

**Analyse der Verletzungen von Kraftradfahrern
in Bezug zum Unfallhergang mit dem
Schwerpunkt auf Traumata von Cranium und
Cerebrum**

Lars Hoffmann

2021

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der
Universität München

Vorstand/Direktor: Prof. Dr. med. Matthias Graw

**Analyse der Verletzungen von Kraftradfahrern
in Bezug zum Unfallhergang mit dem
Schwerpunkt auf Traumata von Cranium und
Cerebrum**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Humanmedizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Lars Hoffmann
aus Menden
2021

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. rer. biol. hum. Dipl.-Ing. S. Peldschus

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Viktoria Bogner-Flatz

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. W. Hell

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 17.03.2022

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich meinen besonderen Dank nachstehenden Personen entgegenbringen, ohne deren Mithilfe die Anfertigung dieser Dissertation nicht zustande gekommen wäre.

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Steffen Peldschus, der es mir ermöglicht hat, diese Dissertation am Institut für Rechtsmedizin der LMU München anzufertigen.

Besonders danken möchte ich Herrn Dr. Wolfram Hell für die Betreuung dieser Arbeit, der kompetenten Unterstützung und vielfältigen Ideengebung, die mir einen kritischen Diskurs mit der Thematik eröffnete. Die zahlreichen Gespräche, nicht nur auf intellektueller, sondern auch persönlicher Ebene, werden mir immer in Erinnerung bleiben.

Frau Dr. Sylvia Schick danke ich für die intensiven fachlichen Gespräche und Unterstützung bei der Aneignung der AIS-Codierung.

Ferner danke ich Herrn Dr. Klaus Bauer für die zahlreichen ermutigenden und konstruktiven Dialoge sowie die hilfreichen Ratschläge, die mich auf dem Weg zur Erstellung der Dissertation immer wieder neue Aspekte und Ansätze entdecken ließen.

Auch möchte ich mich bei meinem Kollegen Richard Czerny sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Rechtsmedizin für die produktive Zusammenarbeit bedanken.

Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Michael Toups für die grafische und persönliche Unterstützung.

Ein außerordentlicher Dank gebührt meiner Mutter und meinem Bruder für die mehrfache Durchsicht dieser Arbeit, ihre differenzierten Anmerkungen sowie ihren moralischen Beistand und menschlichen Halt, ohne den diese Dissertation nie möglich gewesen wäre.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Einleitung	1
1.1 Kontext der Analyse	1
1.2 Zielsetzung der Analyse	4
Material und Methoden	5
2.1 Unfallkollektiv	5
2.2 Medizinische Parameter	7
2.2.1 Alterseinteilung	7
2.2.2 AIS – Codierung	7
2.2.3 MAIS und maximaler AIS der Körperregion	9
2.2.4 ISS	11
2.2.5 AIS-Codierung der Organe	13
2.2.6 Durchführung der AIS-Codierung und Qualitätssicherung	15
2.2.7 Detaillierte Untersuchung der Kopfverletzungen	16
2.2.7.1 Überblick des generellen Schweregrades der Kopfverletzungen	16
2.2.7.2 Analyse von extrakraniellen Traumata	16
2.2.7.3 Analyse von kraniellen und intrakraniellen Traumata	18
2.2.7.4 Vergleich von intrakraniellen und extrakraniellen Traumata	18
2.3 Analyse des Unfallgeschehens	19
2.3.1 Unfalltyp nach GDV	19
2.3.2 Unfallgegner	21
2.3.3 Kollisionsstellung	21
2.4 Kopfschutz	23
2.4.1 Motorradhelmschema	23
2.4.2 Helmtypen	26
2.4.3 Helmverlust	27
2.5 Analyse von Kopfverletzungen und Unfallhergang	28
2.5.1 Analyse von intrakraniellen Traumata in Bezug zum Helm	28
2.5.2 Analyse von intrakraniellen Traumata bei Helmverlust	28
Ergebnisse	29
3.1 Analyse des Unfallgeschehens	29
3.1.1 Unfallkollektiv	29
3.1.2 Unfallgegner und Kollisionsstellung	30
3.1.3 Unfalltyp nach GDV	32
3.2 Analyse der Verletzungen	33
3.2.1 Überblick der Verletzungsschwere	33
3.2.2 Detaillierte Analyse der Kopfverletzungen	38
3.2.2.1 Extrakranielle Verletzungen	38
3.2.2.2 Intrakranielle Verletzungen	43
3.2.2.3 Vergleich von intrakraniellen und extrakraniellen Verletzungen	45
3.2.2.4 Analyse der kranialen Frakturen	46
3.3 Analyse von Verletzungen und Unfallhergang	48
3.3.1 Kopfverletzungen in Abhängigkeit des Unfallgegners	48
3.3.2 Kopfverletzungen in Abhängigkeit der Kollisionsstellung	51
3.4 Analyse des Kopfschutzes	54
3.4.1 Übersicht der Helmparameter	54

3.4.2 Analyse der Kopfverletzungen in Bezug zum Helmschutz	56
3.4.2.1 Kopfverletzungen in Abhängigkeit des Helmverlusts	56
3.4.2.2 Analyse von Kopfverletzungen und Helmbrüchen	57
Diskussion	60
4.1 Analyse des Unfallgeschehens	60
4.1.1 Unfallkollektiv	60
4.1.2 Unfallgegner und Kollisionsstellung	63
4.2 Analyse der Verletzungen	65
4.2.1 Überblick der Verletzungsschwere	65
4.2.2 Detaillierte Analyse der Kopfverletzungen.....	67
4.2.3 Kopfverletzungen in Bezug zum Unfallgeschehen.....	70
4.3 Analyse des Kopfschutzes.....	73
4.3.1 Übersicht der Helmparameter	73
4.3.2 Analyse der Kopfverletzungen in Bezug zum Helmschutz	76
Zusammenfassung	79
Glossar	VI
Literaturverzeichnis	VIII
Anhang	XIII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vergleich der getöteten Verkehrsteilnehmer 2000-2016 in Deutschland.....	2
Abbildung 2.1: Darstellung des maximalen ©AIS der Körperregionen.....	9
Abbildung 2.2: Cerebrum, Cerebellum und Truncus cerebri	14
Abbildung 2.3: Schema anteriore und posteriore äußere Verletzungen	17
Abbildung 2.4: Visualisierung der lateralen Kopfverletzungen	17
Abbildung 2.5: Exemplarische Darstellung für den Unfalltyp: Fahr Unfall	19
Abbildung 2.6: Exemplarische Darstellung für den Unfalltyp: Abbiege-Unfall.....	19
Abbildung 2.7: Exemplarische Darstellung des Unfalltyps: Einbiegen/Kreuzen.....	19
Abbildung 2.8: Exemplarische Darstellung für den Unfalltyp: Überschreiten-Unfall	20
Abbildung 2.9: Exemplarische Darstellung des Unfalls durch ruhenden Verkehr.....	20
Abbildung 2.10: Exemplarische Darstellung des Unfalltyps: Unfall im Längsverkehr	20
Abbildung 2.11: Exemplarische Darstellung des Unfalltyps: Sonstiger Unfall	20
Abbildung 2.12: Motorradhelmschema	24
Abbildung 2.13: Weiterentwickeltes Helmschema.....	25
Abbildung 2.14: Helmtypen.....	26
Abbildung 3.1: Altersverteilung der verunglückten Kradaufsassen	29
Abbildung 3.2: Kollisionsgegner der Kradaufsassen.....	30
Abbildung 3.3: Kollisionsstellung zwischen Kraftrad und Pkw.....	31
Abbildung 3.4: Einteilung der Unfalltypen nach GDV	32
Abbildung 3.5: Verteilung des MAIS der Kradaufsassen	33
Abbildung 3.6: Maximaler ©AIS der Körperregionen.....	34
Abbildung 3.7: Maximaler ©AIS Kopf der Kradaufsassen.....	35
Abbildung 3.8: Injury Severity Score der Kradaufsassen.....	36
Abbildung 3.9: Frontale Schürf-/Schnittwunden	38
Abbildung 3.10: Frontale Hämatome	38
Abbildung 3.11: Schürfungen und Schnittwunden Kopf rechts	39
Abbildung 3.12: Hämatome Kopf rechts	39
Abbildung 3.13: Schürf- und Schnittwunden Kopf links	40
Abbildung 3.14: Hämatome Kopf links.....	40
Abbildung 3.15: Schürf- und Schnittwunden des Hinterkopfes	41
Abbildung 3.16: Hämatome des Hinterkopfes.....	41
Abbildung 3.17: Verteilung der Kopfverletzungen ab ©AIS Kopf 3+.....	43
Abbildung 3.18: Verteilung der Kopfverletzungen ab ©AIS Kopf 4+.....	44
Abbildung 3.19: Auswertung der Schädelbasis- und Kalottenfrakturen	46

Abbildung 3.20: ©AIS Kopf 3+ in Abhängigkeit vom Unfallgegner	48
Abbildung 3.21: ©AIS Kopf 3+ in Abhängigkeit der Kollisionsstellung	51
Abbildung 3.22: Helmtypen der Kradaufsassen	54
Abbildung 3.23: Helmverluste der Kradaufsassen während des Unfalls.....	55
Abbildung 3.24: Helmbeschädigungen der Kradaufsassen	55
Abbildung 3.25: Maximaler ©AIS Kopf in Abhängigkeit vom Helmverlust	56
Abbildung 3.26: Helmbrüche in Projektion auf die Lobi cerebri	57
Abbildung 3.27: Intrakranielle Traumata in Abhängigkeit des Helmschadens	58

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2.1: Darstellung der ©AIS Schweregrade 1-6.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabelle 2.2: Einteilung der Körperregionen zur Berechnung des ISS</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 2.3: Unfallgegner der Kradfahrer</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 2.4: Kollisionsstellungen zwischen Krad und Pkw</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 2.5: Zuordnung der Hirnareale auf die Helmregionen.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabelle 3.1: Verteilung von intra- und extrakraniellen Verletzungen</i>	<i>45</i>
<i>Tabelle 3.2: ©AIS Kopf 3+ in Bezug zum Unfallgegner</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 3.3: ©AIS Kopf 3+ in Bezug zur Kollisionsstellung</i>	<i>52</i>

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Kontext der Analyse

Jedes Jahr sterben weltweit über 1,25 Millionen Menschen durch Verkehrsunfälle. Sie stellen die führende Todesursache bei Menschen zwischen 15 und 29 Jahren dar. Knapp die Hälfte dieser Unfälle betrifft Fußgänger, Radfahrer und Kraffradfahrer. Nach den Pkw-Insassen (31%) stellen motorisierte Zwei- und Dreiräder mit 23 Prozent die zweitgrößte Gruppe an mortal verunglückten Straßenverkehrsteilnehmern dar (WHO 2015) [1]. Ohne nachhaltige Maßnahmen zur Unfallprävention werden Verkehrsunfälle voraussichtlich im Jahr 2030 die siebthäufigste Todesursache weltweit sein (zurzeit neunthäufigste Todesursache).

Im Jahr 2016 sind in Deutschland 3.206 Menschen bei Verkehrsunfällen gestorben. Dies bedeutet einen Rückgang von 7,3 Prozent im Vergleich zum Jahr 2015 und stellt den niedrigsten Stand seit 1950 dar [2]. In Abhängigkeit vom Transportmittel zeigen sich unterschiedlich hohe Risiken, bei einem Verkehrsunfall tödlich zu verunglücken. Kraffradfahrer gehören zusammen mit Fahrradfahrern und Fußgängern zu den vulnerabelsten Straßenverkehrsteilnehmern. Sie sind im Gegensatz zu Pkw- oder Lkw-Insassen ungeschützt und deshalb besonders gefährdet, wenn es zu einer Kollision kommt.

2016 sind im Straßenverkehr in Deutschland 604 Kraffradfahrer mortal verunglückt [2]. Mit einem Anteil von knapp 19 Prozent an allen mortal verunglückten Verkehrsteilnehmern bilden die in einem Pkw verunglückten die zweitgrößte Unfallgruppe.

Abbildung 1 stellt die Entwicklung der im Straßenverkehr getöteten Personen in Abhängigkeit des Transportmittels von 2000 bis 2016 in Deutschland dar.

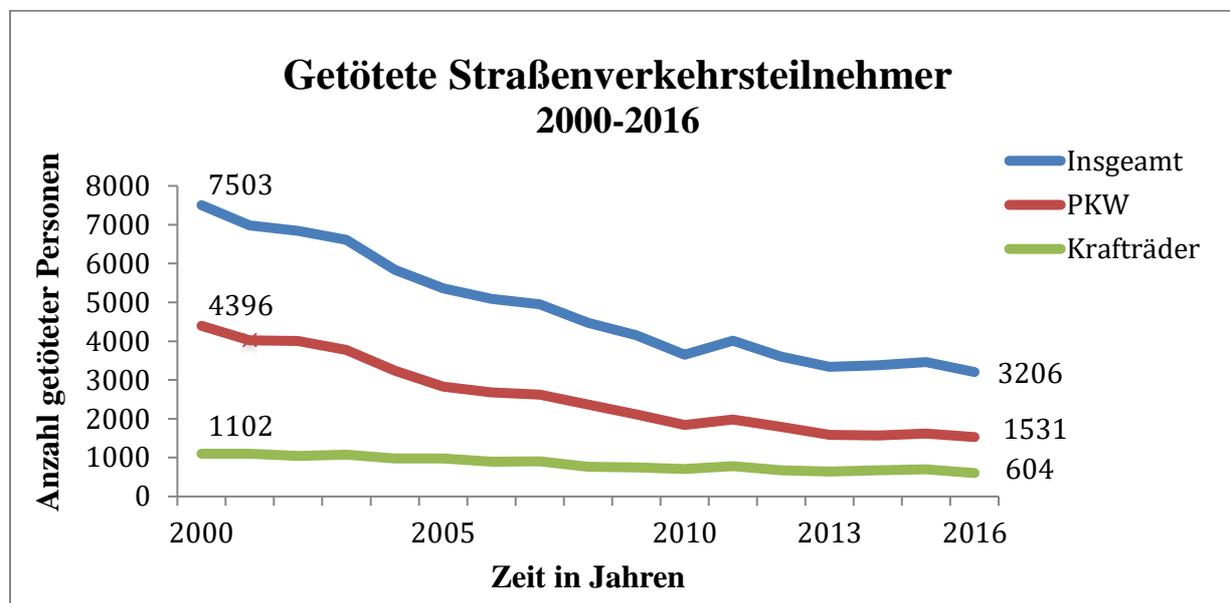


Abbildung 1: Vergleich der getöteten Verkehrsteilnehmer 2000-2016 in Deutschland [3]

Zwischen 2000 und 2016 konnte unabhängig vom Transportmittel eine Reduktion der getöteten Straßenverkehrsteilnehmer von 7.503 auf 3.206 nachgewiesen werden. Dies entspricht einer Abnahme von 57 Prozent. Bei Betrachtung der Zahlen für die Pkw-Insassen zeigt sich sogar eine Verminderung der mortal verunglückten Personen von 65 Prozent.

Lediglich für die Entwicklung der Todesfälle bei Kraftradfahrern konnte kein Rückgang auf diesem Niveau verzeichnet werden. Während im Jahr 2000 noch 1.102 Menschen auf einem Kraftrad mortal verunglückt sind, ist die Zahl im Jahr 2016 auf 604 Personen gesunken. Mit einer Dezimierung von 45 Prozent fällt diese Unfallgruppe deutlich hinter der Entwicklung von Pkw-Unfällen und der Anzahl der Verkehrstoten zurück. Dieses Resultat verdeutlicht, dass es insbesondere bei den Unfallopfern durch Kraftradunfälle nach wie vor großen Handlungsbedarf gibt.

Die Relevanz von Kopfverletzungen bei Kraftradunfällen stellt die National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) [4] der USA heraus. Sie führt Kopfverletzungen als führende Ursache für mortal verunglückte Kraftradfahrer an.

Eine weitere retrospektiv angefertigte Studie aus Daten der Cochrane Database [5] untersucht den Einfluss des Helm factors auf die Kopfverletzungen. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass das Tragen eines Helms das Risiko für Kopfverletzungen bei Kraftradfahrern um 69 Prozent reduziert. Die Helmtragequote in den USA zeigt sich jedoch mit 60 Prozent [6] deutlich geringer als es in Deutschland der Fall ist. Eine Auswertung des ADAC von 1056 in einen Unfall verwickelten Kradfahrern aus dem Jahr 2015 [7] zeigt, dass 99 Prozent einen Schutzhelm trugen. Trotzdem kommt es häufig zu Kopfverletzungen. Dies zeigt die Auswertung der ADAC Luftrettung von Verletzungen von 904 Kradfahrern [8]. Bei 51 Prozent (n=462) der Unfallopfer ist ein Schädel-Hirn-Trauma diagnostiziert. Knapp 40 Prozent (n=184) dieser Kradfahrern mit einem Schädel-Hirn-Trauma weisen sogar ein schweres Schädel-Hirn Trauma auf.

Den Stellenwert von Kopfverletzungen bei Kraftradunfällen verdeutlicht auch die Untersuchung für die Europäische Kommission in dem COST 327 Report [9]. Sie kommt zu dem Ergebnis, dass das ausgewertete Unfallkollektiv aus den Ländern Deutschland, Großbritannien und Finnland (n=253) mit 67 Prozent sehr häufig Kopfverletzungen aufweist. Bei der Bewertung von Traumata der Unfallopfer, die mindestens eine schwere Verletzung erlitten haben, erhöht sich die Anzahl der Kopfverletzungen sogar auf über 80 Prozent.

Die Ergebnisse der Studien zeigen, dass Kopfverletzungen bei Kraftradunfällen eine wichtige Rolle spielen. Ein besseres Verständnis der Verletzungen im Detail ist essenziell um in weiterführenden Arbeiten die Schutzausrüstung wie zum Beispiel den Helm weiter zu optimieren und zu verbessern.

1.2 Zielsetzung der Analyse

Ziel dieser Dissertation ist es, die Verletzungen der mortal verunglückten Kradaufsassen, welche in der Rechtsmedizin der LMU München zwischen 2004 und 2014 obduziert wurden, in Abhängigkeit zum Unfallhergang zu untersuchen. Dabei wird der Schwerpunkt auf die detaillierte Analyse der Kopfverletzungen gelegt. Durch die Autopsieprotokolle ist es möglich, die Kopfverletzungen exakt zu lokalisieren und differenziert zu betrachten.

Während in der COST 327 Studie [9] auch überlebende Kradaufsassen mit in die Auswertung einfließen, wird in dieser Arbeit der Schwerpunkt auf tödlich verunglückte Opfer gelegt. Es gilt zu analysieren, welche Relevanz die Kopfverletzungen bei mortal verunglückten Kradaufsassen haben und inwiefern sich bestimmte Verletzungsmuster und Unterschiede in der Verletzungsschwere im Vergleich zu anderen Auswertungen, wie zum Beispiel auch dem COST 327 Report, erkennen lassen.

Abgesehen von der Untersuchung der Kopfverletzungen richtet diese Dissertation den Fokus auch auf den Kopfschutz der Opfer. Es wird dokumentiert, inwiefern der Helm einen Einfluss auf die Kopfverletzungen hat. Darüber hinaus soll auch bei Helmverlust sowie bei Beschädigung der Helme analysiert werden, inwiefern sich eine Auswirkung auf die Kopfverletzungen feststellen lässt.

Die Codierung der Verletzungen sowie die Vervollständigung der von der Rechtsmedizin der LMU München gesammelten Daten leisten einen Beitrag zur Erfassung und Auswertung eines möglichst großen Unfallkollektivs. Das übergeordnete Ziel ist es, mehr über Unfälle und Verletzungsmuster bei mortal verunglückten Kraftradfahrern herauszufinden.

Kapitel 2

Material und Methoden

2.1 Unfallkollektiv

In der vorliegenden Dissertation werden die Kopfverletzungen von mortal verunglückten Kradaufsassen analysiert und Zusammenhänge zum Unfallhergang aufgezeigt. Das Unfallkollektiv setzt sich ausschließlich aus den in der Rechtsmedizin der LMU München obduzierten Kradaufsassen zusammen. Es umfasst Unfälle mit Kleinkrafträdern und Krafträdern.

Ein Krad (Kraftrad) ist ein Fahrzeug, welches durch Maschinenkraft angetrieben wird und nicht mehr als zwei Räder besitzt. Die Bezeichnung umfasst Landfahrzeuge, die sich nicht auf Schienen fortbewegen und über einen Hubraum von mehr als 50 ccm verfügen oder aufgrund der Bauart in der Lage sind, mehr als 45 km/h zu fahren [10].

Ein Kleinkraftrad ist ebenfalls ein zweirädriges Fahrzeug, das durch Maschinenkraft angetrieben wird, jedoch werden nur Fortbewegungsmittel mit einem Hubraum ≤ 50 ccm und einer maximalen Geschwindigkeit von 45 km/h dieser Gruppe zugeordnet [11].

Darauf basierend entsteht ein Kollektiv, das ausschließlich mortal verunglückte Fahrer und deren Passagiere, nachfolgend Sozius/Sozia genannt, miterfasst. Dementsprechend wird das zu evaluierende Datenkollektiv nicht nach statistisch signifikanten Methoden ausgewählt. Unfälle aus den Jahren vor 2004 werden nicht integriert, weil für diese Jahre in der Unfallforschung der LMU München noch keine Daten über Kraftradunfälle erhoben wurden.

Darüber hinaus wird die Auswahl der Obduktionsberichte für den Mortalitätszeitpunkt eingeschränkt. Nur Kradaufsassen, die innerhalb von 30 Tagen mortal verunglückt sind, gehen in die Analyse der Unfälle mit ein.

Diese Restriktion des Datenkollektivs beruht auf der Definition des Statistischen Bundesamtes, die wie folgt lautet: „Bei den Verunglückten werden als Getötete alle Personen gezählt, die am Unfallort oder innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen sterben. Schwerverletzte sind alle Personen, die für mindestens 24 Stunden zur stationären Behandlung in einem Krankenhaus aufgenommen wurden. Alle Personen mit sonstigen Verletzungen gehen als Leichtverletzte in die Statistik ein“ [12]. Eine weitere Zensur erfolgt anhand der Lokalisation der Unfälle. Nur Unfälle, die in Deutschland stattfinden, berücksichtigt diese Arbeit. Dies gewährleistet eine bessere Validität und Rekonstruktion des Unfallhergangs.

Um die Verletzungen in einen kausalen Zusammenhang mit dem Unfallhergang zu bringen, fließen nur die Obduktionsberichte von Kradaufsassen in diese Arbeit ein, von denen auch detaillierte Informationen über den Unfallablauf sowie Bilder des Unfallortes und Berichte über die äußeren Bedingungen vorliegen. Informationen über den Unfallablauf sowie Verletzungen der verunglückten Kradaufsassen werden aus Akten gewonnen, die aus Polizeiberichten, Unfallgutachten, Obduktionsergebnissen, Bildern der Unfallstelle, Zeugenberichten sowie einigen weiteren Informationsquellen, wie zum Beispiel toxikologischen Gutachten, bestehen. Daraus resultierend ergibt sich ein Unfallkollektiv von 95 Personen. Es setzt sich aus 88 Fahrern und sieben Beifahrern zusammen. Alle Fälle sind anonymisiert und persönliche Daten unkenntlich gemacht.

2.2 Medizinische Parameter

2.2.1 Alterseinteilung

Um eine sinnvolle Einteilung des Alters der Kradaufsassenden vorzunehmen, ist es hilfreich, einen Bezug zu anderen Studien, wie der COST 327 Studie [9], herzustellen. Da die COST 327 Studie eine sehr große und valide Studie der Europäischen Union ist, die sehr detaillierte und kleine Altersgruppen bildet, lehnt sich die Alterseinteilung dieser Arbeit an diese Studie an. Dadurch ist es möglich, das für diese Arbeit vorliegende Kollektiv mit den Daten der COST 327 Studie zu vergleichen. Es wird jedoch eine Anpassung der Alterseinteilung vorgenommen, weil die Personengruppe von 18-24 Jahren eine übliche Zielgruppe bei der Untersuchung von Kraftradunfällen darstellt. Um hier eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien und Doktorarbeiten zu gewährleisten, erfolgt eine Änderung der in der COST 327 Studie festgelegten Gruppe von 18-25 Jahren. Das Resultat stellt die folgende Alterseinteilung dar:

<18; 18-24; 25-30; 31-35; 36-40; 41-45; 46-50; 51-55; 56-60; >60.

2.2.2 ©AIS – Codierung

Um die Verletzungen der Kradfahrer klassifizieren zu können, wird ein Kodierungssystem benötigt, durch das die unterschiedlichen Verletzungen miteinander verglichen werden können. Hierfür ist die Klassifizierung nach ©AIS (Abbreviated Injury Scale) in der Unfallforschung üblich. Sie ermöglicht es, Verunglückte mit multiplen Verletzungen anhand von Zahlencodes zu klassifizieren. Das ursprüngliche Ziel war es, eine standardisierte Verletzungsskala zu konstituieren, die die Schwere von Verletzungen bei Fahrzeugunfällen widerspiegelt. Im Laufe der Jahre wurde die ©AIS weiterentwickelt und wird mittlerweile nicht nur für Fahrzeugunfälle, sondern auch zur allgemeinen Bewertung von Traumata genutzt. Insgesamt umfasst die Abbreviated Injury Scale (©AIS) neun verschiedene Bereiche. Dazu zählen Kopf (Cranium und Cerebrum), Gesicht, Hals, Thorax, Abdomen und Cavum Pelvis, Wirbelsäule (zervikal, thorakal, lumbal), obere Extremität, untere Extremität/Pelvis und Äußeres [13].

Diesen neun Körperregionen werden die einzelnen Verletzungen mit einem Code zugeordnet, bei dem die letzte Stelle die Schwere der Verletzung angibt. Dabei kann die Verletzungsschwere von 1-6 variieren (Tabelle 2.1) [13].

Tabelle 2.1: Darstellung der ©AIS Schweregrade 1-6

©AIS Code	Bedeutung	Beispiel
1	leicht	Hämatom
2	mäßig	Fraktur der Patella
3	schwer	Femurfraktur
4	sehr schwer	Intimaeinriss Aorta thoracica
5	kritisch	Kontusion des Truncus cerebri
6	nicht behandelbar	Transsektion Truncus cerebri

Nach diesem Schema sind die Verletzungen aus den Obduktionsberichten klassifiziert. „Das Besondere des AIS ist, dass die Überlebenswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Verletzungen nicht explizit spezifiziert werden, sondern eben nur Gruppen von Verletzungen mit annähernd gleichem Risiko gebildet werden“ [14].

In der Codierung nach ©AIS wird das Patientenalter nicht mitberücksichtigt. Eine Ausnahme bilden die Verletzungen bei Kindern. Ebenfalls ist der Unfallmechanismus nicht abgebildet (Hoch- vs. Niedrigenergietrauma) [14].

Neben der ©AIS gibt es noch zwei weitere wichtige Werte, die einen Teil der AIS Codierung darstellen. Hierzu zählen der **MAIS** und **ISS**.

2.2.3 MAIS und maximaler AIS der Körperregion

Der MAIS ist der maximale ©AIS Code, der bei einem Geschädigten mit multiplen Verletzungen auftreten kann. Er wird unabhängig von der Körperregion bestimmt und stellt die schwerste Verletzung (höchster ©AIS) dar, die bei einer Person zu finden ist [13].

Darüber hinaus wendet diese Arbeit einen spezifischen maximalen ©AIS für eine Körperregion an. Dadurch kann zum Beispiel der maximale ©AIS Kopf oder der maximale ©AIS Thorax gebildet werden. Um den maximalen ©AIS des Kopfes zu erhalten, wird zwischen allen Kopfverletzungen, die nach ©AIS klassifiziert wurden, unabhängig von den anderen Verletzungen im Körper der höchste ©AIS Code (schwerste Verletzung) ausgewählt. Dieser maximale ©AIS der jeweiligen Körperregion liefert Erkenntnisse darüber, inwiefern ein bestimmter Bereich besonders häufig schwere Verletzungen erleidet.

Abbildung 2.1 zeigt eine vereinfachte Zeichnung eines Menschen, um die Distribution des maximalen ©AIS der unterschiedlichen Körperregionen anschaulich darzustellen. Dabei wird der Bereich, welcher am häufigsten die schwerste Verletzung erlitten hat, mit der Farbe dunkelrot visualisiert. Die Körperregion, welche am zweithäufigsten die schwerste Verletzung aufweist, stellt sich rot dar. Diese farbliche Darstellung der Körperregionen setzt sich absteigend über die Farben orange, braun, gelb, grün, grau bis zu weiß fort. Der mit weiß gekennzeichnete Körperbereich weist am seltensten die schwerste Verletzung auf.

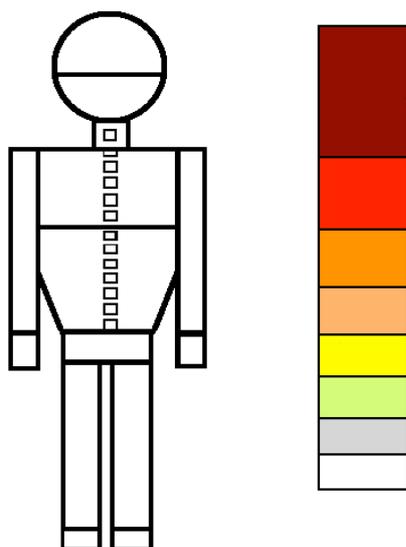


Abbildung 2.1: Darstellung des maximalen ©AIS der Körperregionen

Wenn an zwei oder mehr Körperregionen der gleiche Schweregrad als schwerste Verletzung vorliegt (z.B. ©AIS Thorax=6 und ©AIS Kopf=6), wird dieser für jede der betroffenen Körperregionen gezählt. Aus diesem Grund liegt trotz eines Gesamtkollektivs von 95 Kradaufsassen eine höhere absolute Zahl vor. Die Verteilung ist aber prozentual aufgeführt.

2.2.4 ISS

Der ISS ist der Injury Severity Score und verkörpert eine Zahl, die einen Gesamtüberblick über die multiplen Verletzungen eines Geschädigten gibt. Er bildet sich aus der Summe der drei höchsten ©AIS Zahlen aus drei verschiedenen Körperregionen. Um den ISS zu erhalten, ist es notwendig, alle drei AIS Zahlen zu quadrieren und miteinander zu addieren.

Zusammengefasst spiegelt der ISS die drei schwersten Verletzungen aus drei unterschiedlichen Körperregionen wider. Er kann Werte zwischen 0 und 75 annehmen. Wenn eine Person eine Verletzung ©AIS = 6 hat (©AIS 6 = nicht überlebar), dann wird der ISS-Wert automatisch 75. Der ISS-Score „korreliert erstaunlich mit Parametern Mortalität, Morbidität oder Krankenhausaufenthalt“ [15]. Um den ISS zu berechnen, wird der Körper in sechs Regionen unterteilt:

Tabelle 2.2: Einteilung der Körperregionen zur Berechnung des ISS

Nummer der Körperregion	Körperregion
1.	Kopf oder Hals
2.	Gesicht
3.	Thorax
4.	Abdomen oder Cavum Pelvis
5.	Extremitäten oder Pelvis
6.	Äußeres

Während die Abbreviated Injury Scale (©AIS) neun verschiedene Regionen umfasst, unterteilt sich der Körper für die Berechnung des ISS lediglich in sechs Regionen. Dies hat damit zu tun, dass die Regionen Kopf, Hals, obere Extremität, untere Extremität, Pelvis und Wirbelsäule beim AIS separat betrachtet werden. Beim ISS hingegen sind obere und untere Extremität sowie Kopf und Hals zu einer Region zusammengefasst. Pelvis und Wirbelsäule bilden bei dieser Einteilung ebenfalls keine eigene Kategorie [13, 15].

Da der ISS, wie bereits oben erläutert, aus den drei schwersten Verletzungen aus drei unterschiedlichen Körperregionen gebildet wird, berücksichtigt er keine weiteren Verletzungen derselben Körperregion. Hat eine Person jedoch multiple schwere Verletzungen an einer Körperregion erlitten, so kann es zu einer Unterschätzung der Verletzungsschwere kommen [15]. Dies wäre zum Beispiel der Fall, wenn ein verunglückter Kradfahrer multiple Verletzungen von einem Schweregrad $\text{AIS} = 4$ am Kopf hätte, jedoch lediglich Verletzungen von einem maximalen Schweregrad $\text{AIS} = 2$ in den anderen Körperregionen. Da für die Kalkulation des ISS nur die schwerste Verletzung von drei unterschiedlichen Körperregionen genutzt werden darf, würde es in diesem Fall zu einer Unterschätzung der Verletzungsschwere der Kradaufsassen kommen.

Die Einteilung des ISS orientiert sich an der Definition des Polytraumas nach der Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) [16]. Sie definiert das Polytrauma als multiple Verletzungen, die gleichzeitig am Körper entstanden sind und bei der eine oder die Kombination der Verletzungen für die Person vital bedrohlich ist. Dabei wird der ISS für ein Polytrauma mit ≥ 16 festgelegt und für ein schweres Polytrauma mit ≥ 25 .

2.2.5 AIS-Codierung der Organe

In den bisherigen Arbeiten über Kradunfälle wurden in der Regel der allgemeine MAIS und ISS sowie der körperregionenspezifische ©AIS verwendet. Dies gibt jedoch lediglich Aufschluss über die schwerste Verletzung, die das Unfallopfer am gesamten Körper oder an einer bestimmten Körperregion erlitten hat, wie zum Beispiel dem Kopf. Informationen darüber, welches Organ oder welcher Bereich in einer bestimmten Körperregion am schwersten geschädigt ist, fehlen meistens komplett oder es wird nicht angegeben, wie schwer diese Verletzung ist. Um detailliertere Informationen über die Organverletzungen zu gewinnen, werden die Daten der Rechtsmedizin LMU München auf Basis der ©AIS-Codierung erweitert. Für die Betrachtung, welche Regionen und Strukturen des Cerebrums betroffen sind, wird der Kopf in seine intrakraniellen Strukturen weiter unterteilt.

Dazu zählen die Lobi cerebri mit dem Lobus frontalis, Lobus parietalis (dextra + sinistra), Lobus temporalis (dextra + sinistra) sowie dem Lobus occipitalis. Als weitere Strukturen sind der Truncus cerebri und das Cerebellum zu klassifizieren. Auch Frakturen der Schädelkalotte und Schädelbasis sollen ausgewertet werden. Um die Verletzungsschwere adäquat darzustellen, verwendet diese Arbeit das ©AIS Codierungssystem. Für jede neu eingeteilte Region kann die Schwere der Verletzung anhand des ©AIS-Codes 1-6 bestimmt werden. Ausschließlich die schwerste Verletzung definiert die Verletzungsschwere für die jeweilige Region. Resultierend daraus bildet sich der ©AIS für die einzelnen Organe bei jedem Kradfahrer. Die Werte entstehen anhand des ©AIS-Codierungssystems, jedoch ist eine explizite Codierung der einzelnen Organe oder Bereiche des Cerebrums im Rahmen von anderen Arbeiten bisher kaum angewendet worden.

Wenn es durch den Unfall zu einer vollständigen Destruktion des Kopfes gekommen ist, wird generell ein ©AIS-Code von sechs für alle Regionen des Kopfes vergeben. Dafür muss es zu einer massiven Zerstörung von Schädel, Hirngewebe und übrigen Strukturen des Kopfes, wie zum Beispiel Gefäße, Nerven und Muskelgewebe, gekommen sein.

In Abbildung 2.2 sind die relevanten intrakraniellen Strukturen dargestellt.

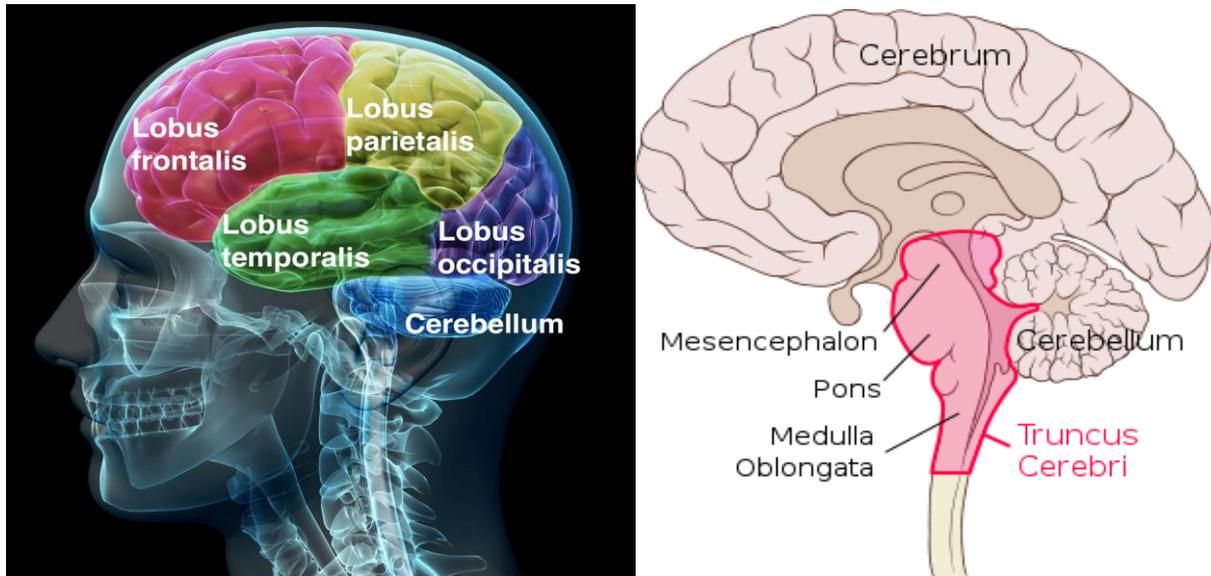


Abbildung 2.2: Cerebrum, Cerebellum und Truncus cerebri [17, 18]

2.2.6 Durchführung der AIS-Codierung und Qualitätssicherung

In Kooperation mit dem Doktoranden Richard Czerny wird ein Datenkollektiv erstellt, welches die Resultate von 95 nach ©AIS-Codierung klassifizierten Kradaufsassen darstellt. Um eine hohe Validität der Codierung zu gewährleisten, lädt die Unfallforschung der LMU München mehrmals pro Woche zu einer internen Schulung, in dem das korrekte Codieren unter fachlicher Anleitung erlernt wird. Nach Abschluss dieses Kurses veranstaltet die medizinische Fachgruppe regelmäßig Sitzungen, um diffizile Fälle mit erfahrenen Kollegen zu besprechen. Um die Obduktionsberichte besser verstehen zu können und die Formulierungen der Obduzenten richtig zu deuten, ist es empfehlenswert, einigen Obduktionen selbst beizuwohnen.

2.2.7 Detaillierte Untersuchung der Kopfverletzungen

2.2.7.1 Überblick des generellen Schweregrades der Kopfverletzungen

Zuerst gilt es die Kopfverletzungen, unabhängig davon, ob es sich um eine extrakranielle, kraniale oder intrakranielle Verletzung handelt, nach ihrem Schweregrad zu klassifizieren. Dadurch ist es möglich, einen ersten Überblick der Schweregrade der Kopfverletzungen der Kradaufsassen zu erhalten.

Die Verletzungen sind nach der bereits erklärten ©AIS Codierung eingeteilt. Die Unterteilung gibt Aufschluss darüber, ob in dem untersuchten Unfallkollektiv der Kopf häufig betroffen war und inwiefern es zu gravierenden Verletzungen gekommen ist.

Neben dem allgemeinen Schweregrad der Kopfverletzungen sollen die einzelnen Kopfregionen genauer untersucht und dadurch Rückschlüsse auf besonders vulnerable Bereiche gezogen werden.

2.2.7.2 Analyse von extrakraniellen Traumata

Um ein Gesamtbild der Kopfverletzungen zu erstellen, werden die extrakraniellen Verletzungen untersucht. Dabei differenziert die Auswertung zwischen Schürf- und Schnittwunden (erste Gruppe) und Hämatomen (zweite Gruppe). In den Abbildungen 2.3 und 2.4 werden die anteriore, posteriore und laterale Seite des Kopfes schematisch dargestellt. Sie dienen zur Visualisierung der erlittenen Verletzungen.

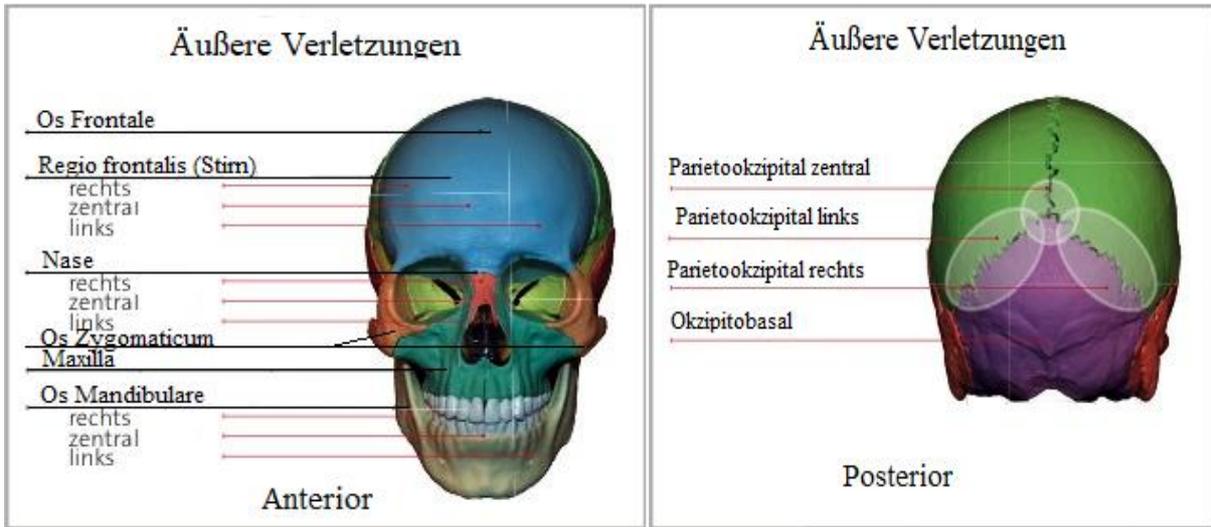


Abbildung 2.3: Schema anteriore und posteriore äußere Verletzungen

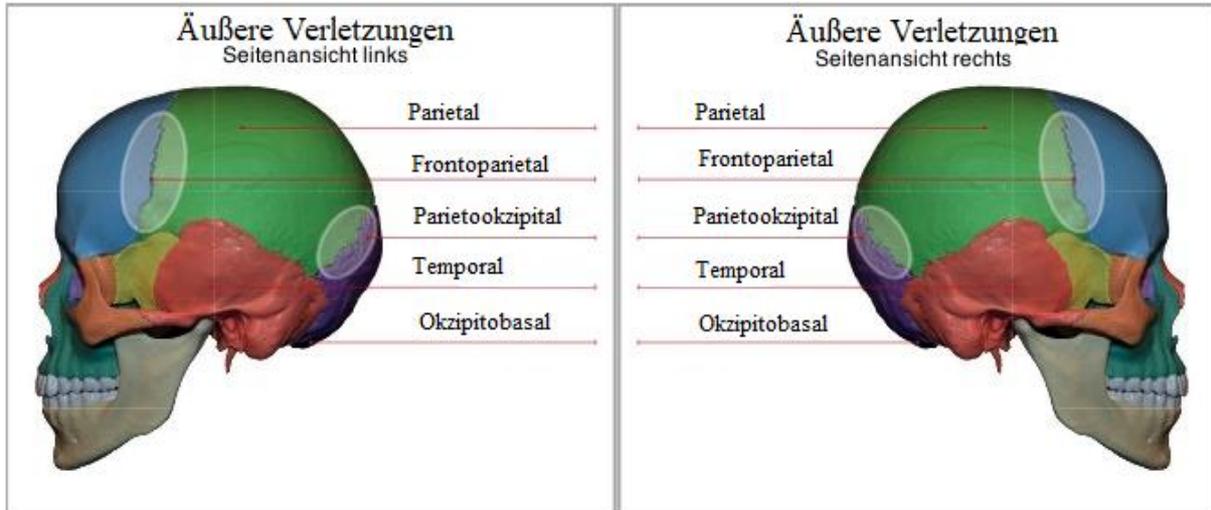


Abbildung 2.4: Visualisierung der lateralen Kopfverletzungen

2.2.7.3 Analyse von kraniellen und intrakraniellen Traumata

Neben den oberflächlicheren extrakraniellen Verletzungen wird untersucht, inwiefern es zu kraniellen und intrakraniellen Verletzungen der Kradaufsassen kommt. Dabei stellen die Lobi cerebri, der Truncus cerebri, das Cerebellum sowie die kraniellen Strukturen mit der Schädelbasis und der Schädelkalotte wichtige unterschiedliche zu analysierende Strukturen dar. Um eine Übersicht über den Schweregrad der Verletzungen zu erhalten, sind alle Traumata nach ©AIS von eins bis sechs klassifiziert.

Von besonderem Interesse ist die Auswertung der Häufigkeit und des Schweregrads der Verletzungen des Truncus cerebri. Vital existenzielle Strukturen wie das respiratorische oder Blutdruckregulationszentrum sind hier vorhanden und verleihen dieser Struktur eine enorme Bedeutung.

2.2.7.4 Vergleich von intrakraniellen und extrakraniellen Traumata

Nach der separaten Auswertung der Kopfverletzungen ist eine Gegenüberstellung der intrakraniellen und extrakraniellen Verletzungen anzustreben. Diese Analyse trägt dazu bei, Verletzungsmuster zu erstellen und besonders schwer betroffene Regionen zu erkennen. Darüber hinaus soll die Auswertung aufzeigen, inwiefern es Zusammenhänge zwischen intrakraniellen und extrakraniellen Verletzungen gibt.

Zusätzlich fließt als dritte Variable die Helmbeschädigung mit in die Analyse ein. Dadurch ist es möglich, intra- und extrakranielle Verletzungen in Abhängigkeit der Helmbrüche darzustellen. Hieraus ergibt sich ein umfassendes Bild der Kopfverletzungen bei hoher äußerer Krafteinwirkung.

Insgesamt werden in den unterschiedlichen Analysen zum einen die ©AIS-Schweregrade eins bis sechs angewandt, um einen Überblick über alle erlittenen Verletzungen zu geben. Darüber hinaus soll jedoch ein Schwerpunkt auf schwere Verletzungen gelegt und diese eingehend untersucht werden. Aus diesem Grund wird hier auf die Darstellung der ©AIS Schweregrade eins und zwei verzichtet.

2.3 Analyse des Unfallgeschehens

Um die Verletzungen in einen Zusammenhang mit dem Unfallhergang zu bringen, ist es nötig AIS, MAIS und ISS mit verschiedenen Parametern des Unfallhergangs zu analysieren.

2.3.1 Unfalltyp nach GDV

Die Unfallkonstellation bei den Kraftradunfällen wird mit dem Unfalltyp nach GDV [19] klassifiziert. Zwar gibt es alternative Systeme, mit denen die Unfalltypen eingeteilt werden könnten, jedoch wird die GDV auch von der Polizei zur Klassifikation von Unfällen verwendet und hat sich im Praxistest bewährt. Es gibt sieben übergeordnete Unfalltypen:

1) Fahrrunfall: „Um einen Fahrrunfall handelt es sich, wenn ein Fahrer die Kontrolle über das Fahrzeug verliert, weil er die Geschwindigkeit nicht entsprechend dem Verlauf, dem Querschnitt, der Neigung oder dem Zustand der Straße gewählt hat“ [19].



Abbildung 2.5: Exemplarische Darstellung für den Unfalltyp: Fahrrunfall [19]

2) Abbiege-Unfall: „Unfall zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer an Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten“ [19].



Abbildung 2.6: Exemplarische Darstellung für den Unfalltyp: Abbiege-Unfall [19]

3) Einbiegen/Kreuzen-Unfall: „Unfall durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtberechtigten“ [19].



Abbildung 2.7: Exemplarische Darstellung des Unfalltyps: Einbiegen/Kreuzen [19]

4) Überschreiten-Unfall: „Um einen Überschreiten-Unfall handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem die Fahrbahn überschreitenden Fußgänger und einem Fahrzeug ausgelöst wurde – sofern das Fahrzeug nicht soeben abgebogen ist“ [19].



Abbildung 2.8: Exemplarische Darstellung für den Unfalltyp: Überschreiten-Unfall [19]

5) Unfall durch ruhenden Verkehr: „Um einen Unfall durch ruhenden Verkehr handelt es sich, wenn der Unfall durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem auf der Fahrbahn ruhenden, d.h. einem haltenden/parkenden Fahrzeug ausgelöst wurde“ [19].



Abbildung 2.9: Exemplarische Darstellung des Unfalls durch ruhenden Verkehr [19]

6) Unfall im Längsverkehr: Unfall „zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten“ [19].

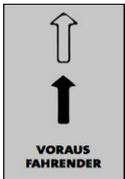


Abbildung 2.10: Exemplarische Darstellung des Unfalltyps: Unfall im Längsverkehr [19]

7) Sonstiger Unfall : „Unfall, der sich nicht den Typen 1-6 zuordnen lässt“ [19]. Hierzu zählen Wendemanöver oder ein Hindernis wie z.B. ein Tier auf der Fahrbahn.



Abbildung 2.11: Exemplarische Darstellung des Unfalltyps: Sonstiger Unfall [19]

Insgesamt bestehen die sieben unterschiedlichen Unfalltypen aus vielen verschiedenen Subtypen. Diese Subtypen werden im Anhang detailliert aufgelistet.

2.3.2 Unfallgegner

Die Unfallbeteiligten ergeben sich aus den Gegnern der in der Rechtsmedizin der LMU obduzierten Kradfahrer. Tabelle 2.3 zeigt die unterschiedlichen Unfallgegner.

Tabelle 2.3: Unfallgegner der Kradfahrer

Unfallgegner	Fahrzeuggruppe
Pkw	Kleinwagen, Mittelklasse, Kompaktklasse, SUV...
Objekt	Baum, Leitplanke, Ampelmast, Verkehrsschild, Mauer, Gebäude, Tier
Lkw	Lkw, Bus, landwirtschaftliche Fahrzeuge wie Trecker, Tanklaster ...
Krad	Roller, Motorrad, Chopper, Scooter, Tourer, Supersportler ...
Alleinunfall	Unfall ohne Kollision mit einem anderen Fahrzeug oder Objekt
Mehrere Gegner	Mehrere Gegner, mit denen die Kradfahrer kollidieren, inklusive Opfer, die nach dem Erstkontakt mit dem Gegner überrollt werden

Lkw, Bus, Transporter, Landwirtschaftliche Fahrzeuge

Aufgrund niedriger Fallzahlen und einer ähnlichen Größe und Masse der Fahrzeuge werden landwirtschaftliche Fahrzeuge, Lkws, Busse und Transporter zusammengefasst.

2.3.3 Kollisionsstellung

Neben dem Unfallgegner ist die Kollisionsstellung zwischen Kraftrad und Pkw ein weiterer wichtiger Parameter der Unfallanalyse. Dadurch können Rückschlüsse auf eventuelle Anprallregionen und damit zusammenhängende Kopfverletzungen gezogen werden, die für eine spätere Unfallrekonstruktion von Bedeutung sein können. Die Kollisionsstellung ist jeweils aus Sicht des Kraftrads beschrieben. Dies bedeutet, dass die zuerst genannte Anprallregion das Kraftrad und die zweite den Pkw darstellt. Für andere Gegner wird keine weitere Differenzierung der Kollisionsstellung vorgenommen, weil es aufgrund einer zu geringen Fallzahl oder mangelnder Informationen zu keiner validen Analyse käme. Kollisionen mit Objekten, Lkws oder landwirtschaftlichen Fahrzeugen werden durch die Kategorie Unfallgegner klassifiziert. Die Unfälle sind in acht verschiedene Kollisionsstellungen unterteilt (Tabelle 2.4).

Table 2.4: *Kollisionsstellungen zwischen Krad und Pkw*

Kollisionsstellung	Erklärung
Front – Front Pkw	Krad kollidiert frontal mit dem Pkw
Front – Seite Pkw	Krad kollidiert frontal mit der Seite des Pkw
Schräg – Front Pkw	Krad kollidiert schräg (z.B. 45 Grad) mit der Front des Pkw
Sturz – Pkw	Krad stürzt und rutscht gegen den Pkw
Heck – Front Pkw	Krad kollidiert mit dem Heck gegen die Front des Pkw
Seite – Seite Pkw	Krad kollidiert mit der Seite gegen die Seite des Pkw
Front – Heck Pkw	Krad fährt auf das Heck des Pkw auf
Seite – Front Pkw	Krad kollidiert mit der Seite gegen die Front des Pkw

Die Einteilung der Kollisionsstellung orientiert sich an der 1996 erarbeiteten ©ISO Standard 13232. Hier wurden Parameter zur einheitlichen Untersuchung von Unfällen im Straßenverkehr festgelegt. Die Kollisionsstellung gibt dabei die Kontaktpunkte sowie den Winkel der Längsachsen zueinander wieder. Standard stellt dabei ein Winkelbereich von 45 Grad der Längsachsen zueinander dar [20]. Eine schräge Kollision der Kraftradfahrer mit der Front des Pkws umfasst demnach einen Winkelbereich von 1-89 Grad.

2.4 Kopfschutz

2.4.1 Motorradhelmschema

Die erlittenen Kopfverletzungen der Kradaufsassen werden auf eine Korrelation mit den Helmschäden hin untersucht. Dafür war es nötig, ein Helmschema zu erstellen, bei dem die Beschädigungen anhand bestimmter Regionen zu lokalisieren sind. Die Kategorisierung der Helmschäden erfolgt anhand von Brüchen. Informationen dazu liefern Helmbilder, Beschreibungen aus Gutachten, Polizeiberichten und Zeugenaussagen.

Als grundlegende Orientierung dient das Helmschema, welches in der Studie „COST 327 Motorcycle Safety Helmets final report“ [9] Verwendung findet und in der Abteilung für Biomechanik und Unfallforschung der LMU München bereits weiterentwickelt wurde. Analog zu diesem Helmschema werden die Helmbereiche für diese Arbeit weiter angepasst und eine eigene Einteilung der Helmregionen vorgenommen. Das Ziel ist es, das Helmschema so weit zu komplettieren, dass die Helmschäden exakt abgebildet und die komplexen Verknüpfungen zwischen den Kopfverletzungen und den Helmbrüchen herausgearbeitet werden können. Dafür ist es nötig, die aufgezeichneten vertikalen Linien auf dem Helm um 45 Grad zu drehen, damit keine Linie mehr den anterioren und posterioren Bereich exakt in der Mitte unterteilt. In diesen Bereichen entstehen häufig Beschädigungen am Helm, die sonst keiner Region eindeutig zuzuordnen sind. Auch die lateralen Regionen sind mit diesem Schema nicht mehr in der Mitte geteilt und es ist letztlich eine klare Abgrenzung möglich.

Insgesamt ergeben sich vier große Bereiche für alle vier Seiten des Helms, die durch horizontale Linien weiter unterteilt werden. Dadurch entstehen 17 Helmregionen auf dem Motorradhelm. Abbildung 2.12 zeigt das weiterentwickelte Helmschema mit um 45 Grad gedrehten Linien:

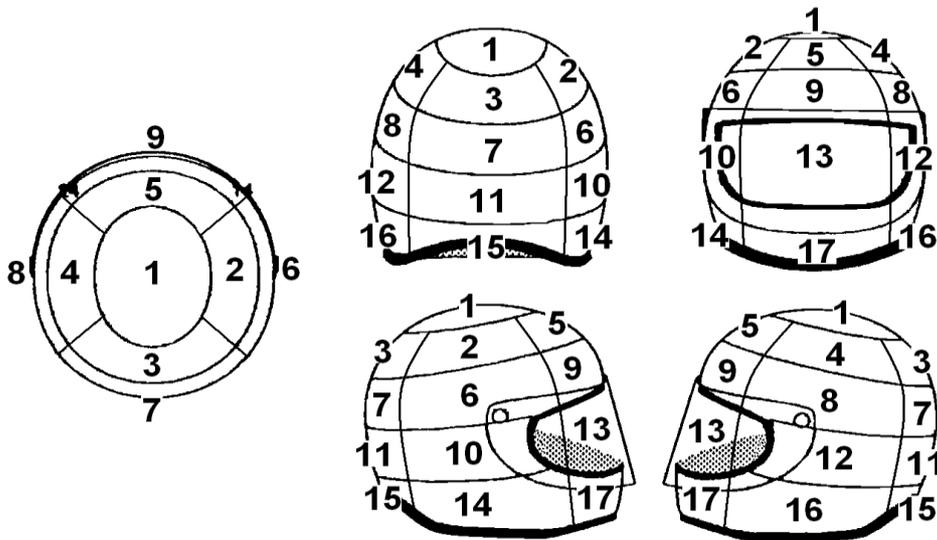


Abbildung 2.12: Motorradhelmschema [37]

Anhand der Bereiche von 1-17 werden die Helmbeschädigungen nach Art des Beschädigungsgrads kategorisiert. Bei der Untersuchung der Helmschäden liegt der Fokus aber auf den Helmbrüchen, weil hier eine sehr große, konzentrierte Krafteinwirkung stattgefunden haben muss. Als Helmbruch wird ein Bruch der Helmschale definiert. Aufgrund des vorliegenden Datenmaterials war eine weitere Klassifizierung nicht möglich. Auch zum Alter oder einer möglichen Vorschädigung der Helme konnten keine zusätzlichen Informationen gewonnen werden.

Damit die Helmschäden kompatibel zu den Lobi cerebri sind, werden die Helmbereiche, basierend auf dem ersten Schema, zu größeren Regionen zusammengefasst. Das Resultat stellt eine Projektion der Lobi cerebri auf den Helm dar. Dadurch können Brüche in einem bestimmten Bereich mit dem jeweiligen Lobus cerebri verglichen oder aber auch Verknüpfungen zwischen Beschädigungen mit einer anderen Helmregion hergestellt werden. Hierfür fasst man die Brüche in den Regionen, die mit dem jeweiligen Lobus cerebri korrelieren, zusammen und stellt sie prozentual auf dem Helmschema dar. Von Interesse ist, inwiefern Coup und Contre-coup-Verletzungen eine Rolle spielen und wie sich die Helmbrüche auf die Kopfverletzungen der Kradfahrer auswirken.

Von besonderem Interesse ist es weiterhin, grundlegend zu analysieren, wie viele Helme überhaupt bei den Unfällen brechen und welche kausalen Zusammenhänge hier zu finden sind. Abbildung 2.13 zeigt das Helmschema in Bezug auf die Lobi cerebri:

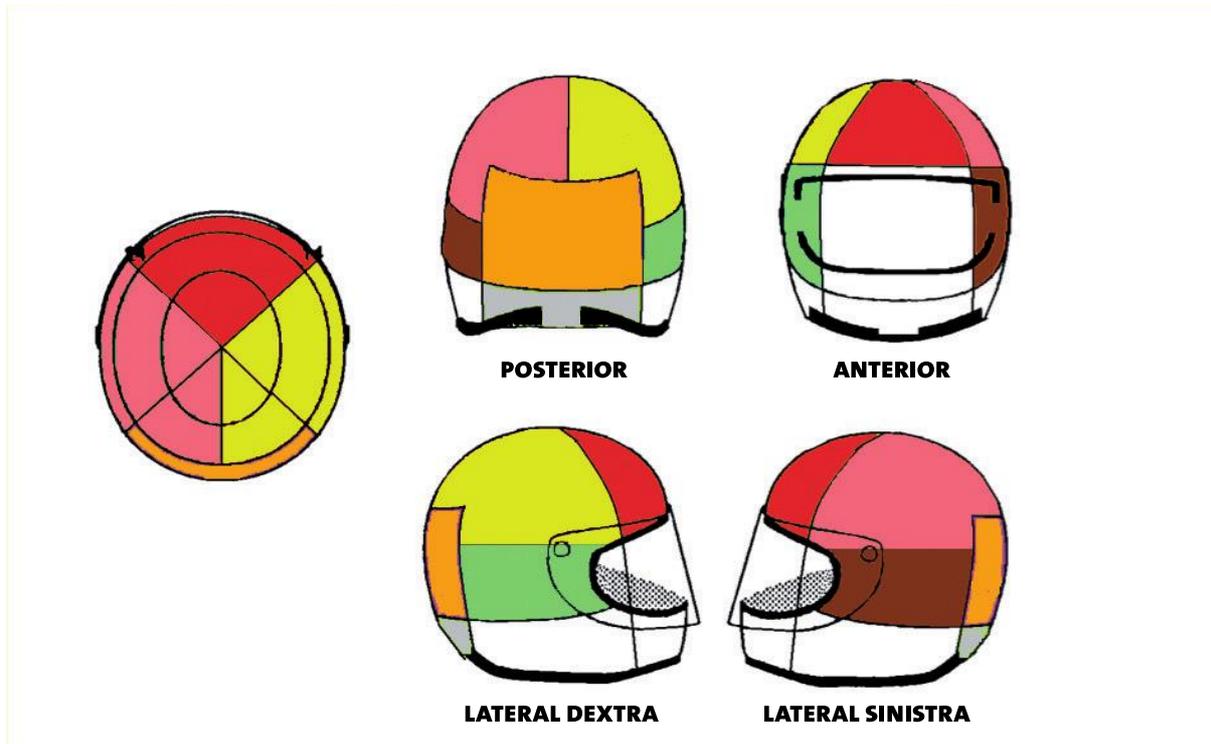


Abbildung 2.13: Weiterentwickeltes Helmschema

Tabelle 2.5 zeigt die Projektion der intrakraniellen Strukturen auf die Helmregionen:

Tabelle 2.5: Zuordnung der Hirnareale auf die Helmregionen

Hirnareal	Helmregion
Lobus frontalis	1,5,9
Lobus occipitalis	7,11
Lobus parietalis dextra	1,2,6
Lobus parietalis sinistra	1,4,8
Lobus temporalis dextra	10
Lobus temporalis sinistra	12
Cerebellum	15

Dieses Helmschema ermöglicht es, Brüche im anterioren und posterioren Bereich des Helms mit Beschädigungen des Truncus cerebri, des Lobus frontalis sowie des Lobus occipitalis vergleichen zu können. Der Fokus liegt unter anderem auf Verletzungen des Truncus cerebri, weil er die Verbindung zwischen Cerebrum und Halsmark darstellt und essenziell für die Aufrechterhaltung der vitalen Funktionen ist.

2.4.2 Helmtypen

Um einen ersten Überblick über den Kopfschutz zu gewinnen, werden die unterschiedlichen Helmtypen dargestellt. Inwiefern sich Korrelationen zu den Kopfverletzungen zeigen, wird sich erst im Verlauf der Dissertation beantworten lassen, da eine suffiziente Fallzahl von allen Helmtypen unabdingbar ist, um valide Rückschlüsse ziehen zu können. Wichtige Fragen sind, welche Helme von den Opfern getragen werden, inwiefern Helmbrüche eine Rolle spielen und ob es zu Helmverlusten während des Unfalls kommt.

Die in dem untersuchten Unfallkollektiv getragenen Helme sind in Integralhelme, Jethelme, Halbschalenhelme und Sonstige unterteilt. Abbildung 2.14 stellt die unterschiedlichen Helmtypen dar. Unter „Sonstige“ fallen alle anderen Arten von Kopfbedeckungen, die von den Kradaufsassen getragen werden.



Abbildung 2.14: Helmtypen [21, 22]

Ein Integralhelm (auch Full Face Helmet genannt) ist ein Helm, welcher den Kopf immer vollständig umschließt und über einen festen, nicht beweglichen Kinnbügel verfügt. Der Jethelm (Open Face Helmet) umschließt den Kopf nicht vollständig und besitzt keinen Kinnbügel. Ein Halbschalenhelm verfügt zwar über einen Kinnriemen, hat aber laut ADAC ein deutlich geringeres Schutzpotenzial wie Integral- und Jethelme (keine ECE-Norm) [23]. Die ECE-Norm (Economic Commission Europe) ist ein europäisches Dekret, nach deren Richtlinie Helme für Krafträder produziert werden sollen [24].

2.4.3 Helmverlust

Helmverluste gehören zu möglichen Ereignissen, die während eines Kraftradunfalls eintreten können. Bei mortalen Unfällen mit schweren Kopfverletzungen gilt es zu analysieren, inwiefern Helmverluste auftreten und welche Rolle sie bei den Kopfverletzungen spielen. Es wird zwischen einem Helmverlust und keinem Helmverlust differenziert.

2.5 Analyse von Kopfverletzungen und Unfallhergang

Nach der Untersuchung von Parametern des Unfallhergangs sowie der medizinischen Auswertung der Kopfverletzungen erarbeitet der letzte Teil dieser Arbeit Verknüpfungen zwischen diesen Bereichen. Dabei werden Kopfverletzungen in Bezug zum Unfallgegner und zur Kollisionsstellung ausgewertet.

Zum Schluss dieser Dissertation ist die Untersuchung der Kopfverletzungen in Bezug zum Helmschutz anzustreben. Hier werden Schutzwirkung und Helmverhalten in Korrelation zur Häufigkeit und Qualität der Traumata dargestellt.

2.5.1 Analyse von intrakraniellen Traumata in Bezug zum Helm

Eine weitere Variable stellt die Helmbeschädigung dar. Die Auswertung der Helmbrüche in Abhängigkeit der intrakraniellen Traumata soll untersuchen, ob es einen Zusammenhang zwischen einer intakten Helmschale und einer Verringerung der intrakraniellen Verletzungsschwere sowie Verletzungshäufigkeit gibt. Um Hinweise für eine hohe Krafteinwirkung auf den Helm zu gewinnen, differenziert die Auswertung ausschließlich zwischen Kopfverletzungen, die bei einer gebrochenen und einer nicht gebrochenen Helmschale entstehen.

2.5.2 Analyse von intrakraniellen Traumata bei Helmverlust

Abschließend ist der Einfluss des Helmverlusts auf die Kopfverletzungen zu untersuchen. Dabei werden ausschließlich Kradaufsassen berücksichtigt, bei denen mit hoher Sicherheit ein Helmverlust nachgewiesen werden kann. Dies erfolgt unter Zuhilfenahme von Bildern, Polizeiberichten, Unfallgutachten von Sachverständigen sowie Zeugenaussagen.

Kapitel 3

Ergebnisse

3.1 Analyse des Unfallgeschehens

3.1.1 Unfallkollektiv

Im ersten Schritt der Analyse wird das Unfallkollektiv beschrieben, auf dessen Basis die weiteren Ergebnisse aufbauen. Es setzt sich aus 95 Kradaufsassen zusammen. 88 Personen waren als Kradfahrer unterwegs. Lediglich sieben Unfallopfer fuhren als Sozium/Sozia mit. Mit 91 Prozent (n=86) stellen die männlichen Opfer die prädominierende Gruppe dar. 84 waren als Kradfahrer und zwei als Sozium unterwegs. Demgegenüber stehen 9 Prozent (n=9) weibliche Todesfälle, von denen fünf als Sozia und vier als Kradfahrerin verunglückten. In Abbildung 3.1 ist die Altersverteilung aller Kradaufsassen dargestellt. Die Altersspanne reicht von 10 bis 76 Jahren.

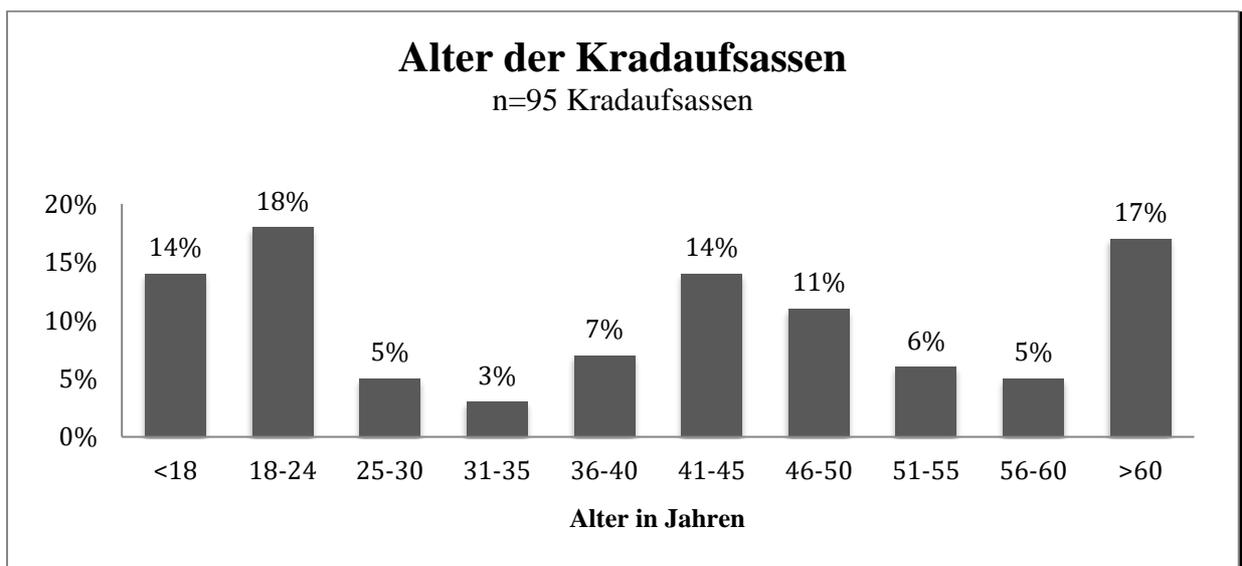


Abbildung 3.1: Altersverteilung der verunglückten Kradaufsassen

Es zeigt sich eine Distribution zugunsten von drei großen Altersbereichen. 32 Prozent (n=30) werden durch die Gruppe der 10-24-Jährigen vertreten. Darunter fallen zwei Personen <15 Jahre, die als Sozios/Sozia verunglückt sind. Die zweite häufig verunglückte Gruppe stellen mit 25 Prozent (n=23) die 41-50-Jährigen dar. Als dritte dominierende Altersgruppe etablieren sich mit 17 Prozent (n=16) Kradaufsassen, die älter als 60 Jahre sind. 69 Prozent (n=11) dieser Gruppe fallen in die Altersspanne zwischen 61 und 70 Jahren. Fünf Verunglückte waren älter als 70 Jahre (13%). Die zwei ältesten Kradaufsassen verunglückten im Alter von 76 Jahren.

3.1.2 Unfallgegner und Kollisionsstellung

In Abbildung 3.2 werden die Kollisionsgegner der Kradaufsassen analysiert. Insgesamt gibt es 102 Unfallkonstellationen, da zum Beispiel eine Fahrzeuggruppe wie die der Pkws auch in einen Unfall mit mehreren Gegnern verwickelt sein kann.

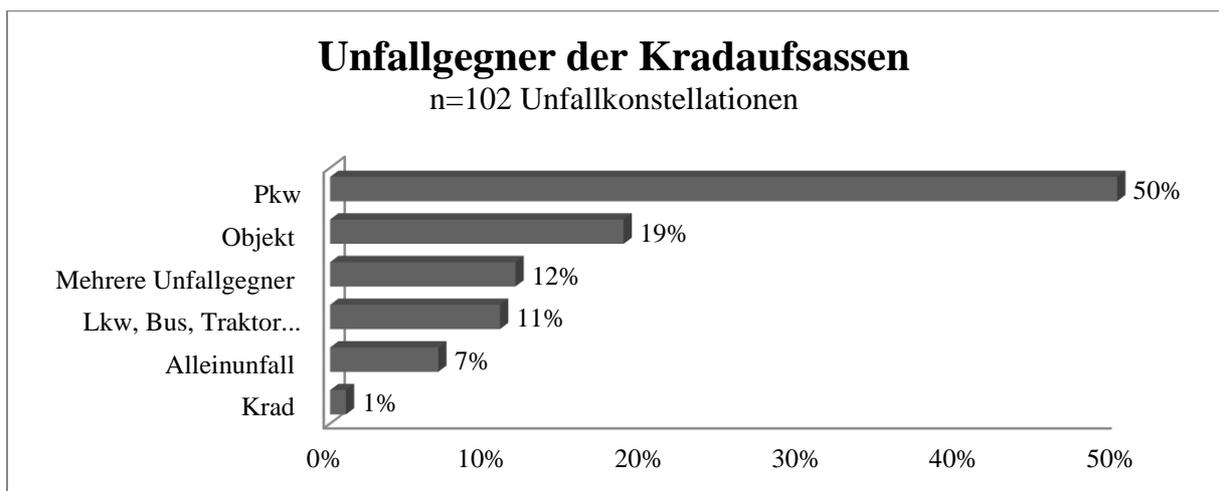


Abbildung 3.2: Kollisionsgegner der Kradaufsassen

Der Pkw als dominierende Fahrzeugklasse auf Deutschlands Straßen stellt erwartungsgemäß mit 50 Prozent die häufigste Gegenpartei der Kradaufsassen dar. Knapp jeder fünfte Verunglückte (19%, n=19) hingegen erlitt einen Alleinunfall mit Anprall an einem Objekt. Bei der weitergehenden Analyse konnte als prävalierende Objektgruppe die Leitplanke (n=7) erfasst werden. Weitere Kollisionen erfolgten mit Verkehrszeichen (n=6) und Bäumen (n=3).

Zusammenstöße mit mehreren Gegenparteien stellen die dritthäufigste Unfallsituation dar (12%). Kollisionen mit Kraftfahrzeugen wie Lkws, Bussen oder landwirtschaftlichen Fahrzeugen repräsentieren 11 Prozent (n=12) der Unfallgegner. Darunter fallen zwei Busse,

zwei landwirtschaftliche Fahrzeuge (Traktor, Traktor mit Anhänger) und sieben Lkws. Wesentlich seltener erfolgten Alleinunfälle ohne Objektenprall (7%, n=7).

Für eine genauere Untersuchung des Unfallgeschehens mit dem dominierenden Kollisionsgegner wird die Kollisionsstellung mit dem Pkw detailliert analysiert. In Abbildung 3.3 sind die Anprallregionen des Krads am Pkw dargestellt.

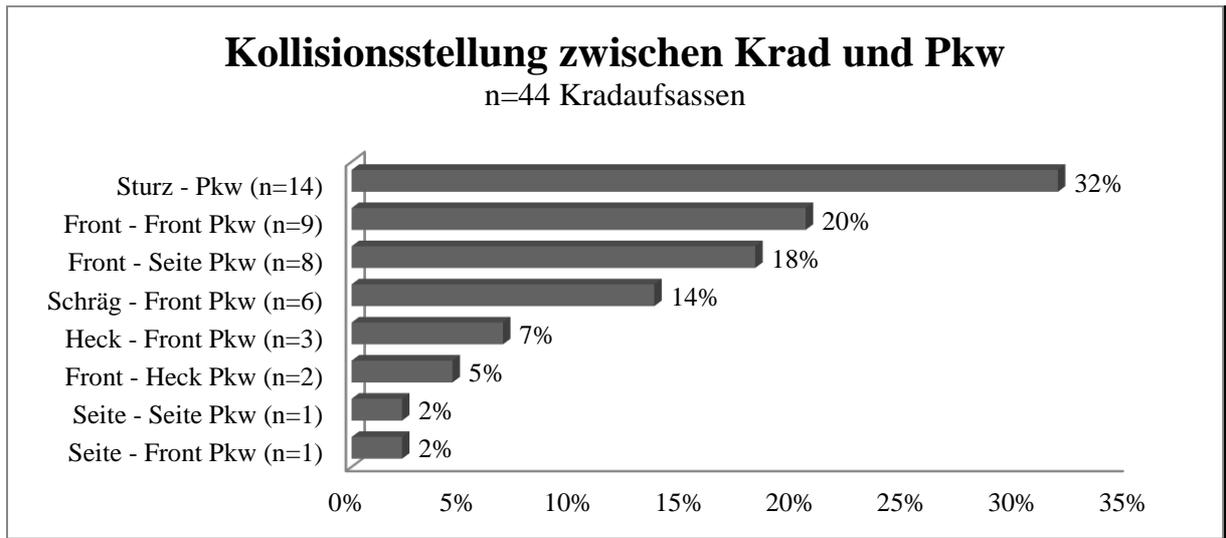


Abbildung 3.3: Kollisionsstellung zwischen Kraftrad und Pkw

Knapp jedes dritte Opfer (32%, n=14) stürzte, bevor eine Kollision mit einem Pkw stattfand (Abbildung 3.3). Weitere häufige Kollisionsstellungen sind frontale Kollisionen des Krads mit der Front des Pkw (20%, n=9) und der Seite des Pkw (18%, n=8). Schräge Kollisionen des Kraftrads mit der Front des Pkw (14%, n=6) sind ebenfalls regelmäßig vorgekommen.

3.1.3 Unfalltyp nach GDV

Um den Verkehrsvorgang, durch den die Konfliktsituation zwischen den Parteien entstanden ist, nachvollziehen zu können, werden die Unfalltypen nach dem Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) [19] bestimmt. Abbildung 3.4 zeigt sieben verschiedene Unfalltypen.

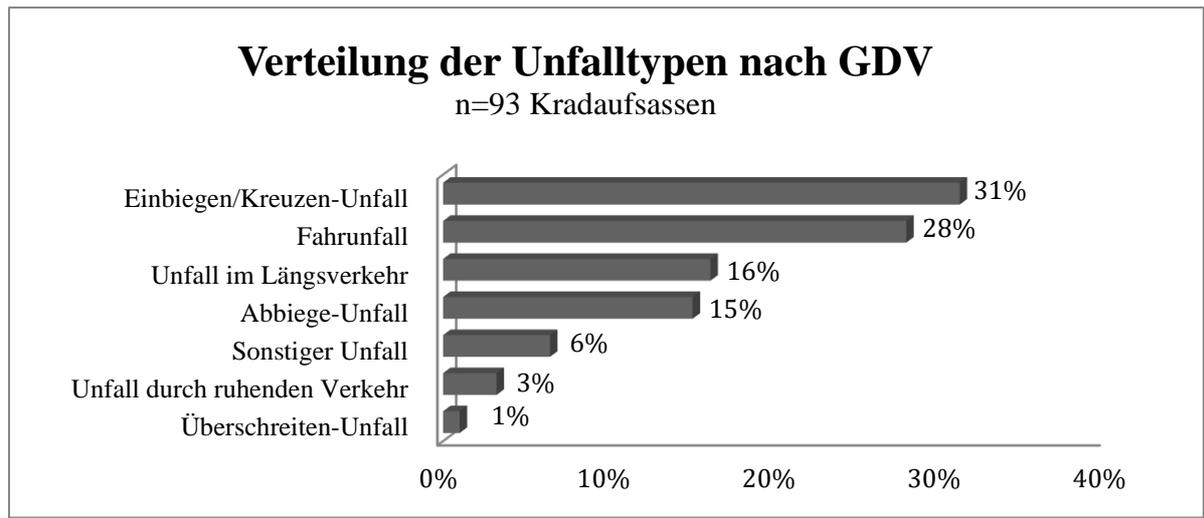


Abbildung 3.4: Einteilung der Unfalltypen nach GDV

Den führenden Unfalltyp stellt der Einbiegen/Kreuzen-Unfall dar (31%). In 24 von 29 Einbiegen/Kreuzen-Unfällen war das Kraftrad auf der bevorrechtigten Straße unterwegs, in vier Fällen war das gegnerische Fahrzeug bevorrechtigt und einmal ist die Vorfahrtslage unbekannt.

Der zweithäufigste Unfalltyp spiegelt sich durch die Gruppe der Fahr Unfälle wider (28%, n=26). 16 von 26 Unfällen erfolgten in einer Kurve. Dabei egalisierten sich Links- und Rechtskurven.

Insgesamt weist der Anteil der Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle und der Fahr Unfälle an der Gesamtheit aller Unfalltypen knapp zwei Drittel (59%) auf. Damit stellen diese beiden Unfalltypen die wichtigsten Verkehrssituationen dar. Unfälle im Längsverkehr (16%) sowie Abbiege-Unfälle (15%) fanden deutlich seltener statt. Sonstige Unfälle sowie Unfälle durch ruhenden Verkehr stellen die Minderheit an der Gesamtheit der Unfalltypen dar.

3.2 Analyse der Verletzungen

3.2.1 Überblick der Verletzungsschwere

Im folgenden Schritt der Auswertung werden die Verletzungen der Kradaufsassen untersucht und mithilfe der Abbreviated Injury Scale (©AIS) klassifiziert. In Abbildung 3.5 ist der allgemeine MAIS von eins bis sechs für die mortal verunglückten Personen dargestellt.

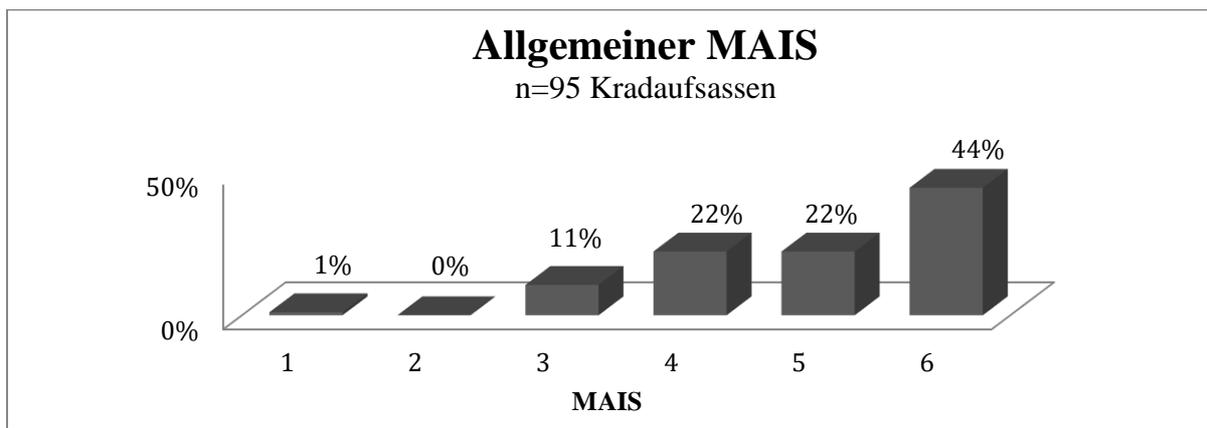


Abbildung 3.5: Verteilung des MAIS der Kradaufsassen

Es zeigt sich eine deutliche Verteilung in Richtung von einem $\text{MAIS} \geq 4$ (88%). Dies bedeutet, dass die gravierendste Verletzung in dieser Gruppe mindestens als „sehr schwer“ (AIS=4) klassifiziert werden musste. 22 Prozent erlitten als schwerwiegendste Verletzung eine „kritische“ Verletzung (MAIS=5). Fast jedes zweite Opfer (44%) verstarb aufgrund einer „maximal schweren“ Verletzung (MAIS=6). Ein MAIS von eins findet sich in lediglich einem Fall und spiegelt keine Verletzung wider, die kausal mit dem Tod in Verbindung gebracht werden kann. Das Opfer verstarb ohne Fremdeinwirkung und ohne Nachweis einer pathologisch-anatomischen Todesursache.

Der allgemeine MAIS veranschaulicht die Distribution der schwersten Verletzungen der Kradaufsassen am ganzen Körper. Es wird jedoch nicht ersichtlich, an welcher Körperregion das Opfer die schwerste Verletzung erlitten hat. Aus diesem Grund wird im folgenden Abschnitt die Verteilung des maximalen ©AIS der verschiedenen Körperregionen untersucht. Es wird die schwerste Verletzung, die der Verunglückte erlitten hat, der jeweiligen Körperregion zugeordnet. Abbildung 3.6 visualisiert die Verteilung des maximalen ©AIS der Körperregionen.

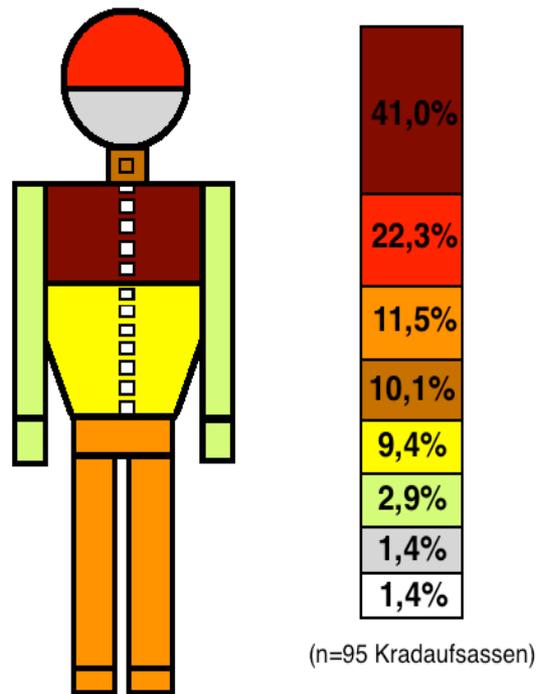


Abbildung 3.6: Maximaler ©AIS der Körperregionen (n=139)

Es zeigt sich, dass die Kradaufsassen die schwerwiegendsten Verletzungen am Thorax (41%) und am Kopf (22,3%) erlitten haben. Diese beiden Körperregionen stellen mit knapp zwei Drittel die vulnerabelsten Regionen in diesem Unfallkollektiv dar. Auch die untere Extremität (11,5%), der Hals (10,1%) und das Abdomen (9,4%) repräsentieren Körperregionen, in denen es bei gut 30 Prozent zu den schwersten Traumata gekommen ist. Verletzungen der oberen Extremität, des Rückenmarks (ohne HWS) sowie des Gesichts, welches als Knautschzone für den posterioren Teil des Kopfes wirken kann, stellten äußerst selten die schwerste am Körper erlittene Verletzung dar.

Nachdem in Abbildung 3.5 der MAIS für den gesamten Körper dargestellt wurde, ist in Abbildung 3.7 der maximale ©AIS für den Kopf analysiert.

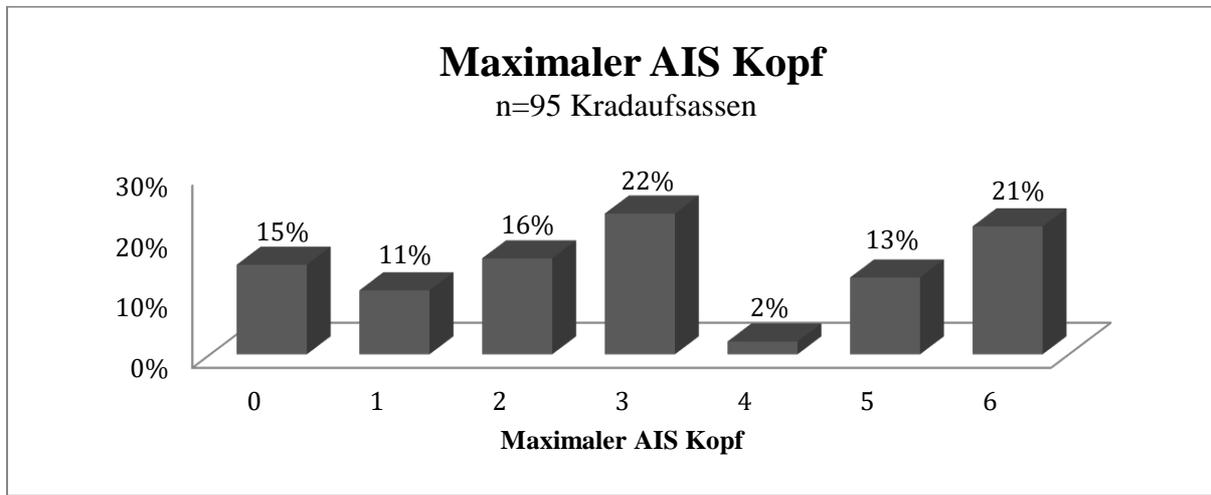


Abbildung 3.7: Maximaler ©AIS Kopf der Kradaufsassen

Aus Abbildung 3.7 wird ersichtlich, dass 42 Prozent einen maximalen ©AIS Kopf von null, eins oder zwei haben und damit die Verletzung des Kopfes als „nicht schwer“ klassifiziert werden kann. Darunter fallen 15 Prozent, die gar keine (©AIS Kopf=0) und 11 Prozent, die nur eine leichte Kopfverletzung (©AIS Kopf=1), wie zum Beispiel eine Schürfwunde, erlitten haben. Es ist anzunehmen, dass der Helm in diesen Fällen gut geschützt hat oder die Kradaufsassen mit dem Kopf keinen oder nur einen leichten Aufschlag erlitten haben.

Auf der anderen Seite wurde bei 58 Prozent des untersuchten Unfallkollektivs mindestens eine schwere Kopfverletzung dokumentiert (©AIS Kopf ≥ 3). Auffällig ist, dass gut jedes dritte Opfer (34%, n=32) eine Kopfverletzung mit einem ©AIS von fünf oder sechs aufweist. Bei diesen 32 Opfern war in 30 von 32 Fällen (94%) der Truncus cerebri (Hirnstamm) verletzt. Bezugnehmend auf die Verletzungsschwere zeichnet sich ein maximaler ©AIS Kopf von fünf oder sechs für die akute Todesursache hauptsächlich verantwortlich, während die Opfer mit einem ©AIS von null, eins oder zwei höchstwahrscheinlich an einer anderen Verletzung verstorben sind.

Einen Überblick darüber, ob die Kradaufsassen multiple schwere Verletzungen erlitten haben, gibt der ISS (Injury Severity Score). Abbildung 3.8 stellt die Verteilung des ISS für das untersuchte Unfallkollektiv dar.

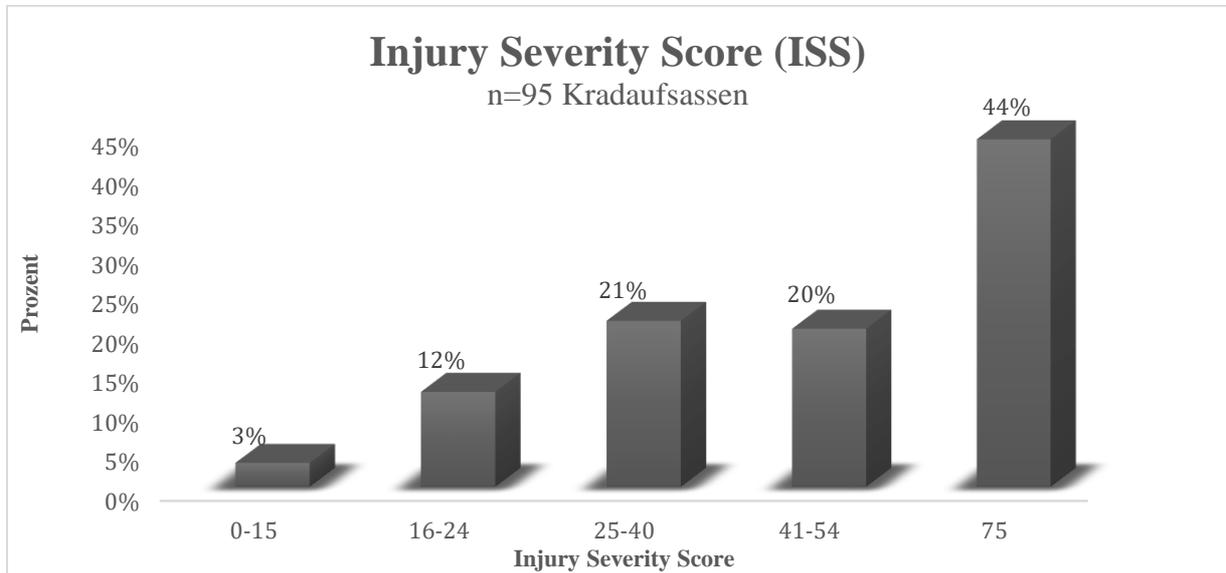


Abbildung 3.8: Injury Severity Score der Kradaufsassen

Es zeigt sich, dass knapp jeder zweite Kradaufsasse (44%, n=42) einen ISS von 75 erreicht hat. Dies bedeutet, dass 44 Prozent der Opfer aufgrund von mindestens drei Verletzungen mit einem AIS=5 oder einer Verletzung mit einem AIS=6 mortal verunglückt sind. 38 von 42 Opfern mit einem ISS 75 verstarben direkt am Unfallort, vier weitere innerhalb von 24 Stunden.

Drei Prozent (n=3) der Verunglückten erlitten kein Polytrauma (Polytrauma ISS ≥ 16). Zwei dieser drei Opfer verstarben innerhalb von 30 Tagen im Krankenhaus. Darunter ein Verunglückter mit einer Beckenfraktur, die aufgrund einer OP-Komplikation zum Tod geführt hat. Die zweite Person, welche innerhalb von 30 Tagen im Krankenhaus verstarb, erlag den Folgen eines Hämatothorax nach Rippenbrüchen (AIS Thorax=3). Der dritte Verunglückte ohne Polytrauma wurde tot neben seinem Krad aufgefunden. In der Obduktion ließ sich keine Todesursache nachweisen. Insgesamt gesehen verstarben 15 Prozent (n=14) ohne Verletzungen, die ein schweres Polytrauma definieren.

Bei Betrachtung des Todeszeitpunktes der Personen mit einem ISS zwischen 16 und 24 ($n=11$) lassen sich, ähnlich wie bei den bereits analysierten Fällen ohne Polytrauma, lange Krankenhausaufenthalte nachweisen. Sechs von 11 Kradaufsassen verstarben innerhalb von 30 Tagen, zwei überlebten >30 Tage und nur bei drei Fällen wurde der Todeszeitpunkt innerhalb von 24 Stunden festgestellt.

Mit Beginn eines schweren Polytraumas ($ISS \geq 25$) ergibt sich ein deutlicher Anstieg der Opferzahlen auf 21 Prozent ($n=20$). Unter Berücksichtigung des Todeszeitpunktes zeigt sich eine deutliche Zunahme der Kradaufsassen, welche direkt am Unfallort ihren Verletzungen erlagen ($n=10/20$). Drei Opfer verstarben innerhalb von einer Stunde ($n=3/20$) und drei weitere innerhalb von 24 Stunden ($n=3/20$). Längere Zeitspannen von 30 Tagen oder mehr konnten bis zum Todeseintritt lediglich für vier Personen in dieser Gruppe verzeichnet werden ($n=4/20$).

Auch bezüglich eines ISS zwischen 41 und 54 zeigen sich mit 20 Prozent konstant hohe Werte. Insgesamt spiegelt der hohe Wert von 44 Prozent bei einem ISS von 75 jedoch wider, dass die meisten Opfer direkt ihren Verletzungen erlagen.

3.2.2 Detaillierte Analyse der Kopfverletzungen

3.2.2.1 Extrakranielle Verletzungen

Um nachvollziehen zu können, welche Kopfverletzungen bei den Kradaufsassen durch den Unfall verursacht wurden, werden in diesem Abschnitt Cerebrum und Cranium noch einmal eingehender untersucht. Zu Beginn werden die äußeren Kopfverletzungen dargestellt und anhand von Schürf- sowie Schnittwunden und Hämatomen differenziert betrachtet (Abbildung 3.9 und 3.10).

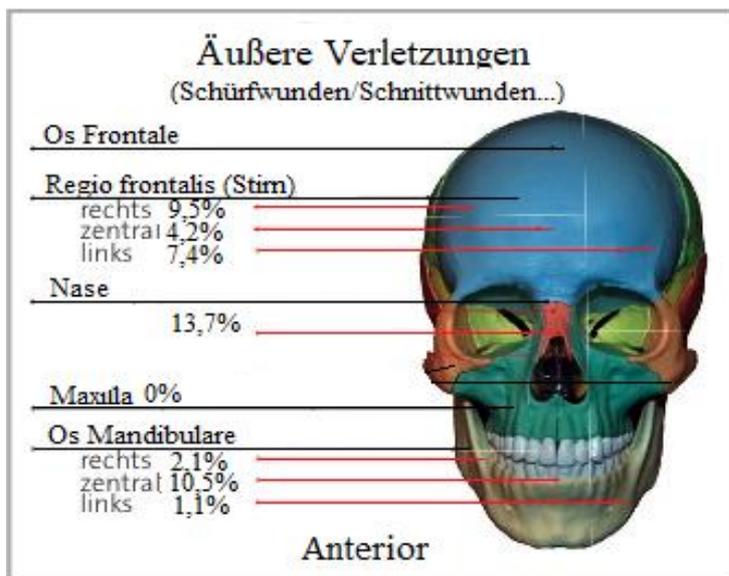


Abbildung 3.9: Frontale Schürf-/Schnittwunden (n=95)

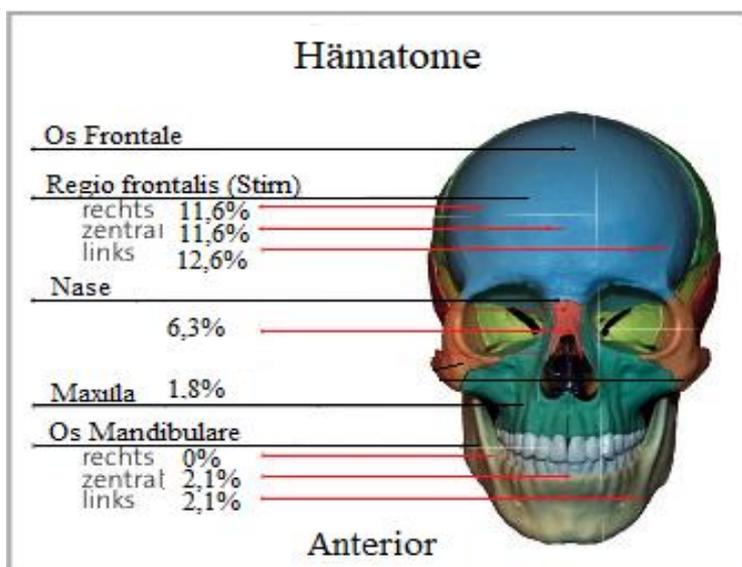


Abbildung 3.10: Frontale Hämatome (n=95)

Es zeigt sich, dass Schürf- und Schnittverletzungen besonders oft im zentralen Nasenbereich zu finden sind (13,7%). Weitere häufig betroffene Regionen werden durch den zentralen Unterkiefer (Mandibula=10,5%) und die rechte Stirn (9,5%) dargestellt. Auch an der linken Stirn (7,4%) sowie im zentralen Stirnbereich (4,2%) konnten einige Verletzungen dokumentiert werden. Im Vergleich zu den in Abbildung 3.9 analysierten äußeren Verletzungen weisen Hämatome eine deutlich andere Distribution auf. Mit jeweils 11,6 (rechts, zentral) und 12,6 Prozent (links) spiegelt die Stirn die prädominierende Region wider. Abgesehen von der Nase (6,3%) sind die anderen frontalen Gesichtsregionen selten betroffen.

Nachfolgend werden in den Abbildungen 3.11 und Abbildung 3.12 die äußeren Verletzungen der rechten Kopfseite analysiert.

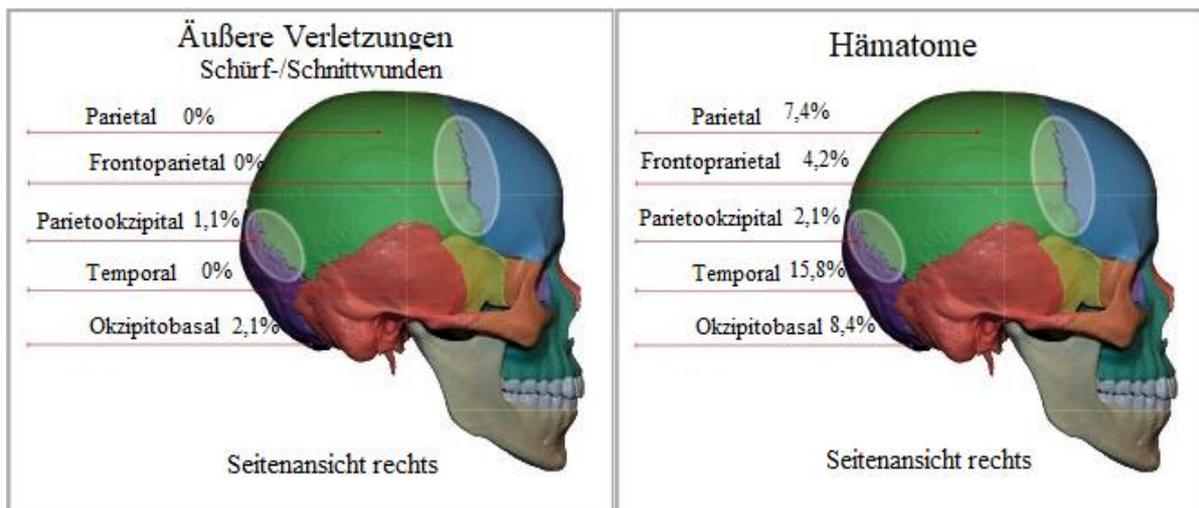


Abbildung 3.11: Schürfungen und Schnittwunden Kopf rechts (n=95)

Abbildung 3.12: Hämatome Kopf rechts (n=95)

Die rechte Seite des Kopfes weist nur sehr wenige oberflächliche Verletzungen auf. Lediglich okzipitobasal konnten bei 2,1 Prozent der Kradaufsassen Schürfungen und Schnittwunden festgestellt werden. Eine weitere Region mit Verletzungen findet sich parietookzipital (1,1%). Alle anderen Bereiche zeigen sich blande.

Aus Abbildung 3.12 kristallisiert sich heraus, dass rechts temporal mit Abstand die meisten Hämatome gefunden wurden. Weitere häufiger geschädigte Bereiche konnten rechts okzipitobasal (8,4%) und rechts parietal (7,4%) identifiziert werden. Frontoparietal (4,2%) und parietookzipital rechts (2,1%) traten deutlich seltener Hämatome auf.

Abbildung 3.13 und Abbildung 3.14 illustrieren die äußeren Kopfverletzungen auf der linken Kopfseite.

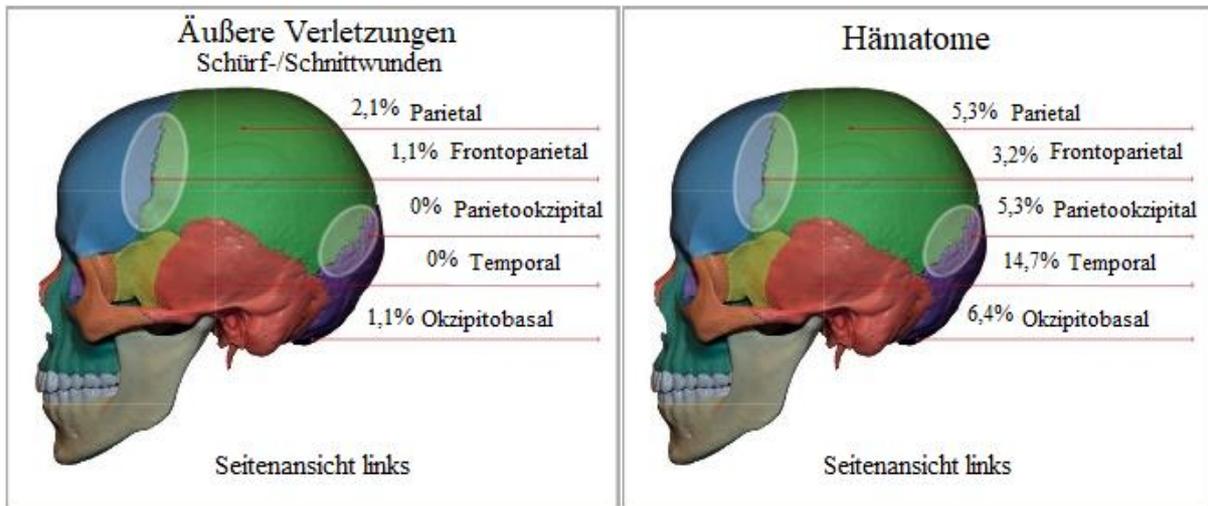


Abbildung 3.13: Schürf- und Schnittwunden Kopf links (n=95)

Abbildung 3.14: Hämatome Kopf links (n=95)

Konkordant zur rechten Kopfseite konnten auch links nur sehr wenige Schürf- und Schnittwunden am Kopf registriert werden. Lediglich parietal (2,1%), frontoparietal (1,1%) und okzipitobasal wurden einige wenige Schädigungen gefunden. Temporal und parietookzipital ließen sich keine Verletzungen in Form von Schürf- oder Schnittwunden feststellen.

Abbildung 3.14 veranschaulicht die Verteilung der Hämatome auf der linken Kopfseite. Mit 14,7 Prozent ist die temporale Region hier führend. Im Vergleich zur rechten Kopfseite (15,8%) ist sie jedoch etwas seltener betroffen.

Darüber hinaus konnten okzipitobasal (6,4%), parietal sowie parietookzipital (jeweils 5,3%) und frontoparietal (3,2%) einige Hämatome nachgewiesen werden.

Nach den frontalen und lateralen Kopfseiten werden abschließend die äußeren Verletzungen des Hinterkopfes dargestellt (Abbildung 3.15 und 3.16).

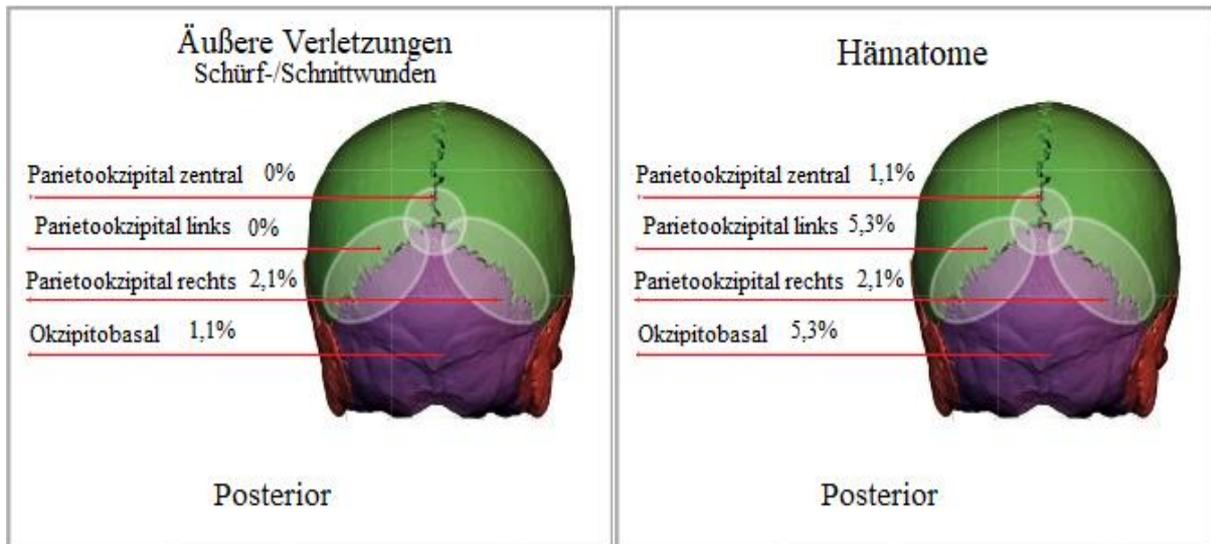


Abbildung 3.15: Schürf- und Schnittwunden des Hinterkopfes (n=95)

Abbildung 3.16: Hämatome des Hinterkopfes (n=95)

Auch am Hinterkopf zeigen sich, wie bereits am seitlichen Kopfbereich, nur sehr wenige Schürfungen und Schnittverletzungen. Parietookzipital rechts (2,1%) und okzipitobasal (1,1%) bilden die einzigen beiden Regionen ab, wo sich Verletzungen dieser Art manifestiert haben.

Im Gegensatz zu den Schürf- und Schnittwunden konnten deutlich mehr Personen mit Hämatomen am Hinterkopf ausgemacht werden. Dabei sind vor allem der okzipitobasale und linke parietookzipitale Bereich affektiert (5,3%). Parietookzipital rechts (2,1%) sowie parietookzipital zentral (1,1%) konnten deutlich seltener Hämatome dokumentiert werden.

Bei abschließender Betrachtung aller Schürf- und Schnittwunden von Gesicht und Kopf lässt sich ein Schwerpunkt im frontalen Gesichtsbereich erkennen. Dabei dominieren vor allem die Nasenregion (13,7%) und der zentrale Unterkieferbereich (10,5%).

Im Gegensatz zur anterioren Kopfregion konnten im seitlichen sowie posterioren Kopfbereich nur sehr selten Schürf- und Schnittwunden nachgewiesen werden.

Für die Auswertung der Distribution der Hämatome zeichnet sich hingegen ein anderes Bild ab. Hier konnten drei vorherrschende Regionen identifiziert werden. Am häufigsten war die rechte temporale Kopfreion betroffen (15,8%), gefolgt von der linken temporalen Region (14,7%). Auch im Stirnbereich lassen sich mit 11,6 bis 12,6 Prozent einige Hämatome nachweisen.

Beim Vergleich der rechten und linken Kopfseite fällt auf, dass die rechten temporalen, parietalen, frontoparietalen und okzipitobasalen Bereiche mehr Hämatome aufweisen. Lediglich parietookzipital links konnten mehr Hämatome belegt werden.

Der Hinterkopf war insgesamt gesehen seltener von Hämatomen betroffen als die anderen Seiten des Kopfes. Trotzdem zeigen sich mit 5,3 Prozent auch im okzipitobasalen Bereich einige Hämatome.

3.2.2.2 Intrakranielle Verletzungen

Nach der Analyse der äußeren Kopfverletzungen werden in Abbildung 3.17 die intrakraniellen Verletzungen ab einem ©AIS-Code 3+ abgebildet. Es sind schwere (©AIS=3), sehr schwere (©AIS=4), kritische (©AIS=5) und nicht mehr behandelbare (©AIS=6) Verletzungen dargestellt.

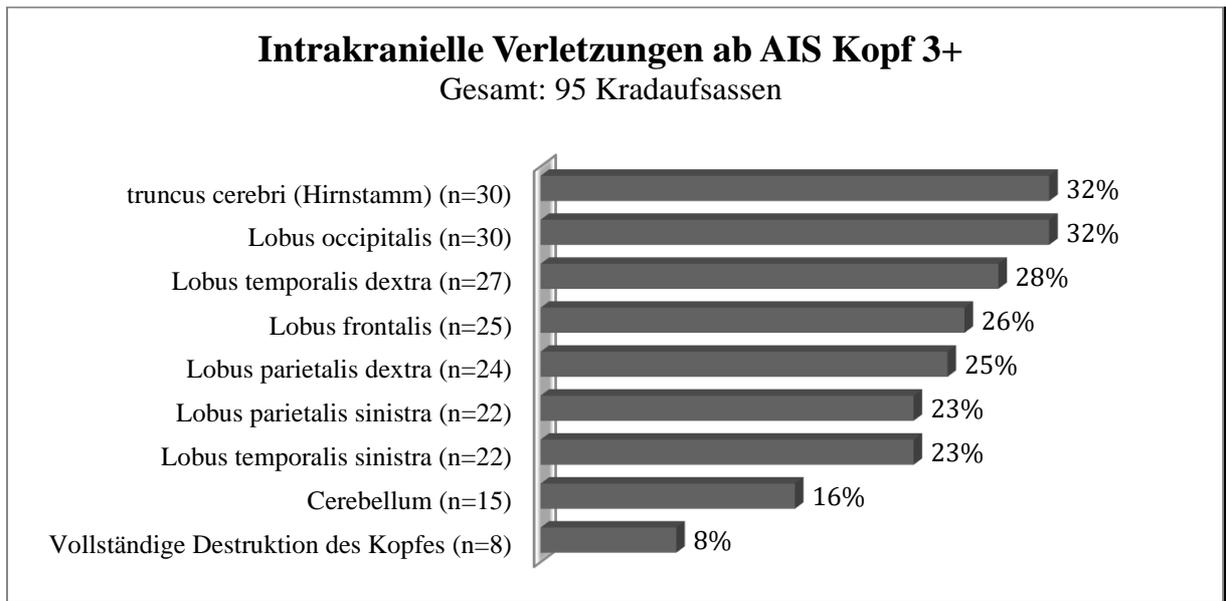


Abbildung 3.17: Verteilung der Kopfverletzungen ab ©AIS Kopf 3+

Abbildung 3.17 zeigt, dass eine vollständige Destruktion des Kopfes, die mit einem ©AIS-Code von sechs bewertet wird, in acht Prozent der Fälle (n=8) stattfand. Sie kann in vier von acht Fällen mit einem Überrolltrauma des Kopfes in Verbindung gebracht werden.

Bei Betrachtung der einzelnen zerebralen Strukturen wird eine weitestgehend gleichmäßige Verteilung der Verletzungen erkennbar. Es zeigt sich jedoch ein leichter Überhang der Verletzungen der rechten Seite (Lobus temporalis dextra 28%, Lobus parietalis dextra 25%) gegenüber der linken Seite (Lobus temporalis/ parietalis sinistra jeweils 23%). Am häufigsten kam es hingegen zu Verletzungen des Lobus occipitalis und des Truncus cerebri (Hirnstamm) (jeweils 32%).

Aus Abbildung 3.17 geht hervor, dass bei Gegenüberstellung der links- und rechtsseitig lokalisierten Lobi cerebri mit einem ©AIS 3+ ein Überhang der rechtsseitigen intrakraniellen Verletzungen besteht. Um eine bessere Differenzierung erreichen zu können, werden in Abbildung 3.18 die intrakraniellen Verletzungen ab einem ©AIS Kopf 4+ dargestellt. Daraus resultierend bildet das folgende Diagramm nur noch sehr schwere (©AIS=4), kritische (©AIS=5) und nicht mehr behandelbare (©AIS=6) Traumata ab.

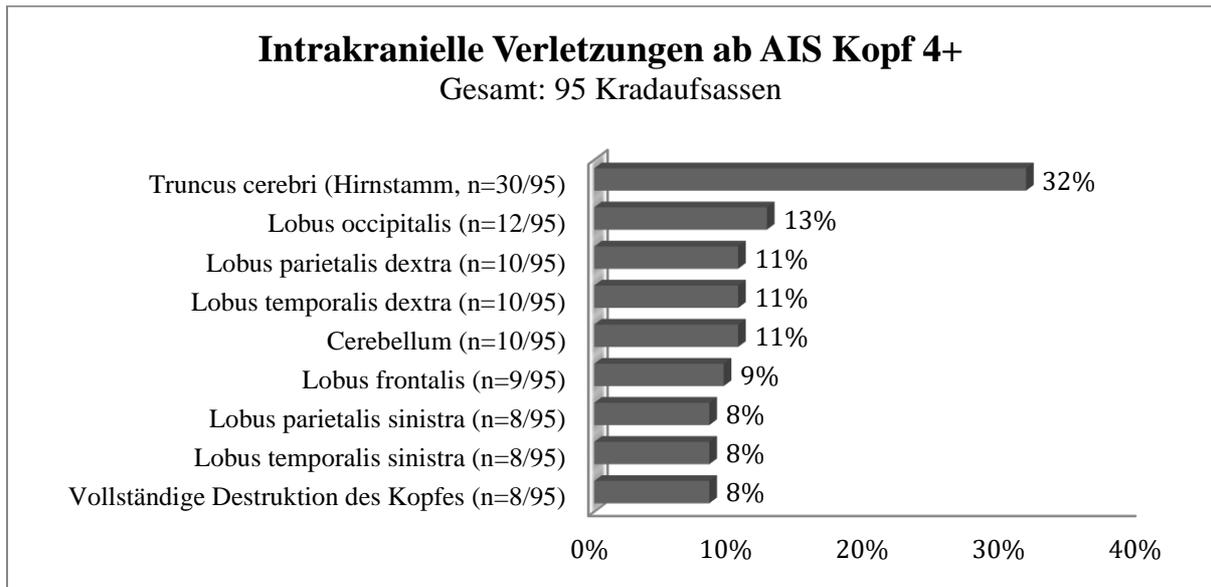


Abbildung 3.18: Verteilung der Kopfverletzungen ab ©AIS Kopf 4+

Es zeigt sich weiterhin, wie bereits in Abbildung 3.17, dass Traumata der rechtsseitigen Hemisphäre überwiegen (Lobus parietalis/ temporalis dextra jeweils 11%). Schädigungen des Truncus cerebri bleiben systembedingt durch die ©AIS-Codierung bei 32 Prozent. Es verdeutlicht erneut die Schwere der Verletzung, wenn diese Struktur betroffen ist. Da im Truncus cerebri überlebenswichtige Strukturen, wie zum Beispiel das respiratorische Zentrum, liegen, ist eine Schädigung in dieser Region äußerst gefährlich und häufig tödlich.

Mit 13 Prozent ist der Lobus occipitalis die zweithäufigste intrakranielle Struktur, welche ein Trauma mit einem AIS von vier oder höher erlitten hat. Obwohl ein Aufprall der Kradaufsassen mit dem anterioren Kopfbereich in den meisten Fällen anzunehmen ist, ist der in diesem Bereich gelegene Lobus frontalis (9%) seltener betroffen.

3.2.2.3 Vergleich von intrakraniellen und extrakraniellen Verletzungen

Nach der separaten Analyse von intra- und extrakraniellen Verletzungen wird abschließend untersucht, inwiefern sich diese Verletzungen miteinander korrelieren lassen. Tabelle 3.1 stellt die Verteilung der Kopfverletzungen dar. Es sind alle intrakraniellen Verletzungen unabhängig vom Schweregrad ausgewertet.

Tabelle 3.1: Verteilung von intra- und extrakraniellen Verletzungen

Region	Intrakranielle Verletzungen (n=95)	Äußere Verletzungen (Hämatome) (n=95)
Frontal	33,7%	12,6%
Occipital	45,3%	5,3%
Cerebellar	38,9%	5,3%
Temporal dextra	37,9%	15,8%
Parietal dextra	36,8%	7,4%
Temporal sinistra	33,7%	14,7%
Parietal sinistra	34,7%	5,3%

Es zeigt sich, dass frontal (12,6%) deutlich mehr Hämatome aufgetreten sind als occipital (5,3%). Für die temporalen und parietalen Lobi cerebri lässt sich keine eindeutige Korrelation zwischen extra- und intrakraniellen Verletzungen finden. Insgesamt weist die rechte intrakranielle Hemisphäre etwas häufiger Traumata auf als die linke Seite. Für die extrakraniellen Verletzungen stellt sich dabei eine relativ ausgeglichene Verteilung auf beiden Seiten dar. Auffällig ist jedoch, dass es temporal rechts (15,8%) sowie temporal links (14,7%) zu deutlich mehr extrakraniellen Traumata kam als im parietalen äußeren Bereich.

Dies spiegelte sich jedoch nicht in der Verteilung der intrakraniellen Verletzungen der Lobi temporales und parietales wider. Hier finden sich auf beiden Seiten keine großen Differenzen. Es könnte ein Hinweis darauf sein, dass eine lokale Krafteinwirkung, die im temporalen Bereich zu einem Hämatom geführt hat, häufig beide Lobi cerebri (temporal und parietal) affiziert hat.

3.2.2.4 Analyse der kranialen Frakturen

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Betrachtung der kranialen Traumata (Abbildung 3.19).

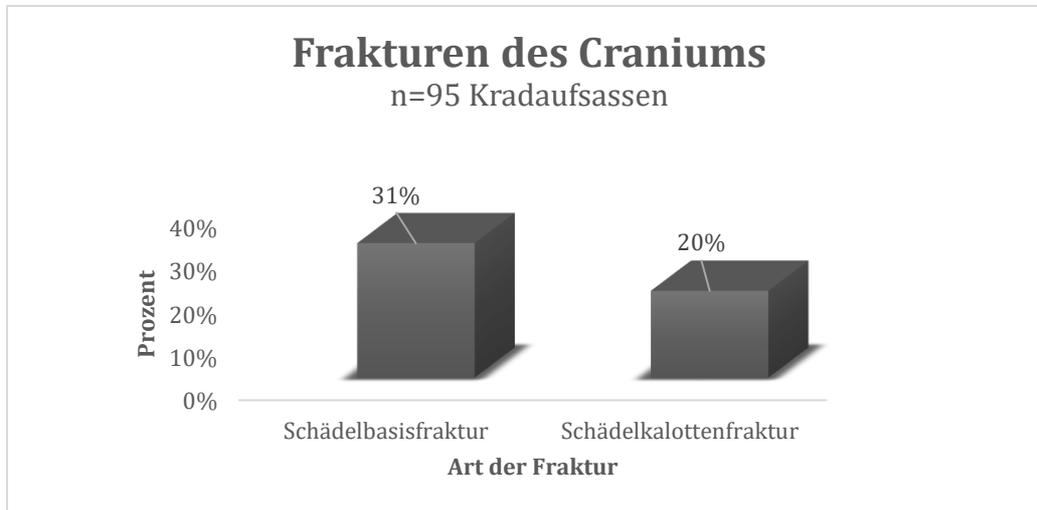


Abbildung 3.19: Auswertung der Schädelbasis- und Kalottenfrakturen

Bei jedem Fünften Kraftradfahrer konnte eine Schädelkalottenfraktur dokumentiert werden. Schädelbasisfrakturen, welche grundsätzlich mit einem höheren ©AIS-Score zu bewerten sind, zeigten sich bei 31 Prozent. Dies verdeutlicht die Schwere der Verletzungen des untersuchten Unfallkollektivs.

Im vorherigen Abschnitt hat sich der Truncus cerebri als besonders häufig betroffene und vulnerable intrakranielle Struktur herauskristallisiert. Im folgenden Abschnitt sind mögliche Zusammenhänge zwischen einer Schädelfraktur und einem Trauma des Truncus cerebri, welches bei knapp jeder dritten (32%) tödlich verunglückten Person nachgewiesen werden konnte, untersucht. Dabei wird zwischen Schädelbasis und Schädelkalotte differenziert.

Während mit 31 Prozent bei mehr Kradarfsassen eine Schädelbasisfraktur als eine Fraktur der Schädelkalotte (20%) festgestellt wurde, stellt sich für den Bezug zum Truncus cerebri ein ausgeglicheneres Bild dar. So wurde für 69 Prozent der Personen mit einer Schädelbasisfraktur auch ein Trauma des Truncus cerebri dokumentiert. Bei einer Fraktur der Schädelkalotte wurde eine Verletzung des Truncus cerebri für 68 Prozent der Verunglückten belegt.

Wenn es zu keiner Fraktur der Schädelknochen gekommen war, ließen sich deutlich seltener Verletzungen feststellen. Bei einer intakten Schädelbasis zeigten sich bei 15 Prozent der Opfer

Schäden am Truncus cerebri, während es bei einer intakten Schädelkalotte 22 Prozent waren (n=17/76). Bei diesen 17 Verunglückten ereignete sich jedoch in 10 Fällen eine Schädelbasisfraktur.

Insgesamt betrachtet besteht ein sehr hohes Risiko, wenn es zu einer Schädelfraktur kommt (unabhängig ob Schädelbasis oder -kalotte), ein Trauma des Truncus cerebri zu erleiden. Dieses Risiko nimmt bei einem unversehrten Schädelteilbereich (Schädelkalotte oder Schädelbasis intakt) deutlich ab. Es lässt sich jedoch ein um sieben Prozent erhöhtes Risiko einer Läsion des Truncus cerebri bei einer intakten Schädelkalotte im Vergleich zu einer intakten Schädelbasis nachweisen. Wenn der komplette Schädel unversehrt geblieben ist, wurden mit 12 Prozent die wenigsten Schäden am Truncus cerebri festgestellt.

3.3 Analyse von Verletzungen und Unfallhergang

Der folgende Abschnitt analysiert die Kopfverletzungen der Kradaufsassen in Abhängigkeit vom Unfallhergang. Es werden die Kopfverletzungen in Bezug zum Unfallgegner und zur Kollisionsstellung mit dem Pkw untersucht.

3.3.1 Kopfverletzungen in Abhängigkeit des Unfallgegners

In Abbildung 3.20 ist die Distribution der Kopfverletzungen ab einem ©AIS Kopf 3+ in Relation zum Unfallgegner dargestellt.

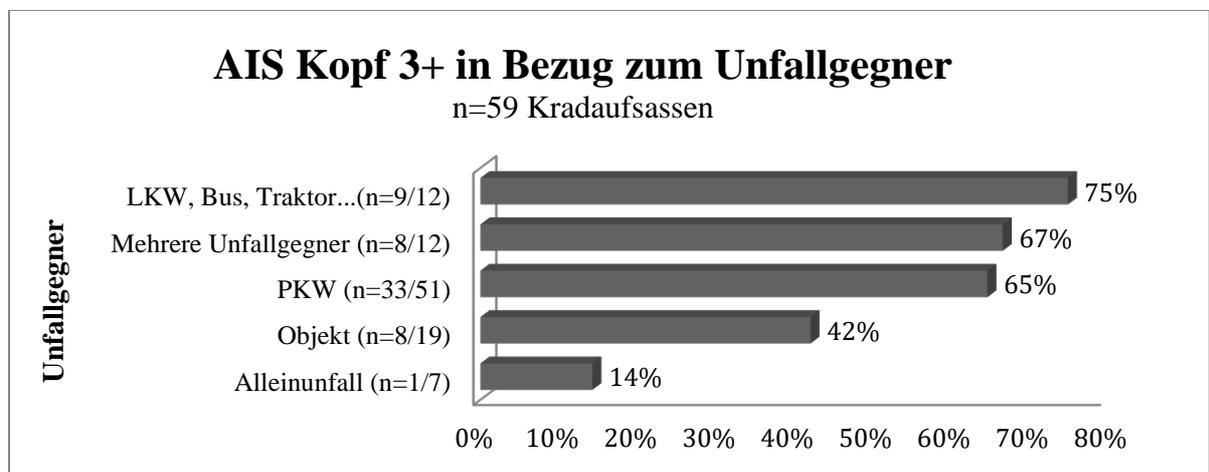


Abbildung 3.20: ©AIS Kopf 3+ in Abhängigkeit vom Unfallgegner

Die häufigsten Kopfverletzungen ereigneten sich bei einer Kollision mit einem großen Fahrzeug wie einem Lkw, Bus oder landwirtschaftlichen Fahrzeug (75%, n=9/12). Bei eingehender Betrachtung zeigt sich, dass acht von neun Kradaufsassen, die mit einem Lkw, Bus oder landwirtschaftlichen Fahrzeug kollidierten und im Institut obduziert wurden, einen ©AIS Kopf von fünf oder sechs hatten. Diese Zahlen spiegeln die hohe Schwere der Kopfverletzungen wider. Mehrere Unfallgegner (67%, n=8/12) zählen ebenfalls zu einer Kollisionsgruppe, welche zu schweren Kopfverletzungen führte.

Als der mit Abstand am häufigsten vertretene Unfallgegner (n=51) haben Unfälle mit einem Pkw bei 65 Prozent (n=33/51) zu schweren Kopfverletzungen geführt. Unfälle mit Objekten führten in 42 Prozent (n=8/19) der Fälle zu schweren Traumata des Kopfes. Alleinunfälle ohne Objektenprall stellen in diesem Unfallkollektiv eine Unfallkonstellation dar, bei der es in den wenigsten Fällen zu gravierenden Kopfverletzungen nach ©AIS gekommen ist.

Damit die Schwere der Kopfverletzungen in Abhängigkeit vom Unfallgegner nicht nur allgemein, sondern auch im Detail untersucht werden kann, wird in Tabelle 3.2 die Distribution der intrakraniellen Verletzungen in Bezug zum Unfallgegner dargestellt. In Anlehnung an Abbildung 3.17 werden ebenfalls nur Traumata ab ©AIS Kopf 3+ abgebildet.

Tabelle 3.2: ©AIS Kopf 3+ in Bezug zum Unfallgegner

Kopfverletzung	Alleinunfall (n=7)	Lkw, Bus (n=12)	Objekt (n=19)	Mehrere Gegner (n=12)	Pkw (n=51)
<i>Truncus cerebri</i>	0%	58%	32%	42%	29%
<i>Lobus frontalis</i>	0%	58%	5%	58%	28%
<i>Lobus parietalis dextra</i>	0%	67%	5%	50%	26%
<i>Lobus parietalis sinistra</i>	0%	58%	11%	50%	20%
<i>Lobus temporalis dextra</i>	0%	67%	16%	50%	26%
<i>Lobus temporalis sinistra</i>	0%	50%	11%	58%	24%
<i>Lobus occipitalis</i>	14%	75%	21%	42%	26%
<i>Cerebellum (Kleinhirn)</i>	0%	50%	16%	33%	8%
<i>Schädelkalottenfraktur</i>	0%	50%	16%	50%	18%
<i>Schädelbasisfraktur</i>	0%	58%	26%	42%	29%
<i>Komplette Destruktion des Kopfes</i>	0%	42%	5%	33%	2%

Aus Tabelle 3.2 geht hervor, dass unterschiedliche intrakranielle Strukturen in Abhängigkeit vom Unfallgegner traumatisiert werden. Der Alleinunfall führte lediglich in einem von sieben Fällen (14%) zu einem Trauma des Lobus occipitalis mit einem AIS-Schweregrad von drei. Ansonsten kam es zu keinen Verletzungen.

Unfälle mit großen Fahrzeugen, wie einem Lkw, Bus oder landwirtschaftlichen Fahrzeug, erwiesen sich als besonders schädlich für alle intrakraniellen Strukturen. Mehr als jede zweite Person (58%) erlitt eine Verletzung des Truncus cerebri. Darüber hinaus lassen sich für diesen Unfallgegner mit 42 Prozent am häufigsten vollständige Destruktionen des Kopfes belegen. Ebenfalls imponiert, dass es bei Kollisionen mit Lkws zu den meisten Schädelbasisfrakturen (58%) gekommen ist. Diese Zahl ist identisch mit der Häufigkeit der bereits genannten Traumata des Truncus cerebri (58%).

Weiterhin weisen 75 Prozent der Verunglückten, die mit einem Lkw, Bus oder landwirtschaftlichen Fahrzeug kollidierten, ein Trauma des Lobus occipitalis auf. Der Lobus frontalis (58%) war hingegen seltener betroffen.

Kollisionen mit einem Objekt führten vor allem zu häufigen Verletzungen des Truncus cerebri (32%), des Lobus occipitalis (21%) sowie zu einer Schädelbasisfraktur (26%). Andere intrakranielle Strukturen waren weitaus seltener betroffen. Auch eine komplette Destruktion des Kopfes erfolgte nur in fünf Prozent der Fälle (n=1/19).

Für Pkw-Unfälle zeigt sich im Vergleich zu mehreren Unfallgegnern sowie Lkw, Bussen und landwirtschaftlichen Fahrzeugen eine relativ ausgewogene und auf niedrigerem Niveau persistierende Distribution der intrakraniellen Verletzungen. Auch eine komplette Destruktion des Kopfes kam mit zwei Prozent äußerst selten vor.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass nur der Alleinunfall ohne Anprall an ein Objekt in dem untersuchten Unfallkollektiv, die intrakraniellen Strukturen der Kradaufsassen weniger geschädigt hat. Ansonsten konnten für alle Unfallgegner Traumata des Truncus cerebri nachgewiesen werden, die bei Unfällen mit großen Fahrzeugen wie Lkws oder bei Kollisionen mit mehreren Unfallgegnern häufiger als bei anderen Unfallkonstellationen vorgekommen sind. Dies gilt ebenfalls für komplette Destruktionen des Kopfes. Bei Kollisionen mit Objekten und Pkws war der Kopf verhältnismäßig nicht so häufig betroffen.

3.3.2 Kopfverletzungen in Abhängigkeit der Kollisionsstellung

Nachdem im vorherigen Abschnitt der Unfallgegner untersucht wurde, werden in Abbildung 3.21 die Kopfverletzungen in Abhängigkeit der Kollisionsstellung mit dem häufigsten Unfallgegner, dem Pkw, analysiert.

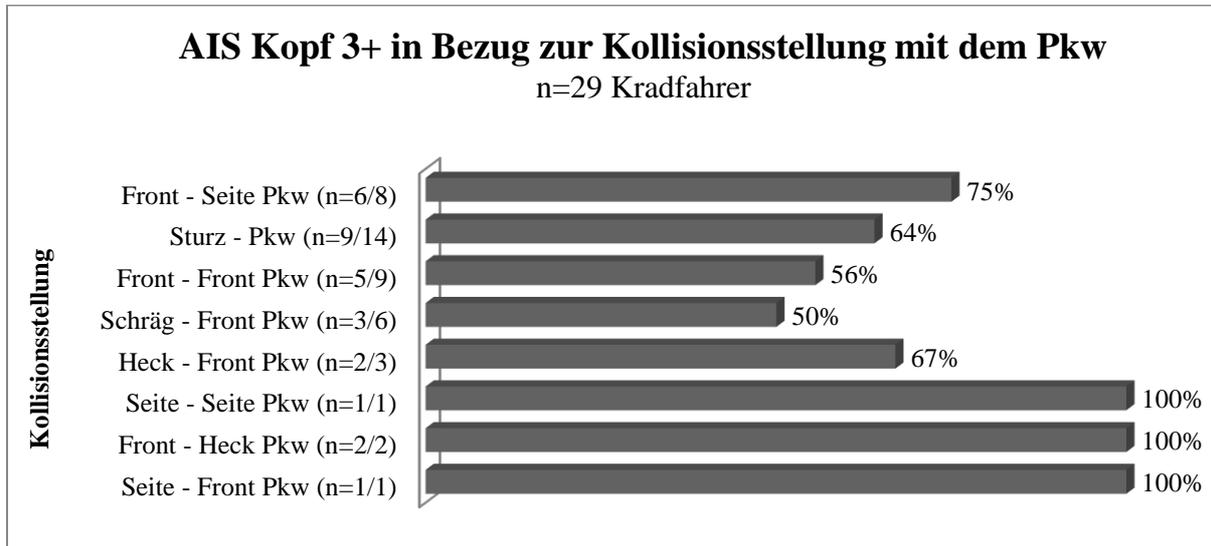


Abbildung 3.21: ©AIS Kopf 3+ in Abhängigkeit der Kollisionsstellung

Es können für die zum Schluss aufgeführten Kollisionsstellungen zwischen Krad und Pkw (Seite-Seite Pkw, Front-Heck Pkw, Seite-Front Pkw) aufgrund zu kleiner Fallzahlen keine aussagekräftigen Schlussfolgerungen gezogen werden.

Die führende Kollisionsstellung, bei der es zu schweren Kopfverletzungen gekommen ist, stellt mit 75 Prozent ein Zusammenstoß der Front des Krads mit der Seite des Pkws dar. Wenn es in dem vorliegenden Unfallkollektiv zu einem Sturz gekommen ist, erlitten 64 Prozent Kopfverletzungen mit einem ©AIS zwischen drei und sechs. Front-Front Kollisionen führten in 56 Prozent der Fälle zu schweren Kopfverletzungen. Bei schräg-frontalen Zusammenstößen erlitten 50 Prozent der Kradaufsassen eine schwere Kopfverletzung.

Im nächsten Abschnitt sind die intrakraniellen Verletzungen in Abhängigkeit der Kollisionsstellung dargestellt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3.3 abgebildet.

Tabelle 3.3: ©AIS Kopf 3+ in Bezug zur Kollisionsstellung

Kopfverletzung	Sturz-Pkw (n=9)	Front-Seite Pkw (n=6)	Front-Front Pkw (n=5)	Schräg-Front Pkw (n=3)
<i>Truncus cerebri</i>	44%	33%	80%	67%
<i>Lobus frontalis</i>	44%	50%	40%	33%
<i>Lobus parietalis dextra</i>	33%	67%	60%	33%
<i>Lobus parietalis sinistra</i>	33%	33%	40%	33%
<i>Lobus temporalis dextra</i>	33%	83%	60%	33%
<i>Lobus temporalis sinistra</i>	33%	67%	60%	33%
<i>Lobus occipitalis</i>	56%	50%	60%	33%
<i>Cerebellum</i>	22%	33%	60%	0%
<i>Schädelkalottenfraktur</i>	33%	17%	20%	0%
<i>Schädelbasisfraktur</i>	44%	33%	80%	100%
<i>Komplette Destruktion des Kopfes</i>	11%	0%	0%	0%

Aufgrund der relativ kleinen Fallzahlen für die einzelnen Kollisionsstellungen lassen sich nur eingeschränkt Erkenntnisse aus den vorliegenden Daten ziehen. Die häufigste Kollisionsstellung in Bezug auf Pkw-Unfälle wird durch einen Sturz des Krads und anschließenden Zusammenstoß mit einem Pkw abgebildet. Hier kam es in 44 Prozent der Fälle (n= 4/9) zu einem Trauma des Truncus cerebri. Auffällig ist, dass es genauso oft zu einer Schädelbasisfraktur (44%) gekommen ist. Ebenfalls häufig war bei dieser Kollisionsstellung der Lobus occipitalis (56%, n=5/9) betroffen. Die anderen Lobi cerebri zeigen genauso häufig eine schwere Verletzung wie Kalottenfrakturen vorkamen (33%).

Bei frontaler Kollision des Kraftrads mit der Seite des Pkws ist eine Affektion des Lobus temporalis dextra mit 83 Prozent ($n=5/6$) festzustellen. Hier müssen die einzelnen Unfälle noch genauer untersucht werden, um einen kausalen Zusammenhang zwischen den einzelnen Kopfverletzungen und dem Unfallhergang identifizieren zu können. Erwähnenswert ist wie bei der bereits beschriebenen Kollisionsstellung Sturz-Pkw, dass sich für Frakturen der Schädelbasis und Traumata des Truncus cerebri identische Zahlen dokumentieren lassen.

Mit 80 Prozent ($n=4/5$) können prozentual gesehen die meisten Schädigungen des Truncus cerebri bei Kollisionen zwischen der Front von Krad und Pkw nachgewiesen werden. Darüber hinaus finden sich durchweg hohe Prozentzahlen für die anderen zerebralen Strukturen.

Für schräge Kollisionen des Kraftrads mit der Front des Pkw finden sich in der untersuchten Stichprobe lediglich drei Kradaufsassen, die mit einem AIS Kopf 3+ bewertet wurden ($n=3/6$). Aufgrund der kleinen Fallzahl sind Schlussfolgerungen nur unter Vorbehalt zu werten. In allen drei Fällen zeigt sich eine Schädelbasisfraktur und in zwei von drei Fällen eine Verletzung des Truncus cerebri.

3.4 Analyse des Kopfschutzes

3.4.1 Übersicht der Helmparameter

Die Untersuchung des Helms ist ein wichtiger Aspekt bei der Analyse von Kopfverletzungen. In Abbildung 3.22 sind die unterschiedlichen Helmtypen der Kradaufsassen dargestellt.

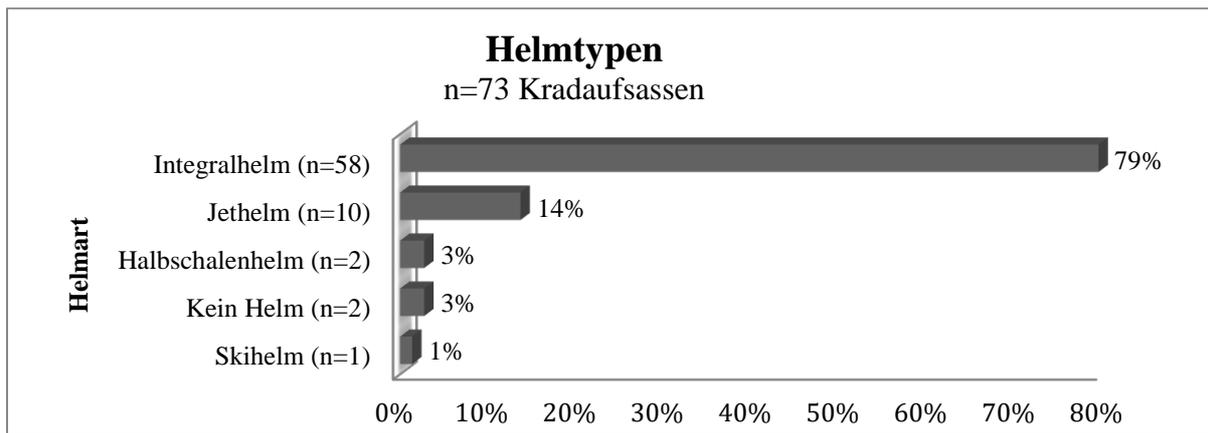


Abbildung 3.22: Helmtypen der Kradaufsassen

Der Integralhelm bildet mit 79 Prozent den am häufigsten getragenen Helmtyp in der vorliegenden Stichprobe ab und wurde vor allem von Fahrern von Krafträdern mit stärkerer Motorisierung getragen. 14 Prozent (n=10) der Opfer verunglückten mit einem Jethelm. Es zeigt sich, dass dieser Helmtyp bevorzugt von Rollerfahrern und Fahrern von Leichtkrafträdern getragen wurde. Absolute Ausnahmen stellen Halbschalenhelme (3%) und Skihelme dar (1%). Zwei Kradaufsassen trugen überhaupt keinen Helm.

Bei 22 Kradaufsassen war aufgrund einer fehlenden Bild- und unvollständiger Unfalldokumentation der Helmstatus nicht mehr rekonstruierbar.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Frage, ob sich während des Unfalls ein Helmverlust ereignete. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3.23 dargestellt.

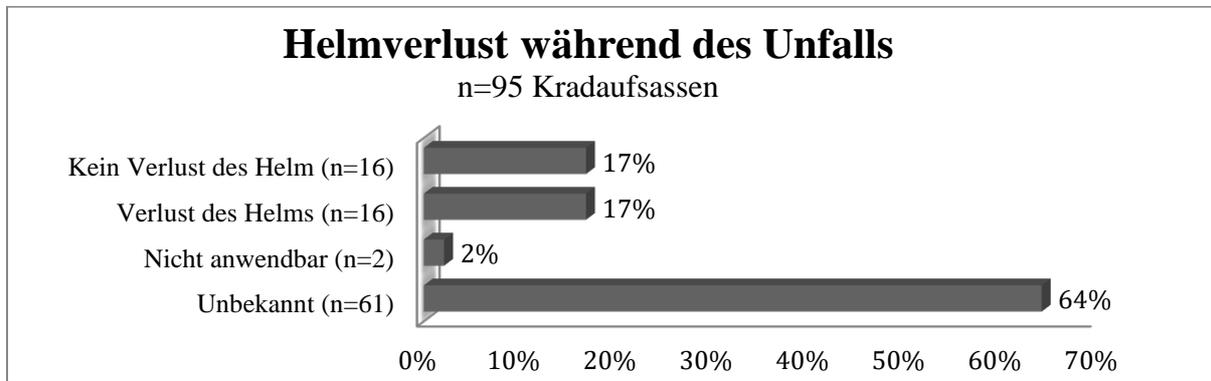


Abbildung 3.23: Helmverluste der Kradaufsassen während des Unfalls

Abbildung 3.23 verdeutlicht, dass es äußerst diffizil ist, das Helmverhalten während des Unfalls zu rekonstruieren (64% unbekannt). Ein Verlust des Helms wurde bei 17 Prozent (n=16) der verunglückten Kradaufsassen sicher nachgewiesen. Ebenfalls konnte bei 17 Prozent der Opfer verifiziert werden, dass es zu keinem Helmverlust gekommen war. Bei zwei Prozent (n=2) der Kradaufsassen war keine Evaluierung des Helmverhaltens möglich, da sie von vornherein ohne Helm fuhren.

Abschließend soll untersucht werden, wie häufig es zu Helmbrüchen gekommen ist.

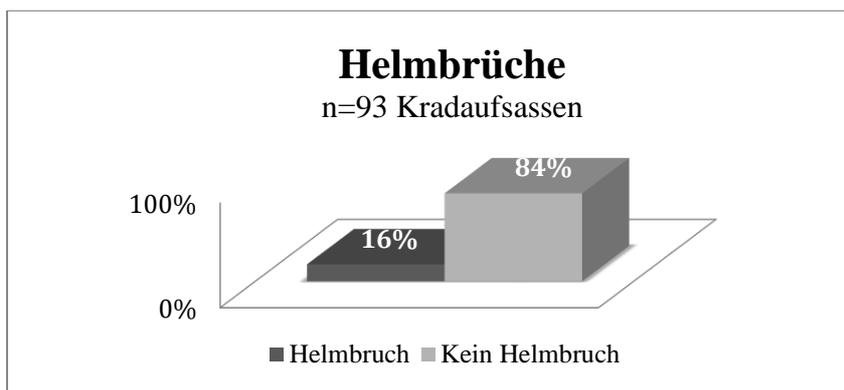


Abbildung 3.24: Helmbeschädigungen der Kradaufsassen

84 Prozent der Opfer überstanden den Unfall ohne einen bildmorphologisch und in der Unfalldokumentation nachweisbaren Bruch der Helmschale. Bei 16 Prozent liegt ein Bruch vor. (Abbildung 3.24). Eine differenzierte Untersuchung der Tiefe und Ausprägung der Beschädigung, wie z.B. eine Affektion des Styropors, war nicht durchführbar.

3.4.2 Analyse der Kopfverletzungen in Bezug zum Helmschutz

Nachdem im vorherigen Abschnitt der Helm als eigenständiger Parameter untersucht wurde, analysiert dieses Kapitel der Arbeit die Kopfverletzungen in Bezug zum Kopfschutz.

3.4.2.1 Kopfverletzungen in Abhängigkeit des Helmverlusts

Um von der untersuchten Stichprobe eine erste evidenzbasierte Einschätzung des Helmimpacts zu bekommen, ist die Verteilung des maximalen ©AIS des Kopfes in Abhängigkeit des Helmverhaltens dargestellt.

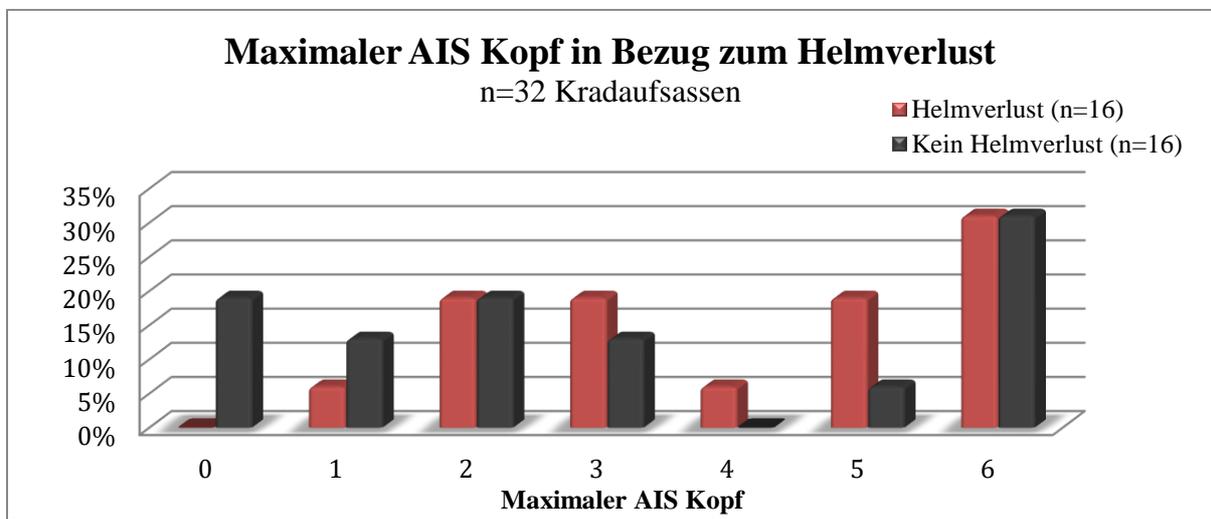


Abbildung 3.25: Maximaler ©AIS Kopf in Abhängigkeit vom Helmverlust

Kradaufsassen, die keine oder nur leichte Verletzungen als schwerste Kopfverletzung erlitten haben (maximaler ©AIS Kopf=0-1), verzeichneten in der überwiegenden Zahl der Fälle keinen Helmverlust. Lediglich für mäßige Kopfverletzungen (maximaler ©AIS Kopf=2) differiert der Anteil der Kopfverletzungen bei Helmverlust und keinem Helmverlust nicht.

Bei schweren, sehr schweren und kritischen Kopfverletzungen (maximaler ©AIS Kopf 3-5) weisen Opfer mit Helmverlust deutlich häufiger eine schwere Kopfverletzung auf als Opfer ohne Helmverlust. Für nicht mehr behandelbare Kopfverletzungen (maximaler ©AIS Kopf=6) lassen sich keine Differenzen zwischen Kradaufsassen ohne und mit Helmverlust beobachten.

3.4.2.2 Analyse von Kopfverletzungen und Helmbrüchen

Ein weiterer essenzieller Parameter wird durch den bereits angesprochenen Helmschaden abgebildet. In Abbildung 3.26 wird die Distribution der Helmbrüche in Projektion auf die Lobi cerebri sowie das Cerebellum dargelegt.

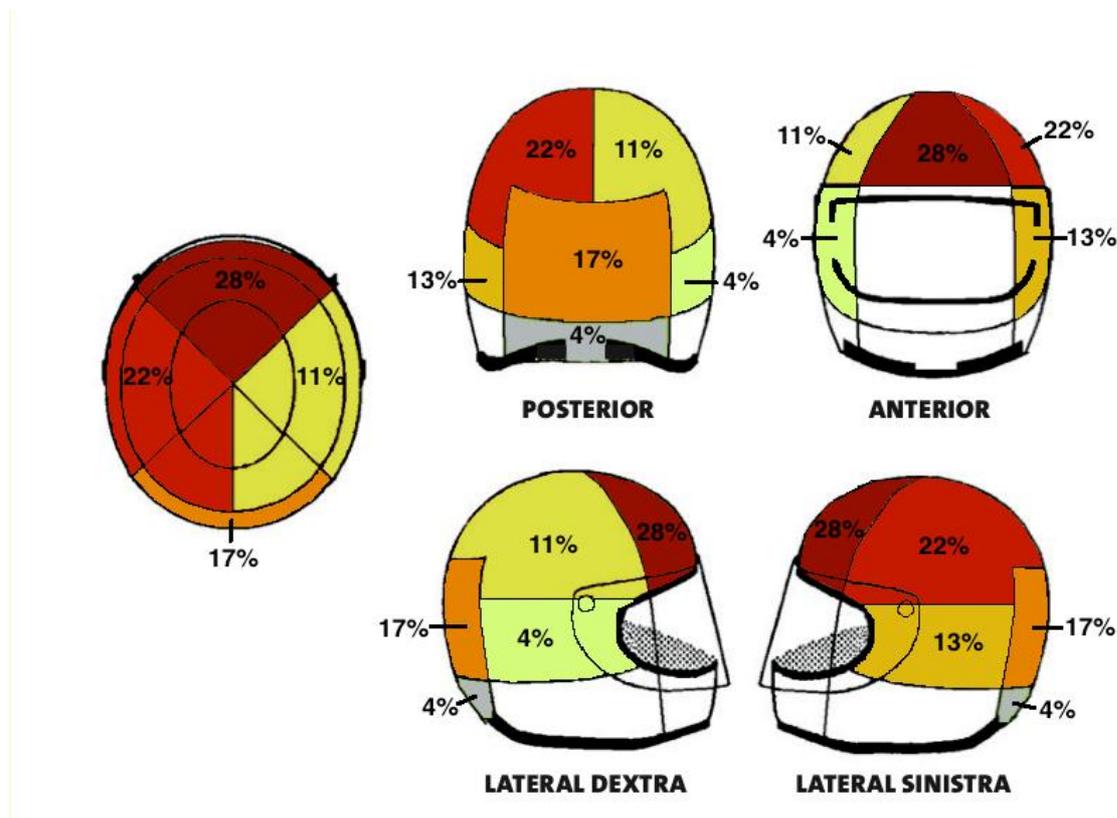


Abbildung 3.26: Helmbrüche in Projektion auf die Lobi cerebri

Die frontale Helmregion, welche konkordant mit der Region des Lobus frontalis ist, weist in dem vorliegenden Unfallkollektiv mit 28 Prozent den höchsten Anteil an Helmbrüchen auf. Im Vergleich dazu ist die kontralateral gelegene posteriore Helmregion mit Projektion auf den Lobus occipitalis mit 17 Prozent Schäden deutlich seltener betroffen.

Für die lateral sinistra lokalisierten Bereiche lassen sich mit 22 Prozent (Projektion auf den Lobus parietalis sinistra) und 13 Prozent (Projektion auf den Lobus temporalis sinistra) häufiger Brüche beobachten als auf der kontralateralen Seite. Hier können im Bereich des Lobus parietalis dextra lediglich halb so viele Brüche (11%) und in der Region des Lobus temporalis dextra nur vier Prozent an Helmbrüchen nachgewiesen werden.

Der posteriore inferiore Helmsektor wurde mit vier Prozent der Schäden ebenfalls sehr selten affiziert.

Die folgende Darstellung dient dazu, die Distribution der intrakraniellen und kraniellen Verletzungen in Abhängigkeit des Helmschadens zu untersuchen. Die Konfrontation zwischen der Lokalisation der Helmbrüche und der zerebralen Schäden soll Hinweise auf einen möglichen Verletzungsmechanismus geben.

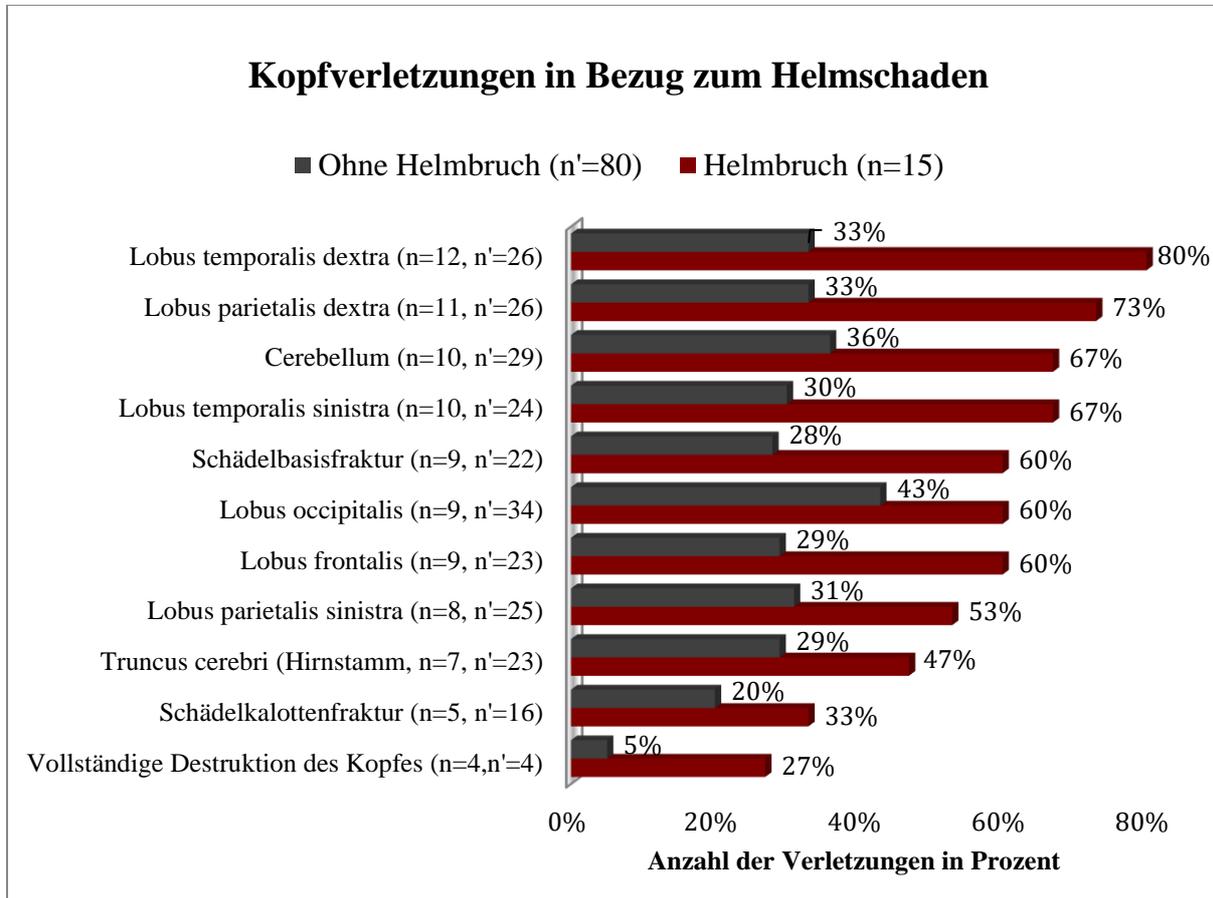


Abbildung 3.27: Intrakranielle Traumata in Abhängigkeit des Helmschadens

Die Analyse zeigt, dass prozentual gesehen bei Nachweis eines Helmbruchs deutlich häufiger intrakranielle und kranielle Verletzungen aufgetreten sind. Dies trifft für alle untersuchten Regionen zu. Insbesondere bei einer vollständigen Destruktion des Kopfes konnte in dem vorliegenden Kollektiv mit fünf gegenüber 27 Prozent ein prägnanter Unterschied festgestellt werden.

Bei Betrachtung der Lobi cerebri lässt sich hingegen eine relativ ausgeglichene Distribution der Verletzungen verzeichnen. Lediglich der Lobus occipitalis war mit 43 Prozent bei Kradaufsassen ohne Helmbruch etwas häufiger betroffen.

In Bezug auf den Truncus cerebri fällt auf, dass es mit 47 Prozent im Vergleich zu den restlichen intrakraniellen Strukturen und im Vergleich zu den anderen zerebralen Strukturen etwas seltener zu einem Trauma kam, wenn es zu gravierenden Helmschäden gekommen war.

Auch im Vergleich zum Kollektiv ohne Helmschäden mit Traumata von 29 Prozent des Truncus cerebri ist hier eine deutliche Zunahme zu beobachten.

Des Weiteren demonstriert Abbildung 3.27, dass bei einem Bruch des Helms die rechtsseitig gelegenen intrakraniellen Strukturen, abgebildet durch den Lobus temporalis dextra (80%) und Lobus parietalis dextra (73%), häufiger ein Trauma erlitten als die linksseitig lokalisierten Lobi temporalis sinistra (67%) und parietalis sinistra (53%). In Bezug auf die Lokalisation der Helmschädigungen stellt Abbildung 3.26 allerdings eine Dominanz der Helmbrüche auf der linken Seite dar. Bei einem äußerlich intakten Helm zeigte sich hingegen eine relativ ausgeglichene Verteilung.

Die Lobi frontalis und occipitalis weisen trotz der deutlich häufigeren Helmschädigung im anterioren Helmsektor (Abbildung 3.26) mit 60 Prozent eine identische Distribution der Verletzungen auf.

Kapitel 4

Diskussion

Trotz sinkender Unfallzahlen zählt das Kraftrad im Straßenverkehr nach wie vor zu den gefährlichsten Transportmitteln. Im Vergleich zum Rückgang der Verkehrstoten durch Pkw-Unfälle konnten für Kraftradfahrer nicht annähernd diese Erfolge verzeichnet werden. Vor allem die relativ hohe Anzahl an jungen Verkehrstoten und Zunahme an älteren Opfern signalisiert weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf. Ziel dieser Dissertation ist es, die Verletzungen der Kradaufsassen mit Schwerpunkt auf die Kopfverletzungen näher zu untersuchen und sie in einen Kontext mit dem Unfallhergang zu setzen.

4.1 Analyse des Unfallgeschehens

Im ersten Schritt dieser Arbeit wurde das Unfallgeschehen detailliert analysiert, damit anschließend Rückschlüsse zwischen den Verletzungen und dem Unfallhergang gezogen werden konnten. Darüber hinaus stellten die Parameter des Unfallgeschehens, exemplarisch durch die Kollisionsstellung oder den Unfallgegner repräsentiert, wichtige Einflussgrößen für die Evaluation von Verletzungsmustern der Kradaufsassen dar.

4.1.1 Unfallkollektiv

Das Unfallkollektiv ist durch die in den Jahren 2004 bis 2014 in der Rechtsmedizin der LMU obduzierten Kradaufsassen vorgegeben. Durch diese Zusammenstellung war es möglich, ein einheitliches Unfallkollektiv aus ausschließlich mortal verunglückten Kradaufsassen zu gewinnen und ihre Verletzungen zu klassifizieren. Kritisch zu werten ist, dass ein Vergleich mit vielen anderen Studien häufig nur eingeschränkt möglich ist, weil im Gegensatz zu dem hier vorliegenden Unfallkollektiv sich die Auswertung nicht nur auf mortal verunglückte Kradaufsassen, sondern auch auf verletzt überlebende Kradaufsassen bezieht.

Das untersuchte Unfallkollektiv setzt sich aus 91 Prozent männlichen und neun Prozent weiblichen mortal verunglückten Kradaufsassen zusammen. Im Vergleich zum ADAC 2013 [8] (83% männlich, 14% weiblich, 4% unbekannt) und dem MAIDS Report [27] (86% männlich, 14% weiblich) sowie der Auswertung des Statistischen Bundesamtes 2016 [2] (82% männlich, 18% weiblich), in denen Verletzte und Tote untersucht wurden, ließ sich in dieser Arbeit eine noch höhere Prozentzahl an männlichen Kradaufsassen nachweisen. Dies könnte einen Hinweis darauf geben, dass die männlichen Kradaufsassen in diesem Kollektiv überrepräsentiert sind. Betrachtet man jedoch die Unfallzahlen des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2016 für ausschließlich mortal verunglückte Kradaufsassen (90% männlich, 10% weiblich), zeigt sich eine ähnliche Verteilung.

Die Altersverteilung der Kradaufsassen lässt eine Verteilung zugunsten von drei Gruppen erkennen. 32 Prozent der Opfer waren junge Kradaufsassen mit einem Alter von <25 Jahren (davon 18% im Alter von 18-24 Jahren). Diese Kumulation in dieser Altersgruppe bestätigt sich ebenfalls in anderen Auswertungen. Das Statistische Bundesamt [2] weist mit 23 Prozent mortal verunglückter Krafradaufsassen <25 Jahren im Jahr 2016 ebenfalls eine deutliche Akkumulation der Unfallopfer in dieser Altersgruppe auf (davon 15% im Alter von 18-24 Jahren).

Die zweitgrößte Gruppe in dieser Arbeit wird durch die 41-50-Jährigen gebildet (25%). Es sollte weiter untersucht werden, inwiefern es sich hierbei um Wiedereinsteiger handeln könnte, die das Kradfahren für eine längere Zeit, zum Beispiel aufgrund beruflicher oder familiärer Beanspruchung, eingestellt und nach einigen Jahren wieder mit dem Fahren begonnen haben. Das Jahr des Führerscheinerwerbs in Relation zur tatsächlichen Straßenverkehrserfahrung in Form von jährlich zurückgelegten Kilometern könnte wichtige Parameter für eine weitere Analyse dieser Altersgruppe liefern. Im Vergleich zur Auswertung des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2016 [2] bestätigen sich diese Zahlen jedoch nicht (16% 41-50-Jährige, 25% in dieser Arbeit). Vielmehr lässt sich dort eine Verschiebung zugunsten eines Altersbereichs von 51-60 Jahren verzeichnen (23%).

Als dritte prädominierende Gruppe konnten die über 60 Jahre alten Kradaufsassen ausgemacht werden (17%). Davon fielen knapp 70 Prozent in die Altersspanne zwischen 61 und 70 Jahren. 13 Prozent waren älter als 75 Jahre. Das Statistische Bundesamt konnte im Jahr 2016 [2] 16 Prozent der Opfer bei den >60- Jährigen dokumentieren. Hier waren jedoch nur 57 Prozent zwischen 61 und 70 Jahre. 32 Prozent hingegen verunglückten in einem Alter >75 Jahre. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass Kradaufsassen >60 Jahre als eine Risikogruppe eingeordnet werden müssen. Jedoch sind aus dieser Gruppe Personen >75 Jahre (13%) unterrepräsentiert im Vergleich zu den Daten des Statistischen Bundesamtes aus dem Jahr 2016 (32%). Es wird deutlich, dass die Anzahl der tödlich verunglückten Senioren ansteigt.

Ein weiteres Indiz hierfür liefert auch die CODES Studie des US Department of Transportation aus dem Jahr 2009 [28], in der 104.000 Kraftradunfälle in 18 US-Staaten untersucht wurden. Es konnte gezeigt werden, dass die Rate an mortal verunglückten Kradaufsassen seit 1997 stärker angestiegen ist als die ebenfalls wachsende Anzahl an zugelassenen Krafträdern. Dabei konnte die höchste Zunahme an Todesfällen für Kradaufsassen >49 Jahren verzeichnet werden. Auch in Deutschland betrug im Jahr 2016 der Anteil der >49-Jährigen knapp 40 Prozent an allen mortal verunglückten Kradaufsassen (Statistisches Bundesamt) [2].

4.1.2 Unfallgegner und Kollisionsstellung

Für die Analyse des Unfallhergangs bilden Unfallgegner und Kollisionsstellung wichtige Einflussfaktoren ab. Erwartungsgemäß konnte der Pkw als der häufigste Unfallgegner in dem in dieser Arbeit untersuchten Unfallkollektiv bestimmt werden (50%). Jedes fünfte Opfer kollidierte mit einem Objekt (19%). Dabei konnten Leitplanken in 37 Prozent (n=7/19), Verkehrszeichen in 32 Prozent (n=6/19) und Bäume in 16 Prozent (3/19) der Fälle als häufigste Anprallobjekte identifiziert werden. 12 Prozent der Kradaufsassen erlitten Kollisionen mit mehreren Unfallgegnern und 11 Prozent stießen mit einem großen Fahrzeug wie einem Lkw, Bus oder landwirtschaftlichen Fahrzeug zusammen. Alleinunfälle ohne Anprall mit einem Objekt (7%) und Unfälle mit einem anderen Krad (1%) waren seltener.

Im Vergleich zu dem hier vorliegenden Unfallkollektiv konnte in der COST 327 Studie [9] (253 Unfallopfer) mit 54 Prozent der Pkw ähnlich häufig als der dominierende Unfallgegner klassifiziert werden. Auch im MAIDS Report 2.0 [27] (921 verunglückte Kradaufsassen, davon 103 mortal verunglückt) wurden 60 Prozent der Unfälle mit einem Pkw dokumentiert. Im Gegensatz dazu wies das Statistische Bundesamt [2] für das Jahr 2016 mit 41 Prozent etwas weniger Kollisionen für mortal verunglückte Kradaufsassen mit Pkws nach. In allen Studien zeigt sich jedoch, dass der Pkw den häufigsten Kollisionsgegner darstellt.

Alleinunfälle bilden mit 26 Prozent in dieser Arbeit ebenfalls ein großes Kollektiv ab (19% Anprall gegen Objekt, 7% ohne Anprall gegen Objekt). Andere Auswertungen ergeben ein ähnliches Resultat. Im Jahr 2016 verunglückten 27 Prozent der Kradaufsassen mortal bei einem Alleinunfall (Statistisches Bundesamt) [2]. Der ADAC [8] verzeichnet sogar 30 Prozent Alleinunfälle. Jedoch wurden hier in der Regel Unfälle von Schwerverletzten, die mit einem Hubschrauber geborgen werden mussten, ausgewertet. Da Alleinunfälle mit Objktanprall oft zu sehr schweren Verletzungen führen, erklärt es dieses höhere Ergebnis.

Für Alleinunfälle mit einem Objekt konnte der ADAC [8] in 66 Prozent der Fälle die Kategorie Objekt/Baum und in 34 Prozent die Leitplanke als Kollisionsgegenstand nachweisen. Es wird jedoch deutlich, dass Leitplankenkollisionen bei Alleinunfällen mit einem Objekt übereinstimmend häufig, wie in dieser Arbeit (37%), eine Rolle spielen. In der COST 327 Analyse [9] konnten 26,9 Prozent Alleinunfälle nachgewiesen werden. Für Deutschland war die Zahl mit knapp 20 Prozent etwas geringer (Statistisches Bundesamt 2016) [2].

Insgesamt fällt auf, dass in vielen Auswertungen nicht zwischen Alleinunfällen mit Objektenprall und Alleinunfällen ohne Objektenprall unterschieden wird. In zukünftigen Analysen sollte hier auf jeden Fall eine Differenzierung erfolgen, weil sich in dieser Arbeit unterschiedliche Verletzungsmuster und eine divergente Verletzungsschwere zeigen.

Ein weiterer, wichtiger Aspekt bei der Analyse des Unfallhergangs ist die Art der Kollision. In dieser Arbeit wurde der Schwerpunkt auf die detaillierte Auswertung der Kollisionsstellung zwischen Kraftrad und Pkw gelegt, da der Pkw den dominierenden Unfallgegner darstellte und die höchste Fallzahl sowie viele Unfallgutachten für eine Rekonstruktion des Unfalls vorlagen. Bevor es zu einer Kollision mit einem Pkw kam, konnte bei knapp einem Drittel der Kradaufsassen (32%) ein Sturz belegt werden. Weitere häufige Kollisionsstellungen wurden durch frontale Kollisionen des Kraftrads mit der Front (20%) und Seite (18%) des Pkws abgebildet. Schräge Zusammenstöße mit der Front des Pkws ließen sich für 14 Prozent der Kradaufsassen nachweisen. Kollisionen durch Auffahren des Kraftrads auf das Pkw-Heck (5%) oder Auffahrunfälle durch den Pkw auf das Kraftrad (7%) ereigneten sich seltener.

Im Vergleich zu dem hier vorliegenden Unfallkollektiv (32% gestürzte Kradaufsassen) kann der ADAC [8] sogar bei 37 Prozent der Kradaufsassen einen Sturz vor der Kollision nachweisen.

4.2 Analyse der Verletzungen

4.2.1 Überblick der Verletzungsschwere

Einen guten Überblick über die Verteilung der Verletzungsschwere der Kradaufsassen liefert der MAIS (maximaler ©AIS). In dem in dieser Arbeit untersuchten Unfallkollektiv konnte bei 88 Prozent der Verunglückten ein MAIS von vier oder höher nachgewiesen werden. Diese Distribution vergegenwärtigt die hohe Anzahl an schweren Verletzungen, welche die Kradaufsassen von den Unfällen davongetragen haben.

Bei Betrachtung der einzelnen MAIS-Kategorien von eins bis sechs bildete ein MAIS von sechs mit 44 Prozent die führende Verletzungsschwere ab. Dahinter folgten MAIS-Werte von vier und fünf mit jeweils 22 Prozent.

Vergleicht man diese Resultate mit dem Forschungsbericht der Unfallforschung der Versicherer des GDV [29], wo alle in einen Unfall verwickelte Kradaufsassen untersucht wurden (auch Überlebende), lässt sich eine gravierende Verschiebung zugunsten von leichteren Verletzungen erkennen. So betrug der Anteil an Kradaufsassen mit einem MAIS von vier oder höher lediglich 14 Prozent (88% in dieser Arbeit). Ein MAIS von sechs konnte ebenfalls nur bei neun Prozent der Kradaufsassen festgestellt werden (in diesem Unfallkollektiv 44%). Die größte Gruppe hingegen wurde vom GDV mit einem MAIS von 2 identifiziert (30%). Dies ist jedoch dem abweichenden Unfallkollektiv geschuldet, in dem nicht ausschließlich mortal verunglückte Kradaufsassen untersucht wurden.

Auch in der Verteilung des ISS (Injury Severity Score) spiegelt sich die Schwere der Verletzungen wider. Es zeigte sich, dass lediglich drei Prozent der Kradaufsassen dieses Unfallkollektivs kein Polytrauma (ISS <16) und insgesamt nur 15 Prozent kein schweres Polytrauma (ISS <25) erlitten. Bei der Auswertung der schwersten Verletzungen konnte für 44 Prozent der Verunglückten ein ISS von 75 dokumentiert werden. Knapp die Hälfte der Kradaufsassen mit einem ISS von 75 erlitten eine Kopfverletzung mit einem ©AIS=6. Dies verdeutlicht die Schwere der Kopfverletzung an der Gesamtheit der Verletzungen.

Um einen ersten Eindruck über die Schwere der Kopfverletzungen des vorliegenden Unfallkollektivs zu bekommen, wurde der ©AIS des Kopfes bestimmt. In Relation zur COST 327 Studie [9] zeigt sich, dass die in dieser Arbeit untersuchten Kradaufsassen der LMU München wesentlich schwerere Traumata des Kopfes erlitten haben. Am deutlichsten bildet dieses Resultat die Kopfverletzungen mit einem ©AIS von sechs (nicht mehr behandelbare Verletzung) ab. Hier konnten in dieser Dissertation knapp doppelt so viele Traumata (21%) wie in der COST 327 Untersuchung (11%) nachgewiesen werden.

Im Gegensatz dazu ist für die Anzahl der Kradaufsassen mit leichten- sowie ohne Kopfverletzungen eine eindeutige Verteilung zugunsten der COST 327 Studie zu erkennen. Während in dem hier untersuchten Unfallkollektiv 15 Prozent der Kradaufsassen keine Kopfverletzungen erlitten, trifft dies für 33 Prozent in der COST 327 Studie zu (©AIS=0, keine Verletzung). Leichte Kopfverletzungen konnten für 20 Prozent (COST 327) gegenüber 11 Prozent in dieser Arbeit nachgewiesen werden.

4.2.2 Detaillierte Analyse der Kopfverletzungen

Beginnend mit der Untersuchung der äußeren Kopfverletzungen konnten Hinweise auf die Anpralllokalisierung des Kopfes gewonnen werden. Es zeigte sich, dass frontale Hämatome überwiegend im mittleren (11,6%) und seitlichen (rechts: 11,6%, links: 12,6%) Stirnbereich vorgekommen sind. Lateral dextra (rechte Seite) wurden am Kopf vor allem in der temporalen (15,8%), okzipitobasalen (8,4%) und parietalen (7,4%) Region Hämatome dokumentiert. Frontoparietal dextra ließen sich mit 4,2 Prozent weniger Hämatome feststellen. Eine relativ ähnliche Verteilung der Hämatome bildete sich auch lateral sinistra am Kopf ab. Führend war hier ebenfalls die temporale Region (14,7%), gefolgt von der okzipitobasalen (6,4%) und der parietalen sowie parietookzipitalen Region (jeweils 5,3%). Frontoparietal sinistra konnten mit 3,2 Prozent die wenigsten Hämatome belegt werden. Okzipital ließen sich im Vergleich zu den frontalen und lateralen Regionen des Kopfes die wenigsten Hämatome belegen. Auffällig war, dass die Hämatome schwerpunktmäßig im okzipitobasalen Bereich (5,3%) und parietookzipital sinistra (5,3%) zu lokalisieren waren.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit anderen Studien gestaltet sich schwierig, da häufig keine detaillierte Zuordnung der oberflächlichen Verletzung zu den jeweiligen Kopfregionen vorgenommen wurde. Eine Ausnahme bildet die Arbeit von K. Bauer [30]. Er beschäftigt sich jedoch mit der Bewertung und Optimierung des Schutzpotentials von Fahrradhelmen, was eine Gegenüberstellung der Resultate einschränkt. Auffällig ist jedoch, dass bei den mortal verunglückten Fahrradfahrern die meisten oberflächlichen Verletzungen an konkordanten Regionen wie bei den Krafradfahrern nachgewiesen wurden. Am häufigsten waren die linken und rechten temporalen Regionen der Fahrradfahrer betroffen. Auch beidseitig parietal konnten bei den Fahrradfahrern viele oberflächliche Verletzungen nachgewiesen werden. Das gleiche gilt für den links- und rechtsseitigen Stirnbereich. Lediglich der zentrale Stirnbereich war bei Fahrradfahrern deutlich seltener betroffen. Auch okzipitobasal erlitten sie mehr Verletzungen. Da der Fahrradhelm jedoch nicht so tief hinten abschließt wie ein Motorradhelm, könnten hier auch vermehrt Schürfwunden eine Rolle spielen.

Nach den äußeren Kopfverletzungen wurden die intrakraniellen Traumata ab einem ©AIS Kopf 3+ untersucht. Der Truncus cerebri wurde mit 32 Prozent besonders häufig verletzt. Genauso häufig war der Lobus occipitalis betroffen (32%). Jedoch lagen beim Lobus occipitalis lediglich 13 Prozent der Verletzungen in einem Bereich von AIS vier, fünf oder sechs (Truncus cerebri: 100% AIS 5/6). Traumata des auf der kontralateralen Seite des Lobus occipitalis gelegenen Lobus frontalis ereigneten sich seltener (26%).

Die Verteilung der äußeren Kopfverletzungen (mehr als doppelt so viele Hämatome im Stirnbereich wie okzipital) könnte den Verletzungsmechanismus eines Coup-Contre-coup-Traumas mit der schwereren Verletzung auf der Contre-coup-Seite (Lobus occipitalis) bei einem angenommenen vermehrten Anprall im Stirnbereich unterstreichen.

Als schwerstmögliche und nicht zu überlebende Kopfverletzung kristallisierte sich bei acht Prozent der Kradaufsassen eine komplette Destruktion des Kopfes heraus. Diese Klassifikation führte zwar zur Identifikation von Kradaufsassen mit den schwersten Verletzungen, jedoch ist kritisch anzumerken, dass im Nachhinein keine Rekonstruktion und detaillierte Zuweisung der einzelnen Verletzungen zu den beschädigten zerebralen und kranialen Strukturen mehr möglich war. Hier gilt es für die Zukunft eine differenziertere Betrachtung anzustreben und zu versuchen, trotz einer vollständigen Destruktion des Kopfes, die einzelnen Verletzungsmechanismen herauszuarbeiten.

Neben den intrakraniellen Verletzungen konnten auch die kranialen Traumata dokumentiert werden. Dabei wurde zwischen Schädelbasis- und Schädeldachfrakturen differenziert. Eine weitere Differenzierung der unterschiedlichen Knochen war aufgrund der im vorherigen Abschnitt angesprochenen Problematik (vollständige Destruktion des Kopfes) nicht möglich. Es konnte gezeigt werden, dass knapp jeder dritte Kradaufsasse (31%) eine Schädelbasisfraktur und 20 Prozent eine Schädeldachfraktur erlitten.

Abschließend galt es zu untersuchen, inwiefern sich Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Frakturen und Traumata des Truncus cerebri finden ließen. Die Resultate legitimierten diesen Zusammenhang. So wurde bei knapp 70 Prozent der Personen mit einer Schädelfraktur auch eine Verletzung des Truncus cerebri festgestellt. Schädelbasisfrakturen korrelierten dabei etwas häufiger mit Verletzungen des Truncus cerebri als Schädeldachfrakturen. Ereignete sich hingegen keine Fraktur, konnte lediglich bei 12 Prozent der Kradaufsassen ein Trauma des Truncus cerebri detektiert werden.

Insgesamt gesehen wurden im Vergleich zur COST 327 Studie [9] wesentlich mehr schwere Verletzungen in diesem Unfallkollektiv dokumentiert. Während in dieser Arbeit 32 Prozent der Kradaufsassen eine Verletzung des Truncus cerebri erlitten, betrug die Zahl in der COST 327 Analyse lediglich knapp 7 Prozent. Auch das Cerebellum war mit 4 Prozent (16% in dieser Arbeit) deutlich seltener betroffen. Dies gilt auch für Frakturen der Schädelbasis (11,8% gegenüber 31%) und des Schädeldaches (5,5% gegenüber 20%).

Bei der Beurteilung des Verletzungsmechanismus konnten in der COST 327 Arbeit Contre-coup-Verletzungen ausschließlich für zerebrale Strukturen festgestellt werden. Für den Truncus cerebri ist eine Rotation entlang der longitudinalen Körperachse in über 50 Prozent der Fälle registriert worden. Eine rein translatorische Bewegung wurde für 12 Prozent der Verletzungen dokumentiert. Eine Rotation entlang der Transversalachse erkannte man bei 15 Prozent der Traumata des Truncus cerebri. Ebenfalls für 15 Prozent wurde eine Kombination dieser Bewegungen (Translation, Rotation) belegt [9].

Die hohe Anzahl an Verletzungen des Truncus cerebri (32%) in diesem Unfallkollektiv wirft die Frage auf, wie sich Kradaufsassen besser gegen die einwirkenden Kräfte, die solch ein Trauma bedingen, schützen können. Inwiefern Traumata des Truncus cerebri durch andere Protektoren und Schutzmechanismen, welche translatorische und rotatorische Krafteinwirkungen verringern, abgemildert werden könnten, wurde unter anderem in der Arbeit von P. Baars [31] analysiert. Hier wurden Verletzungen des cranio-thorakalen Überganges bei mortal verunglückten motorisierten Zweiradfahrern untersucht. In einzelnen Fallanalysen ist die Reklination des Kopfes mit einer konsekutiven Verletzung des Truncus cerebri in Folge eines frontalen Kopfanpralls als ursächlicher Verletzungsmechanismus ausgemacht worden. Baars führt ein Neck-Brace sowie zwei Airbagsysteme (Spidi, Dainese) als Schutzsysteme an, welche in drei von vier Fällen die Reklination des Kopfes verringert hätten.

Schädeldachfrakturen wurden in der COST 327 Studie vor allem von einer direkten Krafteinwirkung verursacht (86% direkte Krafteinwirkung, z.B. Anprall des Kopfes), Schädelbasisfrakturen hingegen von indirekten Kräften (91% indirekte Krafteinwirkung). Eine indirekte Krafteinwirkung war auch hauptverantwortlich für Verletzungen des Cerebrums (82%) und Cerebellums (81%). Contre-coup-Verletzungen hingegen trafen lediglich für neun Prozent der zerebralen und 19 Prozent der cerebellaren Traumata zu [9].

4.2.3 Kopfverletzungen in Bezug zum Unfallgeschehen

Für die Bewertung der Kopfverletzungen stellte unter anderem auch der Unfallgegner einen wichtigen Einflussfaktor dar. Dafür wurden alle Kopfverletzungen ab einem ©AIS Kopf 3+ untersucht. Es zeigte sich, dass Unfälle mit großen Fahrzeugen wie Lkws und Bussen am häufigsten zu schweren Kopfverletzungen geführt haben (75%). Danach folgten Unfälle mit mehreren Unfallgegnern (67%) und Unfälle mit Pkws (65%). Für Kollisionen mit einem Objekt werden mit 42 Prozent etwas weniger schwere Kopfverletzungen nachgewiesen. Dieses Resultat ist damit zu erklären, dass der Kopf nicht immer einen Objektanprall erlitt. Mit lediglich 14 Prozent konnten für Alleinunfälle ohne Objektanprall erwartungsgemäß am seltensten eine schwere Kopfverletzung dokumentiert werden.

Bei der detaillierten Analyse der einzelnen Verletzungen ab einem ©AIS Kopf 3+ konnten für die vier häufigsten Kollisionsstellungen vielfach Verletzungen des Truncus cerebri nachgewiesen werden. Führend waren hier die frontalen Kollisionen zwischen Kraffrad und Pkw mit 80 Prozent. Aber auch die Kollisionsstellungen Schräg-Front Pkw (67%), Sturz-Pkw (44%) und Front-Seite Pkw (33%) hatten viele Traumata des Truncus cerebri zur Folge. Weitere Auffälligkeiten zeigten sich für frontale Kollisionen zwischen Kraffrad und Pkw in Form von Schädelbasisfrakturen (80%) und in einer ubiquitären Schädigung aller Lobi cerebri (60% jeder Lobus cerebri betroffen, außer Lobus parietalis sinistra: 40%).

Ein Vergleich mit den Resultaten in dieser Dissertation ist nur eingeschränkt möglich, da andere Studien unterschiedliche Gruppierungen der ©AIS-Schweregrade gewählt haben. In Zukunft sollte auch hier eine einheitliche Darstellung angestrebt werden. Die COST 327 Studie [9] differenziert zwischen ©AIS=0, ©AIS=1, ©AIS=2-4 und ©AIS=5/6. Diese Methodik konnte für das hier vorliegende Unfallkollektiv nicht übernommen werden, da es zum einen zu extrem geringen Unfallzahlen der einzelnen Gruppen geführt hätte und zum anderen aufgrund der hohen Verletzungsschwere der Kradaufsassen für die Bereiche ©AIS=0 und ©AIS=1 fast immer Kopfverletzungen vorhanden waren. Darüber hinaus fasste die COST 327 Studie mäßige und sehr schwere Verletzungen zusammen (©AIS=2-4). In dieser Auswertung wurden jedoch lediglich Verletzungen berücksichtigt, die mindestens als schwer (©AIS=3) klassifiziert werden konnten, um von einem ©AIS=2 differenzieren zu können.

Trotzdem lassen sich aus den Resultaten Hinweise auf besonders gefährliche Kollisionsstellungen ableiten. So konnten im COST 327 final Report mit 57,1 Prozent die meisten Kopfverletzungen mit einem ©AIS=5/6 für frontale Kollisionen zwischen Kraftrad und gegnerischem Fahrzeug gefunden werden. Dies stimmt mit der höchsten Anzahl an Verletzungen des Truncus cerebri in dieser Dissertation (80%, entspricht ©AIS=5/6) überein. Für frontale Kollisionen des Kraftrads mit der Seite des Gegners (COST 327: 15% ©AIS=5/6) identifiziert diese Arbeit bei 33 Prozent ein Trauma des Truncus cerebri.

Zwischen der Kollisionsstellung mit einem Sturz der Kradaufsassen vor der Kollision und einer schräg frontalen Kollision des Kraftrads mit dem Gegner wurde hingegen in der COST 327 Studie nicht differenziert. Dabei konnten in dieser Arbeit zum einen viele Stürze vor einer Kollision nachgewiesen werden und zum anderen auch häufig schwere Verletzungen. Dies betraf den Lobus occipitalis mit 56 Prozent. Auch Verletzungen des Truncus cerebri sowie Schädelbasisfrakturen wurden bei jeweils 44 Prozent der Opfer dokumentiert. Weiterhin war die Kollisionsstellung Sturz-Pkw die einzige, in der es zu einer kompletten Destruktion des Kopfes gekommen ist. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass es wichtig ist einen Sturz vor der Kollision zu verhindern.

Für alle Kollisionsstellungen konnten stets hohe prozentuale Verletzungen des Großhirns festgestellt werden. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Resultaten von J. Weissmahr [32]. Er untersuchte in seiner Arbeit die Ursachen und Charakteristiken von Kopfverletzungen bei tödlichen Kraftradunfällen.

Für einen frontalen Aufprall differenzierte J. Weissmahr zwischen einem kaudalen und kranialen Frontalbereich. Bezugnehmend auf den kranialen Frontalbereich, welcher in dieser Arbeit untersucht wurde, zeigten sich 80% Schädelbasisfrakturen sowie eine identische Anzahl an Verletzungen des Truncus cerebri. J. Weissmahr wies in dieser Unfallgruppe für 67 Prozent eine Schädelbasisfraktur nach. Verletzungen des Truncus cerebri und des Cerebellums wurden durchgehend zusammengefasst. Aus diesem Grund ist eine Vergleichbarkeit nur eingeschränkt möglich. Mit 49 Prozent sind jedoch auch hier bei knapp jedem zweiten Opfer Verletzungen nachgewiesen worden.

Da in dieser Arbeit weiter unterschieden wurde, ob es vorher zu einem Sturz der Kradaufsassen kam, sind die Fallzahlen mit n=5 deutlich geringer als die Anzahl der Kradaufsassen, welche J.

Weissmahr untersuchte (n=21). Es lässt sich jedoch in beiden Arbeiten ein Zusammenhang zwischen Schädelbasisfrakturen und Traumata des Truncus cerebri feststellen. Bei Betrachtung der Kopfverletzungen stellen sich in dieser Dissertation im Rahmen eines Sturzes mit anschließendem PKW-Anprall mit jeweils 44 Prozent identische Zahlen für eine Verletzung des Truncus cerebri sowie Schädelbasisfrakturen dar. Dies gilt auch für frontale Kollisionen mit der Seite des Pkws (jeweils 33%). Auch für einen obliquen Anprall an die Front des Pkws konnten mit 67 Prozent Traumata des Truncus cerebri sowie 100 Prozent Schädelbasisfrakturen in beiden Bereichen hohe Beteiligungen verzeichnet werden.

J. Weissmahr wies bei frontalen Kollisionen im kaudalen Frontalbereich 65 Prozent Schädelbasisfrakturen und bei 54 Prozent Verletzungen des Truncus cerebri und Cerebellums nach. Auch für den bereits genannten kranialen Frontalbereich (67% Schädelbasisfrakturen, 49% Truncus cerebri/Cerebellum) und den links lateralen Anprallbereich des Kopfes (Schädelbasisfrakturen 63%, 68% Truncus cerebri/Cerebellum) stellten sich ähnlich hohe Fallzahlen in beiden Regionen dar.

4.3 Analyse des Kopfschutzes

4.3.1 Übersicht der Helmparameter

Einen wichtigen Aspekt bei der Untersuchung der Kopfverletzungen stellt das Helmmaterial dar. Insgesamt wurden 79 Prozent der Kradaufsassen mit einem Integral-, 14 Prozent mit einem Jethelm und drei Prozent mit einem Halbschalenhelm identifiziert. Lediglich drei Prozent (n=2) fuhren ohne Helm. Ein Kraftradfahrer verunglückte mit einem Skihelm.

Auch der Helmverlust spielt eine wichtige Rolle. Es konnte jedoch lediglich für 17 Prozent der Verunglückten ein Helmverlust sicher ausgeschlossen werden. Im Gegensatz dazu wurde ebenfalls bei 17 Prozent ein Verlust des Helms nachgewiesen. Bei 64 Prozent war es nicht mehr zweifelsfrei rekonstruierbar, ob ein Helmverlust stattgefunden hat. Für zwei Kradaufsassen (2%) war keine Evaluierung des Helmverlusts möglich, da sie von vornherein ohne Helm fuhren.

Die hohe Anzahl der Personen, bei denen nicht sicher verifiziert werden konnte, ob es zu einem Helmverlust gekommen ist oder nicht (64%), zeigt die großen Schwierigkeiten in der Auswertung von Kraftradunfällen in Bezug auf den Helmschutz. Das für diese Dissertation ausgewertete Datenmaterial liegt in Form von Akten, welche aus Polizeiberichten, Unfallgutachten, Zeugenaussagen, Bildern der Unfallstelle und häufig weiteren Informationen besteht, vor. Dadurch können zwar umfangreiche Informationen gewonnen werden, jedoch sind die Unfallstellen und Unfallfolgen in der Regel nicht aus unfallanalytischer Sicht aufgearbeitet worden, sodass viele wichtige Informationen verloren gehen. Unfallgutachten sind teilweise nicht vorhanden und oftmals auch für die Unfallforschung unzureichend ausgeführt. Eine genaue Rekonstruktion bezüglich des Helmverhaltens (Helmverlust vor/während oder nach dem Aufprall bzw. der Kollision) ist ebenfalls normalerweise nicht angefertigt worden.

Des Weiteren existieren oftmals zu wenige Bilder der getragenen Schutzprotektoren, insbesondere der des Helms. Falls Helmbilder existieren, sind diese häufig unzureichend angefertigt. Für eine gute Dokumentation des Helms sollten Nahaufnahmen von allen Seiten des Helms angefertigt werden, sodass Brüche und auch oberflächlichere Spuren wie Kratzer, Risse oder Schürfungen gut zu dokumentieren sind. Nur so kann die Helmbeschädigung im Nachhinein beurteilt und eine genaue Rekonstruktion des Kopfanpralls angefertigt werden.

Für eine möglichst detaillierte Rekonstruktion des Unfallablaufs, inklusive des Helmverhaltens während des Unfalls, könnte von Unfallforschern in gemeinsamer Arbeit ein einheitliches Schema entwickelt werden, anhand dessen jeder Kraftradunfall vor Ort zu untersuchen und abzuarbeiten ist. Dadurch wäre es aus unfallanalytischer Sicht möglich, alle wichtigen Sachverhalte detailliert zu dokumentieren, sodass keine wichtigen Informationen verloren gehen. Ein solches Schema, wie es zum Beispiel auch die Polizei verwendet, um für sie relevante Informationen des Unfalls festzuhalten, war in keiner der für diese Dissertation ausgewerteten Akten vorzufinden.

Andere Studien weisen ähnliche Defizite in der Bewertung des Helmverhaltens auf. In keiner Studie wurde eine Differenzierung des Helmverlusts zwischen Helmverlusten vor, während oder nach dem Kopfaufprall vorgenommen [6, 7, 8, 9, 27].

Bei einem Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit bezüglich des Helmverlusts mit Resultaten von anderen Studien stellen sich folgende Ergebnisse dar. Im MAIDS Report 2.0 [27] wird für 73,7 Prozent der Kradaufsassen nachgewiesen, dass es zu keinem Helmverlust kam. Ein Verlust ereignete sich bei 9,1 Prozent (17% in dieser Arbeit). Hingegen wurden deutlich mehr Personen identifiziert, die überhaupt keinen Helm trugen (8% gegenüber 2% in diesem Unfallkollektiv). Aber auch hier war es bei 9,2 Prozent unbekannt, ob während des Unfalls ein Helmverlust eingetreten ist. Die bereits angesprochene Einteilung in die unterschiedlichen Zeitpunkte eines Helmverlusts fehlt auch hier.

Der ADAC [8] hingegen stellte lediglich für drei Prozent einen Verlust des Helms fest. 96 Prozent erlitten keinen Helmverlust. Ein Prozent der Kradaufsassen fuhr ohne Helm. Im Gegensatz zu diesen Resultaten wird in der COST 327 Studie [9] bei 14,2 Prozent ein Helmverlust dokumentiert (kein Helmverlust 85,5%, unbekannt 0,3%).

Auch die Analyse der Ursachen für einen Helmverlust gestaltet sich äußerst diffizil. Der ADAC [8] macht einen nicht geschlossenen Kinnriemen als den häufigsten Grund für einen Helmverlust verantwortlich (n=10/27). Jedoch werden auch ein aufgegangener Kinnriemen (n=2/27), zu lockerer Kinnriemen (n=2/27) und ein gerissener Kinnriemen (n=1/27) als Grund identifiziert. Gebrochene Helme (n=1/27) spielten ebenfalls eine Rolle. Aber auch bei der Untersuchung des ADAC war bei 40,7 Prozent (11/27 Helmverlusten) die Ursache des Helmverlusts nicht bestimmbar. Dies unterstreicht die bereits angeführte schwierige und

aufwendige Rekonstruktion der Unfälle aufgrund einer unvollständigen Darstellung aus unfallanalytischer Sicht und fehlender oder teils schlechter Bilddokumentation des Unfalls.

An der Universität Florenz [33] wird ein neuartiger Helm entwickelt, der den Kinnriemen wie eine Art Sicherheitsgurt konzipiert. Ziel ist es, die Gefahr des Helmverlustes zu minimieren. Außerdem verfügt der Helm zwischen Kinn und Kopfschale über eine wabenförmige Pufferzone, welche die Aufprallenergie absorbieren soll.

Der ADAC [34] weist ebenfalls auf die Gefahr des Helmverlustes hin. Aus diesem Grund empfiehlt der Verkehrsclub nicht nur eine Vermessung des Kopfes, um die Innenschale des Helms individuell anpassen zu können, sondern es sollten auch Innenpolster gewählt werden, die sich an die Kopfform der Person anpassen lassen.

Insgesamt sind die Ergebnisse bezüglich eines Helmverlustes, aufgrund der unvollständigen Rekonstruktion bei einem Großteil der Opfer, nur eingeschränkt verwertbar und müssen vor diesem Hintergrund betrachtet werden.

4.3.2 Analyse der Kopfverletzungen in Bezug zum Helmschutz

Abschließend wurden die Kopfverletzungen in Abhängigkeit des Helmschutzes untersucht. Der Helmverlust stellt einen Parameter mit einem hohen Einflussfaktor dar. Es konnte gezeigt werden, dass Kradaufsassen ohne einen Helmverlust vermehrt Kopfverletzungen mit einem Schweregrad im Bereich von einem ©AIS Kopf 0-2 erlitten. Im Gegensatz dazu überwog in den höheren ©AIS-Kategorien (©AIS Kopf 3-5) die Anzahl der Verunglückten mit einem Helmverlust. Für einen ©AIS Kopf 6 konnte kein Unterschied festgestellt werden. Diese Unfälle sollten noch einmal im Detail untersucht und rekonstruiert werden.

In der Literatur finden sich in erster Linie Untersuchungen von Kopfverletzungen, die ohne und mit getragenen Helm analysiert wurden. Eine der wenigen Auswertungen von Kopftraumata in Abhängigkeit des Helmverlusts führte der ADAC im Jahr 2013 durch [8]. Jedoch wurden hier die Ergebnisse von überlebenden und getöteten Kradaufsassen dargestellt. Von 27 Geschädigten mit einem Verlust des Helms ereignete sich bei 11 Personen ein tödlicher Unfall (40,7%). Der Anteil an Getöteten mit einem Helmverlust liegt damit deutlich höher als der Anteil der Verstorbenen am gesamten Kollektiv (14,3%).

Ein weiterer Schwerpunkt legte diese Arbeit auf die Untersuchung der Helmbeschädigungen. Bei 16 Prozent der Verunglückten manifestierte sich ein Helmbruch. 84 Prozent erlitten hingegen keinen Bruch des Helms. Aufbauend auf diesen Resultaten sollten die Brüche auch lokalisiert werden.

Es stellte sich heraus, dass im anterioren Bereich (Stirnbereich) mit 28 Prozent die meisten Helmbrüche identifiziert wurden. Danach folgten Brüche im linken parietalen Bereich (22%) und überraschenderweise auch occipital (17%). Auch die linke temporale Helmregion war mit 13 Prozent relativ häufig betroffen. Insgesamt wies die linke Seite (insgesamt 35% Brüche) deutlich mehr Schäden auf als die rechte Seite (15% Brüche). Die gesamte posteriore Helmseite war mit 21 Prozent ebenfalls häufig betroffen. Im Vergleich zu diesen Ergebnissen weist die COST 327 Studie [9] ähnliche Resultate auf. Mit 36 Prozent zeigten sich im anterioren Helmbereich (Stirnbereich) die meisten Helmbrüche. Auch lateral links (35%) werden deutlich mehr Brüche belegt als lateral rechts (17,5%). Eine eindeutige Differenz lässt sich hingegen für die posterioren Helmbrüche feststellen. Hier liegen mit 9,7 Prozent, abgesehen von der Helmkrone (1,8%), die wenigsten Brüche vor (21% in dieser Arbeit).

Auf diese Ergebnisse aufbauend wurden die Auswirkungen der Helmbrüche auf die kranialen und zerebralen Strukturen untersucht. Dabei konnte eine Dominanz der rechtsseitig gelegenen intrakraniellen Strukturen (Lobus temporalis dextra 80%, Lobus parietalis dextra 73%) gegenüber der linken Seite (Lobus temporalis sinistra 67%, Lobus parietalis sinistra 53%) nachgewiesen werden. Bei einem Vergleich mit der Distribution der Helmbrüche fällt auf, dass im Gegensatz zu der Distribution der Verletzungen die Brüche auf der linken Helmseite prädominieren (35% links, 15% rechts). Dies könnte ein Indiz für den Verletzungsmechanismus eines Coup-Contre-coup-Traumas sein.

Im cerebellaren Helmbereich konnten lediglich vier Prozent der Brüche am Helm dokumentiert werden. Das Cerebellum zeigt jedoch mit 67 Prozent eine hohe Verletzungshäufigkeit bei Helmbrüchen. Aufgrund der geringen Anzahl an Helmbrüchen in diesem Bereich (4%) erscheint eine direkte lokale Krafteinwirkung eher weniger wahrscheinlich. Die direkte Krafteinwirkung in Form eines Helmbruchs fand dementsprechend an anderen Stellen statt. So ließen sich frontal 28 Prozent der Helmbrüche identifizieren. Die COST 327 Studie [9] bestätigt diese Einschätzung. Als verletzungsverursachende Mechanismen für cerebellare Traumata werden eine indirekte Krafteinwirkung (81,2%) und die Krafteinwirkung durch Contre-coup (18,8%) verantwortlich gemacht.

Abschließend wurde in dieser Arbeit der generelle Einfluss von Helmbrüchen auf die Kopfverletzungen untersucht und mit Kopfverletzungen bei einer intakten Helmschale verglichen. Insgesamt betrachtet fällt auf, dass Verletzungen deutlich häufiger bei einem Bruch des Helms auftreten. Dies konnte vor allem für eine vollständige Destruktion des Kopfes (27% bei Helmbruch, 8% insgesamt), Schädelbasisfrakturen (60% bei Helmbruch, 31% insgesamt) oder auch Traumata des Truncus cerebri (47% bei Helmbruch, 32% insgesamt) gezeigt werden.

Bei der Auswertung der Kopfverletzungen der Kradaufsassen in Bezug auf die Verletzungen bei Helmbrüchen und keinen Helmbrüchen ist die ungleiche Verteilung der beiden ausgewerteten Gruppen kritisch zu betrachten. Während in dieser Arbeit lediglich 15 Kradaufsassen mit einem Helmbruch verifiziert werden konnten, stand demgegenüber eine Gruppe von 80 Kradaufsassen ohne einen Bruch des Helms. Ein aussagekräftigeres Ergebnis wäre durch eine ausgeglichene Distribution der Verunglückten möglich gewesen.

Für zukünftige Arbeiten bietet es sich an, weitere Daten über Helmbrüche zu sammeln, diese in einem größeren Review zu betrachten und sie mit den Resultaten dieser Stichprobe zu vergleichen.

Kapitel 5

Zusammenfassung

Kraftradfahrer zählen zusammen mit Fahrradfahrern und Fußgängern zu den vulnerabelsten Straßenverkehrsteilnehmern. Zwischen 2000 und 2016 konnte ein Rückgang der mortal verunglückten PKW-Insassen von 65 Prozent verzeichnet werden. Die Anzahl der Opfer auf Krafträdern verringerte sich jedoch nur um 45 Prozent. Vor allem Traumata des Kopfes spielen bei den Unfallfolgen eine wichtige Rolle und werden von der National Highway Traffic Safety Administration als führende Ursache für mortal verunglückte Kraftradfahrer angeführt.

In der vorliegenden Arbeit werden die Verletzungen von mortal verunglückten Kraftradfahrern mit dem Schwerpunkt auf Traumata des Cerebrums und Craniums untersucht. Die Ergebnisse sind in Abhängigkeit der Unfallkonstellation und des Kopfschutzes der Opfer ausgewertet.

Das Datenmaterial setzt sich aus 95 Kradaufsassen, welche in der Rechtsmedizin der LMU München zwischen 2004 und 2014 obduziert wurden, zusammen. Informationen zum Unfallhergang werden aus Akten, bestehend aus Unfallgutachten, Polizeiberichten, Bilddokumentationen und Zeugenaussagen, gewonnen. Die Verletzungen sind anhand der Obduktionsberichte nach ©AIS klassifiziert und ergänzen das bereits bestehende Datenkollektiv der Unfallforschung der LMU München.

Das Unfallkollektiv dieser Dissertation besteht vor allem aus mortal verunglückten jungen Kradaufsassen in einem Alter <25 Jahre (32%), 41-50-Jährigen (25%) und Senioren mit einem Alter von >60 Jahren (17%)

Die Schwere der Verletzungen verdeutlicht der MAIS. 44 Prozent weisen eine nicht mehr behandelbare Verletzung auf (MAIS=6). Mit jeweils 22 Prozent folgen Verunglückte mit kritischen (MAIS=5) und sehr schweren Verletzungen (MAIS=4). Bei der Auswertung der am schwersten verletzten Körperregionen können nach dem Thorax (41%) dem Kopf (22,3%) die schwersten Verletzungen zugeordnet werden.

Intrakraniell weisen 32 Prozent der Kradaufsassen ein Trauma des Truncus cerebri auf (AIS 5/6). Der Lobus occipitalis bildet mit 45,3 Prozent die Region mit den meisten Traumata ab und hebt sich im Vergleich zum Lobus frontalis (33,7%) deutlich hervor. Bei Berücksichtigung der extrakraniellen Traumata (frontal am meisten Hämatome) könnte dies ein Hinweis auf den Verletzungsmechanismus eines Coup-contre-coup Traumas sein. Hierfür sind jedoch weitere Untersuchungen nötig, um zusätzliche Informationen über die Anprallkonfiguration zu gewinnen. Für die Lobi temporalis und parietalis lässt sich ein leichter Überhang der Traumata auf der rechten Seite (Lobus temporalis dextra 37,9%, Lobus parietalis dextra 36,8%) im Vergleich zur linken Seite (Lobus temporalis sinistra 33,7%, Lobus parietalis sinistra 34,7%) erkennen. Aufgrund der Verteilung der extrakraniellen Verletzungen lassen sich hier keine Hinweise auf ein Coup-contre-coup Trauma finden.

Die Auswertung des Craniums zeigt auf, dass bei knapp ein Drittel der Kradaufsassen Frakturen der Schädelbasis (31%) und bei 20 Prozent Frakturen der Schädelkalotte dokumentiert sind. Die hohe Krafteinwirkung auf den Kopf affektiert nicht nur den Knochen, sondern auch intrazerebrale Strukturen. Wenn keine Fraktur nachweisbar ist, weisen lediglich 12 Prozent der Opfer ein Trauma des Truncus cerebri auf. Liegt hingegen eine Fraktur von Schädelkalotte oder Schädelbasis vor, sind bei 70 Prozent auch Verletzungen des Truncus cerebri vorhanden.

Neben der reinen Verletzungsanalyse werden die kranialen und intrakranialen Verletzungen in Abhängigkeit der Unfallkonstellation untersucht. Es wird deutlich, dass Alleinunfälle ohne Objektanprall zu den geringsten Kopfverletzungen führen (lediglich 1 Trauma des Lobus occipitalis). Die schwersten Kopfverletzungen ereignen sich bei Kollisionen mit großen Fahrzeugen wie Lkws und Bussen. Es erleiden 58 Prozent ein Trauma des Truncus cerebri und 42 Prozent eine vollständige Destruktion des Kopfes. Auch bei Unfällen mit mehreren Unfallgegnern sind der Truncus cerebri (42%) und eine vollständige Destruktion des Kopfes (33%) häufig vorzufinden.

Die Untersuchung der Helmregionen weist bei 84 Prozent eine intakte Helmschale und 16 Prozent ein Helmbruch nach. Schwerwiegende kraniale sowie cerebrale Verletzungen ereignen sich deutlich häufiger, wenn es zu einem Helmbruch kommt im Vergleich zu Kradaufsassen mit einer intakten Helmschale.

Helmbrüche ereignen sich insbesondere im anterioren (28%) sowie lateral sinistra im parietalen (22%) und temporalen (13%) Bereich. Lateral dextra lassen sich mit 11 Prozent (parietal) und

vier Prozent (temporal) deutlich weniger Brüche nachweisen. Mit 17 Prozent zeigt die occipitale Region des Helms ebenfalls einige Helmbrüche. Die Annahme, dass ein Kopfaufprall in erster Linie frontal stattfindet, kann diese Arbeit nicht bestätigen.

Helmverluste können bei 17 Prozent der Opfer verifiziert werden. Bei weiteren 17 Prozent ist ein Helmverlust sicher auszuschließen. 64 Prozent hingegen sind mit unbekannt klassifiziert. Dies zeigt die schwierige Dokumentation des Helmverhaltens. Es sollte diskutiert werden, inwiefern ein einheitliches, von Unfallforschern entworfenes Schema zur Dokumentation von Unfällen zu einer Verbesserung des Informationsgehalts führen könnte.

Glossar

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club
AIS	Abbreviated Injury Scale (Skala der Verletzungsschwere)
CODES	Crash Outcome Data Evaluation System
EU	Europäische Union
FEMA	Federation of European Motorcyclists' Associations
Fz	Fahrzeug
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.
HWS	Halswirbelsäule
ISS	Injury Severity Score
Km/h	Kilometer pro Stunde
Krad	Kraftrad (Motorrad)
Lkw	Lastkraftwagen
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität

MAIDS	Motorcycle Accidents In Depth Study
MAIS	Maximaler AIS (schwerste Verletzung)
NFS	Not Further Specified
Pkw	Personenkraftwagen
SUV	Sport Utility Vehicle
US	United States
WHO	World Health Organization

Literaturverzeichnis

1. World Health Organisation (WHO). Violence and injury prevention: Global status report on road safety 2015 [Internet]. 2015. [zitiert am 3.10.2017].
URL:http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/
2. Statistisches Bundesamt: Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2016 [Internet]. 08/2016 [zitiert am 02.11.2017].
URL:https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/UnfaelleZweirad5462408167004.pdf?__blob=publicationFile
3. Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle – Zeitreihen [Internet]. 07/2017 [zitiert am 02.11.2017].
URL:https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleZeitreihenPDF_5462403.pdf?__blob=publicationFile
4. National Highway Traffic Safety Administration. Traffic Safety Facts, 2006: Motorcycle Helmet Use Laws. Washington (DC)
URL: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/810887.pdf>
5. Liu BC, Ivers R, Norton R, Boufous S, Blows S, Lo SK. Helmets for preventing injury in motorcycle riders. Cochrane Database Syst Rev. 2008;(1):CD004333. doi: 10.1002/14651858.CD004333.pub3
6. Pickrell TM, Liu C. Motorcycle helmet use in 2013—overall results. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration; 2014 Report No.: DOT HS 812 010.
7. Pschenitza M., Berichte der ADAC Unfallforschung. Auswertung von Motorradunfällen: Konstellationen, Besonderheiten, Abhilfemaßnahmen. [Internet]. 04/2015 [zitiert am 12.06.2018].
URL: https://www.adac.de/_mmm/pdf/28415_234711.pdf
8. Widmann C., Unger T., Pschenitza, M. ADAC Unfallforschung. Unfälle mit Motorrädern – Neue Aspekte der Motorradsicherheit. [Internet]. 10/2013 [zitiert am 18.11.2017]. URL: https://www.adac.de/_mmm/pdf/28415_234711.pdf
9. European Commission. European Co-operation in the Field of Scientific and Technical Research. COST 327 Motorcycle Safety Helmets final report. 2001. Luxembourg

10. Gabler Wirtschaftslexikon: Kraftrad (Krad). Springer Gabler Verlag [Internet]. 2017 [zitiert am 05.11.2017].
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/10646/kraftrad-krad-v7.html>
11. Gabler Wirtschaftslexikon: Kleinkraftrad. Springer Gabler Verlag [Internet]. 2017 [zitiert am 05.11.2017].
URL: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/kleinkraftrad.html>
12. Vorndran, I. Unfallstatistik – Verkehrsmittel im Risikovergleich. Statistisches Bundesamt [Internet]. 2011 [zitiert am 07.11.2017].
URL: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/WirtschaftStatistik/Verkehr/Unfallstatistik122010.pdf?__blob=publicationFile
13. Gennarelli, T.A. and E. Wodzin. Abbreviated Injury Scale 2005: Update 2008. 2008: Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM)
14. Haasper, C., et al. Die Abbreviated Injury Scale (AIS): Potenzial und Probleme bei der Anwendung (Leitthema). Der Unfallchirurg. 2010
15. Baker_SP, et al. The Injury Severity Score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. The Journal of Trauma, 1974
16. Gennarelli, T.A. and E. Wodzin. Abbreviated Injury Scale 2005: Update 2008. 2008: Barrington: Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) 2008. [Google Scholar]
17. Lynch, P. J. Das menschliche Gehirn im sagittalen Schnittbild; der Hirnstamm ist hervorgehoben. Wikimedia Commons, lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz by-SA-3.0 [Internet]. 2009 [zitiert am 05.10.2017].
URL Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.de>
URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Hirnstamm&oldid=170405894>
18. Betts, S. Farbige Abschnitte Eines Männlichen Gehirns X Ray Konzept Teil Eines Medizinischen Serie Stock-Fotos und Bilder. 123rf.com [Internet] [zitiert am 11.10.2017].
URL: https://de.123rf.com/search.php?word=Farbige+Abschnitte+eines+m%E4nnlichen+Gehirns%2C+x+rayKonzept.+Teil+eines+medizinischen+Serie&srch_lang=de&imgtype=&Submit=+&t_word=&lang=de&orderby=0&sti=o7q5bhftwxqeg5ur29|&mediapopup=11083858

19. Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (2003). Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps. Unfalltypenkatalog. Januar 2016
20. Institut für Zweiradsicherheit.ev, Safety Environment Future II, Proceedings of the 1998 International Motorcycle Conference, ISSN 2701-522X, LFZ-Research Publication series edited by Reiner Brendicke. S.13 ifz No.8
21. Piero at Dutch Wikipedia. Jethelm, integraalhelm en systeemhelm. v.l.n.r. een jethelm, een integraalhelm en een systeemhelm. Botspetten. Wikimedia Commons, lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz by-SA-3.0-migrated. [Internet]. 2005 [zitiert am 12.12.2017]. URL Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>
URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Motorradhelm&oldid=170452736>
22. Priwo. Motorradhelm aus den 1960er Jahren. Wikimedia Commons, Self-published work, PD-self. Released into the public domain. [Internet]. 07/2009 [zitiert am 17.12.2017].
URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Motorradhelm&oldid=170452736>
23. ADAC. Info Test & Rat. Geeignete Helme sind Pflicht. [Internet]. 12/2016 [zitiert am 06.11.2017]. URL: <https://www.adac.de/infotestrat/motorrad-roller/helm-bekleidung/motorradhelme/tipps/Geeignete-Helme.aspx>
24. Beelitz, R. Motorroller-Info. Die ECE-22 Norm. [Internet]. [zitiert am 06.11.2017].
URL: http://www.motorroller-info.de/ece_-_22_norm.html
25. Lynch, P. J. A diagram of the forces on the brain in a coup-contrecoup injury. Wikimedia Commons, lizenziert unter CreativeCommons-Lizenz by-SA-3.0 [Internet]. 2/2008 [zitiert am 6.10.2017].
URL Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>
URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Coup-Contre-coup-Mechanismus&oldid=167145085>
26. Mayer, K. C. Facharzt für Neurologie, Psychiatrie und Facharzt für Psychotherapeutische Medizin. Coup-Contre-Coup-Effekt. [Internet]. [zitiert am 8.10.2017].
URL: http://www.neuro24.de/show_glossar.php?id=1933
27. MAIDS Report 2.0. ACEM (European Association of Motorcycle Manufactures). In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers. [Internet]. [zitiert am 13.12.2017]. URL: <http://www.maids-study.eu/pdf/MAIDS2.pdf>

28. Cook, L. J., Kerns, T., Bruch, C., Thomas, A., Bell, E. CODES (Crash Outcome Data Evaluation System). US Department of Transportation, NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). Motorcycle helmet use and head and facial injuries. 10/2009.
29. Maier R., Schindler V., Körner M., Scholz T., Unger M., Kühn M. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV). Unfallgefährdung von Motorradfahrern, 2009
30. Bulut H., Ozgüc H., Ercan I., Türkmen N., Eren B., Esen M., Aydin S. Should the New Injury Severity Score replace the Injury Severity Score in the Trauma and Injury Severity Score? Department of Emergency Medicine. Medicine Faculty of Uludağ University, Bursa, Turkey, 2008
31. Sousa R., Campos A., Domingues A., Nogueira S. Ten years of new injury severity score (NISS): is it a possible change?“, School of Nursing, University of São Paulo Brazil, 2008
32. Bauer, K. Bewertung und Optimierung des Schutzpotentials von Fahrradhelmen durch Realunfallanalyse und Simulation typischer Unfallszenarien. Ludwig-Maximilians-Universität München. Dissertation 2017
33. Baars, P. Verletzungen des cranio-thorakalen Überganges in tödlichen Unfällen mit motorisierten Zweirädern – Ursachen, Relevanz und Vermeidbarkeit durch moderne Schutzsysteme. Ludwig-Maximilians-Universität München. Dissertation 2018
34. Weissmahr J. Ursache und Charakteristik von Kopfverletzungen bei tödlichen Kraftradunfällen [Dissertation]. München: Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität Fachbereich Unfallforschung; 2007
35. Speiser D. Landeskriminalamt Baden-Württemberg – Zentralstelle PräventionKoordinierungs- und Entwicklungsstelle Verkehrsunfallprävention (KEV). Kluge Köpfe schützen sich. [Internet] [zitiert am 10.07.2018]. URL: https://gibt-acht-im-verkehr.de/0005_service/0005h_infoblaetter/download/motorrad/info_motorrad_helm.pdf

36. ADAC. Motorradhelm sollte fest sitzen ohne zu drücken. [Internet]. 3/2016 [zitiert am 6.12.2017]. URL: <https://www.motor-talk.de/news/motorradhelm-sollte-fest-sitzen-ohne-zu-druecken-t5641891.html>
37. Institut für Rechtsmedizin LMU München. Abteilung für Biomechanik und Unfallforschung. Bereits verwendetes Motorradhelmschema.

Anhang

Eidesstattliche Versicherung

Hoffmann, Lars

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Analyse der Verletzungen von Kraftradfahrern in Bezug zum Unfallhergang mit dem Schwerpunkt auf Traumata von Cranium und Cerebrum

selbstständig verfasst, mich, außer der angegebenen, keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Menden, den 19.03.2022

Ort, Datum

Lars Hoffmann

Unterschrift Doktorand

