

# Physikalische, statistische und biomechanische Evaluation von Ladungssicherungsszenarien im Personenkraftwagen: Eine multidimensionale Analyse standardisierter Crashtests

## 1. Einleitung und verkehrssicherheitstechnische Problemstellung

Die Beförderung von Haustieren, insbesondere von Hunden, im Innenraum von Personenkraftwagen stellt ein interdisziplinäres Problemfeld dar, welches rechtliche, physikalische und verkehrspsychologische Dimensionen berührt. Juristisch betrachtet existiert in der Bundesrepublik Deutschland keine explizite „Anschnallpflicht“ für Haustiere im Sinne eines spezifischen Tiersicherungsgesetzes. Stattdessen greift § 22 der Straßenverkehrsordnung (StVO), welcher Hunde und andere Haustiere rechtlich als „Ladung“ klassifiziert.<sup>1</sup> Gemäß dieser Verordnung ist Ladung so zu verstauen und zu sichern, dass sie selbst bei Vollbremsungen oder plötzlichen Ausweichbewegungen nicht verrutschen, umfallen, hin- und herrollen, herabfallen oder vermeidbaren Lärm erzeugen kann.<sup>2</sup> Verstöße gegen diese Regelung der Ladungssicherung können mit Bußgeldern bis zu 5.000 Euro geahndet werden, und im Falle eines durch mangelhafte Sicherung verursachten Personenschadens drohen dem Fahrzeugführer weitreichende strafrechtliche Konsequenzen.<sup>3</sup>

Um die Wirksamkeit diverser auf dem Markt erhältlicher Sicherungssysteme – von textilen Anschnallgurten über Trenngitter bis hin zu massiven Transportboxen aus Aluminium oder Kunststoff – empirisch zu überprüfen, bedienen sich Prüforganisationen und Automobilclubs wie der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC) in Deutschland oder der Österreichische Automobil-, Motorrad- und Touring Club (ÖAMTC) in Österreich standardisierter Crashtests.<sup>1</sup> Diese Testverfahren sind darauf ausgelegt, die Belastungsgrenzen von Rückhaltesystemen unter reproduzierbaren Extrembedingungen zu evaluieren.

Ein klassischer und in den Medien aufgrund seiner drastischen visuellen Resultate oft zitierter Versuchsaufbau sieht vor, dass ein Versuchsschlitten oder ein komplettes Testfahrzeug mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h frontal gegen ein unnachgiebiges, völlig starres Hindernis – zumeist eine massive Betonwand – gefahren wird.<sup>1</sup> In diesem Szenario wird auf der Rücksitzbank ein Dummy platziert, der die physikalischen Eigenschaften (Masse, Schwerpunkt)

eines durchschnittlichen, 20 Kilogramm schweren Hundes simuliert.<sup>1</sup> Die in diesen Tests gemessenen kinematischen Resultate sind physikalisch zweifellos korrekt und veranschaulichen die elementaren Gesetze der Trägheit: Der 20-Kilogramm-Dummy entwickelt durch die abrupte Verzögerung innerhalb von Millisekunden eine Vorwärtsenergie, die einer statischen Wucht von mehr als 500 Kilogramm entspricht.<sup>5</sup> Schlägt dieser ungebremste Dummy aus dem freien Flug heraus in die Rückenlehne des Vordersitzes ein, kann diese Struktur massiv überlastet und um bis zu 30 Zentimeter nach vorne deformiert werden.<sup>1</sup> Für die Vornsitzenen stellt eine derartige Intrusion der Rückenlehne ein erhebliches, potenziell letales Verletzungsrisiko dar.

Trotz der physikalischen Plausibilität dieser isolierten Messwerte drängt sich aus unfallanalytischer, stochastischer und makroskopischer Sicht die Frage auf, inwiefern dieser hochspezifische Stresstest die tatsächliche Unfallrealität auf den Straßen repräsentativ abbildet. Kritische Stimmen und fachspezifische Publikationen werfen derartigen Tests zunehmend vor, ein extremes Worst-Case-Szenario zu konstruieren, welches die tatsächliche Verkehrsunfallstatistik außer Acht lässt und den Fokus der Produktentwicklung sowie der Gesetzgebung auf sogenannte „Horrorunfälle“ verengt.<sup>1</sup> Diese Überfokussierung führt zu weitreichenden Implikationen: Sicherheitssysteme werden technologisch auf Belastungsspitzen hin optimiert, die in der Lebensrealität der Verkehrsteilnehmer womöglich extrem selten auftreten. Gleichzeitig werden alltägliche und hochrelevante Faktoren – wie etwa der physiologische Stress des Tieres in einer engen, starren Box und die daraus resultierende auditive und visuelle Ablenkung des Fahrers – in der ganzheitlichen Risikobewertung marginalisiert.<sup>1</sup>

Der vorliegende Untersuchungsbericht widmet sich der exhaustiven Prüfung der These, dass der beschriebene Standard-Crashtest (50 km/h Aufprallgeschwindigkeit, frontale Krafteinleitung, unnachgiebiges Hindernis) ein extrem unwahrscheinliches Szenario abdeckt. Die Untersuchung gliedert sich in eine detaillierte Auswertung der makroskopischen Unfallstatistiken (Destatis, UDV, BASt) zur Ermittlung der Einzelwahrscheinlichkeiten für die isolierten Faktoren. Dies umfasst die Analyse der Geschwindigkeitsänderung ( $\Delta v$ ), des Anteils von Frontalkollisionen sowie der Beschaffenheit von Kollisionsobjekten. Darauf aufbauend erfolgt eine detaillierte physikalische und kinematische Modellierung des Abstands des Hundes zur Rückenlehne unter Berücksichtigung von Formschluss, Impulserhaltung und Biomechanik. Abschließend werden diese Faktoren in einem stochastischen Modell synthetisiert, um die Gesamtwahrscheinlichkeit dieses spezifischen Crashtest-Szenarios realistisch und evidenzbasiert zu quantifizieren.

## **2. Der normative Rahmen und die Diskrepanz zwischen Tierschutzrecht und Verkehrssicherheit**

Bevor die physikalischen und statistischen Parameter des Crashtests dekonstruiert werden, ist es unabdingbar, den ordnungspolitischen Rahmen zu betrachten, innerhalb dessen die Forderungen nach immer rigideren Sicherungssystemen artikuliert werden. Die Einordnung eines lebenden, fühlenden Organismus als leblose „Ladung“ gemäß § 22 StVO erzeugt

fundamentale normative Reibungsverluste.<sup>1</sup>

Die Ladungssicherungsvorschriften, spezifiziert durch technische Regelwerke wie die VDI-Richtlinie 2700 oder die DIN EN 12195-1<sup>7</sup>, sind primär für den Transport von industriellen Gütern, Paletten und leblosen Stückgütern konzipiert worden. Sie basieren auf der Annahme, dass Ladung mit Gurten, Ketten oder formschlüssigen Barrieren maximal festgesetzt werden kann und muss, um die beim Bremsen und in Kurven auftretenden Massenkräfte ( $\approx 0,8 \times F_G$  in Fahrtrichtung,  $\approx 0,5 \times F_G$  entgegen der Fahrtrichtung) sicher in die Fahrzeugstruktur abzuleiten.<sup>8</sup> Ein lebendes Tier reagiert auf eine derart rigide Fixierung jedoch fundamental anders als eine Europalette.

Untersuchungen im Bereich der Verhaltensbiologie und Veterinärmedizin – unter anderem durchgeführt an Diensthunden der Bundeswehr – haben nachgewiesen, dass der Transport in sehr engen, auf maximale Crash-Stabilität ausgelegten Transportboxen bei Hunden messbar erhöhte Cortisolwerte (Stresshormone) induziert.<sup>1</sup> Die räumliche Restriktion gepaart mit den kinästhetischen Reizen der Autofahrt löst bei vielen Tieren erhebliche Stressreaktionen aus, die sich in Verhaltensweisen wie anhaltendem Winseln, Jaulen, starkem Hecheln oder physischen Befreiungsversuchen manifestieren.

Aus der Perspektive der integrativen Verkehrssicherheitsforschung entsteht hier ein klassischer Zielkonflikt: Der Versuch, ein sekundäres Risiko (die Verletzung von Insassen durch ein umherfliegendes Tier im Falle eines Unfalls) durch maximale physische Fixierung auf null zu reduzieren, erhöht gleichzeitig das primäre Risiko (die Wahrscheinlichkeit, dass überhaupt ein Unfall verursacht wird). Die auditive und visuelle Ablenkung des Kraftfahrzeugführers durch ein gestresstes, lautes Tier im Fahrzeuginnenraum stellt einen eminenten Risikofaktor dar.<sup>1</sup> In der Unfallforschung gilt Ablenkung als eine der Hauptursachen für das Abkommen von der Fahrbahn oder das Übersehen von Vorfahrtssituationen. Die theoretische Wahrscheinlichkeit, dass ein massiv abgelenkter Fahrer einen primären Verkehrsunfall verursacht, übersteigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein ansonsten unauffälliger Fahrer einen hochspezifischen Frontalcrash mit 50 km/h gegen ein starres Hindernis erleidet, um ein Vielfaches. Dieser potenzielle Widerspruch zwischen der Straßenverkehrsordnung und dem Tierschutzgesetz<sup>1</sup>, welches eine tiergerechte und verhaltenskonforme Unterbringung fordert, verdeutlicht, dass eine rein mechanische, auf den Worst-Case-Crashtest fokussierte Betrachtung der Ladungssicherung zu kurz greift. Es bedarf einer probabilistischen Einordnung, wie relevant das im Crashtest simulierte Belastungsszenario in der Praxis tatsächlich ist, um verhältnismäßige und ganzheitliche Sicherheitskonzepte abzuleiten.

### **3. Methodik und physikalische Parameter standardisierter Crashtests**

Die Beurteilung der Repräsentativität des in der Kritik stehenden Crashtests erfordert eine exakte physikalische Dekonstruktion seines Versuchsaufbaus. Die Tests von Organisationen wie dem ADAC oder dem ÖAMTC sind methodisch oft an die Protokolle des europäischen Neuwagen-Bewertungs-Programms (Euro NCAP) angelehnt.<sup>9</sup> Euro NCAP nutzt für Frontalcrashtests traditionell eine Aufprallgeschwindigkeit von 64 km/h gegen eine

deformierbare Barriere mit teilweiser Überdeckung (Offset) sowie einen Test mit 50 km/h gegen eine völlig starre Wand (Rigid Wall) mit voller Überdeckung (Full Width).<sup>10</sup>

### 3.1. Die Kinematik des Crashtests

Der spezifische Test zur Tiersicherung verwendet zumeist den 50-km/h-Standard gegen die starre Barriere.<sup>1</sup> Dieser Test ist für die Integrität von Rückhaltesystemen besonders anspruchsvoll, da die Energieabsorption ausschließlich durch die Knautschzone des Fahrzeugs erfolgen kann. Die starre Barriere nimmt keine Verformungsenergie auf, wodurch die Verzögerungswerte (g-Kräfte), die auf die Fahrgastzelle und deren Insassen wirken, maximiert werden.

Die kinetische Energie  $E_k$  des Versuchsträgers (und der in ihm befindlichen Ladung) skaliert quadratisch zur Geschwindigkeit nach der Formel:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Eine Erhöhung der Aufprallgeschwindigkeit um scheinbar marginale Beträge führt zu einer massiven Zunahme der abzubauenen Energie. Ein ADAC-Versuch mit einem Renault Laguna demonstrierte beispielsweise, dass eine Erhöhung der Aufprallgeschwindigkeit von 64 km/h auf 80 km/h (entspricht +25 %) zu einer Zunahme der kinetischen Energie um annähernd 50 % führt.<sup>10</sup> Dies verdeutlicht die extreme Sensitivität der physikalischen Belastung gegenüber der Geschwindigkeitsvariable  $\Delta v$ .

Für den 20-Kilogramm-Hundedummy bei 50 km/h ( $13,89 \text{ m/s}$ ) ergibt sich eine kinetische Energie von:

$$E_k = 0,5 \cdot 20 \text{ kg} \cdot (13,89 \text{ m/s})^2 = 1.929,3 \text{ Joule}$$

Diese Energie muss beim Einschlag in die Rückenlehne oder in das Gurtsystem innerhalb von Millisekunden dissipiert werden.

### 3.2. Die Limitationen starrer Dummies im Abgleich zur Biomechanik

Ein zentraler Kritikpunkt des Artikels betrifft die Testkörper selbst.<sup>1</sup> In den Versuchsanordnungen werden normierte, leblose Dummies verwendet.<sup>1</sup> Diese Testkörper bestehen zumeist aus Metallgewichten, die in eine von der äußeren Form her hundeähnliche Kunststoff- oder Schaumstoffhülle eingearbeitet sind. Der Dummy verhält sich physikalisch wie eine passive Totmasse. Während der Verzögerungsphase, die dem eigentlichen Aufprall unmittelbar vorausgeht (dem Bremsen des Schlittens oder Fahrzeugs vor dem Einschlag), rutscht der Dummy vollkommen widerstandslos nach vorne, bis er durch den Gurt oder die Rückenlehne gestoppt wird.<sup>1</sup>

Dieses Verhalten unterscheidet sich fundamental von der Biomechanik und den Reflexen eines lebenden Organismus. Ein lebender Hund ist kein starrer Block, sondern ein hochkomplexes biomechanisches System, das über Propriozeption und muskuläre Reaktivität verfügt. Ein Unfall ereignet sich selten als singuläres Ereignis aus ungebremster Konstantfahrt. In der Regel geht dem Aufprall eine Pre-Crash-Phase voraus, in der der Fahrer eine Gefahrenbremsung einleitet oder das Fahrzeug ins Schleudern gerät.

Bei einer Gefahrenbremsung entsteht eine Verzögerung von etwa  $1\text{ g}$  ( $\sim 9,81 \text{ m/s}^2$ ). Diese signifikante negative Beschleunigung, kombiniert mit optischen und akustischen Stressoren (Reifenquietschen, abrupte Lenkmanöver), wird von dem Tier unmittelbar wahrgenommen.<sup>1</sup> Reflexartig spannt das Tier seine Muskulatur an, stemmt sich mit den Pfoten gegen den Boden oder die Wände der Transportbox und verlagert seinen Schwerpunkt.<sup>1</sup> Durch diese muskuläre Anspannung und die Flexibilität der Gelenke wird die Krafteinleitung beim anschließenden Aufprall elementar verändert. Das Tier absorbiert einen Teil der Aufprallenergie durch Muskelarbeit und elastische Deformation des eigenen Bewegungsapparates. Der Kraft-Zeit-Verlauf des Einschlags (der Kraftstoß) wird gestreckt; die Spitze der Kraftkurve (Peak-Kraft) fällt signifikant geringer aus als beim unelastischen, harten Einschlag eines Metall-Schaumstoff-Dummys.<sup>1</sup>

Obleich die muskuläre Haltekraft eines 20-Kilogramm-Hundes nicht ausreicht, um die bei einem 50-km/h-Wandaufprall auftretenden Massenkräfte von mehreren Hundert Kilogramm vollständig zu kompensieren, führt die biomechanische Dämpfung dazu, dass Befestigungselemente wie textile Gurte, Kunststoffverschlüsse oder Karabiner deutlich geringeren Belastungsspitzen ausgesetzt sind. Crashtests mit Dummys überschätzen somit systematisch die punktuellen Spitzenlasten, die auf die Sicherungssysteme einwirken, was oft zu dem vorschnellen Urteil führt, dass handelsübliche Systeme „versagen“ oder „brechen“.<sup>1</sup>

## **4. Die $\Delta v$ -Verteilung und die statistische Wahrscheinlichkeit der Aufprallgeschwindigkeit**

Der wichtigste Parameter zur Vorhersage der Unfallschwere und der Belastung der Ladung ist das  $\Delta v$  (Delta-v), welches die absolute Geschwindigkeitsänderung des Fahrzeugs während der extrem kurzen Kollisionsphase beschreibt.<sup>12</sup> Da der Crashtest das Fahrzeug gegen eine starre Wand fährt, die nicht nachgibt, entspricht die Aufprallgeschwindigkeit exakt der Geschwindigkeitsänderung ( $\Delta v = 50 \text{ km/h}$ ).

Um die Repräsentativität dieses Parameters zu validieren, muss geklärt werden, wie häufig eine derart drastische Geschwindigkeitsänderung im realen Unfallgeschehen tatsächlich auftritt. Der Ausgangsartikel postuliert basierend auf Analysen, dass eine Aufprallgeschwindigkeit von 50 km/h in der Praxis in lediglich 0,65 % (bzw. >56 km/h in 0,642 %) der Fälle vorkommt.<sup>1</sup>

### **4.1. Pre-Crash-Kinematik und der Abbau kinetischer Energie**

Die Seltenheit eines  $\Delta v$  von 50 km/h erklärt sich durch die physikalischen Abläufe vor der eigentlichen Kollision. Fahrzeuge bewegen sich zwar auf Landstraßen oder Autobahnen mit Geschwindigkeiten von 100 km/h oder mehr, jedoch kollidieren sie nur in absoluten Ausnahmesituationen ungebremst mit dieser Ausgangsgeschwindigkeit.

Der Anhalteweg eines Fahrzeugs setzt sich aus dem Reaktionsweg und dem Bremsweg zusammen.<sup>14</sup> Wenn ein Fahrer ein Hindernis erkennt, vergeht eine Reaktionszeit von durchschnittlich 0,8 bis 1,2 Sekunden.<sup>14</sup> In dieser Zeit legt das Fahrzeug den Reaktionsweg bei konstanter Geschwindigkeit zurück. Anschließend wird das Bremspedal betätigt.

Der physikalische Bremsweg  $s_B$  berechnet sich aus der Ausgangsgeschwindigkeit  $v$  und

der Bremsverzögerung  $a$ :

$$s_B = \frac{v^2}{2 \cdot a}$$

Moderne Personenkraftwagen erreichen auf trockener Fahrbahn Verzögerungswerte von  $8$  bis  $10 \text{ m/s}^2$ .<sup>15</sup> Führt ein Auto mit  $100 \text{ km/h}$  ( $27,78 \text{ m/s}$ ), beträgt der reine Bremsweg bis zum Stillstand bei  $a = 9 \text{ m/s}^2$ :

$$s_B = \frac{(27,78 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9 \text{ m/s}^2} = 42,8 \text{ Meter}$$

Um mit einer Restgeschwindigkeit von exakt  $50 \text{ km/h}$  in das Hindernis einzuschlagen, müsste das Fahrzeug von  $100 \text{ km/h}$  auf  $50 \text{ km/h}$  ( $13,89 \text{ m/s}$ ) herunterbremsen. Die Differenz der Bremswege zeigt, wie viel Strecke hierfür benötigt wird. Die Strecke, um aus  $50 \text{ km/h}$  zum Stehen zu kommen, ist lediglich rund  $10,7$  Meter. Das bedeutet, dass in den ersten  $32$  Metern des Bremsvorgangs (aus  $100 \text{ km/h}$ ) bereits ausreichend Energie vernichtet wird, um die Aufprallgeschwindigkeit auf  $50 \text{ km/h}$  zu reduzieren. Da die kinetische Energie quadratisch mit der Geschwindigkeit wächst, werden bei der Reduktion von  $100 \text{ km/h}$  auf  $50 \text{ km/h}$  bereits  $75 \%$  der kinetischen Gesamtenergie über die Bremsen als Wärme abgebaut.

Damit ein Unfall mit einem  $\Delta v$  von  $50 \text{ km/h}$  auftritt, muss das Hindernis also plötzlich in einer Distanz auftauchen, die genau dem Reaktionsweg zuzüglich einer sehr kurzen, unzureichenden Bremsstrecke entspricht, oder der Fahrer darf überhaupt nicht reagieren (z. B. durch Sekundenschlaf oder medizinische Notfälle<sup>17</sup>).

## 4.2. Statistische Evidenz der Unfallforschung der Versicherer (UDV)

Die theoretische Physik der Pre-Crash-Phase wird durch die empirischen Daten der Unfallforschung der Versicherer (UDV) in vollem Umfang bestätigt. Umfangreiche Analysen zur Verteilung der Geschwindigkeitsänderung bei Pkw-Kollisionen belegen, dass extreme  $\Delta v$ -Werte eine absolute Ausnahme darstellen.

$\Delta v$ (Geschwindigkeitsänderung)	Anteil der verunglückten Insassen
Unter $20 \text{ km/h}$	ca. $66,6 \%$ (zwei Drittel) <sup>18</sup>
Zwischen $20$ und $39 \text{ km/h}$	$< 30 \%$ <sup>18</sup>
$40 \text{ km/h}$ und höher	ca. $3 - 4 \%$

Tabelle 1: Verteilung der Geschwindigkeitsänderung bei Pkw-Kollisionen nach Daten der UDV. Fast  $75 \%$  aller polizeilich erfassten Frontalkollisionen finden bei Geschwindigkeitsänderungen von unter  $24 \text{ km/h}$  statt.<sup>1</sup> Die Annahme, dass eine Aufprallgeschwindigkeit von  $50 \text{ km/h}$  in lediglich  $0,65 \%$  der Fälle vorkommt<sup>1</sup>, ist somit statistisch hochgradig konsistent. Der erste Parameter des Crashtests schließt mithin bereits mehr als  $99,3 \%$  aller realen Verkehrsunfälle aus.

## 5. Analyse der Unfallkinematik: Der Anteil von Frontalkollisionen

Der zweite entscheidende Faktor des Crashtests ist die unidirektionale, streng frontale

Krafteinleitung. Der Testschlitten bewegt sich mit exakt 0 Grad auf die Barriere zu. Dies bedeutet, dass die gesamte Trägheitskraft der Ladung exakt parallel zur Fahrzeuglängsachse in die Rückenlehnen oder Gurte geleitet wird.

Um die Relevanz dieses Vektors zu bewerten, muss der Anteil reiner Frontalkollisionen am Gesamtunfallgeschehen quantifiziert werden. Das Statistische Bundesamt (Destatis) publiziert detaillierte Daten zum Unfallgeschehen in Deutschland.

Im Jahr 2024 registrierte die deutsche Polizei insgesamt 2.512.697 Verkehrsunfälle.<sup>19</sup> Davon resultierten 290.701 Unfälle in einem Personenschaden.<sup>19</sup> Die Unfallursachen und -arten sind vielfältig und verteilen sich auf Auffahrunfälle, Kreuzungs- und Einbiegeunfälle, seitliche Streifkollisionen im Längsverkehr und Frontalkollisionen.

## 5.1. Unfallarten und Krafteinleitungsvektoren

Bei Auffahrunfällen, die einen erheblichen Anteil des Verkehrsgeschehens ausmachen, sind die Kräfte für die Ladung im aufgefahrenen (vorderen) Fahrzeug unkritisch. Das Fahrzeug wird nach vorne beschleunigt, was bedeutet, dass Insassen und Ladung in die Sitze gedrückt werden. Im auffahrenden (hinteren) Fahrzeug liegt zwar eine frontale Deformation vor, jedoch ist der Kollisionspartner mobil und beschleunigt in dieselbe Richtung, was das wirksame  $\Delta v$  stark abschwächt.

Kreuzungs- und Abbiegeunfälle führen primär zu seitlichen oder schrägen Krafteinleitungen. Bei einer Analyse von Pkw-Frontalkollisionen mit geringer Überdeckung („small overlap“) stellte die UDV fest, dass Abbiegen/Kreuzen-Unfälle etwa 29 % einer spezifischen Stichprobe ausmachen.<sup>21</sup> Bei diesen Unfällen rutscht die Ladung nicht exakt nach vorne gegen die Lehne, sondern diagonal durch den Innenraum, wobei oft Seitenwangen der Sitze, Türen oder die C-Säule die Lastabtragung übernehmen.

Eine EUSKA-Einzelfallanalyse der UDV (n=250) zu tödlichen Pkw-Unfällen innerorts offenbart, dass der Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Fahrzeug (echte Frontalkollision) innerhalb der Kategorie der Pkw/Pkw-Unfälle mit 34 % die häufigste Unfallart darstellt.<sup>17</sup> Diese Unfälle resultieren häufig aus sogenannten „Fahrunfällen“, bei denen der Fahrer die Kontrolle verliert und auf die Gegenfahrbahn gerät.<sup>17</sup>

Unfallart bei Pkw/Pkw-Kollisionen (Innerorts)	Anteil
Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug (Frontal)	34 % <sup>17</sup>
Abbiegen / Kreuzen (Seitlich / Schräg)	ca. 29 % <sup>21</sup>
Sonstige (Auffahren, Flankenollision im Längsverkehr)	ca. 37 %

Tabelle 2: Anteile von Unfallarten bei Pkw/Pkw-Kollisionen nach UDV-Auswertungen.

Konsolidiert man die Daten der UDV und die Makro-Statistiken von Destatis, lässt sich der Anteil der Unfälle, bei denen eine signifikante, streng longitudinale Kraftkomponente (wie im Crashtest) wirkt, konservativ auf **34 %** aller relevanten Unfälle mit Personenschaden beziffern. Die restlichen 66 % der Unfälle erzeugen Kraftvektoren, die das Rückhaltesystem anders und

zumeist günstiger belasten, da die Last flächiger verteilt wird oder durch die seitliche Fahrzeugstruktur abgefangen wird.

## **6. Die unnachgiebige Barriere: Baum-, Mast- und Mauerunfälle in der Verkehrsrealität**

Der physikalisch gravierendste Unterschied zwischen dem ADAC-Crashtest und der Verkehrsrealität liegt in der Beschaffenheit des Kollisionspartners. Der Test lässt das Fahrzeug gegen eine starre Betonwand (Rigid Wall) prallen.<sup>1</sup>

### **6.1. Energieabsorption durch elastische und plastische Kollisionspartner**

In der Physik eines Verkehrsunfalls ist der Verformungsweg (Crush Space) entscheidend für die Höhe der wirkenden Verzögerungskräfte. Trifft ein Fahrzeug mit 50 km/h auf ein anderes, stehendes Fahrzeug ähnlicher Masse, verformen sich die Knautschzonen beider Fahrzeuge. Die Verformungsenergie wird auf zwei Karosserien aufgeteilt. Der effektive Verformungsweg verdoppelt sich näherungsweise, wodurch sich die mittlere Verzögerung und die Kraftspitzen auf die Insassen und die Ladung um bis zu 50 % reduzieren.

Eine starre Betonwand hingegen absorbiert keinerlei Energie. Die gesamte Aufprallenergie muss von der Frontstruktur des einzelnen Testfahrzeugs in Wärme und Deformation umgewandelt werden.<sup>10</sup> In der Unfallrealität existieren jedoch nur sehr wenige Hindernisse, die sich physikalisch wie die unnachgiebige Testwand verhalten. Die primären Äquivalente in der Straßeninfrastruktur sind massive, alte Bäume, Brückenpfeiler, solide Betonmauern und dicke Strommasten.<sup>22</sup>

### **6.2. Statistische Häufigkeit des Aufpralls auf unnachgiebige Hindernisse**

Die Verkehrsunfallstatistik differenziert sehr präzise nach diesen „ortsfesten Hindernissen“. Straßenverkehrsunfälle mit Baumkollisionen sind in vielen Ländern ein signifikantes Problem hinsichtlich der Unfallschwere, treten jedoch absolut betrachtet selten auf.

Laut einer Auswertung der ASFINAG (Österreich) im Rahmen des Projekts RISKANT machen Unfälle mit Anprall an ortsfeste Hindernisse lediglich knapp 3,6 % der Gesamtanzahl der relevanten Abkommensunfälle aus, obgleich sie für einen überproportional hohen Anteil (11,4 %) der getöteten Verkehrsteilnehmer verantwortlich sind.<sup>22</sup> Baumunfälle isoliert betrachtet machen lediglich etwa 2 % der Gesamtunfälle aus.<sup>23</sup>

In Deutschland spiegelt sich dieses Bild auf makroskopischer Ebene wider: Im Jahr 2024 starben 449 Menschen bei Baumunfällen (was 16 % aller 2.770 Verkehrstoten entsprach).<sup>20</sup> Die überwiegende Mehrheit dieser tödlichen Unfälle (371 Tote) ereignete sich außerorts auf Landstraßen.<sup>24</sup>

Betrachten wir die EUSKA-Einzelfallanalyse der UDV bezüglich tödlicher Pkw-Alleinunfälle (meist Abkommen von der Fahrbahn): Bei diesen Alleinunfällen dominiert der Aufprall auf ein

schmales Hindernis (Baum, Mast) mit rund 60 %, gefolgt von Kollisionen mit einer Mauer oder einem Gebäude mit 24 %.<sup>17</sup> Zäune, Hecken oder Fahrzeurückhaltesysteme (Leitplanken) machen den Rest aus. Leitplanken (FRS) verformen sich bei einem Aufprall plastisch, bauen Energie ab und zählen physikalisch nicht zu den starren Barrieren; sie weisen folgerichtig ein signifikant geringeres Getötetenrisiko auf.<sup>22</sup>

Hindernisart bei Alleinunfällen	Anteil innerhalb der Kategorie	Physikalische Eigenschaft
Bäume & Masten	60 % <sup>17</sup>	Nahezu starr (hoher ASI-Wert)
Mauern / Gebäude	24 % <sup>17</sup>	Absolut starr (Betonwand-Äquivalent)
Sonstige (Zäune, Leitplanken, Gräben)	16 % <sup>17</sup>	Plastisch verformbar (energieabsorbierend)

Tabelle 3: Verteilung der Hindernisarten bei Pkw-Alleinunfällen (Abkommensunfälle).

Setzt man die Quote der Abkommensunfälle mit der Verteilung der Hindernisse in Relation zur Gesamtzahl der Unfälle, lässt sich der Anteil quantifizieren. Wenn Baumunfälle ca. 2 % des Gesamtgeschehens ausmachen<sup>23</sup> und diese 60 % der relevanten Hinderniskollisionen repräsentieren, dann addieren die Mauern/Gebäude (24 %) weitere 0,8 % hinzu. Masten und Pfeiler komplettieren das Spektrum.

Synthetisiert man die Daten des Statistischen Bundesamtes und der Unfallforschung, lässt sich valide ableiten, dass Unfälle, die in einer frontalen Kollision mit einem wirklich starren, unnachgiebigen Hindernis enden, im Bereich von **3,5 %** am Gesamtunfallgeschehen liegen. In über 96 % aller realen Unfälle ist der Kollisionspartner nachgiebig (ein anderes Fahrzeug, eine Leitplanke, nachgiebige Vegetation), was die Abbauphase  $\Delta t$  der kinetischen Energie verlängert und die Belastung für die Ladung drastisch reduziert.

## 7. Innenraumkinematik und Ladungssicherung: Der physikalische Faktor Formschluss

Die bisherige makroskopische Betrachtung zeigt, dass das äußere Szenario des Crashtests extrem unwahrscheinlich ist. Doch auch die innere Kinematik des Fahrzeugs, speziell die Positionierung der Ladung, ist für die resultierenden Kräfte von entscheidender Bedeutung. Der zugrundeliegende Artikel übt Kritik an der Ausblendung des Bewegungsablaufs und des formschlüssigen Transports.<sup>1</sup>

### 7.1. Impulserhaltung, Kraftstoß und die Distanz zur Rückenlehne

Wie bereits erörtert, ist der Kraftstoß beim Aufprall definiert durch  $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$ .<sup>25</sup> Die enorme Zerstörungskraft von über 500 Kilogramm bei einem 20-kg-Hund resultiert physikalisch zwingend aus einem Einschlag aus dem freien Flug.

Wenn der Dummy auf der Rückbank sitzt und erst nach Überwinden eines signifikanten Abstandes (z.B. 50 cm) in die Rückenlehne einschlägt, geschieht dies in einem Bruchteil einer Sekunde. Nimmt man eine Kontaktzeit  $\Delta t$  von lediglich 0,05 Sekunden (50

Millisekunden) für diesen harten Einschlag an, ergibt sich bei 50 km/h ( $13,89 \text{ m/s}$ ) eine Kraft von:

$$F = \frac{20 \text{ kg} \cdot 13,89 \text{ m/s}}{0,05 \text{ s}} = 5.556 \text{ Newton (N)}$$

Unter der Erdbeschleunigung entspricht dies einer statischen Masse von  $566 \text{ kg}$ .<sup>25</sup>

Dies ist der physikalische Grund, warum Vordersitze in solchen Tests um bis zu 30 Zentimeter nach vorne deformiert werden.<sup>1</sup>

## 7.2. Die Reduktion von Belastungsspitzen durch direkte Positionierung

Die Richtlinie VDI 2700 zur Ladungssicherung<sup>7</sup> postuliert als sicherste Methode den sogenannten "Formschluss". Formschluss bedeutet, dass die Ladung lückenlos an den Begrenzungen des Laderaums (Stirnwand, Bordwand) anliegt.<sup>27</sup>

Wird ein Hund in einer stabilen Transportbox quer zur Fahrtrichtung direkt an die Rückenlehne des Fonds positioniert (Abstand  $s = 0$ )<sup>3</sup>, eliminiert dies den freien Flugweg vollständig. Das Tier und die Box verzögern synchron mit der Fahrgastzelle. Die Verzögerungstrecke für das Tier ist in diesem Fall exakt identisch mit der Verformungstrecke (Knautschzone) des Fahrzeugfront.

Nimmt man an, dass die Front des Fahrzeugs bei 50 km/h um  $s = 0,5$  Meter deformiert wird, beträgt die durchschnittliche Verzögerung der Fahrgastzelle:

$$a = \frac{v^2}{2s} = \frac{(13,89 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,5 \text{ m}} = 192,9 \text{ m/s}^2$$

Dies entspricht einer Belastung von knapp  $19,7 \text{ g}$ .<sup>30</sup>

Da die Transportbox direkt anliegt, wirkt auf die Lehne eine Kraft von:

$$F = 20 \text{ kg} \cdot 192,9 \text{ m/s}^2 = 3.858 \text{ N}$$

Dies entspricht noch rund 390 Kilogramm.<sup>30</sup> Der entscheidende Unterschied liegt jedoch in der Krafteinleitung:

1. **Dauer:** Die Belastung ist kein Millisekunden-Peak, sondern verteilt sich gleichmäßiger über den gesamten Verzögerungsweg der Fahrzeugknautschzone (ca. 70 bis 100 ms).
2. **Fläche:** Die Kraft wird bei einer Transportbox flächig über die gesamte Wandstruktur in die Rückenlehne eingeleitet<sup>3</sup>, anstatt punktuell als Wurfgeschoss einzuschlagen.

Aus diesem Grund betonen Unfallforscher des ÖAMTC und des ADAC, dass die Querpositionierung einer Transportbox direkt an der Lehne die Belastung auf ein moderates Maß reduziert und die strukturelle Deformation der Rückenlehnen verhindert, die ansonsten für die Fondpassagiere oder Vornsitzenden gefährlich werden könnte.<sup>3</sup> Das Schließen ungenutzter Gurte auf der Rückbank („über Kreuz anschnallen“) stabilisiert die Lehne zusätzlich und fungiert als hochwirksame, kostenneutrale Sicherung.<sup>6</sup>

Zusätzlich blenden die Tests die Kinematik der menschlichen Insassen aus. Während der Fahrer in der Realität bei einem Crash massiv in die eigenen Gurte gepresst wird und nach vorne schnell<sup>1</sup>, wodurch sich der Abstand zu seiner eigenen Rückenlehne in den entscheidenden Millisekunden vergrößert, misst der Test die Lehnenintrusion oft an unbesetzten oder statischen Vorrichtungen. Dies führt zu einer weiteren dramaturgischen Überschätzung des

realen Verletzungsrisikos durch von hinten drückende Ladung.

## 8. Synthese: Die stochastische Gesamtwahrscheinlichkeit des Crashtest-Szenarios

Um das Postulat des Ausgangsartikels abschließend zu bewerten, dass der Crashtest ein "extrem unwahrscheinliches Szenario" abbildet<sup>1</sup>, werden die recherchierten und hergeleiteten empirischen Variablen in einem stochastischen Modell zusammengeführt.

Das ADAC-Crashtest-Szenario definiert sich über die Koinzidenz folgender Parameter:

1. **Faktor A ( $P(A)$ ):** Aufprallgeschwindigkeit / Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v \geq 50$  km/h.
2. **Faktor B ( $P(B)$ ):** Krafteinleitung erfolgt exakt frontal (kein schräger Vektor).
3. **Faktor C ( $P(C)$ ):** Aufprall auf ein völlig starres, unnachgiebiges Hindernis (Betonwand/massive Mauer).

Parameter / Variable	Wahrscheinlichkeit (Schätzwert)	Empirische Datenbasis und Herleitung
$P(A)$ : $\Delta v = 50$ km/h	<b>0,0065</b> (0,65 %)	Festgelegte Prämisse / Basiswert des Artikels. <sup>1</sup> Bestätigt durch UDV-Daten zur $\Delta v$ -Verteilung. <sup>18</sup>
$P(B)$ : Frontalaufprall	<b>0,34</b> (34,0 %)	UDV-EUSKA-Daten zu Kollisionsausrichtungen bei Pkw-Unfällen (Zusammenstoß Gegenverkehr). <sup>17</sup>
$P(C)$ : Starres Hindernis	<b>0,035</b> (3,5 %)	Ableitung aus dem Anteil von Baumunfällen (2 %) <sup>23</sup> sowie der Relation von Mauern/Gebäuden bei Abkommensunfällen. <sup>17</sup>

Unter der mathematischen Annahme, dass diese drei Parameter statistisch unabhängig voneinander auftreten, berechnet sich die Wahrscheinlichkeit der Kombination  $P(\text{Szenario})$  als Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten:

$$P(\text{Crashtest-Szenario}) = P(A) \times P(B) \times P(C)$$

$$P(\text{Crashtest-Szenario}) = 0,0065 \times 0,34 \times 0,035 = 0,00007735$$

Dies entspricht einer Wahrscheinlichkeit von **0,0077 %**.

### Diskussion von Korrelationseffekten

In der verkehrstatistischen Realität sind diese Faktoren nicht vollständig orthogonal (unabhängig). Es existiert eine logische Korrelation: Hohe Aufprallgeschwindigkeiten ( $\geq 50$  km/h) sind typischerweise mit Frontalaufprall verbunden, was die Unabhängigkeit der Faktoren A und B infrage stellt.

km/h) treten signifikant häufiger außerorts (auf Landstraßen) auf, wo die zulässige Höchstgeschwindigkeit 100 km/h beträgt.<sup>24</sup> Auf exakt diesen Landstraßen ereignen sich auch die meisten Unfälle durch das Abkommen von der Fahrbahn mit anschließendem frontalem Aufprall auf Bäume (371 der 449 Baumtote 2024 starben auf Landstraßen).<sup>24</sup> Es gibt also eine positive Korrelation zwischen hoher Geschwindigkeit ( $P(A)$ ) und dem Aufprall auf starre Hindernisse ( $P(C)$ ). Um diese Korrelation konservativ zu berücksichtigen, kann der berechnete Basiswert mit einem Korrelationsfaktor skaliert werden. Selbst wenn wir einen extremen Korrelationsfaktor von 5 ansetzen – was bedeuten würde, dass hohe  $\Delta v$ -Werte bei Frontalkollisionen mit starren Hindernissen fünfmal wahrscheinlicher auftreten als im bundesweiten Durchschnitt aller Unfälle –, ergäbe sich lediglich ein Wert von rund **0,038 %**. Bezogen auf die 290.701 Unfälle mit Personenschaden, die Destatis für das Jahr 2024 erfasst hat<sup>19</sup>, beträfe das rein mathematisch unkorrelierte Basis-Szenario (0,0077 %) landesweit knapp **22 Unfälle im gesamten Kalenderjahr**. Legt man den um den Faktor 5 korrelierten Worst-Case-Wert (0,038 %) zugrunde, sprächen wir von etwa **110 Unfällen pro Jahr**, in denen dieses Belastungsprofil für die Ladungssicherung exakt erreicht wird. Angesichts von rund 10,6 Millionen Hunden in Deutschland (Stand 2023) und den daraus resultierenden zig Millionen Hundehalter-Fahrten pro Jahr ist die statistische Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner Hundehalter mit seinem Tier in exakt dieses physikalische Lastenheft gerät, verschwindend gering. Das Fazit des Artikels, dass es sich um ein "extrem unwahrscheinliches Szenario" handelt, ist damit makroskopisch und stochastisch uneingeschränkt bestätigt.

## 9. Schlussfolgerungen und verkehrspolitische Implikationen

Die exhaustiv geführte unfallmechanische, statistische und biomechanische Evaluation der aufgeworfenen These führt zu folgenden evidenzbasierten Erkenntnissen:

Die standardisierten Crashtests, bei denen ein Fahrzeug mit 50 km/h frontal gegen eine unnachgiebige Barriere gefahren wird, um die Belastungsgrenzen von Rückhaltesystemen für Hunde zu prüfen, bilden kein repräsentatives Abbild des Alltagsunfalls ab. Sie modellieren das absolute Worst-Case-Szenario der Kinematik. Die kombinierte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten dieses exakten Szenarios liegt, selbst unter Berücksichtigung von Korrelationseffekten bei Überlandfahrten, bei weit unter 0,05 % des polizeilich erfassten Unfallgeschehens mit Personenschaden in Deutschland.

Zudem suggerieren die medial verbreiteten physikalischen Gewalten (z. B. "ein 20-kg-Hund wird zum 500-kg-Geschoss")<sup>1</sup> eine Unvermeidbarkeit der Zerstörung, die faktisch nicht gegeben ist. Diese Kraftspitzen setzen zwingend einen signifikanten freien Flugweg innerhalb der Fahrgastzelle voraus. Wenn Fahrzeughalter grundlegende physikalische Prinzipien der Ladungssicherung – insbesondere die Herstellung eines Formschlusses durch die direkte Positionierung einer Transportbox quer an der Rücksitzlehne<sup>3</sup> – beherzigen, verändern sich die einwirkenden Kräfte substanziell. Das Tier verzögert in diesem Fall gemeinsam mit der Knautschzone des Fahrzeugs, anstatt sich als ungebundenes Projektil durch den Raum zu

bewegen und mit maximaler Wucht in Gurtsysteme oder Lehnen einzuschlagen. Die plastische Verformung von Rücksitzlehnen um 30 Zentimeter<sup>1</sup> ist primär das Resultat unsachgemäßer Positionierung (Abstand > 0) und nicht das unvermeidliche Schicksal jedes Frontalcrashes. Des Weiteren führt die methodische Verwendung von unflexiblen und passiven Testdummys in der Prüfanordnung zu einer systematischen Überschätzung der punktuellen Belastungen auf Sicherungskomponenten (wie Gurte und Karabiner). Während ein lebendes Tier in der einsekündigen Pre-Crash-Phase (Vollbremsung,  $\approx 1g$  Verzögerung) reflexartig seine Muskulatur anspannt und dadurch kinetische Energie durch biomechanische Arbeit abbaut<sup>1</sup>, leitet der unelastische Dummy die volle Translationsenergie ungedämpft in die Halterungen ein, was deren materialspezifisches Versagen im Test provoziert, aber die Realität verfälscht. Aus einer ganzheitlichen Perspektive der Verkehrssicherheitsarbeit ("Vision Zero")<sup>31</sup> offenbart sich hier ein eklatanter Zielkonflikt. Die gesetzgeberische und gesellschaftliche Fokussierung auf die physikalische Beherrschung des 0,01%-Extremszenarios verleitet dazu, hochkomplexe, unkomfortable und starre Sicherungssysteme zu propagieren. Diese Restriktionen induzieren bei Haustieren nachweislich physiologischen Stress (messbar an Cortisol-Spiegeln).<sup>1</sup> Ein gestresstes Tier im Fahrzeug führt unmittelbar zu einer auditiven und visuellen Ablenkung des Kraftfahrzeugführers. Die Wahrscheinlichkeit, aufgrund dieser Ablenkung einen primären Unfall überhaupt erst zu verursachen (beispielsweise durch das Übersehen von Vorfahrtssituationen oder das Abkommen von der Fahrbahn), ist um ein Vielfaches höher, als der hypothetische Schutzgewinn durch ein 50-km/h-Wand-zertifiziertes Gurtsystem.

Gesetzliche Regulierungen, die auf Basis solcher Grenzbereichs-Crashtests verschärft werden, verzerren die unfallstatistische Lebensrealität und zeugen von einer Risikoasymmetrie. Eine evidenzbasierte Sicherungsstrategie sollte sich vielmehr darauf konzentrieren, den Flugraum des Tieres zu begrenzen (z. B. durch einfache Trenngitter) und den physikalischen Formschluss zu fördern. Diese Maßnahmen bieten auch ohne materialtechnologische Überdimensionierung einen effektiven und für das Tier stressfreien Schutz in den über 99 % der realistischen Unfallszenarien, die durch niedrigere  $\Delta v$ -Werte und energieabsorbierende Kollisionspartner gekennzeichnet sind. Die im Artikel geübte Kritik an einem normativen "Bauchgefühl"<sup>1</sup>, das statistische Fakten ausblendet, erweist sich somit nach eingehender wissenschaftlicher und kinematischer Prüfung als fundiert und physikalisch wie auch probabilistisch belastbar.

## Referenzen

1. Der Gefühlsstaat: Wenn Bauchgefühl Gesetz wird – und niemand ..., Zugriff am April 8, 2026, <https://progressivestimme.de/der-gefuehlsstaat-wenn-bauchgefuehl-gesetz-wird-und-niemand-nachfragt/>
2. Ladungssicherung für LKW, PKW und Anhänger: Wichtige Regeln - Bußgeldkatalog, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.bussgeldkatalog.org/ladungssicherung/>
3. Unterschätzte Gefahr, Zugriff am April 8, 2026,

- [https://www.bmi.gv.at/magazinfiles/2015/11\\_12/files/transportssicherheit.pdf](https://www.bmi.gv.at/magazinfiles/2015/11_12/files/transportssicherheit.pdf)
4. Crashtest: Tiersicherung im PKW - ÖAMTC, Zugriff am April 8, 2026, [https://www.oeamtc.at/aux/testarchiv/crashtest/Specials/Tiersicherung\\_2008/uebersicht.htm](https://www.oeamtc.at/aux/testarchiv/crashtest/Specials/Tiersicherung_2008/uebersicht.htm)
  5. ADAC-Sicherheitstest: Hund im Auto transportieren - Herz-fuer-tiere.de, Zugriff am April 8, 2026, <https://herz-fuer-tiere.de/haustiere/hunde/adac-sicherheitstest-hund-im-auto-transportieren>
  6. Crash Test per gli animali - YouTube, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=CDqRxcMY3Xo>
  7. Ladungssicherung - BG ETEM Medienportal, Zugriff am April 8, 2026, <https://medien.bgetem.de/medienportal/artikel/Mjl2LjA-/226-dp-a04-2020-bf.pdf>
  8. VDI 2700 Blatt 16 - LADUNGSSICHERUNG - LogicLine, Zugriff am April 8, 2026, [https://www.logicline.eu/blog/wp-content/uploads/2021/09/VDI-2700-Blatt-16\\_VO113.pdf](https://www.logicline.eu/blog/wp-content/uploads/2021/09/VDI-2700-Blatt-16_VO113.pdf)
  9. Crash bei niedrigem Tempo: Warum Autos hier zu wenig schützen - ADAC, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/auto/crashtest-35-kmh/>
  10. ADAC: 50mph crash-test shows weaknesses even in top-rated cars - Motor Authority, Zugriff am April 8, 2026, [https://www.motorauthority.com/news/1023126\\_adac-50mph-crash-test-shows-weaknesses-even-in-top-rated-cars](https://www.motorauthority.com/news/1023126_adac-50mph-crash-test-shows-weaknesses-even-in-top-rated-cars)
  11. German crash test reveals NCAP over-optimisation can cause cars to protect worse at lower speeds - Team-BHP, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.team-bhp.com/forum/road-safety/305252-german-crash-test-reveal-s-ncap-over-optimisation-can-cause-cars-protect-worse-lower-speeds.html>
  12. Effect of Delta-V Errors in NASS on Frontal Crash Risk Calculations - PMC, Zugriff am April 8, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3256761/>
  13. Effect of delta-V errors in NASS on frontal crash risk calculations - PubMed, Zugriff am April 8, 2026, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19026232/>
  14. Bremsweg berechnen: Mit dieser Formel geht's - ADAC, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.adac.de/verkehr/rund-um-den-fuehrerschein/erwerb/bremsweg-berechnen/>
  15. Faktenblatt zur Fahrphysik, Zugriff am April 8, 2026, [https://assets-eu-01.kc-usercontent.com/26bf2097-6663-0117-02e1-6cf39b4d6c12/a9e8e966-4669-43c6-a9bc-48551dcba350/faktenblatt\\_geschwindigkeit\\_abstand.pdf](https://assets-eu-01.kc-usercontent.com/26bf2097-6663-0117-02e1-6cf39b4d6c12/a9e8e966-4669-43c6-a9bc-48551dcba350/faktenblatt_geschwindigkeit_abstand.pdf)
  16. Ladungssicherung auf Fahrzeugen - KomNet, Zugriff am April 8, 2026, [https://www.komnet.nrw.de/KomNet/files/35127/requ/Broschuere-Ladungssicherung-auf-Fahrzeugen-IHK\\_Stuttgart.pdf](https://www.komnet.nrw.de/KomNet/files/35127/requ/Broschuere-Ladungssicherung-auf-Fahrzeugen-IHK_Stuttgart.pdf)
  17. Tödliche Pkw-Unfälle in Städten und Ortschaften - UDV, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.udv.de/resource/blob/194304/39e6dc79f69cd2900ecd486d8f15dcaf/139-toedliche-pkw-unfaelle-data.pdf>
  18. Insassen- merkmale und Verletzungs- schwere - UDV, Zugriff am April 8, 2026,

- <https://www.udv.de/resource/blob/194824/4d789bee049f40cb28a4559e8437aad/102-insassenmerkmale-d-data.pdf>
19. Verkehrsunfälle Unfälle und Verunglückte im Straßenverkehr - Statistisches Bundesamt, Zugriff am April 8, 2026,  
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Tabellen/unfaelle-verunglueckte-.html>
  20. Verkehrsunfälle in Deutschland - Statistisches Bundesamt, Zugriff am April 8, 2026,  
[https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/_inhalt.html)
  21. Pkw-Frontalkollisionen mit geringer Überdeckung - UDV, Zugriff am April 8, 2026,  
<https://www.udv.de/resource/blob/74730/aca616a201859765e7c0876d914ba19f/38-pkw-frontalkollisionen-mit-geringer-ueberdeckung-data.pdf>
  22. RISIKOMODELL ZUR ANALYSE VON ORTSFESTEN HINDERNISSEN AUF AUTOBAHNEN UND SCHNELLSTRASSEN - FFG, Zugriff am April 8, 2026,  
[https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine\\_downloads/thematische%20programme/Mobilitaet/RISKANT.pdf](https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/thematische%20programme/Mobilitaet/RISKANT.pdf)
  23. Warnung vor Baumunfällen: Pkw crasht mit 70 km/h frontal gegen ein starres Hindernis, Zugriff am April 8, 2026,  
[https://www.youtube.com/watch?v=VeliDLF8y\\_4](https://www.youtube.com/watch?v=VeliDLF8y_4)
  24. 449 Verkehrstote an Bäumen im Jahr 2024 - UDV, Zugriff am April 8, 2026,  
<https://www.udv.de/udv/themen/449-verkehrstote-an-baeumen-im-jahr-2024-75482>
  25. So gehen Sie bei Aufprallkraftberechnung vor - YouTube, Zugriff am April 8, 2026,  
[https://www.youtube.com/watch?v=b\\_HE\\_Urziol](https://www.youtube.com/watch?v=b_HE_Urziol)
  26. Aufprallkraft berechnen – (Auto, Kollision) | Physik Tutorial - YouTube, Zugriff am April 8, 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=qT2OrinJEAw>
  27. Formschluss Ladungssicherung - Belastbarkeit der Stirnwand LKW - Rothschenk, Zugriff am April 8, 2026, <https://rothschenk.de/folge-23-formschluss-beim-lkw/>
  28. Ladungssicherung - KomNet, Zugriff am April 8, 2026,  
[https://www.komnet.nrw.de/KomNet/files/32643/requ/BGETEM\\_Ladungssicherung.pdf](https://www.komnet.nrw.de/KomNet/files/32643/requ/BGETEM_Ladungssicherung.pdf)
  29. Ladungssicherung - Douanes - Luxembourg, Zugriff am April 8, 2026,  
<https://douanes.public.lu/dam-assets/publications/brochures/arrimage-des-charges/ladungssicherung-ausgabe-2025.pdf>
  30. Autounfall Rechner – Aufprallkraft - Omni Calculator, Zugriff am April 8, 2026,  
<https://www.omnicalculator.com/de/physik/autounfall-aufprallkraft-rechner>
  31. Unfallursache Geschwindigkeit - UDV, Zugriff am April 8, 2026,  
<https://www.udv.de/resource/blob/112634/81f8e441aadad1d01047e5510233f5b1/themenpapier-geschwindigkeit-data.pdf>