

Abschlussbericht des Verbund-Forschungsprojektes

Artificial Intelligence for real-time injury prediction (»ATTENTION«)

Teilvorhaben Unfallanalyse und KI-basierte Prognose von Verletzungswerten

Zuwendungsempfänger: Robert Bosch GmbH

Förderkennzeichen: 19A21027A

Laufzeit: 01.07.2021 – 30.06.2024



ATTENTION

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR REAL-TIME INJURY PREDICTION



**Finanziert von der
Europäischen Union**
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektpartner und verantwortliche Personen

Projektpartner	Kürzel	Ansprechpartner
Konsortialführer Robert Bosch GmbH	RB	Dr. Martin Voß Martin.Voss@de.bosch.com +49 711 811 42977 Robert-Bosch-Campus 1, 71272 Renningen
DYNAmore GmbH	DM	Dr.-Ing. Dirk Fressmann dirk.fressmann@dynamore.de +49 711 459600 23 Industriestraße 2, 70565 Stuttgart
QualityMinds GmbH	QM	Dr. Michael Mlynarski michael.mlynarski@qualityminds.de Tel.: +49 176 105 77095 Muggenhofer Straße 105, 90429 Nürnberg
Universität Stuttgart, Institut für Modellierung und Simulation biomechanischer Systeme (IMSB)	IMSB	Prof. Dr. Syn Schmitt schmitt@simtech.uni-stuttgart.de +49 711 685-60484 Nobelstraße 15, 70569 Stuttgart
Fraunhofer EMI, Fraunhofer Institut für Kurzzeitdynamik	EMI	Niclas Trube, M.Sc. niclas.trube@emi.fraunhofer.de +49 761 2714 394 Ernst-Zermelo-Straße 4, 79104 Freiburg
Assoziierter Partner	Kürzel	Ansprechpartner
Mercedes-Benz AG	MB	Dr. Christian Kleinbach christian.kleinbach@mercedes-benz.com Benzstraße, 71063 Sindelfingen

Inhalt

1	Kurzdarstellung	4
1.1	Aufgabenstellung	4
1.1.1	Problemdarstellung und Bewertung	4
1.1.2	Lösungsansatz	5
1.1.3	Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen.....	6
1.1.4	Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens	7
1.1.5	Indikatoren für die Zielerreichung im Verbund	9
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	11
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	11
1.3.1	Aufbau und Gesamtstruktur des Projekts	11
1.3.2	Zeitlicher Überblick der Teilarbeitspakete und Meilensteine.....	12
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik	15
1.5	Arbeitsteilung und Zusammenarbeit mit weiteren Stellen.....	19
2	Eingehende Darstellung	21
2.1	AP1: Projektkoordination	21
2.2	AP2: Aufbereitung und Analyse von fahrzeuggebundenen Videodaten.....	22
2.2.1	Bewertung, Vorverarbeitung und Datenanreicherung der Szenarien	23
2.2.2	Korean Transport Institute (KOTI) Datenbank	24
2.2.3	Annotierung der relevanten Datensätze.....	24
2.2.4	Ergebnisse nach Annotierung	26
2.2.5	Signaldaten der Unfall-Videos.....	31
2.2.6	Anonymisierung.....	34
2.2.7	GIDAS Unfalldatenbank	35
2.2.8	Veröffentlichungen	40
2.3	AP3 KI-basierte Erzeugung und Klassifizierung der VRU Bewegung	41
2.4	AP4 KI-basierte Prognose von Verletzungswerten.....	43
2.4.1	Fußgängerkollisionen in allen ATTENTION relevanten Fällen	43
2.4.2	Radfahrererkollisionen in allen ATTENTION relevanten Fällen.....	46
2.4.3	Rad- und Fußgängerkollisionen in allen ATTENTION relevanten Fällen	49
2.4.4	Simulationsreferenz.....	50
2.5	AP5 Demonstrator – Virtuelle Fahrumgebung	68
2.5.1	Abbildung der Einzelverletzungen in einen Verletzungsrisikoindex.....	68
2.5.2	Modellanwendung und Konzeptionierung von Unfallfolgenminderungsmaßnahmen	
	74	
2.6	Die wichtigsten Positionen des zahlmäßigen Nachweises	76
2.7	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	76
2.8	Verwertbarkeit	76
2.9	Bekannt gewordener Fortschritt.....	76
2.10	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen.....	76
3	Abkürzungs- und Literaturverzeichnis	78
3.1	Abkürzungsverzeichnis	78
3.2	Literaturverzeichnis	80

Beteiligte Autoren seitens der Robert Bosch GmbH

Thomas Lich
Jörg Mönnich
Dr. Daniel Schmidt
Dr. Martin Voß

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

1.1.1 Problemdarstellung und Bewertung

Die urbane Mobilität ist in vielen deutschen Innenstädten geprägt durch die Mehrfachnutzung begrenzter und enger Verkehrsflächen sowie einer Vielzahl unterschiedlicher Verkehrsteilnehmer, die in ihrer Gesamtheit den multimodalen Verkehr darstellen. Eine zentrale Zukunftsfrage für Städte und Mobilitätsdienstleister ist die effiziente und gleichzeitig sichere Nutzung geteilter öffentlicher Räume. Beteiligte Verkehrsteilnehmer unterscheiden sich sehr stark hinsichtlich Geschwindigkeit, Manövrierfähigkeit und Verletzbarkeit. Die großflächige Etablierung des automatisierten Verkehrs verspricht für deren Interaktion eine Verringerung der Verkehrsunfälle und tödlicher Verletzungen im Straßenverkehr. Dennoch stellen komplexe innerstädtische Szenarien, ungerichtete Verkehrsströme und menschliches Fehlverhalten die zunehmende Automatisierung vor große Herausforderungen.

Im Fahrzeug implementierte Sensorik und Kommunikationssysteme werden bereits genutzt, um potenzielle Kollisionen frühzeitig zu identifizieren und über automatisierte, aktive Brems- und Lenksysteme Kollisionen zu vermeiden. Nichtsdestotrotz sind Kollisionen zwischen LKWs oder PKWs und ungeschützten Verkehrsteilnehmern (engl. Vulnerable Road User, VRU, bspw. Radfahrer und Fußgänger) nach wie vor häufig und führen zu einer Vielzahl von Unfalltoten [1], [2]. Speziell die Anzahl verletzter und getöteter Radfahrer nahm in den vergangenen Jahren auch durch die starke Verbreitung von Pedelecs und E-Bikes sowie der Beteiligung von immer älteren Verkehrsnutzern zu [3], [4], [5].

Die vorherrschenden Paradigmen zur Reduktion von Verletzungen sind die Trennung der Verkehrsteilnehmer (Straße/Gehweg/Radweg, zeitliche Beschränkung der Ampel, usw.), die Reduktion der zulässigen Fahrzeuggeschwindigkeit in bestimmten Verkehrsbereichen, wie Schrittgeschwindigkeit beim Rechtsabbiegen für Kraftfahrzeuge über 3,5 t oder Abstandsregeln beim Überholen [6] oder ein generelles Überholverbot von Zweirädern. Aus diesen Maßnahmen kann jedoch eine Verlangsamung oder gar ein Abbruch des Verkehrsflusses resultieren, was wiederum zu Staus oder starken Verzögerungen führt oder eine Nichtbeachtung der abgebildeten Verkehrsregeln fördern kann. Aus dieser Einschränkung des Verkehrsflusses folgen wiederum Verkehrsrisiken sowie verschiedene ökologische, ökonomische und gesundheitsgefährdende Nachteile (Kraftstoffverbrauch, Emission, etc.).

Um Unfallrisiken zu minimieren werden bereits verfügbare KI-basierte Softwarelösungen (z. B. von Mobileye, Tesla, Perceptive Automata oder Humanising Autonomy [7]) zur Prädiktion von Intentionen und Bewegungsmustern von VRUs genutzt. Wenn die ‚Vision Zero‘ jedoch realistisch adressiert werden soll, muss akzeptiert werden, dass nicht alle Unfälle vermeidbar sind und dass der aktuelle und zukünftige Verkehr daher immer aufgrund menschlichen Fehlverhaltens von einem gewissen Unsicherheitsfaktor begleitet wird. Folglich muss neben Strategien der Unfallvermeidung auch die Unfallfolgenminderung und damit eine *Verletzungsreduzierung* berücksichtigt werden (Abbildung 1). Aktuell liegt keine anwendbare Methode als Entscheidungsgrundlage für die individuelle, sicherheitsoptimierte Anpassung des Fahrverhaltens automatisierter Fahrzeuge zum Schutz von VRU vor. Der Einfluss des Fahrverhaltens auf das VRU-Verletzungsrisiko ist daher nicht bewertbar und unbekannt. VRUs, wie Radfahrer oder Fußgänger, können damit im Straßenverkehr nicht optimal geschützt werden. Aktuelle Verfahren der Unfallforschung, wie experimentelle Tests mit Crash-Test Dummys oder Berechnungen mit Menschmodellen (engl. Human Body Models, HBM), können detaillierte Informationen über das Verletzungsbild in Unfällen liefern. Diese Tests sind jedoch sehr zeitintensiv, so dass die Ergebnisse erst nach Stunden bis Tagen vorliegen. Zudem sind zumindest Dummy-Tests auf bestimmte Lastfälle beschränkt, so dass die Verfahren aktuell nur zur Unfallrekonstruktion oder Planung neuer Fahrzeugmodelle genutzt werden. Eine situationsspezifische Echtzeit-Verletzungsprognose, wie sie für die Echtzeit-Anpassung automatisierter Fahrfunktionen im Sinne der VRU-Sicherheit notwendig ist, ist mit dem aktuellen, klassischen Verfahren daher nicht möglich.

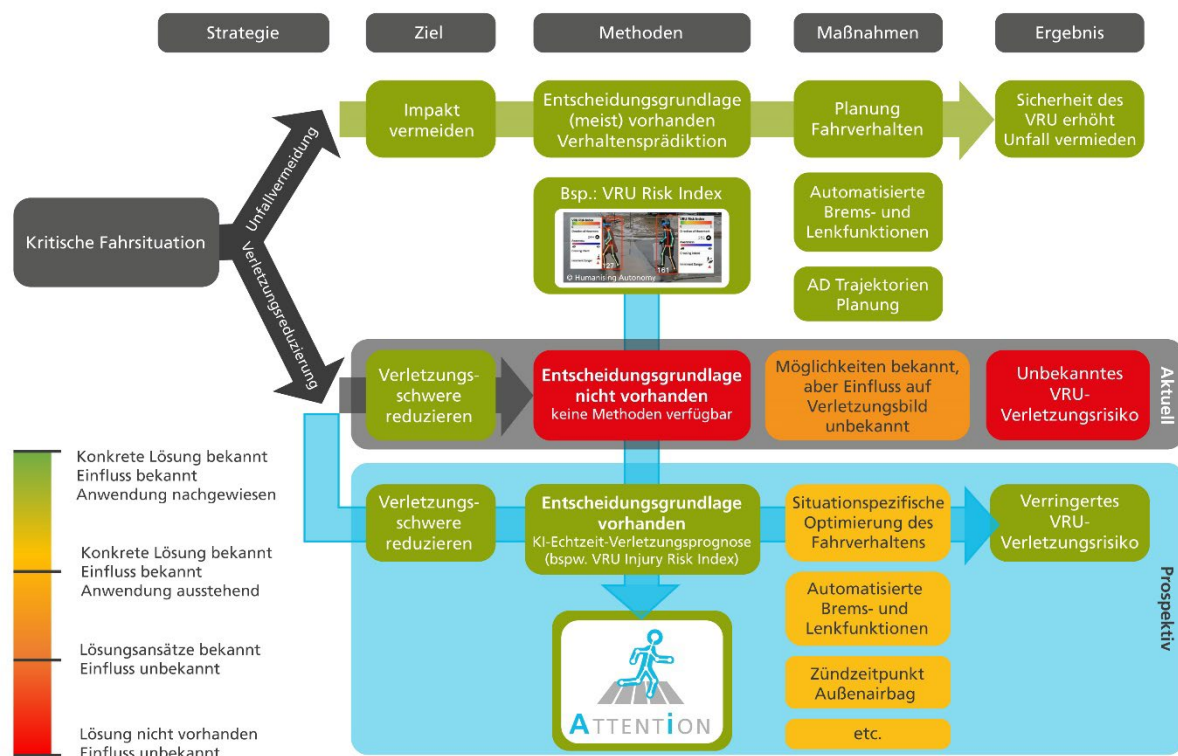


Abbildung 1: Technische Einordnung der ATTENTION-Methode in bestehende AD-Systemkonzepte. ATTENTION liefert eine technische Methode als Entscheidungsgrundlage automatisierter Fahrzeuge zur VRU-Verletzungsreduzierung. Somit verbessert sich auch die Datenlage für ethisch relevante Entscheidung von automatisierten Fahrzeugen. Diese Fragen werden in diesem Projekt jedoch nicht adressiert. Dies obliegt den zuständigen Ethikkommissionen, dem Verbraucherschutz und dem Gesetzgeber.

1.1.2 Lösungsansatz

Der in ATTENTION entwickelte Lösungsansatz adressiert in seiner Gesamtheit wesentliche, bereits bestehende und zukünftige Herausforderungen im Spannungsfeld automatisierter Fahrfunktionen und urbaner Mobilität. Im Zentrum steht die Frage, wie eine effiziente und gleichzeitig sichere Nutzung geteilter Verkehrsflächen erreicht werden kann.

Ziel des Projekts ATTENTION ist es, eine Echtzeit-Verletzungsprognose zum Schutz ungeschützter Verkehrsteilnehmer methodisch zu entwickeln und prototypisch in einer Simulationsumgebung zu implementieren. Mittels virtueller humaner Modelle und datengetriebener KI-Verfahren können existierende fahrzeuggebundene Videodaten zur Bestimmung dynamischer Verletzungsrisiken genutzt werden. Dies bietet zukünftig automatisierten Fahrzeugen eine Entscheidungsgrundlage, um die Fahr- wie die Notfallplanung auf das geringste VRU-Verletzungsrisiko zu optimieren.

Die erstmals in ATTENTION entwickelten Methoden und Metriken werden begleitend zur Verhaltensprädiktion von VRU eingesetzt und ermöglichen es, weitere Sicherheitspotenziale der Umfelderkennung zu nutzen. Der im Projekt zu entwickelnde Workflow operiert in einer Zeitskala, in der die Unvermeidbarkeit der Kollision feststeht, aber die potenzielle Verletzungsschwere der VRU noch nicht feststeht und ermöglicht es daher, situationsbezogen zu reagieren. Beispielhaft seien hier die Anpassung der Kollisionstrajektorie durch Brems-/Lenkeingriffe, eine adaptive Ansteuerung von Außenairbags oder anderer zum Schutz von VRUs verfügbaren Schutzsysteme genannt. Darüber hinaus erlaubt die integrierte Kopplung von Videodaten und Verletzungsrisiken einen sichereren wie auch effizienteren Verkehr. Prospektiv können dynamische Verkehrssituationen differenzierter bei der

Fahrplanung berücksichtigt werden und risikooptimal hinsichtlich des Verkehrsflusses gestaltet werden, ohne eine ernsthafte Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer zu tolerieren.

Nach wie vor ereignen sich die meisten Unfälle mit Personenschaden in Deutschland innerhalb von Ortschaften (2019: 207.625 Unfälle, 69 Prozent [8]). Die Ergebnisse des Projekts dienen als Informationsgrundlage der Unfallvermeidung und Reduktion der Verletzungsschwere im urbanen Verkehr. Damit leistet ATTENTION einen Beitrag zur ‚Vision Zero‘, der weltweiten Strategie zur Vermeidung tödlicher und schwerer Unfälle im Straßenverkehr und am Arbeitsplatz.

Die zu entwickelnden Verfahren tragen zudem zu einer deutlich ökonomischeren Nutzung von automatisierten Fahrzeugen in innerstädtischen Bereichen bei. Auf Basis des Verfahrens können automatisierte Fahrzeuge mit größerer Sicherheit nicht nur das Verhalten von VRU besser einschätzen, sondern auch die Gefahr für eine Kollision und ihre Schwere zuverlässig beurteilen. Dadurch können „zulässige“ Fahrgeschwindigkeiten bzw. Geschwindigkeitskorridore des automatisierten Fahrzeugs im direkten Umfeld von VRUs so angepasst werden, dass die Sicherheit der VRUs gleichzeitig nicht reduziert wird. Dies dient der effizienteren Fahrplanung innerhalb von geteilten Verkehrsflächen und erhöht die Nutzerakzeptanz neuer Mobilitätssysteme (z. B. vollautomatisierte Shuttles).

Die echtzeitfähige Bestimmung des Verletzungsrisikos aus den Daten der optischen Umfelderkennung als Kernentwicklung und -anwendung des Projekts ATTENTION hat inhaltlich und methodisch absoluten Neuheitswert. Sowohl in der Gesamtheit als auch in Teilen kann ATTENTION sogar Lösungen für andere Bereiche anbieten, wie beispielsweise bezüglich der Sicherheit von Mensch-Maschine-Interaktionen, der Arbeitssicherheit und der virtuellen Produktentwicklung. Diese sind im Hinblick möglicher Verwertungen in Kapitel 4.1 detaillierter beschrieben.

Der Einsatz von HBMs in der numerischen Simulation erlaubt gegenüber dem Experiment, einen größeren Parameterraum an Unfallszenarien abzudecken. Im Projekt wird speziell das Total Human Model for Safety (THUMS™) V4 AM50 Fußgänger Modell [9] (im Folgenden kurz „THUMS“ genannt) verwendet. AM50 (engl. Adult Male 50 Percentile) spezifiziert damit, dass es sich um einen durchschnittlichen, männlichen Erwachsenen handelt. Das Projekt schafft unter anderem dadurch Neuheitswert, dass ein Gesamtmuskelmodell in dieses THUMS Modell implementiert und erstmals der Einfluss der Muskulatur auf das VRU-Bewegungsverhalten und das Verletzungsbild untersucht wird. Das muskelgesteuerte THUMS Modell wird im Folgenden „Active THUMS V4“ genannt. Entsprechende Studien sind bislang nur von Fußgänger HBM ohne Muskeln bekannt und aus Studien zum Bewegungsverhalten von Fahrzeuginsassen [10], [11]. Im Unterschied zu herkömmlichen Dummymodellen, die lediglich für bestimmte Impaktszenarien validiert sind, werden Menschmodelle sowohl von der Geometrie- als auch von der Materialseite direkt dem Menschen nachempfunden. Damit ist eine Anwendung inklusive eventueller weiterer Validierungsschritte im Rahmen des Projekts plausibel durchführbar. Ein weiterer Aspekt für die Verwendung numerischer Menschmodelle ist, dass momentan kein valides Fußgänger-Dummymodell auf dem Markt erhältlich ist - weder als Hard- noch als Softwareversion. Der Einsatz von HBMs in der numerischen Simulation erlaubt gegenüber dem Experiment, einen größeren Parameterraum an Unfallszenarien abzudecken. In den Parametervariationen müssen allerdings u. a. verschiedene Körperhaltungen der Menschmodelle berücksichtigt werden, die aktuell nur über zeitintensive HBM-Positionierungsrechnungen oder muskelgetriebene Bewegungssimulationen realisiert werden können. Der Punkt zeitintensive HBM-Positionierung wird im Projekt über eine Model Order Reduction (MOR) basierte Methode adressiert, die den Zeitaufwand der Positionierung erheblich reduziert.

1.1.3 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Das Projekt unterstützt durch die Anwendung von KI-Verfahren zur intelligenten Entscheidungsfindung automatisierter und autonomer Fahrzeuge die „Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung“ und trägt zur Umsetzung der neuen Hightech-Strategie der Bundesregierung im Themengebiet „Intelligente Mobilität“ sowie zum Aktionsplan „Forschung für Autonomes Fahren“ bei. Im Projekt

ATTENTION werden wesentliche Punkte des Förderaufrufs „KI als Schlüsseltechnologie für das Fahrzeug der Zukunft“ adressiert, insbesondere die Säule "Automatisiertes Fahren" und darin den Förderbereich "KI-Verfahren für automatisierte Fahrfunktionen"

Durch den Fokus von ATTENTION auf urbanen Verkehr soll, wie im Förderaufruf dargestellt, ein wesentlicher Beitrag „zur Realisierung von Automatisierungsfunktionen der Level 3, 4 und 5 nach SAE5 insbesondere in urbanen und ländlichen Räumen“ und zum Schwerpunkt "Automatisiertes Fahren" erfolgen. Im Detail werden die Punkte des Themenfeldes „Umfelderfassung, -interpretation und Manöverplanung“ durch die Verwendung von Skeleton Tracking Methoden und fahrzeuggebundener Daten, sowie deren Anbindung an das KI-Verfahren zur Verletzungsprognose basierend auf VRU-Impaktsimulationen auf mehreren Ebenen adressiert. Eine Anbindung der Intentionsprädiktion verbessert sowohl die Umfelderfassung als auch die Umfeldinterpretation des zukünftigen automatisierten Fahrzeugs, insbesondere sobald der Verkehrsraum mit VRU geteilt wird. Die echtzeitnahe VRU-Verletzungsprognose kann einen wesentlichen Beitrag zum Auffinden eines sicheren Manöverpfades oder der Optimierung der Manöverplanung leisten. Vor allem in urbanem Verkehr kann, basierend auf den zulässigen Geschwindigkeitsbereichen, eine sinnvolle verletzungsminimierende Anpassung diverser Unfallparameter besonders erfolgversprechend umsetzbar sein. Eine vergleichbare Methode zur echtzeitnahen Bestimmung einer VRU-Verletzungsprognose ist aktuell nicht bekannt. Dadurch werden sich die ATTENTION-Projektergebnisse signifikant vom Stand der Technik absetzen und zur Erhöhung der Technologiereifegrade im Bereich der Fahrzeugautomatisierung beitragen.

Darüber hinaus adressiert ATTENTION zu Teilen auch im Förderbereich „KI-Verfahren in der Fahrzeugentwicklung“ den Themenbereich „KI-Methoden in der Simulation“. Insbesondere die geplanten Innovationen im Bereich KI-basierten HBM-Positionierung mittels eines Model Order Reduction-Ansatzes tragen zu einer deutlichen Reduzierung der Rechenzeiten bei. Durch diesen Ansatz können die sehr zeitintensiven, klassischen HBM-Positionierungen als vorbereitende Arbeiten für eine HBM-Impaktsimulation um Größenordnungen schneller erfolgen. Durch künftige situationsspezifische Anwendungen von Menschmodellen und basierend auf aktuellen Vorgaben der Verbraucherschutzrichtlinien wird die Positionierung von Menschmodellen ein essenzieller und langfristiger Bestandteil der simulationsbasierten Unfallforschung und in der Entwicklung von aktiven und passiven Sicherheitssystemen sein. Die Implementierung eines zeitreduzierten Verfahrens ermöglicht damit eine effiziente Anwendung von Menschmodellen in der Simulation und kann zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit des gesamten Zweigs beitragen.

1.1.4 Wissenschaftliche und/oder technische Arbeitsziele des Vorhabens

Das in Kapitel 1.1.2 dargestellte Gesamtziel wird innerhalb des Projektes in vier verschiedene Teilziele aufgeteilt. Im Folgenden sind die Beiträge der Teilziele sowie die jeweilige Bewertung zur Zielerreichung dargestellt:

Teilziel 1: Positions- und Bewegungsdatenbank für VRU	
Beiträge	Zur Bestimmung einer vorkollisionären Positions- und Bewegungsdatenbank für VRU werden zu Beginn die Videos anonymisiert, um anschließend auf Einzelbildebene die Skelettreakonstruktion durchzuführen. Die Skelettmodelle werden daraufhin mit Hilfe von simulationsbasierten und zeitreduzierten HBM-Positionierungsmethoden für aktive HBM in die Bewegungsrekonstruktion implementiert, so dass schlussendlich eine Klassifikation von Positionen und Bewegungen erfolgen kann. Die Klassen von vorkollisionären Positionen und Bewegungen der beobachteten VRU bilden den Kern der zugehörigen Datenbank. Die dabei aufgetretenen Reaktionsmuster der VRU bilden gleichzeitig eine Grundlage für die spätere Prädiktionsschätzung und werden beim Prozessieren ebenfalls in der Positions- und Bewegungsdatenbank abgebildet.

Bewertung	• Veränderung zum Stand der Technik, z.B. durch Publikationen • Steigerung TRL um bis zu 4 Stufen (siehe Kapitel 1.4)
-----------	--

Teilziel 2: Biomechanischen und KI-basierter Bewegungsprädiktion von VRU

Beiträge	Grundlage aller Bewegungsprädiktionsmethoden sind die HBM-Positionierungen. Innerhalb der HBM-Positionierung wird die Aktivität und Vorspannung der Muskeln detailliert mitbetrachtet. Anschließend werden, basierend auf den HBM-Modellen, verschiedene biomechanische und KI-basierte Prädiktionsmethoden untersucht. Die biomechanischen Prädiktionsmethoden umfassen die Analyse des Bewegungsmöglichkeitsraums als Ergebnis von Muskelstimulationen unter Berücksichtigung biophysikalischer Zwangsbedingungen. KI-basierte Prädiktionsmethoden bestimmen dagegen datengetrieben und probabilistisch die zukünftige Position des VRU, u. a. durch implizite Verarbeitung von bewussten Bewegungsentscheidungen des jeweiligen VRU. Alle Methoden werden entwickelt, optimiert und abschließend auf die Schnittmenge ihrer Modellkinematikvorhersagen untersucht. Das Teilziel 2 besteht aus der Gesamtmethode von der HBM-Positionierung bis zur Bewegungsprädiktion.
Bewertung	• Veränderung zum Stand der Technik, z.B. durch Publikationen • Steigerung TRL um 4 Stufen (siehe Kapitel 1.4) • Nachweis am Simulations-Demonstrator

Teilziel 3: Bewegtes Menschmodell in der FE-Crashsimulation

Beiträge	Die Hauptbeiträge für Teilziel 3 sind ein aktives VRU-HBM und die anschließende FE-Impaktsimulation. Das aktive HBM wird mittels der Stimulation der Modellmuskulatur in Bewegung versetzt und somit simulativ in typische vorkollisionäre Positionen überführt. Zeitgleich werden einzelne Referenzsimulationen mit dem passiven, EuroNCAP-zertifizierten Standard-HBM durchgeführt, welches manuell in die korrespondierenden vorkollisionäre Positionen repositioniert wurde. Zeitgleich werden einzelne Referenzsimulationen mit dem passiven, EuroNCAP-zertifizierten Standard-HBM durchgeführt, welches manuell in die korrespondierenden vorkollisionären Positionen repositioniert wurde. Diese Referenzsimulationen dienen dazu, das aktive HBM und seine Aussagekraft bezüglich des simulierten Impaktverlaufes zu bewerten. Das Teilziel 3 besteht damit aus einem plausiblen und bewegten Menschmodell zur Bewertung von Verletzungen von VRU-Fahrzeugkollisionen.
Bewertung	• Veränderung zum Stand der Technik, z.B. durch Publikationen • Steigerung TRL um 4 Stufen (siehe Kapitel 1.4)

Teilziel 4: KI-Verfahren zur Prognose eines Verletzungsrisikoindex

Beiträge	Das Teilziel 4 bildet die Gesamtmethodik ATTENTION ab. Die Methodik beginnt bei der automatisierten Verarbeitung von fahrzeuggebundenen Videos (z. B. videodokumentierte VRU-Unfälle) inklusive der Erkennung von VRU und der Bewertung des Kollisionspotentials in der Anfangsphase. Anschließend wird mit Hilfe der trainierten KI eine echtzeitnahe Bewertung von Verletzungen für die am wahrscheinlichsten prädierten Bewegungen durchgeführt. Die auftretenden Einzelverletzungen werden daraufhin in einen Verletzungsrisikoindex überführt und in der virtuellen Fahrumgebung des Softwaredemonstrators dargestellt.
Bewertung	• Veränderung zum Stand der Technik, z.B. durch Publikationen • Steigerung TRL um 4 Stufen (siehe Kapitel 1.4) • Nachweis am Simulationsemonstrator

1.1.5 Indikatoren für die Zielerreichung im Verbund

Die Eigenevaluation der Projektergebnisse erfolgt anhand von Leistungsindikatoren (engl. Key Performance Indicator, KPI), welche für die technischen Entwicklungsarbeitspakete (AP2-AP4) definiert sind und im Demonstrator (AP5) überprüft werden. Dabei werden von den Verbundpartnern KPI in folgenden Kategorien adressiert:

Indikator im Projekt ATTENTION	Projektbeginn	Projektende
Erkenntnisgewinn Skelettierung Schnelle und automatisierte Skelettierung von VRUs mit Methoden der Computervision. Ortung von Gelenkpositionen und -winkel im dreidimensionalen Raum, geeignet für HBM Positionierung	Für HBM-Positionierung geeignete Skelettierung bei <10% der VRU möglich	Echtzeitnahe Skelettierung aus Videosequenzen, geeignet für HBM-Positionierung für >80% der VRU
Geschwindigkeitsgewinn Schnelle HBM-Positionierung des THUMS V4 Fußgängermodells	Aufwändige, z.T. mehrstündige Simulation zur Positionierung notwendig	HBM-Positionierung in wenigen Minuten
Effizienzgewinn Verbesserte Prä-Impaktposition und Bewegungsmuster aktiver HBM durch simulative Stimulation von Muskelaktivitäten	Keine echtzeitnahe Ermittlung der HBM-Muskelaktivität des VRU zum Erreichen einer typischen Prä-Impaktposition möglich	Echtzeitnahe Ermittlung der HBM-Muskelaktivität und Muskelspannung für >80% der VRU in typischen Prä-Impaktpositionen
Erkenntnisgewinn Plausibilität Plausibilität der VRU-Impaktsimulationen mit AHBM	Unbekannte Plausibilität des AHBM. Verletzungsprognose stimmt in <50% der geprüften Einzelfälle mit der Verletzungsschwere-kategorie einer Unfalldatenbank überein, insbesondere bei starkem Abweichen von AHBM-Validierungslast-fällen.	Die Verletzungsprognose der Impaktsimulation stimmt in >80% der geprüften Einzelfälle mit der Verletzungsschwere-kategorie einer Unfalldatenbank überein (bei gleichen Impaktrandbedingungen)
Erkenntnisgewinn Verletzungsschwere Vorkollisionäre Schätzung der VRU-Verletzungsschwere	Schätzung der VRU-Verletzungsschwere insbesondere im niedrigen Geschwindigkeitsbereich nur über Risikokurven ohne Einzelverletzungen. Der Indexwert repräsentiert in <30% die Summe der Einzelverletzungen korrekt.	Verletzungsrisikoindex mit plausibler Gewichtung der Einzelverletzungen liegt vor. Bei vergleichender Einzelfallprüfung repräsentiert der Indexwert die Summe der Einzelverletzungen in 80% der Fälle korrekt.

Im Projekt ATTENTION erfolgt zusätzlich eine Evaluation mittels Technologiereifegrade (engl. Technology Readiness Level, TRL):

Stufe	Definition
TRL 1	Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips
TRL 2	Beschreibung der Anwendung der Technologie
TRL 3	Nachweis der Funktionsfähigkeit der Technologie
TRL 4	Versuchsaufbau im Labor
TRL 5	Versuchsaufbau in (simulierter/ vereinfachter) Einsatzumgebung
TRL 6	Prototyp in (simulierter/vereinfachter) Einsatzumgebung
TRL 7	Prototyp im (realen) Einsatz
TRL 8	Nachweis der Funktionsfähigkeit im Einsatzbereich (Zulassungsprozess
TRL 9	Technologie im Markt

Die Technologiereife der Forschung und Entwicklung im Projekt definiert sich insbesondere durch die in den Arbeitspaketen AP2-5 adressierten KI-basierte Methoden. Während der Vorhabenlaufzeit streben die Partner eine TRL von 4 – 6 an. Nachfolgende Indikatoren stellen einen Bezug zu den ATTENTION-Teilzielen aus Kapitel 1.1.4 dar und erlauben eine Bewertung inwieweit die Teilziele erreicht werden:

Technologiebereich im Projekt ATTENTION	Bewertbare Teilziele	Projektbeginn	Projektende
Integrierte automatisierte Anonymisierung der fahrzeuggebundenen Videoaufnahmen	Teilziel 1	TRL 2	TRL 4
KI-gestützte zeitreduzierte Positionierung des THUMS (Sekunden statt Stunden)	Teilziel 1	TRL 2	TRL 6
KI-gestützte Bewegungsprädiktion eines aktiven HBM	Teilziel 2	TRL 2	TRL 6
Mapping von Gelenkpunkten, -winkeln und -trajektorien aus ausgewerteten Videosequenzen auf Bewegungssequenzen der AHBM-Simulation	Teilziel 2	TRL 2	TRL 6
Ermittlung und Darstellung einer Verletzungsschwereprognose mittels datengetriebener Verfahren aus fahrzeuggebundenen Videoaufnahmen	Teilziel 3	TRL 2	TRL 6
Implementierung und Demonstration der iterativen Methode zur Reduktion des Verletzungsrisikos über die Anpassung des virtuellen Fahrverhaltens	Teilziel 4	TRL2	TRL6

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Seitens Bosch haben wir Zugang zu zwei wichtigen Datenbanken, die als Dateninput für das Projekt dienen:

Die verwendete KOTI-Datenbank umfasst 9724 videodokumentierte Unfälle von Taxis größtenteils aus den Jahren 2010 und 2011. Im Vorfeld der Untersuchung war bekannt, welche Unfälle mit Fußgängerkollision bzw. Radfahrererkollision stattfanden. Insgesamt ergaben sich 641 Datensätze als Grundlage zur Untersuchung.

GIDAS (German in-depth accident study) ist eine sehr umfangreiche retrospektive Datenbank. Unfälle werden nach einer Unfallmeldung durch die Rettungsleitstellen/Polizei direkt angefahren und erhoben. Es erfolgt eine sehr detaillierte Dokumentation der Unfallstelle, Unfallfahrzeuge, Verletzungen und vieles mehr. Nach erfolgter Vorortaufnahme wird der erhobene Unfall intensiv nachverarbeitet, so dass eine Unfallrekonstruktion, Unfallskizze und bis zu 3000 Einzelinformationen in digitaler Form vorliegen

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.3.1 Aufbau und Gesamtstruktur des Projekts

Im Projekt ATTENTION ist ein iteratives und agiles Vorgehen in mit jeweils zugehörigen Meilensteinen zur Projektfortschrittsbewertung geplant. Eine graphische Darstellung des Gesamtprojekts, sowie der Arbeiten innerhalb der Arbeitspakete und des Informations- und Ergebnisflusses ist in der Abbildung 2 dargestellt:

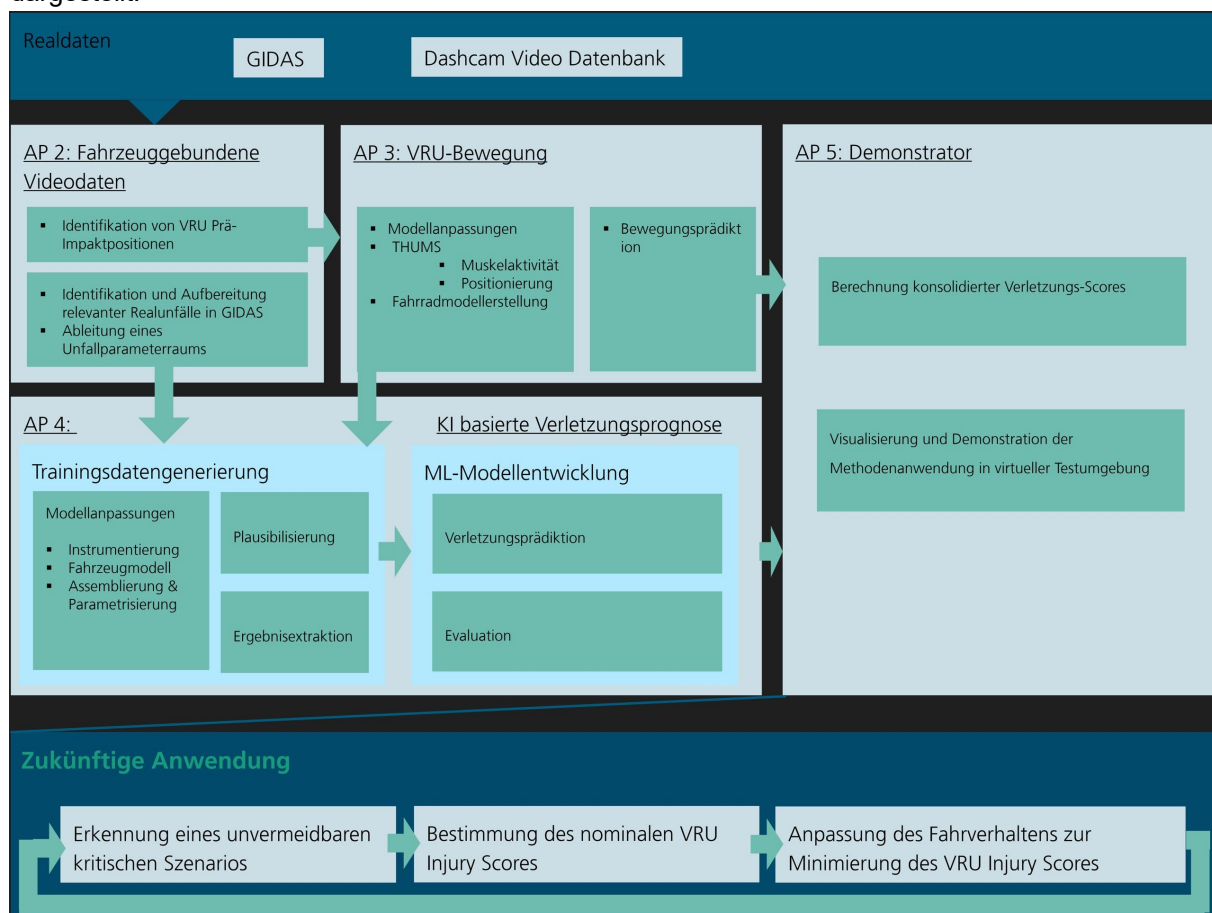


Abbildung 2: Der ATTENTION Workflow.

Die fünf Arbeitspakete des Gesamtprojekts sind hier inhaltlich kurz dargestellt. In Kapitel 3.2 erfolgt ein detaillierter Arbeitsplan.

AP1 – Projektkoordination (Leitung RB)

Interne und externe Zusammenarbeit, sowie Controlling und Risikomanagement

AP2 – Aufbereitung und Analyse von fahrzeuggebundenen Videodaten (Leitung RB)

Kriterien zur Datenselektion relevanter Unfallszenarien mit VRU-Beteiligung und deren Aufbereitung aus den Videodaten. Ein zentrales Ergebnis wird die digitale Skelettreakonstruktion von verunfallten VRUs sein.

AP3 – KI-basierte Erzeugung und Klassifizierung der VRU Bewegung (Leitung IMSB)

Klassifizierung beobachteter Positionen und Bewegungsmuster der VRU vor der Kollision bis zum Zeitpunkt der Kollision. Ein zentrales Ergebnis ist die Abbildung der Positions- und Bewegungsklassen in einer Datenbank zur vereinfachten Prädiktion von vorkollisionären VRU-Bewegungen.

AP4 – KI-basierte Prognose von Verletzungswerten (Leitung EMI)

Ermittlung des Verletzungsschweregrads mittels VRU-Impaktsimulationen durch Variation von Fahrzeugparametern und VRU-Positionen und anschließender Abgleich mit Daten aus Unfalldatenbanken. Die Abbildung der Verletzungswerte in einer Datenbank ermöglicht das Trainieren einer KI zur vorkollisionären Verletzungsschwereschätzung.

AP5 – Verletzungsrisikoindex, Demonstrator und Unfallfolgenminderungsmaßnahmen

(Leitung QM)

Überführung der prognostizierten Einzelverletzungen in einen Verletzungsrisikoindex, Implementierung und Demonstration der Gesamtmethodik in virtueller Open Source Fahrumgebung, sowie Konzeptionierung von Unfallfolgenminderungsmaßnahmen

1.3.2 Zeitlicher Überblick der Teilarbeitspakete und Meilensteine

Das folgenden GANTT-Chart zeigt den Projektablauf.

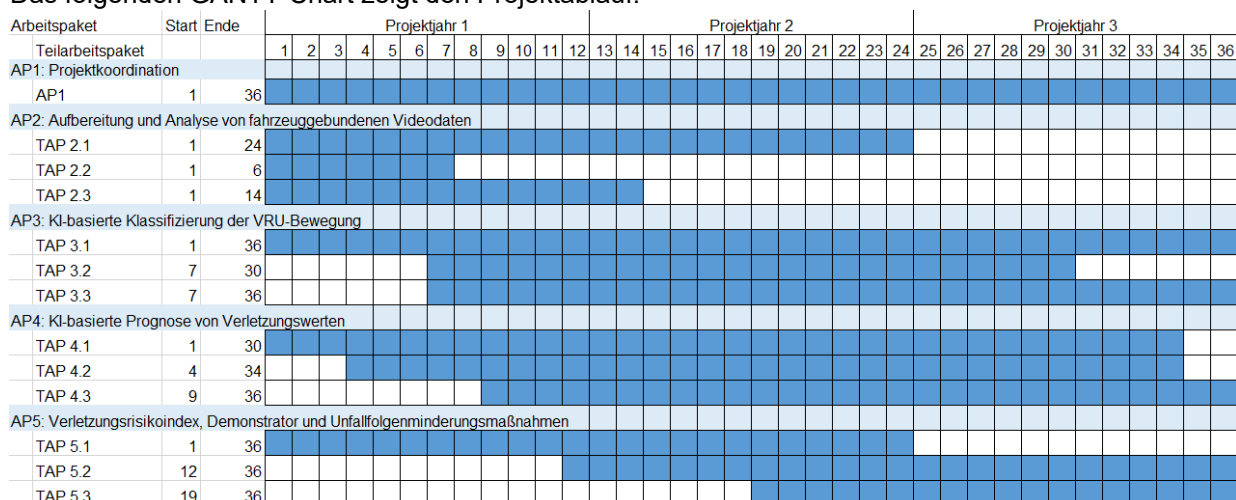


Abbildung 3: Detaillierter GANTT-Chart

Folgende Meilensteine wurden erarbeitet und werden im inhaltlichen Teil des Berichtes vertieft:

Tabelle 1: Übersicht der geplanten Meilensteine gemäß Arbeitsplan

Meilenstein	Beschreibung	Termin	Verantw. Partner
M2.1	Verwertbare Datenbasis videodokumentierter Unfälle	Monat 5	RB
M2.2	Erste Ergebnisse der Skelettierung	Monat 6	RB
M2.3	Annotierte VRU-Unfalldatenbank	Monat 7	IMSB
M2.4	Positionsdatenbank	Monat 14	IMSB
M2.5	Umfassende Unfallrekonstruktion inkl. simulierbarer Unfalltrajektorien	Monat 24	RB
M3.1	Vorläufige Bereitstellung positionierter VRU-Modelle für die Trainingsdatengenerierung	Monat 12	DM
M3.2	Erste Positions- und Bewegungsdaten eines FE-AHBMs	Monat 18	IMSB
M3.3	Bereitstellung erster VRU-Bewegungsmuster	Monat 20	IMSB
M3.4	Erster Ansatz für Mapping von realen Impaktpositionen auf vordefinierte AHBM-Kinematiken	Monat 20	DM
M3.5	Fertigstellung der Positions- und Bewegungsdatenbank des FE-AHBMs	Monat 30	IMSB
M3.6	Ergebnisse der extra- und interpolativen modellbasierten Bewegungsvorhersage-Methoden liegen vor	Monat 34	IMSB
M3.7	Fertigstellung des Mapping von realen Impaktpositionen auf vordefinierte AHBM-Kinematiken	Monat 34	QM
M3.8	Finalisierung der MOR-basierten Positionierungsmethoden	Monat 34	DM
M4.1	FE-Modelle vorbereitet	Monat 12	EMI
M4.2	Automatisierungsroutinen für die Trainingsdatengenerierung implementiert und getestet	Monat 16	EMI
M4.3	Initiale Version des synthetischen Trainingsdatensatzes verfügbar	Monat 24	EMI
M4.4	Verletzungsdatendank aus Impaktsimulationen	Monat 32	EMI
M4.5	Auswahl, Training und Optimierung des KI-Modells	Monat 34	QM
M5.1	Entwicklung des VRU-Verletzungsrisikoindex aus Einzelverletzungen	Monat 12	RB
M5.2	Erstellung von Fahrzeug-VRU-Kollisionsszenarien in virtueller Fahrumgebung	Monat 20	QM
M5.3	Kondensierung und Integration des VRU-Injury-Risk-Index	Monat 28	EMI
M5.4	Demonstration von Unfallfolgenminderungsmaßnahmen über die Anpassung des virtuellen Fahrverhaltens	Monat 34	QM

Daraus ergeben sich die folgenden Hauptmeilensteine:

Meilenstein	Beschreibung	Termin	Verantw. Partner
H1	Skelettierung aller relevanter videodokumentierter VRU-Unfälle abgeschlossen.	Monat 16	Alle
H2	Erste Ergebnisse zur muskelgetriebenen FE-Bewegungssimulation und der Bewegungs-prädiktion liegen vor	Monat 24	Alle
H3	Erstellung synthetischer Trainingsdaten der AHBM-Impaktsimulation abgeschlossen	Monat 32	Alle
H4	KI-Verfahren zur Prognose eines Verletzungsrisikoindex	Monat 34	Alle

Im zeitlichen Ablauf ergibt sich folgendes Bild:

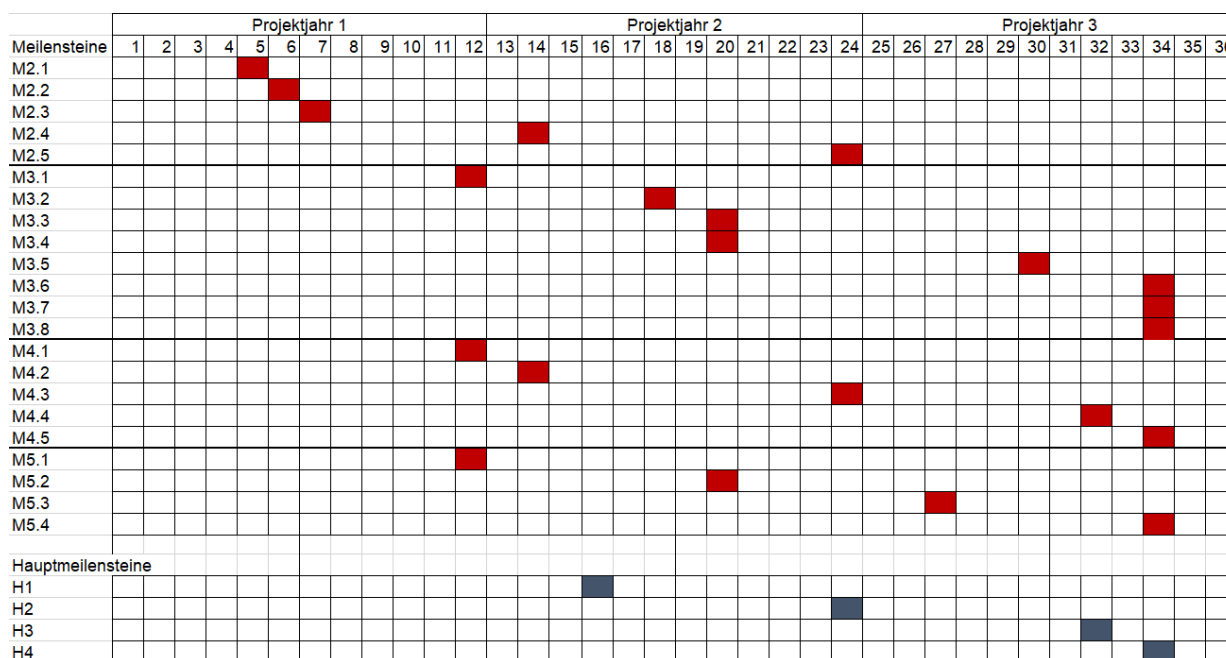


Abbildung 4: Meilensteinplan

1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Der Stand der Technik wird basierend auf der Anwendung im Rahmen der ATTENTION-Methode für den jeweiligen Fachbereich dargestellt.

VRU-Klassifizierung

ATTENTION nutzt einen KI-basierten Open-Source-Ansatz [12], um eine Klassifizierung in Radfahrer und Fußgänger zu ermöglichen. Hierfür stehen das unter der MIT-Lizenz verfügbare Model Zoos bereit (d. h. Sammlungen vortrainierter KI-Modelle), die Objekte auf Bildern mit Hilfe eines neuronalen Netzes und eines logistischen Multiklassenregressors in verschiedene Objektklassen einteilen können. Viele dieser Modelle beinhalten Klassen, die mit den relevanten VRU-Klassen von ATTENTION übereinstimmen. Die Modelle können mit Hilfe der Frameworks Tensorflow/Keras und der Programmiersprache Python ausgeführt werden.

Bewegungserkennung

Die Bewegungserkennung (engl. Motion Capturing) lässt sich allgemein in zwei Teilbereiche untergliedern:

Der erste Bereich umfasst die markergestützte Bewegungserkennung, bei der im passiven Fall reflexive Marker auf dem Körper des Probanden angebracht werden. Die Markerplatzierung erfolgt hierbei nach einem festen Schema, bei dem die zu detektierende reflektierende Objekte meist in einer festen Relation zu markanten Referenz- und Funktionspunkten des Stützapparates angebracht werden. Ein sehr verbreitetes Beispiel hierfür ist das PlugInGait-Schema der Firma Vicon Motion Systems Ltd[13]. Im aktiven Fall erfolgt das Tracking durch die optische oder rein sensorische Lokalisation von selbst emittierenden Sensoren oder Markern [14], [15] was vor allem in jüngster Vergangenheit durch Fortschritt im Bereich der intelligenten Textilforschung an Relevanz gewonnen hat. In beiden Fällen können Informationen über die Kinematik (Gelenkwinkel) und Dynamik (Gelenkmomente) durch Verrechnung mit zusätzlichen Sensorinformationen wie z. B. aus im Boden versenkten Kraftmessplatten errechnet werden. Auf Grund der Bekanntheit systemrelevanter Größen spricht man hierbei von Bewegungserkennung mit einer unabhängig bestimmten „Ground Truth“.

Die zweite Form der Bewegungserkennung ist das markerlose Tracking. Dieses erfolgt immer unter der Verwendung von KI-Methoden, z. B. verschiedene Formen von neuronalen Netzen, und stellt eine Form der Optimierung dar. Auch im markerlosen Tracking unterscheidet man zwischen zwei Fällen [16]. Den ersten Fall stellt die Top-Down-Detektion dar, bei der erst die Personen in einem Bild/Videoframe detektiert und als Aktionsbereich eingegrenzt werden. Anschließend wird die Person auf kinematische Merkmale wie starre Körpersegmente und Gelenke reduziert. Für die zweite Methode, die Bottom-Up-Methode, werden zuerst anatomische Schlüsselmerkmale detektiert und diese dann zu funktionellen Gruppen zusammengefasst.

In der retrospektiven Anwendung auf zweidimensionale Videodaten ohne weitere Hintergrundinformationen bergen beide Fälle des markerlosen Trackings das Problem, dass durch die Reduktion der Dimensionalität (3D in 2D projiziert) Informationen verloren gehen, die bspw. für eine dreidimensionale Kinematikdetektion notwendig sind. Gegenwärtig werden daher häufig Structure-from-Motion (SfM) Methoden [17], A-priori-Wahrscheinlichkeiten (APW) [18] oder eine Kombination aus beiden angewandt [19], um die verlorenen Informationen zu kompensieren. Eine sehr erfolgreiche APW-Methode stellt das Pose- und Shape-Tracking-Verfahren STAR [20] dar, welches in seiner Vorgängerversion SMPL [21] bereits sehr erfolgreich zur Bewegungserkennung von Fußgängern aus Dashcam-Videodaten eingesetzt wurde [22]. Ein Problem stellte hierbei jedoch die physiologische Plausibilität der Detektionsergebnisse dar. Dies äußert sich insbesondere in Geschwindigkeiten oder Winkelmaxima, die in einem natürlichen System unmöglich zu erreichen sind. Eine methodische Neuerung stellt dahingehend der vortrainierte datenbankbasierte Bewegungsdiskriminator VIBE [23] dar, der die aus der Körperform abgeleiteten Gelenkwinkel und Winkelgeschwindigkeiten hinsichtlich ihrer statistischen Plausibilität bewertet und in die KI-basierte Rekonstruktion aktiv einwirkt.

Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten aktiver virtueller Menschmodelle

Menschmodelle, in die entsprechende Muskelmodelle zur Bewegungsgenerierung und Veränderungen von Gelenksteifigkeiten integriert wurden, werden als Active Human Body Models (AHBMs) bezeichnet. Mithilfe von AHBMs können somit muskelgetriebene Bewegungen ausgeführt werden, deren Ziel es ist, die tatsächlichen, mechanischen Eigenschaften des Menschen in der Dynamik abzubilden. Damit entfällt einerseits die statische Näherung der Steifigkeit in der zu untersuchenden Situation und andererseits enthält die Simulation sowohl die vollständige physikalische Vorgeschichte der Bewegung als auch eine validere Vorhersage der zukünftigen Steifigkeitsentwicklung, da die Muskeldynamik enthalten ist. Ein weiteres gewichtiges Argument der muskelgetriebenen Simulation ist die Möglichkeit der Vorhersage geringer Verletzungen der Weichteile über die Analyse der auf die modellierte Muskulatur wirkenden Kräfte, wie es im EU-Projekt OSCCAR entwickelt wurde [24]. Darüber hinaus werden AHBMs in der Unfallforschung und sicherheitstechnischen Fahrzeugoptimierung als numerisches Abbild des Menschen eingesetzt, um Prognosen zum kinematischen Verhalten und zu Verletzungsrisiken in diversen Kollisionsarten zu erhalten. Im Vergleich zu physikalischen oder virtuellen Crash-Test-Dummies bieten sie den Vorteil lastfallunspezifisch eingesetzt und bei vorliegender Validierungsgrundlage belastbare Ergebnisse liefern zu können. Daraus ergibt sich die Möglichkeit den Einfluss diverser unfallspezifischer Parameter auf das Verhalten des virtuellen Menschen und das Verletzungsrisiko anhand ausgewählter Verletzungskriterien bewerten zu können, wie beispielsweise fahrzeugseitig der Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit, Einfluss von AEB-Systemen (engl. Automatic Emergency Braking), die Art der Fahrzeugfront, Aufprallpunkt oder VRU-seitig geschlechts-, gewichts- und größenspezifische Parameter[23], [24], [25], [26].

Im Bereich der Fahrzeuginsassensicherheit sind AHBMs wie das THUMS ab Version 5 [10] oder verbesserte Modelle des GHBM (Global Human Body Models Consortium) [27] verbreitet. Bislang sind jedoch keine Gesamt-AHBMs frei auf dem Markt verfügbar, die Fußgänger oder andere VRU-Typen repräsentieren. In einer Studie des THUMS-Entwicklers Toyota Motor Corporation [28] wurde ein Fußgänger-AHBM präsentiert, welches jedoch nicht weiter in Crashanwendungen verwendet wurde. Das Modell basiert zudem auf einer der ersten Versionen des THUMS, womit eine valide Anwendbarkeit in Crash-Anwendungen basierend auf den EuroNCAP-Standards [29], [30] fraglich ist. Diese wird aktuell über den Qualitätsstandard der THUMS- (Version 4) und GHBM-Modelle vorgegeben.

Bisherige Ansätze der Fußgänger- und Radfahrsimulation in Crash-Anwendungen haben lediglich das statische VRU-Verhalten berücksichtigt. Die Impakt-Position wurde hierbei verändert, so dass eine zur Unfallbeschreibung passende Prä-Impakt-Position erreicht wurde [25]. Das VRU-spezifische Bewegungsverhalten vor dem Impakt ist in bisherigen Studien nach aktuellem Kenntnisstand nicht untersucht worden.

Positionierung von Menschmodellen

Gängige HBM-Positionierungsmethoden basieren auf einer manuellen oder teil-automatisierten Generierung von Simulationsdecks, welche das Ziel haben, die HBMs per FE-Simulation in ihre endgültige Position zu bewegen. Da aktuelle HBMs mittlerweile sehr komplexe und damit numerisch aufwändige Modelle darstellen, kann eine solche Simulation schnell mehrere Stunden in Anspruch nehmen. Zur Reduktion dieser Rechenzeiten können auch rein geometriebasierte Methoden verwendet werden, die auf radialen Basisfunktionen oder Kriging-Verfahren basieren und z. B. im AdaPT3 [26] oder Piper Tool [27], [28] implementiert sind. Diese Methoden beziehen allerdings verschiedene Steifigkeitsverhältnisse oder Kontaktbedingungen nicht mit in die Positionierung ein und sind daher eher auf kleine oder moderate Positionsänderungen beschränkt. Des Weiteren sind diese Verfahren für automatisierte Positionierungsprozesse sehr unzuverlässig und somit für den vorliegenden Anwendungsfall nicht geeignet.

Reduced Order Modeling (ROM) Methoden basieren hingegen auf tatsächlich durchgeführte Positionierungssimulationen, die in Form von Trainingsdaten die Grundlage der Methode bilden. Die

eigentliche Positionierung in eine spezifische Position erfolgt dann mittels Optimierung dieser Trainingsdaten, bei der die Dimension des Problems und damit der numerische Aufwand erheblich reduziert wird. Die Anwendbarkeit dieser Methoden wurde bereits von [29], [30] zur Positionierung von Menschmodellen in Liegepositionen oder zur Positionierung mit Hilfe des KI-Softwaretools ODYSSEE gezeigt [30], [31], [32], [33]. Bis dato gibt es allerdings keine für den Endbenutzer verwendbare Lösung.

Aktive und passive Sicherheitssysteme für VRU-Schutz

Neben der zunehmenden Bedeutung der aktiven Maßnahmen bleiben Maßnahmen der passiven Sicherheit bei der Entwicklung moderner Personenkraftwagen unabdingbar. Daher wurde von der Arbeitsgruppe Fußgängersicherheit des European Enhanced Vehicle-safety Committee (EEVC) eine Prüfvorschrift erarbeitet, die die Grundlage für die europäische Gesamtfahrzeugtypgenehmigung (EU-Verordnung 2018/858 und UN-Regelung Nr. 127) beschriebenen Fußgängerschutzkomponententests bildet. Zusätzlich werden diese Tests auch bei Verbraucherschutztests nach dem European New Car Assessment Programme (EuroNCAP) angewendet. Aktive Schutzsysteme wie das Aufstellen der Motorhaube oder Windschutzscheibenairbags ergänzen die passiven Maßnahmen seit 2005, um im Falle einer Kollision mit einem Fußgänger zusätzlichen Deformationsraum und die Möglichkeit zum Energieabbau insbesondere beim Kopfaufprall bereitzustellen. Aufgrund der hohen zeitlichen Anforderungen und der oft geringen Lasteinträge bei der Kollision stellt dieses sehr hohe Herausforderungen an die Sensorik und das Gesamtsystem dar.

Damit Radfahrer, die die zweitgrößte Gruppe ungeschützter Verkehrsteilnehmer bilden, ebenfalls bei den passiven Maßnahmen adressiert werden, sollen ab dem Jahr 2022 die Prüf- und Bewertungsverfahren beim EuroNCAP und ab dem Jahr 2024 die Anforderungen gemäß der neuen allgemeinen Sicherheitsverordnung (EU) 2019/2144 entsprechend modifiziert und verschärft werden.

Neben der klassischen passiven Sicherheit haben viele Hersteller die bis dahin entwickelten autonomen Notbremsysteme für Fußgänger und Radfahrer erweitert, auch bekannt als AEB-VRU (engl. Automatic Emergency Braking for VRU). Diese werden bereits seit dem Jahr 2016 beim EuroNCAP getestet und sind ab dem Jahr 2022/24 in allen Neufahrzeugen Pflicht. Ziel ist es, eine Kollision mit einem querenden Fußgänger bei Geradeausfahrt zu verhindern. Diese Tests werden seit 2020 um zwei weitere Testverfahren ergänzt (Abbiegendes Fahrzeug und Rückwärtsfahren). Seit 2018 sind auch Radfahrer im Fokus von EuroNCAP. Neben einer automatisierten Notbremsung ist es auch erlaubt eine automatisierte Notfalllenkung AES (engl. Automatic Emergency Steering) anzuwenden. Dabei muss der Lenkeingriff so ausgelegt werden, dass das Fahrzeug nicht auf die Gegenfahrbahn gerät (Ausweichen innerhalb der eigenen Fahrspur).

Verletzungssimulation

Die Anpassung des Fahrverhaltens, basierend auf sensorbasierter Bewegungserkennung [13] und deren Kopplung mit KI-basierter Verhaltens- und Intentionsprädiktion [7], [34] verspricht die Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer im Sinne der Vision Zero zu verbessern. Eingriffe in das Brems- und Lenkverhalten sollen, bei ausreichendem Abstand zum Kollisionspartner, eine Unfallvermeidung ermöglichen [35]. Im Falle unvermeidbarer Unfälle, bei nicht ausreichendem Abstand im Sinne der Unfallvermeidung, veranlasst die aktuelle Methodik ausschließlich eine Geschwindigkeitsreduzierung über den automatisierten Eingriff in das Bremsverhalten mittels eines AEB. Für eine Lenkung im Falle eines unvermeidbaren Unfalls mittels eines AES gibt es aufgrund der möglichen erhöhten Verletzungsschwere für die Beteiligten, insbesondere für die beteiligte VRU, und der damit einhergehenden ethisch-moralischen und rechtlichen Schwierigkeiten keine anerkannte Methodik.

Eine vorkollisionäre Verletzungsschwereschätzung könnte für eine Anpassung der Kollisionsstellung bei drohender unvermeidbarer Kollision helfen, die möglichen aktiven Reaktionsmuster des Fahrzeugs anzupassen. Aktuell beruhen die Verletzungsschwereschätzungen u. a. auf der statistischen Korrelation zwischen Geschwindigkeit und der Verletzungsschwere in Form von Verletzungsrisikokurven[36]. Weitere Variationen, z. B. von Fahrparametern oder der Unfallkonstellation, machen es unmöglich die

Verletzungsschwere mit ausreichender Sicherheit vorherzusagen. Eine Entscheidungsgrundlage darüber, welches Fahrverhalten situationsspezifisch am sichersten wäre, liegt deshalb dem (teil-) automatisierten Fahrzeug aktuell nicht vor.

(KI-)Verfahren zur zeitreduzierten Vorhersage von Ausgabewerten der biomechanischen FE-Simulation

Ziel von ATTENTION ist es, eine Methode zu entwickeln, mit der basierend auf einer umfangreichen AHBM-Impaktsimulationsdatenbank mittels KI-Verfahren Verletzungsrisiken von VRUs in PKW-Kollisionen in Echtzeit vorhergesagt werden können. Abhängig von den jeweiligen Prädiktions- und Analyseaufgaben werden geeignete ML-Ansätze verwendet (Klassifikation, Regression oder Clusteranalyse), wobei sowohl klassische Regressionsverfahren, entscheidungsbaumbasierte Verfahren, wie beispielsweise Random Forests, als auch (tiefe) neuronale Netze betrachtet und bezüglich der Vorhersagegenauigkeit und Performanz verglichen werden.

In der Vergangenheit wurde eine Studie zur zeitreduzierten Vorhersage des mechanischen Verhaltens von Brustgewebe unter Belastung in Echtzeit mittels Machine Learning Verfahren durchgeführt [37]. Die Studie zeigt nur geringfügige Überschneidungen mit ATTENTION, wobei sich ATTENTION durch den Fokus auf den Bereich VRU-Sicherheit im Straßenverkehr abgrenzt. Weitere Studien zur Vorhersage der Verletzungsschwere basierend auf Unfallstatistik mit Fußgängern [38], wobei auch ML-Verfahren zumindest für Fahrzeuginsassenunfälle basierend auf Unfallstatistik [39] angewandt werden, sind bekannt. Die Abgrenzung liegt vorrangig in dem zugrundeliegenden Datensatz, mit dem die Verletzungsschwere prognostiziert wird. Während ATTENTION eine Methode entwickelt, die eine (langfristig beliebig um weitere Parametervariationen erweiterbare) individuelle, situationsspezifische Verletzungsprognose ermöglicht, liegt diesem Ansatz eine Statistik zugrunde, die nicht die Möglichkeit bietet den Einzelfall realitätsnah abzubilden. Statische Aussagen und Detailabfragen der GIDAS Datenbank werden für ATTENTION zur einzelfallbasierten Plausibilisierung der VRU-Impaktsimulation verwendet. Die Detailabfragen der GIDAS Datenbank können z. B. Unfallhergangsbeschreibung in Fließtext oder medizinische Dokumentationen der Einzelverletzungen sein.

Aktuell ist keine mit ATTENTION vergleichbare Methode zur situationsspezifischen Echtzeit-Verletzungsprognose unter Verwendung muskelaktivierter Menschmodelle in VRU-Fahrzeug-Impaktsimulationen für ungeschützte Verkehrsteilnehmer bekannt.

Virtuelle Simulationsumgebung

Virtuelle, typischerweise 3D-fähige Simulationsumgebungen sind mittlerweile eine anerkannte Methode zur Demonstration von komplexen Situationen und Zusammenhängen. Oft werden dabei Open-Source Simulationsumgebungen genutzt, u.a. auch von großen Zulieferern und OEM der Fahrzeugindustrie, da die Sicht des jeweiligen Beteiligten leicht eingenommen werden kann. Der Nutzen von Open-Source Anwendungen, insbesondere bei virtuellen Simulationsumgebungen, liegt in der einfachen Möglichkeit von tiefgreifenden Änderungen und Anpassungen des Simulators durch einen frei verfügbaren Quellcode. Außerdem können durch eine dezentralisierte und weltweite Entwicklungscommunity die einzelnen Open-Source Projekte schnell und flexibel auf ein weit verbreitetes Expertenwissen zurückgreifen und Entwicklungen und Erweiterungen z.T. deutlich schneller für alle verfügbar machen. Des Weiteren können eigene Entwicklungen und Funktionalitäten des Open-Source Projekts auch unkompliziert an die Entwicklungscommunity zurückgeführt und für zukünftige Entwicklungen zugänglich und als Stand der Technik gemacht werden. Insbesondere Firmen können sich dadurch in ihren Entwicklungsprozessen auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren, anstatt aufwendig Tools vollständig selbst zu erstellen, und sie werden durch eigene Beiträge zu Open-Source-Projekten als potenzieller Forschungs- und Entwicklungspartner sowie als Arbeitgeber für Software-Talente sichtbar.

Auch die Demonstration der Echtzeitverletzungsprognose in ATTENTION geschieht im Rahmen einer 3D-fähigen Simulation. Für den automobilen Kontext stehen diverse Simulationslösungen bereit, wie beispielsweise die Open-Source Simulationsumgebung CARLA [40]. CARLA basiert auf der 3D-Spiele-

Engine *Unreal* [41] und kann mit Hilfe einer Python Schnittstelle (engl. Application Programming Interface, API) angesprochen werden. Mehrere Fahrzeugmodelle sowie Modelle von Fußgängern, Radfahrern und Motorradfahrern sind bereits Teil der Simulationslösung. Sensormodelle für Kamera und LIDAR (engl. Light Imaging Detection And Ranging), aber auch Informationen über Gelenkwinkel können über die Python API ausgelesen und separat verarbeitet werden. Anweisungen für die Steuerung des Fahrzeugs können zurück in die Simulation einfließen. Die für ATTENTION notwendige Längs- und Querdynamik erlauben so die Demonstration verschiedener Ausweichstrategien oder unfallmindernder Maßnahmen.

1.5 Arbeitsteilung und Zusammenarbeit mit weiteren Stellen

Im Projekt ATTENTION werden relevante Partner aus Industrie und Wissenschaft mit Kompetenzen in Forschung, Umsetzung und Demonstration der KI-Themen gebündelt. Neben den Kompetenzen in KI-Methoden stehen verschiedene Projektpartner mit Kompetenzen in der Unfallforschung, der Verletzungssimulation und der biologischen Verletzungsbewertung zu Verfügung.

Auf Seiten der Industrie beteiligten sich Unternehmen aus dem Bereich der Tier1 (RB) und der Technologieprovider (DM, QM). Darüber hinaus sind Wissenschaftspartner, mit zentralen methodischen Kompetenzen für die Anwendung von KI-basierten Methoden und der Bewertung von Verletzungen, in das Projekt eingebunden (EMI, IMSB). Damit kann gewährleistet werden, dass der vorwettbewerbliche Ansatz von ATTENTION umgesetzt wird und dass die Ergebnisse bei allen Industriepartnern baldmöglichst und effizient Eingang in die Wertschöpfungsketten finden. Nur im Zusammenspiel aller beteiligten Partner im Wertschöpfungsprozess wird sichergestellt, dass die zu erarbeitenden KI-basierten Lösungen für den Einsatz in der Industrie geeignet sind. Der geplante virtuelle Demonstrator wird durch verschiedene Open-Source Komponenten die Verwertung der Projektergebnisse in einem weiten Anwendungsfeld ermöglichen, auch über die direkten Projektpartner hinaus.

Neben den direkten Projektpartnern stand für ATTENTION die Mercedes-Benz AG als assoziierter Partner zur Verfügung. Die Mercedes-Benz AG ist ein starker OEM mit besonderem Fokus auf die Sicherheit von Fahrzeugen und übrigen Verkehrsteilnehmern. Durch die Teilnahme an den Konsortialtreffen konnte der assoziierte Partner wertvolle Hinweise für die Weiterarbeit im Projekt geben. Gleichzeitig gewann er durch die Teilnahme an den Konsortialtreffen frühzeitig vor Projektabschluss Einblicke in die Ergebnisse des Gesamtprojekts ATTENTION, aber auch in Einzelresultate.

Die folgende Tabelle zeigt die Beiträge der Partner zu den einzelnen Arbeitspaketen:

	AP Bezeichnung	DM	EMI	IMSB	QM	RB
AP1	Projektkoordination	x	x	x	x	x
AP2	Aufbereitung und Analyse von fahrzeuggebundenen Videodaten					
TAP2.1	Bewertung, Vorverarbeitung und Datenanreicherung der Szenarien					x
TAP2.2	Anonymisierung			x		x
TAP2.3	Skeletterstellung			x		x
AP3	KI-basierte Klassifizierung der VRU-Bewegung					
TAP3.1	Identifizieren eines HBM-Pendants aus den Skelettdaten	x	x	x		x
TAP3.2	Bewegungssimulation		x	x		x
TAP3.3	Bewegungsvorhersage			x		x
AP4	KI-basierte Prognose von Verletzungswerten					
TAP4.1	Adaptive Generierung von synthetischen Trainingsdaten basierend auf FE-Impaktsimulationen	x	x		x	x

TAP4.2	Bestimmung von Verletzungsprognosen aus Virtual-Testing- (VT-) Daten und Abgleich mit Realunfalldaten		x	x		x
TAP4.3	Konzeption und Evaluation eines KI-Verfahrens zur Verletzungsprognose		x	x	x	x
AP5	Verletzungsrisikoindex, Demonstrator und Unfallfolgenminderungsmaßnahmen					
TAP5.1	Abbildung der Einzelverletzungen in einen Verletzungsrisikoindex	x	x			x
TAP5.2	Visualisierung und Steuerung der virtuellen Fahrumgebung			x	x	
TAP5.3	Modellanwendung und Konzeptionierung von Unfallfolgenminderungsmaßnahmen				x	x

Alle Teilarbeitspakete verlangen die Beteiligung von mindestens zwei Partner. Zudem bauen die Arbeitspakete aufeinander auf. AP2 liefert die Datengrundlage für alle weitere AP und AP5 integriert die Ergebnisse der vorherigen AP in den Demonstrator. Zur Sicherstellung der Arbeits- und Zeitplanung bei gleichzeitig starker Interaktion von Projektpartnern und Arbeitspaketen wurde daher ein mehrstufiger Kommunikations- und Abstimmungsprozess etabliert. Die einzelnen Arbeitspakete hatten jeweils ein Statustreffen pro Monat zur Abstimmung innerhalb der AP. Zudem gab es nach Bedarf multilaterale Meetings zwischen Projektpartner zur Vertiefung inhaltlicher Themen. Auf Gesamtprojekt-Ebene gab es ebenfalls monatliche Statustreffen zur Abstimmung zwischen den verschiedenen AP. Hier wurden ebenfalls Risiko-Problemlisten geführt und aktualisiert sowie die Eigenevaluation besprochen. Ein vertiefter Austausch auf Gesamtprojektebene fand jeweils in halbjährlichen Konsortialtreffen statt, die in Präsenz stattfanden. Auf Gesamtprojektebene wurde dann noch eine weitere fachliche Vertiefung nach dem vierten Konsortialtreffen notwendig.

2 Eingehende Darstellung

2.1 AP1: Projektkoordination

Die Zusammenarbeit verschiedener Partner und Organisationseinheiten zur Erreichung eines gemeinsamen Zieles erfordert die Abstimmung und Koordination der individuellen Arbeiten. Ziel der Projektkoordination sind die Schaffung von Rahmenbedingungen, die eine hohe Qualität der Arbeitsergebnisse ermöglichen. Dazu gehören die Abstimmung und Koordination der Zusammenarbeit zwischen den Partnern, die Verfolgung des Projektfortschrittes und ggf. Nachsteuerung und Anpassung des Projektplanes, die Kommunikation nach extern und das Berichtswesen.

Abstimmung und Koordination zwischen den Partnern

Jeweils zwei Mal pro Jahr wurde ein Konsortialtreffen organisiert und bei jeweils wechselnden Partnern vor Ort durchgeführt. Die nachfolgende Tabelle zeigt die durchgeführten Treffen. Einmal pro Monat haben sich die AP-Verantwortlichen in einem Statusmeeting per Videokonferenz getroffen, um den Arbeitsfortschritt zu diskutieren und mögliche Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen den AP koordinieren. Es wurde eine Risiko-Problem-Liste angelegt und durchgesprochen, in der Projektrisiken bewertet und mögliche Abhilfemaßnahmen benannt und priorisiert wurden. Ebenfalls wurde regelmäßig die Selbstevaluation an der in der Vorhabensbeschreibung definierten KPI und anvisierten TPI behandelt. Weitere Themen betrafen die Datenablage und Management sowie Kommunikation des Projektes an die Öffentlichkeit.

Typ	Datum	Veranstalter/Ort
Konsortialtreffen, Kick-Off	14.07.2021	Bosch, virtuell (COVID19-Einschränkungen)
Konsortialtreffen	21.07.2022	Bosch, virtuell (COVID19-Einschränkungen)
Konsortialtreffen	22.06.2022	Bosch, Renningen
Konsortialtreffen	26.01.2023	IMSB, Stuttgart
Konsortialtreffen	13.06.2023	EMI, Freiburg
Abstimmung Arbeitsinhalte und Zielsetzung im Konsortium	18.07.2023	Bosch, Renningen
Konsortialtreffen	24.01.2024	Dynamore, Stuttgart
Abschlusstreffen	27.06.2024	QualityMinds, München

Verfolgung des Projektfortschrittes

Im Projekt wurden alle Meilensteine und Hauptmeilensteine, die in Kapitel 1.3.2 beschrieben worden sind, mit nur geringen zeitlichen Abweichungen erreicht. Die Indikatoren für die Zielerreichung (siehe Kapitel 1.1.5), für die Bosch maßgeblich verantwortlich war, werden in den folgenden Tabellen beschrieben. Die Zielindikatoren wurden jeweils erreicht.

Indikator im Projekt ATTENTION (KPI)	Projektbeginn	Projektende	Sachstand/Erklärung
Erkenntnisgewinn Skelettierung (RB) Schnelle und automatisierte Skelettierung von VRUs mit Methoden der Computervision. Ortung von Gelenkpositionen und -winkeln im dreidimensionalen Raum, geeignet für HBM Positionierung.	Für HBM-Positionierung geeignete Skelettierung bei <10% der VRU möglich. (Mit Skeleton Tracking SDK o.ä.)	Echtzeitnahe Skelettierung aus Videosequenzen, geeignet für HBM-Positionierung für >80% der VRU (3D)	Erfüllt ESV 2023; Lich et. al. präsentierte Gruppierung von VRU und Prä-Impakt Positionen decken 88,5% aller betrachteten Entitäten ab. Das HBM wurde erfolgreich positioniert. Kern: Trotz schlechter Framerate und Auflösung ist eine Skelettierung und Positionierung möglich. Das Verfahren ist transferierbar. Erkenntnisgewinn: Bei höherer Datengüte (Auflösung und Framerate) und Quantität ist zu erwarten, dass a) mehr Posen identifiziert werden können b) Posenschätzungen genauer werden

Technologiebereich im Projekt ATTENTION	Projektbeginn	Projektende	Sachstand/Erklärung
Integrierte automatisierte Anonymisierung der fahrzeuggebundenen Videoaufnahmen	TRL2 Beschreibung der Anwendung der Technologie	TRL 4 Versuchsaufbau im „Labor“	Erfüllt Zum Projektende wurde die Methodik an den bestehenden Entitäten aufgezeigt und ein vollständiger Overlay des SMPL Shape-Modells erreicht.

2.2 AP2: Aufbereitung und Analyse von fahrzeuggebundenen Videodaten

Die Robert Bosch GmbH leitet das AP2 und übernahm entsprechende Aufgaben zu AP-Leitung. Dazu gehören Aufgaben der Organisation der Inhalte, der Planung und Durchführung von regelmäßigen AP2-Treffen. AP2 wurde durch einen Kick-Off am 21.07.22 offiziell gestartet. Neben den intensiven bilateralen fachlichen Austausch mit den AP-Partnern wurde ein 14-tägiger Jour-Fix eingerichtet. Dort wurde intensiv an der Risiko-Problemliste, Schnittstellen und an fachlichen Themen gearbeitet. Weiterhin wurde regelmäßig an den monatlichen Statustreffen des Gesamtprojektes teilgenommen und diese entsprechend vorbereitet.

AP2 gliedert sich gemäß der VHB in drei TAP wie das folgende Diagramm zeigt:

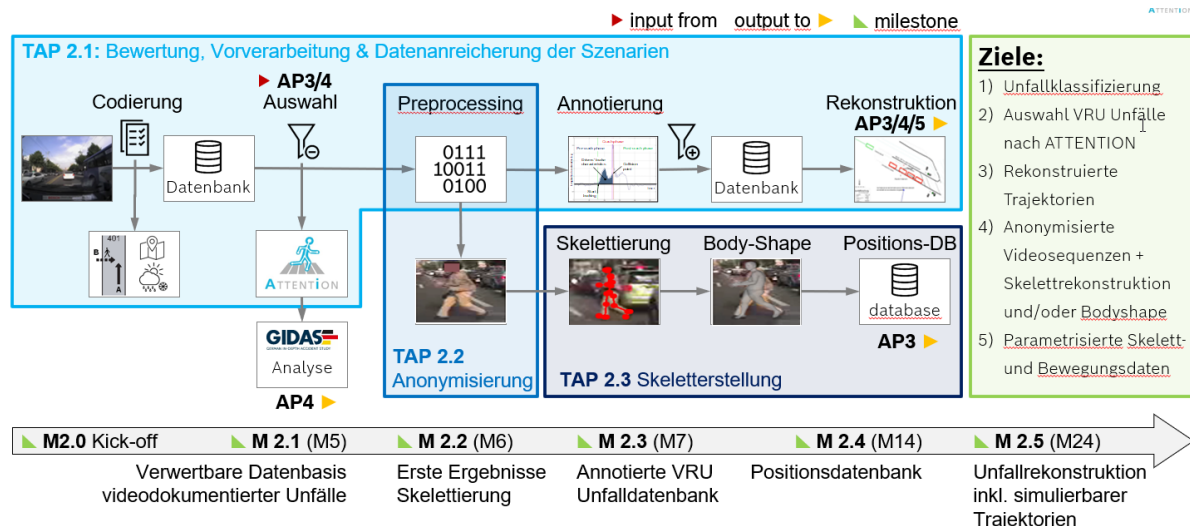


Abbildung 5 Gliederung AP2

2.2.1 Bewertung, Vorverarbeitung und Datenanreicherung der Szenarien

Im Vorfeld der Untersuchung wurde festgelegt, welches Wirkungsfeld die ATTENTION-relevanten Unfälle darstellen sollen. Dieses Wirkungsfeld wurde insbesondere mit Hinblick auf eine detaillierte GIDAS-Analyse festgelegt, um die Ergebnisse in Bezug zum deutschen Unfallgeschehen zu ermitteln. Folgende Kriterien wurden unter Berücksichtigung der möglichen zukünftigen Anwendung festgelegt:

1. Fahrzeugart „Pkw“ als stoßendes Fahrzeug (Zielplattform)
2. Anprallstelle an der Fahrzeugfront (Video aus Frontkamera)
3. Fahrzeug fährt vorwärts (<~5km/h – Ausschluss stehende, rückwärtsfahrendes Fzg.)

Zusätzliche Einschränkungen wie Unfalltyp (definierte Konfliktsituationen), Tageszeit/Witterung, Bewegungseigenschaften der Kollisionsgegner sowie Eigenschaften der Unfallstelle wurden bewusst nicht festgelegt, damit Nutzenpotentiale bei bestimmten Randbedingungen nicht durch einen vorangegangenen Ausschlussfilter verloren gehen.

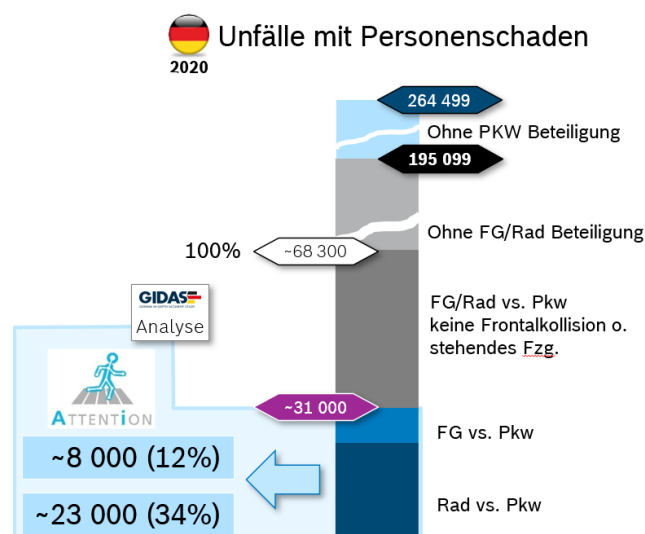


Abbildung 6: Wirkungsfeld ATTENTION im Unfallgeschehen von Deutschland 2020 (basierend auf Daten von GIDAS und DESTATIS)

In Deutschland ereigneten sich im Jahr 2020 laut statistischen Bundesamt 264 499 Verkehrsunfälle mit Personenschaden. Darunter waren ca. 68 300 Unfälle, bei denen mindestens ein Pkw und ein Radfahrer bzw. Fußgänger beteiligt war.

Unter den eingangs erwähnten Randbedingungen für ATTENTION ergeben sich rund 8 000 Fußgängerunfälle und 23 000 Fahrradunfälle für Deutschland im Jahre 2020. Es ist davon auszugehen, dass der prozentuale Anteil am Gesamtunfallgeschehen auch für die Folgejahre nahezu konstant bleibt. Mit anderen Worten, jeder zehnte Unfall mit Personenschaden in Deutschland wird durch das ATTENTION Projekt adressiert.

2.2.2 Korean Transport Institute (KOTI) Datenbank

Die verwendete KOTI-Datenbank umfasst 9 724 videodokumentierte Unfälle von Taxis größtenteils aus den Jahren 2010 und 2011. Im Vorfeld der Untersuchung war bekannt, welche Unfälle mit Fußgängerollision bzw. Radfahrerollision stattfanden. Insgesamt ergaben sich 641 Datensätze als Grundlage zur Untersuchung.

Die Kriterien der Auswahl für ATTENTION-relevante Unfälle wurden identisch zur GIDAS Analyse gewählt. Im Gegensatz zu den Ergebnissen basierend auf GIDAS Daten (repräsentativ für Deutschland) sind die Ergebnisse aus den koreanischen Daten nicht repräsentativ für Korea, da es sich um eine begrenzte Datenerhebung ausschließlich von Taxis im Stadtteil Incheon, im Großraum Seoul handelt. Im ersten Schritt wurden die Datensätze mit Fußgänger- und Radfahrerbeteiligung nach den für ATTENTION definierten Grundvoraussetzungen analysiert (Anprallstelle Pkw-Front, vorwärtsfahrender Pkw, Videodatei vorhanden). Im Ergebnis erfüllen 58% der Fußgänger und Fahrradunfälle die Grundvoraussetzungen für die ATTENTION Analyse (319 Fußgängerkollisionen, 50 Fahrradkollisionen). Weitere detailliertere Informationen zu den Unfällen existierten nicht und mussten zunächst händisch aufgebaut werden.

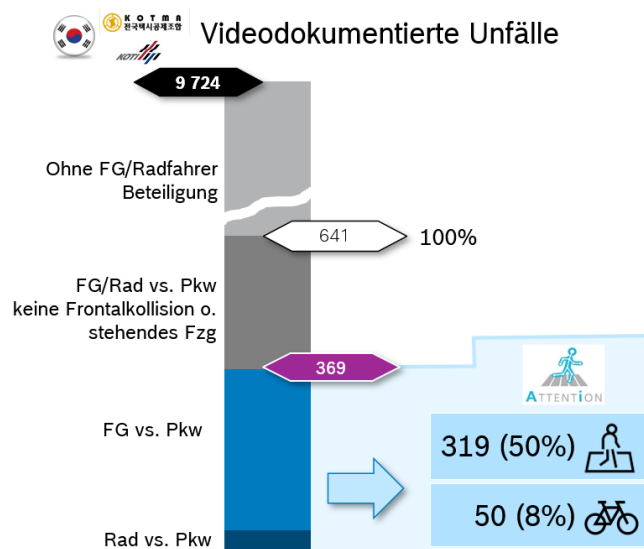


Abbildung 7: Wirkungsfeld ATTENTION im verwendeten KOTI-Datensatz

2.2.3 Annotierung der relevanten Datensätze

Im folgenden Schritt wurde jeder relevanter Unfall (Datensatz) mit zusätzlichen Informationen ergänzt. Dazu wurde in einer MS Access Anwendung ein Datensatzformular entwickelt, welches eine effektive Dateneingabe erlaubt. Die zu codierenden Informationen wurden in einem zugehörigen Codebook definiert und dokumentiert. Im Datensatzformular konnten dann die definierten Informationen entsprechend ausgewählt und codiert werden.

The screenshot displays a complex data entry form for accident analysis, organized into several sections:

- Top Header:** Includes fields for 'Fallnummer' (100000060), 'EGONR' (1), 'Anzahl beteiligte Fahrzeuge' (2), 'max. Verletzungsschwere' (1), and 'Besonderheiten Gegner' (2).
- LINK:** A text field containing 'Accidents\1000\00000-09999\100000060\100000060.avi'.
- Unfallort (Accident Location):** A group of dropdown menus for 'Tageszeit' (3), 'Ortslage' (3), 'Straßenoberfläche (Art)' (3), 'Straßenoberfläche (Zustand)' (3), 'Fahrsuren in Fahrtrichtung' (3), 'Trennung Gegenverkehr' (1), and 'Benutzte Fahrspur' (1).
- Situation (Situation):** A group of dropdown menus for 'Unfalltyp' (689), 'Unfallart' (5), 'Unfallstelle' (5), 'Situation' (99), 'GEGNER' (3), 'Sichtbarkeit Gegner' (5), 'Gegner aus Richtung' (1), and 'Verkehr' (888,0 [s]). It also includes input fields for 'Ausweichraum Links' (2 [m]) and 'Ausweichraum Rechts' (0 [m]).
- Handlung Ego (Ego Action):** A group of dropdown menus for 'Reaktion Fahrer' (1), 'Lenken Fahrer' (0), and 'Bremsen' (2).
- Gegner (Rad / Fg) (Opponent (Bike / Pedestrian)):** A group of dropdown menus for 'Winkel zur Straße' (11), 'Überquerung' (1), 'Reaktion' (88), 'Geschw.' (4), 'Ego wahrgenommen' (1), and 'Dauer Blickzuwendung' (0,8 [s]).
- Kollision (Collision):** A group of dropdown menus for 'VDI1' (12), 'VDI2' (1), 'K Winkel' (5), 'Kollisionsort' (5), 'vk' (1 [km/h]), 'v0' (3 [km/h]), and 'Anstoß am Pkw' (12). It also includes a 'STATUS' dropdown (1).
- Definition Unfallende:** A dropdown menu set to '1'.
- Hergang (Course of Events):** A text area containing 'Fahrradfahrer fährt schräg entgegen der Fahrtrichtung auf Fahrbahn'.
- Bemerkungen (Remarks):** Checkboxes for 'Nachkontrolle' and 'ATTENTION', and a text area for 'TTCe S./ZL/Reaktion Fahrer von Hand kodiert! - Keine Sensordaten, fehlende X-Driven-Daten! Radfahrer versucht auszuweichen'.
- Footer:** Checkboxes for 'LCT2SI', 'SDA2RNG', 'BLI1SI', 'SCL2SI', and 'MOE1SI'.

Abbildung 8: Eingabefenster für die Annotierung des KOTI-Datensatz

Detaillierte Informationen zu folgenden Eigenschaften wurden jedem Datensatz hinzugefügt. Die Quellen der Informationen sind im Wesentlichen das Video und Audiofile. Aus dem Video lassen sich die meisten Informationen zu Umgebung, Kollision oder Handlung extrahieren und ermitteln. Das Audiofile liefert in einigen Fällen Informationen zur Reaktion des Egofahrzeugs (z.B. hörbare Vollbremsung), allerdings ist der Audiostream nicht synchron mit dem Videostream. Zusätzlich zu Video und Audioinformationen sind zu vielen Datensätzen auch GPS-Informationen vorhanden, anhand derer die Fahrzeuggeschwindigkeit abgeleitet wurde. Darüber hinaus besitzt jeder Datensatz ein Beschleunigungssignal, welches in allen drei Raumrichtungen separat, aber ebenfalls nicht synchron zum Video durch die Dashcam erfasst wurde.

- **Unfallort:** beschreibt die Umgebungsbedingungen und den Unfallort. Beispiele dafür sind Tageszeit, Straßenzustand, Oberfläche, Witterung, Lichtzeichenanlage, Sichtbehinderungen, Fahrsuren und die Straßenführung
- **Situation:** beschreibt die Verkehrssituation, welche zum Unfall führte, sowie situationsspezifische Bedingungen am Unfallort. Beispiele sind die Bestimmung des Unfalltyps nach GDV [42] und die Kollisionsart sowie die Bewegungsrichtung vor dem Unfall.
- **Kollision:** beschreibt im Detail die Erstkollision mit dem Unfallgegner. Angegeben wird dabei der Bereich am Fahrzeug des Kollisionskontaktes sowie der Kollisionswinkel, Kraftrichtung und den Bereich der Kollisions- und einer Initialgeschwindigkeit.
- **Handlung Ego:** beschreibt die Brems- und Lenkreaktion des Ego-Fahrzeugs vor der Kollision. Es wird beispielsweise unterschieden, ob es sich um eine Vollverzögerung oder Teilbremsung handelt.
- **Gegner Radfahrer/Fußgänger:** beschreibt die Handlung/Reaktion des Unfallgegners (Fahrradfahrer bzw. Fußgänger). Es wird beispielsweise angegeben, ob der Unfallgegner das Fahrzeug vor Kollision bereits wahrgenommen hat und wie er darauf reagierte.

- **Zeitstempel:** geben den Zeitpunkt im vorhandenen Videofile zu definierten Ereignissen an. Darunter fallen die erste Sichtbarkeit des Gegners, Reaktionszeitpunkt des Egofahrzeugs, Reaktionszeitpunkt des Unfallgegners, Kollisionszeitpunkt und Zeitpunkt des Unfallendes. Da die Videos in der Regel mit 5 Einzelbilder pro Sekunde vorliegen ergeben sich Zeitschritte von 0,2s. Neben der optischen Analyse der Videos wurden auch die Sensordaten (Beschleunigungsdaten) zur Bestimmung des Reaktions-, Kollisions- und Endlagezeitpunkts genutzt und gegenseitig plausibilisiert.
- **Unfallbeschreibung:** gibt in einen kurzen Freitext den Unfallablauf an.

Dem Projektpartner *Institut für Modellierung und Simulation Biomechanischer Systeme (IMSB)* der *Universität Stuttgart* wurden Videodaten und eine Zeitstempelliste in einem ersten Schritt zur Entwicklung der Toolkette übergeben. Bei den übergebenen Videos handelt es sich um 55 Fußgängerunfälle und 8 Unfälle mit Radfahrern. Für 30 Fußgängerunfallvideos wurden die Zeitstempel ermittelt und mittels MS-Excel-Datei transferiert.

2.2.4 Ergebnisse nach Annotierung

In Vorbereitung zur Analyse der Bewegungsdaten in TAP2.2 wurden die Zeitstempel der Kollisionssequenzen benötigt. Da die Videodaten in teils sehr unterschiedlichen (Datei-)Längen vorliegen und die Unfallsituationen nicht direkt am Videoanfang beginnt musste der Videoabschnitt mit den relevanten Bildern händisch markiert werden.

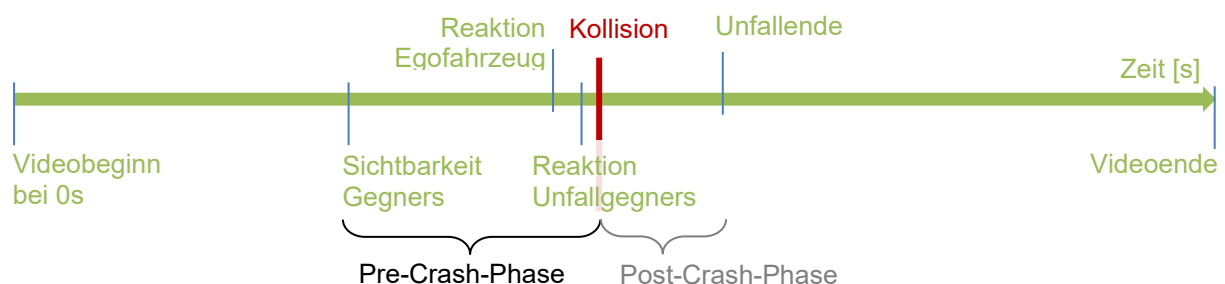


Abbildung 9: Zeitlicher Ablauf Unfall im Video (Beispiel)

Für das nachfolgende Anwenden der im Projekt zu entwickelnden Algorithmen (Skeletterstellung, VRU-Bewegung) werden die Frames der Pre-Crash-Phase benötigt. Diese können nach Ermittlung der entsprechenden Zeitstempel für die Weiterverarbeitung „freigeschnitten“ werden. Damit reduziert sich die Sequenz auf den Kollisionszeitraum. Ein maßgeblicher Faktor für die Anwendung der Algorithmen ist neben der Bildqualität die zu Verfügung stehende Anzahl an auszuwertenden Frames. Die Anzahl derer wurde in einem ersten Schritt für Fußgänger und Fahrradunfälle ausgewertet.

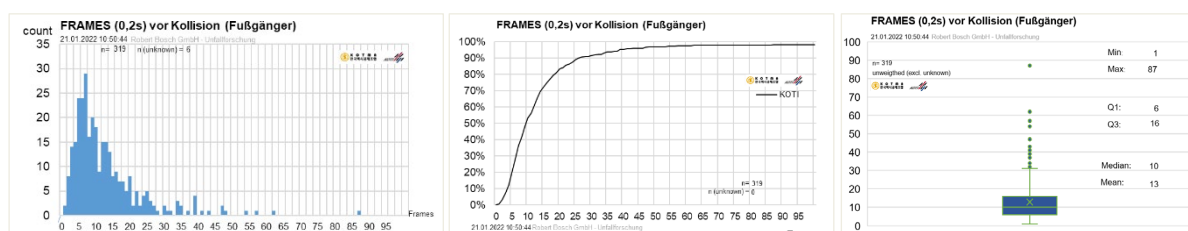


Abbildung 10: Relevante Frames pro Fußgänger-Unfall (Verteilung, Summiert, Boxplot)

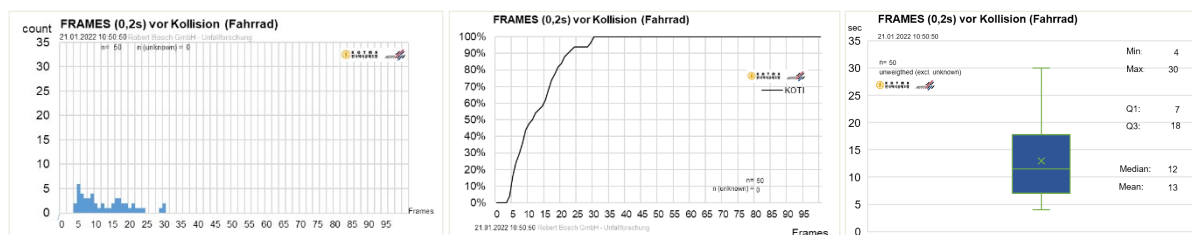


Abbildung 11: Relevante Frames pro Fahrrad-Unfall (Verteilung, Summiert, Boxplot)

Für Fußgängerunfälle sowie Radfahrerunfälle wurden im Mittel 13 Frames (~2.6s) dokumentiert. Rund 10% der Unfälle weisen eine sehr geringe Anzahl an Frames auf (≤ 5). Neben der Anzahl der Frames ist insbesondere die Bildqualität ein sehr entscheidender Faktor für die Weiterarbeit. Die Unfalleigenschaft Tageszeit (Taghell, Nacht) beeinflusst maßgeblich die Bildqualität, da beispielsweise bei Dunkelheit und schlechter Beleuchtung in Verbindung mit Nässe und Blendung durch den Gegenverkehr die Erkennung des Unfallgegners anspruchsvoller wird.

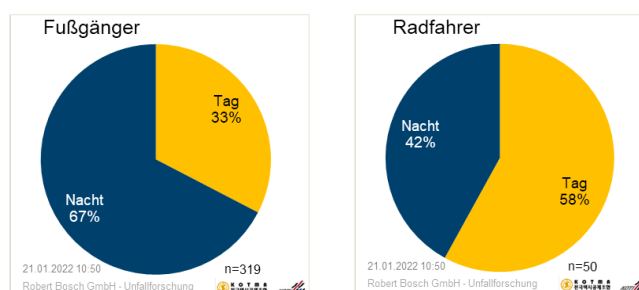


Abbildung 12: Ermittelte Tageszeit relevanter Fußgänger- und Radfahrerunfälle

In Abbildung 12 ist gut zu erkennen, dass es zwischen Fußgänger und Radfahrerunfällen einen deutlichen Unterschied gibt. Neben der reinen Anzahl der Fälle (319 Fußgänger und 50 Radfahrer) ist der überwiegende Anteil der Fußgängerunfälle bei Nacht (67%) wohingegen bei Radfahrerunfällen der größte Anteil bei Tageslicht stattfand (58%).

Die relevanten Unfälle fanden zu 96% in innerstädtischer Umgebung statt. Weitere Eigenschaften der Unfallstelle wurden nach der erfolgten Annotierung ausgewertet. In den ausgewählten Datensätzen sind die Unfallgegner in weniger als 30% vor dem Unfall frei sichtbar. Die Problematik der Verdeckung von anderen Fahrzeugen (sowohl geparkt als auch wartend) zeigt sich bei Fußgänger und Radfahrerunfällen. (Abbildung 13)

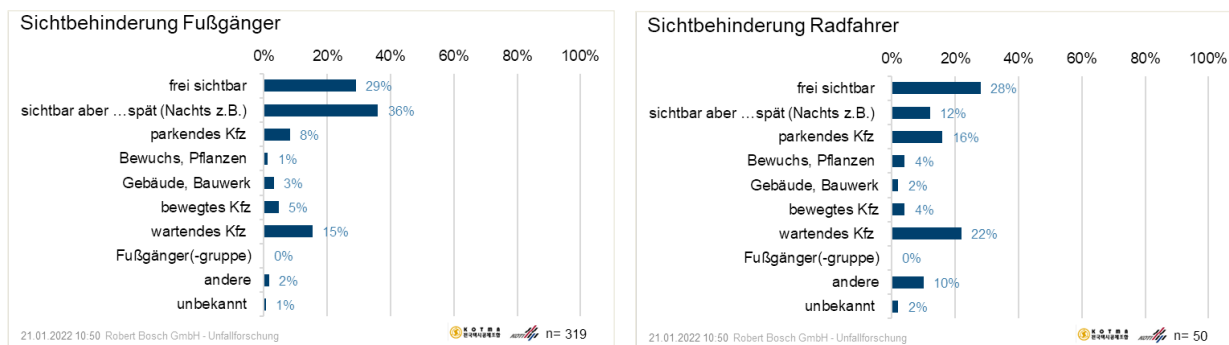


Abbildung 13: Sichtbehinderung an der Unfallstelle bei Fußgänger- und Radfahrerunfälle

Bei der Bestimmung der Unfallstelle bzw. der Verkehrssituation (Abbildung 14) zeigt sich ein Unterschied zwischen den Fußgänger und Radfahrerunfällen. Bei Fußgängern befindet sich die Unfallstelle zu 73% auf einer Geraden im Straßenverlauf, d.h. nicht im Einmündungs- bzw.

Kreuzungsbereich. Bei den ausgewerteten Fahrradunfällen wurde der Unfall zu 60% an Kreuzungen bzw. Einmündungen festgestellt.

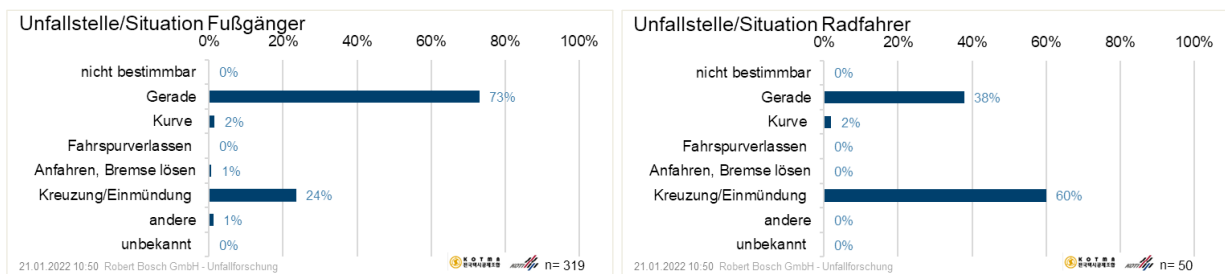


Abbildung 14: Unfallstelle/Verkehrssituation bei Fußgänger- und Radfahrerunfälle

Die in der KOTI-DB ausgewerteten Unfälle weisen dabei den Charakter einer Großstadt auf, was die Anzahl der Fahrstreifen der Richtungsfahrbahn des Ego-Fahrzeugs deutlich zeigt. Der überwiegende Anteil der Unfälle ist gekennzeichnet durch mehr als zwei Fahrstreifen in Fahrtrichtung (ohne Berücksichtigung der Gegenfahrbahn, Abbildung 15).

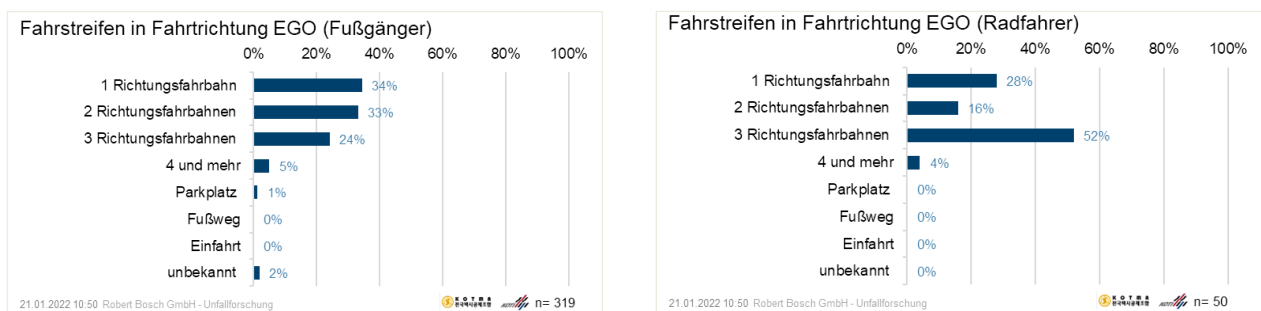


Abbildung 15: Anzahl Fahrstreifen in Fahrtrichtung (Ego-Fahrzeug) bei Fußgänger- und Radfahrerunfälle

Neben den baulichen Gegebenheiten an der Unfallstelle spielen auch Witterungseinflüsse eine maßgebliche Rolle (Abbildung 16). Der Zustand der Straßenoberfläche kann die Effektivität einer Bremsung entscheidend beeinflussen, da neben der maximal möglichen Verzögerung auch die Sichtbedingungen großen Einfluss auf den Zeitpunkt der Reaktion haben. Dies wurde insbesondere bei Nachtunfällen beobachtet, da die Spiegelung der Scheinwerfer von entgegenkommenden Fahrzeugen oftmals eine frühzeitige Sichtbarkeit des Unfallgegners vermutlich verhinderte.

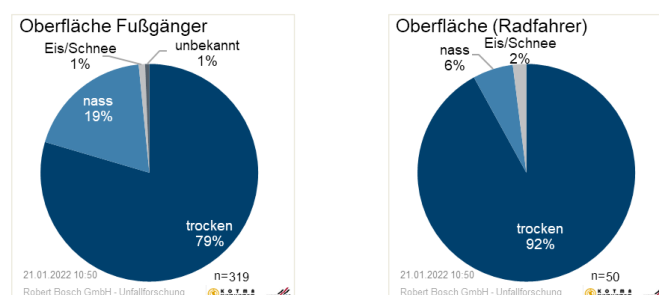


Abbildung 16: Straßenbedingungen bei Fußgänger- und Radfahrerunfälle

Im nachfolgenden wurde das Verhalten (Reaktionsmuster bzw. Vorkollisionäre-Verhalten) vom Ego-Fahrzeug (Taxi) und vom Unfallgegner (Fußgänger bzw. Radfahrer) näher untersucht. Für beide Unfallkonstellationen wurde festgestellt, dass in mehr als 40% aller Unfälle mindestens eine Bremsreaktion vor Kollision stattfand. Durch das „Eintauchen“ des Vorderwagens während einer starken Bremsung können dadurch andere Kontaktstellen (Höhenmaß) resultieren, die wiederum die

Verletzungsmuster verändern können. Lenkreaktionen sind bei 16% der Fußgängerunfälle (inkl. Lenken und Bremsen) zu beobachten. Bei Fahrradunfällen ist der Anteil bei 8% (Abbildung 17).

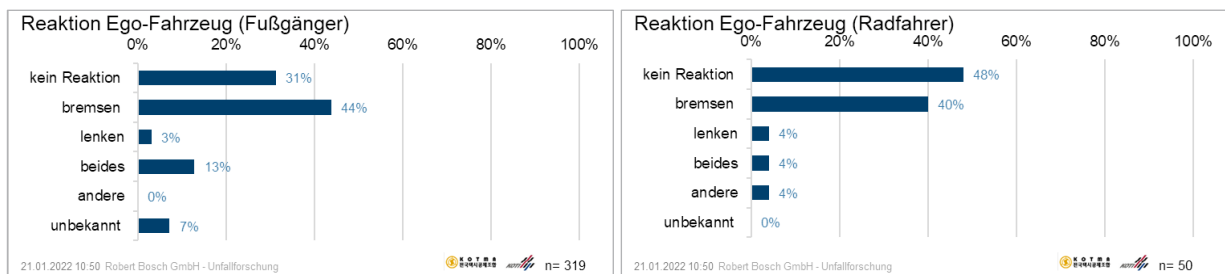


Abbildung 17: Reaktionsmuster Ego-Fahrzeug bei Fußgänger- und Radfahrerunfälle

Die Analyse der Bewegungsrichtung des Unfallgegners zeigt sehr deutlich, dass eine separate Betrachtung der Radfahrer und Fußgängerunfälle notwendig ist (Abbildung 18). Fußgänger nähern sich dem Fahrzeug zum überwiegenden Anteil aus dem frontalen Sichtfeld zwischen 11 und 1 Uhr, wohingegen Radfahrer sich größtenteils aus dem seitlichen Sichtfeld 9/10 Uhr und 2/3 Uhr nähern. Bei den 22% aus Richtung 1 Uhr handelt es sich meist um Verkehrssituationen bei dem das Ego-Fahrzeug nach rechts abbiegt und durch die Drehbewegung des Ego-Fahrzeug die Richtung des Gegners von 2/3 Uhr in Richtung 1 Uhr wandert.

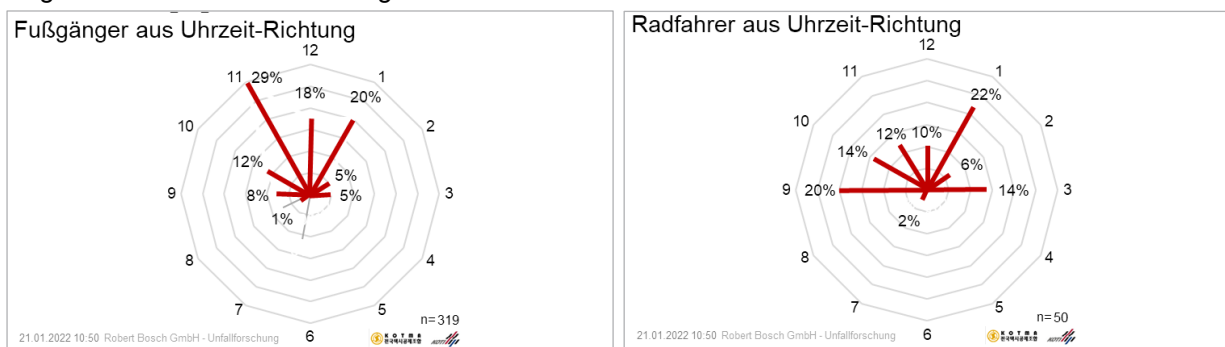


Abbildung 18: Richtung Unfallgegner (Ego-Sicht)

Einen deutlichen Unterschied zwischen Radfahrern und Fußgängern ist ebenfalls in der Kollisionsgeschwindigkeit zu erkennen (Abbildung 19, Abbildung 20). Ermittelt wurden die Werte zum Teil aus vorliegenden Sensordaten (Beschleunigungspeak mit dazugehöriger Geschwindigkeit) oder aus einer Rückwärtsrechnung basierend auf den Zeitstempel des Stillstandes, der Kollision und der beobachteten Verzögerungsstärke (Teil-/Vollbremsung). In einigen Fällen wurde die Kollisionsgeschwindigkeit aus der Bildbeobachtung abgeleitet (insbesondere bei Unfällen mit sehr niedriger Geschwindigkeit). Aufgrund der geringen Framerate von 5 Bilder pro Sekunde und der daraus resultierenden Ungenauigkeit ist die Kollisionsgeschwindigkeit in 10 km/h Gruppierung angegeben. Fußgänger wurden im Mittel mit 32 km/h (Median 30 km/h) getroffen. Bei Radfahrern lag die ermittelte Kollisionsgeschwindigkeit im Schnitt bei 25 km/h (Median 18 km/h) was auf die geringeren Geschwindigkeiten im Kreuzungs-/Abbiegebereich zurückzuführen ist.

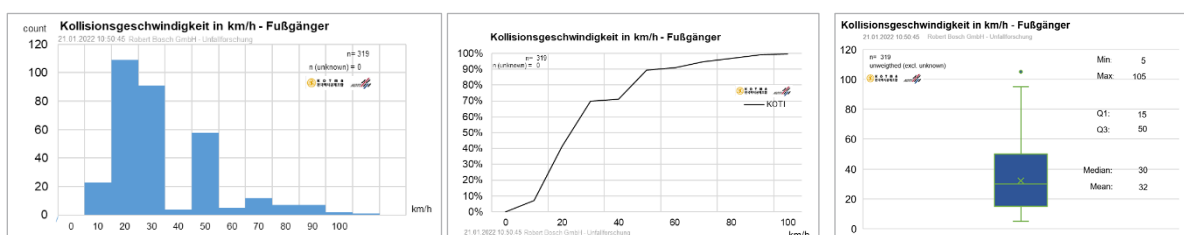


Abbildung 19: Ermittelte Kollisionsgeschwindigkeit bei Fußgänger-Unfall (Verteilung, Summierte, Boxplot)

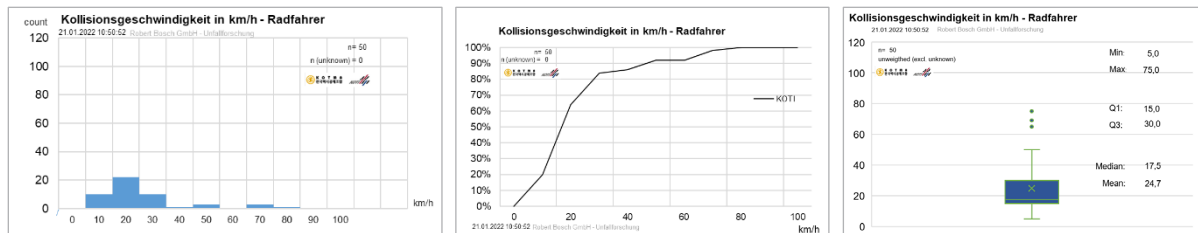


Abbildung 20: Ermittelte Kollisionsgeschwindigkeit bei Radfahrer-Unfall (Verteilung, Summiert, Boxplot)

Auch die Reaktion bzw. das Verhalten des Unfallgegners wurde im Rahmen der Datenanreicherung mit einbezogen. Die Geschwindigkeit der Unfallgegner konnte nur mit einer subjektiven Einschätzung ermittelt werden, gibt aber bereits damit einen Einblick in welchen Geschwindigkeitsbereich sich die Unfälle ereignen. Gut zu erkennen ist, dass bei Fußgängerunfällen der Anteil an „schnell“ und „gerannt“ in Summe bei 42% liegt. Unter Betracht, dass die überwiegende Geschwindigkeit bei Fußgänger in der Regel „normal“ ist, zeigt dies, dass ein Unfallrisiko beim schnellen Bewegen oder beim Rennen um Faktoren höher ist. Begründbar ist dies auch damit, dass beim schnellen Bewegen bzw. rennen die Möglichkeiten zur Unfallvermeidung für den Fußgänger geringer werden (Erkennen, Reaktionszeit, Stoppen usw.).

Bei Radfahrern zeigt sich dagegen ein anderes Bild, da in den Unfällen bei 94% „langsame“ oder „normale“ Geschwindigkeit festgestellt wurde. Da eine „normale“ Fahrradgeschwindigkeit mindestens einem „rennenden“ Fußgänger entspricht erklärt, sich daraus auch die höhere Kollisionswahrscheinlichkeit und die dadurch geringe Möglichkeit den Unfall selbst noch zu verhindern (Reaktionszeit, Stoppen, Ausweichen usw.), siehe Abbildung 21.

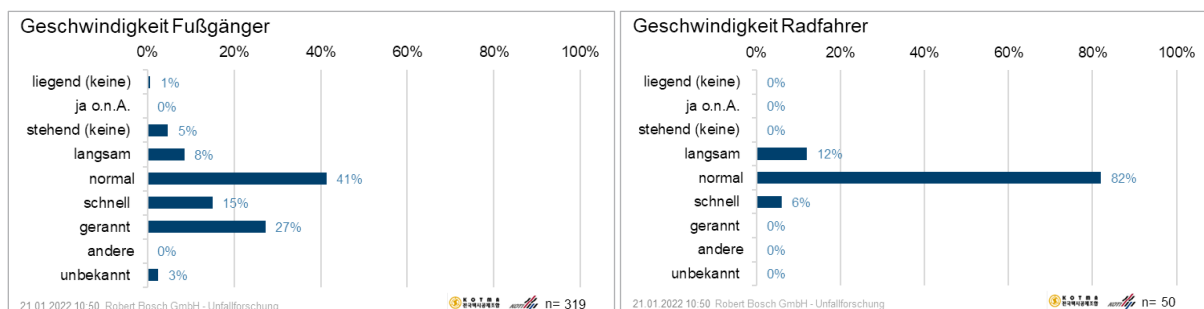


Abbildung 21: Ermittelte Geschwindigkeit der Unfallgegner

Sowohl für Fußgänger als auch für Radfahrer wurde ermittelt, dass in jedem zweiten Unfall der Unfallgegner (in dem Falle das Ego-Fahrzeug) vor der Kollision gesehen wurde. Ermittelt wurde dies durch die Analyse des Videos in dem geprüft wurde, ob die Blickrichtung des Radfahrers oder Fußgänger in Richtung Ego-Fahrzeug sichtbar war. Der hohe Anteil an „gesehen“ zeigt aber auch, dass in den meisten Fällen keine Zeit oder Möglichkeit für eine angemessene Kollisionsvermeidung durch den Radfahrer oder Fußgänger bestand.

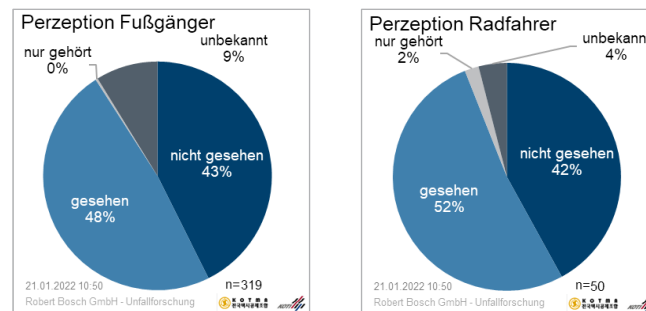


Abbildung 22: Perzeption des Unfallgegners

In Bezug auf das ATTENTION-Projekt ist die Haltung der Person bzw. sind die Bewegungsabläufe vor der Kollision sehr interessant. Wie die Analyse gezeigt hat, ändert ca. jeder dritte Fußgänger die Bewegungsart, was eine veränderte Vorspannung des Körpers bewirkt und damit die resultierende Verletzungsschwere verändern kann.

Ziel der Annotierung war in erster Linie die Unfälle entsprechend zu klassifizieren und die Videos mit Zeitstempeln zu versehen. Damit ist es nun möglich, Datensätze nach bestimmten Kriterien für die Weiterverarbeitung zu selektieren (z.B. nur Tag-Unfälle). Die erhobenen Zeitstempel ermöglichen es, dass der Algorithmus zur Bewegungserkennung nur die relevanten Frames (Unfallablauf bis zur Kollision) verarbeiten muss. Auch können die Ergebnisse in den Vergleich mit deutschen Unfallzahlen herangezogen werden, um bestimmte Szenarien näher zu beleuchten.

2.2.5 Signaldaten der Unfall-Videos

Ziel ist es die Trajektorien der relevanten ATTENTION Unfälle zu separieren und in AP5 anzuwenden. Dazu wurde in TAP2.1 die verfügbaren Signaldaten zu den Videos detaillierter aufbereitet. Zu jedem Video existiert eine zugehörige Messdatei mit einem spezifischen Format. Neben einem Header, welche Angaben zum Zeitpunkt und Ort liefert, der im Abstand von 1s aktualisiert wird, werden mittels eines Zeitstempels die Beschleunigungen in der Dashcam im Schritt von 25ms aufgezeichnet. Dabei ist folgende Referenz zugrunde gelegt:

GPS Datumsstempel – Datum – Uhrzeit [s] – Abtastung 1s			
GPS abgeleitete Geschwindigkeit in [km/h]			
Längengrad-Position			
Breitengrad-Position			
Höhengrad-Position			
Ausrichtung			
Satelliten Angaben			
Zeitstempel in [s] Abtastung 0,025s	Beschleunigung longitudinal a_x [m/s ²]	Beschleunigung lateral a_y [m/s ²]	Beschleunigung vertikal a_z [m/s ²]

Die folgende Abbildung zeigt ein Protokoll des Formats am Beispiel.

```

===== Valid GPS =====

GPS Time : 2010-04-24 13:34:28

Speed : 43.9(KM), 27.4(MPH)

Longitude : 126|Æ 40' 15.83" E

Latitude : 37|Æ 26' 55.12" N

Altitude : 22.9 m

Course : 95|Æ 30' (E)

HDOP : 1.1

satellites : 9

=====

==== OSD Time : 2010-04-24 13:34:27 ====

001-00 +0.094 -0.070 +0.961

001-01 +0.070 -0.094 +0.984

001-02 +0.117 -0.023 +1.031

001-03 +0.117 +0.000 +1.008

```

Abbildung 23: Protokoll der Messdatei eines videodokumentierten Unfalls

Zur Extraktion der Rohsignale (Beschleunigungen, GPS-Koordinaten, GPS-Geschwindigkeiten) wurden Tools geschrieben und angewendet. Für jeden Unfall sind damit getrennt die GPS-Position, die abgeleitete Geschwindigkeit, als auch die Beschleunigungssignale verfügbar. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft die extrahierten Informationen.

file_identifier	time	speed	GPS_Date	GPS_Time	GPS_Long	GPS_Lat	GPS_Altitude	GPS_Course	Time	X_ACC	Y_ACC	Z_ACC
201022606001054	0.000000	12.194444	2010-04-24	13:34:28	126.671064	37.448644	22.900000	95.500000	0.000000	-0.825163	-0.860001	-0.520269
201022606001054	1.000000	13.250000	2010-04-24	13:34:29	126.671214	37.448631	22.600000	96.183333	0.025000	-1.097685	-1.095360	-0.341384
201022606001054	2.000000	13.777778	2010-04-24	13:34:30	126.671369	37.448622	22.200000	96.000000	0.050000	-0.728485	-0.399088	-0.195805
201022606001054	4.000000	14.000000	2010-04-24	13:34:32	126.671686	37.448608	21.600000	93.933333	0.075000	-0.687381	-0.173535	-0.025971
201022606001054	5.000000	12.694444	2010-04-24	13:34:33	126.671836	37.448594	20.800000	96.733333	0.100000	-1.097685	-0.399088	-0.341384
201022606001054	6.000000	10.305556	2010-04-24	13:34:34	126.671961	37.448583	20.700000	97.200000	0.125000	-0.950261	-0.860001	-0.154701
201022606001054	7.000000	8.166667	2010-04-24	13:34:35	126.672061	37.448575	20.400000	98.616667	0.150000	-0.728485	-0.634448	-0.195805
201022606001054	8.000000	4.611111	2010-04-24	13:34:36	126.672189	37.448572	20.100000	86.583333	0.175000	-0.909158	-0.173535	-0.067075
201022606001054	9.000000	3.972222	2010-04-24	13:34:37	126.672228	37.448592	20.400000	56.483333	0.200000	-1.140575	-0.399088	-0.109966
201022606001054	10.000000	2.972222	2010-04-24	13:34:38	126.672236	37.448628	19.300000	17.066667	0.225000	-0.993152	-0.634448	-0.386120
201022606001054	11.000000	1.527778	2010-04-24	13:34:40	126.672225	37.448656	18.200000	10.133333	0.250000	-0.950261	-0.634448	-0.154701
201022606001054	12.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:43	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.275000	-1.140575	-0.634448	-0.109966
201022606001054	13.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:44	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.300000	-0.950261	-0.399088	-0.154701
201022606001054	14.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:45	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.325000	-0.728485	-0.399088	-0.195805
201022606001054	15.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:46	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.350000	-1.097685	-0.399088	-0.341384
201022606001054	16.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:47	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.375000	-1.224570	-0.399088	-0.343229
201022606001054	17.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:48	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.400000	-0.950261	-0.173535	-0.154701
201022606001054	18.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:49	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.425000	-1.319461	-0.634448	-0.382488
201022606001054	19.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:50	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.450000	-1.140575	-0.860001	-0.109966
201022606001054	20.000000	0.000000	2010-04-24	13:34:51	126.672197	37.448661	17.800000	0.000000	0.475000	-0.950261	-0.634448	-0.154701

Abbildung 24: Extrahierte GPS-Geschwindigkeit und Zeitstempel (links)

Abbildung 25: Herausextrahiertes GPS-Datum, Uhrzeit sowie Positionen und Ausrichtung (mitte)

Abbildung 26: Zeitstempel und Beschleunigungen für alle drei Raumrichtungen (rechts)

Visualisiert man die GPS-Koordinaten, so erhält man für die aufgezeichneten Fälle die Trajektorie, welche das Fahrzeug bis zum Zeitpunkt der Kollision gefahren ist. Die folgende Abbildung zeigt das exemplarisch für den obigen Lastfall. Zum Zeitpunkt des Unfalls ist neben der Person die Tankstelle zu sehen, die sich auch auf der Karte wiederfindet. Für das Projekt ist die relative Position zum Gegner entscheidend, so dass auf die Genauigkeit der absoluten Position verzichtet werden kann.



Abbildung 27: Rekonstruierte Trajektorie aus den GPS-Daten eines Beispielfalls (links)

Abbildung 28: Bild des Beispielfalls kurz vor Kollision (rechts)

Durch die fehlende Kalibrierung der Dashcams in den Fahrzeugen sind die Beschleunigungssignale unter Umständen mit einem Offset versehen. Dies kann unterschiedliche Ursachen haben, unter anderem:

- Intrinsischer Sensoroffset
- Statischer Winkeloffset in x, y, oder z durch die Geometrie der Sensorinstallation (Tilt)
- Dynamischer Winkeloffset in der x-z Ebene durch Rotationsgradienten
- Sensorposition relativ zur Rotationsachse des Taxis
- Vibrationen oder Temperaturschwankungen

Um Einzelkorrekturen zu vermeiden, wurden an allen verfügbaren Videodaten entsprechend die Korrekturen durchgeführt, um so den Fehler durch die große Anzahl der Signale gering zu halten. Da die Beschleunigungssignale bei Kollision den Sensorbereich erreichen, wurden für die Korrektur der Signale die ersten 3 Sekunden verwendet, um den Offset zu ermitteln. Beispielhaft dafür wird für die x-Richtung die Korrektur erläutert. In der folgenden Abbildung wird der Sachverhalt verdeutlicht. Anhand des Histogramms der Beschleunigungssignale sieht man zwei Offsets.

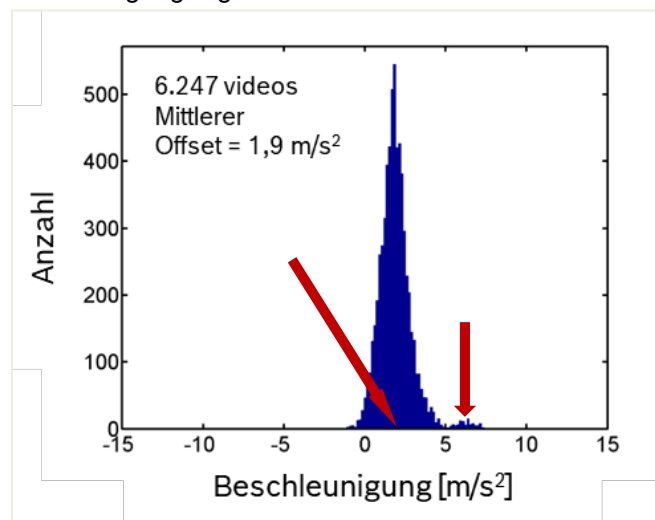


Abbildung 29: Histogramm der x-Beschleunigung von je 3 Sekunden aus 6.247 Videos

Der mittlere Offset wurde mit $1,9 \text{ m/s}^2$ ermittelt. Allerdings zeigt sich bei etwa 6 m/s^2 ein zweiter Offset, der vermutlich durch die Montage (Tilt) entstanden ist. Um den Winkel zu ermitteln wurde folgende Berechnung für alle drei Richtungen durchgeführt.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{x}{\sqrt{y^2 + z^2}}\right)$$

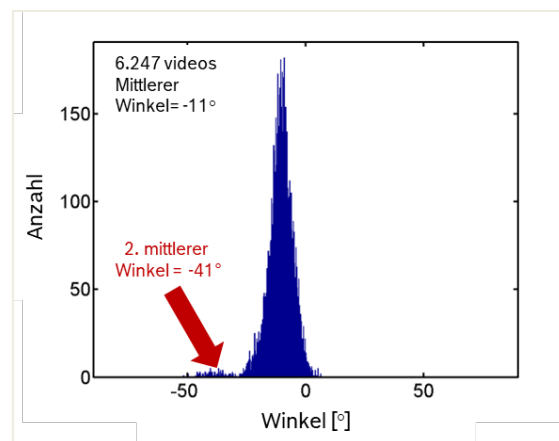


Abbildung 30: Histogramm Winkel aus den x-Beschleunigungen von je 3 Sekunden aus 6.247 Videos

Es zeigt sich, dass im Mittel die Videos um 11° in der x-z Ebene mit einem Offset behaftet sind und einige Videos in der x-z Ebene um 41° verzerrt sind. Das y-Beschleunigungssignals weist keine Verzerrungen bzw. Offset auf. Das z-Beschleunigungssignal jedoch ist im Mittel um $9,7\text{m/s}^2$ mit Offset behaftet. Die Ursache für die zwei verschiedenen Offsets liegt in der Montage der Kamera. Das System wird im Fahrzeug auf eine Montagehalterung fixiert, welche eine Variabilität von 0° bis 30° erlaubt. Gehäuse und Kameralinse selbst haben einen fixen Winkel von 15° . In Summe ergeben sich maximal bis zu 45° Einstellwinkel.

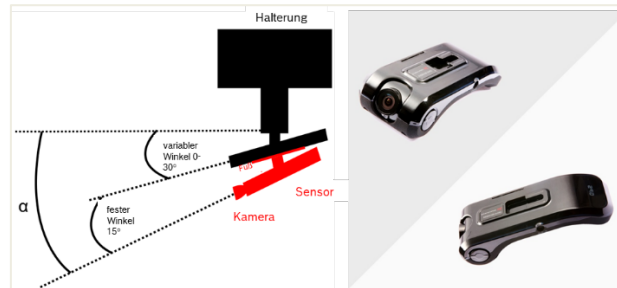


Abbildung 31: Halterung, Montage und Dashcam zur Erläuterung der unterschiedlichen Offsets

Um dies zu korrigieren wurden einige Messungen durchgeführt und Korrekturwerte ermittelt. Es wird angenommen, dass für die Sensoren, in denen die Beschleunigung $<5\text{m/s}^2$ aufweist eine Korrektur um 11° durchgeführt werden muss (1. mittlere Fehler) und für Fälle in denen die Beschleunigung $>5\text{m/s}^2$ aufweist eine Korrektur von im Mittel 41° angewendet werden muss. Wendet man die jeweiligen Korrekturen für alle drei Signale an, ergeben sich für alle Fahrzeugmessungen nun statische Zustände. Die folgenden Abbildungen zeigen die am Ende korrigierten Beschleunigungssignale für alle drei Raumrichtungen. Damit lassen sich im weiteren Verlauf die Beschleunigungssignale korrekturfrei anwenden.

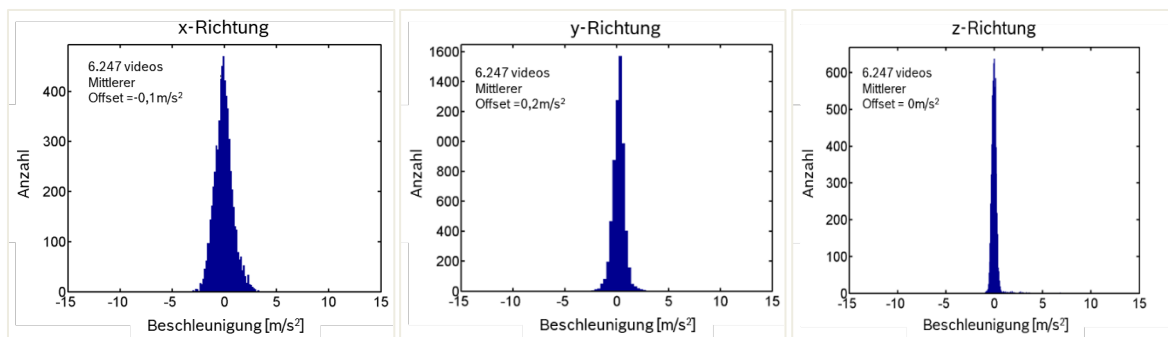


Abbildung 32: Korrigierte Beschleunigung x-Richtung (links), korrigierte Beschleunigung y-Richtung (mitte), korrigierte Beschleunigung z-Richtung (rechts)

Im Rahmen der Arbeitssitzungen in AP5 kam man im Jahr 2023 überein, dass die Umsetzung in ASAM OpenX Format wie z.B. OpenDrive aufgrund der geringen Anzahl von nur 32 Entitäten nicht notwendig ist und die Trajektorien der Fahrzeuge direkt vom Partner QM in AP5 verarbeitet werden. Dazu stellte RB dem Projektpartner die rekonstruierten Trajektorien der Fahrzeuge sowie korrigierte Beschleunigungsinformationen zur Verfügung.

2.2.6 Anonymisierung

Im Laufe der Bearbeitung von TAP2.1 zeigte sich, dass aufgrund der vorhandenen Videoauflösung der Videosequenzen (i.d.R. 640×480) und Bildrate von 5 Einzelbildern pro Sekunde sowohl Kennzeichen von im Video sichtbaren oder beteiligten Fahrzeugen nicht bzw. nur teilweise lesbar sind. Wie in 2.2.4 beschrieben, werden im Projekt nur die relevanten Videosequenzen bzw. Frames verarbeitet und es erübrigt sich dadurch eine weitere Anonymisierung der restlichen Videodaten (z.B. Folgefahrten, Standzeiten, Beteiligte und Unbeteiligte im Bild usw.). Durch die menschliche

Verarbeitung und Sichtung der Videos wurde dieser Sachverhalt überprüft. Aus der erwähnten geringen Auflösung erübrigt sich daher eine generelle Anonymisierung von Personen im Video, da Gesichter nicht detailliert erkannt bzw. rekonstruiert werden können. Bei Kollisionen mit Personen können diese sich allerdings sehr nah an die Kameraposition bewegen, was eine Anonymisierung in diesem Fall notwendig macht. Daher wurde dieser Sachverhalt weiterhin in TAP2.2. berücksichtigt.

Im weiteren Verlauf der Bearbeitung von TAP2.2., kam man mit dem Partner IMSB überein, dass durch die weitere Verarbeitung beim Projektpartner zusätzlich ein generisches Menschmodell (Body-Shape Methodik) über das Bild des Beteiligten geblendet wird, was eine Identifizierung unmöglich macht. Die angewandten Methoden stellen daher sicher, dass die Einzelbilder in Präsentationen, Publikationen oder Projektberichten ausreichend anonymisiert sind, sodass keinerlei Rückschlüsse auf am Unfall beteiligte Personen möglich sind.

Weiterhin wurde zusammen mit dem Projektpartner IMSB beschlossen, dass der Schritt der Anonymisierung vor der eigentlichen Gelenkwinkelextraktion und der Anwendung des Body-Shaping für den weiteren Verlauf des Projekts ausgesetzt werden kann. Dennoch ist sichergestellt, dass keine Person identifiziert werden kann.

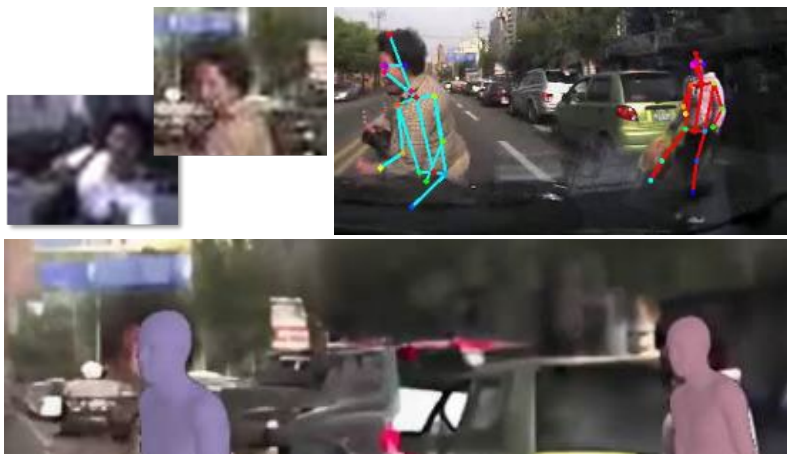


Abbildung 33: TAP2.2. Anonymisierung durch die Body-Shape Methodik nach der Gelenkwinkelextraktion

2.2.7 GIDAS Unfalldatenbank

Nachdem im bisherigen Verlauf die Auswertung der als Grundlage dienende KOTI Datenbank (Korea – videodokumentierte Unfälle – vgl. Kapitel 2.2.2 - 2.2.4) durchgeführt wurde, ist im weiteren Verlauf die Relevanz der in ATTENTION betrachteten Unfälle für Deutschland näher untersucht worden. An dieser Stelle sei nochmal erwähnt, warum als Ausgangsbasis die videodokumentierten Unfälle aus Korea herangezogen wurden. Die KOTI-Datenbank liefert als einzige verfügbare Datenbank Videodaten aus Egofahrzeugsicht zum Unfallablauf. Diese können dann im Verlauf des Projektes als theoretische Videosensordaten nachverarbeitet werden. Die KOTI Daten stellen allerdings keine repräsentative Stichprobe dar. Dies gilt für Korea (nur Unfälle mit Taxi-Beteiligung) und letztendlich auch für Deutschland. Daher ist eine Analyse einer für Deutschland repräsentativen Datenbank notwendig, um sicherzustellen, dass die untersuchten Szenarien auch für Deutschland relevant sind. Die Analyse der Datenbank GIDAS (German In-Depth Accident Study) wurde repräsentativ für Deutschland durchgeführt. Dies beinhaltet, dass die in GIDAS enthaltenen Unfälle (GIDAS verwendeter Datensatz 2001-2021 n=39 896 / analysiert 2005-2021 n=30 342) mit Hilfe von Daten des Statistischen Bundesamtes Deutschland [8] (offizielle Veröffentlichung und Sonderanfragen) auf Deutschland gewichtet werden. Wie im Kapitel 2.2.1 beschrieben, ergibt sich eine Relevanz der in ATTENTION betrachteten Unfälle für rund 31 000 Unfälle mit Personenschaden bezogen auf das Jahr 2020 (Abbildung 35).

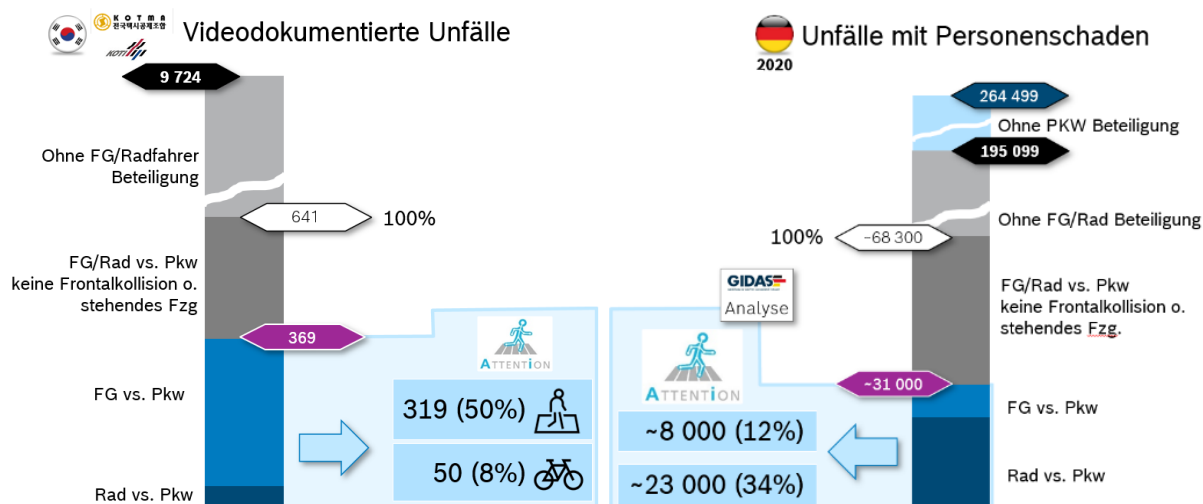


Abbildung 34: (links) Wirkungsfeld ATTENTION im verwendeten KOTI Datensatz

Abbildung 35: (rechts) Wirkungsfeld ATTENTION im Unfallgeschehen von Deutschland 2020 (GIDAS, DESTATIS)

Im Unterschied zu KOTI ist GIDAS eine sehr umfangreiche retrospektive Datenbank. Unfälle werden nach einer Unfallmeldung durch die Rettungsleitstellen/Polizei direkt angefahren und erhoben. Es erfolgt eine sehr detaillierte Dokumentation der Unfallstelle, Unfallfahrzeuge, Verletzungen und vieles mehr. Nach erfolgter Vorortaufnahme wird der erhobene Unfall intensiv nachverarbeitet, so dass eine Unfallrekonstruktion, Unfallskizze und bis zu 3 000 Einzelinformationen in digitaler Form vorliegen. Nachfolgend ist ein Auszug der digitalen Bildakte dargestellt (Abbildung 36 und Abbildung 37).

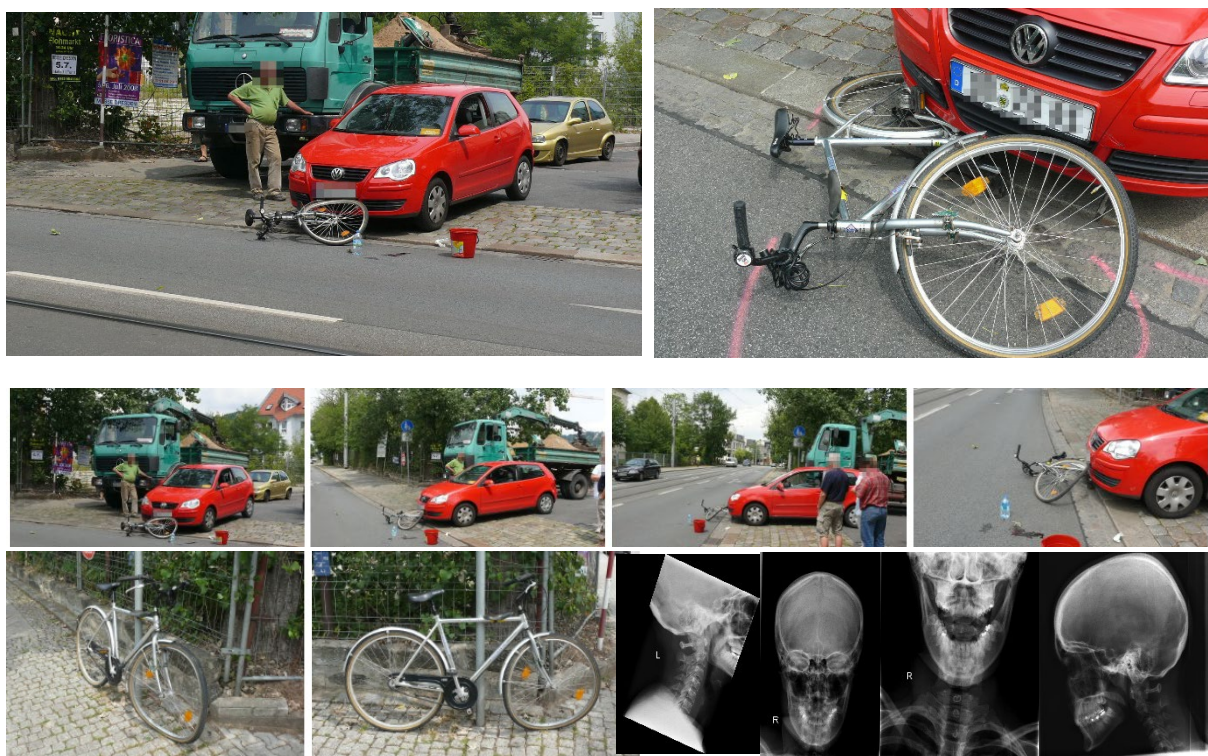


Abbildung 36: Auszug Bildakte GIDAS Fall 1080443

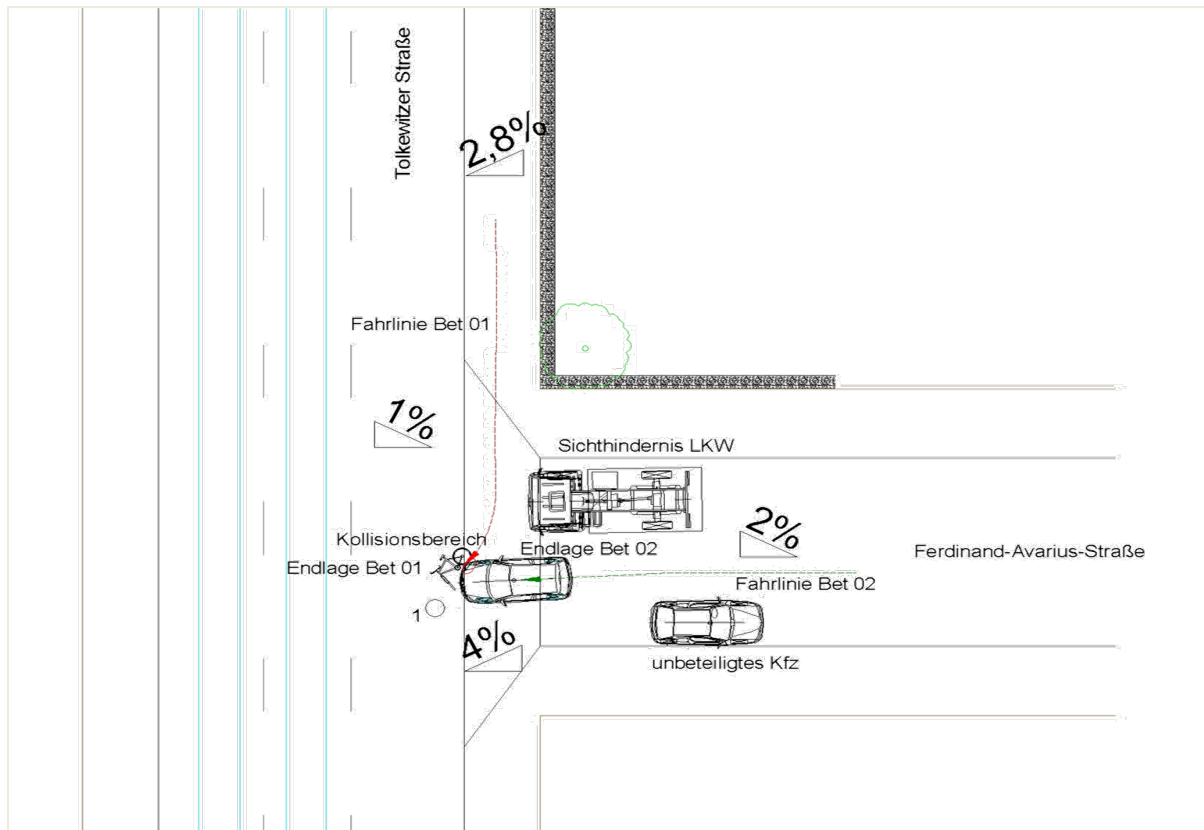


Abbildung 37: Auszug Bildakte GIDAS Fall 1080443 – Maßstäbliche Unfallskizze

Durch die Nutzung der Unfalldatenbank GIDAS in Verbindung mit den Daten des statistischen Bundesamtes können nun Aussagen über die Relevanz im deutschen Unfallgeschehen getätigt werden. Es wird ermöglicht, weitere Details über die für ATTENTION relevanten Unfälle zu ermitteln, welche mit den reinen Daten der amtlichen Unfallstatistik nicht ermittelbar wären. Außerdem ergibt sich die Möglichkeit, die zu Grunde liegenden Unfälle aus KOTI für Deutschland einzuordnen. Beispielsweise ergeben sich Unterschiede in der Häufigkeit von Unfalleigenschaften, welche relevant für den weiteren Projektverlauf sind.

In Abbildung 38 ist die ermittelte Ortslage der Unfälle für Deutschland dargestellt. 93% der projektrelevanten Unfälle ereignen sich im innerstädtischen Umfeld. Im Vergleich zu den Videodaten aus Korea ergibt sich da ein ähnliches Bild (96% in KOTI vgl. Kapitel 2.2.4).

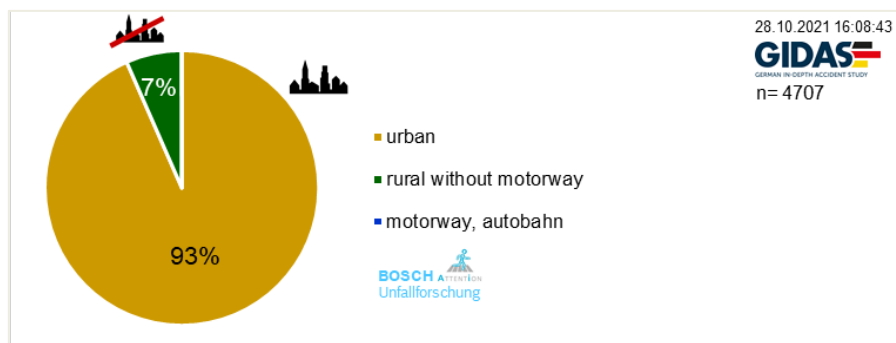


Abbildung 38: Ortslage – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Große Unterschiede zwischen KOTI und GIDAS (repräsentativ für Deutschland) gibt es in den Tageszeiten. Bei den Videodaten aus Korea fanden 64% der Unfälle bei Dunkelheit statt. In Deutschland liegt der Anteil an relevanten Unfällen bei Nacht bei 16% und Dämmerung bei 8%. Aus den Unfalldaten aus Deutschland lässt sich daher ableiten, dass der Fokus vor allem auf Unfälle bei

Tageslicht gesetzt werden kann. Dies ist insbesondere hilfreich, da bei den Videodaten aus Korea die Unfälle bei Nacht meist in deutlich schlechterer Bildqualität vorliegen, sodass die Weiterverarbeitung schwierig bis unmöglich wird.

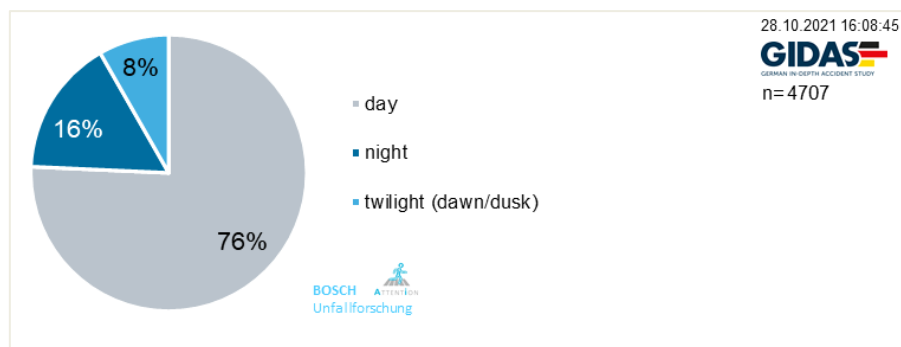


Abbildung 39: Lichtverhältnisse – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Bei Projektbeginn lag der Fokus von ATTENTION in erster Linie bei Fußgängerunfällen und weniger bei Kollisionen mit Radfahrern. Die Analyse der aufgebauten KOTI Datenbank bestätigte dies mit einer Verteilung von 319 (86%) relevanten Fußgängerunfällen zu 50 (14%) Radfahrerunfällen. Für Deutschland zeigt die Unfallanalyse eine gegenteilige Verteilung (Abbildung 40). 71% der relevanten Unfälle sind durch eine Radfahrerkollision gekennzeichnet. Der Anteil von 29% Fußgängerunfällen nimmt daher weniger als ein Drittel der relevanten Unfälle ein. Wie bereits in Abbildung 35 dargestellt entspricht das ca. 8 000 PKW/Fußgänger und ca. 23 000 PKW/Radfahrer-Unfällen in Deutschland pro Jahr bezogen auf 2020. Die Wichtigkeit der Untersuchung von Radunfällen wurde daher im Projektverlauf recht schnell erkannt und entsprechend weiter berücksichtigt.

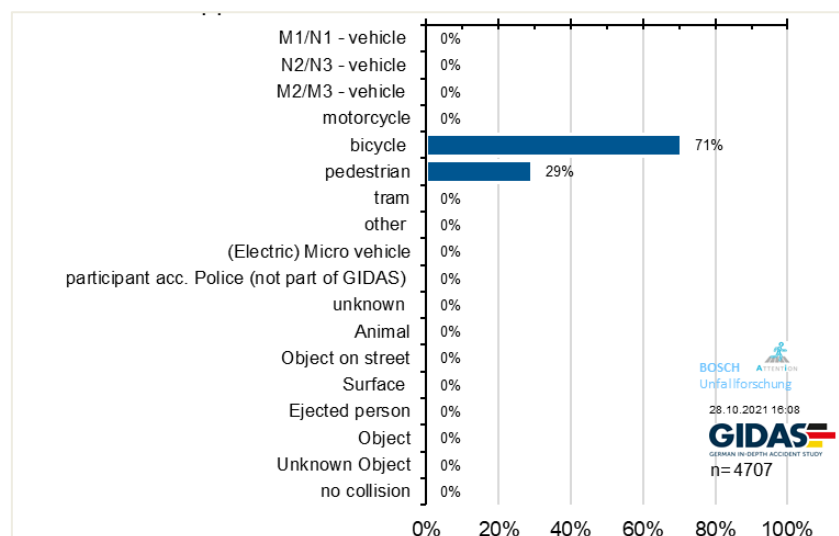
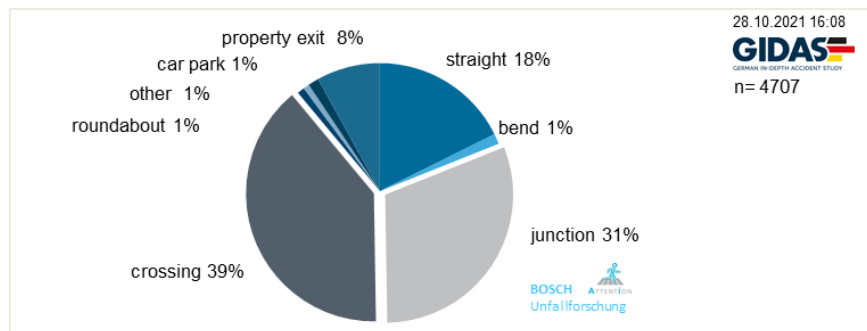


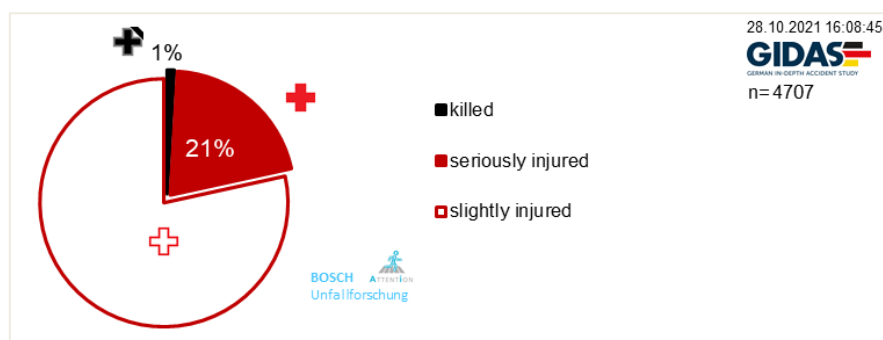
Abbildung 40: Kollisionsgegner – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Die Unfallstelle der ATTENTION relevanten Unfälle befindet sich in Deutschland zum überwiegenden Anteil an Kreuzungen (39%) und Einmündungen (31%). Relevante Unfälle auf freier und gerader Strecke sind mit 18% registriert. In den Videodaten aus Korea ist bei den Radfahrerunfällen ein Anteil Kreuzung/Einmündung von zusammen 60% festgestellt worden. Bei Fußgängerunfällen lag der Großteil auf freier Strecke (gerade) bei 73%, was auf den sehr hohen Anteil an Nachtunfällen zurückzuführen ist.



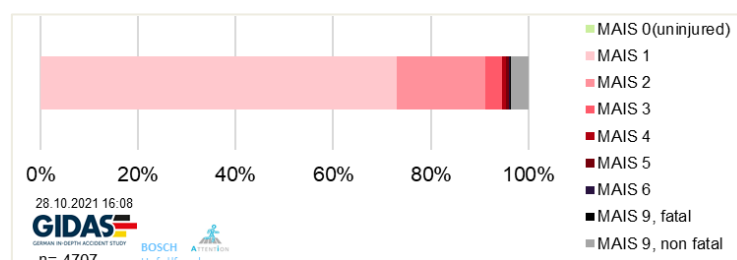
Abbildungung 41: Unfallstelle im Straßennetz – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Ein großer Unterschied zu den Videodaten aus Korea ist, dass in GIDAS umfangreiche retrospektive Informationen vorhanden sind, wohingegen die Informationen der KOTI-Datenbank zum größten Teil aus der Analyse des Videofiles stammen. GIDAS liefert daher sehr detaillierte Informationen zu Verletzungen der Personen im Unfall. Dies wird insbesondere im späteren Verlauf des Projektes wichtig, wenn beispielhaft ein simulierter Unfall mit einem äquivalenten realen Unfall verglichen wird. In Deutschland sind rund 1% der relevanten Unfälle durch einen tödlichen Verlauf gekennzeichnet. Dies entspricht für das Jahr 2020 ca. 310 getötete Verkehrsteilnehmer. Bei 21% (~6 500 Unfälle im Jahr 2020) mussten die verletzten Personen stationär behandelt werden (Abbildungung 42).



Abbildungung 42: Verletzungsschwere Kollisionsgegner (Hospitalisierung) – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Durch die detaillierte Beschreibung der Verletzungsmuster ist in GIDAS auch die Einteilung der Verletzungsschwere nach AIS (Abbreviated Injury Scale [43]) bzw. MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale, Grundlage 08/2015) möglich. Der MAIS gibt die maximale Einzelverletzung pro Person an und dient als eine Grundlage um die Gesamtschwere ausgewählter Unfälle zu betrachten. Damit kann im weiteren Verlauf auch ein Vergleich zu simulierten Verletzungsmustern durchgeführt werden (Abbildungung 43).



Abbildungung 43: Verletzungsschwere Kollisionsgegner MAIS Rev. 15 – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

2.2.8 Veröffentlichungen

Die Ergebnisse aus AP2, wurden projektweit verteilt und direkte Folgearbeiten in den Arbeitspaketen 3 bis 5 aufgenommen. Im Bearbeitungszeitraum von AP2 wurden zwei Veröffentlichungen erstellt. Im ersten Konferenzbeitrag [44] wurde die im Vergleich zum Stand der Forschung vor Projektbeginn detailliertere Vorkollisionsphase vorgestellt, insbesondere in Hinsicht der Verhaltens- und Reaktionsmuster von Fußgänger und Radfahrer. Dazu wurden die Abwehrhaltungen kurz vor der Kollision ermittelt, aus der sich auf die Muskelaktivität schließen lässt, die potenziell für verschiedene Verletzungsschweren relevant ist. Die Ergebnisse wurden auf dem *airbag 2022 Symposium* in Mannheim vorgestellt.

Die in TAP2.1 erarbeiteten Resultate sind dort veröffentlicht, diskutiert und entsprechend bewertet. Folgende Abbildungen 1-10 sind darin enthalten.

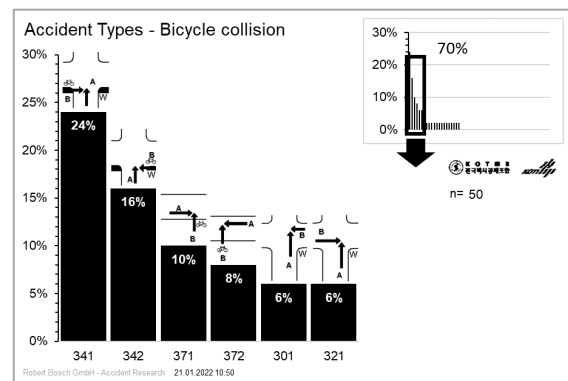
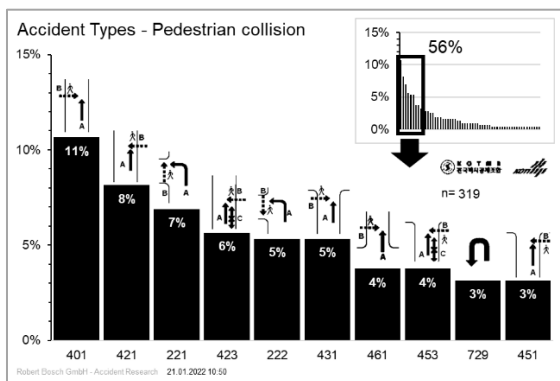


Abbildung 44 (links): Unfalltypenverteilung für Fußgängerunfälle KOTI n=319 (Verteilung)

Abbildung 45 (rechts): Unfalltypenverteilung für Radfahrerunfälle KOTI n=50 (Verteilung)

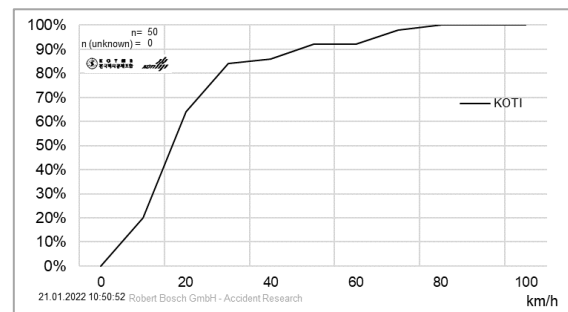
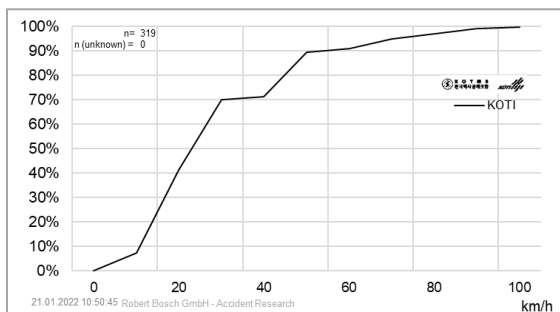


Abbildung 46 (links): Ermittelte Kollisionsgeschwindigkeit für Fußgängerunfälle KOTI n=319 (Verteilung)

Abbildung 47 (rechts): Ermittelte Kollisionsgeschwindigkeit für Radfahrerunfälle KOTI n=50 (Verteilung)

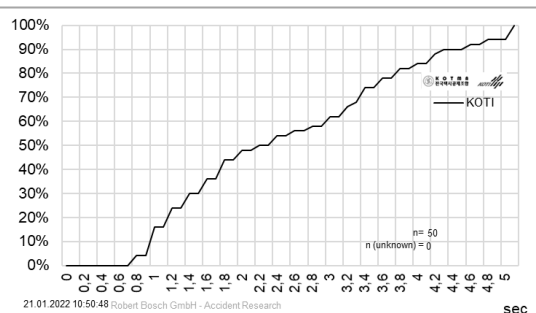
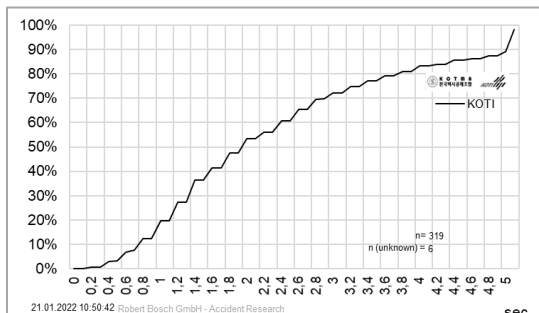


Abbildung 48 (links): Ermittelte Zeit bis zur Kollision für Fußgänger (TTC) KOTI n=319 (Kumulierte Verteilung)

Abbildung 49 (rechts): Ermittelte Zeit bis zur Kollision für Radfahrer (TTC) KOTI n=50 (Kumulierte Verteilung)

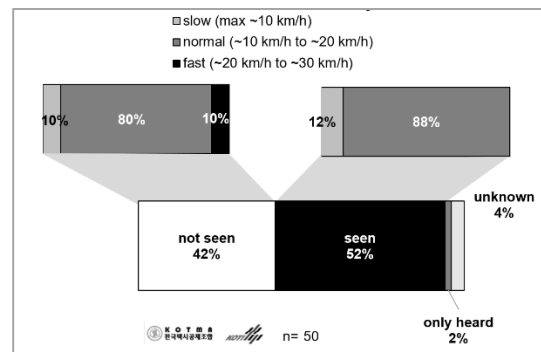
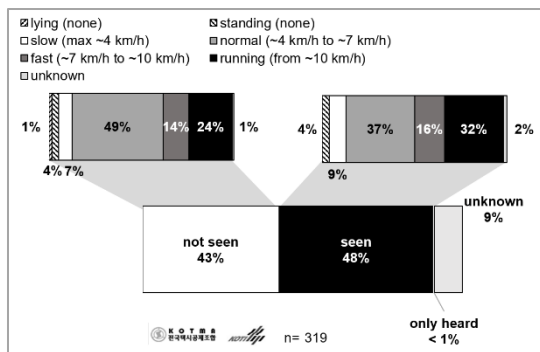


Abbildung 50 (links): Verhalten und Wahrnehmung von Fußgänger vor der Kollision KOTI n=319

Abbildung 51 (rechts): Verhalten und Wahrnehmung von Radfahrer vor der Kollision KOTI n=50

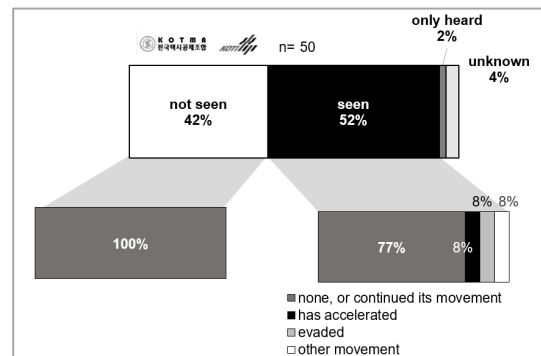
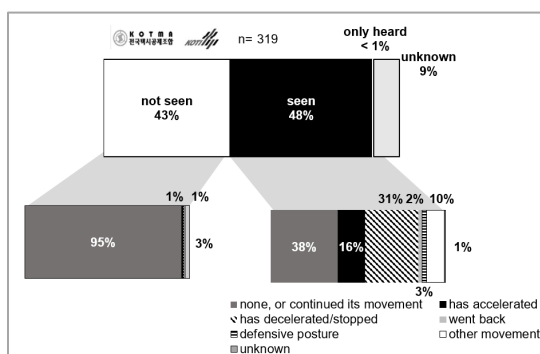


Abbildung 52 (links): Fußgänger-Reaktion in Abhängigkeit der Wahrnehmung unmittelbar vor Kontakt KOTI n=319

Abbildung 53 (rechts): Radfahrer-Reaktion in Abhängigkeit der Wahrnehmung unmittelbar vor Kontakt KOTI n=50

Für eine weitere Veröffentlichung wurde intensiv mit dem IMSB der Universität Stuttgart zusammengearbeitet und Ergebnisse produziert [45]. Diese Publikation setzte auf der ersten Veröffentlichung auf und beschreibt ein Verfahren zur objektiven Klassifizierung der vorkollisionären Positionen eines VRU mittels Cluster-Kriterien. Zentrales Ergebnis sind mittlere Positionen in der Phase vor dem Crash, die in den folgenden Human-Body-Simulationen verwendet wurden. Es ist naheliegend, dass bei mehreren verwertbaren Entitäten mehr Posen und in Folge mehrere Cluster zu identifizieren sind. Diese Arbeiten werden in Kapitel 2.3 näher beschrieben.

2.3 AP3 KI-basierte Erzeugung und Klassifizierung der VRU Bewegung

Es wurde aus den Skelettdaten ein HBM-Pendant identifiziert. Dazu wurden die relevanten Einzelbilder der verwertbaren Videodaten sowie deren ermittelten HBM Pendant verglichen. Im Juni 2022 wurde auf dem Campus der Universität Stuttgart zusammen mit IMSB die Videos sowie deren extrahierten HBM Positionen aufwändig in einer Einzelfallbetrachtung bewertet. Ziel dieser Bewertung war es u.a. zu prüfen, ob die ermittelten HBM Pedante den Positionen der Personen auf den Unfallvideos entsprechen. Diese Prüfung erfolgte sowohl für den Fußgänger als auch für den Radfahrer. Nach der visuellen Vergleichbarkeitsprüfung wurden alle zuvor als brauchbar klassifizierten Videos als „geeignet“ bewertet. Nur vereinzelte Frames wurden herausgenommen, die aber keinen Einfluss auf das Gesamtergebnis hatten. Damit wurden alle „Subjekte“, sprich Entitäten für die Erstellung einer mittleren Unfallposition verwendet. Dies wurde von IMSB durchgeführt, was eine Grundlage in AP4 ist.

In Vorbereitung des visuellen Abgleiches wurden mit dem Projektpartner IMSB die Videodaten und Zeitstempellisten ausgetauscht. Dafür mussten die Videos der für ATTENTION relevanten Unfälle aus der KOTI-Datenbank (319 Fußgängerkollisionen, 50 Fahrradkollisionen) weiter genauer analysiert

werden, um für die Weiterverarbeitung entsprechend geeignete Videos zu selektieren. Kriterien waren dabei: Videosequenzlänge (Vorkollision bis Kollision), ausreichend Videoframes, geeignete Qualität (z.B. Helligkeit bei Nacht), Sichtbarkeit des VRUs. Für alle ausgewählten Unfälle (8 Fahrradkollisionen und 55 Fußgängerkollisionen) mussten die Zeitstempel der jeweiligen Ereignisse im Unfall ermittelt werden (Zeitpunkt der ersten Sichtbarkeit, Zeitpunkt der Kollision, Zeitpunkt des Sequenzendes, Definition des Sequenzendes), siehe Abbildung 54. Dies erfolgte in einer aufwändigen manuellen Analyse (Prüfung der Einzelframes) für die 63 Videos.

FALL	VID_INIT_TIME	VID_COL_TIME	VID_END_TIME	VID_END_TIME_DEF
201017736	3,8	9	10,2	Ego in Endlage (Gegner nicht sichtbar)
201019251	4,4	8,8	11,2	Kollisionsgegner in Endlage
201019597	9,6	10,2	11,8	Ego in Endlage (Gegner nicht sichtbar)
201022606	6,6	10,2	12	Kollisionsgegner in Endlage
201022640	7,4	8,6	11,4	Ego in Endlage (Gegner nicht sichtbar)
201024373	8,2	9,4	11,2	Kollisionsgegner in Endlage
201026756	2	9,4	11	Kollisionsgegner in Endlage
201028698	9	10,6	12	Ego in Endlage (Gegner nicht sichtbar)

Abbildung 54 Auszug der Zeitstempelliste

Die Zeitstempelliste und die dafür entsprechend aufwändige Analyse der Videos war notwendig, um dem Projektpartner IMSB eine Weiterverarbeitung der Videos zu ermöglichen. Eine direkte Nutzung der Videos (ohne die Informationen wie in Abbildung 54 dargestellt) war unmöglich, da die Einzelvideos keine definierten Start- und Endpunkte aufweisen. Es handelt sich um Videosequenzen von wenigen Sekunden bis teilweise bis zu 20min nicht relevanter ohne besondere Vorkommnisse. Dabei konnte sich die relevante Szene am Anfang, in der Mitte bzw. am Ende des Videos befinden.

Anhand der ermittelten Zeitstempellisten konnten die relevanten Szenen der Videos vom Partner IMSB in Einzelframes extrahiert werden und die Berechnung der Bewegungsvorhersage bzw. Posenermittlung erfolgen.

Zur Prüfung der Bewegungsvorhersage in TAP3.3 wurden exemplarische Beispielfälle zusammen mit dem IMSB identifiziert, anhand derer die ATTENTION Methode bis hin zum Demonstrator verwendet werden soll. Die dazugehörigen anonymisierten Videos, Posen und Bewegungsmuster wurden den anderen Partnern für die Dauer des Projekts zur Verfügung gestellt. Ziel war es, einen Vergleich des HBM-Bewegungsablaufes (-und dessen Positionen) zum Realunfall zu ermöglichen. Da keine Ground-Truth im Sinne eines vermessenen Realunfalls existiert, basiert der Vergleich auf rein optischer Übereinstimmung des HBM-Pendants zum VRU im Video bzw. aus der anschließenden Skelettierung.

Es wurde die Publikation für die 27. ESV-Konferenz (Enhanced Safety Vehicle) zusammen mit dem Partner IMSB verfasst [45]. Die Publikation umfasst 19 Seiten und beschreibt Arbeiten aus AP2 und AP3. Kern der Veröffentlichung ist es, ein Verfahren vorzustellen, wie aus einzelnen Posen Cluster erstellt werden können, die repräsentativ für einzelne Verhaltensmuster stehen wie z.B. eine „Salzsäule“. Die Präsentation vor Ort wurde von Bosch durchgeführt. Aufgrund der Tatsache, dass erstmals Posen von Fußgänger kurz vor Kollision gezeigt und geclustert wurden, entstand die Diskussion um die Notwendigkeit der Nutzung derartiger Posen bei der Entwicklung von zukünftigen Fahrzeugsicherheitssystemen.

Im Kern geht es um die Frage, warum beim Nachstellen von Unfallsituation immer Abweichungen von tatsächlichen Verletzungsmuster zu beobachten sind. Unter anderem ist das Verhalten sowie die Pose mit aktiver Muskelanspannung der VRU zum Zeitpunkt der Kollision eine mögliche Ursache. Daher sehen sowohl die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als auch die Behörde aus den USA der National Highway Safety Administration (NHTSA) das Potenzial, zukünftig derartige geclusterte Posen

mit unterschiedlichen Muskelaktivitäten im Rahmen von aktiven Menschmodellen bei der Simulation zu berücksichtigen. Damit hat die Veröffentlichung unter anderem bewirkt, dass langfristig weitere Anstrengungen unternommen werden, mehr das reale Verhalten bei ungeschützten Verkehrsteilnehmern bei Unfällen zu berücksichtigen. Erneut zeigt sich das Potential der ATTENTION Methode mittels AI-Anwendungen das reale Verhalten auf die simulative Welt zu übertragen. Die Abbildung 55 Verfahren zur Clusterbildung für repräsentative Posen aus den videodokumentierten Unfällen extrahierten Posen im ATTENTION Kontext zeigt ein Auszug aus der Präsentation.

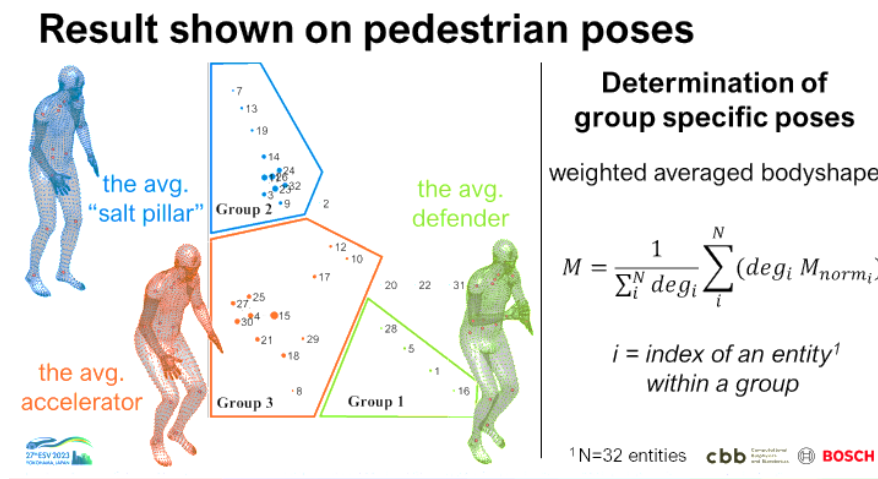


Abbildung 55 Verfahren zur Clusterbildung für repräsentative Posen aus den videodokumentierten Unfällen extrahierten Posen im ATTENTION Kontext

2.4 AP4 KI-basierte Prognose von Verletzungswerten

Die GIDAS Datenbank wurde für nachfolgende Analysen entsprechend vorbereitet. Das Wirkungsfeld von ATTENTION ist in den Datensätzen entsprechend abgebildet (siehe Kapitel 2.2.7), indem relevante Unfälle für die Detailuntersuchung markiert wurden. Es wurden Vorabanalysen durchgeführt, um eine Orientierung für die FE Impaktsimulation zu bekommen. Dazu wurden die im realen Unfallgeschehen verunfallenden Fahrzeugmodelle nach Häufigkeit untersucht, um ein möglichst passendes verfügbares FE-Fahrzeugmodell für die spätere Simulation zu wählen. Die Ergebnisse wurden in einer EXCEL Liste an den Projektpartner Fraunhofer EMI übermittelt.

Auf Basis der aktuellen Unfallstatistik von DESTATIS und der GIDAS Fallauswahl ist die Bestimmung des Wirkungsfeldes für Deutschland möglich (siehe Kapitel 2.2.7). Durch die Implementierung und Anwendung der Auswahlkriterien von ATTENTION in GIDAS war es im weiteren Verlauf des Projektes nun möglich, genauere Analysen zu Kollisions- und Verletzungsabläufen durchzuführen.

Im weiteren Verlauf wurde GIDAS hinsichtlich der Simulationsgrenzen analysiert. D.h. mit Hilfe von GIDAS wurden die Parameterbereiche der Simulation anhand von realen Unfalldaten ermittelt. Beispiele sind dafür Kollisionsgeschwindigkeiten, Kollisionswinkel oder Kontaktpunkte. Die GIDAS Analyse der ATTENTION relevanten Unfälle zeigte recht früh, dass es sinnvoll ist, eine Fallunterscheidung von PKW vs. Fußgängern und PKW vs. Radfahrern zu machen. Die Unfälle unterscheiden sich deutlich in einigen Kenngrößen wie Kollisionsgeschwindigkeiten, Anprallwinkel und Verletzungsmustern. Da bei der FEM-Simulation in AP4 zusätzlich auch das Fahrradmodell erstellt wurde, erfolgen die Analysen jeweils für Radfahrer-kollisionen, Fußgänger-kollisionen bzw. alle ATTENTION relevanten Unfälle zusammen.

2.4.1 Fußgänger-kollisionen in allen ATTENTION relevanten Fällen

Mehr als 1 340 Unfälle in GIDAS konnten bei ATTENTION relevanten Fußgänger-kollisionen analysiert werden.

PKW Kenngrößen

Eine primäre Einflussgröße bezüglich Verletzungen bei Fußgängerkollisionen ist die Kollisionsgeschwindigkeit der Egofahrzeuge (PKW). Diese lag im Mittel bei 27 km/h bzw. im Median bei 24 km/h (Abbildung 56).

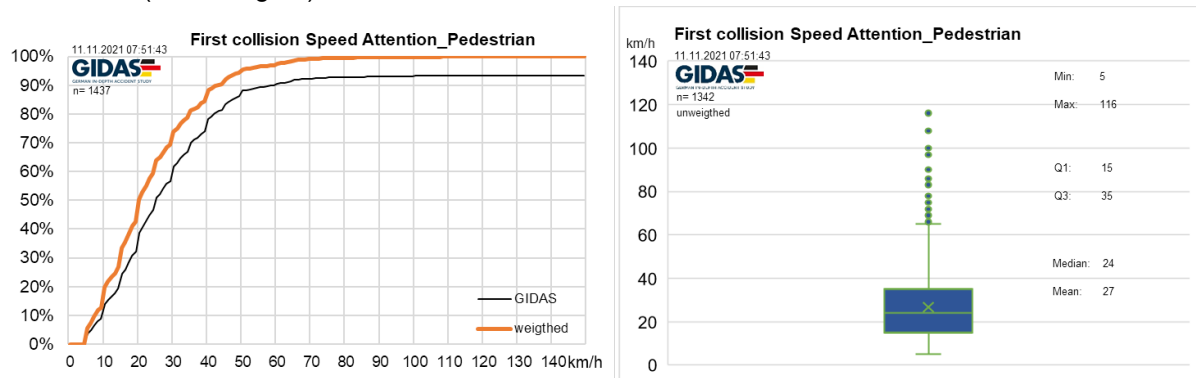


Abbildung 56: Kollisionsgeschwindigkeit Ego, Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

Das Fahrzeugverhalten bei Fußgängerunfällen für ATTENTION kann dabei in 3 Gruppen eingeteilt werden. Fahrzeuge, welche zum Zeitpunkt der Kollision bzw. vor der Kollision bremsen (58%), Fahrzeuge, welche erst nach Kollision bremsen und somit vor der Kollision eine konstante Geschwindigkeit aufweisen (31%) und Fahrzeuge, welche vor der Kollision beschleunigen wie beispielsweise bei einem Anfahrvorgang (11%).

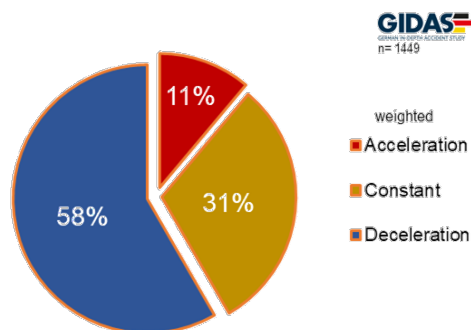


Abbildung 57: Reaktionsverhalten Ego bei Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

In der Abbildung 58 ist die Verteilung dargestellt, wobei in der Boxplot-Darstellung die anfahrenden Fahrzeuge exkludiert worden sind, da eine gesonderte Betrachtung bei dem Mittelwert und Medianbildung sinnvoll ist. Ein Unfallszenario mit einem anfahrenden Fahrzeug und einem konstant fahrenden/bremsenden Fahrzeug unterscheidet sich deutlich aufgrund der sehr unterschiedlichen Ausgangsgeschwindigkeiten. Das Anfahren erfolgt meist aus dem Stillstand, daher sind in diesen Fällen die Kollisionsgeschwindigkeiten sehr gering.

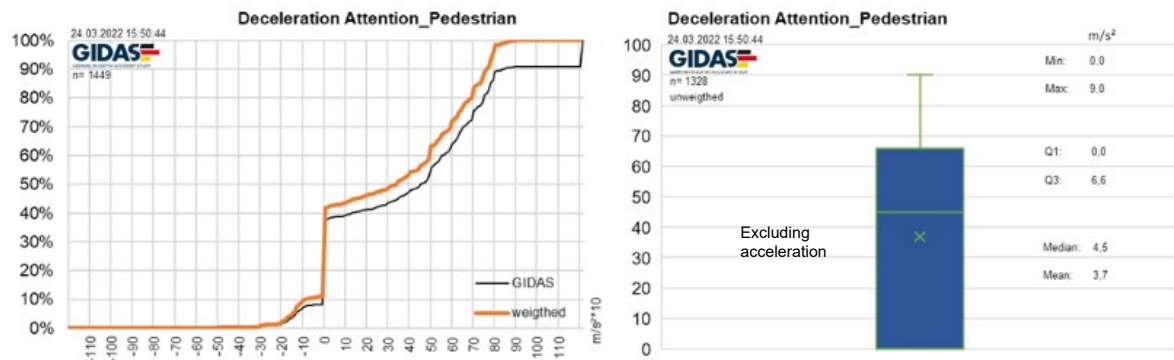


Abbildung 58: Verzögerung Ego bei Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

Bei der Kontaktstelle an der Fahrzeugfront zeigt sich für Fußgänger, dass die gesamte Fahrzeugbreite berücksichtigt werden sollte. Die Annäherungsrichtung bei den relevanten Unfällen mit Fußgängern ist bei über 60% entweder 90° von links oder rechts (Abbildung 59).

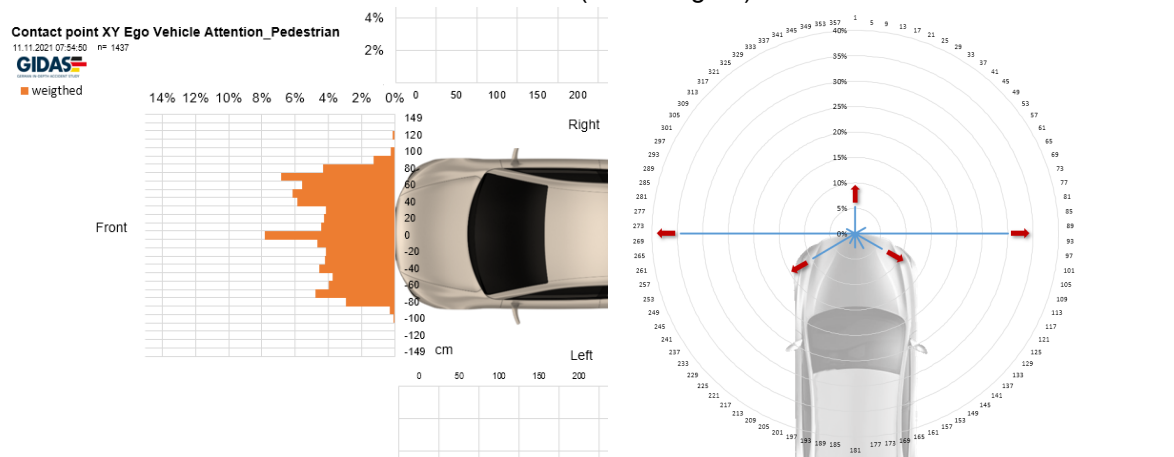


Abbildung 59: Anprallposition Ego bei Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Fußgängergeschwindigkeit – Verletzungsübersicht

Die Auswertung von GIDAS liefert neben den Informationen zu den EGO-Fahrzeugen (im Falle von ATTENTION der PKW) auch Informationen zum Verhalten des Fußgängers selbst. Die Rekonstrukteure ermitteln anhand von Beschreibungen der Unfallbeteiligten und entsprechenden Personeneigenschaften (Alter, Gehverhalten - Abbildung 61) die angenäherte Geh-/Laufgeschwindigkeit im Unfall (Abbildung 60). Im Mittel kollidiert ein Fußgänger mit 5 km/h mit der Fahrzeugfront in ATTENTION-relevanten Situationen.

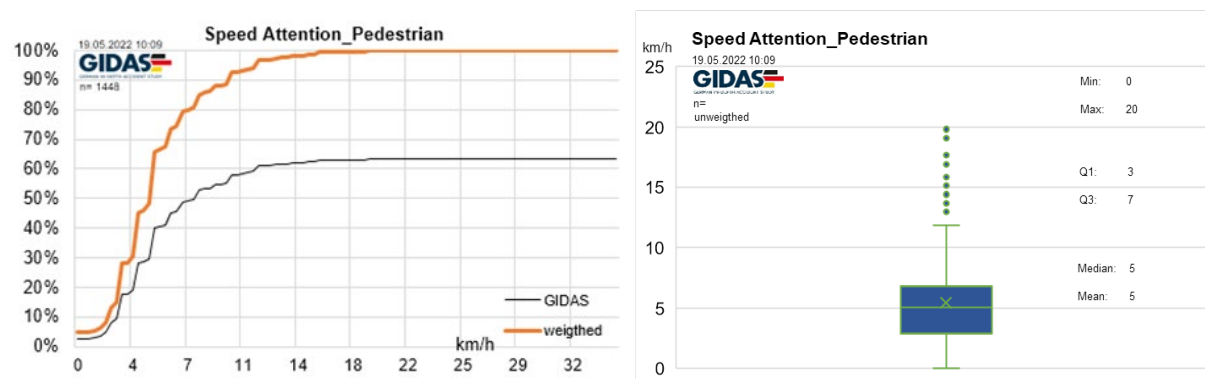


Abbildung 60: Geschwindigkeit Fußgänger – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

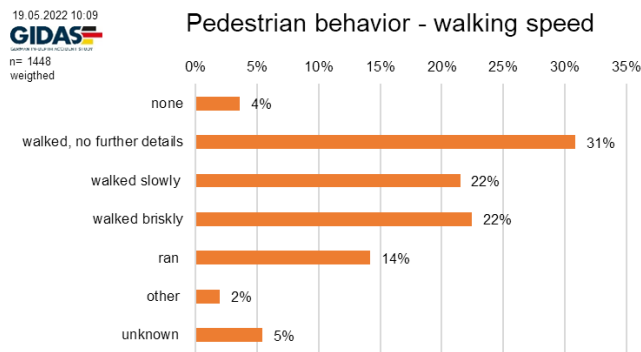


Abbildung 61: Gehverhalten Fußgänger – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Das Verletzungsmuster in *Abbildung 62* zeigt die Verteilung der Verletzungen von Fußgängern nach AIS Körperregionen. 77% der verunfallten Fußgänger in ATTENTION-relevanten Unfällen erleiden eine Verletzung an den unteren Extremitäten. Der hohe Anteil ist vor allem damit zu erklären, dass der Erstkontakt mit dem Fahrzeug in der Regel mit der Kollision der Fahrzeugfront und den Beinen erfolgt. Bei 47% der Fußgänger wurde eine Verletzung der oberen Extremitäten festgestellt. Insbesondere die Abrollbewegung des Oberkörpers auf der Motorhaube bzw. der Sturz auf den Untergrund führt zu diesen Verletzungen. 34% der Personen erleiden eine Kopfverletzung, welche meist durch Kontakt mit der Frontscheibe hervorgerufen wird und in einigen Fällen auch durch den anschließenden Sturz auf die Straßenoberfläche verursacht werden kann.

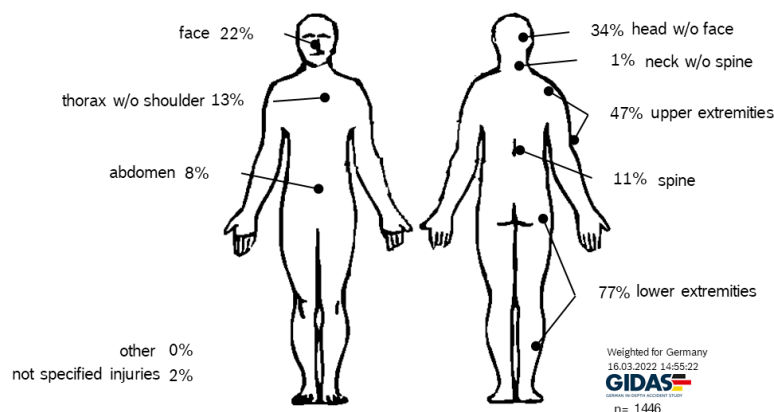


Abbildung 62: Verletzungsregion Fußgänger - Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

2.4.2 Radfahrererkollisionen in allen ATTENTION relevanten Fällen

Neben den Fußgänger als Kollisionskontrahent wurde für ATTENTION auch Radfahrerkonflikte als wichtig identifiziert. Da Radfahrerkonflikte sich in Art und Weise deutlich von Fußgängerkonflikten unterscheiden können, wurde eine Fallunterscheidung durchgeführt.

PKW – Kenngrößen

Ein wesentlicher Unterschied ist die Kollisionsgeschwindigkeit des PKW. Die GIDAS Analyse zeigte, dass Radfahrer oft von Fahrzeugen angefahren werden, welche sich aus Nebenstraßen nähern bzw. aus diesen anfahren. Des Weiteren befindet sich der PKW in vielen Fällen in einer Abbiegesituation. Dies führt dabei zu deutlich geringeren Kollisionsgeschwindigkeiten (*Abbildung 63*) des PKW im Vergleich zu Fußgängererkollisionen (vergleiche mit *Abbildung 56*).

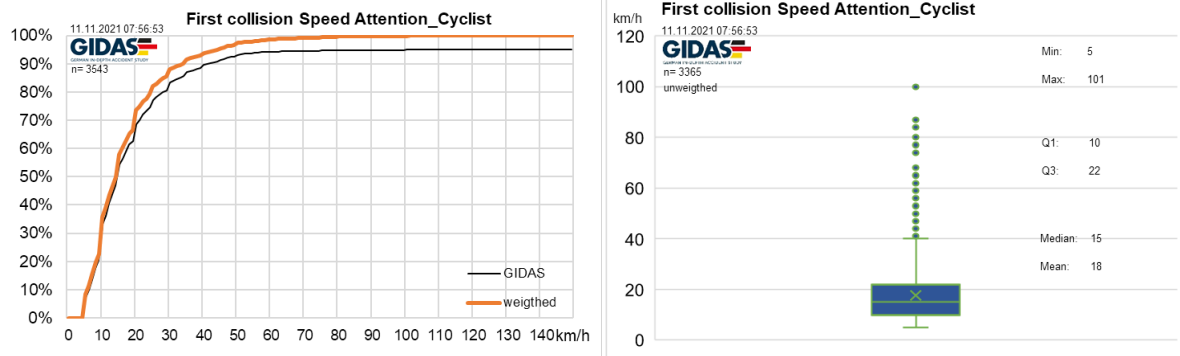


Abbildung 63: Kollisionsgeschwindigkeit Ego, Radkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

Auch der Anteil der Anfahrsituationen ist bei Radkonflikten höher. Bei ca. jedem vierten Unfall mit einem Radfahrer im ATTENTION Wirkungsfeld wurde eine Beschleunigung des Egofahrzeugs kurz vor Kollision beobachtet. Bei den meisten dieser Fälle erfolgt dies beim Anfahren aus dem Stand (Abbildung 64).

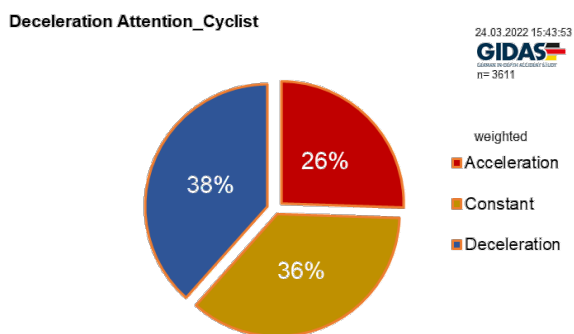


Abbildung 64: Reaktionsverhalten Ego bei Radkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Wie auch bei den Fußgängerkollisionen wird sich im weiteren Projektverlauf die Simulation auf Szenarien mit konstanter Ego-Geschwindigkeit bzw. mit einer Verzögerung konzentrieren. Der wesentliche Grund für diese Entscheidung ist, dass bei diesen Fällen die Ego-Geschwindigkeit meist deutlich höher ist, da Konflikte beim Anfahren in der Regel keine hohe Kollisionsgeschwindigkeiten aufweisen. Daher ist in Abbildung 65 bei der Mittelwert- bzw. Medianberechnung die Beschleunigung nicht berücksichtigt (Boxplot).

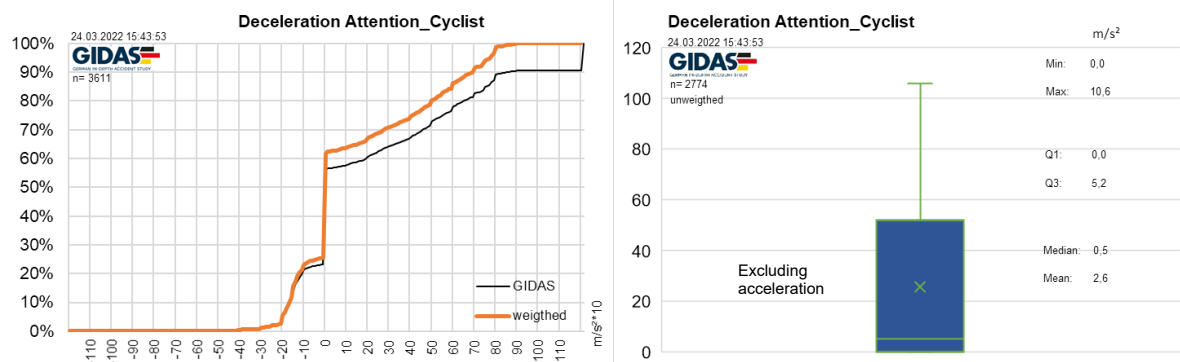


Abbildung 65: Verzögerung Ego bei Radkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

Auch bei Fahrradkollisionen ist die gesamte Breite der Fahrzeugfront ein relevanter Kontaktpunkt. Hierbei ist aber anzumerken, dass in der Abbildung 66 immer der Erstkontakt mit dem Fahrzeug dargestellt ist. Im weiteren Kollisionsverlauf kommen aufgrund der Fahrzeuglänge des Fahrrads

weitere Kontaktstellen hinzu. Bei der Kollisionsrichtung gibt es Unterschiede zu Fußgängerkollisionen. Bei Radfahrerkonflikten nähert sich der Radfahrer in den überwiegenden Fällen von rechts (Winkel um 280° in Abbildung 66). Die Unfälle im Winkelbereich von ca. 230° bis 270° deuten auf Abbiegeszenarien hin, bei dem das Ego-Fahrzeug rechts abbiegt und der Radfahrer von rechts sich nähert. Des Weiteren sind nicht alle Einmündungen und Kreuzungen im 90° Winkel zueinander.

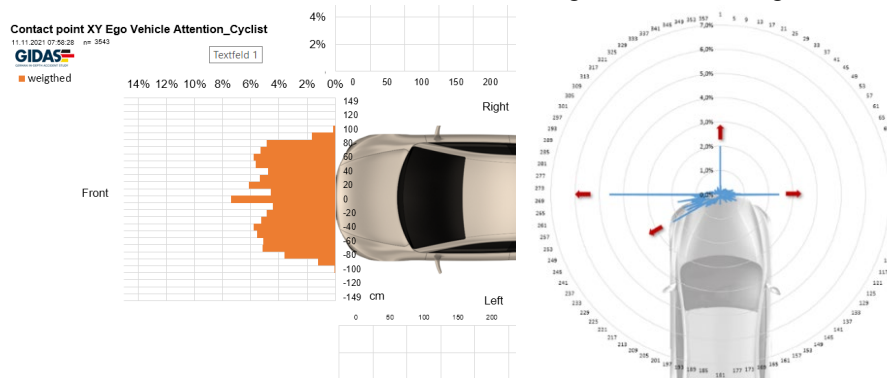


Abbildung 66: Anprallposition Ego bei Radkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Radgeschwindigkeit – Verletzungsübersicht

Einer der wesentlichen Unterschiede zu Fußgängerunfällen ist die Geschwindigkeit der Radfahrer. Gegenüber 5 km/h bei Fußgängern nähern sich Radfahrer im Mittel mit 14 km/h (Median 15km/h), was dementsprechend auch zu anderen Verletzungsfolgen führen kann.

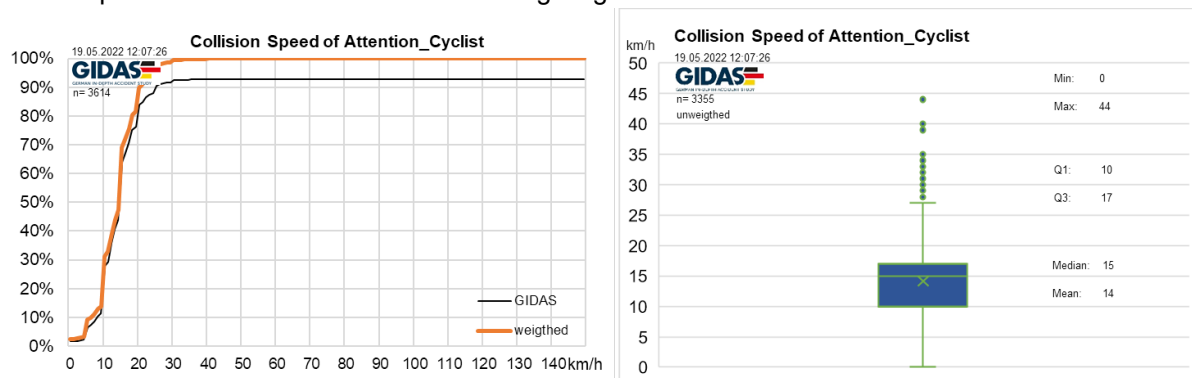


Abbildung 67: Kollisionsgeschwindigkeit Fahrrad – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

Auch die Sitzposition auf dem Fahrrad wird ein Einfluss auf die Verletzungsfolgen haben. Bei 75% der verletzten Radfahrer in ATTENTION relevanten Unfällen wurden Verletzungen an den unteren Extremitäten festgestellt (Abbildung 68). Ähnlich wie bei Fußgängern führt die Abrollbewegung über die Fahrzeugfront bzw. der Kontakt mit der Straßenoberfläche in 54% der Fälle zu Verletzungen der oberen Extremitäten und in rund 20% zu Kopfverletzungen (Überlapp – ist möglich).

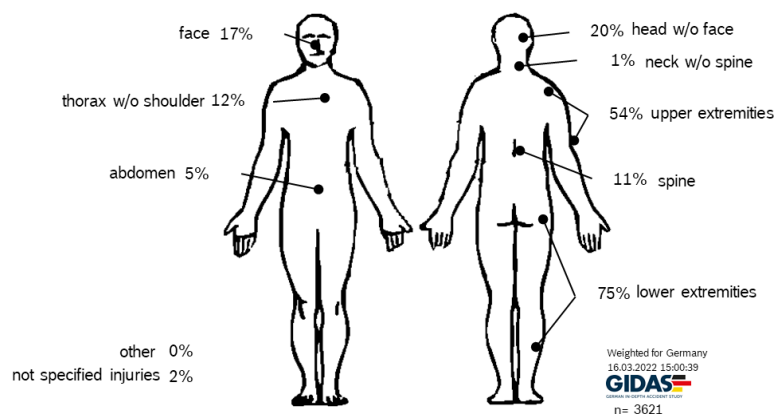


Abbildung 68: Verletzungsregion Radfahrer - Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

Die Ergebnisse für Fußgänger und Radfahrer zeigen deutlich, dass insbesondere Verletzungen an den unteren Extremitäten eine wichtige Rolle spielen und daher in der Simulation weiter betrachtet werden sollten.

2.4.3 Rad- und Fußgängerkollisionen in allen ATTENTION relevanten Fällen

Zur Vollständigkeit sind nachfolgend noch einmal die Ergebnisse für Radfahrer und Fußgänger zusammengefasst. Grund dafür ist, dass für eine anschließende Simulation mit Variantenrechnung die Parameterräume für einige Größen zusammengefasst werden können.

PKW – Kenngrößen

Die Kollisionsgeschwindigkeit der PKWs aller ATTENTION relevanter Unfälle, lag im Mittel bei 20 km/h (Median 16 km/h). Im Vergleich zu den koreanischen Unfällen aus der KOTI Datenbank sind die Kollisionsgeschwindigkeiten im deutschen Unfallgeschehen geringer. Gründe dafür sind, dass die Taxiunfälle in Korea-Incheon nur einen Teil des Unfallgeschehens bzw. hinsichtlich urbanes Unfallgeschehen abbilden und viele Unfälle bei Nacht auf freier Strecke dokumentiert sind. Im deutschen Unfallgeschehen (GIDAS repräsentativ) finden sich dagegen mehr Tagunfälle und häufiger im Kreuzungsbereich bei Abbiegeszenarien bzw. beim Anfahren der PKW.

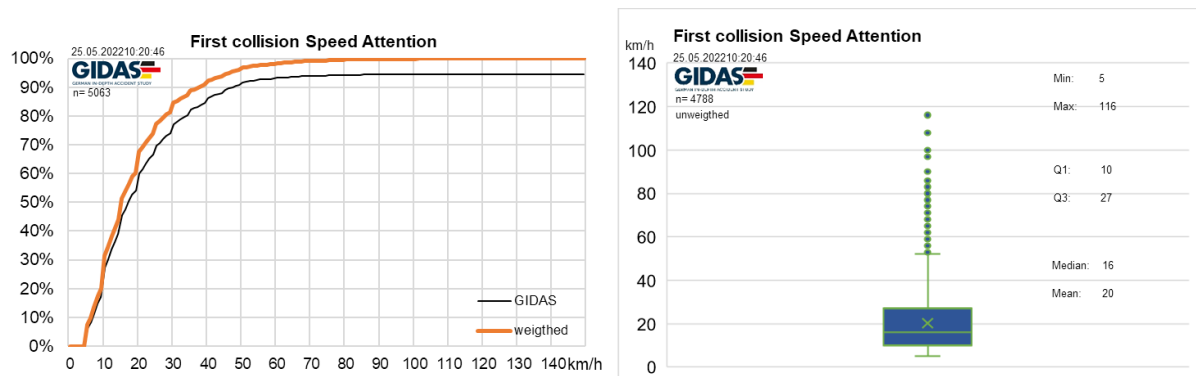


Abbildung 69: Kollisionsgeschwindigkeit Ego, Rad-/Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Summiert, Boxplot)

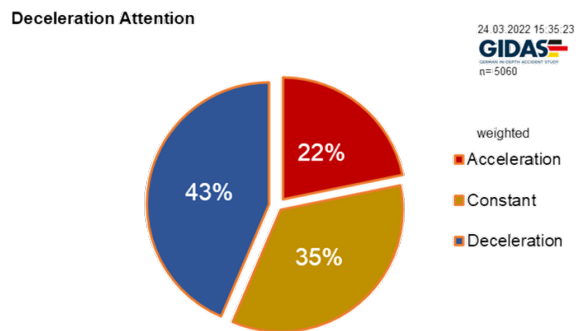


Abbildung 70: Reaktionsverhalten Ego bei Rad-/Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

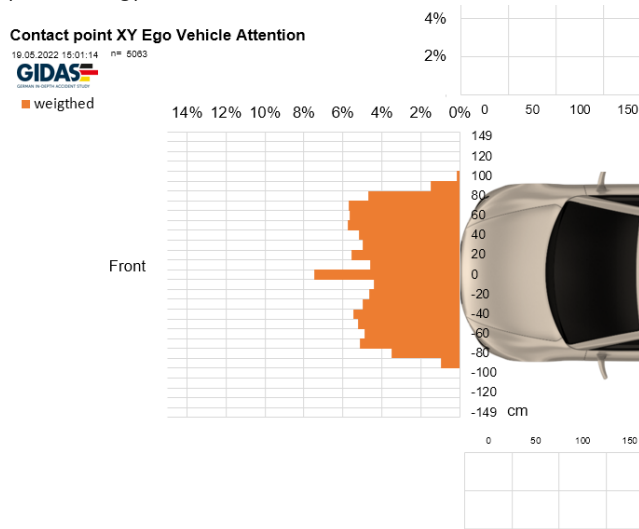


Abbildung 71: Anprallposition Ego bei Rad-/Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung)

In 43% der Unfälle wurde eine Verzögerung vor Kollision festgestellt. Bei 35% wurde eine konstante Fahrgeschwindigkeit vor Kollision rekonstruiert. Ein Beschleunigungsverhalten (meist Anfahren aus dem Stand) wurde in 22% der ATTENTION relevanten Unfälle ermittelt (Abbildung 72).

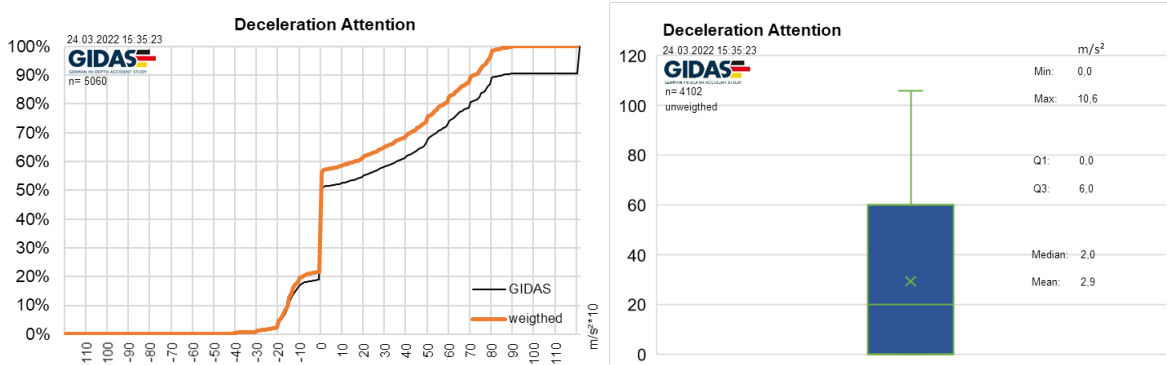


Abbildung 72: Verzögerung Ego bei Rad-/Fußgängerkollision – Wirkungsfeld ATTENTION (Verteilung, Boxplot ohne Beschleunigung)

2.4.4 Simulationsreferenz

Im Rahmen von ATTENTION sollte die aus den Videodaten ermittelte Personen- bzw. Radfahrerbewegungen in eine FEM Simulationen überführt werden. Für die FEM Simulationen stehen allerdings nur eine begrenzte Anzahl an Modellen zur Verfügung. Da im Rahmen des Projektes der Vergleich von realen Unfällen (aus GIDAS) mit der Simulation bezüglich der Verletzungsfolgen

durchgeführt werden soll, müssen in GIDAS reale Unfälle selektiert werden. Als GIDAS Simulationsreferenz werden nachfolgend GIDAS Unfälle bezeichnet, welche den Fahrzeugabmessungen sowie in den Personendaten der FEM Modellen entsprechen. Die gewählten Parameter sind nachfolgend beschrieben.

Simulationsreferenz Fahrzeug (Ego)

Als FEM Modell für die Simulation wurde der Toyota Camry [46] gewählt, da die Fahrzeugfront den meisten Fahrzeugen in ATTENTION relevanten Unfällen nahekommt.

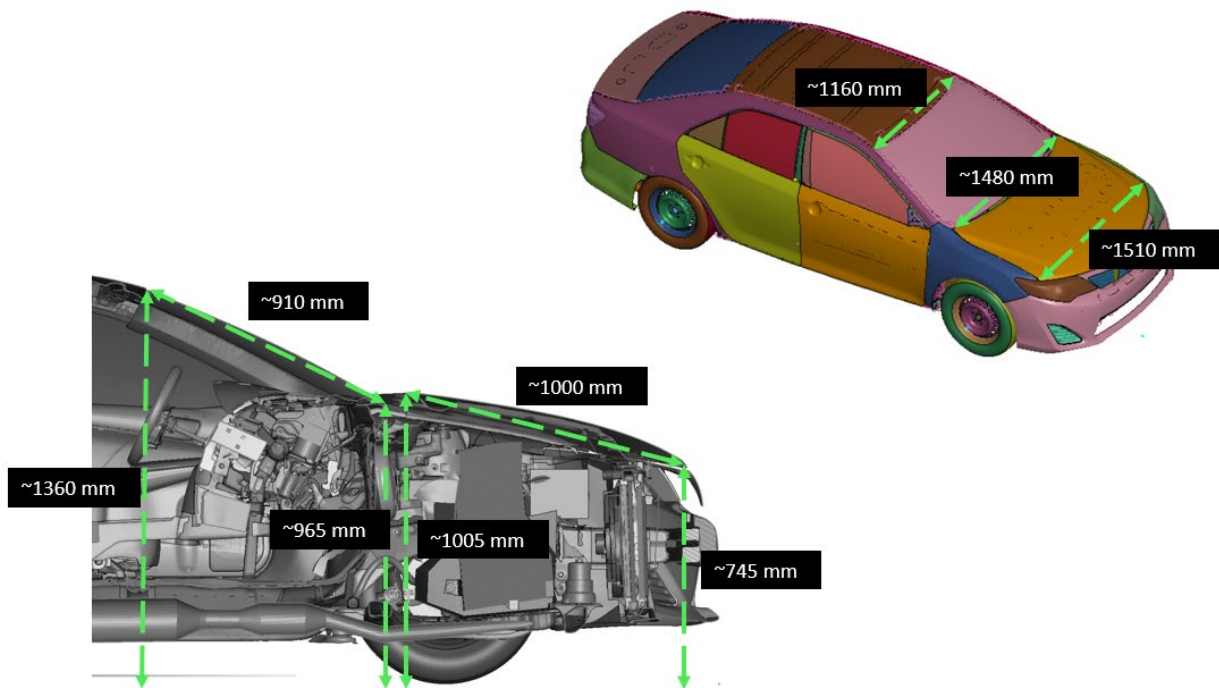


Abbildung 73: FEM-Simulationsmodell Toyota Camry und dessen Abmessungen (Bildquelle: Fraunhofer EMI)

Im Vorfeld wurden alle Fahrzeugmodelle relevanter Unfälle gelistet und mit den zur Verfügung stehenden Fahrzeugmodellen verglichen.

Simulationsreferenz Person

Als Simulationsmodell für Personen in ATTENTION steht das THUMS-Modell [10] zur Verfügung. Daher wurden als Simulationsreferenz Unfälle mit den Personenmerkmalen der Körpergröße von 175cm (+/- 5cm) und Körpergewicht von 77kg (+/- 5kg) ausgewählt. Dies entspricht nahezu dem Hybrid III Dummy und kommt der Referenz am nächsten.

Simulationsreferenz Fahrrad (Dimensionen)

Ein FEM Fahrrad-Modell für die Simulation wurde auf Basis der Dimensionen aus den realen Unfällen erstellt, da kein geeignetes zur Verfügung stand. Daher wurden die Fahrradmaße für ATTENTION relevante Unfälle mit den entsprechenden Personen als Simulationsreferenz ermittelt. In Abbildung 74 bis Abbildung 76 sind die Maße aller relevanter Unfälle dargestellt.

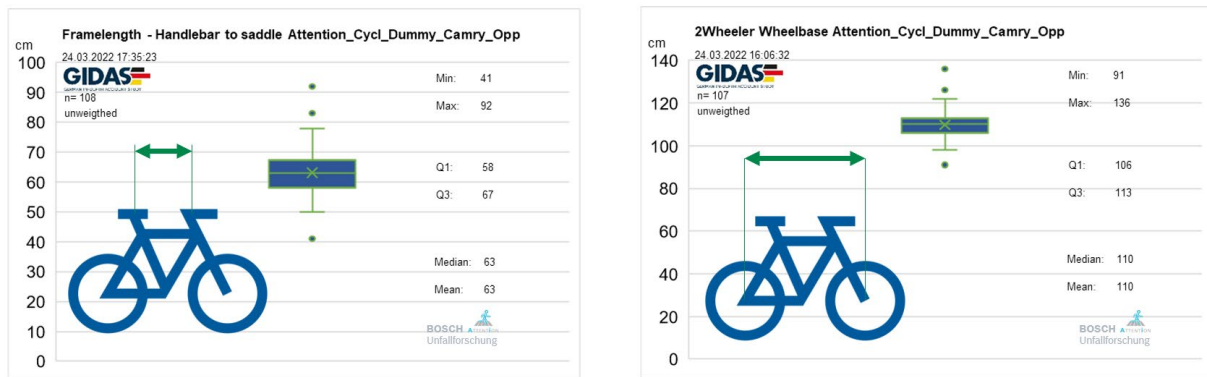


Abbildung 74: Abstand Sattel – Lenker (links), Radstand (rechts) - Simulationsreferenz (Boxplot)

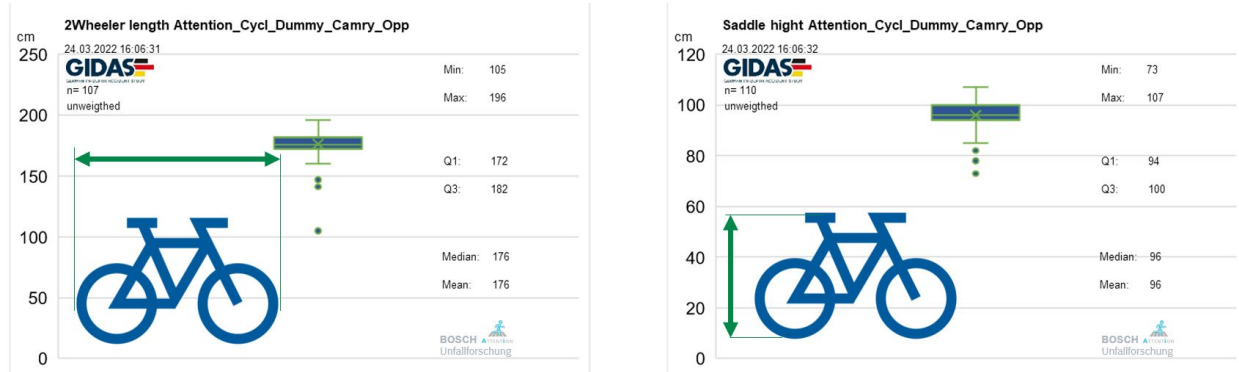


Abbildung 75: Fahrzeuglänge (links), Sattelhöhe (rechts) - Simulationsreferenz (Boxplot)

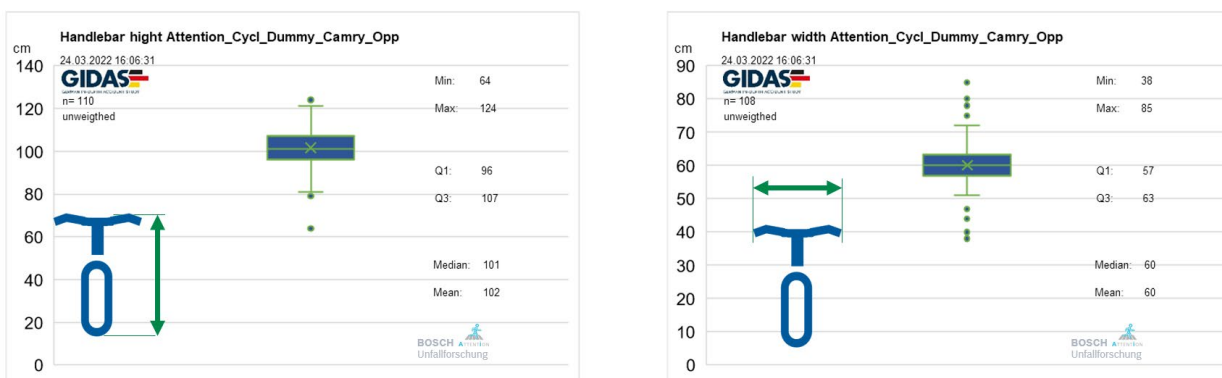


Abbildung 76: Lenkerhöhe (links), Lenkerbreite (rechts) - Simulationsreferenz (Boxplot)

Als Auswahl für das FEM Modell wurden daraufhin die Median-Werte der entsprechenden Abmessungen gewählt (Abbildung 77) und das entsprechende Modell basierend auf diesen Abmaßen durch Fraunhofer EMI erstellt.

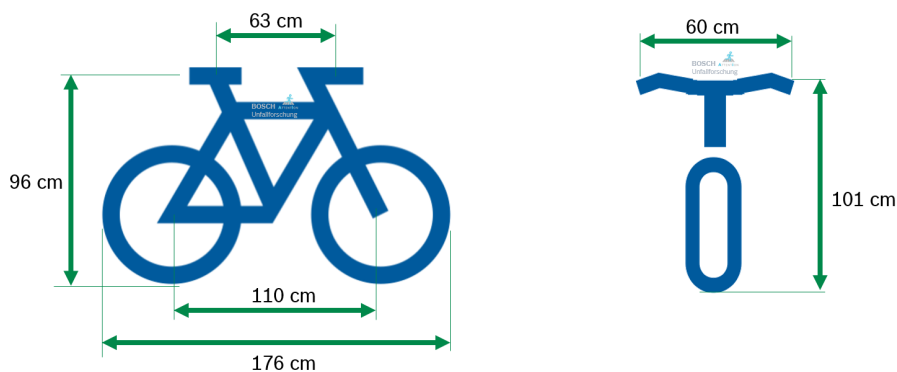


Abbildung 77: Übersicht Dimension (Median) – Simulationsreferenz

Bevor das Modell erstellt wurde, wurde in AP4 vereinbart, dass ein Vergleich gegenüber dem EuroNCAP Modell erfolgt, das im Rahmen des CATS¹ Projekts ermittelt wurde. Ziel war es zu prüfen, ob das EuroNCAP Modell mit neueren Daten aus der GIDAS Datenbank übereinstimmt. Das Ergebnis zeigt zu vernachlässigende Abweichungen in der Größenordnung von etwa 10 cm. Innerhalb von AP4 wurde daraufhin entschieden, ein eigenes Modell zu erstellen, da der Zugang zu einem CATS-Fahrradmodell nicht gegeben ist. Dennoch sind Resultate aus ATTENTION auch auf Europäischer Ebene anwendbar.



Abbildung 78: Referenz Fahrraddimensionen des im CATS Projekt verwendeten Modell [47]

GIDAS Analysen – Unfälle als Simulationsreferenz

Alle Analysen, wie in Kapitel 2.4.1 bis Kapitel 2.4.3 beschrieben, wurden zusätzlich mit dem Datensatz der ATTENTION Fälle durchgeführt, welche als Simulationsreferenz gekennzeichnet waren. Diese Untermenge der ATTENTION Unfälle soll insbesondere zum Vergleich mit den FEM-Simulationen genutzt werden, da in diesen Unfällen die PKW-form bzw. die Person den FEM Modellen in etwa entspricht. Des Weiteren wurde damit sichergestellt, dass die Vergleichsfälle der Simulationsreferenz in etwa die gleichen Parameter aufweisen wie alle ATTENTION relevanten Unfälle (z.B. Geschwindigkeiten). Die Ergebnisse wurden dem Fraunhofer EMI zur Eingrenzung der Simulationsparameter (Parameterraum) zur Verfügung gestellt. Damit im prototypischen Vergleich zwischen Simulation und realem Unfall ähnliche Randbedingungen zu Grunde liegen, wurden die Parameteranalysen auch für ein Simulationsäquivalent (entspricht Fahrzeugform des Fahrzeugsimulationsmodell Toyota Camry und Personen mit Kenngrößen des THUMS-Modells) durchgeführt.

Für die Referenzsimulation standen bei den Radfahrerszenarien rund 120 und bei den Fußgängerszenarien ca. 30 Vergleichsdatsätze (GIDAS-Fälle) zur Verfügung. Im Vergleich zur Verteilung aller Unfälle decken die Referenzfälle ebenfalls das reale Unfallgeschehen bezüglich der Unfallparameter ab. In Abbildung 79 bis Abbildung 82 sind beispielhaft die Anprallstellen und Kollisionsgeschwindigkeiten dargestellt.

An den Projektpartner Fraunhofer EMI wurden Fallakten realer relevanter Unfälle aus der Gruppe der Referenzfälle aufbereitet und übermittelt. Nachfolgend ist an zwei Fallbeispielen gezeigt, welche Bildinformationen zusätzlich zu den digital verfügbaren Einzeldetails in GIDAS zur Fallplausibilisierung genutzt wurden. Insbesondere wurden die Bilddaten und Skizzen für die Überprüfung genutzt, ob die übermittelten und berechneten Parameter (beispielsweise Kollisionswinkel, Richtung, Anprallstellen) mit den realen Unfalleigenschaften übereinstimmen.

¹ CATS:= Cyclist AEB Test System development collaboration project, www.tno.nl (2016); Bicyclist target ACEA specification (Version 1, November 2018)

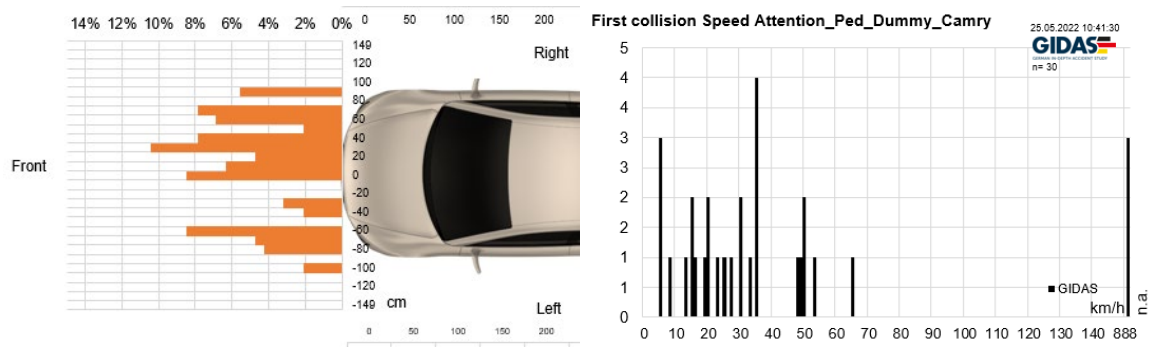


Abbildung 79 (links): Anprallposition bei Fußgängerkollision – Referenzunfälle GIDAS n=30

(Verteilung)

Abbildung 80 (rechts): Kollisionsgeschwindigkeit bei Fußgängerkollision – Referenzunfälle GIDAS n=30 (Verteilung)

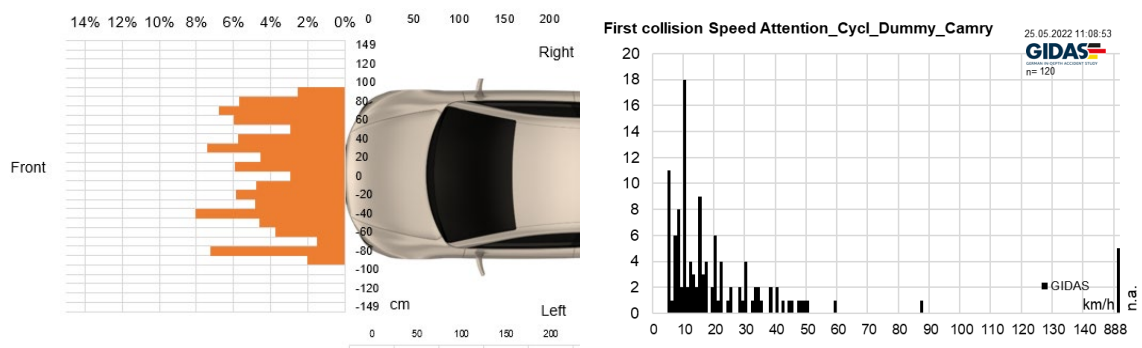


Abbildung 81 (links): Anprallposition bei Fahrradkollision – Referenzunfälle GIDAS n=120 (Verteilung)

Abbildung 82 (rechts): Kollisionsgeschwindigkeit bei Fahrradkollision – Referenzunfälle GIDAS n=120 (Verteilung)

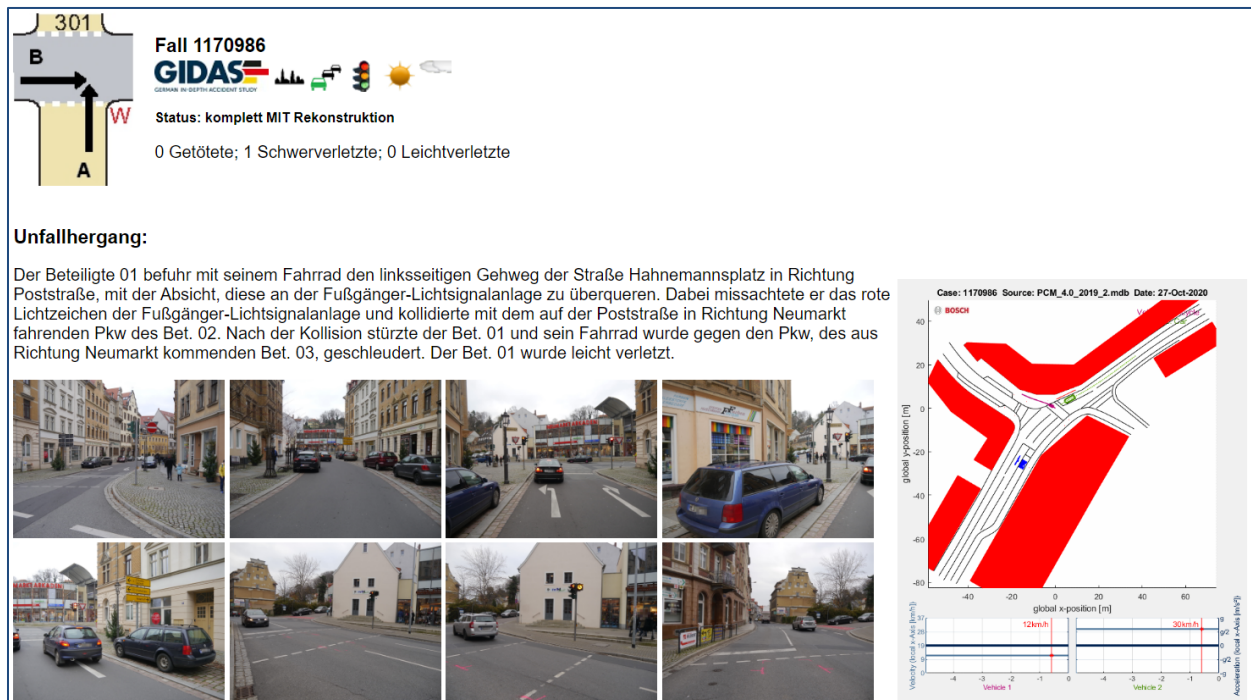
Fallbeispiel 1:

Abbildung 83: GIDAS Fall 1170986 – Unfallstelle

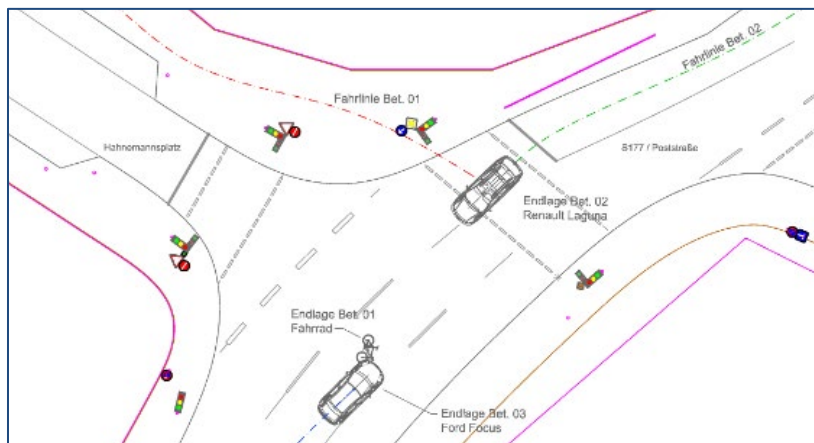


Abbildung 84: GIDAS Fall 1170986 – Unfallskizze

Die Abbildung 83 und Abbildung 84 zeigen die Unfallstelle mit Übersichtsbildern und die maßstäbliche Unfallskizze. Der ausgewählte GIDAS Fall 1170986 hat die Eigenschaft, dass zwei Fahrzeuge mit dem Fahrrad kollidierten. An diesen Beispielfall lässt sich daher noch einmal das Auswahlkriterium für ATTENTION relevante Szenarien erläutern: Das Fahrrad kollidierte in der Erstkollision mit dem Pkw (Beteiligter 2). In der Folge ist es zu einer weiteren Kollision mit dem Beteiligten 3 gekommen. Für ATTENTION ist in diesem Fall nur die Erstkollision zwischen Radfahrer und Pkw (Beteiligter 2) relevant.

Canyon Torque FRX; 0 Getötete; 1 Schwerverletzte; 0 Leichtverletzte

Ausgangsgeschwindigkeit 12 km/h; Kollisionsgeschwindigkeit (1. Kollision) 12 km/h

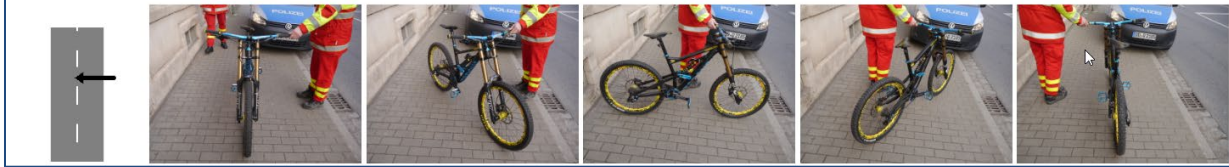


Abbildung 85: GIDAS Fall 1170986 – Unfallbeteiligter 1 Fahrrad

In vielen Bildakten sind zusätzlich zu den Fahrzeugen und Unfallstellenansichten auch Einzelbilder zu Verletzungsmustern (Abbildung 86) bzw. Einzelverletzungen (Abbildung 87) enthalten. Um den Vergleich Realunfall vs. Simulation durchzuführen, wurden diese Informationen für die Plausibilisierung der Simulation ebenfalls genutzt,

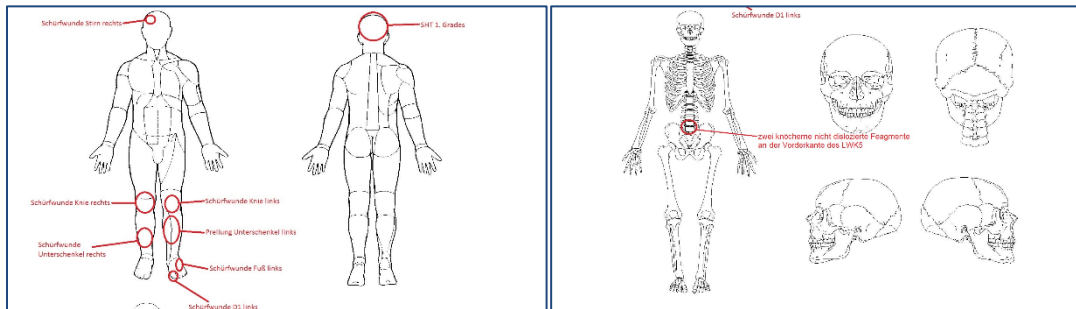


Abbildung 86: GIDAS Fall 1170986 – Verletzungsübersicht Radfahrer



Abbildung 87: GIDAS Fall 1170986 – Detailfotos Einzelverletzungen Radfahrer

Die Abbildungen des relevanten Kollisionskontrahenten gaben dabei genauen Aufschluss zu den Kontaktstellen am Fahrzeug, welche im weiteren Schritt dann mit den Kontaktstellen in der Simulation verglichen wurden.

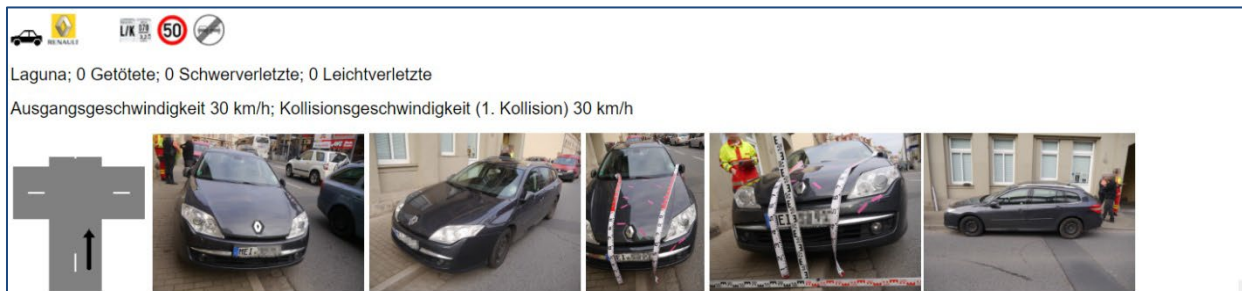


Abbildung 88: GIDAS Fall 1170986 – Unfallbeteiligter 2 Pkw (Erstkollision mit Fahrrad – Referenz für ATTENTION)

In GIDAS sind die entsprechenden Beschädigungsmuster des Fahrzeuges entsprechend in Einzelinformationen in der Datenbank gespeichert. Bei Anprallstellen von Personen werden außerdem die korrespondierenden Fahrzeugteile der Verletzung hinterlegt. Detailfotos der Beschädigungen konnten zusätzlich zur Plausibilisierung der Körperkontaktstellen genutzt werden (Beispiel Kopfanprall Abbildung 89).



Abbildung 89: GIDAS Fall 1170986 – Unfallbeteiligter 2 Pkw (Detailfotos der Beschädigung/Kontaktstellen)

Fallbeispiel 2:



Abbildung 90: GIDAS Fall 30090880 – Unfallstelle

Beim Fallbeispiel 2 handelt es sich ebenfalls um ein Fahrrad-Pkw Unfall aus dem GIDAS Erhebungsgebiet im Großraum Hannover. Die Übersichtsbilder zeigen die Fahrzeuge in ihren Endlagen (Abbildung 90).

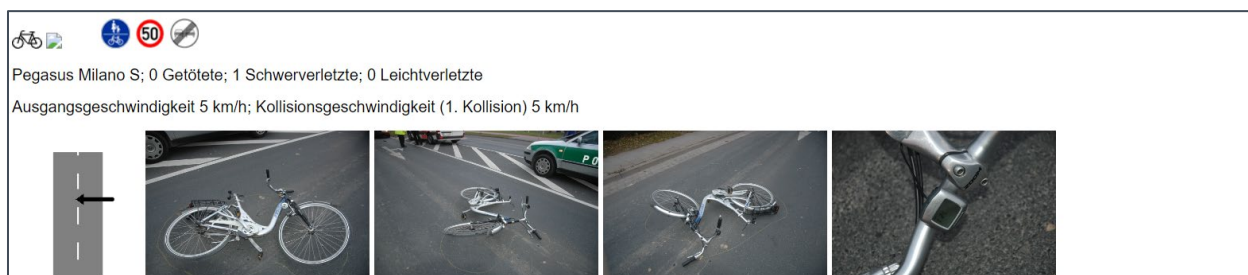


Abbildung 91: GIDAS Fall 30090880 – Unfallbeteiligter 1 Fahrrad

Anhand der detaillierten Unfallbilder vom Fahrrad (Abbildung 91) und Pkw (Abbildung 93) konnten die codierten Anprallstellen und Unfallparameter plausibilisiert werden. Dieses Vorgehen wurde für ausgewählte Fälle durchgeführt, um die verwendete Toolkette in ATTENTION zur prüfen, da bis zur Simulation der Unfallsituation eine umfangreiche Datenvorverarbeitung in GIDAS erfolgte. Neben den Unfallbildern der Fahrzeuge spielen auch Bilder der verunglückten Verkehrsteilnehmer für die Fallkontrolle eine Rolle. Wie in Abbildung 92 zu sehen, kann es sich dabei auch um Röntgenaufnahmen der Verletzten handeln.



Abbildung 92: GIDAS Fall 30090880 – Unfallbeteiligter 1 Fahrrad – Röntgenaufnahme

Die hier dargestellten Abbildungen zeigen dabei nur einen beispielhaften Auszug der in GIDAS vorhandenen Bildakten zu jedem Einzelfall.



Abbildung 93: GIDAS Fall 30090880 – Unfallbeteiligter 2 Pkw

Neben den standardisierten Fahrzeugansichten enthalten die Bildakten umfangreiche Ansichten der Unfallstellen (meist Fahrzeuge in Endlagen) sowie Detailfotografien von Beschädigungs- und Kontaktstellen bzw. Ausstattungsmerkmalen.



Abbildung 94: GIDAS Fall 30090880 – Unfallbeteiligter 2 Pkw – Detailansicht Schaden

Zusätzlich wird die maßstäbliche Unfallskizze mit abgelegt. Im Fallbeispiel 2 ist zu erkennen, dass eine deutliche Fahrerreaktion des Pkws vor Kollision erfolgte (Bremsspur in Abbildung 95). Ebenfalls sind die Endlagen der Fahrzeuge sowie der Person eingemessen und dokumentiert.

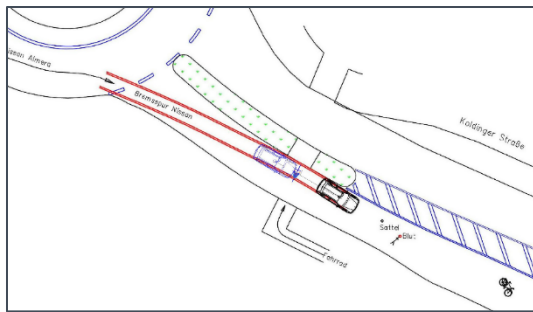


Abbildung 95: GIDAS Fall 30090880 – Unfallskizze

Für einen effektiven Vergleich der realen Unfälle mit der in ATTENTION durchgeführten Simulation ist es notwendig, die Verletzungsverursachenden Fahrzeugstrukturen mit den Einzelverletzungen in Verbindung zu bringen. In GIDAS wird bei der Codierung das Verletzungsverursachende Bauteil am Fahrzeug bzw. das Kollisionsobjekt durch die medizinische Erhebung erfasst (soweit es rekonstruierbar ist.). Dabei wird ebenfalls die Reihenfolge der Verletzung bzw. die Kollisionsnummer am Fahrzeug mit angegeben. In der Regel erfährt ein Fußgänger mindestens zwei Kollisionen bei einem Fahrzeugkontakt (Kollision mit Fahrzeug und Aufprall auf den Boden). Für den Ansatz in ATTENTION spielt die Erstkollision am Fahrzeug dabei die entscheidende Rolle, sodass die Einzelfälle entsprechend aufbereitet wurden, damit die Einzelverletzung für die Erstkollision am Fahrzeug identifizierbar ist.

In der Fallsimulation durch den Projektpartner werden die Verletzungsmuster anhand der simulierten Belastungswerte der Körperteile zusammen mit den Kontaktpunkten am Fahrzeug errechnet und können für die ausgewählten Vergleichsfälle aus GIDAS mit realen Unfallabläufen verglichen werden.

Dafür wurden für ausgewählte Referenzfälle die Einzelverletzungen der Verunglückten mit den zugehörigen Einzelparameter aus GIDAS an den Projektpartner übermittelt (Abbildung 96).

VERLETZUNG	IAIS20	GID	FALL	NUMBE	ERSTKOLLISION	ZWEITKOLLISION	WINN	BR	VK_EI	ALTER_V	MASS_EI	MASS_V	GROESSE_V
Schädelprellung occipito-parietal rechts	1		1030149		Fronthaubenfläche gegn. Fzg.	entfällt	90	0	30	61	1400	80	172
Steißbeinprellung	1		1030149		Fronthaubenfläche gegn. Fzg.	entfällt	90	0	30	61	1400	80	172
HWS-Distorsion	1		1050247		eigene Handlung, Körperbewegung (z.B. Schleudertrauma, Zungenbiss)	entfällt	81	0	30	28	1250	75	170
Prellung Becken	1		1050247		Fronthaubenvorderkante gegn. Fzg.	entfällt	81	0	30	28	1250	75	170
Prellung Ellbogen	1		1050247		Kotflügel vom seitlich gegn. Fzg.	entfällt	81	0	30	28	1250	75	170
Stumpfes Bauchtrauma	1		1050247		Kotflügel vom vorn gegn. Fzg.	entfällt	81	0	30	28	1250	75	170
Fibulafraktur rechts	2		1050918		Stoßstange vorn gegn. Fzg.	entfällt	314	75	47	32	1530	75	177
SHT I*	2		1050918		VSG-Frontscheibe gegn. Fzg.	entfällt	314	75	47	32	1530	75	177
Tibiafraktur rechts	2		1050918		Stoßstange vorn gegn. Fzg.	entfällt	314	75	47	32	1530	75	177
Schürfwunde Fuß li außen	1		1070400		Vorderrad gegn. Fzg.	entfällt	187	-75	12	54	1600	83	170
Schürfwunde Unterschenkel links	1		1070400		Kotflügel vom vorn gegn. Fzg.	entfällt	187	-75	12	54	1600	83	170
Fibulaskrachtfaktur	2		1070692		Stoßstange vorn gegn. Fzg.	entfällt	245	-13	46	66	1400	75	165
multiple Prellungen links	1		1070692		Fronthaubenfläche gegn. Fzg.	entfällt	245	-13	46	66	1400	75	165
offene Tibiastrümmfraktur	3		1070692		Stoßstange vorn gegn. Fzg.	entfällt	245	-13	46	66	1400	75	165
Rippenfraktur 3&8	2		1070692		Fronthaubenfläche gegn. Fzg.	entfällt	245	-13	46	66	1400	75	165
Prellung Wade	1		1080118		Stoßstange vorn gegn. Fzg.	geg. Zweirad, Zweiradrahmen	70	-25	8	37	1250	80	172

Abbildung 96: GIDAS Auszug – Übermittelte Einzelverletzungen mit Unfallparametern

Es wurden Kontaktpaare (Fahrzeugstruktur – Körperteil bei Kollision) für exemplarische Beispielfälle plausibilisiert und im Rahmen der Vorbereitung einer Veröffentlichung für die IRCOBI 2023 Konferenz [48] grafisch ausgearbeitet.

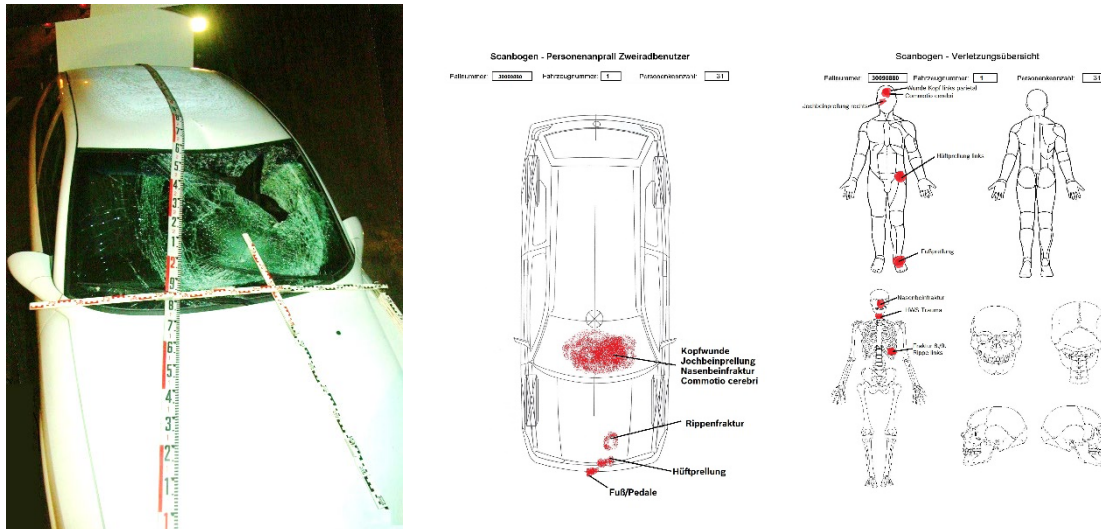


Abbildung 97 (Links): Unfallbild GIDAS 30090880 Beschädigung am Fahrzeug

Abbildung 98 (Mitte): Schematisches Beschädigungsmuster GIDAS 30090880 mit Verletzungszuordnung

Abbildung 99 (Rechts): Schematisches Verletzungsmuster GIDAS 30090880

Um die FEM-Simulationen des Projektpartners Fraunhofer EMI zu verifizieren, wurde für die simulationsrelevante Untermenge der GIDAS Unfälle (Fahrzeug und Person entspricht dem FEM-Simulationsäquivalent) die relevanten Kontaktpaare ausgewertet, plausibilisiert und an das Fraunhofer EMI übermittelt. Dabei wurden die in GIDAS beschriebenen Fahrzeugstrukturen (Bsp. vorderer Kotflügel links) ermittelt und den entsprechenden Bauteilen in der FEM-Simulation zugeordnet. Weiterhin wurden die dazugehörigen in GIDAS beschriebenen Einzelverletzungen mit entsprechenden AIS-Code ausgewiesen.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
VERLETZUNG	Notw. THUMS Detailgrad Kontaktpartner	THUMS-Äquivalent	Abgleich Det. Verletzungsprognose möglich? (y/n)	Carry-Äquivalent	Abgleich prob. HBM-Verletzungsprognose möglich? (No/Criteria)	AUSZ	QID	NUMBER	FALL
Fibulafraktur rechts	R_LOWER_THIGH_SKIN	R_LOWER_THIGH_SKIN	Y	Stoßstange	RTI & Tibia Index (Kuppa, Kerrigan)	2			1050918
frontale Kopfplatzwunde	Head skin (complete)	head_skin_out_I	N	-	HIC - Skull Fracture	1			-
SHT P	Head skin (complete)	head_skin_out_I	N	Windschutzscheibe	CSDM - Brain Injuries	2			1050918
Tibiafraktur rechts	R_LOWER_THIGH_SKIN	R_LOWER_THIGH_SKIN	Y	Stoßstange	RTI & Tibia Index (Kuppa, Kerrigan)	2			1050918

Abbildung 100: Auszug Liste Einzelverletzung mit zugehörigem Fahrzeugbauteil bei Kontakt.

Neben der Plausibilisierung der Kontaktpaare durch die codierten Werte der GIDAS Datenbank wurden auch Bilddaten (z.B. Röntgenbilder der GIDAS Bildakte) zur Aufbereitung der Daten verwendet. Für Einzelfälle konnten so auch Codierfehler in der GIDAS Datenbank korrigiert werden.

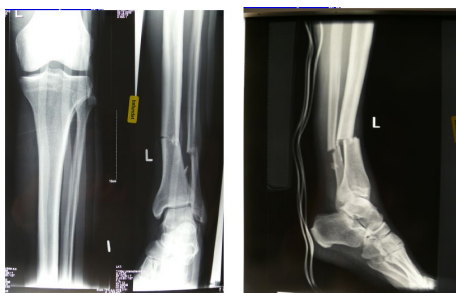


Abbildung 101: Röntgenbild GIDAS Einzelfall 1050918 – Korrektur der Lokalisation der Verletzung in der Datenbank

Neben der Fallkontrolle bezüglich der Verletzungen wurden ebenfalls die Kontaktstellen am Fahrzeug verifiziert. Im folgenden Fall (Abbildung 102) fehlte der Berührungspunkt des Unterschenkels am Fahrzeug. Dieser konnte anhand der Fahrzeugbilder rekonstruiert werden.



Abbildung 102: Kontaktstelle GIDAS Einzelfall 30090880 – Unterschenkel Kontaktstelle am Fahrzeug

Bei der Verifikation der FEM-Simulation mit den realen Unfällen aus GIDAS fiel bei einigen Unfällen mit Fahrrädern eine horizontale Abweichung der Kontaktstellen beim Körperanprall auf. Beim Vergleich der Unfallbilder lagen z.B. die Kontaktstellen von Hüfte, Thorax und Kopf in der FEM-Simulation ca. 10-20cm neben denen des originalen Unfalls, bei gleichen Unfallparametern. Im nachfolgenden Bild (Abbildung 103) ist ein Fall abgebildet, welcher keine Abweichung aufzeigte.

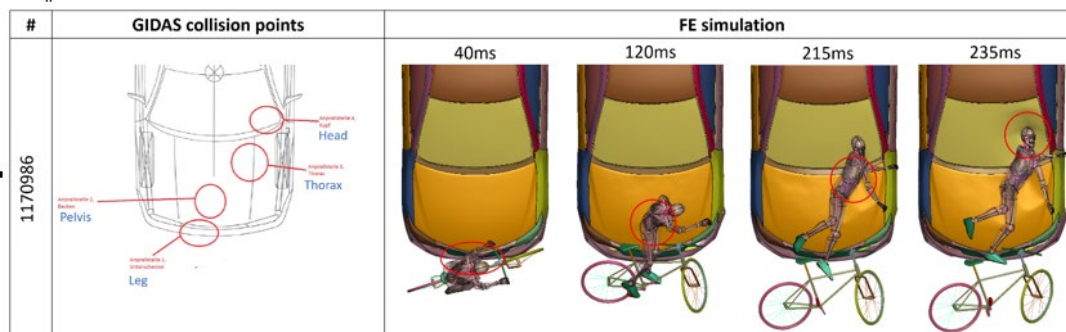


Abbildung 103 Vergleich Unfallschaden- Kontaktstellen mit FEM Simulation GIDAS Einzelfall 1170986

Als Ursache für die mögliche horizontale Abweichung der Kontaktstellen wurde die Position der Tretkurbel identifiziert. Da als Simulationsparameter die Geschwindigkeiten, Berührungspunkt am Fahrzeug, Kollisionswinkel übergeben werden, kann sich eine horizontale Abweichung ergeben, wenn der Erstkontakt am Fahrzeug das Tretlager selbst ist. Die maximale horizontale Abweichung ist der Durchmesser der Tretkurbel. Ursächlich ist dabei das FEM-Modell, welches eine fixe Pedalstellung aufweist (siehe Bild, linker Fuß vorn). Somit kann im realen Fall die Pedalstellung abweichen und das Fahrrad damit einen horizontale Positionsversatz aufweisen. Retrospektiv lässt sich allerdings die Tretkurbelposition bei Kollision nicht mehr aus den Unfalldaten der GIDAS rekonstruieren. Aus den Ergebnissen der FEM-Simulation könnte nachträglich auf die Pedalstellung geschlossen werden. Da aber das Fahrradmodell und damit die Pedalstellung im Projekt fix sind, erfolgt keine Neusimulation mit korrigierter Pedalstellung. Der beschriebene Effekt tritt allerdings nur auf, wenn der Radfahrer den Erstkontakt am Tretlager hat. Bei Kollisionen mit Erstkontakt z.B. am Vorderrad (tritt v.a. bei spitzeren Kollisionswinkeln auf) hat die Pedalposition keinen entscheidenden Einfluss auf die Abfolge der Kontakte zwischen Körper und Fahrzeug.

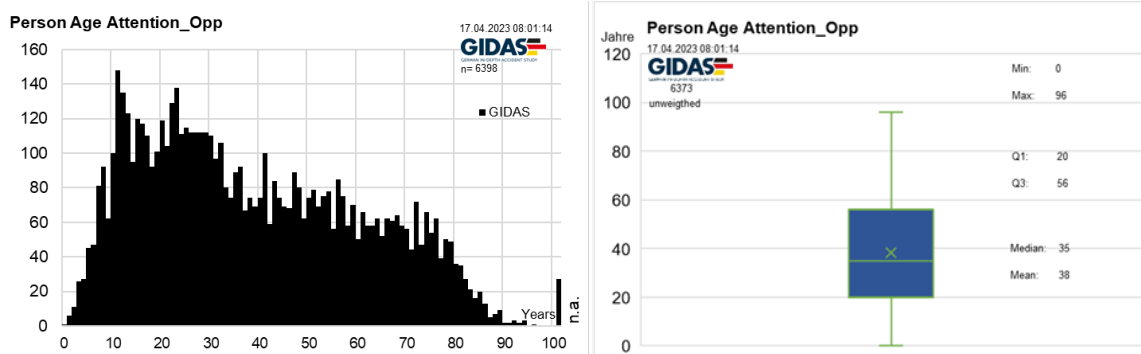


Abbildung 104 Altersverteilung der Verunfallten (ATTENTION relevante GIDAS Fälle)

Für die Berechnung der Unfallfolgen aus der FEM-Simulation wurden unter anderem von den Projektpartnern altersabhängige Verletzungskriterien verwendet. Dafür wurden die Verteilungen einmal für die Gesamtstichprobe sowie für die Untergruppe der simulationsäquivalenten Fälle (Camry ähnlich, Dummy ähnlich) bereitgestellt.

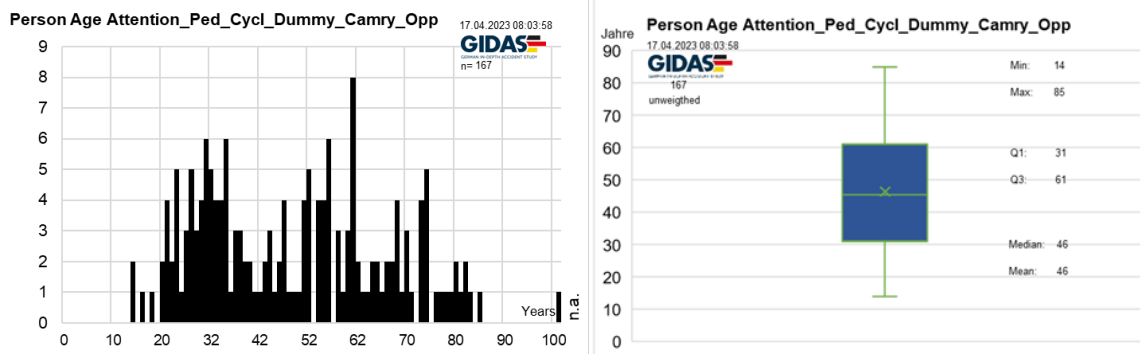


Abbildung 105 Altersverteilung der Verunfallten (ATTENTION relevante GIDAS Fälle)

Neben dem Alter wurden die Übersichten der Verletzungsregionen von Radfahrern aktualisiert und an den Projektpartner übermittelt.

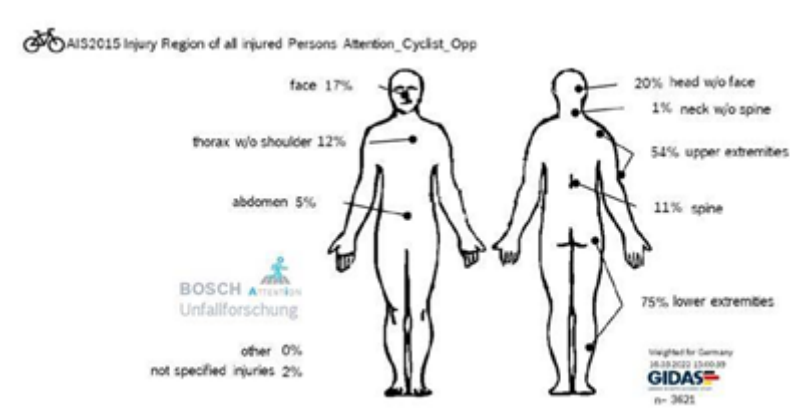


Abbildung 106 Verletzungsverteilung (ATTENTION relevante GIDAS Fahrrad-Fälle)

Nach der Plausibilisierung von Einzelfällen wurde die Auswertung über die Einzelverletzungen mit den dazugehörigen Simulationsparametern und Kontaktstellen für alle Simulationsfälle aus den GIDAS Datensätzen ermittelt und ebenfalls an den Projektpartner (Fraunhofer EMI) übermittelt. (Siehe Abbildung 107).

VERLETZUNG	AIS2015	GIDAS	FALL	ERSTKOLLISION	WINKEL	BRPY	VK_EGO	ALTER_VRU	MASSE_EGO	MASSE_VRU	GROESSE_VRU
Selected vehicles				GIDAS_SELECT_Vehicle_Injury_List_CASE_YYYYMMDD.m							
Total number of Persons		137									
Injury				Primary Collision							
Schädelprellung occipito-parietal rechts	1		1030149	Fronthaubenfläche gegn. Fzg.	90	0	30	61	1400	80	172
Steißbeinprellung	1		1030149	Fronthaubenfläche gegn. Fzg.	90	0	30	61	1400	80	172
HWS-Distorsion	1		1050247	eigene Handlung, Körperbewegung (z.B. Schleudertrauma, Zungenbiss)	81	0	30	28	1250	75	170
Prellung Becken	1		1050247	Fronthaubenvorderkante gegn. Fzg.	81	0	30	28	1250	75	170
Prellung Ellebogen	1		1050247	Kotflügel vorn seitlich gegn. Fzg.	81	0	30	28	1250	75	170
Stumpfes Bauchtrauma	1		1050247	Kotflügel vorn vorn gegn. Fzg.	81	0	30	28	1250	75	170
Schürfwunde Oberlippe	1		1050249	Straßenoberfläche eben	247	35	5	53	1250	84	181
Schürfwunde Unterlippe	1		1050249	Straßenoberfläche eben	247	35	5	53	1250	84	181
multiple Schürfwunden Unterarm	1		1050607	Straßenoberfläche eben	71	-66	25	32	1600	79	180
Schürfwunde Schienbein	1		1050607	Straßenoberfläche eben	71	-66	25	32	1600	79	180
Fibulafraktur rechts	2		1050918	Stoßstange vorn gegn. Fzg.	314	75	47	32	1530	75	177
frontale Kopfplatzwunde	1		1050918	Straßenoberfläche eben	314	75	47	32	1530	75	177
SHT I*	2		1050918	VSG-Frontscheibe gegn. Fzg.	314	75	47	32	1530	75	177
Tibiafraktur rechts	2		1050918	Stoßstange vorn gegn. Fzg.	314	75	47	32	1530	75	177
Multiple Schürfwunden rechter Fuß	1		1060380	Straßenoberfläche eben	210	-35	10	45		84	165
Prellung rechtes Knie	1		1060380	Straßenoberfläche eben	210	-35	10	45		84	165
Schnittwunde linker Fuß	1		1060380	Straßenoberfläche eben	210	-35	10	45		84	165
Schürfwunde rechter Unterarm	1		1060380	Straßenoberfläche eben	210	-35	10	45		84	165
Oberschenkelprellung	1		1070268	Straßenoberfläche eben	5	60	30	54	1201	82	175
Platzwunde	1		1070268	Straßenoberfläche eben	5	60	30	54	1201	82	175
Schürfwunde	1		1070268	Straßenoberfläche eben	5	60	30	54	1201	82	175
Schürfwunde Thorax	1		1070268	Straßenoberfläche eben	5	60	30	54	1201	82	175
SHT1*	2		1070268	Straßenoberfläche eben	5	60	30	54	1201	82	175
Thoraxprellung	1		1070268	Straßenoberfläche eben	5	60	30	54	1201	82	175

Abbildung 107 Werteliste Einzelverletzungen (Simulationsfälle)

Für eine weitere Plausibilisierung und ein besseres Unfallverständnis wurden von allen simulationsrelevanten GIDAS Fällen die digitalen Bildakte (Unfallbilder, Beschreibungen, Unfallskizze usw.) erzeugt und dem Projektpartner zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 108).



Abbildung 108 Auszug digitale Bildakte GIDAS Fall 1170992

Durch die genaue Betrachtung der Simulationsresultate konnte im Nachgang unter anderem Abweichungen aufgrund von Fehlkodierungen in GIDAS korrigiert werden. Damit trugen die Arbeiten dazu bei, die Resultate der Simulationen gegenzuprüfen, um so möglichst präzise Resultate zu erzielen.

In der nachfolgenden Abbildung sind beispielsweise Reifenspuren des Erstkontaktes am Fahrzeug zu erkennen, was auf eine Fehlpositionierung in der Simulation hindeutete. Ursache war in diesem Fall eine fehlerhafte Datengrundlage des Berührungspunktes in GIDAS selbst, welcher korrigiert wurde.

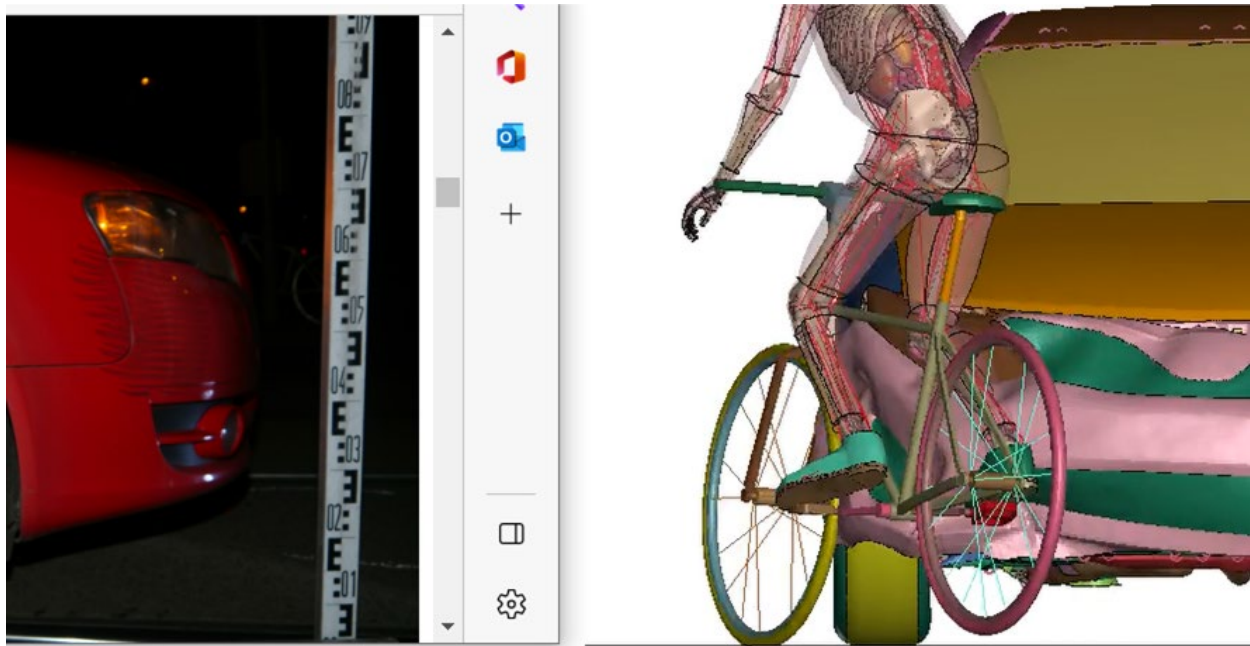


Abbildung 109 Links: Unfallbild GIDAS Rechts: Positionierung in Simulation

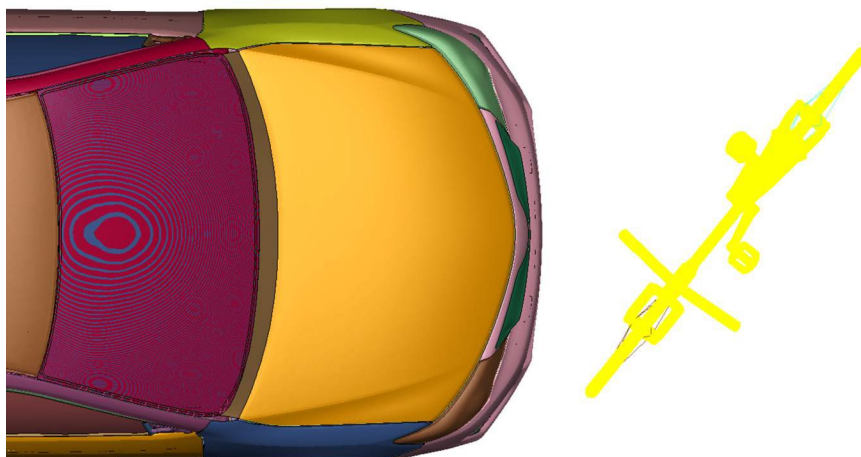


Abbildung 110 Schematische Darstellung der korrigierten Radposition kurz vor Kontakt

Durch Korrektur der Eingangsdaten konnte die Simulation neu erfolgen. Übermittelt wurden aktualisierte Berührungspunktkoordinaten aus GIDAS für verschiedene Einzelunfälle.

Nachdem seitens Fraunhofer EMI die Simulation und Aufbereitung der Pkw-Radfahrer weitestgehend abgeschlossen wurde, erfolgte im weiteren Verlauf die Bearbeitung von Pkw-Fußgänger-Situationen. Diese wurden analog zu den Radunfällen (beschrieben im vorherigen Zwischenbericht) seitens Bosch bearbeitet. Dies bedeutet, im Zuge der Plausibilisierung von Simulationsergebnissen wurden weitere relevante Daten aus GIDAS analysiert bzw. recherchiert und übermittelt (Bsp. Fahrzeugdaten, Verletzungsmuster, Anprallsituationen).

FALL	LABEL	TYP	LAENGE	BREITE	LGEW	ZULGEW
1050897	Skoda Octavia I (1U) (1996 - 2010)	Octavia	4511	1731	1380	1854
1080031	Opel Astra F (1991 - 1998)	Astra 1.6	4239	1696	1020	1495
1120354	Volvo S40/V40 (V) (1995 - 2004)	S40	4516	1716	1330	1750
1120745	Seat Ibiza IV (6J/6P) (2008 - 2017)	Ibiza	4034	1693	1075	1501
1150304	VW Golf VI (5K) (2008 - 2013)	Golf VI 2.0 TDI	4631	1781	1495	2030
30070997	Skoda Octavia I (1U) (1996 - 2010)	Oktavia	4507	1731	1280	1790
30130647	Volvo S40/V40 (V) (1995 - 2004)	V40	4483	1717	1390	1790
30130862	VW Polo IV (9N) (2001 - 2005)	Polo	3897	1650	1070	1530

Abbildung 111 Beispiel für Abgefragte Fahrzeugspezifikationen aus GIDAS als Simulationsgrundlage

Da im Projektverlauf realitätsnahe Demonstrationsfälle (AP5) erzeugt bzw. beispielhafte Simulationen mit realen Unfällen plausibilisiert (AP4) werden sollten, wurden aus allen Simulationsfällen aus GIDAS exemplarisch Einzelunfälle ausgewählt und entsprechen für eine mögliche Dokumentation aufbereitet und an die Projektpartner übermittelt.

Neben Werten aus der Datenbank wurden auch Auszüge aus den Bildakten verarbeitet. Nachfolgend ist ein Auszug eines beispielhaften Falls aufgeführt.

Umgebung
Sonstiges
Karte
Legende

Report Version 18DE

422

Fall 1150304
GIDAS
GERMAN IN-DEPTH ACCIDENT STUDY

Status: komplett MIT Rekonstruktion
0 Getötete; 1 Schwerverletzte; 0 Leichtverletzte

Unfallhergang:

Der Beteiligte 02 (PKW Golf Variant) befährt die St. Petersburger Straße aus Richtung Georgplatz kommend in Richtung Rathenauplatz. In Höhe der Fußgänger-LSA, welche zum Unfallzeitpunkt bereits abgeschaltet ist, möchte der Unfallbeteiligte 01 (Fußgänger) mit mehreren Personen die Fahrbahn aus Richtung Lingnerallee überqueren. Dabei kommt es zwischen beiden Unfallbeteiligten zur Kollision. Der Bet. 02 erfasst, trotz Ausweichversuches, den Fußgänger. Dieser wird einige Meter mitgerissen und bleibt schwer verletzt auf der Fahrbahn liegen.

Abbildung 112 Unfallbeschreibung aus GIDAS Fallakte



Abbildung 113 Umgebungsbilder (Auszug) aus GIDAS Unfallbildakte



Abbildung 114 Fahrzeugkontaktstellen (Auszug) aus GIDAS Unfallbildakte

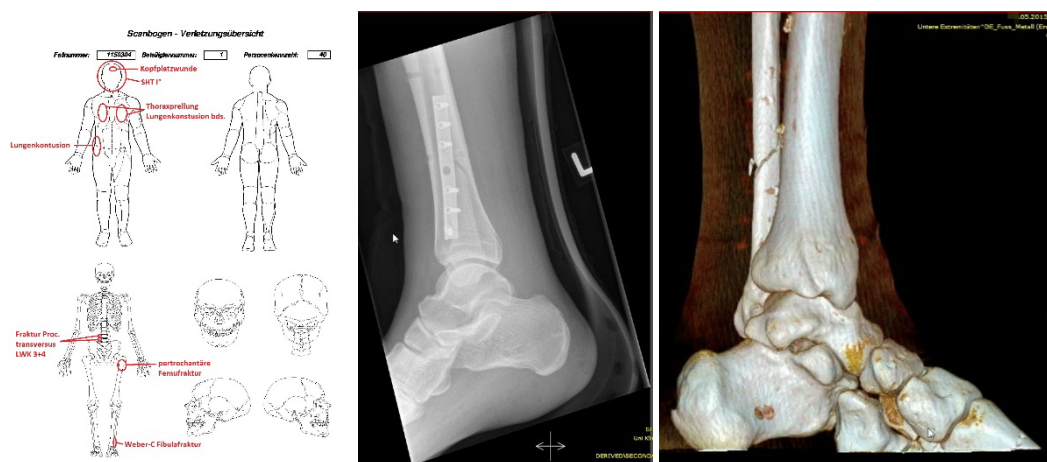


Abbildung 115 Verletzungsdaten (Auszug) aus GIDAS Unfallbildakte

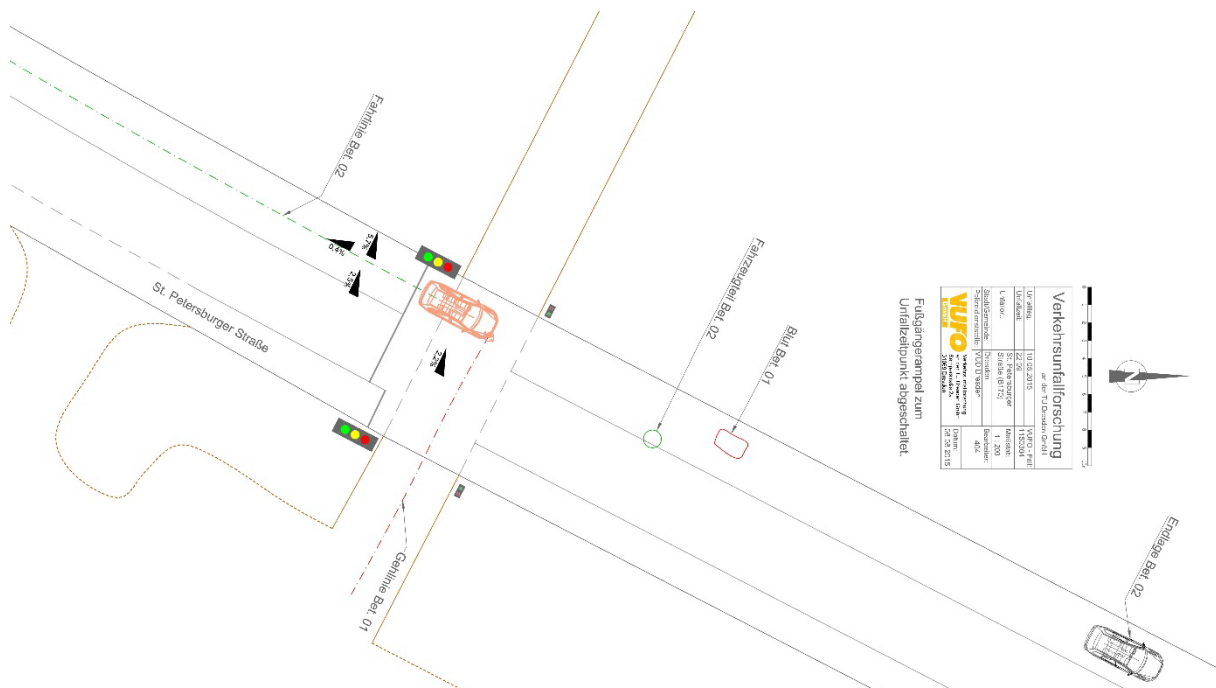


Abbildung 116 Digitale Unfallskizze aus GIDAS Unfallbildakte

Der Projektpartner Fraunhofer EMI übermittelte die Fall-ID der simulierten Fälle und erhielt die entsprechend aufbereiteten Fallakten zur weiteren Plausibilisierung.

2.5 AP5 Demonstrator – Virtuelle Fahrumgebung

Das AP5 wurde vom Partner Quality Minds geleitet. Darin beteiligte sich RB in TAP5.1 und TAP5.3, wobei die Leitung von TAP5.1 der Robert Bosch GmbH obliegt. Dazu gehören Aufgaben der Organisation der Inhalte, Planung und Durchführung von TAP5.1.

In einer bereits frühen Phase von ATTENTION wurde festgestellt, dass die finale Version des Verletzungsrisikoindex (MS5.1) erst relevant wird, wenn Meilenstein 4.3 (Monat 24) erreicht ist und eine „Initiale Version des synthetischen Trainingsdatensatzes verfügbar“ ist, für die ein entsprechender Indexwert berechnet werden kann.

Daher war eine Finalisierung des VRU-Verletzungsrisikoindex bis Monat 12 nicht erforderlich und die Ermittlung wurde auf einen späteren Zeitpunkt (Monat 24) gelegt. Die Bestimmung des Verletzungsrisikoindex erfordert zudem die Verfügbarkeit der „ersten Positions- und Bewegungsdaten eines FE-AHBMs“ (M3.2), die erst für Monat 18 geplant war. In Folge wurde der Meilenstein M5.1 umbenannt in „M5.1: Initiale Version des VRU-Verletzungsrisikoindex aus Einzelverletzungen“.

2.5.1 Abbildung der Einzelverletzungen in einen Verletzungsrisikoindex

Das Ziel von TAP 5.1 ist es, einen Verletzungsrisiko-Index zu ermitteln. Basis hierfür sind Kenngrößen aus dem **Fahrzeugzustand**, den **prognostizierten Einzelverletzungen** sowie **Information aus der retrospektiven Analyse von Realunfalldaten**. Um eine erste initiale Version des VRU-Verletzungsrisiko-Index aus Einzelverletzungen zu konzeptionieren, wurden zunächst Voraussetzungen definiert, die einen derartigen Risikoindex auszeichnen sollen. Hierzu wurden folgende Rahmenbedingungen / Kriterien definiert:

- Dynamikbereich des Index soll zwischen 0 und 100 liegen
 - 0 := „Kollisionsrisiko und Verletzungsrisiko wird als gering eingestuft“
 - 100 := „Kollisionsrisiko und Verletzungsrisiko wird als sehr hoch eingestuft“
- Index muss 0 sein bei
 - stehendem Fahrzeug $v_{\text{EGO}} = 0\text{km/h}$
 - rückwärtsfahrendem Fahrzeug
 - stehendem VRU ($v_{\text{VRU}} = 0\text{km/h}$) **UND** die Position des VRU ist nicht im Fahrschlauch des EGO-Fahrzeugs, bzw. es wird abgeschätzt, dass zu einem späteren hypothetischen Zeitpunkt der VRU sich nicht im Fahrschlauch des Fahrzeugs befindet.
- Index muss 100 sein bei
 - VRU ist im Fahrschlauch des EGO-Fahrzeugs **UND** das Fahrzeug überschreitet einen zu definierenden Geschwindigkeits-Schwellwert von, z.B. $v_{\text{EGO}} > \sim 50\text{km/h}$
Begründung: Ab einer gewissen Geschwindigkeit ist mit sehr schweren oder gar tödlichen Verletzungen für den VRU auszugehen.

Eine mögliche visuelle Umsetzung in einem Demonstrator ist schematisch in der folgende Darstellung abgebildet:

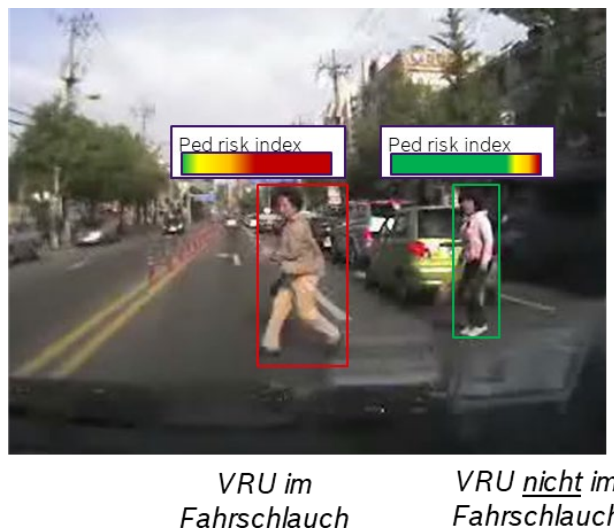


Abbildung 117: Prinzipdarstellung eines VRU-Verletzungsrisiko-Index.

Evaluierung geeigneter Verfahren zur Abbildung und Gewichtung von Verletzungsrisiken von Körperregionen

Im Rahmen der Entwicklung eines Verletzungsrisiko-Index für ungeschützte Straßenverkehrsteilnehmer ist es wichtig Kriterien zu verwenden, welche eine Einordnung der Schwere von Verletzungen berücksichtigt. Hierzu gibt es in der Praxis verschiedene Kenngrößen. Das am meisten bekannte Verletzungskriterium ist die AIS (Abbreviated Injury Scale). Die AIS ist eine Skala, die die Schwere von Verletzungen anhand einer numerischen Bewertung von 1 bis 6 klassifiziert, wobei 1 für leichte und 6 für tödliche Verletzungen steht [49]. Diese Skala ermöglicht eine standardisierte und objektive Bewertung von Verletzungen, welche üblicherweise bei der Bewertung und Entwicklung von Fahrzeugsicherheitssystemen berücksichtigt wird.

Aufbauend auf der AIS wird auch die MAIS (Maximum Abbreviated Injury Scale) verwendet. Der MAIS ist der höchste Schweregradcode für Verletzungen bei Patienten mit mehreren Verletzungen. Er wird von Forschern, insbesondere im Bereich der Verletzungen bei Verkehrsunfällen, verwendet, um mit einem einzigen Wert die maximale Schwere der erlittenen Verletzungen am ganzen Körper zu beschreiben. Die Größen AIS oder MAIS sind besonders nützlich, um die Häufigkeit bestimmter Verletzungen und ihre relative Schwere zu vergleichen sowie Veränderungen in diesen Häufigkeiten zu untersuchen, die sich aus einer Änderung des Fahrzeugdesigns, wie z.B. Airbags, oder einer Änderung der öffentlichen Politik, wie z.B. der obligatorischen Anschnallpflicht, ergeben können.

Obwohl AIS und MAIS als Bewertungssysteme für Verletzungen weit verbreitet sind, weist die Skala einige Nachteile auf, insbesondere im Vergleich zum Injury Severity Score (ISS). Der ISS basiert auf der Grundlage des AIS und MAIS und bietet eine umfassendere Bewertung der Verletzungsschwere, da die Schwere mehrerer Verletzungen in Kombination berücksichtigt wird. Beim AIS bzw. MAIS geht nur der Wert einer Einzelverletzung ein (Sterbewahrscheinlichkeit an der Verletzung) d.h. die Kombination von verschiedenen Verletzungen bzw. die Anzahl der Einzelverletzungen spielt keine Rolle. Daher ermöglicht der ISS (Wertebereich 1 bis 75) eine genauere Einschätzung der Gesamtverletzungsschwere und ist präziser bei der Beurteilung von Verletzungsrisiken. Im Vergleich dazu kann der MAIS die Gesamtverletzungsschwere möglicherweise nicht so genau beschreiben, da er sich ausschließlich auf die schwerste Verletzung konzentriert. Allerdings kann der ISS Score keine unbekannten Verletzungen verarbeiten. Aufgrund der Tatsache, dass das verwendete THUMS Modell nur AIS 5 Verletzungen und keine AIS 6 Verletzungen abbilden kann, war die Verwendung des ISS im ersten Schritt eingeschränkt. In den Simulationen traten aber vor allem Verletzungen von AIS 1 bis 3 auf, so dass ein AIS 5 schon ein Extremwert darstellte.

Daher war es naheliegend auch bei der Entwicklung eines Risiko-Index den AIS, MAIS bzw. ISS oder Kombinationen daraus zu berücksichtigen, um eine präzise Einschätzung des Verletzungsrisikos für ungeschützte Straßenverkehrsteilnehmer zu gewährleisten. Aufgabe in AP5 war es daher eine geeignete Methodik zu finden, wie auf Basis der Simulationen ein entsprechender Index ermittelt werden kann, welcher als Grundlage für die Optimierung zu Unfallfolgenminderung des VRU Unfalls dient.

Daraus ergeben sich im Weiteren folgende Vorüberlegungen. Wie aus dem Stand der Technik bekannt ist, können u.a. Fußgänger auf verschiedene Arten verunfallen. Wie in der folgenden auf ATTENTION Lastfälle angepasste Tabelle aus [50] gilt es am Beispiel von Fußgänger-Unfällen verschiedene Merkmale beim Primärkontakt zu berücksichtigen (nicht ATTENTION relevante Sachverhalte wurden gestrichen).

	Fußgänger/-in	Kontaktpartner
Bewegungsart	- Stillstand - Stationäre Bewegung - Beschleunigung - Verzögerung	- Verzögerung - Stationäre Bewegung - Beschleunigung - Stillstand
Bewegungsrichtung	- Zum Hindernis hin - Vom Hindernis weg	- Stillstand - Vorwärtsbewegung - ~~Rückwärtsfahrt~~ - Schleudern - Überschlag
Kontaktart, Kollisionsart, Ort des Kontakts	- Körper voll getroffen - Körper teilweise getroffen - Streifkollision - Überrollen - Überfahren	- Frontal - ~~Hinten~~ - ~~Seitlich (links/rechts)~~ - ~~Unten~~ - ~~Oben~~

Tabelle: Merkmale am Beispiel von Fußgängerunfällen aus [50].

Der darin beschriebene Sachverhalt wird durch die Arbeiten in AP2 und AP3 bestätigt. Beispielhaft ist dies anhand der KOTI-Unfalldaten für zwei Fußgängerkollisionen in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

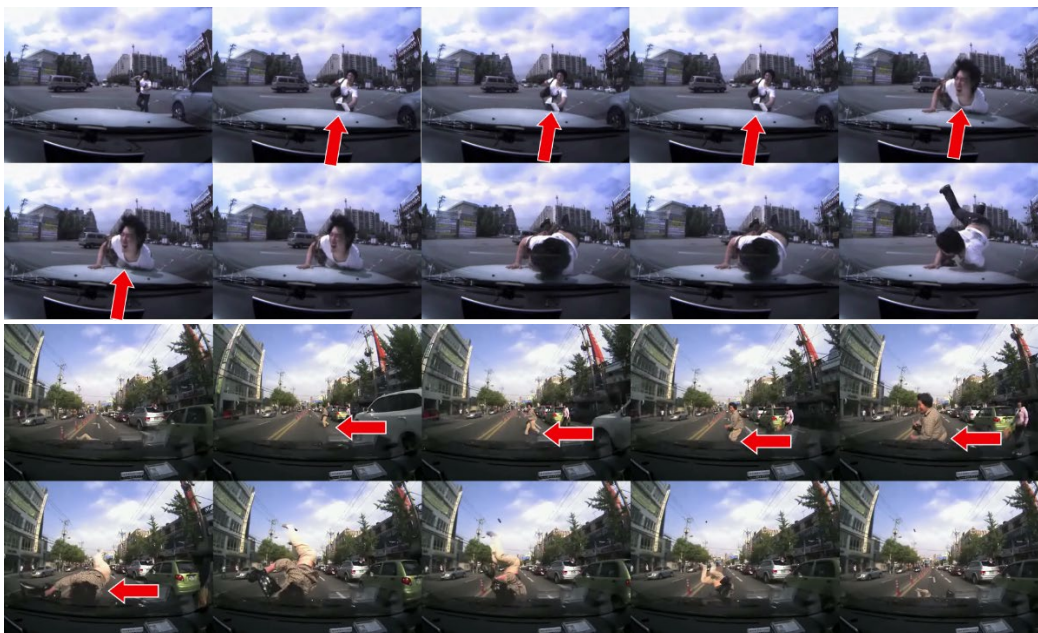
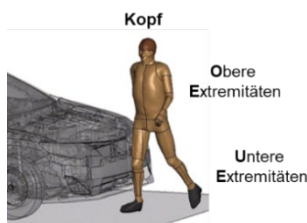


Abbildung 118: Kollisionsstellung bedingt unterschiedliche Erstkontakte.

Wie die Aufschlüsselung des Unfalls in Sequenzen zeigt, trifft im oberen Fall der Fußgänger frontal in einer Abwehrhaltung auf das anfahrende Fahrzeug. In der unteren Sequenz hingegen quert die Fußgängerin die Fahrbahn und wird in Folge von der Fahrzeugfront in einer verzögernden Fahrzeugbewegung, seitlich getroffen. Entsprechend sind unterschiedliche Verletzungsmuster der jeweiligen Körperregionen die Folge.

Dieser Sachverhalt wurde in AP4 aus der GIDAS Analyse ebenfalls ermittelt und kommt nun in TAP5.1 weiterhin zum Tragen. Es gilt anzumerken, dass für ATTENTION die Verletzung des Primäranpralls verwendet wurde. Weitere Verletzungen als Folge von Sekundärkollisionen (Bodenaufprall, Kollision mit weiteren Objekten) wurden durch die Beschränkung in der Simulation von AP4 auf den VRU/Fahrzeugkontakt nicht weiter berücksichtigt. Dies wurde bereits in einer frühen Phase von AP4 zusammen mit den anderen Projektpartnern insbesondere mit Fraunhofer EMI abgestimmt.

Ein erster Konzeptansatz für den Risikoindex berücksichtigt die gewichtete Kenngröße aus dem Maximum der Einzelverletzungen (MAIS) nach Körperregion (Kopf, Oberkörper, Untere Extremitäten) für den Primäranprall. Der Vorteil dabei ist, dass die Wichtung für unterschiedliche Verkehrsteilnehmer appliziert werden kann. Sofern weitere Körperpartien integriert werden, lassen sich diese auch über eine entsprechende Wichtung einfach in die Berechnung einbeziehen. Beispielhaft ist das Verfahren in der folgenden Formel wiedergegeben.



$$IR_{ATTENTION} := \frac{\left(\frac{w_1 \cdot MAIS_{Kopf} + w_2 \cdot MAIS_{OE} + w_3 \cdot MAIS_{UE}}{\sum_{i=1}^3 w_i} \right)}{6} \cdot 100$$

mit z.B. $w_1 = 0,5$, $w_2 = 0,2$, $w_3 = 0,3$ und $MAIS := 1 \dots 6$

Kenngrößen aus dem **Fahrzeugzustand** wie Geschwindigkeit oder Bremsung sowie **Kollisionsrelevante Parameter** wie Kollisionswinkel wurden zunächst nicht berücksichtigt.

Abgleich der erarbeitenden Metrik an einer Unfalldatenbank

Die Grundlage für die Ermittlung des hypothetischen Index auf Basis der oben beschriebenen Metrik bildet die Dokumentation der Verletzungswerte in GIDAS, welche für AP4 ermittelt wurden. Diese Werte spiegeln den Zustand der Verletzungen zum Zeitpunkt der Erstkollision (Primäranprall) wider.

Zur Überprüfung wurde folgender Ansatz gewählt:

Für die Gewichtungsfaktoren w_i wurden die ermittelten Häufigkeiten der Verletzungen aus den Körperregionen für jeweils Fußgänger und Radfahrer als erster Ansatz verwendet. Damit ergibt sich für einen ersten Risiko-Index folgende Berechnungsvorschrift mit den jeweiligen Gewichtungsfaktoren.

$$IR := \frac{\left(\frac{w_1 \cdot MAIS_{face} + w_2 \cdot MAIS_{head\ wo\ face} + w_3 \cdot MAIS_{neck} + w_4 \cdot MAIS_{thorax} + w_5 \cdot MAIS_{UE} + w_6 \cdot MAIS_{spine} + w_7 \cdot MAIS_{abdomen} + w_8 \cdot MAIS_{LE} + w_9 \cdot MAIS_{other}}{\sum_{i=1}^9 w_i} \right)}{6} \cdot 100\%$$

mit den Wichtungen für Fußgänger:

$w_1 = 0,22$; $w_2 = 0,34$; $w_3 = 0,01$; $w_4 = 0,13$; $w_5 = 0,47$; $w_6 = 0,11$; $w_7 = 0,08$; $w_8 = 0,77$; $w_9 = 0,02$

und den Wichtungen für Radfahrer:

$w_1 = 0,17$; $w_2 = 0,20$; $w_3 = 0,01$; $w_4 = 0,12$; $w_5 = 0,54$; $w_6 = 0,11$; $w_7 = 0,05$; $w_8 = 0,75$; $w_9 = 0,02$

Um eine erste Abschätzung für das Verfahren zu bekommen, wurde gemäß der Berechnungsvorschrift für alle relevanten ATTENTION Unfälle die Daten der GIDAS Unfalldatenbank verwendet und ein hypothetischer Risiko-Index für die jeweiligen Fälle ermittelt. Aus den Wichtungsfaktoren ist ersichtlich, dass die unteren Körperregionen insbesondere „Beine“ mit einem sehr hohen Wichtungsfaktor versehen ist, da idR. das Bein den ersten Kontakt zum Fahrzeug herstellt.

Dies diene zur Prüfung, ob eine entsprechende Sensibilität gegenüber den Realunfälle gegeben ist. Die folgenden Abbildungen geben den Sachverhalt für Fußgänger bzw. Radfahrer wieder.

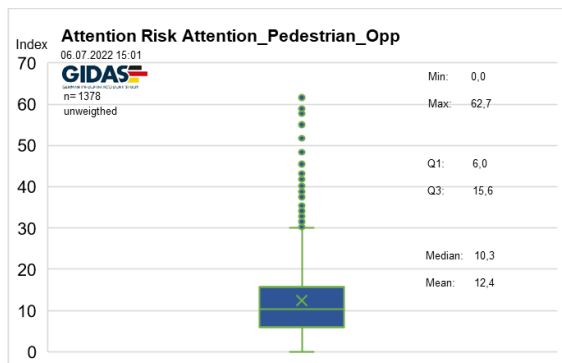


Abbildung 119: Injury-Risk Index für Fußgänger auf Basis Verletzungsschwere nach Körperregion.

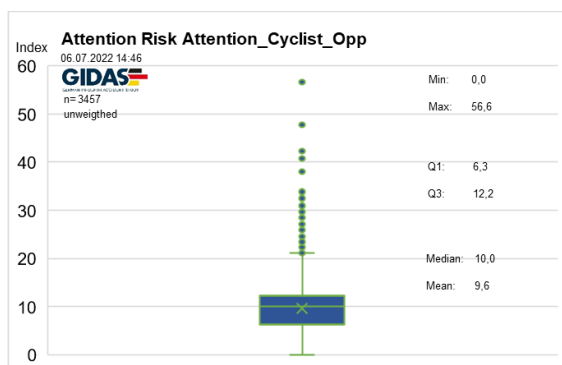


Abbildung 120: Injury-Risk Index für Radfahrer auf Basis Verletzungsschwere nach Körperregion.

Es ist offensichtlich, dass der dominierende MAIS-Wert den Risikoindex stark beeinflusst. Dies ist naheliegend, da die Verletzungen hauptsächlich MAIS-1-Verletzungen sind. Eine Anpassung der Wichtungsfaktoren führt zwar zu einer Spreizung des Risikoindex, jedoch war zu diesem Zeitpunkt noch nicht absehbar, welche Verletzungsrisikofunktionen für jeweilige Körperregionen verfügbar waren und in der Simulation verwendet werden konnten. Darüber wurden in dem ersten Ansatz keine Kenngrößen wie den **Fahrzeugzustand** oder **kollisionsrelevante Parameter** berücksichtigt.

Innerhalb von TAP5.1 kam man überein, dass Resultate aus AP3 und AP4 verfügbar sein mussten, um eventuelle Bewegungsmuster / Posen sowie verfügbare Verletzungsrisikofunktionen im Konzept zu berücksichtigen. Daraus abgeleitet wurden entsprechende Anpassungen am Konzept vorgenommen.

Anpassung und Weiterentwicklung des erarbeiteten Ansatzes für die spezifische Anwendung des VRU-Verletzungsrisikoindex

Die Ergebnisse aus AP3 zeigten, dass sich die Anzahl der für die Prognose verfügbaren Posen auf Fünf begrenzt. Ergänzend dazu musste man den Parameterraum für die Simulation in AP4 ebenfalls

auf eine gewisse Anzahl begrenzen, um überhaupt Simulationen durchführen zu können. Die Abbildung zeigt das bis dato vorherrschende Konzept erweitert um die VRU-Hüllkurve welche aus den Posen aus AP3 ermittelt wurde und für eine Index-Schätzung Anwendung finden sollte.

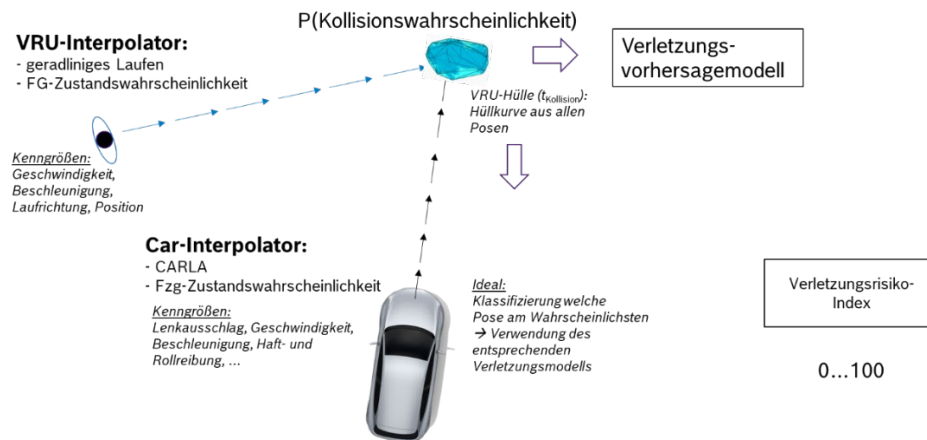


Abbildung 121: Angepasstes Konzept zur Ermittlung des Risiko-Index durch Integration der in AP3 ermittelten Posen.

Prognose des VRU-Verhaltens innerhalb der CARLA-Simulationsumgebung

Im Rahmen von TAP5.1 kam man überein, dass im Kern für eine Verletzung bei einem Anprall von Fußgänger und Radfahrer, folgende Kenngrößen als dominierend gelten:

- Fahrzeuggeschwindigkeit
- Anprallwinkel
- Kollisionspunkt an der Fahrzeugfront
- Fußgänger-/Radfahrgeschwindigkeit
- Abgeschätzte Pose aus AP3

Zum Aufbau der Verletzungsdatenbank wurde daraufhin der Parameterraum über die GIDAS Analysen – siehe AP4 – aufgebaut und als Grundlage für die Simulation verwendet.

Damit konnte der Verletzungsrisiko-Index weitestgehend auf das prädiizierte Verletzungsrisiko unter Berücksichtigung der AIS-Werte abgebildet werden.

In Folge wurde seitens des Fraunhofer EMI der Maximum Injury Risk Index (MIRI) definiert und vorgeschlagen. Eine Komponente des MIRI ist der Maximum Injury Risk (MIR). Für dessen Berechnung wird der höchste AIS-Grad und entsprechende Risikowerte aus den verfügbaren Verletzungskriterien gewählt, für den der Risikowert einen bestimmten Risikogrenzwert überschritten hat. Im Fall, dass der Risikogrenzwert von keinem Verletzungskriterium überschritten wurde, wird der Risikogrenzwert verringert und der MIR erneut berechnet. MIRI ist folglich ein 2er Tupel bestehend aus dem MIR und dem zugehörigen AIS Grad (bspw.: 57 %, AIS3).

Die Verletzungsrisikowerte werden für alle ausgewählten Verletzungskriterien aller Körperregionen berechnet. Dabei werden spezifische Verletzungsrisikofunktionen für jede Körperregion berücksichtigt, die auf den Einzelverletzungswerten basieren (Vgl. TAP4.2). Beispielsweise werden für das Gehirn das CSDM-Kriterium und für den Thorax das Forman-Rippenbruchkriterium (basierend auf GIDAS-Durchschnittswerten für 45-Jährige) verwendet. Ebenso werden für das Becken MPS-basierte Kriterien (basierend auf GIDAS-Durchschnittswerten für 45-Jährige) sowie das Ablenkungskriterium, für den Femur ein Moment-basiertes Kriterium und für die Tibia und Fibula ein Moment-basiertes und

ein Moment- und Kraft-basiertes Tibia-Kriterium berücksichtigt. Wie in TAP4.2 beschrieben, deckt jedes Kriterium unterschiedliche AIS-Schweregrade zwischen AIS1 und AIS5 ab.

Es zeigte sich im weiteren Verlauf der Arbeiten in AP5, dass der MIRI-Index das erhöhte Verletzungsrisiko im Falle multipler Verletzungen nicht berücksichtigen kann. Daraufhin wurde seitens des EMI ein Vorschlag erarbeitet, neben dem MAIS auch den ISS und New Injury Severity Score (NISS) als Kenngrößen aufzunehmen.

Der auf dem MIRI-Index basierende MIRIAM (Multiple Injury Risks Assessment Metric) Index berücksichtigt zusätzlich einen gewichteten Wert, der den Einfluss aller anderen Verletzungskriterien abbildet, die den Risikogrenzwert ebenfalls überschreiten. MIRIAM ist folglich ein 3er Tupel. Durch MIRIAM wird beispielsweise ein Szenario, in dem nur ein hohes Kopfverletzungsrisiko präzisiert wird, als sicherer eingestuft als ein Szenario, bei dem zusätzlich zum Kopfverletzungsrisiko auch ein hohes Verletzungsrisiko in anderen Körperbereichen (bspw. Rippen und Pelvis) präzisiert wird.

Die Arbeiten zu MIRI und MIRIAM werden an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt, da sie durch das Konsortium zukünftig wissenschaftlich veröffentlicht werden als Teil des Verwertungsplans.

MIRI und MIRIAM wurden im weiteren Verlauf von AP5 verwendet, um die ATTENTION Methode zur Verletzungsmitigierung zu demonstrieren.

2.5.2 Modellanwendung und Konzeptionierung von Unfallfolgenminderungsmaßnahmen

TAP5.3 hatte zum Ziel, die in AP2 erarbeiteten Methoden aus der Videoanalyse in die Modellanwendung zu integrieren. Wie oben zu TAP5.1 bereits beschreiben wurde, kam man überein, dass die verfügbaren Posen die Grundlage bilden sollten, welches als geschätzte End-Pose im Falle einer Kollision auftreten könnten. Diesbezüglich wurde seitens IMSB eine Hüllkurve aus allen extrahierten Posen, welche in AP2 ermittelt werden konnten, erstellt. Diese wurde seitens QM entsprechend in die Simulationsumgebung CARLA implementiert.

Weiterhin war es das Ziel in TAP5.3 entsprechende Konzepte für unfallmindernde Maßnahmen aus der aktiven und passiven Sicherheit zu erstellen. Der Schutz von ungeschützten Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Radfahrern ist ein zentrales Anliegen der modernen Fahrzeugentwicklung. Mit der steigenden Anzahl von Pedelecs und Fahrrädern im Straßenverkehr gewinnt dieses Thema zunehmend an Bedeutung. Die Technologien zur Unfallvermeidung und zur Minderung der Unfallfolgen haben sich in den letzten Jahren erheblich weiterentwickelt.

Die Gesetzgebung zum Fußgänger- und Radfahrschutz variiert weltweit, doch viele Länder haben strenge Vorschriften eingeführt, um die Sicherheit dieser Verkehrsteilnehmer zu erhöhen. In der Europäischen Union beispielsweise sind Fahrzeughersteller verpflichtet, bestimmte Sicherheitsstandards zu erfüllen. Diese werden durch die Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) bewertet und in einem Sterne-Rating zusammengefasst, sind aber nicht verpflichtend. Diese Standards umfassen sowohl passive als auch aktive Sicherheitsmaßnahmen.

Passive Schutzmaßnahmen zielen darauf ab, die Verletzungen bei einem Unfall zu minimieren. Dazu gehören:

- **Aufstellbare Motorhaube:** Diese Technologie hebt die Motorhaube bei einem Aufprall leicht an, um den Aufprall zu dämpfen und den Fußgänger vor harten Motorenteilen zu schützen. Insbesondere geht es darum, dass der Kopf im Falle eines Anpralls nicht auf den Motorblock durchschlägt und so schwerwiegende Kopfverletzungen davonträgt.
- **Außenairbags:** Diese Airbags sind an der Front des Fahrzeugs angebracht und sollen den Aufprall des Radfahrers oder den Fußgänger abmildern, insbesondere wenn sie die harten Fahrzeugstrukturen wie A-Säule oder den Rahmen treffen.

- **Energieabsorbierende Stoßfänger:** Diese Stoßfänger sind so konstruiert, dass sie bei einem Aufprall Energie absorbieren und so die Verletzungsgefahr für Fußgänger und Radfahrer reduzieren. Im Fokus sind dabei die unteren Extremitäten. Wie in AP4 in der GIDAS Analyse gezeigt werden konnte, sind die häufigsten Verletzungen bei Unfällen mit Fußgängerbeteiligung an den Beinen festzustellen.

Aktive Schutzmaßnahmen zielen darauf ab, Unfälle zu vermeiden oder dann ihre Schwere zu reduzieren. Dazu gehören:

- **Automatische Notbremsassistenten (AEB):** Diese Systeme erkennen Fußgänger und Radfahrer und leiten bei Bedarf eine Notbremsung ein. Ziel ist es möglichst viel Energie abzubauen, um idealerweise die Kollision gänzlich zu verhindern oder aber abzumildern.
- **Ausweichassistenten:** Diese Systeme unterstützen den Fahrer beim Ausweichen, um eine Kollision zu vermeiden. Derartige Systeme sind eher schwierig in der Praxis umzusetzen, da ein Ausweichvorgang in der Regel innerhalb der eigenen Fahrspur erfolgen sollte.

Die Erkennung von Fußgängern und Radfahrern in Echtzeit stellt eine erhebliche technische Herausforderung dar. Die Sensorik muss in der Lage sein, diese Verkehrsteilnehmer unter verschiedenen Bedingungen (z.B. bei schlechtem Wetter oder in der Dunkelheit) zuverlässig zu erkennen. Zudem muss das System in der Lage sein, innerhalb von Millisekunden eine geeignete Reaktion zu ermitteln und auszuführen. Um einen Eindruck davon zu erhalten, die Sensorik der passiven Sicherheit muss innerhalb von weniger als 15 Millisekunden den Kontakt mit dem Fußgänger „erkennen“ und Maßnahmen einleiten.

Im Rahmen der Arbeiten rund um TAP5.3 diskutierte man in mehreren Sitzungen u.a. auch mit dem Assoziierten Partner der Mercedes Benz AG darüber, ob es über den Stand der Technik hinaus weiterführende Maßnahmen geben kann. Hierzu wurden u.a. folgende alternative Konzept erörtert:

- **Vernetzte Fahrzeuge:** Durch die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (V2X) können potenzielle Gefahren frühzeitig erkannt und vermieden werden.
- **Warnende Fahrzeuge:** Eine Möglichkeit ist eine akustische oder optische Warnung, um beispielsweise kooperative Maßnahmen einzuleiten. Durch ein akustisches Signal kann der Fußgänger oder Radfahrer gewarnt werden, sodass er zusätzlich zum Fahrzeug selbst Maßnahmen ergreifen kann, wie beispielsweise anzuhalten oder auszuweichen. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit einer räumlichen Vermeidbarkeit und kann dazu beitragen, Unfälle zu verhindern.
- **Künstliche Intelligenz (KI):** KI-basierte Systeme können komplexe Verkehrssituationen analysieren und präzise Vorhersagen treffen, um Unfallfolgen zu reduzieren. Dieses Ziel verfolgt das ATTENTION Projekt und erarbeitet dazu die Grundlage hierfür.
- **Erweiterte Realität (AR):** AR-Systeme könnten Fahrern zusätzliche Informationen in Echtzeit bereitstellen, um die Wahrnehmung und Reaktionsfähigkeit zu verbessern, quasi als Assistenzsysteme der Zukunft.

Da derartige Konzepte einen deutlich höheren Aufwand in der Umsetzung darstellten, kam das Konsortium überein, sich im Rahmen der Projektlaufzeit auf die Maßnahme „Lenken“ und „Bremsen“ bzw. Kombination hieraus im Demonstrator umzusetzen. Auswirkungen wie z.B. weitere Passive Maßnahmen bspw. ein Entkoppeln des Kotflügels wurden nicht weiter betrachtet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Schutz von Fußgängern und Radfahrern eine Kombination aus fortschrittlicher Technologie und intelligenten, situationsangepassten Maßnahmen erfordert. Künstliche Intelligenz bietet vielversprechende Ansätze zur Verbesserung der Erkennung und Reaktion, doch die zeitlichen und räumlichen Grenzen der Aktorik müssen berücksichtigt werden. Reversible passive Systeme und kooperative Maßnahmen wie das Ansteuern der Hupe können zusätzliche Sicherheit bieten und die Unfallvermeidung weiter verbessern. Zukünftige Entwicklungen in der künstlichen Intelligenz und der Fahrzeugkommunikation könnten neue Möglichkeiten eröffnen, um die Sicherheit im Straßenverkehr weiter zu erhöhen.

2.6 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wurde separat mit dem Verwendungsnachweis zur Verfügung gestellt.

2.7 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der Projektverlauf folgte weitestgehend der im Projektantrag formulierten Planung. Die im Arbeitsplan vorgesehenen Arbeiten wurde ebenfalls unter Nutzung der geplanten Ressourcen erfolgreich abgearbeitet. Die einzige Änderung ergab sich durch die Umbenennung des Meilenstein 5.1 „Entwicklung des VRU-Verletzungsrisikoindex aus Einzelverletzungen“ in „M5.1: Initiale Version des VRU-Verletzungsrisikoindex aus Einzelverletzungen“. Durch die Umbenennung musste weder der Zeitplan noch die Zielsetzung des Vorhabens verändert werden. Hintergrund war, dass die finale Version des Verletzungsrisikoindex für den Demonstrator erst in Monat 24 relevant wurde. In der Zeit zwischen Monat 12 und 24 ergab sich daher die Möglichkeit, Anpassungen am Konzept des Index zu machen z.B. bei der Auswahl der Verletzungskriterien.

2.8 Verwertbarkeit

Die Ergebnisse der Arbeiten wurden auf mehreren Konferenzen bzw. Publikation dargestellt, siehe Kapitel 2.10. Die Bosch Unfallforschung konnte ihren Methodenbaukasten zur Auswertung von videodokumentierten Fahrsituation ausbauen über den Aufbau und Ausbau von Datenbanken sowie zugehörige graphische Nutzerschnittstellen, die erlauben, die Situationen und Unfallsequenzen spezifisch in ihren Parametern und Zeitverlauf zu beschreiben. Die Verwendung von Overlays für die Körperform anonymisiert die verwendeten Bildersequenzen.

Langfristig lassen sich die Ergebnisse in die Vorentwicklung sowohl von neuen Fahrerassistenzsystemen als auch von neuen aktiven und passiven VRU-Schutzsystemen einsetzen. Das Projekt ATTENTION lieferte dafür die Grundlage für eine weitere wissenschaftliche-technische Verwertung. Denn auf dem Weg zur industriellen Implementierung müssen noch zwei wichtige Zwischenschritte erfüllt werden: zum einen werden sehr performante Perzeptions- und Controllersysteme benötigt, um im Falle der Unvermeidbarkeit eines Unfalls die Situation erstens zuverlässig bewerten zu können und dann das geeignete Fahrmanöver einzuleiten. Heutige Systeme sind dazu nicht in der Lage. Zweitens muss gewährleistet werden, dass das Fahrmanöver nicht zu einer Verschlechterung der Situation für den VRU führt. Dafür muss zum einen die Datenbasis für die Bewertung deutlich verbreitert werden. Das Projekt ATTENTION hat dafür einen Anfang geliefert mit für KI-Verfahren geringen und schlecht aufgelösten Videodaten und nur wenigen Modellvariationen (z.B. wurde nur jeweils ein Auto- und Fahrradmodell verwendet). Zum anderen müssen die Ergebnisse abgesichert werden durch experimentelle Versuche.

Die genannten Zwischenschritte bieten ein großes Feld für weitere wissenschaftliche Arbeiten in Verbundvorhaben, da zur Lösung sehr verschiedenen Kompetenzen benötigt werden.

2.9 Bekannt gewordener Fortschritt

Im Projektzeitraum erlebte der Bereich KI einen weiteren Durchbruch durch die Verbreitung von Foundation Model, die durch ihre großen Trainingsdatenbasis in Verwendung mit Sprachverständnis zu ganz neuen Möglichkeiten im Bereich der generative KI führten. Dies führte z.B. im Bereich Anonymisierung dazu, dass verschiedenste kommerzielle Anbieter professionelle Anonymisierungssoftware am Markt verfügbar haben.

Die für uns wichtigen Methodiken der Unfallforschung sind davon unberührt geblieben.

2.10 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Lich, Thomas, Jörg Mönnich, Martin Voss, Patrick Lerge, Lennart V. Nölle, and Syn Schmitt. "Applying AI Methods On Video Documented Car-VRU Front Crashes to Determine Generalized Vulnerable Road User Behaviors." In *Proceedings of the 27th International Technical Conference on the*

Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Yokohama, Japan, 2023. <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/27/27ESV-000210.pdf>.

Trube, Niclas, Patrick Lerge, Lennart V. Nölle, Jörg Mönnich, Thomas Lich, and Syn Schmitt. "Development and Plausibility Assessment of an Active Human Body Model in Numerical Cyclist to Vehicle Collision Simulations Based on Real-Life Accident Data." In *Proceedings of the IRCOB Conference*, 2024.

Trube, Niclas, Patrick Matt, Marcin Jenerowicz, Niranjana Ballal, Thomas Soot, Dirk Fressmann, Nikolay Lazarov, Jörg Mönnich, Thomas Lich, Patrick Lerge, Lennart V. Nölle, and Syn Schmitt. "Plausibility Assessment of Numerical Cyclist to Vehicle Collision Simulations Based on Accident Data." In *Proceedings of the IRCOB Conference*, 113–35, 2023. <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc23/pdf-files/2323.pdf>.

Lich, Thomas, Mönnich, Jörg, Schmidt, Daniel, and Voß, Martin. "Preparation of an AI Based Real-Time Injury Risk Index Estimation by Deriving Vulnerable Road User Behavior from Video-Documented Crashes", Symposium "AIRBAG 2022", Mannheim, 2022.

Geplante Veröffentlichungen

Trube, N.; Lerge, P.; Nölle, L.V.; Mönnich, L.; Lich, T.; Schmitt, S. (2025) Plausibility assessment of an active human body model for pedestrian walking postures in numerical vehicle collision simulations based on real-life accident data. *Proceedings of the IRCOB Conference 2025*, Vilnius, Lithuania.).

3 Abkürzungs- und Literaturverzeichnis

3.1 Abkürzungsverzeichnis

Active THUMS V4	Muskelgesteuertes THUMS™ Modell der Version 4
AEB	Automatic Emergency Braking
AEB-VRU	Automatic Emergency Braking-Vulnerable Road User
AES	Automatic Emergency Steering
AHBM	Active Human Body Model
AIS	Abbreviated Injury Score
AP	Arbeitspaket
API	Application Programming Interface
APW	A-priori-Wahrscheinlichkeit
CAD	Computer-Aided Design
CARLA	Open-Source Simulation mit virtueller Verkehrsumgebung
CPU	Central Processing Unit
DOE	Design of Experiment
EuroNCAP	European New Car Assessment Programme
FE	Finite Elemente
FEM	Finite-Elemente-Methode
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
GHBM	Global Human Body Models Consortium
GIDAS	German In-Depth Accident Study, www.gidas.org
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit
HBM	Human Body Model
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key-Performance-Indicator
LIDAR	Light Imaging Detection And Ranging
LS-DYNA	Finite Elemente Solver der Firma ANSYS/LST
MAIS	Maximum Abbreviated Injury Score
MIT Lizenz	Open-Source Lizenz (nach Massachusetts Institute of Technology)
ML	Machine Learning
MOR	Model Order Reduction
MPC	Model Predictive Control
OEM	Original Equipment Manufacturer
OSCCAR	Future Occupant Safety for Crashes in CARs
RGB-Sensor	Rot-Grün-Blau-Sensor
ROM	Reduced Order Modelling
Situationsspezifisch	Bezogen auf die aktuelle Kombination der Eigenschaften von VRU (bspw: Bewegungsart, VRU-Typ), Fahrzeug (bspw: Geschwindigkeit) und Umgebung (bspw: Art des Fahrbahnuntergrunds)
SMPL	skinned multi-person linear model (Methode zur Skeletterstellung aus Bildinformationen) STAR Sparse Trained Articulated Human Body Regressor (Methode zur Skeletterstellung aus Bildinformationen)
TAP	Teilarbeitspaket
THUMS™	Total Human Model for Safety (Warenzeichen der Toyota Motor Corporation)
TRL	Technology Readiness Level
VIBE	Video inference for human body pose and shape (Methode zur Skeletterstellung aus Bildinformationen)
VRU	Vulnerable Road User (ungeschützte Verkehrsteilnehmer bspw. Fußgänger, Radfahrer, motorisierte Zweiradfahrer, ...)

VRU-Impaktsimulation
VT

FE-Simulation einer Kollision/Crash zwischen Fahrzeug und VRU
Virtual Testing

3.2 Literaturverzeichnis

- [1] European Transport Safety Council, „How safe is walking and cycling in Europe? (PIN Flash 38)“, 2020, Verfügbar unter: <https://etsc.eu/how-safe-is-walking-and-cycling-in-europe-pin-flash-38/>
- [2] Runter vom Gas, „Die häufigsten Unfallursachen: Statistisches Bundesamt (Wiesbaden)“, 2018, Verfügbar unter: <https://www.runtervomgas.de/unfallursachen/artikel/die-haeufigsten-unfallursachen.html>
- [3] J. Mönnich, T. Lich, A. Georgi, und N. Reiter, „Did a higher distribution of pedelecs results in more severe accidents in Germany?“, gehalten auf der 6th Expert Symposium on Accident Research, Hannover, Germany, 2014.
- [4] J. Moennich und T. Lich, „Benefit estimation of eBike ABS based on simulation of bicycle accidents“, gehalten auf der 8th International Conference on ESAR, Stuttgart, Germany, 2018.
- [5] BaWü Statistisches Landesamt, „Mehr verunglückte Fahrradfahrende im ersten Halbjahr 2020. Baden-Württemberg: Zahl der Getöteten dennoch rückläufig – Verunglückte mit Pedelecs legen um 47 % zu. Pressemitteilung. <https://www.statistik-bw.de/Presse/Pressemitteilungen/2020248> (abgerufen am 30.03.2021)“, 2020.
- [6] ADAC, „Neue Straßenverkehrsordnung: Diese Regeln und Strafen gelten.“, 2020, Verfügbar unter: [https://www.adac.de/verkehr/recht/verkehrsvorschriften-deutschland/stvo-novelle/#:~:text=Schrittgeschwindigkeit%20f%C3%BCr%20Lkw%20beim%20Abbiegen,11%20km%2Fh\)%20fahren.](https://www.adac.de/verkehr/recht/verkehrsvorschriften-deutschland/stvo-novelle/#:~:text=Schrittgeschwindigkeit%20f%C3%BCr%20Lkw%20beim%20Abbiegen,11%20km%2Fh)%20fahren.)
- [7] M. A. L. Pindeus, R. Bose, L. C. Nooteboom, und A. J. Berstein, „Systems and methods for predicting pedestrian intent“, WO 2019/116099 A1, 2019
- [8] Statistisches Bundesamt, „Verkehr: Verkehrsunfälle“, *Destatis Fachserie 8 Reihe 7*, 2020, Verfügbar unter: In: https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/verkehrsunfaelle-jahr-2080700197004.pdf?__blob=publicationFile
- [9] K. Shigeta, Y. Kitagawa, und T. Yasuki, „Development of Next Generation Human FE Model capable of Organ Injury Prediction“, *Proceedings of the 21st Annual Enhanced Safety of Vehicles*, Nr. 15–18, 2009.
- [10] M. Iwamoto, Y. Nakahira, und H. Kimpara, „Development and Validation of the Total Human Model for Safety (THUMS) Toward Further Understanding of Occupant Injury Mechanisms in Precrash and During Crash“, *Traffic injury prevention*, Bd. 16 Suppl 1, S. S36-48, 2015, doi: 10.1080/15389588.2015.1015000
- [11] O. Martynenko, F. T. Neiningen, und S. Schmitt, „Development of a Hybrid Muscle Controller for an Active Finite Element Human Body Model in LS-DYNA Capable of Occupant Kinematics Prediction in Frontal and Lateral Maneuvers.“, In: *Proceedings of the 26th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*., S. 1–12, 2019.
- [12] J. Redmon und A. Farhadi, „Yolov3: An incremental improvement“, *arXiv preprint arXiv:1804.02767*, 2018.
- [13] FNIR Project, FP7, CORDIS, „Fusing Far-Infrared and Near-Infrared Imaging for Pedestrian Injury Mitigation: European Commission (europa.eu)“, 2010.
- [14] D. Kim, J. Kwon, S. Han, Y.-L. Park, und S. Jo, „Deep Full-Body Motion Network for a Soft Wearable Motion Sensing Suit“, *IEEE/ASME transactions on mechatronics : a joint publication of the IEEE Industrial Electronics Society and the ASME Dynamic Systems and Control Division*, Bd. 24, Nr. 1, S. 56–66, 2019, doi: 10.1109/TMECH.2018.2874647
- [15] Y. Huang, M. Kaufmann, E. Aksan, M. J. Black, O. Hilliges, und G. Pons-Moll, „Deep inertial poser: Learning to reconstruct human pose from sparse inertial measurements in real time“, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Bd. 37, Nr. 6, S. 1–15, 2018.
- [16] M. Wang, J. Tighe, und D. Modolo, „Combining Detection and Tracking for Human Pose Estimation in Videos“, in *2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, IEEE, 2020. doi: 10.1109/cvpr42600.2020.01110
- [17] S. Ullman, „The interpretation of structure from motion“, *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, Bd. 203, Nr. 1153, S. 405–426, 1979, doi: 10.1098/rspb.1979.0006
- [18] G. Pavlakos u. a., „Expressive Body Capture: 3D Hands, Face, and Body From a Single Image“, in *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2019.
- [19] T. Hassner und R. Basri, „Example Based 3D Reconstruction from Single 2D Images“, in *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition workshop, 2006*, C. Schmid, S. Soatto, und C. Tomasi, Hrsg., Piscataway, NJ: IEEE, 2006, S. 15. doi: 10.1109/CVPRW.2006.76

- [20] A. A. A. Osman, T. Bolkart, und M. J. Black, „STAR: Sparse Trained Articulated Human Body Regressor“, *arXiv preprint arXiv:2008.08535*, 2020.
- [21] M. Loper, N. Mahmood, J. Romero, G. Pons-Moll, und M. J. Black, „SMPL: A skinned multi-person linear model“, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, Bd. 34, Nr. 6, S. 1–16, 2015.
- [22] M. Schachner, B. Schneider, W. Sinz, und C. Klug, „Extracting Quantitative Descriptions of Pedestrian Pre-crash Postures from Real-world Accident Videos“, in *international research council on biomechanics of injury*, 2020, S. 231–249.
- [23] M. Kocabas, N. Athanasiou, und M. J. Black, „VIBE: Video Inference for Human Body Pose and Shape Estimation“. 12. November 2019. Verfügbar unter: <https://arxiv.org/pdf/1912.05656>
- [24] L. Noelle, S. Schmitt, und O. V. Martynenko, „Defining Injury Criteria for the Muscle-Tendon-Unit.“, In: *Proceedings of the IRCOBI Conference 2020*..
- [25] C. Leo, M. Gruber, F. Feist, W. Sinz, F. Roth, und C. Klug, „The Effect of Autonomous Emergency Braking Systems on Head Impact Conditions for Pedestrian and Cyclists in Passenger Car Collisions“, *Proceedings of the IRCOBI Conference 2020*.
- [26] C. Desai, G. Sharma, P. Shah, C. Ageorges, und C. Mayer, „A generic Positioning Tool for Human Body FE Models“, *IRCOBI Conference*, 2012.
- [27] T. Janak, Y. Lafon, P. Petit, und P. Beillas, „Transformation Smoothing to use after Positioning of Finite Element Human Body Models“, *Proceedings of the IRCOBI Conference 2018*, 2018.
- [28] Beillas P., Wang X., Lafon Y., Frechede B., und Janak T., „PIPER EU Project Final publishable summary. Technical report. IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports.“, 2017.
- [29] G. Bacquaert, C. Bach, D. Draper, S. Peldschus, und F. Duddeck, „Positioning human body models for crashworthiness using model order reduction“, *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, S. 1–10, 2020, doi: 10.1080/10255842.2020.1763321
- [30] N. Ichinose, „Investigation for efficient pre-simulation method in THUMS application“, *THUMS User Meeting*, 2019.
- [31] K. Kayvantash, „Reduced Models of human bodies for Complex, Time Dependent and Multi-physics analysis“, *7th Human Modeling and Simulation Symposium*, 2018.
- [32] K. Kayvantash, „ODYSSEE – A Decision Support System with Intelligence Kernels, CADLM, (www.cadlm.com)“, 2015.
- [33] K. Kayvantash, A.-T. Thiam, D. Ryckelynck, S. B. Chaabane, J. Touzeau, und P. Ravier, „Model Reduction Techniques for LS-DYNA ALE and Crash Applications“, in *Proceedings of 10th European LS-DYNA Conference*., 2015.
- [34] Z. Fang und A. M. López, „Intention recognition of pedestrians and cyclists by 2d pose estimation“, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Bd. 21, Nr. 11, S. 4773–4783, 2019.
- [35] H. Tan, F. Zhao, H. Hao, Z. Liu, A. A. Amer, und H. Babiker, „Automatic emergency braking (AEB) system impact on fatality and injury reduction in China“, *International journal of environmental research and public health*, Bd. 17, Nr. 3, S. 917, 2020.
- [36] N. Trube, P. Matt, und M. Boljen, „A Numerical Study on Pedestrian and Wheelchair User Safety in VRU-Vehicle Collisions“, in *Proceedings of the IRCOBI Conference 2020*., 2020.
- [37] F. Martínez-Martínez, M. J. Rupérez-Moreno, M. Martínez-Sober, J. A. Solves-Llorens, Lorente, D., Serrano-López, A. J., und J. D. Martín-Guerrero, „A finite element-based machine learning approach for modeling the mechanical behavior of the breast tissues under compression in real-time“, *Computers in biology and medicine*, Bd. 90, S. 116–124, 2017.
- [38] F. Zong, H. Zhang, H. Xu, X. Zhu, und L. Wang, „Predicting severity and duration of road traffic accident“, *Mathematical Problems in Engineering*, Bd. 2013, 2013.
- [39] K. Assi, S. M. Rahman, U. Mansoor, und N. Ratrou, „Predicting crash injury severity with machine learning algorithm synergized with clustering technique: A promising protocol“, *International journal of environmental research and public health*, Bd. 17, Nr. 15, S. 5497, 2020.
- [40] Dosovitskiy A, Ros G, Codevilla F, Lopez A, Koltun V. (last), „CARLA: An open urban driving simulator. In: Conference on robot learning“, gehalten auf der Conference on Robot Learning, 2017, S. 1–16.
- [41] Epic Games, „Unreal Engine: Available at: <https://www.unrealengine.com>.“, 2019.
- [42] Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., *Unfalltypen-Katalog: Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps, Informationen des Instituts für Straßenverkehr*. 1998.
- [43] John D. States, „The Abbreviated and the Comprehensive Research Injury Scales“, *STAPP car crash journal*, Bd. 13, 1969.
- [44] Lich, Thomas, Mönnich, Jörg, Schmidt, Daniel, und Voß, Martin, „Preparation of an AI based real-time injury risk index estimation by deriving Vulnerable Road User behavior from video-documented crashes“, gehalten auf der Symposium „AIRBAG 2022“, Nov. 2022.

-
- [45] T. Lich, J. Mönnich, M. Voss, P. Lerge, L. V. Nölle, und S. Schmitt, „Applying AI Methods On Video Documented Car-VRU Front Crashes to Determine Generalized Vulnerable Road User Behaviors“, in *Proceedings of the 27th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV)*, Yokohama, Japan, 2023. Verfügbar unter: <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/27/27ESV-000210.pdf>
- [46] „Development & Validation of a Finite Element Model for the 2012 Toyota Camry Passenger Sedan“, George Mason University, Tech Summary doi:10.13021/G8N88. Verfügbar unter: <https://www.ccsa.gmu.edu/wp-content/uploads/2016/06/2012-toyota-camry-tech-summary-v5.pdf>. [Zugegriffen: 24. Juli 2024]
- [47] „Bicyclist target ACEA specifications Version 1.0“, European Automobile Manufacturers Association, 2018. Verfügbar unter: <https://www.acea.auto/publication/articulated-pedestrian-target-acea-specifications/>. [Zugegriffen: 8. Juli 2024]
- [48] N. Trube u. a., „Plausibility Assessment of Numerical Cyclist to Vehicle Collision Simulations based on Accident Data“, in *Proceedings of the IRCOB Conference*, Cambridge, UK, 2023, S. 113–135. Verfügbar unter: <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc23/pdf-files/2323.pdf>
- [49] *The Abbreviated Injury Scale: 2015 revision*, 6. Aufl. Chicago, IL: Association for the Advancement of Automotive Medicine, 2018.
- [50] *Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion*, 3. Heinz Burg, Hartmut Rau, Andreas Moser im Verlag INFORMATION Ambs GmbH - ATZ/MTZ Fachbuch, 2017.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Verbundprojekt: ATTENTION – Artificial Intelligence for real-time injury prediction, Teilvorhaben Unfallanalyse und KI-basierte Prognose von Verletzungswerten	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Lich, Thomas Mönnich, Jörg Schmidt, Daniel Voß, Martin	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2024
	6. Veröffentlichungsdatum 2024
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Robert Bosch GmbH Robert-Bosch-Campus 1 71272 Renningen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19A21027A
	11. Seitenzahl
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben
	14. Tabellen
	15. Abbildungen
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
18. Kurzfassung Urbaner Verkehr ist gekennzeichnet durch begrenzte Verkehrsflächen, variierende Verkehrsströme und unterschiedliche Verkehrsteilnehmer. Trotz zunehmender Automatisierung und Vernetzung des Verkehrs stellt die Mehrfachnutzung von Verkehrsflächen für ungeschützte Verkehrsteilnehmer (VRU, engl. Vulnerable Road Users) aktuell und langfristig ein großes Risiko dar. Um den automatisierten Verkehr so sicher wie möglich zu gestalten, muss die Verletzungsschwere besonders gefährdeter Kollisionspartner bei unvermeidbaren Unfällen bestmöglich reduziert werden. Ziel des Projekts ATTENTION ist es eine Methode zur Echtzeit-Verletzungsprognose von VRU zu entwickeln. Hierzu werden datengetriebene KI-Verfahren genutzt, um aus fahrzeuggebundenen Videodaten und virtuellen Tests mit Hilfe digitaler Menschmodelle ein situationsspezifisches Verletzungsrisiko zu bestimmen. Prospektiv ermöglicht die Verletzungsprognose durch Strategien der Risikominimierung des automatisierten Fahrzeugs einen sowohl sicheren als auch effizienten Verkehr. In diesem Teilvorhaben werden die Bewertung, Vorverarbeitung und Datenanreicherung der Szenarien beschrieben. Die gewonnenen Daten dienen der Auswahl und Parametrierung von unfallrelevanten Szenarien für Modellierung, Simulation und Lernverfahren im weiteren Projektverlauf des Verbundvorhabens ATTENTION. Ebenso wurden die Ergebnisse der KI-Modelle dadurch plausibilisiert. Eine Anonymisierung der gewählten Videodaten wird sichergestellt durch die Body-Shape-Methodik, bei der Personen durch ein gewonnenes Menschmodell überlagert wird. Durch die Rekonstruktion lassen sich die Posen der VRU im Unfallhergang direkt vor dem Impact klassifizieren und damit Rückschlüsse auf Muskelspannung und damit auch potenzielle Verletzungsmuster gewinnen. Weiterhin wurden für die das Projektziel einer echtzeitfähigen Verletzungsprädiktion ein Verletzungsrisikoindex ermittelt sowie Modellanwendungen und Konzeptionierung von Unfallfolgenminderungsmaßnahmen diskutiert.	
19. Schlagwörter Künstliche Intelligenz, KI-Algorithmen, Automatisiertes Fahren, Unfallforschung, Unfallfolgenminderung	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Report		
3. title Verbundprojekt: ATTENTION – Artificial Intelligence for real-time injury prediction, Teilvorhaben Unfallanalyse und KI-basierte Prognose von Verletzungswerten			
4. author(s) (family name, first name(s)) Lich, Thomas Mönnich, Jörg Schmidt, Daniel Voß, Martin		5. end of project 30.06.2024	
		6. publication date 2024	
		7. form of publication Report	
8. performing organization(s) (name, address) Robert Bosch GmbH Robert-Bosch-Campus 1 71272 Renningen		9. originator's report no.	
		10. reference no. 19A21027A	
		11. no. of pages	
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn		13. no. of references	
		14. no. of tables	
		15. no. of figures	
16. supplementary notes			
17. presented at (title, place, date)			
18. abstract Urban traffic is characterized by limited traffic areas, varying traffic flows and different road users. Despite increasing automation and connectivity of traffic, the multiple use of traffic areas for unprotected road users (VRU) is currently and in the long term a major risk. To make automated driving as safe as possible, the injury severity particularly of vulnerable collision partners must be reduced in the best possible way in the event of an unavoidable accident. The aim of the project ATTENTION is to develop a method for real-time injury prognosis of VRU. For this purpose, data-driven AI methods are used to determine a situation-specific risk of injury from vehicle-related video data and virtual tests using digital human models. Prospectively, the injury prognosis enables both safe and efficient traffic through strategies of risk minimization of the automated vehicle. This subproject describes the evaluation, preprocessing and data enrichment of the scenarios. The data were used for the selection and parameterization of accident-relevant scenarios for modeling, simulation and learning methods in the further course of the project ATTENTION. The results of the AI models were also checked for plausibility. Anonymization of the selected video data is ensured by the body shape methodology, in which people are superimposed by a human model. Through the reconstruction, the poses of the VRU can be classified during the accident directly before the impact and thus draw conclusions about muscle tension and thus also potential injury patterns. Furthermore, for the project goal of a real-time injury prediction, an injury risk index was determined, and model applications and conceptualization of accident mitigation measures were discussed.			
19. keywords Artificial intelligence, AI algorithms, automated driving, accident research, injury severity mitigation			
20. publisher			21. price