisierten Zweirad, einem Fahrrad oder einem Fußgänger erfolgte. Darüber hinaus wird die Fallauswahl auf das Dresdener Erhebungsgebiet begrenzt (964 Unfälle), da diese Daten von der FAT finanziert werden. Um die Fälle mit VAST zu erzeugen ist eine digitale Unfallskizze (im DXF-Format) und Rekonstruktions-Datei (im PRO-Format) notwendig. Fehlt eine oder beide dieser Dateien, wird der dazugehörige Fall vom Datensatz ausgeschlossen. Damit reduziert sich der Datensatz auf 559 potenzielle Fälle. In der Abbildung 3-2 ist eine Jahresübersicht des LKW-Datensatz dargestellt.

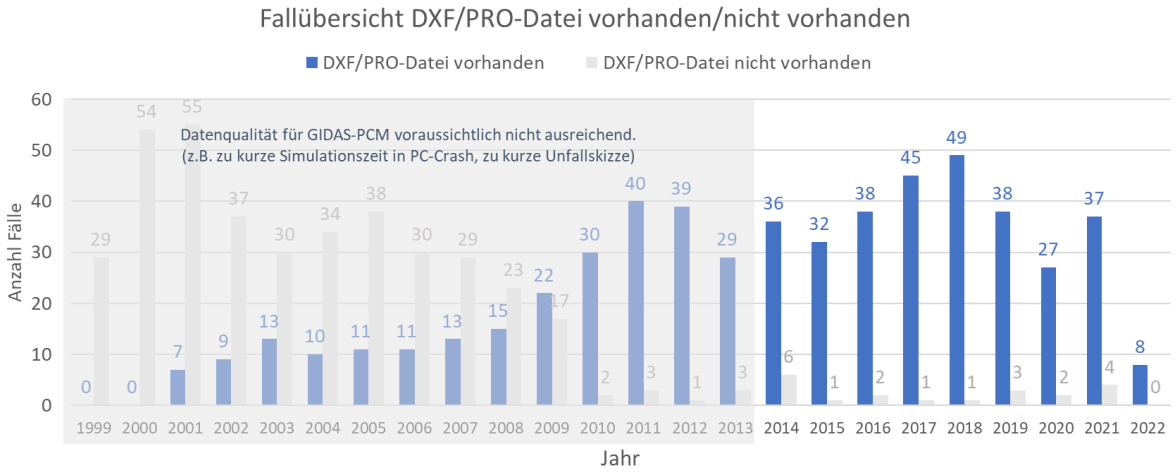


Abbildung 3-2: Jahresübersicht LKW Datensatz

Die grauen Balken stellen dabei die Anzahl der Fälle dar, bei denen keine DXF/PRO-Dateien vorhanden sind und keine Überführung in das PCM-Format möglich ist. Die blauen Balken veranschaulichen, dass beide Dateien vorhanden, aber der Inhalt noch nicht geprüft ist. In dem Diagramm wird ersichtlich, dass der Anteil an Fällen mit DXF/PRO Datei bis 2018 gestiegen und danach nahezu konstant geblieben ist. Für das Jahr 2022 sind zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch nicht alle Fälle abgeschlossen, damit ist der geringe Anteil von acht Fällen begründbar. Für die Bearbeitung werden alle 559 Fälle in eine Tabelle überführt, um den Bearbeitungsstand zu dokumentieren und auszuwerten.

Nach der Definition des LKW-Datensatzes wurde analysiert, welche Informationen zu LKW und Anhängern in GIDAS aktuell verfügbar sind und welche Informationen ggf. zukünftig für eine Überführung in das PCM-Format hilfreich sind. Es wurde festgestellt, dass aktuell in GIDAS lediglich Informationen zu zwei Fahrzeugachsen codiert werden. Schwere LKW haben jedoch häufig mehr als zwei Fahrzeugachsen. Für die Unfallrekonstrukteure ist diese Information wichtig, um das Fahrzeugmodell in PC-Crash zu definieren, da die Achsen Einfluss auf die Fahrdynamik nehmen. Des Weiteren ist bei Sattelzugmaschinen aufgefallen, dass für eine detaillierte Modellierung des Fahrerhauses die Informationen zur Tiefe dessen sowie die Höhe des Anhängers nicht in GIDAS codiert werden. Die folgende Abbildung 3-3 zeigt schematisch die vorhandenen und fehlenden GIDAS Variablen zur Definition eines Sattelzuges.

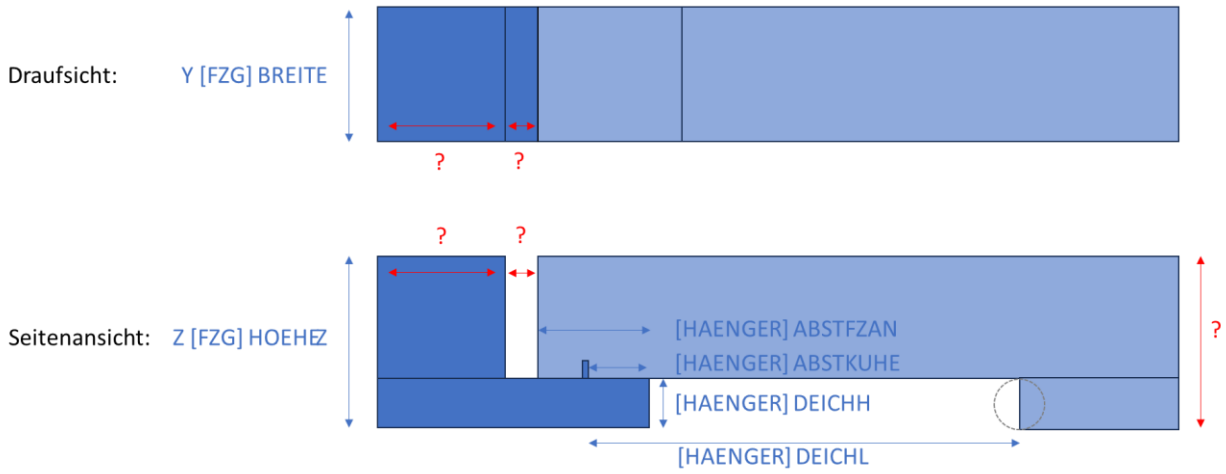


Abbildung 3-3: Schema eines Sattelzugs mit vorhanden und fehlenden GIDAS Variablen

Es wird empfohlen diese Daten zukünftig zu erheben und zu codieren. Der GIDAS-Konzeptionsgruppe Technik wurde der Sachverhalt während der Projektbearbeitung mittgeteilt und das Thema übergeben.

Um im Rahmen dieses Projektes Sattelzugmaschinen dennoch in das PCM-Format zu überführen, wird ein Standardwert für die Tiefe des Fahrerhauses definiert (2,35m). Die Spurweiten und Radstände, sowie die Höhe des Anhängers können aus PC-Crash extrahiert werden. Eine Plausibilisierung der PC-Crash Werte mit der GIDAS Codierung ist aufgrund der derzeit fehlenden Verfügbarkeit aktuell nicht möglich, aber zukünftig denkbar, wenn diese Werte in GIDAS Einzug halten.

Eine weitere Annahme muss bei der Höhe des Fahrerhauses von Sattelzugmaschinen getroffen werden. Einerseits können die Werte in GIDAS unbekannt oder unplausibel codiert sein, andererseits lässt sich in PC-Crash die Höhe des Fahrerhauses nicht separat für das Fahrerhaus angeben. Die Angaben zur Fahrzeughöhe in PC-Crash ist die Höhe der Ladefläche des LKW-Modells, wie in der folgenden Abbildung 3-4 zu sehen ist.

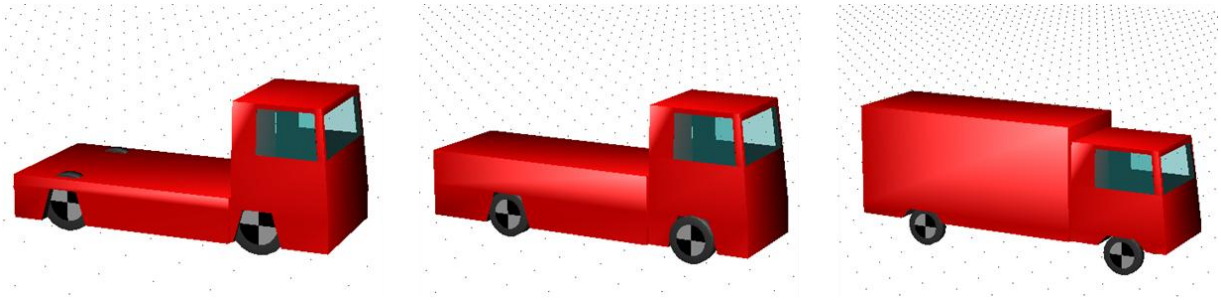


Abbildung 3-4: Einfluss unterschiedlicher Höhen beim LKW-Modell in PC-Crash

Die Abbildung zeigt unterschiedliche Ladeflächenhöhen bei LKW und ihren Einfluss auf das Modell. Die Höhe des Modells steigt dabei von links nach rechts. Um die oben beschriebenen Besonderheiten zu adressieren, wird die Annahme getroffen, dass bei Sattelzugmaschinen die Höhen aus GIDAS und PC-Crash verglichen werden und der jeweils höchste Wert für das Modell genutzt wird. Sollten beide Werte unter 3 m Höhe sein, dann wird ein Standardwert von 3,8 m für das Fahrerhaus definiert.

Eine weitere Herausforderung besteht in GIDAS und PC-Crash, wenn der Fall eintritt, dass beispielsweise zwei Sattelzugmaschinen mit Sattelauflieger in einem Unfall enthalten sind. In der Vergangenheit gab es keine Festlegung wie in PC-Crash die Zugmaschinen und der dazugehörige Anhänger bzw. Auflieger anzuordnen sind. Zwei mögliche Kombinationen zur Anordnung der Fahrzeuge und Anhänger sind in der folgenden Abbildung 3-5 für zwei Fälle dargestellt.

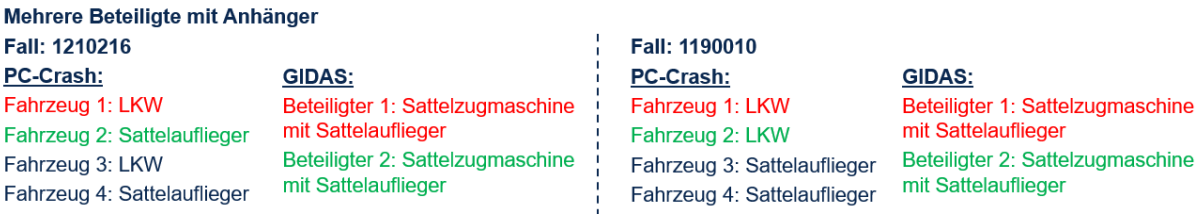


Abbildung 3-5: Auszug möglicher Anordnung von zwei Zugmaschinen und Aufliegern in PC-Crash

In beiden Fällen handelt es sich um einen Fall mit zwei Beteiligten. Beide Beteiligte sind Sattelzugmaschinen mit Sattelauflieger. Mit den vorhandenen Informationen in GIDAS und PC-Crash ist keine eindeutige Zuordnung der Beteiligten möglich. Zukünftig wird eine eindeutige Definition zur Anordnung der Beteiligten in PC-Crash empfohlen, welche in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

Abbildung 3-6: Empfehlung für Anordnung der Beteiligten in PC-Crash mit Anhänger

Abbildung 3-6 zeigt die Empfehlung zur Anordnung der Beteiligten mit Anhänger in PC-Crash. Die GIDAS Beteiligtennummer sollte immer der Fahrzeugnummer in PC-Crash entsprechen. Die zusätzlichen Anhänger der Beteiligten sollten in PC-Crash nach den Nummern der Beteiligten in aufsteigender Reihenfolge sortiert und definiert werden. Alternativ wäre auch eine zusätzliche Variable in GIDAS denkbar, welche die Fahrzeugnummer aus PC-Crash enthält. Das Problem und der Lösungsvorschlag wurden ebenfalls an die GIDAS-Konzeptionsgruppe Technik weitergeleitet. Aktuell können Fälle mit mehreren Anhängern, welche die gleiche Anhängerart besitzen nicht automatisch zugeordnet und in das PCM-Format überführt werden.

Eine weitere Limitation besteht bei der Plausibilisierung der GIDAS Variable „VDI2“ bei dem die Lage des betroffenen Fahrzeugteils der Hauptbeschädigung angegeben wird. Diese Variable gilt für den gesamten Beteiligten und kann nicht separat für den Anhänger geprüft werden.

Nach der Prüfung der Anforderungen an GIDAS und PC-Crash, kann eine Erweiterung für LKW und Anhänger für die PCM-Spezifikation erarbeitet werden. Abbildung 3-7 zeigt auf der linken Seite die Struktur des PCM-Formats v5.0 und auf der rechten Seite die Struktur des PCM-Formats v5.1.

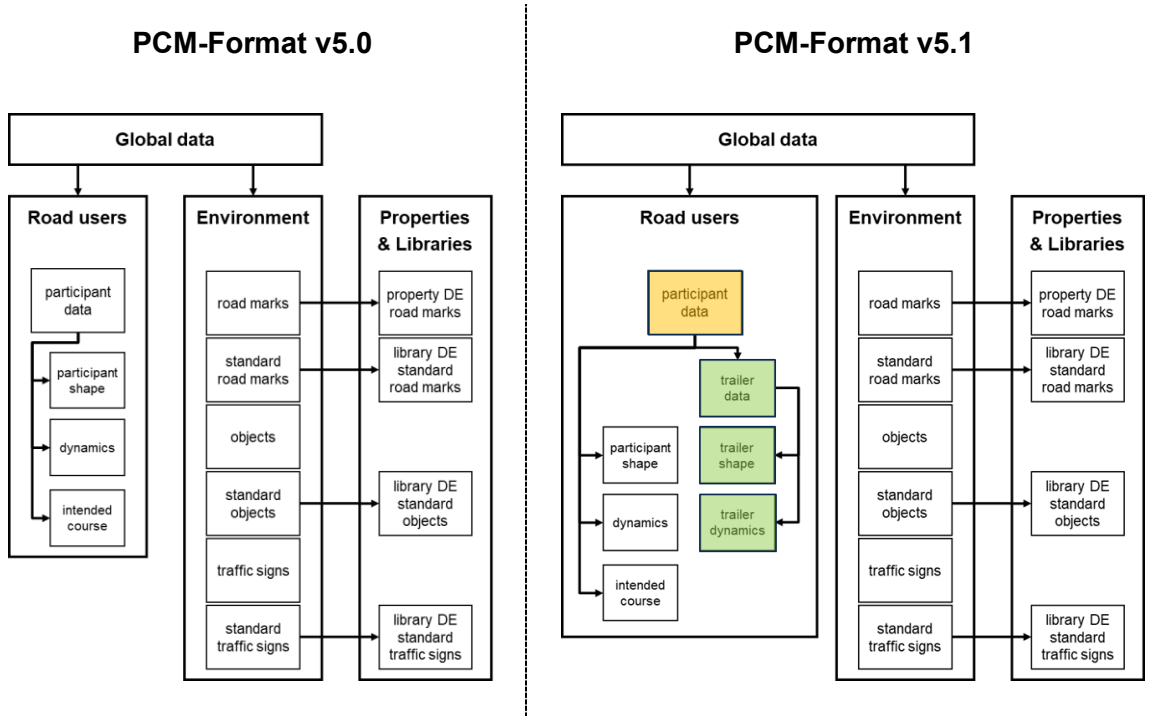


Abbildung 3-7: Gegenüberstellung der Struktur des PCM-Formats v5.0 und v5.1

Mit gelb ist die Tabelle „participant_data“ hervorgehoben, diese war bereits in der Version 5.0 vorhanden und wird um zusätzliche Spalten erweitert, um zukünftig detaillierte Informationen zum LKW und Anhänger abzubilden. Welche Änderungen durchgeführt werden, ist in der folgenden Abbildung 3-8) dargestellt.

PCM format **v.5** | PCM format **v.5.1** | Add | Change | Delete

v.5	v.5.1	Description	Default value
TRACKWIDTH	TRACKWIDTH1	Change Variable	-
TRACKWIDTH	TRACKWIDTH2	Add Variable	-
	TRACKWIDTH3	Add Variable	99999
	TRACKWIDTH4	Add Variable	99999
	TRACKWIDTH5	Add Variable	99999
	TRACKWIDTH6	Add Variable	99999
WHEELBASE	WHEELBASE12	Change Variable	-
	WHEELBASE23	Add Variable	99999
	WHEELBASE34	Add Variable	99999
	WHEELBASE45	Add Variable	99999
	WHEELBASE56	Add Variable	99999
	TRAILERHITCHX	Add Variable	99999
	TRAILERHITCHZ	Add Variable	99999

Abbildung 3-8: Änderungen der Tabelle "participant_data"

Die Variable „TRACKWIDTH“ wird zu „TRACKWIDTH1“ geändert und für bis zu fünf weiteren Achsen erweitert. Für bestehende Fälle in der GIDAS-PCM wird beschlossen, dass der Wert

aus „TRACKWIDTH“ in „TRACKWIDTH1“ und „TRACKWIDTH2“ überführt wird, weil der überwiegende Teil der Fahrzeuge (PKW) mit zwei Achsen sind. In der Regel haben diese keine bedeutenden Abweichungen bei der Spurweite an Vorder- und Hinterachse. Um mehrere Achsen zu definieren, werden auch mehrere Radstände benötigt. Die Variable „WHEELBASE“ wird zu „WHEELBASE12” geändert und enthält für bestehende Fälle der GIDAS-PCM die entsprechenden Werte. Die Variable definiert den Radstand zwischen Achse 1 und Achse 2. Die Zahlen in der Variablenbezeichnung geben die Achsnummern an, zwischen denen der entsprechende Abstand definiert ist. Die weiteren Radstände sind für bis zu sechs Achsen vorbereitet. Um einen Anhänger am Zugfahrzeug zu befestigen, wurde ein Kupplungspunkt mit den Variablen „TRAILERHITCHX“ und „TRAILERHITCHZ“ hinzugefügt. „TRAILERHITCHX“ gibt die x-Koordinate und „TRAILERHITCHZ“ gibt die z-Koordinate der Anhängerkupplung in Bezug auf das lokale Koordinatensystem des Beteiligten („participant_shape“) an, welches schematisch in Abbildung 3-9 dargestellt ist.

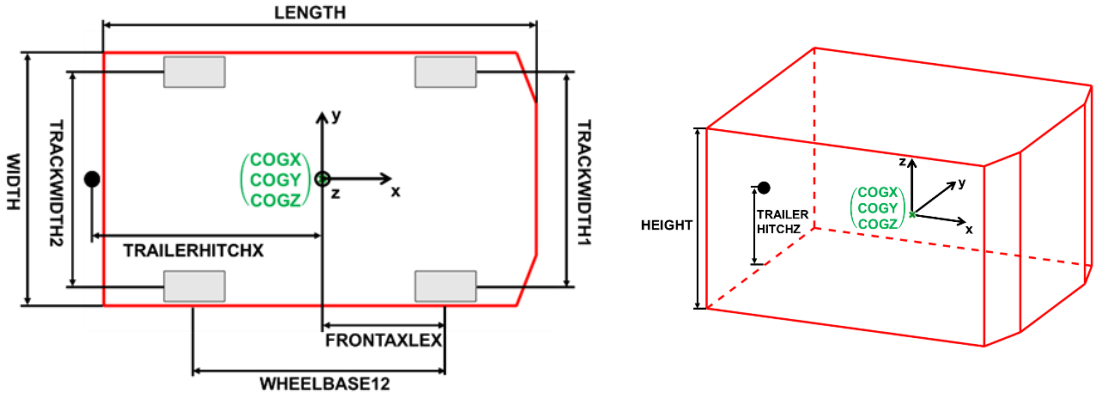


Abbildung 3-9: Schematische Darstellung der Variablen "participant_data"

Für den Kupplungspunkt wird die Annahme getroffen, dass sich dieser immer auf der Fahrzeuglängsachse befindet und somit die Y-Koordinate immer Null entspricht. Eine asymmetrische Anordnung des Kupplungspunktes ist damit in der PCM-Spezifikation nicht vorgesehen.

Um zukünftig Anhänger in der PCM-Spezifikation darzustellen, werden drei zusätzliche Tabellen („trailer_data“, „trailer_shape“ und „trailer_dynamics“) angelegt, welche sich von der Struktur an den bisherigen Tabellen („participant_data“, „participant_shape“ und „dynamics“) der PCM-Spezifikation orientieren, siehe Abbildung 3-10.

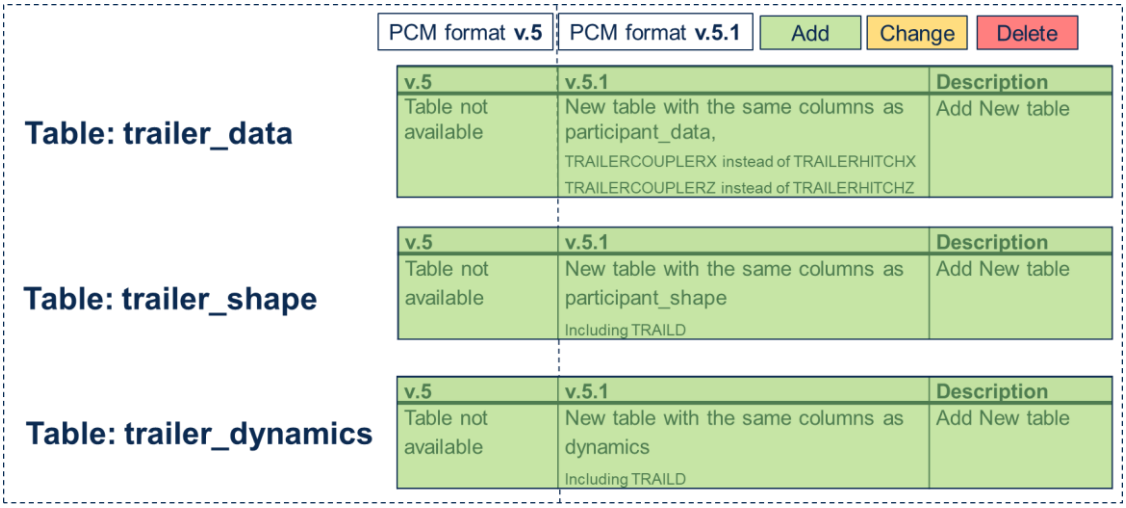


Abbildung 3-10: Neue Tabellen für Anhänger

Alle drei in Abbildung 3-10 aufgeführten Tabellen enthalten zusätzlich die Variable „TRAILID“, um mehrere Anhänger einem Zugfahrzeug zuzuordnen zu können. Zudem existiert in der Tabelle „trailer_data“ ein zweiter Kupplungspunkt (TRAILERCOUPLERX“, „TRAILERCOUPLERZ“), um einen zweiten Anhänger an einen bereits vorhandenen Anhänger eines Zugfahrzeuges zu koppeln. Dies kann beispielsweise bei Traktoren auftreten.

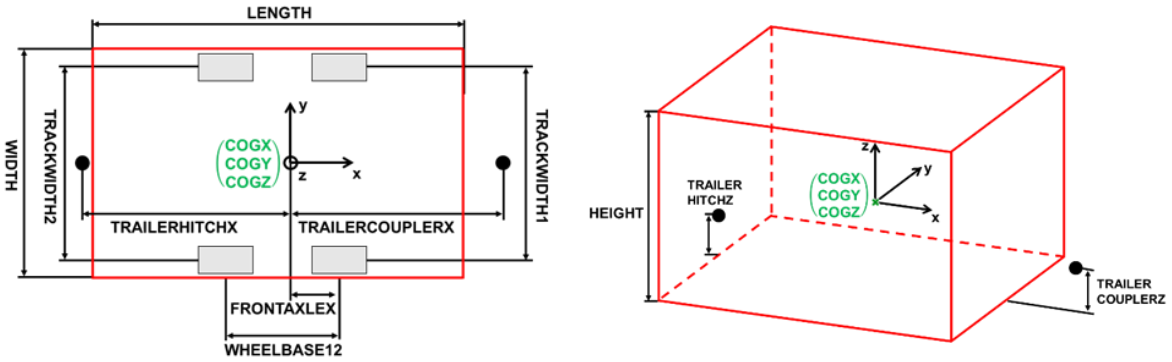


Abbildung 3-11: Schematische Darstellung der Variablen "trailer_data"

Alle genannten Änderungen werden in der PCM-Formatspezifikation v5.1 dokumentiert. Sollten Variablen durch GIDAS oder PC-Crash nicht befüllt werden können, weil sie unbekannt oder nicht verfügbar sind, so werden diese weiterhin mit dem Wert „99999“ codiert.

Nach der Erweiterung der PCM-Spezifikation wird die Methodik zum Überführen der LKW mit Anhänger in das PCM-Format entwickelt. Ein wichtiger Bestandteil ist die Erstellung der „participant_shape“. Für alle spezifischen LKW-Fahrzeugarten (FHRZART >=1600 UND <=1641) wird geprüft ob und wie ein Shape erstellt werden soll. Für die Ausprägung Lkw o.n.A., Tieflader, Verkehrssicherungsaufbau und Spezialaufbau wird kein „participant_shape“ definiert, da dies für diese Fahrzeugarten sehr individuell ausfallen kann. Für den Sattelzugmaschine und den Auflieger wird ein gesondertes Modell erstellt, welches in Abbildung 3-12 zu sehen ist.

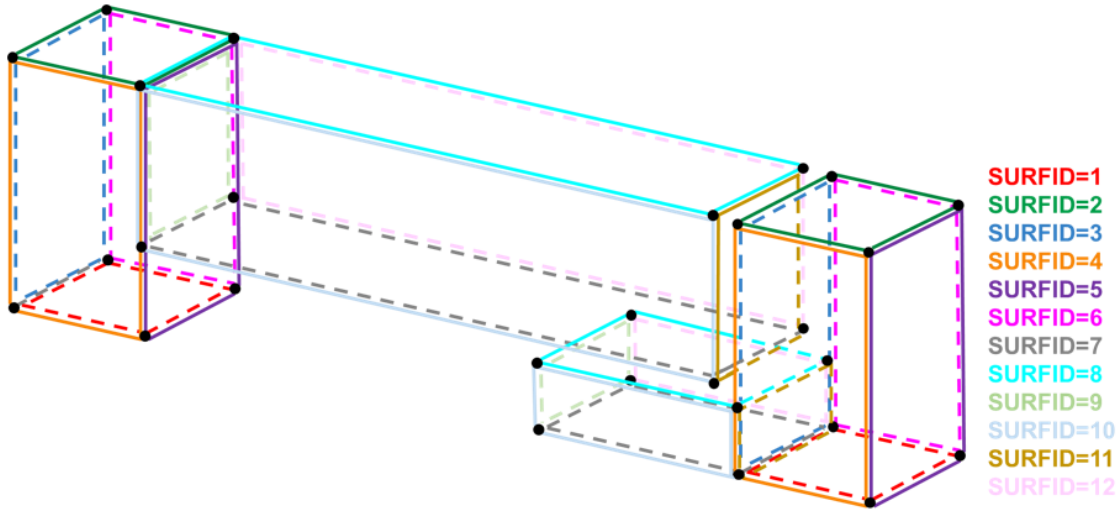


Abbildung 3-12: "Umsetzung des "participant_shape" und "trailer_shape" eines Sattelzuges mit Auflieger

Die Methodik zur Erstellung der PCM funktioniert weiterhin, wie in Kapitel 2 beschrieben, mit VAST. Für die Extraktion von schweren LKW und möglichen Anhängern muss das Programm erweitert werden. Im „Pre-Prozess“ wird das Programm dahingehend erweitert, dass alle relevanten Informationen zu LKW und ggf. vorhandenen Anhängern aus der GIDAS extrahiert und in die Tabelle „participant_data“ überführt werden können. Danach wird die Methodik für die Erstellung des „participant_shape“ für LKW, speziell für Sattelzugmaschinen erweitert. Dabei werden weiterhin die Grundflächen anhand von Länge und Breite definiert und mit der Fahrzeughöhe extrudiert. Für alle weiteren spezifischen LKW- und Anhängerarten wird bei der geometrischen Darstellung die Form eines Quaders gewählt. So werden bereits zweiachsige LKW mit einer zGM<7,5t, wie beispielsweise Transporter dargestellt. Im nächsten Schritt wird eine neue Funktion für die Erstellung der „trailer_shapes“ erstellt. Anschließend wird die „trailer_dynamics“ aus PC-Crash extrahiert. Im letzten Teil wird im VAST die Plausibilisierung für LKW und mögliche Anhänger erweitert. Damit wird das VAST dahingehend erweitert, dass es möglich ist Fälle auf Basis der aktuellen GIDAS Codierung in das PCM-Format zu überführen und zu plausibilisieren. Es wird eine separate PCM-Datenbank, mit allen plausiblen LKW-Fällen erstellt und an den zuständigen FAT-Projektbetreuerkreis übergeben. Geplant ist die GIDAS-PCM 2025-2 (Februar/März 2026) im PCM-Format v5.1 und inklusive der LKW und ggf. Anhänger auszuliefern.

3.2. Ergebnisse

Als Ergebnis dieses Projektteils lässt sich zusammenfassen, dass durch die durchgeführten Untersuchungen Lücken bei der Vermessung von LKW- und Anhängerdaten in GIDAS identifiziert und an die Konzeptionsgruppe Technik weitergeleitet werden konnten. Zudem wurde festgestellt, dass keine einheitliche Definition beim Anlegen der Beteiligten in PC-Crash existiert, wodurch keine eineindeutige Zuordnung der Beteiligten möglich ist, gerade wenn gleiche Fahrzeugarten miteinander kollidieren. Hierfür wurde ebenfalls ein Vorschlag erarbeitet und an die Konzeptionsgruppe Technik weitergeleitet.

Als weiteres Ergebnis ist die überarbeitete PCM-Formatspezifikation v5.1 entstanden, welche es ermöglicht Fälle mit LKW- und Anhänger Beteiligung abzulegen. Es wurde eine Methodik entwickelt, um Fälle mit LKW- und Anhänger Beteiligung mit Hilfe des VAST aus GIDAS in das PCM-Format zu überführen und zu plausibilisieren.

Beide zu Projektbeginn formulierten Forschungsfragen konnten im Rahmen der Bearbeitung dieses Projektteils beantwortet werden. Durch die Erweiterung der PCM-Formatspezifikation ist künftig eine Abbildung von schweren Lkw im GIDAS-PCM möglich, wodurch deren Repräsentativität innerhalb der Datenbasis signifikant verbessert wird.

Insgesamt konnten von den potenziell 559 Unfällen 150 Unfälle, davon 50 Fälle mit Anhänger, aus GIDAS in die PCM-Formatspezifikation (v5.1) überführt und an den F³-Betreuerkreis übergeben werden. Gründe für die Reduzierung der Fallanzahl, sind beispielsweise zu kurze Simulationszeiten in den PRO-Dateien (82%), unbekannte Kodierung von Geschwindigkeitsinformationen in GIDAS (6%), keine eindeutige Zuordnung der Anhänger zu den Beteiligten (5%), Kollisionen mit geöffneter Fahrzeugtür (2%). Die restlichen 5% teilen sich in mehrere Einzelaspekte auf.

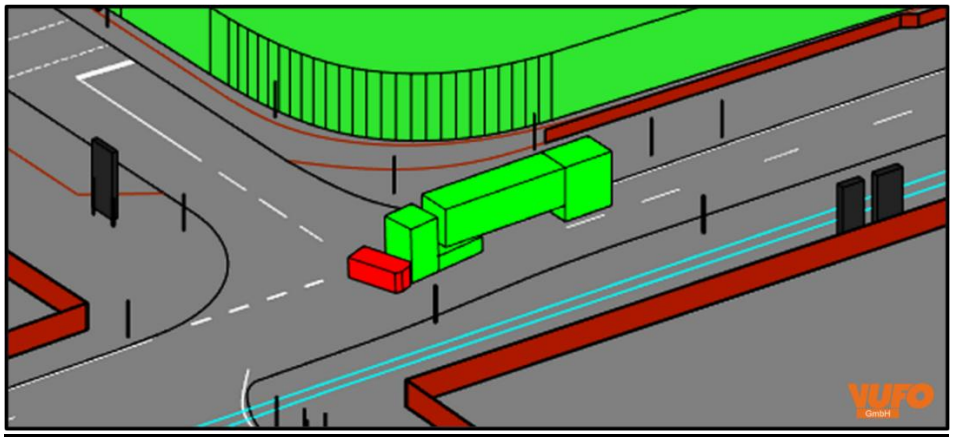


Abbildung 3-13: Beispiel einer Kollision zwischen PKW und Sattelzugmaschine mit Sattelauflieger

3.3. Zusammenfassung und Ausblick

Der Projektteil trägt langfristig dazu bei, die Qualität in GIDAS zu steigern, da zukünftig vermehrt Fälle mit LKW und Anhängerbeteiligung in die GIDAS-PCM Einzug halten werden und somit zusätzliche Plausibilisierungsroutinen durchlaufen. Zudem erhöht sich die Repräsentativität der GIDAS-PCM, wenn zukünftig Fälle mit LKW und Anhänger in der Datenbank enthalten sein werden. Darüber hinaus kann der mögliche Kundenkreis von GIDAS-PCM Nutzern wachsen, da nun auch LKW OEM und Zulieferer mit simulativen Unfalldaten im PCM-Format arbeiten können. Ferner ist mit der Erweiterung des PCM-Formats die Möglichkeit gegeben, auch andere Verkehrsteilnehmer wie PKW, Busse und Fahrräder mit Anhängern auszustatten.

4. Teil 2 – Erweiterung der GIDAS-PCM-Daten um Infrastrukturelemente (Verkehrszeichen)

Im zweiten Projektteil wird die Frage beantwortet, ob Infrastrukturdaten im PCM-V5-Datenbankformat korrekt modelliert sind und in der Datenbank ausreichend abgebildet werden. Betrachtet man die Hierarchische Struktur des PCM-V5-Formats so ist zu erkennen, dass die Umgebung durch sechs verschiedene Objekttypen dargestellt werden kann. Die Objekttypen unterscheiden sich in standardisierte Objekte („standard road marks“, „standard objects“, „standard traffic signs“) und nicht standardisierte Objekte („road marks“, „objects“, „traffic signs“). Fahrbahnmarkierungen, in der Nähe des Fahrbahnrandes befindliche Bäume oder Zäune können so im PCM-Format abgebildet werden. In der Abbildung 4-1 ist zu sehen, wie sich die summierte Anzahl von Objekten in PCM-Skizzen über die Jahre hinweg verändert. Dabei wird deutlich, dass aktuellere Fälle oftmals mehr Umgebungsinformationen beinhalten als weiter in der Vergangenheit liegende PCM-Fälle.

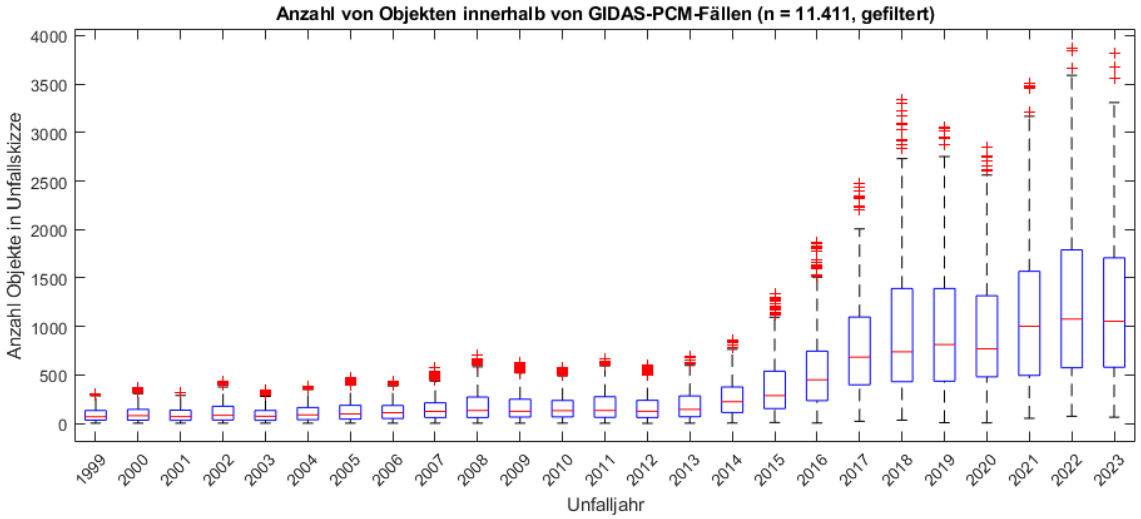


Abbildung 4-1: Anzahl der Objekte in GIDAS-PCM-Fällen nach Unfalljahren

Die in GIDAS angefertigten Unfallskizzen enthalten seit einiger Zeit zusätzliche Infrastrukturelemente, wie beispielsweise Verkehrszeichen. Da diese Daten für die simulative Auslegung von ADAS/AD-Funktionalitäten gewinnbringend und notwendig erscheinen, sollen die Angaben aus den GIDAS-Unfallskizzen in das PCM-Format überführt werden. Das PCM-Format 5.0 wurde bereits 2019 mit der Möglichkeit versehen, mit Hilfe einer Bibliothek hunderte (deutsche) Standard-Verkehrszeichen zu annotieren und darzustellen (s. Abbildung 4-2). Derzeit werden diese Potentiale noch nicht genutzt, da keine automatisierte Methodik existiert, den dafür notwendigen Transfer durchzuführen. Somit kann festgehalten werden, dass das PCM-Format in der Theorie alle Voraussetzungen erfüllt, um Verkehrszeichendaten abzubilden, die programmatische Umsetzung jedoch noch nicht erfolgt ist.

Die Frage nach der korrekten Abbildung der Verkehrszeichendaten in der GIDAS-PCM muss also vorerst negativ beantwortet werden.

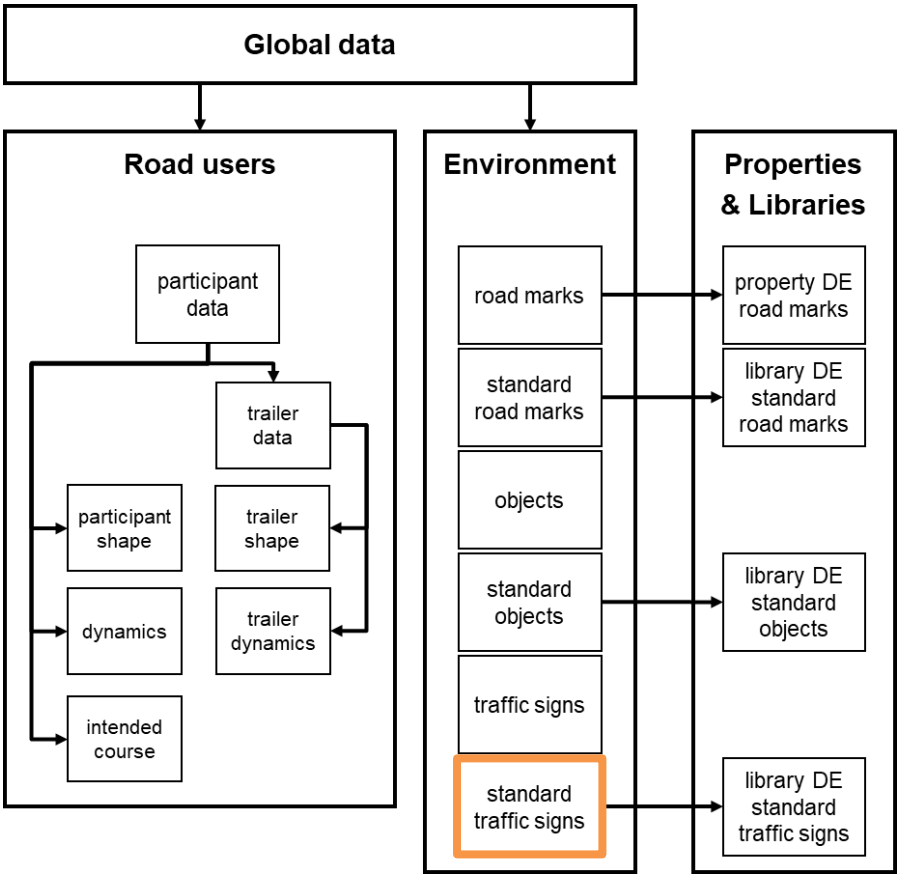


Abbildung 4-2: Hierarchische Struktur der PCM im Format 5.1

In GIDAS werden für alle aufgenommenen Unfälle Unfallskizzen erstellt. Diese werden mittels der CAD-Software AutoCAD angefertigt und beinhalten die Unfallumgebung. Auch werden Straßenmarkierungen, Verkehrszeichen und weitere Objekte dargestellt. Aktuell existieren für 316 Verkehrszeichen Symbolvorlagen, die genutzt werden, um diese an den entsprechenden Stellen in der Skizze platzieren zu können. Die Ausrichtung der Verkehrszeichen-Vorlagen (oben-unten) ist durch eine Markierung (pinker Kreis) bewerkstelligt, falls das Verkehrszeichen keine eineindeutige Form besitzt (s. Abbildung 4-3). Schließlich wird die Symbolvorlage in der Skizze so rotiert, dass die „untere“ Seite des Symbols in Aufstellrichtung ausgerichtet ist. Befinden sich alle relevanten Informationen in der Skizze wird die Skizze geprüft und anschließend die Rekonstruktion durchgeführt. Durch die Rekonstruktion werden die Fahrlinien und die Kollisionsstellungen der Beteiligten in der Skizze ergänzt.

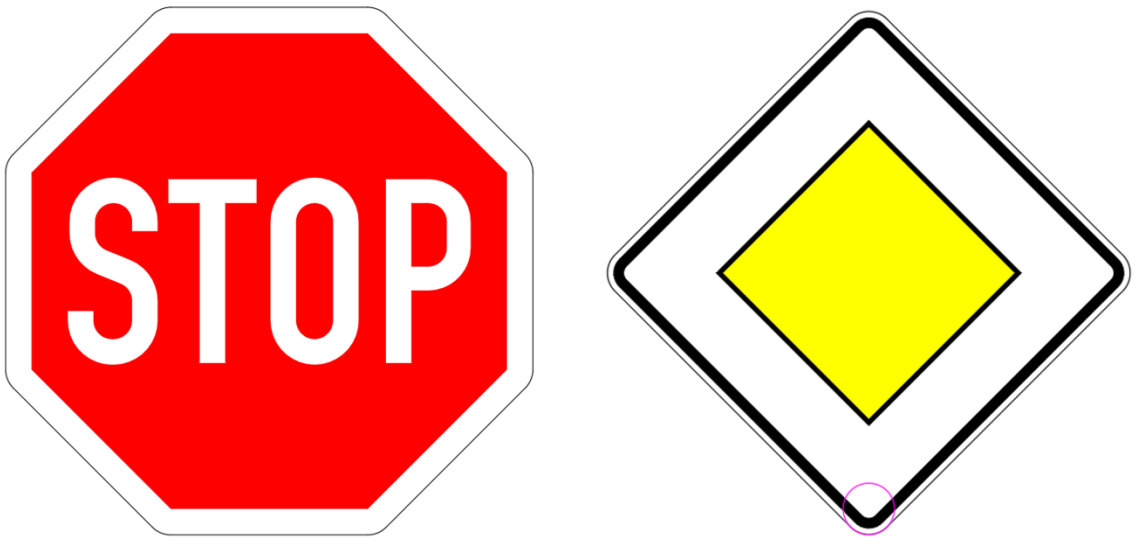


Abbildung 4-3: Beispiel Symbolvorlagen für Verkehrszeichen

Daraufhin werden die vollständigen Unfallskizzen Layer für Layer ausgelesen, womit die Überführung in das PCM-Format ermöglicht wird. Um Verkehrszeichen darzustellen, reicht eine Unterscheidung eines Layers allerdings nicht aus, da die Anzahl der Verkehrszeichen die Layerstruktur unübersichtlich gestalten würde. Eine Lösung wurde mittels sogenannter Blöcke erreicht. Blöcke in einem CAD-Programm sind vordefinierte Gruppierungen von Geometrieelementen (z. B. Linien, Kreise, Texte), die gemeinsam als eine Einheit behandelt werden. Sie ermöglichen eine effiziente Wiederverwendung, vereinfachen die Bearbeitung und tragen zur Konsistenz in technischen Zeichnungen bei. Diese können unter einem einheitlichen Layer gezeichnet werden, beinhalten allerdings zusätzlich eine Bezeichnung für jenen Block. Da CAD2Shape zusätzlich die Möglichkeit besitzt Punktinformationen aus Blöcken zu extrahieren, kann somit, trotz eines einheitlichen Layers für Verkehrszeichen eine Unterscheidung anhand der Blocknamen vorgenommen werden. Die Punktkoordinaten der einzelnen Objekte werden in Textdateien abgelegt.

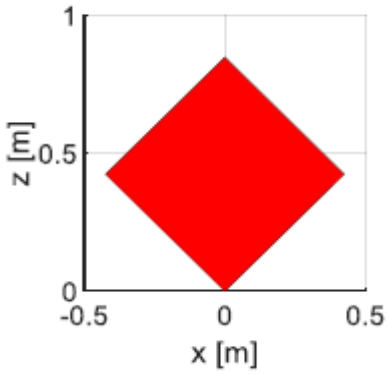
Mit diesen Voraussetzungen kann eine Methodik entwickelt werden Verkehrszeichen in die GIDAS-PCM zu überführen.

4.1. Methodik

Die Implementierung der Verkehrszeichen in das PCM-Format, setzt eine programmatische Anpassung des VAST voraus. Hierfür wird die Methodik des Auslesens der Layer aus den Skizzen auf das zusätzliche Auslesen der Blocknamen erweitert. Zur eindeutigen Identifikation der Verkehrszeichen ist es erforderlich, eine Tabelle bereitzustellen, welche die verwendeten Blocknamen den jeweiligen Verkehrszeichen zuordnet. Hierfür wurden die über die Jahre hinweg in den Skizzen variierenden Blocknamen zahlreicher Verkehrszeichen erfasst und den entsprechenden Verkehrszeichen eindeutig zugewiesen. Es wurde eine Bibliothek angelegt, welche die Form der einzelnen Verkehrszeichen mittels kartesischer Koordinaten beschreibt. Die Bibliothek wurde als „library_DE_standard_traffic_signs“ benannt und ist wie in Abbildung 4-2 zu sehen als Bibliothek für die „standard_traffic_signs“ eingeordnet. Die Objekttypen (OBJTYPE) der Verkehrszeichen werden durch eine vierstellige Zahl angegeben, die mithilfe der Formatspezifikation eindeutig einer offiziellen Nummer von Verkehrszeichen zugeordnet werden kann. Die Bibliothek enthält lediglich die Außenkontur der Verkehrszeichen, Farbe

und Muster sind nicht hinterlegt. Ein dazugehöriger Auszug aus der Formatspezifikation ist der Tabelle 4-1 zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Auszug aus der Bibliothek „standard_traffic_signs“ aus der PCM Formatspezifikation 5.0

OBJTYPE	Off.No.	Pictogramm
1250	306	

Die Position der Verkehrszeichen aus der Skizze wird mittels eines Referenzkoordinatensystems und entsprechender Koordinaten (REFX, REFY, REFZ) in das PCM-Format überführt. Dieses zeigt die Position des geometrischen Mittelpunktes der Verkehrsschilder in der Skizze auf. Der geometrische Mittelpunkt wird aus den Außenpunkten des Verkehrsschildes ermittelt. Mithilfe der Ermittlung des Objekttyps kann das entsprechende Verkehrszeichen in der Bibliothek gefunden und in der PCM platziert werden. Neben der Information zur Position wird auch die Rotation der Verkehrszeichen aus den Skizzen ausgelesen.

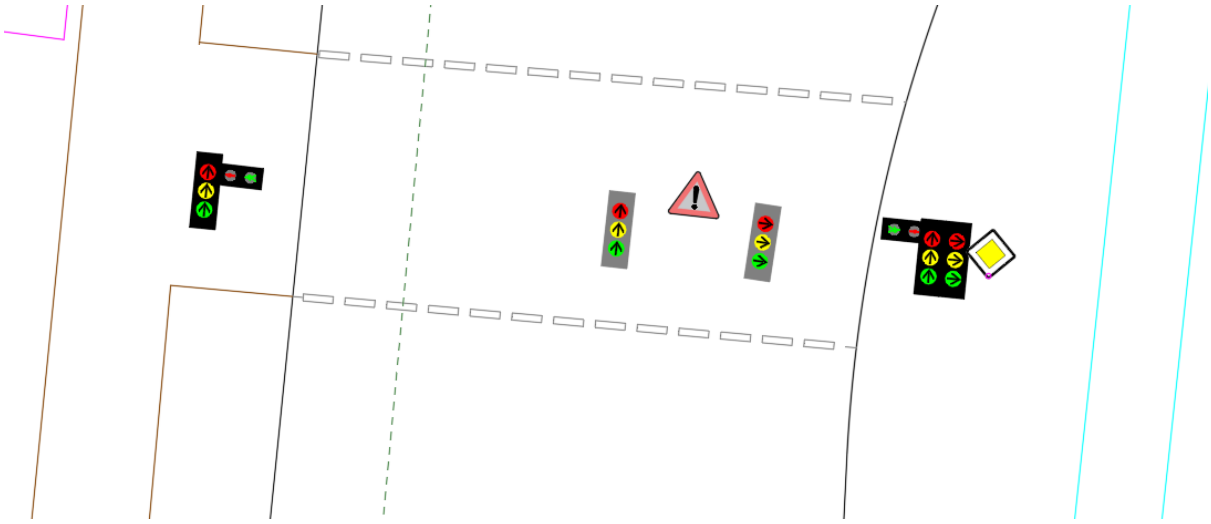


Abbildung 4-4: Ausschnitt einer Skizze mit Verkehrsschildern

Weiterhin ist zu beachten, dass Verkehrszeichen am Unfallort für gewöhnlich an einem Mast angebracht sind. Befindet sich ein Verkehrszeichen an einer durch eine Lichtsignalanlage geregelter Kreuzung, so wird dieses häufig an einen Ampelmast mit einem größeren

Durchmesser angebracht. Steht das Verkehrszeichen am Straßenrand, so wird ein dünnerer Mast verwendet. Dieser Aspekt wird auch in den Skizzen beachtet. Um die Verkehrszeichen im PCM-Format an den richtigen Objekten zu positionieren ist es erforderlich, dass bei der Skizzenerstellung eindeutig dargestellt wird, an welchen Objekten (Masten) die Verkehrszeichen angebracht sind. Das wird mittels einer Überlappung zwischen den Außenkonturen der Verkehrszeichen und der Masten erreicht. Dafür werden zunächst alle Konturen der positionierten Verkehrszeichen sowie aller Masten trianguliert. Für jedes Verkehrszeichen wird nun geprüft, ob dieses sich mit Konturen von Masten überschneidet. Findet eine Überschneidung statt, so wird die Positionierung des Verkehrszeichens so angepasst, dass dieses am Mast auf 2,20 m Höhe „angebracht“ erscheint. Bei einer Überschneidung mit mehreren Masten wird die Berechnung abgebrochen und eine Korrektur der Skizze ist notwendig. Ist keine Überlappung vorhanden wird automatisch ein Mast mit einem Durchmesser von 0,06 m und einer Höhe von 2,70 m erzeugt und das Verkehrszeichen daran „angebracht“.

Auch muss beachtet werden, dass bis zu zwei Vorschriftzeichen an einem Mast angebracht werden können [3]. Hierfür wird auch die Überlappung der Verkehrszeichen in der Skizze genutzt. Nachdem die Verkehrszeichen geprüft werden, ob deren Konturen sich mit Objekten überschneiden, findet dieselbe Prüfung für eine Überschneidung mit Verkehrszeichen statt. Werden also zwei Verkehrszeichen so eingezeichnet, dass die Außenkonturen dieser sich überschneiden, wird dies im Pre-Prozess erkannt. Im PCM-Format erscheinen diese dann übereinander an einem Mast angebracht.

Verkehrszeichen können zudem über der Fahrbahn an Auslegermasten angebracht werden. Die Verkehrszeichen sind in diesen Fall höher angebracht als Verkehrszeichen, die neben der Fahrbahn stehen. Die Implementierung dieser Verkehrszeichen erfordert eine Identifikation dieser im Vorfeld, damit diese ohne einen Mast in die PCM übertragen werden können. Dies wird sichergestellt in dem für Verkehrszeichen, die über einer Fahrbahn angebracht werden, in der Unfallskizze separate Symbolvorlagen und eindeutige Objekttypen verwendet werden. Dadurch kann gewährleistet werden, dass diese Zeichen in einer Höhe von 4,50 m dargestellt werden [3].

Ein weiterer zu berücksichtigender Parameter ist die Größe der Verkehrszeichen. Diese ist nach §§39 bis 43 der Verwaltungsvorschrift Straßenverkehrsordnung (VwV-StVO) abhängig von zulässigen Geschwindigkeitsbereich. So richten sich die Größen der Verkehrszeichen in der Regel nach der am Aufstellungsort geltenden Höchstgeschwindigkeit. Dabei gelten für dreieckige, quadratische und rechteckigen Verkehrszeichen die Bereiche von

- 20 km/h bis weniger als 50 km/h
- 50 km/h bis 100 km/h
- mehr als 100 km/h

als Geschwindigkeitsgrenzen. Für Ronden gelten die Bereiche

- 0 km/h bis 20 km/h
- mehr als 20 km/h bis 80 km/h
- mehr als 80 km/h.

Die verschiedenen Größen können der Tabelle 4-2 entnommen werden. Die Größe 1 wird in der Regel im Bereich mit der geringsten Höchstgeschwindigkeit, die Größe 2 im mittleren und die Größe 3 im höchsten Geschwindigkeitsbereich angewandt.

Tabelle 4-2: Auszug zur Größe der Verkehrszeichen aus der VwV-StVO zu den §§ 39 bis 43

Verkehrszeichen	**Größe 1** (70%)	**Größe 2** (100%)	**Größe 3** (125 % bzw. 140 %)
Ronde (Durchmesser)	420	600	750 (125 %)
Dreieck (Seitenlänge)	630	900	1260 (140 %)
Quadrat (Seitenlänge)	420	600	840 (140%)
Rechteck (Höhe x Breite)	630 x 420	900 x 600	1260 x 840 (140%)

Da der Tabellenauszug aus einer Verwaltungsvorschrift stammt, können die tatsächlichen Größen der Schilder sich von dieser unterscheiden. Die für das Aufstellen der Schilder zuständigen Straßenverkehrsbehörden können im Einzelfall über die Notwendigkeit einer Abweichung von der Regelung entscheiden.

Unter diesen Umständen wurde beschlossen, dass bei Unfällen auf einer Bundesautobahn die Verkehrszeichen mit der Größe 3 in das PCM-Format überführt werden. Verkehrszeichen von Unfällen abseits von Bundesautobahnen werden auf die Größe 2 skaliert.

Die Überführung der Verkehrszeichen ist mit einigen Limitationen verbunden. Zum einen können nicht alle 1.121 Verkehrszeichen, die in Deutschland zugelassen sind, für die Unfallskizzen als Vorlage und für das PCM-Format als Bibliothek zur Verfügung gestellt werden. So werden beispielsweise Zusatzzeichen gänzlich aus der Bearbeitung ausgeschlossen. Auch sind Verkehrszeichen, die durch eine digitale Infrastruktur abgebildet werden in solcher Form nicht darstellbar. Diese werden falls notwendig als „konventionelles“ Verkehrsschild dargestellt. Weiterhin ist zu erwähnen, dass aktuell maximal zwei Verkehrszeichen an einen Mast angebracht werden können (Abbildung 4-5).

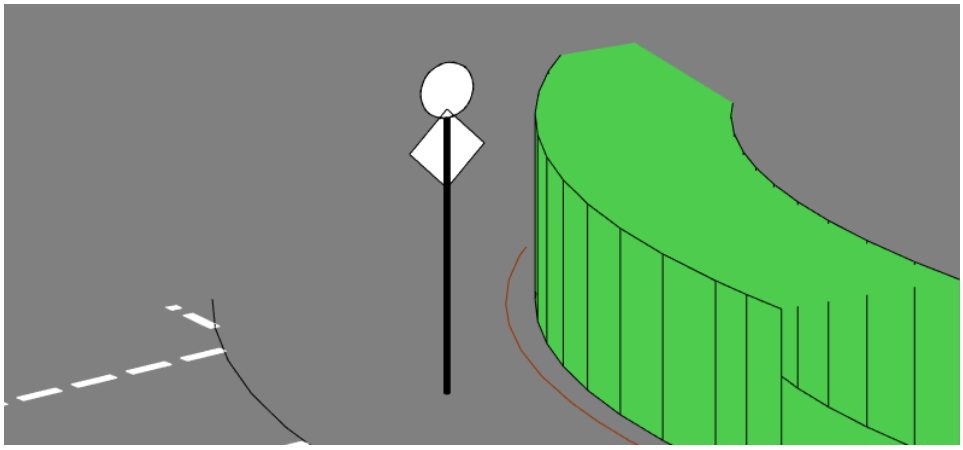


Abbildung 4-5: Darstellung zweier Verkehrszeichen an einem Mast im PCM-Format

Eine weitere Limitation ist die Höhe der Verkehrszeichen. Diese wird im Rahmen der Erhebung nicht dokumentiert und nicht in die 2D Unfallskizzen übertragen. Nach der VwV-StVO kann die Höhe der Verkehrszeichen bei der Anbringung variieren, falls die Umgebung es verlangt. Bei der Überführung in das PCM-Format werden die Verkehrszeichen in standardisierten Höhen positioniert. Für die Verkehrszeichen wurde eine Standardhöhe von 2,20 m und für Überkopfanordnung von 4,50 m definiert. Die Höhe der Verkehrsschilder ist festgelegt und kann im Nachhinein nur händisch angepasst werden. In der Abbildung 4-6**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist der Ausschnitt der Skizze aus Abbildung 4-4, mit den automatisch überführten Verkehrszeichen, dargestellt.

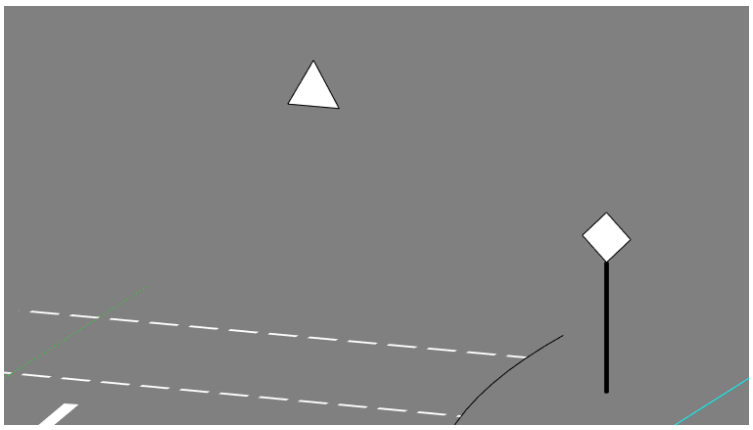


Abbildung 4-6: Darstellung eines überkopfangeordneten Verkehrszeichens im PCM-Format

Nach der Überführung der Verkehrsschilder in das PCM-Format bietet sich eine Plausibilisierung durch vorhandene GIDAS-Codierungen an. Dabei ist jedoch zu beachten, dass in GIDAS keine Information über die Positionierung der Verkehrsschilder bereitsteht. Über die Tabelle „STRASSE“ wird das Vorhandensein von 114 Verkehrszeichen codiert. Weitere 22 Verkehrszeichen lassen sich indirekt über die Tabelle „UMWELT“ bestimmen. Dabei wird auf die Variablen „VKREG“ (Verkehrsregelung), „ARTKNOTEN“ (Art des Verkehrsknotens) und „UTYP“ zurückgegriffen. Über diese Variablen können indirekt Annahmen getroffen werden, welche Verkehrsschilder in der Unfallskizze vorhanden sein sollten. Ist beispielsweise die Variable „VKREG“ mit der Ausprägung „STOP“ codiert, wird angenommen, dass die Skizze ein Stoppschild beinhalten muss.

Eine Plausibilisierung aller übertragenden Verkehrszeichen ist mit der beschriebenen Methodik zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich.

4.2. Ergebnisse

Für die Übertragung der Verkehrszeichen aus den Skizzen in das PCM-Format wurde eine Bibliothek geschaffen, welche die Blocknamen den Verkehrszeichen zuordnet. Durch das Auslesen der Skizze werden die vorhandenen Verkehrszeichen lokalisiert und mittels der Bibliothek identifiziert. Auf diese Weise können 616 Verkehrsschilder (laut StVO) in das PCM-Format überführt werden und anhand der PCM-Variable OBJTYPE bestimmt werden.

Darüber hinaus wurde die programmtechnische Umsetzung zur Überführung von Verkehrszeichen aus digitalen Unfallskizzen in das PCM-Format realisiert. Dadurch ist es möglich,

Informationen zu Verkehrszeichen automatisiert aus den, im DXF-Format befindlichen, Skizzen auszulesen und in das PCM-Format zu überführen.

Nach Abschluss der Arbeiten in diesem Projektteil kann die Forschungsfrage hinsichtlich einer korrekten Modellierung von Infrastrukturdaten im GIDAS-PCM positiv beantwortet werden. Die entwickelte Formatspezifikation bildet eine belastbare Grundlage für die strukturierte Abbildung verschiedener Umgebungsmerkmale, einschließlich der im Projekt ergänzten Verkehrszeichendaten.

Darüber hinaus wurden spezifische Vorgaben definiert, die bei der Erstellung der Skizzen zu beachten sind, um eine konsistente und verlustfreie Überführung der relevanten Informationen vom Skizzenformat in das GIDAS-PCM-Format sicherzustellen. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass künftig die Frage nach der hinreichenden Abbildung von Infrastrukturelementen im GIDAS-PCM positiv beantwortet werden kann.

Die oben beschriebene Methodik konnte nachträglich auf 1.928 historische PCM-Skizzen angewendet werden. Eine Datenbank dieser Fälle wurde erstellt und an den Betreuerkreis übergeben.

4.3. Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem Projektteil wurde die Grundlage geschaffen, um Informationen über in der StVO vorkommenden Verkehrszeichen im PCM-Format abzubilden. Diese Information bietet die Möglichkeit Systeme simulativ zu testen, die Verkehrszeichen erfassen können.

Die Verkehrszeichen werden dabei bei der Erstellung der Unfallskizze hinzugefügt, positioniert und ausgerichtet. Ein Verbinden von bis zu zwei Schildern an einen Mast ist ebenfalls möglich. Die sich in der Bibliothek befindlichen Verkehrsschilder werden im weiteren Vorgehen automatisiert ausgelesen und in das PCM-Format überführt.

Weiterhin wurde sichergestellt, dass eine Erweiterung der Verkehrszeichen-Bibliothek möglich ist, und nach Bedarf auszuführen ist. Dies kann beispielsweise in Folge einer Änderung der Straßenverkehrsordnung der Fall sein. Auch ist die Einbindung von zusätzlichen Bibliotheken, beispielsweise Verkehrszeichen eines anderen Landes, möglich.

5. Teil 3 – Erweiterung der Unfallumgebung in der GIDAS-PCM um prä- und postkollisionäre Bereiche

Im Rahmen der Erstellung digitaler Unfallskizzen für die Überführung von Fällen in das PCM-Format werden gegenwärtig jene Bereiche der Unfallstelle berücksichtigt, die von den beteiligten Verkehrsteilnehmenden in einem Zeitraum von fünf Sekunden vor der initialen Kollision durchfahren wurden. Darüber hinaus erfolgt eine möglichst detaillierte Abbildung der unfallrelevanten Umgebung, um eine realitätsnahe und nachvollziehbare Rekonstruktion des Unfallgeschehens zu gewährleisten. Während für die präkollisionäre Phase eine Mindestdauer von fünf Sekunden definiert ist, bestehen für die postkollisionäre Darstellung bislang keine einheitlichen Vorgaben. Folglich variiert deren Umfang in Abhängigkeit vom jeweiligen Einzelfall.

Für die fundierte simulative Untersuchung der Funktionalität moderner Fahrerassistenzsysteme (ADAS) sowie automatisierter Fahrfunktionen (AD) kann es erforderlich sein, den derzeit festgelegten Erfassungsbereich räumlich und zeitlich zu erweitern. Die präzise Festlegung der erforderlichen Dimensionen digitaler Unfallskizzen – sowohl vor als auch nach der Erstkollision –bildet die Basis für die zukünftige Erstellung von ausreichend dimensionierten Unfallstellen im PCM-Format.

Zur Bestimmung des Erweiterungsbedarfs werden in enger Abstimmung mit dem Projekt-Betreuerkreis spezifische Unfallszenarien identifiziert und analysiert, bei denen eine Vergrößerung des abgebildeten Bereichs als notwendig erscheint. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden systematische Kriterien abgeleitet, die die Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadens ermöglichen. Dieser soll künftig Empfehlungen zur angemessenen räumlichen und zeitlichen Ausdehnung digitaler Unfallskizzen bereitstellen.

5.1. Methodik

Zur fundierten Untersuchung der Notwendigkeit einer Erweiterung digitaler Unfallskizzen ist zunächst eine präzise Definition der präkollisionären Phase sowie der postkollisionären Phase erforderlich. Im Rahmen projektinterner Abstimmungen wird hierzu eine differenzierte Diskussion geführt, die sich auf die zeitliche Abgrenzung dieser Phasen, das Verhalten der beteiligten Verkehrsteilnehmenden sowie den Verlauf ihrer Trajektorien konzentriert.

Nach der Definition der Unfallphasen erfolgt eine qualitative Bewertung anhand exemplarischer PCM-Fälle. Dabei wird eine systematische Untersuchung von Unfallskizzen unter Berücksichtigung der Unfalltypen vorgenommen. Zusätzlich wird eine Unterscheidung zwischen historischen und aktuellen Fällen durchgeführt. Diese ist in der Abbildung 5-1 beispielhaft für die Unfalltypen drei und sechs dargestellt. Auf der linken Seite der Abbildung sind historische Fälle aus dem Jahr 2000 zu erkennen. Ihnen gegenübergestellt sind Darstellungen von aktuellen Fällen aus dem Jahr 2022. Als historische Fälle werden Fälle aus den Jahrgängen bis 2019 und 2020 definiert. Eine genaue Trennung ist nicht möglich, da die Dauer der Bearbeitung der Daten und der Fertigstellung variieren kann.

Die rot umkreisten Bereiche der historischen Fälle weisen auf Qualitätsmängel hin. Zu sehen ist, dass die Fahrbahnränder und Fahrbahnmarkierungen des Falls 1000056 nur im Kreuzungsbereich dargestellt worden sind. Während des größten Teils der präkollisionären Phase sind somit keine Information über die Unfallumgebung bekannt. Ähnlich verhält es sich beim zweiten Beispiel, den Fall 1000370.

Für die weiteren Untersuchungen wurde festgelegt, dass nur aktuelle Fälle für die Ableitung der Kriterien genutzt werden, da diese den derzeitigen Anforderungen entsprechen sollten.

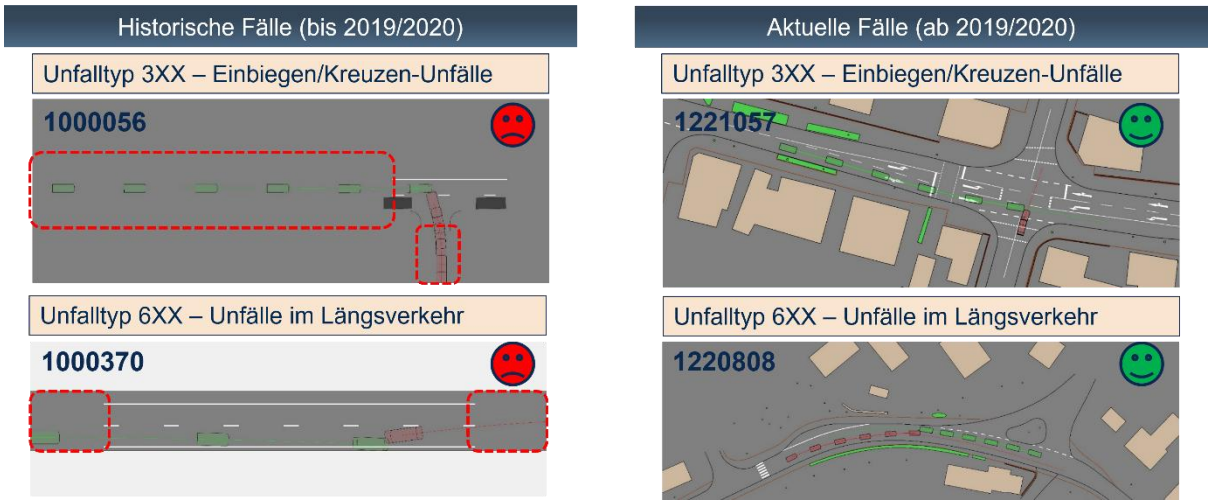


Abbildung 5-1: Vergleich von historischen und aktuellen Fällen der Unfalltypen 3XX und 6XX

Ein weiteres Ziel der Betrachtung der Fälle unterschiedlichen Unfalltyps ist es, jene Fallkonstellationen zu identifizieren, in denen eine räumliche oder zeitliche Erweiterung der Skizzen eine Simulation im postkollisionären Raum ermöglicht und/oder sinnvoll ist. Hierbei liegt der Fokus auf den sieben einstelligen Unfalltypen gemäß amtlicher Klassifikation. Für jeden Typ werden jeweils fünf ältere sowie fünf aktuelle Unfallskizzen ausgewählt und analysiert, was zu einer Gesamtzahl von 70 Fällen führt. Diese werden exemplarisch diskutiert, um mögliche charakteristische Anforderungen an die Skizzengröße in Abhängigkeit vom Unfalltyp zu identifizieren. Getroffene Aussagen sind dem Bericht angehangen.

Sollten sich im Zuge der Untersuchung Hinweise darauf ergeben, dass einzelne Szenarien eine Erweiterung der Unfallumgebung erfordern, wird die Untersuchung um zusätzliche PCM-Fälle des betreffenden Unfalltyps erweitert.

Die aus der Untersuchung abgeleiteten Erkenntnisse sowie die begleitenden Diskussionen innerhalb des Projektteams und des Betreuerkreises bilden die Grundlage zur Formulierung konkreter Kriterien für die zukünftige Erstellung digitaler Unfallskizzen.

5.2. Ergebnisse

Ein Kriterium für die Auslieferung von Fällen in der GIDAS-PCM-Datenbank ist, dass die präkollisionäre Phase der Unfallskizze und Rekonstruktion mindestens fünf Sekunden vor der ersten Kollision abdecken. Die digitalen Unfallskizzen werden dabei mindestens so groß gezeichnet, dass die Endlagen der Unfallbeteiligten abgebildet werden können. Die Unfallskizzen bilden damit den Ablauf eines Verkehrsunfalls nach dem ACEA Sicherheitsmodell ab (siehe Abbildung 5-2) [4].

Abbildung 5-2: Ablauf eines Verkehrsunfalls auf der Grundlage des ACEA-Sicherheitsmodells [4]

Das Modell unterteilt den Unfallverlauf in fünf Phasen. Der Zeitpunkt t_0 kennzeichnet den Zustand der ungestörten Normalfahrt. Diese Phase endet mit dem Eintritt eines kritischen Ereignisses zum Zeitpunkt t_{crit}. In der darauffolgenden Phase, zwischen t_{crit} und t_u, besteht theoretisch noch die Möglichkeit, den Unfall zu vermeiden. Mit dem Erreichen des Zeitpunkts t_u, auch als „Point of No Return“ (PONR) bezeichnet, ist eine Kollision nicht mehr abwendbar. Die tatsächliche Kollision der Beteiligten erfolgt zum Zeitpunkt t_{coll}. Im Anschluss daran beginnt die postkollisionäre Phase, mit der der Unfallprozess abgeschlossen wird. Der Kollisionszeitpunkt beschreibt somit den Übergang von der präkollisionären Phase in die postkollisionäre Phase.

Als Einlaufphase wird in den aktuellen PCM-Fällen die Phase von t_0 bis zum Kollisionszeitpunkt t_{coll} bezeichnet. Wird in einer Simulation eine Kollision verhindert so verkürzt sich die Einlaufphase und geht zu einem Zeitpunkt $t < t_u$ in die Auslaufphase über (siehe Abbildung 5-3).

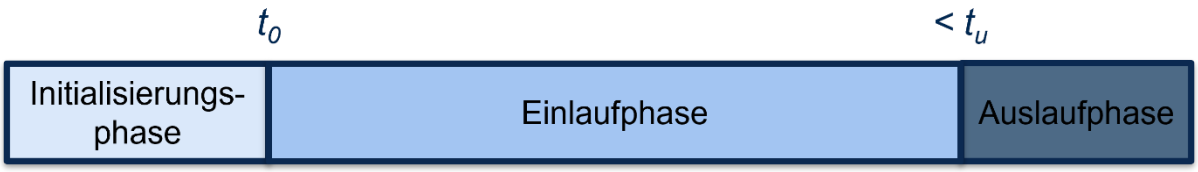


Abbildung 5-3: im Projekt betrachtete Phasen eines Verkehrsunfalls

Eine Initialisierungsphase könnte dazu genutzt werden, einen Beteiligten aus dem Stillstand auf die Ausgangsgeschwindigkeit zu beschleunigen. Dies kann für die Verwendung von bestimmten Fahrdynamiksimulatoren, beispielsweise IPGs „CarMaker“, erforderlich sein. Die Möglichkeit, das PCM-Format, um eine solche Phase zu erweitern, wurde im Projektbetreuerkreis diskutiert, jedoch nicht als erforderlich bewertet. Zusätzlich birgt die Einführung einer Initialisierungsphase die Gefahr einer Missinterpretation der dieser als Realfahrdaten. Sollte eine Initialisierungsphase im Einzelfall notwendig sein, kann sie von den Nutzenden mit geringem Aufwand nachträglich ergänzt werden. Darüber hinaus zeigten die Analysen historischer und aktueller Fälle, dass eine Erweiterung der Einlaufphase in den digitalen Unfallskizzen keinen zusätzlichen Nutzen bietet, da der präkollisionäre Bereich bereits hinreichend abgedeckt ist.

Bei der Betrachtung der Auslaufphase wurde festgestellt, dass eine Dauer von mindestens zwei Sekunden angemessen erscheint, um die Bewegungen der Unfallbeteiligten nach einer Vermeidung der Erstkollision zu simulieren. Die Größe der Auslaufphase für die Erstellung der digitalen Unfallskizzen kann demnach so definiert werden, dass der Bereich der Skizze mindestens die Distanz umfasst, die die Beteiligten innerhalb von zwei bis drei Sekunden mit der Kollisionsgeschwindigkeit zurückgelegt hätten. Es wurde festgestellt, dass aktuelle Skizzen diese Anforderung weitestgehend erfüllen. Eine Ausnahme bilden Unfälle im Längsverkehr (Unfalltyp 6XX), bei denen die Anforderungen an die Auslaufphase hinsichtlich der

Skizzengröße teilweise nicht eingehalten werden. Für eine eingehende Analyse wurden weitere 50 Fälle des Unfalltyps 6XX betrachtet. Diese Untersuchung bestätigte, dass die gestellten Anforderungen an die Skizzengröße sinnvoll und künftig von Mehrwert sein werden.

Auf Basis dieser Falluntersuchungen wurden allgemeine, praktikable Kriterien für die Erstellung digitaler Unfallskizzen abgeleitet, die eine verbesserte Qualität der GIDAS-PCM ermöglichen sollen. Es ist hierbei zu beachten, dass diese Kriterien nur für neu erstellte Skizzen gelten. Bereits existierende Skizzen können, wenn der Unfallort identisch ist, wiederverwendet werden. In den meisten Fällen wird eine solche Skizze größer sein als die definierten Kriterien vorsehen. In diesem Fall wird die Skizze nicht verkleinert.

Kriterien zur Erstellung einer digitalen Unfallskizze für die Erstellung einer PCM

Die Größe der Unfallskizze soll sich zukünftig an der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und den Kollisionsgeschwindigkeiten der Beteiligten orientieren. Für die präkollisionäre Phase gilt weiterhin, dass diese so weitläufig gezeichnet werden, dass eine Rekonstruktion ca. fünf Sekunden betragen kann. Da bei Erstellung der Unfallskizze die Geschwindigkeiten der Beteiligten noch nicht bekannt sind, findet eine Orientierung an der zulässigen Höchstgeschwindigkeit statt.

Skizzen sollen mindestens so weit gezeichnet werden, dass die Endlage der Unfallbeteiligten vollständig abgebildet ist. Der postkollisionäre Bereich soll so dargestellt werden, dass die Beteiligten bei Vermeidung der Erstkollision mindestens zwei weitere Sekunden mit der Kollisionsgeschwindigkeit die Fahrbahn „befahren“ könnten. Da die Kollisionsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Skizzenerstellung noch nicht bekannt ist, wird auch zur Abschätzung des postkollisionären Bereichs der Skizze vorab die zulässige Höchstgeschwindigkeit verwendet. Sollte sich nach der Rekonstruktion herausstellen, dass die Kollisionsgeschwindigkeit die zulässige Höchstgeschwindigkeit überschritten hat, wird die Skizze entsprechend verlängert, um die Anforderungen zu erfüllen.

Generell gilt für die Erstellung einer PCM-Unfallskizze, dass diese die befahrenen Fahrbahnen sowie die relevanten Umgebungsobjekte darstellen muss. Objekte, die sich in „erster Reihe“ nach dem Fahrbahnrand oder Gehweg befinden, sollen ebenfalls in die Skizze übernommen werden. Bäume, die keinen direkten Einfluss auf das Unfallgeschehen haben, können als Baumgruppen dargestellt werden. Ebenso sollen stehende Fahrzeuge, die Einfluss auf die Fahrbahnbreite haben oder die Weiterfahrt der Beteiligten behindern (z. B. parkende Fahrzeuge oder Fahrzeuge am Stauende), in die Unfallskizze aufgenommen werden.

In allen Skizzen soll zudem ein „Wunschpfad“ eingezeichnet werden, der den möglichen Fahrweg eines Beteiligten darstellt, sofern es nicht zu einem Unfall gekommen wäre. Der Wunschpfad wird mithilfe der GIDAS-Variable „ABSICHT“ abgeleitet. Sollte keine Information aus dieser Variable vorliegen, wird der wahrscheinlichste Pfad eingetragen.

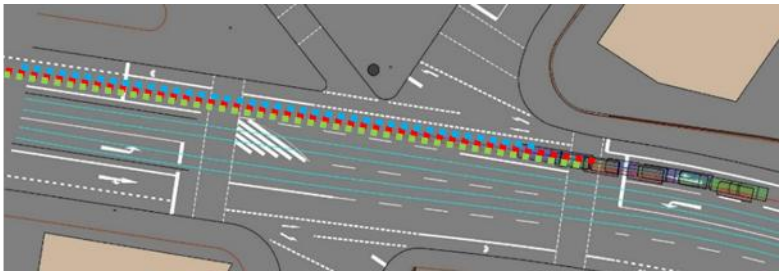


Abbildung 5-4: Beispielhafte Darstellung von Wunschpfaden (gestrichelte Linien) dreier Beteiligter

Nebenstraßen und Kreuzungsarme, die nicht von den Beteiligten befahren wurden oder befahren werden sollten, müssen lediglich durch die Fahrbahnränder angedeutet werden.

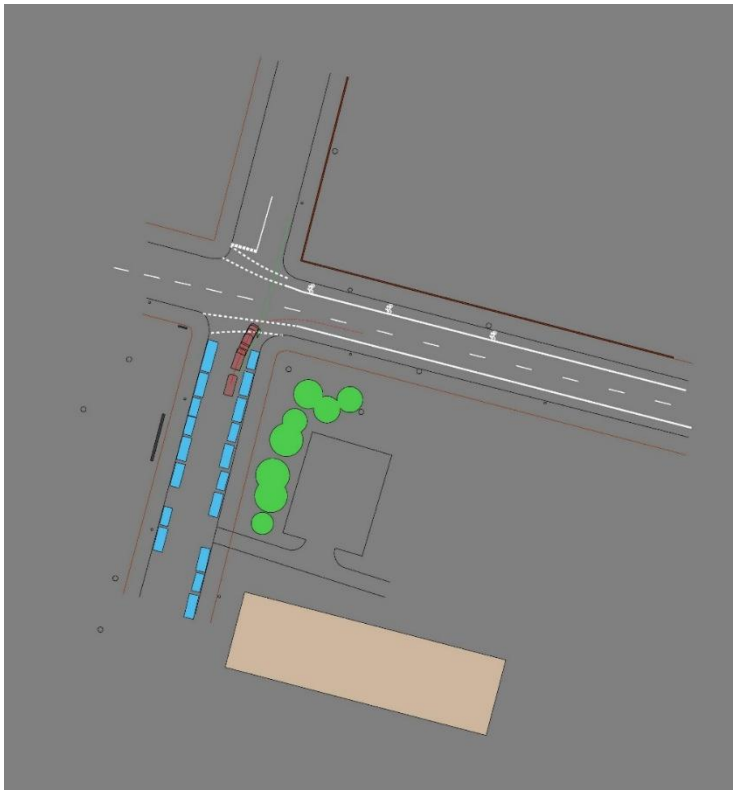


Abbildung 5-5: Beispiel einer dargestellten Kreuzung mit angedeuteten Kreuzungsarm

Aufgrund von Limitationen in der Implementierung der Verkehrsschilder kann es zu unerwünschten Kollisionen von Verkehrsschildern und den Beteiligten kommen. Bei der Erstellung der Skizzen muss daher darauf geachtet werden, dass Verkehrszeichen die Trajektorien der Beteiligten nicht kreuzen.

Für Unfälle außerorts werden die Gegenfahrbahn sowie zugehörige Objekte nur dann in die Skizze aufgenommen, wenn diese nicht baulich von der Fahrbahn der beteiligten Fahrzeuge getrennt sind und von diesen nicht befahren werden.

Abschließend sei betont, dass die aus den Untersuchungen abgeleiteten Kriterien als Richtlinien zu verstehen sind. Es obliegt den Datenerhebungsteams, von diesen Kriterien abzuweichen, wenn dies im jeweiligen Fall als notwendig erachtet wird.

5.3. Zusammenfassung und Ausblick

Im dritten Projektteil wurden Anforderungen an die Erstellung digitaler Unfallskizzen für die Überführung in die GIDAS-PCM untersucht, diskutiert und konkretisiert. Dabei wurden die Begriffe der präkollisionären Einlaufphase und der postkollisionären Auslaufphase definiert. Die Analyse ergab, dass der zeitliche Umfang der präkollisionären Phase auch künftig mindestens fünf Sekunden vor der Erstkollision abdecken soll und eine Initialisierungsphase nicht benötigt wird. Eine Auswertung von 120 Unfallskizzen zeigte, dass die aktuellen Skizzen in der Regel ausreichend groß sind, jedoch insbesondere bei Unfällen im Längsverkehr (Unfalltyp 6XX) eine Erweiterung der Auslaufphase für simulative Zwecke erforderlich ist. Um Simulationen der postkollisionären Phase zu ermöglichen, sollten die digitalen Unfallskizzen mindestens zwei Sekunden Fahrzeit mit der Kollisionsgeschwindigkeit abbilden.

Auf Basis der Untersuchungen wurden praktikable Kriterien für die Skizzenerstellung abgeleitet. Diese betreffen u. a. die Größe der Skizzen, Umgebungsobjekte und Wunschpfade. Die Richtlinien gelten primär für neu zu erstellende Skizzen, lassen jedoch bewusst Spielraum für abweichende Entscheidungen durch die Datenerhebungsteams.

Das Ergebnis dieses Projektteils, in Form der abgeleiteten Kriterien, kann die Grundlage für eine standardisiertes Vorgehen bei der Erstellung digitaler Unfallskizzen durch alle beteiligten Erhebungsteams schaffen. Durch die Implementierung dieser Richtlinien wird angestrebt, die Qualität und Homogenität der Skizzen zu erhöhen und somit die Anzahl der Fälle zu steigern, die sich für eine simulative Analyse im postkollisionären Bereich eignen.

6. Projektzusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden drei zentrale Fragestellungen systematisch untersucht, die auf die Weiterentwicklung des PCM-Formats und die Verbesserung der Datenbasis für simulationsbasierte Unfallanalysen abzielen.

Im ersten Projektteil stand die Frage im Fokus, ob schwere Lkw mit einer zGM von über 7,5 t in der GIDAS-PCM-Datenbank ausreichend repräsentiert sind. Eine Analyse zeigte, dass die PCM-Formatspezifikation (v5.0) nicht die notwendigen Voraussetzungen erfüllte, um schwere LKW adäquat abzubilden. Dementsprechend waren diese Fahrzeugtypen in der GIDAS-PCM-Datenbank bislang nicht hinreichend vertreten. Daraus ergab sich die Erkenntnis, dass eine Erweiterung der aktuellen Spezifikation erforderlich ist. Als unmittelbares Ergebnis wurde das PCM-Format auf Version 5.1 erweitert, wodurch nun eine detailliertere Modellierung schwerer LKW mit und ohne Anhänger möglich ist. Zu den in diesem Zusammenhang umgesetzten Erweiterungen zählen:

- Ergänzung zusätzlicher Radstände und Spurweiten für beteiligte Fahrzeuge, insbesondere für LKW und Anhänger
- Aufnahme zusätzlicher Informationen zum Kupplungspunkt
- Integration zusätzlicher Tabellen zur Beschreibung von Anhängern

Zusätzlich konnten 150 Fälle mit LKW, teilweise mit Anhänger, erfolgreich in das neue PCM v5.1-Format überführt werden und dem Betreuerkreis in Form einer SQL-Datenbank zur Verfügung gestellt werden.

Der zweite Projektteil widmete sich der Frage, ob Infrastrukturelemente, insbesondere Verkehrszeichen, in der GIDAS-PCM-Datenbank ausreichend erfasst wurden. Eine Untersuchung der Datenbankhierarchie zeigte, dass die PCM-Formatspezifikation v5.0 bereits alle Voraussetzungen für eine ausreichende Erfassung der Verkehrszeichen erfüllt. Jedoch wurde festgestellt, dass keine Methodik existierte, um die Verkehrszeichendaten in das Format zu überführen. Aus dieser Erkenntnis heraus, wurde eine Methodik entwickelt, mit der Verkehrszeichen aus digitalen Unfallskizzen automatisiert extrahiert und in das PCM-Format überführt werden konnten. Die überführten Informationen ermöglichen die simulative Testung von Systemen, die Verkehrszeichen als Eingangsinformation benötigen, beispielsweise zur Verkehrszeichenerkennung. Die Verkehrszeichen werden durch die Skizzenersteller in der Skizze platziert, ausgerichtet und ggf. miteinander verbunden (z.B. zwei Schilder an einem Mast). Beim Übertragen der Daten in das PCM-Format werden die Abmessungen der Verkehrszeichen aus der im Projekt erweiterten Bibliothek entnommen. Die Bibliothek ermöglicht eine spätere Erweiterung – z.B. bei Änderungen der StVO. Die erfolgte Ausarbeitung ermöglicht es die Frage nach der ausreichenden Erfassung von Infrastrukturelementen für die zukünftige Überführung der Unfälle in das PCM-Format positiv zu beantworten.

Zusätzlich zur Entwicklung der Methodik für zukünftige Fälle, konnten – nach einer Anpassung – 1928 historische GIDAS-PCM-Fälle erneut ausgelesen werden und die bereits vorhandenen Verkehrszeichen überführt werden. Diese wurden in Form einer SQL-Datenbank an den Projektbetreuerkreis übergeben.

Im dritten Projektteil wurde untersucht, ob die angefertigten digitalen Unfallskizzen die räumlichen Anforderungen während der prä- und postkollisionären Phase ausreichend abbildeten.

In Zusammenarbeit mit dem Projektbetreuerkreis wurden konkrete Kriterien definiert, die künftig bei der Erstellung digitaler Skizzen zu berücksichtigen sind, um die Phasen adäquat abzubilden. Zentrale Begriffe wie die präkollisionäre Einlaufphase und die postkollisionäre Auslaufphase wurden definiert. Es wurde festgelegt, dass die Einlaufphase weiterhin mindestens fünf Sekunden vor dem Zeitpunkt der ersten Kollision abdecken soll, während die Auslaufphase mindestens zwei Sekunden Fahrzeit unter Annahme der Kollisionsgeschwindigkeit abbilden muss. Die Analyse von 120 bestehenden Skizzen ergab, dass der Großteil der Darstellungen ausreichend groß ist. Allerdings zeigte sich insbesondere bei Längsunfällen (Typ 6XX) Optimierungsbedarf hinsichtlich der Auslaufphase.

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden praxisnahe Kriterien für die Skizzenerstellung entwickelt. Diese beinhalten Empfehlungen zur Skizzengröße, zur Einbindung von Umgebungsobjekten sowie zur Darstellung von Wunschpfaden. Die Richtlinien zielen auf eine Standardisierung der Skizzenerstellung durch die Erhebungsteams ab, lassen jedoch bewusst Raum für situationsabhängige Anpassungen. Durch die Implementierung dieser Vorgaben soll die Qualität und Homogenität der Skizzen verbessert und die Anzahl der für simulative Analysen geeigneten Fälle erhöht werden.

Das Projekt hat einen substantiellen wissenschaftlichen Beitrag zur Weiterentwicklung des PCM-Formats geleistet und wichtige Grundlagen für die für simulationsbasierte Verkehrsunfallanalysen geschaffen. Die Erweiterung der PCM-Formatspezifikation, die Integration infrastruktureller Elemente und die Präzisierung von Anforderungen an digitale Skizzen verbessern die Datenqualität und Repräsentativität der GIDAS-PCM-Datenbank. Die erzielten Projektergebnisse schaffen eine Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten und Anwendungsprojekte im Bereich der simulationsgestützten Verkehrsunfallforschung.

7. Literaturverzeichnis

[1] „VUFO: German In-Depth Accident Study“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.gidas.org
[2] Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH, „Release Notes GIDAS-Pre-Crash-Matrix (GIDAS-PCM) Status 31.03.2025“. 31. März 2025.
[3] S. Bald, S. Giesa, J. S. Bald, und K. Stumpf, *Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen HAV ; verkehrstechnischer Kommentar*, 13. Aufl., red. Stand: 1. September 2013. Bonn: Kirschbaum, 2014. [Online]. Verfügbar unter: https://katalog.slub-dresden.de/id/0-722608829
[4] F. Aparicio, „EEVC WG19 Activities on Primary and Secondary Safety Interaction“.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Hierarchischer Aufbau der PCM-Formatspezifikation v5.0 3
Abbildung 2-2: Flussschema der Erstellung eines Falls im PCM-Format 5
Abbildung 3-1: Definition LKW-Datensatz 7
Abbildung 3-2: Jahresübersicht LKW Datensatz 8
Abbildung 3-3: Schema eines Sattelzugs mit vorhanden und fehlenden GIDAS Variablen ... 9
Abbildung 3-4: Einfluss unterschiedlicher Höhen beim LKW-Modell in PC-Crash 9
Abbildung 3-5: Auszug möglicher Anordnung von zwei Zugmaschinen und Aufliegern in PC-Crash 10
Abbildung 3-6: Empfehlung für Anordnung der Beteiligten in PC-Crash mit Anhänger 10
Abbildung 3-7: Gegenüberstellung der Struktur des PCM-Formats v5.0 und v5.1 11
Abbildung 3-8: Änderungen der Tabelle "participant_data" 11
Abbildung 3-9: Schematische Darstellung der Variablen "participant_data" 12
Abbildung 3-10: Neue Tabellen für Anhänger 13
Abbildung 3-11: Schematische Darstellung der Variablen "trailer_data" 13
Abbildung 3-12: "Umsetzung des "participant_shape" und "trailer_shape" eines Sattelzuges mit Auflieger 14
Abbildung 3-13: Beispiel einer Kollision zwischen PKW und Sattelzugmaschine mit Sattelauflieger 15
Abbildung 4-1: Anzahl der Objekte in GIDAS-PCM-Fällen nach Unfalljahren 16
Abbildung 4-2: Hierarchische Struktur der PCM im Format 5.1 17
Abbildung 4-3: Beispiel Symbolvorlagen für Verkehrszeichen 18
Abbildung 4-4: Ausschnitt einer Skizze mit Verkehrsschildern 19
Abbildung 4-5: Darstellung zweier Verkehrszeichen an einem Mast im PCM-Format 21
Abbildung 4-6: Darstellung eines überkopfangeordneten Verkehrszeichens im PCM-Format 22
Abbildung 5-1: Vergleich von historischen und aktuellen Fällen der Unfalltypen 3XX und 6XX 25
Abbildung 5-2: Ablauf eines Verkehrsunfalls auf der Grundlage des ACEA-Sicherheitsmodells [4] 26
Abbildung 5-3: im Projekt betrachtete Phasen eines Verkehrsunfalls 26
Abbildung 5-4: Beispielhafte Darstellung von Wunschpfaden (gestrichelte Linien) dreier Beteiligter 28
Abbildung 5-5: Beispiel einer dargestellten Kreuzung mit angedeuteten Kreuzungsarm 28

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Vergleich der Erstkollisionen zwischen der PCM- und der GIDAS-Datenbank nach Unfallkonstellation[2] 6
Tabelle 4-1: Auszug aus der Bibliothek „standard_traffic_signs“ aus der PCM Formatspezifikation 5.0 19
Tabelle 4-2: Auszug zur Größe der Verkehrszeichen aus der VwV-StVO zu den §§ 39 bis 43 21

Anhang A

A.1 Unfalltyp 1XX – Fahrunfall

Ein Vergleich historischer mit aktuellen Unfällen des Unfalltyps 1XX kann nur eingeschränkt erfolgen, da per Definition Unfälle mit instabilen Fahrzuständen aus der PCM-Datenbank ausgeschlossen sind. Bei den in das PCM-Format überführten Fällen handelt es sich um Ausnahmen, die nicht für eine Bewertung genutzt werden.

Übergreifend lässt sich jedoch feststellen, dass die Umgebungsinformationen in historischen GIDAS-Fällen im Vergleich zu aktuellen Fällen deutlich unvollständiger sind. So fehlen beispielsweise Angaben zu parkenden Fahrzeugen vollständig. Ebenso ist anzumerken, dass in älteren Skizzen der Wunschpfad der Fahrzeuge nicht enthalten ist.

A.2 Unfalltyp 2XX – Abbiegeunfall

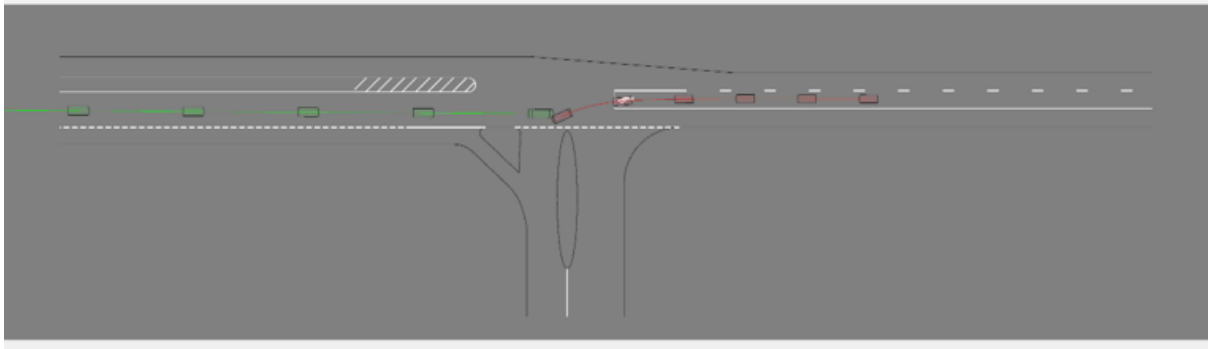


Bild 1: Beispiel eines historischen Unfalls des Unfalltyps 2XX

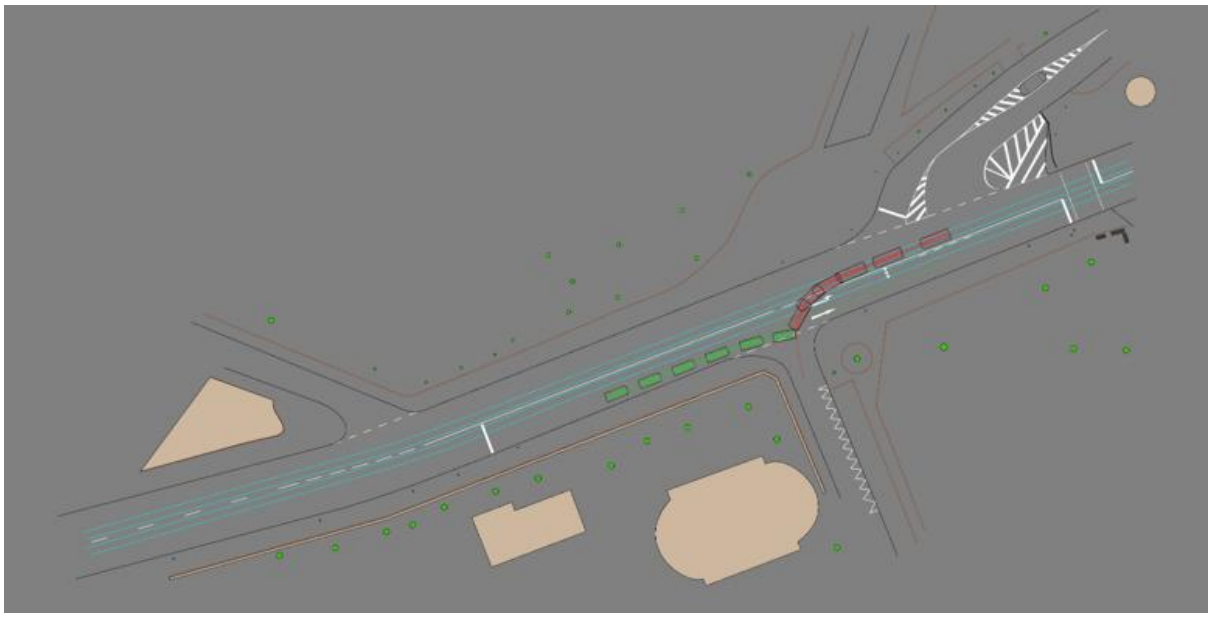


Bild 2: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 2XX

Der Vergleich der Skizzen des Unfalltyps 2XX offenbarte deutliche Unterschiede zwischen den Umgebungsinformationen historischer und aktueller Fälle. Insbesondere wurde deutlich, dass die Skizzengröße in älteren Fällen nicht den heutigen Anforderungen entspricht. Der Unfalltyp 2XX beschreibt Konstellationen, in denen sich die Beteiligten im Bereich von Einmündungen oder Kreuzungen von Straßen, Feld- oder Radwegen sowie Zufahrten befinden.

Wird im Rahmen einer Simulation durch ein virtuelles Eingreifen die Erstkollision vermieden, ist es sehr wahrscheinlich, dass die Beteiligten den Gefahrenbereich verlassen. In solchen Fällen erscheint eine weiterführende Simulation unter Umständen nicht zielführend.

A.3 Unfalltyp 3XX – Einbiegen/Kreuzen-Unfall

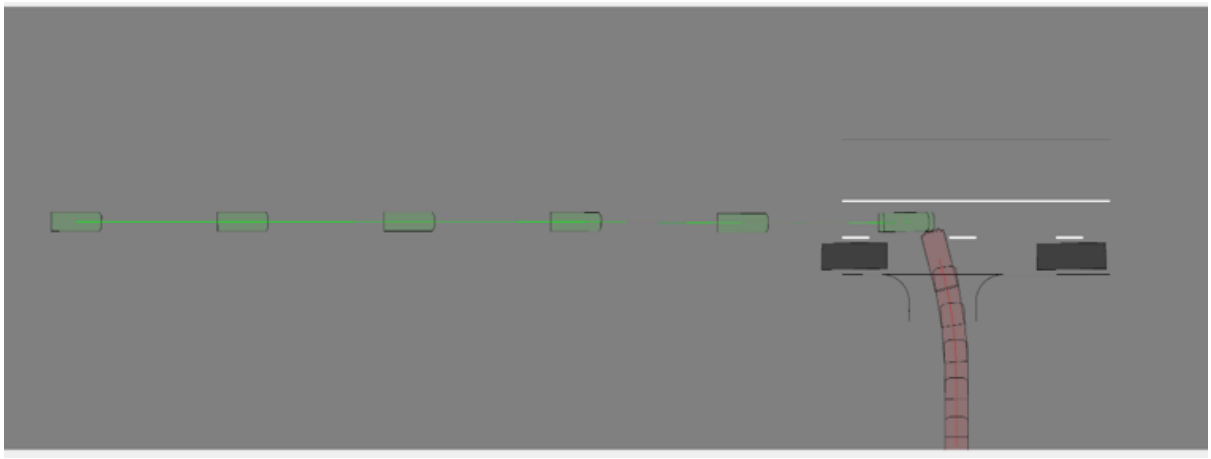


Bild 3: Beispiel eines historischen Unfalls des Unfalltyps 3XX

Bild 4: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 3XX

Die Ergebnisse der Analyse der Unfälle des Typs 3XX weisen deutliche Parallelen zu den Erkenntnissen aus der Untersuchung des Unfalltyps 2XX auf. Wird eine Kollision bei diesen Konstellationen vermieden, so befinden sich die Beteiligten im Anschluss nicht mehr in einem unmittelbaren Risikobereich, wodurch eine weiterführende Simulation in vielen Fällen nicht erforderlich erscheint. Hinzu kommt, dass sich die Beteiligten beim Unfalltyp 3XX per Definition aus unterschiedlichen, sich kreuzenden Richtungen annähern. Aus diesem Grund sind die Skizzen in den aktuellen Fällen flächenmäßig deutlich erweitert, um insbesondere die postkollisionäre Auslaufphase adäquat darzustellen.

A.4 Unfalltyp 4XX – Überschreiten-Unfall

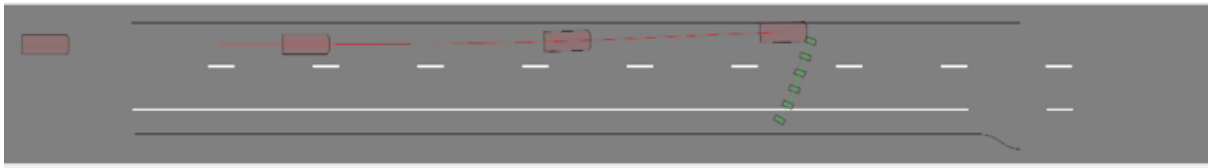


Bild 5: Beispiel eines historischen Unfalls des Unfalltyps 4XX

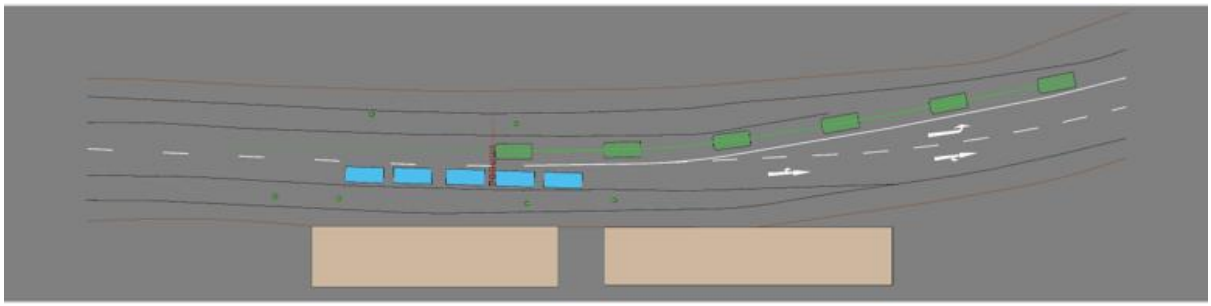


Bild 6: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 4XX

Bei Überschreiten-Unfällen handelt es sich um Konstellationen, in denen ein Fußgänger in einen Konflikt mit einem sich bewegenden Fahrzeug gerät. Auch bei diesem Unfalltyp zeigt sich, dass die historischen Skizzen die Umgebungssituation vor der Kollision häufig nur unzureichend abbilden. Insbesondere relevante Umgebungsobjekte und Bewegungsverläufe des Fußgängers fehlen oftmals. Demgegenüber sind die aktuellen Unfallskizzen ausreichend groß angelegt und erfassen die notwendigen Informationen. Da sich der Risikobereich bei Überschreiten-Unfällen typischerweise auf einen begrenzten Bereich konzentriert, besteht bei aktuellen Fällen kein Bedarf an einer Erweiterung der Skizzen.

A.5 Unfalltyp 5XX – Unfall durch ruhenden Verkehr

Bild 7: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 5XX

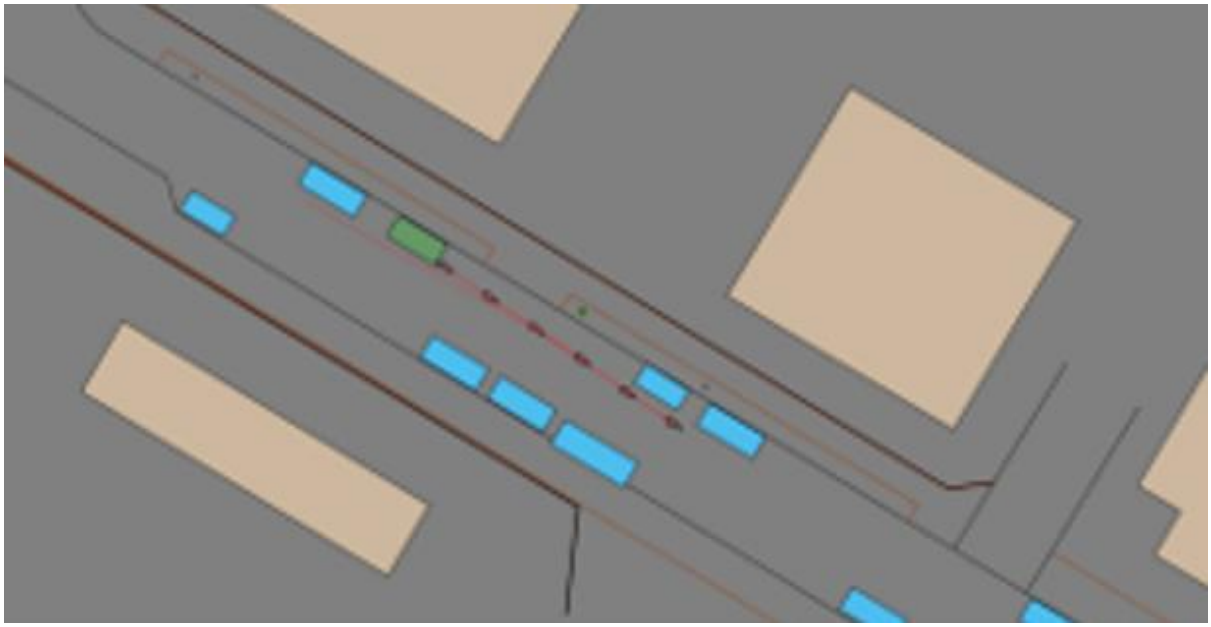


Bild 8: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 5XX

Der Unfalltyp 5XX beschreibt Kollisionen, die durch ruhenden Verkehr verursacht werden. Das bedeutet, dass mindestens einer der Beteiligten zum Unfallzeitpunkt steht oder hält. Wird die Kollision im Rahmen einer Simulation vermieden, entfällt in der Regel der durch das Zusammenspiel der Beteiligten entstehende Risikobereich vollständig. Aus diesem Grund erscheint eine Erweiterung der Skizze um einen postkollisionären Bereich bei diesen Fällen nicht erforderlich.

A.6 Unfalltyp 6XX – Unfall im Längsverkehr

Bild 9: Beispiel eines historischen Unfalls des Unfalltyps 6XX

Bild 10: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 6XX

Die Analyse der Unfälle des Typs 6XX, welche dem Längsverkehr zuzuordnen sind, zeigte, dass die Skizzengrößen nicht nur bei historischen, sondern vereinzelt auch bei aktuellen Fällen unzureichend dimensioniert sind. Im Gegensatz zu anderen Unfalltypen, bei denen der postkollisionäre Bereich häufig nicht mehr simulativ relevant ist, kann bei Längsunfällen ein längerer Auslauf notwendig sein. Erste Untersuchungen legen nahe, dass insbesondere bei

Unfällen auf Bundesautobahnen und außerörtlichen Straßen die vorhandenen Skizzen in Einzelfällen nicht die für eine realistische Simulation erforderliche Umgebung abbilden.

Es wurde deutlich, dass für den Unfalltyp 6XX eine weiterführende Analyse erforderlich ist, um den konkreten Bedarf an Skizzenerweiterungen oder -anpassungen systematisch zu bewerten. Insbesondere gilt es zu prüfen, inwieweit die Umgebungsgestaltung – etwa in Bezug auf Fahrbahnlänge, angrenzende Objekte oder Nebenstraßen – eine ausreichende Grundlage für simulationsgestützte Auswertungen bietet. Empfehlungen zur Optimierung der Skizzenerstellung wurden im Projektverlauf bereits diskutiert, sollen jedoch erst auf Basis vertiefender Erkenntnisse finalisiert werden.

A.7 Unfalltyp 7XX – sonstiger Unfall

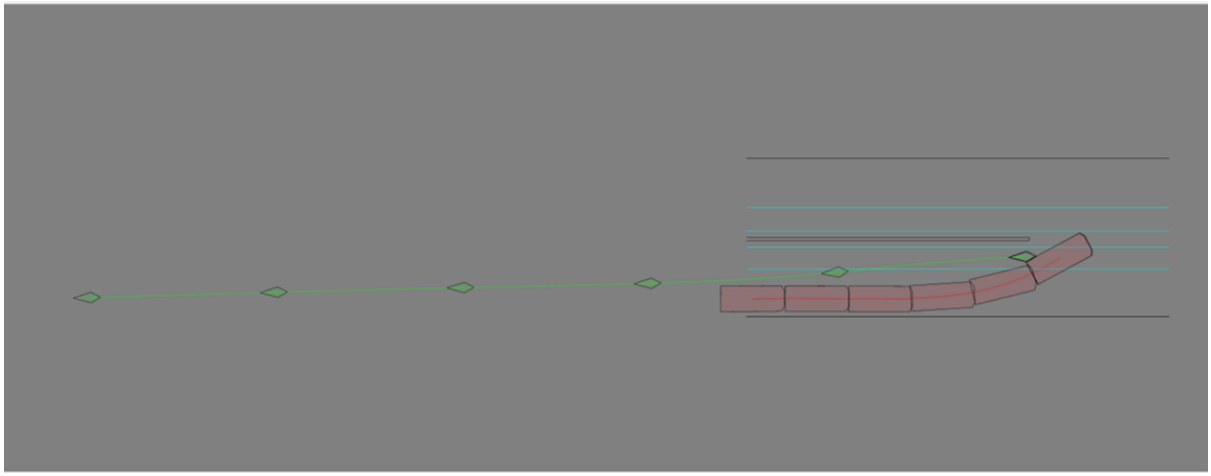


Bild 11: Beispiel eines historischen Unfalls des Unfalltyps 7XX

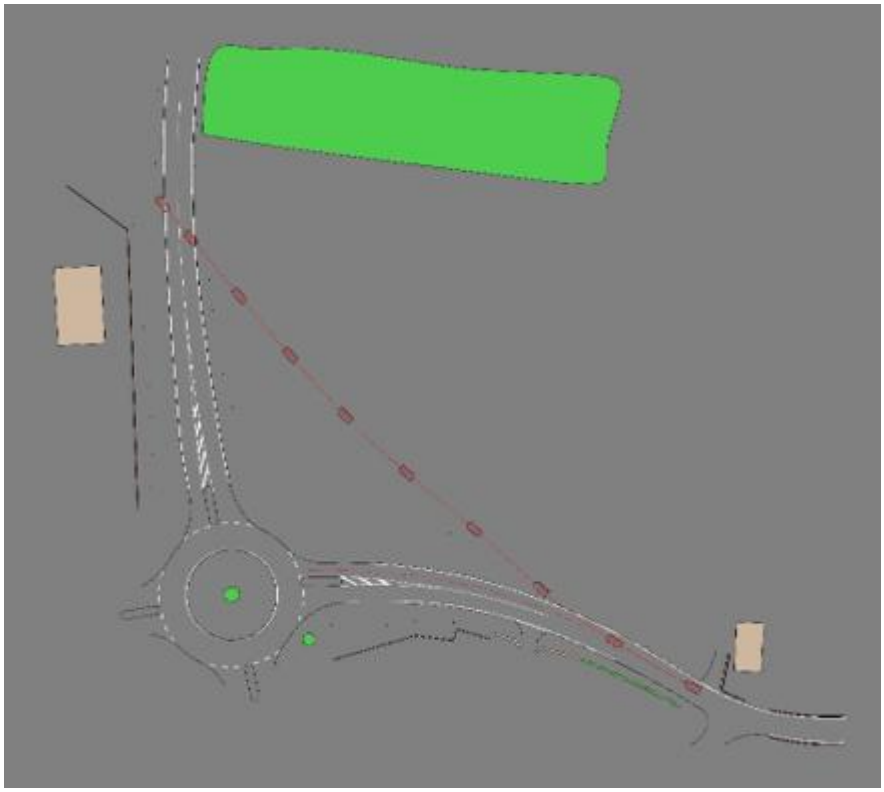


Bild 12: Beispiel eines aktuellen Unfalls des Unfalltyps 7XX

Der Vergleich historischer und aktueller Unfallskizzen des Typs 7XX zeigte ein ähnliches Bild wie bei den übrigen Unfalltypen: Ältere Skizzen weisen häufig eine zu geringe räumliche Ausdehnung auf, sodass insbesondere die präkollisionäre Phase nicht vollständig abgebildet ist.

Da es sich beim Unfalltyp 7XX um eine Sammelkategorie handelt, in der Unfälle zusammengefasst sind, die keiner der anderen sechs definierten Typen eindeutig zugeordnet werden können, lassen sich keine pauschalen Aussagen zur Notwendigkeit einer Erweiterung der präoder postkollisionären Phase treffen.

Die Analyse aktueller Fälle dieses Typs ergab jedoch, dass die Skizzengrößen in der Regel ausreichend gewählt sind, um die für die Simulation relevanten Unfallphasen darzustellen. Ein systematischer Erweiterungsbedarf konnte daher nicht festgestellt werden.

Bisher in der FAT-Schriftenreihe erschienen (ab 2021)

Nr.	Titel
340	Schnelle, breitbandige Datenübertragung zwischen Truck und Trailer als Voraussetzung für das hochautomatisierte Fahren von Lastzügen, 2021
341	Wasserstoffkompatibilität von Aluminium-Legierungen für Brennstoffzellenfahrzeuge, 2021
342	Anforderungen an eine elektrische Lade- und Wasserstoffinfrastruktur für gewerbliche Nutzfahrzeuge mit dem Zeithorizont 2030, 2021
343	Objective assessment of database quality for use in the automotive research and development process, 2021
344	Review of non-exhaust particle emissions from road vehicles, 2021
345	Ganzheitliche Betrachtung von Rollwiderstandsverlusten an einem schweren Sattelzug unter realen Umgebungsbedingungen, 2021
346	Studie zur Abschätzung der Anwendungspotentiale, Risiken und notwendigen Forschungsbedarfe bei der Verwendung von Glashohlkugeln in Kombination mit thermoplastischem Schaumspritzguss, 2021
347	Typgenehmigungsanforderungen an Level-3-Autobahnsysteme - Hintergrundbetrachtungen zu technischen Anforderungen für eine automatisierte Fahrfunktion, 2021
348	Einfluss der Kantenbearbeitung von Aluminiumblechen auf das Restumformvermögen sowie die Festigkeitseigenschaften unter quasistatischer und schwingender Beanspruchung, 2021
349	Verstärkung dünner formgehärteter Bauteile mittels FVK-Verrippungen, 2021
350	HMI Anforderungen für den automatisierten Individualverkehr unter Berücksichtigung von Leistungsmöglichkeiten und -grenzen älterer Nutzer, 2021
351	Compatibility of polymers for fuel cell automobiles, 2021
352	Entwicklung einer gewichtsoptimierten Batteriegehäusestruktur für Volumenfahrzeuge, 2021
353	Charakterisierung und Modellierung des Deformations- und Versagensverhaltens von nicht-faserverstärkten Thermoplasten unter mehrachsiger Crashbelastung, 2021
354	Untersuchung zum thermischen Komfort im Pkw für den Grenzbereich des Luftzugempfindens, 2021
355	Anforderungen an die Güte, Verfügbarkeit und Vorausschau einer Reibwertschätzung aus Funktionssicht, 2021
356	Entwicklung einer standardisierten Prüfanordnung zur Bewertung der Übernahmeleistung beim automatisierten Fahren, 2022
357	Vorstudie zu Verkehrsemissionen - Räumlich und zeitlich aufgelöste Daten durch Schwarmmessungen, 2022
358	Produktivitätssteigerung und Kostensenkung der laser-additiven Fertigung für den Automobilbau, 2022
359	Analyse der Einflussfaktoren auf die Abweichung zwischen CFD und Fahrversuch bei der Bestimmung des Luftwiderstands von Nutzfahrzeugen mit Fokus auf den Ventilationswiderstand von Nfz-Rädern, 2022
360	Werkstoffmodelle und Kennwertermittlung für die industrielle Anwendung der Umform- und Crash-Simulation unter Berücksichtigung der thermischen Behandlungen beim Lackieren im Prozess bei hochfesten Werkstoffen, 2022

361 Compatibility of polymers for fuel cell automobiles, 2022

362 Ermüdung kurzfaserverstärkter thermoplastischer Polymerkwerkstoffe, 2022

363 Market research and definition of procedure to comparison of comfort measuring systems for a vehicle cabin, 2022

364 Methodische Ansätze zur Auswahl von Bordnetzstrukturen mit erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen, 2022

365 Fahrwiderstand von Lenk- und Liftachsen in Kurven und auf gerader Strecke unter realen Umgebungsbedingungen, 2022

366 Klimadaten und Nutzungsverhalten zu Auslegung, Versuch und Simulation an Kraftfahrzeug-Kälte-/ Heizanlagen, 2022

367 Experimentelle und numerische Untersuchung des selbsttätigen Losdrehens von Schraubenverbindungen mit konstanten und variablen Amplituden und Entwicklung einer Bewertungsmethode, 2022

368 Objective assessment of database quality for use in the automotive research and development process – Part 2, 2023

369 Level 2 hands-off – Recommendations and guidance, 2023

370 Funktionale Sicherheitsbewertung und Cybersecurity Analysen relevanter Use Cases für die Datenübertragung zwischen Truck und Trailer als Voraussetzungfür das hochautomatisierte Fahren von Lastzügen, 2023

371 Study on the technical evaluation of decentralization based de-identification procedures for personal data in the automotive sector, 2023

372 Legal evaluation of decentralization based de-identification procedures for personal and non-personal data in the automotive sector, 2023

373 Quantifizierung der mechanischen Belastbarkeit von Infrarot-Schweißverbindungen in zyklisch belasteten Thermoplast-Bauteilen, 2023

374 Lebensdauerbewertung von geschweißten Verbindungselementen unter Montagevorspannung, 2023

375 Einfluss verschiedener Scherschneidparameter auf die elektro-magnetischen Eigenschaften von NO-Elektroblech automobiler Traktionsantriebe, 2023

376 Automatisierte Demontage von Traktionsmotoren der E-Mobilität - Eine Studie zur Optimierung der Demontage, 2023

377 Untersuchungen zum Einfluss von feuchtem Wasserstoff auf die Spannungsrisskorrosionsempfindlichkeit von Aluminium-Legierungen für den Einsatz in Brennstoffzellenfahrzeugen, 2024

378 Diagnosekonzepte für zonale und teilredundante Bordnetzarchitekturen, 2024

379 Dynamische Erfassung und Beurteilung von Situationsbewusstsein im Kontext des automatisierten Fahrens, 2024

380 Charakterisierung zukunftsträchtiger Zellmaterialien im Hinblick auf deren Anforderungen an das Batteriepack, 2024

381 Fahrdynamik des Automatisierten Fahrens, 2024

382 Forschungsperspektiven für Mobilität in klimaneutralen Städten 2045 - Explorative Szenarioanalyse und innovationspolitische Handlungsempfehlungen, 2024

383 Codierung und Analyse der AO-Klassifikation für Fuß- und Sprunggelenksverletzungen zur Evaluation potentieller Langzeitfolgen, 2024

384 EMV-Nachweis der Störfestigkeit auf Komponenten- und Systemebene für FailOp ab Level 3 im Hinblick auf die Funktionssicherheit - Erster Projektteil, 2024

385 Retrospektive Berechnung des Crashpulses aus Fahrzeugdeformationen basierend auf EES-Berechnung von Fahrzeug-Voxelmodellen unter Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufes, 2024

386 Energieverluste infolge von Rad-/Achsfehlstellungen am schweren Sattelzug bei realen Umgebungsbedingungen, 2025

387 Recycling von Permanentmagneten und Bewertung der Rezyklierbarkeit von Permanentmagnet-Synchronmotoren, 2025

388 Graphen- und heuristikbasierte Topologieoptimierung von 3D-Crash-Strukturen von Personenkraftwagen, 2025

389 Bewertung und Erhöhung des Potentials von Binder Jetting durch Nutzung kosteneffizienter Stahlpulver für den Einsatz in der Automobilindustrie, 2025

390 Driver performance models as reference for the quality of automated driving functions, 2025

391 Experimentelle und numerische Analyse des Fließverhaltens von hochviskosen Wärmeleitstoffen im Fertigungsprozess, 2025

392 Maßnahmen zum Aufbau und Erhalt von Situationsbewusstsein im Kontext des automatisierten Fahrens, 2025

393 Reduktion von Kupfer und Eisen in geschmolzenem Aluminium – modernes Aluminium aus alten Fahrzeugen, 2025

394 PCM-F³: PCM Fit For Future, 2025

Impressum

Herausgeber	FAT Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. Behrenstraße 35 10117 Berlin Telefon +49 30 897842-0 Fax +49 30 897842-600 www.fat-ev.de
ISSN	2192-7863

Copyright Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) 2025

Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de
Twitter @VDA_online

Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT)
Behrenstraße 35, 10117 Berlin
www.vda.de/fat

VDA | Verband der Automobilindustrie

FAT | Forschungsvereinigung Automobiltechnik