

**Aus der Klinik für Neurologie
der Universität zu Lübeck
Klinikdirektor: Prof. Dr. med. J. Minnerup
und dem
BG Klinikum Hamburg
Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. med. K.-H. Frosch**

**Maschinelle invasive Langzeitbeatmung bei Querschnittgelähmten -
Ergebnisse von druck- und volumenkontrollierter Beatmung im
außerklinischen Setting**

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

vorgelegt von Merle Marie Rudolph
aus Hamburg

Lübeck 2024

1. Berichterstatter*in: PD Dr. med. Sven Hirschfeld

Ko-Betreuer*in: Prof. Dr. med. Karl-Friedrich Klotz

2. Berichterstatter*in: PD Dr. med. Torsten Meier

Tag der mündlichen Prüfung: 26.03.2026

Zum Druck genehmigt. Lübeck, den 02.04.2026

-Promotionskommission der Sektion Medizin-

Inhalt

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	5
1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG	6
1.1 EINLEITUNG	6
1.2 STAND DER FORSCHUNG	7
1.2.1 <i>Maschinelle Beatmung</i>	7
Volumenkontrollierte Beatmung (VCV)	7
Druckkontrollierte Beatmung (PCV)	8
Lungenprotektive Beatmung.....	9
1.2.2 <i>Beatmungsinduzierte und beatmungsassoziierte Komplikationen</i>	9
Kardiale Risiken bei maschineller Beatmung	9
Beatmungsinduzierte Lungenschädigung.....	11
Ventilatorassoziierte Pneumonie (VAP).....	14
Sonstige mögliche Folgen einer invasiven maschinellen Beatmung:	14
1.2.3 <i>Dauerhaft beatmungspflichtige Querschnittlähmung</i>	16
Pathophysiologie.....	16
Einteilung einer Querschnittlähmung:	16
Epidemiologie.....	16
Lähmungsassoziierte Komplikation: Pneumonie.....	17
1.2.4 <i>Aktueller Forschungsstand</i>	17
1.3 FRAGESTELLUNG	17
2. MATERIAL UND METHODEN	19
2.1 ETHIK.....	19
2.2 DATENERHEBUNG	19
2.3 BESCHREIBUNG DES PATIENTENKOLLEKTIVS	19
2.3.1 <i>Patientenkollektiv mechanisch Langzeitbeatmete (MV-gesamt)</i>	20
2.3.2 <i>Patientenkollektiv volumenkontrolliert Langzeitbeatmete (VCV)</i>	20
2.3.3 <i>Patientenkollektiv druckkontrolliert Langzeitbeatmete (PCV)</i>	20
2.3.4 <i>Patientenkollektiv volumenkontrolliert mit Wechsel auf druckkontrolliert Langzeitbeatmete (VCV/PCV)</i>	20
2.3.5 <i>Patientenkollektiv Kontrollgruppe</i>	20
2.4 UNTERSUCHUNGSDESIGN.....	21
2.5 DEFINITION EINTRITT DER BEATMUNGSPFLICHT.....	21
2.6 DEFINITION AUßERKLINISCHE ÜBERLEBENSZEIT	21
2.7 DEFINITION PNEUMONIE UND PNEUMONIERATE.....	21
2.8 DEFINITION AIS-KATEGORIEN.....	22
2.9 MESSINSTRUMENTE.....	22
2.10 STATISTIK.....	22

3. ERGEBNISSE	24
3.1. GESCHLECHTERVERTEILUNG	24
3.1.1 <i>Geschlechterverteilung MV-gesamt-Gruppe versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>24</i>
3.1.2. <i>Geschlechterverteilung spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>24</i>
3.2. ALTERSVERTEILUNG BEI EINTRITT DER BEATMUNGSPFLICHT.....	25
3.2.1 <i>Altersverteilung bei Eintritt der Beatmungspflicht MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>25</i>
3.2.2 <i>Altersverteilung bei Eintritt der Beatmungspflicht spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>26</i>
3.3. LÄHMUNGSHÖHENVERTEILUNG	28
3.3.1 <i>Lähmungshöhenverteilung MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>28</i>
3.3.2 <i>Lähmungshöhenverteilung spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>29</i>
3.4 AIS SCORE.....	30
3.4.1 <i>AIS Score MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>30</i>
3.4.2 <i>AIS Score spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe</i>	<i>31</i>
3.5. LÄHMUNGSGENESE.....	32
3.5.1 <i>Lähmungsgenese MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>32</i>
3.5.2 <i>Lähmungsgenese spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>33</i>
3.6 DAUERHAFTER ENTLASSUNGSORT.....	35
3.6.1. <i>dauerhafter Entlassungsort MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>35</i>
3.6.2 <i>dauerhafter Entlassungsort spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>36</i>
3.7 KOSTENTRÄGER.....	37
3.7.1 <i>Kostenträger MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>37</i>
3.7.2 <i>Kostenträger spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>37</i>
3.8. VORERKRANKUNGEN.....	38
3.8.1 <i>Vorerkrankungen des Patientenkollektivs MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>38</i>
3.8.2 <i>Vorerkrankungen spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>39</i>
3.9. ANZAHL DER VORERKRANKUNGEN	40
3.9.1 <i>Anzahl der Vorerkrankungen MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>40</i>
3.9.2 <i>Anzahl der Vorerkrankungen spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>41</i>
3.10. AUßERKLINISCHE ÜBERLEBENSZEITEN.....	43
3.10.1 <i>Außerklinische Überlebenszeiten MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....</i>	<i>43</i>

3.10.2 Außerklinische Überlebenszeiten spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....	44
3.11. MORTALITÄTSRATEN.....	46
3.11.1 Mortalitätsraten MV-gesamt-Gruppe versus Kontrollgruppe.....	46
3.11.2. Mortalitätsraten spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....	47
3.12. TODESURSACHEN.....	48
3.12.1 Todesursache MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....	48
3.12.2 Todesursache spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....	49
3.13 PNEUMONIERATE.....	51
3.13.1 Pneumonierate MV-gesamt versus Kontrollgruppe.....	51
3.13.2 Pneumonierate spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe.....	51
3.13.3 Pneumonierate VCV/PCV-Gruppe nur VCV-Werte vs. nur PCV-Werte.....	53
4. DISKUSSION.....	55
4.1 GESCHLECHTERVERTEILUNG UND ALTERSVERTEILUNG BEI EINTRITT DER BEATMUNGSPFLICHT	55
4.2 AIS SCORE UND LÄHMUNGSHÖHENVERTEILUNG	55
4.3 LÄHMUNGSGEHESE.....	56
4.4 DAUERHAFTER ENTLASSUNGSORT.....	57
4.5 KOSTENTRÄGER.....	57
4.6 VORERKRANKUNGEN.....	57
4.7 ÜBERLEBENSZEIT.....	58
4.8 MORTALITÄTSRATE.....	59
4.9 VERSTERBEGRUND.....	60
4.10 PNEUMONIERATE.....	61
4.11 PCV vs. VCV IM KONTEXT DER AKTUELLEN LITERATUR.....	61
5. ZUSAMMENFASSUNG	64
6. STÄRKEN UND LIMITIERUNGEN DER ARBEIT	66
7. LITERATURVERZEICHNIS.....	67
8. ANHÄNGE.....	71
9. DANKSAGUNGEN.....	76

Hinweis im Sinne des Gleichbehandlungsgesetzes:

Aus Gründen der leichten Lesbarkeit wurde auf eine geschlechterspezifische Darstellung, wie z. B. Patienten/Patientinnen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für alle Geschlechter.

Abkürzungsverzeichnis

Airflow	= die Geschwindigkeit, in der die Atemgasmenge bewegt wird
ARDS	= acute respiratory distress syndrom
Compliance	= Dehnbarkeit der Lunge
COPD	= chronisch obstruktive Lungenerkrankung
Driving pressure	= Spitzendruck - PEEP
MV	= mechanical ventilation
PCV	= pressure controlled ventilation
PEEP	= positive end expiratory pressure
Plateau	= Phase in der Inspiration, in der kein Volumen bewegt wird
QoL	= Lebensqualität
Resistance	= Atemwegswiderstand
Tidalvolumen/ Atemhubvolumen	= Atemgasmenge, die während eines Atemvorganges bewegt wird
VAP	= ventilator associated pneumonia
VCV	= volume controlled ventilation
VILI	= ventilator induced lung injury

1. Einleitung und Fragestellung

1.1 Einleitung

Noch bis vor ca. 35 Jahren gab es in Deutschland wenige Möglichkeiten hochquerschnittgelähmte beatmungspflichtige Patienten intensivpflegerisch in der Häuslichkeit zu versorgen. Demnach verblieben die Betroffenen häufig bis zu ihrem Tod in einem klinischen Setting, zumeist auf Intensivstationen. Erst seit Mitte der 1990er Jahre besteht seitens der Kostenträger und der außerklinischen Pflegelandschaft die Möglichkeit für eine ambulante Intensivpflege mit Fortführung einer Langzeitbeatmung (Hirschfeld, Exner, Tiedemann, & Thietje, 2010).

Zur Durchführung einer invasiven Langzeitbeatmung querschnittgelähmter Patienten existieren zwei grundlegende Beatmungsformen. Die Phrenikus-Nerven-Stimulation (PNS) basiert, auf Grund eines entstehenden Negativdruckes während der Inspiration durch das elektrisch stimulierte Zwerchfell, weitestgehend auf der physiologischen Atemmechanik. Dem gegenüber steht die maschinelle Beatmung (MV), welche mit Hilfe von Überdruck den Patienten ventiliert. Letztere wird in $\frac{2}{3}$ der Fälle in Anspruch genommen, da lediglich $\frac{1}{3}$ der Patienten intakte Motoneurone der Nn. Phrenici aufweisen, welche wiederum die Voraussetzung für eine Versorgung mit der Phrenikus-Nerven-Stimulation darstellen (Hirschfeld, 2016).

Seit den 1980er Jahren besteht die Möglichkeit einer druckkontrollierten Beatmungsform (PCV) (Ashworth et al., 2018). Seither beschäftigt die Forschungsgemeinschaft, ob die druckkontrollierte Beatmungsform einen Vorteil gegenüber der klassischen volumenkontrollierten Beatmung (VCV) vorweist. Die hierzu durchgeführten Studien beziehen sich vor allem auf Patienten, die aufgrund eines akuten Lungenversagens (bspw. acute respiratory distress syndrom) intensivstationär behandelt werden. Bisherige Studien konnten keinen Vorteil bzw. Nachteil einer Beatmungsform feststellen, ihn jedoch auch nicht ausschließen (Chacko, Peter, Tharyan, John, & Jeyaseelan, 2015).

Das spezielle Patientenkollektiv der langzeitbeatmeten und querschnittgelähmten Patienten dieser Arbeit wurde aber in den o.g. Studien nicht inkludiert. Es war demnach offen, ob eine der Beatmungsformen Vorteile für invasiv langzeitbeatmete querschnittgelähmte Patienten aufweist. Zu berücksichtigen ist, dass es sich bei diesem Kollektiv, verglichen mit den o.g. Patientenkollektiven, um lungengesunde Patienten handelte, die auf Grund der fehlenden Muskelpumpe beatmungspflichtig waren.

1.2 Stand der Forschung

1.2.1 Maschinelle Beatmung

Die maschinelle Beatmung bietet die Möglichkeit einer assistierten und/oder kontrollierten Dauerbeatmung und damit eine konstante Sicherstellung der Atemzyklen. Bei einer beatmungspflichtigen Querschnittlähmung wird der Atemweg in den meisten Fällen durch ein Tracheostoma gesichert (Choi et al., 2013; Leelapattana et al., 2012). Über diesen künstlichen Atemweg gelangt das Atemgas während der Inspiration per Überdruck in die Lunge. Die Expiration wird im Wesentlichen durch die elastischen Rückstellkräfte der Lunge ausgeführt (De Troyer & Estenne, 1991).

Man unterscheidet hier grundsätzlich zwei Beatmungsformen: die volumenkontrollierte Beatmung (VCV) und die druckkontrollierte Beatmung (PCV). Beide Formen werden im Folgenden genauer beschrieben.

Volumenkontrollierte Beatmung (VCV)

Die volumenkontrollierte Beatmungsform zeichnet sich durch ein definiertes Tidal- oder Zielvolumen aus. Durch einen mit mehreren zusätzlichen Parametern einstellbaren Luftstrom wird das Volumen in die Lunge transportiert, bis das Atemzugvolumen erreicht ist. Der hierfür benötigte Druck wird von der Maschine in Zeitfenster und Höhe geregelt und ergibt sich hauptsächlich aus der Compliance und Resistance der Lunge (Larsen, Ziegenfuß, & Mathes, 2018, p. 253). Dazu werden ein Maximaldruck und ein Zeitfenster, welche die Maschine nicht überschreiten soll, eingestellt. Erreicht das Beatmungsgerät innerhalb dieser Druck- und Zeitgrenzen das Zielvolumen nicht, wird ein Alarm generiert. Diese Maßnahme soll die Lunge vor zu hohen Drücken schützen, um ein sogenanntes Barotrauma zu verhindern (Roewer & Thiel, 2008).

Üblicherweise arbeitet die Maschine bei dieser Beatmungsform mit einem Konstant- bzw. Rechteckflow, d.h. während der gesamten Inspiration bleibt der Flow, also die Geschwindigkeit, mit der das Volumen in die Lunge strömt, konstant (Larsen et al., 2018, p. 253).

Dies hat zur Folge, dass sich mit Erreichen des Zielvolumens kurzzeitig ein Spitzendruck einstellt, welcher über das Niveau des Plateaudruckes hinausgeht. Dies geschieht vor allem bei einem hohen Airflow (Rittner & Döring, 2016) (Abbildung 1.2.2.1).

Demgegenüber steht der dezelerierende Flow. Zu Beginn der Inspiration arbeitet die Beatmungsmaschine mit einem hohen Airflow, welcher dann stetig reduziert wird. Infolgedessen entstehen keine Spitzendrücke, die über das Plateauniveau hinausgehen. Diese Form des Flows wird standardmäßig bei der druckkontrollierten Beatmung

eingesetzt, findet aber auch immer mehr Anwendung in der volumenkontrollierten Beatmung (Larsen et al., 2018, p. 253).

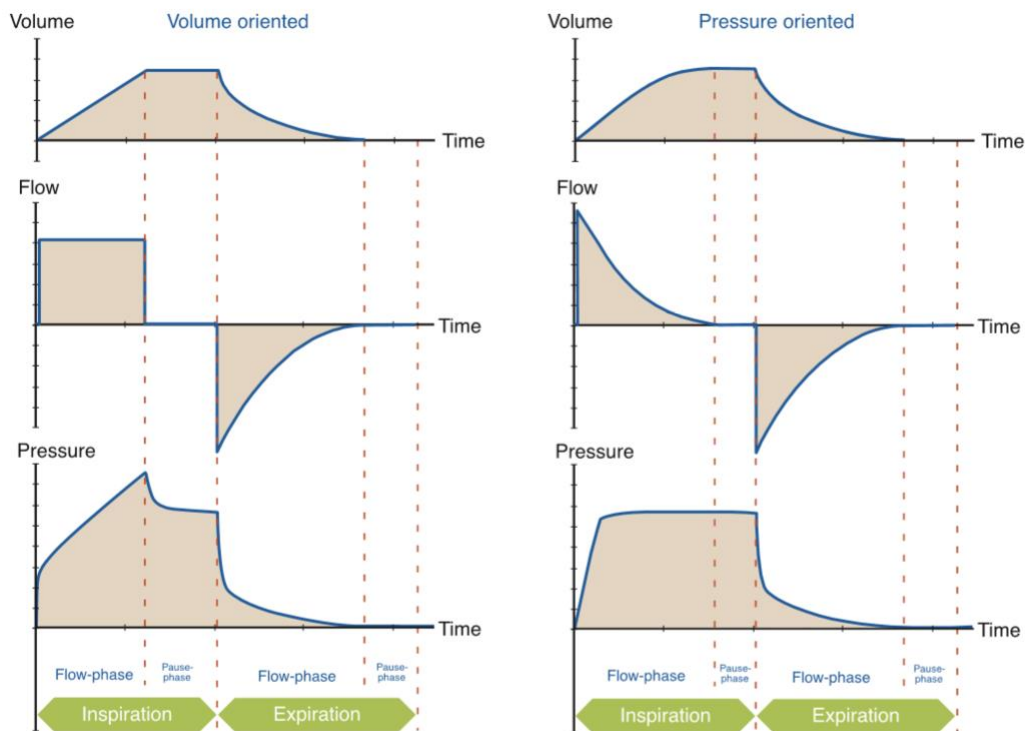


Abbildung 1.2.1.1: „Druck-, Flow-, und Volumendiagramm bei volumenorientierter und druckorientierter Beatmung“ aus Kurven und Loops in der Beatmung (Rittner & Döring, 2016)

Druckkontrollierte Beatmung (PCV)

Der bestimmende Parameter bei der druckkontrollierten Beatmung ist der inspiratorische Druck (P_{insp}), mit dem das Volumen während der Inspiration in die Lunge bewegt wird. Folglich sind sowohl das erreichte Tidalvolumen als auch der Airflow sehr variabel. Beides ist auch hier abhängig von der Resistance und der Compliance der Lunge. Das Tidalvolumen wird sowohl mit einer Untergrenze (Sicherungsvolumen) als auch mit einer Obergrenze belegt. So können einerseits Hypoventilationen und andererseits Druckschäden durch zu hohe Volumina (Volutrauma) vermieden werden. Die gewählte Flowform ist bei der druckkontrollierten Beatmung immer vom dezelerierenden Typ (Larsen et al., 2018). Durch den dezelerierenden Flow erreicht man während der Inspiration keinen Spitzendruck, der über das Plateauniveau hinaus geht (Rittner & Döring, 2016) (Abbildung 1.2.1.1).

Lungenprotektive Beatmung

Aus der Notwendigkeit heraus, die im Folgendem beschriebenen beatmungsinduzierten Folgen zu vermeiden, hat sich die Methode der lungenprotektiven Beatmung entwickelt. Es erfolgt die Einstellung eines Tidalvolumen, welches sich nach dem Standard-Körpergewicht richtet. (Camporota & Hart, 2012). Das Standard-Körpergewicht beschreibt das voraussichtliche Körpergewicht einer Person, bei normalen Fett- und Flüssigkeitsanteilen (Gunter Nils Schmidt & Thiele, 2017). Die Berechnungsformel für das Standard-Körpergewicht berücksichtigt das Geschlecht sowie die Körpergröße (Gunter Nils Schmidt & Thiele, 2017):

$$\text{♀: Standard-Körpergewicht (kg)} = 45,5 + 0,91 \times (\text{Körperlänge (cm)} - 152,4)$$

$$\text{♂: Standard-Körpergewicht (kg)} = 50,0 + 0,91 \times (\text{Körperlänge (cm)} - 152,4)$$

Auf dieser Grundlage sollte bei lungengesunden Patienten der Wert zwischen 6-8 ml/kg Standard-KG liegen (Adamzik et al., 2017). Ferner sollte sich der endinspiratorische Plateaudruck < 30 cmH₂O befinden (Camporota & Hart, 2012). Dieser Wert spiegelt den transpulmonalen Druck wider und berechnet sich aus der Differenz des Alveolar- und Pleuradrucks (Oczenski, 2012b, p. 448).

1.2.2 Beatmungsinduzierte und beatmungsassoziierte Komplikationen

Bei der maschinellen Beatmung wird während der Inspiration durch einen Überdruck (relativ zum intrathorakalen Unterdruck) das Atemgas in die Lunge transportiert. Dies hat zur Folge, dass intrathorakal verhältnismäßig hohe Druckverhältnisse während und vor allem am Ende der Inspiration entstehen. Der erhöhte intrathorakale Druck wird vor allem durch die transmurale Druckübertragung des mittleren Alveolardrucks auf den Thoraxraum beeinflusst (Oczenski, 2012b, p. 443). Folglich ist der notwendige Druck hierbei unmittelbar abhängig von der Dehnbarkeit (Compliance) und dem Atemwegswiderstand (Resistance) der Lunge.

Diese Überdruck-Verhältnisse haben Folgen für Organe und Organsysteme:

Kardiale Risiken bei maschineller Beatmung

1. Verminderung des venösen Rückstroms zum Herzen und Vorlastsenkung

Durch den intrathorakalen Druckanstieg, der sich u.a. in einem Anstieg des zentralvenösen Drucks äußert, kommt es zu einer Annäherung des Druckgradienten zwischen den extra- und intrathorakalen Venen. Als Folge wird der venöse Rückstrom zum rechten Vorhof reduziert, hierdurch nimmt das enddiastolische Volumen beider

Ventrikel ab. Dies führt bei einer ausbleibenden reflektorischen Tachykardie zur Abnahme des Herz-Zeit-Volumens (Frank-Starling-Mechanismus) (Larsen et al., 2018, p. 380; Oczenski, 2012b, pp. 435-436). Begünstigt wird dieser Umstand durch einen hypovolämischen Zustand und durch eine eingeschränkte Pumpfunktion des Herzens (Oczenski, 2012b, pp. 436-437). Unter der Verwendung eines PEEP's ist dieser Effekt umso stärker ausgeprägt (Larsen et al., 2018, p. 381).

Des Weiteren kommt es, bedingt durch den intrathorakalen Druckanstieg und der Ausbreitung des Lungengewebes während der Inspiration zu einer Kompression der mediastinalen Gefäße und des Herzens mit einem intraperikardialen Druckanstieg. Dies führt zu einer verminderten Ventrikelfüllung und daher zu einer Vorlastsenkung (Benzer, Buchardi, Larsen, & Suter, 1995, p. 438).

2. Abnahme der linksventrikulären Nachlast

Der intrathorakale Druckanstieg beeinflusst neben dem venösen System auch das arterielle System. Der erhöhte intrathorakale Druck führt zu einer verringerten Druckdifferenz zwischen dem linken Ventrikel und dem nachfolgenden intrathorakalen arteriellen Gefäßsystem. Folglich ist zu Beginn der Systole eine geringere linksventrikuläre Wandspannung notwendig, um das Schlagvolumen zu generieren. Die Nachlast des linken Ventrikels ist somit reduziert (Oczenski, 2012b, pp. 437-438); (Marino, 2017a, p. 139).

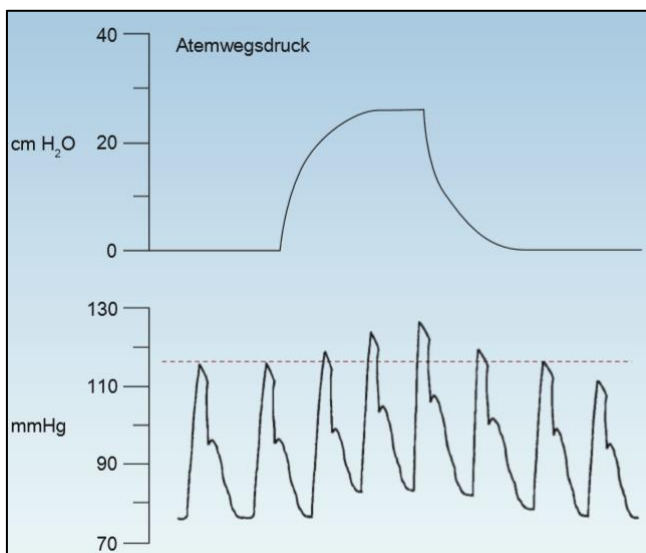


Abbildung 1.2.2.1: Schwankungen im arteriellen Blutdruck bei maschineller Beatmung (Marino, 2017a, p. 140).

Dies wird in Abbildung 1.2.2.1 verdeutlicht: Durch den positiven Beatmungsdruck und somit erhöhten intrathorakalen Druck während der Inspirationsphase steigt der systolische

Blutdruck. Im kurzzeitigen Anstieg des systolischen Blutdrucks spiegelt sich das erhöhte Schlagvolumen wider (Marino, 2017a, p. 139).

3. Erhöhung der rechtsventrikulären Nachlast

Während einer Beatmung mit hohen Beatmungsdrücken erhöht sich die rechtsventrikuläre Nachlast. Durch zu hohe Beatmungsdrücke kommt es zu einer starken Dehnung der Alveolen und somit zu einer Kompression der alveolären Gefäße. Hierdurch nehmen die Zonen (nach West) I und II zu, verdrängen die Zone III (Abbildung 1.2.2.2) und der Gefäßwiderstand steigt. In dieser Situation übersteigt auch der Alveolardruck den Vorhofdruck des linken Ventrikels, weshalb es zu einem verminderten Blutfluss zum linken Vorhof kommt. Dies hat zur Folge, dass der Blutdruck im Lungenkreislauf ansteigt und die rechtsventrikuläre Nachlast erhöht ist (Oczenski, 2012b, p. 439).

Besteht diese Situation konstant, kommt es zu einer kompensatorischen Hypertrophie des rechten Ventrikels (Pfeifer, 2016, p. 62).

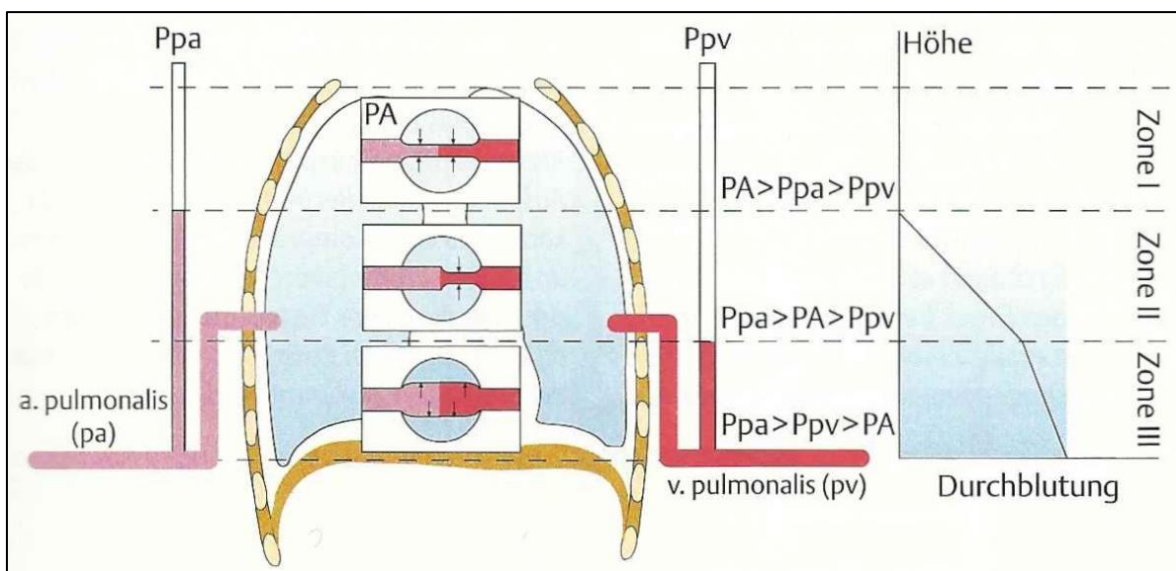


Abbildung 1.2.2.2: 3-Zonen-Modell nach West (Oczenski, 2012a, p. 95).

Beatmungsinduzierte Lungenschädigung

Es gibt vier wesentliche Kategorien, in die man beatmungsinduzierte Lungenschäden (VILI) einteilen kann (Hintzenstern, Bein, Obermayer, Lück, & Strauß, 2015, p. 19).

1. Barotrauma (Parenchym-Schaden durch hohe Beatmungsdrücke)

Das Barotrauma beschreibt einen Zusammenschluss von Komplikationen, bei denen es auf der Grundlage einer maschinellen Beatmung zu einem auftreten extraalveolärer Luft kommt. Diese freie Luft lässt sich radiologisch nachweisen (Larsen et al., 2018, pp. 383-384).

Der Parenchym-Schaden entsteht durch eine Beatmung mit zu hohen inspiratorischen Drücken. Ausschlaggebend für eine Überdehnung der Alveolen und damit einhergehende Verletzung der Membranintegrität von Alveolen, ist der erhöhte transpulmonale Druck (Oczenski, 2012b, p. 448).

2. Volutrauma (Parenchym-Schaden durch hohe Beatmungsvolumina)

Vergleichbar mit dem Baro- ist das Volutrauma. Es kommt ebenfalls zur Überdehnung der Alveolen durch einen erhöhten transpulmonalen Druck (Oczenski, 2012b, p. 449). Ursache für diesen ist jedoch ein zu groß gewähltes Tidalvolumen (Hintzenstern et al., 2015; Larsen et al., 2018). Diese Schädigung äußert sich durch eine Hyperpermeabilität des Endothels sowie des Alveolarepithels, sodass ein Ödem entsteht (Chen, Xia, Shang, & Yao, 2018).

Von dieser Schädigung betroffen ist zudem das Surfactant-System. Durch die Schädigung des Alveolarepithels Typ II ist die Surfactant – Synthese gestört. Hinzukommend ist durch den beginnenden Surfactant-Mangel die Oberflächenspannung erhöht. Dazu kommt eine Verschiebung des Flüssigkeitsgleichgewichtes zwischen den Kapillaren und dem Interstitium durch eine Hyperpermeabilität des Kapillarsystems. Es dringt eiweißreiche Flüssigkeit in den Alveolarraum, welche das verbleibende Surfactant unwirksam macht (Neumann, 2016, p. 128).

In der Klinik ist es bis heute schwierig, ein Baro- von einem Volutrauma zu unterscheiden, da beiden Schädigungen eine pathologische Überdehnung der Alveolen aufgrund eines erhöhten transpulmonalen Druckes zu Grunde liegt (Hammerschmidt, Wirtz, & Bein, 2016, p. 146). Oftmals bleibt dann den Behandlern nur die Möglichkeit der retrospektiven Ursachenforschung, z.B. das „Auslesen“ der Beatmungsmaschine oder/und der klinischen Patientenüberwachungs-Systeme um eine oder beide der o.g. Ursachen ausschließen zu können.

3. Atelektrauma

Das Atelektrauma entsteht durch einen zu niedrig gewählten PEEP. Dies hat zur Folge, dass es zu einem Kollaps der Alveolen am Ende jeder Expiration kommt. Daher wird eine wiederholte Rekrutierung der Alveolen während der Inspiration notwendig. Die daraus resultierenden transalveolären Scherkräfte verletzen das betroffene Gewebe und führen zu Defekten des Lipoproteins Surfactant. Zusätzlich kann es zu dem unter 4. nachfolgend beschriebenen Biotrauma kommen (Halbertsma, Vaneker, Scheffer, & van der Hoeven, 2005; Marino, 2017b, p. 415).

4. Biotrauma

Die vorangegangenen beschriebenen beatmungsassoziierten Lungenschäden beruhen auf mechanischen Ursachen. Dieser mechanische Gewebstress löst durch Mechanotransduktion das Biotrauma wie folgt aus:

Definitionsgemäß werden beim Biotrauma proinflammatorische Zytokine freigesetzt, welche eine Entzündungsreaktion bis hin zur Sepsis hervorrufen können (Halbertsma et al., 2005; Marino, 2017b, p. 415). Durch den mechanischen Stress kommt es zu einer Konformationsänderung in der Zellmembran und des Zytoskeletts (Hammerschmidt et al., 2016, p. 147). Diese Änderungen werden in biochemische Stimuli umgesetzt. Der eben genannte Vorgang ist bislang nicht ursächlich geklärt. (Hammerschmidt et al., 2016, p. 147). Als ein möglicher Mechanismus werden Ionenkanäle beschrieben, die abhängig vom Dehnungszustand der Zelle aktiv sind und somit zu einer Hyperpermeabilität der Gefäße beitragen (Chen et al., 2018).

Als Folge der gestörten Membranintegrität werden proinflammatorische Signale aktiviert und Entzündungsmediatoren ausgeschüttet. Diese Signale umfassen zum einen den Nuklearfaktor κB (NF κB) sowie die hieraus resultierenden proinflammatorische Zytokine wie Tumornekrosefaktor α (TNF α), Interleukin 8 (IL-8), Interleukin 6 (IL-6), Interleukin 1 β (IL-1 β) (Hammerschmidt et al., 2016, p. 148). Zum anderen werden neutrophile Granulozyten aktiviert (Oczenski, 2012b, p. 450). Über das Plasma gelangen die proinflammatorischen Mediatoren zu anderen Organen und können so ein Multiorganversagen verursachen (Hammerschmidt et al., 2016, p. 149).

Des Weiteren werden durch wiederholte Überdehnungen der Alveolen reaktive Sauerstoffspezies („ROS“-System) aktiviert, welche zusätzlich NF κB aktivieren und die proinflammatorische Mediatorenfreisetzung fördern (Chen et al., 2018; Hammerschmidt et al., 2016, p. 149).

Unter dem Einfluss eines Volutraumas wird das Komplement C3 aktiviert und initiiert somit die Komplementkaskade. Das aktivierte Komplementsystem ist mit einer erhöhten Pulmonalenendothelpermeabilität assoziiert (Chen et al., 2018).

Eine erhöhte Endothelpermeabilität und geschädigte Pneumozyten haben ein Permeabilitätsödem zur Folge. Eiweißreiche Flüssigkeit tritt, auf Grund der vaskulären hyperpermeabilitäts induzierten erhöhten Leitfähigkeit für Flüssigkeiten aus dem Kapillarsystem in das Interstitium über. Es entsteht ein interstitielles Permeabilitätsödem. In Folge der geschädigten Pneumozyten ist die interstitielle-alveoläre Barriere geschädigt, weshalb die Flüssigkeit auch in den Alveolarraum übertreten kann. Es entsteht ein alveoläres Permeabilitätsödem (Hamacher et al., 2016, pp. 161-163).

Ventilatorassoziierte Pneumonie (VAP)

Die ventilator- oder auch beatmungsassoziierte Pneumonie stellt eine Untergruppe der nosokomial erworbenen Pneumonien dar. Bei einer invasiven Langzeitbeatmung sind die Atemwege mit Hilfe eines Tubus bzw. eines Tracheostomas gesichert. Bedingt durch den künstlichen Atemweg ist die natürliche Schutzbarriere des Larynx und Pharynx gegen Erreger herabgesetzt. Hinzukommend unterdrückt eine Sedierung den Hustenreflex (Bein, 2016, p. 211). Folglich wird die Mikroaspiration von Sekreten mit pathogenen Erregern begünstigt (KRINKO, 2013). Schließlich beeinflusst das Biotrauma durch die floride proinflammatorische Reaktion zusätzlich das bakterielle Wachstum (Hammerschmidt et al., 2016, p. 149). Ein weiterer Risikofaktor sind nicht belüftete Lungenanteile (Atelektasen), zumeist in den basalen Lungenanteilen (Bein, 2016, pp. 211-212).

Zusätzlich zu den oben angeführten Risiken bieten querschnittgelähmte Patienten mit einer invasiven Langzeitbeatmung oftmals eine spinale Spastik der inspiratorischen und expiratorischen Atemmuskulatur. Daraus folgt neben einer konsekutiv notwendigen Erhöhung der Beatmungsdrücke eine Erhöhung der funktionellen Residualkapazität mit erhöhtem Residualvolumen (Koch, Michel, Baumberger, & Felleiter, 2015, pp. 693-694). Da ein suffizienter Hustenstoß nicht mehr möglich ist, wird bei diesen Patienten die Entstehung von Pneumonien durch Minderbelüftung und Sekretverhalt zusätzlich begünstigt (De Troyer & Estenne, 1991).

Sonstige mögliche Folgen einer invasiven maschinellen Beatmung:

1. Intrakranielle Druckerhöhung

Der zuvor beschriebene verminderte venöse Rückstrom zum Herzen führt neben dem verminderten Herz-Zeit-Volumen zu einer Reduktion des zerebralen Perfusionsdruckes. Letzterer setzt sich aus dem mittleren arteriellen Druck (MAP) sowie dem intrakraniellen Druck in mmHg zusammen (Oczenski, 2012b, p. 442):

$$\text{Zerebraler Perfusionsdruck} = \text{mittlerer arterieller Druck} - \text{intrakranieller Druck}$$

Aus dieser Formel wird deutlich, dass ein erhöhter intrakranieller Druck ohne konsekutive arterielle Mitteldruck Anpassung den zerebralen Perfusionsdruck reduziert. Der verminderte venöse Rückstrom wirkt sich drucksteigernd auf den intrakraniellen Druck aus, weshalb dieser folglich vom intrathorakalen Druckanstieg beeinflusst wird (Larsen et al., 2018, p. 383; Oczenski, 2012b, p. 443).

Demgegenüber kommt es durch einen erhöhten intrakraniellen Druck zu einem vermehrten venösen Rückstrom zum Herzen. Mit Hilfe des erhöhten intrakraniellen Drucks steigt der intravasale Druck der intrakraniellen Venen. Deshalb nimmt der

Druckgradient zwischen dem intrakraniellen und dem intrathorakalen Venensystem zu und der venöse Rückstrom wird gesteigert (Oczenski, 2012b, p. 443).

Unter physiologischen Bedingungen führt eine maschinelle Beatmung nicht zu relevanten zerebralen Durchblutungsstörungen bzw. intrakraniellen Druckanstieg, da der eingeschränkte zerebrale Perfusionsdruck mit Hilfe der Autoregulation ausgeglichen wird. Bei Patienten mit einem erhöhten Hirndruck, beispielsweise mit einem Schädel-Hirn-Trauma oder bestehendem Krampfanfallsleiden, bewirkt eine schwache intrakranielle Volumenzunahme einen signifikanten intrakraniellen Druckanstieg (Abbildung 1.2.2.3). Die Kompensationsmöglichkeiten durch eine Autoregulation sind bei dieser Klientel signifikant schneller erschöpft (roter Bereich) (Oczenski, 2012b, pp. 443-444). Bei derartigen eingeschränkten Patienten sind außerdem PEEP Werte über 14 cmH₂O zu vermeiden, da es durch die zusätzliche Erhöhung des intrathorakalen Drucks zu einem weiteren intrakraniellen Druckanstieg kommen würde (Larsen et al., 2018, p. 383).

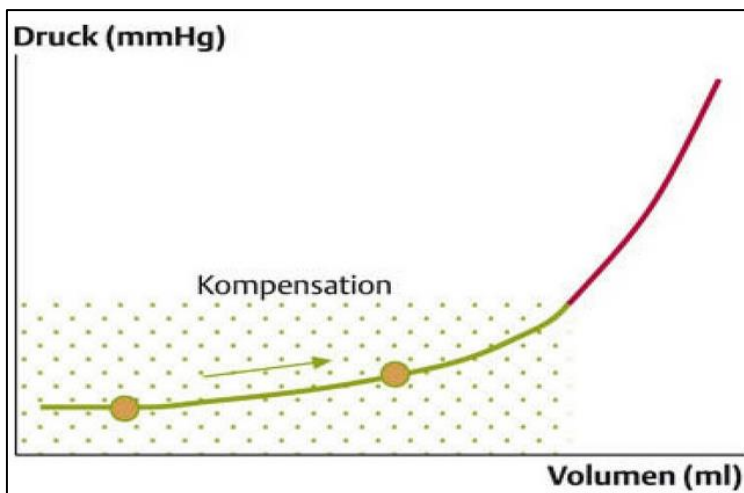


Abbildung 1.2.2.3: Zerebrale Compliancekurve (Oczenski, 2012b).

2. Abdominelle Organe

Die Nierenfunktion nimmt aufgrund des verminderten Herz-Minuten-Volumens in Folge der Blutstauung ab und es kann zu einer Minderperfusion der Leber oder zu einer Stauungsleber sowie zu einer Ischämie des Versorgungsgebietes der Nn. Splanchnici kommen. Diese Effekte sind noch nicht vollständig erschlossen. Als mögliche Gründe sind das verminderte Herzzeitvolumen mit dessen Effekten und ein intraabdomineller Druckanstieg im Gespräch (Larsen et al., 2018, p. 382).

1.2.3. Dauerhaft beatmungspflichtige Querschnittlähmung

Pathophysiologie

Das Zwerchfell ist der wichtigste Atemmuskel des Menschen. Es wird durch die motorischen Äste des Nervus Phrenicus versorgt (Drenckhahn & Benninghoff, 2014b, p. 210). Dieser erhält seine Afferenzen aus den Spinalnerven C3 – C5. Des Weiteren erhalten Teile der Atemhilfsmuskulatur (Mm. Scaleni, M. sternocleidomastoideus) nervale Anteile aus dem Plexus Cervicalis und durch den weiter kaudal verlaufenden Plexus brachialis (Drenckhahn & Benninghoff, 2014a, p. 150). Aufgrund dieser Gegebenheiten hat eine komplette Rückenmarkläsion oberhalb von C4 im Regelfall eine temporäre oder kontinuierliche Beatmungspflicht zur Folge.

Einteilung einer Querschnittlähmung:

Die Einteilung einer Querschnittlähmung erfolgt mit Hilfe der AIS Klassifikation der American Spinal Injury Association (ASIA). Dieses Schema berücksichtigt den neurologischen Ausfall bzw. die Schwere des neurologischen Ausfalls der motorischen und sensiblen Leitungsbahnen (Spahn & Gerner, 2002) (Kapitel 2.8).

Epidemiologie

2016 betrug die Inzidenz der in Folge einer Querschnittlähmung dauerhaft beatmungspflichtigen Patienten 1-2% (Hirschfeld, 2016). Auffällig ist, dass sich seit 2002 die Inzidenz der dauerhaft beatmungspflichtigen querschnittsgelähmten Patienten fast versechsfacht hat (Hirschfeld & Thietje, 2018).

Das Langzeitüberleben von MV Patienten hat sich von 7 Jahren (Hirschfeld et al., 2010) auf 12,4 Jahre (Patient ist ca. 40 Jahre beim Initialereignis) (Niedeggen, 2016) gesteigert. Besonders zu beachten ist die deutlich höhere Mortalität der dauerhaft MV Tetraplegiker für zwei Jahre nach stattgefundener Erstbehandlung (Hirschfeld & Thietje, 2018). So sind 11,2% der Patienten nach einem Jahr und 23,8 % der Patienten nach 2 Jahren verstorben (Hirschfeld & Thietje, 2018). Noch Mitte der 1980er verstarben 2/3 der beatmungspflichtigen querschnittsgelähmten Patienten innerhalb des ersten Jahres (Hirschfeld et al., 2010).

Ein deutlicher Wandel hat im Vergleich zum letzten Jahrhundert im Rahmen der außerklinischen Versorgung stattgefunden. 89% der beatmungspflichtigen Patienten können nach erfolgreicher Erstbehandlung aus dem Krankenhaus in die außerklinische Intensivpflege entlassen werden (Hirschfeld & Thietje, 2018).

Lähmungsassoziierte Komplikation: Pneumonie

Pneumonien und andere pulmonale Komplikationen wurden als Haupttodesursache bei Patienten mit einer hohen Querschnittläsion identifiziert (Niedeggen, 2016; Thietje, Kowald, Schulz, Northmann, & Hirschfeld, 2018). Als Ursachen hierfür wurden

- die unphysiologische und unzureichende Belüftung der Lunge,
- ein insuffizientes Abhusten bei nicht innervierter unterstützender Muskulatur sowie
- ein permanent offener Atemweg

detektiert (Hirschfeld, Exner, Luukkaala, & Baer, 2008; Hirschfeld et al., 2010). Zusätzlich ist die Mukusproduktion durch den Parasympathikus gesteigert (Koch et al., 2015, p. 694).

1.2.4. Aktueller Forschungsstand

Die Literaturrecherche hat gezeigt, dass es keine aktuelle Forschung bezüglich der Beatmungsmodi VCV und PCV im Zusammenhang mit lungengesunden, ambulant, invasiv langzeitbeatmungspflichtigen Patienten gibt. Sowohl die aktuelle revidierte S2k Leitlinie „Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz“, als auch die S2K Leitlinie der DMGP „Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung“ geben keine Empfehlung zur Wahl des Beatmungsmodus bei invasiver Langzeitbeatmung (Michel et al., 2022; Windisch et al., 2017). In der abgelösten S2 Leitlinie „Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz“ der deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V wird explizit darauf hingewiesen, dass es für die invasive Beatmung es keine verlässlichen Studiendaten gibt (Windisch et al., 2009).

Untersuchungen, die einen möglichen Behandlungsvorteil für das Langzeitüberleben der Patienten mit einem bestimmten Beatmungsmodus beschreiben, beziehen sich vor allem auf Patienten, die wegen eines akuten Lungenversagens (bspw. acute respiratory distress syndrom) stationär behandelt werden. Diese Studien konnten keinen Vorteil bzw. Nachteil einer Beatmungsform feststellen, ihn jedoch auch nicht ausschließen (Chacko et al., 2015).

1.3 Fragestellung

Klinische Erfahrungen in der ambulanten, invasiven Langzeitbeatmung haben gezeigt, dass kein Unterschied zwischen den invasiven Beatmungsformen PCV und VCV im ambulanten Setting bei querschnittgelähmten Patienten zu erwarten ist.

Hieraus ergab sich die Fragestellung, ob die unterschiedlichen invasiven Beatmungsformen (PCV und VCV) im ambulanten Setting bei langzeitbeatmungspflichtigen, querschnittgelähmten Patienten hinsichtlich

- erworbener Komplikationsraten für Pneumonien,
- Überlebenszeiten
- Mortalitätsraten

im Langzeitverlauf zu unterschiedlichen Ergebnissen führen, um dann im Falle eines Alternativ-Hypothesen-Ergebnisses möglicherweise die Langzeitbeatmung bei den betroffenen Patienten verändern zu müssen.

2. Material und Methoden

2.1 Ethik

Im Rahmen der retrospektiven Kohorten Analyse wurde eine Ethikanzeige am 22.04.2020 bei der Ethikkommission der Universität zu Lübeck eingereicht. Ein positives Ethikvotum mit dem Aktenzeichen 20-390A wurde am 01.10.2020 durch die Ethikkommission der Universität zu Lübeck erteilt.

2.2 Datenerhebung

Die Studiengrundlage bilden die archivierten und datenbankenerfassten Patientendaten des Querschnittgelähmtenzentrums (QZ) des BG Klinikum Hamburg (BGKH). Lediglich Patienten, die ihre Zustimmung zur Verwendung von Daten im Patientenvertrag unterzeichnet haben, wurden rekrutiert. Die Daten wurden vollständig anonymisiert ausgewertet.

Die Patientendaten wurden in einem Zeitraum von 35 Jahren (01.01.1985 – 31.12.2019) erhoben. Die Merkmale Alter, Alter bei Eintritt Lähmung, Geschlecht, Kostenträger, Wohnsituation, Höhe der Querschnittläsion, AIS Klassifikation, Lähmungsursache, geschädigte Wirbelkörper, Vorerkrankungen, maschinelle Beatmung (druckkontrollierte oder volumenkontrollierte Beatmung), Beatmungsdauer, Überlebenszeit, Versterbegrund und Pneumonierate wurden aus den Krankenunterlagen dokumentiert.

Die Fallzahl ergab sich aus dem Patientenregister und schloss alle Patienten ein, die ambulant invasiv langzeitbeatmet wurden oder eine Lähmungshöhe zwischen den Segmenten C4-C6, AIS Typ A vorwiesen und nicht beatmungspflichtig waren. Alle Patienten waren zum Zeitpunkt der Erhebung über 18 Jahre.

2.3 Beschreibung des Patientenkollektivs

Bei den vorliegenden zu untersuchenden Kollektiven handelte es sich um querschnittgelähmte Patienten, welche in Folge ihrer Tetraplegie außerklinisch 24h invasiv über ein Tracheostoma langzeitbeatmet wurden. Beatmungskriterien waren eine Oxygenierung in der Pulsoxymetrie zwischen 92 – 100 % und ein endtidales CO₂ zwischen 30-45 mmHg. Im VCV Modus wurde eine Druckbegrenzung von 20 cmH₂O ohne PEEP nicht überschritten. Der PEEP wurde mit maximal +5 cmH₂O festgesetzt. Alle Patienten wurden in regelmäßigen Abständen von 1-2 Jahren im Querschnittgelähmtenzentrum des BG Klinikums Hamburg nachuntersucht und im Rahmen der lebenslangen Nachsorge für querschnittgelähmte Patienten oder bei Komplikationen ambulant oder stationär behandelt.

2.3.1 Patientenkollektiv mechanisch Langzeitbeatmete (MV-gesamt)

In dem MV-gesamt-Patientenkollektiv wurden alle invasiv, mechanisch, langzeitbeatmete Patienten eingeschlossen. Die MV-gesamt-Gruppe wurde folglich aus dem VCV-, dem PCV- sowie dem VCV/PCV-Patientenkollektiv gebildet. Das MV-gesamt-Kollektiv umfasst n=48 Patienten.

2.3.2 Patientenkollektiv volumenkontrolliert Langzeitbeatmete (VCV)

Das VCV-Patientenkollektiv setzte sich aus den invasiv, volumenkontrolliert, langzeitbeatmeten Patienten zusammen. Diese Gruppe wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum ohne einen Moduswechsel volumenkontrolliert beatmet. Es ergab sich eine Stichprobengröße von n=21.

2.3.3 Patientenkollektiv druckkontrolliert Langzeitbeatmete (PCV)

Die Stichprobengröße umfasste n=21. Das hier ermittelte Patientenkollektiv wurde seit Beginn der außerklinischen Versorgung durchgehend 24h druckkontrolliert langzeitbeatmet.

2.3.4 Patientenkollektiv volumenkontrolliert mit Wechsel auf druckkontrolliert Langzeitbeatmete (VCV/PCV)

In diesem Kollektiv wurden die Patienten bis einschließlich des Jahres 2005 volumenkontrolliert beatmet. Auf Wunsch der Patienten wurde ab 2006 ein Wechsel der Beatmungsform auf eine druckkontrollierte Beatmung (PCV) durchgeführt. Die Stichprobengröße betrug hier n=6. Das Verhältnis der Beatmungstage VCV zu PCV betrug für die Gruppe 1:1,2. Es wurde ein Vergleich innerhalb der Stichprobe sowie zwischen den anderen oben genannten Beatmungsgruppen durchgeführt.

2.3.5 Patientenkollektiv Kontrollgruppe

Die Kriterien für die Kontrollgruppe waren das ununterbrochene Vorliegen einer suffizienten Spontanatmung, ein außerklinisches Überleben von mindestens vier Jahren, einer Lähmungshöhe unterhalb Segment C4 bis C6 sowie eine Lähmung klassifiziert nach AIS Typ A. Die Kontrollgruppe war somit zu keinem Zeitpunkt ambulant oder innerklinisch beatmungspflichtig. Durch die gezielte Auswahl wurde eine Vergleichbarkeit mit den zu untersuchenden Patientenkollektiven ermöglicht. Auf Grundlage dessen erfüllten n=83 Patienten diese Kriterien.

2.4 Untersuchungsdesign

Es handelte sich um eine retrospektive, monozentrische Längsschnitt-Kohortenstudie. Ein quantitatives Forschungsdesign wurde gewählt.

Verglichen wurden beide Beatmungsformen anhand lähmungsassoziierter ambulant erworbener Komplikationsraten für Pneumonien pro 100 Tage, Überlebenszeiten und Mortalitätsraten.

Als Kontrollgruppe wurde ein Patientenkollektiv randomisiert, welches seit Eintritt der hohen Querschnittlähmung zu keinem Zeitpunkt invasiv beatmungspflichtig war.

2.5 Definition Eintritt der Beatmungspflicht

Die dargestellten Altersverteilungen beziehen sich auf die Zeitpunkte, an denen eine Querschnittlähmung diagnostiziert wurde. Durch die Schwere der Verletzung waren die Patienten der MV-Gruppen (MV gesamt, PCV, VCV, VCV/PCV) ab diesem Zeitpunkt auf eine invasive 24h Beatmung angewiesen. Die dargestellte Altersverteilung entsprach demnach auch dem Beatmungseintrittsalter.

2.6 Definition außerklinische Überlebenszeit

Die dargestellten Überlebenszeiten berechneten sich ab dem Moment der Entlassung aus der klinischen querschnittspezifischen Erstbehandlung bis zum Endpunkt Tod bzw. bis zum Ende des Erhebungszeitraums. Die MV-Gruppen waren auf eine 24 h Beatmung angewiesen, folglich entsprachen die hier dargestellten Überlebenszeiten den außerklinischen Beatmungstagen für die MV-Gruppen.

2.7 Definition Pneumonie und Pneumonierate

Die Diagnose einer Pneumonie wurde auf der Grundlage der geltenden WHO Diagnosekriterien gestellt. Diese umfassten als Hauptkriterium ein neu aufgetretenes Infiltrat im Röntgenthorax in 2 Ebenen, sowie folgende Nebenkriterien:

1. Fieber oder Hypothermie
2. Leukozytose oder Leukopenie
3. purulenter Auswurf
4. physikalische Zeichen einer Pneumonie in der körperlichen Untersuchung

Die Diagnose der Pneumonie wurde gestellt, wenn das Hauptkriterium sowie zwei Nebenkriterien erfüllt waren (Herold, 2019).

In dieser Arbeit wurden nur ambulant erworbene Pneumonien und Begleitentzündungen (Tracheitiden) berücksichtigt. Um eine bessere Vergleichbarkeit über so lange Zeiträume hinsichtlich der Inzidenz von Pneumonien zu erzielen, wurde die Anzahl der Pneumonien pro 100 Tage ermittelt.

2.8 Definition AIS-Kategorien

Die systematische Einteilung einer Querschnittlähmung erfolgte nach dem Schema von der American Spinal Injury Association (ASIA) mit der American Spinal Injury Association Impairment Scale (AIS) (Spahn & Gerner, 2002).

AIS Score	Neurologischer Ausfall
A	motorisch und sensibel komplett in S4/S5
B	motorisch komplett, sensibel inkomplett in S4/S5
C	motorisch und sensibel inkomplett, Kraftgrade der erhaltenen, motorischen Funktionen im Mittel <3
D	motorisch und sensibel inkomplett, Kraftgrade der erhaltenen, motorischen Funktionen im Mittel ≥3
E	keine motorischen und sensiblen Ausfälle

2.9 Messinstrumente

Die zu vergleichenden Komplikationsraten wurden mit Hilfe der im BG Klinikum Hamburg vorhandenen Behandlungsunterlagen aus stationären und ambulanten Aufenthalten ermittelt. Die Komplikationen wurden ärztlich diagnostiziert, validiert und sowohl in der Krankenhausdokumentation als auch der zentrumseigenen Datenbank erfasst (Filemaker®).

2.10 Statistik

Mittels der Software SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) wurden die Datensätze sowohl im Rahmen der deskriptiven Statistik als auch im Rahmen der analytischen Statistik untersucht.

Für die statistische Analyse von qualitativen Daten wurden der Chi-Quadrat Test und der exakte Test von Fisher gewählt. Zum Ausschluss einer α -Fehlerkumulierung wurde eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt.

Die Stichproben wurden mit Hilfe des Shapiro-Wilk Tests auf Normalverteilung untersucht. Anschließend wurden normalverteilte Gruppen durch einen parametrischen Test ausgewertet. Hierbei kamen bei zwei zu vergleichenden Gruppen der T-Test und der Anova Test zur Analyse von mehr als zwei Gruppen zum Einsatz. Bei Abwesenheit einer Normalverteilung wurden parameterfreie Tests verwendet. Der Mann-Whitney-U (Wilcoxon Rank Sum) Test wurde bei zwei zu vergleichenden Gruppen ausgewählt. Ab einer Gruppenanzahl von drei wurde der Kruskal-Wallis Test angewendet.

Die Überlebenszeit der einzelnen Gruppen wurde mit Hilfe einer Überlebenszeitanalyse untersucht. Zum Vergleich der Kurven der Kaplan-Meier-Analyse wurde der Log-Rank-Test verwendet. Ein paarweiser Vergleich der Kurven wurde bei statistisch signifikantem Ergebnis angeschlossen. Hierbei fand der Log-Rank-Test mit Bonferroni-Korrektur Verwendung. Als Signifikanzniveau wurde für alle Teste $\alpha = 0,05$ gewählt.

3. Ergebnisse

3.1. Geschlechterverteilung

3.1.1 Geschlechterverteilung MV-gesamt-Gruppe versus Kontrollgruppe

Das MV-Kollektiv (n=48) umfasste 40 männliche (83,3%) und acht weibliche (16,7%) Patienten. Mit 81,9% war der Großteil der Kontrollgruppe (n=83) männlich. Lediglich 15 der Patienten waren weiblich (Abbildung 3.1.1) (Anhang, Tab 1). Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der MV-gesamt-Gruppe und dem Kontrollkollektiv war nicht erhebbar (Chi-Quadrat-Test, $p=0,8386$).

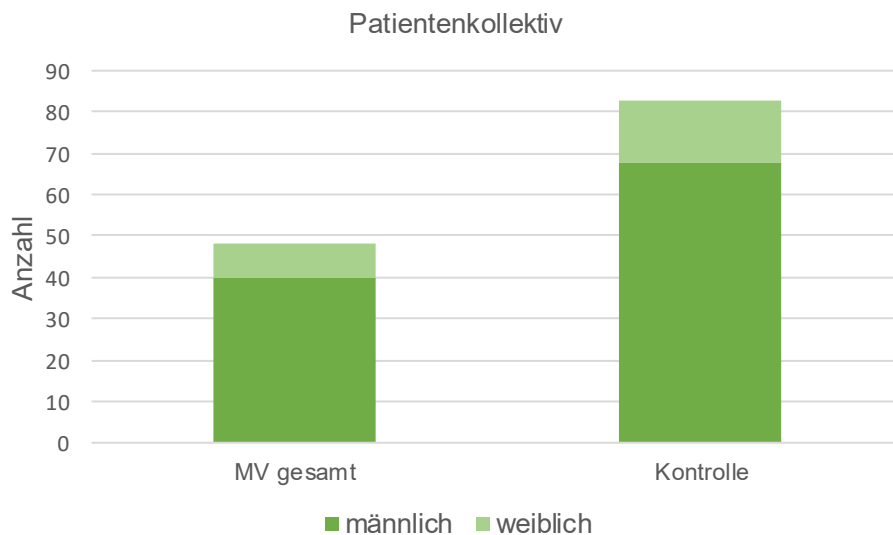


Abbildung 3.1.1: Geschlechterverteilung des MV-gesamt-Kollektivs und der Kontrollgruppe (n=131).

3.1.2. Geschlechterverteilung spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Bei genauerer Betrachtung der speziellen Beatmungsgruppen zeigte sich eine ähnliche Geschlechterverteilung zu Gunsten der männlichen Patienten auf (Abbildung 3.1.2) (Anhang, Tab.1)

Es fand sich kein signifikanter Unterschied bezüglich des Geschlechts zwischen den speziellen Beatmungsgruppen und der Kontrolle (Exakter Test von Fisher, $p=0,5589$).

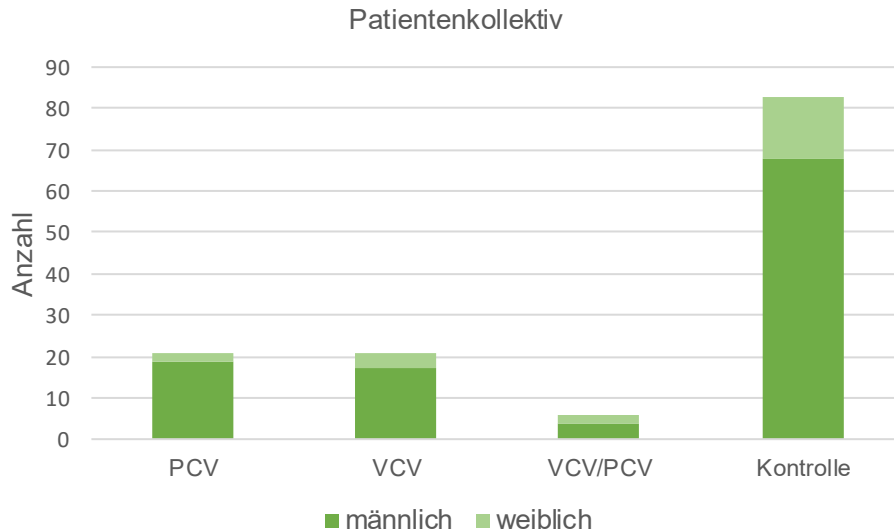


Abbildung 3.1.2: Geschlechterverteilung des speziellen Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) und der Kontrollgruppe (n=131).

3.2. Altersverteilung bei Eintritt der Beatmungspflicht

3.2.1 Altersverteilung bei Eintritt der Beatmungspflicht MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Die Patienten der MV-gesamt-Kohorte und der Kontrollgruppe waren in einem vergleichbaren Altersbereich. Die statistischen Kennwerte sind in der Tabelle 3.2.1 aufgeschlüsselt. Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der Altersverteilung (Wilcoxon Zwei-Stichprobentest, $p=0,2066$).

Tabelle 3.2.1: Statistische Kennwerte Altersverteilung für MV-gesamt-Gruppe und Kontrollgruppe (n=131).

	Kontrollgruppe	MV-gesamt
Anzahl	83	48
Mittelwert	38,9	42,6
Standardabweichung	16,9	24,0
Median	35	45,5
25 % Quartil	24	23,5
75 % Quartil	54	64,5
Minimum	16	0
Maximum	82	83

3.2.2 Altersverteilung bei Eintritt der Beatmungspflicht spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Hier zeigte sich, dass die Patienten der PCV-Stichprobe mit einem medianen Alter von 64 Jahren wesentlich älter waren als die Patienten der VCV-, VCV/PCV- und Kontrollgruppe. Die statistischen Kennwerte sind der Tabelle 3.2.2 zu entnehmen und in der Abbildung 3.2.2.2 verdeutlicht.

Tabelle 3.2.2: Statistische Kennwerte Alter (n=131).

	Kontrollgruppe	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	21	21	6
Mittelwert	38,9	53,8	37,8	20
Standardabweichung	16,9	20,0	23,9	17,5
Median	35	64	45	20
25 % Quartil	24	41	53	3
75 % Quartil	54	69	53	34
Minimum	16	18	0	2
Maximum	82	83	75	41

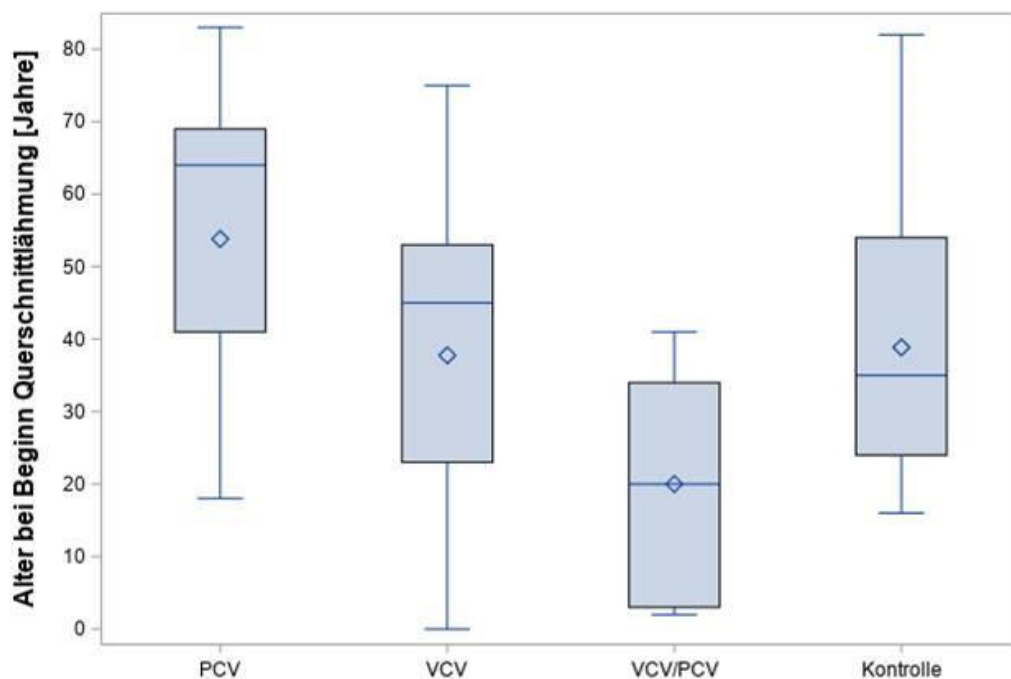


Abbildung 3.2.2.2: Das Boxplot zeigt die Altersverteilung der Kontrollgruppe sowie der speziellen MV-Gruppen PCV, VCV und VCV/PCV bei Beatmungseintritt bzw. bei Eintritt der Querschnittlähmung. Median (mittlere Linie der Box) und Quartile (Box), Mittelwert (◇), Minimum (untere Begrenzung), Maximum (obere Begrenzung), ° Ausreißer (n=131, Software SAS ®).

Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen dem PCV-Kollektiv und der Kontrollgruppe sowie zwischen dem PCV-Kollektiv und der VCV/PCV-Kohorte (Tab. 3.2.2.3). Weitere Einzelvergleiche ergaben keine statistisch signifikanten Werte (Tab. 3.2.2.3).

Tabelle 3.2.2.3: P-Werte der Einzelvergleiche Altersverteilung.

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. PCV	0,0010	0,0060
PCV vs. VCV/PCV	0,0023	0,0138
PCV vs. VCV	0,0384	0,2304
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	0,0422	0,2532
VCV vs. VCV/PCV	0,1056	0,6336
Kontrollgruppe vs. VCV	0,9446	1,0000

3.3. Lähmungshöhenverteilung

3.3.1 Lähmungshöhenverteilung MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Die Lähmungshöhenverteilung des beatmeten Patientenkollektivs lag in 91,7% der Fälle oberhalb vom zervikalen spinalen Segment C4. Dem entgegen lag die Lähmungshöhenverteilung der Kontrollgruppe zu 100% zwischen den Halsmarksegmenten C4-C6 (Abbildung 3.3.1) (Anhang, Tab.2).

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der MV-gesamt-Gruppe und der Kontrollgruppe bezüglich der Lähmungshöhenverteilung (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$).

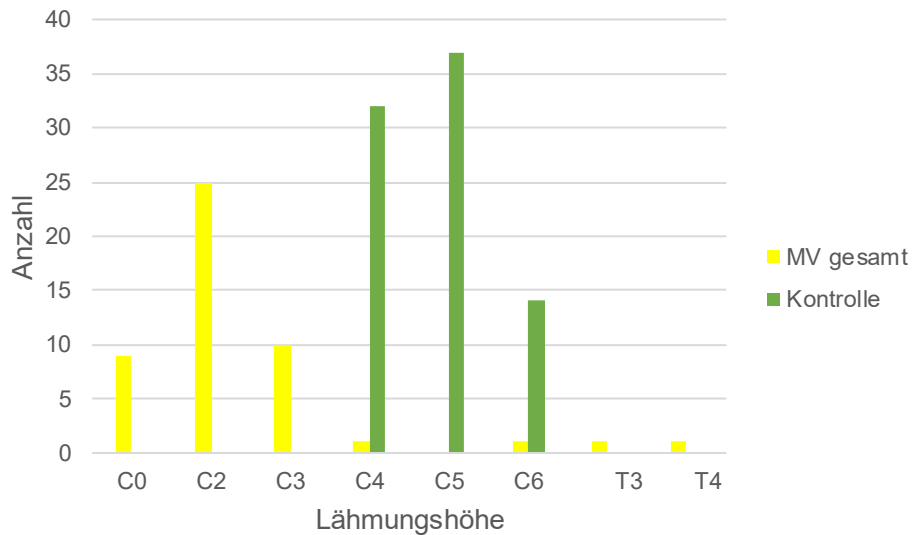


Abbildung 3.3.1.: Lähmungshöhenverteilung MV-gesamt-Gruppe und Kontrollgruppe (n=131).

3.3.2 Lähmungshöhenverteilung spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Mit 85,7% in der PCV-Gruppe, 95,2% der VCV-Gruppe und 100% der VCV/PCV-Gruppe hatte der Großteil der Betroffenen eine Lähmungshöhe oberhalb von C4. Weitere Werte lassen sich der Tabelle 2 im Anhang entnehmen (Abbildung 3.3.2.1).

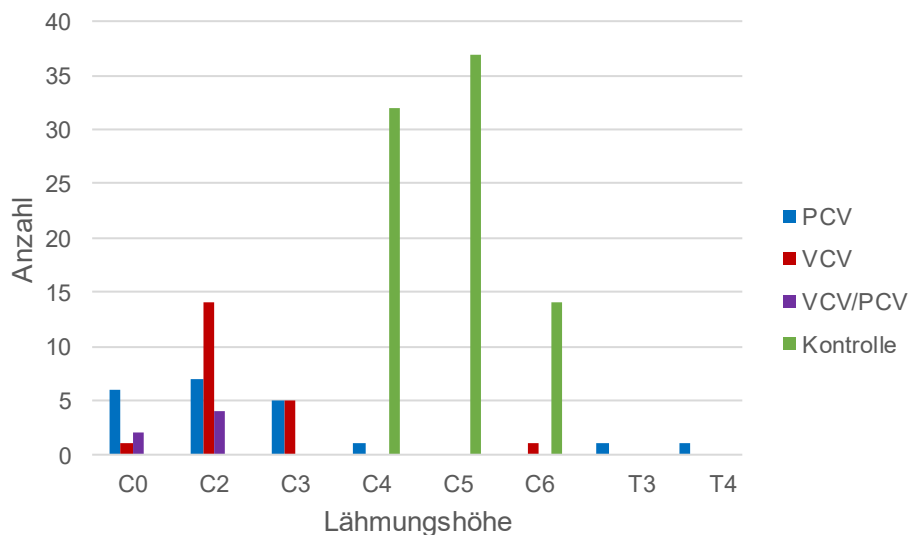


Abbildung 3.3.2.1: Lähmungshöhenverteilung der speziellen Beatmungsgruppen PCV-, VCV-, VCV/PCV- und der Kontrollgruppe (n=131).

Es besteht ein statistisch signifikanter Unterschied bei allen Beatmungsgruppen gegenüber der nicht beatmeten Kontrollgruppe bezüglich der Lähmungshöhenverteilung (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$). Die P-Werte der Einzelvergleiche lassen sich der Tabelle 3.3.2.2 entnehmen.

Tabelle 3.3.2.2: P-Werte der Einzelvergleiche Lähmungshöhenverteilung.

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. VCV	<0,0001	<0,0001
Kontrollgruppe vs. PCV	<0,0001	<0,0001
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	<0,0001	<0,0001
PCV vs. VCV	0,6060	1,0000
PCV vs. VCV/PCV	1,0000	1,0000
VCV vs. VCV/PCV	1,0000	1,0000

3.4 AIS Score

3.4.1 AIS Score MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Bezüglich des querschnittlähmungsspezifischen Lähmungsbefundes hatten 39 Patienten der MV-gesamt-Gruppe (81,3%) einen AIS Score Typ A, vier Patienten einen AIS Score Typ B (8,3%) und fünf Patienten einen AIS Score vom Typ C (10,4%). Alle Patienten der Kontrollgruppe wurden mit einem AIS Score vom Typ A dokumentiert (Abbildung 3.4.1) (Anhang, Tab 2).

Es wurde somit auch ein statistisch signifikanter Unterschied hinsichtlich des AIS Scores zwischen der MV-gesamt-Gruppe und der Kontrollgruppe festgestellt (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$).

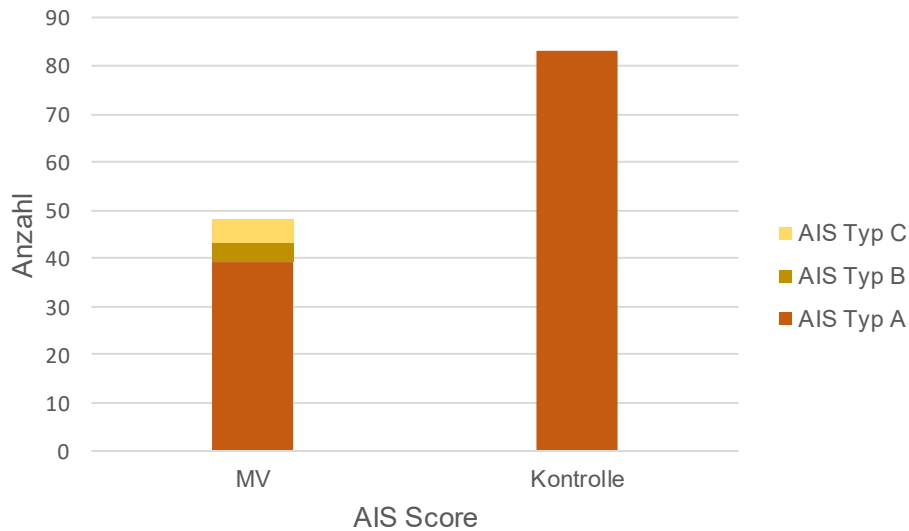


Abbildung 3.4.1.: AIS Score des MV-gesamt-Kollektivs und der Kontrollgruppe (n=131).

3.4.2 AIS Score spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Der Großteil der Beatmungsgruppen hatte einen AIS Score Typ A, nämlich 18 Patienten der PCV-Gruppe (85,7%), 16 Patienten der VCV-Gruppe (76,2%) und fünf Patienten der VCV/PCV-Gruppe (83,3%) (Abbildung 3.4.2.1) (Anhang, Tab.2).

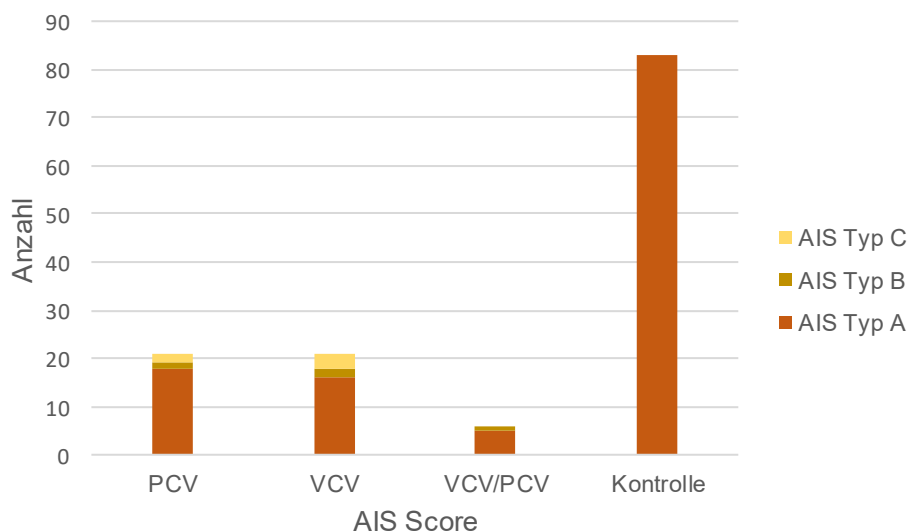


Abbildung 3.4.2.1: AIS Score der speziellen Beatmungsgruppen PCV-, VCV-, VCV/PCV- und der Kontrollgruppe (n=131).

Es ließ sich in den statistischen Einzelberechnungen ein signifikanter Unterschied zwischen den VCV- und PCV-Kohorten zu der Kontrollgruppe erheben (Tab.3.4.2.2).

Tabelle 3.4.2.2: P-Werte der Einzelvergleiche AIS Score.

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. VCV	0,0002	0,0003
Kontrollgruppe vs. PCV	0,0073	0,0438
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	0,0674	0,4044
PCV vs. VCV/PCV	0,6590	1,0000
PCV vs. VCV	0,7399	1,0000
VCV vs. VCV/PCV	1,0000	1,0000

3.5. Lähmungsgenese

3.5.1 Lähmungsgenese MV-gesamt versus Kontrollgruppe

75% der maschinell beatmeten Patienten und 98,8% der Kontrollgruppe waren in Folge eines traumatischen Ereignisses gelähmt (Abbildung 3.5.1). Zu den gelisteten traumatischen Ursachen zählten Stürze, Sprünge, Unfälle im Straßenverkehr (PKW, Motorrad, Fahrrad, Fußgänger), Badeunfälle (zumeist Kopfsprung in unbekanntes Gewässer), Geburtstraumen, Schussverletzungen und Verletzungen in Folge eines herabstürzenden Gegenstandes. Demgegenüber erlitten in der MV-gesamt-Gruppe 25% und in der Kontrollgruppe lediglich ein Patient (1,2%) eine Querschnittlähmung aufgrund einer atraumatischen Genese. Die dokumentierten Ursachen diesbezüglich waren spinale Schäden aufgrund von Entzündungen, degenerativen Veränderungen sowie gefäßbedingten bzw. tumorösen Erkrankungen.

Weitere Häufigkeitsverteilungen lassen sich der Tabelle 3 im Anhang entnehmen.

Es bestand ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Lähmungsgenese zwischen dem beatmeten Patientenkollektiv und der Kontrollgruppe (Exakter Test nach Fisher, $p < 0,0001$) und keine statistische signifikante Auffälligkeit zwischen den traumatischen Ursachen dieser Gruppen (Chi-Quadrat-Test, $p=0,1329$).

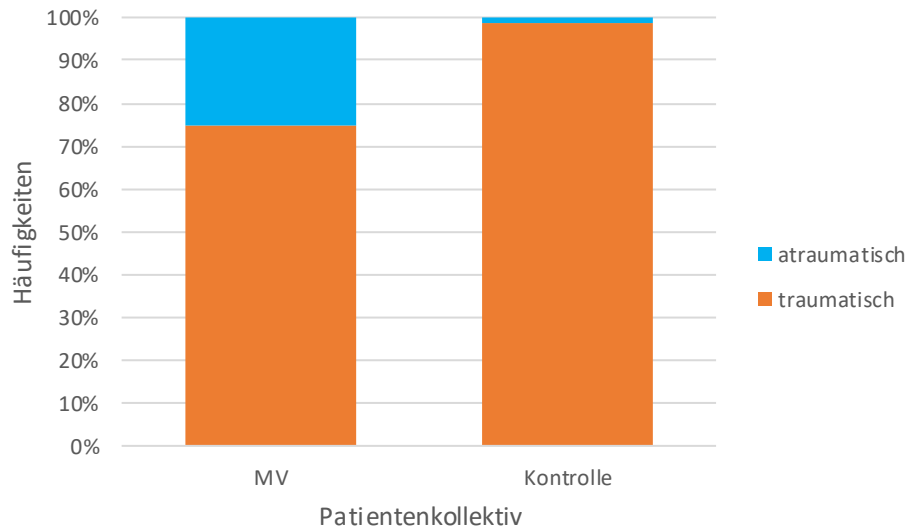


Abbildung 3.5.1: Lähmungsgenese für das Patientenkollektiv MV-gesamt und Kontrollgruppe (n=131).

3.5.2 Lähmungsgenese spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

71,4% des PCV-Kollektivs, 76,2% der VCV-Gruppe und 83,3% der VCV/PCV-Stichprobe erlitten ihre Querschnittlähmung aufgrund einer traumatischen Genese. Zu den Hauptursachen zählten hierbei Unfälle im Straßenverkehr (Fahrrad, Motorrad, PKW), Stürze, Sprünge sowie Arbeitsunfälle durch bei der Tätigkeit genutzte Maschinen (Abbildung 3.5.2.1).

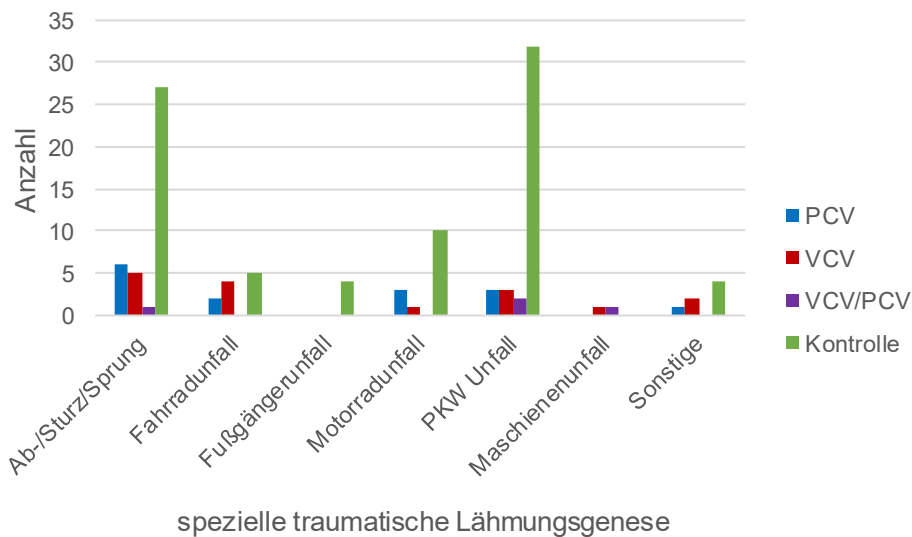


Abbildung 3.5.2.1: Spezielle traumatische Lähmungsgenese für die Beatmungsgruppen PCV, VCV, VCV/PCV und die Kontrollgruppe. Die Rubrik Sonstige beinhaltet herabstürzende Gegenstände, Geburtstraumata, Badeunfälle und Schussverletzungen (n=131).

Durch einen entzündlichen Prozess erlitten vier Patienten der PCV-Gruppe (19%) und drei Patienten des VCV-Kollektivs (14,3%) eine Querschnittlähmung. Damit stellte diese Ursache den Hauptanteil der atraumatischen Ursachen (Abbildung 3.5.2.2). Die anderen Häufigkeitsverteilungen lassen sich im Anhang der Tabelle 3 entnehmen.

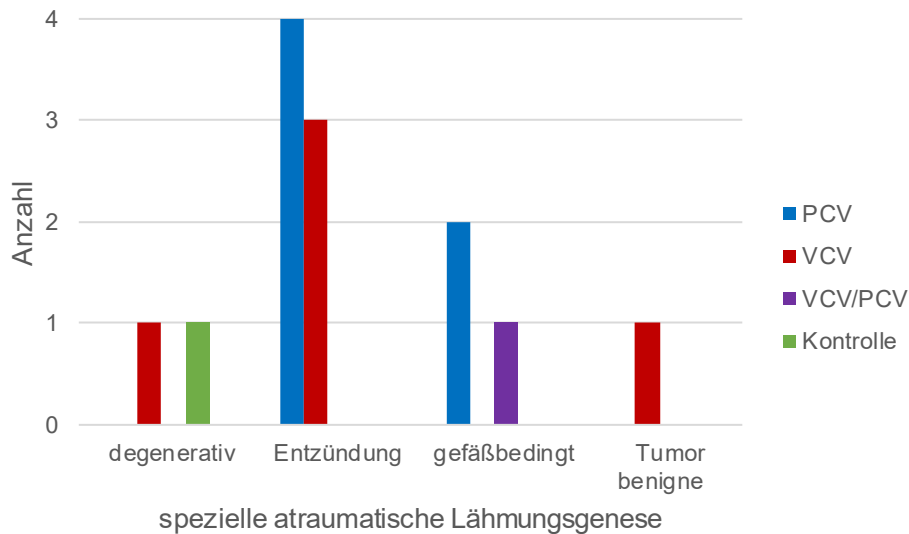


Abbildung 3.5.2.2: Spezielle atraumatische Lähmungsgenese für die Beatmungsgruppen PCV, VCV, VCV/PCV und die Kontrollgruppe. (n=131).

Wie in Kapitel 3.5.1 beschrieben, wurde zwischen allen Beatmungsgruppen als Kollektiv und der Kontrollgruppe ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Lähmungsgenese traumatisch vs. atraumatisch festgestellt (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$). Bei differenzierter Analyse der Beatmungsgruppen untereinander zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied ausschließlich zwischen der PCV- und der VCV-Kohorte gegenüber der Kontrollgruppe (Tab. 3.5.2).

Tabelle 3.5.2: P-Werte der Einzelvergleiche Lähmungsgenese (traumatisch/atraumatisch).

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. PCV	0,0002	0,0012
Kontrollgruppe vs. VCV	0,0011	0,0066
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	0,1310	0,786
PCV vs. VCV	0,7256	1,0000
VCV vs. VCV/PCV	1,0000	1,0000
PCV vs. VCV/PCV	1,0000	1,0000

3.6 dauerhafter Entlassungsort

3.6.1. dauerhafter Entlassungsort MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Sowohl rund die Hälfte des beatmeten Patientenkollektivs (n=48 entsprechend 52 %), als auch der Kontrollgruppe (n=83 entsprechend 48%) konnten nach der Erstversorgung dauerhaft in den alten Wohnort (Wohnung/Haus) entlassen werden. War dies nicht möglich, wurde das beatmete Patientenkollektiv zu 25 % in ein Heim bzw. betreutes Wohnen und zu 22,9% in ein neues Haus bzw. eine neue Wohnung entlassen (Abbildung 3.6.1) (Anhang, Tab. 4). Dieses ist mit der Kontrollgruppe vergleichbar, da hier 31,3% der Patienten ein neues Haus bzw. eine neue Wohnung bezogen, während 20,5% nach der Entlassung ein Heim bzw. ein betreutes Wohnen bewohnten (Abbildung 3.6.1) (Anhang, Tab. 4).

Es fand sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und der MV-Gruppe (Chi-Quadrat Test, $p=0,5671$).

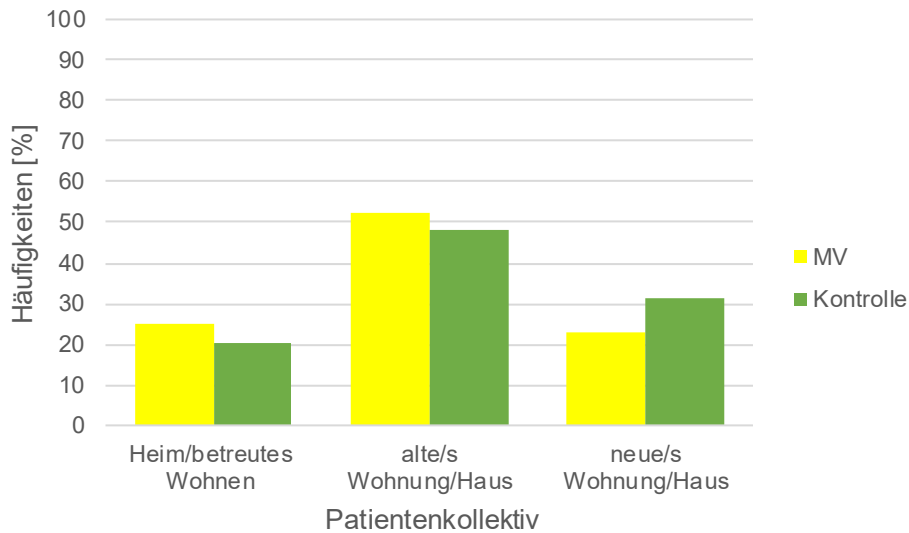


Abbildung 3.6.1: dauerhafter Entlassungsort des Patientenkollektivs aufgeschlüsselt nach MV-gesamt und Kontrollgruppe (n=131).

3.6.2 dauerhafter Entlassungsort spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Knapp die Hälfte des PCV- (47,6%) und des VCV-Kollektivs (47,6%) konnte nach der klinischen Erstversorgung in ihre alte Häuslichkeit zurückkehren. Der VCV/PCV-Gruppe war dies zu einem signifikant höheren Anteil (83,3%) möglich (Abbildung 3.6.2). Die Häufigkeitsverteilungen lassen sich der Tabelle 4 im Anhang und der Abbildung 3.6.2 entnehmen. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und den Beatmungsgruppen konnte nicht festgestellt werden (Exakter Test von Fisher, $p=0,8333$).

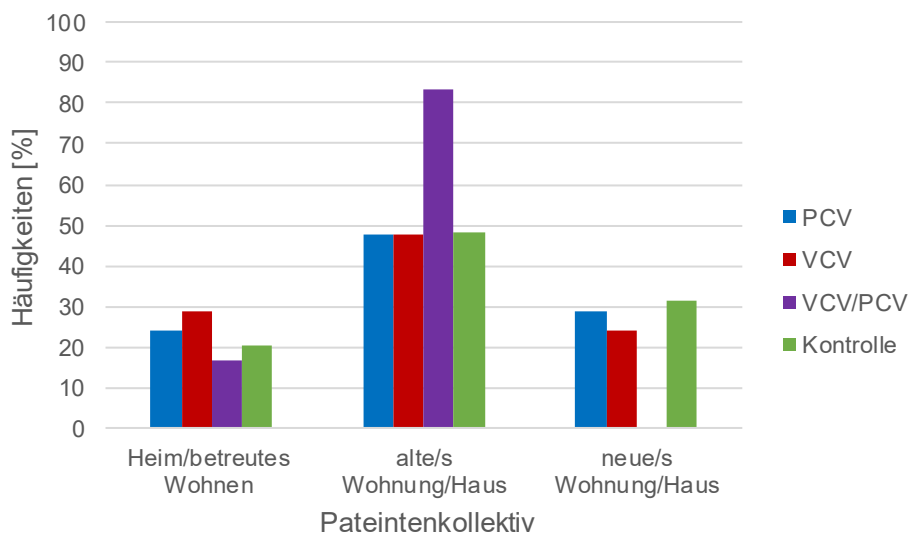


Abbildung 3.6.2: dauerhafter Entlassungsort des Patientenkollektivs aufgeschlüsselt nach PCV, VCV und VCV/PCV sowie der Kontrollgruppe (n=131).

3.7 Kostenträger

3.7.1 Kostenträger MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Der Großteil des Patientenkollektivs war gesetzlich versichert (56,3 % MV gesamt, 54,2% Kontrollgruppe). 25% des MV-gesamt-Kollektivs und 10,8% der Kontrollgruppe waren privat versichert. 35% der Kontrollgruppe war berufsgenossenschaftlich versichert. Dieser Anteil betrug für die MV-gesamt-Gruppe 18,8% (Abbildung 3.7.1) (Anhang, Tab. 5).

Zwischen den MV-gesamt-Gruppe und der Kontrollgruppe bestand ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Kostenträger (Chi-Quadrat-Test, $p=0,0374$).

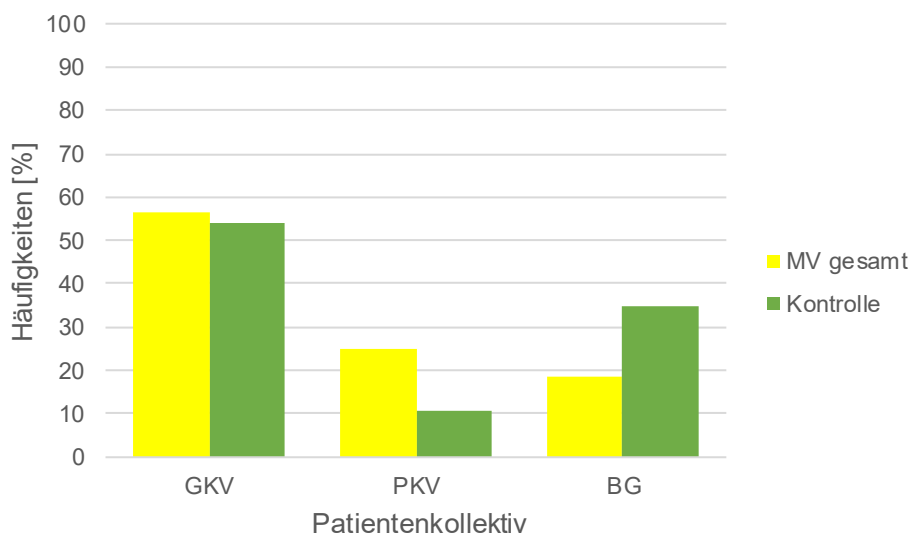


Abbildung 3.7.1: Kostenträger aufgeschlüsselt nach MV-gesamt und Kontrollgruppe. (GKV= Gesetzlich versichert, PKV= Privat versichert, BG= Berufsgenossenschaftlich versichert) (n=131).

3.7.2 Kostenträger spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

In dem PCV- und VCV/PCV-Kollektiv waren 33,3% der Patienten privat versichert. In der VCV-Stichprobe betrug dieser Anteil 14,3%. Der Großteil aller drei Stichproben war gesetzlich versichert (47,6% PCV, 66,7% VCV, 50% VCV/PCV). Eine berufsgenossenschaftlichen Kostenträger hatten jeweils vier Patienten der PCV- und VCV-Kohorte (19%). Lediglich ein Patient der VCV/PCV-Gruppe war berufsgenossenschaftlich versichert (Abbildung 3.7.2) (Anhang, Tab. 5).

Zwischen den speziellen Beatmungsgruppen und der Kontrollgruppe bestand kein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Kostenträger (Exakter Test von Fisher, $p=0,1283$).

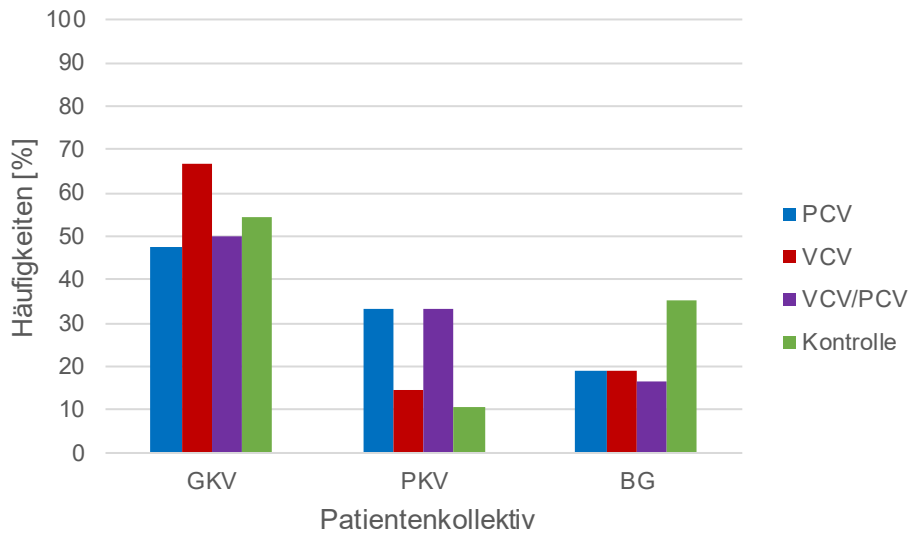


Abbildung 3.7.2: Kostenträger aufgeschlüsselt nach PCV, VCV und VCV/PCV sowie der Kontrollgruppe. (GKV= Gesetzlich versichert, PKV= Privat versichert, BG= Berufsgenossenschaftlich versichert) (n=131).

3.8. Vorerkrankungen

3.8.1 Vorerkrankungen des Patientenkollektivs MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Mit insgesamt zehn (13%) Patienten der MV-gesamt-Gruppe und 11 (10,1%) Patienten der Kontrollgruppe (10,1%) hatten die meisten Patienten eine Vorerkrankung aus dem kardiologischen Fachgebiet.

Von besonderem Interesse waren pneumologische Vorerkrankungen der Gruppen sowie Patienten mit einem Nikotinabusus. Dies traf auf neun Patienten in den MV-gesamt-Gruppe (11,7%) sowie auf fünf Patienten in der Kontrollgruppe zu (4,6%) (Abbildung 3.8.1.).

Weitere Erkrankungen und deren Verteilung innerhalb der Gruppen sind der Abbildung 3.8.1. bzw. dem Anhang in Tabelle 6 zu entnehmen.

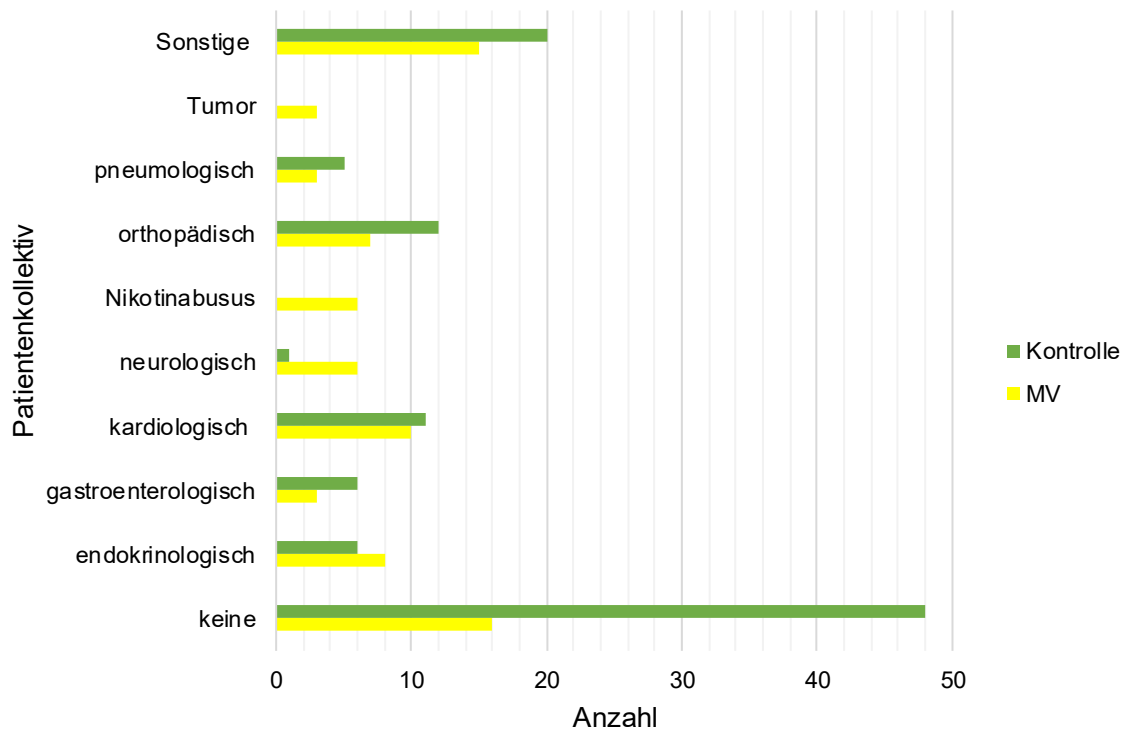


Abbildung 3.8.1.: Vorerkrankungen aufgeschlüsselt für MV-gesamt-Gruppe und Kontrollgruppe. Die Kategorie „Sonstige“ beinhaltet Verbrennungen, Adipositas, Alkoholabusus, Dekubitus, Drogenabusus sowie Erkrankungen aus den urologischen, psychiatrischen, nephrologischen, dermatologischen, gynäkologischen, infektiologischen, ophthalmologischen und humangenetischen Fachbereichen und aus der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. (Mehrfachnennung möglich, deshalb gesamt n=186).

Es bestand kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen dem MV-gesamt-Kollektiv und der Kontrollgruppe in Bezug auf pneumologische Vorerkrankungen oder Nikotinabusus (Exakter Test von Fisher, $p=0,0685$). Das Gleiche galt für die kardiologischen (Chi-Quadrat Test, $p=0,2545$) und endokrinologischen Vorerkrankungen (Chi-Quadrat Test, $p=0,0921$).

3.8.2 Vorerkrankungen spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Die Verteilung der Vorerkrankungen stellte sich innerhalb der speziellen Beatmungsgruppen größtenteils homogen dar. Die genaue Verteilung lässt sich in der Abbildung 3.8.2 und im Anhang der Tabelle 6 entnehmen.

Bei der genaueren Differenzierung der kardiologischen (Exakter Test von Fisher, $p=0,2589$), pneumologischen (Exakter Test von Fisher, $p=0,0617$) und endokrinologischen (Exakter Test von Fisher, $p=0,1207$) Vorerkrankungen zeigte sich

weder ein statistisch signifikanter Unterschied innerhalb der Gruppen, noch im Vergleich mit der Kontrollgruppe.

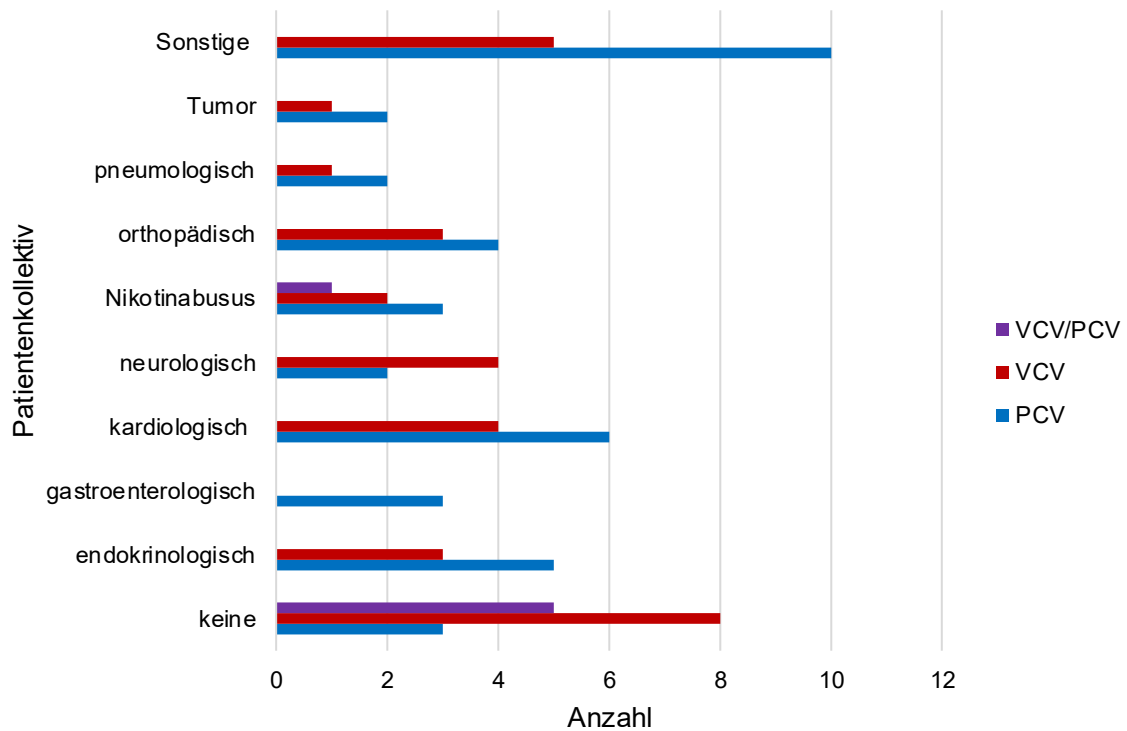


Abbildung 3.8.2: Vorerkrankungen aufgeschlüsselt für die speziellen Beatmungsgruppen PCV, VCV und VCV/PCV. Die Kategorie „Sonstige“ beinhaltet Verbrennungen, Adipositas, Alkoholabusus, Dekubitus, Drogenabusus sowie Erkrankungen aus den urologischen, psychiatrischen, nephrologischen, dermatologischen, gynäkologischen, infektiologischen, ophthalmologischen und humangenetischen Fachbereichen und aus der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde (Mehrfachnennung möglich, deshalb gesamt n = 77).

3.9. Anzahl der Vorerkrankungen

3.9.1 Anzahl der Vorerkrankungen MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Aus Abbildung 3.9.1.1 lässt sich entnehmen, dass 33,3% Patienten der MV-gesamt-Gruppe und 57,8% Patienten der Kontrollgruppe keine Vorerkrankung hatten. Nur ein geringer Anteil der MV-gesamt-Gruppe (10,4%) sowie eine ebenfalls kleine Anzahl der Kontrollgruppe (7,2%) hatten mehr als 2 Vorerkrankungen.

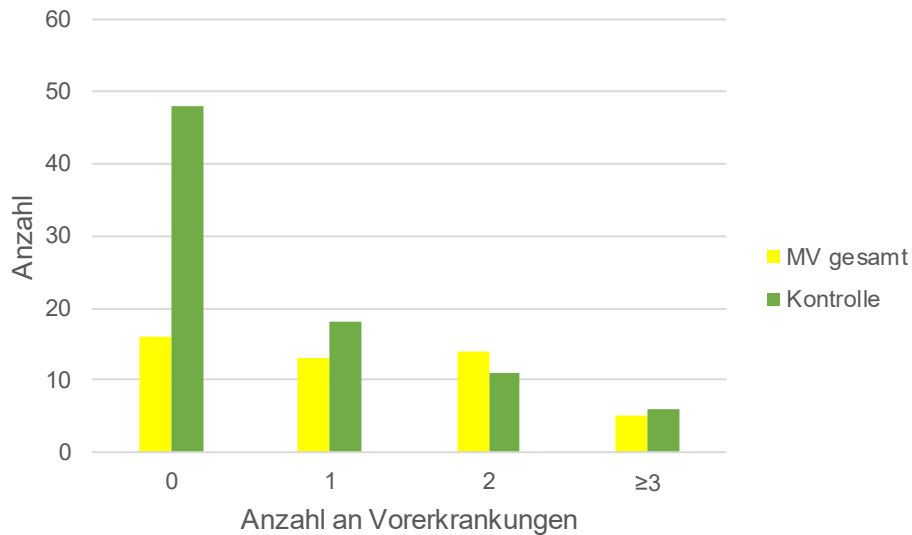


Abbildung 3.9.1.1: Anzahl der Vorerkrankungen der MV-gesamt und Kontrollgruppe (n=131).

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen sowohl hinsichtlich des Vorhandenseins als auch der Anzahl an Vorerkrankungen (Tab 3.9.1.2).

Tab. 3.9.1.2: P-Werte MV-gesamt vs. Kontrollgruppe.

	p-Werte
Vorerkrankungen vorhanden ja / nein	0,0134
Anzahl an Vorerkrankungen 0,1,2, ≥3	0,0365

3.9.2 Anzahl der Vorerkrankungen spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Beim Großteil des VCV-Kollektivs (38,1%) und der VCV/PCV-Gruppe (83,3%) waren keine Vorerkrankungen aktenkundig. In der PCV-Gruppe hatten 38,1% zwei Vorerkrankungen und 33,3 % eine Vorerkrankung. Die weiteren Verteilungen lassen sich der Abbildung 3.9.2.1 entnehmen.

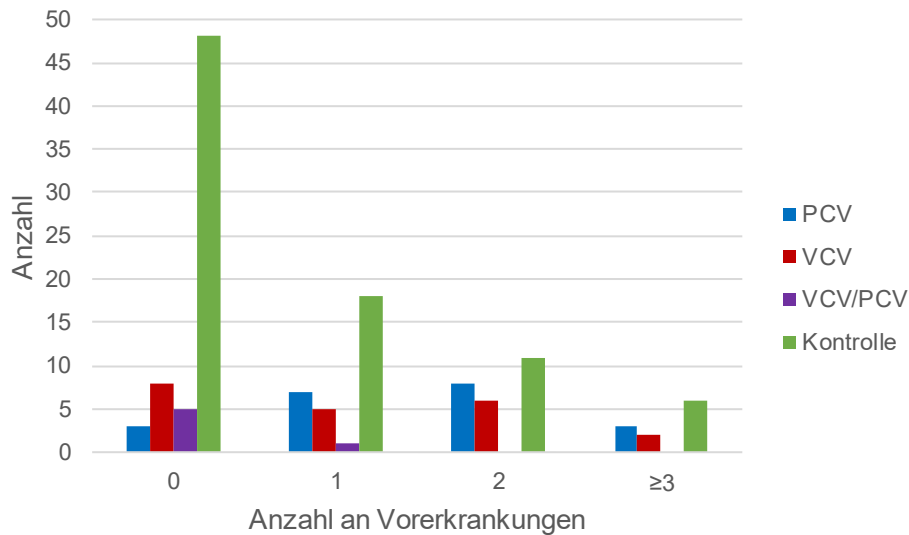


Abbildung 3.9.2.1: Anzahl der Vorerkrankungen der speziellen Beatmungsgruppen PCV, VCV, VCV/PCV und der Kontrollgruppe (n=131).

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der PCV-Gruppe und der Kontrollgruppe sowie zwischen der PCV- und VCV/PCV-Gruppe im Vorhandensein von Vorerkrankungen (Tab. 3.9.2.2). Darüber hinaus zeigte sich bei den speziellen Beatmungsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe ein statistisch signifikanter Unterschied bezüglich der Anzahl von Vorerkrankungen (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$).

Tab. 3.9.2.2: P-Werte der Einzelvergleiche Vorerkrankungen vorhanden ja/nein.

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. PCV	0,0004	0,0024
PCV vs. VCV/PCV	0,0037	0,0222
PCV vs. VCV	0,0855	0,5130
VCV vs. VCV/PCV	0,1647	0,9882
Kontrollgruppe vs. VCV	0,2180	1,0000
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	0,3947	1,0000

3.10. Außerklinische Überlebenszeiten

3.10.1 Außerklinische Überlebenszeiten MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Der Median für die außerklinische Überlebenszeit bis zum 31.12.2019 bzw. zum Tod der MV-gesamt-Gruppe betrug 3208 Tage und für die Kontrollgruppe 7425 Tage. Die statistischen Kennwerte lassen sich der Tabelle 3.10.1.1 entnehmen.

Tab. 3.10.1.1: Statistische Kennwerte außerklinische Überlebenszeit MV-gesamt und Kontrollgruppe (n=131).

	Kontrollgruppe	MV-gesamt
Anzahl	83	48
Mittelwert	7222,67	3847,27
Standardabweichung	4466,29	2999,42
Median	7425	3208
25 % Quartil	3362	1292
75 % Quartil	10003	3208
Minimum	83	229
Maximum	18492	13020

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der MV-gesamt-Kohorte (Log Rank-Test, $p < 0,0001$) (Abbildung 3.10.1.2).

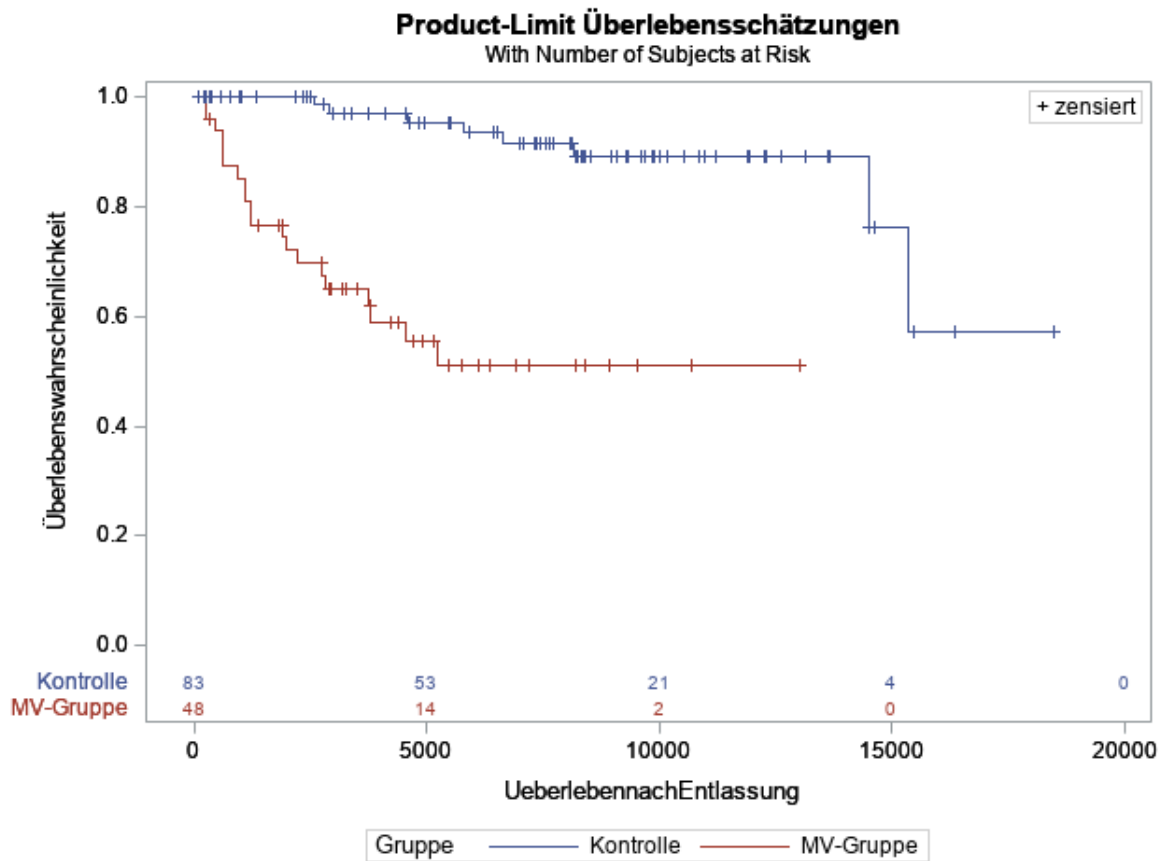


Abbildung 3.10.1.2: Überlebenszeiten nach Entlassung der MV-gesamt-Gruppe (rot) und der Kontrollgruppe (blau). (n=131).

3.10.2 Außerklinische Überlebenszeiten spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Die mediane außerklinische Überlebenszeit bis zum Auswertungszeitpunkt bzw. Tod betrug für die PCV-Gruppe 2911 Tage, für das VCV-Kollektiv 2828 und für die VCV/PCV-Kohorte 7061,5 Tage. Die statistischen Kennwerte sind in der Tabelle 3.10.2.1 dargestellt.

Tab. 3.10.2.1: Statistische Kennwerte außerklinische Überlebenszeit der Einzelvergleiche (n= 131).

	Kontrollgruppe	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	21	21	6
Mittelwert	7222,67	2577,86	4140,86	7262,67
Standardabweichung	4466,29	1478,34	3595,04	1732,05
Median	7425	2911	2828	7061,5
25 % Quartil	3362	1372	1074	6098
75 % Quartil	10003	3767	5735	8938
Minimum	83	229	243	4894
Maximum	18492	5147	13020	9523

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den untersuchten vier Gruppen (Log Rank Test, $p < 0,0001$). Bei genauerer Differenzierung ließ sich dieser Unterschied bei dem Vergleich der Kontrollgruppe vs. PCV und Kontrollgruppe vs. VCV bestätigen (Tab. 3.10.2.2) (Abbildung 3.10.2.3).

Tab. 3.10.2.2: P-Werte der Einzelvergleiche Überlebenszeit.

	p-Werte Log-Rank	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. VCV	<0,0001	<0,0001
Kontrollgruppe vs. PCV	<0,0001	<0,0001
VCV vs. VCV/PCV	0,0171	0,1026
PCV vs. VCV/PCV	0,0691	0,4146
PCV vs. VCV	0,3687	1,0000
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	0,4703	1,0000

Von besonderem Interesse war die Überlebenszeitanalyse der VCV-Kohorte im Vergleich zur PCV-Gruppe. Der Log-Rank Test war mit $p=0,3687$ statistisch nicht signifikant. Zu beachten ist hierbei, dass sich die Kurven überschneiden und der Log-Rank Test deshalb eventuell nicht valide war (Abbildung 3.10.2.3) (Tab. 3.10.2.2).

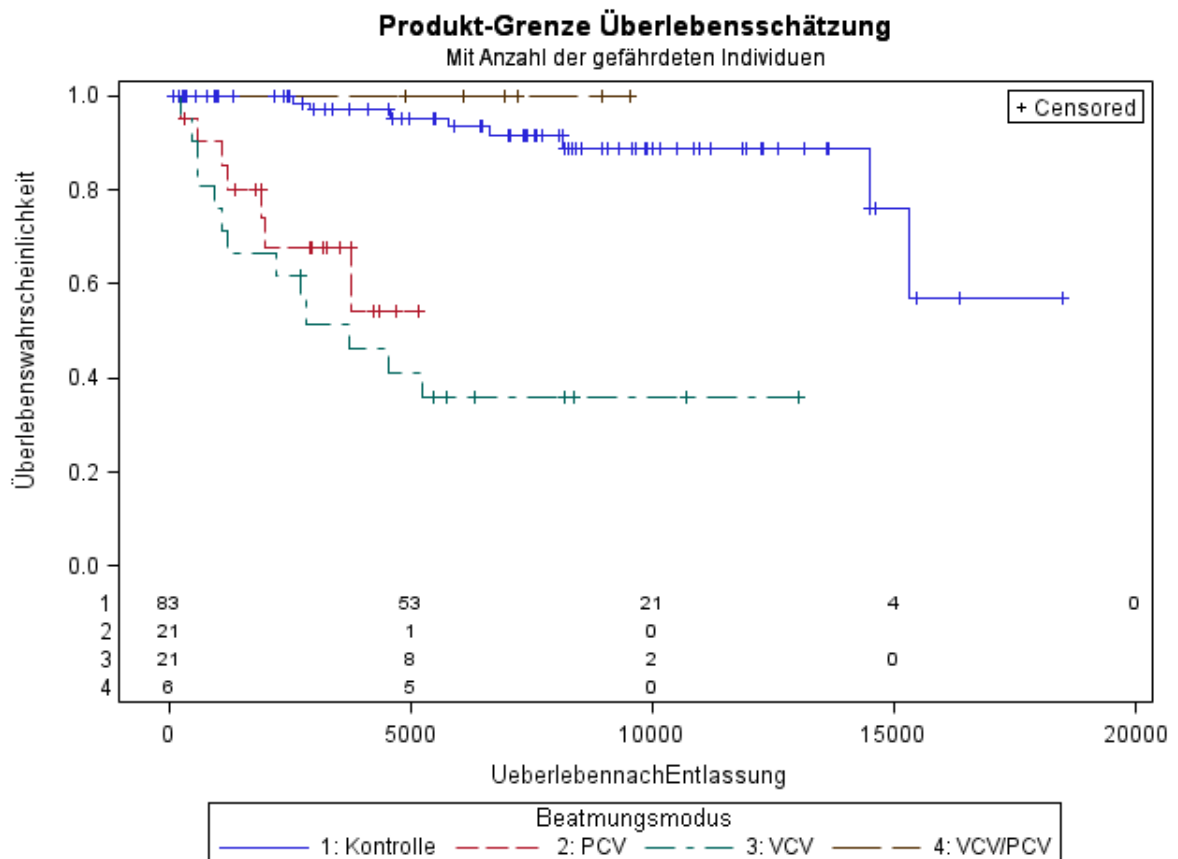


Abbildung 3.10.2.3: Kaplan-Meier-Kurven für die speziellen Beatmungsgruppen und die Kontrollgruppe. Verdeutlicht wird die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Gruppen bezüglich der Überlebenszeit (in Tagen). Zu beachten ist, dass sich die VCV- und PCV-Kurve überschneidet (n=131).

3.11. Mortalitätsraten

3.11.1 Mortalitätsraten MV-gesamt-Gruppe versus Kontrollgruppe

Insgesamt waren 41,7% der beatmeten Patienten und 9,6% der spontan atmenden Kontrollgruppe verstorben (Abb. 3.11.1.1) (Anhang, Tab 7). Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der MV-gesamt-Gruppe und der Kontrollgruppe im Bezug zur Mortalität (Chi-Quadrat Test, $p<0,0001$).

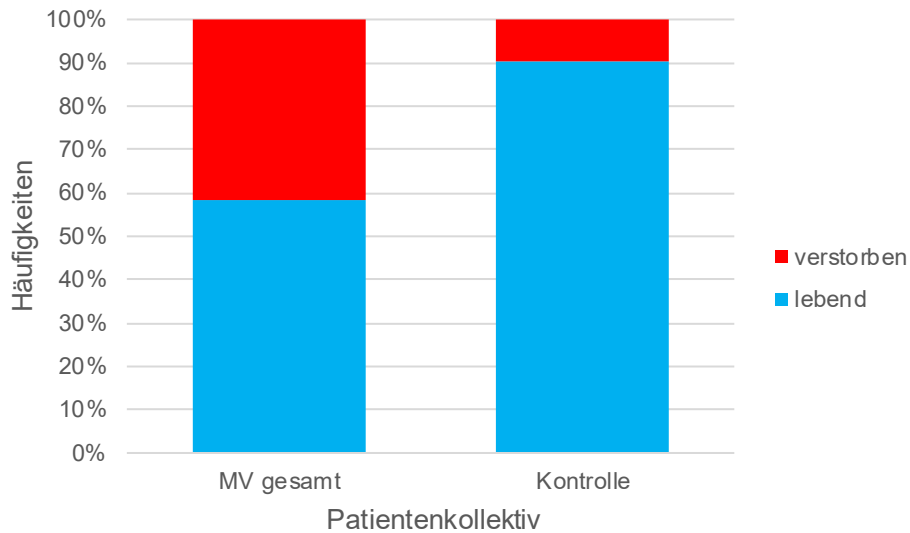


Abbildung 3.11.1.1: Mortalitätsrate des MV-gesamt-Kollektivs und der Kontrollgruppe (n=131).

3.11.2. Mortalitätsraten spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

In der VCV-Gruppe waren 61,9% und im PCV-Kollektiv 33,3% verstorben. Dem gegenüber war in der Stichprobe der VCV/PCV-Patienten kein Patient verstorben (Abb. 3.11.2.1) (Anhang, Tab 7). Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen im Bezug zur Mortalität (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$).

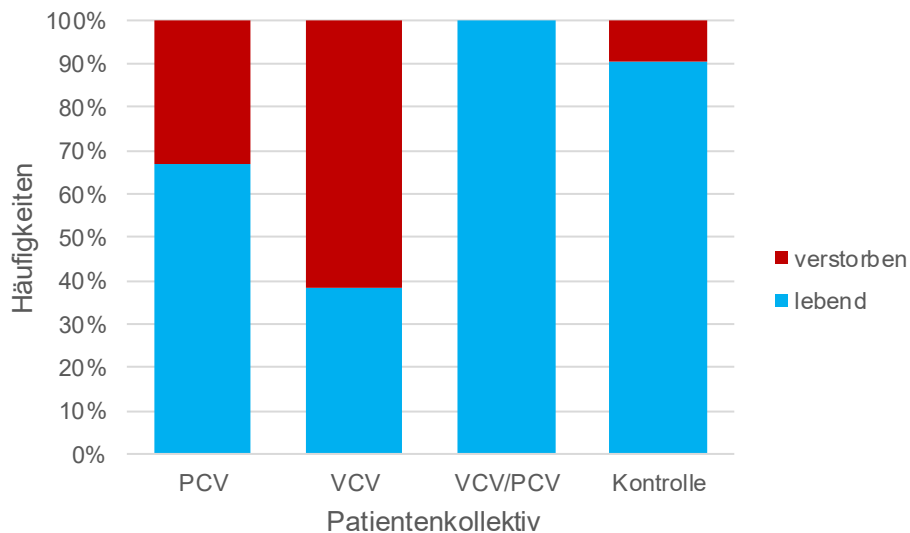


Abbildung 3.11.2.1: Mortalitätsrate der speziellen Beatmungsgruppen PCV, VCV und VCV/PCV versus Kontrollgruppe (n=131).

Nach Bonferroni-Korrektur zeigte sich kein signifikanter Unterschied sowohl zwischen der PCV- und der Kontrollgruppe als auch zwischen der VCV/PCV- und der Kontrollgruppe (Tabelle 3.11.2.2). Ebenso fand sich innerhalb der Beatmungsgruppen im Hinblick auf die Mortalität kein signifikanter Unterschied zwischen der PCV- und VCV-Gruppe, der VCV/PCV- und PCV-Gruppe sowie der VCV- und VCV/PCV-Gruppe (Tabelle 3.11.2.2).

Hervorzuheben ist, dass ein statistisch signifikanter Unterschied nach Bonferroni-Korrektur zwischen der Kontrollgruppe und dem VCV-Kollektiv im Bezug zur Mortalität gefunden wurde (Exakter Test von Fisher, $p < 0,0001$) (Tabelle 3.11.2.2).

Tabelle 3.11.2.2: P-Werte der Einzelvergleiche.

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. VCV	<0,0001	<0,0001
Kontrollgruppe vs. PCV	0,0116	0,0696
VCV vs. VCV/PCV	0,0159	0,0954
PCV vs. VCV	0,0638	0,3828
PCV vs. VCV/PCV	0,1548	0,9288
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	1,0000	1,0000

3.12. Todesursachen

3.12.1 Todesursache MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Insgesamt waren 41,7% der MV-gesamt-Gruppe und 9,6% der Kontrollgruppe verstorben. Die Pneumonie war mit 40% in der MV-gesamt-Gruppe und 50% in der Kontrollgruppe der häufigste Versterbegrund. Der zweithäufigste Versterbegrund war die Sepsis und umfasste 25% des MV-gesamt-Kollektivs und 37,5% der Kontrollgruppe. (Abbildung 3.12.1.1) (Tab. 3.12.2.1).

Zu den selteneren Todesursachen zählten Blutungen, Nierenversagen, Suizide, Epilepsien, Darmverschlüsse sowie das Versterben an einer anderen Vorerkrankung.

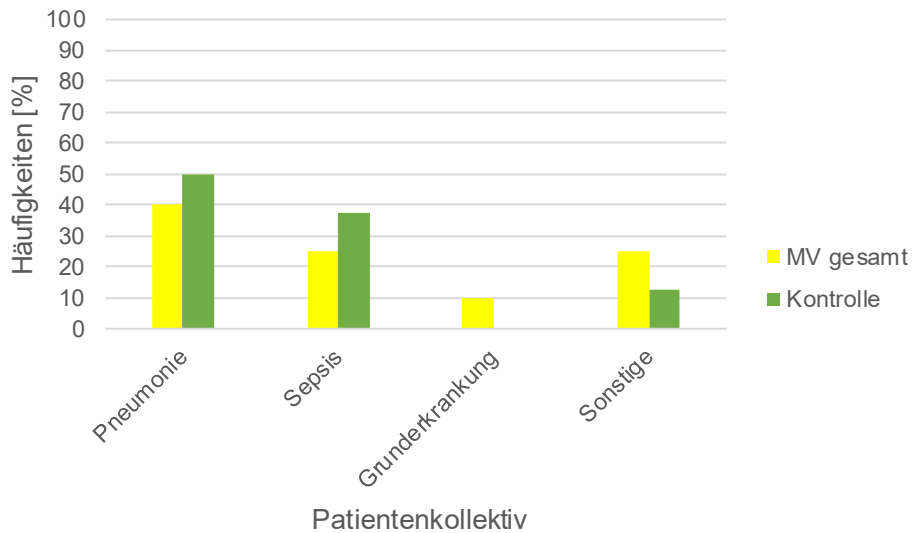


Abbildung 3.12.1.1: Todesursachen aufgeschlüsselt für die Gruppen MV-gesamt und Kontrolle. Die Kategorie „Sonstige“ beinhaltet Blutungen, Nierenversagen, Suizide, Epilepsien sowie Darmverschlüsse (n=28).

3.12.2 Todesursache spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

42,9% des verstorbenen Anteils der PCV-Gruppe und 38,5% des verstorbenen Anteils der VCV-Gruppe waren an einer Pneumonie verstorben. Die Sepsis war mit ebenfalls drei Verstorbenen in der PCV-Gruppe (42,9%) und zwei Verstorbenen in dem VCV-Kollektiv (15,4%) die zweithäufigste Todesursache. Mit 15,4% waren zudem in der VCV-Gruppe zwei Patienten an ihren Vorerkrankungen verstorben (Tab. 3.12.2.1) (Abbildung 3.12.2.2).

Tab. 3.12.2.1: Versterbegrund aller Gruppen (n=28).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	8	20	7	13	0
Pneumonie	4 (50%)	8 (40%)	3 (42,9%)	5 (38,5%)	0
Sepsis	3 (37,5%)	5 (25%)	3 (42,9%)	2 (15,4%)	0
Vorerkrankung	0	2 (10%)	0	2 (15,4%)	0
Blutungen	0	1 (5%)	0	1 (7,7%)	0
Ileus	0	1 (5%)	0	1 (7,7%)	0
Epilepsie	0	1 (5%)	0	1 (7,7%)	0
Nierenversagen	0	1 (5%)	1 (14,3%)	0	0
Suizid	1 (12,5%)	1 (5%)	0	1 (7,7%)	0

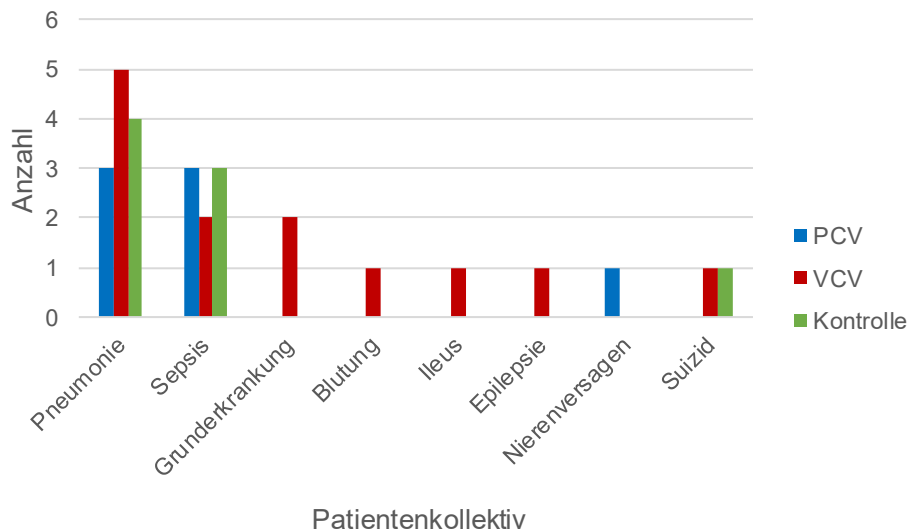


Abbildung 3.12.2.2: Todesursachen aufgeschlüsselt nach den Beatmungsgruppen PCV und VCV sowie für die Kontrollgruppe (n=28).

3.13 Pneumonierate

3.13.1 Pneumonierate MV-gesamt versus Kontrollgruppe

Hervorzuheben ist, dass die mediane Pneumonierate für die MV-gesamt-Gruppe mit 0,036 Pneumonien/100 Tage wesentlich höher war als die mediane Pneumonierate der Kontrolle mit null Pneumonien/100 Tage. Die Tabelle 3.13.1.1 zeigt diese Gegebenheit und die statistischen Kennwerte für die angegebenen Gruppen.

Tab. 3.13.1.1: Statistische Kennwerte Pneumonierate MV-gesamt und Kontrollgruppe (n=131).

	Kontrollgruppe	MV-gesamt
Anzahl	83	48
Mittelwert	0,012361	0,095058
Standardabweichung	0,055278	0,15028
Median	0	0,036
25 % Quartil	0	0
75 % Quartil	0	0,136
Minimum	0	0
Maximum	0,437	0,790

Zu beachten ist, dass die Pneumonierate der MV-gesamt-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe statistisch signifikant höher ist (Wilcoxon Zwei-Stichprobentest, $p < 0,0001$).

3.13.2 Pneumonierate spezielle Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) versus Kontrollgruppe

Auffallend waren in den speziellen Beatmungsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe die hohen Mediane mit bis zu 0,061 Pneumonien/100 Tage. Aus der Tabelle 3.13.2.1 lassen sich die statistischen Kennwerte ablesen. Des Weiteren sind die Kennwerte in der Abbildung 3.13.2.2. zu entnehmen.

Tab. 3.13.2.1: Statistische Kennwerte Pneumonierate PCV-, VCV-, VCV/PCV- und Kontrollgruppe (n=131).

	Kontroll- gruppe	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	21	21	6
Mittelwert	0,012361	0,049619	0,12051	0,165
Standardabweichung	0,055278	0,065649	0,14428	0,30742
Median	0	0,03	0,061	0,055
25 % Quartil	0	0	0,01	0,02
75 % Quartil	0	0,067	0,204	0,07
Minimum	0	0	0	0
Maximum	0,437	0,255	0,585	0,79

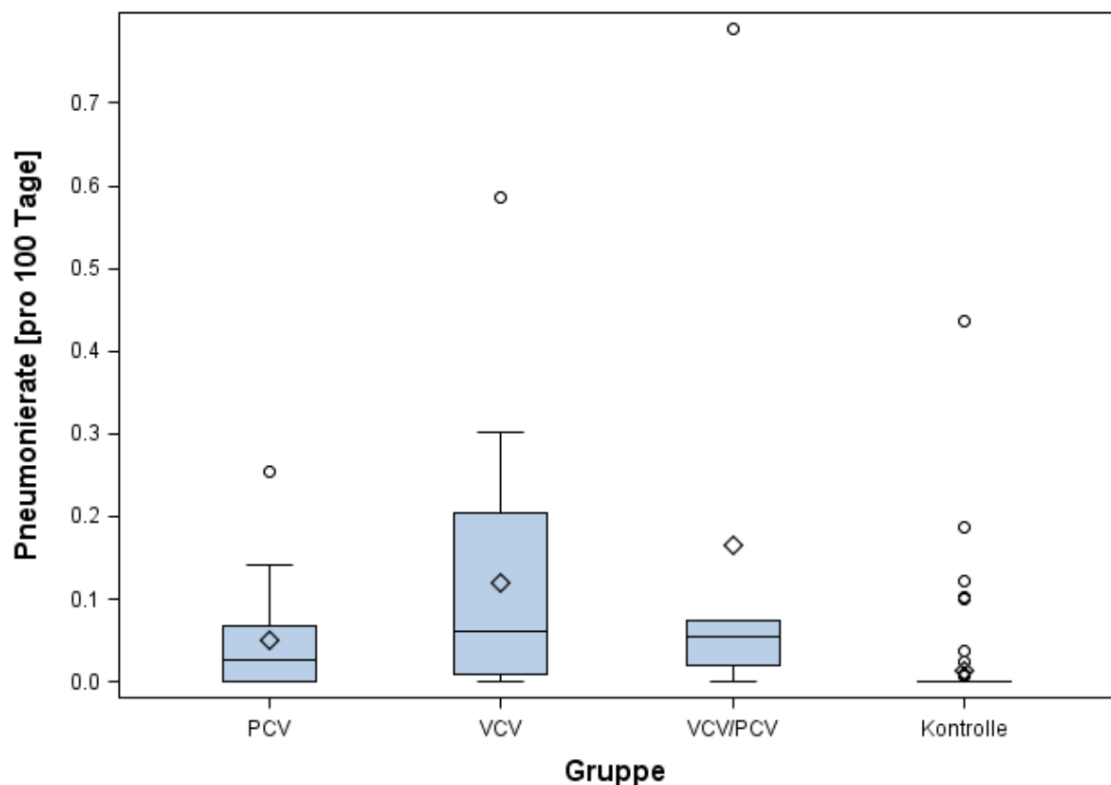


Abbildung 3.13.2.2: Außerklinische Pneumonieraten der speziellen Beatmungsgruppen PCV, VCV und VCV/PCV im Vergleich zu hochquerschnittgelähmten spontan atmenden

Patienten (Kontrolle), dargestellt als Boxplot, Median (mittlere Linie der Box) und Quartile (Box), Mittelwert (+), Minimum (untere Begrenzung), Maximum (obere Begrenzung), (o) als Ausreißer detektierte Patienten (n=131, Software SAS ®).

Der Wilcoxon Rank Sum Test zeigte, dass sich alle Beatmungsmethoden von der Kontrollgruppe unterschieden. Nichtsdestotrotz wies keine Stichprobe der Beatmungsgruppen (PCV, VCV, VCV/PCV) eine signifikant höhere Pneumonierate im Vergleich zu einer anderen auf (Tab. 3.13.2.3).

Tabelle 3.13.2.3: P-Werte der Pneumonierateneinzelvergleiche.

	Unveränderte p-Werte	Adjustierte p-Werte nach Bonferroni
Kontrollgruppe vs. PCV	<0,0001	<0,0001
Kontrollgruppe vs. VCV	<0,0001	<0,0001
Kontrollgruppe vs. VCV/PCV	0,0001	0,0006
PCV vs. VCV	0,0998	0,5988
PCV vs. VCV/PCV	0,3634	1,000
VCV vs. VCV/PCV	0,9889	1,000

3.13.3 Pneumonierate VCV/PCV-Gruppe nur VCV-Werte vs. nur PCV-Werte

Sechs Patienten wurden während des Erhebungszeitraums von einer volumenkontrollierten Beatmung auf eine druckkontrollierte Beatmung umgestellt. Die Daten der sechs Patienten wurden gesondert statistisch untersucht.

Der Median für die Pneumonierate des VCV-Beatmungszeitraums für die VCV/PCV-Gruppe betrug 0,01. Der Median für den PCV-Beatmungszeitraum betrug 0,035.

In der nachfolgenden Tabelle sind die statistischen Kennwerte für die VCV/PCV Gruppe aufgeschlüsselt nach ausschließlichem PCV- bzw. VCV-Beatmungszeitraum (Tab. 3.13.3.1).

Tab. 3.13.3.1: Statistische Kennwerte der Pneumonieraten der VCV/PCV-Gruppe aufgeschlüsselt nach reinem VCV- bzw. reinem PCV-Beatmungszeitraum (n=6).

	VCV/PCV-Gruppe	
	VCV- Beatmungszeitraum	PCV- Beatmungszeitraum
Anzahl	6	6
Mittelwert	0,08333	0,0825
Standardabweichung	0,175461	0,13431
Median	0,01	0,035
25 % Quartil	0	0
75 % Quartil	0,14	0,1435
Minimum	0	0
Maximum	0,44	0,35

Mit Hilfe des Vorzeichen-Rang-Test von Wilcoxon wurden die VCV- und PCV-Zeiträume der einzelnen Patienten verglichen. Die Ergebnisse zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied in der Pneumonierate innerhalb der VCV/PCV-Gruppe zwischen den VCV- und PCV-Beatmungsintervallen ($p=0,8750$).

4. Diskussion

Die vorliegende Studie untersucht erstmals zwei unterschiedliche invasive Beatmungsformen (PCV und VCV) bei langzeitbeatmungspflichtigen, querschnittgelähmten Patienten im ambulanten Setting. Verglichen wurden diese Ergebnisse mit denen einer Kontrollgruppe von nicht beatmungspflichtigen, hochquerschnittgelähmten Patienten ebenfalls im außerklinischen Setting.

4.1 Geschlechterverteilung und Altersverteilung bei Eintritt der Beatmungspflicht

Die Geschlechterverteilung spiegelte in allen vier Stichproben die in der Literatur beschriebene Verteilung in der Population wider. Demnach sind vermehrt Männer von einer Querschnittlähmung betroffen (Bickenbach et al., 2013, p. 18).

Auffällig ist, dass die VCV-Gruppe ein niedrigeres durchschnittliches Alter bei Beatmungseintritt von 37 Jahren im Vergleich zur PCV-Gruppe von 53 Jahren vorwies. Dies ist auf den kontinuierlichen Anstieg des durchschnittlichen Alters bei Eintritt einer Querschnittlähmung (1997 35 Jahre, 2008 51 Jahre) (Hirschfeld et al., 2010, p. 178) (Jackson, Dijkers, Devivo, & Poczatek, 2004, p. 1741) in Verbindung mit dem Paradigmenwechsel in der Beatmung Anfang der 2000er Jahre zurückzuführen. Der Anteil von nichttraumatischen Querschnittlähmungen nimmt kontinuierlich zu und hat mittlerweile bundesweit einen Anteil von über 60% aller Erstbehandlungen erreicht (DMGP Anlaufstelle BG Klinikum Hamburg 2022; Sekretariat Prof. R. Tietje). Zudem werden seit ca. 2005 die betroffenen Patienten des BG Klinikums Hamburgs standardmäßig auf eine druckkontrollierte Beatmung eingestellt. Zusammenfassend erklärt sich aus diesen epidemiologischen Entwicklungen, dass sich die statistisch ältere PCV-Gruppe vermehrt aus Patienten mit Erstbehandlungen nach 2005 und dem damit einhergehenden Altersdurchschnitt zusammensetzt.

4.2 AIS Score und Lähmungshöhenverteilung

Durch die vorgegeben Einschlusskriterien der Patienten in die Vergleichsgruppen und die Kontrollgruppe ergaben sich signifikante Unterschiede in der Lähmungshöhenverteilung. Diese statistischen Unterschiede waren aufgrund der Gruppendifinitionen gewählt und wurden also erwartet.

Für die MV-Gruppen war die Bedingung, dass die Patienten keine eigene suffiziente Atmung haben, somit durchgehend invasiv langzeitbeatmungspflichtig waren. Über 91% der MV-gesamt-Gruppe waren oberhalb von C4 gelähmt und wiesen somit eine

funktionelle Lähmung des Zwerchfells auf. Die Beatmungspflichtigkeit bei den wenigen Läsionen ab dem Segment C4 und darunter war v.a. auf vorbestehende Vorerkrankungen des Herz-Kreislaufsystems der Betroffenen zurückzuführen. Durch diese war eine suffiziente Eigenatmung bei den Betroffenen trotz innerviertem Zwerchfell nicht möglich. Innerhalb der speziellen Beatmungsgruppen bestand kein statistischer Unterschied.

Dem gegenüber steht die randomisierte Kontrollgruppe, die bis auf die Beatmungspflicht sowohl paraplegiologisch, als auch statistisch mit der MV-gesamt-Gruppe vergleichbar ist und in der alle Patienten suffizient atmen konnten. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden in der Kontrollgruppe nur Patienten mit einem AIS-Score der Kategorie Typ A und Lähmungshöhen von C4-C6 eingeschlossen.

Innerhalb der speziellen Beatmungsgruppen wurden auch Patienten mit differierenden AIS Scores eingeschlossen, da das maßgebliche Einschlusskriterium die Notwendigkeit einer invasiven Langzeitbeatmung darstellte. Die funktionelle Ausprägung auch der inkompletten AIS-Typen ist jedoch über alle Gruppen als vollständig rollstuhlabhängig und fremdhilfeabhängig und somit hinsichtlich der neurologischen Ausfallsymptomatik als vergleichbar zu bewerten.

4.3 Lähmungsgenese

Es zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Lähmungsgenese zwischen der MV-gesamt- und der Kontrollgruppe. Mit 98,8 % war die Querschnittlähmung in der Kontrollgruppe auf eine traumatische Genese zurückzuführen. Diese Gegebenheit ergab sich u.a. aus den Einschlusskriterien für die Kontrollgruppe. Voraussetzungen waren, dass die in die Kontrollgruppe eingeschlossene Patienten

- zu keinem Zeitpunkt ab Eintritt der Querschnittlähmung beatmungspflichtig waren,
- eine hohe Querschnittläsion mit vergleichbaren muskuloskelettalen Funktionsausfällen hatten,
- keine terminalen Lungen- oder Herzvorerkrankungen vorwiesen und
- mindestens vier Jahre außerklinisch gelebt haben.

Patienten, die in Folge einer atraumatischen Genese querschnittgelähmt waren, wiesen ein höheres Alter bei Lähmungseintritt auf (Northmann, 2017, p. 21) und wurden oftmals in der Akutphase prolongiert beatmet und geweant (Füssenich et al., 2018, p. 464). Hinzukommend haben ältere Patienten vermehrt Vorerkrankungen, die den Allgemeinzustand und somit das Langzeitüberleben beeinträchtigen (Tan et al., 2019) (Watt, Wiredu, Silva, & Meehan, 2011, p. 409). Folglich ist die Anzahl der Betroffenen, die eine vierjährige außerklinische Zeit überleben, bei atraumatisch gelähmten Betroffenen deutlich geringer. Darüber hinaus folgen atraumatischen Genesen bspw. eine spinale

Ischämie oder auch Tumorerkrankungen oftmals Ausfälle über mehrere Segmente. Dem gegenüber sind traumatische Läsionen schärfer segmental begrenzt, da hier die Schäden eher punktuell, als disseminiert auftreten. Die Folge war in diesen atraumatischen Fällen im Verlauf eine prolongierte Beatmungspflicht auch bei initial tief zervikalen Läsionen und führte dann, wie beschrieben, zum Ausschluss aus der Kontrollgruppe.

4.4 Dauerhafter Entlassungsort

Aus den hier erhobenen Daten wird deutlich, dass sowohl der Hälfte der MV-gesamt-Gruppe als auch der Hälfte der Kontrollgruppe eine dauerhafte Entlassung in die ursprüngliche Häuslichkeit möglich war. Innerhalb der speziellen Beatmungsgruppen bestätigte sich ebenfalls dieser Trend. Die Notwendigkeit einer dauerhaften invasiven Beatmung bzw. des jeweiligen Beatmungsmodus beeinflusste somit nicht den dauerhaften Entlassungsort der Patienten, da auch intensivpflegerische Einzelversorgungen durchaus realisiert werden können. Diese Daten decken sich mit der Literatur (Hirschfeld et al., 2010, p. 181) und den Erfahrungen des strukturierten Entlassungsmanagements der Spezialkliniken.

4.5 Kostenträger

Der Großteil der Kontrollgruppe sowie der MV-gesamt-Gruppe war gesetzlich versichert. Auffallend ist, dass 35% Patienten der Kontrollgruppe berufsgenossenschaftlich versichert waren. Dieser Anteil betrug bei der MV-gesamt-Gruppe lediglich 18,8%. Wie oben beschrieben umfasst die Kontrollgruppe zu über 98% Querschnittslähmungen traumatischer Genese aus den unter 4.3. beschriebenen Gründen. Es ist folglich davon auszugehen, dass in der Kontrollgruppe vermehrt Arbeits- und Wegeunfälle mit einbezogen wurden, welche durch die berufsgenossenschaftliche Versicherung abgedeckt werden.

4.6 Vorerkrankungen

Über 50% der Patienten aus der Kontrollgruppe hatten keine Vorerkrankungen (siehe auch Kapitel 4.3), dagegen hatten nur 33,3% der MV-gesamt-Gruppe keine Vorerkrankungen. Hinzukommend hatten Patienten der MV-gesamt-Gruppe signifikant mehr Vorerkrankungen pro Patient als Patienten der Kontrollgruppe. Diese Gegebenheit lässt sich - wie im Unterpunkt 4.3 ausführlich dargestellt – durch die Einschlusskriterien in

die Kontrollgruppe und die hiermit verbundene Selektion von jüngeren, traumatisch geschädigten Patienten ohne lebenslimitierende Vorerkrankungen erklären.

Es zeigte sich, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied bei der Differenzierung der Vorerkrankungen innerhalb der MV-gesamt-Gruppe gab und diese somit nicht nur statistisch, sondern auch medizinisch eine Homogenität vorwies.

4.7 Überlebenszeit

Erwartungsgemäß wies die MV-gesamt-Gruppe eine deutlich geringere außerklinische Überlebenszeit (3208 Tage) im Vergleich zur Kontrollgruppe (7425 Tage) auf. Dies spiegelt sich auch in der Literatur wider: Hochquerschnittgelähmte Patienten, die dauerhaft beatmungspflichtig sind, haben im Verhältnis zum gesamten Kollektiv der Querschnittgelähmten Patienten die geringste Überlebenszeit (Northmann, 2017, p. 56). Die Länge der Überlebenszeit für die MV-gesamt-Gruppe deckt sich mit Daten aus der Literatur. In einer finnischen Studie betrug das Langzeitüberleben für ambulant invasiv langzeitbeatmete Patienten 9,4 Jahre (entspricht 3.431 Tagen) (Kotanen et al., 2020, p. 6). Ursachen dafür sind vor allem hohe Komplikationsraten im Rahmen pulmonaler Infektionen an denen die Patienten versterben (Northmann, 2017, p. 56) (siehe auch die Punkte 4.9 und 4.10).

Durch eine genauere Differenzierung der MV-gesamt-Gruppe zeigte sich, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Überlebenszeiten der VCV- und PCV-Patienten festgestellt werden konnte. Keiner der beiden Beatmungsmodi weist somit einen Vor- oder Nachteil für die außerklinischen Überlebenszeiten der Betroffenen auf. Auffällig ist außerdem, dass in der Gruppe, in der ein Beatmungsmodus von VCV zu PCV umgestellt wurde, kein Patient verstorben war. Mit einem $n=6$ war diese Beobachtung nicht statistisch verlässlich, es lässt sich aber vermuten, dass die Umstellung auf einen anderen Beatmungsmodus keinen gesundheitlichen Schaden für den Patienten verursacht hat. Hinzukommend muss bedacht werden, dass die Umstellung auf freiwilliger Basis und unter ausschließlich stationären intensivmedizinischen Bedingungen in einem dafür spezialisierten Querschnittgelähmtenzentrum durchgeführt wurde. Denkbar wäre, dass durch diese freiwillige Entscheidung eine Selektion im Sinne einer größeren Eigenmotivation und Lähmungsakzeptanz der Patienten stattgefunden hat. Es könnte in der Zukunft anhand dieser Trends im außerklinischen Setting untersucht werden, ob durch diese Faktoren, verbunden mit einem vermehrten Engagement für die Lebenssituation, neben der erhöhten Lebensqualität auch die außerklinische Überlebenszeit verlängert werden könnte.

4.8 Mortalitätsrate

Erwartungsgemäß wies die Kontrollgruppe eine geringere Mortalitätsrate im Vergleich zur MV-gesamt-Gruppe auf. Von entscheidender Bedeutung war aber vor allem, dass sich auch diesbezüglich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der VCV- und PCV-Gruppe zeigte. Keinem der verwendeten Beatmungsmodi folgte somit eine signifikante Abweichung der Mortalitätsrate. Betrachtet man die Literatur zur Langzeitbeatmung bei lungengesunden, bspw. bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen, so zeigt sich auch hier, dass keine Aussage zu einem überlegenen Beatmungsmodus bei invasiver Beatmung getroffen wird (Groß, Dorst, & Pelzer, 2019). Die S2k Leitlinie „Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung“ weist darauf hin, dass auf der Grundlage von rein biomechanischen Überlegungen die druckkontrollierte Beatmung möglicherweise vorteilhaft sein könnte (Michel et al., 2022, p. 15). Studien, die durch die Wahl des Beatmungsmodus bei einer invasiven Beatmung einen außerklinischen Mortalitätsvorteil aufweisen, existieren nicht. In der Zusammenschau der Information und den in dieser Arbeit erhobenen Daten kann man davon ausgehen, dass die Wahl des Beatmungsmodus allein keinen Einfluss auf die außerklinische Mortalität der Patienten hat.

Auffällig ist lediglich, dass im Rahmen einer isolierten statistischen Testung die VCV-Gruppe eine signifikante Erhöhung der Mortalitätsrate im Vergleich zur Kontrollgruppe vorwies. Ein möglicher erklärender Faktor ist, dass das VCV-Patientenkollektiv vor allem Patienten einschließt, die seit Ende des letzten Jahrhunderts bis ca. 2006 beatmungspflichtig wurden. Innerhalb dieses Zeitraums kam es einerseits zu einer deutlichen Weiterentwicklung der ambulanten Beatmungs- und Überwachungstechnologie (z.B. Ersatz der Beatmungsüberdruckventile, transportable SaO₂ und EE-CO₂ Messgeräte) sowie zu intensivierten und strukturierten bundesweiten Schulungen des außerklinischen Intensivpersonals (Niedeggen, 2016, p. 34) (Lehmann, Stark, & Ewers, 2016, p. 19). Gerade der letzte Punkt wird auch in den entscheidenden Fachgesellschaften als sehr wichtig und auch maßgeblich bewertet (Persönliche Anmerkung PD S. Hirschfeld: Mitglied erweiterter Vorstand DIGAB: Sektion Querschnittlähmung, DMGP: Arbeitskreis (Be)Atmung und AWMF S2k-Leitlinie Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung (Michel et al., 2022)).

Diese oben beschriebene erhöhte Mortalitätsrate der VCV-Kohorte im langzeitlichen Kontext gibt also auch statistisch validiert die Bestätigung der Erfahrungen vieler Behandler in diesem Bereich wieder, nämlich dass eine nicht fachgerecht geschulte ambulante Intensivpflege für diese Klientel lebensgefährdend sein kann. In diesem

Zusammenhang sei auch auf das neue Intensivpflege- und Rehabilitationsstärkungsgesetz (GKV-IPReG) hingewiesen, welches seit dem 30.10.2023 in Kraft getreten ist und neben der regelhaften Überprüfung von Weaning und Dekanülierungs-Potenzial von Betroffenen gleichzeitig den dort tätigen außerklinischen Intensivpflegediensten noch höhere fachliche Auflagen hinsichtlich der Überwachung und Erkennung bestimmter Vital- und Beatmungsparameter erteilt (§37c Absatz 1 SGB 5).

Darüber hinaus gab es Ende des letzten Jahrhunderts Hinweise in der Literatur, dass querschnittgelähmte, invasiv beatmungspflichtige Patienten von einem hohen Tidalvolumen bis 20 ml/kg Standard-KG profitieren (Peterson et al., 1999). Seit 2000 ist bekannt, dass ein niedrig gewähltes Tidalvolumen (6 ml/kg Standard-KG) im Verhältnis zu Tidalvolumina von 12 ml/kg Standard-KG die Mortalität bei Patienten mit ARDS senkt (Brower et al., 2000). Es ist anzumerken, dass diese Erkenntnis für Patienten mit pulmonalen Ursachen für die Beatmungspflicht erarbeitet wurde und deshalb nicht auf das hier untersuchte Kollektiv uneingeschränkt übertragbar ist. Aber es ist trotzdem durchaus möglich, dass die erhöhte Mortalität der VCV-Kohorte im Vergleich zur Kontrollgruppe u.a. auch von (zu) hoch gewählten Tidalvolumina beeinflusst wurde.

(Anmerkung: Die aktuelle S2k Leitlinie der deutschsprachigen medizinischen (Fach)Gesellschaft für Paraplegie (DMGP) „Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung“ empfiehlt Tidalvolumina von 8 – 10 ml/kg Standard-KG für invasiv beatmungspflichtige Querschnittgelähmte an (Michel et al., 2022, p. 15).)

4.9 Versterbegrund

Die häufigste Ursache für das Versterben der Patienten der Kontroll- sowie MV-gesamt-Gruppe war die Pneumonie. Diese Beobachtung deckt sich mit der Literatur: Thietje et al. (2018) weist mit 33% der verstorbenen Tetraplegiker die Pneumonie als häufigsten Versterbegrund für die Subgruppe aus. Zu beachten ist, dass innerhalb der speziellen Beatmungsgruppen (PCV und VCV) kein statistisch signifikanter Unterschied vorlag. In beiden Gruppen war mit knapp 40% die Pneumonie die häufigste Todesursache. Folglich ist davon auszugehen, dass allein die Wahl des grundsätzlichen Beatmungsmodus keinen direkten Einfluss auf die Todesursachen der Patienten hat. Es ist somit notwendig, die Pneumonieraten zu Lebzeiten genauer zu untersuchen, um ggf. einen möglichen Benefit für die Patienten zu Lebzeiten zu eruieren (vgl 4.10).

4.10 Pneumonierate

Erwartungsgemäß hatte die MV-gesamt-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe eine wesentlich höhere Pneumonierate. Dies lässt sich auf

- die maschinelle Beatmung,
- das hiermit einhergehende Infektionsrisiko,
- das offene Tracheostoma i.S.e offenen Zuganges in die Trachea,
- das vermehrte Vorkommen von Atelektasen sowie
- auf die erhöhte Vulnerabilität der beatmeten Lunge

zurückführen (vgl. Kapitel 1.2.2 Beatmungsinduzierte und beatmungsassoziierte Komplikationen).

Hervorzuheben ist außerdem, dass es keinen Unterschied zwischen den Pneumonieraten der VCV- und PCV-Gruppe gab. Der gewählte Beatmungsmodus hatte somit keinen Einfluss auf die Häufigkeit der Pneumonie (siehe 4.9).

Hinsichtlich der Pneumonierate sind von besonderem Interesse die sechs Patienten, die nach einem gewissen Zeitraum von der volumenkontrollierten Beatmung auf die druckkontrollierte Beatmung umgestellt wurden. Das Verhältnis der Beatmungstage mit dem jeweiligen Modus betrug 1:1,2 (VCV:PCV). Auch bei dieser genaueren Analyse zeigte sich, dass es keinen statistisch signifikanten Unterschied im Hinblick auf die Pneumonieraten zwischen den zwei Beatmungsmodi gab. Diese Beobachtung unterstützt die Vermutung, dass die gewählte Beatmungsform keinen Einfluss auf das Auftreten einer Pneumonie hat.

4.11 PCV vs. VCV im Kontext der aktuellen Literatur

Setzt man die in dieser Arbeit erhobenen Daten in den Kontext der aktuellen Literatur, so zeigt sich, dass die Wahl eines druck- oder volumenkontrollierten Beatmungsmodus keinen unmittelbaren Einfluss auf die Mortalität invasiv beatmeter Menschen hat (Rittayamai et al., 2015). Deutlich wird sowohl in der Literatur als auch in dieser Arbeit die Problematik, dass Studien zu diesem Thema häufig ein kleines Kollektiv umfassen und eine exakte Vergleichbarkeit der einzelnen Beatmungsparameter innerhalb der verschiedenen Beatmungsmodi nicht erfolgte. Weitere randomisiert kontrollierte Studien, die diesen Sachverhalt untersuchen, wären hier zu empfehlen.

Es gibt Hinweise darauf, dass beatmungspflichtige Patienten, durch eine COPD begründete respiratorischen Insuffizienz, von einer druckkontrollierten Beatmung profitieren könnten (Wang, Zhou, & Zhang, 2023). Es zeigte die Studie von Wang et al. 2023, dass druckkontrolliert beatmete Patienten, die in Folge einer Exazerbation der COPD zeitweilig beatmungspflichtig wurden, signifikant geringere Spitzendrücke

benötigten und im Verlauf weniger Barotraumen entwickelten. Dies führen die Autoren u.a auf die bessere Steuerbarkeit der Beatmungsdrücke bei der druckkontrollierten Beatmung zurück. Trotz dieser Vorteile konnte kein signifikanter Unterschied in der Mortalität, dem Zeitintervall der Beatmungspflicht und der Effektivität der Oxygenierung festgestellt werden (Wang et al., 2023).

Darüber hinaus ist zu beachten, dass verringerte Spitzendrücke bei gleichbleibendem PEEP den notwendigen driving pressure minimieren können. Es konnte diesbezüglich in einer Studie gezeigt werden, dass ein verminderter driving pressure das Überleben bei ARDS Patienten verbesserte (Amato et al., 2015). Auch hier konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen einem verminderten driving pressure und einer reduzierten Krankenhausmortalität bei beatmungspflichtigen Patienten, die kein ARDS hatten, hergestellt werden. Vielmehr zeigte sich in einer anderen Arbeit eine statistisch signifikante erhöhte Mortalität bei erhöhten Beatmungsspitzenrücken (Simonis et al., 2018). Zu berücksichtigen ist aber, dass in der Auswertung des driving pressure bei Simonis et al. ein kleineres Patientenkollektiv verwendet wurde als in der Arbeit von Amato et al. (Simonis et al., 2018).

Überträgt man diese Erkenntnisse auf das hier untersuchte Patientenkollektiv, ist zunächst zu erwägen, das Hauptaugenmerk auch bei invasiv beatmeten, lungengesunden querschnittgelähmten Patienten auf die Limitierung des inspiratorischen Spitzendruckes zu legen. Da aber genau diese Begrenzung sowohl bei Verwendung der druckkontrollierten als auch volumenkontrollierten Beatmung standardmäßig in den sogenannten „Alarmgrenzen“ der Beatmungsparameter hinterlegt ist (bzw. in den 1980er und 90er Jahren mit Hilfe eines Überdruckventils realisiert wurde), sind im ambulanten Setting beide Gruppen ausreichend vor schädigenden Spitzendrücken geschützt.

Da aber durch die klinisch relevante Abnahme der pulmonalen Compliance bei Querschnittgelähmten über Jahrzehnte (Tow, Graves, & Carter, 2001) eine regelmäßige Anpassung sowohl der inspiratorischen als auch alarmgebenden Spitzendrücke erfolgen sollte, ist eine langfristige und gleichbleibend hohe fachliche Expertise im ambulanten Setting dafür eine wichtige Voraussetzung. Ausschlaggebend für eine effektive Kontrolle der Beatmungsspitzenrücke ist somit nicht der Beatmungsmodus, sondern die Qualität und Kontinuität der ambulanten intensivmedizinischen Versorgung.

Die Verwendung eines PCV-Modus kann höchstens die Aufmerksamkeit des medizinischen Personals und der versorgenden Provider früher auf die Beatmungsdrücke lenken, da diese (und eben nicht die Volumina) z.B. als Folge der abnehmenden Compliance aktiv vom medizinischen Personal inklusive der Alarmgrenzen angepasst werden müssen.

Neben dem Versuch die Beatmungsform richtig zu wählen und regelmäßig zu überprüfen, sollte ein weiterer Schwerpunkt auf eine mögliche Verbesserung der Lebensqualität gelegt werden. Die S2k Leitlinie „Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung“ weist in diesem Zusammenhang auf einen möglichen Vorteil der druckkontrollierten Beatmung während der Phonation hin (Michel et al., 2022). Da für eine Phonation eine Leckagebeatmung notwendig ist (Entblocken der Trachealkanüle) kann der betroffene Mensch unter einem voreingestellten Beatmungsdruck (PCV) und keinem definitivem festgelegtem Tidalvolumen (VCV) sprechen, ohne dass die Beatmungsmaschine vermehrt alarmiert. Dies kann im alltäglichen Leben in der Kommunikation mit anderen Menschen einen erheblichen sozialmedizinischen Vorteil darstellen.

In von mir geführten Einzeldiskussionen mit zertifizierten Atmungstherapeuten im BG Klinikum Hamburg wurde deutlich, dass sich in der Praxis der druckkontrollierte Beatmungsmodus für die Sekretmobilisation als anwenderspezifisch praktikabler erweist. Der Effekt der ausgeübten Atemtherapie (Husten- und Sekretmanagement) lässt sich auf der Grundlage der konstanten Druckeinstellungen in dieser Beatmungsform besser detektieren, da nach der Sekretmobilisation sofort der Erfolg durch Verschiebung der mittleren Beatmungsdrücke nach unten sichtbar ist.

All diese Aspekte sollten in die Wahl der Beatmungsform mit einfließen und zu einem individuell passenden Ergebnis führen.

Zusammenfassend hat sich gezeigt, dass sowohl der druckkontrollierte als auch der volumenkontrollierte Beatmungsmodus keinen Vorteil für die Patienten hinsichtlich der Überlebenszeit, der Mortalität und der Pneumonierate bietet. Zudem gibt es anhand des (kleinen) Kollektivs von im Studienzeitraum umgestellten Patienten (VCV auf PCV) einen Trend, dass eine Umstellung des Beatmungsmodus keinen Nachteil für die Patienten bedeutet. Beide Beatmungsmodi haben bei dieser Klientel ihre Berechtigung und sollten gerade bei Beatmungseintritt den Patienten angeboten und mit ihnen erprobt werden. Zudem sollten die individuellen Erwartungen der Patienten an eine Beatmung und das subjektive Wohlbefinden mit dem Beatmungsmodus berücksichtigt werden.

Es sei auf die Limitierung der Arbeit hingewiesen. Für eine höhere Aussagekraft müsste die Untersuchung mit einer größeren Stichprobe in einem standardisierten Setting überprüft werden.

5. Zusammenfassung

Funktionell komplett hochquerschnittgelähmte Patienten mit einer Läsion oberhalb von C4 sind im Regelfall nach der Entlassung weiterhin auf eine invasive, durchgehende Langzeitbeatmung angewiesen. Werden Patienten nicht durch eine Phrenicus Nervenstimulation beatmet, bleibt nur die Möglichkeit einer invasiven maschinellen druck- oder volumenkontrollierten Beatmungsform über eine Trachealkanüle. Bisherige Studien zur Wahl des Beatmungsmodus beschränken sich ausschließlich auf ein innerklinisches Setting und innerhalb dessen, vornehmlich auf lungenerkrankte Patientenkollektive (z.B. ARDS, COPD). Ziel dieser retrospektiven, monozentrischen Längsschnitt-Kohortenstudie war es, die Erfahrungen aus dem klinischen Alltag zu bestätigen, dass der gewählte Beatmungsmodus PCV bzw. VCV keinen Einfluss auf die Pneumonierate, die Überlebenszeit und die Mortalität hat, um so zu einer optimalen außerklinischen Therapie der zumeist lungengesunden hochquerschnittgelähmten Patienten beizutragen. Verglichen wurden die Ergebnisse von druck- und volumenkontrolliertem beatmetem Gruppen untereinander sowie mit einer hochquerschnittgelähmten nicht beatmungspflichtigen randomisierten Kontrollgruppe.

Es hat sich für das außerklinische Setting bestätigt, dass der gewählte Beatmungsmodus keinen Einfluss auf die Pneumonierate, die außerklinische Überlebenszeit und die Mortalität hat. Erwartungsgemäß zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen dem beatmeten Kollektiv und der nicht beatmeten Kontrollgruppe, die auch in der Vergangenheit bereits publiziert wurden.

Von besonderem medizinischem Interesse war ein kleines Patientenkollektiv von sechs Patienten, die im Beobachtungszeitraum auf eigenen Wunsch von einer volumenkontrollierten auf eine druckkontrollierte Beatmung umgestellt wurden. Auch im direkten Vergleich der Beatmungszeiträume PCV und VCV dieser Patienten zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied in der Pneumonierate, sodass, bei aller Vorsicht bezüglich der niedrigen Fallzahlen, eine Umstellung des Beatmungsmodus bei schon länger bestehender Querschnittlähmung keinen Nachteil für die Patienten bedeutet. Auffallend war ebenfalls, dass dieses kleine Kollektiv eine zur Kontrollgruppe ebenfalls vergleichbare außerklinische Überlebenszeit von knapp 20 Jahren zeigte und innerhalb dieser Gruppe kein Patient im Studienzeitraum verstorben ist.

Erklärbar könnte dieser Umstand sein durch eine erhöhte Lähmungsakzeptanz und damit verbunden ggf. auch eine verbesserte Therapieadhärenz bei erhöhter QoL der Patienten. Dies wäre eine Hypothese, auf deren Grundlage weitere versorgungsforschungsbezogene Untersuchungen folgen sollten.

Des Weiteren haben die hier erhobenen Daten eine erhöhte Mortalitätsrate der VCV-Kohorte gezeigt. Dieses Ergebnis bestätigt nun auch statistisch die Erfahrung vieler Behandler, dass eine nicht fachgerecht geschulte ambulante Intensivpflege für das untersuchte Klientel lebensgefährdend sein kann.

Weiterhin können die Ergebnisse dieser Arbeit gegebenenfalls auch auf andere invasiv dauerbeatmete und lungengesunde Patienten übertragen werden. Insbesondere ALS und MS Patienten, welche häufig in den Endstadien ihrer Erkrankung temporär oder permanent invasiv beatmet werden (wollen) (Pittock, Weinshenker, & Wijdicks, 2004; Rousseau, Pietra, Blaya, & Catala, 2011), können ebenfalls von den Ergebnissen dieser Arbeit profitieren.

Viele Betroffene berichten zudem, dass ein Sprechen unter Beatmung mit entblockter Trachealkanüle vor allem im druckgesteuerten Beatmungsmodus (PCV) ein höheres Stimmvolumen einerseits und längere Sätze andererseits generieren würden. Somit ist auf Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeit auch ein Wechsel des Beatmungsmodus im täglichen Setting (z.B. zum Zwecke der Kommunikation tagsüber druckgesteuert und zur Nacht volumengesteuert) ohne Risiken zusätzlicher pulmonaler Komplikationen möglich.

Letztlich ist aber die entscheidende Aussage dieser Arbeit im Hinblick auf die Risiken einer invasiven Langzeitbeatmung, dass die Möglichkeit einer Wahl des Beatmungsmodus ohne Abwägung eines zusätzlichen medizinischen Risikos existiert und dieser auch innerhalb der Langzeitbeatmung gewechselt werden kann. Diese Tatsache kann, trotz aller hochgradigen körperlichen Einschränkungen des alltäglichen Lebens, das Wohlbefinden der Betroffenen und damit die Lebensqualität im außerklinischen Setting anteilig steigern.

6. Stärken und Limitierungen der Arbeit

Als Limitierung dieser Arbeit ist zunächst das retrospektive Design insbesondere aufgrund der nicht definierten und standardisierten Nachuntersuchungsintervalle anzuführen. Alle Patienten wurden zwar hinsichtlich erlittener außerklinischer Pneumonien entweder befragt oder stationär im BG Unfall Klinikum Hamburg-Boberg behandelt, die Nachuntersuchungen erfolgten jedoch hauptsächlich aufgrund der empfohlenen neuro-urologischen ambulanten oder stationären Interventionen. Weiterhin sind zunächst die kleinen monozentrisch erhobenen Stichproben der Beatmungsgruppen als Limitierung einzuschätzen, aber angesichts der niedrigen Inzidenz einer hohen Querschnittlähmung mit Dauerbeatmung einerseits und der trotzdem regelhaft dokumentierten Ergebnisse im außerklinischen Setting andererseits wiederum als außergewöhnlich hochzubewerten.

Auf der anderen Seite sind die Erhebungen in einem außerklinischen Setting bei lungengesunden Patienten mit insgesamt medizinisch und statistisch vergleichbaren Gruppen als Stärken dieser Arbeit hervorzuheben. Weiterhin gibt es weltweit keine vergleichende Arbeit über einen so langen und vergleichsweise regelmäßigen Beobachtungszeitraum von hochquerschnittgelähmten dauerbeatmeten Patienten. Ebenfalls wird das Implizieren der Ergebnisse einer randomisierten Kontrollgruppe ohne Beatmung, welche ebenfalls über einen langen Zeitraum mit Ihren Ergebnissen erhoben wurde, als Vorteil dieser Arbeit gewertet.

7. Literaturverzeichnis

Literaturverzeichnis

- Adamzik, M., Bauer, A., Bein, T., Deja, M., Dembinski, R., Ellger, B., . . . Wrigge, H. (2017). *Kontrollierte Beatmungsverfahren*. In *S3-Leitlinie Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz*
- Amato, M. B., Meade, M. O., Slutsky, A. S., Brochard, L., Costa, E. L., Schoenfeld, D. A., . . . Brower, R. G. (2015). Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*, *372*(8), 747-755. doi:10.1056/NEJMsa1410639
- Ashworth, L., Norisue, Y., Koster, M., Anderson, J., Takada, J., & Ebisu, H. (2018). Clinical management of pressure control ventilation: An algorithmic method of patient ventilatory management to address "forgotten but important variables". *J Crit Care*, *43*, 169-182.
- Bein, T. (2016). Körperposition und Lungenfunktion. In T. Bein & M. Pfeifer (Eds.), *Intensivbuch Lunge und Beatmung* (Vol. 3). Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Benzer, H., Buchardi, H., Larsen, R., & Suter, P. M. (1995). respiratorische Störungen. In *Intensivmedizin* (Vol. 7.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Bickenbach, J., Bodine, C., Brown, D., Burns, A., Campbell, R., Cardenas, D., . . . Xiong, X. (Eds.). (2013). *The way forward: recommendations*.
- Brower, R. G., Matthay, M. A., Morris, A., Schoenfeld, D., Thompson, B. T., & Wheeler, A. (2000). Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*, *342*(18), 1301-1308. doi:10.1056/nejm200005043421801
- Camporota, L., & Hart, N. (2012). Lung protective ventilation. *British Medical Journal*, *344*, e2491. doi:10.1136/bmj.e2491
- Chacko, B., Peter, J. V., Tharyan, P., John, G., & Jeyaseelan, L. (2015). Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation for acute respiratory failure due to acute lung injury (ALI) or acute respiratory distress syndrome (ARDS). *Cochrane Database Syst Rev*, *1*. doi:10.1002/14651858.CD008807.pub2
- Chen, L., Xia, H.-F., Shang, Y., & Yao, S.-L. (2018). Molecular Mechanisms of Ventilator-Induced Lung Injury. *Chinese medical journal*, *131*(10), 1225-1231. doi:10.4103/0366-6999.226840
- Choi, H. J., Paeng, S. H., Kim, S. T., Lee, K. S., Kim, M. S., & Jung, Y. T. (2013). The Effectiveness of Early Tracheostomy (within at least 10 Days) in Cervical Spinal Cord Injury Patients. *J Korean Neurosurg Soc*, *54*(3), 220-224. doi:10.3340/jkns.2013.54.3.220
- De Troyer, A., & Estenne, M. (1991). The expiratory muscles in tetraplegia. *Paraplegia*, *29*(6), 359-363. doi:10.1038/sc.1991.51
- Drenckhahn, D., & Benninghoff. (2014a). Bewegungsapparat. In D. Drenckhahn & J. Waschke (Eds.), *Taschenbuch Anatomie* (Vol. 2, pp. 13-166). München: Urban&Fischer.
- Drenckhahn, D., & Benninghoff. (2014b). Kopf und Hals. In D. Drenckhahn & J. Waschke (Eds.), *Taschenbuch Anatomie* (Vol. 2, pp. 167-211). München: Urban & Fischer.
- Füssenich, W., Hirschfeld Araujo, S., Kowald, B., Hosman, A., Auerswald, M., & Thietje, R. (2018). Discontinuous ventilator weaning of patients with acute SCI. *Spinal Cord*, *56*(5), 461-468. doi:10.1038/s41393-017-0055-x
- Groß, M., Dorst, J., & Pelzer, K. (2019). Beatmung bei neuromuskulären Erkrankungen. *Neurologische Beatmungsmedizin*, 193-246.
- Gunter Nils Schmidt, & Thiele, J. (2017). Predicted Body Weight (PBW). In. Pschyrembel online: Walter de Gruyter GmbH.
- Halbertsma, F. J., Vaneker, M., Scheffer, G. J., & van der Hoeven, J. G. (2005). Cytokines and biotrauma in ventilator-induced lung injury: a critical review of the literature. *Neth J Med*, *63*(10), 382-392.

- Hamacher, J., Winning, J., Uhlig, S., Huwer, H., Lepper, P., Stammberger, U., . . . Lucas, R. (2016). Die "weiße" Lunge, Flüssigkeitsbilanz und Gewebemöostase - Pathophysiologie, Diagnostik, Management. In T. Bein & M. Pfeifer (Eds.), *Intensivbuch Lunge und Beatmung* (Vol. 3, pp. 159-208). Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Hammerschmidt, S., Wirtz, H., & Bein, T. (2016). Beatmungsinduzierte Lungenschädigung. In T. Bein & M. Pfeifer (Eds.), *Intensivbuch Lunge und Beatmung* (pp. 141-157). Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Herold, G. (2019). *Innere Medizin*. Köln: Herold.
- Hintzenstern, U. v., Bein, T., Obermayer, A., Lück, K., & Strauß, J. (2015). Grundlagen. In U. v. Hintzenstern & T. Bein (Eds.), *Praxisbuch Beatmung* (Vol. 6, pp. 1-41). München: Urban & Fischer.
- Hirschfeld, S. (2016). *Der Phrenikusnervenschrittmacher (PNS) als alternative Beatmungsform bei hochquerschnittgelähmten dauerbeatmeten Patienten : ist eine frühe operative Versorgung von medizinischem und rehabilitativem Vorteil?* (Med. Habil. Schr.), Universität zu Lübeck, Lübeck.
- Hirschfeld, S., Exner, G., Luukkaala, T., & Baer, G. A. (2008). Mechanical ventilation or phrenic nerve stimulation for treatment of spinal cord injury-induced respiratory insufficiency. *Spinal Cord*, 46(11), 738-742. doi:10.1038/sc.2008.43
- Hirschfeld, S., Exner, G., Tiedemann, S., & Thietje, R. (2010). Langzeitbeatmung querschnittgelähmter Patienten. *Trauma und Berufskrankheit*, 12(3), 177-181. doi:10.1007/s10039-010-1655-2
- Hirschfeld, S., & Thietje, R. (2018). Spezifische Aspekte der Rehabilitation bei hoher Querschnittslähmung mit Beatmung. *Neurologie & Rehabilitation*, 24 (1), 7-12.
- Jackson, A. B., Dijkers, M., Devivo, M. J., & Poczatek, R. B. (2004). A demographic profile of new traumatic spinal cord injuries: change and stability over 30 years. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(11), 1740-1748. doi:10.1016/j.apmr.2004.04.035
- Koch, H. G., Michel, F., Baumberger, M., & Felleiter, P. (2015). Querschnittslähmung: Akutbehandlung und Rehabilitation. In G. Marx, E. Muhl, K. Zacharowski, & S. Zeuzem (Eds.), *Die Intensivmedizin* (pp. 613-621). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kotaniemi, P., Kreivi, H. R., Vainionpää, A., Laaksovirta, H., Brander, P., & Siirala, W. (2020). Home invasive mechanical ventilation in Finland in 2015-2019. *ERJ Open Res*, 6(4). doi:10.1183/23120541.00223-2020
- KRINKO. (2013). Prävention der nosokomialen beatmungsassoziierten Pneumonie. In: Robert Koch-Institut, Infektionskrankheiten / Erreger.
- Larsen, R., Ziegenfuß, T., & Mathes, A. (2018). *Beatmung* (Vol. 6). Berlin: Springer.
- Leelapattana, P., Fleming, J. C., Gurr, K. R., Bailey, S. I., Parry, N., & Bailey, C. S. (2012). Predicting the need for tracheostomy in patients with cervical spinal cord injury. *J Trauma Acute Care Surg*, 73(4), 880-884. doi:10.1097/TA.0b013e318251fb34
- Lehmann, Y., Stark, S., & Ewers, M. (2016). *Versorgung invasiv langzeitbeatmeter Patienten unter regionalen Gesichtspunkten - VELA-Regio. Teil 3: Strukturen und Prozesse aus Akteursicht*.
- Marino, P. L. (2017a). Die kardiovaskuläre Leistung. In G. Geldner (Ed.), *Das ICU-Buch* (Vol. 4, pp. 132-147). München: Elsevier.
- Marino, P. L. (2017b). Überdruckbeatmung. In G. Geldner (Ed.), *Das ICU-Buch* (Vol. 4, pp. 408-421). München: Elsevier.
- Michel, F., Ketter, G., Tiedemann, S., Marcus, O., Hirschfeld, S., Landscheid, M., . . . Raab, A. M. (2022). S2k Leitlinie: Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittslähmung. (AWMF Registernummer 179-011). Retrieved 27.03.2024, from Deutschsprachige Medizinische Gesellschaft für Paraplegiologie e.V.
- Neumann, P. (2016). Lungenkollaps und Atelektasen. In Bein T. & M. Pfeifer (Eds.), *Intensivbuch Lunge und Beatmung* (pp. 111-139). Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

- Niedeggen, A. (2016). Behandlungs- und Rehabilitationskonzepte bei traumatischer Paraplegie und Tetraplegie. *Trauma und Berufskrankheit*, 18(1), 34-40. doi:10.1007/s10039-016-0118-9
- Northmann, M. (2017). *Ursachen, Lebenserwartung und Todesursachen bei Menschen mit erworbener Querschnittlähmung*. (Dr. med.), Universität zu Lübeck, Lübeck.
- Oczenski, W. (2012a). Lungendurchblutung. In W. Oczenski (Ed.), *Atmen - Atemhilfen Atemphysiologie und Beatmungstechnik* (Vol. 9., pp. 93-104). Stuttgart: Georg Thieme Verlag
- Oczenski, W. (2012b). Nebenwirkungen der maschinellen Beatmung. In W. Oczenski (Ed.), *Atmen - Atemhilfen Atemphysiologie und Beatmungstechnik* (Vol. 9., pp. 434-461). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Peterson, W. P., Barbalata, L., Brooks, C. A., Gerhart, K. A., Mellick, D. C., & Whiteneck, G. G. (1999). The effect of tidal volumes on the time to wean persons with high tetraplegia from ventilators. *Spinal Cord*, 37(4), 284-288. doi:10.1038/sj.sc.3100818
- Pfeifer, M. (2016). die pulmonale Perfusion. In T. Bein & M. Pfeifer (Eds.), *Intensivbuch Lunge und Beatmung* (Vol. 3). Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Pittock, S. J., Weinshenker, B. G., & Wijdicks, E. F. (2004). Mechanical ventilation and tracheostomy in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 75(9), 1331-1333. doi:10.1136/jnnp.2003.024257
- Rittayamai, N., Katsios, C. M., Beloncle, F., Friedrich, J. O., Mancebo, J., & Brochard, L. (2015). Pressure-Controlled vs Volume-Controlled Ventilation in Acute Respiratory Failure: A Physiology-Based Narrative and Systematic Review. *Chest*, 148(2), 340-355. doi:10.1378/chest.14-3169
- Rittner, F., & Döring, M. (2016). *Kurven und Loops in der Beatmung*. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA
- Roewer, N., & Thiel, H. (2008). Beatmungsformen. In N. Roewer & H. Thiel (Eds.), *Taschenatlas der Anästhesie* (Vol. 3). Stuttgart: Georg Thieme Verlag. doi:10.1055/b-0034-7034
- Rousseau, M. C., Pietra, S., Blaya, J., & Catala, A. (2011). Quality of life of ALS and LIS patients with and without invasive mechanical ventilation. *J Neurol*, 258(10), 1801-1804. doi:10.1007/s00415-011-6018-9
- Simonis, F. D., Barbas, C. S. V., Artigas-Raventós, A., Canet, J., Determann, R. M., Anstey, J., . . . Neto, A. S. (2018). Potentially modifiable respiratory variables contributing to outcome in ICU patients without ARDS: a secondary analysis of PROVENT. *Ann Intensive Care*, 8(1), 39. doi:10.1186/s13613-018-0385-7
- Spahn, B., & Gerner, H. J. (2002). *Querschnittlähmung*. In *Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie und des Berufsverbandes der Ärzte für Orthopädie (BVO)*
- Tan, G. P., Soon, L. H. Y., Ni, B., Cheng, H., Tan, A. K. H., Kor, A. C., & Chan, Y. (2019). The pattern of use and survival outcomes of a dedicated adult Home Ventilation and Respiratory Support Service in Singapore: a 7-year retrospective observational cohort study. *J Thorac Dis*, 11(3), 795-804. doi:10.21037/jtd.2019.02.18
- Thietje, R., Kowald, B., Schulz, A. P., Northmann, M., & Hirschfeld, S. (2018). Entstehungsursachen, Lebenserwartung und Todesursachen bei Menschen mit traumatischer Querschnittlähmung – Eine monozentrische Analyse von 190 Fällen. *Trauma und Berufskrankheit*, 20(2), 151-156. doi:10.1007/s10039-018-0383-x
- Tow, A. M., Graves, D. E., & Carter, R. E. (2001). Vital capacity in tetraplegics twenty years and beyond. *Spinal Cord*, 39(3), 139-144. doi:10.1038/sj.sc.3101136
- Wang, J. J., Zhou, Z., & Zhang, L. Y. (2023). Clinical evaluation of ventilation mode on acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease with respiratory failure. *World J Clin Cases*, 11(26), 6040-6050. doi:10.12998/wjcc.v11.i26.6040

- Watt, J. W. H., Wiredu, E., Silva, P., & Meehan, S. (2011). Survival after short- or long-term ventilation after acute spinal cord injury: a single-centre 25-year retrospective study. *Spinal Cord*, 49(3), 404-410. doi:10.1038/sc.2010.131
- Windisch, W., Brambring, J., Budweiser, S., Dellweg, D., Geiseler, J., Gerhard, F., . . . Winterholler, M. (2009). *Beatmungsmodus*. In *S2 – Leitlinie Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz*.
- Windisch, W., Dreher, M., Geiseler, J., Siemon, K., Walterspacher, S., Brambring, J., . . . Young, P. (2017). *Druck- vs. Volumenvorgabe* In *S2k Leitlinie - Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz Revision 2017*.

8. Anhänge

Tab. 1: Geschlechterverteilung aller Gruppen (n=131).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	48	21	21	6
Patientenkollektiv männlich	68 (81,9%)	40 (83,3%)	19 (90,5%)	17 (81%)	4 (66,7%)
Patientenkollektiv weiblich	15 (18,1%)	8 (16,7%)	2 (9,5%)	4 (19%)	2 (33,3%)

Tab. 2: Lähmungshöhenverteilung aller Gruppen aufgeteilt nach AIS Score (n=131).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	48	21	21	6
C0	0	9 (18,8%)	6 (28,6%)	1 (4,8%)	2 (33,3%)
AIS Typ A	0	7	4	1	2
AIS Typ C	0	2	2	0	0
C2	0	25 (52,1%)	7(33,3%)	14 (66,7%)	4 (66,7%)
AIS Typ A	0	21	6	12	3
AIS Typ B	0	3	1	1	1
AIS Typ C	0	1	0	1	0
C3	0	10 (20,8%)	5 (23,8%)	5 (23,8%)	0
AIS Typ A	0	7	5	2	0
AIS Typ B	0	1	0	1	0
AIS Typ C	0	2	0	2	0
C4	32 (38,6%)	1 (2,1%)	1 (4,8%)	0	0
AIS Typ A	32	1	1	0	0

C5	37 (44,6%)	0 (0%)	0	0	0
AIS Typ A	37	0	0	0	0
C6	14 (16,9%)	1 (2,1%)	0	1 (4,8%)	0
AIS Typ A	14	1	0	1	0
T3	0	1 (2,1%)	1 (4,8%)	0	0
AIS Typ A	0	1	1	0	0
T4	0	1 (2,1%)	1 (4,8%)	0	0
AIS Typ A	0	1	1	0	0

Tab. 3: Lähmungsgenese aller Gruppen (n=131).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	48	21	21	6
traumatisch	82 (98,8%)	36 (75%)	15 (71,4%)	16 (76,2%)	5 (83,3%)
Ab-/Sturz/Sprung	27 (32,5%)	12 (25%)	6 (28,6%)	5 (23,8%)	1 (16,7%)
Fahrradunfall	5 (6%)	6 (12,5%)	2 (9,5%)	4 (19%)	0
Fußgängerunfall	4 (4,8%)	0	0	0	0
Motorradunfall	10 (12%)	4 (8,3%)	3 (14,3%)	1 (4,8%)	0
PKW Unfall	32 (38,6%)	8 (16,7%)	3 (14,3%)	3 (14,3%)	2 (33,3%)
Maschinenunfall	0	2 (4,2%)	0	1 (4,8%)	1 (16,7%)
Sonstige	4 (4,9%)	4 (8,4%)	1 (4,8%)	2 (9,6%)	0
<i>herabstürzender Gegenstand</i>	2 (2,4%)	1 (2,1%)	0	1 (4,8%)	0
<i>Geburtstrauma</i>		1 (2,1%)	0	1 (4,8%)	0

<i>Badeunfall</i>	1 (1,2%)	1 (2,1%)	1 (4,8%)	0	0
<i>Schuss</i>	1 (1,2%)	1 (2,1%)	0	0	1 (16,7%)
atraumatisch	1 (1,2%)	12 (25%)	6 (28,6%)	5 (23,8%)	1 (16,7%)
degenerativ	1 (1,2%)	1 (2,1%)	0	1 (4,8%)	0
Entzündung	0	7 (14,6%)	4 (19%)	3 (14,3%)	0
gefäßbedingt	0	3 (6,3%)	2 (9,5%)	0	1 (16,7%)
Tumor benigne	82 (98,8%)	1 (2,1%)	0	1 (4,8%)	0

Tab. 4: dauerhafter Entlassungsort aller Gruppen (n=131).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	48	21	21	6
Heim/betreutes Wohnen	17 (20,5%)	12 (25%)	5 (23,8%)	6 (28,6%)	1 (16,7%)
alte/s Wohnung/Haus	40 (48,2%)	25 (52,1%)	10 (47,6%)	10 (47,6%)	5 (83,3%)
neue/s Wohnung/Haus	26 (31,3%)	11 (22,9%)	6 (28,6%)	5 (23,8%)	0

Tab. 5: Kostenträger aller Gruppen (n=131).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	48	21	21	6
GKV	45 (54,2%)	27 (56,3%)	10 (47,6%)	14 (66,7%)	3 (50%)
PKV	9 (10,8%)	12 (25%)	7 (33,3%)	3 (14,3%)	2 (33,3%)
BG	29 (35%)	9 (18,8%)	4 (19%)	4 (19%)	1 (16,7%)

Tab. 6: Vorerkrankungen aller Gruppen (n=186), Mehrfachnennung möglich.

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	109	77	40	31	6
Keine	48 (44%)	16 (20,8%)	3 (7,5%)	8(25,8%)	5 (83,3%)
kardiologisch	11 (10,1%)	10 (13%)	6 (15%)	4 (12,9%)	0
endokrinologisch	6 (5,5%)	8 (10,4%)	5(12,5%)	3 (9,7%)	0
gastroenterologisch	6 (5,5%)	3 (3,9%)	3 (7,5%)	0	0
neurologisch	1 (0,9%)	6 (7,8%)	2 (5%)	4 (12,9%)	0
Nikotinabusus	0	6 (7,8%)	3 (7,5%)	2 (6,5%)	1 (16,7%)
orthopädisch	12 (11%)	7 (9,1%)	4 (10%)	3 (9,7%)	0
pneumologisch	5 (4,6%)	3 (3,9%)	2 (5%)	1 (3,2%)	0
Tumor	0	3 (3,9%)	2 (5%)	1 (3,2%)	0
Alkoholabusus	3 (2,8%)	4 (5,2%)	4 (10%)	0	0
urologisch	0	1 (1,3%)	1 (2,5%)	0	0
Verbrennungen	0	1 (1,3%)	0	1 (3,2%)	0
psychiatrisch	5 (4,6%)	1 (1,3%)	1 (2,5%)	0	0
nephrologisch	1 (0,9%)	1 (1,3%)	1 (2,5%)	0	0
dermatologisch	0	1 (1,3%)	1 (2,5%)	0	0
Drogenabusus	2 (1,8%)	1 (1,3%)	1 (2,5%)	0	0
Adipositas	1 (0,9%)	1 (1,3%)	1 (2,5%)	0	0
Decubitus	3 (2,8%)	2 (2,6%)	0	2 (6,5%)	0
genetisch	0	2 (2,6%)	0	2 (6,5%)	0

gynäkologisch	2 (1,8%)	0	0	0	0
HNO	1 (0,9%)	0	0	0	0
ophthalmologisch	1 (0,9%)	0	0	0	0
infektiologisch	1 (0,9%)	0	0	0	0

Tab. 7: Mortalitätsraten aller Gruppen (n=131).

	Kontroll- gruppe	MV-gesamt	PCV	VCV	VCV/PCV
Anzahl	83	48	21	21	6
Patientenkollektiv verstorben	8 (9,6%)	20 (41,7%)	7 (33,3%)	13 (61,9%)	0
Patientenkollektiv lebend	75 (90,4%)	28 (58,3%)	14 (66,7%)	8 (38,1%)	6 (100%)

9. Danksagungen

Ich möchte mich an dieser Stelle bei einigen Personen bedanken, die mich bei meiner Doktorarbeit maßgeblich unterstützt und begleitet haben.

Ich danke Herrn PD Dr. med. Sven Hirschfeld, der mir stets ein verlässlicher Doktorvater und eine beständige Stütze in dem Prozess war. Sein Blick auf die Materie sowie die wertschätzende und kollegiale Zusammenarbeit ermöglichten mir eine tiefgründige und fundierte Auseinandersetzung mit der Thematik. Ich danke ihm für seine selbstverständliche Ansprechbarkeit und seine andauernde Präsenz in diesem Prozess.

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Roland Thietje, der mir als Chefarzt des Querschnittgelähmten-Zentrums die Themenauswahl ermöglicht und die dafür benötigten Daten zu Verfügung gestellt hat.

Ich danke dem ärztlichen Direktor Prof. Dr. med. Karl-Heinz Frosch, der mir die Durchführung dieser Arbeit ermöglicht hat.

Ich danke Dr. rer. hum. biol. Birgitt Kowald für die unermüdliche fachliche Unterstützung insbesondere im Hinblick auf die Auswertung der Daten. Sie hat mir stets auf meine Anliegen und Fragen mit Rat und Antworten zur Seite gestanden.

Schließlich möchte ich meinen Eltern und meiner Schwester danken, die mir in diesem langen Prozess durch ihre Geduld und ihr offenes Ohr eine große Stütze waren. Besonders meiner Mutter möchte ich an dieser Stelle danken, die mich emotional und fachlich in dieser Zeit begleitet hat.