

Diplomarbeit

**Das schwere Schädel-Hirn-Trauma beim Bergsport  
in der Steiermark. Verletzungsmuster, Behandlung  
und Ergebnis.**

**Eine retrospektive Studie**

eingereicht von

**Andreas Erlbacher**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt am

**Universitätsklinikum für Neurochirurgie**

unter der Anleitung von

Ao.Univ.-Prof. Dr.med. Frank Unger

Dr<sup>in</sup>.med.univ. Melanie Pichlsberger

Graz, 12.12.2025

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, am 12.12.2025

Andreas Erlbacher eh.

## Danksagungen

In erster Linie möchte ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie, insbesondere bei meinen Eltern, für die Unterstützung meiner akademischen Reise bedanken. Der Glaube an mich hat mir immer wieder die nötige Motivation gegeben, diese Reise fortzusetzen.

Ein besonderer Dank richtet sich an meine Betreuer\*innen dieser Diplomarbeit, Herrn Ao.Univ.-Prof. Dr.med. Frank Unger und Frau Dr<sup>in</sup>. Melanie Pichlsberger, die zu jedem Zeitpunkt ein offenes Ohr für komplexe Fragestellungen hatten und mich mit ihrer fachlichen Erfahrung tatkräftig unterstützten.

Ebenso bedanke ich mich bei Frau Sen.Scientist Dr<sup>in</sup>.rer.nat. Gerit Wünsch, Frau Simone Findling, BSc. und Frau Arijana Mujanovic vom Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation der Medizinischen Universität Graz für die Selektion und Bereitstellung der klinischen Daten der KAGes.

Die Bereitstellung der Daten durch Frau Susanna Mitterer vom Österreichischen Kuratorium für Alpine Sicherheit (ÖKAS) konnte einen wesentlichen Beitrag zum Ergebnis dieser Arbeit leisten und eine umfassende epidemiologische Darstellung zu diesem Thema ermöglichen. Hierfür möchte ich recht herzlich bedanken.

Ein großer Dank geht schließlich an meine Freunde und Wegbegleiter, ohne die das Studium nur halb so schön gewesen wäre. Die vielen aufregenden und lustigen Momente machten die letzten Jahre zu einer unvergesslichen und abwechslungsreichen Zeit. Ich hoffe, dass diese Freundschaften auch noch über das Studium hinaus bestehen bleiben.

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Die Steiermark bietet mit ihrer vielfältigen Landschaft und den unterschiedlichen Höhenlagen optimale Bedingungen für nahezu sämtliche Formen des Bergsports. Naturgemäß sind die Sportler\*innen damit auch einem gewissen Verletzungsrisiko ausgesetzt. Das Schädel-Hirn-Trauma stellt in diesem Zusammenhang ein potentiell lebensbedrohliches und dauerhaft einschränkendes Verletzungsmuster dar. Anhand dieser Arbeit werden die epidemiologischen Aspekte dargestellt und die verschiedenen Bergsportarten sowie deren Unfallursachen miteinander verglichen. Ein zentraler Schwerpunkt liegt in der Analyse der typischen Verletzungsmuster, ihrer neurochirurgischen Versorgung und ihrer daraus resultierenden Folgen.

**Methoden:** Es handelt sich um eine retrospektive, deskriptive Studie basierend auf Daten des Österreichischen Kuratoriums für Alpine Sicherheit (ÖKAS) und der steiermärkischen Krankenanstaltengesellschaft (KAGes) aus den Jahren 2008 bis 2024. Es konnten 1.192 Fälle (ÖKAS) und 20 Fälle (KAGes) nach dem Ausschlussverfahren in die Studie eingeschlossen werden.

**Ergebnisse:** Die epidemiologische Auswertung ergab ein Durchschnittsalter von 47 Jahren, wobei 62% männlich und 37,8% weiblich waren. Der Großteil der betroffenen Fälle stammte aus Österreich (67,7%), gefolgt von Deutschland (12,8%), Ungarn (5,6%) und der Tschechischen Republik (4%). Die am häufigsten betriebenen Sportarten waren Schifahren (54,6%), Wandern/Bergsteigen (19,4%), Klettern (5,6%), Snowboarden (4,1%) und Mountainbiking (4%). Kollisionen (54,4%), Stürze (27,7%), Aufprall gegen Hindernisse (4,4 %) und Abstürze (4,3%) stellten die führenden Unfallursachen dar. In 24,3 % der Fälle lag eine schwere Verletzung vor, wohingegen 7,6% der Unfälle tödlich endeten. Von insgesamt 20 klinischen Fällen erlitten 16 Patient\*innen (80%) Schädelfrakturen und 18 (90%) intrakranielle Blutungen. In allen Fällen erfolgte die Implantation einer ICP-Sonde, in 8 Fällen (40%) die Anlage einer externen Ventrikeldrainage und in 6 Fällen (30%) wurden intrakranielle Hämatome entleert. Bei 8 Patient\*innen (40%) wurden rekonstruktive Eingriffe durchgeführt. Die durchschnittliche Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation lag bei 20 Tagen. Das mediane Outcome nach der Glasgow Outcome Scale (GOS) lag bei einem Wert von 3.

**Schlussfolgerung:** Das Schädel-Hirn-Trauma stellt trotz moderner Sicherheitsausrüstungen eine relevante medizinische Gefahr bei Bergsportunfällen dar. Im Untersuchungszeitraum ist kein klarer Trend hinsichtlich der Häufigkeit von Kopfverletzungen zu beobachten. Während das Schifahren zwar den größten Anteil der Unfälle ausmacht, zeigen sich schwerwiegende oder tödliche Schädelverletzungen vor allem beim Schitourengehen, Variantenfahren, Klettern, Wandern, Mountainbiking und Rodeln. Gleichzeitig kann das Risiko tödlicher Kopfverletzungen durch die Verwendung eines Helms reduziert werden. Die vorliegende Arbeit liefert einen umfassenden Überblick über diese Thematik, der am Universitätsklinikum Graz in dieser Form bisher nicht wissenschaftlich dargelegt wurde.

## Abstract

**Background:** With its diverse landscape and varying altitudes, Styria offers ideal conditions for almost all forms of mountain sports. However, this also exposes individuals to a certain risk of injury. In this context, traumatic brain injury is a potentially life-threatening type of injury that can cause permanent disability in severe cases. This study presents the epidemiological aspects and compares the various mountain sports and their causes of accidents. A central focus is on the analysis of typical injury patterns, their neurosurgical treatment and the resulting consequences.

**Methods:** This is a retrospective, descriptive study based on data from the Austrian Board of Trustees for Alpine Safety (ÖKAS) and the Styrian Hospital Association (KAGes) from 2008 to 2024. After the exclusion process, 1,192 cases (ÖKAS) and 20 cases (KAGes) could be included in the study.

**Results:** The epidemiological analysis revealed an average age of 47 years, with 62% male and 37.8% female. The majority of those affected came from Austria (67.7%), followed by Germany (12.8%), Hungary (5.6%), and the Czech Republic (4%). The most common sports were skiing (54.6%), hiking/mountaineering (19.4%), climbing (5.6%), snowboarding (4.1%), and mountain biking (4%). The leading causes of accidents were collisions (54.4%), falls (27.7%), impacts with obstacles (4.4%), and falls from height (4.3%). Serious injury occurred in 24.3% of cases, while 7.6% of accidents were fatal. Of a total of 20 clinical cases, 16 (80%) suffered skull fractures, and 18 cases (90%) suffered intracranial hemorrhages. An ICP probe was implanted in all cases. In 8 cases (40%) external ventricular drainage was performed, and in 6 cases (30%) intracranial hematomas were drained. Reconstructive surgery was performed on 8 patients (40%). The average length of stay in the intensive care unit was 20 days. The median outcome according to the Glasgow Outcome Scale (GOS) was 3.

**Conclusion:** Despite modern safety equipment, traumatic brain injury remains a significant medical risk in mountain sports accidents. No clear trend in the frequency of head injuries can be observed during the study period. While skiing accounts for the largest proportion of accidents, serious or fatal head injuries occur primarily during ski touring, off-piste skiing, climbing, hiking, mountain biking, and sledding. At the same time, the risk of fatal head injuries can be reduced by

wearing a helmet. This study provides a comprehensive overview of this topic, which has not yet been presented in this form in a scientific context.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung .....	1
Abbildungsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis .....	4
1 Einleitung.....	5
1.1 Definition und Pathophysiologie des Schädel-Hirn-Traumas.....	5
1.2 Epidemiologie.....	8
1.3 Klassifikation .....	8
1.4 Verletzungsmuster.....	11
1.5 Klinische Manifestation.....	16
1.6 Diagnostisches Vorgehen in der Akutphase.....	18
1.7 Management beim schweren Schädel-Hirn-Trauma .....	19
1.8 Glasgow Outcome Scale (GOS).....	29
2 Material und Methoden.....	30
2.1 Studiendesign.....	30
2.2 Ethikkommission.....	30
2.3 Verwendete Datensätze .....	30
2.4 Österreichisches Kuratorium für Alpine Sicherheit (ÖKAS).....	31
2.5 Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft (KAGes) .....	32
3 Ergebnisse mit graphischen Darstellungen .....	35
3.1 Epidemiologie in der Steiermark.....	35
3.1.1 Fallzahlen und deren jährliche Verteilung .....	35
3.1.2 Demographische Merkmale.....	37
3.1.3 Bergsportarten.....	39
3.1.4 Unfallursachen und der Bezug zum Bergsport.....	40
3.1.5 Schweregrad der Verletzung.....	43
3.1.6 Transportart.....	46
3.1.7 Verwendung eines Helms .....	47
3.2 Klinische Statistik.....	49
3.2.1 Häufigkeiten des schweren Schädel-Hirn-Trauma .....	49
3.2.2 Demographische Merkmale.....	50
3.2.3 Art des Bergsports und deren Unfallmechanismen .....	51
3.2.4 Verwendung eines Helms .....	53

3.2.5	Transportart.....	53
3.2.6	Aufenthaltsdauer an der Intensivstation .....	54
3.2.7	Verletzungsmuster .....	55
3.2.8	Primäre operative Eingriffe und Rekonstruktion .....	57
3.2.9	Outcome.....	59
4	Diskussion .....	61
4.1	Epidemiologische Ergebnisse .....	61
4.2	Klinische Ergebnisse .....	67
4.3	Limitationen .....	70
4.4	Ausblick und Anregungen für weiterführende Arbeiten.....	71
5	Literaturverzeichnis.....	72

## **Abkürzungen und deren Erklärung**

<b>SHT</b>	Schädel-Hirn-Trauma
<b>ÖKAS</b>	Österreichisches Kuratorium für Alpine Sicherheit
<b>KAGes</b>	Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft
<b>NMDA</b>	N-Methyl-D-Aspartat
<b>CSD</b>	Cortical-Spreading-Depression
<b>EEG</b>	Elektroenzephalografie
<b>IL</b>	Interleukin
<b>TNF<math>\alpha</math></b>	Tumornekrosefaktor-alpha
<b>ZNS</b>	Zentralnervensystem
<b>ICP</b>	Intrakranieller Druck
<b>CPP</b>	Zerebraler Perfusionsdruck
<b>MAP</b>	Mittlerer Arterieller Druck
<b>MTB</b>	Mountainbike
<b>GCS</b>	Glasgow Coma Scale
<b>CT</b>	Computertomografie
<b>MRT</b>	Magnetresonanztomografie
<b>HWS</b>	Halswirbelsäule
<b>SpO<sub>2</sub></b>	Periphere Sauerstoffsättigung
<b>mmHg</b>	Millimeter Quecksilbersäule
<b>etCO<sub>2</sub></b>	Endtidales Kohlenstoffdioxid
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	Arterieller Kohlendioxidpartialdruck
<b>TXA</b>	Tranexamsäure
<b>EVD</b>	Externe Ventrikeldrainage
<b>PRx</b>	Pressure Reactivity Index
<b>ONSD</b>	Optic Nerve Sheath Diameter
<b>BTF</b>	Brain Trauma Foundation
<b>NMH</b>	Niedermolekulares Heparin
<b>UFH</b>	Unfraktioniertes Heparin
<b>OP</b>	Operation
<b>LKH</b>	Landeskrankenhaus
<b>OPS</b>	Operationen- und Prozedurenschlüssel

<b>ICD</b>	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
<b>RTH</b>	Rettungshubschrauber
<b>EDH</b>	Epiduralhämatom
<b>SDH</b>	Subduralhämatom
<b>ICB</b>	Intrazerebrale Blutung
<b>IVB</b>	Intraventrikuläre Blutung
<b>tSAB</b>	Traumatische Subarachnoidalblutung
<b>GOS</b>	Glasgow Outcome Scale

## **Abbildungsverzeichnis**

<i>Abbildung 1: Fallzahlen pro Jahr - ÖKAS (erstellt mit Microsoft Excel)</i> .....	36
<i>Abbildung 2: Altersverteilung - ÖKAS (erstellt mit IBM SPSS Statistics)</i> .....	37
<i>Abbildung 3: Altersverteilung - KAGes (erstellt mit IBM SPSS Statistics)</i> .....	51
<i>Abbildung 4: Bergsportarten - KAGes (erstellt mit IBM SPSS Statistics)</i> .....	51
<i>Abbildung 5: Transportart - KAGes (erstellt mit IBM SPSS Statistics)</i> .....	54
<i>Abbildung 6: Liegedauer auf Intensivstation (erstellt mit IBM SPSS Statistics)</i> ....	55
<i>Abbildung 7: Frakturtypen (erstellt mit openAI ChatGPT 5.0)</i> .....	56
<i>Abbildung 8: Intrakranielle Blutungsformen (erstellt mit openAI ChatGPT 5.0)</i> .....	57
<i>Abbildung 9: Operative Eingriffe (erstellt mit Microsoft Excel)</i> .....	58
<i>Abbildung 10: Rekonstruktive Eingriffe (erstellt mit Microsoft Excel)</i> .....	59
<i>Abbildung 11: Glasgow Outcome Scale (erstellt mit IBM SPSS Statistics)</i> .....	60

## **Tabellenverzeichnis**

<i>Tabelle 1: Fallzahlen pro Jahr - ÖKAS</i> .....	36
<i>Tabelle 2: Nationalitäten - ÖKAS</i> .....	38
<i>Tabelle 3: Bergsportarten - ÖKAS</i> .....	40
<i>Tabelle 4: Unfallursachen - ÖKAS</i> .....	41
<i>Tabelle 5: Bergsportarten und deren Unfallursachen - ÖKAS</i> .....	43
<i>Tabelle 6: Verletzungsgrade - ÖKAS</i> .....	44
<i>Tabelle 7: Schwere und tödliche Verletzungen nach Bergsportart - ÖKAS</i> .....	45
<i>Tabelle 8: Betätigung beim Wanderunfall - ÖKAS</i> .....	46
<i>Tabelle 9: Transportart - ÖKAS</i> .....	46
<i>Tabelle 10: Transportart bei Schwerverletzten - ÖKAS</i> .....	47
<i>Tabelle 11: Verwendung eines Helms - ÖKAS</i> .....	47
<i>Tabelle 12: Vergleich zwischen Verletzungsgrad und Helmgebrauch - ÖKAS</i> .....	48
<i>Tabelle 13: Fallzahlen pro Jahr - KAGes</i> .....	50
<i>Tabelle 14: Unfallursachen - KAGes</i> .....	52
<i>Tabelle 15: Bergsportarten und deren Unfallursachen - KAGes</i> .....	53

# 1 Einleitung

„Wenn man die Berge liebt, akzeptiert man auch, dass sie die Bedingungen stellen“, sagte der französische Bergsteiger Jean-Christophe Lafaille (1). Dieses Zitat verdeutlicht nicht nur die Faszination der Berge, sondern zugleich die Gefahren und Risiken, die mit deren Schönheit verbunden sind.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit der epidemiologischen Analyse, den typischen Verletzungsmustern und ihrer chirurgischen Versorgung sowie dem klinischen Outcome von Schädel-Hirn-Traumata infolge von Bergsportunfällen in der Steiermark. Im ersten Abschnitt dieser Arbeit werden die theoretischen Grundlagen vermittelt und Einblicke in die aktuellen Behandlungsmethoden des schweren Schädel-Hirn-Traumas gegeben. Im Anschluss werden die verwendeten Datensätze gemäß den Einschlusskriterien sowie die angewandten statistischen Methoden vorgestellt. Daraufhin erfolgt die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse sowie der Vergleich mit aktuellen Studien.

## 1.1 Definition und Pathophysiologie des Schädel-Hirn-Traumas

Unter einem Schädel-Hirn-Trauma versteht man eine Verletzung und/oder Funktionseinschränkung des Gehirns durch eine äußerliche Gewalteinwirkung. Dabei können sowohl der knöcherne Schädel, Gefäße, Nerven, Hirnhäute als auch äußerliche Weichteilstrukturen betroffen sein (2).

Grundsätzlich wird zwischen einem offenen und geschlossenen Schädel-Hirn-Trauma unterschieden. Bei der offenen Form besteht durch eine Läsion der Dura, des Knochens und der äußeren Weichteile eine direkte Verbindung zwischen dem Schädelinneren und der Außenwelt (2).

Im pathophysiologischen Kontext wird zwischen einer primären und sekundären Hirnschädigung unterschieden. Die primäre, therapeutisch nicht beeinflussbare Läsion ist die direkte Folge des Traumas und führt zu irreversiblen Schäden am Hirngewebe (2). In diesem Fall erfolgt die Schädigung durch eine direkte oder

indirekte Krafteinwirkung. Beim indirekten Trauma sind vor allem Translations- und Rotationsbewegungen beteiligt. Aufgrund der lockeren Verankerung des Gehirns im Schädelinneren können diese sowohl zu fokalen Prozessen wie kortikalen oder subkortikalen Kontusionen und intrakraniellen Blutungen als auch zu diffusen Axon- und Gefäßläsionen führen. Die diffuse axonale Hirnschädigung äußert sich klinisch in unterschiedlich ausgeprägten Bewusstseinsstörungen bis hin zum Koma. Sie ist eine wesentliche Ursache für bleibende neurologische Beeinträchtigungen bei Schädel-Hirn-Verletzten. Eine direkte Krafteinwirkung auf den Schädel führt dagegen zu fokalen Verletzungen. Diese können von einfachen Riss-Quetsch-Wunden über Frakturen bis hin zu offenen Verletzungen reichen (3). Auf die typischen Verletzungsmuster des primären Hirnschadens wird in einem späteren Kapitel dieser Arbeit genauer eingegangen.

Aus der primären Hirnschädigung resultiert eine Kaskade weiterer pathophysiologischer Prozesse, die schließlich zu den sekundären Läsionen des zentralen Nervensystems führen. Diese stellen den wichtigsten therapeutischen Angriffspunkt beim Schädel-Hirn-Trauma dar. Bei ihrer Entstehung kommt es zum Zusammenspiel mehrerer Faktoren (4). Dazu zählen lokale Durchblutungsstörungen, Entzündungsreaktionen, Mikrothrombosen und eine Übererregung des Gehirns durch freigesetzte Neurotransmitter. Bereits in der Frühphase nach dem Trauma kommt es in der unmittelbaren Umgebung der Läsion zu Durchblutungsstörungen, einem sauren Milieu und einer gesteigerten Neurotransmitterfreisetzung. Dies führt zur Minderversorgung der Zellen und letztlich zur Entstehung eines Hirnödems. Ein weiterer bedeutender Faktor ist die Bildung von Mikrothrombosen. Ausgelöst werden solche Gerinnsel durch Mikropartikel, die aus Zellmembranen stammen und prokoagulatorisch wirksam sind. Eine exzessive Freisetzung des Neurotransmitters Glutamat über NMDA-Rezeptoren führt außerdem zu einem intrazellulären Kalziumüberschuss, was in weiterer Folge über eine Störung der Atmungskette zum Zelltod führt. Ein weiteres Phänomen ist die sogenannte Cortical Spreading Depression (CSD). Dabei handelt es sich um eine massive Depolarisationswelle, welche um die Läsion kreist und im EEG charakteristisch dargestellt werden kann. In der Folge kommt es zu einem massiven Energieverbrauch, ohne dass die lokale Durchblutung

ausreichend steigt, wodurch sich die lokale Ischämie verschärft. Einen weiteren wesentlichen Faktor des sekundären Hirnschadens stellt die ausgeprägte Neuroinflammation dar. Es kommt zur vermehrten Freisetzung proinflammatorischer Zytokine (IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF $\alpha$ ), Chemokine, Prostaglandine und Sauerstoffradikale. Diese Mediatoren führen unter anderem zu einer gestörten Gefäßpermeabilität und somit zu einer funktionellen Störung der Blut-Hirn-Schranke. In der Folge gelangen Plasmaproteine und Immunzellen ins ZNS, wodurch das empfindliche Gleichgewicht des zentralen Milieus gestört wird. Diese entzündlichen Prozesse stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit Langzeitschäden und neuropsychologischen Störungen, zu denen beispielsweise eine erhöhte Suizidrate gehört (5).

Sekundäre Hirnschäden entstehen jedoch nicht nur durch die oben genannten zentralen Mechanismen, sondern werden auch durch extrazerebrale Einflüsse wie Hypotonie, Hypoxie, Anämie und systemische Entzündungsreaktionen begünstigt. Die verschiedenen Ursachen der sekundären Schädigung können sich gegenseitig verstärken und einen Teufelskreis in Gang setzen, der über eine intrakranielle Druckerhöhung in einer zerebralen Ischämie endet. Gemäß der Monroe-Kellie-Doktrin setzt sich das intrakranielle Gesamtvolumen aus Hirngewebe, Liquor und Blut zusammen. Da der Schädel ein starrer Raum ist, muss eine Volumenzunahme in einem dieser Kompartimente durch eine entsprechende Volumenreduktion in einem anderen kompensiert werden, um den intrakraniellen Druck (ICP) konstant zu halten. Sind diese Kompensationsmechanismen erschöpft, steigt der ICP an. Zwischen dem ICP, dem zerebralen Perfusionsdruck (CPP) und dem mittleren arteriellen Druck (MAP) besteht ein enger Zusammenhang, der durch folgende Gleichung beschrieben werden kann:

$$\text{CPP} = \text{MAP} - \text{ICP}$$

Infolge eines Schädel-Hirn-Traumas kann die Ausbreitung eines posttraumatischen Hirnödems oder einer intrakraniellen Blutung zu einem deutlichen Anstieg des ICP führen. In der Folge sinkt die zerebrale Perfusion, was

eine ischämische Schädigung des Gehirns begünstigt. Umgekehrt kann eine bestehende Hypotonie – beispielsweise im Rahmen einer Kreislaufinstabilität – die Perfusion zusätzlich beeinträchtigen und bei gleichzeitig erhöhtem ICP das Risiko für eine zerebrale Ischämie weiter verstärken (4).

## **1.2 Epidemiologie**

Das Schädel-Hirn-Trauma ist eine der häufigsten Todesursachen bei Menschen unter 45 Jahren (6). Weltweit sind jährlich rund 55 Millionen Menschen davon betroffen und es zählt zu den häufigsten Ursachen unfallbedingter Todesfälle und dauerhafter Behinderungen (7).

Rickels et al. stellten in einer prospektiven Studie in Deutschland eine Inzidenz von 332 pro 100.000 Einwohner pro Jahr fest. Rund 91% davon waren als leichtes, circa 4% als mittelschweres und der Rest als schweres Schädel-Hirn-Trauma einzustufen. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung waren 58,4% der Betroffenen Männer und 41,6% Frauen. Das entspricht einem Verhältnis von etwa 1,4:1 zugunsten der Männer. Die häufigsten Ursachen waren Stürze, gefolgt von Verkehrsunfällen. Die Letalität wird für dieses Patientenkollektiv mit 1% angegeben (8).

In Österreich liegt die Inzidenz von Schädel-Hirn-Traumata bei 303/100.000 pro Jahr und die Letalität bei 3,6%. Diese Zahlen sind im Wesentlichen mit denen aus anderen europäischen Ländern vergleichbar (9).

## **1.3 Klassifikation**

Die Einteilung des Schädel-Hirn-Traumas erfolgt anhand des Schweregrads, der mithilfe des Glasgow Coma Scale (GCS) ermittelt wird. Dabei handelt es sich um ein klinisches Beurteilungselement zur Einschätzung des Bewusstseinszustands von Patient\*innen, das in den 1970er-Jahren von den Neurochirurgen Graham Teasdale und Bryan Jennett in Glasgow entwickelt wurde. Ursprünglich wurde der Score für Patient\*innen mit Schädelverletzungen entworfen. Heute findet er jedoch Anwendung in den unterschiedlichsten Bereichen der modernen Medizin, vor allem aber bei Traumapatient\*innen, in der Notfallmedizin und auf der Intensivstation. Im Rahmen einer Beurteilung werden drei Reaktionsparameter erfasst. Insgesamt können maximal 15 und minimal 3 Punkte vergeben werden. Anhand der Punktezahl wird der Schweregrad des Schädel-Hirn-Traumas erfasst,

wobei 13-15 Punkte als leichtes, 9-12 Punkte als mittelschweres und 3-8 Punkte als schweres SHT zu werten sind. Die Beurteilung erfolgt anhand von drei Parametern: dem Öffnen der Augen, der motorischen Fähigkeiten und der verbalen Kommunikation. Diese werden separat bewertet und im Anschluss addiert (10).

Bei der Überprüfung der Augenreaktion können 1 bis 4 Punkte vergeben werden. Diese Reaktion spiegelt gleichzeitig die Funktionsfähigkeit des Hirnstamms wider. Die maximale Punkteanzahl von 4 Punkten bedeutet, dass ein spontanes Öffnen der Augen ohne äußerliche Reize möglich ist und stellt somit die beste Reaktion dar. Dabei ist jedoch zu erwähnen, dass das spontane Öffnen der Augen auch bei schwerer Bewusstseinsstörung möglich ist und lediglich ein Zeichen eines primitiven Reflexes darstellen kann. 3 Punkte werden vergeben, wenn die Person auf Ansprache die Augen öffnet. Dabei ist es nicht zwingend notwendig, die Person mit den Worten „Öffnen Sie die Augen“ dazu aufzufordern. Jeglicher verbale Stimulus kann als Aufforderung gelten. Das Öffnen der Augen durch einen schmerzhaften äußerlichen Reiz, wie beispielsweise das Kneifen eines Muskels an einer Extremität, wird mit 2 Punkten bewertet. Erfolgt keine Reaktion auf äußerliche Reize, wird diese Kategorie mit einem Punkt bewertet (11).

Die verbale Fähigkeit kann mit 1 bis 5 Punkten bewertet werden. Dabei wird die Person hinsichtlich ihrer örtlichen, zeitlichen und situativen Orientierung befragt. Wenn die Fragen richtig beantwortet werden, erhält diese Kategorie die volle Punkteanzahl (5 Punkte). Sind die Patient\*innen nicht vollständig orientiert, können aber sinnvolle Wörter und verständliche Sätze bilden, werden für die verbale Reaktion 4 Punkte vergeben. Sind die einzelnen Wörter einer Person zwar verständlich, aber völlig aus dem Kontext gerissen und unzusammenhängend, so werden insgesamt 3 Punkte vergeben. Geben die Patient\*innen nur unverständliche Laute wie Ächz- oder Stöhngeräusche von sich, wird diese Kategorie mit 2 Punkten bewertet. Die minimale Punktezahl wird bei fehlender verbaler Reaktion vergeben. Die kommunikativen Fähigkeiten können wiederum von einigen Faktoren beeinflusst werden. So kann das Vorhandensein eines Endotrachealtubus oder eines Tracheostomas etwa die Ausdrucksweise einschränken und zu einer falsch niedrigen Punktevergabe führen. Ein weiteres

Beispiel sind neurologische Langzeitfolgen wie eine Sprachstörung infolge eines bereits erlittenen Schlaganfalls. Diese Einflussfaktoren sollten bei der Bewertung der verbalen Reaktion berücksichtigt werden (11).

Die Beurteilung der motorischen Fähigkeiten erfolgt anhand eines sechsstufigen Punktesystems (1-6 Punkte). Die volle Punktezahl wird an Personen vergeben, die nach Aufforderung gezielte Bewegungen ausführen können. Ein Beispiel für einen solchen Befehl ist: „Zeigen Sie mir zwei Finger“. Sollte dies nicht möglich sein, so wird zum nächsten Punkt übergegangen. Dabei wird die motorische Reaktion auf einen Schmerzreiz überprüft, zum Beispiel durch Druck auf den Fingernagel. Durch diesen Reiz wird eine gezielte Abwehrbewegung ausgelöst, bei der die Person den Schmerz lokalisieren und eine Bewegung mit der Hand in dessen Richtung ausführen kann (5 Punkte). Kommt es zu einem Wegziehen der Hand oder zu einem Abspreizen der Schultern, so spricht man von einer ungezielten Abwehrreaktion (4 Punkte). Beim Auftreten von Beugesynergismen (3 Punkte) durch einen Schmerzreiz kommt es zur Adduktion der oberen Extremität mit Flexion in den Ellenbeugen, den Handgelenken sowie den Fingern bei gleichzeitiger Streckung und Innenrotation der unteren Extremität sowie einer Plantarflexion der Füße. Dies deutet auf eine kortikale Läsion oder eine Schädigung der Capsula interna hin. Treten Strecksynergismen (2 Punkte) durch äußerliche Schmerzreize auf, deutet dies bereits auf eine Schädigung im Bereich des Mittelhirns und des oberen Pons hin. Dabei kommt es zur Entkoppelung des Großhirns vom Hirnstamm, was bereits auf eine schwere neurologische Schädigung hindeutet. Strecksynergismen sind gekennzeichnet durch eine Adduktion der oberen Extremität mit Extension der Ellenbeugen und Pronation der Hände sowie eine Extension der unteren Extremität mit Plantarflexion der Füße. Diese Pathologie ist zugleich mit einem schlechteren Outcome assoziiert als bei Beugesynergismen. Bei fehlender motorischer Antwort durch einen Schmerzreiz ist die Mindestpunktezahl (1 Punkt) zu vergeben. Es ist zu beachten, dass der GCS ursprünglich zur Beurteilung des Bewusstseinszustands entwickelt wurde. Eine Lähmungserscheinung durch eine Rückenmarksverletzung oder durch einen Medikamenteneinfluss kann die Auswertung verfälschen (11).

## 1.4 Verletzungsmuster

Die unmittelbaren Folgen eines Schädel-Hirn-Traumas umfassen eine Vielzahl von Entitäten. Bei rund der Hälfte aller Schädelverletzten treten auch Begleitverletzungen auf, die unter anderem mit einem hämodynamisch wirksamen Blutverlust einhergehen und zu einer Verschlechterung der Gesamtsituation beitragen können. Bei polytraumatisierten Patient\*innen liegt die Rate für ein SHT außerdem bei rund 70% und ist maßgeblich für deren Outcome verantwortlich (12). In einer retrospektiven Studie untersuchten Leitgeb et al. auf Basis von Daten aus 17 österreichischen Traumazentren den Unterschied zwischen einem isolierten mittelschweren bis schweren SHT und solchen, die mit Begleitverletzungen einhergingen. Auch hier konnte festgestellt werden, dass etwa die Hälfte der Gesamtpopulation zusätzliche Verletzungen aufwies. Die Mortalität war bei Patient\*innen mit einem isolierten SHT höher als jene mit Begleitverletzungen. Dies war vor allem auf das signifikant höhere Durchschnittsalter der erstgenannten Gruppe zurückzuführen. Es zeigte sich auch ein Anstieg der Sterblichkeitsrate bei Personen mit einem mittelschweren SHT und Begleitverletzungen. Dieser Anstieg war zugleich mit einem längeren Krankenhausaufenthalt und einer längeren Beatmungsdauer auf der Intensivstation assoziiert. In beiden Gruppen war der Hirntod mit über 50% die häufigste Todesursache, gefolgt von kardiovaskulären Komplikationen und Multiorganversagen. Die häufigsten Begleitverletzungen betrafen den Thorax (24,9%), das Gesicht (21,6%) und die Extremitäten (20,1%). Wirbelsäulenverletzungen wurden in rund 8% der Fälle beobachtet, wobei der thorakale Bereich am häufigsten betroffen war, gefolgt von der Halswirbelsäule, die in rund einem Drittel der Fälle involviert war. Die üblichen Verletzungen setzten sich aus abdominellen und äußeren Verletzungen zusammen (13). Eine weitere europäische Multi-Center-Studie von Riemann et al. ermittelte eine Häufigkeit von 4% für isolierte Wirbelsäulenverletzungen bei Patient\*innen mit einem Schädel-Hirn-Trauma. Dabei war jedoch die Halswirbelsäule in etwa zwei Dritteln und die Brustwirbelsäule in rund einem Drittel der Fälle betroffen (14). Die primären Verletzungsmuster des Schädel-Hirn-Traumas werden in intra- und extraparenchymatöse Läsionen unterteilt. Zu den erstgenannten Schädigungsmustern zählen die traumatische intrazerebrale Blutung (tICB), die

Gehirnkontusion und die diffuse axonale Schädigung. Demgegenüber werden das Epiduralhämatom (EDH), das Subduralhämatom (SDH) sowie die traumatische Subarachnoidalblutung (tSAB) zu den extraparenchymatösen Verletzungen gezählt. Eine Kombination dieser Verletzungen ist häufig zu beobachten. So treten beim schweren Schädel-Hirn-Trauma oftmals ein SDH, eine tSAB, Kontusionen sowie diffuse axonale Verletzungen gleichzeitig auf. Der intrakranielle Verletzungstyp erlaubt jedoch keine direkten Rückschlüsse auf den Schweregrad des Schädel-Hirn-Traumas (15). Im Folgenden wird auf diese Pathologien näher eingegangen.

### **Epiduralhämatom**

Es handelt sich um eine Blutansammlung zwischen dem Schädelknochen und der Dura mater. Aufgrund ihrer Ausdehnung und Progredienz erfordert sie häufig eine neurochirurgische Intervention. Die häufigste Blutungsursache ist arteriellen Ursprungs und geht mit einer Zerreißung der Arteria meningea media einher. Gleichzeitig ist diese Verletzung häufig mit einer Fraktur des Schädelknochens assoziiert. Weitere Blutungsquellen sind Rupturen der venösen Blutleiter oder der Venenkanäle im Knochen in der hinteren Schädelgrube. Häufig tritt ein Epiduralhämatom bei jungen Personen auf, da die äußere Hirnhaut altersbedingt noch nicht fest mit dem Schädelknochen verwachsen ist, was eine einfachere Ausdehnung der Blutung in diesem Raum ermöglicht (15). Ein EDH tritt in bis zu 8% aller Schädel-Hirn-Traumata auf und hat eine Mortalität von rund 10%. Die klinische Symptomatik äußert sich meistens in einer Bewusstlosigkeit. Das häufig beschriebene „luzide Intervall“ stellt dagegen eine Seltenheit dar, in dem die Betroffenen nach dem Trauma ein asymptomatisches Intervall erleben, bevor sich ihr Zustand wieder verschlechtert. Aufgrund der raschen Ausbreitung des Hämatoms und der damit einhergehenden Erhöhung des Hirndrucks kann sich das klinische Bild rasch verschlechtern. Die mögliche Folge ist eine Herniation des Gehirns mit lichtstarrten und weiten Pupillen. In der CT-Bildgebung stellt sich das Epiduralhämatom als bikonvexe und hyperdense Läsion dar, die dicht am Schädelknochen anliegt und die Suturen nicht überschreitet (16).

### **Akutes Subduralhämatom**

Dieses klinische Korrelat zum SHT beschreibt eine meist venöse Blutung aus den Brückenvenen in den Subduralraum, der sich zwischen der Dura mater und der Arachnoidea mater befindet. Im Schädel-CT zeigt sich das Hämatom als konkave Hyperdensität mit einer Überschreitung der Suturen. Diese Blutungsform kommt in bis zu rund 30% aller schweren Schädel-Hirn-Traumata vor. Akute Subduralhämatome weisen zugleich die höchste Mortalität und die schlechteste Prognose aller intrakraniellen Verletzungen auf (15). Ein Alter über 60 Jahre, ein niedriger initialer GCS sowie die Einnahme einer oralen Antikoagulation sind wesentliche Prädiktoren eines schlechten Outcomes (17). Subduralhämatome treten außerdem häufig in Kombination mit anderen schweren inneren Schädelverletzungen auf und haben ein hohes Nachblutungsrisiko. Darüber hinaus führen metabolische Störungen und Flüssigkeitseinlagerungen im angrenzenden Hirnparenchym zu einem zunehmenden Hirndruckanstieg und einer daraus resultierenden zerebralen Ischämie. Die klinische Symptomatik äußert sich als Folge einer Kompression der Großhirnrinde, ischämischer Ereignisse oder metabolischer Entgleisungen (15).

### **Traumatische Subarachnoidalblutung**

Diese Blutungsform ist bei 33-60% aller Patient\*innen mit mittelgradigen bis schweren Schädel-Hirn-Verletzungen zu beobachten. Sie entsteht durch eine traumatische Zerreißung kortikaler Gefäße mit nachfolgender Einblutung in den Subarachnoidalraum, der zwischen dem Hirnparenchym und der Pia mater lokalisiert ist. Im CT zeigt sie sich als hyperdense Läsion (16). Sie kann allein oder zusammen mit anderen intrakraniellen Pathologien auftreten. Aufgrund ihrer Blutungslokalisation und Ätiologie lässt sie sich in der Regel in der Bildgebung leicht von einer aneurysmatischen SAB differenzieren. Das Vorhandensein einer tSAB erlaubt jedoch keine prognostischen Aussagen, sondern ist vor allem von der Blutungsmenge, weiteren intrakraniellen Verletzungen und dem Bewusstseinszustand abhängig. Zudem besteht die Gefahr von Störungen der Liquorzirkulation und Vasospasmen. Letztere werden durch Hämosiderinablagerungen nach Blutungen ausgelöst (15).

### **Kontusionsblutung und traumatische intrazerebrale Blutung**

Es handelt sich um die häufigste intrazerebrale Läsion bei Schädelverletzten. Sie entsteht, wenn das Hirngewebe mit Knochenvorsprüngen in Kontakt kommt. Dieses Verletzungsmuster kann sowohl durch einen direkten Aufprall als auch durch Akzelerations- und Dezelerationstraumen des Schädels verursacht werden. Am häufigsten sind dabei die frontalen und temporalen Hirnregionen betroffen. Die klinische Symptomatik kann aufgrund einer perifokalen Ödembildung sowie ischämischer Ereignisse voranschreiten und erst im zeitlichen Verlauf an Dominanz gewinnen (15). In der kranialen CT-Bildgebung kann diese intraparenchymatöse Läsion von kleinen fokalen Befunden bis hin zu Massenblutungen reichen (16).

### **Diffuse axonale Schädigung**

Der diffuse Axonschaden ist ein häufiges und zugleich eines der wichtigsten Verletzungsmuster beim Schädel-Hirn-Trauma. Es ist die Folge einer direkten Schädigung des Hirnparenchyms infolge eines Hochgeschwindigkeitstraumas. Durch Rotationsbeschleunigungen werden Zug- und Scherkräfte am Gehirn frei, welche die Axone der weißen Substanz unter anderem im Bereich des Hirnstamms schädigen. Dabei entstehen mikroskopische Läsionen mit Schädigung des Zytoskeletts und axonaler Schwellung, die den axonalen Transport stören. Bei persistierender Transportblockade und struktureller Instabilität kann es zur sekundären Axotomie mit anschließender Degeneration des distalen Axonfragments (Wallersche-Degeneration) kommen. Diese degenerativen Prozesse können auch Jahre nach dem Trauma noch voranschreiten und stehen im Zusammenhang mit der Entstehung neurodegenerativer Erkrankungen. Das klinische Bild dieses Schädigungsmusters äußert sich in Abhängigkeit vom Schweregrad in akuter oder anhaltender Bewusstlosigkeit und Verwirrtheit und kann in schweren Fällen zum Koma und Tod führen. Außerdem scheint die diffuse axonale Schädigung durch die Hirnstammeteiligung eine bedeutende Ursache für die sofortige Bewusstlosigkeit bei Schädelverletzten zu sein (18). Die diagnostischen Möglichkeiten zur Darstellung dieser Läsionen beschränken sich auf das MRT, in dem sie in Form von petechialen Einblutungen sichtbar sind. Es existieren keine spezifischen

Behandlungsmöglichkeiten. Die therapeutische Vorgehensweise orientiert sich stattdessen an den bestehenden Symptomen, der Hirndruckkontrolle und den Verletzungsfolgen (16).

### **Weichteilverletzungen und Frakturen**

Beim Schädel-Hirn-Trauma sind neben den intrakraniellen Läsionen auch Verletzungen der äußeren Weichteile sowie Schädelfrakturen erwähnenswert. Aufgrund der stumpfen Gewalteinwirkung auf den Kopf sind Schürf- oder Platzwunden besonders häufig zu beobachten, wobei diese meist keinen besonderen Einfluss auf die Prognose haben. Anders verhält es sich bei ausgedehnten Wunden oder sogenannten Skalpierungsverletzungen. Diese können vor allem bei einer Gefäßbeteiligung, wie einer Ruptur der Arteria temporalis, zu einem erheblichen Blutverlust führen (19).

Bei Frakturen wird dagegen grundlegend zwischen einer Beteiligung der Schädelkalotte und der Schädelbasis unterschieden. Kalottenfrakturen lassen sich abhängig vom Unfallmechanismus in lineare Brüche sowie in Berstungs- und Impressionsfrakturen unterteilen. Letztere entstehen durch ein spitzes Trauma und können je nach Beteiligung der Dura als offene oder geschlossene Form vorliegen. Eine chirurgische Intervention ist insbesondere dann indiziert, wenn die Schädelkalotte um mehr als ihre eigene Knochendicke nach intrakraniell disloziert ist. Bei Schädelbasisfrakturen ist häufig die vordere Schädelgrube betroffen. Sie treten in bis zu 10% aller schweren Schädel-Hirn-Traumata auf und können nach Escher entsprechend ihrer Ausdehnung in vier Klassen eingeteilt werden. Diese Einteilung umfasst unter anderem eine Mitbeteiligung des Gesichtsschädels und des Felsenbeins. Als diagnostisches Mittel hat sich die Computertomografie bewährt, da sie nicht nur Frakturen zuverlässig darstellt, sondern auch häufig begleitende intrakranielle Blutungen detektiert (19).

## 1.5 Klinische Manifestation

Die Hauptsymptome eines Schädel-Hirn-Traumas lassen sich im Allgemeinen als quantitative und qualitative Bewusstseinsstörungen sowie als anterograde und retrograde Amnesie zusammenfassen. Sie stellen in Abhängigkeit von Dauer und Schwere einen relevanten prognostischen Faktor dar (20).

Die unterschiedlichen Verletzungsmuster können eine Vielzahl neurologischer Zeichen und Symptome verursachen und hängen vom Ort und Schweregrad der Schädigung ab. Störungen des Bewusstseins können sich demnach in unterschiedlichen Ausprägungsgraden zeigen. Die leichteste Form wird als Durchgangssyndrom bezeichnet. Dabei ist die Person bei vollständiger Wachheit und weist rückbildungsfähige psychotische Symptome auf. Als Bewusstseinsintrübung bezeichnet man hingegen eine verminderte Wahrnehmung der Umgebung und der eigenen Person. Dies äußert sich in einer verzögerten Reaktion auf Ansprache oder einen Schmerzreiz und geht häufig mit einer vegetativen Begleitsymptomatik wie Tachykardie, Schweißausbrüchen oder Inkontinenz einher. Das Stadium der Bewusstlosigkeit äußert sich klinisch durch eine völlige Unerweckbarkeit. Die Patient\*innen öffnen trotz Ansprache oder Schmerzreizen die Augen nicht. Ihre motorischen Fähigkeiten beschränken sich auf reflektorische gezielte oder ungezielte Abwehrbewegungen auf Schmerzreize. Der Muskeltonus ist nicht mehr vorhanden und die Pupillen sind meist eng und lichtreagibel. Eine tiefere Bewusstlosigkeit mit deutlicher Verminderung oder sogar Fehlen von Muskeleigen- und Hirnstammreflexen wird schließlich als Koma bezeichnet (21).

In der posttraumatischen Frühphase ist insbesondere eine Erhöhung des intrakraniellen Drucks durch ein Hirnödem von großer Bedeutung. In der Regel erreicht dieses nach 24 bis 96 Stunden seine größte Ausdehnung. Neben den parenchymatösen Flüssigkeitsansammlungen können eine zerebrale Hyperämie sowie intrakranielle Blutungen zu einem Anstieg des Hirndrucks führen. Bei den Hirnödemen sind dabei drei Formen relevant: In der Akutphase einer Schädelverletzung tritt zunächst meist ein vasogenes Hirnödem auf, das auf eine Permeabilitätsstörung der Blut-Hirn-Schranke zurückzuführen ist. Das zytotoxische Ödem hat eine hypoxische, ischämische oder toxische Genese und ist durch einen Zusammenbruch der aktiven Ionenporter gekennzeichnet.

Diese Form kann auch in der Spätphase eines Schädel-Hirn-Traumas auftreten. Darüber hinaus kann eine intrakranielle Raumforderung zum Übertritt von Liquor in das umliegende Hirngewebe führen, was als interstitielles Hirnödem bezeichnet wird (12).

Ein intrakranieller Druckanstieg führt aufgrund der starren, knöchernen Begrenzung im Schädelinnern zur Kompression von Hirnregionen. Je nach Lokalisation und Ausprägung können unterschiedliche neurologische Symptome auftreten. Die sogenannten Hirnstammsyndrome sind dabei potentiell lebensbedrohliche Komplikationen. Bei der Expansion lateraler, supratentorieller Raumforderungen können die mediabasalen Anteile des Temporallappens im Tentoriumschlitz eingeklemmt werden. Aufgrund der anatomischen Nähe zum Nervus oculomotorius (N. III.) kann dieser komprimiert werden, was sich durch einen Ausfall seiner parasympathischen Anteile in Form einer ipsilateralen Mydriasis zeigen kann. Bei zusätzlicher Kompression des Mesenzephalons kann ein Mittelhirnsyndrom auftreten. Dies äußert sich klinisch unter anderem durch Bewusstlosigkeit, Strecksynergismen, divergente Bulbi, eine gesteigerte Reflexantwort und das Auftreten pathologischer Reflexe. Das Bulbärhirnsyndrom dagegen kennzeichnet einen weiteren Anstieg des Hirndrucks und eine Verlagerung großer Anteile des Hirnstamms (Pons, Medulla oblongata) sowie möglicherweise auch der Kleinhirntonsillen in Richtung des großen Hinterhauptlochs. Durch die Kompression des Hirngewebes kommt es zur Entgleisung zentraler Regulationsmechanismen, was zum Zusammenbruch des Herz-Kreislaufsystems und der Atmung bis hin zum Atemstillstand führen kann. Die Betroffenen zeigen eine tiefe Bewusstlosigkeit mit beidseitigen lichtstarrten und weiten Pupillen. Die Augäpfel sind divergent, der Muskeltonus ist stark reduziert und die Reflexe sind erloschen. Der fortschreitende Ausfall der neurologischen und vegetativen Funktionen ist im Endstadium nicht mehr mit dem Leben vereinbar und führt schließlich zum Hirntod (12).

Ein weiteres häufiges Symptom sind Krampfanfälle, deren Entstehung durch traumatisch bedingte neuronale Entzündungsprozesse getriggert wird. In Bezug auf das zeitliche Auftreten nach dem Trauma werden sie in Frühanfälle, die innerhalb von sieben Tagen auftreten, und Spätanfälle unterteilt. Akute symptomatische Anfälle sind eine Subgruppe der Frühanfälle und treten innerhalb

von 24 Stunden auf. Sie sind häufig von kurzer Dauer und zeigen meist ein generalisiertes Muster. Das Anfallsrisiko ist beim schweren Schädel-Hirn-Trauma in den ersten sieben Tagen im Vergleich zu milderer Formen schätzungsweise um bis zu dreißigfach erhöht. Die posttraumatische Epilepsie wird hingegen zu den Spätanfällen gezählt. Sie ist definiert als das Auftreten von mindestens zwei unprovokierten Anfällen. Auch hier hängt das Risiko mit dem Schweregrad der Schädelverletzung zusammen (22).

## **1.6 Diagnostisches Vorgehen in der Akutphase**

Eine rasche und präzise klinische und bildgebende Diagnostik ist bei Patient\*innen mit einem Schädel-Hirn-Trauma von großer Bedeutung. Bereits bei der Übernahme des Verletzten müssen anamnestische Informationen zum Unfallhergang und zum klinischen Zustand am Unfallort erhoben werden. Als nächster Schritt erfolgt die Beurteilung des Bewusstseinszustandes (23). Dieser wird mithilfe des Glasgow Coma Scores quantifiziert. Das Ergebnis ist demnach maßgeblich für das weitere therapeutische Vorgehen entscheidend. Daneben ist auch die Dauer der Bewusstseinsstörung zu dokumentieren, da sie ein relevanter prognostischer Faktor ist. Da das SHT aufgrund der unterschiedlichen Verletzungsmuster einen dynamischen klinischen Verlauf zeigt, ist eine einmalige Bestimmung des GCS nicht sinnvoll. Stattdessen ist eine Beurteilung in mehreren zeitlichen Intervallen und erst nach Stabilisierung der Vitalparameter zur Verbesserung der Aussagekraft durchzuführen (24).

Die seitenvergleichende Überprüfung der Pupillen hinsichtlich ihrer Größe und Lichtreaktion ist ein weiterer unabdingbarer Schritt der neurologischen Untersuchung. Eine physiologische Lichtreaktion der Pupillen deutet auf eine intakte Funktion der Sehbahn, des Hirnstamms und des Nervus oculomotorius hin. Schädigungen im Verlauf dieser Strukturen können sich in Form von Pupillenveränderungen darstellen. Eine einseitig lichtstarre und erweiterte Pupille deutet hingegen auf eine Kompression des dritten Hirnnervs durch einen beginnenden raumfordernden Prozess hin. Sind beide Pupillen erweitert und zeigen keine Lichtreaktion, weist dies bereits auf eine schwere Hirnstammläsion hin. Eine Veränderung der Pupille muss jedoch nicht zwingend mit einem zerebralen Einklemmungsprozess zusammenhängen. So können auch ein

hypoxischer Zustand, eine Hypotension oder eine Hypothermie zu Pupillendifferenzen führen. Gleichzeitig kann eine traumatisch bedingte Dissektion der Arteria carotis zum sogenannten Horner-Syndrom führen, das sich klinisch als ipsilaterale Miosis und Ptosis darstellt (15). Anschließend werden Kopf und Wirbelsäule auf weitere Verletzungsmuster untersucht. Am Schädel ist insbesondere auf Hämatome, Frakturen und einen Flüssigkeitsaustritt von Blut und Liquor aus dem äußeren Gehörgang zu achten. Letzteres kann ein Anzeichen einer Schädelbasisfraktur sein. Sofern der Patient ansprechbar ist, sollte die neurologische Befunderhebung mit der Überprüfung der restlichen Hirnnerven fortgesetzt werden. Da ein schweres SHT jedoch meistens mit einer Bewusstlosigkeit einhergeht, beschränkt sich dieser Schritt auf die Untersuchung der Hirnstammreflexe, wie dem Korneal- und Würgereflex, sowie die Beurteilung möglicher Blickparesen (23).

In der Akutphase hat sich die Computertomografie als standardisiertes bildgebendes Verfahren etabliert. Neben den intrakraniellen Blutungen können auch Verletzungen anderer Körperregionen dargestellt werden. Da der Zeitfaktor bei Traumapatient\*innen ein wesentliches Kriterium darstellt, können mit dieser Methode lebensbedrohliche Zustandsbilder schnell identifiziert und gegebenenfalls chirurgisch versorgt werden. Das MRT hat in der Akutdiagnostik dagegen eine eher untergeordnete Rolle und wird eingesetzt, um das Verletzungsausmaß und prognostische Aspekte abzubilden. Zudem kann eine diffuse axonale Schädigung mit einer höheren Sensitivität als im CT dargestellt werden (23).

## **1.7 Management beim schweren Schädel-Hirn-Trauma**

### **Einsatztaktik im alpinen Gelände**

Die Versorgung von Verletzten im alpinen Gelände stellt für Rettungsteams eine große Herausforderung dar. Neben den eingeschränkten diagnostischen und therapeutischen Möglichkeiten wird der Rettungseinsatz zusätzlich von Faktoren wie der Geländesituation, den Transportzeiten und den Witterungsbedingungen beeinflusst. Aus diesem Grund sind das rechtzeitige Einholen relevanter Informationen sowie eine sorgfältige Vorbereitung durch das Versorgungsteam von entscheidender Bedeutung. Eine Zusammenarbeit von bodengebundenen Rettungsteams und der alpinen Flugrettung ist nicht selten, weshalb die

gegenseitige Kenntnis der jeweiligen Ressourcen und Möglichkeiten eine bedeutende Rolle für den optimalen Einsatzablauf darstellt (25).

Der Großteil der Verunfallten im alpinen Gelände wird im deutschsprachigen Raum jedoch mittels Rettungshubschrauber versorgt und in ein entsprechendes Zentrum transportiert. Einsatztaktische Überlegungen des Flugrettungsteams spielen dabei eine zentrale Rolle, da objektive Gefahren wie etwa Steinschlag, Lawinenabgang oder Eisbruch, ungünstige Flugbedingungen oder anspruchsvolle Bergungstechniken eine sofortige Rettung nicht immer möglich machen. Das Team handelt dabei je nach Bedingungen nach unterschiedlichen Prinzipien. Grundsätzlich hat die eigene Sicherheit des Rettungsteams immer oberste Priorität. So wird bei gefährlichen Situationen nach dem sogenannten „load-and-go“-Prinzip gehandelt, wobei der Patient zunächst ohne medizinische Maßnahmen aus dem Gefahrenbereich evakuiert wird. Gegebenenfalls kann eine rasche analgetische Therapie und Immobilisation mit anschließendem Abtransport durchgeführt werden, was als „treat-and-run“ bezeichnet wird. Im optimalsten Fall kann die notfallmedizinische Versorgung am Unfallort stattfinden („stay-and-play“) (25).

### **Präklinische Versorgung**

Für Patient\*innen mit einem schweren Schädel-Hirn-Trauma hat die präklinische Versorgung einen wesentlichen Anteil am Behandlungserfolg (24). Dies ist insbesondere bei Verunfallten im Gebirge aufgrund längerer Transportzeiten von großer Relevanz. So ist im ländlichen Bereich die Sterblichkeit bei einer schweren Schädelverletzung im Vergleich zum urbanen Gebiet deutlich erhöht (26).

Die Erstbeurteilung sollte bei allen Notfallpatient\*innen anhand des international anerkannten ABCDE-Schemas (Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure) erfolgen. Im österreichischen Bergrettungsdienst wurde dieses um die Vorsilbe „cr“ für „critical“ ergänzt. Diese steht für lebensbedrohliche Blutungen und kritische Hypothermie, wobei Letzteres gerade im alpinen Gelände eine wesentliche Rolle spielt und einen entscheidenden Faktor in der Prognose von Traumapatient\*innen darstellt. Dieses modifizierte Schema betont die essentielle Bedeutung der frühzeitigen Behandlung einer Unterkühlung (27). Eine Verringerung der Körperkerntemperatur von 37°C auf 36°C beeinflusst die Gerinnung und führt bei relevanten Blutungen zu einem 16% höheren Blutverlust

(28). Im Weiteren stehen eine Hypoxämie ( $\text{SpO}_2 < 90\%$ ) und eine arterielle Hypotension (systolischer Blutdruck  $< 90 \text{ mmHg}$ ) im Zusammenhang mit einer steigenden Mortalität bei schweren Schädelverletzten (15).

Eine einfache und zugleich effektive Maßnahme zur Hirndrucksenkung besteht in der Hochlagerung des Oberkörpers um 15 bis  $30^\circ$  zur Förderung des venösen Abflusses in Richtung des Herzens. Die Sicherstellung des Atemwegs mittels endotrachealer Intubation und anschließend kontrollierter Beatmung ist bei allen Patient\*innen mit einem GCS von  $< 9$  aufgrund der fehlenden Schutzreflexe indiziert. Zur Narkoseeinleitung und deren Aufrechterhaltung haben sich kurzwirksame Opiode, Narkotika und Benzodiazepine etabliert. Die Anwendung von Ketamin zeichnet sich durch eine kreislaufstabilisierende Wirkung aus und kann in Kombination mit anderen Narkosemitteln wie Midazolam und Propofol zum Ausbleiben einer Hirndrucksteigerung führen. Bei hämodynamisch instabilen Patient\*innen sollte Propofol aufgrund seiner blutdrucksenkenden Wirkung zurückhaltend verwendet werden. Die Überprüfung der Ventilation erfolgt durch die Auskultation der Lungen sowie einer kontinuierlichen Messung des endtidalen  $\text{CO}_2$  ( $\text{etCO}_2$ ). Dabei sind eine Hyper- und Hypokapnie aus prognostischen Gründen zu vermeiden, weshalb normokapnische Werte ( $35\text{-}40 \text{ mmHg}$ ) anzustreben sind. Eine Minderversorgung des Organismus mit Sauerstoff gilt es zu verhindern, weshalb eine ausreichende Oxygenierung mit einem Ziel- $\text{SpO}_2$  von über  $90\%$  anzustreben ist (15).

Bei Verdacht auf eine begleitende Halswirbelerkrankung ist die Immobilisierung mit einer Vakuummatratze wegen ihrer Ganzkörperstabilisierung vorteilhaft. Der Einsatz einer HWS-Schiene bei Personen mit einem Schädel-Hirn-Trauma wird hingegen kontrovers diskutiert, da sie den venösen Abfluss beeinträchtigen und somit den Hirndruck steigern kann. Daher sollte der Nutzen einer solchen Schiene sorgfältig gegen potentielle Risiken abgewogen werden (29).

Eine wesentliche therapeutische Säule ist die suffiziente Stabilisierung der Blutdruckverhältnisse bzw. die Vermeidung einer arteriellen Hypotension. Die aktuellen präklinischen Leitlinien der Brain Trauma Foundation (BTF) empfehlen, einen systolischen Blutdruck von mindestens  $110 \text{ mmHg}$  anzustreben, obwohl für diesen Grenzwert keine ausreichende Evidenz vorliegt. Zur Behandlung der Hypotonie stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, wobei für die

intravenöse Verabreichung isotoner Flüssigkeitslösungen die stärkste Evidenz vorliegt. Dadurch sollten die Sauerstoffversorgung und die zerebrale Perfusion aufrechterhalten werden (24). Falls der Blutdruck durch diese Methode nicht ausreichend gesteigert werden kann, können vasoaktive Substanzen wie Noradrenalin oder Phenylephrin in Form einer kontinuierlichen intravenösen Infusion zum Einsatz kommen (15).

Bei klinischen Anzeichen einer beginnenden Herniation kann die induzierte Hyperventilation zu einer Senkung des ICP führen. Diese Therapiemethode ist im präklinischen Setting jedoch umstritten und sollte nur unter strenger Überwachung des  $\text{etCO}_2$  mit normokapnischen Zielwerten angewendet werden. Eine weitere Möglichkeit zur nachweislichen Senkung des Hirndrucks besteht in der Verwendung von Osmodiuretika wie Mannitol oder hyperosmolaren Kochsalzlösungen. Allerdings liegt auch hierfür keine eindeutige Empfehlung der präklinischen Leitlinie zugrunde, da sich das Outcome durch die Verwendung dieser Substanzen nicht signifikant verbesserte (24).

In der Akutbehandlung ist die Anwendung des Antifibrinolytikums Tranexamsäure (TXA) zur Eindämmung einer intrakraniellen Blutung ein häufig diskutiertes Thema. Im Rahmen der CRASH-3-Studie wurde der potenzielle Nutzen einer frühzeitigen TXA-Gabe innerhalb von drei Stunden nach dem Ereignis untersucht. In die Studie wurden Patient\*innen mit einem isolierten, mittelschweren bis schweren SHT bzw. mit nachgewiesener intrakranieller Blutung eingeschlossen. Entgegen den Erwartungen konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Mortalität und der Komplikationsrate zwischen der Population mit einem schweren SHT und der Placebogruppe gezeigt werden. Im Gegensatz dazu konnte in der Subgruppe mit leichter bis mittelschwerer Ausprägung durch eine frühzeitige TXA-Applikation eine geringe Reduktion der durch das SHT bedingten Sterblichkeit erzielt werden (30). Eine eindeutige Empfehlung zur prophylaktischen Anwendung von TXA spricht die Leitlinie der Brain Trauma Foundation jedoch nicht aus (24).

Schlussendlich beurteilt das präklinische Versorgungsteam anhand der erhobenen Befunde die Dringlichkeit und die Verletzungsschwere und entscheidet im weiteren Verlauf über das geeignete Transportmittel und das Versorgungszentrum. Bei Verletzten mit einem GCS von  $\leq 12$  sollte das Krankenhaus über eine CT-Bildgebung sowie eine neurochirurgische Abteilung

verfügen, um eine rasche Intervention zu ermöglichen (24). Allerdings profitieren auch Patient\*innen mit einem schweren SHT hinsichtlich einer niedrigeren Mortalität, wenn sie zunächst in ein peripheres Krankenhaus aufgenommen und anschließend in ein neurochirurgisches Zentrum verlegt werden (31). Im Rahmen einer Studie konnte Hosomi et al. zeigen, dass der Hubschraubertransport bei Schädelverletzten im Vergleich zur bodengebundenen Rettung mit einem besseren Überleben assoziiert ist (32). Ein ähnliches Ergebnis zeigte Bekelis et al. anhand einer retrospektiven Untersuchung aus den USA (33). Insbesondere in ländlichen und abgelegenen Regionen hat sich die Luftrettung als vorteilhaft etabliert. Notfallpatient\*innen in ungünstiger geografischer Lage können so schneller in ein Krankenhaus geflogen werden und erhalten zeitnah diagnostische und therapeutische Maßnahmen (34).

### **Intensivmedizinische Versorgung**

Die Vermeidung sekundärer Hirnschäden durch ein multimodales Monitoring und einen individualisierten Therapieplan spielt eine zentrale Rolle im intensivmedizinischen Management schwerer Schädelverletzungen. Zu Beginn ist neben der Stabilisierung der Vitalparameter und der Intubation mit mechanischer Beatmung eine suffiziente Oxygenierung und Normoventilation zu gewährleisten. Das Ziel besteht darin, normokapnische Zielwerte zu erreichen. Bei drohender Hirneinklemmung kann die therapeutische Hyperventilation als temporäre Maßnahme eingesetzt werden. Dieser Mechanismus führt zu einer Senkung des arteriellen Kohlendioxid-Partialdrucks ( $\text{PaCO}_2$ ) und anschließend zu einer zerebralen Vasokonstriktion. Dadurch sinkt das zerebrale Blutvolumen und in der Folge der ICP. Allerdings geht dieser Effekt auf Kosten der zerebralen Durchblutung. Aus diesem Grund sind längere Phasen einer Hyperventilation mit einem  $\text{PaCO}_2$  von  $\leq 25$  mmHg zu vermeiden. Eine alternative Therapiemöglichkeit zur Hirndrucksenkung stellt die Anwendung von Osmodiuretika, vorzugsweise in Form einer hypertonen Kochsalzlösung, dar (34, 35). Eine effektive Basismaßnahme zur intrakraniellen Drucksenkung ist die Lagerung mit einem um 15 bis 30° erhöhten Oberkörper, sofern stabile Blutdruckverhältnisse vorherrschen. Im Falle einer systemischen Hypotonie empfiehlt sich dagegen aufgrund der Gefahr einer zerebralen Hypoperfusion eine flache Lagerung (12).

Ein wesentlicher Punkt ist die Überwachung und Behandlung des intrakraniellen Drucks und der zerebralen Perfusion. Die Messung des Hirndrucks erfolgt in der Regel durch die chirurgische Anlage einer intrakraniellen Sonde, die bevorzugt intraventrikulär platziert wird. Weitere Möglichkeiten sind das Einbringen der Sonde in das Hirnparenchym oder in den Epiduralraum. Letzteres sollte wegen der artefaktbedingten eingeschränkten Aussagekraft nur in Ausnahmefällen gewählt werden (37). Neben zahlreichen Systemen haben sich jene mit einer externen Ventrikeldrainage (EVD) als Goldstandard etabliert, da sie eine präzisere Messung ermöglichen und zudem die Option einer Liquordrainage bieten. Zu den Nachteilen einer EVD zählen neben der erschwerten Anlage bei engen Ventrikeln oder bei ausgeprägter Ventrikelkompression durch ein Hirnödem vor allem ein Infektionsrisiko von 5% nach fünf Tagen sowie ein Blutungsrisiko von 5 bis 7% (38).

Gerade bei sedierten und intubierten Patient\*innen sollte die Indikation zur Hirndruckmessung wegen der eingeschränkten klinischen Beurteilungsfähigkeit großzügig gestellt werden. Ansonsten ist bei allen Personen mit einem GCS < 9 und nachgewiesener intrakranieller Raumforderung die invasive Messung des Hirndrucks mittels ICP-Sonde indiziert. Auch ohne nachweisbaren intrakraniellen Prozess kann ein klinisches Bild mit Streck- oder Beugesynergismen, eine arterielle Hypotension (systolisch < 90 mmHg) oder ein Alter von über 40 Jahren die Einleitung eines intrakraniellen Druckmonitorings rechtfertigen, sofern mindestens zwei dieser Kriterien erfüllt sind (37).

Der physiologische Hirndruck ist individuell unterschiedlich und hängt unter anderem von Faktoren wie dem Alter, der Körperposition und dem klinischen Zustand ab. So werden bei gesunden Personen in horizontaler Körperlage Werte von 7 bis 15 mmHg gemessen, wohingegen sich der Hirndruck in aufrechter Position reduziert (23). Von einer pathologischen Erhöhung des ICP wird ab Werten von > 20 bzw. > 22 mmHg gesprochen, die einer therapeutischen Intervention bedürfen (39).

Mithilfe des Hirndrucks kann ein weiterer unabdingbarer Parameter für die intensivmedizinische Überwachung errechnet werden. Der zerebrale Perfusionsdruck (CPP) ergibt sich, wie bereits in einem vorigen Kapitel erwähnt, aus der Differenz des mittleren arteriellen Drucks (MAP) und des intrakraniellen

Drucks. Unter gesunden Bedingungen wird die Hirndurchblutung durch die zerebrovaskuläre Autoregulation gesteuert. Aufgrund des vernachlässigbar geringen Hirndrucks unter physiologischen Bedingungen wird der CPP vorwiegend vom Blutdruck beeinflusst. Diese Regulation funktioniert allerdings nur bei einem MAP zwischen ungefähr 60 und 150 mmHg. Bei höheren Blutdruckwerten erfolgt eine zerebrale Vasokonstriktion und bei niedrigeren eine Vasodilatation, um die Durchblutung des Gehirns konstant zu halten. Bei Werten oberhalb oder unterhalb dieses Bereichs drohen eine zerebrale Ischämie oder ein Hirnödem (12).

Der Normwert des CPP liegt bei gesunden Personen zwischen 60 und 80 mmHg. Im Rahmen einer Schädelverletzung kann dieser Regulationsmechanismus gestört sein (40). Die Brain Trauma Foundation empfiehlt bei der Behandlung eines Schädel-Hirn-Traumas aus aktueller Sicht, einen CPP von 60 bis 70 mmHg anzustreben. Dabei sollten die Grenzwerte in Verbindung mit der individuellen Funktionalität der Autoregulation betrachtet werden. Eine aggressive Anhebung über 70 mmHg mittels Flüssigkeitsgabe oder Vasopressoren sollte allerdings wegen der Gefahr respiratorischer Komplikationen vermieden werden (41). Die Funktion der zerebralen Autoregulation kann mithilfe des sogenannten Pressure Reactivity Index (PRx) bestimmt werden, um den optimalen CPP einschätzen zu können. Er stellt einen dynamischen Parameter dar, der sich mathematisch aus Änderungen des MAP und des ICP über die Zeit berechnen lässt. Ein negativer Wert zeigt einen intakten Regulationsmechanismus an, während ein positiver Index eine gestörte Autoregulation signalisiert (15). Ein weiterer therapeutischer Ansatz ist die Vermeidung von systemischen Blutdruckabfällen. Gegebenenfalls kann dem durch die Anwendung von Katecholaminen gegengesteuert werden, um eine ausreichende Hirndurchblutung zu gewährleisten (2). Neben der invasiven Hirndruckmessung stehen auch nicht-invasive Methoden zur Verfügung. So kann der Hirndruck mittels transkranieller Dopplersonografie oder durch Bestimmung des Durchmessers der Sehnervenscheide (ONSD) durch bildgebende Verfahren abgeschätzt werden. Dennoch erreichen diese diagnostischen Hilfsmittel nicht den Stellenwert einer invasiven Druckmessung (42).

Zur Optimierung der maschinellen Beatmung, zur Reduzierung von Agitiertheit und zur Kontrolle des Hirndrucks kann eine Sedierung mit Propofol und

Midazolam von Bedeutung sein. Eine zu hohe Dosierung von Propofol sollte jedoch vermieden werden, da diese mit einer erhöhten Morbidität assoziiert ist. Daneben kann Ketamin aufgrund seiner kreislaufstabilisierenden Eigenschaften sowie potentieller respiratorischer Vorteile eine therapeutische Alternative darstellen (43, 44). Neben den bereits erwähnten Maßnahmen zur Senkung eines erhöhten Hirndrucks bieten Barbiturate eine weitere therapeutische Option. Dieser Effekt beruht auf der Hemmung der zerebralen Stoffwechselaktivität und der Reduktion des zerebralen Blutvolumens. Zu den relevanten Nachteilen zählen ein Blutdruckabfall und in weiterer Folge eine Verringerung der zerebralen Durchblutung (45). Aus diesem Grund wird die Anwendung von Barbituraten nur bei therapieresistenter intrakranieller Hypertension empfohlen, wobei vor und während der Applikation stabile hämodynamische Verhältnisse vorherrschen sollten (41). Darüber hinaus wurden Glukokortikoide lange Zeit zur Behandlung von Patient\*innen mit einem SHT angewendet. Eine Schädigung des zentralen Nervensystems führt über neuronale Entzündungen, oxidativen Stress und Apoptose zu neurodegenerativen Prozessen. Aus diesem Grund haben sich Glukokortikoide in der Notfall- und Intensivmedizin wegen ihrer antiinflammatorischen Wirkung als Behandlungsoption etabliert, deren Anwendung jedoch mit Risiken verbunden ist (46). Im Rahmen der CRASH-Studie, einer randomisierten, placebokontrollierten Studie mit insgesamt 10.008 Patient\*innen aller Schweregrade eines Schädel-Hirn-Traumas, wurde die Wirkung von hochdosiertem Methylprednisolon untersucht. Die Studie wurde im Jahr 2004 vorzeitig beendet, da in der Interventionsgruppe eine signifikant höhere 14-Tages-Mortalität beobachtet wurde. Dieser Anstieg zeigte sich unabhängig vom Schweregrad und dem zeitlichen Intervall zwischen der Aufnahme und dem Behandlungsbeginn (47). Aufgrund dieser Ergebnisse sollte bei der Behandlung eines SHT auf die Anwendung von Glukokortikoiden verzichtet werden (2, 40). Ein weiterer kontrovers diskutierter Behandlungspunkt ist die Anwendung einer prophylaktischen Hypothermie bei Schädelverletzungen. Obwohl dieses Verfahren dennoch praktiziert wird, ist der therapeutischer Nutzen noch Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Entsprechend wird diese Therapiemethode zur Verbesserung des Outcomes in den aktuellen Leitlinien der BTF nicht empfohlen.

In der deutschen Leitlinie wird die therapeutische Hypothermie hingegen als Option angegeben (39, 46, 47).

Eine prophylaktische antikonvulsive Therapie kann das Risiko für frühe posttraumatische Anfälle signifikant reduzieren (50). Bisher gibt es jedoch keine ausreichenden wissenschaftlichen Belege für einen Unterschied in der Wirksamkeit von Phenytoin und Levetiracetam (41). Zu den intensivmedizinischen Basismaßnahmen gehört auch die Prophylaxe thrombotischer Ereignisse. Neben physikalischen Methoden, wie dem Tragen von Kompressionstrümpfen, werden niedermolekulares Heparin (NMH) oder niedrig dosiertes unfraktioniertes Heparin (UFH) eingesetzt. Dabei ist jedoch eine Risiko-Nutzen-Abwägung erforderlich, um eine Progredienz von intrakraniellen Blutungen zu vermeiden (41).

Bei Patient\*innen mit einem schweren SHT auf der Intensivstation kann ein erhöhtes Risiko für beatmungsassoziierte Pneumonien, insbesondere bei längerer Beatmungsdauer, sowie für Infektionen im Zusammenhang mit einer EVD beobachtet werden. Zwar kann eine frühzeitige Anlage eines Tracheostomas die Beatmungsdauer verkürzen, das Risiko für das Auftreten einer Pneumonie und die Mortalität kann dadurch jedoch nicht reduziert werden. Zur Infektionsprophylaxe einer EVD können antimikrobiell beschichtete Katheter verwendet werden. Dabei sollte zusätzlich auf eine sorgfältige Anlage und einen aseptischen Umgang geachtet werden (41). Die deutsche Leitlinie sieht eine Antibiotikagabe nur bei frontobasalen Frakturen mit Liquorrhoe vor, wobei hierfür keine ausreichende Evidenz vorliegt (2).

### **Operative Versorgung**

Die chirurgische Versorgung bei Schädelverletzten hat zum Ziel, Blutungen an Weichteilen und dem knöchernen Schädel zu stillen, raumfordernde intrakranielle Prozesse zu beheben, Infektionen bei offenen Schädelverletzungen zu vermeiden und durch die Implantation einer intrakraniellen Sonde eine Überwachung von bewusstlosen Patient\*innen zu gewährleisten. Grundsätzlich sollten operative Eingriffe bei Begleitverletzungen, bei denen keine vitale Bedrohung besteht, auf das absolut Notwendigste beschränkt werden. Eine definitive Versorgung erfolgt erst nach Normalisierung der Hirndruck- und Volumenverhältnisse (3). Entsprechend der Dringlichkeit des Eingriffs wird zwischen notfallmäßigen und

aufschiebbaren Operationen unterschieden (2). Die Indikation zur OP ergibt sich dabei aus der Zusammenschau des klinischen Bildes, des CT-Befundes und der Hirndruckwerte. In der Bildgebung wird von einer Raumforderung gesprochen, sobald es zur Verlagerung von zerebralen Mittellinienstrukturen kommt. Eine sofortige chirurgische Entlastung ist demnach bei raumfordernden intrakraniellen Prozessen angezeigt. Hierzu zählen traumatische intrakranielle Blutungen wie das Epidural- und Subduralhämatom sowie das intrazerebrale Hämatom und Impressionsfrakturen (51). Bei nicht raumfordernden Impressionsfrakturen, penetrierenden Verletzungen oder bei Frakturen der Schädelbasis mit Liquorrhoe kann die operative Versorgung mit aufgeschobener Dringlichkeit erfolgen (2). Zur effektiven Senkung des Hirndrucks hat sich die operative Dekompression durch Kraniektomie mit Duraerweiterungsplastik etabliert (2). Hierbei können primäre und sekundäre Varianten unterschieden werden: Die primäre oder prophylaktische Dekompression wird zur Evakuierung von intraduralen Hämatomen eingesetzt und soll einen postoperativen Anstieg des Hirndrucks verhindern. Demgegenüber kommt die sekundäre Dekompression bei Patient\*innen mit kontinuierlichem ICP-Monitoring zum Einsatz, bei denen trotz konservativer Maßnahmen refraktär hohe ICP-Werte gemessen werden oder ein postoperatives Hirnödem auftritt (52). Der Nutzen einer Kraniektomie beim schweren SHT wurde im Rahmen zweier randomisierter, kontrollierter Studien untersucht. In der DECRA-Studie erhielt die Interventionsgruppe innerhalb von 72 Stunden nach dem Trauma eine frühe, bifrontale dekompresive Kraniektomie, während die Kontrollgruppe konservativ behandelt wurde. Dabei wurde festgestellt, dass der ICP durch den chirurgischen Eingriff effektiv gesenkt und die Verweildauer auf der Intensivstation verkürzt werden konnte. Eine frühe Kraniektomie bei therapierefraktär erhöhtem Hirndruck führte dennoch zu keiner Reduktion der Mortalität und sogar zu einem schlechteren neurologischen Outcome (53). Die RESCUEicp-Studie wies einen ähnlichen Studienaufbau auf, untersuchte jedoch den Nutzen einer späten Kraniektomie bei refraktärer intrakranieller Hypertonie. Sie kam zu dem Ergebnis, dass die Mortalität im Vergleich zur Kontrollgruppe nach 6 Monaten signifikant gesenkt werden konnte. Allerdings überlebten mehr Patient\*innen im vegetativen Status oder mit schwerer neurologischer Beeinträchtigung (54). Die aktualisierte Leitlinie der BTF empfiehlt auf Basis der Ergebnisse dieser beiden Studien die

Durchführung einer sekundären Kraniektomie bei später refraktärer intrakranieller Hypertonie, um die Mortalität zu senken sowie den Hirndruck und die Verweildauer auf der Intensivstation zu reduzieren. Zusätzlich wird eine große frontotemporoparietale Kraniektomie von zumindest 12 x 15 cm empfohlen, da diese im Vergleich zu kleineren Eingriffen die Mortalität und das neurologische Outcome verbessert (55).

## **1.8 Glasgow Outcome Scale (GOS)**

Der GOS ist ein klinisches Instrument zur objektiven Einschätzung des Behandlungsergebnisses nach einem Schädel-Hirn-Trauma und wird unter anderem aufgrund seiner einfachen Anwendung seit 1975 angewendet. Zudem hilft er den Langzeitverlauf sowie die Wiedereingliederung in den Beruf und Alltag vorherzusagen (56). Die Einteilung erfolgt dabei anhand von fünf Kategorien entsprechend des neurologischen Zustands. Die erste Kategorie entspricht dem Tod des Patienten infolge der ursprünglichen Verletzung. Die zweite Kategorie beschreibt einen persistierenden vegetativen Zustand. Die dritte Kategorie umfasst eine schwere Behinderung, bei der die Betroffenen auf Unterstützung im Alltag angewiesen sind. In der vierten Kategorie befinden sich Patient\*innen mit mäßiger Behinderung, die zwar weitgehend selbstständig leben, aber keiner regulären Berufstätigkeit mehr nachgehen können. In der fünften Kategorie haben sich die Betroffenen gut erholt und weisen keine oder nur leichtgradige Behinderungen auf (57). Trotz der weitverbreiteten Anwendung kann es durch die subjektive Einschätzung zu einer falschen Klassifizierung kommen, wodurch das Behandlungsergebnis verzerrt werden kann. So werden Patient\*innen in bessere oder schlechtere Outcome-Kategorien eingestuft, als es ihrem tatsächlichen Zustand entspricht (58). Zur Verbesserung der Sensitivität wurde mittlerweile der erweiterte GOS (GOSE) als achtstufiges Bewertungsinstrument entwickelt, das eine differenzierte Beurteilung ermöglicht (59). Aufgrund des retrospektiven Charakters und der nur begrenzt vorhandenen Rehabilitationsdaten der Patient\*innen wurde in dieser Arbeit dennoch auf die ursprüngliche Outcome-Skala zur Darstellung des Behandlungsergebnisses zurückgegriffen.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive, deskriptive Studie. Dabei wird anhand von zwei Datensätzen ein Überblick über schwere Schädel-Hirn-Traumata infolge von Bergsportunfällen in der Steiermark in einem definierten Zeitraum vermittelt. Die Datensätze und deren Aufarbeitung werden in den kommenden Abschnitten schrittweise präsentiert. Zunächst erfolgt anhand eines nicht-klinischen Datensatzes die epidemiologische Darstellung des Themas in der Steiermark. Dabei werden neben der Gesamthäufigkeit unter anderem demografische Merkmale, sicherheitstechnische Aspekte wie die Verwendung eines Helms, die Transportart sowie Verletzungsmechanismen erläutert. Im zweiten Abschnitt wird das schwere Schädel-Hirn-Trauma anhand von klinischen Daten präsentiert. Der Schwerpunkt liegt allerdings auf der Darstellung der Verletzungsmuster, der therapeutischen Methoden sowie des Outcomes. Der Mehrwert dieser Arbeit liegt in der umfassenden Aufarbeitung der klinischen Daten von Patient\*innen, die im Rahmen eines Bergsportunfalls ein schweres Schädel-Hirn-Trauma erlitten haben. Daneben werden die epidemiologischen Aspekte dieser Thematik in Bezug auf die Steiermark näher beleuchtet.

### **2.2 Ethikkommission**

Die Auswertung der klinischen Daten umfasst sensible personenbezogene Angaben von Patient\*innen, weshalb im Vorfeld dieser Arbeit ein Antrag bei der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz gestellt wurde. Das Projekt wurde unter der EK-Nummer 36-111 ex 23/24 genehmigt. Es handelt sich um eine rein retrospektive Studie, bei der keine neuen Eingriffe oder Behandlungen an Patient\*innen durchgeführt wurden. Ein physischer Schaden für die Patient\*innen war daher ausgeschlossen.

### **2.3 Verwendete Datensätze**

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden einerseits epidemiologische Daten des Österreichischen Kuratoriums für Alpine Sicherheit (ÖKAS) sowie klinische Daten der Steiermärkischen Krankenanstaltengesellschaft (KAGes) verwendet.

Die Daten wurden getrennt voneinander analysiert, bereinigt und schließlich statistisch ausgewertet. Ursprünglich war vorgesehen, zusätzliche Datensätze der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt (AUVA) der Steiermark sowie der Österreichischen Flugrettung (Christophorus-Flugrettungsverein des ÖAMTC) in diese Arbeit einzubeziehen. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Daten der AUVA für die vorliegende Arbeit nicht geeignet waren und die Daten der ÖAMTC-Flugrettung aufgrund der großen Datenmenge und des sensiblen Charakters nicht zur Verfügung gestellt werden konnten. Ein Vergleich der verwendeten Datensätze war aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht möglich, da die Daten des ÖKAS anonymisiert übermittelt wurden und somit keine eindeutige Zuordnung einzelner Fälle gewährleistet werden konnte. Die statistische Auswertung und Präsentation der Ergebnisse beider Institutionen erfolgte daher getrennt. Die ausgewerteten Daten des ÖKAS bieten einen epidemiologischen Überblick über das Thema, während die Ergebnisse der klinischen Daten Einblicke in die Versorgung und das Ergebnis dieses Verletzungsmusters ermöglichen.

## **2.4 Österreichisches Kuratorium für Alpine Sicherheit (ÖKAS)**

Die Daten des ÖKAS beruhen auf Unfallereignissen der Alpinpolizei. Dabei wurden sämtliche gemeldete Ereignisse im alpinen Gelände dokumentiert, wobei Unfälle mit tödlichem Ausgang lückenlos erfasst wurden. Bei Unfällen auf Schipisten, Schirouten oder Loipen wird nur bei Verdacht auf Fremdverschulden eine Erhebung durch die Alpinpolizei vorgenommen. Für jeden registrierten Unfall wurden Angaben zu Datum, Uhrzeit, Ort, Alter, Geschlecht und Nationalität der betroffenen Personen erfasst. Darüber hinaus umfassen die Datensätze Informationen zur Unfallursache, zur Unfallfolge, zur Art und Lokalisation der Verletzung sowie zur Art der Rettung und Bergung. Zusätzlich wurden kurze Beschreibungen zum Unfallhergang sowie Angaben zu den Witterungsverhältnissen, der Geländesituation und zum möglichen Alkoholkonsum der Beteiligten dokumentiert. Von besonderem Interesse war zudem, ob die Verunfallten einen Helm trugen, da der sicherheitstechnische Nutzen eines Helms in dieser Arbeit statistisch analysiert wurde.

Für den Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2022 wurden die Daten in anonymisierter Form als Excel-Datei zur Verfügung gestellt. Die Bereinigung und

Filterung des Datensatzes erfolgte mittels Microsoft Excel. Der Rohdatensatz umfasste zunächst 13.647 Unfallopfer, die in der Steiermark im genannten Zeitraum verunglückten. Zur Eingrenzung auf Schädelverletzungen wurden die Daten zunächst entsprechend ihrer Verletzungslokalisation nach dem Stichwort „Kopf“ gefiltert. Daraus ergaben sich 1.630 Treffer. Anschließend wurden alle Fälle ausgeschlossen, bei denen die betroffene Person ein Alter von unter 18 Jahren hatte oder der Unfall nicht im Rahmen eines Bergsports auftrat. Ebenso wurde der Datensatz um jene Fälle bereinigt, bei denen die Unfallursache auf Erkrankungen und Wetterphänomene zurückzuführen war. Fehlende Angaben zur Unfallursache wurden anhand der Unfallbeschreibung ergänzt, sofern sie eindeutig daraus zu erheben waren. Nach der Bereinigung verblieben insgesamt 1.192 Fälle. Die statistische Auswertung wurde unter Verwendung von IBM SPSS Statistics und Microsoft Excel durchgeführt.

## **2.5 Steiermärkische Krankenanstaltengesellschaft (KAGes)**

Die Universitätsklinik für Neurochirurgie in Graz stellt die einzige Einrichtung dieser Art in der Steiermark dar, weshalb für die vorliegende Auswertung ausschließlich die dort erhobenen Daten herangezogen wurden. In Anbetracht der geografischen Lage von Graz und der relativ großen Entfernung zu den vorwiegend im Nordwesten des Landes gelegenen Gebirgszügen war davon auszugehen, dass die Fallzahl erwartungsgemäß gering ausfallen würde. Es ist anzunehmen, dass ein Großteil der in den steirischen Gebirgen verunglückten Personen in Krankenhäuser der benachbarten Bundesländer transferiert und dort behandelt wurde. Bislang wurden an der neurochirurgischen Abteilung des LKH Graz keine wissenschaftlichen Arbeiten zu dieser spezifischen Thematik verfasst. Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, diese Thematik erstmals systematisch zu untersuchen und damit eine Grundlage für weitere Forschungsarbeiten zu schaffen. Entsprechend der Einschlusskriterien wurden im klinischen Datensatz ausschließlich Patient\*innen eingeschlossen, die im Zeitraum von 2008 bis 2024 ein schweres Schädel-Hirn-Trauma ( $GCS < 9$ ) erlitten, zum Zeitpunkt des Unfalls mindestens 18 Jahre alt waren und deren Verletzungen in Zusammenhang mit einem Bergsportunfall auftraten. Der GCS wurde entweder im Rahmen der notärztlichen Versorgung festgestellt oder in kurzer Zeit im innerklinischen Setting

aufgrund einer Zustandsverschlechterung erreicht. Außerdem wurden nur Fälle berücksichtigt, die unter notärztlicher Begleitung in das Universitätsklinikum Graz transportiert oder unmittelbar infolge der Basisversorgung aus anderen Krankenhäusern dorthin verlegt wurden. Demgegenüber wurden Fälle mit unklarem Unfallmechanismus, suizidaler Absicht oder Fremdverschulden ausgeschlossen. Die Datenerhebung erfolgte durch das Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation der Medizinischen Universität Graz. Hierfür wurden Freitextfelder in neurochirurgischen Arztbriefen und Operationsberichten systematisch durchsucht. Da die initiale Suchabfrage zu schweren Schädel-Hirn-Traumata im Kontext von Bergsportunfällen keine zufriedenstellende Trefferanzahl ergab, wurde die Suchabfrage auf sämtliche Fälle mit einem SHT unabhängig vom Schweregrad sowie auf das Vorhandensein einer Hirndrucksonde oder Ventrikeldrainage erweitert. Die Daten wurden zunächst nach dem Zeitraum von 2008 bis 2024 gefiltert und anschließend nach den Schlagwörtern „SHT“, „Schädel-Hirn-Trauma“, „Schädelhirntrauma“, „Hirnverletzung“ sowie den ICD-Codes „S02“ und „S06“ durchsucht. Um die Suchergebnisse weiter einzugrenzen, wurde nach verschiedenen Interventionen wie „Drucksonde“, „ICP-Sonde“, „Parenchymsonde“, „Ventrikeldrainage“ sowie nach OPS-Codes „5-029“ und „5-022“ gefiltert. Damit ein Bezug zu Bergsportunfällen hergestellt werden konnte, wurde die Freitextsuche um die Begriffe „wander“, „kletter“, „rodel“, „schlitten“, „ski“, „snowboard“, „berg“, „bob“, „piste“, „downhill“, „mountain“, „bike“, „sessellift“, „gondel“, „trasse“, „schöck“ und „schi“ ergänzt. Die resultierenden Treffer wurden in Form einer Excel-Datei mit drei Tabellenblättern aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Eines davon enthielt alle Fälle, bei denen zumindest ein SHT vorlag, eine Hirndrucksonde bzw. Ventrikeldrainage implantiert wurde oder ein Bezug zu einem Bergsportunfall bestand. Insgesamt wurden dabei 3.788 Treffer gezählt. Durch das Zusammenführen der oben angeführten Suchkriterien ergaben sich insgesamt 37 Fälle, für die sowohl Arztbriefe als auch OP-Berichte vorlagen. Die Dokumente dieser Fälle wurden im klinikinternen Dokumentationssystem „openMEDOCS“ einzeln geprüft. Im Zuge der Durchsicht und Überprüfung wurden insgesamt weitere 17 Fälle ausgeschlossen. Die Gründe hierfür waren ein Alter unter 18 Jahren, das Fehlen eines akuten oder schweren SHT, Mehrfacherfassungen

desselben Falls, die sekundäre Versorgung eines SHT nach Verlegung aus einer anderen Klinik sowie ein fehlender Zusammenhang zwischen dem SHT und dem Bergsportunfall. Schlussendlich verblieben 20 Fälle für die finale Auswertung.

## **3 Ergebnisse mit graphischen Darstellungen**

### **3.1 Epidemiologie in der Steiermark**

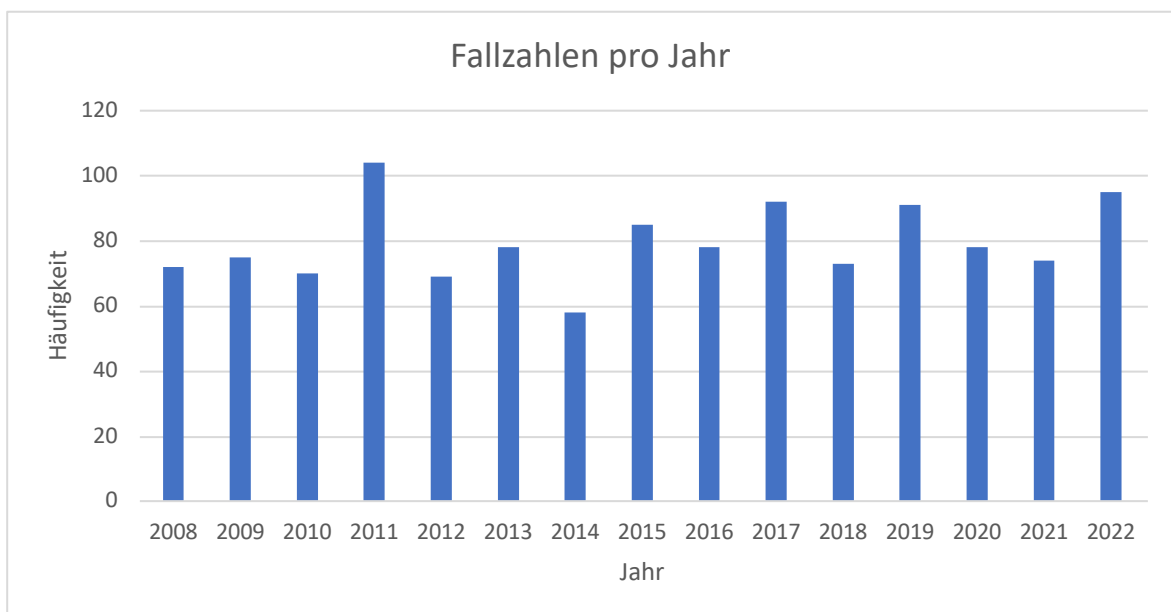
Anhand des Datensatzes des ÖKAS wurde aus den eingeschlossenen Fällen zunächst die Gesamtanzahl der Fälle sowie deren jährliche Verteilung ermittelt. Anschließend wurden die demografischen Merkmale wie Alter, Geschlecht und Nationalität ausgewertet und die Unfallursachen sowie die dabei ausgeübten Bergsportarten dargestellt. Darüber hinaus erfolgte die Darstellung des Rettungsmechanismus. Der Datensatz enthält jedoch keine Informationen darüber, ob und in welche Versorgungseinrichtungen die Patient\*innen transportiert wurden. Die Einstufung des Verletzungsgrads erfolgte durch die Alpinpolizei und wurde in sieben Kategorien vorgenommen, wobei diesbezüglich keine medizinische Klassifikation wie der GCS angewendet wurde. Da die Sicherheit im Bergsport einen zentralen Aspekt darstellt, wurde auch die Verwendung eines Helms erfasst und dessen Einfluss auf die Verletzungsschwere mithilfe eines Chi-Quadrat-Tests analysiert. Abschließend wurde das Risiko für schwere, lebensbedrohliche oder tödliche Verletzungen in Relation zu den unterschiedlichen Bergsportarten gesetzt, um besonders risikoreiche Aktivitäten zu identifizieren.

#### **3.1.1 Fallzahlen und deren jährliche Verteilung**

Nach dem Ausschluss der in Kapitel 2.4 genannten Fälle verblieben für den Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2022 insgesamt 1.192 Unfallopfer. Die jährlichen Fallzahlen variieren zwischen der geringsten Anzahl von 58 Fällen im Jahr 2014 und dem höchsten Wert von 104 Fällen im Jahr 2011. Mit einem Mittelwert von rund 79 Fällen und einem Median von 78 Fällen liegen beide Werte nah aneinander, was auf eine annähernd symmetrische Verteilung über diesen Zeitraum hinweist. Die jährlichen Fallzahlen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Um Entwicklungen über den Beobachtungszeitraum besser sichtbar zu machen, wurde zusätzlich ein Balkendiagramm der jährlichen Fallzahlen erstellt.

**Tabelle 1: Fallzahlen pro Jahr - ÖKAS**

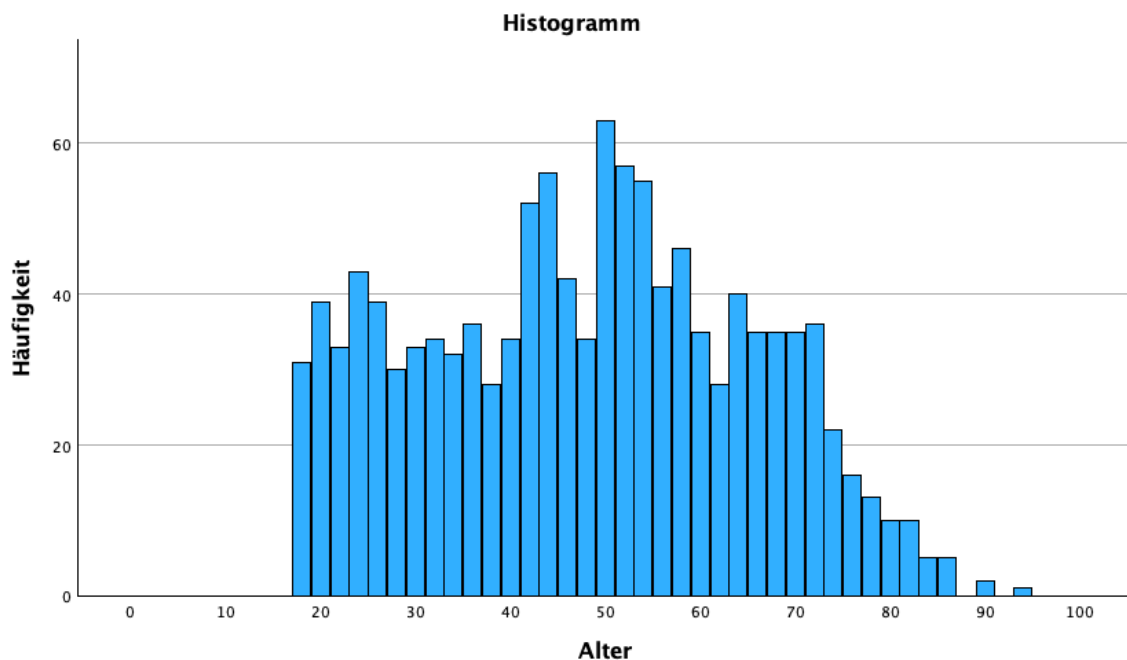
	Häufigkeit	Prozent
2008	72	6,0
2009	75	6,3
2010	70	5,9
2011	104	8,7
2012	69	5,8
2013	78	6,5
2014	58	4,9
2015	85	7,1
2016	78	6,5
2017	92	7,7
2018	73	6,1
2019	91	7,6
2020	78	6,5
2021	74	6,2
2022	95	8,0
Gesamt	1192	100



**Abbildung 1: Fallzahlen pro Jahr - ÖKAS (erstellt mit Microsoft Excel)**

### 3.1.2 Demographische Merkmale

Im Rahmen der Erhebungen durch die Alpinpolizei wurden Informationen zu demografischen Merkmalen wie Alter, Geschlecht und Herkunftsland der verunfallten Personen erhoben. Hinsichtlich der Altersverteilung zeigt sich, dass die jüngste Person ein Alter von 18 Jahren aufweist, während die älteste Person 93 Jahre alt ist. Das Durchschnittsalter beträgt 47 Jahre bei einem Median von 48 Jahren. Insgesamt lagen bei sechs Fällen keine Angaben zum Alter vor, sodass für die Altersverteilung 1.186 Personen berücksichtigt wurden. Die Altersverteilung ist im nachfolgenden Histogramm dargestellt.



**Abbildung 2:** Altersverteilung - ÖKAS (erstellt mit IBM SPSS Statistics)

Das Geschlecht teilt sich in 739 Männer (62,0%) und 450 Frauen (37,8%) auf. Bei drei Fällen wurde das Geschlecht nicht angegeben. Insgesamt stammen die Unfallopfer aller eingeschlossenen Fälle aus 29 unterschiedlichen Nationen, wobei bei neun Personen die Herkunft unbekannt ist. Das häufigste Herkunftsland ist Österreich mit 807 Fällen (67,7%), gefolgt von Deutschland (n = 153; 12,8%), Ungarn (n = 67; 5,6%), der Tschechischen Republik (n = 48; 4,0%), Polen (n = 18;

1,5%), Niederlande (n = 13; 1,1%), Slowenien (n = 13; 1,1%) und der Slowakei (n = 11; 0,9%). In der untenstehenden Tabelle sind alle beteiligten Herkunftsländer sowie deren Häufigkeiten aufgelistet

**Tabelle 2: Nationalitäten - ÖKAS**

	Häufigkeit	Prozent
Österreich	807	67,7
Deutschland	153	12,8
Ungarn	67	5,6
Tschechische Republik	48	4,0
Polen	18	1,5
Niederlande	13	1,1
Slowenien	13	1,1
Slowakei	11	0,9
unbekannt	9	0,8
Belgien	8	0,7
Vereinigtes Königreich	7	0,6
Kroatien	5	0,4
Schweden	5	0,4
Dänemark	4	0,3
Großbritannien	3	0,3
Italien	3	0,3
Bosnien und Herzegowina	2	0,2
China	2	0,2
Rumänien	2	0,2
Russische Föderation	2	0,2
Frankreich	1	0,1
Israel	1	0,1
Kambodscha	1	0,1
Lettland	1	0,1
Litauen	1	0,1
Luxemburg	1	0,1

	Häufigkeit	Prozent
Neuseeland	1	0,1
Schweiz	1	0,1
Ukraine	1	0,1
Vereinigte Staaten von Amerika	1	0,1
Gesamt	1192	100

### 3.1.3 Bergsportarten

Die Erhebung der jeweils ausgeübten Bergsportart erfolgte anhand von Angaben zu Disziplinen und Unterdisziplinen. Zur vereinfachten Darstellung werden diese beiden Kategorien nach Durchsicht der einzelnen Unfallhergänge zusammengefasst. Insgesamt wurden hierzu drei übergeordnete Kategorien erstellt. Die Kategorie „Piste/Schiroute“ umfasst Unfälle, die sich im gesicherten Gelände zugetragen haben und beinhaltet die Sportarten Schifahren und Snowboarden. Zusätzlich wurde eine Unterkategorie für Unfälle ohne Angaben sowie für sonstigen Unfällen erstellt. Aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Klettervarianten wurde die Überkategorie „Klettern“ erstellt. Diese gliedert sich in die Unterkategorien Alpinklettern, Sportklettern, Klettersteig, Bouldern, Klettergarten, Hochseilklettern, Eisklettern und sonstige Kletterarten. Ein analoges Vorgehen erfolgte für Flugunfälle, welche in Paragleiten, Drachenfliegen, Motorgleitschirmfliegen sowie Basejumping unterteilt wurden. Eigenständige Sportarten wurden keiner übergeordneten Kategorie zugeteilt und daher einzeln dargestellt. Dazu gehören Unfälle im Rahmen einer Schitour, beim Variantenfahren, Wandern bzw. Bergsteigen, Mountainbiking, Rodeln, Hochtour, Sommerrodeln, Kajakfahren sowie Langlaufen. Die häufigsten Unfälle im Zusammenhang mit Bergsportaktivitäten traten beim Schifahren (n = 651; 54,6%) auf. Es folgen Unfälle beim Wandern bzw. Bergsteigen (n = 231; 19,4%), Klettern (n = 67; 5,6%), Snowboarden (n = 49; 4,1%), Mountainbiking (n = 48; 4,0%), Schitourengehen (n = 41; 3,4%) und beim Rodeln (n = 40; 3,4%). Zur besseren Veranschaulichung sind die verschiedenen Bergsportarten und deren Häufigkeiten in der folgenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 3: Bergsportarten - ÖKAS**

Bergsportart		Häufigkeit	Prozent
Piste/Schiroute	Schifahren	651	54,6
	Snowboard	49	4,1
	k.A./sonstiges	26	2,2
Schitour		41	3,4
Variante		18	1,5
Wandern/Bergsteigen		231	19,4
Klettern	Alpinklettern	22	1,8
	Sportklettern	18	1,5
	Klettersteig	14	1,2
	Bouldern	7	0,6
	Klettern - sonst.	3	0,3
	Klettergarten	1	0,1
	Hochseilgarten	1	0,1
	Eisklettern	1	0,1
Mountainbiking		48	4,0
Rodeln		40	3,4
Flugsport	Paragleiten	9	0,8
	Drachenflug	4	0,3
	Motorgleitschirm	1	0,1
	Basejumping	1	0,1
Hochtour		2	0,2
Sommerrodeln		2	0,2
Kajak		1	0,1
Langlauf		1	0,1
<b>Gesamt</b>		<b>1192</b>	<b>100</b>

### 3.1.4 Unfallursachen und der Bezug zum Bergsport

Die Erhebung der Unfallursachen erfolgte einheitlich und wurde entsprechend einem standardisierten Schema dokumentiert. Jeder Unfall wurde dabei einer spezifischen Kategorie zugeordnet. Zur besseren Übersicht wurden gemeinsam kategorisierte Unfallursachen wie „Sturz, Stolpern und Ausgleiten“ in der gemeinsamen Kategorie „Sturz“ zusammengefasst. Erfasst wurden somit die Kategorien „Kollision“, „Sturz“, „Aufprall gegen Hindernis“, „Absturz“, „Steinschlag“,

„Lawine“, „Wind“, „Flughindernis“, „Wechtenbruch“, „sonstiges“ und „unbekannt“. Zunächst wurden die Gesamthäufigkeiten der Unfallursachen erhoben, um einen Überblick über die Verteilung der unterschiedlichen Auslöser zu erhalten. Im gesamten eingeschlossenen Kollektiv zeigte sich, dass der überwiegende Anteil der Unfälle auf Kollisionen (n = 648; 54,4%) und Stürze (n = 330; 27,7%) zurückzuführen war. Die übrigen Ursachen wiesen einen Anteil von unter 5% auf.

**Tabelle 4:** Unfallursachen - ÖKAS

Unfallursache	Häufigkeit	Prozent
Kollision	648	54,4
Sturz	330	27,7
Aufprall gegen Hindernis	53	4,4
Absturz	51	4,3
sonstiges	44	3,7
Steinschlag	30	2,5
unbekannt	17	1,4
Lawine	11	0,9
Wind	4	0,3
Flughindernis	2	0,2
Wechtenbruch	2	0,2
Gesamt	1192	100

Da eine alleinige Auswertung der gesamten Unfallursachen bei der Vielzahl an unterschiedlichen Bergsportarten wenig aussagekräftig war, erfolgte eine getrennte Darstellung der jeweiligen Ursachen in Bezug auf die einzelne Sportart. Zur vereinfachten Darstellung wurden die Ursachen „unbekannt“ und „sonstiges“ als gemeinsame Kategorie zusammengefasst. Im weiteren Kontext beziehen sich die absoluten und relativen Häufigkeiten der Unfallursachen jeweils auf die Gesamtanzahl der Unfälle innerhalb der entsprechenden Bergsportart. Beginnend mit der am häufigsten vorkommenden Aktivität, dem Schifahren, stellten Kollisionen mit 570 Fällen (87,6%) die häufigste Unfallursache dar, gefolgt von Stürzen mit 35 Fällen (5,4%) und Aufprall gegen Hindernisse mit insgesamt 30

Fällen (4,6%). Beim Snowboarden zeigten sich ähnliche Ergebnisse, wo ebenfalls Kollisionen mit 42 Fällen (85,7%) am häufigsten anzutreffen waren, während Stürze und Abstürze nur vereinzelt auftraten. In der Kategorie „Wandern/Bergsteigen“ dominierte der Sturz als Hauptunfallursache mit 184 Fällen (79,7%), gefolgt von Abstürzen mit 22 Fällen (9,5%) und Steinschlägen mit 15 Fällen (6,5%). Ähnliche Ergebnisse zeigten sich beim Klettern, wobei hierbei alle vorkommenden Kletterarten gemeinsam betrachtet wurden. Hierbei waren Stürze und Abstürze mit jeweils 19 Fällen (je 28,4%) sowie der Steinschlag mit 14 Fällen (20,9%) die führenden Unfallursachen. Beim Mountainbiking war der Sturz mit 41 Fällen (85,4%) die dominierende Ursache. Das Schitourengehen wies dagegen ein breiteres Ursachenspektrum auf. Hier waren Stürze mit 18 Fällen (43,9%), Lawinen mit 10 Fällen (24,4%) und Abstürze mit 5 Fällen (12,2%) die häufigsten Auslöser. Beim Rodeln dominierten Stürze (n = 17; 42,5%) und Kollisionen (n = 8; 20,0%). In der Kategorie Flugsport standen Flughindernisse (n = 2; 26,7%) und Windbedingungen (n = 4; 13,3%) im Vordergrund, wobei der größte Anteil in die Kategorie „unbekannt/sonstiges“ fiel. Für die Sportarten Hochtouren, Sommerrodeln, Kajak und Langlauf beliefen sich die Unfallursachen auf Stürze, Aufprall gegen Hindernisse und „unbekannt/sonstiges“. Eine detaillierte Darstellung der Verteilungen in absoluten Zahlen befindet sich in der nachfolgenden Abbildung.

**Tabelle 5: Bergsportarten und deren Unfallursachen - ÖKAS**

	Kollision	Sturz	Absturz	Stein- schlag	Aufprall gegen Hindernis	Flug- hindernis	Wechten- bruch	Lawine	Wind	unbekannt sonstiges
Schifahren	570	35	1	0	30	0	0	0	0	15
Snowboard	42	1	1	0	3	0	0	0	0	2
k. A./sonstiges	22	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Schitour	3	18	5	0	3	0	2	10	0	0
Variante	2	11	0	0	4	0	0	0	0	1
Wandern/ Bergsteigen	0	184	22	15	0	0	0	1	0	9
Klettern	0	19	19	14	0	0	0	0	0	15
Mountainbiking	0	41	1	0	2	0	0	0	0	4
Rodeln	8	17	2	0	10	0	0	0	0	3
Flugsport	1	0	0	0	0	2	0	0	4	8
Hochtour	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Sommerrodeln	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Kajak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Langlauf	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>648</b>	<b>330</b>	<b>51</b>	<b>30</b>	<b>53</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>4</b>	<b>61</b>

### 3.1.5 Schweregrad der Verletzung

Die Einstufung des Verletzungsgrads erfolgte durch die Alpinpolizei und umfasste die Kategorien „leicht verletzt“, „schwer verletzt“, „lebensbedrohlich verletzt“, „tot“, „Verletzung unbestimmten Grades“, „unbekannt“ und „unverletzt“. Eine klinische Einteilung nach dem GCS-Schema lag nicht vor, weshalb alle erfassten Schweregrade in der epidemiologischen Auswertung einbezogen wurden. Der einzige Fall mit lebensbedrohlicher Verletzung ereignete sich beim Snowboarden. Entsprechend wurde eine Übersicht über die Häufigkeiten der Verletzungsgrade erstellt, die in der nachstehenden Tabelle aufgelistet sind.

**Tabelle 6:** Verletzungsgrade - ÖKAS

Verletzungsgrad	Häufigkeit	Prozent
leicht verletzt	585	49,1
schwer verletzt	290	24,3
Verletzung unbestimmten Grades	209	17,5
tot	90	7,6
unbekannt	16	1,3
lebensbedrohlich verletzt	1	0,1
unverletzt	1	0,1
Gesamt	1192	100

Um die Häufigkeiten schwerwiegender und tödlicher Verletzungen in den einzelnen Bergsportarten zu veranschaulichen, wurde eine entsprechende Tabelle erstellt. Der einzige Fall mit lebensbedrohlicher Verletzung wurde dabei den schweren Verletzungen zugeordnet, was bei der Interpretation der Summen zu berücksichtigen ist.

**Tabelle 7:** Schwere und tödliche Verletzungen nach Bergsportart - ÖKAS

Bergsportart	Unfall- häufigkeit	Verletzungsgrad			
		schwer verletzt		tot	
		Absolut	Relativ	Absolut	Relativ
Schifahren	651	150	23,0 %	11	1,7 %
Snowboard	49	5	10,2 %	1	2,0 %
Variante	18	7	38,9 %	1	5,6 %
Schitour	41	16	39,0 %	12	29,3 %
Klettern (Gesamt)	67	17	24,4 %	14	20,9 %
• Alpinklettern	22	6	27,3 %	4	18,2 %
• Sportklettern	18	5	27,8 %	2	11,1 %
• Klettersteig	14	5	35,7 %	5	35,7 %
• Klettern - sonst.	3	1	33,3 %	1	33,3 %
• Eisklettern	1	0	0 %	1	100 %
• Klettergarten	1	0	0 %	1	100 %
Wandern/Bergsteigen	231	59	25,5 %	44	19,0 %
Hochtour	2	1	50,0 %	1	50,0 %
Mountainbiking	48	17	35,4 %	2	4,2 %
Rodeln	40	12	30,0 %	1	2,5 %
Paragliding	9	2	22,2 %	2	22,2 %
Drachenflug (Delta)	4	2	50,0 %	0	12,5 %
Basejumping	1	0	0,0 %	1	100 %
Piste/Schiroute k.A./sonstiges	26	3	11,5 %	0	0 %
<b>Gesamt</b>		<b>291</b>	<b>24,4 %</b>	<b>90</b>	<b>7,6 %</b>

In Bezug auf das Wandern wurde außerdem eruiert, ob sich schwere und tödliche Unfälle vorwiegend beim Auf- oder Abstieg ereigneten, was durch die Alpinpolizei in den meisten Fällen dokumentiert wurde. Eine Gegenüberstellung findet sich in der nachstehenden Tabelle.

**Tabelle 8: Betätigung beim Wanderunfall - ÖKAS**

	<b>schwer verletzt</b>	<b>tot</b>	<b>Absolut</b>	<b>Relativ</b>
Abstieg	44	29	73	70,9 %
Aufstieg	10	11	21	20,4 %
k.A./sonstiges/unbekannt	5	4	9	8,7 %
<b>Gesamt</b>	<b>59</b>	<b>44</b>	<b>103</b>	<b>100 %</b>

### 3.1.6 Transportart

Als Nächstes wurden sämtliche Transportverfahren erfasst und hinsichtlich ihrer Häufigkeit dargestellt. Dabei wird im erhobenen Datensatz zwischen den Kategorien „terrestrisch“, „Helikopter“, „terrestrisch und Helikopter“, „keine Rettung“, „unbekannt“ und „sonstiges“ unterschieden. Insgesamt entfielen 603 Fälle (50,6%) auf den bodengebundenen Transport und 282 Fälle (23,7%) auf den Transport mit dem Hubschrauber. Bei 193 Fällen (16,2%) wurde keine Rettung durchgeführt, während bei 102 Fällen (8,6%) die Rettung durch ein kombiniertes Verfahren aus terrestrischer Rettung und dem Hubschrauber erfolgte. Die verbleibenden Fälle wurden als „unbekannt“ oder „sonstiges“ kategorisiert. Eine Übersicht der Transportverfahren ist in der nachstehenden Tabelle zu finden.

**Tabelle 9: Transportart - ÖKAS**

Transportart	Häufigkeit	Prozent
Bodengebunden	603	50,6
Helikopter	282	23,7
keine Rettung	193	16,2
Bodengebunden + Helikopter	102	8,6
unbekannt	10	0,8
sonstiges	2	0,2
<b>Gesamt</b>	<b>1192</b>	<b>100</b>

Eine weitere Überlegung war die Darstellung der Transportart bei Schwerverletzten. In der folgenden Tabelle ist dieser Verletzungsgrad mit den jeweiligen Transportarten gegenübergestellt.

**Tabelle 10:** Transportart bei Schwerverletzten - ÖKAS

Transportart	schwer verletzt	
	Absolut	Relativ
Bodengebunden	125	43 %
Bodengebunden + Helikopter	45	15,5 %
Helikopter	104	35,7 %
keine Rettung	16	5,5 %
unbekannt	1	0,3 %
Gesamt	291	100 %

### 3.1.7 Verwendung eines Helms

Die Alpinpolizei dokumentierte im Rahmen der Erhebungen, ob die betroffenen Personen einen Helm trugen oder nicht. Lag keine Information hierzu vor, wurde dies mit „keine Angabe“ vermerkt. In der eingeschlossenen Population trugen 656 Personen einen Helm, was einem Anteil von 55% entspricht. Demgegenüber trugen 247 Verunfallte keinen Helm (20,7%), während bei 289 Fällen (24,3%) keine Angaben zur Helmnutzung vorlagen.

**Tabelle 11:** Verwendung eines Helms - ÖKAS

Helm	Häufigkeit	Prozent
ja	656	55,0
nein	247	20,7
k. A.	289	24,3
Gesamt	1192	100

Eine weitere Fragestellung dieser Arbeit war, welchen Einfluss die Verwendung eines Helms auf den Schweregrad der Verletzung hat. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde im Rahmen der statistischen Auswertung ein Chi-Quadrat-Test

durchgeführt. Dabei wurden Fälle mit leichter, schwerer, lebensbedrohlicher und tödlicher Verletzung sowie unverletzte Personen hinsichtlich des Helmgebrauchs miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurde eine Kreuztabelle erstellt, welche die Verteilung der Helmnutzung in Abhängigkeit vom Verletzungsgrad darstellt. Fälle, bei denen keine Angaben zum Helmgebrauch vorlagen oder bei denen der Schweregrad als „Verletzung unbestimmten Grades“ oder „unbekannt“ angegeben wurde, wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt. Nach Anwendung dieser Kriterien verblieben insgesamt 741 Unfallopfer. Der einzige Fall mit lebensbedrohlicher Verletzung wurde zur vereinfachten Darstellung der Kategorie der schwer Verletzten zugeordnet. Eine Übersicht dieser Gegenüberstellung befindet sich in der folgenden Kreuztabelle.

**Table 12:** Vergleich zwischen Verletzungsgrad und Helmgebrauch - ÖKAS

		Verletzungsgrad				Gesamt
		leicht verletzt	schwer verletzt	tot	unverletzt	
Helm	ja	350	153	21	0	<b>524</b>
	nein	131	62	23	1	<b>217</b>
<b>Gesamt</b>		<b>481</b>	<b>215</b>	<b>44</b>	<b>1</b>	<b>741</b>

Der durchgeführte Chi-Quadrat-Test ergab einen Wert von  $p = 0,002$ . Damit zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Verletzungsschwere und dem Tragen eines Helms. Der Anteil von leichten Verletzungen war unter den Helmträgern höher (66,8%) als unter den Nicht-Helmträgern (60,4%). Hinsichtlich der schweren Verletzungen weisen beide Gruppen ähnliche Ergebnisse (29,2% der Helmträger und 28,6% der Nicht-Helmträger) auf. Allerdings konnte festgestellt werden, dass der Anteil der tödlich Verunglückten in der Helmgruppe deutlich geringer war (4,0%) als in der Gruppe ohne Helm (10,6%).

## **3.2 Klinische Statistik**

Anhand der klinischen Daten soll ein Verständnis dafür geschaffen werden, wie viele Personen mit schweren Kopfverletzungen infolge eines Bergsportunfalls an der Universitätsklinik für Neurochirurgie in Graz versorgt wurden, welche Verletzungsmuster die Patient\*innen aufwiesen und welche therapeutischen Verfahren dabei zur Anwendung kamen. Analog zu den Daten des ÖKAS erfolgte eine Erhebung der demografischen Merkmale, der ausgeübten Bergsportarten sowie der dabei aufgetretenen Unfallursachen. Darüber hinaus wird kurz auf die Helmverwendung und die unterschiedlichen Transportarten eingegangen. Zur Veranschaulichung wurde die Liegedauer der Unfallopfer auf der Intensivstation ermittelt, um diese in der anschließenden Diskussion mit Ergebnissen anderer wissenschaftlicher Arbeiten vergleichen zu können. Die vorliegende Untersuchung zielte außerdem darauf ab, die bei derartigen Unfällen am und im Schädel aufgetretenen Verletzungsmuster zu ermitteln. Abschließend wird das klinische Outcome der Verunfallten anhand der Glasgow Outcome Scale (GOS) präsentiert. Mithilfe dieser Analyse soll ein Überblick über die Behandlungsmethoden, Verletzungsmuster und Folgen eines schweren Schädel-Hirn-Traumas infolge eines Bergsportunfalls vermittelt werden.

### **3.2.1 Häufigkeiten des schweren Schädel-Hirn-Trauma**

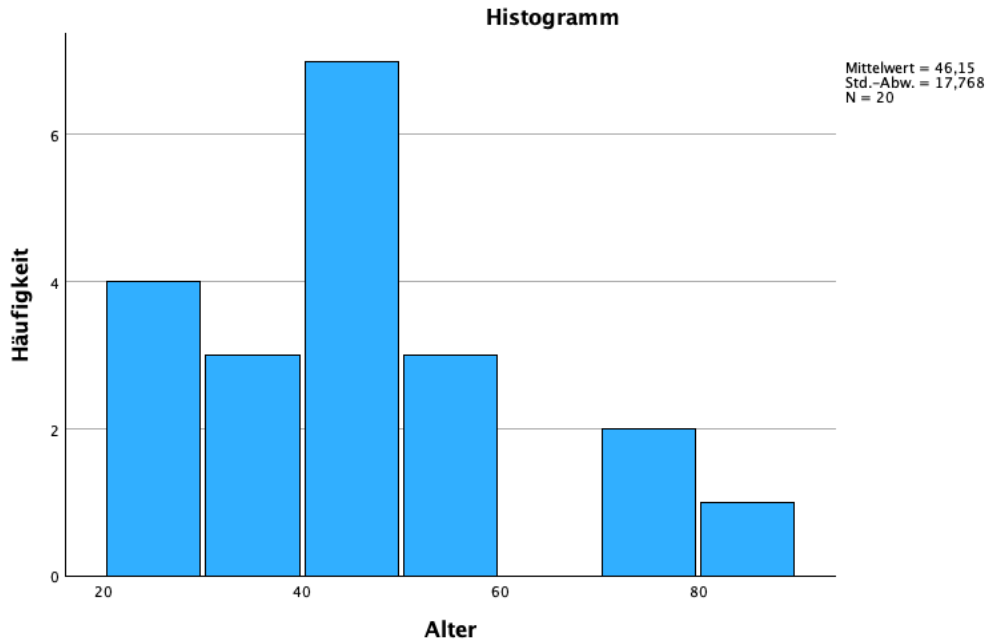
Im Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2024 wurden entsprechend der Einschlusskriterien insgesamt 20 Patient\*innen mit einem schweren SHT durch einen Unfall beim Bergsport im LKH Graz versorgt. In den Jahren 2008 und 2021 wurden mit jeweils 3 Fällen die höchsten Fallzahlen dokumentiert, wobei in fünf Jahren keine Fälle zu dieser Thematik erhoben werden konnten. Die jährliche Verteilung mit ihren absoluten und relativen Häufigkeiten wurde in einer Tabelle zusammengefasst.

**Tabelle 13:** Fallzahlen pro Jahr - KAGes

Jahr	Häufigkeit	Prozent
2008	3	15
2009	1	5
2010	2	10
2011	0	0
2012	2	10
2013	0	0
2014	0	0
2015	2	10
2016	0	0
2017	1	5
2018	2	10
2019	1	5
2020	1	5
2021	3	15
2022	1	5
2023	0	0
2024	1	5
Gesamt	20	100

### 3.2.2 Demographische Merkmale

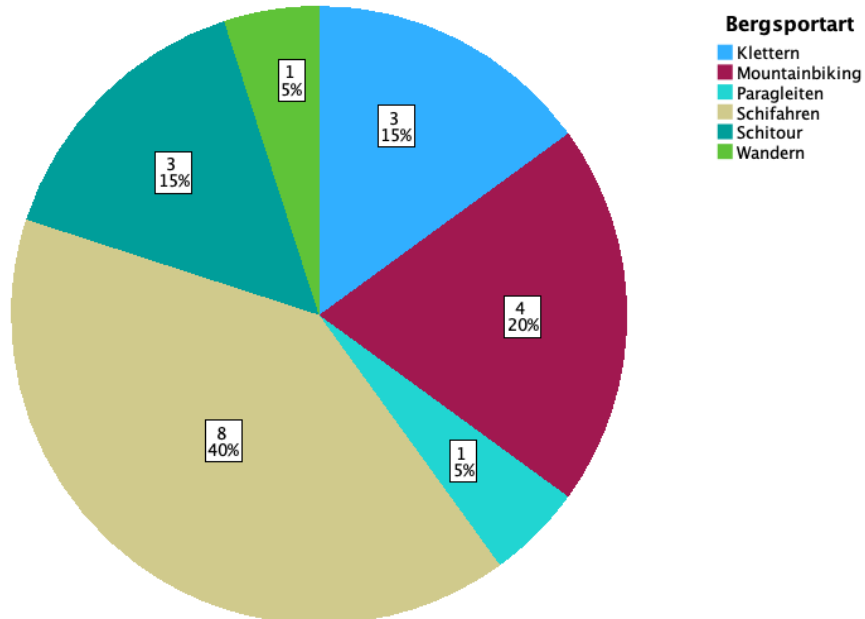
In der Gesamtpopulation liegt das Alter zwischen 21 und 83 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 46 Jahren. Der Median liegt bei 44 Jahren. Demnach zeigt sich, dass die Mehrzahl der Betroffenen im mittleren Erwachsenenalter liegt. Das nachstehende Histogramm verdeutlicht eine Häufung der Fälle im Altersbereich von 40 bis 50 Jahren. Bezüglich des Geschlechts sind 85% der Verunfallten männlich (n = 17) und 15% weiblich (n = 3). Alle Unfallopfer sind österreichische Staatsbürger.



**Abbildung 3:** Altersverteilung - KAGes (erstellt mit IBM SPSS Statistics)

### 3.2.3 Art des Bergsports und deren Unfallmechanismen

Bei den betriebenen Bergsportarten dominiert das Schifahren mit 8 Fällen, gefolgt von Mountainbiking (n = 4), Schitourengehen (n = 3) und Klettern (n = 3). Paragleiten und Wandern sind jeweils mit nur einem Fall vertreten. Die Verteilungen sind im folgenden Kreisdiagramm dargestellt.



**Abbildung 4:** Bergsportarten - KAGes (erstellt mit IBM SPSS Statistics)

Analog zu den Daten des ÖKAS wurden auch in dieser Erhebung die Unfallursachen nach denselben Kategorien eingeteilt. Führender Auslöser ist die Kollision mit 7 Fällen, gefolgt von Abstürzen (n = 6), Stürzen (n = 5) und Steinschlägen (n = 2). Es wurden unterschiedliche Unfallmechanismen mit der jeweiligen Bergsportart in Beziehung gesetzt. Beim Schifahren sind vier Unfälle auf eine Kollision, drei Fälle auf einen Sturz und ein Fall auf einen Absturz zurückzuführen. Beim Mountainbiking sind jeweils zwei Unfälle infolge einer Kollision oder eines Sturzes aufgetreten. Beim Klettern traten zwei Unfälle durch einen Absturz und ein Ereignis durch einen Steinschlag auf, während beim Schitourengehen alle Unfälle durch einen Absturz verursacht wurden. Beim Wandern hat der Steinschlag und beim Paragleiten die Kollision zum Unfall geführt. Im Folgenden findet sich eine Tabelle zu den Unfallursachen.

**Tabelle 14:** Unfallursachen - KAGes

	Häufigkeit	Prozent
Absturz	6	30
Kollision	7	35
Steinschlag	2	10
Sturz	5	25
Gesamt	20	100

Zur Gegenüberstellung der Bergsportdisziplinen und ihren Unfallursachen wurde die nachfolgende Tabelle erstellt.

**Tabelle 15:** Bergsportarten und deren Unfallursachen - KAGes

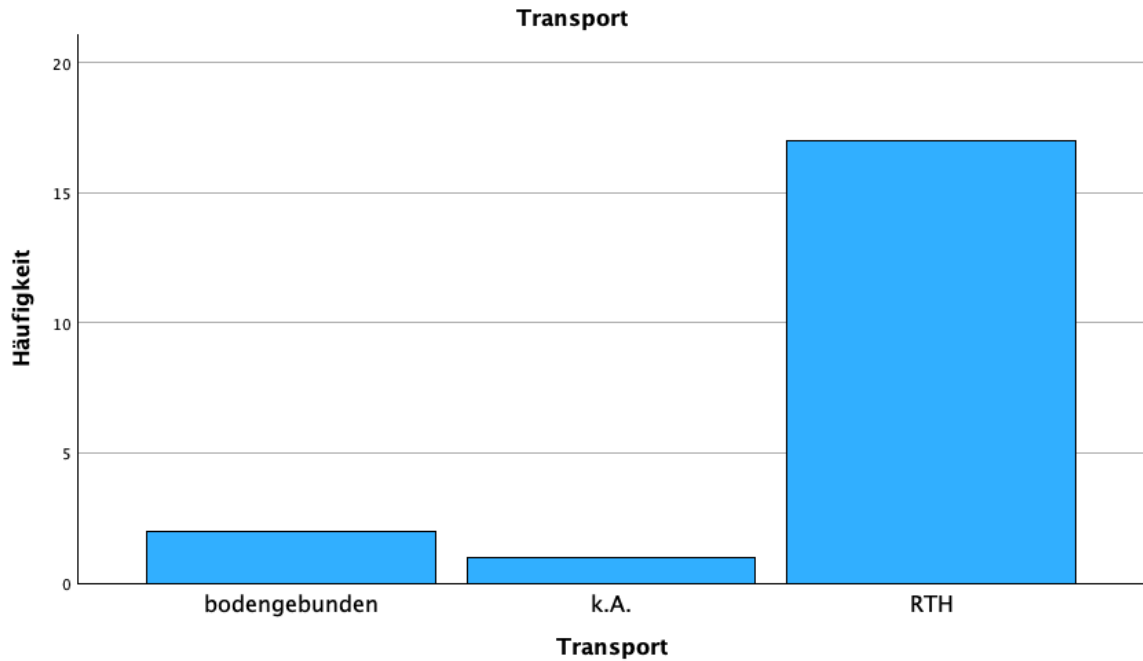
	<b>Kollision</b>	<b>Sturz</b>	<b>Absturz</b>	<b>Steinschlag</b>	<b>Gesamt</b>
Schifahren	4	3	1	0	<b>8</b>
Schitour	0	0	3	0	<b>3</b>
Mountainbiking	2	2	0	0	<b>4</b>
Klettern	0	0	2	1	<b>3</b>
Paragleiten	1	0	0	0	<b>1</b>
Wandern	0	0	0	1	<b>1</b>
<b>Gesamt</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>20</b>

### **3.2.4 Verwendung eines Helms**

Die Arztbriefe und Dekurse wurden daraufhin untersucht, ob zum Unfallzeitpunkt ein Helm getragen wurde oder nicht. Dabei fanden sich nur bei der Hälfte aller Fälle entsprechende Angaben, wovon 6 Personen einen Helm trugen und 4 Personen nicht.

### **3.2.5 Transportart**

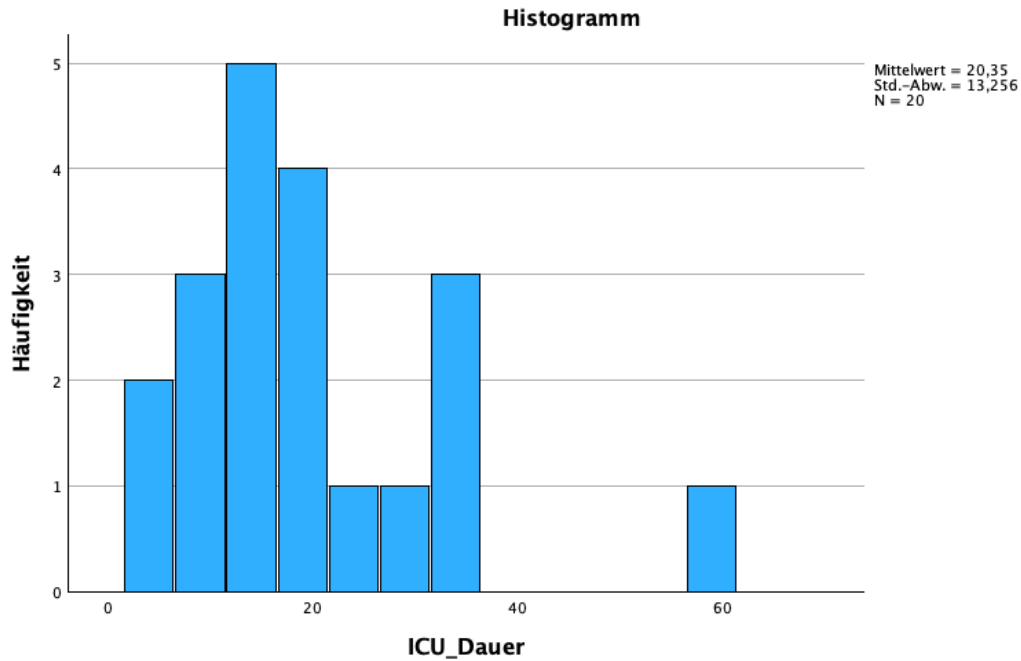
Die Analyse der Daten umfasste auch die Art des Transports in das LKH Graz. In 17 Fällen (85%) erfolgte der Transport mittels Rettungshubschrauber (RTH), während zwei Verunfallte (10%) mittels bodengebundenem Rettungstransport und Notarztbegleitung in die Klinik transferiert wurden. In einem Fall fehlte die Angabe zur Transportart.



**Abbildung 5:** Transportart - KAGes (erstellt mit IBM SPSS Statistics)

### 3.2.6 Aufenthaltsdauer an der Intensivstation

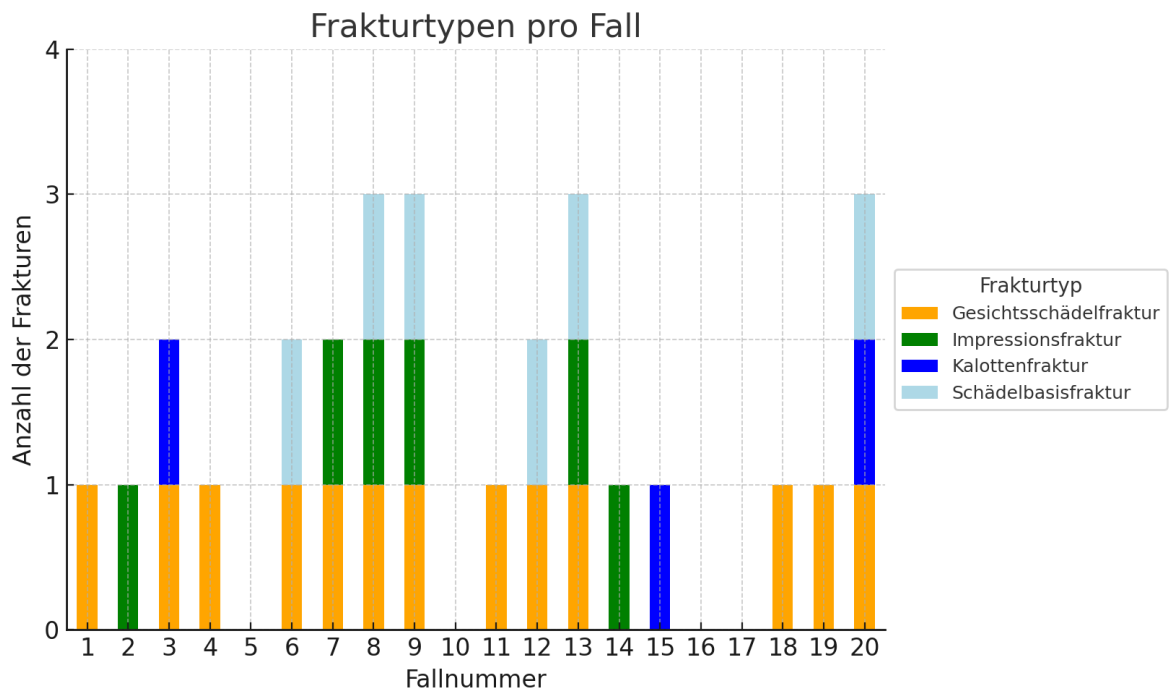
In diesem Abschnitt wurde die Aufenthaltsdauer der Patient\*innen auf der Intensivstation anhand einer systematischen Durchsicht der Intensivdekurse und Arztbriefe ermittelt. Die Spannweite reichte von 4 bis 61 Tagen bei einer durchschnittlichen Verweildauer von 20,4 Tagen und einer Standardabweichung von 13,3 Tagen. Der Median von 17,5 Tagen deutet auf eine asymmetrische Verteilung hin. Zur Überprüfung der Verteilung wurde ein Shapiro-Wilk-Test durchgeführt, der eine Signifikanz von  $p = 0,015$  ergab. Demnach kann nicht von einer Normalverteilung der Werte ausgegangen werden. Dies zeigt sich auch im dargestellten Histogramm. Die Mehrheit der Patient\*innen wies eine Liegedauer von 8 bis 21 Tagen auf. Ein Ausreißer mit einer Verweildauer von 61 Tagen trug maßgeblich zum verlängerten Mittelwert bei. Nach der intensivmedizinischen Versorgung wurden die Patient\*innen entweder auf die Normalstation verlegt, in eine Rehabilitationseinrichtung überführt oder sie verstarben infolge ihrer Verletzungen.



**Abbildung 6:** Liegedauer auf Intensivstation (erstellt mit IBM SPSS Statistics)

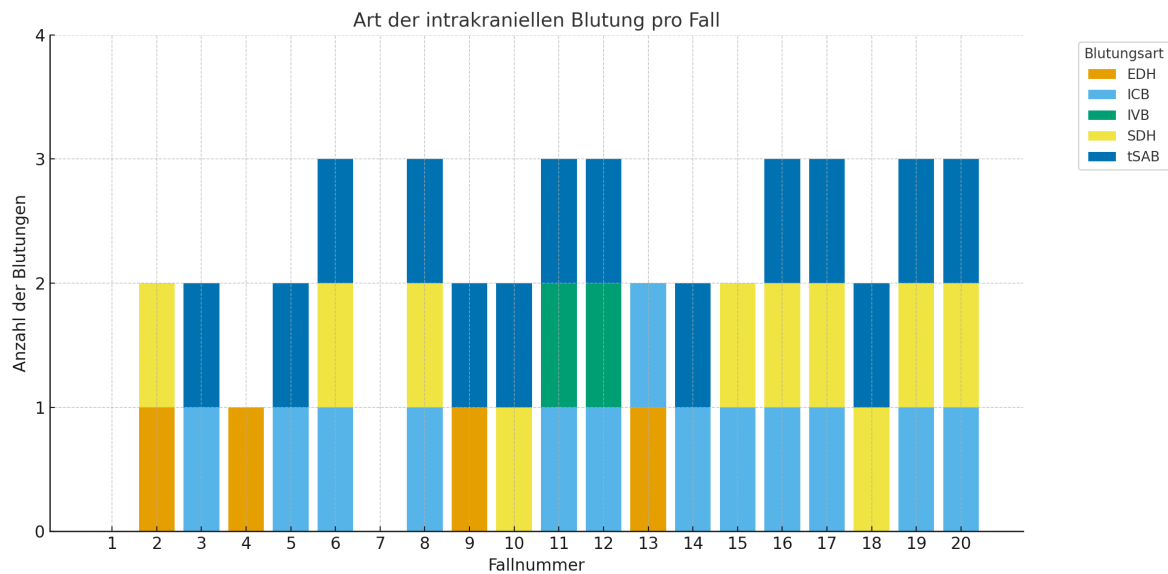
### 3.2.7 Verletzungsmuster

Ein zentraler Aspekt dieser Arbeit ist die Darstellung der typischen Verletzungsmuster schwerer Schädel-Hirn-Traumata, die bei Bergsportunfällen auftraten. Hierzu wurden die Bildgebungsbefunde der initial durchgeführten Computertomografie sowie die endgültigen Diagnosen ausgewertet. Zunächst erfolgte die Erfassung der unterschiedlichen Frakturtypen. Zur besseren Übersicht wurden diese in die Kategorien Gesichtsschädelfraktur, Impressionsfraktur, Kalottenfraktur und Schädelbasisfraktur eingeteilt. Insgesamt wurde bei 16 Patient\*innen eine Schädelfraktur nachgewiesen. Am häufigsten traten mit 13 Fällen Frakturen des Gesichtsschädels auf. Schädelbasisfrakturen und Impressionsfrakturen wurden in jeweils 6 Fällen und Kalottenfrakturen in 3 Fällen nachgewiesen. Bei 4 Verunfallten lagen jeweils drei Frakturtypen gleichzeitig vor. Das folgende Diagramm veranschaulicht die Frakturtypen pro Fall.



**Abbildung 7:** Frakturtypen (erstellt mit openAI ChatGPT 5.0)

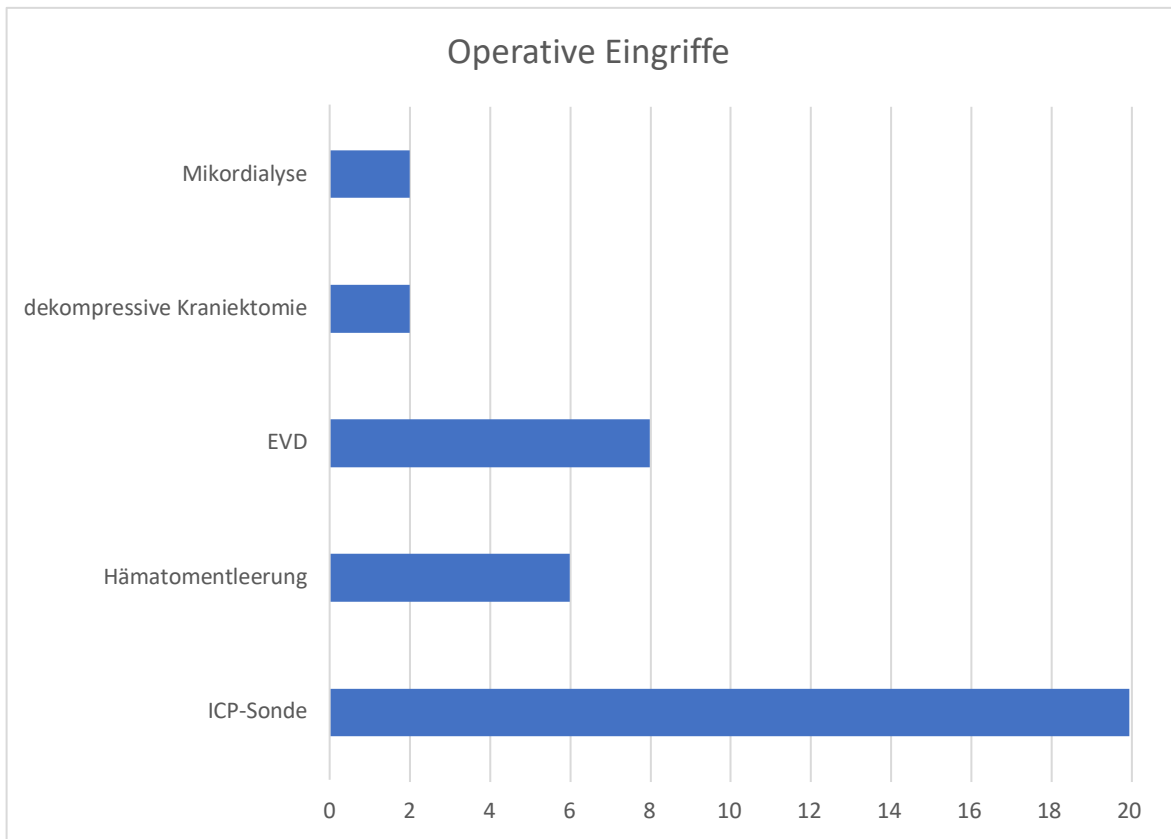
Anschließend wurde nach demselben Schema untersucht, ob intrakranielle Blutungen vorlagen. Dabei wurde zwischen Epiduralhämatom (EDH), Subduralhämatom (SDH), intrazerebrale Blutung (ICB), intraventrikuläre Blutung (IVB) und traumatische Subarachnoidalblutung (tSAB) unterschieden. Bei 18 Patient\*innen konnte in der Bildgebung mindestens eine Blutungsform nachgewiesen werden. In 17 Fällen traten mehrere Formen intrakranieller Blutungen gleichzeitig auf. Eine traumatische Subarachnoidalblutung wurde bei 14 Personen nachgewiesen und in 13 Fällen zeigte sich eine intrazerebrale Blutung. Ein Subduralhämatom trat bei 10 Patient\*innen auf, ein Epiduralhämatom bei 4 Personen sowie eine intraventrikuläre Blutung bei 2 Verunfallten. Die Verteilung der Blutungsformen pro Fall ist in der folgenden Abbildung veranschaulicht.



**Abbildung 8:** Intrakranielle Blutungsformen (erstellt mit openAI ChatGPT 5.0)

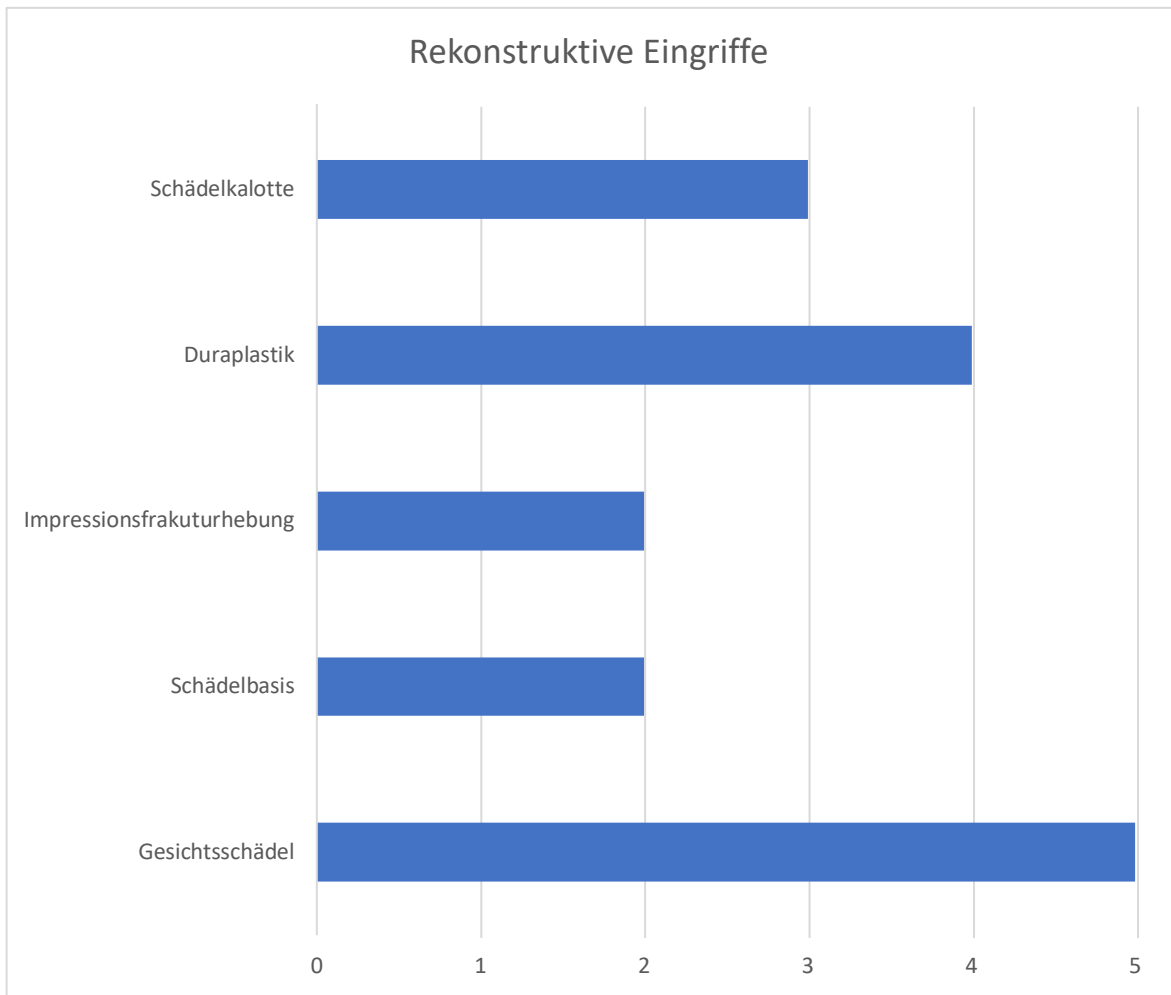
### 3.2.8 Primäre operative Eingriffe und Rekonstruktion

Zunächst wurden die neurochirurgischen Eingriffe basierend auf den Operationsberichten der einzelnen Fälle analysiert und in fünf Kategorien zusammengefasst. In sämtlichen 20 eingeschlossenen Fällen erfolgte die Implantation einer ICP-Sonde, wovon bei 8 Personen zusätzlich eine Externe Ventrikeldrainage (EVD) eingebracht wurde. Bei 2 Patient\*innen wurde eine dekompressive Kraniektomie durchgeführt, wobei in ebenso 2 Fällen eine Mikrodialyse erfolgte. Bei 6 Verunfallten erfolgte die Entleerung von intrakraniellen Hämatomen. Im folgenden Diagramm sind die Häufigkeiten der einzelnen Interventionen dargestellt.



**Abbildung 9:** Operative Eingriffe (erstellt mit Microsoft Excel)

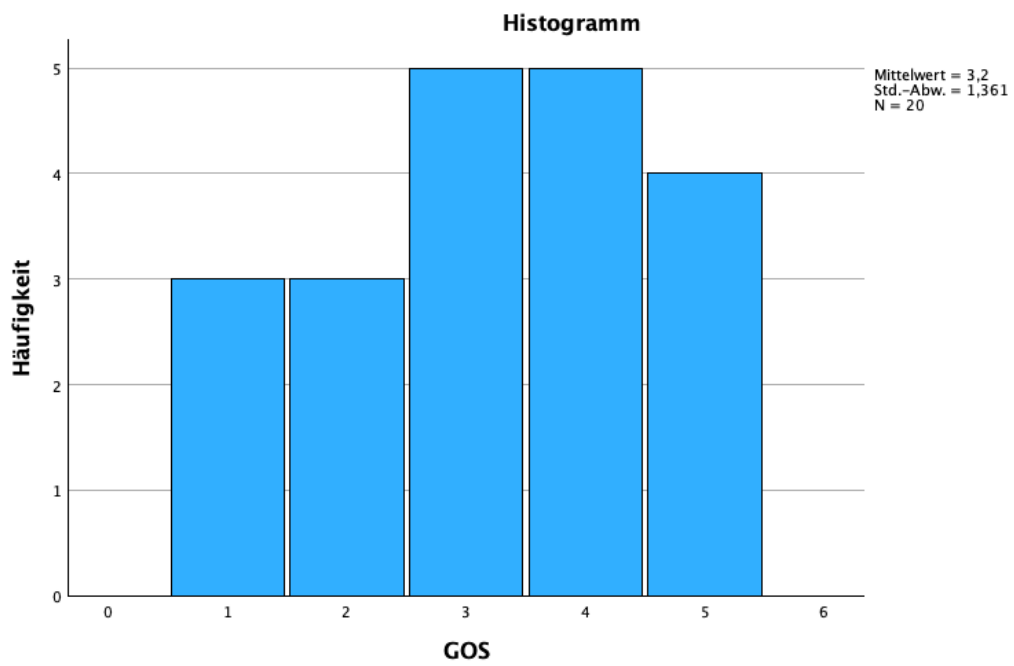
In Zusammenarbeit mit den Abteilungen für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, HNO, Unfallchirurgie und Plastische Chirurgie wurden rekonstruktive Eingriffe an Patient\*innen durchgeführt und in Form von Operationsberichten dokumentiert. Nach Durchsicht dieser Berichte und anschließender Datensammlung wurden die Operationen in fünf Kategorien eingeteilt und entsprechend ihrer Häufigkeit dargestellt. Etwaige Wundversorgungen am Kopf wurden dabei nicht gesondert hervorgehoben. Insgesamt wurde in 8 Fällen zumindest ein rekonstruktiver Eingriff durchgeführt. Am häufigsten erfolgten dabei Operationen im Gesichtsbereich (n = 5), wobei es sich hierbei vorwiegend um Frakturversorgungen handelte. In 4 Fällen erfolgte die Behandlung einer Duraläsion durch eine Duraplastik, während bei 3 Patient\*innen eine Fraktur der Schädelkalotte versorgt wurde. In jeweils 2 Fällen erfolgte die Hebung einer Impressionsfraktur sowie die Rekonstruktion der Schädelbasis. Die Häufigkeiten der rekonstruktiven Eingriffe sind im folgenden Querbalkendiagramm abgebildet.



**Abbildung 10:** Rekonstruktive Eingriffe (erstellt mit Microsoft Excel)

### 3.2.9 Outcome

Um die Folgen des schweren Schädel-Hirn-Traumas zu erfassen, wurde der Entlassungszustand anhand von Berichten der Rehabilitationsanstalten ermittelt. Sofern diese nicht vorlagen, erfolgte die Einschätzung auf Grundlage der Arztbriefe und Dekurse. Zur Erfassung des funktionellen Ergebnisses nach der klinischen Versorgung wurde die Glasgow Outcome Scale (GOS) herangezogen. Die Zuordnung der GOS-Werte erfolgte in jedem einzelnen Fall durch eine objektive Einschätzung. Ein GOS-Wert von 4 oder niedriger deutet auf eine lebenseinschränkende Behinderung hin, weshalb davon auszugehen ist, dass Bergsportaktivitäten nicht mehr im bisherigen Ausmaß ausgeübt werden können. Das durchschnittliche Outcome lag bei 3,2. Der Median beträgt 3 bei einer Standardabweichung von 1,4. Im folgenden Histogramm sind die Häufigkeiten sowie deren Verteilung dargestellt.



**Abbildung 11:** Glasgow Outcome Scale (erstellt mit IBM SPSS Statistics)

## 4 Diskussion

### 4.1 Epidemiologische Ergebnisse

Die Erhebung und statistische Analyse der Daten des ÖKAS zielte auf eine epidemiologische Ausarbeitung des Themas in Bezug auf die Steiermark ab. Aufgrund des relativ großen Gesamtkollektivs von 1.192 eingeschlossenen Fällen und der genauen Unfalldokumentation durch die Alpinpolizei war davon auszugehen, dass die Ergebnisse aussagekräftig sein würden.

Hinsichtlich der Häufigkeitsverteilung zeigt sich, dass im Untersuchungszeitraum von 2008 bis 2022 kein eindeutiger Auf- oder Abwärtstrend von Bergsportunfällen mit der Folge einer Schädelverletzung vorliegt. Der leichte Anstieg der Unfallzahlen im Jahr 2022 könnte sich mit den pandemiebedingten Ausgangsbeschränkungen des Vorjahres erklären lassen. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Bevölkerungszahl von 1,2 Millionen Einwohnern in der Steiermark ergibt sich für den untersuchten Zeitraum von 15 Jahren eine jährliche Inzidenz von rund 6,6 Unfallopfern mit Kopfverletzungen pro 100.000 Einwohner im Zusammenhang mit Bergsportunfällen. Vergleicht man die Gesamtanzahl der im ÖKAS-Datensatz erfassten Unfallopfer ( $n = 13.647$ ) mit der Fallzahl der eingeschlossenen Fälle ( $n = 1.192$ ), so zeigt sich, dass lediglich 8,7% aller dokumentierten Verunfallten eine Kopfverletzung erlitten.

Die Altersverteilung zeigt ein breites Spektrum mit einer nahezu normalverteilten Struktur bei einem Durchschnittsalter von 47 Jahren. Auffallend ist der überwiegende Anteil im mittleren Erwachsenenalter, insbesondere in der Altersgruppe zwischen 45 und 55 Jahren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass Personen in dieser Lebensphase häufig über größere finanzielle Mittel verfügen und somit einen besseren Zugang zu den zahlreichen Bergsportarten haben. Für viele Bergsportaktivitäten ist eine umfangreiche und kostenintensive Ausrüstung erforderlich. Besonders hervorzuheben ist hierbei der Schisport, bei dem neben den Anschaffungskosten für eine adäquate Ausrüstung auch Kosten für den Schipass anfallen. Die Gesamtkosten pro Saison können sich dabei auf über tausend Euro belaufen, was womöglich für Personen mit höherem Einkommen oder längerer Berufstätigkeit zugänglicher wird. Darüber hinaus lässt

sich ein zweiter, jedoch kleinerer Häufigkeitsgipfel bei den Mitte 20-Jährigen erkennen. Mögliche Gründe hierfür können eine überhöhte Selbsteinschätzung, weniger Erfahrung hinsichtlich alpiner Gefahren oder eine Präferenz für risikoreichere Sportarten sein. Ab dem 70. Lebensjahr nimmt die Häufigkeit der Unfälle kontinuierlich ab, was vermutlich auf eine reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit und ein abnehmendes Reaktionsvermögen zurückzuführen ist.

In der Geschlechterverteilung sind rund zwei Drittel der Verunfallten männlich und ein Drittel weiblich. Männer sind somit fast doppelt so häufig an derartigen Unfällen beteiligt. In einer Analyse aus der Schweiz untersuchten Gassner et al. unter anderem demografische Merkmale von Sturzgeschehen im hochalpinen Raum und stellten dabei fest, dass 76% der Betroffenen männlich und 24% weiblich waren (60). Ein ähnliches Ergebnis zeigte Faulhaber et al. in einer retrospektiven Studie aus Österreich. Gleichzeitig konnte festgestellt werden, dass Männer durch Stürze beim Bergwandern ein deutlich höheres Risiko für tödliche Verletzungen aufweisen, während Frauen etwas häufiger von nicht tödlichen Unfällen betroffen sind (61). Ebenso treten Unfälle mit schwerer und tödlicher Verletzungsfolge beim Snowboarden bei Männern häufiger auf (62). Ein Grund für diesen männlichen Überhang könnte die höhere Risikobereitschaft dieses Geschlechts sein. Eine Studie von Harris et al. untersuchte demnach geschlechterspezifische Unterschiede im Risikoverhalten und zeigte, dass Frauen die negativen Folgen risikoreicher Aktivitäten häufiger als wahrscheinlich und schwerwiegender einschätzen als Männer (63).

Auffällig ist außerdem der überwiegende Anteil österreichischer Staatsbürger, was angesichts der untersuchten Region nicht überraschend ist. Die übrigen Herkunftsstaaten mit nennenswertem Anteil gehören alle dem europäischen Raum an. Dies lässt sich womöglich damit erklären, dass Österreich als Alpenrepublik für viele europäische Staaten das geografisch nächstgelegene Land zur Ausübung alpiner Sportarten ist.

Bei der Betrachtung der einzelnen Bergsportarten stellt das Schifahren mit 651 Fällen (54,6%) den weitaus größten Anteil aller erhobenen Unfälle dar.

Gemeinsam mit dem Snowboarden (n = 49; 4,1%) entfallen somit über die Hälfte aller eingeschlossenen Fälle auf Sportarten, die im organisierten Pisten- und Schiroutenbereich ausgeführt werden. Dieses Ergebnis ist insofern interessant, da diese Disziplinen ausschließlich dem Wintersport zuzuordnen sind und somit in der Steiermark nur saisonal in den Wintermonaten ausgeübt werden können. Dennoch stellen sie mit deutlichem Abstand den größten Anteil der Unfälle dar, was die hohe Popularität dieser Sportarten unterstreicht. In beiden Disziplinen ist die Kollision mit jeweils über 85% der mit Abstand häufigste Unfallmechanismus. Dieses Ergebnis entspricht weitgehend den Resultaten anderer Arbeiten (58, 59). Der Grund dafür liegt womöglich in der oftmals hohen Dichte an Wintersportler\*innen auf den Pisten, dem unterschiedlichen Fahrkönnen und den teils hohen Geschwindigkeiten. Die beiden letztgenannten Faktoren konnten von Chamarro et al. im Rahmen einer Studie nachgewiesen werden (66).

Das Schitourengehen ist dagegen mit 41 Fällen anteilmäßig selten vertreten, wobei die Unfallursachen ein breiteres Muster zeigen. Es dominieren Stürze, Lawinenereignisse und Abstürze. Insbesondere die Gefahr eines Lawinenunglücks wird in den Ergebnissen von Niedermeier et al. hervorgehoben, was sich durch die exponierte Geländesituation erklärt. Das Sterblichkeitsrisiko liegt bei 4,4 pro 1 Million Schitourentage (64). Eine andere Arbeit stellte fest, dass Fehler in der Entscheidungsfindung und im Fahrverhalten zum Unfallhergang beitragen (66). Diese Kombination aus Unfallursachen spiegelt die Risiken dieses Sports im ungesicherten Gebirgsraum wider und führt bei Unfällen nicht selten zu schwerwiegenden Folgen. Ähnlich gestaltet sich die Situation beim Variantenfahren. Kopfverletzungen entstehen hier vorwiegend durch Stürze und Aufprall gegen Hindernisse. Aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahlen der beiden letztgenannten Sportarten sind die Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu betrachten.

Das Wandern bzw. Bergsteigen ist mit 231 Fällen (19,4%) die zweithäufigste Aktivität. Gleichzeitig stellt diese Aktivität die beliebteste Freizeitaktivität in den Bergen dar und birgt ein hohes Verletzungsrisiko (67), was die Resultate dieser Arbeit bestätigen. Der Sturz ist mit 184 Fällen die häufigste Unfallursache, gefolgt

von Abstürzen und Steinschlägen. Gleichzeitig ist in keiner anderen Bergsportart der Sturz als Unfallmechanismus so häufig anzutreffen. Andere Studien konnten ebenfalls den Sturz als führende Unfallursache feststellen (62, 63). Entsprechend den Ergebnissen dieser Arbeit ereignen sich Unfälle mit schwerer oder tödlicher Kopfverletzung in 70,9% beim Abstieg, während in 20,4% der Unfall beim Aufstieg passiert. Ein ähnliches Ergebnis findet sich in einer retrospektiven Studie von Faulhaber et al., die einen relativen Anteil von etwa 75% der Wanderunfälle beim Abstieg ermittelte (61).

Der Klettersport macht mit insgesamt 66 Fällen (5,6%) zwar einen vergleichsweise geringen Anteil am Gesamtkollektiv aus, bildet aber mit seinen Unterdisziplinen eine vielfältige Gruppe. In einer anderen Arbeit wird die Unfallhäufigkeit mit 10% im Vergleich zu anderen Bergsportarten angegeben (70). Die Unfallursachen zeigen mit Stürzen, Abstürzen und Steinschlägen eine ausgewogene Verteilung. Der Absturz stellt dabei das typische Risiko der zumeist vertikalen Bewegungen beim Klettern dar. In anderen Publikationen werden ebenso Stürze und herabfallende Gegenstände als führende Unfallauslöser genannt (69, 70).

Auch das Mountainbiking stellt mit 48 Fällen eine kleinere Gruppe innerhalb des Gesamtkollektivs dar. Die Ergebnisse zeigen, dass Kopfverletzungen in rund 85% der Fälle auf Stürze zurückzuführen sind, was sich mit den Ergebnissen anderer Arbeiten deckt. Allerdings sind in dieser Sportart vorwiegend Verletzungen der oberen Extremitäten zu beobachten (66, 67). Aufgrund weltweit steigender Verkaufszahlen gehört Mountainbiking dennoch zu den am schnellsten wachsenden Freizeitaktivitäten (74), was eine Grundlage für zukünftige Untersuchungen darstellt.

Beim Rodeln zeigt sich ein gemischtes Bild aus Stürzen, Aufprall gegen Hindernisse und Kollisionen. Eine retrospektive Studie aus der Schweiz konnte dieselben Auslöser feststellen und zeigte zugleich, dass Rodeln mit einer hohen Rate an Kopfverletzungen einhergeht (75).

Bei vergleichsweise seltenen Sportarten wie dem Flugsport samt seinen Unterdisziplinen, dem Kajakfahren, dem Hochtourengehen, dem Sommerrodeln und dem Langlauf können aufgrund der geringen Fallzahl von insgesamt 21 Fällen keine signifikanten Aussagen zu typischen Unfallursachen getroffen werden.

Zusammenfassend zeigt diese getrennte Analyse, dass die Mechanismen der Unfallentstehung einerseits von der Bergsportart und andererseits von der Geländesituation abhängig sind. Während Kollisionen mit weitem Abstand die häufigste Unfallursache im organisierten Schiraum darstellen, dominieren Stürze und Abstürze bei Aktivitäten wie Wandern, Klettern, Mountainbiking und Schitourengehen.

Hinsichtlich der Verletzungsschwere weist etwa die Hälfte der erfassten Fälle leichte Verletzungen auf. Dennoch zeigt sich auch ein beträchtlicher Anteil von 24,3% der Verunfallten mit schweren Verletzungsfolgen, was die Relevanz dieser Thematik unterstreicht. Der Anteil tödlicher Unfälle von 7,6% verdeutlicht das Risikopotential bei Bergsportunfällen. In 17,5% der Fälle wurde die Unfallfolge als „Verletzung unbestimmten Grades“ eingestuft, was auf eine schwierige Einschätzung des Verletzungsmaßes im Rahmen des Einsatzes hindeuten kann. Ein Vergleich der Häufigkeiten schwerwiegender und tödlicher Verletzungen zwischen den einzelnen Sportarten zeigt, dass das Schifahren trotz der hohen Unfallzahlen ein vergleichsweise niedriges Risiko derartiger Verletzungsfolgen aufweist. Schwere Verletzungen traten bei 23% der Verunfallten auf, während für 1,7% der Unfälle tödlich endete. Hinsichtlich der Sterblichkeit in dieser Sportart konnten Niedermeier et al. ähnliche Ergebnisse zeigen. Außerdem hat sich die Mortalitätsrate in Österreich in den letzten 20 Jahren kaum verändert (64). Bei den übrigen Sportunfällen mit einer aussagekräftigen Fallzahl weisen insbesondere Schitourengehen, Variantenfahren, Klettern, Wandern, Mountainbiking und Rodeln einen hohen Anteil schwerer Kopfverletzungen auf, der je nach Disziplin zwischen 24,4% und 39% liegt. Besonders hohe Anteile tödlicher Ereignisse finden sich in den Sportarten Schitourengehen (29,3%), Klettern (20,9%) und Wandern (19%).

Bei der Analyse der Transportarten fällt der hohe Anteil bodengebundener Rettungen (50,6%) auf, während Hubschraubertransporte nur einen Anteil von 23,7% ausmachen. Betrachtet man jedoch nur die Transportart der Fälle mit schweren Verletzungen (n = 291), zeigt sich, dass 51,2% der Patient\*innen mittels Hubschrauber oder einer kombinierten Transportart gerettet wurden. Eine Studie von Deluca et al. weist mit 46,6% bodengebundenen und 53,4% Hubschraubertransporten ähnliche Ergebnisse auf (76). Bei genauerer Betrachtung der Fälle ohne Rettungstransport zeigte sich, dass der überwiegende Anteil nur leichte Verletzungen aufwies. Die Mehrheit der Personen mit schweren, lebensbedrohlichen oder tödlichen Verletzungen wurde mittels Hubschrauber oder kombinierten Rettungsverfahren transportiert.

Die Analyse des Helmgebrauchs zeigt, dass 55% aller Verunfallten einen Helm trugen und ein Fünftel nicht. In einer Studie von Ruedl et al. konnte eine Helmträgerquote von 51% festgestellt werden (77). Dieses Ergebnis zeigt eine relativ hohe Verbreitung von Helmträger\*innen, wobei gleichzeitig ein nennenswerter Anteil auf diese Schutzmaßnahme verzichtet. Außerdem kann festgestellt werden, dass Helmträger\*innen tendenziell häufiger leicht verletzt sind. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass der Helm vor schweren Kopfverletzungen schützt. Allerdings weisen beide Gruppen etwa gleich häufig schwere bzw. lebensbedrohliche Verletzungen auf. Besonders auffällig ist, dass der Anteil tödlicher Unfallopfer in der Helmgruppe geringer ist, obwohl diese Gruppe hinsichtlich der Fallzahlen mehr als doppelt so groß ist. Der durchgeführte Chi-Quadrat-Test bestätigt dieses Ergebnis und zeigt einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Verwendung eines Helms und der Verletzungsschwere. Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass das Tragen eines Helms das Risiko tödlicher Verletzungen reduziert. Mehrere wissenschaftliche Arbeiten belegen den schützenden Effekt des Helmgebrauchs (78–80).

## 4.2 Klinische Ergebnisse

Bei der statistischen Analyse der klinischen Daten der KAGes war aufgrund der in Kapitel 2.5 erwähnten Gründe von einer geringen Fallzahl auszugehen. Nach dem Ausschlussverfahren verblieben schließlich insgesamt 20 Fälle für die Auswertung. Die jährlichen Fallzahlen zeigen unregelmäßige Schwankungen mit fehlenden Fallzahlen in insgesamt fünf Jahren. Die Jahre 2008 und 2021 stechen mit jeweils 3 Fällen hervor. Die Verteilung der jährlichen Fallzahlen lässt keine eindeutige Aussage über einen auf- oder abwärts gerichteten Trend zu, sondern weist vielmehr auf zufällig aufgetretene Ereignisse hin.

Aus demografischer Sicht können beide Datensätze annähernd miteinander verglichen werden. Das mittlere Alter der Patient\*innen in den KAGes-Daten beträgt 46 Jahre, während das Durchschnittsalter der epidemiologischen Auswertung bei 47 Jahren liegt. In beiden Fällen ergibt sich eine annähernd normalverteilte Altersstruktur. Hinsichtlich der Geschlechterverteilung überwiegt auch hier das männliche Geschlecht mit einem Anteil von 85%, was den Ergebnissen der wissenschaftlichen Vergleichsstudien im vorherigen Kapitel sehr nahekommt. In sämtlichen Fällen handelte es sich um Unfallopfer aus Österreich, was verglichen mit den Daten des ÖKAS nicht verwunderlich ist.

Trotz der geringen Fallzahl lässt sich hinsichtlich der Bergsportarten, zumindest was das Schifahren betrifft, mit insgesamt 8 Fällen (40%) ein ähnliches Muster wie bei den Daten des ÖKAS erkennen. Die restlichen Sportarten betreffen das Mountainbiking (n = 4; 20%), Klettern (n = 3; 15%) und Schitourengehen (n = 3; 15%). Die Sportarten Wandern und Paragleiten sind mit jeweils einem Fall vertreten. Insgesamt lässt sich eine leichte Dominanz von Wintersportarten erkennen.

Auch in der klinischen Auswertung stellt die Kollision mit 7 Fällen (35%) den häufigsten Unfallmechanismus dar, gefolgt von Abstürzen mit 6 Fällen (30%), Stürzen mit 5 Fällen (25%) und Steinschlag mit 2 Fällen (10%). Gemäß dieser Auswertung sind Kollisionen und Stürze beim Schifahren die führenden Unfallursachen. Beim Klettern sind der Absturz und der Steinschlag die häufigsten

Auslöser. Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit den Auswertungen der ÖKAS-Daten. Beim Schitourengehen sind sämtliche Unfälle auf Abstürze zurückzuführen, während beim Mountainbiking Kollisionen und Stürze gleich häufig auftreten. Dagegen sind die jeweils einzigen Unfälle beim Paragleiten durch eine Kollision und beim Wandern durch einen Steinschlag zurückzuführen.

Bei Bergsportunfällen im unwegsamen Gelände ist die Wahl des Transportmittels von entscheidender Bedeutung. In solchen Situationen hat sich der Hubschraubertransport als bevorzugte und oft auch einzige Transportmöglichkeit etabliert. Aus diesem Grund weisen die Ergebnisse der klinischen Auswertung keine Besonderheiten auf. 85% der Patient\*innen wurden mit dem Rettungshubschrauber in die Universitätsklinik des LKH Graz transferiert.

Die Analyse des Helmgebrauchs liefert ein unbefriedigendes Ergebnis. In der Hälfte der Fälle lagen hierzu keine Informationen vor. Dadurch war ein angestrebter Vergleich zwischen Outcome und Verwendung eines Helms mit einer erwartungsgemäß geringen Aussagekraft verbunden.

Die Analyse der typischen Verletzungsmuster beim schweren Schädel-Hirn-Trauma zeigt ein gemischtes Bild. Um die unterschiedlichen Läsionen übersichtlicher darzustellen, wurden Schädelfrakturen und intrakranielle Blutungen getrennt betrachtet. Insgesamt wiesen 16 Patient\*innen mindestens eine Schädelfraktur auf. In vier Fällen traten sogar drei verschiedene Frakturtypen gleichzeitig auf, was die Komplexität einer schweren Schädelverletzung unterstreicht. Besonders auffällig ist dabei der hohe Anteil von Gesichtsschädelfrakturen, die in 13 Fällen auftraten und somit jene Region betreffen, die nicht durch einen Helm geschützt wird. Bei der Betrachtung der intrakraniellen Blutungen fällt auf, dass kombinierte Hämorrhagien in 17 Fällen auftraten. Auffällig ist auch, dass Fälle mit zumindest drei Frakturen zugleich mindestens zwei intrakranielle Blutungstypen aufwiesen. Eine traumatische Subarachnoidalblutung und eine intrazerebrale Blutung wurden in 14 bzw. 13 Fällen nachgewiesen. Beide Formen treten dabei häufig gemeinsam auf. Ein akutes Subduralhämatom wurde in der Hälfte der untersuchten Fälle

nachgewiesen, meist in Kombination mit den beiden zuvor genannten Blutungsformen. Die Ergebnisse verdeutlichen das Ausmaß der Gewalteinwirkung auf den Schädel und die damit verbundenen komplexen Verletzungsmuster.

Die durchgeführten operativen Eingriffe wurden in fünf Kategorien unterteilt, wobei in sämtlichen Fällen eine intrakranielle Druckmessung mittels einer Sonde durchgeführt wurde. Wie in Kapitel 1.4 bereits beschrieben, stellt diese Maßnahme beim schweren SHT eine grundlegende diagnostische Maßnahme dar (51). In 8 Fällen wurde eine externe Ventrikeldrainage eingebracht, um drohenden Hirndruckentgleisungen entgegenwirken zu können. Die chirurgische Entleerung von Hämatomen erfolgte in 6 Fällen. Dieser Eingriff wurde insbesondere bei Epidural- und Subduralhämatomen angewendet. In zwei Fällen war eine dekompressive Kraniektomie erforderlich. Auffällig hierbei ist, dass in beiden Fällen drei identische intrakranielle Blutungsformen vorlagen, was die Notwendigkeit einer Hirndrucksenkung bei kombinierten Hämorrhagien unterstreicht. Die rekonstruktiven Eingriffe dienten ausschließlich der Wiederherstellung der Schädelkontinuität und wurden ebenso in fünf Kategorien eingeteilt. Nur bei der Hälfte der Patient\*innen mit Schädelfrakturen wurden derartige Eingriffe durchgeführt. Es handelte sich dabei vorwiegend um Rekonstruktionen von Gesichtsschädelfrakturen, die überwiegend durch Abteilungen anderer chirurgischer Disziplinen versorgt wurden. Aus neurochirurgischer Sicht wurde bei 4 Patient\*innen eine Läsion der Dura behandelt, wobei gleichzeitig in allen Fällen eine Impressionsfraktur vorlag. Dieser Befund entspricht typischerweise einer offenen Impressionsfraktur (33).

Die Liegedauer auf der Intensivstation weist mit einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer von 20 Tagen und einer Standardabweichung von rund 13 Tagen auf eine asymmetrische Verteilung hin. Dies ist bereits aus dem Histogramm erkennbar und wurde durch den statistischen Test bestätigt. Der Großteil der Patient\*innen verbrachte weniger als 20 Tage auf der Intensivstation, während Fälle mit einer längeren Liegedauer nur vereinzelt auftraten. Ein Extremfall mit einer Liegedauer von insgesamt 61 Tagen beeinflusste die Verteilung maßgeblich. In diesem Fall ist darauf hinzuweisen, dass nicht die

Schädelverletzung, sondern ein Multiorganversagen zum Tod des Patienten geführt hat. Insgesamt endeten drei Intensivaufenthalte mit dem Tod der Patient\*innen. Eine Single-Center-Studie aus den USA von Lazaridis et al. ermittelte bei 438 Patient\*innen mit einem schweren SHT eine mittlere Liegedauer von  $19,4 \pm 13,9$  Tagen (81). Obwohl die Kohorte der Vergleichsstudie deutlich größer ist, sind die Ergebnisse mit denen dieser Arbeit vergleichbar.

Das Outcome der Patient\*innen zeigt eine breite Streuung und damit ein heterogenes klinisches Ergebnis. Mit einem durchschnittlichen GOS-Wert von 3,2 und einem Median von 3 entspricht das mittlere Outcome einer schweren Behinderung, was die Ausübung von Bergsportaktivitäten im bisherigen Ausmaß nicht mehr möglich macht. Ein Zusammenhang zwischen der Liegedauer und dem Outcome der Patient\*innen ließ sich aufgrund der geringen Fallzahl nicht sinnvoll analysieren, da zufällige Schwankungen das Ergebnis erheblich verzerren und die Aussagekraft somit deutlich einschränken würden. Bei der Interpretation des GOS ist zu berücksichtigen, dass diese nur für Patient\*innen angewendet werden können, die das Krankenhaus auch tatsächlich erreichen. Tödliche Ereignisse am Unfallort fließen deshalb nicht in die Skala hinein, was möglicherweise zu falsch hohen GOS-Werten führen kann. Das erhobene Outcome beschreibt somit nur das Ergebnis jener Patient\*innen, welche die präklinische Phase überlebten und das klinische Setting erreichten.

### **4.3 Limitationen**

Bei der Betrachtung der Ergebnisse dieser Arbeit sind mehrere Limitationen zu berücksichtigen. Hervorzuheben sind dabei die stark unterschiedlichen Fallzahlen der beiden Datensätze. Hierdurch sind statistische Aussagen bei einer Gegenüberstellung nur bedingt möglich. Während die Ergebnisse des ÖKAS-Datensatzes sich auf die gesamte Steiermark beziehen, repräsentieren die Ergebnisse der KAGes-Daten nur einen kleinen und hochspezifischen Ausschnitt der Gesamtpopulation. Aus diesem Grund können einzelne Fälle die Ergebnisse stark verzerren. Ein weiterer limitierender Faktor ist, dass ein nicht unerheblicher Anteil der Verunfallten vermutlich in Krankenhäusern benachbarter Bundesländer transferiert und behandelt wurde. Dies betrifft womöglich vor allem

Unfallereignisse an Grenzregionen. Hinzu kommt, dass sich die beiden Datensätze in der Einteilung der Verletzungsgrade unterscheiden. So wird die Verletzungsschwere im klinischen Datensatz mit dem GCS angegeben, während die epidemiologischen Daten des ÖKAS auf einer Einschätzung der Alpinpolizei beruhen. Gleichzeitig sind die Bergsportarten in beiden Datensätzen unterschiedlich zusammengestellt und kommen in unterschiedlichen Häufigkeiten vor, was einen Vergleich der verschiedenen Disziplinen erschwert. Schließlich stellt auch der GOS eine weitere Limitation dar. Wie bereits im vorigen Kapitel beschrieben, werden präklinische Todesfälle nicht in die Auswertung des Outcomes einbezogen, was zu einer Verzerrung in Richtung besserer klinischer Ergebnisse führen kann.

#### **4.4 Ausblick und Anregungen für weiterführende Arbeiten**

Die Ergebnisse dieser Arbeit leisten einen Beitrag zum besseren Verständnis dieses Verletzungsmusters im Zusammenhang mit Bergsportunfällen und heben dabei sowohl epidemiologische als auch klinische Aspekte hervor. Allerdings gibt es Ansatzpunkte für weiterführende Arbeiten, insbesondere zur Erhöhung der klinischen Fallzahlen. Durch die Einbeziehung mehrerer Krankenhäuser mit neurochirurgischen Abteilungen kann die Fallzahl vermutlich effektiv erhöht und die statistische Aussagekraft verbessert werden. Auf dieser Grundlage können Behandlungsergebnisse verglichen werden, wodurch Unterschiede im Vorgehen identifiziert und daraus Maßnahmen zur Qualitätsoptimierung abgeleitet werden können. Ein weiterer Ansatzpunkt besteht in der Verknüpfung von präklinischen und klinischen Daten. So könnten Daten von Rettungsorganisationen dabei helfen, die Wege der Patient\*innen bis in die jeweilige Klinik nachzuvollziehen. Durch Befragungen oder umfassende Datenerhebungen zu Rehabilitationsverläufen können Erkenntnisse über das längerfristige klinische Outcome bei schweren Schädelverletzungen infolge eines Bergsportunfalls gewonnen werden. Die Bergsportkultur birgt neben den positiven gesundheitlichen Aspekten auch die Gefahr schwerwiegender Kopfverletzungen. Aus diesem Grund bietet eine Analyse präventiver Maßnahmen Potential für zukünftige Forschungen.

## 5 Literaturverzeichnis

1. Österreichischer Alpenverein Sektion Inneröztal, Hrsg. Bergluscht. 2019;(42). Available from: [https://www.alpenverein.at/inneroetztal\\_wAssets/docs/Bargluscht2019-Einzelseiten.pdf](https://www.alpenverein.at/inneroetztal_wAssets/docs/Bargluscht2019-Einzelseiten.pdf)
2. Firsching R, Rickels E, Mauer UM, Sakowitz OW, Messing-Jünger M, Engelhard K, et al. Guidelines for the Treatment of Head Injury in Adults. *J Neurol Surg Part Cent Eur Neurosurg*. 2017 Sept;78(5):478–87.
3. Trentz O. *Tscherne Unfallchirurgie: Kopf und Körperhöhlen*. Vol. 4. Berlin, Heidelberg, New York: Springer; 2000.
4. Younsi A, Scherer M, Unterberg AW. Schädel-Hirn-Trauma. In. *Die Intensivmedizin*. emedpedia [Internet]. Springer; 2022. Available from: [https://www.springermedizin.de/emedpedia/detail/die-intensivmedizin/schaedel-hirn-trauma?epediaDoi=10.1007%2F978-3-642-54675-4\\_89](https://www.springermedizin.de/emedpedia/detail/die-intensivmedizin/schaedel-hirn-trauma?epediaDoi=10.1007%2F978-3-642-54675-4_89)
5. Klingler W. Schädel-Hirn-Trauma: Pathophysiologie und Notfallmanagement. Hoppe K Klingler W Schädel-Hirn-Trauma Pathophysiologie Notfallmanagement. 2021 Mar 8;(3–2021):118–27.
6. Beynon C, Unterberg AW. Schweres Schädel-Hirn-Trauma. *Unfallchirurg*. 2011 Aug;114(8):713–23.
7. Maas AIR, Menon DK, Manley GT, Abrams M, Åkerlund C, Andelic N, et al. Traumatic brain injury: progress and challenges in prevention, clinical care, and research. *Lancet Neurol*. 2022 Nov;21(11):1004–60.
8. Rickels E, von Wild K, Wenzlaff P. Head injury in Germany: A population-based prospective study on epidemiology, causes, treatment and outcome of all degrees of head-injury severity in two distinct areas. *Brain Inj*. 2010;24(12):1491–504.

9. Mauritz W, Brazinova A, Majdan M, Leitgeb J. Epidemiology of traumatic brain injury in Austria. *Wien Klin Wochenschr.* 2014 Jan;126(1–2):42–52.
10. Jain S, Margetis K, Iverson LM. Glasgow Coma Scale. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [cited 2025 Nov 11]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513298/>
11. Middleton PM. Practical use of the Glasgow Coma Scale; a comprehensive narrative review of GCS methodology. *Australas Emerg Nurs J AENJ.* 2012 Aug;15(3):170–83.
12. Striebel HW. Operative Intensivmedizin: Sicherheit in der klinischen Praxis. Vol. 1. Stuttgart, New York: Schattauer; 2008.
13. Leitgeb J, Mauritz W, Brazinova A, Majdan M, Wilbacher I. Impact of concomitant injuries on outcomes after traumatic brain injury. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013 May;133(5):659–68.
14. Riemann L, Alhalabi OT, Unterberg AW, Younsi A, CENTER-TBI investigators and participants. Concomitant spine trauma in patients with traumatic brain injury: Patient characteristics and outcomes. *Front Neurol.* 2022;13:861688.
15. Sundstrøm T, Grände PO, Luoto T, Rosenlund C, Undén J, Wester KG, et al. Management of Severe Traumatic Brain Injury: Evidence, Tricks, and Pitfalls. 2nd edn. Cham: Springer; 2020.
16. Pinggera D, Geiger P, Thomé C. [Traumatic brain injury]. *Nervenarzt.* 2023 Oct;94(10):960–72.
17. Manan Z, Rehman SU, Khan AA, Shah SFH, Ahmed I, Khan M. Predictive Factors of Outcomes in Acute Subdural Hematoma Evacuation. *Cureus.* 2022 Nov;14(11):e31635.
18. Johnson VE, Stewart W, Smith DH. Axonal pathology in traumatic brain injury. *Exp Neurol.* 2013 Aug;246:35–43.
19. Wallesch CW, Unterberg A, Dietz V. Neurotraumatologie. 1st edn. Stuttgart, New York: Thieme; 2005.

20. Wallesch CW. Schädel-Hirn-Trauma aus neurologischer Sicht. *Neurol Up2date*. 2019 Nov;2(04):375–88.
21. Henne-Bruns D. *Chirurgie*. 4th edn. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2012.
22. Feichtinger M, Koch J. Akut symptomatische Anfälle und posttraumatische Epilepsie nach Schädel-Hirn-Trauma bei Erwachsenen und Kindern. *Z Für Epileptol*. 2021 Nov;34(4):360–4.
23. Whitfield PC, Thomas EO, Summers F, Whyte M, Hutchinson PJ. *Head Injury: A Multidisciplinary Approach*. 1st edn. Cambridge: Cambridge University Press; 2009.
24. Lulla A, Lumba-Brown A, Totten AM, Maher PJ, Badjatia N, Bell R, et al. Prehospital Guidelines for the Management of Traumatic Brain Injury - 3rd Edition. *Prehosp Emerg Care*. 2023;27(5):507–38.
25. Berghold F, Brugger H, Burtscher M, Domej W, Durrer B, Fischer R, et al. *Alpin- und Höhenmedizin*. 1st edn. Wien: Springer; 2015.
26. Brown JB, Kheng M, Carney NA, Rubiano AM, Puyana JC. Geographical Disparity and Traumatic Brain Injury in America: Rural Areas Suffer Poorer Outcomes. *J Neurosci Rural Pract*. 2019;10(1):10–5.
27. Lechner R, Isser M, Tröger W, Schiessendoppler V, Lederer W, Eisendle F. The modified crABCDE treatment algorithm as recommendation in extreme cold. *Resusc Plus*. 2025 Jan;21:100850.
28. Rajagopalan S, Mascha E, Na J, Sessler DI. The effects of mild perioperative hypothermia on blood loss and transfusion requirement. *Anesthesiology*. 2008 Jan;108(1):71–7.
29. Ziegenfuß T. *Notfallmedizin*. 7th edn. Berlin, Heidelberg: Springer; 2017.
30. Dewan Y, Komolafe EO, Mejía-Mantilla JH, Perel P, Roberts I, Shakur H, et al. CRASH-3 - tranexamic acid for the treatment of significant traumatic brain injury: study protocol for an international randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Trials*. 2012 June 21;13:87.

31. Jones B, Dicker B, Howie G, Todd V. Review article: Emergency medical services transfer of severe traumatic brain injured patients to a neuroscience centre: A systematic review. *Emerg Med Australas EMA*. 2024 Apr;36(2):187–96.
32. Hosomi S, Kitamura T, Sobue T, Nakagawa Y, Ogura H, Shimazu T. Association of Pre-Hospital Helicopter Transport with Reduced Mortality in Traumatic Brain Injury in Japan: A Nationwide Retrospective Cohort Study. *J Neurotrauma*. 2022 Jan;39(1–2):76–85.
33. Bekelis K, Missios S, Mackenzie TA. Prehospital helicopter transport and survival of patients with traumatic brain injury. *Ann Surg*. 2015 Mar;261(3):579–85.
34. Jang JY, Kwon WK, Roh H, Moon JH, Hwang JS, Kim YJ, et al. Time-saving effects using helicopter transportation: comparison to a ground transportation time predicted using a social navigation software. *Medicine (Baltimore)*. 2021 July 9;100(27):e26569.
35. Slot RER, Helbok R, van der Jagt M. Update on traumatic brain injury in the ICU. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2025 Apr 1;38(2):93–9.
36. Russo L, Kazmi A, Ahmed N. Current Management and Future Challenges in the Management of Severe Traumatic Brain Injury. *Med Kaunas Lith*. 2025 Apr 17;61(4):738.
37. Fresenius M, Heck M, Zink W. *Repetitorium Intensivmedizin*. 5th edn. Berlin, Heidelberg: Springer; 2014.
38. Harary M, Dolmans RGF, Gormley WB. Intracranial Pressure Monitoring- Review and Avenues for Development. *Sensors*. 2018 Feb 5;18(2):465.
39. Stein KY, Froese L, Gomez A, Sainbhi AS, Vakitbilir N, Ibrahim Y, et al. Intracranial Pressure Monitoring and Treatment Thresholds in Acute Neural Injury: A Narrative Review of the Historical Achievements, Current State, and Future Perspectives. *Neurotrauma Rep*. 2023;4(1):478–94.

40. Mount CA, Das JM. Cerebral Perfusion Pressure. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [cited 2025 Nov 11]. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537271/>
41. Carney N, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Hawryluk GWJ, Bell MJ, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery*. 2017 Jan 1;80(1):6–15.
42. Martínez-Palacios K, Vásquez-García S, Fariyike OA, Robba C, Rubiano AM, noninvasive ICP monitoring international consensus group. Using Optic Nerve Sheath Diameter for Intracranial Pressure (ICP) Monitoring in Traumatic Brain Injury: A Scoping Review. *Neurocrit Care*. 2024 June;40(3):1193–212.
43. Russo G, Harrois A, Anstey J, Van Der Jagt M, Taccone F, Udy A, et al. Early sedation in traumatic brain injury: a multicentre international observational study. *Crit Care Resusc*. 2022 Dec;24(4):319–29.
44. Peters AJ, Khan SA, Koike S, Rowell S, Schreiber M. Outcomes and physiologic responses associated with ketamine administration after traumatic brain injury in the United States and Canada: a retrospective analysis. *J Trauma Inj*. 2023 Dec 31;36(4):354–61.
45. Roberts I, Sydenham E. Barbiturates for acute traumatic brain injury. In: The Cochrane Collaboration, editor. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 1999 [cited 2025 Nov 11]. p. CD000033. Available from: <https://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD000033>
46. Briegel J, Möhnle P, Uhl E. Glukokortikoide in der Neurointensivmedizin - welche Indikationen sind gesichert? In: *Journal für Neurologie Neurochirurgie und Psychiatrie*. 2008;9 (2), 7–12.
47. Roberts I, Yates D, Sandercock P, Farrell B, Wasserberg J, Lomas G, et al. Effect of intravenous corticosteroids on death within 14 days in 10008 adults with clinically significant head injury (MRC CRASH trial): randomised placebo-controlled trial. *Lancet Lond Engl*. 2004 Oct 9;364(9442):1321–8.

48. Georgiou AP, Manara AR. Role of therapeutic hypothermia in improving outcome after traumatic brain injury: a systematic review. *Br J Anaesth*. 2013 Mar;110(3):357–67.
49. Harris OA, Colford, Jr JM, Good MC, Matz PG. The Role of Hypothermia in the Management of Severe Brain Injury: A Meta-analysis. *Arch Neurol*. 2002 July 1;59(7):1077.
50. Wang BC, Chiu HY, Luh HT, Lin CJ, Hsieh SH, Chen TJ, et al. Comparative efficacy of prophylactic anticonvulsant drugs following traumatic brain injury: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. Biagini G, editor. *PLOS ONE*. 2022 Mar 31;17(3):e0265932.
51. Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, et al. Surgical Management of Traumatic Parenchymal Lesions. *Neurosurgery*. 2006 Mar 1;58(suppl\_3):S2-25-S2-46.
52. Sahuquillo J, Dennis JA. Decompressive craniectomy for the treatment of high intracranial pressure in closed traumatic brain injury. Cochrane Injuries Group, editor. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2019 Dec 31 [cited 2025 Nov 11];2019(12). Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD003983.pub3>
53. Cooper DJ, Rosenfeld JV, Murray L, Arabi YM, Davies AR, Ponsford J, et al. Patient Outcomes at Twelve Months after Early Decompressive Craniectomy for Diffuse Traumatic Brain Injury in the Randomized DECRA Clinical Trial. *J Neurotrauma*. 2020 Mar 1;37(5):810–6.
54. Hutchinson PJ, Koliass AG, Timofeev IS, Corteen EA, Czosnyka M, Timothy J, et al. Trial of Decompressive Craniectomy for Traumatic Intracranial Hypertension. *N Engl J Med*. 2016 Sept 22;375(12):1119–30.
55. Hawryluk GWJ, Rubiano AM, Totten AM, O'Reilly C, Ullman JS, Bratton SL, et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury: 2020 Update of the Decompressive Craniectomy Recommendations. *Neurosurgery*. 2020 Sept;87(3):427–34.

56. McMillan T, Wilson L, Ponsford J, Levin H, Teasdale G, Bond M. The Glasgow Outcome Scale - 40 years of application and refinement. *Nat Rev Neurol*. 2016 Aug;12(8):477–85.
57. Jennett B. ASSESSMENT OF OUTCOME AFTER SEVERE BRAIN DAMAGE A Practical Scale. *The Lancet*. 1975 Mar;305(7905):480–4.
58. Lu J, Murray GD, Steyerberg EW, Butcher I, Mchugh GS, Lingsma H, et al. Effects of Glasgow Outcome Scale Misclassification on Traumatic Brain Injury Clinical Trials. *J Neurotrauma*. 2008 June;25(6):641–51.
59. Lu J, Murray GD, Steyerberg EW, Butcher I, Mchugh GS, Lingsma H, et al. Effects of Glasgow Outcome Scale Misclassification on Traumatic Brain Injury Clinical Trials. *J Neurotrauma*. 2008 June;25(6):641–51.
60. Gasser B, Schwendinger F. 4000ers of the Alps-So beautiful, so dangerous: An analysis of falls in the Swiss Alps between 2009-2020. *PloS One*. 2022;17(4):e0266032.
61. Faulhaber M, Pocecco E, Niedermeier M, Ruedl G, Walter D, Sterr R, et al. Fall-related accidents among hikers in the Austrian Alps: a 9-year retrospective study. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2017;3(1):e000304.
62. Rugg CD, Malzacher T, Ausserer J, Rederlechner A, Paal P, Ströhle M. Gender differences in snowboarding accidents in Austria: a 2005-2018 registry analysis. *BMJ Open*. 2021 Oct 19;11(10):e053413.
63. Harris CR, Jenkins M. Gender Differences in Risk Assessment: Why do Women Take Fewer Risks than Men? *Judgm Decis Mak*. 2006 July;1(1):48–63.
64. Niedermeier M, Gatterer H, Pocecco E, Frühauf A, Faulhaber M, Menz V, et al. Mortality in Different Mountain Sports Activities Primarily Practiced in the Winter Season-A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2019 Dec 30;17(1):259.

65. Patton DA, McIntosh AS, Hagel BE, Patton DA. A Review of Head Injury and Impact Biomechanics in Recreational Skiing and Snowboarding. *Muscle Ligaments Tendons J.* 2020 June;10(02):211.
66. Chamarro A, Fernández-Castro J. The perception of causes of accidents in mountain sports: a study based on the experiences of victims. *Accid Anal Prev.* 2009 Jan;41(1):197–201.
67. Faulhaber M, Ruedl G, Schneider F, Walter D, Sterr R, Schobersberger W, et al. Characteristics of Victims of Fall-Related Accidents during Mountain Hiking. *Int J Environ Res Public Health.* 2020 Feb 10;17(3):1115.
68. Gasser B. Half of emergency calls in hikers are injuries from falls in 50-70 year-olds. *Dtsch Z Für Sportmed.* 2019 Sept 1;70(9):209–14.
69. Zürcher S, Jackowski C, Schön CA. Circumstances and causes of death of hikers at different altitudes: A retrospective analysis of hiking fatalities from 2003–2018. *Forensic Sci Int.* 2020 May;310:110252.
70. Rauch S, Wallner B, Ströhle M, Dal Cappello T, Brodmann Maeder M. Climbing Accidents-Prospective Data Analysis from the International Alpine Trauma Registry and Systematic Review of the Literature. *Int J Environ Res Public Health.* 2019 Dec 27;17(1):203.
71. Yoon JH, Armstrong W, Philippopolous E, Dilworth N, Cheng I. Head Injuries in Rock Climbing: A Scoping Review. *Wilderness Environ Med.* 2022 Dec;33(4):479–87.
72. Bonte S, Hartweg C, Thouzé A, Marcaggi E, Dupuis M, Graillon N, et al. Injury Mechanisms in Mountain Biking: A Systematic Video Analysis of 534 Cases. *Eur J Sport Sci.* 2025 July;25(7):e12327.
73. Gösele-Koppenburg A, Jenoure P, Farkas G, Schwamborn T, Lüscher N. Mountainbike. *Sport-Orthop - Sport-Traumatol - Sports Orthop Traumatol.* 2008;24(3):143–8.

74. Course G, Sharman JE, Tran V. Health Service Impacts and Risk Factors for Severe Trauma in Mountain Biking: A Narrative Review. *Healthc Basel Switz.* 2023 Dec 18;11(24):3196.
75. Klukowska-Rötzler J, Buerzle A, Exadaktylos AK, Niemann S, Bürgi F, Jakob DA. Sex differences in sledging injuries: a retrospective 10-season study from a Swiss level 1 trauma centre. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2023;9(2):e001615.
76. Deluca A, Deininger C, Wichlas F, Traweger A, Lefering R, Mueller EJ. Präklinisches Management bei Traumapatienten und die zunehmende Zahl von Helikopter-Rettungstransporten: Eine epidemiologische Studie des TraumaRegister DGU®. *Unfallchirurgie.* 2024 Feb;127(2):117–25.
77. Ruedl G, Sommersacher R, Woldrich T, Kopp M, Nachbauer W, Burtscher M. Risikofaktoren von Kopfverletzungen auf österreichischen Skipisten. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 2010; Available from: [https://www.germanjournalsportsmedicine.com/fileadmin/content/archiv2010/h eft04/originalia\\_ruedl.pdf](https://www.germanjournalsportsmedicine.com/fileadmin/content/archiv2010/h eft04/originalia_ruedl.pdf)
78. Russell K, Christie J, Hagel BE. The effect of helmets on the risk of head and neck injuries among skiers and snowboarders: a meta-analysis. *Can Med Assoc J.* 2010 Mar 9;182(4):333–40.
79. Lee LK, Flaherty MR, Blanchard AM, Agarwal M, THE COUNCIL ON INJURY, VIOLENCE, AND POISON PREVENTION. Helmet Use in Preventing Head Injuries in Bicycling, Snow Sports, and Other Recreational Activities and Sports. *Pediatrics.* 2022 Sept 1;150(3):e2022058877.
80. Sulheim S, Ekeland A, Holme I, Bahr R. Helmet use and risk of head injuries in alpine skiers and snowboarders: changes after an interval of one decade. *Br J Sports Med.* 2017 Jan;51(1):44–50.
81. Lazaridis C, Yang M, DeSantis SM, Luo ST, Robertson CS. Predictors of intensive care unit length of stay and intracranial pressure in severe traumatic brain injury. *J Crit Care.* 2015 Dec;30(6):1258–62.