

**Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie  
der Universität zu Lübeck  
Direktor: Prof. Dr. A. Paech  
und dem  
Querschnittgelähmten - Zentrum  
Chefarzt Prof. Dr. R. Thietje  
BG Klinikum Hamburg**

---

**Funktionelle Ergebnisse und Komplikationen nach  
cervicaler Querschnittlähmung durch Kopfsprung in  
flache Gewässer - Eine Analyse von 160 Fällen**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der Universität zu Lübeck  
- Aus der Sektion Medizin -

vorgelegt von  
Matthias Meyer  
aus Hildesheim

Lübeck 2020

1. Berichterstatter/Berichterstatterin:  
Prof. Dr. med. Roland Thietje

2. Berichterstatter/Berichterstatterin:  
Prof. Dr. med. Jan Gliemroth

Tag der mündlichen Prüfung: 24.06.2021  
Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 24.06.2021  
Promotionskommission der Sektion Medizin

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>iv</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>vi</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemeines .....	1
1.2 Die Querschnittlähmung in der Historie .....	2
1.3 Definition Querschnittlähmung.....	3
1.4 Komplikationen nach akuter Läsion.....	8
1.5 Halswirbelsäulenverletzungen nach Sprüngen ins flache Wasser .....	9
1.6 Prä- und innerklinische Versorgung von akuten Verletzungen des Halsmarkes.....	14
1.7 Komplikationen nach Querschnittlähmungen .....	15
1.8 Intensivmedizinische Behandlung .....	16
1.9 Fragestellung.....	16
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>18</b>
2.1 Patientenkollektiv.....	18
2.2 Definition respiratorische Komplikationen und Pneumonien.....	18
2.3 Definition AIS-Kategorien .....	18
2.4 Definition Lähmungshöhe .....	19
2.5 Einteilung der Patienten nach Lähmungshöhe .....	19
2.6 Definition Reanimation .....	19
2.7 Definition Komplikationen .....	19
2.8 Auswertung einer Untergruppe.....	20
2.9 Statistik.....	21
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>23</b>
3.1 Patientenkollektiv.....	23
3.1.1 Geschlecht.....	23
3.1.2 Alter .....	23
3.1.3 Unfallort und -zeit.....	24
3.2 Verletzungsmuster.....	26
3.2.1 Geschädigte Wirbelkörper .....	26
3.2.2 Zusammenhang zwischen radiologischer und klinischer Verletzungshöhe .....	27
3.2.3 Neurologischer Primärbefund .....	28
3.2.4 Begleitverletzungen .....	28
3.3 Verlauf und Rehabilitation .....	29
3.3.1 Pulmonale Komplikationen.....	29

3.3.1.1	Beatmungspflicht und Pneumonie .....	30
3.3.1.2	Pneumonien nach AIS-Klassifikation bei Aufnahme .....	31
3.3.1.3	Respiratorische Komplikationen .....	32
3.3.1.4	Statistischer Vergleich der Subgruppen und Auswertung respiratorischer Komplikationen bei Patienten mit vollständiger Dokumentation des Beatmungsverlaufes ab Unfallzeitpunkt .....	33
3.3.1.5	Zusammenhang zwischen Lähmungshöhe bei Entlassung und einer Dauerbeatmung .....	34
3.3.2	Funktionelle Ergebnisse.....	35
3.3.2.1	Entwicklung der Lähmungshöhe.....	35
3.3.2.2	AIS-Einteilung bei Aufnahme und Entlassung .....	38
3.3.3	Reanimation.....	41
3.3.4	Therapie.....	41
3.3.5	Komplikationen .....	43
3.3.5.1	Operative Komplikationen.....	43
3.3.5.2	Allgemeine Komplikationen.....	45
3.3.6	Mobilisation.....	46
3.3.7	Blasenentleerung.....	48
3.3.8	Wohnsituation .....	48
3.3.9	Krankenhausverweildauer .....	49
<b>4.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>53</b>
4.1	Epidemiologie .....	53
4.2	Frakturhöhe .....	55
4.3	Begleitverletzungen .....	56
4.4	Respiratorische Komplikationen .....	57
4.5	Neurologische Erholung .....	59
4.6	Reanimationen .....	60
4.7	Operative Versorgung .....	61
4.8	Lebensqualität.....	62
4.9	Präventive Empfehlungen .....	63
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>67</b>
<b>7.</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>74</b>
<b>8.</b>	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>75</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AIS	American Spinal Injury Association Impairment Scale
ASCI	Acute spinal cord injury
ASIA	American Spinal Injury Association
BG	Berufsgenossenschaft
C	Cervical
KI	Konfidenzintervall
LAE	Lungenarterienembolie
PICA	Arteria inferior posterior cerebelli (von engl. Posterior inferior cerebellar artery)
SD	Standardabweichung

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Weltweite Anzahl und Ursachen einer Querschnittlähmung (Bickenbach et al. 2013)
- Abbildung 2: Längsansicht des Rückenmarks, Rückenwirbel und Spinalnerven sowie eine Darstellung der Hauptfunktionen des Rückenmarks (Bickenbach et al. 2013)
- Abbildung 3: Verlauf und segmentale Austrittspunkte der cervicalen Spinalnerven in Beziehung zu den Spinalnerven der HWS
- Abbildung 4: Nativröntgenbild einer HWK 5-Luxationsfraktur (BG-Klinikum Hamburg 2018)
- Abbildung 5: Operativ versorgte HWK-Fraktur (BG-Klinikum Hamburg 2018)
- Abbildung 6: Bilden der Subgruppe
- Abbildung 7: Verteilung der Geschlechter
- Abbildung 8: Altersverteilung
- Abbildung 9: Unfallort
- Abbildung 10: Abhängigkeit Unfallort und respiratorische Komplikationen
- Abbildung 11: Unfallmonat
- Abbildung 12: Verteilung der Frakturen
- Abbildung 13: Begleitverletzungen
- Abbildung 14: Respiratorische Komplikationen
- Abbildung 15: Anzahl der beatmungspflichtigen Patienten nach ihrer Lähmungshöhe
- Abbildung 16: Pneumonien bei komplett und inkomplett gelähmten Patienten
- Abbildung 17: Anzahl der Patienten mit Pneumonie nach ihrer Lähmungshöhe
- Abbildung 18: Abhängigkeit der Pneumonie von Intubation oder Spontanatmung
- Abbildung 19: Lähmungshöhe und Beatmungssituation bei Entlassung
- Abbildung 20a: Veränderung der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung
- Abbildung 20b: Konversion der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung

- Abbildung 21: AIS-Klassifikation zwischen Aufnahme und Entlassung
- Abbildung 22: Neurologische Veränderung anhand der AIS-Klassifikation
- Abbildung 23: Konversion der AIS-Klassifikation zwischen Aufnahme und Entlassung
- Abbildung 24: Abhängigkeit zwischen Lähmungshöhe und Reanimation
- Abbildung 25: Operative und konservative Therapie
- Abbildung 26: Art der operativen Versorgung
- Abbildung 27: Art der konservativen Therapie
- Abbildung 28: Allgemeine Komplikationen
- Abbildung 29: Mobilisationsmöglichkeiten bei Entlassung
- Abbildung 30: Gehfähigkeit bei Entlassung in Abhängigkeit von der AIS-Klassifikation bei Aufnahme
- Abbildung 31: Blasenentleerung bei Entlassung
- Abbildung 32: Wohnsituation bei Entlassung
- Abbildung 33: Krankenhausverweildauer
- Abbildung 34: Einfluss der Lähmungshöhe auf die Krankenhausverweildauer

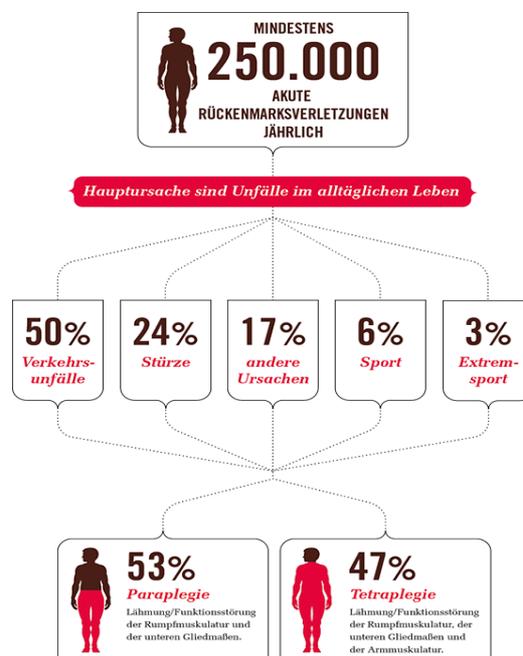
## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: American Spinal Injury Association Impairment Scale
- Tabelle 2: Kraftgrade nach Janda
- Tabelle 3: Motorische und sensible radikuläre Segmentkennung (nach Krüger 2010)
- Tabelle 4: Internationale Studien zu ASCI
- Tabelle 5: Alter der Springer
- Tabelle 6: Anzahl geschädigter Wirbelkörper
- Tabelle 7: Zusammenhang zwischen radiologischer und klinischer Verletzungshöhe
- Tabelle 8: Neurologischer Primärbefund
- Tabelle 9: Pneumonie und Beatmungspflicht verteilt nach Lähmungshöhe bei Aufnahme
- Tabelle 10: Entwicklung der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung
- Tabelle 11: Änderung der AIS-Klassifikation von Aufnahme zu Entlassung
- Tabelle 12: Operativ behandelte Komplikationen
- Tabelle 13: Konservativ behandelte Komplikationen
- Tabelle 14: Übersicht der neurologischen Befundentwicklung der bei Entlassung gehfähigen Patienten
- Tabelle 15: Krankenhausverweildauer aller Patienten
- Tabelle 16: Krankenhausverweildauer der Patienten der Gruppe I
- Tabelle 17: Krankenhausverweildauer der Patienten der Gruppe II
- Tabelle 18: Krankenhausverweildauer der Patienten der Gruppe III

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeines

Weltweit sind mehr als 2,7 Millionen Menschen von einer Querschnittlähmung betroffen, nach Daten der Weltgesundheitsorganisation kommen jedes Jahr zwischen 250.000 und 500.000 Betroffene hinzu (Bickenbach et al. 2013, Abbildung 1).



\* International perspectives on spinal cord injury, World Health Organization, 2013

**Abbildung 1: Weltweite Anzahl und Ursachen einer Querschnittlähmung (Bickenbach et al. 2013)**

In den Industriestaaten liegt die jährliche Inzidenz akuter traumatischer Rückenmarkläsionen bei 10-30/1Mio Einwohner (Badke 2009). In Deutschland gibt es jährlich etwa 2200 neue Fälle von Querschnittlähmungen, die Hälfte davon traumatischer Ursache (Blumenthal et al. 2016). Hieraus resultieren 600 Fälle mit posttraumatischer Tetraparese jährlich (Bühren 2002, Röhl et al 2003). Männer sind dreimal häufiger betroffen als Frauen (Kaps 2010). Da in Deutschland keine zentrale Datenbank zur Registrierung der Unfallursachen posttraumatischer

Querschnittlähmung existiert, differieren die Daten in der Literatur zum Anteil der Badeunfälle an den traumatischen Querschnittlähmungen. Der Anteil liegt zwischen 4,2% und 7,7% (Steinbrück 1980, Schmitt und Gerner 2001, Thietje 2018)

Die Geschlechterverteilung aller querschnittgelähmten Patienten hat sich in den letzten 35 Jahren kaum verändert, zu 69% sind männliche Patienten betroffen, zu 31% Frauen (Deutsche Gesellschaft für Neurologie 2012). Auch die Lähmungshöhe in diesem Beobachtungszeitraum ist mit 38% Tetraplegien und 62% Paraplegien nahezu gleichgeblieben (Börm und Meyer 2008).

## **1.2 Die Querschnittlähmung in der Historie**

Die Verletzung der Halswirbelsäule mit Tetraplegie ist bereits seit dem frühen Altertum bekannt (Lange 2003) und verlief bis in die Neuzeit hinein in aller Regel tödlich. Die erste Erwähnung einer hohen Rückenmarklähmung stammt aus dem Jahr 4500 v. Chr. Sie findet sich im Edwin-Smith-Papyrus und wird dem Arzt und Architekten Imhoteps zugeschrieben (Buck und Beckers 1993). Im Laufe der Jahrhunderte entstanden immer wieder Abhandlungen über Wirbelsäulenverletzungen. 400 v. Chr. beschrieb Hippokrates die Symptome und Komplikationen einer chronischen Paraplegie und definierte eine Behandlung durch Trinken von viel Flüssigkeit und einer spezifischen Diät (Lange 2003) Die Abhandlung des Arztes Galen (130-201 n. Chr.) über die Funktionen des Rückenmarkes sowie die Behandlung Betroffener galt bis ins 19. Jahrhundert als einzigartig und vollständig.

Da es kaum Therapiemöglichkeiten gab und respiratorische Komplikationen, Komplikationen der Blase und Niere und durch Decubiti als unvermeidliche Folgen der Nervenläsionen angesehen wurden, war die Prognose der Patienten mit Rückenmarkläsion bis ins 20. Jahrhundert sehr schlecht. Bis etwa 1920 verstarben etwa 80% der Betroffenen in den ersten zwei Wochen nach der Verletzung (Lange 2003). Durch die Weiterentwicklungen in vielen medizinischen Bereichen wie z.B. der Unfallchirurgie, Intensivmedizin und Rehabilitation hat sich

die Prognose zunehmend verbessert, so dass die Sterberate nach dem zweiten Weltkrieg deutlich zurückging.

Ein weiterer wichtiger Schritt in der Behandlung von Querschnittgelähmten war die Gründung eines ersten spezialisierten Querschnittszentrums 1944 in Aylesbury unter Leitung des Neurochirurgen Sir Ludwig Guttmann. Zu diesem Zeitpunkt begann eine Spezialisierung, die Querschnittgelähmten die Möglichkeit einer adäquaten Behandlung und Therapie eröffnete. Es begann neben der medizinischen auch die soziale Rehabilitation, und es wurde das Prinzip der lebenslangen Nachsorge eingeführt (Guttmann 1973).

Laut der Deutschsprachigen Medizinischen Gesellschaft für Paraplegie (DMGP) wurden 2017 in Deutschland 27 Zentren für querschnittgelähmte Patienten betrieben. Im BG-Klinikum Hamburg mit 139 Behandlungsplätzen werden jährlich etwa 260 Erstbehandlungen, 1000 Wiederaufnahmen und 1500 ambulante Untersuchungen durchgeführt.

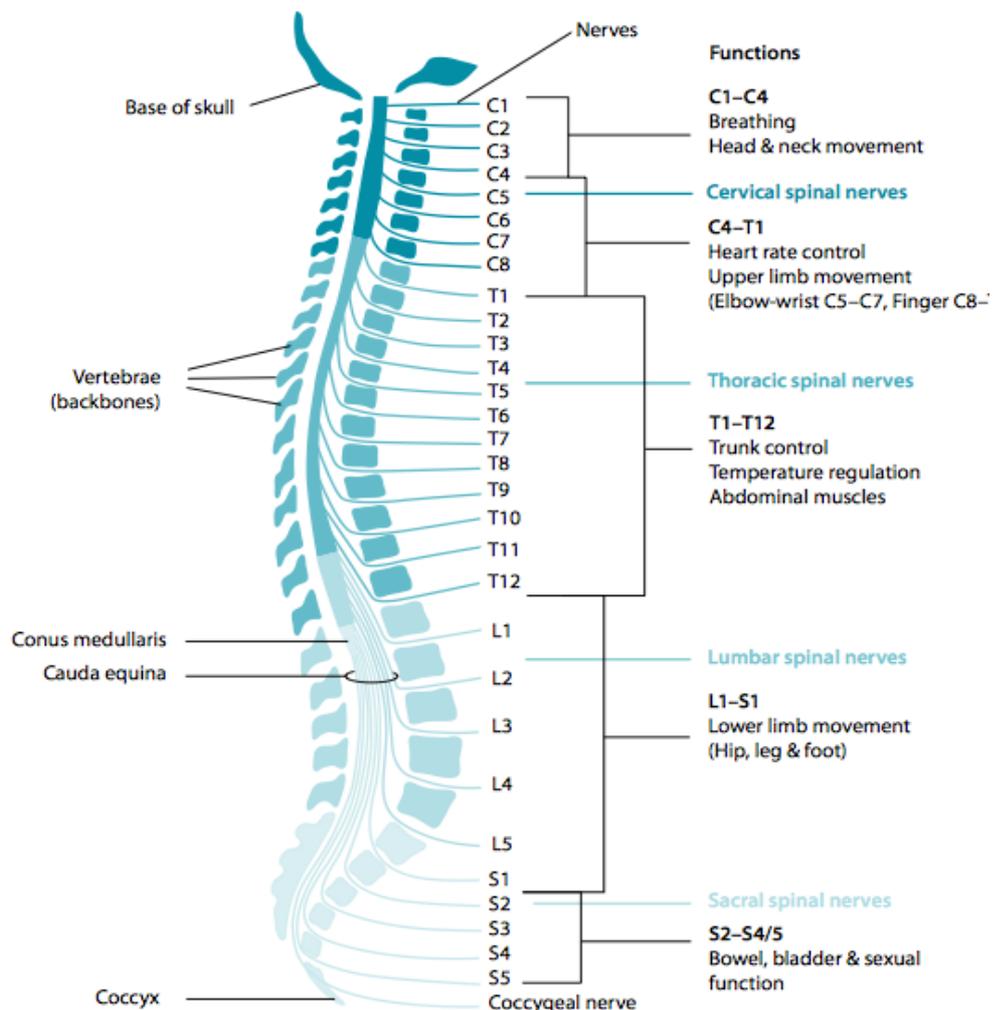
### **1.3 Definition Querschnittlähmung**

Die Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie definiert in ihrer Leitlinie (2002) zur Querschnittlähmung die Querschnittlähmung als „ein aus einer kompletten oder inkompletten Schädigung des Rückenmarkquerschnitts resultierendes Lähmungsbild mit Ausfall motorischer, sensibler und vegetativer Funktionen unterhalb der Läsion mit primär schlaffer motorischer (spinaler Schock), später meist spastischer Lähmung (spinale Automatismen) und Störung der urogenitalen und Enddarmfunktionen. Komplette Schädigungen des Conus medullaris und der Cauda equina führen zu dauerhaft schlaffen Lähmungen.“

Je nach Höhe der Rückenmarkläsion wird zwischen Tetra- und Paraplegie differenziert. Bei einer Schädigung des zervikalen Rückenmarkes bis zum ersten Brustwirbelkörper besteht eine Tetraplegie, bei einer Schädigung unterhalb des ersten Brustwirbelkörpers entsteht eine Paraplegie. Je nach Ausmaß der Rückenmarkschädigung unterscheidet man zwischen kompletter oder inkompletter Lähmung. Bei der kompletten Lähmung, welche in etwa 50% der Fälle auftritt

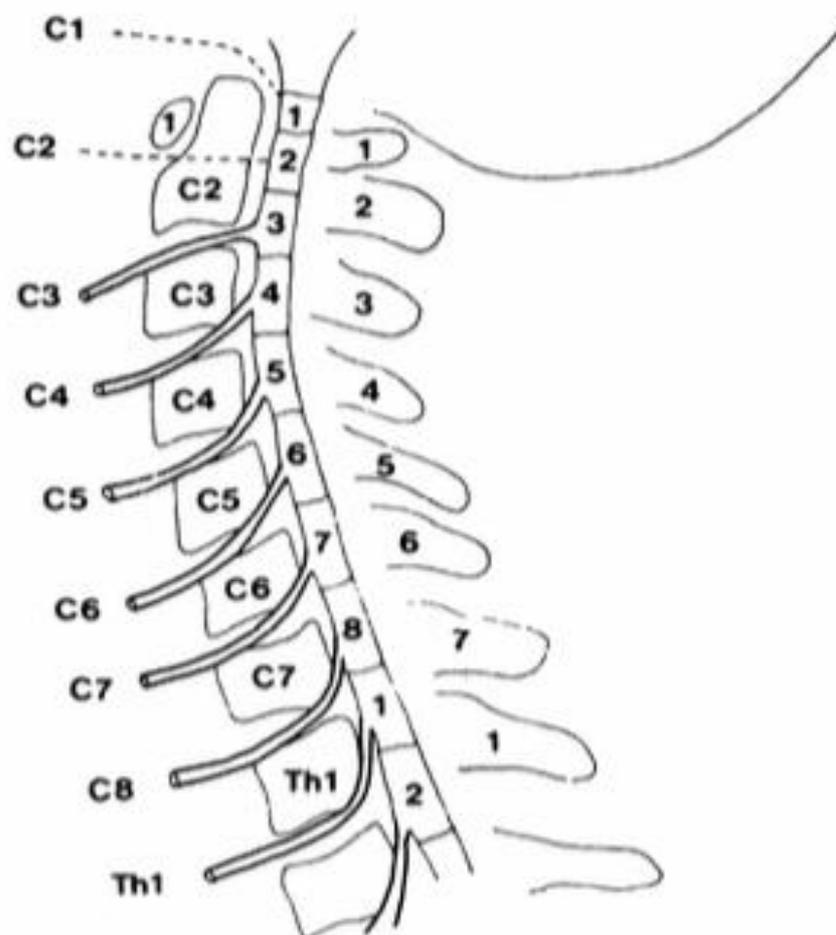
(Cavigelli und Curt 2000) sind weder motorische noch sensible Funktionen vorhanden, die autonomen Funktionen sind gestört. Bei inkompletter Lähmung können Restfunktionen sehr unterschiedlichen Ausmaßes vorhanden sein, so dass die klinische Ausprägung der Ausfälle sehr stark variiert, wovon letztendlich auch das Ausmaß der körperlichen Einschränkung abhängt. So kann es beispielsweise sein, dass lediglich sensible Restfunktionen wie Schmerz, Temperatur und Berührung vorhanden sind. Demgegenüber stehen Läsionen, die eine motorische Funktion der unteren Extremität erlauben (Poeck 2006).

Abbildung 2 zeigt eine schematische Übersicht der Spinalnerven mit ihren Hauptfunktionen.



**Abbildung 2: Längsansicht des Rückenmarks, Rückenwirbel und Spinalnerven sowie eine knappe Darstellung der Hauptfunktionen des Rückenmarks (Bickenbach et al. 2013)**

Die Halswirbelsäule besteht aus sieben Halswirbelkörpern, mit den sich dazwischen befindenden Bandscheiben. Die Halswirbelsäule ermöglicht die Kopfbeweglichkeit und schützt das Rückenmark. Der erste Halswirbelkörper Atlas und der zweite Halswirbelkörper Axis haben wegen ihrer besonderen Funktion und Form Eigennamen. Atlas und Axis bilden gemeinsam das obere Kopfgelenk, welches für die Nickbewegung zuständig ist, und das untere Kopfgelenk, welches für eine Drehbewegung steht. Sie sorgen somit für 70% der Kopfbeweglichkeit. Die Halswirbelkörper 3-6 haben keine Eigennamen. Die Halswirbelsäule endet mit dem Halswirbelkörper 7, der Vertebra prominens. Aus dem Rückenmark entspringen auf jeder Seite acht Nervi spinales (Abbildung 3). Durch die Querfortsätze verlaufen beidseits die Arteriae vertebrales.



**Abbildung 3: Verlauf und segmentale Austrittspunkte der cervicalen Spinalnerven in Beziehung zu den Spinalnerven der Halswirbelsäule (Abbildung aus Krämer/Nentwig1999)**

Die Einteilung der klinischen Rückenmarksyndrome erfolgt anhand der neurologischen Ausfälle, die von funktioneller und prognostischer Bedeutung sind. So weist das Anterior-Cord-Syndrom, bei dem es zu einer traumatischen Verletzung der vorderen zwei Drittel des Rückenmarkes kommt, mit vorwiegenden Ausfällen der Motorik und der Schmerz- und Temperaturwahrnehmung, die schlechteste Prognose auf. Das Brown-Séquard-Syndrom mit spinaler Halbseitenlähmung und das Central-Cord-Syndrom mit Ausfällen vorwiegend im Bereich der Arme zeigen meist eine gute Erholung der Steh- und Gehfunktion, während es beim Posterior-Cord-Syndrom vorwiegend zu einer spinalen Ataxie und Hypästhesie und eher selten zu einer anhaltenden Beeinträchtigung der Steh- und Gehfunktion kommt.

Zur systematischen Klassifikation des neurologischen Schadens werden die International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury von der American Spinal Injury Association (ASIA) herangezogen, allen voran die American Spinal Injury Association Impairment Scale (Kirshblum et al. 2011) wie in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1: American Spinal Injury Association Impairment Scale**

Grad	
A	Komplette Lähmung: keine motorische oder sensible Funktion in den Segmenten S4/5
B	Sensibel inkomplette Lähmung: erhaltene Sensibilität in den sakralen Segmenten S4/5
C	Motorisch inkomplette Lähmung: Restmotorik unterhalb des neurologischen Niveaus und mehr als die Hälfte der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Kraftgrad kleiner 3
D	Motorisch inkomplette Lähmung: Restmotorik unterhalb des neurologischen Niveaus und wenigstens die Hälfte der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Kraftgrad größer 3
E	Normal: normale Motorik der Kennmuskeln und normale Sensibilität. Pathologische Reflexe können persistieren

Zur weiteren Einteilung von Querschnittlähmungen ist die präzise Differenzierung der Kraftgrade notwendig, was durch ein semiquantitatives Verfahren gemessen und nach einer Definition des tschechischen Neurologen Vladimir Janda (2016) eingeteilt wird (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Kraftgrade nach Janda (Janda 2016)**

Stufe	Code	Bedeutung	Befund
0	Z	Zero	Keine erkennbare Muskelkontraktion: 0% Muskelkraft
1	T	Trace	Erkennbare Reaktion, nicht ausreichend für eine Bewegung: 10% Muskelkraft
2	P	Poor	Bewegung ohne Arbeit gegen die Schwerkraft: 25% Muskelkraft
3	F	Fair	Bewegung entgegen der Schwerkraft: 50% Muskelkraft
4	G	Good	Bewegung gegen leichten bis mittelgroßen Widerstand: 75% Muskelkraft
5	N	Normal	100% der physiologischen Muskelkraft

Die Höhe der Querschnittlähmung wird als Lähmung unterhalb des letzten noch vollständig funktionstüchtigen Rückenmarksegmentes definiert (Kaps 2010), die Einteilung ist in Tabelle 3 dargestellt.

**Tabelle 3: Motorische und sensible radikuläre Segmentkennung (nach Krüger 2010)**

Segment	Sensibilität	Kennmuskel	Funktionseinschränkung
C1		Mm. longus colli, - capitis, Mm. rectus capitales	Flexion und laterale Flexion Halswirbelsäule
C2	Hinterkopf bis vordere Ohrlinie	M. sternocleidomastoideus, Mm. splenii	Rotation Kopf und Halswirbelsäule
C3/C4	Proximaler Schultergürtel	M. phrenicus	Zwerchfellparese
C5	Laterale Schulter	Mm. biceps + deltoideus	Ellenbogenflexion
C6	Radialseitiger Ober- und Unterarm, Daumen	M. brachioradialis	Dorsalextension Handgelenk
C7	Mittelfinger	M. triceps brachii	Ellenbogenextension
C8	Kleinfinger	Kleine Handmuskeln Mm. flexor digitorum	Flexion in PIP/DIP

#### **1.4 Komplikationen nach akuter Läsion**

Durch eine akute Unterbrechung der Impulsleitung des cerebralen Nervensystems kommt es zu einem teilweisen oder kompletten Funktionsverlust in allen Bereichen unterhalb der Läsion. Diese als „spinaler Schock“ bezeichnete Phase die wenige Stunden bis einige Monate, im Mittel 4-6 Wochen anhalten kann, ist

gekennzeichnet durch eine schlaffe Lähmung der Muskulatur, das Fehlen von Fremd- und Eigenreflexen, den Ausfall der Viszero- und Vasomotorik und der vegetativen Steuerungsmechanismen. Durch den Ausfall der Vasomotorik verändert sich auch die Hautdurchblutung, was zusätzlich zur Parese/Plegie und Sensibilitätsstörung das Risiko für Decubitalgeschwüre stark erhöht. Bei Läsionen oberhalb Th5 ist das gesamte sympathische Nervensystem von den darüber liegenden Steuerungssystemen getrennt. Insbesondere cervicale Läsionen haben so ein höheres Risiko für hypotone Kreislaufdysregulationen, Bradykardien, Thrombembolien und Hypo- bzw. Hyperthermie. Durch die Schädigungen des Cervicalmarkes sind alle Musculi intercostales paretisch, da sie von den Nervi intercostales aus dem thorakalen Rückenmark innerviert werden. Durch eine zusätzliche partielle oder komplette Läsion des Nervus phrenicus (Austritt C3-C5), der das Zwerchfell innerviert, kann es zu respiratorischen Komplikationen kommen. Gehäuft sind Pneumonien, in deren Verlauf eine mindestens vorübergehende Intubation und Beatmung oft nicht zu umgehen ist.

Durch die neurale Schädigung der Harnblasensteuerung kommt es sehr häufig zu Harnwegsinfekten.

## **1.5 Halswirbelsäulenverletzungen nach Sprüngen ins flache Wasser**

Im deutschsprachigen Raum gibt es nur wenige Studien, die sich ausschließlich mit Wirbelsäulenverletzungen nach Sprüngen in flache Gewässer beschäftigen. In der internationalen wissenschaftlichen Literatur finden sich zumeist Studien, die sich allgemein mit einer ASCI (Acute Spinal Cord Injury) beschäftigen, und einen Gesamtüberblick über Anzahl und Ursache von traumatischen Rückenmarksverletzungen liefern. In vielen Arbeiten ist es aber möglich, den Anteil von Verletzungen, die durch einen Kopfsprung in flache Gewässer bedingt sind, zu ermitteln. Eine Übersicht dazu ist in Tabelle 4 dargestellt.

**Tabelle 4: Internationale Studien zu ASCI**

	Gesamtzahl ASCI	Wassersprung- Verletzte	Männlich %	Alter Jahre	Mittleres Alter Jahre
	n	n			
Schwarz et al. (2001), Österreich	116	108	93	14 - 29	k.A.
Schmitt et al. (2001), Heidelberg	1016	78	86	11-37	20
Steinbrück et al. (1978), Heidelberg	2346	123	95	k.A.	k.A.
De Vivo et al. (1997), Alabama	341	196	86	k.A.	24
Kiwerski et al. (1993), Polen	1330	303	k.A.	65%<30	k.A.
Bailes et al. (1990), Pittsburgh	2435	220	86	9-41	22
Vlok et al. (2010), Südafrika	46	46	91	k.A.	23
Aito et al. (2005), Italien	1158	65	95	14-47	22
Barth et al. (1980), Florida	72	72	89	6-49	k.A.

Innerhalb der einzelnen Länder existieren deutlich unterschiedliche Anteile an ASCI. In Deutschland gibt es jährlich etwa 2200 neue Querschnittslähmungen

(Blumenthal et al. 2016), wovon die Hälfte traumatisch bedingt ist. In 4,2-7,7% dieser Fälle ist ein Kopfsprung in flache Gewässer ursächlich (Steinbrück 1980, Schmitt und Gerner 2001, Thietje 2018). In einer Studie aus Novosibirsk wird der Anteil der querschnittgelähmten Wasserspringer an den gesamten ASCI mit 23,5% angegeben (Silberstein und Rabinovich 1995), in einer Studie aus Japan beträgt dieser Anteil lediglich 1,3% (Shingu et al. 1994).

Zu einer Verletzung kann es durch die Kombination aus ungenügender Wassertiefe, einer sehr steilen Sprungkurve und häufig nicht vorgestreckten Armen kommen. Dadurch berührt der Kopf häufig als erstes den Grund und die kinetische Energie des Sprunges wirkt ungebremst über den Kopf auf die Halswirbelsäule ein. Dementsprechend konnten Vlok et al. (2010) feststellen, dass nur 54% der Verletzten mit vorgestreckten Armen gesprungen sind.

Obwohl viele Studien nur wenige Parameter erheben, besteht über die hauptsächlich betroffene Personengruppe Klarheit. Es handelt sich meist um junge Männer ohne Vorerkrankungen, die in 23% die Unfallörtlichkeit das erste Mal besuchen (De Vivo und Sekar 1997, Schmitt und Gerner 2001, Schwarz et al. 1993, Vlok et al. 2010). Der Altersdurchschnitt ist niedrig, der Mittelwert zum Zeitpunkt des Unfalles liegt in den USA bei 24 Jahren (De Vivo und Sekar 1997), in Deutschland bei 20 Jahren (Schmitt und Gerner 2001) und in Südafrika bei 23 Jahren (Vlok et al. 2010).

Der Literatur nach spielt Alkohol eine Rolle. De Vivo und Sekar (1997) berichten in einer Studie aus den USA, dass Alkohol bei 49% der Verletzten eine Rolle spielte, eine Studie von Vlok et al. (2010) aus Südafrika verzeichnet über 37% alkoholisierte Opfer. Harte Drogen dagegen scheinen keine signifikante Bedeutung zu haben (Green et al. 1980, DeVivo und Sekar 1997).

Ebenfalls existieren beispielsweise zwischen den USA, Polen und Hawaii Unterschiede bezüglich des Unfallortes, die sich über unterschiedliche gesellschaftliche und wirtschaftliche Strukturen der Länder möglicherweise erklären lassen. In den USA, wo es eine hohe Dichte privater Pools gibt, sind es beispielsweise häufig Swimmingpools (De Vivo und Sekar 1997), in Polen häufiger natürliche Gewässer (Kiwierski et al. 1993) und auf Hawaii aufgrund seiner geographischen Lage größtenteils Verletzungen im Meer (Chang et al. 2006).

Die jahreszeitliche Prävalenz liegt in den Sommermonaten, nach einer Studie von De Vivo verletzen sich 82% aller betroffenen Patienten von Juni bis August. Ein Großteil der Sprünge ereignete sich zwischen 13:00 Uhr und 01:00 Uhr mit einer Häufung um 18:00 Uhr, in 46% der Fälle ereignet sich der Unfall während einer Party (De Vivo und Sekar 1997). In einer anderen Studie waren in 95% der Fälle junge Männer mit einem durchschnittlich höheren Gewicht und einer größeren Körpergröße als der altersverwandte Durchschnitt betroffen (Green et al. 1980).

Die durchschnittliche Wassertiefe des Unfallpools betrug in 70% der Fälle weniger als 1,20m (Green et al. 1980). Beim Springen vom Beckenrand ist die Eintauchgeschwindigkeit derart hoch, dass in den 0,2-0,5 Sekunden, die benötigt werden, um zu realisieren, dass das Wasser nicht tief genug ist, bereits eine Tiefe von 1,17-2,10 m erreicht ist. Dadurch ist es kaum möglich, auf geringe Wassertiefen zu reagieren (Schwarz et al. 2001).

Die Halswirbelsäule ist fast immer betroffen, in den meisten Fällen der fünfte cervicale Wirbelkörper (Abbildung 4). Nur in Ausnahmen kommt es dabei zu keinerlei neurologischer Beeinträchtigung, bei 54% muss mit einem kompletten, bei 41% mit einem inkompletten neurologischen Ausfall gerechnet werden (Good und Nickel 1980).

Nach Steinbrück und Paeslack (1978) handelt es sich bei traumatischen Halswirbelsäulenverletzungen insbesondere der unteren Halswirbelsäule häufig um Flexions- oder Extensionsverletzungen, teilweise mit einer zusätzlichen Rotationskomponente. Bei einer Hyperflexion kommt es zu einer Krafteinwirkung auf das obere Hinterhaupt. Durch diesen Mechanismus der maximalen Beugung der Halswirbelsäule entstehen häufig sogenannte „Teardrop-Frakturen“. Das sind Verletzungen, bei denen ein kleines Knochenfragment aus dem anteroinferioren Bereich des Wirbelkörpers durch den Anulus herausgeschlagen wird (Scheider und Kahn 1956). Zu einer Hyperextensionsverletzung kommt es durch eine Krafteinwirkung auf die Stirn. Die hieraus entstehende maximale Überstreckung der Halswirbelsäule führt häufig zu Verletzungen des vorderen Längsbandes, der Bandscheiben und Vertebralverschiebung des darüber liegenden Wirbelsäulenabschnittes. Kompressionsfrakturen mit Gelenkbeteiligungen lassen sich durch stärker axial einwirkende Kräfte auf die Halswirbelsäule erklären (Steinbrück und Paeslack 1978).



**Abbildung 4: Nativröntgenbild einer Halswirbelkörper 5 - Luxationsfraktur (© Radiologie BG Klinikum Hamburg)**

Betrachtet man generell Verletzungen der Wirbelsäule, fällt ein Ungleichgewicht auf. Im Vergleich zu Verletzungen an der thorakolumbalen Wirbelsäule, die eine hohe Verletzungsfrequenz mit vergleichsweise niedriger neurologischer Komponente darstellt, stellt sich bei Halswirbelsäulenverletzungen ein umgekehrtes Verhältnis dar, hier sind 15% der Wirbelsäulenverletzungen lokalisiert, in 70% gehen diese Verletzungen aber mit einer neurologischen Symptomatik einher (Ulrich et al. 2006). Ursächlich für das Ungleichgewicht ist der sehr enge Spinalkanal im Bereich der Halswirbelsäule, der bei Frakturen oder Luxationen dem Rückenmark kaum Ausweichmöglichkeiten bietet. Im Gegensatz

dazu wird der Spinalkanal in den thorakolumbalen Abschnitten der Wirbelsäule nach distal immer weiter, wodurch die Wahrscheinlichkeit einer Rückenmarkverletzung sinkt, neurologische Symptome werden dadurch seltener.

## **1.6 Prä- und innerklinische Versorgung von akuten Verletzungen des Halsmarkes**

Nach den aktuellen Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (2016) sollen Wirbelsäulenverletzte folgendermaßen erstversorgt werden:

Nach einer kurzen Unfallanamnese wird eine schonende und achsengerechte Rettung durchgeführt. Eine erste Einschätzung der Lähmungshöhe kann durch einige Kennmuskeln erfolgen (Tabelle 3). Die Halswirbelsäule wird durch eine feste Halskrawatte immobilisiert und der Verletzte auf einer Vakuummatratze oder einem Spineboard gelagert. Anschließend wird er möglichst erschütterungsarm, beispielsweise mit einem Hubschrauber, in ein für Diagnostik und Therapie geeignetes Krankenhaus transportiert. Durch diese Rettungsmaßnahmen sollen Sekundärschäden durch Fehlstellung, Ödem, Hämatom, Ischämie und Hypoxie minimiert werden. Die primäre, strukturelle Verletzung des Rückenmarkes lässt sich durch Rettungsmaßnahmen und Therapie in aller Regel nicht mehr beeinflussen. Therapiert werden kann und muss hingegen der spinale Schock, der durch die akute Sympathikolyse hervorgerufen wird (Hess et al. 2016).

Zur Vermeidung von Sekundärschäden und um den Verletzten frühzeitig mobilisieren bzw. rehabilitieren zu können, werden Halswirbelsäulen-Frakturen meistens operativ stabilisiert (Schwerdtfeger et al. 2004, Röhl 2003), siehe Abbildung 5. Postoperativ sollte der Verletzte intensivmedizinisch überwacht werden, da die akute Querschnittlähmung zu pulmonalen, kardiovaskulären, gastrointestinalen und urologischen Komplikationen führen kann. Alle akut Querschnittgelähmten haben insbesondere in den ersten drei Monaten durch die veränderte Vasomotorik ein deutlich erhöhtes Thrombembolierisiko (Kaps 2010).



**Abbildung 5: Operativ versorgte Halswirbelkörperfraktur (© Radiologie BG Klinikum Hamburg)**

### **1.7 Komplikationen nach Querschnittlähmungen**

Die mit Abstand häufigste Komplikation nach Eintritt einer Querschnittlähmung ist die Harnwegsinfektion. Ursächlich hierfür ist die lähmungsbedingte Dysfunktion der Harnblase sowohl hinsichtlich der Niederdruckfüllung als auch hinsichtlich der Steuerung der Entleerung. In Abhängigkeit von Lähmungshöhe und Lähmungsausmaß folgen pulmonale Infekte (Kaps 2010). Zu den häufigsten Komplikationen zählen weiterhin thrombembolische Komplikationen, welche im Wesentlichen durch Stase und Dysregulation des Gefäßtonus unterhalb des Lähmungsniveaus hervorgerufen werden, Dekubitus aufgrund der lähmungsbedingten Immobilität sowie meist hypertensive Kreislaufdysregulationen auf dem Boden von vegetativen Entgleisungen. Seltene, aber typische Komplikationen stellen Syringomyelien und heterotope Ossifikationen dar. Deren Ursache ist ähnlich wie nach Schädelhirntraumata mit längerer Beatmungsnotwendigkeit bis heute nicht abschließend geklärt.

## **1.8 Intensivmedizinische Behandlung**

Nach dem Unfallereignis müssen alle Patienten intensivmedizinisch überwacht werden. Aufgrund des spinalen Schocks ist ein Herz-Kreislauf-Monitoring notwendig, da ausgeprägte Bradykardien gehäuft vorkommen, ihre Prävalenz ist am vierten Tag am höchsten (Furlan und Fehlings 2008, Vale et al. 1997). Der mittlere arterielle Blutdruck sollte  $> 80\text{mmHg}$  betragen, auftretende Hypotonien werden über einen zentralen Venenkatheter mit Volumen- und Katecholamingabe therapiert (Levi et al. 1993, Hulbert 2006). Dysautonome Krisen mit hypertensiver Entgleisung und Bradykardien können nach Levi et al. (1993) nach jeglicher Art von Stimulus im gelähmten Bereich wie beispielsweise Blasenüberdehnung beobachtet werden.

Die pulmonale Situation ist genau zu kontrollieren, bei zunehmend schlechter werdender Lungenfunktion ist eine Intubation mit Beatmung notwendig.

Bei Lagerungsmanövern, die en bloc vorgenommen werden müssen, und trachealem Absaugen ist Vorsicht geboten, da dabei Asystolien beschrieben sind (Röhl 2003).

Die Harnableitung erfolgt über einen Dauerkatheter. Das erhöhte Thrombembolie- und Ulcusrisiko muss entsprechend medikamentös behandelt werden.

## **1.9 Fragestellung**

In der Literatur sind keine Daten zu respiratorischen Komplikationen nach cervikaler Querschnittlähmung durch Kopfsprung in flache Gewässer vorhanden. Daher sollte als primäres Untersuchungsziel die Frage beantwortet werden, wie häufig respiratorische Komplikationen in dieser Patientengruppe vorkommen und wie oft sie beatmungspflichtig werden. Untersucht wurden neben dem Einfluss des primären Lähmungsniveaus und dem Lähmungsmaß nach der AIS-Klassifikation auch der mögliche Einfluss des Unfallortes auf die Anzahl der Pneumonien.

Um des weiteren auch den Einfluss einer bereits präklinisch notärztlich durchgeführten Intubation und Beatmung zu ermitteln, wurde eine Subgruppe von 56 im BG Klinikum Hamburg primär versorgten Patienten gebildet. Nur bei dieser Patientengruppe war der Datensatz vollständig, um sichere Aussagen zur präklinischen Versorgung treffen zu können. Es sollte herausgearbeitet werden, ob die vier Faktoren Lähmungsniveau, Lähmungsmaß, Unfallort und präklinische Intubation und Beatmung Indikatoren für ein erhöhtes Risiko zur Entwicklung einer Pneumonie sein können und ob sich daraus Konsequenzen der prä- und innerklinischen Versorgung ableiten lassen. Eine weitere Frage war, ob die Beatmung der betroffenen Patienten zu einer dauerhaften oder passageren Beatmung führte.

Sekundäre Untersuchungsziele waren die Erfassung von Geschlecht, Alter, Krankenhausverweildauer, Anzahl der frakturierten Wirbelkörper mit der Frakturhöhe, die beim Unfall diagnostizierten Begleitverletzungen und die Häufigkeit von Herz-Kreislauf-Stillständen. Weiterhin wurden die operativ und nicht operativ bedingten Komplikationen erfasst.

Ein weiterer Fokus lag auf den neurologischen Konversionsraten der Patienten. Es soll die Frage beantwortet werden, wie sich der neurologische Status der Patienten während des Krankenhauserstufenthaltes ändert. Gibt es Erholungsmöglichkeiten in Bezug auf das Lähmungsmaß und -niveau und verbessern sich die motorischen Möglichkeiten der Patienten zur selbstständigeren Lebensführung. Dafür wurde bei allen Patienten der neurologische Befund in Form der AIS-Klassifikation sowie das Lähmungsniveau nach Segmenthöhen zwischen Aufnahme und Entlassung untersucht. Zu dieser Fragestellung sind in der Literatur Daten vorhanden, diese sind aber nicht einheitlich.

In einer retrospektiven Untersuchung wurden die Verläufe von im Querschnittgelähmten Zentrum des BG Klinikum Hamburg behandelten Patienten aus dem Zeitraum von 06/1980 bis 07/2018 ausgewertet. Dafür wurden Aufnahme- und Entlassungsbriefe der betroffenen Patienten ausgewertet.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Patientenkollektiv**

Am BG Klinikum Hamburg wurden in der Zeit von 06/1980 bis 07/2018 Patienten behandelt, die als Merkmal bei der Einlieferung „Unfall im Wasser“ aufwiesen.

182 Patienten konnten durch den Screeningprozess identifiziert werden.

Da das Einschlusskriterium für die Studie ein Kopfsprung in flaches Wasser war, mussten 22 Patienten ausgeschlossen werden, davon war bei 12 Patienten der Unfallmechanismus nicht sicher belegt. Bei sechs weiteren Patienten kam es durch Wellen der Brandung zur Verletzung, zwei Patienten wurden bei Tauchunfällen verletzt, einem Patienten ist ein anderer Schwimmer auf den Rücken gesprungen und ein weiterer Patient ist auf einer Wasserrutsche verletzt worden.

Zur Auswertung kam 160 Patienten mit dem Einschlusskriterium ein Kopfsprung in flaches Wasser.

### **2.2 Definition respiratorische Komplikationen und Pneumonien**

Die respiratorische Komplikation ist eine Störung der pulmonalen Sauerstoffaufnahme, die zu einer Hypoxie führt. Ursächlich ist im untersuchten Patientenkollektiv häufig eine Störung der Atemmechanik durch Schädigung der Innervation der Atemmuskulatur. Als weitere Ursache ist eine Aspiration von Wasser am Unfallort möglich.

Ausgewertet wurden alle in den Entlassungsbriefen unter Diagnosen erfassten Pneumonien.

### **2.3 Definition AIS-Kategorien**

Zur systematischen Klassifikation des neurologischen Schadens wurden die International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury von der American Spinal Injury Association (ASIA) mit der American Spinal Injury

Association Impairment Scale herangezogen (AIS) (Kirshblum et al. 2011), siehe Kapitel 1.3.

## **2.4 Definition Lähmungshöhe**

Die Lähmungshöhe wird als Lähmung unterhalb des letzten noch vollständig funktionstüchtigen Rückenmarksegmentes definiert (Kaps 2010), siehe Kapitel 1.3.

## **2.5 Einteilung der Patienten nach Lähmungshöhe**

Die Patienten wurden von uns zur besseren statistischen Auswertbarkeit je nach Lähmungshöhe bei Aufnahme in drei Gruppen eingeteilt:

Gruppe I: Lähmungsniveau Segment C0-C3

Gruppe II: Lähmungsniveau Segment C4+C5

Gruppe III: Lähmungsniveau Segment C6+C7

## **2.6 Definition Reanimation**

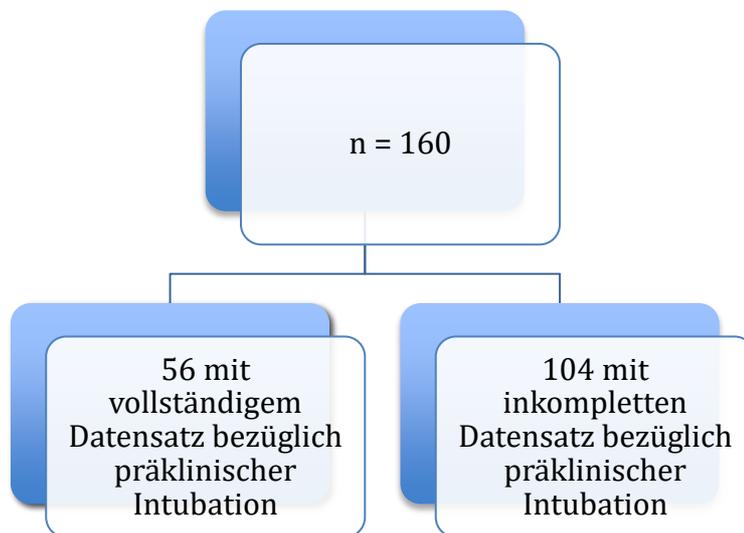
Als reanimationspflichtig wird ein Patient bezeichnet, der einen Atem- und Kreislaufstillstand erlitten hat, die Reanimation wird mittels Herzdruckmassage, Beatmung und durch Gabe von Medikamenten durchgeführt (Perkins et al 2018).

## **2.7 Definition Komplikationen**

Komplikationen sind unerwünschte Ereignisse, die den Verlauf der Behandlung beeinflussen und verzögern können (Thomerczek et al. 2004). Erfasst wurden operativ und nicht operativ bedingte Komplikationen. Alle ausgewerteten Komplikationen sind aus dem Entlassungsbrief der Patientenakte entnommen worden.

## 2.8 Auswertung einer Untergruppe

Um den Einfluss der präklinischen Intubation und Beatmung auf die Entwicklung von respiratorischen Komplikationen zu untersuchen, ist eine Subgruppe von 56 Patienten gebildet worden (Abbildung 6). Bei dieser Subgruppe handelte es sich um Patienten, die primär im BG Klinikum Hamburg aufgenommen worden sind. Diese Subgruppenbildung war notwendig, weil nur diese Patienten einen vollständigen Datensatz besaßen, um definitive Aussagen darüber machen zu können, ob sie präklinisch notärztlich intubiert und beatmet oder spontan atmend in die Notaufnahme gebracht wurden. Für alle anderen untersuchten Parameter ist das Gesamtkollektiv von 160 Patienten ausgewertet worden.



**Abbildung 6: Bilden der Subgruppe präklinische Intubation**

Es erfolgte zunächst ein Vergleich zwischen der Gruppe mit vollständigem Datensatz und der Gruppe mit inkomplettem Datensatz hinsichtlich Geschlechtsverteilung, Alter, geschädigter Wirbelkörper, Krankenhausverweildauer, Reanimation, Lähmungshöhe, AIS, Pneumonien, Tracheotomien und Beatmungspflicht. Es zeigte sich, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Subgruppen bestehen.

Für statistische Auswertungen von respiratorischen Komplikationen, Beatmungspflicht, Reanimation, Dauerbeatmung bei Entlassung und Krankenhausverweildauer sind alle Patienten je nach Lähmungshöhe bei

Aufnahme in drei Gruppen unterteilt worden: Hohe, mittlere und tiefe Verletzungshöhen der Halswirbelsäule.

Gruppe I: Hohe Verletzungen Segment C0-C3

Gruppe II: Mittlere Verletzungen Segment C4+C5

Gruppe III: Segment C6+C7

Ein weiterer Auswertungsschwerpunkt lag in der Veränderung des neurologischen Befundes zwischen Aufnahme und Entlassung, was durch die AIS-Klassifikation und die Lähmungshöhe nach Segmenten definiert wurde. Des Weiteren wurden die selbstständigen Mobilisationsmöglichkeiten untersucht. Weitere untersuchte Parameter waren Alter, Geschlecht, Unfallort, Höhe der Wirbelkörperfrakturen, Einfach- bzw. Mehrfachfrakturen, Begleitverletzungen, nicht-operative und operativ-bedingte Komplikationen, Wohnsituation zum Entlassungszeitpunkt, Häufigkeiten von Harnwegsinfekten und Umgang mit der Harnentleerung.

## **2.9 Statistik**

Die statistischen Auswertungen der erhobenen Daten wurde mit der Software SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) getätigt.

In Abhängigkeit von den Datenmerkmalen wurden der Chi-Quadrat-Test, der exakte Fisher-Test, der Wilcoxon Zwei-Stichprobentest sowie der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Das statistische Signifikanzniveau wurde für alle Tests in dieser Arbeit auf  $\alpha=0,05$  gesetzt.

Von den erhobenen Daten wurden Mittelwert, Standardabweichung, Median, 1. Quartil und 3. Quartil sowie Minimum und Maximum beschreibend gerechnet.

Der Wilcoxon Zwei-Stichprobentest wurde für den Test von zwei Gruppen und der Kruskal-Wallis-Test für den Test von mehr als zwei Gruppen bei Vorliegen von nicht normal verteilten Daten verwendet. Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test bestimmt.

Der exakte Fisher-Test und der Chi-Quadrat-Test wurden benutzt, um eine Beziehung zwischen qualitativen Merkmalen zu zeigen. Bei Vorliegen von Signifikanz wurde die Odds Ratio mit 95% Konfidenzintervall ermittelt.

Die Boxplots dieser Arbeit wurden mit der Software SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) angefertigt.

Sämtliche andere Grafiken wurden mit der Software Microsoft<sup>®</sup> Excel (Microsoft, Redmont, USA) angefertigt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Patientenkollektiv

Insgesamt sind im Zeitraum von 06/1980 bis 07/2018 somit 160 Patienten mit dem Unfallmechanismus „Kopfsprung in flaches Wasser“ untersucht worden. Bei allen Patienten bestand bei Aufnahme im Krankenhaus eine Tetraplegie oder -parese.

##### 3.1.1 Geschlecht

Von den insgesamt 160 Patienten waren 156 Männer und vier Frauen (Abbildung 7).

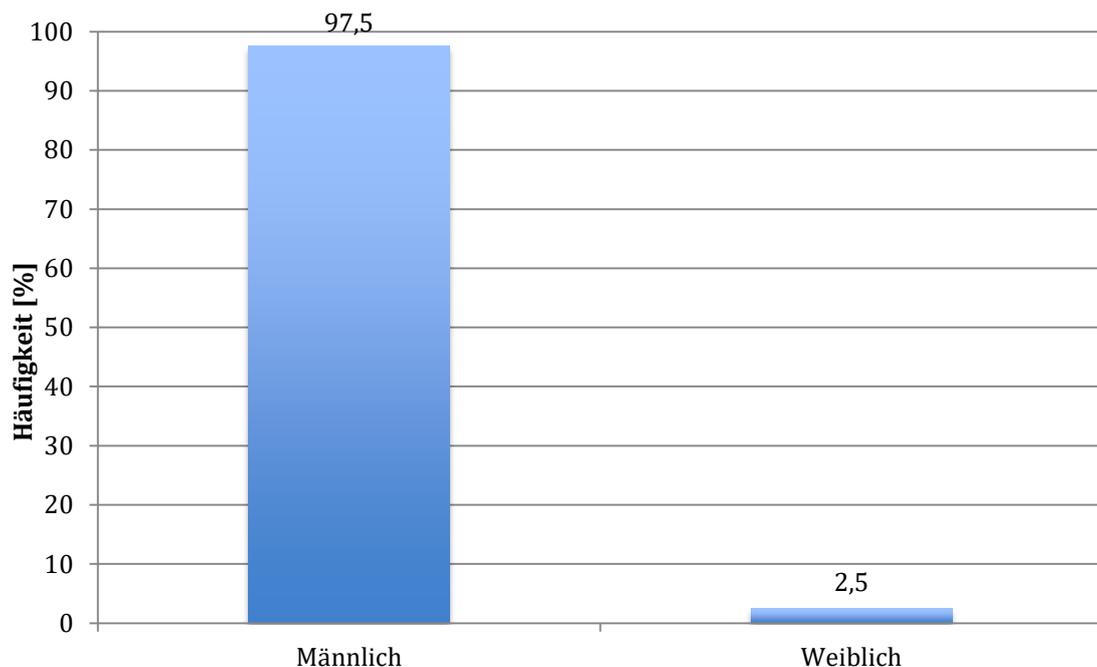


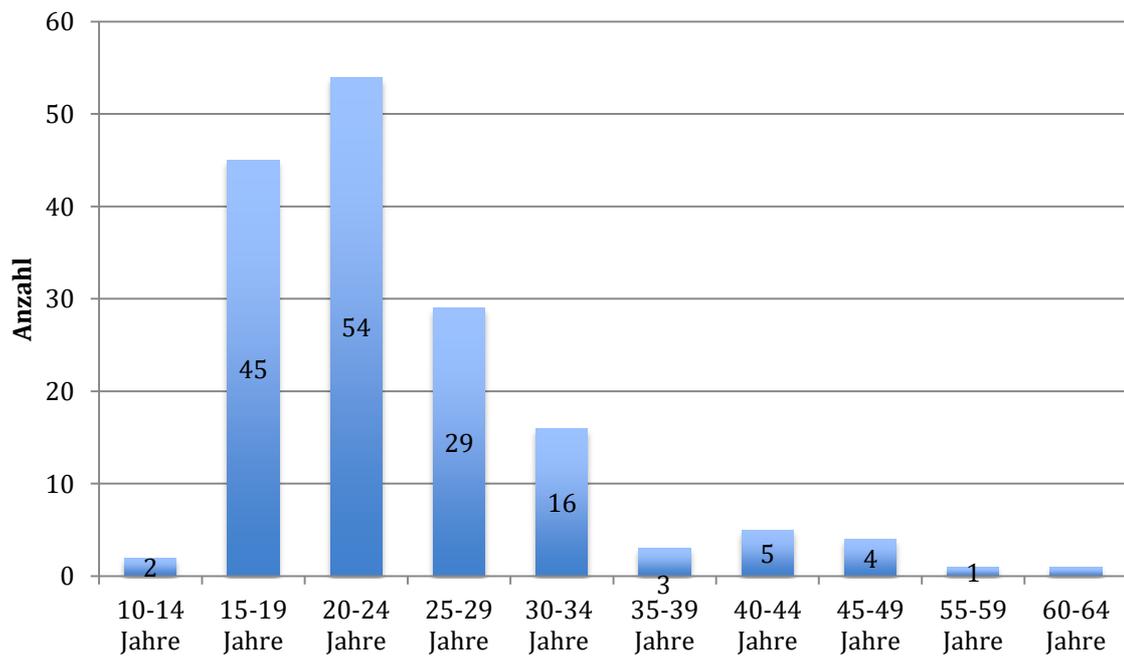
Abbildung 7: Verteilung der Geschlechter

##### 3.1.2 Alter

Das durchschnittliche Lebensalter lag bei 24,3 Jahren. Der jüngste Verunfallte war 13 Jahre alt, der älteste Betroffene 63 Jahre alt, siehe Tabelle 5 und Abbildung 8.

**Tabelle 5: Alter der Springer**

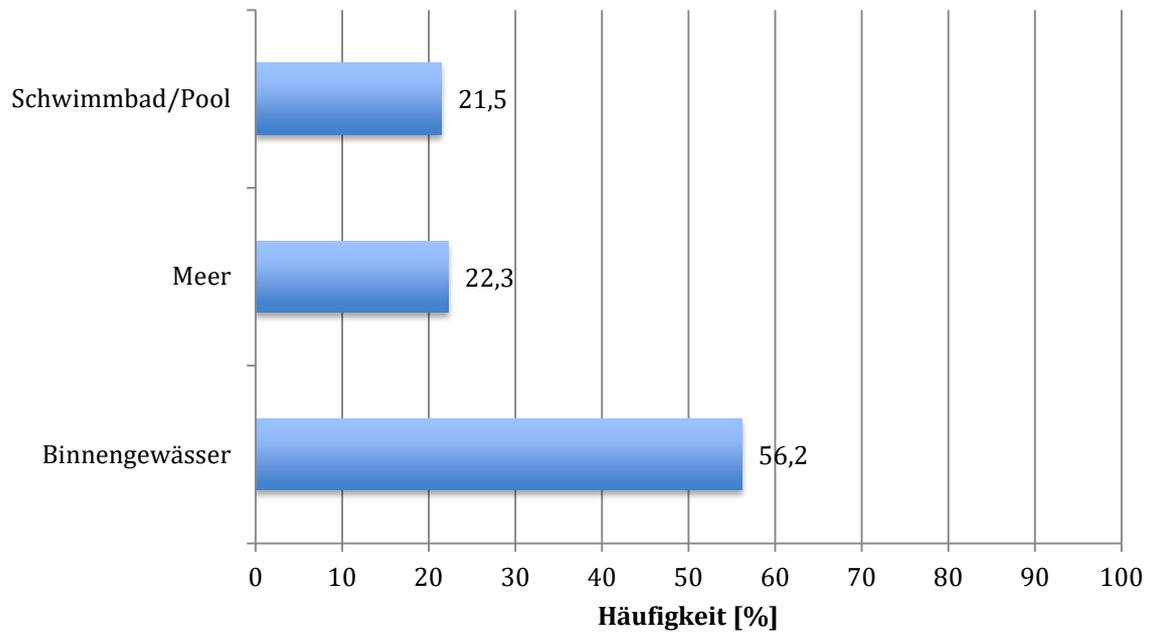
Anzahl	Mittelwert	SD	Maximum	Quartil3	Median	Quartil1	Minimum
160	24,4313	8,0585	63	27,5	22	19	13



**Abbildung 8: Altersverteilung (n=160)**

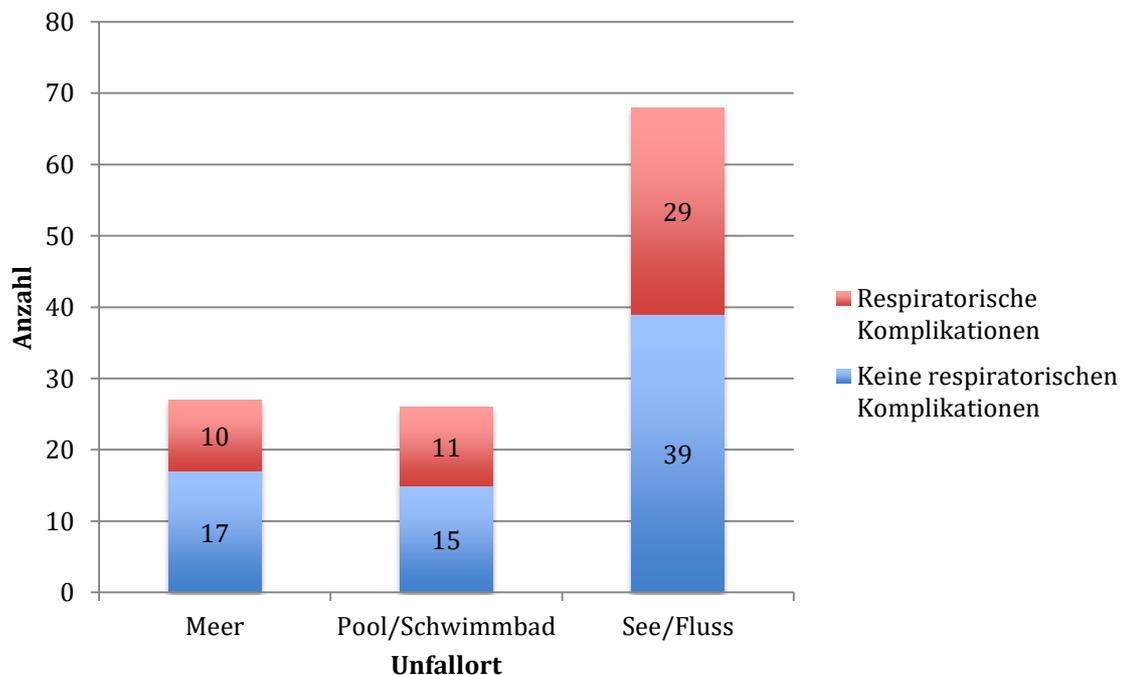
### 3.1.3 Unfallort und -zeit

Bezüglich des Unfallortes gab es von 121 Patienten Angaben, 39 Patienten konnte kein Unfallort zugeordnet werden. Mit 56,20% sind Binnengewässer wie Seen oder Flüsse die häufigsten Orte, danach kommt mit 22,31% das Meer, gefolgt von Schwimmbädern und Pools mit 21,49% (Abbildung 9).



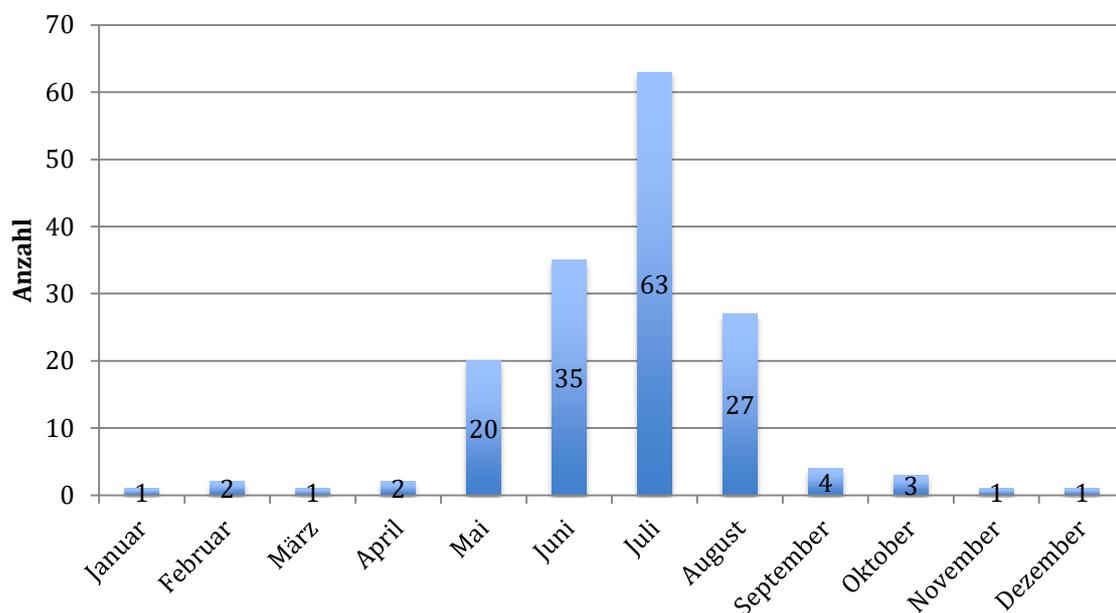
**Abbildung 9: Unfallort**

Eine Betrachtung der Unfallorte bezüglich der respiratorischen Komplikationen (Abbildung 10) ergab, dass die Unfallorte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Pneumonien und respiratorischen Komplikationen hatten ( $p=0,8788$  exakter Fisher-Test).



**Abbildung 10: Abhängigkeit Unfallort und respiratorische Komplikationen (n=121)**

Die Untersuchung unseres Patientenkollektives ergab eine Häufung der Ereignisse in den Sommermonaten Mai bis August (Abbildung 11).



**Abbildung 11: Unfallmonat (n=160)**

### 3.2 Verletzungsmuster

#### 3.2.1 Geschädigte Wirbelkörper

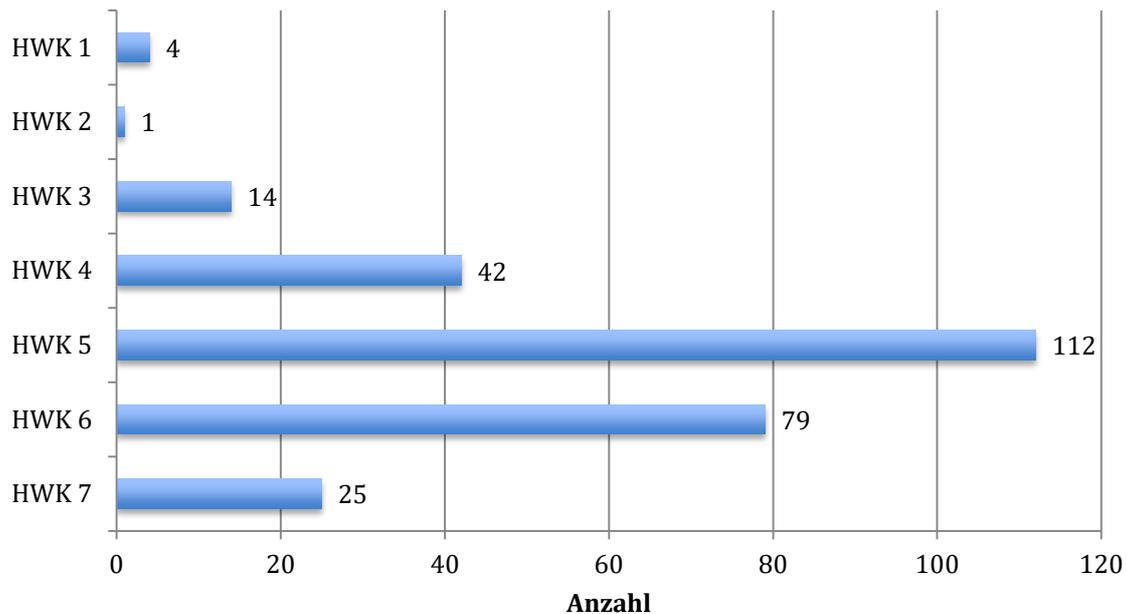
Die Verletzungsmuster reichen von einem bis zu vier frakturierten Wirbelkörpern (Tabelle 6). 42,50% hatten einen frakturierten Wirbelkörper, bei 48,13% waren zwei Wirbelkörper betroffen, bei 8,75% waren drei Wirbelkörper frakturiert und bei einem Patienten (0,63%) waren vier Wirbelkörper frakturiert.

**Tabelle 6: Anzahl geschädigter Wirbelkörper**

Anzahl	Mittelwert	SD	Maximum	Quartil3	Median	Quartil1	Minimum
160	1,7	0,6986	4	2	2	1	1

Die häufigsten Frakturen befanden sich in Höhe der Halswirbelkörper 4-6 (Abbildung 12), 74,38% aller Frakturen betreffen diese Wirbelkörper. Der

Halswirbelkörper 5 war der am häufigsten allein oder in Kombination mit anderen Wirbelkörpern frakturierte Wirbelkörper. Bei 67,50% war er beteiligt, gefolgt vom Halswirbelkörper 6, der bei 49,38% allein oder in Kombination betroffen war. Im untersuchten Gesamtkollektiv befanden sich neun Patienten, bei denen zusätzlich zu ihrer Wirbelkörperfraktur eine diskoligamentäre Instabilität diagnostiziert wurde. Eine isolierte diskoligamentäre Instabilität war nicht vorhanden.



**Abbildung 12: Verteilung der Frakturen nach betroffenen Wirbelkörpern, Mehrfachnennungen möglich (n=160)**

### **3.2.2 Zusammenhang zwischen radiologischer und klinischer Verletzungshöhe**

In diese Untersuchung konnten 156 Patienten eingeschlossen werden (Tabelle 7). Ausgeschlossen wurde ein Patient mit vier frakturierten Wirbelkörpern und drei Patienten mit HWK 1- und 5-Fraktur.

Durch die Anatomie von Rückenmark, Spinalnerven und Wirbelkörpern und deren Lage zueinander (Abbildung 3) wurde angenommen, dass die klinische Verletzungshöhe oberhalb oder auf Höhe der oberen Wirbelkörperfraktur liegen müsste.

**Tabelle 7: Zusammenhang zwischen radiologischer und klinischer Verletzungshöhe**

Anzahl	Klinische Verletzungshöhe oberhalb und auf Frakturhöhe
156	129 (82,69%)

### 3.2.3 Neurologischer Primärbefund

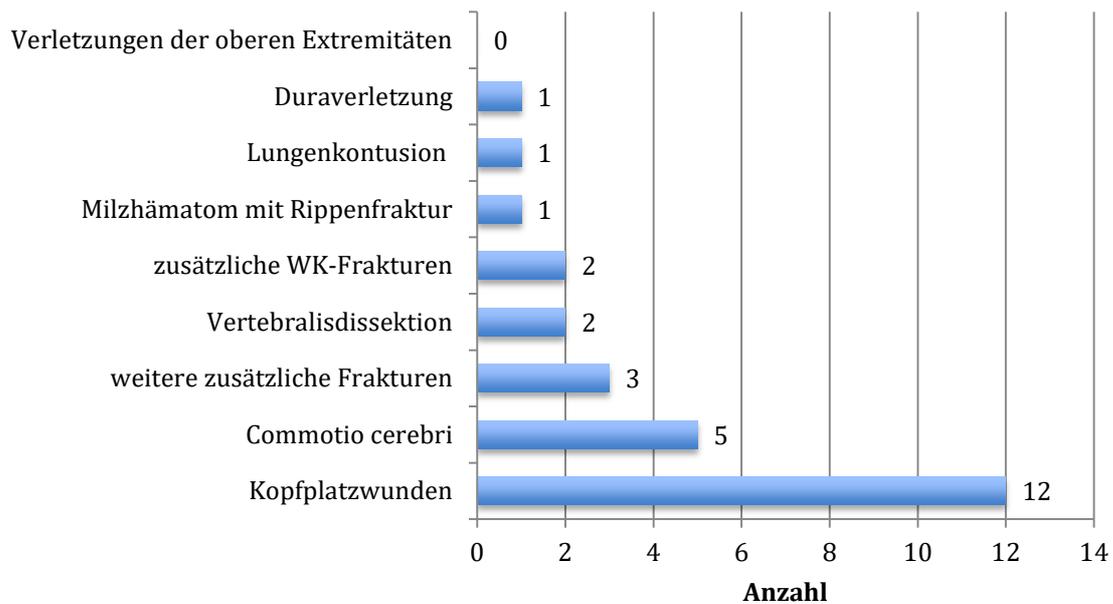
Der neurologische Status zum Zeitpunkt der Aufnahme ergab, dass 2/3 (66,3%) aller untersuchten Patienten eine komplette Querschnittlähmung hatten. Nur 1/3 der Patienten sind bei Aufnahme inkomplett gelähmt (Tabelle 8).

**Tabelle 8: Neurologischer Primärbefund**

AIS bei Aufnahme	A	B	C	D
Patientenanzahl (%)	106 (66,25%)	25 (15,36%)	26 (16,25%)	3 (1,88%)

### 3.2.4 Begleitverletzungen

Von den 160 Patienten hatten 133 und damit 83,13% keine dokumentierten Begleitverletzungen. Die verbleibenden 16,87% zeigten wie in Abbildung 13 dargestellt folgende Begleitverletzungen:



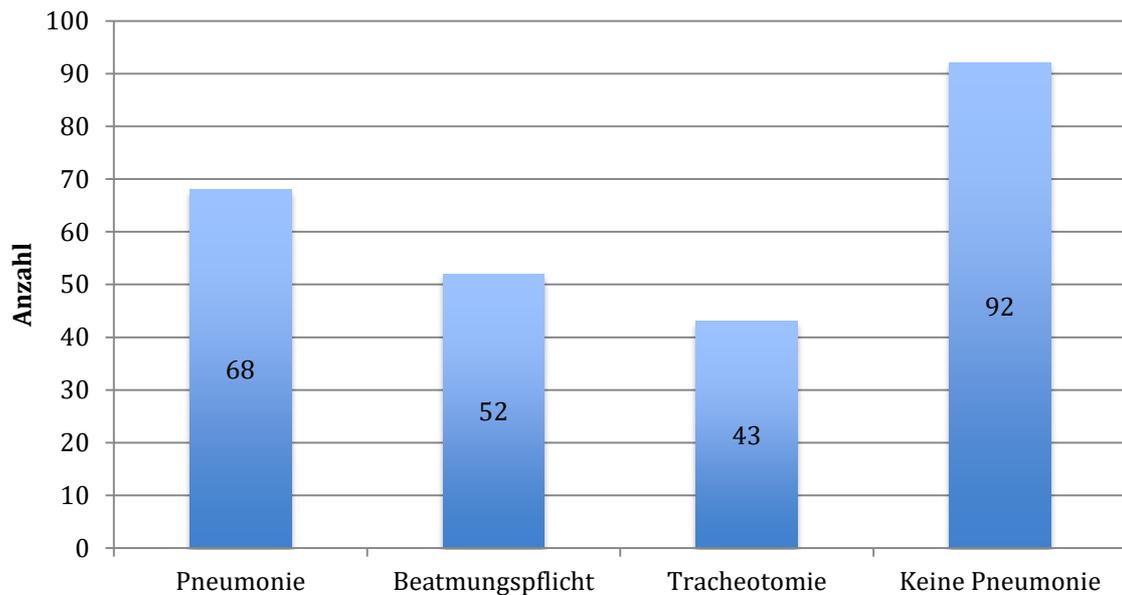
**Abbildung 13: Begleitverletzungen (n=27)**

Dabei waren unter den zusätzlichen Wirbelkörper-Frakturen je eine Brustwirbelkörper- und eine Lendenwirbelkörperfraktur, unter den übrigen weiteren Frakturen waren je eine Rippenfraktur, eine Scapulafraktur und eine Orbitabodenfraktur. Im Rahmen einer Vertebralesdissektion im PICA-Gebiet kam es bei einem Patienten zu einem Insult, bei einem weiteren Patienten mit einer Vertebralesdissektion ereignete sich ein Insult im Versorgungsgebiet der A. cerebelli superior. In keinem Fall konnte eine knöcherner Verletzung der Arme diagnostiziert werden.

### **3.3 Verlauf und Rehabilitation**

#### **3.3.1 Pulmonale Komplikationen**

Die Untersuchung der Patienten zur Entwicklung von Pneumonien bzw. respiratorischen Komplikationen ergab, dass 68 Patienten (42,50%) eine respiratorische Komplikation entwickelten. Von diesen 68 Patienten mussten 52 (76,47%) beatmet werden, davon benötigten 43 (82,69%) eine Tracheotomie, siehe Abbildung 14.



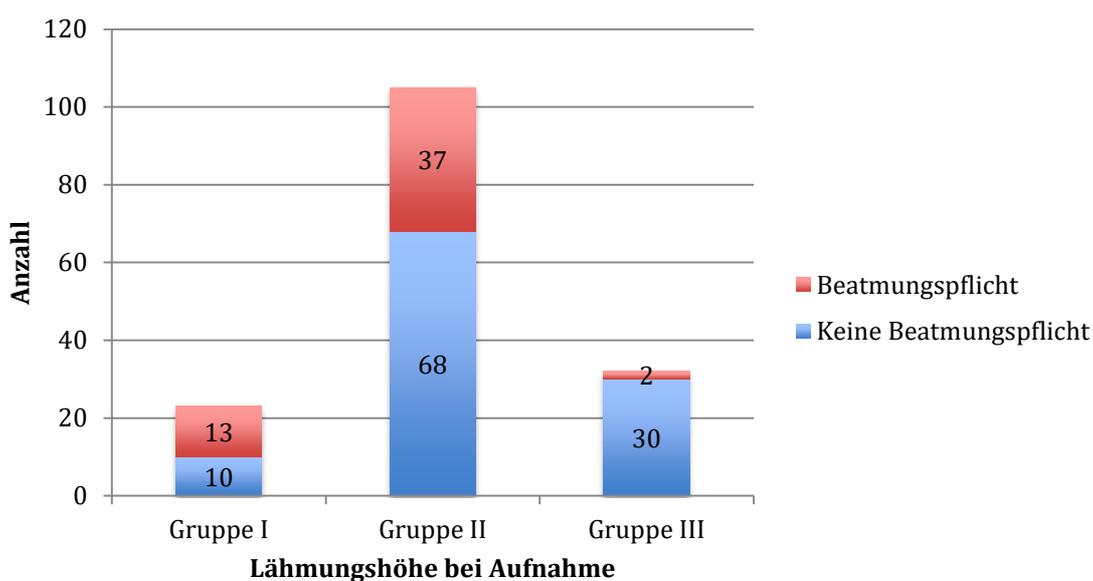
**Abbildung 14: Respiratorische Komplikationen (n=160)**

### **3.3.1.1 Beatmungspflicht und Pneumonie**

52 (32,50%) Patienten aller 160 untersuchten Patienten mussten während ihres Erstaufenthaltes im Krankenhaus beatmet werden. Je höher das Lähmungsniveau, desto wahrscheinlicher ist die Beatmungspflicht im Verlauf des Krankenhausaufenthaltes. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang (exakter Fisher-Test,  $p < 0,0001$ ), (Tabelle 9, Abbildung 15). In der Gruppe I waren insgesamt 56,52% der Patienten beatmungspflichtig, in der Gruppe II waren es noch 35,24% und in der Gruppe III nur noch 6,25%. Nach Bonferroni-Korrektur gab es zwischen Gruppe I und Gruppe II keinen statistisch signifikanten Zusammenhang ( $p = 0,1743$ ), während sich zwischen Gruppe I und III ( $p = 0,0003$ ) und Gruppe II und III ( $p = 0,0039$ ) ein statistisch signifikanter Zusammenhang zeigte.

**Tabelle 9: Pneumonie und Beatmungspflicht verteilt nach Lähmungshöhe bei Aufnahme (n=160)**

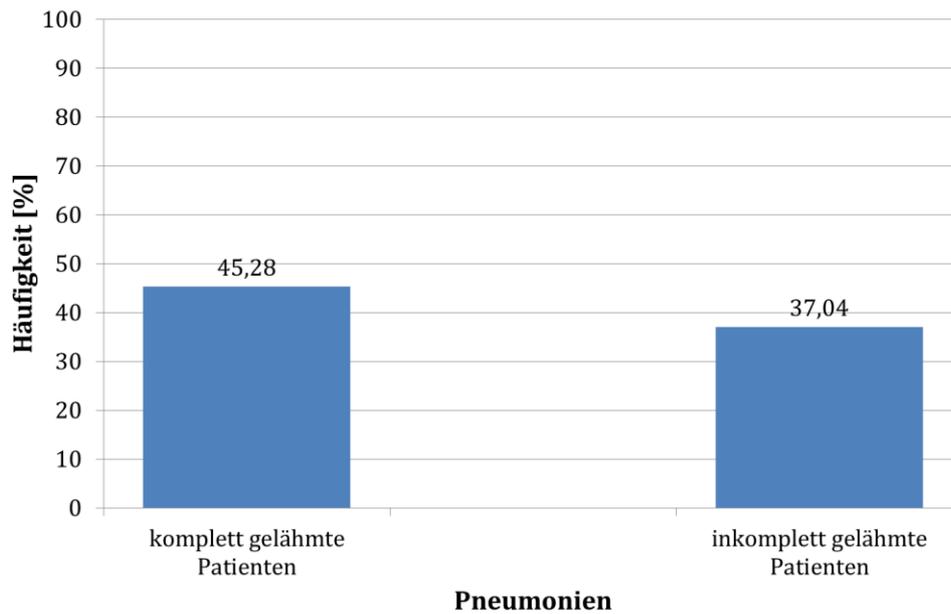
	Anzahl der Patienten	Pneumonie	Beatmungspflicht
Gruppe I	23	16 (69,57%)	13 (56,52%)
Gruppe II	105	48 (45,71%)	37 (35,24%)
Gruppe III	32	4 (12,5%)	2 (6,25%)



**Abbildung 15: Anzahl der beatmungspflichtigen Patienten nach ihrer Lähmungshöhe (n=160)**

### **3.3.1.2 Pneumonien nach AIS-Klassifikation bei Aufnahme**

In der Gruppe der komplett gelähmten Patienten (n=104) entwickelten 48 eine Pneumonie, in der Gruppe der inkomplett gelähmten Patienten (n=56) entwickelten 20 eine Pneumonie (Abbildung 16). In der statistischen Auswertung unterscheiden sich die Gruppen nicht (Chi-Quadrat-Test,  $p=0,9954$ ).

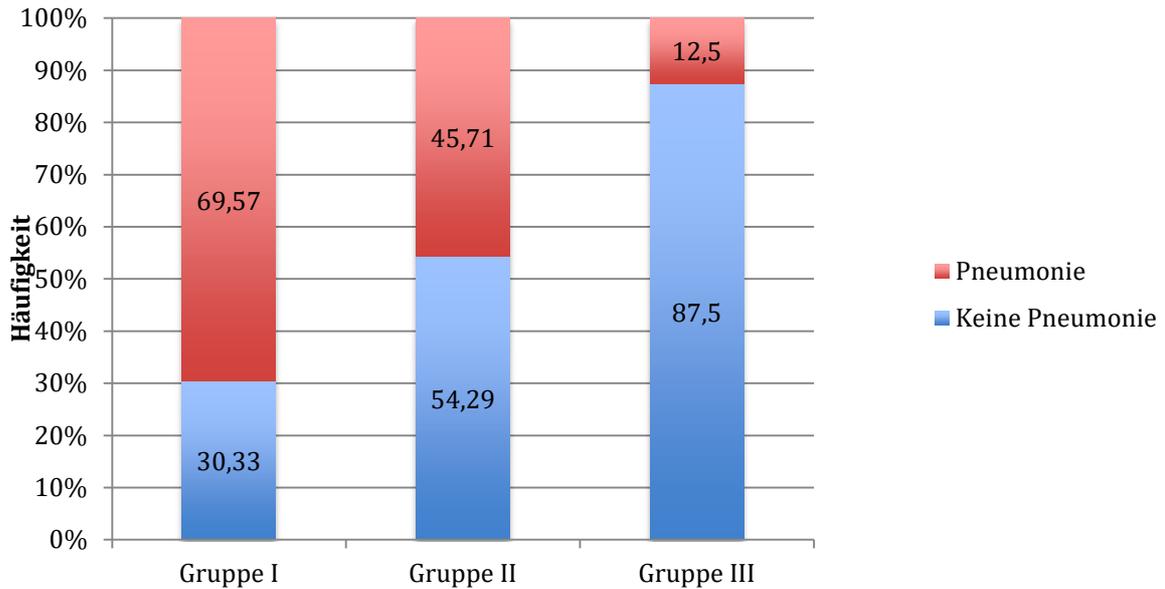


**Abbildung16: Pneumonien bei komplett und inkomplett gelähmten Patienten**

### **3.3.1.3 Respiratorische Komplikationen**

In Abbildung 17 zeigte sich ein Zusammenhang zwischen den drei Gruppen der Lähmungshöhe bei Aufnahme und der Wahrscheinlichkeit zur Entwicklung einer Pneumonie ( $p < 0,0001$ , exakter Fisher-Test). Nach Bonferroni-Korrektur gab es zwischen Gruppe I und Gruppe II keinen statistisch signifikanten Zusammenhang ( $p = 0,1149$ ), während sich zwischen Gruppe I und III ( $p = 0,0001$ ) und Gruppe II und III ( $p = 0,0021$ ) ein statistisch signifikanter Zusammenhang zeigte.

In Gruppe I ( $n = 23$ ) entwickelten 16 (69,57%) Patienten eine Pneumonie, in Gruppe II ( $n = 105$ ) kam es bei 48 Patienten (45,71%) zu einer Pneumonie und in Gruppe III ( $n = 32$ ) bei 4 Patienten (12,5%).



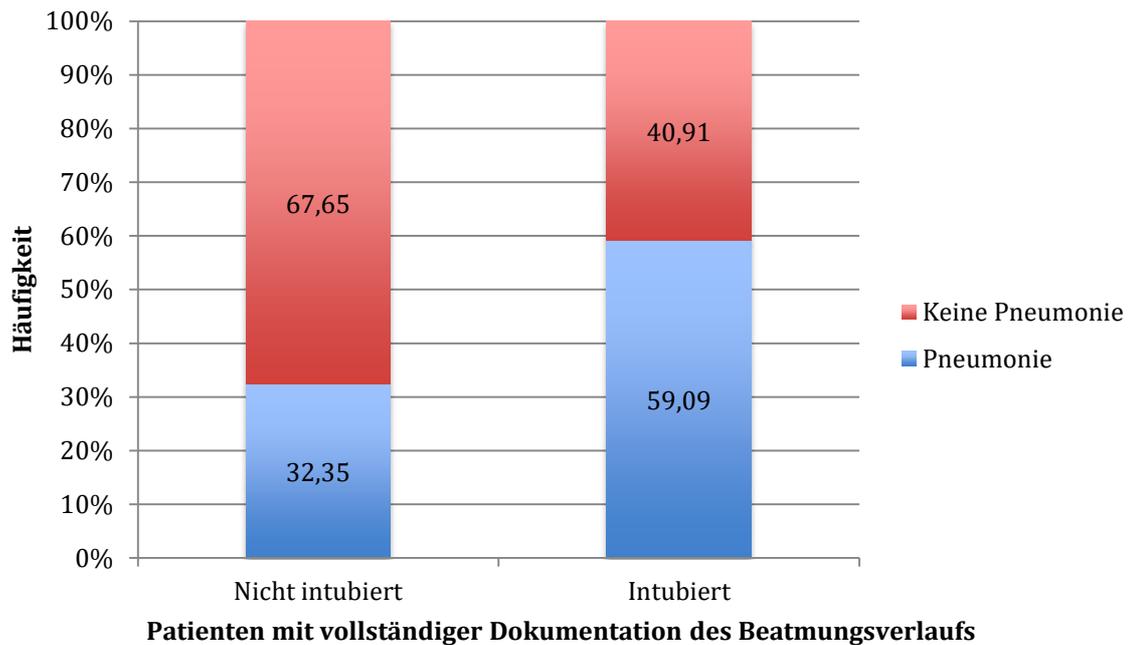
**Abbildung 17: Auftreten von Pneumonien nach ihrer Lähmungshöhe (n=160)**

### **3.3.1.4 Statistischer Vergleich der Subgruppen und Auswertung respiratorischer Komplikationen bei Patienten mit vollständiger Dokumentation des Beatmungsverlaufes ab Unfallzeitpunkt**

Ein Vergleich zwischen der Subgruppe mit vollständigem Datensatz bezüglich präklinischer Intubation und Beatmung und der Subgruppe mit inkomplettem Datensatz bezüglich präklinischer Intubation und Beatmung hinsichtlich Geschlechtsverteilung ( $p=0,2985$ ), Alter ( $p=0,9957$ ), geschädigter Wirbelkörper ( $p=0,6785$ ), Krankenhausverweildauer ( $p=0,6950$ ), Reanimation ( $p=0,7097$ ), Lähmungshöhe Aufnahme ( $p=0,5350$ ), Lähmungshöhe Entlassung ( $p=0,5194$ ), AIS Aufnahme ( $p=0,6058$ ), AIS Entlassung ( $p=0,5256$ ), Pneumonien ( $p=0,9465$ ), Tracheotomien ( $p=0,6946$ ) und Beatmungspflicht ( $p=0,7771$ ) zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Subgruppen.

Bei Aufnahme waren 34 Patienten (60,71%) nicht intubiert, 22 Patienten (39,29%) waren intubiert und beatmet. Insgesamt haben 24 Patienten (42,86%) eine Pneumonie entwickelt. Bei den intubiert und beatmet aufgenommenen Patienten entwickelten 13 Patienten (59,09%) eine Pneumonie, bei den spontan atmenden Patienten lediglich 11 (32,35%) (Abbildung 18). Mit einem Chi-Quadrat-Test wurde das Pneumonierisiko zwischen intubierten und spontan atmenden Patienten

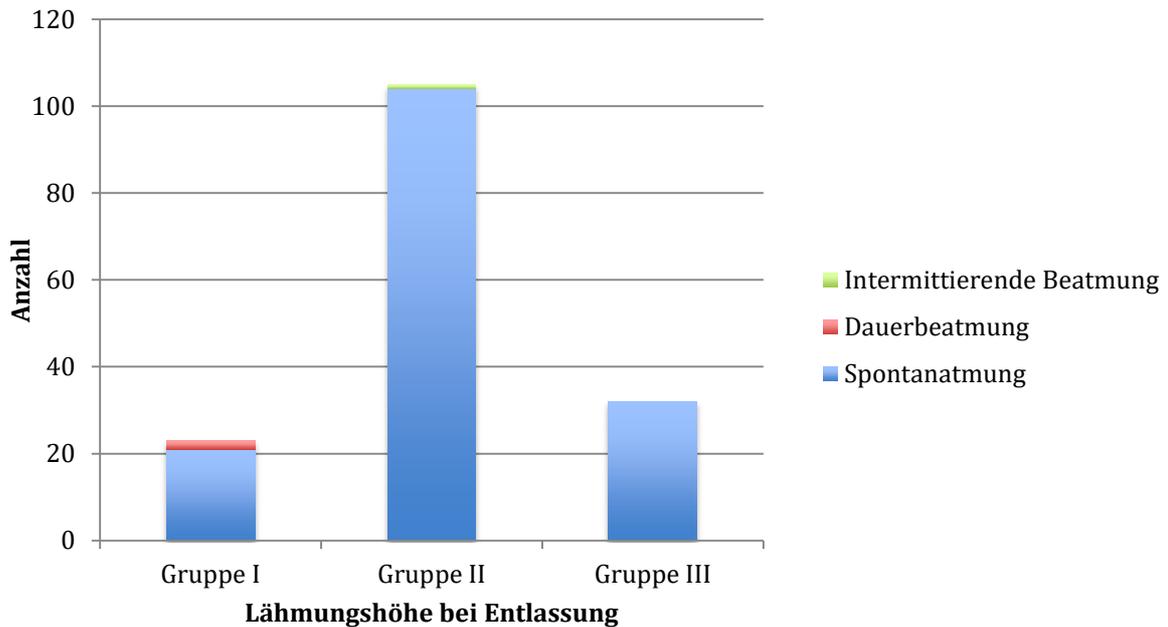
untersucht. Dieser Test ergab einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der präklinischen Intubation und dem Risiko, an einer Pneumonie zu erkranken (Chi-Quadrat-Test,  $p=0,048$ ). Die Auswirkung von präklinischer Intubation und Beatmung war mit einer 3,02-fach erhöhten Odds für das Auftreten von Pneumonien assoziiert [95% KI 0,99-9,19].



**Abbildung 18: Abhängigkeit der Pneumonie von Intubation oder Spontanatmung (n=56)**

### **3.3.1.5 Zusammenhang zwischen Lähmungshöhe bei Entlassung und einer Dauerbeatmung**

Wie bei der Untersuchung der respiratorischen Komplikationen, der Untersuchung der im Verlauf der Erstversorgung Beatmungspflichtigen, zeigte auch die Anzahl der bei Entlassung aus dem Krankenhaus noch beatmungspflichtigen Patienten einen klaren Zusammenhang mit der Lähmungshöhe. Insgesamt sind drei Patienten dauerhaft vom Respirator abhängig geblieben. Davon sind zwei Patienten aus Gruppe I (C0-C3) dauerbeatmet, ein Patient aus Gruppe II (C4/C5) ist intermittierend am Respirator (Abbildung 19). Aus der Gruppe III sind alle Patienten spontanatmend. Diese Ergebnisse liegen mit einem  $p=0,0524$  (exakter Fisher-Test) knapp oberhalb des Signifikanzniveaus.



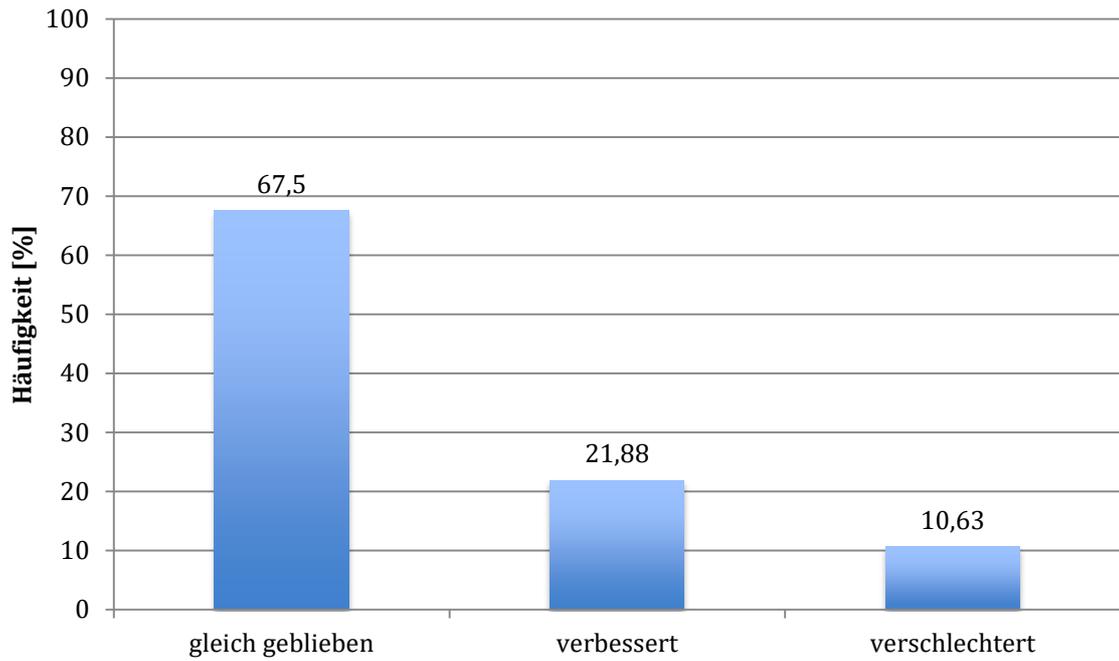
**Abbildung 19: Lähmungshöhe und Beatmungssituation bei Entlassung (n=160)**

### **3.3.2 Funktionelle Ergebnisse**

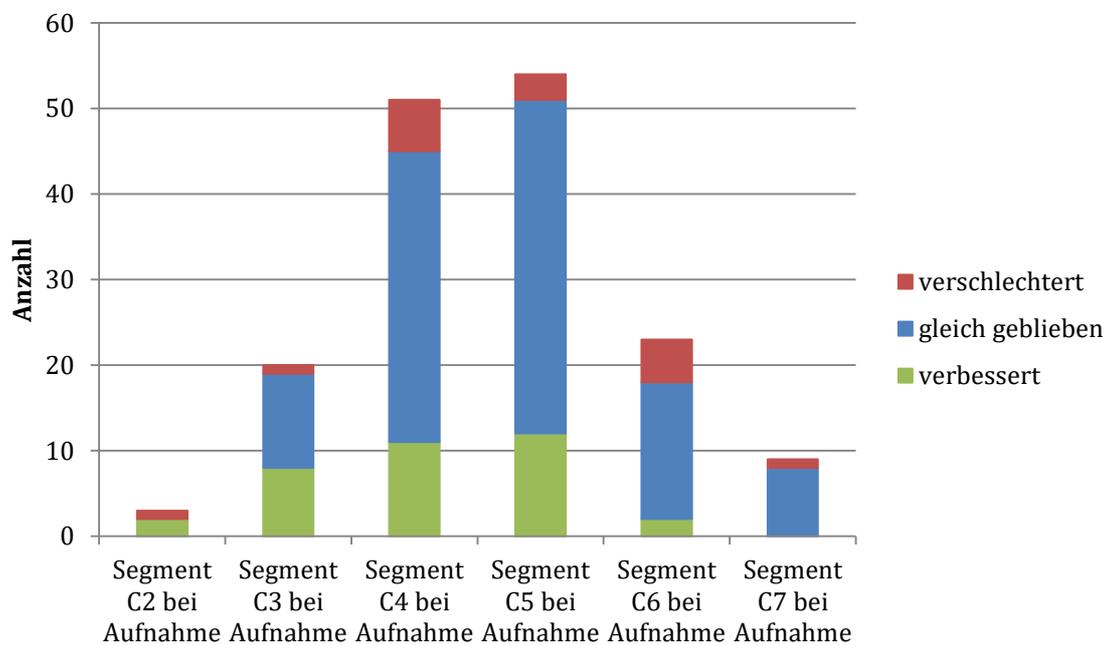
#### **3.3.2.1 Entwicklung der Lähmungshöhe**

Die Entwicklung der Lähmungshöhe nach Segmenten ergab folgende Ergebnisse:

Bei 108 Patienten (67,50%) hat sich die Lähmungshöhe nach Eintritt des Ereignisses nicht verändert. Bei 35 Patienten (21,88%) trat eine leichte Verbesserung der Lähmungshöhe von ein bis zwei Segmenten, in drei Fällen davon sogar von drei Segmenten auf. 17 Patienten (10,63%) haben sich um ein bis zwei Segmente verschlechtert, bei einem Patienten davon kam es zu einer Verschlechterung um drei Segmente. Segment C5 ist die am häufigsten vorhandene Lähmungshöhe (Abbildung 20a,b).



**Abbildung 20a: Veränderung der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung**



**Abbildung 20b: Konversion der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung**

Die Entwicklung der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung verdeutlicht Tabelle 10 in absoluten Zahlen mit den Prozentwerten in Klammern:

**Tabelle 10: Entwicklung der Lähmungshöhe zwischen Aufnahme und Entlassung.**

■ verbessert   
 ■ gleich geblieben   
 ■ verschlechtert

Segment bei Entlassung	Segment bei Aufnahme						Summe Entlassung
	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
C0	1 (0,63)	0	0	0	0	0	1 (0,63)
C2	0	1 (0,63)	1 (0,63)	0	0	0	2 (1,25)
C3	0	11 (6,88)	5 (3,13)	1 (0,63)	0	0	17 (10,63)
C4	2 (1,25)	3 (1,88)	34 (21,25)	2 (1,25)	1 (0,63)	0	42 (26,25)
C5	0	5 (3,13)	9 (5,63)	39 (24,38)	4 (2,50)	0	57 (35,63)
C6	0	0	2 (1,25)	6 (3,75)	16 (10,00)	1 (0,63)	25 (15,63)
C7	0	0	0	5 (3,13)	2 (1,25)	8 (5,00)	15 (9,38)
C8	0	0	0	1 (0,63)	0	0	1 (0,63)
Summe Aufnahme	3 (1,88)	20 (12,50)	51 (31,88)	54 (33,75)	23 (14,38)	9 (5,63)	160 (100)

### 3.3.2.2 AIS-Einteilung bei Aufnahme und Entlassung

Die Untersuchung des Lähmungsmaßes nach der AIS-Einteilung ergab, dass 106 Patienten (66,25%) bei der Aufnahme als AIS A klassifiziert wurden, bei der Entlassung waren es 77 Patienten (48,13%). AIS B waren bei der Aufnahme 25 Patienten (15,63%), bei der Entlassung 18 Patienten (11,25%). AIS C waren bei der Aufnahme 26 Patienten (16,25%), bei der Entlassung 46 Patienten (28,75%). AIS D waren bei der Aufnahme 3 Patienten (1,88%), bei der Entlassung 19 Patienten (11,88%), siehe Abbildung 21.

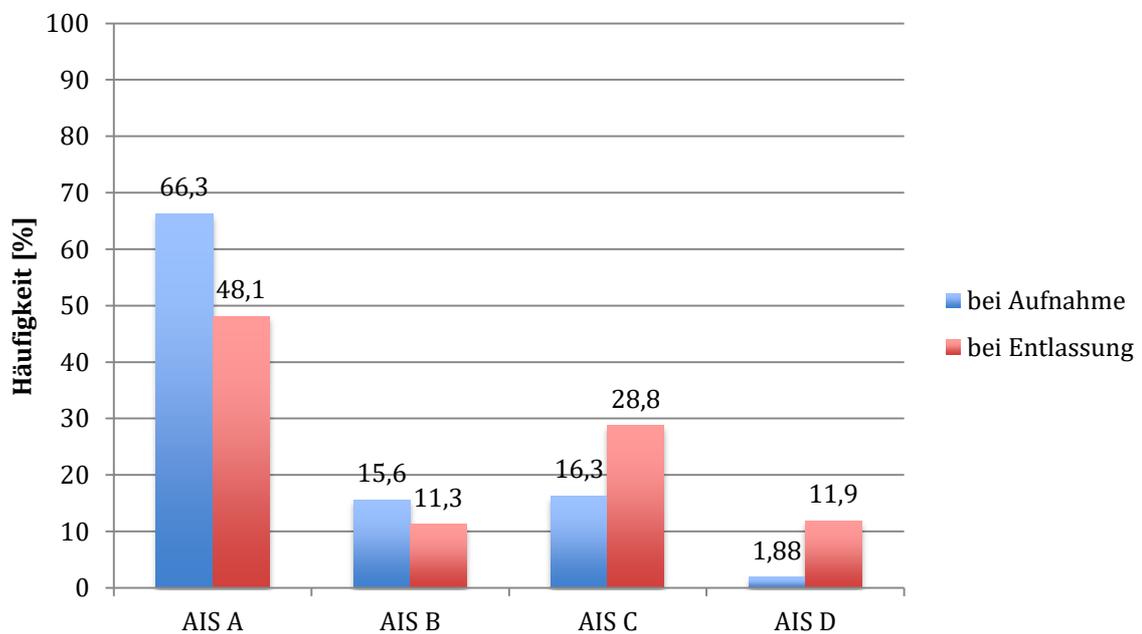
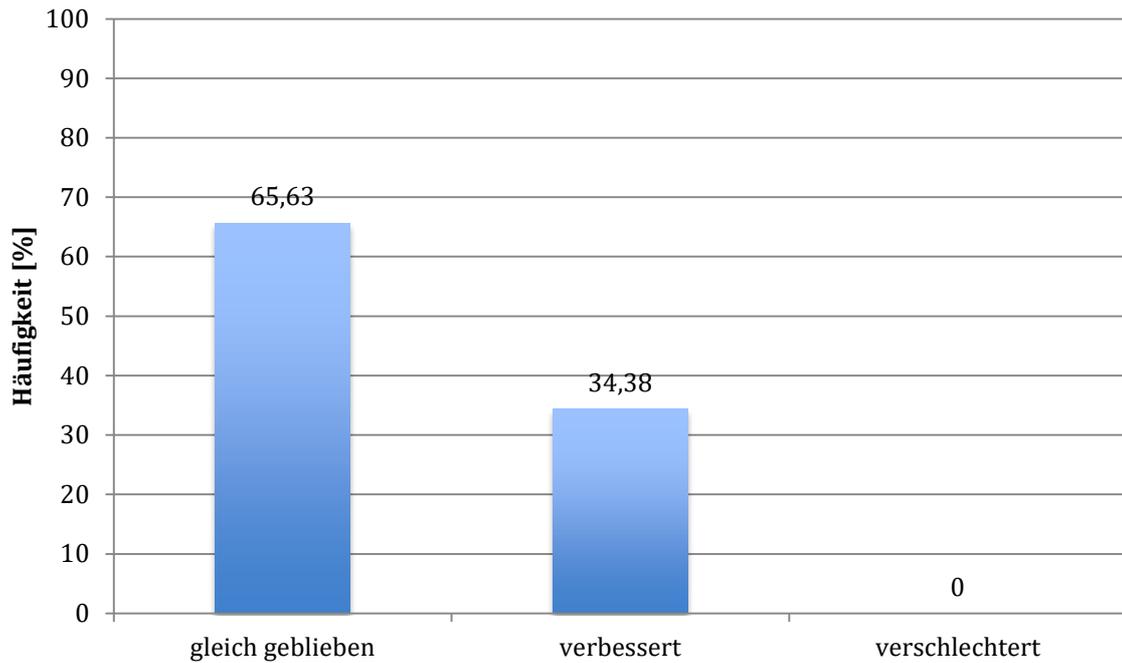


Abbildung 21: AIS-Klassifikation zwischen Aufnahme und Entlassung

34,38% aller Patienten verbesserten sich nach der AIS-Einteilung, 65,63% blieben neurologisch unverändert, kein Patient hat sich verschlechtert. Bei primär kompletter Lähmung war die Chance auf eine neurologische Erholung deutlich geringer als bei einer inkompletten Lähmung (Abbildung 22).



**Abbildung 22: Neurologische Veränderung anhand der AIS-Klassifikation**

27,36% aller AIS A-Patienten verbesserten sich, davon werden 6,60% AIS B, 18,87% wurden AIS C und 1,89% wurden AIS D.

56,00% der AIS B-Patienten verbesserten sich, davon wurden 48,00% AIS C, 8,00% AIS D.

46,15% der AIS C-Patienten haben sich verbessert und sind damit zu AIS D geworden,

Alle drei AIS D-Patienten blieben AIS D (Abbildung 23, Tabelle 11).

Tabelle 11: Änderung der AIS-Klassifikation von Aufnahme zu Entlassung.

■ verbessert ■ gleich geblieben ■ verschlechtert

AIS bei Aufnahme	Patientenanzahl (%)	Verbessert bei Entlassung Anzahl (%)	AIS bei Entlassung Anzahl (%)			
			A	B	C	D
A	106 (66,25%)	29 (27,36%)	77 (72,64%)	7 (6,60%)	20 (18,87%)	2 (1,89%)
B	25 (15,36%)	14 (56,00%)	0 (0,00%)	11 (44,00%)	12 (48,00%)	2 (8,00%)
C	26 (16,25%)	12 (46,15%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	14 (53,85%)	12 (46,15%)
D	3 (1,88%)	0 (0%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	3 (100%)

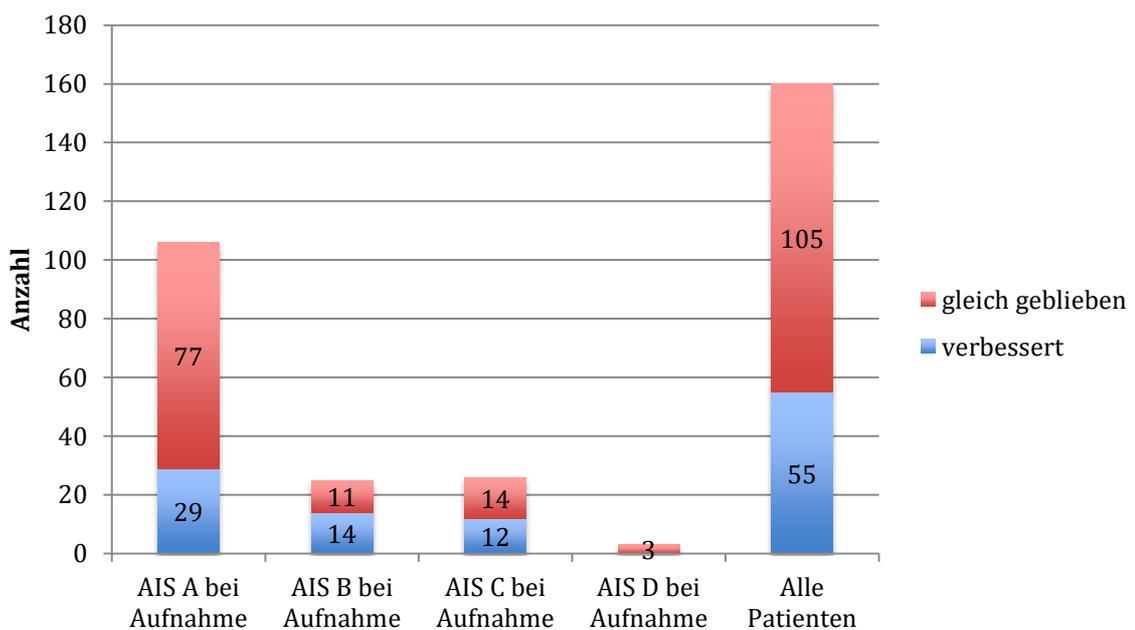


Abbildung 23: Konversion der AIS-Klassifikation zwischen Aufnahme und Entlassung (n=160)

### 3.3.3 Reanimation

Bei den 160 untersuchten Patienten mussten bei 10,63% der Patienten Reanimationsmaßnahmen durchgeführt werden. Das entspricht 17 Patienten, bei denen insgesamt 19 Reanimationen durchgeführt werden mussten, davon 10 Reanimationen am Unfallort oder im Verlauf des Transportes zum Krankenhaus. Zwei Patienten wurden am Unfallort und noch einmal im Krankenhaus reanimiert, fünf weitere Patienten wurden während des Krankenhausaufenthaltes reanimationspflichtig (Abbildung 24). In Gruppe I waren 13,04%, in Gruppe II 9,52% und in Gruppe III 12,50% reanimationspflichtig, was mit einem  $p=0,6386$  (exakter Fisher-Test) keinen signifikanten Zusammenhang mit der Lähmungshöhe ergab.

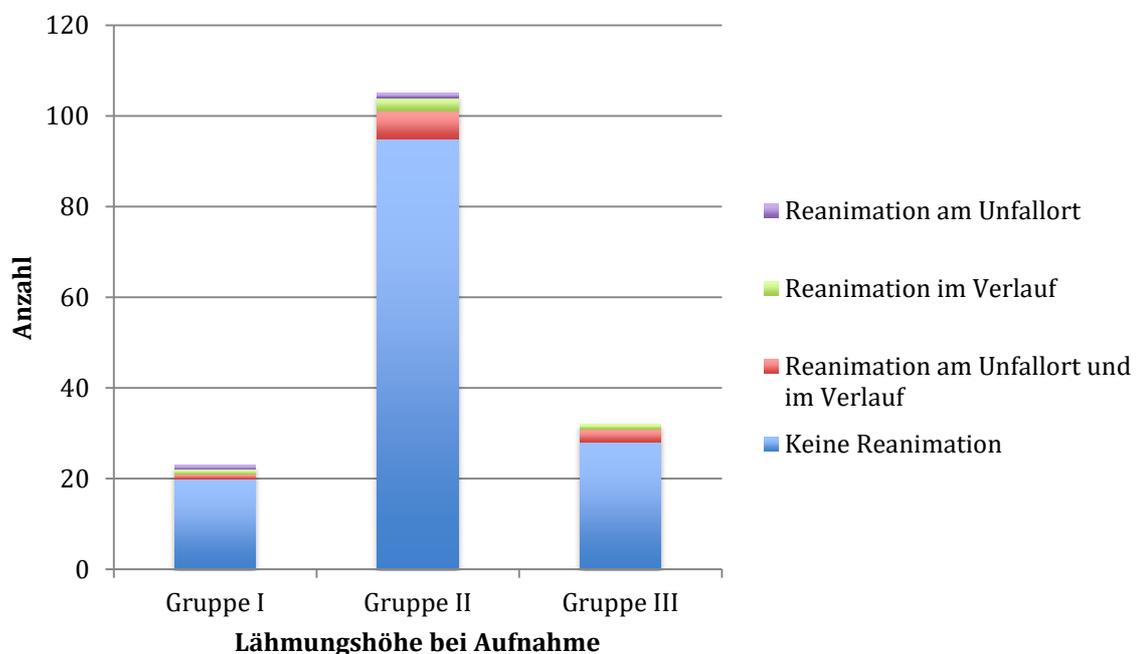
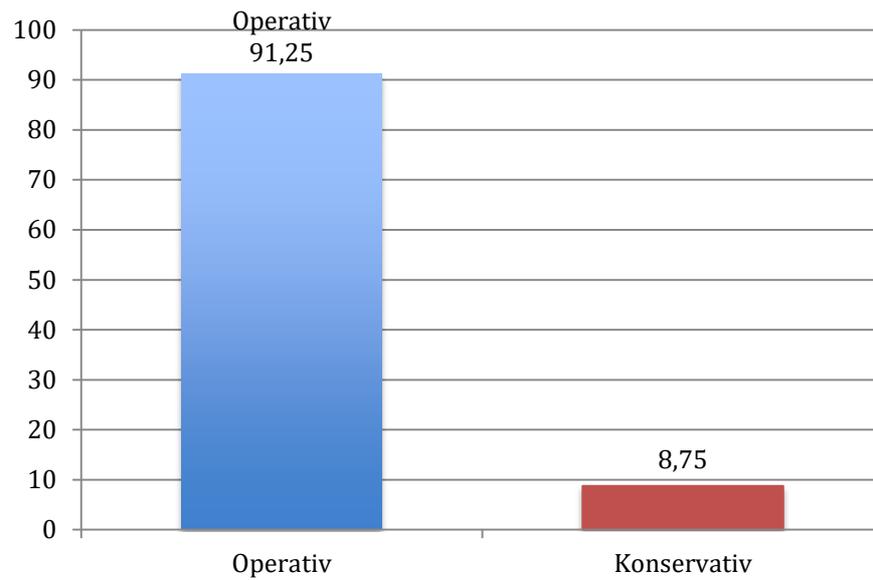


Abbildung 24: Abhängigkeit zwischen Lähmungshöhe und Reanimation (n=160)

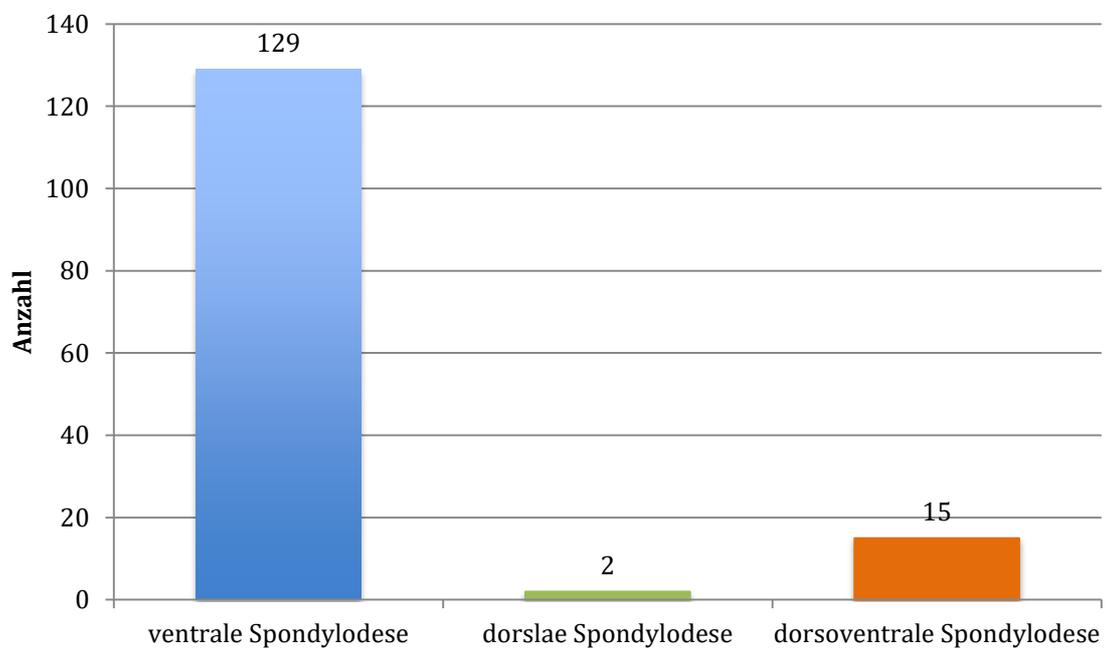
### 3.3.4 Therapie

Von den 160 untersuchten Patienten sind 146 (91%) operativ versorgt worden, 14 (9%) wurden konservativ behandelt (Abbildung 25).



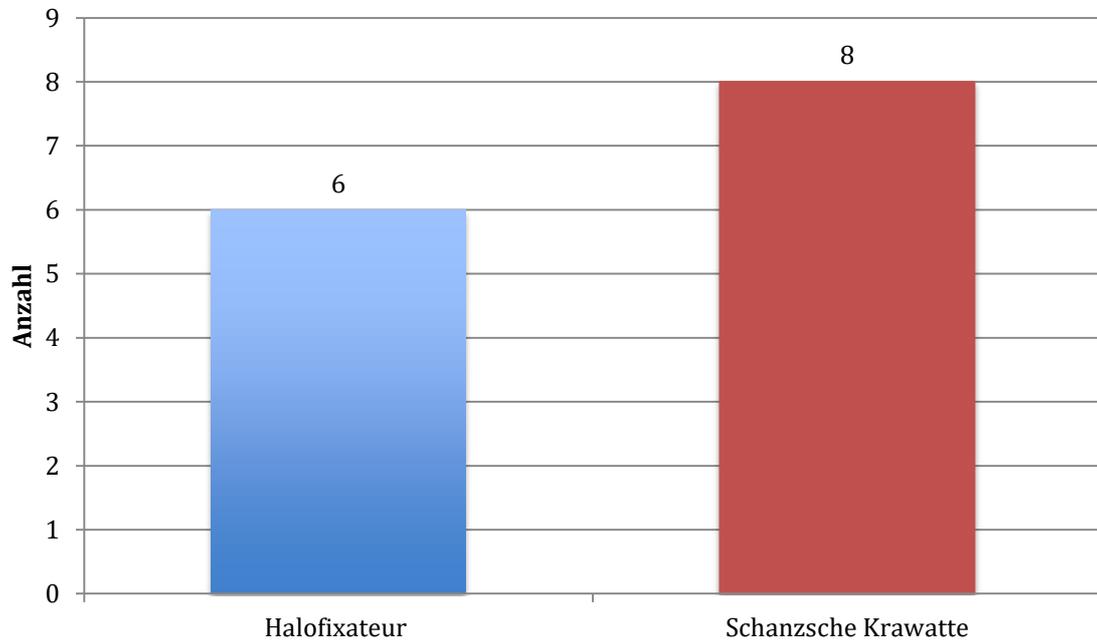
**Abbildung 25: Operative und konservative Therapie**

Davon sind 129 mit einer ventralen Spondylodese versorgt worden, zwei Patienten mit einer dorsalen und 15 Patienten mit einer dorsoventralen Spondylodese (Abbildung 26).



**Abbildung 26: Art der operativen Versorgung (n=146)**

Von den 14 konservativ behandelten Patienten wurden 6 Patienten mit einem Halofixateur versorgt und acht Patienten mit einer Schanzschen Krawatte (Abbildung 27).



**Abbildung 27: Art der konservativen Therapie**

### **3.3.5 Komplikationen**

#### **3.3.5.1 Operative Komplikationen**

Bei den 146 operativ versorgten Patienten sind insgesamt 38 (26,03%) Komplikationen erfasst worden. Diese Komplikationen führten dazu, dass in 16 Fällen (10,96%) eine Revisionsoperation durchgeführt wurde, die übrigen Komplikationen wurden konservativ behandelt (Tabelle 12, 13).

**Tabelle 12: Operativ behandelte Komplikationen (n=16)**

<b>Komplikationen</b>	<b>Anzahl</b>
Ösophagusfistel	1
Duraverletzung mit Liquorleckage	1
Schraubenfehlage	2
Instabilität	2
Hämatom (davon 1 mit Infekt)	3
Fehlstellung	4
Intraspinale Knochenfragmenten	3

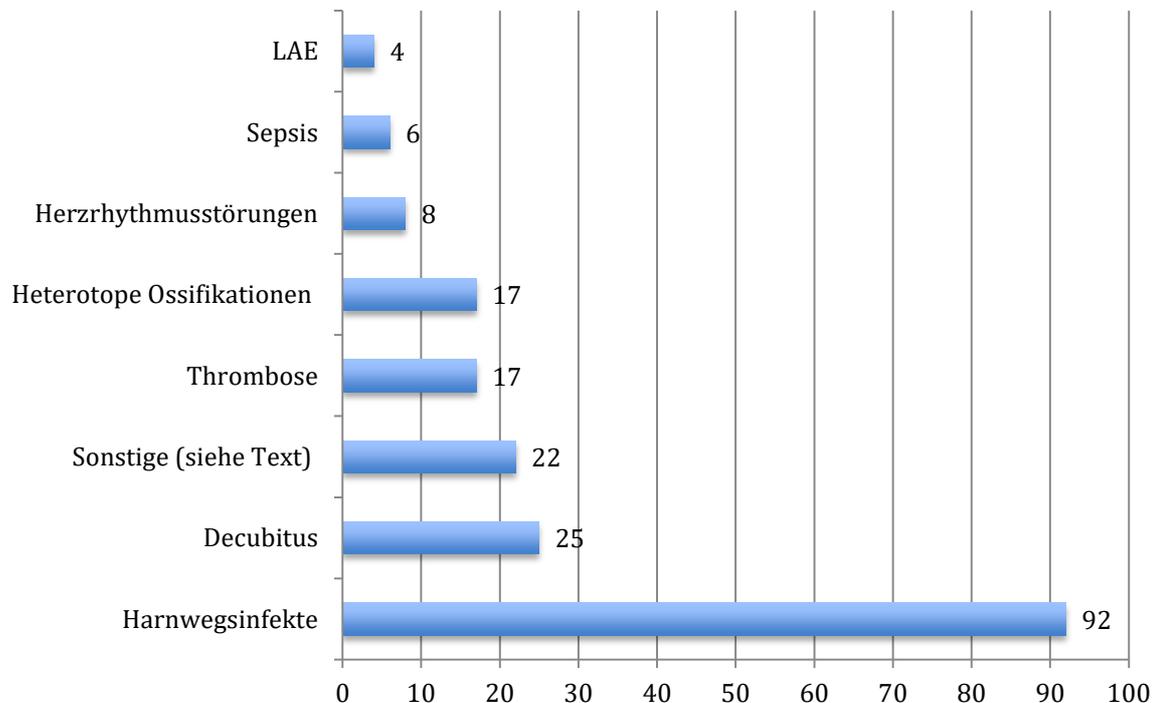
**Tabelle 13: Konservativ behandelte Komplikationen (n=22)**

<b>Komplikationen</b>	<b>Anzahl</b>
Materiallockerung/Fehlage	9
Dislokation/Fehlstellung	8
Materialbruch	2
Duraverletzung mit Liquorleckage	2
Sekundäre Wundheilung	1

Bei den Materiallockerungen wurden zwei Patienten mit einer Schanzschen Krawatte versorgt, ein Patient bekam einen Halofixateur, die restlichen Betroffenen erhielten keine spezielle Therapie. Von den von Dislokationen und Fehlstellungen betroffenen Patienten wurden zwei Patienten mit einem Halofixateur versorgt, ein Patient mit einer Schanzschen Krawatte. Fünf Patienten mussten keiner speziellen Therapie zugeführt werden.

### 3.3.5.2 Allgemeine Komplikationen

Es wurden 191 Komplikationen gezählt, die häufigste Komplikation war der Harnwegsinfekt (Abbildung 28).

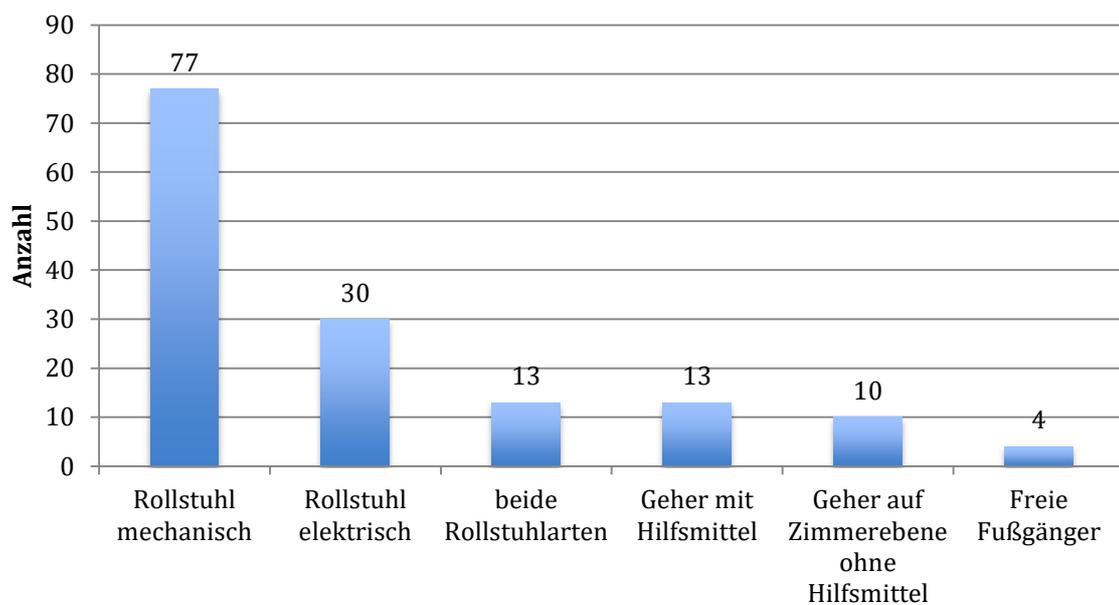


**Abbildung 28: Allgemeine Komplikationen, Mehrfachnennungen möglich (n=58)**

Unter sonstigen Komplikationen sind zusammengefasst: drei Fälle einer heparininduzierten Thrombozytopenie, drei gastrointestinale Blutungen, drei Gastritiden mit Ulcera, zwei Pneumothoraces und zwei pseudomembranöse Kolitiden. Jeweils einem kommen darunter vor: Cholezystitis mit Cholezystektomie, Durchblutungsstörungen am Fuß, Nierenaufstau, Erfrierungen an beiden Unterschenkeln nach Coolpack, hämorrhagische Cystitis, Soor-Stomatitis, stimmloser Patient bei Verdacht auf eine Recurrensparese und ein schweres Durchgangssyndrom. Ein Patient verstarb einen Monat nach dem Unfall an einem Ponsinfarkt nach Basilaristhrombose.

### 3.3.6 Mobilisation

Von 147 Patienten lagen Daten zur Auswertung vor. Die Untersuchung zu den Mobilisationsmöglichkeiten der Patienten bei der Krankenhausentlassung ergab, dass von 147 Patienten 27 (18,37%) mit und auch ohne Hilfsmittel gehen konnten. Zehn Patienten konnten auf Zimmerebene ohne Hilfsmittel gehen. Weitere 13 Patienten konnten mit Hilfsmitteln (Rollator, Unterarmgehstützen, Orthesen) Gehstrecken von 15-500 Metern erreichen, 4 Patienten konnten frei gehen. Insgesamt waren 120 Patienten (81,63%) auf einen Rollstuhl angewiesen, 77 Patienten (64,17%) davon nutzen einen mechanischen Rollstuhl, 30 Patienten (25,00%) einen elektrischen Rollstuhl, 13 Patienten (10,83%) nutzen beide Formen (Abbildung 29).

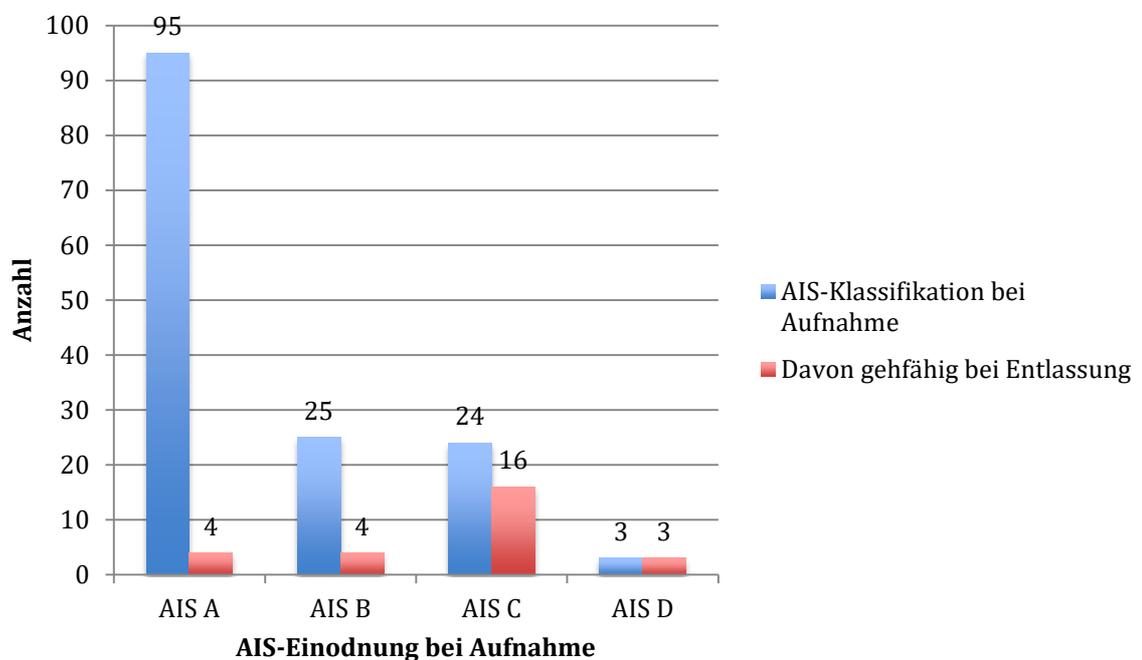


**Abbildung 29: Mobilisationsmöglichkeiten bei Entlassung (n=147)**

Die meisten Patienten, die eine Gehfähigkeit erlangten, waren bei Aufnahme AIS C (14 Patienten) oder D (3 Patienten). Vier Patienten, die primär AIS A und vier Patienten, die primär AIS B waren, konnten sich bis zur Gehfähigkeit erholen (Abbildung 30, Tabelle 14).

**Tabelle 14: Übersicht der neurologischen Befundentwicklung der bei Entlassung gefährigten Patienten**

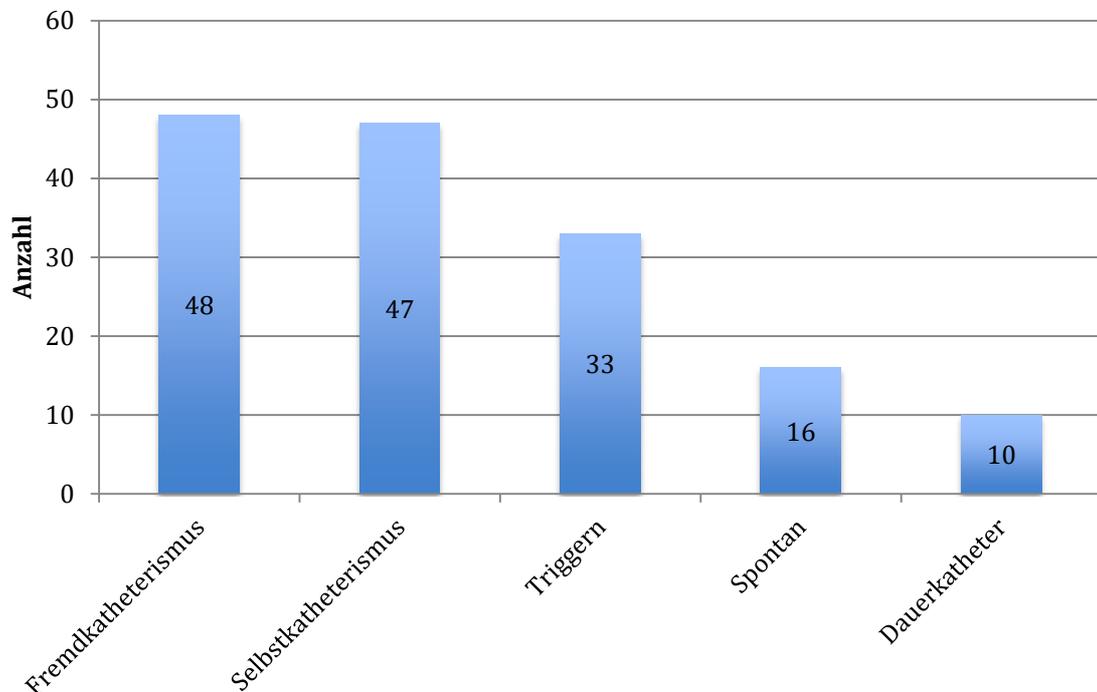
Neurologischer Status bei Aufnahme	Neurologischer Status bei Entlassung
AIS A (4 Patienten)	2 Patienten AIS C 2 Patienten AIS D
AIS B (4 Patienten)	2 Patienten AIS C 2 Patienten AIS D
AIS C (16 Patienten)	4 Patienten AIS C 12 Patienten AIS D
AIS D (3 Patienten)	3 Patienten AIS D



**Abbildung 30: Gefährigkeit bei Entlassung in Abhängigkeit von der AIS-Klassifikation bei Aufnahme (n=147)**

### 3.3.7 Blasenentleerung

Bezüglich der Blasenentleerung bei der Entlassung gab es von 154 Patienten konkrete Angaben (Abbildung 31).

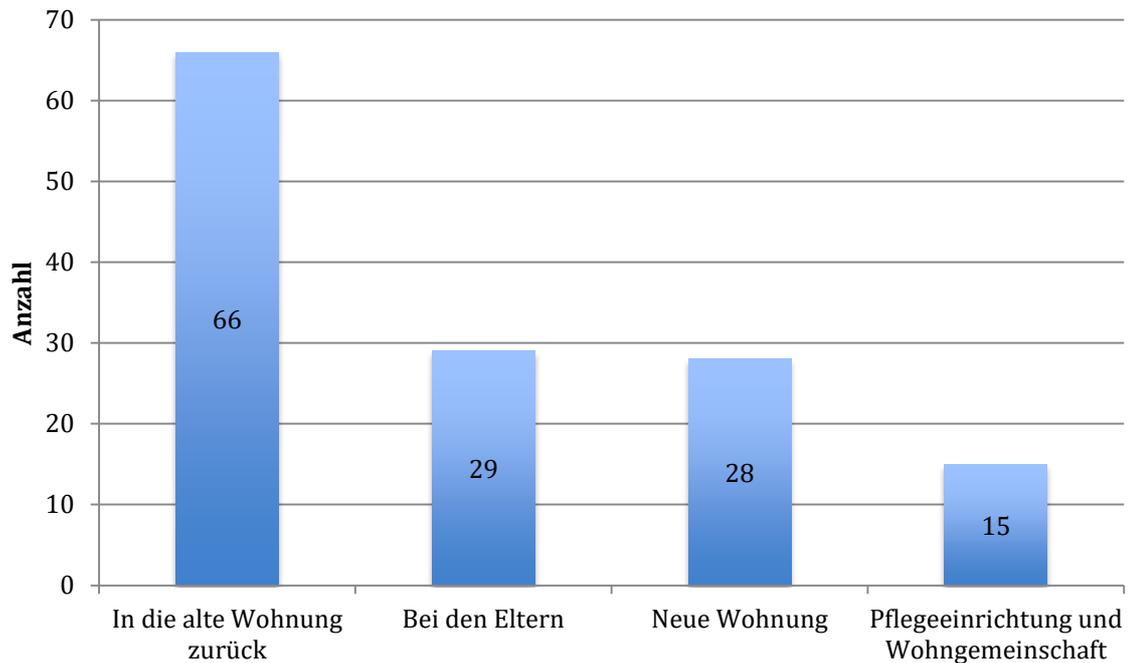


**Abbildung 31: Blasenentleerung bei Entlassung (n=154)**

Beim Triggern bleibt unklar, ob der Patient selbst oder eine Fremdperson die Maßnahme vornimmt. Teilweise wurden von den Patienten auch zwei Verfahren genutzt. Für diese Untersuchung wurde die am häufigsten genutzte Methode zur Auswertung herangezogen.

### 3.3.8 Wohnsituation

Von 138 Patienten konnten Daten erhoben werden. 66 Patienten (47,83%) kehrten in die eigene Wohnung zurück, 29 (21,01%) zogen zu den Eltern, 28 (20,29%) bezogen eine neue Wohnung und 15 (10,87%) mussten in eine Pflegeeinrichtung oder Wohngemeinschaft ziehen (Abbildung 30). Bei dem Merkmal „Bei den Eltern“ bleibt unklar, ob nicht einige betroffene junge Patienten schon vor dem Unfall noch bei ihren Eltern gewohnt haben (Abbildung 32).



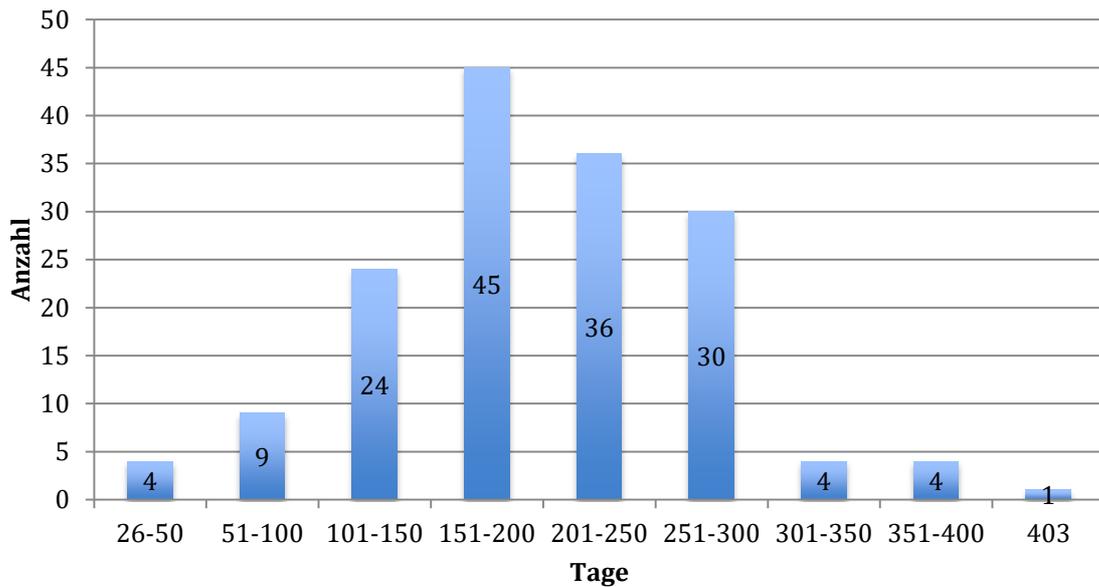
**Abbildung 32: Wohnsituation bei Entlassung (n=138)**

### 3.3.9 Krankenhausverweildauer

Die Krankenhausverweildauer betrug im Mittel 202 Tage (Tabelle 15, Abbildung 33), wobei in diese Auswertung nur 157 Patienten eingeflossen sind, da zwei Patienten im Verlauf der Behandlung in heimatnahe Krankenhäuser verlegt worden waren und ein Patient im Verlauf der Therapie verstorben war.

**Tabelle 15: Krankenhausverweildauer aller Patienten**

Anzahl	Mittelwert	SD	Maximum	Quartil3	Median	Quartil1	Minimum
157	201,975	72,2850	403	249	198	159	31



**Abbildung 33: Krankenhausverweildauer (n=157)**

Bei der Auswertung der Krankenhausverweildauer nach Lähmungshöhe zeigt sich, dass die Patientengruppe I mit dem hohen Lähmungsniveau (Segment C0-C3) mit 236 Tagen die längste Krankenhausverweildauer hat (Tabelle 16, Abbildung 34). Der Kruskal-Wallis-Test ist mit einem  $p=0,0128$  statistisch signifikant.

**Tabelle 16: Krankenhausverweildauer der Patienten der Gruppe I**

Anzahl	Mittelwert	SD	Maximum	Quartil3	Median	Quartil1	Minimum
22	236	78,6166	403	289	247	184	105

Die Patienten mit mittlerem Lähmungsniveau der Halswirbelsäule der Gruppe II (Segment C4 und C5), haben eine mittlere Krankenhausverweildauer von 205 Tagen (Tabelle 17, Abbildung 34).

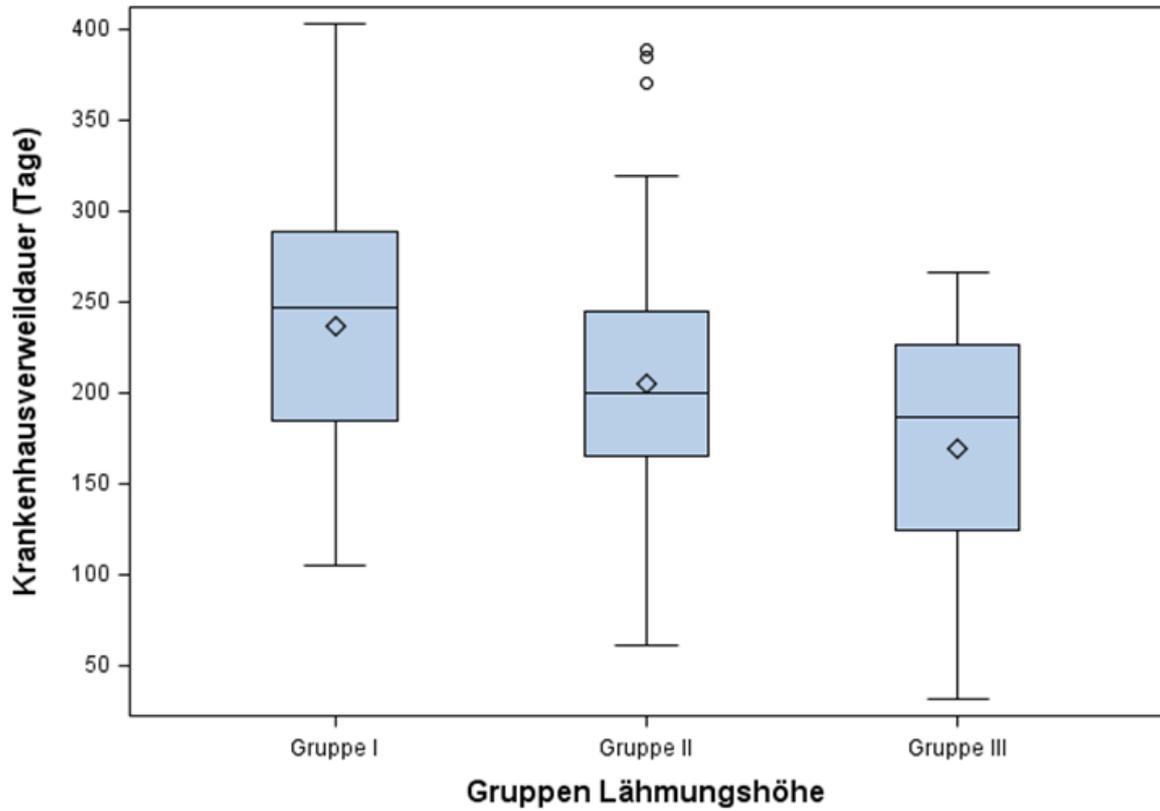
**Tabelle 17: Krankenhausverweildauer der Patienten der Gruppe II**

Anzahl	Mittelwert	SD	Maximum	Quartil3	Median	Quartil1	Minimum
104	204,596	67,7192	389	245	199,5	164,5	61

In der Gruppe III mit tiefem Lähmungsniveau der Halswirbelsäule (Segment C6 und C7) betrug die mittlere Krankenhausverweildauer 169 Tage (Tabelle 18, Abbildung 34).

**Tabelle 18: Krankenhausverweildauer der Patienten der Gruppe III**

Anzahl	Mittelwert	SD	Maximum	Quartil3	Median	Quartil1	Minimum
31	169,032	71,7504	266	226	186	124	31



**Abbildung 34: Einfluss der Lähmungshöhe auf die Krankenhausverweildauer, dargestellt als Boxplot. Median (mittlere Linie der Box) und Quartile (Box), Mittelwert (◇), Minimum (untere Begrenzung), Maximum (obere Begrenzung). 3 als Ausreißer detektierte Patienten (n=157, Software SAS ®).**

## 4. Diskussion

### 4.1 Epidemiologie

In dieser Untersuchung zu einem speziellen Unfallmechanismus (Sprung in flache Gewässer) konnte an 160 Patienten neben dem Aufnahmebefund der Verlauf und der Befund bei Entlassung aus dem Krankenhaus untersucht werden.

Die Ursachen für traumatische Verletzungen des Halsmarkes allgemein sind weltweit sehr unterschiedlich und sind auch in den unterschiedlichen sozio-ökonomischen Entwicklung begründet (Schmitt und Gerner 2001), der Straßenverkehr und das Freizeitverhalten ändern das Risikoprofil für Wirbelsäulenverletzungen mit Beteiligungen des Rückenmarkes.

Ist nach Kiwerski (1993) in den 90er Jahren in Polen die Hauptursache traumatischer hoher Querschnittlähmungen mit 24,3% der Sturz vom Pferdewagen, so stehen in den USA bereits in einer Quelle aus den mittleren 70er Jahren an erster Stelle Autounfälle gefolgt von Arbeitsunfällen und Schusswaffenverletzungen (Bailes et al. 1990)

Der prozentuale Anteil der Verletzten durch Kopfsprünge in flaches Wasser an der Gesamtzahl traumatischer Wirbelsäulenverletzungen variiert weltweit erheblich. Nach De Vivo und Sekar (1997) sind beispielsweise in Novosibirsk (Sibirien) 23,5% und in Japan nur 1,3% aller traumatischen Rückenmarkverletzungen durch Kopfsprünge in flaches Wasser verursacht. Ob dies an einem unterschiedlichen Freizeitverhalten oder weniger Schwimmbädern liegt, konnte bisher nicht belegt werden.

Der Arbeitskreis „Querschnittlähmungen“ der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) stellt seit 1976 Daten zu Neuerkrankungen und Ursachen von Querschnittlähmungen zur Verfügung. Anhand dieser Daten ist in Deutschland von etwa 2200 neuen Querschnittlähmungen jährlich auszugehen, davon ist die Hälfte traumatisch bedingt. Da die Übermittlung der Daten an den Arbeitskreis „Querschnittlähmungen“ durch die Querschnittgelähmten-Zentren freiwillig ist, lassen sich Inzidenz und Prävalenz nur schätzen (Blumenthal et al. 2016). Nach Steinbrück (1980), Schmitt und Gerner (2001) und Thietje (2018) liegt der Anteil an den traumatischen Rückenmarkverletzungen durch Kopfsprünge

in flaches Wasser in Deutschland zwischen 4,2% und 7,7%. Ausgehend vom kleinsten Anteil an den traumatischen Rückenmarkverletzungen bedeutet dies, dass in Deutschland jährlich mindestens 45 neue Querschnittgelähmte durch Kopfsprünge in flaches Wasser auftreten. Die Anzahl könnte allerdings noch höher liegen, da es eine durch den Aufprall nach dem Sprung sofort eintretende Tetraparese und eine eventuelle Bewusstlosigkeit den meisten Verunfallten unmöglich macht, sich selber zu retten. Nach Bailes et al. (1990) liegt der Anteil der nach dem Trauma länger als fünf Minuten bewusstlosen Patienten bei 36,8%. Bewegungsunfähigkeit, Bewusstlosigkeit (De Vivo und Sekar 1997) und Lähmung des Atemzentrums (Steinbrück und Paeslack 1978) erhöhen die Möglichkeit deutlich, dass einige Ertrinkungsunfälle primär hohe Querschnittlähmungen gewesen sein könnten, ohne dass es bisher dazu konkrete Zahlen gibt.

Das extrem einschneidende Trauma einer hohen Querschnittlähmung mit der sich danach vollständig ändernden Lebenssituation, teilweise bis zur kompletten Fremdhilfeabhängigkeit, macht die Identifikation einer Risikogruppe unter dem Gedanken einer Prävention sehr sinnvoll.

Es existieren mehrere Studien aus unterschiedlichen Ländern, die sich mit dem Herausarbeiten eines Risikoprofiles und der Unfallsituation befasst haben (Good und Nickel 1980, De Vivo und Sekar 1997). Die Untersuchung unseres untersuchten Patientenkollektives ergab eine zu erwartende Häufigkeit der Ereignisse in den Sommermonaten Mai bis August. Die Situation, in denen die Unfälle passierten, waren häufig Anlässe wie Urlaub, Feiern, Zusammensein mit Freunden oder der Familie. Nach Robert P. Good (1980) passierten 85% aller Unfälle zwischen Mai und September, was sich mit den Ergebnissen dieser Untersuchung deckt.

Etwa die Hälfte aller Unfälle (46,1%) passieren auf Partys, Alkoholgenuss spielt eine Rolle. Mehrere Studien ergaben, dass 37%-47% aller Unfälle unter Alkoholeinfluss passierten (Green et al. 1980, Bailes et al. 1990, DeVivo und Sekar 1997, Vlok et al 2010), nur 1-2% unter Drogen (Green et al. 1980, DeVivo und Sekar 1997). Die Datenlage des hier untersuchten Kollektivs dazu war aber so gering, dass zu dieser Fragestellung keine Aussage zu treffen ist.

Die Geschlechterverteilung ist in allen Ländern ähnlich. Von unseren 160 untersuchten Patienten waren 156 (97,50%) männlich und nur 4 (2,50%) weiblich.

Dieses Ergebnis legt nahe, dass Männer beim Kopfsprung in unbekannte Gewässer deutlich mehr Risikobereitschaft oder Unbedachtheit zu zeigen scheinen als Frauen. Ähnliche Ergebnisse zeigte eine Umfrage unter neuseeländischen Jugendlichen, bei denen mehr junge Frauen als junge Männer angaben, niemals mit dem Kopf zuerst in unbekannte Gewässer zu springen (Moran 2008). In Südafrika sind 91%, in den USA 92% aller Betroffenen Männer.

Ebenso typisch ist die Altersverteilung. Das durchschnittliche Alter unserer Patienten zum Unfallzeitpunkt betrug 24,3 Jahre. Dabei fiel allerdings auf, dass 63,13% der Betroffenen 24 Jahre und jünger waren, 29,38% der Betroffenen waren sogar erst 19 Jahre und jünger. In Studien aus den USA (Carter 1977) und aus Südafrika (Scher 1995) ergaben sich ähnliche Altersstrukturen.

Die gefährdete Personengruppe, die sich auch mit der Erhebung von nur zwei Parametern gezeigt hat, ist jung und männlich. Weitere Parameter wie Schulbildung, Beruf und Ethnie (Maharaj 1996) wurden ebenfalls erhoben, waren aber für die Präventionsarbeit entbehrlich. Ein Ansatz liegt hier darin, an Schulen, Berufsschulen und Universitäten Aufklärung zu betreiben und auf die möglichen desaströsen Folgen eines Kopfsprunges in ein zu flaches Gewässer hinzuweisen. In Kanada wurde in Schulen das Video „Sudden impact“ gezeigt, in dem Betroffenen gezeigt und interviewt wurden. Bei der anschließenden Diskussion über die Schwere der Verletzungen zeigten sich die Schüler deutlich betroffen und gaben an, ab sofort deutlich vorsichtiger sein zu wollen (Bhide et al. 2000). Es sollte darauf hingewiesen werden, dass die Eintauchgeschwindigkeit derart hoch ist, dass in 0,2-0,5 Sekunden schon eine Tiefe von 1,17-2,10 Metern erreicht wird. Bei einer durchschnittlichen Reaktionszeit von 0,2-0,5 Sekunden bleibt dem Springer damit kaum eine Möglichkeit, zu reagieren, wenn er realisiert, dass die Gewässertiefe zu gering ist (Albrand und Walter 1975, Schwarz et al 2001).

## **4.2 Frakturhöhe**

Eine Studie von Fife und Kraus (1986) zur Frage, welcher Teil der Wirbelsäule durch welchen Unfallmechanismus (Autounfall, Sturz, Springer) bricht, ergab, dass bei Kopfsprüngen in flaches Wasser nahezu immer die Halswirbelsäule bricht. Von 33 Patienten erlitt nur einer eine Brustwirbelkörperfraktur. In unserem

untersuchten Kollektiv von 160 Patienten wurden nur zwei weitere Frakturen an der Wirbelsäule diagnostiziert, nämlich eine Fraktur an der Brustwirbelsäule und eine Fraktur an der Lendenwirbelsäule. Ebenso vergleichbare Ergebnisse zeigt die Untersuchung, welche Halswirbelkörper frakturieren. Der am häufigsten betroffene Wirbelkörper ist Halswirbelkörper 5, bei 67,50% unserer Patienten war er allein oder mit einem anderen Wirbelkörper beteiligt.

Wenn der Halswirbelkörper 4 in die Bewertung mit eingeschlossen wird, ergibt sich, dass nur 11,88% der Betroffenen eine Fraktur ab C3 und höher erleiden. Wobei hier noch einmal auf die Annahme verwiesen wird, dass einige letal verlaufende Ertrinkungsunfälle ihre unerkannte Ursache in hohen Halsmarkverletzungen haben könnten, wie in Abschnitt Epidemiologie bereits angeführt, so dass die Zahl der nicht erkannten hohen Halsmarkverletzungen höher liegen dürfte.

### **4.3 Begleitverletzungen**

Nach dem Unfallereignis wird der Patient im Regelfall von Laienhelfern gerettet und fachgerecht notärztlich versorgt. Es erfolgt ein schonender Transport beispielsweise per Hubschrauber in eine Klinik mit Erfahrung in der Versorgung von Wirbelsäulenverletzten oder in ein Querschnittszentrum. In der Notaufnahme schließt sich die Primärdiagnostik mittels konventionellem Röntgen, CT und/oder MRT-Untersuchung an, außerdem sollte eine fachärztliche neurologische Beurteilung durchgeführt werden (Deutsche Gesellschaft für Neurologie 2012).

Ernsthafte Begleitverletzungen sind in dieser Patientengruppe selten. 83,13% der von uns untersuchten Patienten zeigten keinen zusätzlichen Läsionen. Besonders erwähnenswert erschien die Tatsache, dass bei keinem Patienten Verletzungen der oberen Extremität aufgetreten waren. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass die Arme beim Sprung zum Schutz des Kopfes nicht ausgestreckt waren. Auch Hermann (1991) beschreibt in seiner Studie „Diving accidents“, dass nur wenige Begleitverletzungen vorliegen, die eine ärztliche Intervention notwendig machen.

#### **4.4 Respiratorische Komplikationen**

In dem hier untersuchten Kollektiv verstarb kein Patient während des Erstaufenthaltes an pulmonalen Komplikationen, was sich noch vor knapp fünfzig Jahren anders darstellte. Damals verstarben noch 12,2% aller hoch Querschnittgelähmten in den ersten zwei Wochen nach dem Unfallereignis. Als Haupttodesursachen wurden pulmonale Komplikationen angegeben (Botterell et al. 1975).

42,50% unserer Patienten erlitten eine Pneumonie, wovon 76,47% invasiv beatmet werden mussten. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit einer Studie von Liebscher et al. (2015), in der respiratorische Komplikationen nach traumatischen HWS-Verletzungen untersucht wurden. Respiratorische Komplikationen sind bei hohen Querschnittlähmungen sehr häufige Komplikationen. Unsere Untersuchung ergab einen Zusammenhang zwischen der Lähmungshöhe bei Aufnahme und der Entwicklung einer Pneumonie. Je höher das Lähmungsniveau nach Segmenthöhen ist, desto häufiger entwickeln sich Pneumonien. In Gruppe I entwickeln 69,57%, in Gruppe II 45,71% und in Gruppe III 12,5% der Patienten eine Pneumonie. Die gleiche Aussage kann auch über die Beatmungspflicht getroffen werden, je höher das Lähmungsniveau bei der Aufnahme war, desto häufiger mußten die Patienten passager beatmet werden. In Gruppe I mußten 56,25%, in Gruppe II 35,24% und in Gruppe III 6,25% beatmet werden. Erklärbar ist dieser hohe Anteil an beatmungspflichtigen Patienten am ehesten durch die Innervation des Diaphragmas durch den N. phrenicus. Dieser entspringt aus dem 3. - 5. cervicalen Segment. Bei Halswirbelkörperfrakturen ab C3 und höher kommt es zu einem kompletten Funktionsausfall, woraus häufig eine kritische Atemstörung resultiert. Bei Lähmungen in den Segmenten C4 und C5 ist der Nervus phrenicus partiell geschädigt, wodurch die Atemmechanik gestört ist. Der als anatomische Variante bei 20% aller Menschen vorkommende Nebenphrenicus kann nicht zur Kompensation der gestörten Atemmechanik beitragen, da er aus tieferen Segmenten des Halsmarkes entspringt. Bei allen Halsmarkläsionen sind die Nervi intercostales paretisch oder plegisch, die segmental aus den thorakalen Spinalnerven entspringen. Durch diese Dysfunktion der Atem- und Atemhilfsmuskulatur ist auch ein effizienter Hustenstoß häufig unmöglich (Röhl 2003). Wird diese durch die Querschnittlähmung bereits deutlich eingeschränkte pulmonale Funktion durch eine Infektion der Lunge weiter geschädigt, ist eine

Beatmung der Patienten häufig unumgänglich. Keinen Einfluss auf die Häufigkeit von Pneumonien zeigte die Auswertung des Lähmungsmaßes nach der AIS-Klassifikation. Komplett und inkomplett querschnittgelähmte Patienten unterschieden sich diesbezüglich statistisch nicht. Eine Ausnahme bilden AIS D-klassifizierte Patienten, hier scheint die Atemmechanik ausreichend suffizient, so dass keiner der Patienten eine Pneumonie entwickelt hat.

Zur Schonung oropharyngealer Strukturen, zur Vermeidung von Druckulzera, zur besseren Mundpflege und bei häufig verlängertem Weaning und um die Beatmungssituation für den Patienten zu erleichtern, sind 82,69% tracheotomiert worden. Laut Röhl (2003) ist eine plastische Tracheotomie oberhalb einer Lähmung von C4 sinnvoll.

Es besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen Unfallort und dem Risiko, eine Pneumonie zu entwickeln. Wird davon ausgegangen, dass neben der neuralen Schädigung eine Aspiration mitverantwortlich für die respiratorische Insuffizienz ist, so ist kein signifikanter Unterschied zu sehen, ob der Unfall in Süß- oder Salzwasser stattgefunden hat.

Um den Einfluss der präklinischen Intubation auf die respiratorischen Komplikationen zu beurteilen, sind die 56 Patienten, die im BG Klinikum Hamburg erstversorgt worden waren, zu einer Gruppe zusammengefasst worden. Von den 56 Patienten erlitten 42,86% eine Pneumonie, was auch im gesamten untersuchten Kollektiv mit 42,50% zu beobachten war. Von 22 präklinisch intubierten Patienten entwickelten 59,09% eine Pneumonie, bei 34 nicht intubierten Patienten kam es bei 32,35% zu einer Pneumonie, was statistisch signifikant ist. Die Auswertung ergab, dass die präklinisch intubierten Patienten ein dreifach höheres Risiko haben, eine Pneumonie zu entwickeln.

Ursächlich für diese Diskrepanz der Pneumonieentwicklung zwischen den präklinisch intubierten Patienten und den nicht intubierten Patienten könnte sein, dass einerseits die Patienten, mit primär bereits deutlich eingeschränkter Atemmechanik notärztlich intubiert werden mussten. Andererseits erhöht sich durch die Intubation das Risiko einer Aspiration mit konsekutiver Pneumonie. Weiterhin ist die maschinelle Überdruckbeatmung ein zusätzlicher Risikofaktor für die Entwicklung nosokomialer Pneumonien.

Eine Studie im Hinblick auf die Prävention von Pneumonien zeigt, dass möglicherweise die Rate der Pneumonien durch eine Hochdosistherapie mit Ambroxol über fünf Tage postoperativ gesenkt werden kann (Li et al. 2012).

Trotz des hohen Anteils an beatmungspflichtigen Patienten während des Krankenhauserstufenthaltes ergab unsere Untersuchung, dass nur zwei Patienten mit einer Lähmungshöhe C0-C3 (Gruppe I) dauerhaft beatmet aus dem Krankenhaus entlassen wurden, ein Patient aus den Gruppe II musste intermittierend beatmet werden. Alle drei Patienten sind mit einem plastischen Tracheostoma versorgt worden.

Diese drei langzeitbeatmeten Patienten, die 1,88% aller untersuchten Patienten entsprechen, decken sich mit den Zahlen von Hirschfeld et al. (2010), die die außerklinische Beatmung von Tetraplegikern mit 2,2% angeben.

Dauerbeatmete Patienten entwickeln deutlich mehr Pneumonien, weshalb die Überlebenszeiten hier von Hirschfeld et al. (2010) mit sieben bis acht Jahren angegeben werden. Pulmonale Komplikationen sind auch bei nicht beatmeten Tetraplegikern mit 37,5% der Fälle die häufigsten Todesursachen (Thietje et al. 2011).

#### **4.5 Neurologische Erholung**

Die Zahlen für eine neurologische Erholung nach Eintritt der Lähmung werden in der Literatur mit 9-10% angegeben (Röhl 2003). Das Outcome wird jedoch häufig durch das initiale neurologische Defizit bestimmt (Ketterl und Ewender 2015).

Unsere Patienten zeigen eine neurologische Verbesserung in 34,38% der Fälle, was vergleichbar mit den Angaben von Vastmans et al. (2016) mit 38,7% ist.

Deutliche Unterschiede bei den Entwicklungsmöglichkeiten bestehen zwischen kompletter und inkompletter Querschnittlähmung bei Aufnahme. Nach Katscher und Verheyden (2003) verbesserten sich von 45 Patienten nur 10% aller kompletten Querschnittlähmungen, worunter sich eine Komplettremission befand. In unserem eigenen Patientenkollektiv gab es bei 27,36% aller kompletten Querschnittlähmungen eine neurologische Verbesserung, worunter auch zwei Patienten waren, die sich zu AIS D verbesserten.

Bei den initial inkompletten Querschnittslähmungen verbesserten sich in unserer Studie 48,15% der Patienten um eine Stufe der AIS-Einteilung. Die Verbesserung um eine AIS-Stufe wird auch von Reinhold et al. (2006) angegeben, allerdings nur mit 10%. Ebenso werden von Röhl (2003) Verbesserungen lediglich bei 9% der Betroffenen angegeben. Mit unseren Ergebnissen vergleichbare Werte ergab eine Studie von Aito et al. (2005), in der eine neurologische Verbesserung von 46,67% bei initial inkompletter Lähmung beschrieben wird.

Betrachtet man die Veränderungen der Segmenthöhe, zeigt sich nur bei 21,25% eine positive Erholung von durchschnittlich 1,47 Segmenten. Vastmans et al. (2016) gibt eine Verbesserung in seinem Patientenkollektiv von 1,03 Segmenten an.

Nach Schwertfeger et al. (2004) gibt es noch keine evidenzbasierten Aussagen über den Nutzen und den optimalen Zeitpunkt einer konservativen gegenüber einer frühen operativen Behandlung bei Wirbelsäulenverletzungen. Insgesamt ist aber festzustellen, dass die Tendenz zur frühen operativen Versorgung klar favorisiert wird. Zumal es einer Studie von Grassner et al. (2016) zufolge Hinweise gibt, dass eine frühe operative Dekompression nach cervicalen Wirbelfrakturen einen positiven Einfluss auf das funktionelle und neurologische Behandlungsergebnis hat. In einer Untersuchung von Aito et al. (2005) waren 80% der neurologisch verbesserten Patienten operativ versorgt worden. Die potentielle Chance auf eine neurologische Erholung, das Verhindern allgemeiner Komplikationen und eine frühe Möglichkeit der Mobilisation bei dann stabil versorgter Halswirbelsäule sprechen ebenso für eine primäre operative Versorgung.

#### **4.6 Reanimationen**

Insgesamt 17 (10,63%) unserer Patienten wurden reanimationspflichtig, zehn davon am Unfallort oder während des Transportes in die Klinik, fünf davon im Krankenhaus. Zwei Patienten mussten sowohl am Unfallort als auch im Krankenhaus reanimiert werden. Unsere Untersuchung ergab keinen Unterschied zwischen der Lähmungshöhe und dem Risiko einen Herzstillstand zu erleiden.

Ein möglicher Grund für die Reanimationspflichtigkeit am Unfallort ist die Hypoxie im Rahmen einer mit dem Halswirbelsäulen-Trauma einhergehenden

Ateminsuffizienz und Bewegungsunfähigkeit. Außerdem kann es durch den kompletten Ausfall der sympathischen Innervation zu extremen Bradykardien bis zu einer Asystolie kommen. Zusätzlich bewirkt der Ausfall der Vasomotorik schwere Hypotonien, die kardial nicht kompensiert werden können.

Innerklinisch kam es bei Lagerungsmanövern und trachealem Absaugen zu Asystolien. Hohe Halsmarkläsionen sind durch spinalen Schock, den kompletten oder partiellen Ausfall der Atem- und Atemhilfsmuskulatur und bei operierten Patienten zusätzlich durch möglicherweise auftretende Schwellungen und Hämatome im Halsbereiche vital gefährdet und sollen daher intensivmedizinisch überwacht werden. Die Dauer des spinalen Schocks wird mit Tagen bis Wochen angegeben (Deutsche Gesellschaft für Neurologie 2012).

#### **4.7 Operative Versorgung**

Im untersuchten Kollektiv wurden bei 146 operativ versorgten Patienten 38 Komplikationen erhoben (26,03%). Bei 16 Patienten wurde eine Revisionsoperation notwendig (10,96%). Die erhobenen Komplikationen wie Fehlstellung, Materialbruch, Implantatlockerung, Liquorleckage und Ösophagusfistel finden sich ebenso in der Literatur (Katscher 2003). Nach Röhl (2003) schwankt die Anzahl der Revisionseingriffe deutlich. Liegt sie im eigenen Patientengut bei 4,5%, beträgt sie bei zuverlegten Patienten 38%. Ähnliche Zahlen geben auch andere spezialisierte Zentren an. Diese Ergebnisse zeigen, dass der erstversorgende Notarzt möglichst ein spezialisiertes Zentrum zur Erstversorgung wählen sollte.

Nach Reinhold et al (2006) hängen der Repositionserfolg und das Ausmaß der neurologischen Erholung davon ab, wie lang das Zeitintervall zwischen Unfall und geschlossener Reposition ist. Daher sollten insbesondere Luxationen und Luxationsfrakturen unabhängig vom neurologischen Befund so rasch wie möglich reponiert werden (Reinhold et al. 2006),

Die Indikation für eine operative Therapie wird in der Literatur wie folgt beschrieben:

Die operative Versorgung wird bei neurologischen Ausfällen empfohlen. Nach Bühren (2002) werden dringliche Fälle mit neurologischen Ausfällen operativ versorgt, wenn das Verletzungsmuster bezüglich Dislokation und Kompression eine Besserungsmöglichkeit durch Dekompression mittels Reposition der Fehlstellung und direkter Freilegung des Spinalkanals verspricht. Laut Reinhold et al. (2006) konnte dadurch ein positiver Effekt tierexperimentell und klinisch gezeigt werden.

Ziel der operativen Spinalkanaldekompensation ist es, die - wenn auch nur bei einem kleinen Anteil der Patienten begründete - Chance zur neurologischen Verbesserung zu nutzen (Röhl 2003). Des Weiteren gibt es bei operativ stabilisierten Tetraplegien Verbesserungen in Bezug auf die Überlebensquote und die Rehabilitationsmöglichkeiten (Bühren et al. 1999). Außerdem soll durch die stabilen Wirbelsäulenverhältnisse die Möglichkeit zur Frühmobilisierung gegeben werden, wodurch allgemeine Komplikationen wie Thrombosen, Pneumonien und Lagerungsschäden verringert werden (Bühren 2002).

Nicht einheitlich sind die Aussagen in der Literatur zum besten Operationszeitpunkt der Wirbelkörperfrakturen. Nach Schwertfeger et al (2004) gibt es noch keine evidenzbasierten Aussagen zum optimalen Operationszeitpunkt.

#### **4.8 Lebensqualität**

Nach Neugebauer und Tecic (2008) ist das unfallbedingte Polytrauma durch die Erfahrung einer extremen Ausnahmesituation für Körper und Seele gekennzeichnet. Den Begriff „Lebensqualität“ nach einem Trauma inhaltlich zu definieren ist eine komplexe Aufgabe. Die in der Medizin gebräuchlichen Begriffe wie Outcome, Komplikationsrate und die in der untersuchten Gruppe von hochquerschnittgelähmten Patienten definierten Messwerte wie beispielsweise AIS-Einteilung und Kraftgrade erfassen nicht annähernd das Empfinden und die Bedürfnisse der Betroffenen, die sich mit vollständig geänderten Lebensumständen konfrontiert sehen. Viele subjektiv empfundene Parameter sind mit diesen Begriffen nicht messbar. Um diese Komponenten zu erfassen, sind Fragebögen zur Erfassung krankheitsspezifischer Lebensqualität entwickelt

worden. Der Polo-Chart (Polytrauma Outcome Chart) ist aus unterschiedlichen Modulen aufgebaut, neben einem allgemeineren Teil enthält er einen spezifischen Teil für Traumapatienten „Trauma Outcome Profil“ (TOP), zu den erfragten Komponenten gehören körperliche Funktion, Aktivität und soziale Aspekte. Nach einem derart einschneidenden Trauma wie einer hohen Querschnittlähmung sind kleine Tätigkeiten, die selbstständig und ohne Fremdhilfe durchgeführt werden können, ein Zugewinn an Lebensqualität. Dazu gehört die Mobilität mit Hilfsmitteln und die Blasenentleerung, die nach Panneck et al (2007) bei Selbstkatheterismus zur deutlichen Erhöhung der Lebensqualität führt. In unserem Patientenkollektiv waren 63,16% in der Lage, ihre Blase selbstständig zu entleeren, nur 36,85% hatten einen Dauerkatheter oder waren abhängig von fremder Hilfe. 79,37% unserer Patienten konnten sich ohne fremde Hilfe mit mechanischem Rollstuhl oder Gehhilfen fortzubewegen.

#### **4.9 Präventive Empfehlungen**

Auch wenn kein direkter Zusammenhang mit den in dieser Arbeit untersuchten Parametern und der Prävention solcher Unfälle besteht, ist es aufgrund der immensen Konsequenzen für die Betroffenen unerlässlich, hier etwas dazu zu schreiben. Gezielte Prävention bei jungen Männern zwischen 15 und 25 Jahren, ist sinnvoll und notwendig, um das Bewusstsein für die Risiken beim Kopfsprung in unbekannte Gewässer zu schärfen und dadurch möglichst viele traumatische Tetraplegien zu verhindern. In Kanada beispielsweise ist Schülern ein Video mit sieben Betroffenen gezeigt worden, in anschließenden Diskussionen haben sich die Schüler deutlich betroffen gezeigt und zugesagt, in ihrer Freizeit vorsichtiger zu sein (Bhide et al. 2000).

Um ein solch einschneidendes Ereignis im Leben der Betroffenen zu verhindern, sollten vergleichbar niedrige Präventionskosten nicht gescheut werden. Des Weiteren kann auch bedacht werden, dass Primärversorgung, Rehabilitation, Heilmittelversorgung, soziale und berufliche Reintegration, sowie die lebenslange medizinische Behandlung kostenintensiv sind.

Albrand und Walter (1975) veröffentlichten einige Hinweise zur Unfallvermeidung. Dazu gehören folgende Aspekte: „Spring nicht in Gewässer, die nicht mindestens

doppelt so tief sind wie deine Körpergröße. Trink keinen Alkohol, wenn Du schwimmst. Spring nie in unbekannte Gewässer.“ Nach Green et al. (1980) gab es in 96,15% der Fälle keine erkennbaren Warnhinweise an den Gewässern, weshalb zu überdenken wäre, ob eine bessere Beschilderung ebenfalls präventiv wirken würde.

Da 50% aller Betroffenen nie einen Schwimmkurs besucht und sich das Schwimmen selber beigebracht haben (Green et al. 1980), sollte die Möglichkeit, an Schwimmkursen teilzunehmen verbessert werden. Im Rahmen eines solchen Kurses sollte dann auf die Risiken eines Kopfsprunges in flache Gewässer explizit hingewiesen werden.

Durch Präventionsveranstaltungen an Schulen und Universitäten sollte auf die Folgen von Querschnittlähmungen durch Kopfsprung in flaches Wasser aufmerksam gemacht werden. Diesbezüglich existieren Programme, die von der Deutschen Stiftung Querschnittlähmung (DSQ) sowie der Fördergemeinschaft der Querschnittgelähmten (FGQ) organisiert und von der Deutschsprachigen Medizinischen Gesellschaft für Paraplegiologie (DMGP) wissenschaftlich unterstützt werden.

## 5. Zusammenfassung

Das Ziel unserer Studie war es, respiratorische Komplikationen und funktionelle Ergebnisse nach Halsmarktrauma durch Kopfsprung in flache Gewässer zu untersuchen. Neben allgemeinen Daten wie Alter, Geschlecht und Krankenhausverweildauer wollten wir Aufschluss über den Einfluss von Unfallort, präklinischer Intubation, Lähmungshöhen und Lähmungsmaß nach der AIS-Klassifikation auf die Entwicklung pulmonaler Komplikationen und deren Beatmungspflicht untersuchen. Prä- und innerklinisch ist ebenfalls das Risiko, einen Herz-Kreislauf-Stillstand zu erleiden, ausgewertet worden. Die neurologischen Konversionsraten sind durch die Veränderungen der AIS-Klassifikation und der Veränderung der Lähmung in Segmenthöhen dokumentiert worden. Die Anzahl und Höhe der Wirbelkörperfrakturen, Begleitverletzungen und operativ und nicht operativ bedingte Komplikationen wurden ausgewertet. Außerdem sind die Möglichkeiten der Betroffenen in Bezug auf Mobilität, Blasenentleerung und Wohnsituation nach der Krankenhausentlassung erfasst worden.

Von 160 ausgewerteten Patienten sind 97,50% Männer,  $\frac{2}{3}$  von ihnen jünger als 24 Jahre. 83,13% wurden ohne Begleitverletzungen ins Krankenhaus aufgenommen.

68 Patienten (42,50%) entwickelten eine Pneumonie, davon wurden 52 Patienten (76,47%) beatmet, hiervon 43 Patienten (82,69%) tracheotomiert. Durch die gestörte Innervation des Diaphragmas waren hohe Halsmarkverletzungen von respiratorischen Komplikationen deutlich häufiger betroffen. Patienten mit einer Lähmungshöhe C0-C3 waren zu 56,52% beatmungspflichtig, von den Patienten mit einer Lähmungshöhe C6-C7 hingegen waren davon nur 6,25% betroffen. Keinen Zusammenhang mit dem Risiko eine Pneumonie zu entwickeln ergab die Auswertung der Patienten nach der AIS-Klassifikation. Das Pneumonierisiko unterschied sich bei komplett und inkomplett gelähmten Patienten statistisch nicht. Präklinisch bereits intubierte Patienten hatten ein 3,02fach erhöhtes Risiko, eine Pneumonie zu entwickeln.

Die unterschiedlichen Unfallorte und deren Wasserqualität hatten keinen Einfluss auf die Pneumonierate. Die Beatmungspflichtigkeit der Patienten ist passager. Nur drei Patienten (1,88%) werden dauerbeatmet aus dem Krankenhaus entlassen.

10,63% der Patienten mussten reanimiert werden. Es konnte aber kein statistischer Zusammenhang mit der Lähmungshöhe festgestellt werden.

Der neurologische Aufnahmezustand ergab, dass  $\frac{2}{3}$  aller Patienten eine komplette Lähmung AIS A hatten, ein knappes Drittel teilte sich auf AIS B und C auf, und nur 1,88% der Patienten waren AIS D. 34,38% der Patienten verbesserten sich im Laufe des Krankenhausaufenthaltes. Die Möglichkeit einer neurologischen Erholung ist umso größer, je inkompletter die Lähmung primär war.

Lediglich 27,36% aller AIS A-Patienten verbesserten sich neurologisch, aber 56% aller AIS B-Patienten und 46,15% aller AIS C-Patienten gelang dies. Die Lähmungshöhe nach Segmenten blieb bei 67,50% unverändert. 21,25% aller Betroffenen verbesserten sich um ein bis zwei, ein Patient um drei Segmente, 11,25% verschlechterten sich um ein bis zwei, ein Patient um drei Segmente.

17,00% aller Patienten wurden gehfähig. Knapp die Hälfte davon kann auf Zimmerebene ohne Hilfsmittel gehen, die andere Hälfte kann mit Hilfsmitteln Gehstrecken von 15-500 Metern bewältigen. Nur ein Patient (0,63%) war auch auf langen Strecken ohne Hilfsmittel mobil.

Die Anzahl der operativ bedingten Komplikationen betrug 26,03%, davon war bei 10,96% eine Revisionsoperation notwendig. Ein Patient verstarb während des Erstaufenthaltes im Krankenhaus an einer zentralen Dysregulation. Ursächlich dafür war ein posttraumatischer Pons-Infarkt nach Basilaristhrombose.

Zusammengefasst ist festzuhalten, dass insbesondere nach dem frischen Trauma eine intensivmedizinische Überwachung zum frühzeitigen Erkennen respiratorischer und kardialer Komplikationen unumgänglich ist. Es hat sich gezeigt, dass die interdisziplinäre Versorgung in einem spezialisierten Zentrum sowohl in der akuten Phase als auch in der Rehabilitation von deutlichem Vorteil ist.

Zur Vermeidung einer traumatischen Querschnittlähmung durch Kopfsprung in flache Gewässer sollten vermehrt Präventionsmaßnahmen erfolgen, um die Risikogruppe „junge Männer“ gezielt auf die Gefahr hinzuweisen.

## 6. Literaturverzeichnis

- Aito S, Andrea MD, Werhagen L (2005) Spinal cord injuries due to diving accidents. *Spinal Cord* 43:109-116
- Albrand OW, Walter J (1975) Underwater Deceleration Curves in Relation to Injuries from Diving. *Surg Neurol* 4:461-464
- Badke A (2009) Therapie der akuten traumatischen Rückenmarkslähmung. *OP-Journal* 25(1):34-37
- Bailes JE, Herman JM, Quigley MR, Cerullo LJ, Meyer PR (1990) Diving Injuries of the Cervical Spine. *Surg Neurol* 34:155-8
- Barss P, Djerrari H, Leduc BE, Lepage Y, Dionne CE (2008). Risk factors and prevention for spinal cord injury from diving in swimming pools and natural sites in Quebec, Canada: a 44-year study. *Accid Anal Prev. Mar*; 40(2):787-97
- Bhide VM, Edmonds VE, Tator CH (2000) Prevention of spinal cord injuries caused by diving: evaluation of the distribution and usage of a diving safety video in high schools. *Injury Prevention* 6:154-156
- Bickenbach J, Officer A, Shakespeare T, von Groote P, World Health Organization et al. (2013). International perspectives on spinal cord injury. World Health Organization.
- Blanksby BA, Wearne FK, Elliott BC, Blitvich JD (1997). Aetiology and occurrence of diving injuries: a review of diving safety. *Sports Med* 23:228-246
- Blumenthal M, Geng V, Egen C, Gutenbrunner C (2016) Querschnittlähmung in Deutschland – Forschungsdaten zur Gesundheit, Versorgung und Lebenssituation Betroffener. *Phys Med Rehab Kuror* 26(06):303-308
- Börm W, Meyer F (Hrsg.) (2008) *Spinale Neurochirurgie*, 1. Auflage, Kapitel 7.5, S 145-152, Schattauer Verlag, Stuttgart
- Botterell et al (1975) A Model for the Future Care of Acute Spinal Cord Injuries. *Can J Neurol Sci Nov*; 2(4):361-80
- Brügger A (1960) Über vertebrale, radikuläre und pseudoradikuläre Syndrome. I. *Documenta Geigy, Acta rheum.* 18,1
- Buck M, Beckers D (Hrsg.) (1993) *Rehabilitation bei Querschnittlähmung*. 1. Auflage Seite 1 Springer Verlag, Berlin Heidelberg

- Bühren V (2002) Frakturen und Instabilitäten der Halswirbelsäule. Unfallchirurg 73:1049-1066
- Bühren V, Potulski M, Jaksche H (1999) Chirurgische Versorgung bei Tetraplegie. Unfallchirurg 102: 1–12
- Carter RE (1977) Etiology of traumatic spinal cord injury: statistic of more than 1100 cases. Tex Med 73(6):61-5
- Cavigelli A, Curt A (2000) Differentialdiagnose der akuten Rückenmarkerkrankungen. Therap Umschau 57:657-660
- Chang SK, Tominaga GT, Wong JH, Weldon EJ, Kaan KT (2006) Risk factors for water sports-related cervical spine injuries. J Trauma 60(5):1041-6
- Demetrios S et al (2006) Diving injuries of the cervical spine in amateur divers. Spine J. Jan-Feb;6(1):44-9
- DeVivo MJ, Sekar P (1997) Prevention of spinal cord injuries that occur in swimming pools. Spinal Cord 35:509-515
- Deutsche Gesellschaft für Neurologie (DGN) S1-Leitlinie zur Behandlung des Querschnittes (2012), Registrier-Nr. 030-070. Düsseldorf: AWMF. URL: <http://www.awmf.org/Leitlinien> (Stand: 22.11.2018)
- Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und der Berufsverband der Ärzte für Orthopädie (Hrsg.) Leitlinie der Orthopädie, Dt. Ärzte-Verlag, 2. Auflage, Köln 2002
- Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie, S3-Leitlinie Polytrauma/ Schwerverletzten – Behandlung (2016), Register-Nr. 012/019. URL: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/012-019l\\_S3\\_Polytrauma\\_Schwerverletzten-Behandlung\\_2017-08.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-019l_S3_Polytrauma_Schwerverletzten-Behandlung_2017-08.pdf) (Stand: 09.08.2019)
- Fife D, Kraus J (1986) Anatomic Location of Spinal Cord Injury. Spine 11(1):2-5
- Frankel HL, Montero FA, Penny PT (1980). Paraplegia April;18(2):118-22
- Furlan JC, Fehlings MG (2008) Cardiovascular complications after acute spinal cord injury: pathophysiology, diagnosis and management. Neurosurg Focus 25(5):E13
- Good RP, Nickel VL (1980) Cervical Spine Injuries Resulting From Water Sports. Spine 5(6):502-6
- Grassner L, Wutte C, Klein B, Mach O, Riesner S, Panzer S, Vogel M, Bühren V, Strowitzki M, Vastmans J, Maier D (2016) Early Decompression (< 8 h)

- after Traumatic Cervical Spinal Cord Injury Improves Functional Outcome as Assessed by Spinal Cord Independence Measure after One Year. *J Neurotrauma*. 2016 Sep 15;33(18):1658-66. doi: 10.1089/neu.2015.4325. Epub 2016 May 9
- Green BA, Gabrielsen MA, Hall WJ, O'Heir J (1980) Analysis of swimming pool accidents resulting in spinal cord injury. *Paraplegia* 1980 Apr;18(2):94-100
- Griffiths ER (1980) Spinal injuries from swimming and diving treated in the spinal department of royal perth rehabilitation hospital. *Paraplegia* April;18(2):105-17
- Guttmann L (1973) Spinal cord injuries. Comprehensive Management and Research. London, England: Blackwell Scientific Publications
- Herman JM, Sonntag VKH (1991) Diving Accidents – Mechanism of Injury and Treatment of the Patient. *Crit Care Nurs Clin North Am* 3(2):331-7
- Hermann U, Leisering H (1985) Knauer – Das deutsche Wörterbuch. S. 584 Lexikographisches Institut, München
- Hess T, Hirschfeld S, Thietje R, Lönnecker S, Kerner T, Stuhr M (2016) Die akute traumatische Querschnittlähmung – Wie ist präklinisch vorzugehen? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 51(4):226-237
- Hirschfeld S, Exner G, Thiedemann S, Thietje R (2010) Langzeitbeatmung querschnittgelähmter Patienten. *Trauma Berufskrankh* 12:177-181
- Hoegel F, Vastman J, Vogel M, Bühren V (2016) Verletzungen des Rückenmarks – Akutbehandlung. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 2016; 11(06): 451-479
- Hulbert RJ (2006) Strategies of medical intervention in the management of acute spinal cord injury. *Spine* 31(Suppl 11) 16-21,36
- Janda, V (2016) Muskelfunktionstest. In: Janda V: Manuelle Muskelfunktionsdiagnostik. 4. Aufl. Seite 4, Urban & Fischer Verlag, München
- Kaps HP (2010) Das paraplegiologische Gutachten. In: Rompe G, Erlenkämper A, Schiltenswolf M, Dierk FH: Begutachtung der Haltungs- und Bewegungsorgane, 5. Aufl. Thieme, S 482-495
- Katscher S, Verheyden AP (2003) Standards bei der Behandlung von Frakturen und Instabilitäten der HWS zwischen C3 und C7. *Trauma Berufskrankh* 5:225-230

- Ketterl R, Ewender S (2015) Behandlungsoptionen bei Verletzungen der unteren Halswirbelsäule. *Trauma Berufskrankh* 17(1):148-156
- Kewalramani LS, Orth MS, Taylor RG (1975) Injuries to the cervical spine from diving accidents. *J. Trauma* 15:130 – 142
- Kirshblum SC, Waring W, Biering-Sorensen F, Burns SP, Johansen M, Schmidt-Read M, Donovan W, Graves D, Jha A, Jones L, Mulcahey MJ, Krassioukoy A (2001) Reference for the 2011 revision of the international Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. In: *J Spinal Cord Med.* 34(6), 2001, S. 547-554
- Kiwerski JE (1993) Traumatic lesions of the lower cervical spine in Poland. *Eur Spine J* 2:42-45
- Kiwerski JE (1993) Early anterior decompression and fusion for crush fractures of cervical vertebrae. *Int Orthop.* 17(3):166-8
- Kiwerski JE (1993) The causes, sequelae and attempts at prevention of cervical spine injuries in Poland. *Paraplegia* 31(8):527-33
- Klaus EJ, Andresen R (1960) Über eine tödliche Verletzung der Halswirbelsäule beim Wasserspringen. *Dtsch med Wochenschr* 85(29):1309-1311
- Krämer J, Nentwig CG (Hrsg.) (1999) Orthopädische Schmerztherapie. 4. Auflage Thieme Verlag Stuttgart
- Krüger A (2010) Querschnittlähmung. In: Ruchhotz S, Wirtz DC (Hrsg.) Orthopädie und Unfallchirurgie. 6. Auflage Seite 663, Thieme Verlag, Stuttgart.
- Lange M (2003) Paraplegiker. Rehabilitation Querschnittgelähmter. Diplomarbeit Görlitz
- Laurer H, Sander A, Maier B, Marzi I (2010) Frakturen der Wirbelsäule. *Orthopäde* 39:237-246
- Leisering H, Hellerer H, Hermann U (1985) Knauer Das deutsche Wörterbuch. Lexografisches Institut, München, Seite 584
- Levi L, Wolf A, Belzberg H (1993) Hemodynamic parameters in patients with acute cervical cord trauma: description, intervention, and prediction of outcome. *Neurosurgery* 33:1007-1016
- Liebscher T, Niedeggen A, Estel B, Seidl R (2015) Airway complications in traumatic lower cervical spinal cord injury: A retrospective study. *J Spinal Cord Med.* 38(5):607-614

- Li Q, Yao G, Zhu X (2012) High-dose ambroxol reduces pulmonary complications in patients with acute cervical spinal cord injury after surgery. *Neurocrit Care*16(2):267-72
- Maharaj JC (1996) Epidemiology of spinal cord paralysis in Fiji: 1985-1994. *Spinal Cord* 34:549-559
- Moran K (2008) Taking the plunge:diving risk practices and perceptions of New Zealand youth. *Health Promot J Austr* April19 (1):68-71
- Neugebauer EAM, Tecic T (2008) Lebensqualität nach Schwerstverletzung. *Trauma Berufskrankh* 10(Suppl 1):99-106
- Pannek J, Märk R, Stöhrer M, Schurch B (2007): Lebensqualität bei deutschsprachigen Patienten mit Rückenmarkverletzungen und Blasenfunktionsstörungen. *Der Urologe* 46:1416-1421
- Perkins G, Olasveengen T, Maconochie I et al. European Resuscitation Council for Resuscitation: 2017 update. *Resuscitation* 2018;123:43-50
- Poeck K (2006) Apparative und laborchemisch Diagnostik. In: Poeck K, Hacke W (Hrsg.): *Neurologie*. 12. Aufl., 131ff, Springer-Verlag, Heidelberg
- Reinhold M, Blauth M, Rosiek R, Knop C (2006) Verletzungen der unteren Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* 109:471-482
- Röhl, K (2003) Halswirbelsäulenverletzungen mit Tetraplegie. *Trauma Berufskrankh* 5:231-243
- Scher AT (1995) Bodysurfing injuries of the spinal cord. *S Afr Med J* 85(10):1022-4
- Schmitt H, Gerner HJ (2001) Paralysis from Sport and Diving Accidents. *Clinical Journal of Sport Medicine*11:17-22
- Schneider RC, Kahn EA (1956) Chronic neurological sequelae of acute trauma to the spine and spinal cord, part I: the significance of the acute flexion or ,tear drop fracture dislocation , of the cervical spine. *J Bone Joint Surg Am* 38:985/997
- Schwarz N, Ohner T, Scharz AF, Gerschpacher M, Meznik A (1993) Injuries of the cervical spine in children and adolescents. *Unfallchirurg* 96(5):235-41
- Schwarz N, Sim E, Nestinger K (2001) Injuries of the thoracic vertebrae in head-first dive into water. *Unfallchirurg*. 104(4):300-2
- Schwerdtfeger K, Steudel WI, Pitze T, Mautes AEM (2004) Spinale Trauma. *Intensivmed* 41:71-80

- Shingu H, Ikata T, Katoh S, Akatsu T (1994) Spinal cord injuries in Japan: a nationwide epidemiological survey in 1990. *Paraplegia* 32, 3-8
- Silberstein B, Rabinovich S. (1995) Epidemiology of spinal cord injuries in Novosibirsk, Russia. *Paraplegia* 33:322-325
- Soopramanien A, (1994) Epidemiology of spinal injuries in Romania. *Paraplegia* 1994 Nov;32(11):715-22.
- Steinbrück K, Paeslack V (1980) Analysis of 139 spinal cord injuries due to accidents in water sports. *Paraplegia* 18:86-93
- Steinbrück K, Paeslack V (1978) Paraplegie durch Sport- und Badeunfälle. *Z. Orthop.* 116:697-709
- Thomeczek C, Bock, W, Conen D, Ekkernkamp A, Everz D, Fischer G, Gerlach F, Gibis B, Gramsch E, Jonitz G, Klakow-Frank R, Oesingmann U, Schirmer HD, Smentkowski U, Ziegler M, Ollenschläger G. Das Glossar Patientensicherheit. Ein Beitrag zur Definitionsbestimmung und zum Verständnis der Thematik „Patientensicherheit“ und „Fehler in der Medizin“. *Gesundheitswesen* 2004;66(12):833-40
- Thietje R, Kowald B, Hirschfeld S (2011) Woran sterben Querschnittgelähmte heute? Eine Nachuntersuchung von 102 Fällen. *Rehabilitation* 50:251-254
- Thietje R, Kowald B, Schulz AP, Northmann M, Hirschfeld S (2018) Entstehungsursachen, Lebenserwartung und Todesursachen bei Menschen mit traumatischer Querschnittlähmung – Eine monozentrische Analyse von 190 Fällen. *Trauma Berufskrankh* 20(2):151-156
- Ulrich C, Bühren V (2006) Verletzungen der Halswirbelsäule. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date* 1:415-446
- Vale FL, Burns J, Jackson AB, et al. (1997) Combined medical and surgical treatment after acute spinal cord injury: results of a prospective pilot study to assess the merits of aggressive medical resuscitation and blood pressure management. *J Neurosurg* 87:239-246
- Vastmans J, Grassner L, Högel F, Maier D, Bühren V (2016) Der Effekt der frühzeitigen Dekompression (<8h) versus späterer chirurgischer Versorgung auf das neurologische Outcome bei Patienten mit zervikaler Rückenmarksverletzung. Meeting Abstract (WI16-147 DKOU 2016)
- Vlok AJ, Petersen I, Dunn RN, Stander J (2010) Shallow-water spinal injuries – devastating but preventable. *S Afr Med J* Oct 1; 100(10):682-4

Ye C, Sun T, Li J, Zhang F (2009) Pattern of sports- and recreation-related spinal cord injuries in Beijing. *Spinal Cord* 47:857-860

## 7. Danksagung

Meinem Doktorvater Prof. Dr. med. R. Thietje danke ich herzlich für die freundliche Überlassung des Themas. Besonderer Dank gilt ihm für die konstruktiven Anregungen und Diskussionen, die diese Arbeit erst ermöglicht haben.

Herrn Dr. med. M. Stuhr danke ich sehr für die große Hilfe, mit der er mich von Beginn der Studie bis zum Ende der Arbeit begleitet hat. Organisatorisch und menschlich hat er mich dabei großartig unterstützt.

Prof. Dr. med. A.-P. Schulz danke ich für die anregenden Diskussionen über dieses Thema. Seine Ideen waren mir eine große Motivation.

Frau Dr. rer. hum. biol. B. Kowald danke ich sehr herzlich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung und der Formatierung dieser Arbeit. Einen großen Dank dafür, dass ich sie jederzeit ansprechen konnte!

Meiner Ehefrau Dr. med. Julia Meyer-Büthe danke ich für ihre Liebe und dass wir gemeinsam durch das Leben gehen. Ohne ihre Ideen und einfühlsame Unterstützung wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, Ilse und Willy Meyer, die mich zu jeder Zeit bestärkt und unterstützt haben. Durch Ihre Liebe, Geduld und Unterstützung war es mir erst möglich, der zu werden, der ich bin.

## 8. Lebenslauf

### Persönliche Angaben:

Name: Matthias Meyer

Alter: 56



### Promotion:

Thema Funktionelle Ergebnisse und Komplikationen nach cervicaler Querschnittlähmung durch Kopfsprung in flache Gewässer. Eine Analyse von 160 Fällen.

### Berufserfahrung:

Seit 2017 Honorarärztliche Tätigkeit als Anästhesist

2011 - 2017 Anästhesist im ambulanten OP-Zentrum St. Georg, Hamburg

2004 - 2011 Abteilung für Anästhesie, operative Intensivmedizin, Rettungsmedizin und Schmerzmedizin im BG Klinikum Hamburg

2006 Facharzt für Anästhesiologie

2007 - 2008 Im Rahmen einer Kooperation Tätigkeit in der Abteilung für Anästhesie im Kinderkrankenhaus Wilhelmstift, Hamburg

1998 - 2004 Abteilung für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin Albertinen-Krankenhaus, Hamburg

2001 - 2002 Im Rahmen einer Kooperation Tätigkeit in der Abteilung für Herzchirurgie und herzchirurgische Intensivmedizin, Albertinen-Krankenhaus, Hamburg

1988 - 1991 Ausbildung zum Krankenpfleger, Herzogin Elisabeth Krankenhaus Braunschweig

**Qualifikationen:**

Zusatzbezeichnung Notfallmedizin

Zusatzbezeichnung Intensivmedizin

**Studium:**

1991 - 1998 Humanmedizin an der Universität Hamburg,  
Abschluss Staatsexamen

1984 - 1986 Anglistik und Geschichte an der TU Braunschweig