
Ursachen und Charakteristik von Kopfverletzungen bei tödlichen Kraftradunfällen

Johannes Weissmahr

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. W. Eisenmenger

Ursachen und Charakteristik von Kopfverletzungen bei tödlichen Kraftradunfällen

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

Vorgelegt von
Johannes Weissmahr
aus
Erding
2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Eisenmenger

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. E. Uhl

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. E. Schuller

Dekan: Prof. Dr. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung
(Rigorosum): 14.06.2007

Inhaltsverzeichnis

-	1	Einleitung	1
-	2	Allgemeines	3
-	2.1	Anatomische Anmerkungen	3
-	2.1.1	Der Schädel	3
-	2.1.2	Das Gehirn	4
-	2.1.3	Das Kleinhirn	4
-	2.1.4	Der Hirnstamm	4
-	2.1.5	Die Hirnhäute	5
-	2.1.6	Die Gefäßversorgung des Gehirnes	5
-	2.2	Klinische Einteilung der Kopfverletzungen	6
-	2.3	Biomechanische Einteilung	7
-	2.3.1	Kontaktverletzungen	7
-	2.3.2	Akzelerationsverletzungen	8
-	3	Schutzwirkung des Motorradhelmes	10
-	4	Material und Methodik	
11			
-	4.1	Erhebung der Unfalldaten und Beschreibung der Fälle	11
-	4.2	Methodik der Auswertung	12
-	4.2.1	Aufprallwinkel des Kopfes	12
-	4.2.2	Art und Lokalisation der Verletzungen	13
-	5	Ergebnisse	18
-	5.1	Alters- und Geschlechterverteilung	18
-	5.2	Anprallobjekte des behelmteten Kopfes	18
-	5.3	Aufprallgeschwindigkeiten des behelmteten Kopfes	19
-	5.4	Aufprallwinkel des behelmteten Kopfes	19

-	5.5	Aufprallbereiche und Lokalisation der Verletzungen	21
-	5.5.1	Bereich 1: Anstoss frontal kaudal (n = 35)	21
-	5.5.1.1	Verletzungen im Gesichtsbereich	21
-	5.5.1.2	Verletzungen im Bereich des Schädeldaches	24
-	5.5.1.3	Frakturen im Bereich der Schädelbasis	26
-	5.5.1.4	Verletzungen im Bereich des Großhirnes	27
-	5.5.1.5	Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes	32
-	5.5.1.6	Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)	33
-	5.5.2	Bereich 2: Anstoss frontal kranial (n = 43)	34
-	5.5.2.1	Verletzungen im Gesichtsbereich	34
-	5.5.2.2	Verletzungen im Bereich des Schädeldaches	37
-	5.5.2.3	Verletzungen im Bereich der Schädelbasis	39
-	5.5.2.4	Verletzungen im Bereich des Großhirnes	40
-	5.5.2.5	Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes	44
-	5.5.2.6	Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)	45
-	5.5.3	Bereich 3: Anstoss lateral links (n = 19)	46
-	5.5.3.1	Verletzungen im Gesichtsbereich	46
-	5.5.3.2	Verletzungen im Bereich des Schädeldaches	47
-	5.5.3.3	Verletzungen im Bereich der Schädelbasis	49
-	5.5.3.4	Verletzungen im Bereich des Großhirnes	49
-	5.5.3.5	Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes	53
-	5.5.3.6	Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)	54
-	5.5.4	Bereich 4: Anstoss lateral rechts (n = 11)	55
-	5.5.4.1	Verletzungen im Gesichtsbereich	55
-	5.5.4.2	Verletzungen im Bereich der Schädeldaches	55
-	5.5.4.3	Verletzungen im Bereich der Schädelbasis	56
-	5.5.4.4	Verletzungen im Bereich des Großhirnes	56
-	5.5.4.5	Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes	60
-	5.5.4.6	Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)	61
-	5.5.5	Bereich 5: Anstoss okzipital (n = 8)	61
-	5.5.5.1	Verletzungen im Gesichtsbereich	61
-	5.5.5.2	Verletzungen im Bereich des Schädeldaches	61
-	5.5.5.3	Verletzungen im Bereich der Schädelbasis	64
-	5.5.5.4	Verletzungen im Bereich des Großhirnes	64
-	5.5.5.5	Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes	66
-	5.5.5.6	Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)	67
-	6	Diskussion	69
-	6.1	Anprallbereiche 1 – 5	69
-	6.1.1	Bereich 1 (Anprall frontal - kaudal, n = 35)	69
-	6.1.2	Bereich 2 (Anprall frontal - kranial, n = 43)	71
-	6.1.3	Bereich 3 (Anprall lateral links, n = 19)	72
-	6.1.4	Bereich 4 (Anprall lateral rechts, n = 11)	73
-	6.1.5	Bereich 5 (Anprall okzipital, n = 8)	74.

-	6.2	Vergleich Aufprallbereiche frontal (Bereiche 1 und 2)	76
-	6.3	Vergleich Aufprallbereiche lateral (Bereiche 3 und 4)	77
-	6.4	Verletzungsbeteiligung der Kopfregionen	78
-	7	Zusammenfassung	80
-	8	Literaturverzeichnis	82

1 Einleitung

Im Jahr 2003 registrierte die amtliche Statistik für Deutschland 6.613 getötete Personen im Straßenverkehr [1]. Davon entfielen 1.080, also knapp ein Sechstel, auf Fahrer und Mitfahrer von Motorrädern bzw. Leichtkrafträdern. Obwohl die Gesamtzahl aller getöteter Verkehrsteilnehmer in den letzten Jahren stetig abgenommen hat, z.B. von 9.454 im Jahr 1995 auf 6.613 im Jahr 2003 (prozentualer Rückgang ca. 30 Prozent), blieb die Anzahl der getöteten motorisierten Zweiradfahrer mit ca. 1.100 praktisch konstant (Jahr 1995: 1.095, Jahr 2003: 1.080).

Die im Verhältnis zu anderen Fahrzeugarten deutlich höhere Zunahme von zugelassenen Krafträdern im Straßenverkehr - von 1995 bis 2003 ca. 50% von ca. 2 Millionen auf ca. 3 Millionen, gegenüber ca. 11 % bei Pkws von ca. 40 Millionen auf ca. 44 Millionen - mag dafür ausschlaggebend sein, zusätzlich besteht aber die grundsätzliche Schwierigkeit, den Kraftradfahrer als „äußeren“ Verkehrsteilnehmer wirksam zu schützen.

Trotz bußgeldbewehrter Helmtragepflicht in Deutschland seit 1985 und dadurch erreichter Helmtragequote von fast 100% zieht sich ein erheblicher Teil der verunfallten Motorradfahrer Kopfverletzungen zu. Nach der neueren, 2001 veröffentlichten europäischen Unfallstudie COST 327 ist bei verletzten Helmträgern der Anteil von Kopfverletzungen ca. 67 % und bei den schwer verletzten sogar über 80%. Nach wie vor hat damit die Reduzierung von Kopfverletzungen einen hohen Stellenwert, sei es durch direkte Maßnahmen, wie Optimierung von Schutzhelmen, oder indirekt durch Vermeiden von kritischen Kopfanprallsituationen durch Beeinflussung der Kollisionsdynamik, etwa mittels konstruktiver Maßnahmen am Kraftrad (Tankform, sog. Leg-Protector) oder beim Unfall aktivierte Schutzeinrichtungen, wie z.B. Airbags.

Um schwere Kopfverletzungen effektiv verhindern oder zumindest zu reduzieren zu können, ist die Kenntnis über deren Ausprägung und Entstehungsmechanismus unerlässlich. Nur dann können gezielt Schutzmaßnahmen konzipiert und deren Wirksamkeit im realen Unfallgeschehen eingeschätzt werden. Die bereits erwähnte europäische Unfallstudie COST 327 hat sich dieser Fragestellung angenommen durch eingehende Analyse von Unfällen mit Helmträgern bezüglich Unfallmechanismus, Verletzungsmuster und –schwere. Jedoch umfassen die hierbei in Schottland, Finnland, Hannover und München im Zeitraum von 1995 bis 1998 erhobenen Fälle nur eine begrenzte Anzahl von tödlichen Unfällen, weshalb auf dieser Basis die Auswertung speziell von erheblichen Kopfverletzungen, wegen zu geringer Fallzahl, nur eingeschränkte Aussagekraft liefern konnte.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es deshalb, durch Einbeziehung weiterer tödlicher Motorradunfälle aus dem Obduktionsgut des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München die in der COST 327 Studie geschaffene Unfalldatenbank zu erweitern und damit mehr Fälle zur Auswertung der Kopfverletzungen verfügbar zu haben.

53 weitere Fälle aus den Jahren 1999 bis 2002 konnten gewonnen und damit insgesamt 116 Fälle zur Untersuchung herangezogen werden.

Ausgehend von oben genannter COST 327 Studie ist es die Intention dieser Arbeit, auf der Basis höherer Fallzahl die spezielle Charakteristik tödlicher Kopfverletzungen bei Motorradunfällen darzustellen. Hierbei liegt der Schwerpunkt insbesondere auf dem Zusammenhang zwischen der Lokalisation des Kopfaufpralls und den jeweils resultierenden Verletzungen im Kopf- und Nackenbereich. Es wird untersucht, ob sich aus den verschiedenen Anprallwinkeln Gesetzmäßigkeiten bezüglich des Verletzungsmusters ableiten lassen.

2 Allgemeines

2.1 Anatomische Anmerkungen [2,3]

2.1.1 Der Schädel

Das Skelett des Kopfes wird in **Gesichtsschädel** (Viscerocranium) und **Hirnschädel** (Neurocranium) unterteilt.

Der **Gesichtsschädel** besteht aus Oberkiefer (Maxilla), Gaumenbein (Os palatinum), Jochbein (Os zygomaticum), Unterkiefer (Mandibula), Nasenbein (Os nasale) sowie Pflugscharbein (Vomer), Zungenbein (Os hyoideum) und Tränenbein (Os lacrimale). Er umschliesst die Mundhöhle und zusätzlich einen Teil der Nasen- und Augenhöhle.

Der **Hirnschädel** lässt sich in zwei Bereiche unterteilen:

Das **Schädeldach** (Kalvaria) besteht von ventral nach dorsal gesehen aus dem Stirnbein (Os frontale), dem Scheitelbein (Os parietale) und dem Hinterhauptsbein (Os occipitale). Die Seitenwand wird vom Schläfenbein (Os temporale) gebildet.

Die **Schädelbasis** (Basis cranii) wird von Anteilen der vier oben genannten Knochen gebildet, ausserdem vom Keilbein (Os sphenoidale) sowie vom Siebbein (Os ethmoidale).

Von innen betrachtet lässt sich die Schädelbasis in drei Bereiche einteilen:

- Die **vordere Schädelgrube** (Fossa cranii anterior) besteht in der Mitte aus dem Siebbein, an den Seiten aus dem Stirnbein. Hinten wird sie von den Keilbeinflügeln (Alae majores et minores) begrenzt.
- Die **mittlere Schädelgrube** (Fossa cranii media) wird im mittleren Teil vom Türkensattel (sella turcica), einer Höhlung im Keilbein, gebildet; die Seiten von den grossen Keilbeinflügeln (alae majores). Ein Teil des Schläfenbeines ist das Felsenbein (Os petrosum), in dem das Hörorgan liegt.
- Die **hintere Schädelgrube** (Fossa cranii posterior) setzt sich aus dem Os occipitale (Boden) sowie dem Os petrosum (Seitenwände) zusammen.

Die Schädelbasis enthält zahlreiche Öffnungen (Foramina, Fissurae, Canales), durch die wichtige Strukturen wie Hirnnerven oder Blutgefässe nach extrakraniell ziehen. Das Foramen magnum, das vom Hinterhauptsbein gebildet wird, beinhaltet als grösste dieser Öffnungen u.a. das Rückenmark (Medulla spinalis).

2.1.2 Das Gehirn

Das Großhirn (**Cerebrum**) besteht aus zwei symmetrischen Hälften (**Hemisphären**), die durch eine tiefe, längs verlaufende Furche (**Fissura longitudinalis cerebri**) voneinander getrennt sind. Darunter liegen der sog. Balken (**Corpus callosum**) und das **Kommissurensystem**, die beide Hemisphären miteinander verbinden.

Die Aussenschicht des Großhirnes wird von der Hirnrinde (**cortex cerebri**), einer Schicht dicht übereinander liegender Nervenzellen gebildet. Im Inneren findet sich das Großhirnmark (**Medulla cerebri**), in das die u.a. die **Basalganglien** (Endhirnkerne) eingebettet sind. Ausserdem befinden sich im Großhirn mit **Liquor cerebrospinalis** gefüllte Hohlräume, die **Ventriculi** genannt werden und mit den Liquorräumen der Hirnhäute und des Rückenmarkes kommunizieren.

Makroskopisch unterscheidet man den Stirnlappen (**Lobus frontalis**), den Scheitellappen (**Lobus parietalis**), den Schläfenlappen (**Lobus temporalis**) und den Hinterhauptslappen (**Lobus occipitalis**).

Weiterhin erwähnenswert ist die quer verlaufende Zentralfurche (**Sulcus centralis**), die Stirn- und Scheitellappen voneinander trennt. Ventral dieser Furche liegt im Stirnlappenbereich der **Gyrus praecentralis**, in dem sich die Zentren für die Willkürmotorik befinden. Dorsal davon im **Gyrus postcentralis**, also im Scheitellappen, kommen verschiedene Sinnesreize wie Schmerz und Druckreize zu Bewusstsein.

2.1.3 Das Kleinhirn

Das Kleinhirn (**Cerebellum**), das sich in der hinteren Schädelgrube unter dem Hinterhauptslappen befindet, weist an der Oberfläche zahlreiche parallel verlaufende Furchen auf. Es ist vor allem für die Koordination und den Gleichgewichtssinn verantwortlich.

2.1.4 Der Hirnstamm

Der Hirnstamm (**Truncus encephalici**) bildet quasi die Schaltstelle zwischen Grosshirn, Kleinhirn und Rückenmark und nimmt daher nicht nur anatomisch eine zentrale Position ein. Man unterscheidet von oben (kranial) nach kaudal:

- Das Zwischenhirn (**Diencephalon**): Wichtigste Bestandteile sind der **Thalamus** und der **Hypothalamus**. Letzterer ist das Koordinationszentrum des autonomen Teils des Nervensystems.
- Das Mittelhirn (**Mesencephalon**): Dieses enthält u.a. die **Colliculi superiores** und **inferiores**, also die Zentren für Reflexe von Auge und Ohr.
- Das Hinterhirn (**Myelencephalon**): Zentrale Struktur ist die sog. Brücke (**Pons**).

Hier befindet sich ein wichtiges Schaltzentrum für Verbindungen vom Gross- zum Kleinhirn.

- Das verlängerte Mark (**Medulla oblongata**): Es weist eine grosse Ähnlichkeit mit dem Rückenmark auf, und geht in dieses über. Unter anderem enthält es das Atemzentrum sowie zahlreiche Hirnnervenkerne.

2.1.5 Die Hirnhäute

Von aussen nach innen betrachtet findet man drei Gewebsschichten, die den knöchernen Schädel von der Gehirnmasse trennen:

- Die harte Hirnhaut (**Dura mater**): Sie bedeckt die Innenfläche der Schädelhöhle und trägt zur Ernährung der Schädelknochen sowie durch Septenbildung (z.B. **Falx cerebri**) zum Schutz des Gehirnes vor Verlagerung bei. Die Blutversorgung erfolgt über die Aa. meningae aus Ästen der A. carotis interna (A. meningea anterior) sowie der A. carotis externa (A. meningea media et posterior) zwischen den beiden Durablättern. In Folge von Schädelverletzungen können **Epidurale Hämatome (EDH)** entstehen.
- Die weichen Hirnhäute (**Arachnoidea** und **Pia mater**): Die gefässlose Arachnoidea liegt der Dura an. Dazwischen befindet sich der **Subduralraum**. Die Pia mater enthält die wesentlichen das Gehirn versorgenden Blutgefässe und liegt der Hirnoberfläche auf. Zwischen Pia und Arachnoidea liegt das vom **Liquor cerebrospinalis** gefüllte **Cavum subarachnoidale**. An einigen Stellen sind Pia und Arachnoidea relativ weit voneinander entfernt; die an diesen Stellen entstandenen Räume werden **Cisternae subarachnoidales** genannt.

2.1.6 Die Gefässversorgung des Gehirnes

Die **arterielle** Versorgung der beiden Hirnhälften befindet sich im **Subarachnoidalraum**. Sie erfolgt im wesentlichen durch zwei grössere Gefässsysteme, nämlich im vorderen (A. cerebri anterior) und mittleren (A. cerebri media) Abschnitt vor allem von den **Aa. carotis internae** (aus den A. carotis communes), sowie im hinteren (A. cerebri posterior) Abschnitt eher von den **Aa. vertebrales** (aus den Aa. subclaviae), die sich zur **A. basilaris** vereinigen, und ausserdem Grossteile des cerebellums und des Hirnstammes speisen. Den aus oben genannten Gefässen bestehenden Arterienring nennt man den **Circulus arteriosus cerebri**. Verletzungen dieser Gefässe kann zur Ausbildung von **subarachnoidalen Blutungen (SAB)** führen.

Der **venöse** Abfluss erfolgt über die **äusseren Hirnvenen**, die im Subarachnoidalraum verlaufen, sowie über die **inneren Hirnvenen**, die Blut aus den zentralen Gehirnteilen führen. Beide Systeme münden über sog. „Brückenvenen“ zum allergrössten Teil in die Sinus durae matris, die sich zwischen den beiden Durablättern befinden. Schädeltraumen mit Ruptur dieser relativ dünnen Gefässe können zu **Subduralen Hämatomen (SDH)** führen.

2.2 Klinische Einteilung der Kopfverletzungen [4]

I. Äussere (bzw. von aussen sichtbare) Verletzungen der **Kopfschwarte** und des **Gesichtes**

- Laceration (Schürfung)
- Hämatom

II. Frakturen des **Gesichtsschädels**

- Orbitafraktur
- Nasenbeinfraktur
- Jochbein/-bogenfraktur
- Oberkieferfraktur (Maxilla)
- Unterkieferfraktur (Mandibula)

III. Frakturen des **Hirnschädels**

- Frakturen des Schädeldaches:
 - lineare Frakturen
 - Impressionsfrakturen
- Frakturen der Schädelbasis:
 - lineare Frakturen
 - Impressionsfrakturen
 - Ringbrüche

IV. Direkte und indirekte **Hirnschädigungen**

- Gedeckte Hirnschädigungen
 - (• Commotio cerebri: „Gehirnerschütterung“ ohne fassbare morphologische Schädigung, s.o.)
 - Contusio cerebri (Hirnquetschung): Morphologisch fassbare Schädigung der Hirnsubstanz, meist verbunden mit Einblutung in den Subarachnoidalraum
 - Compressio cerebri: Posttraumatische intrakranielle raumfordernde Prozesse; Zumeist Hirngewebe verdrängende epi-, subdurale oder intracerebrale Hämatome
 - Rupturen (v.a. indirekt verursacht)
- Offene Hirnverletzungen (Kriterium: Duraverletzung)

V. Direkte und indirekte **Traumafolgen: Verletzungen der Blutgefässe**

- Epidurale Hämatome (EDH): Arterielle Blutungen vorwiegend aus den Aa. meningeeae
- Subdurale Hämatome (SDH): Venöse Blutungen durch Ruptur der Brückenvenen
- Subarachnoidale Blutungen (SAB): Arterielle Blutungen (Hirnbasisarterien des Circulus arteriosus cerebri)

- Intracerebrale Hämatoome: Arterielle Blutungen aus inneren Ästen der Hirnbasisarterien

In diese Studie werden ausser den genannten Verletzungsarten zusätzlich **Frakturen im Halswirbelsäulenbereich** miteinbezogen.

2.3 Biomechanische Einteilung [5]

Physikalisch gesehen kann man bei Kopfverletzungen zweigrundlegende Mechanismen unterscheiden, nämlich **Kontakt** (Aufprall) und **Akzeleration** (positive bzw. negative Beschleunigung).

2.3.1 Kontaktverletzungen

Kontaktverletzungen erfordern einen **Kopfanprall**, unabhängig davon, ob nachfolgend eine Kopfbewegung auftritt oder nicht. Kontaktkräfte verursachen eher **fokale** Verletzungen. Da ein Anprall jedoch meist eine Bewegung bzw. Beschleunigung des Kopfes mit sich bringt, treten diese Verletzungen klinisch **selten isoliert** auf, sondern häufiger in Verbindung mit Akzelerationsverletzungen.

Die Besonderheit der Kontaktverletzungen ist, dass sie entweder lokal, d.h. im Bereich der Anprallstelle, und/oder auch entfernt (remote) davon auftreten können.

Im einzelnen unterscheidet man folgende Kontaktverletzungen, die man auch als Schädeldeformationsverletzungen bezeichnen kann:

a) Lokale Verletzungen:

- **Schädelfrakturen:** Lineare Frakturen, Impressionsfrakturen
- **Epidurale Hämatoome:** Aufgrund anstossbedingter Schädelfraktur/-deformation
- **Coup Kontusionen** des Gehirnes:
 Prellungsherde am Ort der Gewalteinwirkung durch lokale Eindrückung des Schädelknochens mit begleitenden Gefässrupturen, die zu Subarachnoidalen Hämatomen führen können.

b) Entfernte (remote) Verletzungen:

- **Schädeldach- und Basisfrakturen:** Verursacht durch Stosswellen, die sich von der Anprallstelle ausbreiten.
- **Intracerebrale Hämatoome:** Kontusionen mit Rupturen grösserer innerer Gefässe, oft einhergehend mit ausgedehnten Hirnrinden-Kontusionen

- **Contre-Coup-Kontusionen** des Gehirnes:

Gegenprellungsherde an der gegenüber liegenden Seite der Gewalteinwirkung, die prinzipiell akzelerationsbedingt herbeigeführt werden. Die Relativbewegung des Gehirns in Richtung Anstossstelle erzeugt Zugbelastungen auf der Gegenseite. Überschreiten diese Zugbelastungen die Toleranzgrenze der Gefässe, treten Kontusionen in Verbindung mit Subarachnoidalen Hämatomen auf.

- **Rupturen des Hirngewebes:** Ähnlicher Mechanismus wie bei Kontusionen.

Allerdings ist für die Contre-Coup-Kontusionen im Gegensatz zu den Coup-Kontusionen ein Anprall nicht zwingend erforderlich. Hier kombinieren sich Kontakt- und Akzelerationsverletzungen.

Coup-Kontusionen entstehen erfahrungsgemäss eher bei einer umschriebenen Gewalteinwirkung mit geringer Kopfbeschleunigung (z.B. Schlag mit einem Hammer), während Contre-Coup-Kontusionen eher beim Anprall gegen ein flächiges, eher weiches Objekt auftreten.

Daher kann man davon ausgehen, dass für Helmträger (wie in den vorliegenden Fällen) letzterer Mechanismus von besonderer Bedeutung ist.

2.3.2 Akzelerationsverletzungen

Akzelerationsverletzungen oder Inertial(= Verzögerungs)traumen entstehen bei heftiger **Bewegung des Kopfes**, unabhängig davon, ob die Bewegung direkt (Anprall) oder indirekt herbei geführt wird. Meist beobachtet man eher **diffuse** Hirnläsionen.

Man unterscheidet drei Arten von Akzelerationen:

Die **translatorische** (Schwerpunktbewegung des Kopfes), die **rotatorische** (Drehbewegung relativ zu einer Achse durch den Schwerpunkt) und die **angulare** (Kombination aus beiden) Akzeleration.

Aufgrund der Kopf-Hals-Anatomie ist davon auszugehen, dass rein translatorische oder rein rotatorische Akzelerationen höchst selten vorkommen, d.h. in der Regel sind diese angular.

Im einzelnen werden folgende Akzelerations- bzw. Inertialverletzungen beobachtet:

a) Oberflächliche Belastung (surface strain):

- **Subdurale Hämatome (SDH):**

SDH können in **Kombination** mit **Kontusionen** und/oder **Lazerationen** der Hirnrinde aufgrund von **Kontakt-** und **Akzelerationseffekten** auftreten. Diese Formen werden als komplizierte SDH bezeichnet.

Die weitaus **häufigste Form** der SDH jedoch ist auf Rupturen der Oberflächengefässe

(v.a. der Brückenvenen) zurückzuführen. Diese werden **ausschliesslich durch Trägheitskräfte** und nicht durch Kontaktkräfte verursacht. Aufgrund der Empfindlichkeit der Brückenvenen hinsichtlich **hoher Zugbelastung zwischen Gehirn und Schädel** und aufgrund ihrer Lage an der Oberfläche, entstehen SDH bei Kopfbeschleunigungen, die kurzzeitige, hohe Zugbelastungen erzeugen, z.B. beim Aufprall des Kopfes auf eine grössere Fläche.

- **Contre-Coup-Kontusionen** ohne Anprall: s. Punkt 2.3.1

b) Innere Belastung (deep strain):

- **Commotio cerebri:** s. Punkt 2.2; wird ausschliesslich durch Trägheitskräfte erzeugt.
- **Diffuse Axonverletzungen (DAI):** Pathologisches Substrat eines langdauernden, traumatischen Komats. Sie werden wie die Commotio ausschliesslich durch Trägheitskräfte verursacht. Der Entstehungsmechanismus ist ähnlich wie bei den SDH, also eine Relativbewegung des Gehirns zum Schädel. Der grosse Unterschied besteht darin, dass die Akzelerationszeiten wesentlich länger sind, z.B. Fahrzeuginsasse gegen gepolstertes Lenkrad.

3 Schutzwirkung des Motorradhelmes

Seit dem 01.01.1985 sind Motorradfahrer vom Gesetzgeber her unter Androhung von Strafe dazu verpflichtet, einen Schutzhelm zu tragen. Betrug der Prozentsatz der Helmträger bis dato gerade einmal 20%, so stieg er von diesem Zeitpunkt an relativ schnell auf annähernd 100% [1]. Die Verhinderung und Minderung von Kopfverletzung durch Schutzhelme ist schon seit langem durch zahlreiche Untersuchungen belegt. Danach soll, je nach Verletzungsart und Verletzungsschwere, Unfalltyp, Geschwindigkeit und Sitzposition, durch Schutzhelme das Risiko von Kopfverletzungen um 30 bis 88 % reduziert werden (Zusammenfassung in [6]).

Insgesamt sollen tödliche Kopfverletzungen um 40 bis 50 % verringert werden, bzw. das Risiko ernster und tödlicher Kopfverletzungen für Nichthelmträger viermal so hoch sein wie für Helmträger [7]. Nach Langwieder [8] ist gegenüber Helmträgern für Fahrer ohne Helm das Risiko ernsthafter Kopfverletzungen doppelt, kritischer und tödlicher Kopfverletzungen dreimal so hoch. In einer 1980 durchgeführten Unfallstudie im Großraum München konnte ermittelt werden, dass der Motorradhelm eine Risikominderung für Kopfverletzungen von mindestens 90 % bewirkt bzw. ohne Helm ein mindestens zehnfaches Risiko besteht, bei einem Unfall Kopfverletzungen davonzutragen [9].

Verletzungsarten, die der Schutzhelm wirksam verhindert, sind besonders (zumeist offene) Schädeldachfrakturen sowie komplizierte Unterkieferfrakturen, vorausgesetzt, der Helm verfügt über einen ausreichenden Kinnschutz. Gleiches gilt für Lacerationen, Schnittwunden sowie Prellungen im gesamten Kopfbereich, wogegen gedeckte Schädelhirntraumen (SHT) nicht in dem gleichen Maße reduziert werden [10]. Letztere entstehen nicht primär durch direkt Gewalteinwirkung bzw. Kontaktkräfte, sondern infolge von Akzelerations- bzw. Inertialkräften, welchen der Helm trotz Schutzpolsterung nur begrenzt entgegenwirken kann.

Trotz des gegenwärtig allgemein anerkannten sehr hohen Schutzpotentials von Motorradhelmen, insbesondere von Integralhelmen, zieht sich ein erheblicher Teil der verunfallten Helmträger Kopfverletzungen zu. Nach der 2001 veröffentlichten europäischen Unfallstudie COST 327 ist bei verletzten Helmträgern der Anteil von Kopfverletzungen immerhin noch ca. 67 % und bei den schwer verletzten sogar über 80% [11]. Nach wie vor hat damit die Reduzierung von Kopfverletzungen einen hohen Stellenwert, sei es durch direkte Maßnahmen, wie Optimierung von Schutzhelmen, oder indirekt durch Vermeiden von kritischen Kopfanprallsituationen durch Beeinflussung der Kollisionsdynamik, etwa mittels konstruktiver Maßnahmen am Kraftrad (Tankform, sog. Leg-Protector) oder beim Unfall aktivierte Schutzeinrichtungen, wie z.B. Airbags [12, 13,14].

4 Material und Methode

4.1 Erhebung der Unfalldaten und Beschreibung der Fälle

Zielsetzung der Arbeit ist die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Aufprallwinkel des behelmten Kopfes und damit assoziierter Art und Lokalisation der Kopfverletzungen. Eine möglichst genaue Kenntnis der jeweiligen Aufprallsituation und der hierbei erlittenen Verletzungen waren deshalb wesentliche Kriterien für die Auswahl der Fälle.

Die Arbeit baut auf der COST 327-Studie von 2001 auf und verwendet somit auch geeignete Fälle aus der COST-327-Datenbank [11]. Letztere umfasst insgesamt 218 verletzte und getötete Helmträger aus Unfällen in den Jahren 1996 bis 1998, wovon 111 von der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), 55 vom Institut für Rechtsmedizin der Universität München (IfR) und 52 vom Department of Neuropathology in Glasgow/Schottland (SG) erhoben wurden.

Für diese Untersuchung konnten 9 Fälle aus Hannover, 39 Fälle aus München und 15 Fälle aus Glasgow herangezogen werden, also aus den Jahren 1996 bis 1998 eine Gesamtzahl von 63 Fällen.

Um eine höhere Fallzahl zu erhalten, wurde die Auswahl aus der COST 327 Untersuchung durch 53 weitere, obiges Auswahlkriterium erfüllende Fälle aus dem Sektionsgut des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München der Jahre 1999 bis 2002 ergänzt.

Die Gesamtzahl der zur Auswertung verfügbaren Stichprobe beträgt dann $n = 116$. Deren Verteilung auf Erhebungsgebiet und Erhebungsjahr zeigt die folgende Tabelle 4.1.

Tabelle 4.1: Anzahl der Fälle nach Erhebungsgebiet und Erhebungsjahr

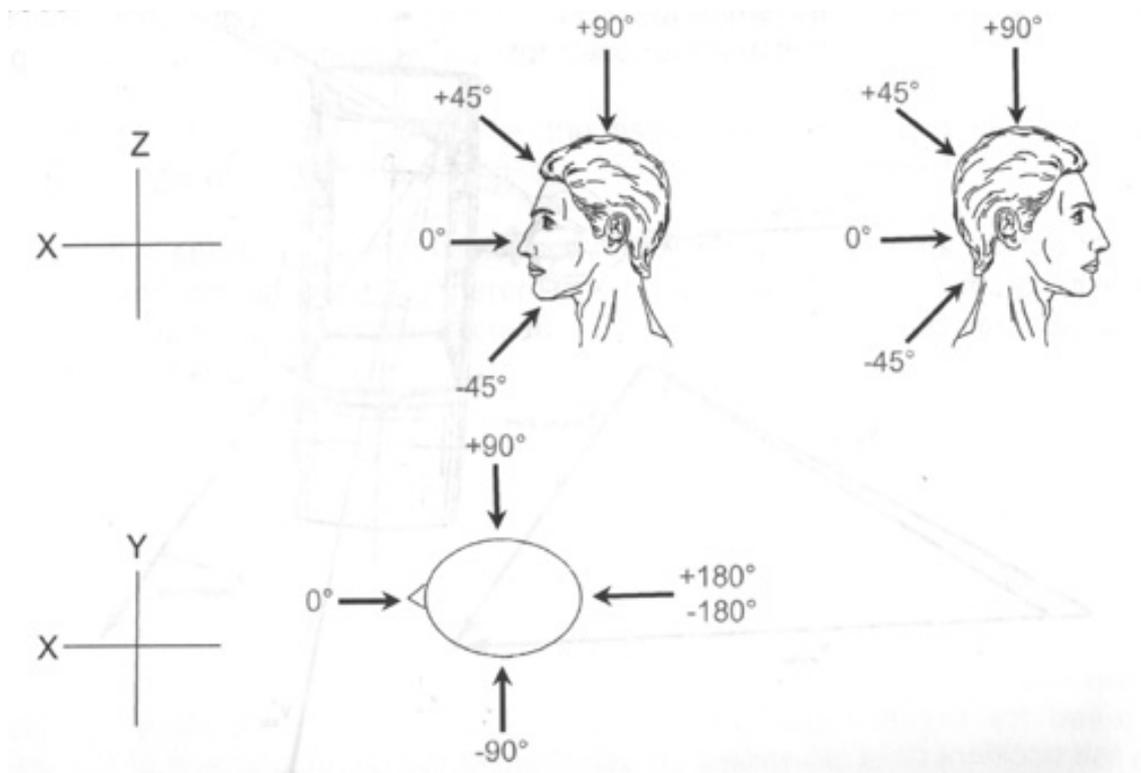
	Zahl der Fälle aus			
Jahr(e)	München	Hannover	Glasgow	Gesamt
1996-1998	39	9	15	63
1999	11			11
2000	9			9
2001	17			17
2002	16			16
Gesamt	92	9	15	116

4.2 Methodik der Auswertung

4.2.1 Aufprallwinkel des Kopfes

Das in der COST 327 Studie [11] ausgearbeitete Schema zur Klassifizierung der Aufprallwinkel und die Definition des lokalen Koordinatensystems für den Kopf wurden gemäß Abbildung 4.1 einheitlich auf alle untersuchten Fälle angewandt.

Abbildung 4.1: Anprallwinkel des Kopfes und zugehöriges Koordinatensystems



Jedem Einzelfall wurde nach eingehender Bewertung der Anprallsituation des behelmten Kopfes ein Winkel in der Sagittalebene (XZ) und in der Transversalebene (XY) zugeordnet.

Die **Winkel in der Sagittalebene (XZ)** wurden dabei in vier Abschnitte von je 90° untergliedert:

- | | | | |
|----|-----------|-------|-----------------------|
| 1. | -45° bis | +45° | Frontal |
| 2. | -46° bis | -135° | Lateral links |
| 3. | +46° bis | +135° | Lateral rechts |
| 4. | -136° bis | +136° | Okzipital. |

Die Fälle mit frontalem Aufprall wurden zur exakteren Auswertbarkeit noch zusätzlich in zwei Zonen untergliedert:

1. ZX von -45° bis 15° als **kaudaler** (unterer) Frontalbereich,
2. ZX von 16° bis 90° als **kranialer** (oberer) Frontalbereich.

Die übrigen drei XZ-Winkelbereiche wurden unverändert wie oben beschrieben übernommen.

Somit ergeben sich als Grundlage für nachfolgende Auswertungen und Vergleiche bezüglich der Anprallwinkel des behelmten Kopfes **fünf separate Bereiche**:

Bereich 1	Kaudaler Frontalbereich
Bereich 2	Kranialer Frontalbereich
Bereich 3	Linker Lateralbereich
Bereich 4	Rechter Lateralbereich
Bereich 5	Okzipitalbereich.

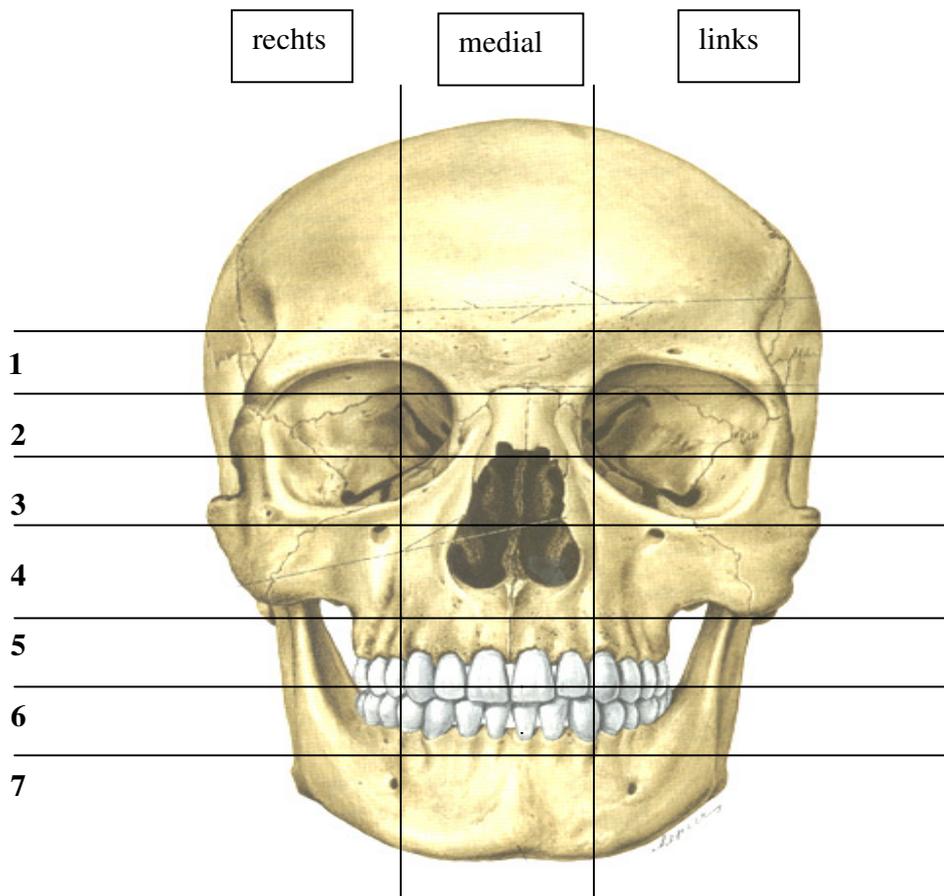
4.2.2 Art und Lokalisation der Verletzungen

Ausgehend von den in Kapitel 2.2. dargestellten möglichen Verletzungsarten im Kopfbereich wurde für jeden der 116 untersuchten Einzelfälle durch Auswertung der Sektionsprotokolle und anderer Befundberichte die erlittenen Läsionen zugeordnet.

Die genaue Lokalisation der Einzelverletzungen wurde in definierte einheitliche Schemata übertragen, in welchen die verschiedenen Anteile des Gesichts- und des Hirnschädels sowie des Großhirns in quasi dreidimensionale Gittermuster unterteilt sind. Damit soll im Hinblick auf die Zielsetzung der Arbeit eine direkte Vergleichbarkeit der einzelnen Bereiche untereinander erreicht und bei Kenntnis des Aufprallwinkels die Häufigkeit einer spezifischen Verletzung an einer bestimmten Lokalisation ermittelt werden, um dadurch Rückschlüsse auf eventuelle Gesetzmäßigkeiten folgern zu können.

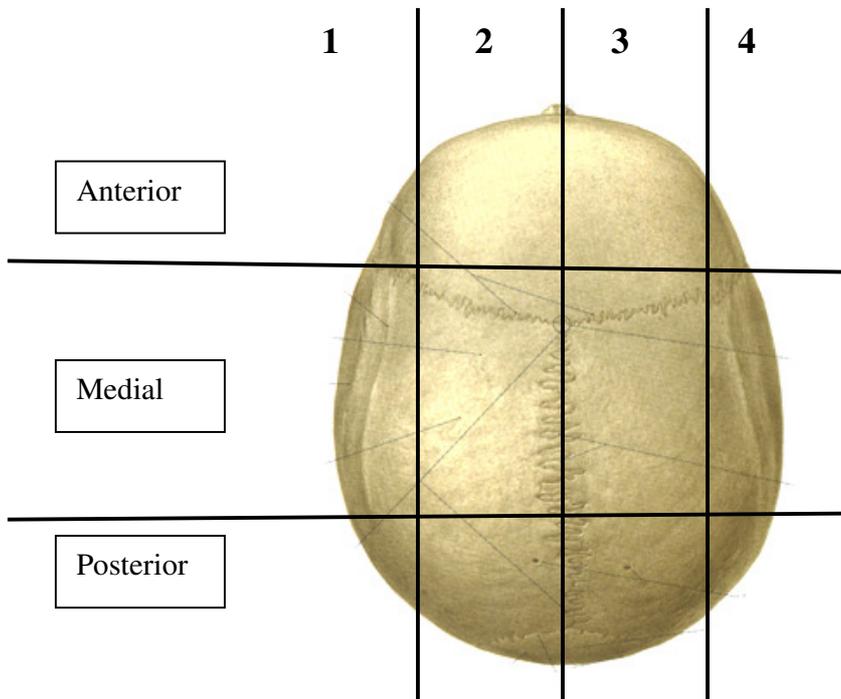
Zur Veranschaulichung und zum besseren Verständnis der statistischen Auswertungen und zugehörigen Graphiken im Ergebnisteil (Kapitel 5) sind in den folgenden Abbildungen 2 – 6 anatomischen Schautafeln Gitternetze überlagert, an denen die verwendeten Einteilungsprinzipien der Verletzungslokalisierung deutlich gemacht werden. Allerdings kommt aufgrund von Schädel- und Hirnkrümmung die faktische Dreidimensionalität der eingezeichneten Linien auf den abgebildeten Vorlagen nur unvollständig zum Ausdruck.

Abbildung 4.2 zeigt das Einteilungsschema für den **Gesichtsschädel**. An Verletzungsarten werden dortige **Frakturen** sowie **Lazerationen und Hämatome** in den Gesichtsseiten in die Auswertung einbezogen.

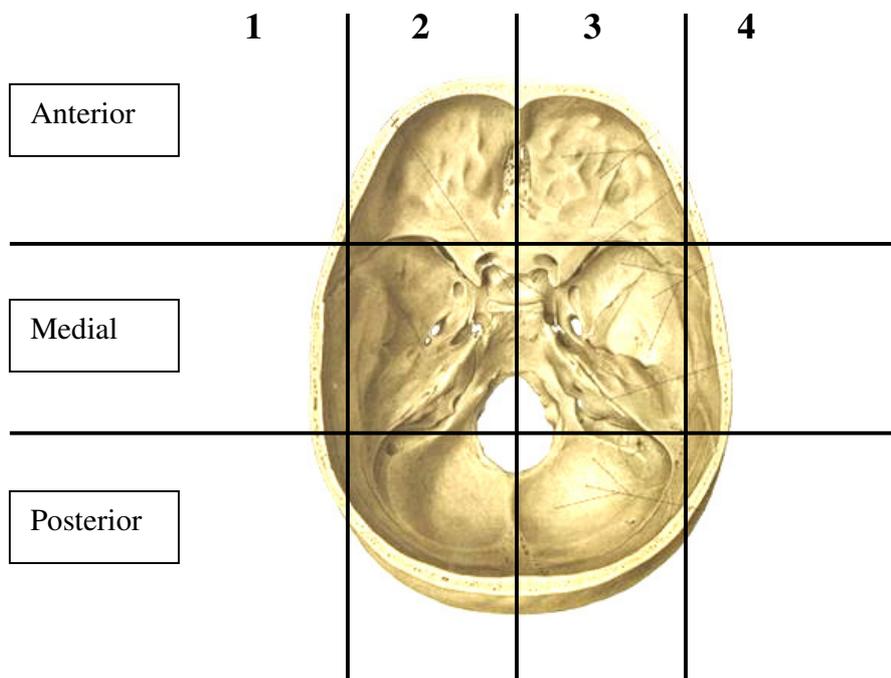
Abbildung 4.2: Gesichtsschädel:Legende:

	rechts/links	medial
1:	superiorer Orbitaanteil	Nasenbein
2:	inferiorer Orbitaanteil	Nasenbein
3:	Jochbein/Maxilla	Nasenbein
4:	Maxilla	Maxilla
5:	Gebiss/Mundhöhle	Gebiss/Mundhöhle
6:	superiorer Mandibulaanteil	Mandibula
7:	inferiorer Mandibulaanteil	Mandibula

Die Verletzungsbereiche an **Schädeldach** und **Schädelbasis** illustrieren Abbildung 4.3 und Abbildung 4.4. Die Segmente „Anterior“, „Medial“ und „Posterior“ entsprechen dabei in Basis der vorderen, mittleren Schädelgrube. Zur Auswertung berücksichtigt werden hier **Frakturen** sowie auch **Lacerationen** und **Hämatome** in der Weichteildeckung des Schädeldaches.

Abbildung 4.3: Schädeldach:

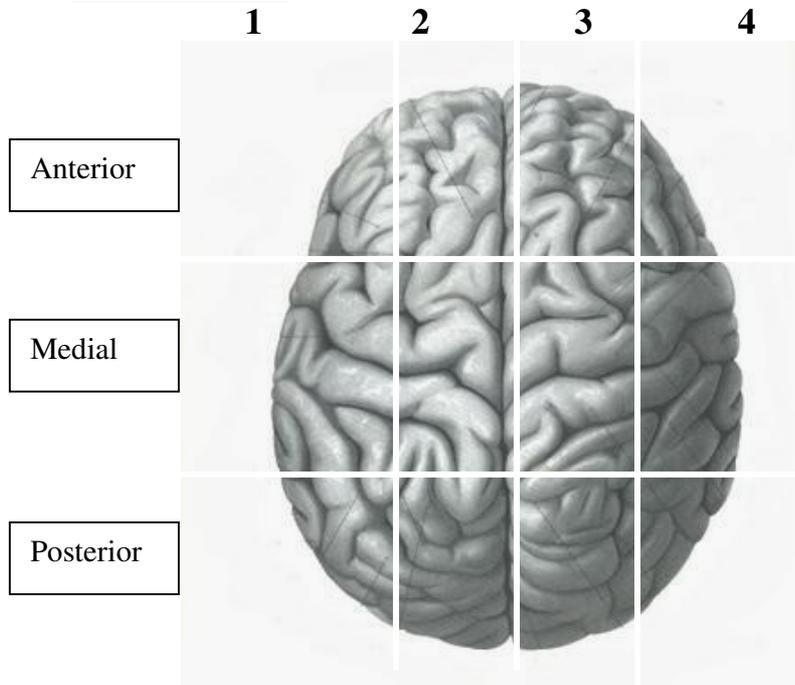
Legende: 1: lateral links, 2: zentral links, 3: zentral rechts 4: lateral rechts

Abbildung 4.4: Schädelbasis:

Legende: 1: laterobasal links, 2: basal links, 3: basal rechts, 4: laterobasal rechts

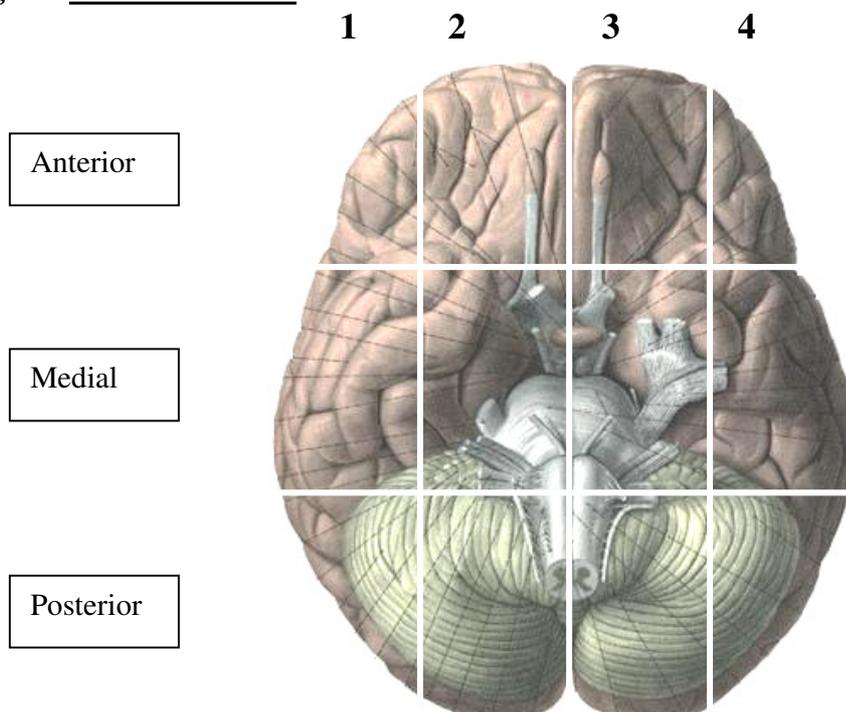
Die Bereiche des **Großhirns** werden **von oben und basal** gesehen in den Abbildungen in den Abbildungen 4.5 und 4.6 verdeutlicht. Zur Auswertung herangezogene Läsionen sind Blutungen, Kontusionen und Rupturen.

Abbildung 4.5: Gehirn von oben



Legende: 1: lateral links 2: zentral links 3: zentral rechts 4: lateral rechts

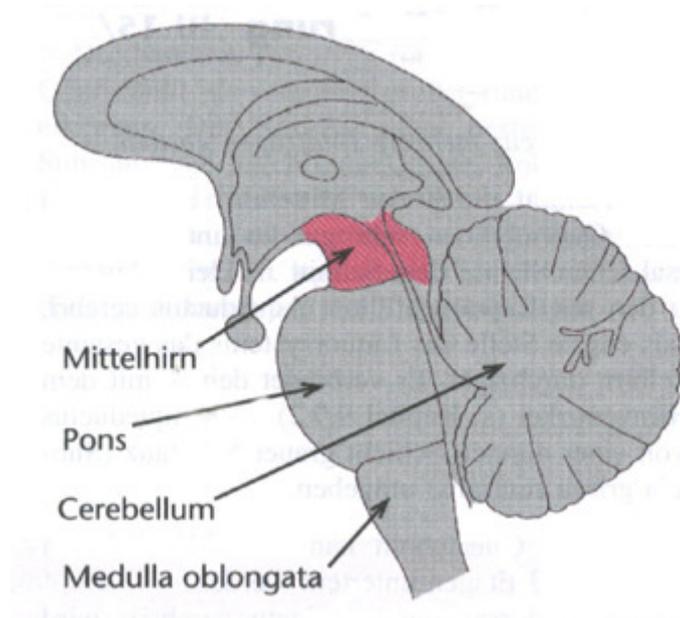
Abbildung 4.6: Gehirn von basal



Legende: 1: laterobasal links 2: basal links 3: basal rechts 4: laterobasal rechts

In Abbildung 4.6 sind Hirnstamm und Kleinhirn eingezeichnet, um den topographischen Zusammenhang zwischen Großhirn zu demonstrieren. Die eigentlichen Verletzungsareale für **Hirnstamm** und **Cerebellum** folgen im nächsten Schema in Abbildung 4.7.

Abbildung 4.7: Hirnstamm und Cerebellum:



Der **Hirnstamm** umfasst die drei Bereiche **Mittelhirn**, **Pons** und **Medulla oblongata**, während das Kleinhirn als Gesamtkomplex betrachtet wird. Auch hier werden an Verletzungen **Blutungen**, **Kontusionen** und **Rupturen** differenziert.

Die **Halswirbelsäule** wurde in Bezug auf **Frakturen** und **Luxationen** der einzelnen Wirbel untersucht. Die Aufteilung erfolgte in acht Segmente, d.h. entsprechend den Halswirbelabschnitten **C 0 (= Atlanto-Occipital-Gelenk)** bis **C 7**.

5 Ergebnisse

5.1 Alters- und Geschlechterverteilung

Die zur Auswertung herangezogenen Unfallopfer waren im Alter zwischen 15 und 69 Jahren, mit einem Durchschnittsalter (Median) von 34 Jahren. Die Altersverteilung absolut und prozentual ist in Tabelle 5.1 dargestellt.

Tabelle 5.1: Altersverteilung

Alter [Jahre]	15 – 19	20 – 29	30 – 39	40 – 49	50 – 59	60 - 69
Anzahl n	15	38	30	18	10	5
Anteil [%]	13	32,6	26,1	15,2	8,7	4,4

Fast die Hälfte (45,6 %) der Verunfallten war unter 30 Jahren, mehr als 70 % war noch nicht 40 Jahre alt. Wegen ihrer geringeren Verkehrsbeteiligung und womöglich weniger riskanten Fahrweise sind die höheren Altersklassen, insbesondere über 60 Jahre nur selten vertreten.

Die Anzahl männlicher Opfer ist in etwa sechsmal so hoch wie die weiblicher. 99 (85,9 %) der untersuchten Fälle waren Männer und nur 17 (14,1 %) Frauen. Dies spiegelt auch wieder, dass bekanntermaßen wesentlich mehr männliche als weibliche Motorradfahrer im Straßenverkehr unterwegs sind.

5.2 Anprallobjekte des behelmteten Kopfes

In insgesamt 105 der 116 Fälle (90,5 %) war zu ermitteln, an welchem Objekt der Anprall des behelmteten Kopfes erfolgte. Die Verteilung dieser Fälle auf einzelne Objekte vermittelt die folgende Tabelle 5.2.

Tabelle 5.2: Anprallobjekte

	Pkw	Lkw <7,5 t	Lkw >7,5 t	Krad	Sonst. Fz.	Obj. breit	Obj. schmal	Gesamt
Anzahl n	64	3	9	2	11	2	14	105
Anteil %	60,9	2,9	8,6	1,9	10,5	1,9	13,3	100

Erläuterungen:

- Sonstiges Fahrzeug: Landwirtschaftliche Fahrzeuge, Busse
- Breites Objekt: Strasse, Bordstein, Brückenpfeiler, Geländer
- Schmales Objekt: Begrenzungspfosten, Verkehrsschild, Baum

Pkw waren mit 60,9 % am häufigsten involviert, in großem Abstand folgen dann mit einer Häufigkeit von 13,3 % „schmale Objekte“, wie z.B. Verkehrsschilder Bäume, sowie sonstige Fahrzeuge (10,5 %). Grosse Lkw über 7,5 t sind als Anprallobjekte mit 8,6 % beteiligt sowie nur vereinzelt motorisierte Zweiräder, kleine Lkw unter 7,5 t und breite Objekte.

Insgesamt überwiegen um ein Vielfaches die beweglichen Objekte (84,8 %), also Fahrzeuge aller Art, gegenüber allen statischen Objekten (15,2 %).

5.3 Aufprallgeschwindigkeiten des behelmteten Kopfes

Von den ausgewerteten 116 Fällen war in 52 Fällen (44,8 %) die Aufprallgeschwindigkeit des Kopfes zu rekonstruieren. Daher konnte nicht für jeden Einzelfall auch die Intensität des jeweiligen Kopfaufpralls zugeordnet werden. Für die 52 Fälle mit bekannter Aufprallgeschwindigkeit (v) des Kopfes wird in Tabelle 5.3 die Geschwindigkeitsverteilung aufgezeigt, welche als weitgehend repräsentativ für das gesamte Untersuchungsgut angesehen werden darf.

Tabelle 5.3: Geschwindigkeitsverteilung beim Aufprall des behelmteten Kopfes

v [km/h]	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	>100	Gesamt
Anzahl (n = 52)	7	4	6	8	6	11	2	8	52
Anteil %	13,5	7,7	11,5	15,4	11,5	21,1	3,9	15,4	100

Bei den insgesamt 52 Fällen mit bekannter Kopfaufprallgeschwindigkeit lag damit der Durchschnitt (Median) schon sehr hoch bei 69,6 km/h. Schwerpunktbereich mit nahezu der Hälfte der Fälle war zwischen 60 km/h und 90 km/h, wenngleich aber auch bei niedrigerer Aufprallintensität tödliche Kopfverletzungen auftraten. Unter 30 km/h waren keine derartigen Fälle zu explorieren. Einzelne Fälle waren auch extrem hohen Aufprallgeschwindigkeiten über 100 km/h ausgesetzt.

5.4 Aufprallwinkel des behelmten Kopfes

Die Verteilung der ermittelten Anprallwinkel gemäß den Definitionen in Kapitel 3.1 ist in folgender Tabelle 5.4 dargestellt. Diese Bereiche bilden die Grundeinteilung für nachfolgende Detailauswertungen und Vergleiche.

Tabelle 5.4: Verteilung der Anprallwinkel

Winkel XY	-45° bis +15°	+16° bis +45°	+46° bis +90°	Summe	Anteil %
Frontal	35	38	5	78	67,2
Lateral links	13	5	1	19	16,4
Lateral rechts	2	8	1	11	9,5
Okzipital	5	3	0	8	6,9
Gesamt	55	54	7	116	100

Wie sich der Tabelle 5.4 entnehmen lässt, war in einem Grossteil der untersuchten Fälle der Kopf von einem Frontalanprall betroffen (78 von 116, entspricht 67,2 %), und zwar vorwiegend (73 von 116 Fällen) im **ZX-Winkel**bereich von -45° (entspricht Kinnbereich) bis 45° (entspricht Stirnbereich).

Die kleine Zahl von 5 Fällen mit Anprallstellen in der Scheitelregion (+46° bis +90°) wurde in den Frontalbereich miteinbezogen.

Werden die Fälle mit Frontalanprall gemäß der Definition in Kapitel 4 noch unterteilt in kaudal und kranial, so ergibt sich die in Tabelle 5.5 gezeigte Verteilung der Fälle. Die hier aufgeführte Klassifikation ist auch die Grundlage für die nachfolgenden Auswertungen hinsichtlich der assoziierten Kopfverletzungen.

Tabelle 5.5: Verteilung der Anprallwinkel

Bereich		Anzahl	Anteil %
1	Frontal – kaudal	35	30,2
2	Frontal - kranial	43	37,1
3	Lateral – links	19	16,3
4	Lateral - rechts	11	9,5
5	Okzipital	8	6,9
Gesamt		116	100

5.5 Aufprallbereiche und Lokalisation der Verletzungen

5.5.1 Bereich 1: Anstoß frontal kaudal (n = 35)

Der Bereich 1 umfasst Fälle, die einem Kopfaufprall frontal in Winkeln **XZ von -45° bis 15°** sowie **XY von -45° bis 45°** ausgesetzt waren.

5.5.1.1 Verletzungen im Gesichtsbereich

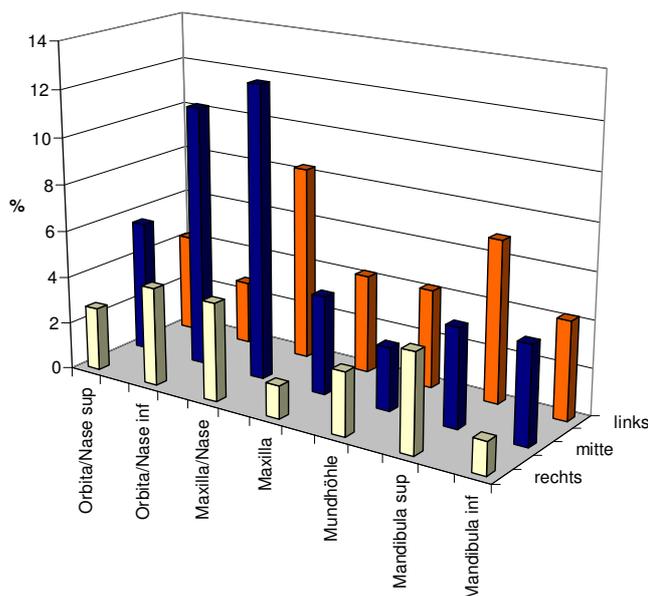
Insgesamt beobachtete man in 31 von 35 Fällen (**88,6 %**) Lazerationen, Hämatome und/oder Frakturen im Gesichtsbereich. Die Aufteilung bezüglich der Verletzungsarten war folgende:

Lazerationen im Gesicht erlitten 11 von 35 Personen (**31,4%**), wobei die in Tabelle 5.6 und Abbildung 5.1 dargestellte Lokalisation vorlag.

Tabelle 5.6: Lazerationen Gesicht (n = 11, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior	2,7	5,6	4,2	12,5
Orbita/Nase inferior	4,2	11,1	2,7	18
Maxilla/Nase	4,2	12,5	8,3	25
Maxilla/Jochbein	1,4	4,2	4,2	9,8
Mundhöhle	2,7	2,7	4,2	9,6
Mandibula superior	4,2	4,2	6,9	15,3
Mandibula inferior	1,4	4,2	4,2	9,8
Gesamt	20,8	44,5	34,7	100

Abbildung 5.1: Lazerationen Gesicht



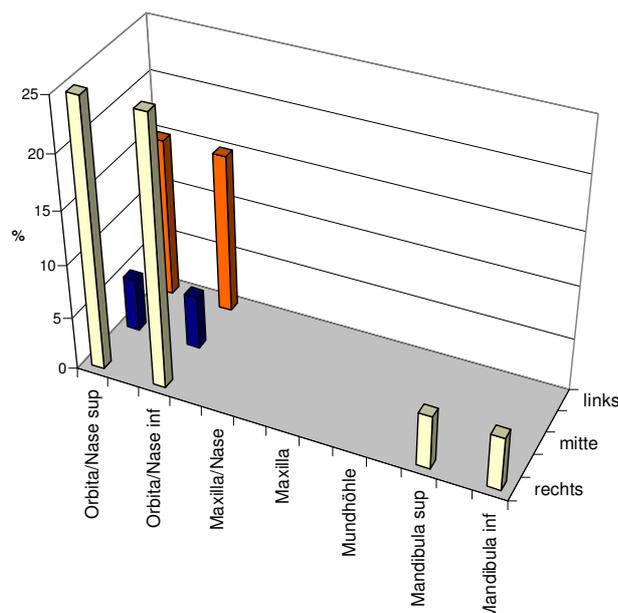
Trotz der eher kaudal gelegenen Aufprallzone waren die oberen Anteile des Gesichtes am stärksten in Mitleidenschaft gezogen (Orbita/Jochbein/obere Maxilla/Nase: 55,5 %), hauptsächlich bedingt durch die anatomisch exponierte Lage der Nase (30,1 %). Der Unterkiefer war mit 25,1 % Häufigkeit nur durchschnittlich betroffen. Generell zeigte sich die linke Gesichtshälfte häufiger lädiert als die rechte, was seine Ursache in dem hohen Anteil von Pkw-Kollisionen im Rechtsverkehr haben könnte. Die wenigen Fälle aus Schottland erlauben jedoch keinen Vergleich, ob hier die rechte Seite vermehrt betroffen gewesen sein könnte.

Hämatome im Gesicht sind nur in 6 von 35 Fällen (**17,1%**) anzutreffen, wobei ein Grossteil (80%) Monokelhämatome sind. Diese weisen oft auf Orbita- bzw. Schädelbasisfrakturen hin, was an späterer Stelle noch offenkundig wird. Vereinzelt zeigen sich auch Hämatome rechts in der Unterkieferregion (vgl. Tabelle 5.7, Abbildung 5.2).

Tabelle 5.7: Hämatome im Gesicht (n = 6, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior	25	5	15	45
Orbita/Nase inferior	25	5	15	45
Maxilla/Nase				
Maxilla/Jochbein				
Mundhöhle				
Mandibula superior	5			5
Mandibula inferior	5			5
Gesamt	60	10	30	100

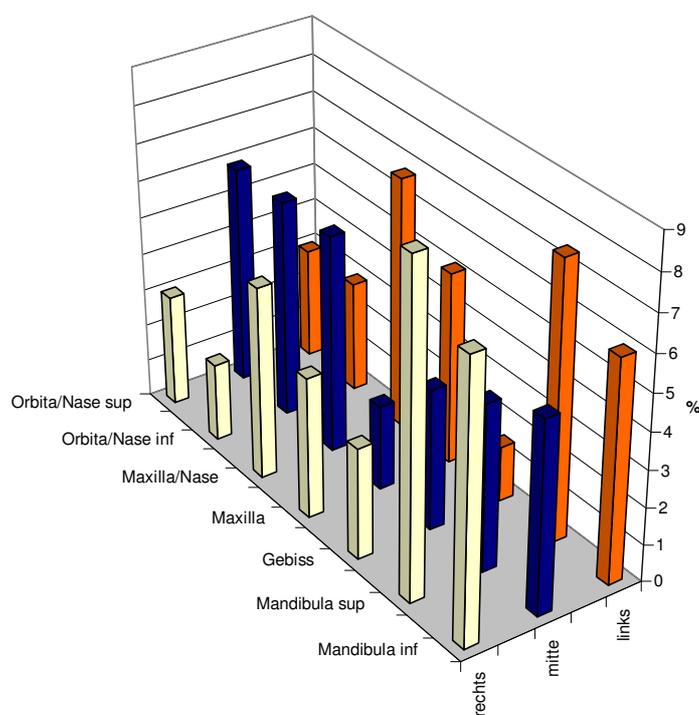
Abbildung 5.2: Hämatome im Gesicht



Frakturen des Gesichtschädels waren in 25 von 35 Fällen (**71,4 %**) vorzufinden. Deren Lokalisation illustrieren Tabelle 5.8 und Abbildung 5.3.

Tabelle 5.8: Frakturen des Gesichtsschädels (n = 25, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior	3	5,9	3	11,9
Orbita/Nase inferior	2,1	5,9	3	11
Maxilla/Nase	5,2	5,9	6,8	17,9
Maxilla/Jochbein	3,8	2,3	5,2	11,3
Gebiss	3	3,8	1,5	8,3
Mandibula superior	8,9	4,5	7,5	20,9
Mandibula inferior	7,5	5,2	6	18,7
Gesamt	33,5	33,5	33	100

Abbildung 5.3: Frakturen des Gesichtsschädels

In Anbetracht des vorliegenden frontal kaudalen Aufpralls ist eine erhebliche Mitbeteiligung des Unterkiefers (39,4 %) ersichtlich. Aber auch der Oberkiefer sowie erwartungsgemäß die Nase sind überproportional betroffen. Verhältnismäßig gering ausgeprägt ist die Häufigkeit von Orbitafrakturen, was sich wiederum durch den kaudalen Aufprall erklären lässt. Die von hier fortgeleiteten Frakturen sollten sich eher im Bereich der Schädelbasis finden lassen.

5.5.1.2 Verletzungen im Bereich des Schädeldaches

In 14 von 35 Fällen (**40 %**) waren Verletzungen im Bereich des Schädeldaches zu verzeichnen. Alle diese Fälle wiesen Frakturen in diesem Bereich auf.

Lazerationen an der Weichteildeckung über dem Schädeldach fanden sich in 5 von 35 Fällen (**14,3 %**), wobei hier nur der Stirnbereich betroffen war (vgl. Tabelle 5.9).

Tabelle 5.9: Lazerationen Weichteile über dem Schädeldach (n = 5, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior
Lateral links	12,5		
Zentral links	25		
Zentral rechts	37,5		
Lateral rechts	25		
Gesamt	100		

Hämatome in den Weichteilen über dem Schädeldach waren nur in 7 von 35 Fällen (**20 %**) zu beobachten. Tabelle 5.10 zeigt dazu wiederum die Lokalisation der Hämatome.

Tabelle 5.10: Hämatome Weichteile über dem Schädeldach (n = 7, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral links		28,6		28,6
Zentral links			4,8	4,8
Zentral rechts			9,5	9,5
Lateral rechts	14,3	42,8		57,1
Gesamt	14,3	71,4	14,3	100

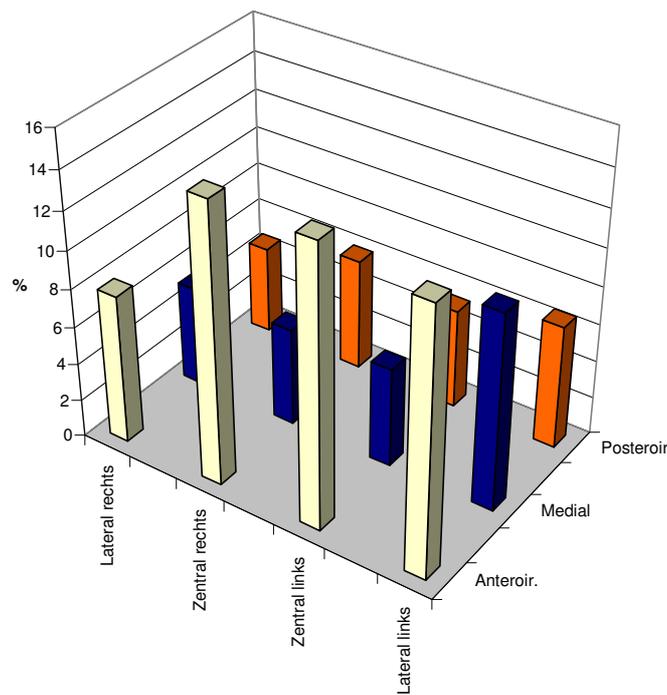
Die Häufigkeitsverteilung in Tabelle 5.10 zeigt ein recht unregelmäßiges Bild, nicht zuletzt bedingt durch die sehr geringe Fallzahl, ähnlich wie bei den Lazerationen. Man kann davon ausgehen, dass sich die Hämatome infolge der erlittenen Frakturen ausgebildet haben.

Frakturen des Schädeldaches fanden sich in 14 von 35 Fällen (**40 %**). Die Lokalisation zeigen Tabelle 5.11 und Abbildung 5.4.

Tabelle 5.11: Frakturen Schädeldach (n = 14, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	7,9	5,3	4,7	17,9
Zentral rechts	14,7	5,2	6	25,9
Zentral links	14,7	5,3	5,3	25,3
Lateral links	13,9	10,4	6,6	30,9
Gesamt	51,3	26,2	22,6	100

Abbildung 5.4: Frakturen des Schädeldaches



Die Frakturverteilung weist am ehesten auf ein fortgeleitetes Bruchgeschehen hin. Ausgehend von der direkten Gewalteinwirkung im Bereich Unterkiefer / kaudaler Oberkiefer kann eine Kraftausbreitung die Kalottenmitbeteiligung bewirken, ebenso auch eine Beteiligung der Schädelbasis (s.u.). Dies erklärt dann auch die Abnahme der Frakturausläufer in den medialen und posterioren Bezirken.

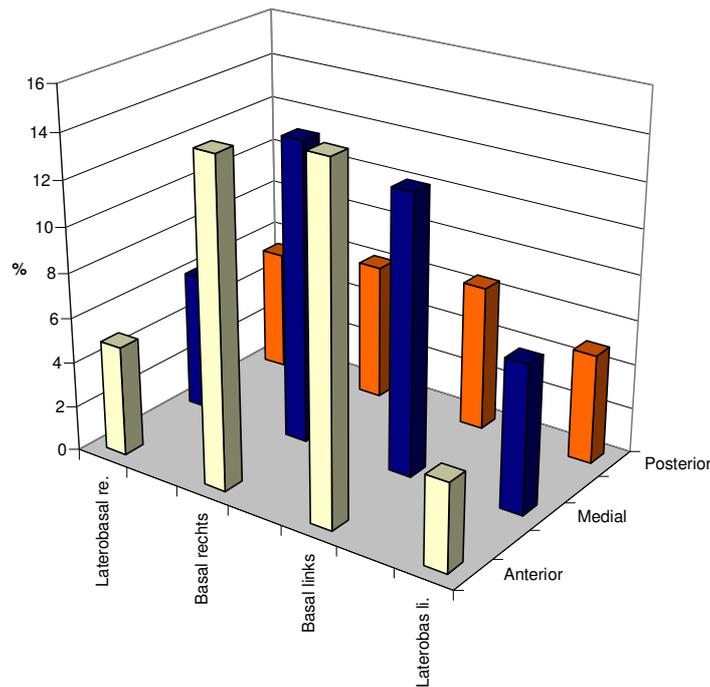
5.5.1.3 Frakturen im Bereich der Schädelbasis

Schädelbasisfrakturen waren in 23 von 35 Fällen (**65,7 %**) zu verzeichnen, davon in 14 Fällen kombiniert mit Kalottenfrakturen (s.o.). Tabelle 5.11 und Abbildung 5.5 zeigen die Lokalisation der Basisbrüche.

Tabelle 5.11: Frakturen Schädelbasis (n = 23, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	4,9	6,1	5,4	16,4
Basal rechts	14,4	13,4	6,1	33,9
Basal links	15,4	12,4	6,5	34,3
Laterobasal links	3,9	6,6	4,9	15,4
Gesamt	38,6	38,5	22,9	100

Abbildung 5.5: Frakturen der Schädelbasis



Es lässt sich eine ähnliche Verteilung wie bei den Kalottenfrakturen erkennen: Aufgrund der Kraftfortleitung von dem Unter- bzw. Oberkiefer erhält man eine vor allem basal nach posterior abnehmende Beteiligung. Über die laterobasalen Anteile ergab sich zumeist die Verbindung zu den Schädeldachfrakturen, die wie oben beschrieben ausnahmslos mit Schädelbasisbrüchen kombiniert waren.

5.5.1.4 Verletzungen im Bereich des Großhirnes

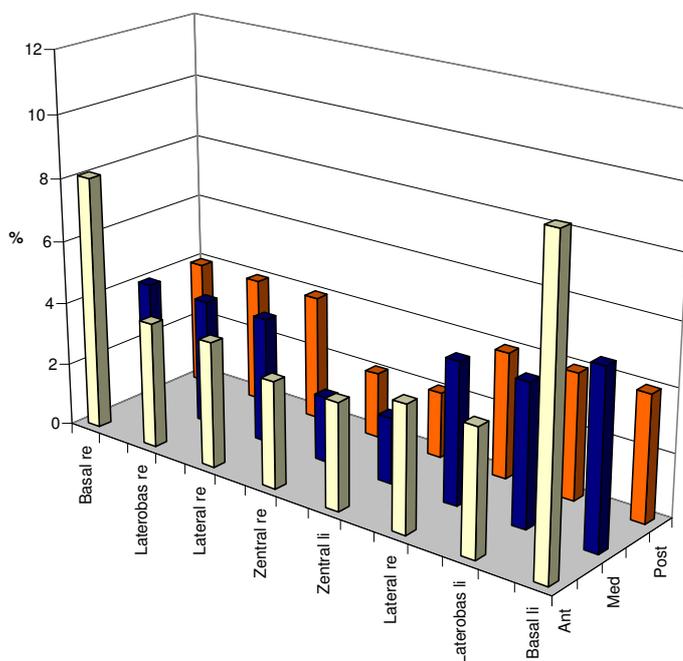
In 27 von 35 Fällen (77,1 %) kam es am Großhirn zu Verletzungen im Sinne von Rupturen, Kontusionen (Quetschungen) und/oder Blutungen.

Rupturen zeigten sich in 5 von 35 Fällen (14,3 %). Aufgrund der geringen Fallzahl sind in folgender Tabelle 5.12 und Abbildung 5.6 basaler und zentraler Anteil zusammengefasst.

Tabelle 5.12: Rupturen Großhirn (n = 5, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Basal rechts	8,1	4	4	16,1
Laterobasal rechts	4	4	4	12
Lateral rechts	4	4	4	12
Zentral rechts	3,4	2,1	2,1	7,6
Zentral links	3,4	2,1	2,1	7,6
Lateral links	4	4,5	4	12,5
Laterobasal links	4	4,5	4	12,5
Basal links	10,1	5,6	4	19,7
Gesamt	41	30,8	28,2	100

Abbildung 5.6: Rupturen Großhirn



Bezüglich der Lokalisation der Rupturen erkennt man eine Häufigkeitsabnahme von basal vorne nach zentral hinten. In der Nähe des Anprallortes findet man somit ein ausgeprägteres Verletzungsmuster, während hingegen in größerer Entfernung die Läsionen abnehmen. Somit

dürfte vornehmlich ein Mechanismus im Sinne der Coup-Kontusion auch für die Rupturen verantwortlich sein.

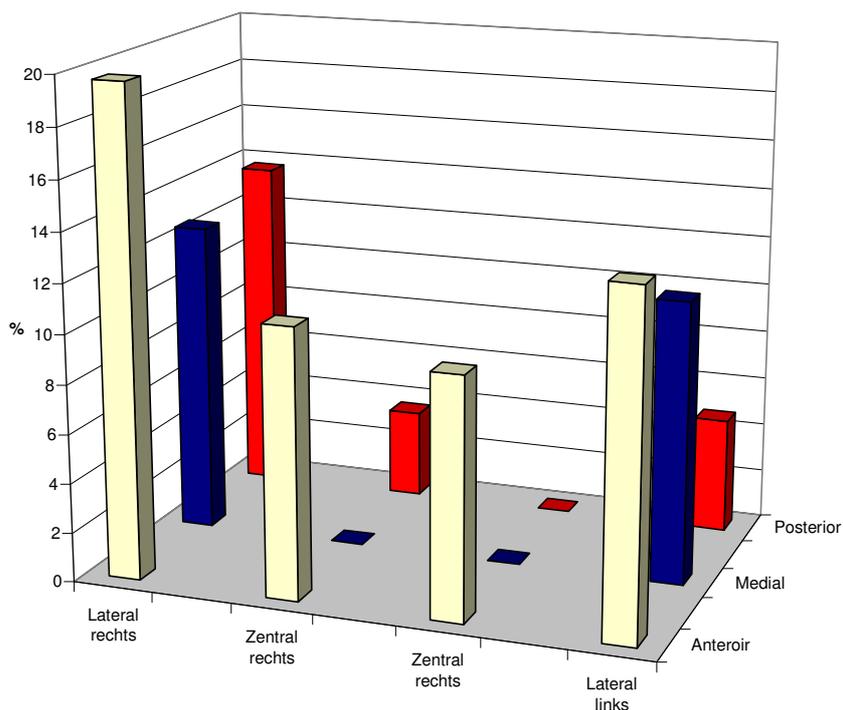
Kontusionen am Großhirn fanden sich in 11 von 35 Fällen (**31,4 %**).

Tabelle 5.13 und Abbildung 5.7 präsentieren die **dorsalen Kontusionen** in 8 von 35 Fällen (**22,9 %**).

Tabelle 5.13: Kontusionen Großhirn oben (n = 11, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	19,7	12,6	13,7	46
Zentral rechts	10,9		3,6	14,5
Zentral links	9,7			9,7
Lateral links	13,7	11,4	4,7	29,8
Gesamt	54	24	22	100

Abbildung 5.7: Kontusionen Großhirn oben



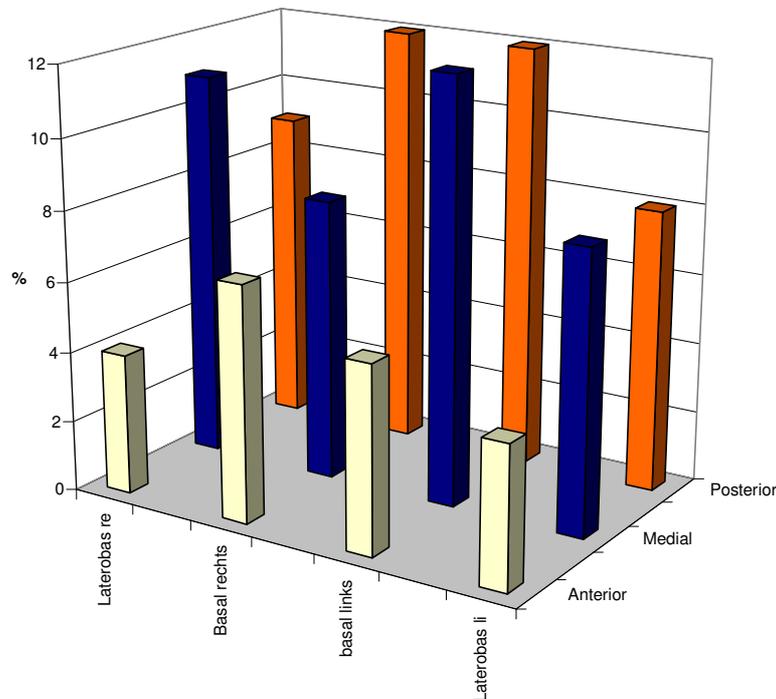
In dem Verteilungsmuster der Kontusionen in der dorsalen Großhirnregion ist ein deutliches Gefälle von anterior nach posterior erkennbar. Die unmittelbar dorsal gelegenen Anteile medial und posterior weisen praktisch keine Kontusionen auf. Insbesondere betroffen sind der anteriore Bereich, offenbar infolge Coup-Mechanismus, sowie die lateral gelegenen Regionen, letztere zum Teil in Fortsetzung von basal (s.u.).

Basal waren am Großhirn Kontusionen in 6 von 35 Fällen (**17,1 %**) auszumachen. Deren Lokalisation verdeutlichen Tabelle 5.14 und Abbildung 5.8.

Tabelle 5.14: Kontusionen Großhirn basal (n = 6, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	4	11	9	24
Basal rechts	6,7	8	12	26,7
Basal links	5,3	12	12	29,3
Laterobasal links	4	8	8	20
Gesamt	20	39	41	100

Abbildung 5.8: Kontusionen Großhirn basal



Es fallen einige Unterschiede im Vergleich zu den oberen Gehirnabschnitten auf. In diesem Fall beobachtet man ein Gefälle von posterior nach anterior, die mittleren und hinteren Großhirnregionen sind also stärker betroffen als die vorderen. Dies spricht posterior eher für einen akzelerationsbedingten Contre-Coup-Mechanismus, vorne in geringerem Maße für einen Coup-Mechanismus.

In drei der unter Kontusionen ausgewerteten Fälle traten sowohl dorsale als auch basale Läsionen auf.

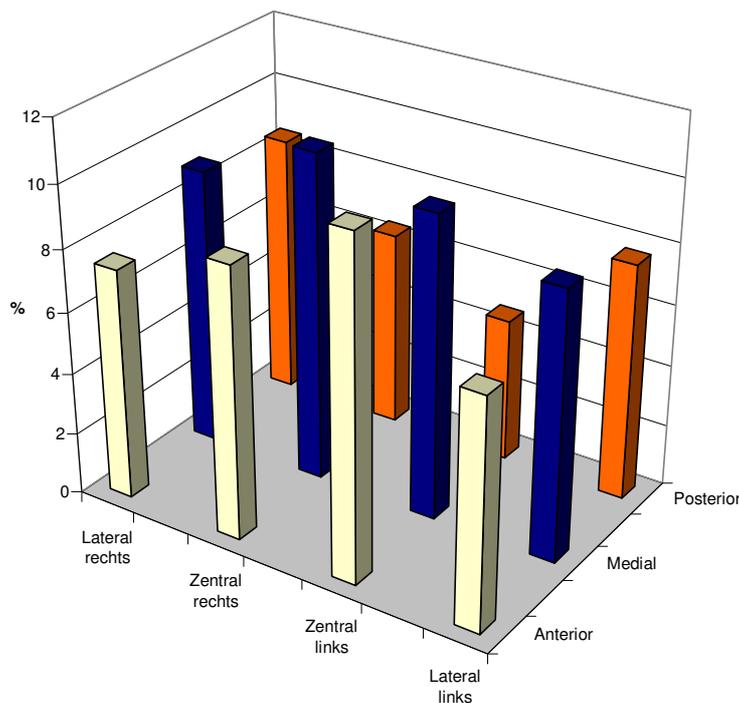
Gehirnblutungen fanden sich in 25 von 35 Fällen (**71,4 %**).

Im oberen Bereich waren Blutungen bei 23 von 35 Fällen (**65,7 %**) vorhanden, davon bei 15 Fällen in Kombination mit basalen Blutungen (vgl. Tabelle 5.15, Abbildung 5.9).

Tabelle 5.15: Blutungen Großhirn oben (n = 23, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	7,5	9	8,5	25
Zentral rechts	8,8	10,6	6,4	25,8
Zentral links	10,9	9,8	6,4	25,4
Lateral links	7,4	8,7	7,7	23,8
Gesamt	34,6	38,1	27,3	100

Abbildung 5.9: Blutungen Großhirn oben



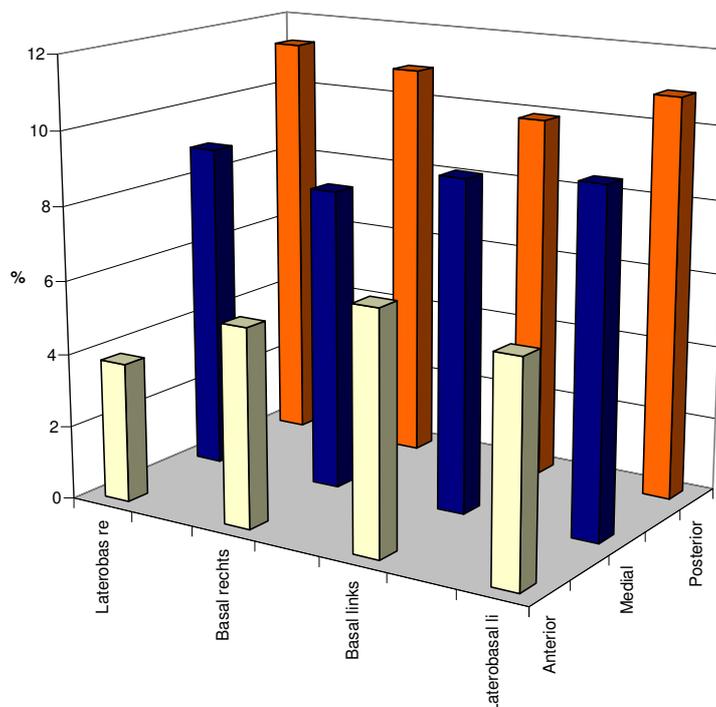
Generell erkennt man eine recht gleichmäßige Verteilung der Blutungen mit leichtem Übergewicht der vorderen und mittleren Abschnitte. Im anterioren Bereich finden sich aufgrund der analog hier zum Teil vorhandenen Frakturen hauptsächlich epidurale, nach medial zusätzlich in intracerebrale Hämatome übergehende Blutungen. Da im Frontalhirnbereich auch gehäuft Kontusionen nachweisbar waren, ist ebenso von subarachnoidalen Hämatomen auszugehen. Die im hinteren Gehirndrittel etwas weniger häufig aufgetretenen Blutungen lassen sich am ehesten als Akzelerationsverletzungen in Form von subduralen Hämatomen (Brückenvenenzerreißung) beschreiben.

Basal am Großhirn waren Blutungen in 17 von 35 Fällen (**48,6 %**) aufgetreten, davon 15 in Kombination mit dorsalen Blutungen. Tabelle 5.16 und Abbildung 5.10 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.16: Blutungen Großhirn basal (n = 17, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	3,8	8,9	11	24
Basal rechts	5,4	8,2	10,9	24,5
Basal links	6,5	9	9,9	25,4
Laterobasal links	5,9	9,3	10,9	26,1
Gesamt	21,6	35,4	43	100

Abbildung 5.10: Blutungen Großhirn basal



Basal erkennt man im Vergleich zu dorsal ein unterschiedliches Verteilungsmuster: Dominierend sind hier Blutungen im posterioren Bereich, die Häufigkeit nimmt nach anterior, und damit zum Aufprallort hin, ab. Da es sich mit den Schädelbasisfrakturen genau umgekehrt verhält, handelt es sich im hinteren Bereich wiederum vorwiegend um Akzelerationsverletzungen mit entsprechenden SDH, bzw. in einigen Fällen durch Contre-Coup-Kontusionen auch um subarachnoidale Blutungen. Vorne dominieren anstoßbedingt EDH und (u.a. rupturbedingt) intracerebrale Blutungen, die sich nach medial hin fortsetzen.

5.5.1.5 Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes

In 19 von 35 Fällen (**54,3 %**) kam es an Hirnstamm und Kleinhirn zu Verletzungen wie Rupturen, Kontusionen oder Blutungen.

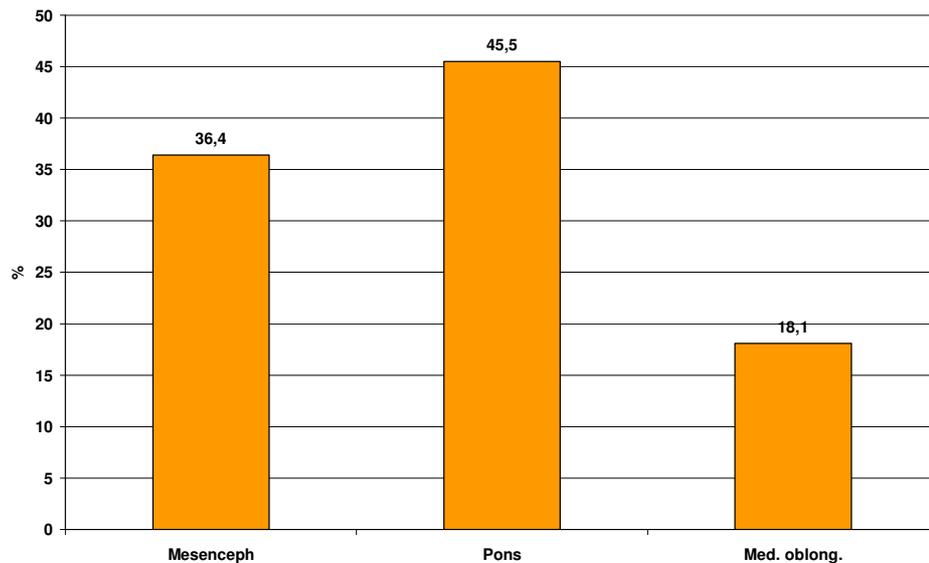
Rupturen wurden in 7 von 35 Fällen (20 %) beobachtet, wobei in fünf Fällen ausschließlich der Hirnstamm betroffen war, in einem Fall das Kleinhirn isoliert, sowie in einem Fall beide Regionen rupturiert waren. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit:

Cerebellum: In 2 von 35 Fällen rupturiert (**5,7 %**).

Hirnstamm: In 6 von 35 Fällen rupturiert (**17,1 %**).

Die Lokalisation der Rupturen im Hirnstamm verdeutlicht die folgende Abbildung 5.11:

Abbildung 5.11: Rupturen im Hirnstamm



Rupturen in diesem Bereich, verursacht bei frontalem Aufprall, weisen auf ein indirektes, akzelerationsbedingtes Verletzungsgeschehen hin. Das Kleinhirn war dies bezüglich nur selten betroffen, etwa dreimal so häufig dafür der Hirnstamm mit Schwerpunkt auf den kranialen Abschnitten.

Kontusionen zeigten sich in 2 von 35 Fällen (**5,7 %**), wovon in einem Fall der komplette Hirnstamm betroffen war, sowie im anderen Fall das Cerebellum.

Blutungen waren in 15 von 35 Fällen (**42,9 %**) eingetreten, davon in 10 Fällen ausschließlich mit Kleinhirnbeteiligung, in vier Fällen nur als Hirnstammlutungen sowie in einem Fall mit kombinierter Blutung. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit:

Cerebellum: In 11 von 35 Fällen betroffen (**31,4 %**)

Hirnstamm: In 5 von 35 Fällen betroffen (**14,3 %**).

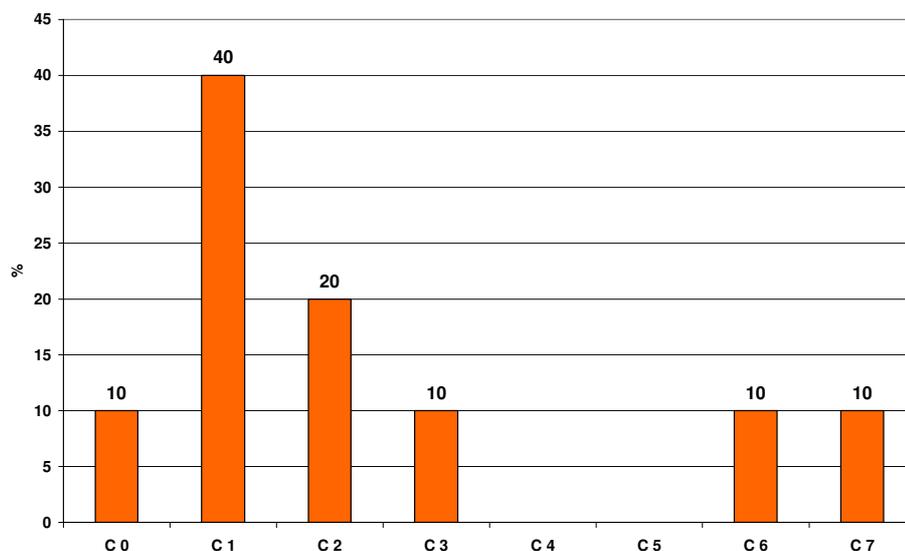
Auffallend hoch ist die Anzahl der **Kleinhirnblutungen**, die in nahezu einem Drittel aller Fälle mit Anprallort im kaudalen Frontalbereich auftritt. Als Verletzungsmechanismus ist hierfür wohl die Contre-Coup-Kontusion mit inneren und äußeren Gefäßläsionen des Cerebellum verantwortlich, man beobachtet hauptsächlich SAB.

Das Verteilungsmuster der **Hirnstammlutungen** ähnelt dem der Hirnstammrupturen (s.o.). Es waren überdies bei den gleichen Fällen, bei denen Rupturen beobachtet werden konnten, auch Blutungen vorhanden. Alles in allem kann von indirekten, akzelerationsbedingten Verletzungen ausgegangen werden.

5.5.1.6 Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)

In 5 von 35 Fällen (**14,3 %**) fanden sich Frakturen im Bereich der HWS. Deren Lokalisation soll Abbildung 5.12 verdeutlichen

Abbildung 5.12: Frakturen der Halswirbelsäule



Man erkennt eine Häufung im Bereich der oberen HWS. Die beim Anprall resultierende Retroflexion des Kopfes dürfte bei der Genese eine entscheidende Rolle spielen.

5.5.2 Bereich 2: Anstoss frontal kranial (n = 43)

Der Bereich 2 umfasst Fälle, die einem frontalen Aufprall mit **XZ -Winkeln von 16° bis 90°**, sowie im **XY-Winkeln von -45° bis 45°** ausgesetzt waren.

5.5.2.1 Verletzungen im Gesichtsbereich

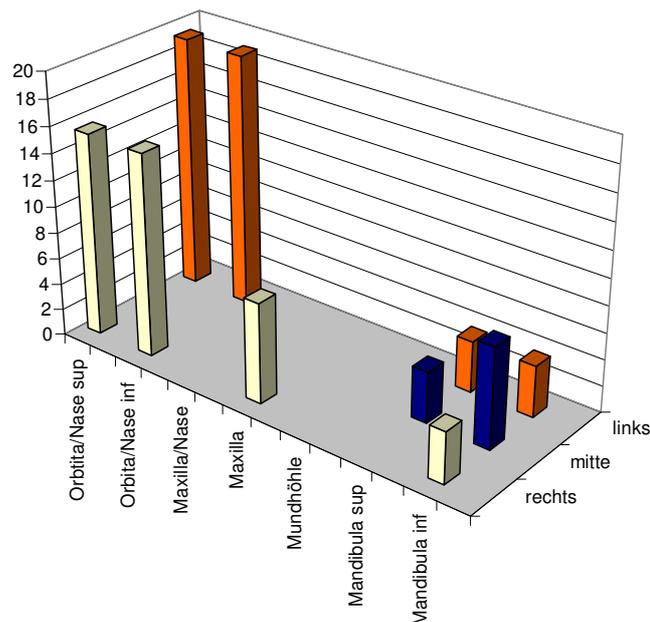
Insgesamt beobachtete man in 19 von 43 Fällen (**44,2 %**) Lazerationen, Hämatome und/oder Frakturen im Gesichtsbereich. Die Aufteilung bezüglich der Verletzungsarten war folgende:

Lazerationen im Gesicht erlitten 11 von 43 Personen (**44,2 %**), wobei die in Tabelle 5.17 und Abbildung 5.13 dargestellte Lokalisation vorlag.

Tabelle 5.17: Lazerationen im Gesicht (n = 11, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior	11,3	2,9	2,9	17,1
Orbita/Nase inferior	8,5	20	2,9	31,4
Maxilla/Nase	5,7	17	2,9	25,6
Maxilla/Jochbein	5,7	2,9		25,8
Mundhöhle	2,9			2,9
Mandibula superior	5,7	2,9		8,6
Mandibula inferior	2,9	2,9		5,8
Gesamt	42,7	48,6	8,7	100

Abbildung 5.13: Lazerationen im Gesicht



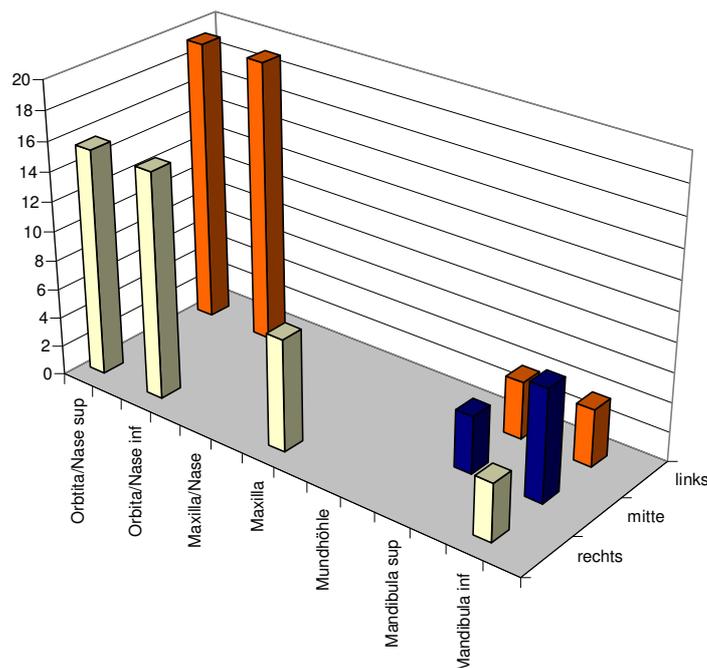
Erwartungsgemäß findet man den Grossteil der Lazerationen entsprechend dem Anprallort im oberen Gesichtabschnitt, insbesondere an der exponierten Nase (39,9 %) sowie an den Augenlidern (25,6 %). Anders als im unteren Gesichtsbereich ist die rechte Seite stärker betroffen als die linke.

Hämatome im Gesicht sind nur in 9 von 43 Fällen (**20,9%**) anzutreffen, wobei auch hier den Hauptanteil (ca. zwei Drittel) Monokelhämatome bilden, die wiederum auf Orbita- oder Schädelbasisfrakturen hinweisen können. Zweiter Lokalisationsschwerpunkt bezüglich der Hämatombildung ist der Unterkiefer (vgl. Tabelle 5.18, Abbildung 5.14).

Tabelle 5.18: Hämatome im Gesicht (n = 9, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior	15,4		19,2	34,6
Orbita/Nase inferior	15,4		19,2	34,6
Maxilla/Nase				
Maxilla	7,6			7,6
Mundhöhle				
Mandibula superior		3,9	3,9	7,8
Mandibula inferior	3,9	7,6	3,9	15,4
Gesamt	42,3	11,5	46,2	100

Abbildung 5.14: Hämatome im Gesicht

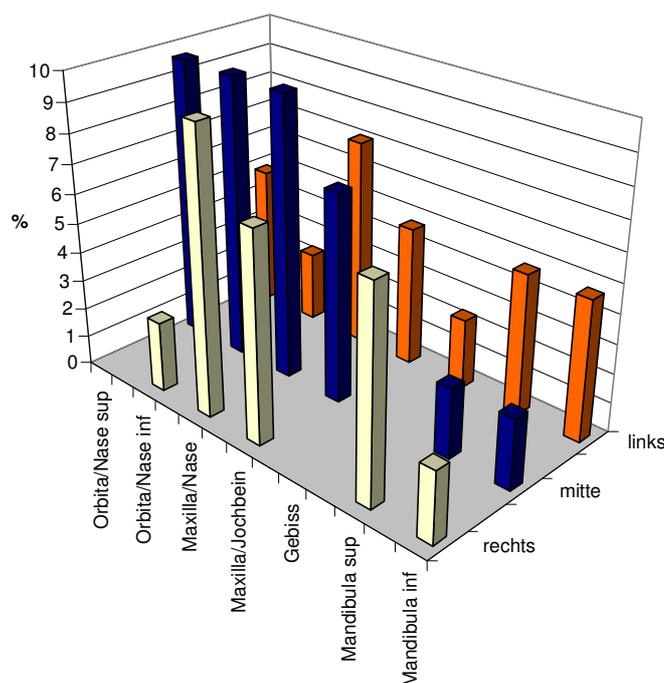


Frakturen des Gesichtschädels waren in 10 von 43 Fällen (**23,3 %**) vorzufinden. Deren Lokalisation illustrieren Tabelle 5.19 und Abbildung 5.15.

Tabelle 5.19: Frakturen des Gesichtsschädels (n = 10, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior		9,5	4,8	14,3
Orbita/Nase inferior	2,4	9,5	2,4	14,3
Maxilla/Nase	9,5	9,5	7,1	26,1
Maxilla/Jochbein	7,1	7,1	4,8	19
Gebiss			2,4	2,4
Mandibula superior	7,1	2,4	4,8	14,3
Mandibula inferior	2,4	2,4	4,8	9,6
Gesamt	28,5	40,4	31,1	100

Abbildung 5.15: Frakturen des Gesichtsschädels



Erwartungsgemäß findet man einen hohen Anteil an Nasenbeinbrüchen. Auch Maxilla- und Jochbeinfrakturen liegen dem Anprallbereich des Kopfes entsprechend in der Häufigkeitsverteilung an der Spitze. Dagegen scheinen die Monokelhämatome tatsächlich eher auf ein fortgeleitetes Geschehen in der Schädelbasis hinzudeuten, da kaum Orbitafrakturen zu beobachten sind. Die Frakturen im Unterkieferbereich bestätigen hingegen die Hämatomlokalisierung. Das Rechts-Links-Gefälle, wie es bei den Lacerationen aufgetreten ist, lässt sich bei der Frakturverteilung nicht erkennen.

5.5.2.2 Verletzungen im Bereich des Schädeldaches

In 28 von 43 Fällen (**65,1 %**) waren Verletzungen im Bereich des Schädeldaches zu verzeichnen in Form von Lazerationen, Hämatomen und/oder Frakturen.

Lazerationen an der Weichteildeckung über dem Schädeldach fanden sich in 11 von 43 Fällen (**25,6 %**), wobei hier vorwiegend der Stirnbereich betroffen war (vgl. Tabelle 5.20).

Tabelle 5.20: Lazerationen Weichteile über dem Schädeldach (n = 11, Angaben in Prozent)

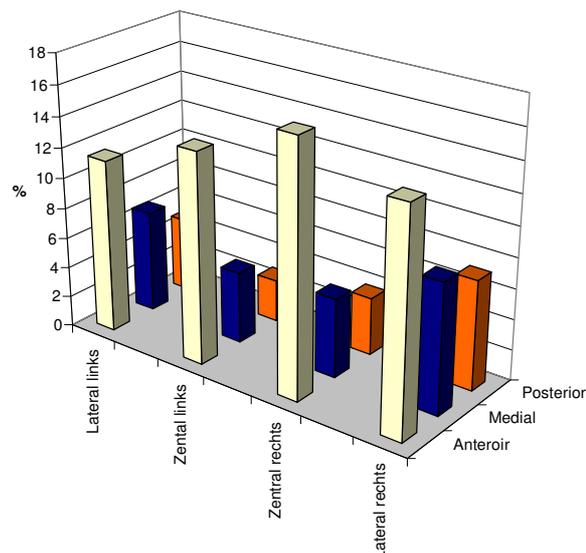
	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral links	14,3			14,3
Zentral links	23,3			23,9
Zentral rechts	31,1	4,7		35,8
Lateral rechts	21,4	4,6		26
Gesamt	90,7	9,3		100

Hämatome in den Weichteilen über dem Schädeldach waren in 16 von 43 Fällen (**37,2 %**) zu beobachten. Tabelle 5.21 und Abbildung 5.16 zeigen die Lokalisation der Hämatome.

Tabelle 5.21: Hämatome Weichteile über dem Schädeldach (n = 16, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral links	11,4	6,7	4,9	23
Zentral links	13,8	4,7	2,8	21,3
Zentral rechts	16,5	5,2	3,8	25,5
Lateral rechts	14,5	8,5	7,2	30,2
Gesamt	56,2	25,1	18,7	100

Abbildung 5.16: Hämatome Weichteile über dem Schädeldach



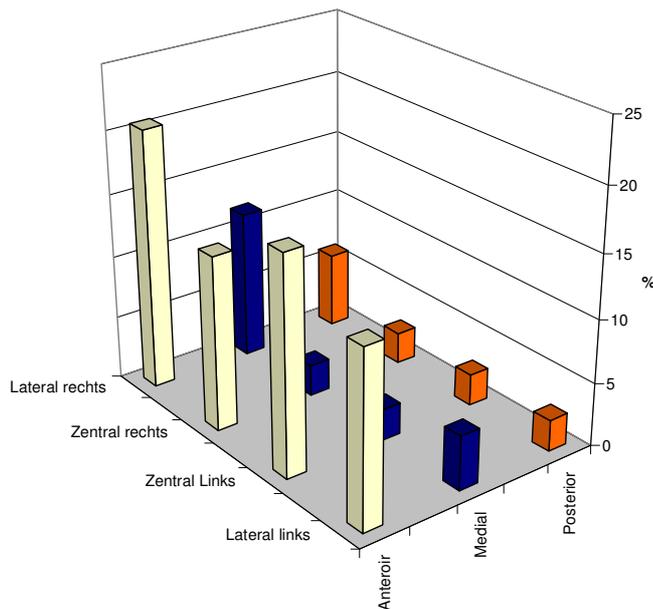
Ähnlich wie bei den Lazerationen liegt der Häufigkeitsgipfel der Hämatome im Stirnbereich. Deutlich weniger betroffen zeigt sich der Parietalbereich, am wenigsten der Okzipitalbereich. Die oben erwähnte Anpralllokalisation lässt auch hier das Verteilungsmuster plausibel erscheinen.

Frakturen des Schädeldaches fanden sich in 17 von 43 Fällen (**39,5 %**). Die Lokalisation zeigen Tabelle 5.22 und Abbildung 5.17.

Tabelle 5.22: Frakturen Schädeldach (n = 17, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	20,6	11,8	6	38,4
Zentral rechts	13,8	2,5	2,5	18,8
Zentral links	17,2	2,5	2,5	22,2
Lateral links	13,8	4,3	2,5	20,6
Gesamt	65,4	21,1	13,5	100

Abbildung 5.17: Frakturen des Schädeldaches



Die Häufigkeitsverteilung der Kalottenfrakturen entspricht den Erwartungen, die sich aus dem Bereich der Anprallregion des Kopfes ergibt: Anterior, also in etwa bei 45° ZX, beobachtet man nahezu zwei Drittel der Brüche, die nach laterozentral sowie teilweise bis nach okzipital ausstrahlen. Obwohl sich ein ähnliches Muster wie bei Lazerationen und Hämatomen ergibt, muss darauf hingewiesen werden, dass nur etwa in der Hälfte der untersuchten Fälle Frakturen gleichzeitig mit Lazerationen/Hämatomen auftraten. Alle drei Verletzungsarten kamen auch isoliert vor.

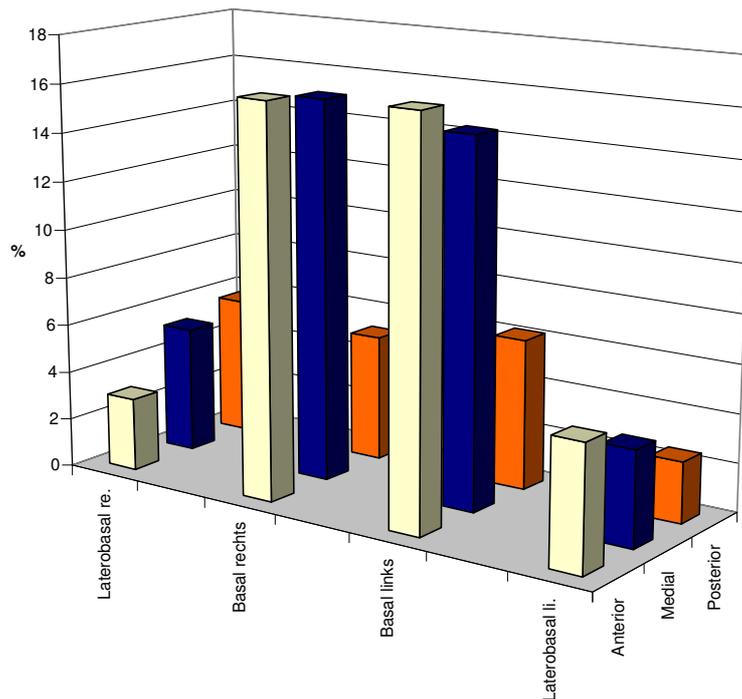
5.5.2.3 Frakturen im Bereich der Schädelbasis

Schädelbasisfrakturen waren in 29 von 43 Fällen (**67,4 %**) zu verzeichnen, davon in 17 Fällen kombiniert mit Kalottenfrakturen (s.o.). Tabelle 5.23 und Abbildung 5.18 zeigen die Lokalisation der Basisbrüche.

Tabelle 5.23: Frakturen Schädelbasis (n = 29, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	3	5,2	5,7	13,9
Basal rechts	16,1	15,7	5,2	37
Basal links	16,4	15	6,2	37,6
Laterobasal links	5,1	3,9	2,5	11,5
Gesamt	40,6	39,8	19,6	100

Abbildung 5.18: Frakturen der Schädelbasis



Ein gehäuftes Auftreten von Schädelbasisfrakturen findet man insbesondere in den zentralen basalen Abschnitten. Die Ausprägung ist anterior und medial ungefähr gleich hoch. Diese Frakturen entstehen infolge der beim frontalen Aufprall hervorgerufenen Schädelverformung nach lateral, wodurch sich Bruchlinien vornehmlich in der zentralen Schädelbasis ausbilden, der Theorie entsprechend, von anterior nach posterior verlaufend.

5.5.2.4 Verletzungen im Bereich des Großhirnes

In 37 von 43 Fällen (**86,1 %**) kam es zu Verletzungen des Großhirns in der Ausprägung von Rupturen, Kontusionen (Quetschungen) und/oder Blutungen.

Rupturen des Großhirns waren nur in 3 von 43 Fällen (**7,0 %**) aufgetreten. Aufgrund der geringen Fallzahl wurden basaler und oberer Anteil zusammengefasst. Die in diesem Bereich aufgetretenen Rupturen waren ausschließlich in der rechten Gehirnhälfte lokalisiert: In einem Fall laterobasal anterior (eher direkte Verletzung), in den beiden anderen Fällen lateral oben posterior (eher als indirekt erlittene Verletzung anzusehen: Contre-Coup). In allen drei Fällen kam es jeweils an der beschriebenen Lokalisation zu Blutungen.

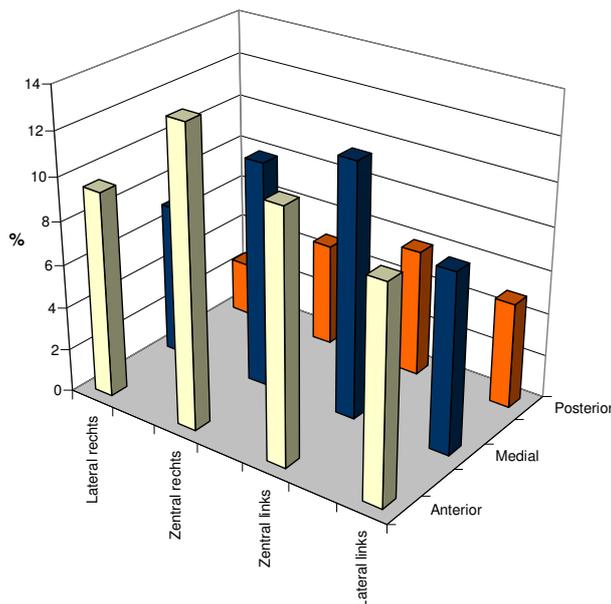
Kontusionen am Großhirn fanden sich in 11 von 35 Fällen (**31,4 %**).

Tabelle 5.24 und Abbildung 5.19 zeigen im folgenden die **Kontusionen oben** in 11 von 43 Fällen (**25,6 %**). davon 5 Fälle kombiniert mit basalen Kontusionen.

Tabelle 5.24: Kontusionen Großhirn oben (n = 11, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	14,7	5,9	4,3	24,9
Zentral rechts	17,9	5,9	6,1	29,9
Zentral links	13,5	3,5	7,7	24,7
Lateral links	10,2	3,5	6,8	20,5
Gesamt	56,3	18,8	24,9	100

Abbildung 5.19: Kontusionen Großhirn oben



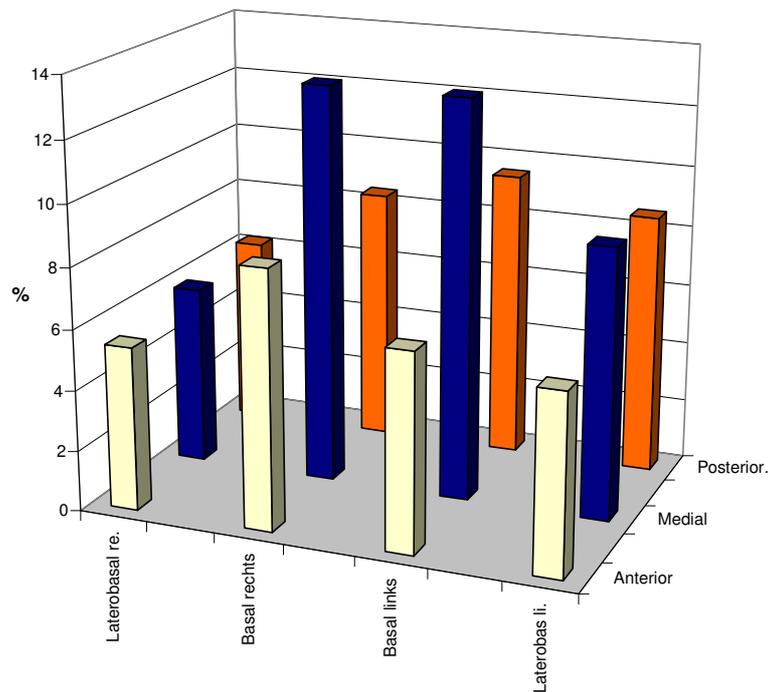
Über die Hälfte der Kontusionen im oberen Großhirn sind im anterioren Abschnitt lokalisiert. Dabei handelt es sich um Coup-Kontusionen, sprich Hirnquetschungen, die direkt durch den Anprall verursacht wurden. Sie nehmen nach medial hin ab. Im posterioren Abschnitt nimmt die Häufigkeit wiederum zu, bedingt durch den Contre-Coup-Mechanismus (Gegenprellungsherde), dem Akzelerationskräfte zu Grunde liegen.

Basal waren am Großhirn Kontusionen in 10 von 43 Fällen (**23,3 %**) auszumachen. Deren Lokalisation verdeutlichen Tabelle 5.25 und Abbildung 5.20.

Tabelle 5.25: Kontusionen Großhirn basal (n = 10, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	11,3	5,9	5,9	23,1
Basal rechts	14,3	14,5	4,7	33,5
Basal links	8	7,2	7,2	22,4
Laterobasal links	7,9	4,7	8,4	21
Gesamt	41,5	32,3	26,6	100

Abbildung 5.20: Kontusionen Großhirn basal



Es überwiegen wiederum die Kontusionen im anterioren Bereich. Dennoch ist der mediale Anteil in einem stärkeren Masse betroffen als in den dorsalen Gehirnabschnitten. Auffällig sind die Spitzenwerte rechts basal anterior und medial, was dadurch erklärt werden kann, dass in vier der zehn Kontusionsfälle insbesondere dieser Bereich überdurchschnittlich betroffen war. Posterior immer noch deutlich ausgeprägt ist der Contre-Coup-Mechanismus.

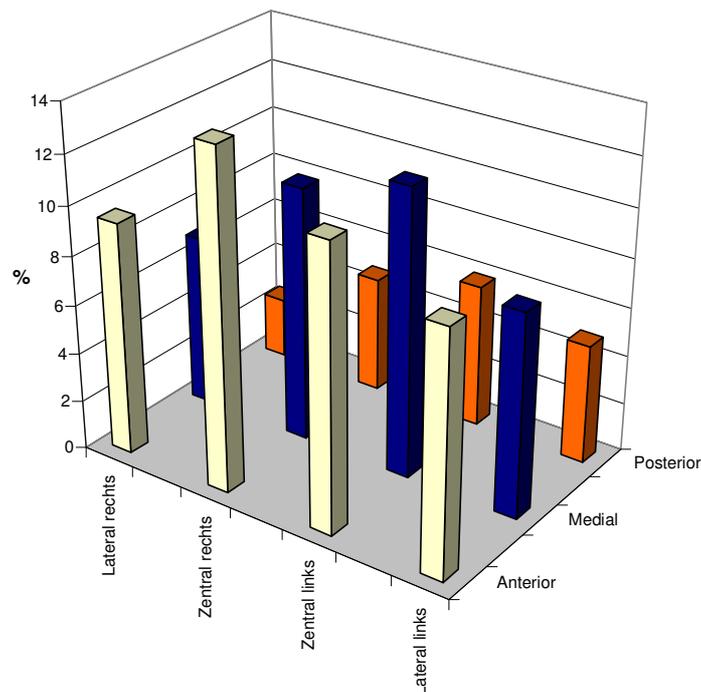
Gehirnblutungen fanden sich in 36 von 43 Fällen (**83,7 %**).

Im **oberen Bereich** des Großhirns waren Blutungen bei 26 von 43 Fällen (**60,5 %**) vorhanden, davon bei 18 Fällen kombiniert mit basalen Blutungen. Die Lokalisation illustrieren Tabelle 5.26 und Abbildung 5.21.

Tabelle 5.26: Blutungen Großhirn oben (n = 26, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	9,5	7	2,5	19
Zentral rechts	13,7	10,4	4,8	28,9
Zentral links	11,5	11,7	5,9	29,1
Lateral links	9,8	8,3	4,9	23
Gesamt	44,5	37,4	18,1	100

Abbildung 5.21: Blutungen Großhirn oben

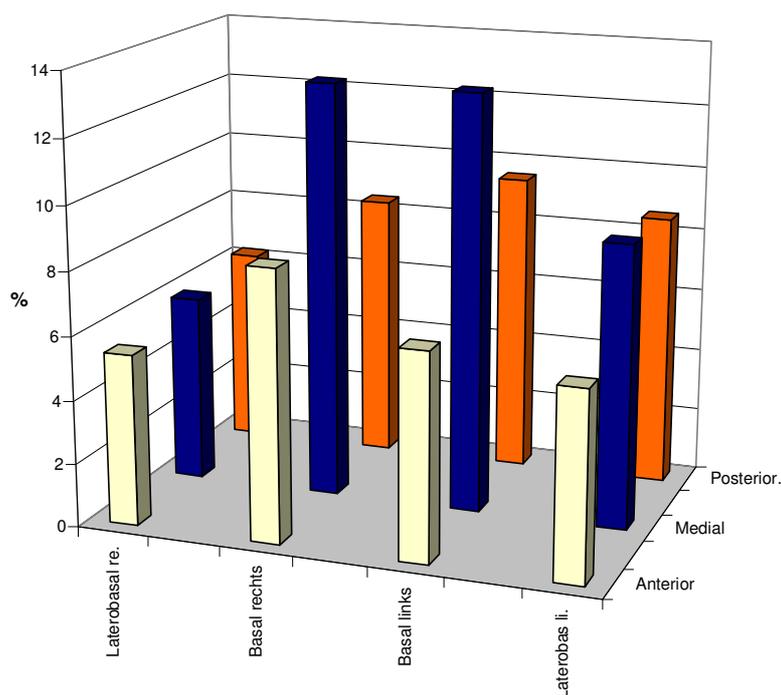


Entsprechend dem Anprallbereich des Kopfes befindet sich der Großteil der Blutungen im vorderen und mittleren Bereich. Während es sich anterior vorwiegend um frakturbedingte EDH und kontusionsbedingte SAB handelt, findet man medial vermehrt intracerebrale Hämatome als Zeichen einer fortgeleiteten Schädigung. Der posteriore Bereich fällt dem gegenüber von der Häufigkeit her gesehen geringer aus, hier dominieren SDH durch Contre-Coup-Kontusion sowie teilweise auch SAB.

Basal am Großhirn waren Blutungen in 28 von 43 Fällen (**65,1 %**) aufgetreten. Tabelle 5.27 und Abbildung 5.22 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.27: Blutungen Großhirn basal (n = 28, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	5,4	5,9	6,2	17,5
Basal rechts	8,5	13,1	8,4	30
Basal links	6,5	13,1	9,5	29,1
Laterobasal links	5,9	8,9	8,6	23,4
Gesamt	26,3	41	32,7	100

Abbildung 5.22: Blutungen Großhirn basal

Das Verteilungsmuster der basalen Blutungen entspricht nicht den Erwartungen, die man aufgrund der anterior betonten Fraktur- und Kontusionslokalisationen annehmen würde. Der durch Einblutungen verhältnismäßig am stärksten betroffene Bereich ist der mediale Gehirnabschnitt, und dort vor allem zentral-basal.

Aufgrund des frontalen Aufprallbereiches spricht dies vor allem für durch Kraftfortleitung entstandene intracerebrale Hämatome, durch ausgedehnte Frakturen in dieser Region auch für EDH. Posterior kommen die Contre-Coup-Mechanismen in höherer Form zur Geltung als dorsal, und anterior, in dem am wenigsten betroffenen Bereich, findet man wiederum vor allem EDH und SAB.

5.5.2.5 Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes

In 21 von 43 Fällen (**48,8 %**) kam an Hirnstamm und Kleinhirn zu Verletzungen wie Rupturen, Kontusionen oder Blutungen.

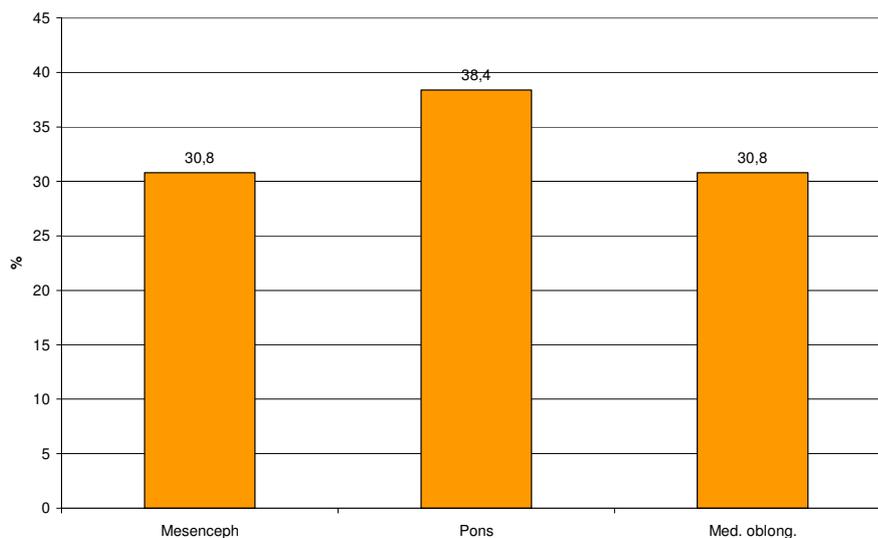
Rupturen waren in 8 von 43 Fällen (**18,6 %**) zu verzeichnen, wobei in sechs Fällen ausschließlich der Hirnstamm betroffen war, in einem Fall das Kleinhirn isoliert, sowie in einem Fall beide Regionen rupturiert waren. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit:

Cerebellum: In 2 von 43 Fällen rupturiert (**4,7 %**).

Hirnstamm: In 7 von 43 Fällen rupturiert (**16,3 %**).

Die Lokalisation der Rupturen im Hirnstamm verdeutlicht die folgende Abbildung 5.23:

Abbildung 5.23: Rupturen Hirnstamm



Rupturen in diesem Bereich bei frontalem Aufprall weisen wiederum auf ein indirektes, akzelerationsbedingtes Verletzungsgeschehen hin. Das Kleinhirn war dies bezüglich nur selten betroffen, etwa dreimal so häufig dafür der Hirnstamm, wobei bezüglich der Lokalisation in etwa Gleichverteilung herrscht. Anteilig an der Gesamtzahl der Fälle in Bereich 2 sowie der Verteilung Hirnstamm/Cerebellum ergibt sich ein ähnliches Bild wie in Bereich 1.

Fälle mit **Kontusionen** im Bereich Hirnstamm/Cerebellum wurden nicht registriert.

Blutungen fanden sich in 17 von 43 Fällen (**39,5 %**), davon sechs Fälle ausschließlich mit Kleinhirnbeteiligung, in vier Fällen nur in Form von Hirnstammlutungen, sowie in sieben Fällen mit kombinierter Blutung. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit folgendes:

Cerebellum: In 13 von 43 Fällen betroffen (**30,2 %**)

Hirnstamm: In 11 von 43 Fällen betroffen (**25,6 %**).

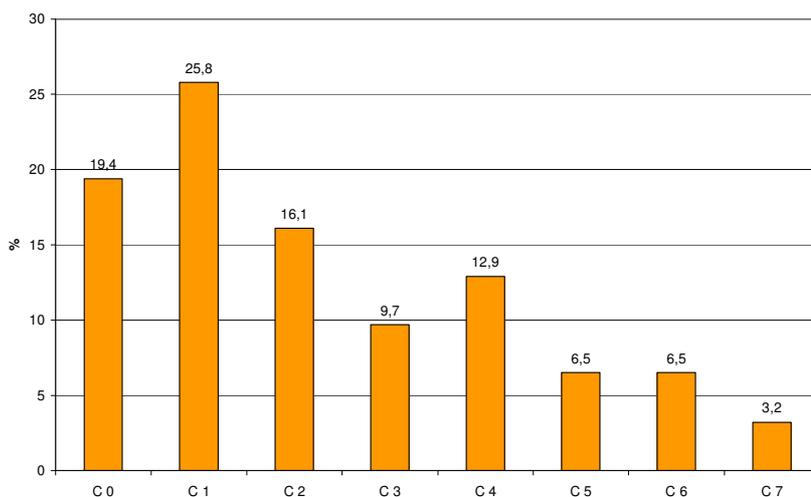
Wie in Bereich 1 ist die Anzahl der **Kleinhirnblutungen** relativ hoch (beinahe ein Drittel aller Fälle mit Anprallort im kranialen Frontalbereich). Als Verletzungsmechanismus ist hierfür wiederum der Contre-Coup-Mechanismus ohne größeren Gewebs- dafür aber mit inneren und äußeren Gefäßläsionen des Cerebellum verantwortlich, man beobachtete hauptsächlich SAB.

Das Verteilungsmuster der **Hirnstammlutungen** ähnelt dem der Hirnstammrupturen (s.o.). Es waren überdies bei den gleichen Fällen, bei denen Rupturen beobachtet werden konnten, auch Blutungen vorhanden. Als Mechanismus kann man einmal mehr von akzelerationsbedingtem Geschehen ausgehen.

5.5.2.6 Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)

In 11 von 43 Fällen (**25,6 %**) fanden sich Frakturen im Bereich der HWS. Deren Lokalisation soll Abbildung 5.24 verdeutlichen.

Abbildung 5.24:Frakturen der HWS



Es besteht eine Häufigkeitsabnahme von kranial nach kaudal. Die beim Anprall entstehende Hyperextension des Kopfes bedingt derartige Frakturen. Somit sind diese Verletzungen indirekt bedingt.

5.5.3 Bereich 3: Anstoss lateral links (n = 19)

Der Bereich 3 umfasst Fälle, deren Kopfaufprall bei **XZ-Winkeln von -45° bis 90°**, sowie **XY-Winkeln von -46° bis -135°** stattgefunden hat. Wie das Schema in Abschnitt 3.1 zeigt, waren alle Fälle innerhalb XZ-Winkeln von -14° bis 60° lokalisiert.

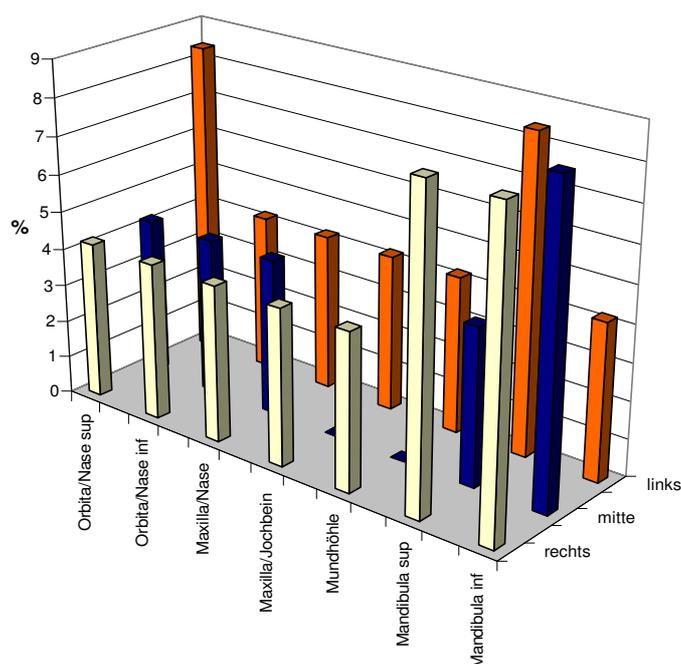
5.5.3.1 Verletzungen im Gesichtsbereich

Insgesamt beobachtete man in 8 von 19 Fällen (**42,1 %**) Lazerationen, Hämatome und/oder Frakturen im Gesichtsbereich. Der prozentuale Anteil fällt erwartungsgemäß geringer aus als bei den Fällen mit Aufpralllokalisierung im Frontalbereich. Die Verletzungen waren zumeist eher von geringer Schwere, wobei die in Tabelle 5.28 und Abbildung 5.25 dargestellte Lokalisation vorlag.

Tabelle 5.28: Lazerationen im Gesicht (n = 8, Angaben in Prozent)

	Rechts	Medial	Links	Gesamt
Orbita/Nase superior	4,2	4,2	8,4	16,8
Orbita/Nase inferior	4,2	4,2	4,2	12,6
Maxilla/Nase	4,2	4,2	4,2	12,6
Maxilla/Jochbein	4,2		4,2	8,4
Mundhöhle	4,2		4,2	8,4
Mandibula superior	8,2	4,2	8,2	20,6
Mandibula inferior	8,2	8,2	4,2	20,6
Gesamt	37,4	25	37,6	100

Abbildung 5.25: Lazerationen im Gesicht



Anhand der Datentabelle sowie des Diagrammes erkennt man bereits eine sehr gleichmäßige Verteilung der Lazerationshäufigkeiten, die im Bereich des Unterkiefers leicht überwiegen. Trotz des Kopfanpralls lateral links sind beide Gesichtshälften nahezu identisch betroffen. Generell ist davon auszugehen, dass die Verletzungen vor allem im Verlauf des dem Aufprall folgenden Abrollvorganges (u.a. durch Helmkontakt) zustande gekommen sind.

Hämatome in den Gesichtswichteilen waren nur bei 3 von 19 Fällen (**15,8 %**) aufgetreten. In zwei Fällen trat ein Monokelhämatom rechts (man beachte die Aufpralllokalisation), in einem Fall ein Monokelhämatom links auf. Dieses ist eventuell als Hinweis auf Schädelbasisfrakturen anzusehen, da reine Orbitafrakturen nicht zu beobachten waren (s.u.).

Frakturen des Gesichtsschädels waren nur 2 von 19 Fällen (**10,5 %**) gegeben, allerdings nicht in Verbindung mit einem Monokelhämatom (s.o.).

In einem Fall trat eine Fraktur der linken Maxilla bzw. des Jochbeines auf, was unter Umständen als fortgeleitete Fraktur vom Anprallort aus gedeutet werden könnte.

Im anderen Fall waren das Nasenbein sowie die Mandibula gebrochen. Dieser Fall wies allerdings auch massive Frakturen im gesamten Kalotten- sowie Schädelbasisbereich auf, was generell für ein schweres Unfallgeschehen spricht.

5.5.3.2 Verletzungen im Bereich des Schädeldaches

In 13 von 19 Fällen (**68,4 %**) kam es zu Verletzungen im Bereich des Schädeldaches wie Lazerationen, Hämatome und/oder Frakturen.

Lazerationen an den Weichteildeckung über dem Schädeldach fanden sich in 5 von 19 Fällen (**26,3 %**) (vgl. Tabelle 5.29).

Tabelle 5.29: Lazerationen Weichteile über dem Schädeldach (n = 5, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral links		37,4	6,3	43,7
Zentral links	6,3	12,5	18,7	37,5
Zentral rechts	6,3		12,5	18,8
Lateral rechts				
Gesamt	12,6	49,9	37,5	100

Der Anteil an Lazerationen links medial und posterior beträgt über 80 Prozent, was aufgrund des Aufprallortes auch erwartet werden kann. Die anterior aufgetretenen Verletzungen beruhen vor allem auf Helmkontakt.

Hämatome in den Weichteilen über dem Schädeldach waren in 13 von 19 Fällen (**68,4 %**) zu beobachten. Tabelle 5.30 zeigt dazu wiederum die Lokalisation der Hämatome.

Tabelle 5.30: Hämatome Weichteile über dem Schädeldach (n = 13, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral links	1	22,9	28,2	52,1
Zentral links		7,3	11,5	18,8
Zentral rechts	1		7,3	8,3
Lateral rechts		10,4	10,4	20,8
Gesamt	2	40,6	57,4	100

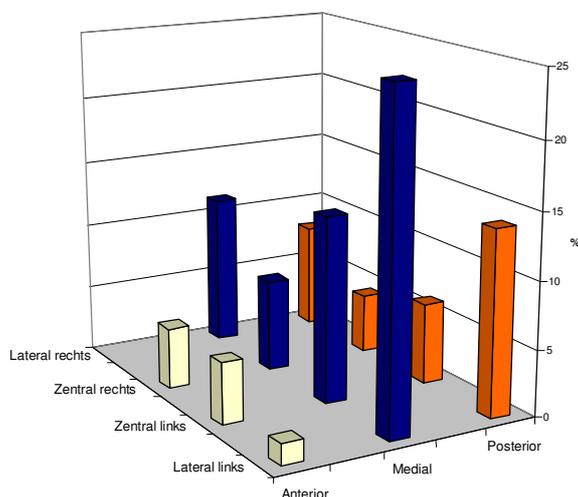
Wiederum überwiegen die linksseitig lokalisierten Verletzungen, die aufgrund des direkten Anpralls zustande kamen. Der Schwerpunkt der Häufigkeitsverteilung liegt im posterioren Bereich. Allerdings beobachtet man auch zu gut einem Viertel rechts lateral aufgetretene Hämatome. Diese können Folge von fortgeleiteten Schädelbasis- bzw. Kalottenfrakturen sein.

Frakturen des Schädeldaches fanden sich in 10 von 19 Fällen (**52,6 %**), stets verbunden mit Schädelbasisbrüchen. Die Lokalisation zeigen Tabelle 5.31 und Abbildung 5.26.

Tabelle 5.31: Frakturen Schädeldach (n = 10, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts		11,3	7,9	19,2
Zentral rechts	4,6	6,9	4,5	16
Zentral links	4,6	13,9	6,1	24,6
Lateral links	1,5	24,8	13,9	40,2
Gesamt	10,7	56,9	32,4	100

Abbildung 5.26: Frakturen des Schädeldaches



Obwohl die Frakturen linksseitig gegenüber rechts überwiegen (ca. 2:1) erkennt man wie schon bei den Hämatomen eine Mitbeteiligung der rechten Kalottenhälfte. Diese wird dadurch bedingt, dass es beim linksseitigen Anprall vom Frakturort aus zur Ausbreitung von Stosswellen kommt, die durch die Schädelbasis und die Kalotte zur (Gegen-)Seite ziehen. Wie man sieht, ist der Anteil dieser durchaus beachtenswert.

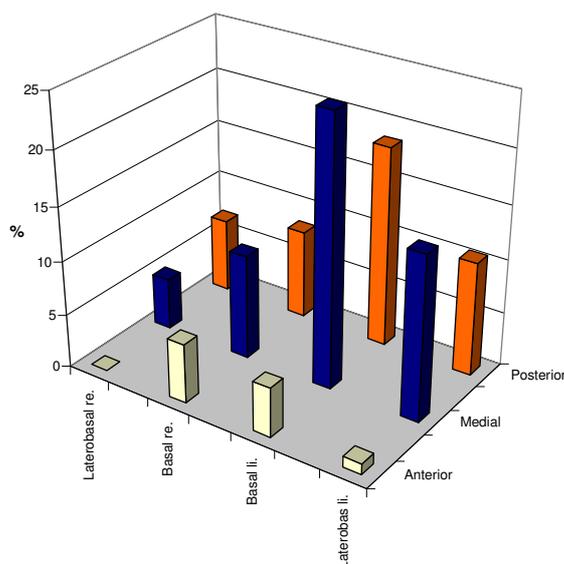
5.5.3.3 Frakturen im Bereich der Schädelbasis

Schädelbasisfrakturen waren in 12 von 19 Fällen (**63,2 %**) zu verzeichnen, davon in 10 Fällen kombiniert mit Kalottenfrakturen (s.o.). Tabelle 5.32 und Abbildung 5.27 zeigen die Lokalisation der Basisbrüche.

Tabelle 5.32: Frakturen Schädelbasis (n = 12, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts		3,8	5,9	9,7
Basal rechts	4,5	8,7	7,3	20,5
Basal links	3,6	23,8	17,6	45
Laterobasal links	1	14,2	9,6	24,8
Gesamt	9,1	50,5	40,4	100

Abbildung 5.27: Frakturen der Schädelbasis



Die medialen und posterioren Frakturlokalisationen überwiegen. Das Verhältnis von links- zu rechtsseitigen Verletzungen ist etwas höher (ca. 70:30) als bei den Kalottenfrakturen. Dennoch stellt sich auch hier oben angesprochener Stosswelleneffekt ein. Die anteriore Beteiligung ist ähnlich der Kalotte und relativ gering.

5.5.3.4 Verletzungen im Bereich des Großhirnes

In 17 von 19 Fällen (**89,5 %**) kam es zu Verletzungen des Großhirns in Form von Rupturen, Kontusionen (Quetschungen) und/oder Blutungen.

Rupturen am Großhirn fanden sich in lediglich 2 von 19 Fällen (**10,5 %**). Ein Fall wies im posterioren linken Abschnitt, der andere Fall im medialen rechten Abschnitt derartige Läsionen auf. Im ersten Fall handelt es sich um eine direkte, im zweiten Fall eher um eine indirekte Verletzungsfolge des Aufpralles.

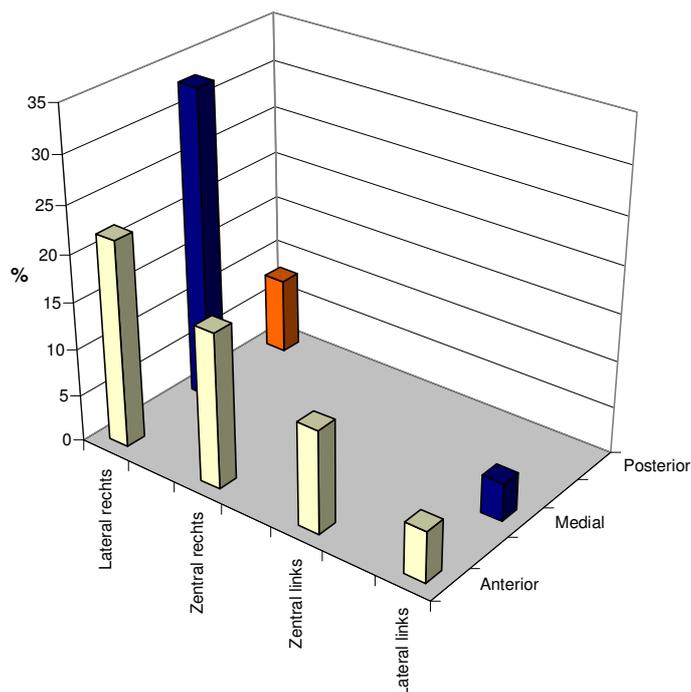
Kontusionen am Großhirn fanden sich in 5 von 19 Fällen (**10,5 %**).

Folgende Tabelle 5.33 und Abbildung 5.28 zeigen die **oberen Kontusionen** in 4 von 19 Fällen (**21,1 %**).

Tabelle 5.33: Kontusionen Großhirn oben (n = 5, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	22	33,1	8,1	63,2
Zentral rechts	16,5			16,5
Zentral links	10,9			10,9
Lateral links	5,4	4		9,4
Gesamt	54,8	37,1	8,1	100

Abbildung 5.28: Kontusionen Großhirn oben



Die Häufigkeitsverteilung der insgesamt (dorsal wie basal) eher selten aufgetretenen Kontusionen konzentriert sich vor allem auf die rechte Gehirnhälfte, wobei vorwiegend der anteriore und mediale Bereich betroffen ist. Dies weist auf Kontusionen im Sinne des Contre-Coup-Mechanismus hin, spricht also für ein indirektes Verletzungsmuster.

Basal waren am Großhirn Kontusionen in 3 von 19 Fällen (**15,8%**) auszumachen. Bis auf einen Fall waren diese laterobasal links und basal links (anterior und medial) lokalisiert, also im Sinne von Coup-Läsionen. In dem verbleibenden dritten Fall waren Contre-Coup Läsionen laterobasal rechts (medial) eingetreten.

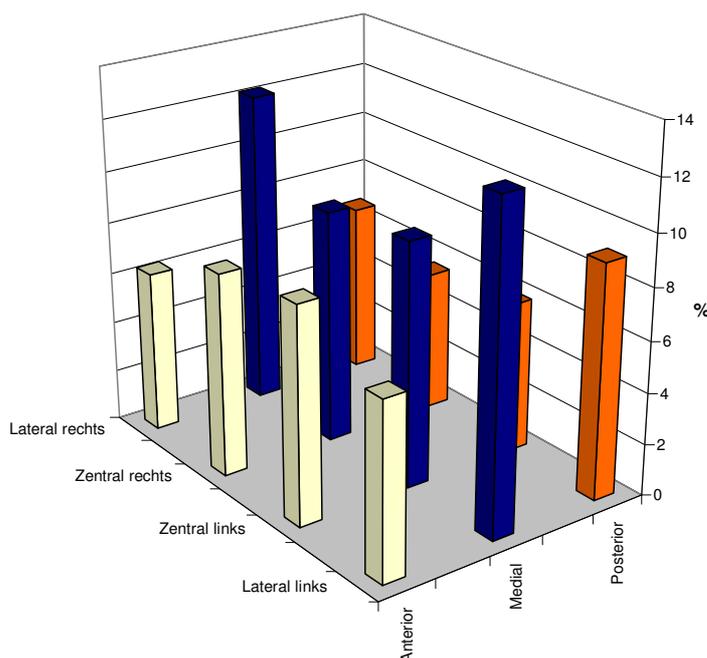
Gehirnblutungen fanden sich in 16 von 19 Fällen (**84,2 %**).

Im **oberen Bereich** waren Blutungen bei 15 von 19 Fällen (**78,9 %**) vorhanden, davon bei 10 Fällen in Kombination mit basalen Blutungen. Tabelle 5.34 und Abbildung 5.29 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.34: Blutungen Großhirn oben (n = 16, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	6,3	12,2	6,7	25,2
Zentral rechts	7,9	9,1	5,5	22,5
Zentral links	8,4	9,5	5,9	23,8
Lateral links	6,8	12,6	9,1	28,5
Gesamt	29,4	43,4	27,2	100

Abbildung 5.29: Blutungen Großhirn oben



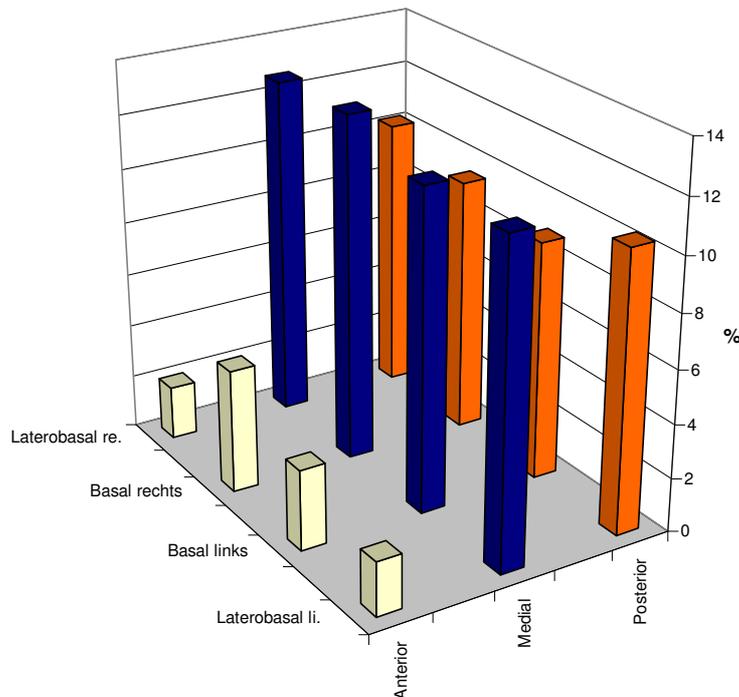
Prinzipiell herrscht zwischen rechter und linker (oberer) Gehirnhälfte bezüglich des Verteilungsmusters nahezu Gleichheit. Der mediale Abschnitt überwiegt insbesondere laterodorsal auf beiden Seiten den anterioren und den posterioren. Die Blutungen linkslateral sind in erster Linie anprallbedingt epiduraler Herkunft, im weiteren Verlauf auch subarachnoidal sowie intracerebraler Natur. Lateral rechts findet man insbesondere im medialen Bereich SDH, die durch Akzelerationskräfte hervorgerufen wurden. SAB traten auf dieser Seite eher selten auf (Vgl. die geringe Anzahl der Kontusionen). Insgesamt hätte man wohl eine deutlichere Verteilung zugunsten der linken Gehirnhälfte erwartet.

Basal am Großhirn waren Blutungen in 10 von 19 Fällen (**52,6 %**) aufgetreten, stets verbunden mit dorsalen Blutungen. Tabelle 5.35 und Abbildung 5.30 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.35: Blutungen Großhirn basal (n = 10, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	2	12,7	10,2	24,9
Basal rechts	4,6	12,9	9,5	27
Basal links	3	11,9	8,9	23,8
Laterobasal links	2	11,9	10,4	24,3
Gesamt	11,6	49,4	39	100

Abbildung 5.30: Blutungen Großhirn basal



Nahezu einziger Unterschied im Vergleich zum dorsalen Verteilungsmuster ist, dass der anteriore Bereich kaum betroffen ist. Ansonsten findet man ein ähnliches Gleichgewicht zwischen linker

und rechter Gehirnhälfte wie oben beschrieben. Der mediale Anteil überwiegt auch hier. Die Blutungen entsprechen in Art und Lokalisation denen der oberen Gehirnabschnitte.

5.5.3.5 Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes

In 13 von 19 Fällen (**68,4 %**) kam es im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes es zu Verletzungen wie Rupturen, Kontusionen oder Blutungen.

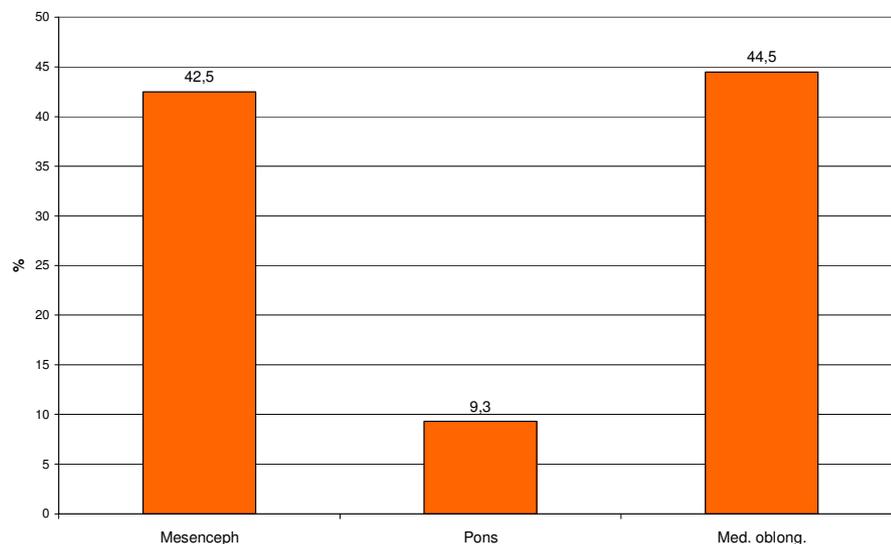
Rupturen an Hirnstamm und Kleinhirn sind in 9 von 19 Fällen (47,4 %) aufgetreten, wobei in acht Fällen ausschließlich der Hirnstamm betroffen war und in einem Fall der Hirnstamm sowie das Kleinhirn gemeinsam. Nur in vier Fällen kam es gleichzeitig zu Blutungen. Im Einzelnen ergibt sich somit:

Cerebellum: In einem von 19 Fällen rupturiert (**5,3 %**).

Hirnstamm: In 9 von 19 Fällen rupturiert (**47,4 %**).

Die Lokalisation der Rupturen im Hirnstamm verdeutlicht die folgende Abbildung 5.30:

Abbildung 5.31: Rupturen im Hirnstamm



Das Cerebellum ist, wie schon in den Bereichen 1 und 2, von Rupturen nur selten betroffen, häufiger dagegen der Hirnstamm. Im Gegensatz zum Frontalaufprall sind das Mesencephalon sowie die Medulla oblongata hauptsächlich geschädigt, der Pons ist, obwohl zentral gelegen, kaum beteiligt. Aufgrund des Aufprallbereiches lateral links und der Tatsache, dass Frakturen vor allem medial und posterior auftraten, kann durchaus von einer direkten Verletzungsfolge ausgegangen werden.

Kontusionen waren lediglich in einem von 19 Fällen (**5,3 %**) aufgetreten, betroffen war das Cerebellum, ohne feststellbare Blutung.

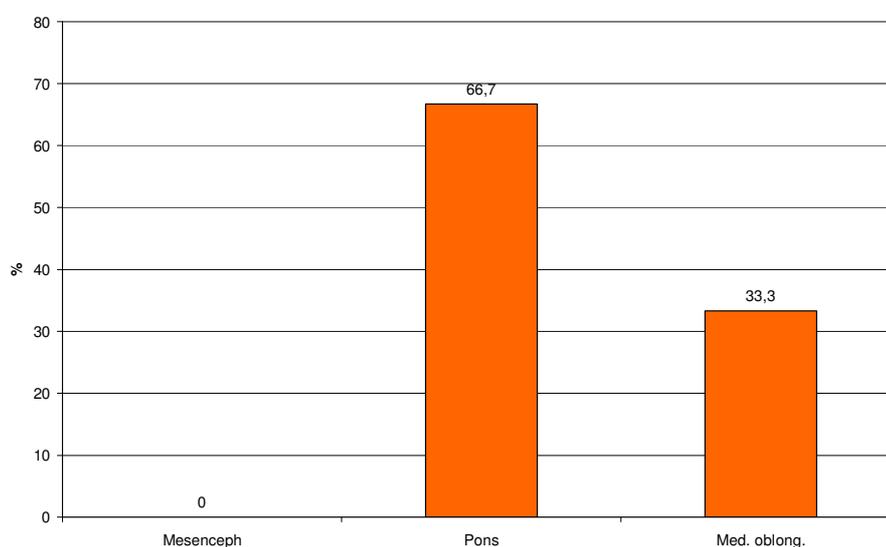
Blutungen fanden sich in 8 von 19 Fällen (**42,1 %**), davon vier Fälle ausschließlich mit Kleinhirnbeteiligung, drei Fälle nur mit Hirnstammlutungen sowie ein Fall mit kombinierter Blutung. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit:

Cerebellum: In 5 von 19 Fällen betroffen (**26,3 %**)

Hirnstamm: In 4 von 19 Fällen betroffen (**21,1 %**).

Die Lokalisation der Blutungen im Hirnstamm verdeutlicht die folgende Abbildung 5.32:

Abbildung 5.32: Blutungen im Hirnstamm



Das Kleinhirn ist geringfügig häufiger von Blutungen betroffen als der Hirnstamm. Es existiert scheinbar kein kausaler Zusammenhang zwischen Kleinhirn- und Hirnstammlutung, da diese nur in einem Fall gemeinsam vorkommen. Auch die in den Bereichen 1 und 2 beschriebene Analogie zwischen Rupturen und Blutungen in dieser Region trifft hier weitgehend nicht zu, was man auch an den verschiedenen Lokalisationen im Hirnstamm erkennen kann: Im Pons kam es am häufigsten zu Einblutungen, im Mesencephalon gar nicht (vgl. Rupturen). Bei den vorhandenen Blutungen handelt es sich überwiegend um intracerebrale Hämatome, hervorgerufen durch akzelerationsbedingte Schädigungen.

5.5.3.6 Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)

In nur 2 von 19 Fällen (**10,5 %**) fanden sich Frakturen im Bereich der HWS. Im ersten Fall war die Fraktur bei HWK 1, im zweiten Fall bei HWK 7. Beide Male fanden sich keine weiteren

Frakturen im Bereich des Schädels. Als Verletzungsmechanismus ist eine akzelerationsbedingte laterale Beugung des Kopfes mit Krafteinwirkung auf die HWS anzunehmen.

5.5.4 Bereich 4: Anstoss lateral rechts (n = 11)

Der Bereich 4 umfasst Fälle, deren Kopfaufprall in der **XZ-Ebene in Winkeln von -45° bis 90°**, sowie in der **XY-Ebene von 135° bis 46°** statt gefunden hat. Wie das Schema in Punkt 3.1 zeigt, waren die XZ-Winkel bis auf einen Fall (80°) alle im Bereich von -14° bis 45° lokalisiert.

5.5.4.1 Verletzungen im Gesichtsbereich

Insgesamt beobachtete man in einem von 11 Fällen (**9,1 %**) Lazerationen, Hämatome und / oder Frakturen im Gesichtsbereich.

Lazerationen waren in einem von 11 Fällen (9,1 %) vorhanden, betroffen war die rechte untere Gesichtshälfte von der Maxilla bis zu Mandibula (s. Legende in Punkt 4.2.2: Bereiche 4-7).

Hämatome im Gesichtsbereich wurden hier nicht erhoben.

Frakturen des Gesichtsschädels fanden sich in einem von 11 Fällen (**9,1 %**), betroffen waren die linke Orbita, das Nasenbein und Jochbein/Maxilla rechts. Letztere Frakturen lassen sich durch Stosswellen nach dem Aufprall erklären, die Orbitafraktur weist auf eine in diesem Fall vorhandene fortgeleitete Schädelbasisfraktur hin.

5.5.4.2 Verletzungen im Bereich der Schädeldaches

In nur einem von 11 Fällen (**9,1 %**) kam es zu Verletzungen im Bereich des Schädeldaches in Form von Lazerationen, Hämatome und/oder Frakturen. Die **Lazerationen** betrafen den gesamten hohen Stirnbereich, **Hämatome** waren links posterior lokalisiert. Die **Frakturen** waren anterior und medial sowie rechts lateral und zentrolateral. Dieser Bereich liegt in der Umgebung der Aufprallstelle.

Der hier beschriebene Fall wies auch die oben angesprochene Gesichtsfaktur auf.

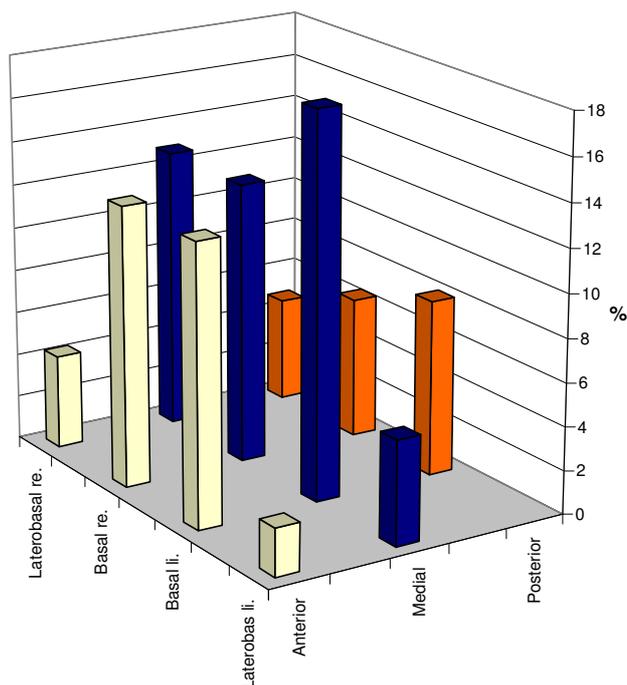
5.5.4.3 Frakturen im Bereich der Schädelbasis

Schädelbasisfrakturen waren in 4 von 11 Fällen (**36,4 %**) zu verzeichnen, einer davon wies Kalottenfraktur auf (s.o.). Tabelle 5.36 und Abbildung 5.33 zeigen die Lokalisation der Schädelbasisbrüche.

Tabelle 5.36: Frakturen Schädelbasis (n = 4, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	4,3	12,9	4,8	22
Basal rechts	12,9	12,9	6,5	32,3
Basal links	12,9	17,7	8,1	38,7
Laterobasal links	2,2	4,8		7
Gesamt	32,2	48,3	19,4	100

Abbildung 5.33: Frakturen der Schädelbasis



Das Verteilungsmuster lässt den Schluss zu, dass von der Aufprallstelle ausgehende Stosswellen erhebliche Schädigungen im Inneren der Schädelbasis bewirkten. Von der Anprallregion (rechts medial) aus ziehen die Frakturen bis nach basal links anterior und posterior.

5.5.4.4 Verletzungen im Bereich des Großhirnes

In 10 von 11 Fällen (**90,9 %**) kam es zu Läsionen des Großhirns in Form von Kontusionen (Quetschungen) und/oder Blutungen. **Rupturen** kamen hier nicht vor.

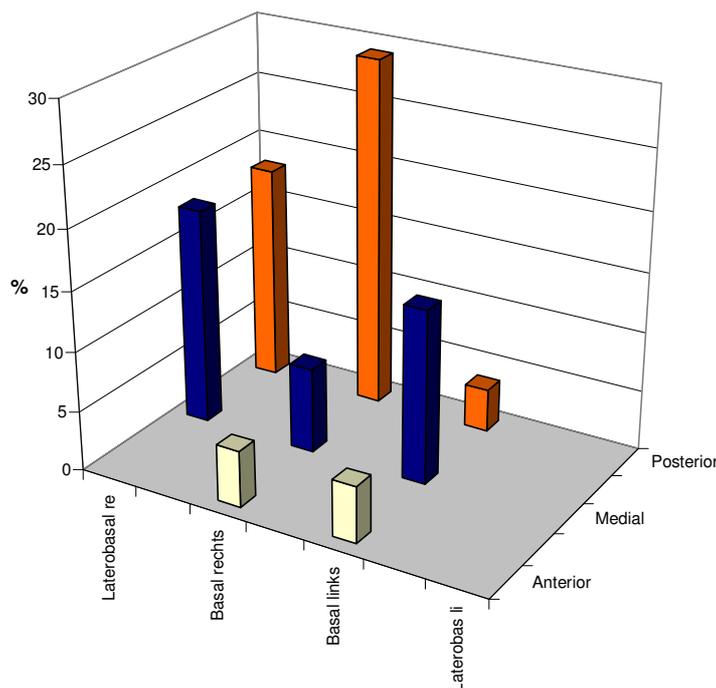
Kontusionen fanden sich in 5 von 11 Fällen (**45,5 %**). In oberen Arealen in 2 von 11 Fällen (**18,2 %**) aufgetreten, davon ein Fall kombiniert mit basaler Kontusion. Beide Fälle wiesen Quetschungen im anterioren Bereich auf, der eine Fall in der gesamten Region, der andere lediglich zentral links (!). Da beide Lokalisationen vom Anprallort relativ weit weg lagen, ist von Contre-Coup-Verletzungen auszugehen.

Basale Kontusionen waren 4 von 11 Fällen (**36,4 %**) aufgetreten, davon ein Fall kombiniert mit dorsaler Kontusion. Deren Lokalisation verdeutlichen Tabelle 5.37 und Abbildung 5.34.

Tabelle 5.37: Kontusionen Großhirn basal (n = 4, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts		18,1	18,1	36,2
Basal rechts	4,7	7,1	29,2	41
Basal links	4,7	14,5	3,6	22,8
Laterobasal links				
Gesamt	9,4	39,7	50,9	100

Abbildung 5.34: Kontusionen Großhirn basal



Abgesehen von den bereits vorher angesprochenen raren anterioren dorsalen Kontusionen, die sich hier basal fortsetzen, entspricht das Verteilungsmuster eher dem Mechanismus der Coup-Kontusionen. Der Grossteil befindet sich in der Nähe der potentiellen Anprallregion, was für direkt hervorgerufene Verletzungen spricht. Lediglich medial basal links scheint eine gewisse Contre-Coup-Komponente aufzutauchen. Insgesamt befanden sich mehr als die Hälfte der Kontusionen im posterioren Bereich.

Trotz geringerer Fallzahl findet sich sowohl dorsal als auch basal ein ähnliches Erscheinungsbild wie in Bereich 3.

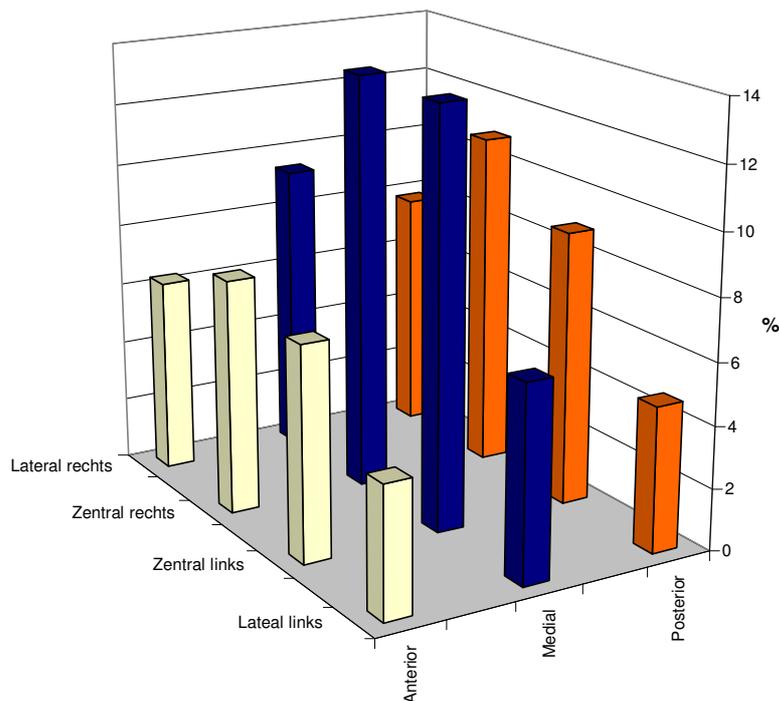
Gehirnblutungen fanden sich in 10 von 11 Fällen (**90,9 %**).

Im oberen Bereich waren Blutungen bei 10 von 11 Fällen (**90,9 %**) vorhanden, davon bei 7 Fällen kombiniert mit basalen Blutungen. Tabelle 5.38 und Abbildung 5.35 zeigen die Lokalisation

Tabelle 5.38: Blutungen Großhirn oben (n = 10, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	6,3	9,4	7,8	23,5
Zentral rechts	7,6	13,5	10,9	32
Zentral links	6,9	13,5	8,9	29,3
Lateral links	4,2	42,7	4,7	15,2
Gesamt	25	42,7	32,3	100

Abbildung 5.35: Blutungen Großhirn oben



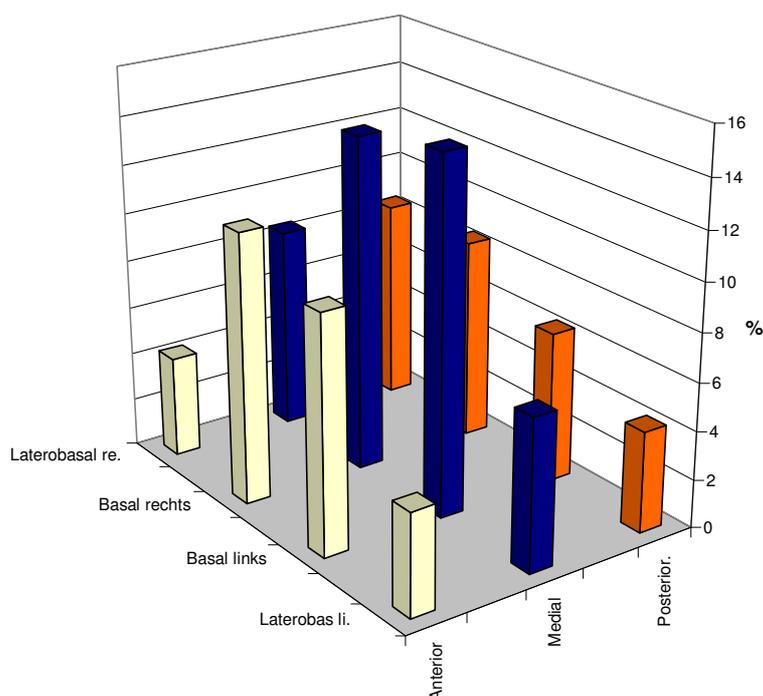
Am häufigsten findet man Blutungen im medialen Anteil, gefolgt vom posterioren. Man beobachtet ansonsten zwischen rechter und linker (zentraler) Gehirnhälfte keine allzu großen Unterschiede. Der Blutungsschwerpunkt liegt beiderseits zentral dorsal. Die Blutungen laterozentral und zentral rechts entsprechen vor allem SAB sowie intracerebralen Hämatomen, EDH findet man kaum, da es in diesem Bereich nur in einem Fall zu Frakturen kam (s.o.). Auf der linken Seite handelt es sich vor allem um akzelerationsbedingte SDH. SAB treten (aufgrund fehlender Kontusionsherde) hier praktisch nicht auf. Dagegen lassen sich in den anterioren Kontusionsherden SAB beschreiben. Bemerkenswert ist die Diskrepanz zwischen quasi nicht vorhandenen Kalottenfrakturen und dem häufigen Auftreten zentraler Blutungen.

Basal am Großhirn waren Blutungen in 7 von 11 Fällen (**63,6 %**) aufgetreten. Tabelle 5.39 und Abbildung 5.36 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.39: Blutungen Großhirn basal (n = 7, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	4,2	8,4	8,4	21
Basal rechts	11,2	13,9	8,4	33,5
Basal links	9,8	14,7	6,3	30,8
Laterobasal links	4,2	6,3	4,2	14,7
Gesamt	29,4	43,3	27,3	100

Abbildung 5.36: Blutungen Großhirn basal



Das Verteilungsmuster ist nahezu analog dem der zentralen Blutungen (s.o.). Aufgrund der häufigeren Frakturen der Schädelbasis finden sich vor allem rechts anterior und medial vermehrt

EDH. Bei den posterior aufgetretenen Blutungen handelt es sich überwiegend um an Kontusionsherden entstandenen SAB. Auf der linken Seite dominieren wiederum akzelerationsbedingte SDH. Blutungsschwerpunkt bilden auch hier die zentralen (basalen) Anteile.

5.5.4.5 Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes

In 4 von 11 Fällen (**36,4 %**) kam es an Hirnstamm und Kleinhirn zu Verletzungen wie Rupturen, Kontusionen oder Blutungen.

Rupturen zeigten sich in 2 von 11 Fällen (18,2 %), ausschließlich im Hirnstamm. Beide Rupturen waren im Mesencephalon lokalisiert und Folge von Akzelerationskräften. Insgesamt traten sie seltener auf als in Bereich 3.

Kontusionen waren in einem von 11 Fällen (**9,1 %**) aufgetreten, und zwar im Cerebellum (ähnlich wie Bereich 3).

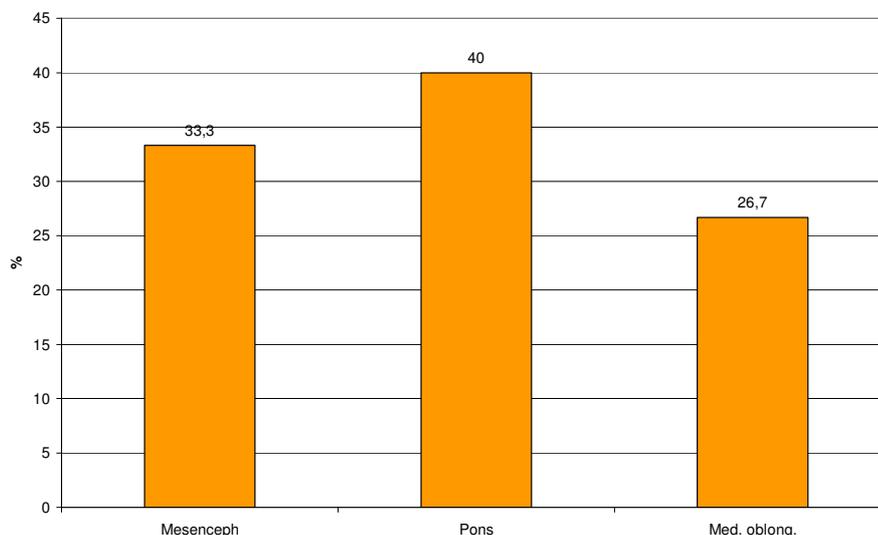
Blutungen fanden sich in 4 von 11 Fällen (**36,4 %**), davon in einem Fall ausschließlich mit Kleinhirnbeteiligung und in drei Fällen in Kombination mit Hirnstammb Blutungen. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit:

Cerebellum: In 4 von 11 Fällen betroffen (**36,4 %**)

Hirnstamm: In 2 von 11 Fällen betroffen (**18,8 %**).

Die Lokalisation der Blutungen im Hirnstamm verdeutlicht die folgende Abbildung 5.37:

Abbildung 5.37: Blutungen im Hirnstamm



Die Kleinhirnblutungen überwiegen wie in Bereich 3 auch hier die Hirnstammlutungen. Die Lokalisationsverteilung im Hirnstamm unterscheidet sich ebenso, wobei die geringe Fallzahl kritisch betrachtet werden muss. Die Blutungen im Mesencephalon entstammen den oben angesprochenen Gewebsrupturen, die übrigen wurden durch kleinere Gefäßläsionen im Rahmen akzelerationsbedingter Mechanismen hervorgerufen.

5.5.4.6 Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)

In einem von 11 Fällen (**9,1 %**) fanden sich Frakturen im Bereich der HWS. Diese betraf den HWK 1. Verletzungsursache war wiederum eine akzelerationsbedingte laterale Beugung des Kopfes mit dann indirekter Krafteinwirkung auf die HWS.

5.5.5 Bereich 5: Anstoss okzipital (n = 8)

Der Bereich 5 umfasst Fälle, deren Kopfaufprall in der **XZ-Ebene in Winkeln von -45° bis 90°**, sowie im **XY-Ebene von -136° bis 136°** statt gefunden hat. Gemäß dem Schema in Punkt 3.1 waren die XZ-Winkel alle im Bereich von -14° bis 45° gelegen.

5.5.5.1 Verletzungen im Gesichtsbereich

Insgesamt beobachtete man in nur 2 von 8 Fällen (**25 %**) Lazerationen, Hämatome und/oder Frakturen im Gesichtsbereich. Dieses Ergebnis konnte erwartet werden, da der eigentliche Kopfanprall okzipital, d.h. auf der Gegenseite, erfolgt war.

Lazerationen waren in einem von 8 Fällen (**12,5 %**) aufgetreten. Betroffen war die Nase im Rahmen des Abrollvorganges nach dem okzipitalen Primäranprall.

Hämatome fanden sich in 2 von 8 Fällen (**25 %**) aufgetreten. Beide Male handelte es sich um Hämatome im Bereich der Orbita, die hier jedoch nicht Ausdruck eines Frakturgeschehens im Schädelbasisbereich standen.

Frakturen im Gesichtsbereich waren nicht zu erheben.

5.5.5.2 Verletzungen im Bereich des Schädeldaches

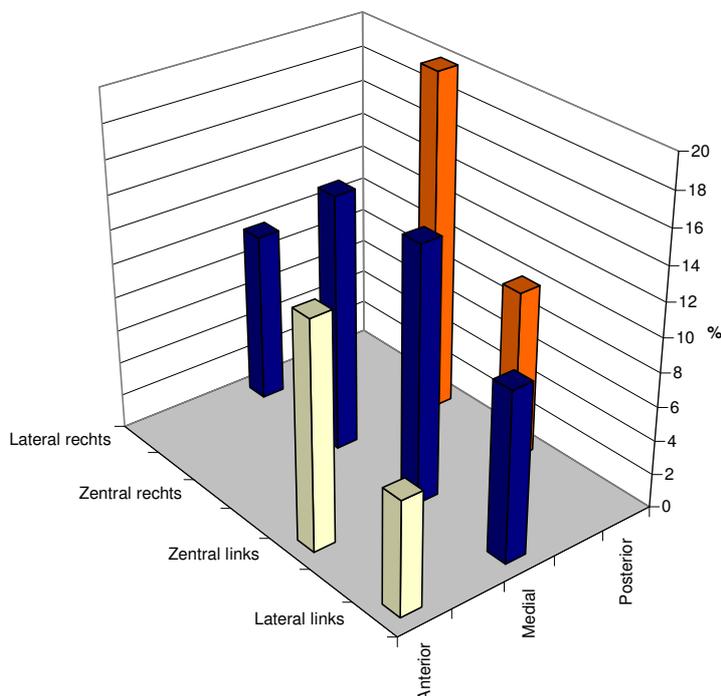
In 5 von 8 Fällen (**62,5 %**) kam es zu Verletzungen im Bereich des Schädeldaches in Form von Hämatomen und/oder Frakturen. **Lazerationen** waren hier nicht vorhanden.

Hämatome in den Weichteilen über dem Schädeldach waren nur in 2 von 8 Fällen (**25 %**) zu beobachten. Tabelle 5.40 und Abbildung 5.38 illustrieren die Lokalisation dieser Hämatome.

Tabelle 5.40: Hämatome Weichteile über dem Schädeldach (n = 2, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral links		10		10
Zentral links		15	20	35
Zentral rechts	13,3	15	10	38,3
Lateral rechts	6,7	10		16,7
Gesamt	20	50	30	100

Abbildung 5.38: Hämatome im Bereich des Schädeldaches



In der Häufigkeitsverteilung erkennt man einen Schwerpunkt im medialen Abschnitt, gefolgt vom posterioren (Lokalisation des Kopfanpralls). In der posterioren Region kam es bei den entsprechenden Fällen auch zu Frakturen. Diese traten zwar im medialen und anterioren Abschnitt nicht mehr auf, dennoch bildeten sich die Hämatome als Ausdruck einer Kopfschwartenverletzung auch in diesen Bezirken aus.

Frakturen des Schädeldaches fanden sich in 5 von 8 Fällen (**62,5 %**). Die Lokalisation zeigen Tabelle 5.41.

Tabelle 5.41: Frakturen Schädeldach (n = 5, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts			8,6	8,6
Zentral rechts		2,8	28,7	31,5
Zentral links		2,8	37,1	39,9
Lateral links			20	20
Gesamt		5,6	94,4	100

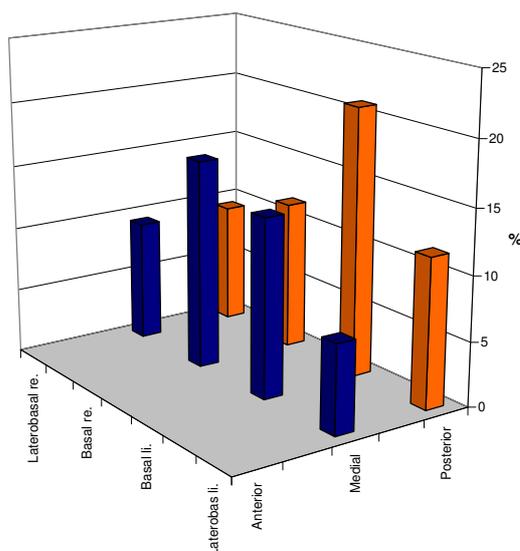
Entsprechend dem okzipitalen Anprall treten Frakturen praktisch nur im posterioren Abschnitt auf. Das Stosswellen-Phänomen kommt offenbar im Gegensatz zu den anderen Bereichen hier kaum zum Ausdruck, d.h. mediale oder sogar anteriore Kalottenabschnitte sind nahezu unversehrt.

5.5.5.3 Frakturen im Bereich der Schädelbasis

Schädelbasisfrakturen waren in 3 von 8 Fällen (**37,5 %**) zu verzeichnen, zwei davon kombiniert mit Kalottenfrakturen (s.o.). Tabelle 5.42 und Abbildung 5.39 zeigen die Lokalisation der Schädelbasisbrüche.

Tabelle 5.42: Frakturen der Schädelbasis (n = 3, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts		9,4	9,4	18,8
Basal rechts		16,3	11,6	27,9
Basal links		13,9	20,9	34,8
Laterobasal links		6,9	11,6	18,5
Gesamt		46,5	53,5	100

Abbildung 5.39: Frakturen der Schädelbasis

Im Gegensatz zu den Kalottenfrakturen zeigt sich eine stärkere Mitbeteiligung des medialen Abschnittes, was für eine höhergradige Ausprägung des Stoßwellenprinzips spricht. Insgesamt war die Schädelbasis aber weniger betroffen als die Kalotte.

5.5.5.4 Verletzungen im Bereich des Großhirnes

In 6 von 8 Fällen (**75 %**) kam es am Großhirn zu Verletzungen wie Rupturen, Kontusionen (Quetschungen) und/oder Blutungen.

Rupturen fanden sich in 2 von 8 Fällen (25 %) aufgetreten. Im ersten Fall basal medial und posterior komplett, im zweiten Fall zentral anterior (s.u.).

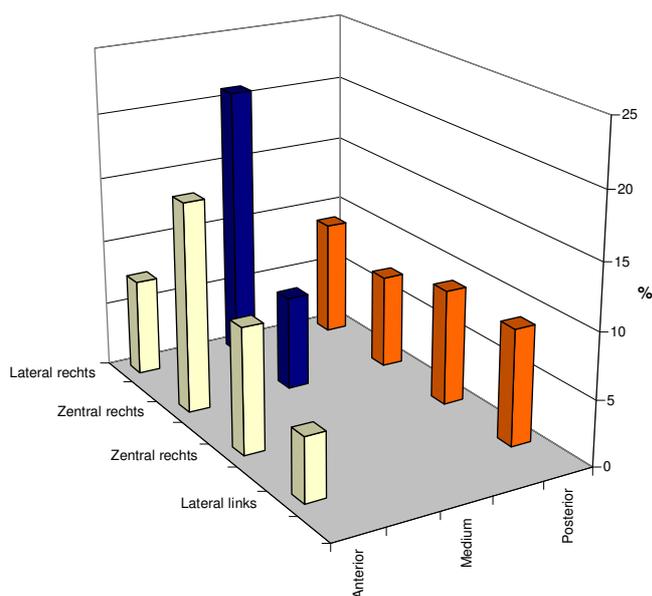
Kontusionen waren in 2 von 8 Fällen (**25 %**) aufgetreten, beide offensichtlich als Contre-Coup-Kontusionen zentral anterior. Ein Fall wies an dieser Stelle auch eine Hirnruptur auf (s.o.) sowie zusätzlich eine Coup-Kontusion okzipital.

Gehirnblutungen fanden sich in 5 von 8 Fällen (**62,5 %**).

Im **oberen Bereich** waren Blutungen bei 5 von 8 Fällen (**62,5 %**) vorhanden, davon bei 3 Fällen kombiniert mit basalen Blutungen. Tabelle 5.43 und Abbildung 5.40 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.43: Blutungen Großhirn oben (n = 5, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Lateral rechts	7,4	20,9	8,9	37,2
Zentral rechts	16,1	7,2	7,2	30,5
Zentral links	9,6		8,9	18,5
Lateral links	4,9		8,9	13,8
Gesamt	38	28,1	33,9	100

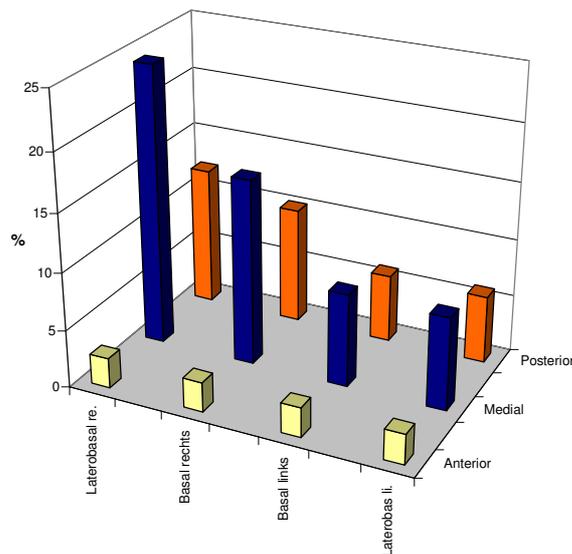
Abbildung 5.40: Blutungen Großhirn oben

Im Aufprallbereich posterior sind erwartungsgemäß ubiquitär Blutungsherde (EDH, SAB) zu verzeichnen. Erstaunlich ist die hohe Ausprägung anterior, die zum einen auf den Contre-Coup-Kontusionen in Form von SAB beruhen, zum anderen als SDH in Folge von Akzelerationskräften auftreten. Auch erkennt man ein deutliches Überwiegen der Blutungshäufigkeit in der rechten dorsalen Gehirnhälfte (v.a. intracerebrale Hämatome), die aber aufgrund der geringen Fallzahl eher zufällig bedingt ist.

Basal am Großhirn waren Blutungen in 3 von 8 Fällen (**37,5 %**) aufgetreten. Tabelle 5.44 und Abbildung 5.41 zeigen die Lokalisation.

Tabelle 5.44: Blutungen Großhirn basal (n = 3, Angaben in Prozent)

	Anterior	Medial	Posterior	Gesamt
Laterobasal rechts	2,5	24	12,1	38,6
Basal rechts	2,5	16	10,1	28,6
Basal links	2,5	8	5,9	16,4
Laterobasal links	2,5	8	5,9	16,4
Gesamt	10	56	34	100

Abbildung 5.41: Blutungen Großhirn basal

Der Contre-Coup-Mechanismus anterior erscheint basal geringer ausgeprägt als dorsal. Den Hauptanteil nehmen intracerebrale Hämatome und EDH medial und posterior ein. Wiederum beobachtet man ein Übergewicht zugunsten der rechten Gehirnhälfte. Wie schon bei den Frakturen ist der basale Anteil in weniger Fällen geschädigt als der dorsale.

5.5.5.5 Verletzungen im Bereich des Hirnstammes und des Kleinhirnes

In 4 von 8 Fällen (**50 %**) kam es an Hirnstamm und Kleinhirn zu Verletzungen wie Rupturen, Kontusionen oder Blutungen.

Rupturen waren in 2 von 8 Fällen (**25 %**) aufgetreten. Im ersten Fall war der komplette Hirnstamm, im zweiten Fall das Cerebellum betroffen. Es fanden sich an den jeweiligen Lokalisationen zusätzlich Blutungen.

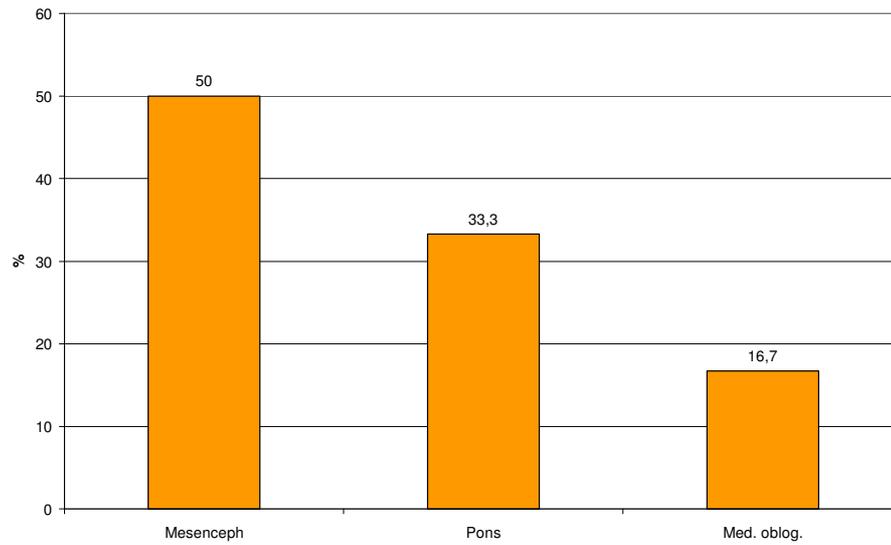
Kontusionen zeigten sich in 3 von 8 Fällen (**37,5 %**), in zwei Fällen davon im Hirnstamm, in einem Fall im Cerebellum. Es fanden sich an den jeweiligen Lokalisationen zusätzlich Blutungen.

Blutungen waren in 4 von 8 Fällen (**50 %**) vorhanden, davon in einem Fall ausschließlich mit Kleinhirnbeteiligung, in einem Fall nur mit Hirnstamm-beteiligung und in zwei Fällen als Kombination aus beiden. Aufgeschlüsselt ergibt sich somit:

Cerebellum: In 3 von 8 Fällen betroffen (**37,5 %**)

Hirnstamm: In 3 von 8 Fällen betroffen (**37,5 %**).

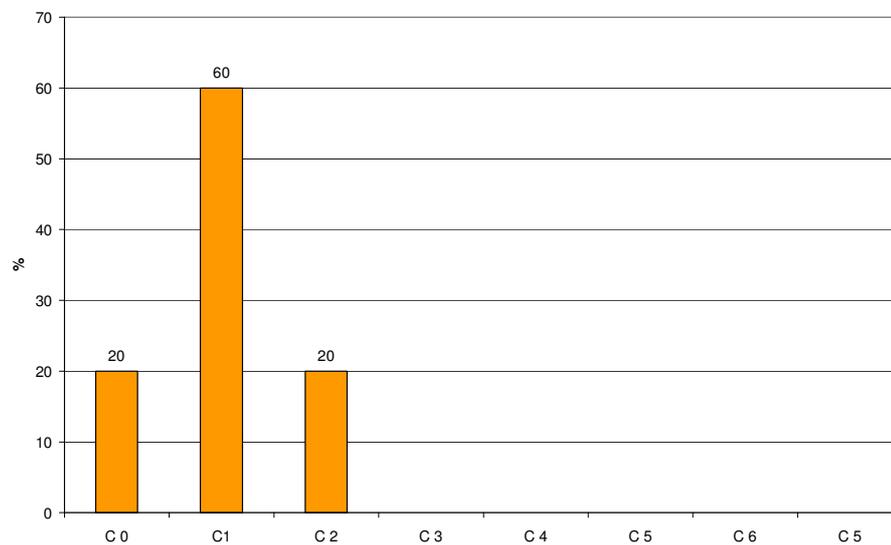
Die Lokalisation der Blutungen im Hirnstamm verdeutlicht die folgende Abbildung 5.42:

Abbildung 5.42: Blutungen im Hirnstamm

Man erkennt eine nach kaudal abnehmende Häufigkeit. Die Blutungsarten waren vorwiegend SAB, hervorgerufen durch anprallbedingte Coup-Kontusion und durch Rupturen.

5.5.5.6 Frakturen der Halswirbelsäule (HWS)

In 3 von 8 Fällen (37,5 %) wurden Frakturen im Bereich der HWS davongetragen, stets in Kombination mit Hirnstammb Blutungen. Deren Lokalisation soll Abbildung 5.43 verdeutlichen

Abbildung 5.43:

Die hier aufgetretenen HWS-Frakturen waren im Gegensatz zu den anderen Bereichen zumeist eine direkte Folge der bei den jeweiligen Kopfanprällen entstehenden Kräfte. Daher waren vor allem die kranialen Halswirbelkörper betroffen.

6 Diskussion

Zunächst werden die einzelnen Kopfaufprallbereiche gesondert betrachtet. Danach erfolgt, sofern es sinnvoll erscheint, ein Vergleich der verschiedenen Bereiche untereinander auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede bezüglich des Verletzungsmusters.

Anschließend werden die Regionen des Kopfes hinsichtlich der Häufigkeit der auftretenden Verletzungsarten bei den diversen Anprallbereichen individuell dargestellt.

Ziel ist es, mögliche Regelmäßigkeiten oder zumindest Tendenzen im Verletzungsverhalten bei bestimmten Kopfaufprallwinkeln herauszuarbeiten.

6.1 Anprallbereiche 1 – 5

Die angegebenen Prozentzahlen beziehen sich wie in Kapitel 4 stets auf die Gesamtzahl der Fälle des jeweiligen Bereiches.

6.1.1 Bereich 1 (Anprall frontal - kaudal, n = 35)

In **88,6 %** der Fälle kam es zu **Gesichtsverletzungen**, der höchste Prozentsatz im Vergleich zu allen anderen Bereichen. Den Hauptanteil bildeten die **Frakturen (71,4 %)**, die zu ca. 40 % im Unterkieferbereich (und damit im Zentrum der Anpralllokalisierung), aber auch zu 40 % im Nasen- und Oberkieferbereich lagen. Die Orbita war diesbezüglich kaum tangiert, obwohl **Hämatome (17,1 %)** fast ausschließlich als Monokelhämatome vorlagen. Dies deutet bereits auf intrakranielle Frakturen hin.

Trotz kaudalem Aufprall traten die **Lazerationen (31,4 %)** im oberen Gesichtsbereich stärker in Erscheinung als in der Unterkieferregion, womöglich ein Indiz dafür, dass hier die Einwirkung der oberen Helmstrukturen mehr zum Tragen kam.

Im Bereich des **Schädeldachs** beobachtete man in **40 %** der Fälle Läsionen. Stets vorhanden waren **Frakturen (40 %)**, die zur Hälfte anterior auftraten, und nach posterior abnahmen. Fortgeleitete Stosswellen können dies bewirkt haben. Überdies traten Kalottenfrakturen immer in Zusammenhang mit Schädelbasisfrakturen auf.

Lazerationen (14,3 %) waren nur im Stirnbereich zu verzeichnen, **Hämatome (20 %)** eher unregelmäßig verteilt. Beide Verletzungsformen fanden sich im engen örtlichen Zusammenhang mit den Frakturen.

Generell erkennt man sowohl im Gesicht als auch an der Kalotte ein deutliches Überwiegen der Frakturen im Vergleich zu den eher „leichten“ Verletzungen wie Lazerationen oder Hämatomen. Dies spricht für die Schutzfunktion des Helmes, der äußere Verletzungen in noch höherem Maße zu verhindern vermag als weiter innen gelegene.

Die **Schädelbasis** war in **65,7 %** von **Frakturen** betroffen, also deutlich häufiger als die Kalotte. Die Erklärung dafür liegt in der kaudalen und damit basisnäheren Anprallkonstellation. Die Stosswellenfortleitung scheint hier eine größere Rolle zu spielen als cranial, da der anteriore und der mediale Bereich nahezu in gleichem Maße tangiert waren (je ca. 40 %), der posteriore hingegen weniger (ca. 20 %).

Verletzungen des **Großhirnes** traten in **77,1 %** der Fälle auf. **Rupturen** waren mit **14,3 %** eher selten. Letztere zeigten eine Häufigkeitsabnahme von basal vorne nach zentral hinten, was auf direkte Anprallverletzungen hinweist. Die **Kontusionen (31,4 %)** waren dorsal (22,9 %) vorwiegend als Coup-Läsionen ausgeprägt, basal (17,1 %) in höherem Maße als Contre-Coup-Schädigungen. Bezüglich der **Blutungen (71,4 %)** war ähnliches zu erkennen: In den oberen Regionen (65,7 %) Coup-Mechanismus anterior und Contre-Coup-Mechanismus medial und posterior - Basal (48,6 %) vorwiegend Contre-Coup-Mechanismus. Angesichts der Anpralllokalisation (eher basal) war dieses Ergebnis nicht unbedingt zu erwarten.

Insgesamt gesehen war der obere Gehirnteil stärker betroffen als der basale, dagegen verhielt es sich bei den Frakturen genau umgekehrt. Infolge des Anpralls wurden die knöchernen Strukturen vorwiegend proximal (also basal), die Weichteile jedoch insbesondere distal (also oben) geschädigt. Für die Frakturen ergibt sich damit eher ein direktes Verletzungsmuster, für das Gehirn überwiegend indirekt bedingte Läsionen im Sinne von akzelerations- und Contre-Coup-bedingten Schäden („remote injuries“).

In über der Hälfte der Fälle (**54,3 %**) waren **Hirnstamm und Kleinhirn** involviert. **Rupturen (20 %)** betrafen den Hirnstamm (17,1 %) in höherem Maße als das Cerebellum (5,7 %). **Kontusionen (5,7 %)** waren sehr selten. Dafür traten, wie schon beim Großhirn, **Blutungen (42,9 %)** anteilmäßig in den Vordergrund. Diesbezüglich war das Cerebellum (31,4 %) stärker betroffen als der Hirnstamm (14,3 %). Angesichts des frontalen Anpralls kann man vor allem von Contre-Coup-Mechanismen als Verletzungsursache ausgehen, insbesondere bei der hohen Prozentzahl an Kleinhirnblutungen. Die auftretenden Kräfte bewirkten vor allem Gefäßläsionen, dagegen nur in geringerem Maße große Gewebsdefekte wie Rupturen oder Quetschungen.

Die **HWS-Frakturen (14,3 %)** waren vor allem an den oberen Halswirbelkörpern lokalisiert. Verletzungsursache waren wohl beim Anprall fortgeleiteten Kräfte, die zur Hyperextension der Halswirbelsäule führten.

6.1.2 Bereich 2 (Anprall frontal – kranial, n = 43)

Das **Gesicht** war in **44,2 %** der Fälle von Verletzungen betroffen. **Lazerationen (25,6 %)** traten vorwiegend in den oberen Gesichtsanteilen auf, zu 40 % nasal. Zwei Drittel der **Hämatome (20,9 %)** waren orbital lokalisiert. Dies war wiederum ein Hinweis auf ein intrakranielles Auftreten von Frakturen, da die **Frakturen (23,3 %)** vor allem Nase und Oberkiefer, zu einem Viertel den Unterkiefer tangierten, die Orbita jedoch fast aussparten.

Gemäss dem Anprallbereich "frontal - kranial" lag der Schwerpunkt der Gesichtsverletzungen in den oberen Gesichtsabschnitten. Alle drei Verletzungsarten traten in etwa gleich häufig auf, wobei nicht unbedingt ein Zusammenhang bestand.

Im Bereich des **Schädeldaches** (in **65,1 %** der Fälle verletzt) waren **Lazerationen (25,6 %)** vor allem an der Stirn zu beobachten. Die Lokalisation der **Hämatome (37,2 %)** und der **Frakturen (39,5 %)** lag schwerpunktmäßig ebenfalls anterior, nach posterior hin abnehmend. Auch hier traten Kalottenfrakturen immer in Zusammenhang mit Schädelbasisfrakturen auf. Alles in allem ist das Verletzungsmuster gut vereinbar mit der Anprallkonstellation, wobei das Stoßwellenprinzip im Vergleich zur Schädelbasis nur bedingt zum Ausdruck kommt.

Die in **67,4 %** der Fälle vorhandenen **Frakturen der Schädelbasis** konzentrieren sich vor allem auf die anteriore und mediale Region (je 40 %). Wie schon erwähnt, kommt die Fortleitung von Stosswellen im Rahmen des Anpralles stärker zur Geltung als bei den Kalottenfrakturen.

Das **Großhirn** (in **86,1 %** der Fälle verletzt) wies nur einen relativ geringen Anteil an **Rupturen (7,1 %)** auf. Diese konzentrierten sich vor allem auf den posterioren Anteil und waren somit Contre-Coup-Läsionen. **Kontusionen (37,2 %)** waren dagegen häufiger zu beobachten, wobei sich jeweils der zentrale (25,6 %) und basale (23,3 %) Anteil in etwa in Waage hielt. Dorsal wurde sowohl Coup- als auch Contre-Coup-Mechanismus deutlich, basal zeigte sich eine gleichmäßigere Verteilung zwischen anteriorem und posteriorem Abschnitt.

Blutungen (83,7 %) waren die häufigsten Verletzungen im Großhirn. Auch hier waren der obere (60,5 %) und der basale (65,1 %) Teil ungefähr in gleichem Ausmaß beteiligt. Während oben die anterioren und medialen Blutungen überwogen, zeigte sich basal der mediale und posteriore Abschnitt stärker betroffen. Im oberen Bereich waren die Blutungen anterior eng mit den Kalottenfrakturen verbunden, die posterioren Hämatome waren vor allem die Folge von Kontusionen.

Von anterior nach posterior gegenläufig erwies sich basal das Auftreten von Frakturen und Blutungen. Die posterioren Blutungen basal traten daher zum einen im Rahmen von Contre-Coup-Kontusionsherden auf, waren zum anderen aber auch Ausdruck akzelerationsbedingter SDH. Anterior und medial beobachtete man vor allem frakturbedingte EDH, aber auch intracerebrale

Hämatome. Generell kann man beim dorsalen Hirnanteil eher von einem direkten, an der Hirnbasis eher von einem indirekten Verletzungsmuster sprechen.

Hirnstamm und **Cerebellum** waren in knapp der Hälfte der Fälle (**48,8 %**) lädiert. Während **keine Kontusionen** auftraten, zeigten sich in **18,6 % Rupturen**. Diese betrafen vor allem den Hirnstamm (16,3 %), das Cerebellum dagegen kaum (4,7 %). **Blutungen** traten in **39,5 %** der Fälle auf, im Kleinhirn (30,2 %) vor allem akzelerationsbedingt, im Hirnstamm (25,6 %) insbesondere als Folge der Rupturen.

Die **HWS**, in **25,6 %** der Fälle verletzt, zeigte ein von kranial nach kaudal abnehmendes Verteilungsmuster. Die beim frontalen kranialen Aufprall verursachte Hyperextension kann hierfür verantwortlich angesehen werden.

6.1.3 Bereich 3 (Anprall lateral links, n = 19)

Gesichtsverletzungen traten in **42,1 %** dieser Fälle auf, hauptsächlich in Form von **Lazerationen** (**36,8 %**). Diese waren relativ gleichmäßig verteilt, wobei der Unterkiefer besonders häufig beteiligt war. Aufgrund der lateralen Aufprallstelle kann davon ausgegangen werden, dass die Lazerationen vor allem infolge eines Helmkontaktes zustande kamen. Die **Hämatome** (**15,8 %**) kennzeichneten in Form von Monokelhämatomen das Vorhandensein von Schädelbasisfrakturen, da die wenigen **Gesichtsschädelfrakturen** (**10,5 %**) auf andere Regionen verteilt waren.

Im Bereich des **Schädeldaches** (**68,4 %** Verletzungsbeteiligung) befanden sich die **Lazerationen** (**26,3 %**) in der Weichteildeckung überwiegend auf der linken und damit der Anprallseite. Auch bei den stets vorhandenen **Hämatomen** (**68,4 %**) ergab sich ein ähnliches Verteilungsmuster. Die zu ca. 70 % links lokalisierten Hämatome und die in ca. 25 % rechts aufgetretenen Einblutungen spiegelten in etwa auch das Verteilungsmuster der **Frakturen** (**52,6 %**) wieder. Diese traten links ungefähr doppelt so häufig auf wie rechts, was einen nicht unerheblichen Anteil an fortgeleiteten Frakturen bedeutet.

Wiederum gingen Kalottenfrakturen immer mit **Schädelbasisfrakturen** (in **63,2 %** der Fälle verletzt) einher, beide in etwa gleich häufig. Das Verhältnis aus linker und rechter Schädelbasisbeteiligung ist wie bei den Schädeldachfrakturen ca. 2:1, woraus sich ebenfalls das Stosswellenprinzip ableiten lässt.

Sowohl an der Schädelbasis als auch am Schädeldach waren die Frakturen vor allem medial und posterior lokalisiert, anteriore Frakturen traten kaum auf. Insgesamt zeigt sich bezüglich des Verletzungsmusters ein der Lokalisation des Aufpralls entsprechendes Bild.

Wieder einmal war das **Großhirn** mit **89,5 %** prozentual am schwersten betroffen.

Rupturen (10,5 %) traten nur in geringem Umfang auf, einmal posterior links (direkt anprallbedingt) und einmal medial rechts (indirekt). **Kontusionen (26,3 %)** beobachtete man in den oberen Anteilen (21,1 %) zu ca. 75 % auf der rechten Hirnseite, ein Indiz für ein Überwiegen von Contre-Coup-Kontusionen. Basal (15,8 %) allerdings spielten Coup-Kontusionen der linken Seite (ca. 70 %) eine wesentlich größere Rolle. **Die Blutungen (84,2 %)** waren häufiger oben (78,9 %) als basal (52,6 %) lokalisiert. Bei beiden Regionen überwogen mediale Hämatome gegenüber den anterioren und posterioren Bezirken. Bemerkenswert ist, dass linke und rechte Hemisphäre nahezu gleich betroffen waren. Links fand man frakturbedingte EDH, anprallbedingte SAB und intracerebrale Hämatome, rechts kontusionsbedingte SAB und insbesondere akzelerationsbedingte SDH.

Auffallend an den Großhirnverletzungen ist das häufigere Auftreten von oberen Kontusionen und Blutungen im Vergleich zu basal. Auch die Blutungsverteilung im Großhirn (links = rechts) erscheint ungewöhnlich. Daher muss man davon ausgehen, dass vor allem die indirekten Verletzungsmechanismen („remote injuries“) in diesem Bereich überwiegen.

Hirnstamm und Cerebellum waren in **68,4 %** verletzt. **Rupturen (47,4 %)** beobachtete man fast in der Hälfte der Fälle. Diese tangierten das Kleinhirn (5,3 %) zwar kaum, dafür stets den Hirnstamm (47,4 %). Es ist anzunehmen, dass die Rupturen aufgrund von Anprall- und Frakturlokalisierung vorwiegend direkten Schädigungen entsprechen. **Kontusionen (5,3 %)** spielten dagegen nur eine untergeordnete Rolle. **Blutungen (42,1 %)** fanden sich im Gegensatz zu den Rupturen etwas häufiger im Kleinhirn (26,3 %) als im Hirnstamm (21,1 %), und zwar anprallbedingt vor allem als SAB.

Die generell recht hohe Mitbeteiligung dieser Region besonders in Form von Rupturen und Blutungen steht in engem Zusammenhang zur räumlichen Nähe mit der lateralen Aufpralllokalisierung. Die Verletzungsmechanismen waren daher überwiegend direkter Natur.

Frakturen der **HWS** waren mit **10,5 %** eher selten. Da sich in beiden Fällen keine weiteren Frakturen im Kopfbereich fanden, ist als Ursache die bei Aufprall herbeigeführte laterale Beugung des Kopfes mit Krafteinwirkung auf die HWS anzunehmen.

6.1.4 Bereich 4 (Anprall lateral rechts, n = 11)

Lediglich in einem Fall zeigten sich Verletzungen im Bereich von **Gesicht und Schädeldach**. Die **Lazerationen** betrafen den rechten Gesichts- sowie den Stirnbereich, die **Frakturen** lagen rechts medial (Anprallbereich) bis zum rechten Oberkiefer ziehend und die linke Orbita sowie die Nase betreffend, wobei die Orbitafraktur im Zusammenhang mit einer Schädelbasisfraktur zu sehen ist. **Hämatome** traten nur links posterior auf, wohl infolge eines Helmkontaktes.

Die **Schädelbasisfrakturen (36,4 %)** hatten ihren Schwerpunkt im medialen Bereich. Von der Anprallstelle rechts – lateral setzten sich die Frakturen bis nach basal links in den anterioren und posterioren Abschnitt fort.

Im Gegensatz zu der eher geringen Anteil knöcherner Verletzungen waren in fast allen Fällen **Großhirnläsionen (90,9 %)** zu verzeichnen. Obwohl **keine Rupturen** auftraten, waren dafür aber in **45,5 % der Fälle Kontusionen** vorhanden, doppelt so häufig basal (36,4 %) wie oben (18,2 %). Basal handelte es sich größtenteils um Coup-Kontusionen medial und posterior rechts, oben um anterior links gelegene Contre-Coup-Kontusionen. Die Häufigkeitsverteilung (basal > dorsal) und Entstehungsmechanismen sind gut vereinbar mit dem Frakturgeschehen.

Bei den stets vorhandenen **Blutungen (90,9 %)** allerdings überwiegt der obere (90,9 %) den basalen (63,6 %) Anteil. Das Verteilungsmuster ist in beiden Regionen nahezu identisch, der mediale Abschnitt übertrifft anterioren und posterioren, Blutungen rechts (SAB, intracerebrale Hämatome, basal auch frakturbedingte EDH) sind nur etwas häufiger als links (v.a. SDH, anterior auch Kontusions-SAB). Auch hier spielen „remote injuries“ in Form von Blutungen daher eine große Rolle.

Hirnstamm und **Cerebellum** waren in **36,4 %** der Fälle lädiert. Eher selten traten **Rupturen (18,2 %)** ausschließlich im Hirnstamm auf, **Kontusionen (9,1 %)** nur im Cerebellum. **Blutungen (36,4 %)** kamen im Cerebellum (36,4 %) immer vor, überwiegend kontusions- und akzelerationsbedingt, im Hirnstamm (18,2 %) dagegen vor allem aufgrund der Rupturen sowie des direkten Anpralls.

Die **HWS** war nur in einem Fall frakturiert, und zwar auf Höhe des ersten Halswirbelkörpers, wahrscheinlich durch aufprallbedingte laterale Beugung.

6.1.5 Bereich 5 (Anprall okzipital, n = 8)

Da für diesen Anprallbereich lediglich acht Fälle zur Verfügung standen, ist es schwierig, hieraus allgemeine Zusammenhänge abzuleiten. Dennoch wird versucht, zumindest ansatzweise die Verletzungsmechanismen für diesen Bereich darzustellen.

Verletzungen im Bereich des **Gesichtes** (in **25 %** der Fälle betroffen) beschränkten sich auf **Lazerationen (12,5 %)** an der Nase sowie auf **Hämatome (25 %)** in der Orbitaregion, beide wohl infolge Helmeinwirkung. **Frakturen** traten **nicht** auf. Der Anprall im Okzipitalbereich vermag dieses befriedigend zu erklären..

Die Weichteildeckung des **Schädeldaches** wies **keine Lacerationen** auf, dafür in **25 % Hämatome**. Diese befanden sich zu einem Drittel posterior als Folge eines Frakturgeschehens und breiteten sich als Kopfschwarteneinblutungen großflächig nach medial und zum Teil auch noch nach anterior aus. **Frakturen (62,5 %)** waren praktisch nur posterior im Aufprallbereich zu beobachten, dafür immerhin in fünf von acht Fällen.

Die **Schädelbasis** mit **37,5 %** von Frakturen in geringerem Ausmaß betroffen als die Kalotte. Zwar zeigte sich entsprechend der Anpralllokalisation auch hier die posteriore Region (53,5 %) als am stärksten tangiert, allerdings kam es auch zu einer beträchtlichen Mitbeteiligung der medialen Bezirke (46,5 %).

Sowohl zentral als auch basal traten keine Frakturen in der anterioren Region auf. Dies war umgekehrt bei den frontalen Aufprallsituationen in der posterioren Region stets der Fall..

Das **Großhirn** (in **75 %** verletzt) wies in je **25 %** der Fälle **Rupturen** und **Kontusionen** auf. Die Rupturen waren in einem Fall direkter Genese (basal posterior und medial), im anderen Fall indirekt (oben anterior) bedingt. Bei den beiden Fällen mit Kontusionen zeigte sich stets ein indirektes Verletzungsmuster (zentral anterior).

Dies bestätigt sich bei den **Blutungen (62,5 %)** vor allem zentral (62,5 %): Anterior (38 %) beobachtete man Contre-Coup-SAB sowie akzelerationsbedingte SDH, posterior in der Hauptsache frakturbedingte EDH. Basal (37,5 %) dominierte eher der Coup-Mechanismus (frakturbedingte EDH), zusätzlich fanden sich medial intracerebrale Hämatome.

Auffällig ist bei Blutungen wie bei Frakturen ein deutliches Übergewicht in den oberen Arealen, wobei hier bei den Großhirnverletzungen der Contre-Coup-Mechanismus die entscheidende Rolle spielt.

In der Hälfte der Fälle waren **Hirnstamm** und **Kleinhirn** beteiligt. **Rupturen** beobachtete man in einem Fall im Hirnstamm, im anderen Fall im Kleinhirn. **Kontusionen** (in **37,5 %** der Fälle) fanden sich zweimal im Hirnstamm und einmal im Kleinhirn. Aufgrund des okzipitalen Aufpralles und den in diesem Bereich vorhandenen posterioren Frakturen dürfte es sich hierbei jeweils um direkte Verletzungen gehandelt haben. Auch bei den **Blutungen** (in **50 %** der Fälle vorhanden), die zu je 37,5 % den Hirnstamm und das Kleinhirn betrafen, spiegelte sich dieser Mechanismus wieder. Es handelte sich hauptsächlich um SAB, die zum Teil kontusions- und rupturbedingt waren.

Erwartungsgemäß sind Verletzungen der **HWS** mit **37,5 %** relativ häufig. Die Frakturen konzentrierten sich auf die oberen Halswirbel und waren Ausdruck eines direkten Anpralls.

6.2 Vergleich Aufprallbereiche frontal (Bereiche 1 und 2)

In diesem Kapitel werden **Bereich 1 (kaudaler Frontalaufprall)** und **Bereich 2 (kranialer Frontalaufprall)** bezüglich Verletzungslokalisationen und –mechanismen miteinander verglichen. Es sollen Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausgearbeitet werden. Da die Fallzahlen ähnlich hoch sind (n = 35 bzw. 43), ist eine Vergleichbarkeit gut möglich.

Besonders fällt auf, dass in Bereich 1 das **Gesicht** doppelt so häufig betroffen ist wie in Bereich 2. Während Lazerationen und Hämatome ähnliche Dimensionen aufweisen, sind Frakturen in Bereich 1 dreimal häufiger als in Bereich 2 zu beobachten. Die geringere Stoßpolsterung im Gesichtsbereich des Integralhelmes sowie die hier notwendigerweise vorhandene Visieröffnung bieten naturgemäß geringeren Aufprallschutz. Eine Verbesserung des Aufprallschutzes erscheint hier gefordert.

Verletzungen der **Schädelkalotte** fanden sich dagegen in Bereich 2 deutlich häufiger, bedingt vor allem direkt durch die kranialere Aufprallregion. Dies betraf vor allem Lazerationen und Hämatome. Frakturen hingegen traten in beiden Bereichen mit annähernd gleicher Häufigkeit und Lokalisation (v.a. anterior) auf. Dies bedeutet, dass bei eher kaudalem Anprall die Krafteinwirkung nicht nur die näher gelegene Schädelbasis (s.u.), sondern zumindest auch die anteriore Schädelkalotte in nicht unerheblichem Ausmaß betreffen kann.

Auch bei Frakturen der **Schädelbasis** herrschte nahezu identisches Bild in beiden Bereichen vor. In jeweils zwei Drittel der Fälle und vor allem anterior und medial ließen sich die Frakturen nachweisen.

Das **Großhirn** stellte in beiden Bereichen die am häufigsten verletzte Struktur dar. Alle Verletzungsformen waren sowohl in 1 als auch in 2 etwa gleich oft vorhanden. Rupturen traten in Bereich 1 eher als Coup-, in Bereich 2 eher als Contre-Coup-Verletzungen auf, Kontusionen bei beiden mit mehr oder weniger hohen Coup- bzw. Contre-Coup-Anteilen.

Hinsichtlich der **Blutungen** konnte man allerdings einige Unterschiede erkennen: Im Bereich 1 war der dorsale Hirnanteil stärker betroffen als der basale, im Bereich 2 zeigte sich eine ausgeglichene Verteilung zwischen zentral und basal. Während in 1 **zentral** Coup- und Contre-Coup-Mechanismus gleichermaßen auftraten, dominierte in 2 der Coup-Mechanismus, hauptsächlich aufgrund der anstoß- und frakturbedingten Hämatome in dieser Region. **Basal** jedoch beobachtete man bei beiden v.a. posteriore Contre-Coup-Blutungen.

Somit weist Bereich 1 ein höhergradig indirektes Verletzungsmuster des Hirngewebes auf als Bereich 2.

Jeweils in ungefähr der Hälfte der Fälle waren **Hirnstamm** und **Cerebellum** mitbeteiligt. Auch hier konnte man grundsätzlich eine ähnliche Häufigkeit im Auftreten der Verletzungsarten feststellen. Kontusionen waren praktisch nicht existent, Rupturen eher gering ausgeprägt. Waren sie vorhanden, so betrafen sie eher den Hirnstamm als das Cerebellum. Blutungen traten in beiden Bereichen am häufigsten auf, im Cerebellum mehr als im Hirnstamm. Im Contre-Coup-Mechanismus als Verletzungshauptursache stimmten beide ebenso überein.

Damit lässt sich feststellen, dass beim Frontalanprall hinsichtlich posterior gelegenen Verletzungen im Hirnstamm und Kleinhirn ein recht einheitliches Muster vorliegt, unabhängig davon, ob der Anprallort kaudaler oder kranialer gelegen war.

HWS-Frakturen traten in Bereich 1 fast doppelt so häufig auf wie in Bereich 2. Dies lässt sich damit erklären, dass die Retroflexion des Kopfes bei kaudalerem Anprall stärker ausgeprägt sein kann, und dadurch größere Schäden in dieser Region verursacht.

6.3 Vergleich Aufprallbereiche lateral (Bereich 3 und 4)

Für Fälle mit Kopfanprall **lateral - links (Bereich 3)** und **lateral - rechts (Bereich 4)** sollten die Verletzungsmuster ähnlich sein, allerdings stellt hier die geringe Fallzahl und Fallzahldifferenz zwischen Bereich 3 (n = 19) und Bereich 4 (n = 11) ein Problem bezüglich der Repräsentativität dar.

Dies erkennt man bereits an den **Gesichtsverletzungen**. Während in Bereich 3 knapp die Hälfte der Fälle davon betroffen war, gab es in Bereich 4 lediglich einen Fall. Angesichts des lateralen Aufpralles waren geringere Häufigkeiten als in den Frontalbereichen zu erwarten. Die hohe zahlenmäßige Diskrepanz zwischen rechtem und linkem Anprallbereich ist schwer zu erklären. Generell ist im Bereich des Gesichtes kein einheitliches Verletzungsmuster zu beobachten und spiegelt eher Helmeinwirkung (Lacerationen) sowie in einigen wenigen Fällen fortgeleitete Schädelbasis- und Kalottenverletzungen (als Hämatome, Frakturen) wieder.

Das **Schädeldach** war in Bereich 3 vor allem in der Anprallregion in Form von Hämatomen und Frakturen betroffen, in Bereich 4 hingegen wiederum nur in einem Fall.

Schädelbasisfrakturen traten in Bereich 4 dafür in gut einem Drittel der Fälle auf (in Bereich 3 in knapp zwei Dritteln der Fälle, also beinahe doppelt so häufig). Auffällig ist, dass die Frakturlokalisationen in Bereich 4 weiter gestreut sind und daher auch die Gegenseite stärker betroffen ist als im Bereich 3, was für eine in diesen Fällen höhere Ausprägung des

Stoßwellenmechanismus spricht. Auffällig ist das nahezu völlige Fehlen von Kalottenverletzungen in Bereich 4.

Ein einheitlicheres Bild ergibt sich eher in Bezug auf Verletzungen des **Großhirnes**. Dieses war in beiden Bereichen zu ca. 90 % geschädigt, davon nahezu stets in Form von Blutungen. Zentrale Hämatome überwogen basale, der mediale Bereich war besonders stark betroffen, und zwischen linker und rechter Hemisphäre gab es bezüglich der Blutungshäufigkeiten kaum einen Unterschied. Lediglich bei den Blutungsarten dorsal, die in Bereich 3 frakturbedingt links im Gegensatz zu Bereich 4 vor allem als EDH auftraten, beobachtete man Abweichungen. Beide Bereiche wiesen gleichermaßen eine hohe Quote (ca. 50 %) an indirekten, entfernten („remote“) Verletzungen auf, was man vor allem in Bereich 3 auch anhand der Kontusionen erkennt. Rupturen spielten generell nur eine untergeordnete Rolle.

Anhand dieser Erkenntnisse lässt sich feststellen, dass Vorkommen und Ausprägung von Verletzungen des Großhirnes scheinbar nicht unbedingt in direktem kausalen Zusammenhang mit Häufigkeit und Schwere von Schädelfrakturen steht.

Bei Verletzungen des **Hirnstammes** und des **Cerebellum** war Bereich 3 wiederum fast doppelt so häufig betroffen. Kontusionen beobachtete man beiden zwar kaum, dafür waren Rupturen des Hirnstammes in Bereich 3 besonders ausgeprägt, in Bereich 4 vor allem Blutungen im Kleinhirn. Diese Verletzungen stellten sich meist als direkte Anprallfolge heraus, ein einheitliches gemeinsames Verletzungsbild lässt sich hieraus allerdings nicht ableiten.

Die **HWS**-Verletzungen zeigten eine ähnliche Häufigkeit (ca. 10 %), dafür aber zum Teil unterschiedliche Lokalisation. Aufgrund der geringen Anzahl war dies aber insgesamt schwierig zu beurteilen.

6.4 Verletzungsbeteiligung der Kopfregionen

Erwartungsgemäß war das **Gesicht** bei frontalem Aufprall am häufigsten betroffen, wobei es erhebliche Unterschiede zwischen Bereich 1 (kaudal) und 2 (kranial) gab, siehe Abschnitt 5.2. Bei den lateralen und okzipitalen Anprällen nahmen die Verletzungen nicht nur prozentual ab, sondern auch die Schwere, wenn man Frakturen als Maßstab hierfür nimmt.

Die **Schädelkalotte** zeigte sich bei oberem frontalem (2), links lateralem (3) und okzipitalem (5) Aufprall in je etwa zwei Dritteln der Fälle lädiert, besonders häufig in Form von Frakturen. Eigentlich hätte man dies auch für Bereich 4 erwarten können, die Problematik der geringen Fallzahl und des wohl ungewöhnlichen Verletzungsmusters wurde bereits dargelegt. Der kaudale Frontalbereich betraf aufgrund der Anpralllokalisation eher basale knöcherne Strukturen.

Auch die **Schädelbasis** war in drei Bereichen in je ca. zwei Dritteln der Fälle frakturiert, allerdings beim unteren (1) und oberen (2) Frontalbereich sowie links lateral (3). Okzipital fiel dieser Wert ebenso wie rechts lateral deutlich ab.

Das **Großhirn** stellte in sämtlichen Bereichen die am häufigsten verletzte Struktur dar. Der Anteil lag zwischen 75 % und 90,9 %. Maßgeblichen Einfluss hatten die verschiedenen Blutungen (62,5 % bis 90,9 %), Kontusionen und Rupturen traten dagegen in geringerer Häufigkeit und je nach Anprallbereich mehr oder weniger oft auf.

Hirnstamm und **Cerebellum** waren bei Anprallen links lateral mit 68,4 % betroffen, hier überwogen Rupturen die Blutungen. In den Bereichen 1,2 und 5 traten Verletzungen in dieser Region in etwa 50 % der Fälle auf, Hauptanteil bildeten hier die Blutungen. Lediglich in Bereich 4 kam es nur in gut einem Drittel der Fälle zu Läsionen.

Die **HWS** war in Bereich 5 (okzipitaler Anprall) am häufigsten lädiert, bedingt vor allem durch die direkte Anprallwucht. Es folgen kranialer und kaudaler Frontalbereich. Am wenigsten häufig betroffen war die HWS bei den lateralen Aufpralllokalisationen (Bereiche 3 und 4).

7 Zusammenfassung

Ursachen und Charakteristik von Kopfverletzungen bei tödlichen Motorradunfällen mit Helmträgern ist das Thema vorliegenden Arbeit. Untersucht wurden 116 tödlich verletzte Motorradbenutzer, deren Kopf beim Aufprall durch einen Helm geschützt war.

Das Untersuchungsmaterial umfasste 63 im Rahmen der COST 327 Studie [11] in den Jahren 1996 bis 1998 erhobene Fälle sowie 53 weitere Fälle aus dem Sektionsgut des Institutes für Rechtsmedizin der Universität München der Jahre 1999 bis 2002.

Zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen Kopfaufprallwinkel und daraus resultierenden Verletzungen und ihren Mechanismen wurde der Kopf in fünf definierte Anprallbereiche eingeteilt, frontal kaudal (1), frontal cranial (2), lateral links (3) und lateral rechts (4) sowie okzipital (5).

Für jeden dieser Anprallbereiche wurden die Verletzungslokalisationen und -häufigkeiten ausgewertet, wobei, um eine möglichst einheitliche Erfassung zu erzielen, für die diversen Strukturen des Kopfes verschiedene Schemata entwickelt wurden. Mit deren Hilfe konnten eine anschauliche Darstellung und transparente Vergleiche von Aufprallkonstellationen und Verletzungslokalisationen erreicht werden.

Für die frontalen Aufprallbereiche waren höhere Fallzahlen verfügbar, womit dann die Aussagekraft der gefundenen Zusammenhänge eine solide Basis hat. Wegen der relativ geringen Fallzahlen für die Bereiche 3, 4 und 5 (lateral und occipital) mögen den diesbezüglichen Ergebnissen gewisse Unsicherheiten anhaften, jedoch können sie zumindest als Tendenzen angesehen werden.

Auffallend war generell der stets hohe Anteil an Verletzungen des Großhirns, insbesondere in Form von Blutungen, egal welcher Anprallbereich untersucht wurde. Wie es schien, stand dies nicht unbedingt in unmittelbarem Zusammenhang mit gleichzeitig auftretenden Frakturen des Schädels. Diese knöchernen Läsionen verursachten vor allem basal häufig große Verletzungsregionen, offenbar hervorgerufen durch Stoßwellenfortleitung.

Kleinhirn und Hirnstamm waren unabhängig von der Aufpralllokalisation in etwa gleichermaßen betroffen, auch hier dominierten Einblutungen.

Zusammenfassend lässt dies den Schluss zu, dass sowohl die direkten als auch die indirekten Verletzungsmechanismen bezüglich der Verletzungsausprägung eine erhebliche Rolle spielten. Die durchgeführte Analyse erbrachte wertvolle Erkenntnisse über die Art und Lokalisation von spezifischen Verletzungen des Kopfes und der Halswirbelsäule in Abhängigkeit von der

Aufprallcharakteristik des behelmteten Kopfes. Da Schädelfrakturen vornehmlich anprallnahe auftreten, erscheint es notwendig, die direkte Krafteinwirkung über den Helm herabzusetzen um zumindest diese Art von Verletzungen zu verhindern. Verbesserte Helmkonstruktionen, einschließlich effektiverer stoßabsorbierender Materialien können zu einer Lösung verhelfen. Das Reduzieren sowohl von direkter Kraftübertragung auf den Kopf als auch von indirekter Akzelerationsbelastung des Gehirns muss auf alle Fälle Hauptziel jeder Helmentwicklung bleiben.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesanstalt für Straßenwesen, Unfalldaten national aus:
<http://www.bast.de/htdocs/fachthemen/unfalldat/getoetet.htm>
- [2] Sobotta, J.: Atlas der Anatomie des Menschen. Herausgeber: Staubesand, Jochen. 19. Auflage - München ; Wien ; Baltimore : Urban und Schwarzenberg Verlag; 1988
- [3] Moll, K. J. ; Moll, M.: Anatomie – Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog 1. 15., erw. und überarb. Aufl. – Lübeck ; Stuttgart ; Jena ; Ulm : Gustav Fischer Verlag, 1997
- [4] Kessel K. ; Guttman L. ; Maurer G.: Neuro-Traumatologie mit Einschluss der Grenzgebiete, Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien, 1969.
- [5] Gennarelli TA: The State of Art of Head Biomechanics. 29th Proceedings American Association of Automotive Medicine, 447 – 463, 1985.
- [6] Jessel, P, Rüter G.: Analyse des Entwicklungsstandes des passiven Unfallschutzes für motorisierte Zweiradfahrer. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Band 20 (1976).
- [7] Hight PV, Siegel, AW, Nahum AW: Injury Mechanisms and Motorcycle Design. Conference Proceedings IRCOBI, 65 – 75, 1976.
- [8] Langwieder H.: Collision Characteristics and Injuries to Motor Cyclists and Moped Drivers. Conference Proceedings 21st Stapp .Car Crash Conference, 1977.
- [9] Beier G, Schuller E, Spann W: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer. Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Band 3, 1985.
- [10] Otte D, Willeke H, Chinn BP, Doyle D, and Schuller E: Impact Mechanisms of Helmet Protected Heads in Motorcycle Accidents – Accidental Study of COST 327. Proceedings 2nd International Motorcycle Conference 1998.
- [11] Chinn BP, Canaple B, Derler S, Doyle D, Otte D, Schuller E, and Willinger R: COST 327 Motorcycle Helmet, Final Report of the Action, 2001.
- [12] BP Chinn, D Doyle, D Otte, and E Schuller: Motorcyclists Head Injuries: Mechanisms Identified from Accident Reconstruction and Helmet Damage Replication. International IRCOBI Conference Proceedings, 1999.

- [13] R Willinger, D Baumgartner BP Chinn, and E Schuller: New Dummy Head Prototype: Development, Validation and Injury Criteria. Proceedings of International Crashworthiness Conference – ICRASH 2000.
- [14] E Schuller, BP Chinn, D Doyle, S Mäkitupa, D Otte, and R Willinger: Prediction of Head and Neck Injury Severity and Tolerance for Helmeted Motorcycle Riders Involved in Traffic Accidents. Proceedings of the International Crashworthiness Conference – ICRASH 2002.

JOHANNES WEISSMAHR

Persönliche Angaben

- Anschrift: Oppenheimer Str. 10, 65428 Rüsselsheim
- Geburtsdatum: 02.07.1977
- Geburtsort: Erding/Obb.
- Eltern: Dr. Alexander Weissmahr, Facharzt für HNO-Heilkunde
Ingrid Weissmahr, Krankenschwester
- Geschwister: Kathrin Weissmahr, Arzthelferin
- Familienstand: ledig

Schulische Ausbildung

1983 - 1987 Grundschule Altenerding-Süd
1987 - 1996 Gymnasium Erding

Bundeswehr

09/1996 – 06/1997 Grundwehrdienst in der Sanitätsakademie
der Bundeswehr in München

Studium

1997 – 2004 Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-
Universität, München.

Berufliche Tätigkeit

Seit 11.07.2005 Assistenzarzt in der HNO-Abteilung des Gesundheits-
und Pflegezentrums Rüsselsheim (GPR).

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für Rechtsmedizin der Universität München angefertigt.

Ich danke dem Vorstand des Instituts Prof. Dr. med. W. Eisenmenger für die Aufnahme am Institut und die Überlassung dieser Arbeit.

Mein besonderer Dank gilt Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. E. Schuller für die immer freundliche und geduldige Betreuung sowie für die ausgezeichnete Unterstützung dieser Arbeit.

Aus meinem privaten Umfeld möchte ich folgenden Personen meinen herzlichen Dank aussprechen: Hans-Werner Oehl und Stefan Aulehner für ihre fachkundige EDV-Unterstützung sowie meinen Eltern und meinen Grosseltern Dr. Rudolf und Gertrud Weissmahr im Allgemeinen.