

2.1 Definitionen: Unfall, Risiko, Sicherheit

Unfälle im Straßenverkehr lassen sich in ihrem Ablauf im Allgemeinen nur unter Betrachtung des geschlossenen Regelkreises „Fahrer-Fahrzeug-Umfeld“ erklären, analysieren und beurteilen. Denn sowohl die Ursachen als auch die Auswirkungen eines Unfalls sind fast niemals allein auf eine Komponente des Regelkreises zurückzuführen, sondern sind das Ergebnis eines interaktiven Zusammenwirkens der drei Komponenten. Fast immer sind daher Unfälle in ihrem Entstehen auf die Verkettung mehrerer Ursachen (z. B. Blendung durch entgegenkommenden Verkehr und dunkle Kleidung eines Fußgängers) und in ihren Auswirkungen auf das wechselseitige Verhalten von mehreren Umständen (z. B. Tragen von Schutzhelmen, Airbagauslösung, Aufprall auf Leitplanken oder Baum) zurückzuführen.

Jeder Fahrvorgang eines Kraftfahrzeuges kann als ein Regelungsvorgang angesehen werden. Ein Fahrzeugunfall ist dann als eine Sachlage definiert, bei der die Abweichung zwischen vorgegebener Fahraufgabe und deren Erfüllung ein zulässiges Maß überschreitet (nicht bewältigte Regelaufgabe) und in deren Folge ein Schaden bestimmter Art und Schwere eintritt. Der Fahrer (Regler) wirkt durch verschiedene Bedienelemente (Regelgröße y) auf das Fahrzeug (Regelstrecke) ein. Die Antwort des Fahrzeuges (Regelgröße) wird vom Fahrer wahrgenommen und mit der Fahraufgabe (Führungsgröße) verglichen, so dass er geeignete Maßnahmen ergreifen kann, um die Differenz zwischen Führungsgröße w und Regelgröße x zu minimieren, siehe Abb. 2.1.

Ziel dieser Betrachtungsweise ist es, den Fahrvorgang als rückgekoppelten, dynamischen Vorgang zu veranschaulichen, mit den Methoden der Regelungstechnik das System „Mensch-Fahrzeug-Umfeld“ mathematisch zu beschreiben und den Einfluss verschiedener Parameter zu erfassen. Das Übertragungsverhalten des Fahrzeuges kann mit den Gleichungen der Fahrzeugdynamik beschrieben werden. Das „Übertragungsverhalten“ des menschlichen Reglers ist jedoch nur unvollkommen erfassbar. Ein mathematisches Modell für das Übertragungsverhalten des Menschen geht davon aus, dass sich das Lenken eines Kraft-

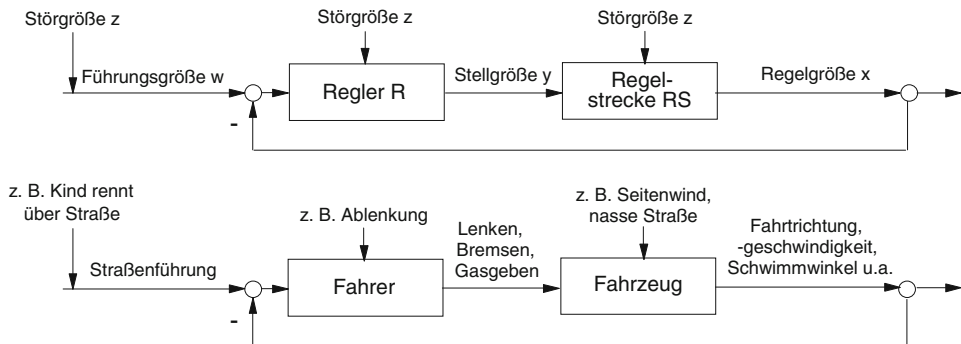


Abb. 2.1 Einfache Darstellung des Regelkreises „Fahrer-Fahrzeug-Umfeld“

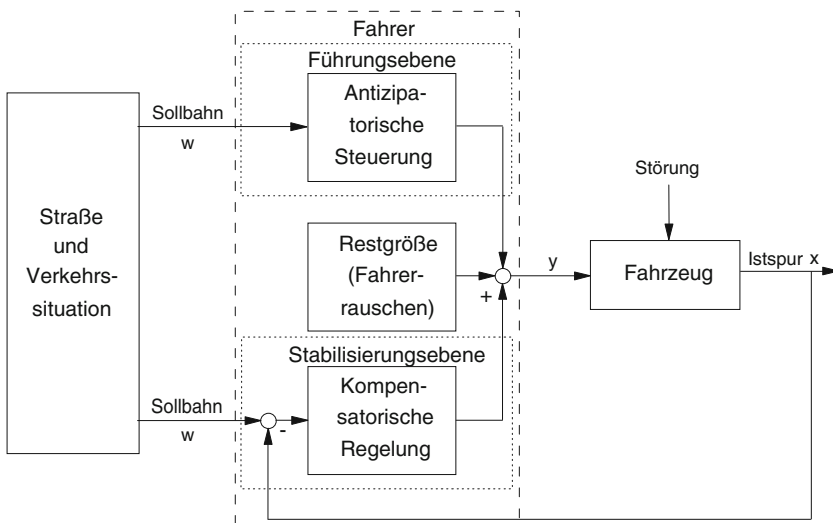


Abb. 2.2 Zwei-Ebenen-Modell des menschlichen Lenkverhaltens [Zomotor 87]

fahrzeuges in zwei Ebenen, der Führungs- und der Stabilisierungsebene, abspielt, Abb. 2.2. Die Funktion der Führungsebene besteht darin, die Geschwindigkeit und den Istkurs des Fahrzeugs abzustimmen. Sie umfasst die Wahrnehmung des momentanen und zukünftigen Straßenverlaufs als Führungsgröße für den Fahrvorgang und die zugehörigen Lenkreaktionen. Hierbei ist anzumerken, dass in anderen Zusammenhängen (z. B. Fahrerassistenzsysteme) eine dritte Ebene, die Planungsebene, berücksichtigt wird. In diesem Zusammenhang spielt diese jedoch keine Rolle.

Diese Fahrtätigkeit ist eine vorausschauende (antizipatorische) Steuerung. Der Vorgang, das Lenkrad vorausschauend auf den einsehbaren Straßenverlauf (z. B. vor einer Rechtskurve nach rechts) einzuschlagen, wird Steuerung (im Gegensatz zu Regelung) genannt, weil der Wirkungssinn nur in eine Richtung geht. In der Stabilisierungsebene

wird die momentane Fahrzeugbewegung relativ zur Straßenführung beobachtet und dafür gesorgt, dass sich das Fahrzeug trotz der einwirkenden Störungen mit möglichst geringen Abweichungen auf dem vorgesehenen Kurs bewegt. Abweichungen werden im geschlossenen Regelkreis durch Lenkkorrekturen kompensiert. Diese Fahrtätigkeit, bei der eine Fehlergröße ausgeregelt wird, heißt Kompensationsregelung (siehe u. a. [Klebensberg 82]).

Löst man sich von der regelungstechnischen Betrachtung, so lässt sich ein Unfall als plötzliches und meist auch unvorhergesehenes Ereignis definieren, das den Zustand eines Fahrzeuges und/oder seiner Insassen nachteilig verändert. Ein Straßenverkehrsunfall ist danach definiert als ein Ereignis, bei dem infolge des Fahrverkehrs auf öffentlichen Wegen oder Plätzen Personen getötet, verletzt oder Sachschäden verursacht worden sind (§ 1 StVUnfStatG). Die Unfallwahrscheinlichkeit hängt zu einem großen Ausmaß davon ab, in welchem Umfang der Fahrer in der Lage ist, Ereignisse vorauszusehen, die zu einem Unfall führen könnten.

Das mit einem Unfall verbundene Risiko des Individuums bzw. für die Gesellschaft setzt sich zusammen aus:

- der zu erwartenden Häufigkeit eines zum Schaden führenden Ereignisses und
- dem beim Ereigniseintritt zu erwartenden Schadensausmaß.

Juristisch wird als Schaden ein Nachteil durch Verletzung von Rechtsgütern auf Grund eines bestimmten Vorgangs oder Zustands definiert. Das Schadensausmaß wird am Fahrzeug durch den Sachschaden (Reparatur, Wiederbeschaffung) und am Menschen durch den Personenschaden (Verletzungsschwere, Verletzungsfolgekosten) gekennzeichnet.

Versicherungstechnisch wird Risiko als Produkt von Schadenshäufigkeit [%] und Schadenshöhe [€] definiert. Mit abnehmendem Risiko erhöht sich die Sicherheit. Im Zusammenhang von Mensch, Fahrzeug und Umfeld wird „Risiko“ [Wilde 81; ISO 98] definiert als:

- wahrgenommenes Risiko – akzeptiertes Risiko \Rightarrow subjektives Risiko
- wahrgenommenes Risiko – subjektives Risiko \Rightarrow akzeptiertes Risiko
- subjektives Risiko \approx 1/angestrebte Vorsicht.

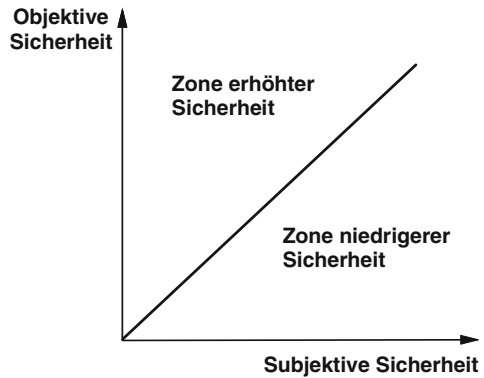
Unter Bezug auf den Straßenverkehr wird nach objektiver, subjektiver und tatsächlicher Sicherheit (Abb. 2.3) unterschieden [Klebensberg 82]:

- tatsächliche Sicherheit = objektive Sicherheit – subjektive Sicherheit

Hiernach wird die Sicherheit im Straßenverkehr beispielsweise ansteigen, wenn ein nach technischen Kriterien sicheres Fahrzeug dem Fahrer das Gefühl gibt, ein unsicheres Fahrzeug zu führen. Auf den Verkehrsfluss bzw. die Verkehrsleistung, d. h. auf den originären Zweck des Verkehrs, könnte sich das allerdings negativ auswirken.

Von einer Risikokompensation wird gesprochen, wenn wegen erhöhter objektiver Sicherheit (z. B. Einführung von ABV-Systemen) die subjektive Sicherheit (Sicherheitsgefühl

Abb. 2.3 Zusammenhang zwischen objektiver und subjektiver Sicherheit



des Fahrers) übermäßig ansteigt und so die technische Verbesserung infolge überzogener Ausnützung durch den Menschen in ihrem Sicherheitspotenzial mehr als aufgezehrt wird.

Unter Bezugnahme eines Risikos auf bestimmte, über die gesamte Lebenszeit einer Person homogene Expositionsbedingungen, so wird von einem Individualrisiko oder dem mittleren Pro-Kopf-Risiko bei lebenslanger Exposition gesprochen. Abbildung 2.4 zeigt eine Risikoskala, wobei das tödliche Risiko auf eine Lebenszeit von 70 Jahren und auf eine Lebensarbeitszeit von 50 Jahren bezogen ist [LAI 91]. Das Risiko, in einen Unfall beliebiger Art mit Todesfolge innerhalb der Lebenszeit von 70 Jahren verwickelt zu werden, ist demnach etwa 1:20.

Den Angaben von [LAI 91] soll die Abschätzung über das Risiko für tödliche Verletzungen bei Straßen-Verkehrsunfällen hinzugefügt werden, bezogen auf das Jahr 2009 und die Bundesrepublik Deutschland. Insgesamt wurden 4152 Personen getötet (StBA 10/1), die Zahl der Einwohner betrug 81,802 Millionen. Werden diese Zahlen für 70 Jahre zu Grunde gelegt, dann folgt daraus das Individualrisiko für tödliche Verletzungen (TV) im Straßenverkehr:

$$\text{Risiko}_{\text{TV}} = \frac{4152 \text{ Getötete/Jahr} \cdot 70 \text{ Jahre}}{81,802 \text{ Mio Einwohner}} \approx 1/280 \text{ TV/Einw.}$$

Das Risiko für schwere Verletzungen SV (68.567 im Jahre 2009) und für leichte Verletzungen LV (329.104 im Jahre 2009) beträgt demnach:

$$\text{Risiko}_{\text{SV}} = 1/17 \text{ SV/Einw.}$$

$$\text{Risiko}_{\text{LV}} = 1/3 \text{ LV/Einw.}$$

Es ist zu erkennen, dass das Risiko, bei Verkehrsunfällen getötet zu werden, im Verhältnis zu anderen, natürlichen Expositionen, besonders hoch ist. Das Risiko in Folge anderer Unfälle zu versterben ist jedoch deutlich größer. Eine Aufteilung der Todesursachen bei Gewaltanwendung und bei Unfällen zeigt insbesondere für Verkehrsunfälle ein differen-

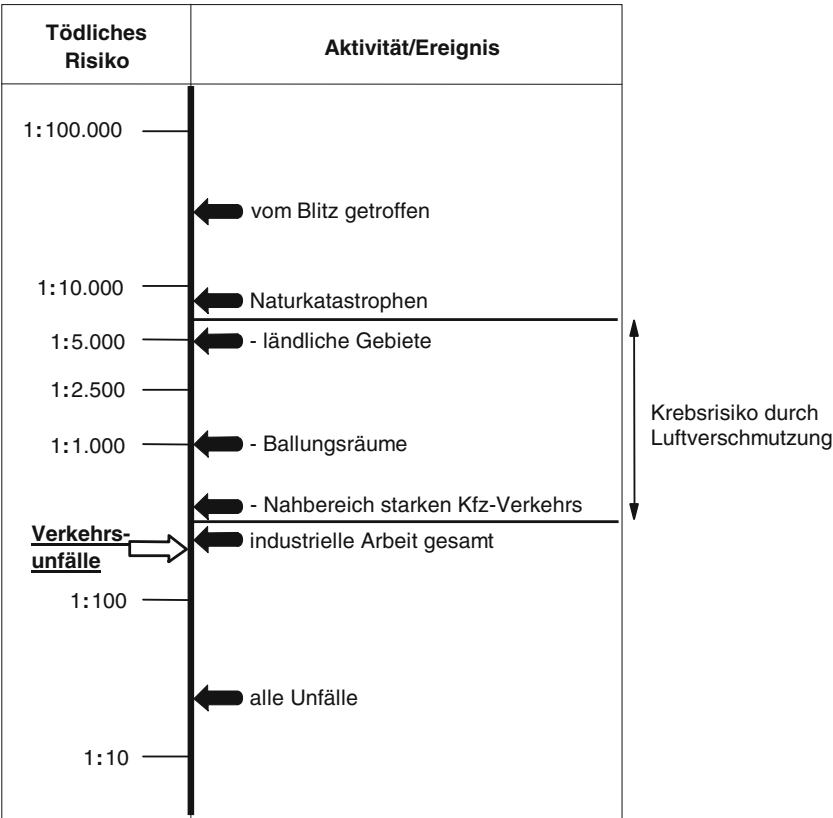
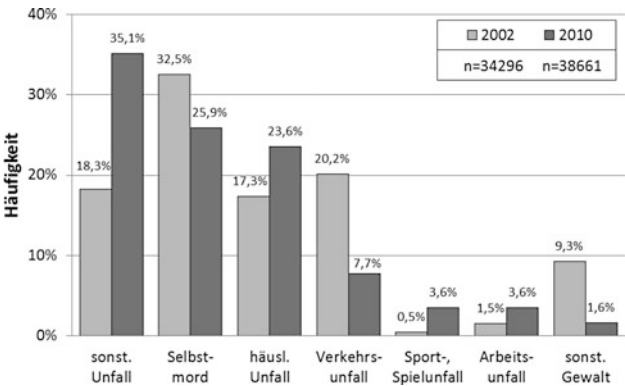


Abb. 2.4 Lebenslange Individualrisiken für tödliche Verletzungen durch Unfälle und Krebsrisiko

Abb. 2.5 Unfälle und Gewalt, Anteile der Todesursachen in Deutschland 2002 und 2010 [StBA 11/1, StBA 03]



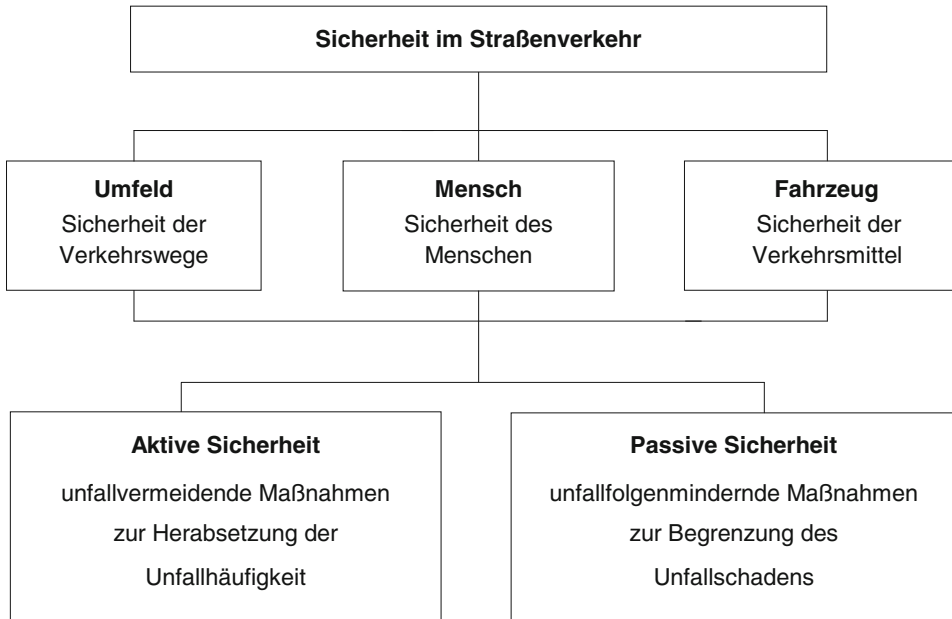


Abb. 2.6 Einteilung der Sicherheit im Straßenverkehr

ziertes Bild für die Jahre 2002 und 2010. Während 2002 Verkehrsunfälle bei den Getöteten mit rund 20 % den größten Anteil der Unfalldoten ausmachten waren es im Jahr 2010 nur noch rund 8 % und damit deutlich weniger als Opfer von häuslichen Unfällen oder anderen Unfällen (siehe Abb. 2.5). Bemerkenswert ist, dass der größte Anteil der Getöteten mit Gewalteinwirkung Selbstmordopfer sind.

Die Verkehrssicherheit kann aufgeteilt werden in die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer, der Verkehrsmittel und des Verkehrsraumes, wobei jeweils wieder in aktive Sicherheit im Sinn von Unfallvermeidung und passive Sicherheit im Sinn von Unfallfolgenminderung unterschieden werden kann, siehe Abb. 2.6 und Tab. 2.1. Eine bei Verkehrsunfall entstandene Verletzung ist somit sowohl durch Maßnahmen der aktiven Sicherheit vermeidbar bzw. in der Schwere reduzierbar u. a. durch den Bremsassistenten zur Reduktion der Aufprallgeschwindigkeit und damit resultierender geringerer Verletzungsschwere, wie auch Maßnahmen der Passiven Sicherheit selbst. So wird gerade heutzutage bei fortlaufend fallenden Getöteten- und Verletztenzahlen dies als geeignete fortführende Maßnahmen angesehen effektiv weitere Unfall- und Verletzungsprophylaxe zu erzielen, in dem verstärkt Maßnahmen der Aktiven Sicherheit in Fahrzeugen und Straßenverkehr implementiert werden. Fahrzeug- und Fahrerassistenz-Systeme sind hier zu nennen.

Tab. 2.1 Einteilung der aktiven und passiven Sicherheit im Straßenverkehr mit Beispielen für Sicherheitsmaßnahmen

	Aktive Sicherheit	Passive Sicherheit
Mensch	Verkehrserziehung zur Vermeidung kritischer Situationen, Begrenzung der Informationsmenge, Rechtssicherheit, Promillegrenze	Motivation zur Benutzung von Sicherheitseinrichtungen (u. U. durch Bußgeld), Notfallmedizin, Rettungswesen
Fahrzeug	Fahrsicherheit und -verhalten, Konditionssicherheit, Bedienungssicherheit, Wahrnehmungssicherheit, Fahrerassistenzsysteme	Selbstschutz der Insassen, Airbag, Fußgängerschutz, Kompatibilität, Energieabsorption der Struktur, Zellensteifigkeit
Umfeld	Verkehrsfluss-Steuerung und Verkehrsführung, Straßenführung und -bau, Entschärfen von Unfallschwerpunkten	Sicherung der Unfallstelle, Vermeidung von Folgeunfällen, Entschärfung des Straßenrandes (Bäume, Leitplanken)

2.2 Zeitliche Phasen des Unfalls

Entsprechend dem zeitlichen Verlauf eines Unfalles werden folgende Unfallphasen unterschieden [Langwieder 75; Appel 84/1]:

- Einlaufphase (Pre-Crashphase, Unfalleinleitungsphase) Zeitraum vom Erkennen der kritischen Situation bis zum ersten Kontakt mit dem Hindernis, Unfallgegner o. ä.
- Kollisionsphase (In-Crashphase, Crash-Phase) Zeitraum vom ersten Kontakt der Kontrahenten bis zum Lösen. Bei Mehrfachkollision treten mehrere Kollisionsphasen auf.
- Auslaufphase
Zeitraum vom Lösen der Kontrahenten bis zu ihrem Stillstand oder bis zu einer nachfolgenden Kollision. Bei Mehrfachkollision treten also mehrere Auslaufphasen auf.
- Folgephase (Post-Crashphase, Unfallfolgephase).

Der Ablauf der Einlaufphase wird maßgeblich durch den Fahrer, die Straßenumgebung und die aktive Sicherheit des Fahrzeuges sowie des Umfeldes bestimmt (z. B. durch Fahrwerkeigenschaften, Bremsverhalten, Beladung des Fahrzeuges, gefährliche Kreuzung). Die Auslaufphase wird insbesondere von der translatorischen und der rotatorischen Auslaufgeschwindigkeit sowie dem mittleren Reibwerte zwischen Fahrzeug und Untergrund beeinflusst. Die Folgen der Kollisionsphase werden für die verunglückten Verkehrsteilnehmer in weitem Rahmen durch die Maßnahmen der passiven Sicherheit (z. B. Lederkleidung beim Motorradfahrer, Rückhaltesystem beim Fahrzeuginsassen, Leitplanken beim Abkommen von der Straße) aber auch der Folgephase beeinflusst. Die Folgephase ist von den verschiedensten Parametern beim Fahrzeug (z. B. Türöffnungsverhalten, Brand), beim Insassen (z. B. Herausschleudern) und bei der Umgebung (z. B. Schnelligkeit und Qualität der Rettungsdienste) geprägt.

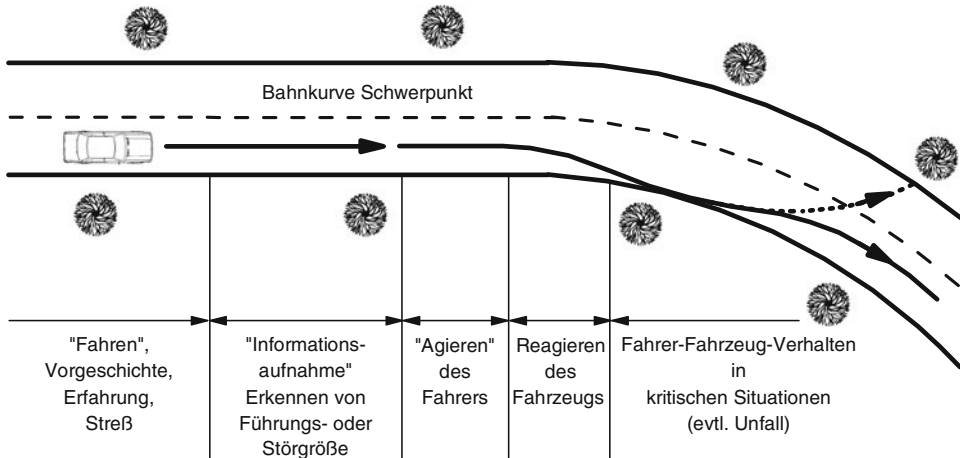


Abb. 2.7 Zeitlicher Ablauf einer kritischen Situation am Beispiel einer Kurvenfahrt

Zur Einlaufphase zeigt die Abb. 2.7 am Beispiel einer Kurvenfahrt vereinfacht den Ablauf einer kritischen Situation, die zum Unfall und eventuell zur Kollision führen kann, aber nicht muss. Der Fahrer erkennt zu einem bestimmten Zeitpunkt eine kritische Situation, unabhängig davon, ob es zu einem Unfall oder nur zu einem Beinahe-Unfall kommt. Nach dem Erkennen der kritischen Situation wird der Fahrer entscheiden, welche Maßnahmen er einleiten wird, um diese abzuwenden. Dabei wird er auf vorliegende Erfahrungen zurückgreifen und eine zur Abwehr der kritischen Situation geeignete Handlung einleiten. Das Fahrzeug reagiert auf Aktionen des Fahrers, so dass es zu einer Interaktion von Fahrer und Fahrzeug kommt, die zu einem Unfall führen kann.

In diesem Sinne kann ein Straßenverkehrsunfall als ein Ereignis definiert werden, bei dem innerhalb des Regelkreises Fahrer-Fahrzeug-Umfeld die Regelgröße (z. B. tatsächlicher seitlicher Abstand des Fahrzeuges vom rechten Fahrbahnrand) die Führungsgröße (idealer vorgegebener seitlicher Abstand des Fahrzeuges vom rechten Straßenrand) unzulässig weit überschreitet.

2.3 Unfallart und Unfalltyp

Für Zwecke der Unfallanalyse, Unfallforschung und Sicherheitsforschung (s. Kap. 3) hat sich die an der TU Berlin im Rahmen der entsprechenden Lehrveranstaltungen [Appel 73] eingeführte Unterscheidung des Unfallgeschehens in die Kategorien

Unfallart	Unfalltyp
Kollisionsart	Kollisionstyp
Aufprallart	Aufpralltyp







Bezeichnung	Unfallart	Unfalltyp	Kollisionsart	Kollisionstyp	Aufprallart	Aufpralltyp
Bezug	Betrachteter oder am schwersten betroffener Kontrahent	Art der Konflikt-auslösung (Einteilung der Polizei)	Betroffene Kollisions-kontrahenten	Geometrische Konstellation bei der Kollision	Ort der Beschädi-gung bzw. Kraft-einwirkung am betrachteten Fahrzeug	Detailliertes Beschädigungs-muster am betrachteten Fahrzeug
Beispiel	 Fußgängerunfall oder Pkw-Unfall	 Fahrunfall oder Unfall im Längsverkehr	 Lkw-Pkw-Kollision	 Schräge Frontal-kollision unter 45° mit voller Über-deckung für den Pkw und Offset für den Lkw	 Seitenaufprall	 11 FYMW3 30% (VDI) oder BG3 (GDV)

Abb. 2.8 Einteilung des Unfallgeschehens (mit Beispielen)

als zweckmäßig herausgestellt. Diese Einteilung ist, mit spezifischen Abwandlungen, inzwischen auch international üblich und soll im Weiteren hier benutzt werden. Die einzelnen Kategorien beziehen sich, wie in Abb. 2.8 dargestellt, auf die Unfallbeteiligten bzw. Unfallkontrahenten, auf die verkehrliche Konfliktsituation beim Unfall, auf die geometrische Stellung der Kontrahenten beim Unfall bzw. bei der Kollision sowie auf das Beschädigungsmuster des einzelnen Fahrzeuges.

Die (vereinfachte) Verkehrsunfallanzeige der Polizei enthält Merkmale der o. g. Unfallkategorien unter den dortigen Überschriften Unfallart, Unfalltyp, Unfallursachen, Hindernis, Beteiligte, Schäden.

Die *Unfallart* nach der hier gewählten Einteilung der Unfallkategorien bezieht sich auf den im Mittelpunkt der jeweiligen Betrachtungen stehenden Kontrahenten. Im Allgemeinen wird das der von Verletzungen schwerer Betroffene sein. Bei Kollisionen mit Hindernissen (Alleinunfall) ist es in jedem Falle der betroffene Verkehrsteilnehmer (z. B. im Pkw oder im Lkw), bei der Kollision eines Pkw mit einem Fußgänger wird es der Fußgänger sein, bei Kollisionen zwischen einem Pkw und einem Bus wird es im allgemeinen der Pkw sein. Grundsätzlich gibt es also folgende Unfallarten:

- Nutzfahrzeug-Unfälle (Nfz)
- Personenkraftwagen-Unfälle (Pkw)
- Unfälle von motorisierten Zweirädern (Mz)
- Fahrrad-Unfälle (Fr)
- Fußgänger-Unfälle (Fg).

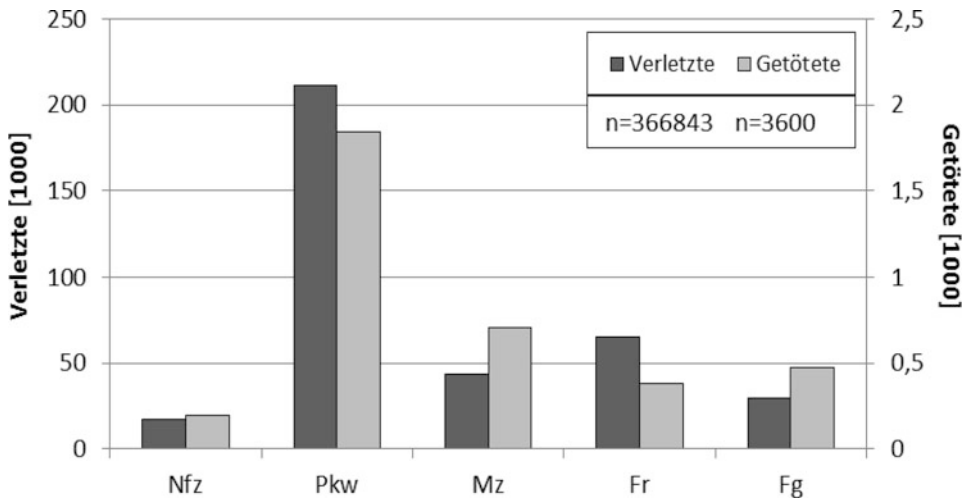


Abb. 2.9 Verletzte und Getötete der Beteiligten bei verschiedenen Unfallarten (Deutschland 2010) [StBA 12/1]

Um bei einer quantitativen Bewertung der Unfallarten untereinander Doppelzählungen zu vermeiden, soll es zunächst genügen, die Zahl der Verletzten oder der Getöteten der betrachteten Betroffenen zu ermitteln und daraus eine Rangfolge abzulesen. Eine derartige Gegenüberstellung wird für Deutschland in Abb. 2.9 vorgenommen.

Es ist zu erkennen, dass der Pkw-Unfall die Unfallart ist, die mit den höchsten Zahlen an Verletzten und Getöteten (nur Fahrzeuginsassen) die größte Bedeutung im Unfallgeschehen hat. Zu erkennen ist ferner, dass die gefährlichsten Unfallarten der Fußgängerunfall und der Motorradunfall ist, da hier das Verhältnis von Getöteten zu Verletzten am höchsten ist. In Bezug auf die Unfallart ist anzumerken, dass dieser Begriff in der amtlichen Unfallstatistik die Stellung der Kontrahenten zueinander beschreibt. Hier werden die folgenden Ausprägungen unterschieden: Unfall mit Fahrzeug, dass anfährt, anhält oder steht; Unfall mit Fahrzeug, dass vorausfährt oder wartet; Unfall mit Fahrzeug, dass seitlich in gleicher Richtung fährt; Unfall mit Fahrzeug, dass entgegenkommt; Unfall mit Fahrzeug, dass entgegenkommt oder kreuzt; Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger; Aufprall auf Hindernis auf der Fahrbahn; Abkommen von der Fahrbahn nach rechts; Abkommen von der Fahrbahn nach links; Unfall anderer Art.

Der *Unfalltyp* beschreibt die Situation des Verkehrsablaufes beim Unfall, siehe Abb. 2.8. und wird in dieser Form auch in der polizeilichen Unfalldokumentation verwendet. Unter Berücksichtigung der Einteilung, der polizeilichen Unfallaufnahme, ergeben sich folgende sieben Unfalltypen [StBA 12/2]:

- Fahrrunfall
- Abbiegeunfall

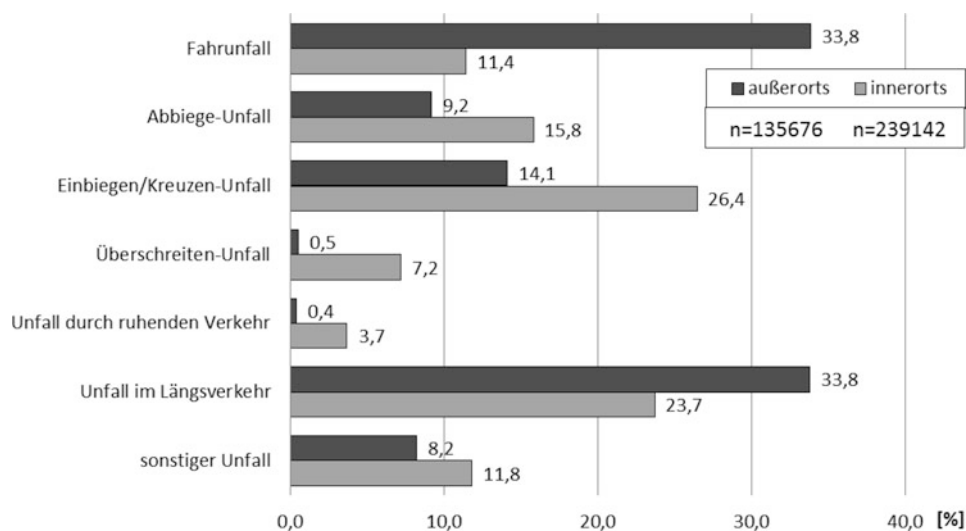


Abb. 2.10 Häufigkeiten der Unfalltypen für Unfälle außerorts und innerorts im Jahr 2010 [StBA 12/2]

- Einbiege-, Kreuzungsunfall
- Überschreitungsunfall
- Unfall durch ruhenden Verkehr
- Unfall im Längsverkehr
- Sonstiger Unfall.

Die Häufigkeiten dieser Unfalltypen sind, unterschieden nach Ortslage, in Abb. 2.10 dargestellt. Bei den innerorts stattfindenden Unfällen zeigen erwartungsgemäß die Einbiege-/Kreuzungs-Unfälle gefolgt von den Unfällen im Längsverkehr eine ausgeprägte Dominanz, während bei Unfällen außerorts die Fahrerunfälle und die Unfälle im Längsverkehr vorherrschen.

Bei Unterteilung des Unfalltyps in Abhängigkeit des Alters des Unfallverursachers, lassen sich kritische Situationen für die entsprechenden Altersgruppen ableiten, Abb. 2.11 (die Daten wurden im Rahmen einer Sonderabfrage beim Statistischen Bundesamt erhoben). Das Risiko einen Fahrerunfall oder einen Unfall im Längsverkehr zu verursachen, sinkt mit dem Alter, während das Risiko einen Unfall im Querverkehr (Unfalltypen Abbiegeunfall, Einbiegen/Kreuzen Unfall) zu verursachen, mit dem Alter ansteigt.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass im Rahmen der Unfallforschung im Allgemeinen der sogenannte erweiterte Unfalltyp verwendet wird, mit Hilfe dessen die Situation im Verkehrsablauf detaillierte (z. B. aus welcher Richtung die Beteiligten in Bezug auf einander kamen) beschrieben werden kann, Verwendung findet.

Diese 3-stellige Kennzahl des Unfalltyps kann aus einem Gesamtkatalog mittels Bezug zu Piktogrammen, die die Unfallsituation darstellen, ermittelt werden. Hierdurch wird der

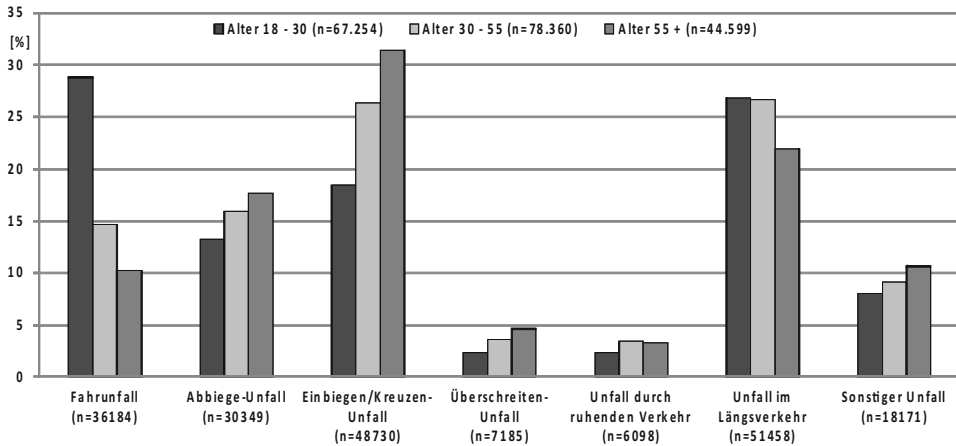


Abb. 2.11 Häufigkeiten der Unfalltypen in Abhängigkeit des Alters des Unfallverursachers im Jahr 2010

Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation detaillierter beschrieben, aus der der Unfall entstanden ist. Der erweiterte Unfalltyp bezeichnet den genauen Verkehrsvorgang (z. B. Fahren in einer Kurve) bzw. die Konfliktsituation (z. B. Fahrzeug/Fußgänger von rechts), woraus der Unfall entstanden ist. Dargestellt wird nur die unfallauslösende Situation bzw. der Konflikt. Als Konflikt gilt hier die gleichzeitige Annäherung von Verkehrsteilnehmern (Konfliktpartnern) an eine Straßenstelle, an der sie unter Umständen zusammenstoßen können.

Beispiels eines unmittelbar vor einer Kreuzung die Fahrbahn betretenen Fußgängers, der vor einem herannahenden Fahrzeug von rechts auf die Fahrbahn tritt, werden verschiedene Unfallsituationen des gleichen erweiterten Unfalltyps erläutert, siehe Abb. 2.12. In dieser Situation wäre es denkbar, dass der Fahrzeugführer noch rechtzeitig bremsen konnte und der Fußgänger nicht zu Schaden kam, es jedoch zu einem Auffahrunfall mit einem nachfolgenden Fahrzeug kam, dass das Fahrzeug mit dem Fußgänger oder bei einem Ausweichmanöver mit einem entgegenkommenden Fahrzeug zusammenstieße oder von der Fahrbahn abgekommen sein könnte. Typ bestimmend bei diesen Beispielen ist jedes Mal der Konflikt zwischen dem Fahrzeug und dem Fußgänger, weil der Unfall dadurch ausgelöst wurde. Es liegt hier in jedem Fall ein „Überschreitenunfall“ vor, und zwar der Typ 451. Der Unfall würde auch dann zu Typ 451 gehören, wenn es zu diesem Konflikt auf einem Zebrastreifen oder auf einer lichtzeichengeregelten Fußgängerfurt gekommen wäre, unabhängig davon, ob der Fußgänger oder der Fahrer die Lichtzeichen missachtet hätte.

In Bezug auf den Unfalltyp und damit auch auf den erweiterten Unfalltyp ist zu beachten:

- Für die Bestimmung des Unfalltyp entscheidend ist allein der Verkehrsvorgang bzw. der Konflikt, der zu dem Unfall führte.

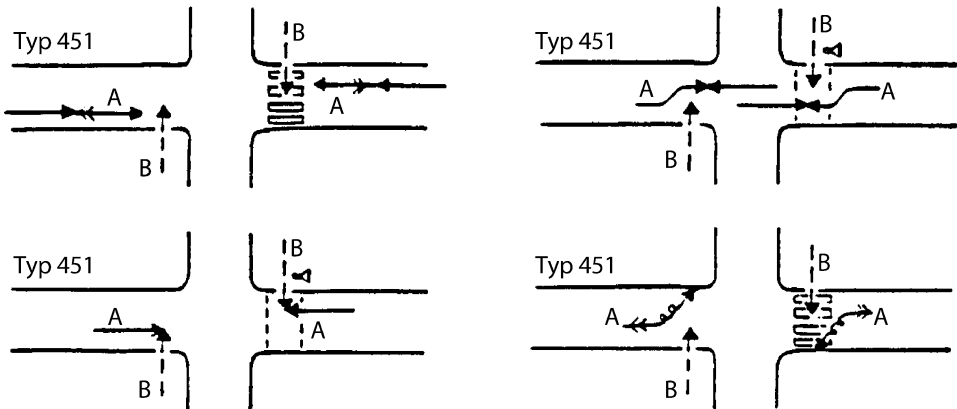


Abb. 2.12 Verschiedene denkbare Unfallsituationen ausgelöst durch einen Konflikt mit einem Fußgänger von rechts (erweiterter Unfalltyp 451)

- Ob und wie Verkehrsteilnehmer kollidiert sind, also die „Unfallart“, ist für die Bestimmung des Unfalltypes nicht von Bedeutung.
- Das Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer, also die „Unfallursache“, spielt für die Bestimmung des Unfalltypes grundsätzlich keine Rolle. Das gilt auch für eine eventuelle Beeinflussung durch Alkohol oder Drogen sowie für Übermüdung.
- Glätte und Schlüpfrigkeit der Fahrbahn (z. B. Eis, Wasserfilm, Öl, Lehm) sowie Witterungseinflüsse (z. B. Nebel) sind bei der Typisierung nicht zu berücksichtigen.

Die Unfalltypenkennzahlen sind dabei dem Katalog des GDV nach den Haupt-Unfalltypen gegliedert. Ein Auszug für Fahrurfälle ist beispielhaft im Anhang eingefügt.

2.4 Kollisionsart und Kollisionstyp

Die *Kollisionsarten* beschreiben die an einer Kollision beteiligten Kontrahenten, z. B. Pkw-Pkw-Kollision oder Nfz-Fußgänger-Kollision. Durch Angabe der Häufigkeiten der Kollisionen bzw. der Verletzten, der Getöteten oder der Verletzungsfolgekosten einer Kollisionsart lässt sich diese in ihrer Signifikanz quantifizieren und mit anderen Kollisionsarten vergleichen. Es besteht hier nicht, wie bei der Quantifizierung der Unfallarten, die Gefahr der Mehrfachzählung.

Zur Darstellung der Kollisionsarten kann das Unfallgeschehen in einer Matrix zusammengefasst werden, wobei jedem Matrixelement eine Kombination zwischen zwei (gleichen oder unterschiedlichen) Kollisionskontrahenten zugeordnet wird [Appel 73; Kramer 09]. Dadurch, dass nur die obere Hälfte der Matrix ausgefüllt wird, bleiben die Zuordnungen eindeutig und es braucht z. B. nicht zwischen Pkw/Nfz- und Nfz/Pkw-Kollisionen unterschieden zu werden.

Tab. 2.2 Kollisionsarten-Matrix für Kollisionen mit Verletzten (Anzahl der Alleinunfälle und der Unfälle mit zwei Beteiligten, Deutschland 2010) [StBA 11/2]

	Nfz	Pkw	Mz	Fr	Fg	Alleinunfälle
Nfz	1.886	9.620	1.747	2.790	1.848	3.328
Pkw		74.797	16.225	28.996	15.352	31.537
Mz			742	572	386	10.833
Fr				4.378	2.030	10.799
Fg					0	0

Tab. 2.3 Kollisionsarten-Matrix für Kollisionen mit Getöteten (Anzahl der Alleinunfälle und der Unfälle mit zwei Beteiligten, Deutschland 2010) [StBA 11/2]

	Nfz	Pkw	Mz	Fr	Fg	Alleinunfälle
Nfz	51	49	43	55	57	61
Pkw		384	165	64	173	693
Mz			26	4	3	206
Fr				8	3	74
Fg					0	0

In den Tab. 2.2 und 2.3 sind Kollisionsarten-Matrizen für zwei Fälle angegeben: Zahl der Kollisionen mit Verletzten sowie Zahl der Kollisionen mit tödlich Verletzten. Mit dieser Kollisionsarten-Zuordnung können alle Kollisionen mit zwei Beteiligten und Kollisionen eines Beteiligten mit Hindernissen (Alleinunfall) erfasst werden. Beteiligte sind Nutzfahrzeuge (Nfz), Personenkraftwagen (Pkw), motorisierte Zweiräder (Mz), Fahrräder (Fr) und Fußgänger (Fg). Nicht erfasst werden in der Kollisionsarten-Matrix Mehrfachkollisionen, d. h. Kollisionen zwischen mehr als zwei Beteiligten.

Aus den Tab. 2.2 und 2.3, die sich auf das Unfallgeschehen in Deutschland im Jahre 2010 beziehen, lassen sich im Hinblick auf Schwerpunkte und Prioritäten u. a. folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- die häufigste Kollisionsart ist die Pkw/Pkw-Kollision, gefolgt vom Pkw-Alleinunfall, von der Pkw/Fr-Kollision; Pkw/Mz- und Pkw/Fg-Unfälle kommen in etwa gleich häufig vor (Tab. 2.2)
- die Kollisionsarten mit den größten Zahlen der Getöteten sind der Pkw-Alleinunfall und die Pkw/Pkw-Kollision, gefolgt von Mz-Alleinunfällen und der Pkw/Fg-Kollision (Tab. 2.3).

Eine tiefere Strukturierung und Beschreibung des Unfallgeschehens, über die Unfallart, den Unfalltyp und die Kollisionsart hinausgehend und z. B. Wurfweiten bei Fußgängerunfällen enthaltend, wäre für die Analyse von Verkehrsunfällen zwar nützlich und zumindest interessant, kann aber über die polizeilichen Erhebungen und damit über die Angaben des


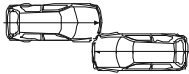
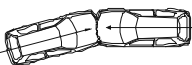
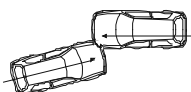
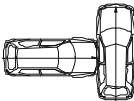
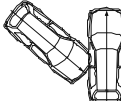
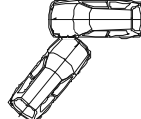
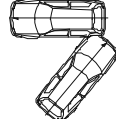

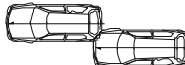
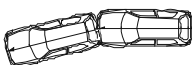
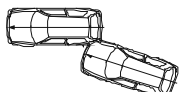
Kollisionstyp KT I	KT II	KT III	KT IV
			
KT V	KT VI	KT VII	KT VIII
			
KT IX	KT X	KT XI	KT XII
			

Abb. 2.13 Kollisionstypen der Pkw-Pkw-Unfälle

Statistischen Bundesamtes nicht erfolgen. Eine derartige Vertiefung erfolgt auf der Basis spezieller Unfallerhebungen (s. Kap. 3).

Mit Hilfe der *Kollisionstypen* wird innerhalb einer Kollisionsart die Stellung der Kollisionskontrahenten unmittelbar vor dem Zusammenprall beschrieben. Beispielsweise sind für die Kollisionsart Pkw/Pkw in Abb. 2.13 die möglichen und im realen Unfallgeschehen beobachteten Kollisionstypen dargestellt. Für die Frontalkollision, die Seitenkollision und den Auffahrunfall sind jeweils vier Konstellationen angegeben. Diese Einteilung wurde von Experten innerhalb des umfassenden Forschungsprojektes VOI [Richter 84] so festgelegt. Andere Einteilungen sind möglich.

Die Informationen der Bundesstatistik reichen nicht aus, die 12 Kollisionstypen mit Zahlen zu belegen und ihre Häufigkeit bzw. Relevanz zu bestimmen. Dazu sind vertiefte Unfallerhebungen nötig. Auf Basis von GIDAS (German Indepth Accident Study) können Unfalldaten der örtlichen Unfallerhebungen in Hannover und Umgebung sowie Dresden und Umgebung weitere Informationen liefern [Richter 84; Kramer 09; GIDAS 99; BASt 09; Otte 03].

Die Dominanz der Frontalkollision mit etwa 55 % vor der Seitenkollision mit etwa 38 % ist klar zu erkennen (Tab. 2.4). Die Kollisionstypen nach Abb. 2.13 sind offenbar so fein gestuft, dass beispielsweise bei den Offset-Frontalkollisionen in der Unfallauswertung nicht immer zwischen einem schrägen und einem geraden Stoß unterschieden werden kann. Von besonderer Bedeutung sind die Kollisionstypen für die Nachbildung des realen Unfallgeschehens in möglichst wenigen, aber aussagekräftigen Crashtests. So lehnen sich heute

Tab. 2.4 Häufigkeiten der Kollisionstypen für Pkw-Pkw-Unfälle [Kramer 09]

Frontalkollision	Kollisionstypen II und IV	34,1 %
	Kollisionstypen I und III	21,7 %
Seitenkollision	Kollisionstypen V und VI	21,6 %
	Kollisionstypen VII und VIII	16,1 %
Auffahrunfall	Kollisionstypen IX und XI	4,0 %
	Kollisionstypen X und XII	2,5 %
		100,0 %

gesetzlich vorgeschriebene Crashtests an die Kollisionstypen I und II bei der Frontalkollision und V bei der Seitenkollision an.

Bei Unfällen mit motorisierten Zweirädern lassen sich unterschiedliche Kollisionstypen bei den hier gebildeten Gruppen von Zweirädern finden (Abb. 2.14), die die resultierenden Verletzungen aus den sich hieraus ergebenden Bewegungsverhalten von Zweirad und Aufsassen bei der Kollision bedingen. Die hier verwendeten Kollisionstypen basieren auf einer in früheren Publikationen [Otte 87] und wissenschaftlich anerkannten Einteilung in 7 unterschiedliche Gruppen, bei der die Fahrzeuglängsachsen und deren Winkel der miteinander kollidierenden Fahrzeuge unmittelbar vor dem Anprall mittels 6 Kollisionstypen betrachtet und für den Fahrzeuganprall in rechtwinklig und schräg unterschieden werden. Zusätzlich wird auch der Alleinunfall des Krades als Typ 7 mit einbezogen.

Die schwerwiegendsten Folgen treten in Kollisionstypen auf, bei dem das Zweirad derart mit dem Pkw/Lkw kollidiert, dass der Körper relativ gegen das Chassis des Kollisionspartners prallen kann. Es erscheinen die Typen 2 bis 4 eines schräg aufprallenden Zweirades gegen die Front bzw. die Seite eines Fahrzeuges und der Alleinunfall mit einem relativ hohen Anteil MAIS 3+ verletzter Personen. Dominierend sind Motorräder Alleinunfälle mit 45,9 % und einem Anteil MAIS 3+ Verletzter von 10,9 % (bezogen auf alle Fahrer dieses Kollisionstyps). Für die Gruppe der anderen motorisierten Zweiräder zeichnet sich eine ähnliche Verteilung der Kollisionstypen ab (Abb. 2.14 unten). Alleinunfälle sind hier mit 37,6 % nicht ganz so häufig wie bei Motorrädern mit 45,9 %, allerdings sind Kollisionen des Zweirades frontal gegen die Front des Pkw/Lkw (Typ 1 und 2) häufiger. Der Anstoß des Zweirades schräg gegen die Seite eines Pkw/Lkw sind besonders häufig (20,6 % bei Motorrädern, 23 % bei der Gruppe der anderen Krafträder).

2.5 Aufprallart und Aufpralltyp

Die *Aufprallart* beschreibt für einen einzelnen Kollisionsbeteiligten die fahrzeugbezogene Lage der Beschädigung bzw. der Stoßrichtung. Dabei ist es unerheblich, welches der Kollisionskontrahent ist, welche Kollisionsart und welcher Kollisionstyp vorliegt. Im einfachsten Fall wird zwischen folgenden Aufprallarten unterschieden:

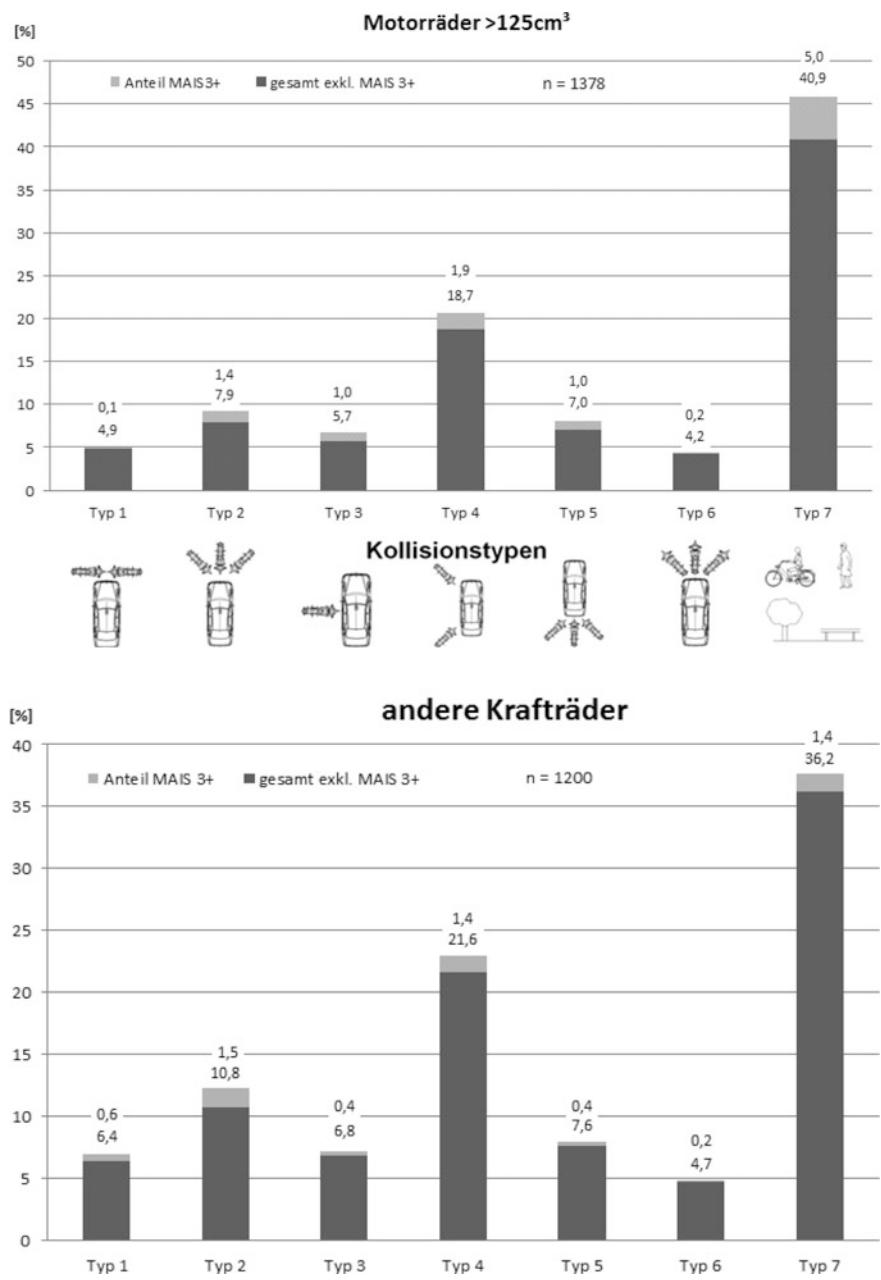


Abb. 2.14 Kollisionstypen motorisierter Zweiräder und Anteile MAIS 3+ der Fahrer [Otte 13]

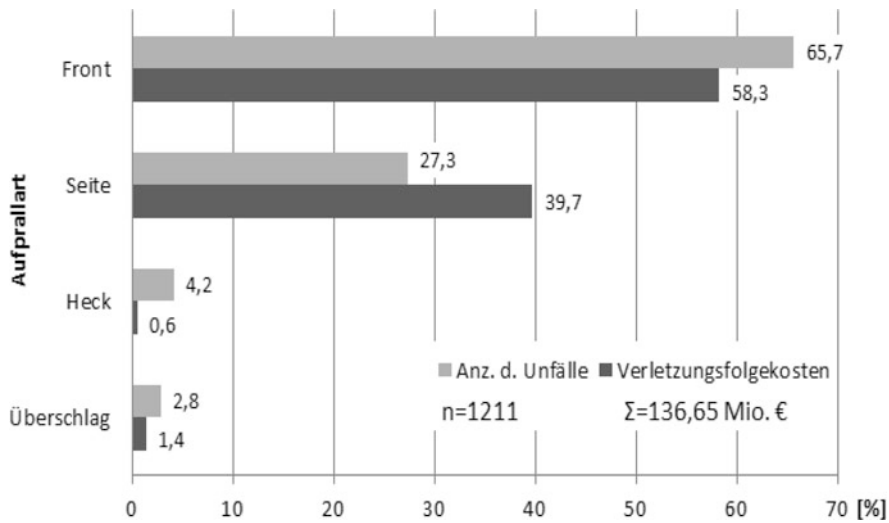


Abb. 2.15 Aufprallarten bei Pkw-Kollisionen nach Häufigkeit und nach Verletzungsfolgekosten [Kramer 09]

- Frontalaufprall,
- Seitenaufprall,
- Heckaufprall,
- Überschlag.

Dem Frontalaufprall eines Pkw kann beispielsweise die Kollisionsart Pkw/Nfz, Pkw/Hindernis oder der Kollisionstyp Auffahrunfall zu Grunde liegen. Allein aus den Beschädigungen und Deformationen des einzelnen, in irgendeine Kollision verwickelten Pkw kann auf die Aufprallart geschlossen werden. Die Aufprallart „Überschlag“ passt sich nicht nahtlos in dieses Definitionsschema ein, ist aber nach allgemeinem Verständnis als eine der vier Aufprallarten festgelegt worden.

Bei Pkw-Unfällen dominiert der Frontalaufprall nach Häufigkeit mit 66 % vor dem Seitenaufprall mit 27 % (siehe Abb. 2.15). Bei der Wahl der Kriterien Getötete oder Verletzungsfolgekosten, zeigt sich die besondere Gefährdung durch den Seitenaufprall. Würden nicht nur Unfälle mit Verletzten, sondern alle Unfälle zu Grunde gelegt werden, würde der Anteil des Heckaufpralls stark ansteigen. Aus diesen Anmerkungen lässt sich erkennen, dass Ergebnisse von Unfalluntersuchungen in starkem Maße vom Untersuchungsmaterial und dessen Abgrenzungen abhängen (siehe z. B. Unterschiede zwischen Abb. 2.15 und 2.18). Nach neuesten Untersuchungen sind, da die AIS-Skala Langzeitverletzungen nicht berücksichtigen kann, die Verletzungsfolgekosten des Heckaufpralls infolge des HWS-Schleudertraumas bedeutend höher einzustufen als in Abb. 2.15 dargestellt.

Der *Aufpralltyp* spezifiziert die pauschalen Angaben der Unfallart, indem für Beschädigungen und für Stoßrichtungen genauere Angaben gemacht werden. Bei den

Abb. 2.16 Einteilung der Aufpralltypen für frontal kollidierende Pkw nach der Collision Deformation Classification (CDC) [SAE J224 94]

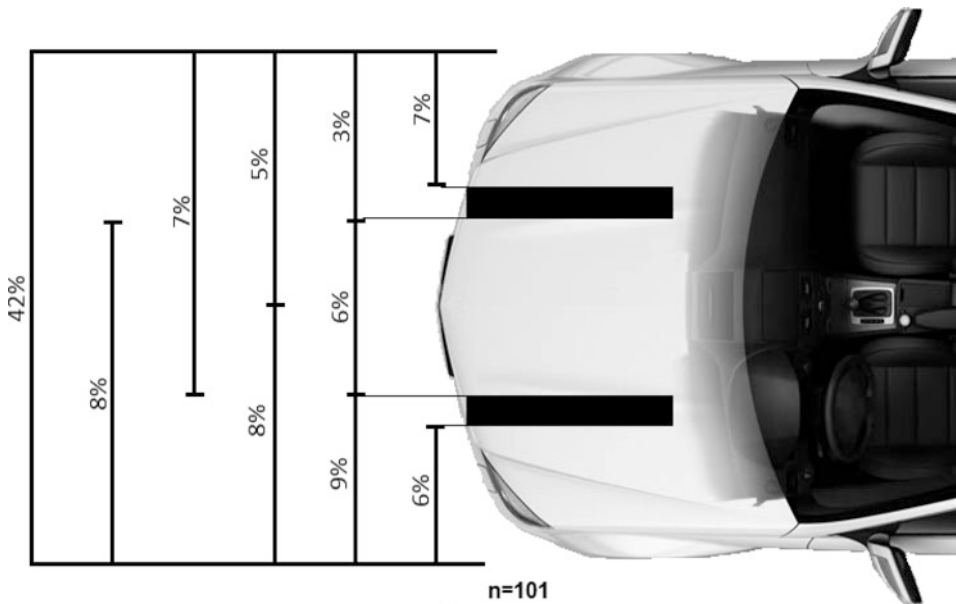
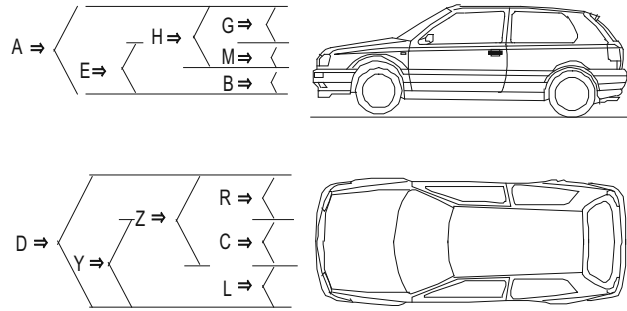


Abb. 2.17 Häufigkeiten der Aufpralltypen für die Pkw-Front (Modelljahr 2000 und später) nach der CDC [FIMCAR 11]

Beschädigungen werden der genaue Bereich und das Ausmaß der Deformationen, der Überdeckungsgrad und ggf. die Intrusionen angegeben. Die Beschreibung der Deformationen kann mit Hilfe des „Beschädigungsgrades“ (BG) [Langwieder 76; HUK 94], des „Vehicle Deformation Index“ (VDI), des „Vehicle Interior Deformation Index“ (VIDI) [SAE J224], des Beschädigungsgrades oder der vergleichbare „Collision Deformation Classification“ (CDC) [SAE J224] erfolgen, siehe Abb. 2.16.

Die Abb. 2.17, 2.18 und 2.19 enthalten quantitative Angaben zu den Häufigkeiten der Beschädigungen und der Anstoßrichtungen im Frontbereich von Pkw. Es ist zu erkennen, dass der häufigste Aufpralltyp beim Frontalaufprall der Schrägaufprall vorn links mit teilweiser Überdeckung (Offset) ist. In der Europäischen Gesetzgebung ist dies mit dem

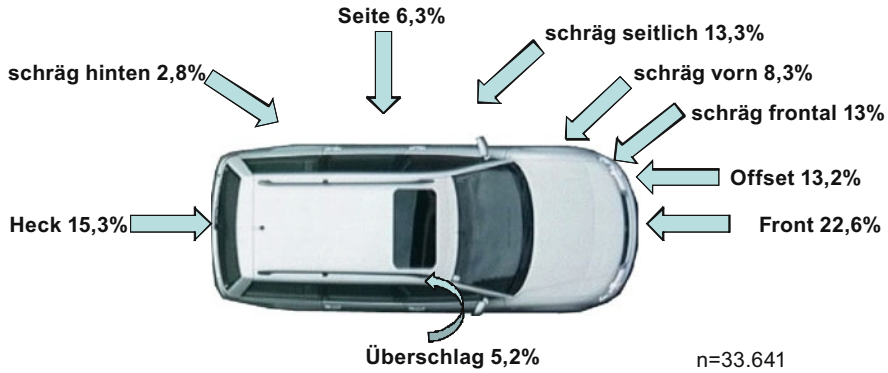
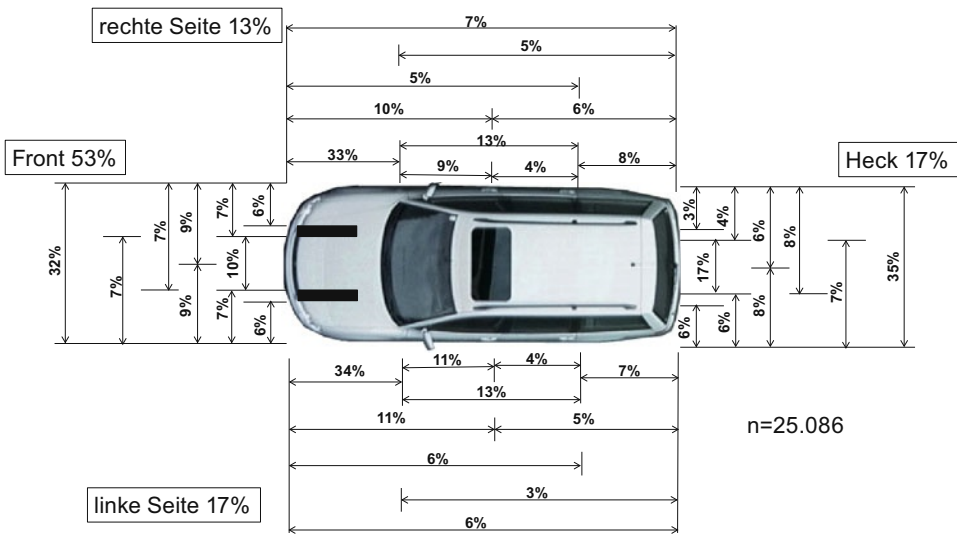


Abb. 2.18 Häufigkeit von Anstoßrichtungen beim Pkw-Aufprall. Anstöße links und rechts zusammengefasst. Nach GIDAS Daten von Juli 1999 bis Juni 2012 [Otte 13]



100% je Fahrzeugteil, bei Mehrfachkollisionen wurde die schwerste Kollision bewertet

Abb. 2.19 Häufigkeit der Aufpralltypen für Pkws. Nach GIDAS Daten von Juli 1999 bis Juni 2012 [Otte 13]

Frontaufprall nach ECE-R 94 bzw. Richtlinie 96/79/EG, abgesehen von der schrägen Anstoßrichtung, berücksichtigt worden, siehe Tab. 3.6. In der Gesetzgebung wird im Sinne der Abbildung der Unfallrealität versucht, häufig auftretende, relevante Aufprallarten aller Kollisionstypen durch entsprechende Crash-Tests zu repräsentieren, siehe für den Pkw-Unfall die Tab. 3.6, 3.7 und 3.8.

2.6 Belastungs- und Verletzungsarten des Menschen

Die bisherigen Einteilungen und Abgrenzungen bezogen sich auf die Unfallsituation und auf äußere Merkmale der Unfallbeteiligten, vornehmlich auf Merkmale der beteiligten Fahrzeuge. Hier wird nun auf den Menschen eingegangen, der in einen Unfall verwickelt ist. Der Mensch im Unfall wird entweder als

- „ungeschützter Verkehrsteilnehmer“ wie Fußgänger, Radfahrer, Motorradfahrer (allgemeiner ausgedrückt als Aufsasse eines motorisierten Zweirades) oder als
- „geschützter Verkehrsteilnehmer“ wie Pkw-Insasse (Fahrer, Beifahrer, Fondinsasse) oder als Nfz-Insasse im Lkw oder Bus

betroffen. Die Verletzungen, die an den verschiedenen Körperregionen wie Kopf, Hals, Thorax, Abdomen, Becken, Extremitäten (untere und obere) auftreten können, werden von äußeren Unfallparametern wie Aufprallgeschwindigkeit oder Art des Hindernisses, von den Struktureigenschaften des Fahrzeuges wie nachgiebiger Vorbau oder steifer Fahrgastzelle u. a. bestimmt. In sehr weitem Maße haben aber auch die direkt wirkenden Schutzsysteme für den Menschen Einfluss auf Art und Schwere der Verletzungen, z. B.:

- Motorradfahrer-Schutzkleidung einschließlich Helm
- Verbundsicherheitsglas
- Gurtsystem
- Innenraumpolsterung, nachgiebige Armaturentafel, nachgiebige Lenkanlage
- Front-Airbags mit Innenraumsensierung und Stufenauslösung
- Seiten-Airbags für Kopf- und Brustbereich
- Türverriegelungen, die gegenüber Frontaufprall oder Überschlag resistent sind,

um nur einige wichtige Schutzsysteme zu nennen. Bei Unfällen ist der Mensch üblicherweise verteilt wirkenden Kontaktkräften ausgesetzt. Aber auch lokal einwirkende Belastungen, wie sie bei Intrusionen in den Fahrgastraum auftreten können, sind von Bedeutung. Allgemein lassen sich folgende *Belastungsarten* bei Unfällen für den Menschen unterscheiden:

- direkte Krafteinwirkung mit „stumpfer Gewalt“ (z. B. Gurt, Airbag für Fahrzeuginsassen, Fronthaube bei der Kollision eines Pkw mit einem Fußgänger)
- direkte Krafteinwirkung mit „spitzer Gewalt“ (z. B. Aufprall des Kopfes auf eine Pfostenkante, Spaltung der Patella durch ungeschickt angebrachten Zündschlüssel, Durchbohrung des Thorax durch steife Lenksäule)
- indirekte Krafteinwirkung durch Übertragung der auf gewisse Körperteile direkt eingeleiteten Kräfte als Trägheitskräfte, die auf andere Körperteile wirken (z. B. Contrecoup-Verletzungen an der stoßabgewandten Seite des Gehirns, Schädel-Hirn-Traumata, Hyperextensionen oder Hyperflexionen der Gelenke oder der Wirbelsäule durch die

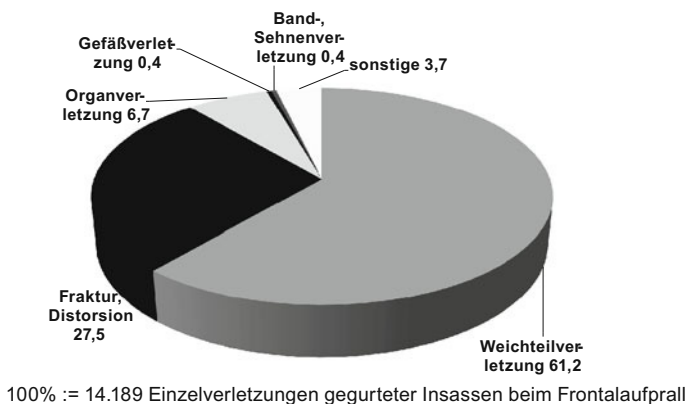


Abb. 2.20 Aufteilung der Verletzungsarten für gegurtete Pkw-Insassen beim Pkw-Frontalaufprall. Nach GIDAS Daten von Juli 1999 bis Juni 2012 [Otte 13]

Trägheitswirkung des Kopfes gegenüber im Thorax eingeleiteten Kräften). Kennzeichnend für Verletzungen infolge indirekter Krafteinwirkung ist, dass keine Prellungen, äußere Hämatome, Weichteilverletzungen zugeordnet werden können.

Für die *Verletzungsart* der Verunglückten lässt sich folgende vereinfachte Unterteilung angeben:

- Weichteilverletzungen
- Organverletzungen
- Gefäßverletzungen
- Frakturen
- Rupturen
- Bänder- und Sehnenverletzungen
- Verbrennungen.

Die häufigsten Verletzungen bei Frontalunfällen gegurteter Insassen sind die Weichteilverletzungen, gefolgt von Frakturen und Organverletzungen, siehe Abb. 2.20.

Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion

Grundlagen der Unfallaufklärung

Johannsen, H.

2013, XV, 215 S. 136 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-658-01593-0