

Veronika Schradi

Die Bedeutung von Atmung, Lungenfunktion, Trachealkanülenzustand und invasiver Beatmung für das Sprechen und Schlucken

**Eine prospektive Untersuchung zum
Einfluss dreier Trachealkanülen-
Beatmungs-Modi auf das Schlucken und
die Atem-Sprech-Koordination von
teilbeatmeten Patienten**

DOI : <https://doi.org/10.51363/unifr.lth.2025.056>

Veronika Schradi  <https://orcid.org/0009-0008-4363-6523>

© Veronika Schradi, 2025



Cet ouvrage est publié sous une licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) : <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Die Bedeutung von Atmung, Lungenfunktion, Trachealkanülenzustand und invasiver Beatmung für das Sprechen und Schlucken

Eine prospektive Untersuchung zum Einfluss dreier Trachealkanülen-
Beatmungs-Modi auf das Schlucken und die Atem-Sprech-Koordination von
teilbeatmeten Patienten

Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde an der Philosophischen Fakultät
der Universität Freiburg (Schweiz)

Genehmigt von der Philosophischen Fakultät auf Antrag der Professoren
Prof. Dr. E. Hartmann (1. Gutachter) und Prof. Dr. med. E. Seifert (2. Gutachter).

Freiburg, den 26. Mai 2025

Prof. Dr. D. Schöbi, Dekan

Schradi, Veronika
Tegernsee (Deutschland)

Für Lissi

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Vorgehen.....	5
2	Grundlagen der Atmung und Beatmung.....	7
2.1	Physiologie der Atmung	7
2.1.1	Das Atemsystem.....	7
2.1.2	Atemmechanik	10
2.1.3	Gasaustausch	15
2.1.4	Atemregulation	16
2.1.5	Ventilationsgrößen.....	17
2.1.6	Pulmonale Reinigungsmechanismen und Hustenreflex	19
2.2	Beatmung bei respiratorischer Insuffizienz	22
2.2.1	Beatmungsformen	24
2.2.2	Weaning – Die Entwöhnung von der Beatmungsmaschine.....	28
2.2.2.1	Schluckdiagnostik im Weaningprozess.....	30
2.2.2.2	Die Rolle der Hustenkraft für Extubations- und Dekanülierungsversuche ...	32
3	Die Rolle der Atmung in der Stimmgebung und beim Sprechen	37
3.1	Phonation.....	37
3.2	Modulation der Stimme	39
3.3	Sprechatmung.....	42
3.4	Strukturierung gesprochener Äusserungen durch Pausen und Atempausen.....	46
3.4.1	Phonologische Hierarchie und Pausensetzung	46
3.4.2	Position von Sprech- und Atempausen beim Lesen	52

3.5	Steuerung und Kontrolle der Sprechatmung	57
3.6	Auswirkungen einer reduzierten Lungenfunktion auf Stimme, Sprechen und Atem-Sprech-Koordination	60
4	Die Rolle der Atmung beim Schlucken.....	67
4.1	Atem-Schluck-Koordination.....	67
4.1.1	Physiologische Überlegungen und Beobachtungen zur Atem-Schluck-Koordination	67
4.1.2	Steuerung der Atem-Schluck-Koordination	69
4.1.3	Respirationsphase und Schlucken.....	71
4.1.4	Lungenvolumen und subglottischer Druck beim Schlucken	77
4.1.5	Die Schluckapnoe	80
4.2	Auswirkungen reduzierter Lungenfunktion und Reinigungsmechanismen auf das Schlucken	83
4.2.1	Laryngealer Hustenreflex und Schluckfähigkeit.....	84
4.2.2	Studien zum Schlaganfall	87
4.2.3	Studien zur COPD	87
4.2.4	Studien zum Parkinson-Syndrom.....	90
4.2.5	Studien zu neuromuskulären Erkrankungen.....	91
4.2.6	Studien zu zervikalen Rückenmarksverletzungen.....	92
5	Atemtraining und Einsatz von Atemtechniken in der logopädischen Therapie ..	95
5.1	Auswirkung respiratorischer Trainings auf das Sprechen	96
5.2	Auswirkung eines respiratorischen Trainings auf willkürliche Reinigungsfunktionen und das Schlucken.....	100
6	Die Rolle der Atemsituation im therapeutischen Trachealkanülenmanagement bei invasiv beatmeten Patientinnen und Patienten	110
6.1	Wichtige Prinzipien eines interprofessionellen Trachealkanülenmanagements	110
6.2	Bedeutung der physiologischen Luftstromführung unter Spontanatmung.....	116

6.3	Möglichkeiten einer physiologischen Luftstromführung bei invasiver Beatmung....	120
6.4	Verbale Kommunikationsmöglichkeiten bei tracheotomierten Patientinnen und Patienten mit Beatmung und deren Auswirkung auf das Sprechen	126
6.4.1	Elektrolarynx	126
6.4.2	Sprechventil in Spontanatmungsphasen	127
6.4.3	Above Cuff Vocalisation	128
6.4.4	Leckage-Beatmung (Leak Speech).....	129
6.4.5	Inline-Sprechventil	130
6.4.6	Blom® Sprech-Innenkanüle	131
6.4.7	Schlussfolgerungen	131
6.5	Der Einfluss verschiedener Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf das Schlucken	134
6.5.1	Sprechventil	134
6.5.2	ACV	137
6.5.3	Leckage-Beatmung.....	138
6.5.4	Inline-Ventile	139
6.5.5	Blom® Sprech-Innenkanüle	140
6.5.6	Schlussfolgerungen	140
7	Empirische Untersuchung	146
7.1	Fragestellungen und Hypothesen	146
7.2	Methodisches Vorgehen.....	149
7.2.1	Untersuchungsdesign und Ablauf	149
7.2.2	Stichprobe	151
7.2.3	Durchführung und Erhebungsinstrumente	153
7.2.3.1	<i>Die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.....</i>	<i>153</i>
7.2.3.2	<i>Schlucken.....</i>	<i>153</i>
7.2.3.3	<i>Lungenparameter (PCF und FVC)</i>	<i>158</i>
7.2.3.4	<i>Aufgaben der Maximalleistung beim Sprechen</i>	<i>160</i>

7.2.3.5	<i>Atem-Sprech-Koordination beim Lesen</i>	162
7.2.3.6	<i>Subjektives Empfinden</i>	164
7.2.4	Datenanalyse.....	165
7.3	Ergebnisse	167
7.3.1	Beschreibung der Stichprobe	167
7.3.2	Einfluss der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Schlucken	170
7.3.3	Einfluss der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf Reinigungsfunktionen ...	174
7.3.4	Einfluss der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Sprechen	176
7.3.5	Subjektives Empfinden in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.....	182
7.4	Diskussion der Ergebnisse	185
7.4.1	Schlucken mit unterschiedlichen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	185
7.4.2	Sprechen mit unterschiedlichen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	190
7.4.3	Das subjektive Wohlbefinden in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen.....	195
7.4.4	Grenzen der Studie und Implikationen für zukünftige Forschung	195
8	Fazit	198
9	Zusammenfassung	200
	Verzeichnisse	203
	Abbildungsverzeichnis	203
	Tabellenverzeichnis	205
	Abkürzungsverzeichnis	207
	Literaturverzeichnis	210
	Anhang	240
	Danksagung	262

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Behandlung von beatmungspflichtigen Patientinnen und Patienten auf der Intensivstation hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Waren dies 2007 in Deutschland noch 135 688 (25.0 %), so stieg die Anzahl innerhalb von acht Jahren auf 224 852 (30.5 %) (Fleischmann-Struzek et al., 2019). Auch in der Schweiz ist auf Intensivstationen mit einem weiteren Anstieg chronisch und schwer kranker Patientinnen und Patienten zu rechnen (Fröhlich et al., 2017). Neben der zunehmenden Häufung von Mehrfacherkrankungen, schweren Lungenerkrankungen und dem Anstieg des durchschnittlichen Alters sind auch die Fälle mit schwierigem und prolongiertem Weaning in den letzten Jahren deutlich gestiegen (Schönhofer et al., 2016). Eine internationale Studie zu Weaningstrategien und Outcome auf Intensivstationen ($N = 5869$) zeigt, dass der Anteil derer, die ein prolongiertes Weaning durchlaufen, bei 9.6 % liegt. Innerhalb von 90 Tagen auf der Intensivstation kann bei 65 % der Personen das Weaning erfolgreich abgeschlossen werden. Ein Anteil von 6.6 % wird allerdings vor einem ersten oder nach einem gescheiterten Entwöhnungsversuch mit Beatmung verlegt (Pham et al., 2023). Dies zeigt sich auch in der stationären Aufnahme von im ausserklinischen Bereich langzeitbeatmeten Patientinnen und Patienten, welche sich von 2006 bis 2016 mehr als verdreifacht haben (Karagiannidis et al., 2019). Unter beatmungspflichtigen Personen jeglicher Ätiologie leidet ein beträchtlicher Anteil nach Extubation unter einer Dysphagie. So ist die Länge der invasiven Beatmung als ein Prädiktor für Dysphagien zu sehen, die Dysphagie geht wiederum mit einem schlechteren Outcome der Betroffenen einher (Macht et al., 2013; Macht et al., 2011; Zuercher et al., 2020). Vor allem in der neurologisch-neurochirurgischen Frührehabilitation tritt diese Koinzidenz gehäuft auf. In einer retrospektiven multizentrischen Erhebung lag zu Beginn der Frührehabilitation der Anteil an beatmeten Personen ($N = 754$) bei etwa einem Viertel; von diesen wurden 13 % mit Beatmung entlassen. Bei der Aufnahme waren 42 % mit einer Trachealkanüle versorgt, gut die Hälfte von ihnen konnte dekanüliert werden (54 %). Eine Dysphagie wurde zu Beginn in 62 % der Fälle diagnostiziert, bei der Entlassung noch bei 30 % (Pohl et al., 2016). Vor allem unter den initial beatmungspflichtigen Personen war ein hoher Anteil an Dysphagien (87 %) zu beobachten (Rollnik et al., 2017, S. 664). Die initiale Beatmungspflicht erhöhte das Sterberisiko deutlich, nicht beatmungspflichtige Personen hatten hingegen höhere Chancen auf ein gutes Outcome (Pohl et al., 2016).

Folglich sind bedeutende Ziele in der Akut- oder Folgerehabilitation, die Betroffenen möglichst schnell und sicher von der Beatmung und der Trachealkanüle zu entwöhnen sowie eine vorhandene Schluckstörung zu rehabilitieren, da beide Faktoren ein positives langfristiges Outcome der Betroffenen begünstigen (Pohl et al., 2011).

Schönhofer et al. (2019, S. 733) heben hervor, dass Personen mit prolongiertem Weaning, persistierender Dysphagie und demzufolge mit andauernder Notwendigkeit für eine Trachealkanüle eine spezielle Klientel darstellen, die lange Zeit zu wenig Beachtung erfahren habe.

Aufgrund der geschilderten Entwicklung werden auch Logopädinnen und Logopäden¹ auf der Intensivstation, der Normalstation, in der Anschlussbehandlung, der Rehabilitation oder auch in der Heimpflege zunehmend mit der Behandlung von beatmeten oder teilbeatmeten Personen konfrontiert. Dies erfordert allerdings auch eine differenzierte Auseinandersetzung mit *fachfremden* Aspekten der Beatmung und des Weanings. Darüber hinaus muss eruiert werden, wie die Dysphagietherapie und das therapeutische Trachealkanülenmanagement trotz Anwesenheit der Beatmung am besten erfolgen können, insbesondere im Falle eines prolongierten Weanings oder bei anhaltender Beatmungspflicht.

Bei spontanatmenden Personen mit Trachealkanüle wird die Herstellung einer physiologischen Luftstromführung durch die Anwesenheit eines Ventils oder einer Verschlusskappe auf der entblockten Trachealkanüle angestrebt und trainiert (Ledl et al., 2023). Mögliche kurz- und langfristige positive Effekte der physiologischen Luftstromführung auf die Schluckfähigkeit wurden vielfach untersucht, sodass deren Training beispielsweise auch in der Leitlinie für Neurogene Dysphagien empfohlen wird (Dziewas & Pflug, 2020). Ob und wann die Herstellung der physiologischen Luftstromführung bei beatmeten Personen stattfinden soll, wird hingegen kontrovers diskutiert. Während einige Quellen – aus Furcht vor Komplikationen – empfehlen, Entblockungsversuche auf Spontanatemphasen im Weaning zu reduzieren oder erst nach erfolgreichem Weaning zu beginnen, plädieren andere wiederum für frühe erste Entblockungsversuche schon im Weaning. Grundsätzlich sei dies ohne besondere Risiken und mit gleichem oder sogar besserem Outcome möglich (Whitmore et al., 2020).

Wie sich die Verwendung eines Ventils an der Beatmung auf die Schluckfähigkeit auswirkt, wurde zumindest in einigen wenigen Studien untersucht, welche von positiven langfristigen Effekten berichten (K. A. Rodrigues et al., 2015; Whitmore et al., 2020). Zum unmittelbaren Benefit findet sich aber erstaunlicherweise wenig. Die meisten Quellen verweisen auf jene Studien, die unter Spontanatmung durchgeführt wurden, und gehen davon aus, dass die Ergebnisse theoretisch auf die Beatmungssituation übertragen werden können (Fröhlich et al., 2017; Schwegler, 2022, S. 153). Doch gerade für die Schluckdiagnostik, das Schlucktraining oder die Oralisierung in der Beatmungssituation ist fraglich, ob die Anwesenheit eines Ventils die Schluckfähigkeit beeinflusst oder nicht. Ein

¹ Mit den Begriffen *Logopädinnen* und *Logopäden* werden im Folgenden selbstverständlich auch andere Berufsbezeichnungen eingeschlossen, die im hier beschriebenen Aufgabenfeld der *logopädischen* Therapie tätig sind, z. B. Sprachheilpädagoginnen und Sprachheilpädagogen, klinische Linguistinnen und Linguisten sowie weitere Berufsbezeichnungen, die der diversen Ausbildungslandschaft in diesem Bereich geschuldet sind.

unmittelbarer Vergleich der Schluckfähigkeit in unterschiedlichen Modifikationen der Trachealkanüle und der Beatmung (geblockt, entblockt, mit Ventil, ohne Ventil) steht noch aus. Diese Forschungslücke gilt es in Anbetracht der zunehmenden Fallzahlen zur Beatmung dringend zu schliessen.

Hinzu kommt ein weiterer Aspekt, dem im therapeutischen Handeln aus Erfahrung zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Schluckstörungen treten nicht selten auch im Rahmen von Lungenerkrankungen bzw. Störungsbildern mit eingeschränkter Lungenfunktion auf. Eine schlechtere Lungenfunktion und schlechtere Reinigungsfunktionen gehen in diesen Fällen häufig auch mit negativen Schluckfunktionen einher (Ghannouchi et al., 2016; Gonzalez Lindh et al., 2017; Matsumoto et al., 2023). Zudem leidet die Atem-Schluck-Koordination unter einer eingeschränkten Lungenkapazität (Garand et al., 2022; Gross et al., 2009). K. Frank und Frank (2020, S. 28) fassen die Bedeutung der Atmung für das Schlucken wie folgt zusammen: «Atmen und Schlucken sind interaktive Funktionen, deren komplexes Zusammenspiel die Basis bildet für eine sichere Nahrungsaufnahme und ein effektives Speichel- und Sekretmanagement».

Es stellt sich somit weiter die Frage, ob bei teilbeatmeten Personen die An- oder Abwesenheit der Maschine die Atem-Schluck-Koordination sowie die Schluckfähigkeit in relevantem Masse beeinflusst. Vereinzelt wurde dies im Rahmen neuromuskulärer Erkrankungen bereits gezeigt (Terzi et al., 2007; Terzi et al., 2010). Gerade bei Patientinnen und Patienten, die zwischen Beatmung und Spontanatmung wechseln, müsste ein allfälliger Unterschied nicht nur in der Therapie, sondern auch in der Diagnostik berücksichtigt werden.

Das Zusammenspiel von Atmung und Schlucken spielt nicht nur bei beatmeten Personen eine bedeutsame Rolle und verdient eine höhere Beachtung.

Im therapeutischen Trachealkanülenmanagement von beatmeten Personen ist eine weitere wichtige Aufgabe das Ermöglichen von verbaler Kommunikation (Heidler & Bidu, 2015). Durch den Wegfall der Phonation durch die geblockte Trachealkanüle wird diese vulnerable Klientel zusätzlich mit vielen negativen Gefühlen konfrontiert (Hoorn et al., 2016; Zaga et al., 2019). Dadurch wird es den Betroffenen auch deutlich erschwert, am eigenen Gesundheitsversorgungsplan zu partizipieren (Leder, 1994; Manzano et al., 1993). Der Leidensdruck durch die fehlende verbale Kommunikationsmöglichkeit war bei einem jungen Betroffenen so gross, dass er selbst schon vor vielen Jahren ein Sprechventil für die Beatmungsmaschine entwickelte (Passy et al., 1993). Obwohl heute verschiedene Lösungen zur verbalen Kommunikation an der Beatmung als machbar, nützlich und sicher gelten (Zaga et al., 2019), werden sie nur in wenigen Fällen tatsächlich angewendet (Zaga, Berney et al., 2023). Da sich die einzelnen Lösungen sehr unterschiedlich auf die Atem-Sprech-Koordination und das Sprechen auswirken, gilt ferner zu klären, mit welcher Kommunikationsmöglichkeit beatmete Patientinnen oder Patienten am besten zurechtkommen und

von welcher sie am meisten profitieren (Hoorn et al., 2016), sodass sie am sozialen Leben wieder besser teilnehmen können.

Doch auch ohne bestehende Beatmungspflicht wirkt sich eine reduzierte Lungenfunktion in vielen Bereichen negativ auf das Sprechen aus. Neben eingeschränkten prosodischen Merkmalen reduziert sich beispielsweise die Äusserungslänge durch die Kurzatmigkeit und sie geht mit erhöhter Pausensetzung einher. Zudem leiden die Betroffenen unter Atemnot und negativen Gefühlen beim Sprechen (Binazzi et al., 2011; Hoit et al., 1990; Watson & Hixon, 2001). Die Einschränkungen mögen in Anbetracht der Gesamtsituation dieser Personen zwar unbedeutend wirken, dabei sollte jedoch dringend berücksichtigt werden, dass die verbale Kommunikationsfähigkeit ein zentrales Bedürfnis und ein entscheidender Faktor für die Lebensqualität der Betroffenen ist (Foster, 2010; Freeman-Sanderson et al., 2016a; Wallace et al., 2023) und daher optimiert werden sollte.

Eine Auseinandersetzung mit dem Thema Atmung und Lungenfunktion scheint daher auch im Rahmen der logopädischen Therapie jenseits von Stimmstörungen unausweichlich und sollte in der Diagnostik und Therapie mehr Aufmerksamkeit bekommen. Nicht nur in der Behandlung von beatmeten Personen, sondern auch bei persistierenden respiratorischen Einschränkungen sollten Auswirkungen der Atemfunktion auf das Sprechen und Schlucken genauestens eruiert und berücksichtigt werden, oder um es in den Worten von K. Frank und Frank (2020, S. 29) wiederzugeben: «Viele interaktive Wirkmechanismen sind (...) noch ungeklärt. So bleibt es spannend, sich mit der Atmung zu beschäftigen, da diese die Basis bildet für viele – fast alle – Funktionsbereiche unseres Organismus, und Ideen zu entwickeln, wie die Atemtherapie effektiv in das Dysphagiemanagement eingebunden werden kann».

1.2 Zielsetzung

Aus den genannten Überlegungen heraus ist es das übergeordnete Ziel dieser Arbeit, den Aspekt *Atmung* ins Zentrum zu rücken und deren interaktive Rolle beim Sprechen und Schlucken differenziert zu beleuchten. Inwiefern eine eingeschränkte Lungenfunktion die Atem-Sprech-Koordination, die Reinigungsfunktionen sowie die Atem-Schluck-Koordination beeinflusst, gilt es umfassend zu analysieren. Der Fokus liegt dabei auf der Behandlung von tracheotomierten Personen mit andauernder Beatmungspflicht und jenen im prolongierten Weaningprozess. Ferner soll geklärt werden, auf welcher Forschungsgrundlage Strategien im therapeutischen Trachealkanülenmanagement basieren.

Das Kernziel ist es, in einer eigenen empirischen Arbeit zu eruieren, ob sich verschiedene Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen bei teilbeatmeten Patientinnen und Patienten unter-

schiedlich auf das Sprechen, auf Reinigungsfunktionen sowie auf das Schlucken auswirken. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen Implikationen für die weiterführende Forschung, aber auch für das interprofessionelle Weaning- und Dekanülierungsmanagement sowie für die logopädische Diagnostik und Therapie abgeleitet werden.

1.3 Vorgehen

Um das logopädische Aufgabenfeld *Sprechen* und *Schlucken* unter Fokussierung der Atmung zu betrachten, werden zu Beginn des theoretischen Teils (Kapitel 2) Grundlagen zur physiologischen Atmung und insuffizienten Lungenfunktion dargestellt. Daraufhin folgen Prinzipien der maschinellen Beatmung sowie der Entwöhnung von der Beatmung, wobei der Studienlage zur Bedeutung der Schluckdiagnostik und des Hustens für die Extubation bzw. die Dekanülierung besondere Beachtung geschenkt wird.

In Kapitel 3 erfolgt eine theoretische Auseinandersetzung zur Bedeutung der Atmung für die Stimmgebung und das Sprechen, wobei die Koordination von Atmung und Sprechen im Mittelpunkt steht. Dass dieses Zusammenspiel komplexer Art ist, wird in den Ausführungen zur Strukturierung gesprochener Äusserungen deutlich. Nach einem kurzen Exkurs zur phonologischen Hierarchie von Äusserungen werden Erkenntnisse zur Position von Atem- und Sprechpausen erläutert und mit der zentralen Steuerung der Sprechatmung in Verbindung gebracht. Auf Basis dieser Grundlagen wird der Forschungsstand zu den Auswirkungen einer reduzierten Lungenfunktion auf die Stimmgebung und Atem-Sprech-Koordination besprochen.

Analog zur Atem-Sprech-Koordination wird sich in Kapitel 4 dem aktuellen Wissensstand zur Atem-Schluck-Koordination gewidmet. Neben physiologischen Aspekten und der neuronalen Steuerung werden Kenntnisse zur Respirationsphase, zum Lungenvolumen und zum subglottischen Druck beim Schlucken sowie zur Schluckapnoe berücksichtigt. Darauf aufbauend wird der Einsatz des laryngealen Hustenreflextests im Rahmen der Dysphagiediagnostik besprochen und ein detaillierter Forschungsüberblick zu den Folgen einer eingeschränkten Lungenfunktion auf das Schlucken im Rahmen unterschiedlicher Störungsbilder gegeben.

Inwiefern ein Atemtraining oder Atemtechniken in der logopädischen Therapie berücksichtigt werden können, und welche Effekte ein Training der Respiration auf das Sprechen und Schlucken haben kann, wird in einem ausführlichen Überblick zu Studien in diesem Bereich eruiert (Kapitel 5).

Im letzten grossen theoretischen Teil (Kapitel 6) steht die Rolle der Atemsituation im Rahmen des therapeutischen Trachealkanülenmanagements von invasiv beatmeten Patientinnen und Patienten im Fokus. Neben wichtigen Prinzipien eines interprofessionellen Trachealkanülenmanagements finden hier die verschiedenen Möglichkeiten und die Bedeutung der physiologischen Luftstromführung unter

Spontanatmung sowie Beatmung Berücksichtigung. Zudem werden die im Weaningprozess möglichen Modifikationen der Trachealkanüle und Beatmung erläutert. Dabei wird in einem letzten detaillierten Forschungsüberblick aufgeführt, was über die Auswirkungen der jeweiligen Modifikationen auf das Sprechen und Schlucken bekannt ist, wie diese Kenntnisse einzuordnen sind und zu welchen Aspekten noch Klärungsbedarf besteht.

Anschliessend an die theoretische Auseinandersetzung mit der Thematik folgt in Kapitel 7 der empirische Teil der Arbeit. Zu Beginn werden die abgeleiteten Hypothesen und Forschungsfragen dargestellt. Danach wird das methodische Vorgehen erläutert. Dies beinhaltet eine Beschreibung des Studiendesigns, des Studienablaufs und der Stichprobe, eine kritische Auseinandersetzung mit der Auswahl an Messinstrumenten sowie eine detaillierte Beschreibung der Durchführung und Datenanalyse. Im Anschluss daran werden die Ergebnisse in der Reihenfolge der Fragestellungen und Hypothesen präsentiert und diskutiert, zudem werden daraus Implikationen für weitere Diagnostik und Therapie abgeleitet. Nach einer kritischen Auseinandersetzung mit den Grenzen der durchgeführten Untersuchung und Implikationen für zukünftige Forschungsarbeiten wird die Arbeit mit einem Fazit abgeschlossen (Kapitel 8).

2 Grundlagen der Atmung und Beatmung

Berufsbedingt verfügen Logopädinnen und Logopäden über ein differenziertes Wissen zur Anatomie, Physiologie und Pathologie des Sprech-, Stimm- und Schluckapparates. Grundlagen hierzu müssen daher an dieser Stelle nicht erläutert werden. Doch wenn es um die Atmung und den Atemapparat, die Atemmechanik, die Atemregulation usw. geht, kommen erfahrungsgemäss mehr oder weniger grosse Wissenslücken zum Vorschein. Insbesondere Wissen zur insuffizienten Lungenfunktion und Beatmungsmedizin sind eher *fachfremde Themengebiete*, mit denen sich lediglich wenige Personen in diesem Beruf differenziert auseinandersetzen. Um dem übergeordneten Ziel dieser Arbeit Rechnung zu tragen und den Zusammenhang von Atmung und Sprechen sowie Atmung und Schlucken vollumfänglich zu verstehen, werden daher im Folgenden zuerst diverse Aspekte zur physiologischen Atmung und Lungenfunktion erläutert, bevor dann im Rahmen insuffizienter Lungenfunktion Grundlagen der Beatmung erklärt werden.

2.1 Physiologie der Atmung

2.1.1 Das Atemsystem

Bei der Inspiration wird über die Alveolen (Lungenbläschen) Sauerstoff aus der Luft in den Blutkreislauf aufgenommen, bei der Expiration wird Kohlendioxid aus dem Blutkreislauf ausgeschieden. Diesen Vorgang nennt man auch *äussere Atmung*. Alle Organe, die an der äusseren Atmung beteiligt sind, gehören zum Atemsystem. Den Gasaustausch von Kohlendioxid (CO₂) und Sauerstoff (O₂) zwischen dem Gewebe und dem Kapillarblut des Körperkreislaufs nennt man hingegen auch *innere Atmung* (Rutte & Sturm, 2018, S. 4).

Die Atemwege werden in den oberen und unteren Respirationstrakt unterteilt. Die oberen Atemwege bestehen aus Mund und Nase (mit Nasennebenhöhlen), dem Pharynx, der wiederum in Naso-, Oro- und Laryngopharynx unterteilt werden kann, und aus dem Larynx. Ihre Aufgabe ist die Erwärmung, Anfeuchtung und Filterung der eingeatmeten Luft sowie deren Turbulenz, worunter ein möglichst grossflächiger Kontakt zur Schleimhaut verstanden wird. Der Larynx schützt nicht nur vor Aspiration beim Schlucken und ist für die Stimmgebung zuständig, sondern er bildet auf Ebene der Glottis (Stimmlippenebene) zudem die Grenze zu den unteren Atemwegen (Brougham et al., 2011, S. 4ff.).

Die 10–12 cm lange, elastische Trachea (Lufttröhre) besteht aus 12–20 nach hinten geöffneten Knorpelspannen sowie aus elastischem Binde- und Muskelgewebe. An der Bifurkation teilt sie sich in die zwei Hauptbronchien. Der Bronchialbaum zweigt immer weiter auf, insgesamt 23-mal, jede Verzweigung wird *Generation* genannt. Mit den Bronchiolen ab der 17. Generation des Bronchialbaumes beginnt der für den Gasaustausch zuständige Bereich: der alveolare Bereich (Lang,

2020, S. 6f.). Im Gasaustauschsystem enthalten die Wände der Bronchiolen mit zunehmender Verzweigung immer mehr Lungenbläschen, bis schliesslich die Wände ganz verschwunden sind und sich nur noch Lungenbläschen aneinanderreihen (Schindelmeiser, 2014, S. 67).

Die unteren Atemwege setzen sich somit aus der Trachea, dem aus ihr abzweigenden Bronchialsystem/Bronchialbaum der Lunge, also den Bronchien und Bronchiolen, sowie aus den Alveolen zusammen. Für den Gasaustausch ist allein der alveolare Bereich zuständig, alle anderen anatomischen Strukturen der Atemwege haben lediglich luftleitende Funktion (Lang, 2020, S. 4ff.; Larsen et al., 2018, S. 4ff.).²

Die Belüftung der Lunge, die sogenannte Ventilation, erfolgt über die rhythmischen Volumenänderungen des Brustkorbes (Thorax), wodurch sich ebenfalls das Lungenvolumen ändert (Spiecker-Henke & Tuschy-Nitsch, 2014, S. 237). Dies geschieht durch folgende Mechanismen:

Der Brustkorb besteht aus zwölf Brustwirbeln und deren Bandscheiben, dem Brustbein (Sternum) und zwölf Rippenpaaren. Die ersten zehn Rippenpaare sind durch Rippenwirbelgelenke mit der Wirbelsäule und durch Rippenknorpel mit dem Brustbein verbunden, die elften und zwölften Rippen enden frei, wodurch die Beweglichkeit des Thorax gewährleistet wird. Bei Inspiration vergrössert sich der Brustkorb horizontal und vertikal, d. h. die oberen Rippen weiten sich ventral-cranial, die unteren lateral-cranial. Bei Expiration verengt sich der Thorax wieder in Gegenrichtung (Rutte & Sturm, 2018, S. 4).

Die beiden Lungenflügel sind mit der Pleura visceralis (Lungenfell) überzogen und liegen an der Innenwand des Brustkorbes an, welche wiederum mit der Pleura parietalis (Rippenfell) überzogen ist. Durch den Unterdruck im dazwischenliegenden Pleuraspalt und der dort befindlichen Flüssigkeit haften die beiden Schichten aneinander. Allerdings bleiben Lungen- und Brustfell trotzdem frei verschiebbar, sodass sich das Lungenvolumen der Formveränderung des Thorax anpassen kann. Ein Kollabieren der Lunge wird dadurch vermieden (Faller & Schünke, 2008, S. 416f.; Schultz-Coulon, 2000, S. 1f.).

Die Volumenänderung des Brustkorbes und somit auch der Lunge erfolgt über die Atemmuskulatur, die mit der jeweiligen Funktion und Innervation in Tabelle 1 aufgelistet ist. Die Inspirationsmuskulatur sorgt für die Volumenerweiterung des Thorax, zum einen durch Senkung des Zwerchfells nach unten (Bauchatmung), zum anderen durch Anhebung des Rippengürtels (Brustatmung). Beide Prozesse können unabhängig voneinander erfolgen, im Normalfall kommt es aber zu einer Kombination beider Bewegungen (gemischte Brust-Bauchatmung) (Kurtz, 2019, S. 314).

Der wichtigste Inspirationsmuskel ist das Zwerchfell (Diaphragma). Es stellt eine 3–5 mm dicke Muskelplatte dar, die am Sternum, den unteren Rippen und der Lendenwirbelsäule befestigt ist. Es ragt

² Nähere Ausführungen zur Anatomie der Atemwege, insbesondere der Lunge, finden sich exemplarisch bei Lang (2020) oder Larsen et al. (2018).

Tabelle 1

Zusammenstellung der Inspirations- und Expirationsmuskeln mit ihrer jeweiligen Funktion und Innervation nach Nawka und Wirth (2008, S. 6ff.)

Name	Muskel für Inspiration/ Expiration	Funktion bei der Atmung	Innervation
Oberflächliche Brustmuskeln:			
M. pectoralis major (grosser Brustmuskel)	Inspiration	Atemhilfsmuskel Rippenzug nach vorne (2.–7. Rippe) bei fixiertem Arm (Hauptaufgabe Armsenkung)	Nn. thoracici ventrales (Äste des Plexus brachialis)
M. pectoralis minor (kleiner Brustmuskel)	Inspiration	Atemhilfsmuskel Rippenzug nach oben (2.–5. Rippe) bei fixiertem Arm und Schultergürtel	Nn. thoracici ventrales (Äste des Plexus brachialis)
M. subclavius (Unterschlüsselbeinmuskel)	Inspiration	Hochziehen der 1. Rippe	N. subclavius (Ast des Plexus brachialis)
Mm. scaleni (schiefe oder ungleichseitige dreieckige Muskeln)	Inspiration	Rippenheber (1./2. Rippe), seitliche Beugung der Halswirbelsäule	Ast des Plexus cervicalis
M. serratus anterior (Vorderer Sägemuskel)	Inspiration	Heben der Rippen (1.–9. Rippe) bei fixiertem Schulterblatt	N. thoracicus longus (Ast des Plexus brachialis)
M. serratus posterior superior (hinterer oberer Sägemuskel)	Inspiration	Rippenheber (2.–5. Rippe)	Nn. intercostales
M. serratus posterior inferior (hinterer unterer Sägemuskel)	Expiration	Rippensenker (9.–12. Rippe)	Nn. intercostales
Tiefe Brustmuskeln:			
Mm. intercostales externi (äussere Zwischenrippenmuskeln)	Inspiration	Rippenheber	Nn. intercostales
Mm. intercostales interni (innere Zwischenrippenmuskeln)	Inspiration und Expiration	Im vorderen Bereich des Brustkorbes Rippenheber (Inspiration). Im mittleren und seitlichen Bereich Rippensenker (Expiration)	N. intercostales
Mm. subcostales (innere Rippenmuskeln)	Expiration	Rippensenker	Nn. intercostales
M. transversus thoracis (querer Thoraxmuskel)	Expiration	Rippensenker (2.–6. Rippe)	Nn. intercostales
M. sternothyroideus (Brustbein-Schildknorpelmuskel)	Inspiration	Heben des Brustbeines bei fixiertem Kehlkopf (Hauptaufgabe Kippen des Schildknorpels, Entspannung der Stimmlippen)	Ansa nervi hypoglossi
Diaphragma (Zwerchfell)	Inspiration	Wichtigster Einatemungsmuskel, Senkung der Zwerchfellkuppel, Anhebung der kaudalen Rippen, Kompression der Baueingeweide	N. phrenicus (Ast des Plexus cervicalis, entspringt dem 3., 4. und 5. Halsnerv)
Bauchmuskeln:			
M. obliquus externus abdominis (äusserer schräger Bauchmuskel)	Expiration	Abwärtsbewegung der unteren 8 Rippen, Erhöhung des Eingeweidedruckes gegen das Zwerchfell	Nn. intercostales
M. obliquus internus abdominis (innerer schräger Bauchmuskel)	Expiration	Thoraxsenker (9.–12. Rippe)	Nn. intercostales
M. rectus abdominis (gerader Bauchmuskel)	Expiration	Thoraxsenker (5.–7. Rippe)	Nn. intercostales
M. transversus abdominis (querer Bauchmuskel)	Expiration	Rippensenker (7.–12. Rippe), Verkleinerung der Brusthöhle	Nn. intercostales
M. quadratus lumborum (quadratischer Lendenmuskel)	Expiration	Zieht 12. Rippe nach unten	Ast des Plexus lumbalis

kuppelförmig in den Thorax und trennt die Bauchhöhle vom Thorax. Die Muskelfasern ziehen in das Zentrum des Zwerchfells, einer V-förmigen, gelappten Sehnenplatte. Die Innervation des Zwerchfells erfolgt über den N. phrenicus, der dem dritten bis fünften Halswirbel (C3–C5) entspringt. Die Kontraktion des Zwerchfells führt zu einer Abflachung desselben sowie zu einer Anhebung der unteren Rippen. Die so entstandene Zunahme des Lungenvolumens (v. a. in Längsrichtung) macht etwa zwei Drittel des Ruheatemzugvolumens aus (Larsen et al., 2018, S. 19, S. 29ff.).

Die Interkostalmuskulatur liegt zwischen den einzelnen Rippen, wobei die innere und äussere Schicht gekreuzt verlaufen. Die Mm. intercostales externi verlaufen schräg von der oberen Rippe nach vorne unten zur nächsten Rippe. Die Mm. Intercostales interni verlaufen dagegen gegengleich von der oberen Rippe schräg nach hinten unten zur nächsten Rippe (Larsen et al., 2018, S. 19). Durch Kontraktion der äusseren Zwischenrippenmuskulatur werden die Rippen nach vorne, seitlich und nach hinten angehoben, sodass sich die Lungenflügel zirkulär weiten. Weitere Hebermuskeln sowie Atemhilfsmuskeln unterstützen die Volumenerweiterung des Thorax (Lang, 2020, S. 13).

Durch Erschlaffen der Inspirationsmuskulatur und der elastischen Retraktionskräfte (oder Rückstellkräfte) des Thorax geht der Brustkorb in seine Ausgangslage zurück, die Expiration erfolgt demnach vorwiegend passiv (vgl. Kapitel 2.1.2). Eine forcierte bzw. verstärkte Ausatmung kann jedoch durch Aktivität der expiratorischen Atemmuskulatur unterstützt werden. Dies ist beispielsweise beim Sprechen, Lachen, Niesen, Husten, bei Atmung unter Belastung oder erschwelter Expiration nötig (Rutte & Sturm, 2018, S. 7f.).

Welche physikalischen und mechanischen Prozesse in diesem Atemsystem ablaufen, wird im folgenden Kapitel 2.1.2 erörtert.

2.1.2 Atemmechanik

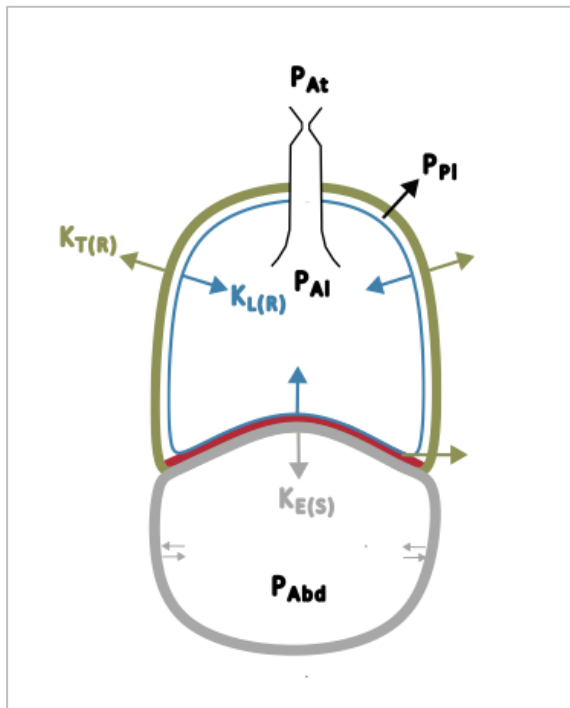
Ein normaler Atemzyklus besteht aus drei Phasen: der Einatmung, der Ausatmung und einer Atemruhephase. In Ruhe sind diese drei Phasen in etwa gleich lang. Unter physischer oder psychischer Belastung verändert sich dieser Atemzyklus, allerdings in Abhängigkeit vom Trainingszustand bzw. gesundheitlichen Zustand einer Person und deren erlerntem Atemmuster. Je nachdem verkürzt sich die Atemruhephase oder entfällt gänzlich, auch die Ein- und Ausatmung verändert sich (Rutte & Sturm, 2018, S. 12). Wie diese verschiedenen Atemmuster mechanisch zustande kommen, soll im Folgenden näher erläutert werden.

Die Ruheposition des Atemapparates bezeichnet – bei geöffneten Stimmlippen (Schindelmeiser, 2014, S. 69) – die Lungen- und Thoraxposition zwischen Ausatmung und Einatmung (Abbildung 1). Sie stellt eine ausgeglichene Position aller wirkenden Kräfte dar: Die Atemmuskulatur ist entspannt, der atmos-

phärische Aussendruck sowie der Luftdruck im Tracheobronchialbaum sind identisch. Auch die elastische, nach innen gerichtete Retraktionskraft der Lunge bildet ein Kräftegleichgewicht mit der nach aussen wirkenden elastischen Kraft der Thoraxwand, der Schwerkraft der Eingeweide sowie dem abdominalen Druck (Rutte & Sturm, 2018, S. 12; Schultz-Coulon, 2000, S. 3).

Abbildung 1

Schematische Darstellung des Atemapparates in Atemruhelage und aufrechter Haltung



Anmerkungen. grün = Thorax; blau = Lunge; rot = Zwerchfell; grau = Abdomen; P_{At} = atmosphärischer Druck; P_{Al} = alveolärer Druck; P_{Abd} = abdominaler Druck; P_{Pi} = Druck im Pleuraspalt; $K_{L(R)}$ = elastische Rückstellkraft der Lunge; $K_{T(R)}$ = elastische Rückstellkraft des Thorax; $K_E(S)$ = Schwerkraft der Organe. Alle wirkenden Kräfte (Pfeile) befinden sich in einem Gleichgewicht (Eigene Darstellung in Anlehnung an Schultz-Coulon, 2000, S. 3).

Um diese Atemruhestellung in die eine oder andere Richtung zu verändern, d. h. um die wirkenden Retraktionskräfte von Lunge oder Thorax zu überwinden, ist inspiratorische oder expiratorische Muskelarbeit nötig. Der halbstarre-elastische Thorax bewegt sich demnach zum einen durch Aktivität der inspiratorischen und expiratorischen Atemmuskulatur, zum anderen passiv durch die elastischen Retraktionskräfte (Schultz-Coulon, 2000, S. 1ff.).

Wie in Kapitel 2.1.1 bereits erwähnt, erfolgt bei der physiologischen kosto-abdominalen Ruheatmung die Inspiration zum Grossteil über das Zwerchfell (Diaphragma), wodurch zwei Drittel des Atemvolumens abgedeckt werden. Eine Kontraktion (Anspannung) des Zwerchfells führt zu dessen aktiver Senkung und somit zu einer Erweiterung des Brustraumes in Längsrichtung. Zudem werden dadurch die unteren Rippen nach vorne und zur Seite, und die Bauchwand nach aussen angehoben.

Der Abdomeninhalt wird mit Unterstützung der Schwerkraft nach unten verdrängt und komprimiert. Die äusseren Zwischenrippenmuskeln unterstützen die Anhebung der Rippen bei vertiefter Ruheatmung (Larsen et al., 2018, S. 19f., S. 29ff.). Die Lunge passt sich durch Anhaften an der Innenwand des Thorax der entstandenen Volumenänderung an, wodurch auch die Bronchien und Alveolen erweitert werden. Zudem bewirkt die Volumenänderung, dass der intrapulmonale Druck gegenüber dem atmosphärischen negativ wird. Der entstandene Unterdruck in der Lunge verursacht wiederum einen Luftstrom über die oberen Atemwege in die Lunge, bis der intrapulmonale Druck wieder dem atmosphärischen Druck entspricht (Larsen et al., 2018, S. 30; Rutte & Sturm, 2018, S. 12). Die Expiration der Ruheatmung erfolgt in der Regel passiv durch die entstandenen elastischen Retraktionskräfte. Die Inspirationsmuskulatur relaxiert und das Zwerchfell geht in die Ausgangslage zurück, wobei die Retraktionskräfte des verdrängten Abdomeninhaltes in die gleiche Richtung wirken und mithelfen. Die Retraktionskräfte der Lunge lassen das Lungenvolumen kleiner werden, der Thorax folgt dieser Volumenverkleinerung, und auch der Querschnitt der Bronchien und Alveolen geht zurück. Der Druck in der Lunge wird gegenüber dem atmosphärischen Druck positiv, sodass Luft aus den Atemwegen ausströmt, bis wieder ein Gleichgewicht zwischen allen wirkenden Kräften geschaffen wurde. Die Atemruhelage ist wieder hergestellt und der Zyklus beginnt erneut (Rutte & Sturm, 2018, S. 13). Eine schematische Darstellung der muskulären Aktivitäten sowie die entstehenden Retraktionskräfte bei der In- und Expiration sind in Abbildung 2 dargestellt.

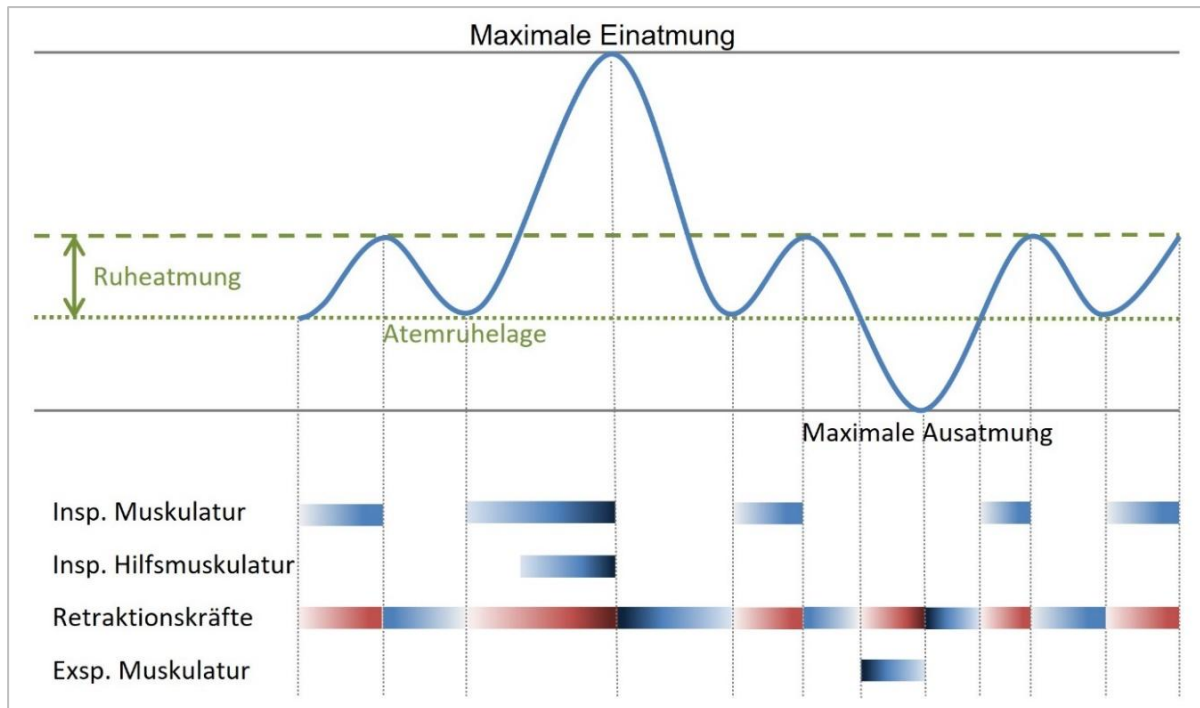
Neben der Ruheatmung ist ausserdem eine Leistungsatmung möglich, z. B. bei höheren körperlichen Belastungen oder in Notsituationen, welche ebenfalls in Abbildung 2 angedeutet wird. Zum einen erhöht sich die Atemfrequenz, zum anderen werden zusätzliche inspiratorische und expiratorische Atem- und Atemhilfsmuskeln eingesetzt. Bei der Einatmung wird die Rippenhebung durch die inspiratorische Atemhilfsmuskulatur unterstützt, wodurch der Thorax und somit auch die Lunge stärker gedehnt und erweitert werden, was wiederum zur weiteren Erhöhung der Oberflächenspannung der Alveolen führt. Dadurch strömt noch mehr Luft in die Lunge ein und das inspiratorische Reservevolumen wird ausgeschöpft (siehe auch Kapitel 2.1.5; Abbildung 3). Die elastischen Retraktionskräfte für die Expiration verstärken sich. Durch sie erfolgt die Ausatmung bis zur Ruhestellung wieder passiv.

Eine forcierte Ausatmung über die Ruhestellung hinaus erfordert allerdings die Aktivität der Expirationsmuskulatur, um den Thorax, das Lungenvolumen und die Oberflächenspannung der Alveolen auf eine minimale Grösse zu bringen. Durch den erhöhten intrapulmonalen Druck strömt mehr Luft aus, das respiratorische Reservevolumen wird ausgeschöpft (vgl. 2.1.5, Abbildung 3). In dieser Position unterhalb der Atemruhelage drängen die elastischen Retraktionskräfte im Falle einer Muskelentspannung diesmal hin zu einer inspiratorischen Atembewegung in Richtung Ruhelage. Ab

hier ist für die weitere Einatmung wieder inspiratorische Muskelarbeit nötig (Nawka & Wirth, 2008, S. 12; Schindelmeiser, 2014, S. 69f.; Schultz-Coulon, 2000, S. 3ff.).

Abbildung 2

Vereinfachte schematische Darstellung der an der Atembewegung beteiligten Muskel- und Retraktionskräfte in Ruheatmung sowie bei der maximalen Ein- und Ausatmung



Anmerkungen. Die Farbänderungen der Balken stehen für unterschiedlich starke Kräfte, je dunkler, desto grösser die Kraft. Die blau dargestellten Kräfte bewirken die Atembewegung, die rot markierten Retraktionskräfte wirken entgegen der Bewegungsrichtung und müssen überwunden werden (Eigene Darstellung in Anlehnung an Gick et al., 2013, S. 65).

Um sich von der Atemruhelage zu entfernen, sind zusammenfassend also aktive inspiratorische und expiratorische Muskelkräfte nötig. Innerhalb des geschilderten Kräftegleichgewichtes entstehen gegenüber der Atmosphäre positive bzw. negative intrapulmonale Luftdrücke, die die Luft ein- und ausströmen lassen (Hixon et al., 1976). Zusammen mit der Gravitation und in Abhängigkeit von der Körperposition werden elastische Retraktionskräfte aufgebaut, welche nach einer Muskelentspannung den Thorax wieder passiv in Richtung Ausgangslage zurückfallen lassen. Möglich ist allerdings auch, dass sie eine aktive Bewegung in die gleiche Richtung unterstützen (Schultz-Coulon, 2000, S. 6).

Neben den bereits erwähnten elastischen Retraktionskräften muss die Atemmuskulatur aber auch noch andere nichtelastische, visköse Atemwiderstände überwinden: Strömungswiderstände in den Atemwegen sowie Reibungswiderstände, die durch Bewegung des Thorax- und Lungengewebes entstehen (Oczenski, 2017, S. 30). Das Mass für den Atemwegswiderstand ist die *Resistance*. Die Dehnbarkeit der Lunge wird *Compliance* genannt und beschreibt die elastischen Eigenschaften der

Lunge (Oczenski, 2017, S. 42ff.). Da die Compliance im Bereich der Atemruhelage am grössten ist, gilt das Atmen rund um die Atemruhelage am ökonomischsten und wird als physiologische Atmung bezeichnet (Schultz-Coulon, 2000, S. 6).³

Neben der bereits beschriebenen physiologischen kosto-abdominalen Atmung sind auch andere Atemtypen zu beobachten. Erfolgt die Einatmung vorwiegend über die Zwerchfellsenkung, wird von einem abdominalen Atemtyp gesprochen. Durch die Verschiebung des Abdomeninhaltes kommt es zwar zu einer Anhebung der Bauchdecke, aber durch die alleinige Erweiterung des Brustraumes nach unten und die fehlende Hebung der Rippen wird der Brustkorb eher abgeflacht. Im Falle einer kostalen oder thorakalen Atmung (Brustatmung) erfolgt die Thoraxerweiterung dagegen hauptsächlich durch die Anhebung der Rippen und des Brustkorbes. Das Zwerchfell wird dadurch allerdings nach oben gezogen, sodass die Bauchwand eher abflacht (Schultz-Coulon, 2000, S. 4; Schutte & Seidner, 2005, S. 4). Wird zusätzlich zur Brustatmung der gesamte Schultergürtel angehoben, wird dies Klavikularatmung bzw. Schulter- oder Schlüsselbeinatmung genannt (Nawka & Wirth, 2008, S. 12; Schindelmeiser, 2014, S. 43).

Die Volumenänderung der Lunge kann also durch verschiedene Muskeln gemeinsam oder durch bestimmte Muskeln isoliert hervorgerufen werden, wobei auch paradoxe Bewegungen in Bezug auf die Volumenänderung der Lunge zu beobachten sind, wie bei der abdominalen oder kostalen bzw. thorakalen Atmung (Hixon et al., 1973, S. 80). Da das Zwerchfell den Grossteil der pulmonalen Volumenänderung erwirken kann, gilt «eine ausgewogene kombinierte kostoabdominale Atmung, die sich in einer gleichzeitigen und gleichmässigen Anhebung und Senkung von Brust- und Bauchwand äussert, seit jeher als der effektivste und energetisch sparsamste Atmungstyp» (Schultz-Coulon, 2000, S. 4).

Durchaus interessant ist die Frage, welchen Einfluss die Körperposition auf die Atmung hat. Die Forschergruppe rund um Hixon konnte zeigen, dass eine Volumenänderung der Lunge unterhalb der Atemruhelage vor allem mit Volumenänderungen des Bauchraumes einhergeht, oberhalb der Atemruhelage dagegen mit Volumenänderungen des Brustkorbes (Hixon et al., 1973; Hixon et al., 1976). Die Körperposition hat darauf ebenfalls Einfluss. In aufrechter Position wirken die Gravitationskräfte auf den Brustkorb im Sinne der Expiration nach unten, auf den Bauchraum im Sinne der Inspiration, da das Zwerchfell und die Eingeweide nach unten gezogen werden. Im Liegen wirken dagegen auf beide Bereiche Kräfte in Richtung Expiration. Im Liegen ist daher das expiratorische

³ Vertiefende Ausführungen sowie die graphische Darstellung der aktiven und passiven Kräfte bei Ruheatmung und vertiefter Atmung in Form eines Druckvolumendiagrammes finden sich beispielsweise in Schultz-Coulon (2000, S. 6).

Reservevolumen geringer als in aufrechter Position und die Erweiterung des Bauchraumes hat hier einen grösseren Einfluss auf die Volumenänderung der Lunge als die Erweiterung des Brustraumes.

Dementsprechend kann beobachtet werden, dass die Ruheatmung in aufrechter Position in der Regel kosto-abdominal ist und die Brustkorbbewegungen dabei ausgeprägter sind. Die Bewegungen können in dieser Position mit geringem Widerstand durchgeführt werden, d. h. es ist weniger Muskularbeit nötig. Im Liegen überwiegen dagegen Bauchwandbewegungen und für die Ruheatmung ist mehr Muskularbeit nötig, da der Druck auf den Brustkorb im Liegen höher ist als im Sitzen⁴ (Hixon et al., 1973, S. 91ff.; Hixon et al., 1976, S. 340ff.).

Auch die Vitalkapazität verändert sich mit der Körperposition. Sie ist im Liegen 20 % niedriger als im Sitzen (Larsen et al., 2018, S. 25).

Für die therapeutische Praxis lässt sich daraus ableiten, dass Personen mit pulmonalen Einschränkungen so weit wie möglich aufrecht gelagert werden sollten, da sie dann für die Erweiterung des Lungenvolumens am wenigsten Kraft benötigen.

Das geschilderte komplexe Zusammenspiel ist nötig, um den lebenswichtigen Gasaustausch durchgehend zu gewährleisten, welcher im Kapitel 2.1.3 erklärt wird.

2.1.3 Gasaustausch

Durch den Wechsel von Inspiration und Expiration wird die Lunge, genauer gesagt das Gasaustauschsystem, ventiliert (vgl. 2.1.1). In Ruheatmung haben gesunde Personen normalerweise eine Atemfrequenz von 12 bis 15 Atemzyklen pro Minute (Schindelmeiser, 2014, S. 73). Die Ventilation, also Belüftung der Lunge, sorgt zusammen mit der Perfusion, der Durchblutung der Lunge, für den Gasaustausch. Dieser findet zwischen der Alveolarluft und dem Kapillarblut statt und ist ein Diffusionsvorgang. Bei unterschiedlicher Konzentration von Molekülen in Flüssigkeiten oder Gasen wandern diese in Richtung niedriger Konzentration, bis der Mengenunterschied ausgeglichen ist. Dieser Vorgang der Diffusion läuft bei höherem Konzentrationsunterschied schneller ab.

Bei Inspiration durchmischt sich die eingeatmete Luft mit der Alveolarluft durch Diffusion. Vereinfacht dargestellt diffundieren Sauerstoffmoleküle von der Alveolarluft in das Kapillarblut, Kohlendioxidmoleküle wandern dagegen entgegengesetzt vom Kapillarblut in die Alveolarluft und werden ausge-

⁴ Die Forschungsgruppe der Harvard School of Public Health hat hierzu mehrere Veröffentlichungen beigetragen, in denen die Ruheatmung, Sprech- und Singatmung näher untersucht wurden. Mit ihren Messungen konnten sie Relaxationslinien für die Versuchspersonen bestimmen, d. h. für jedes Lungenvolumen wurde die jeweils ideale Verteilung von Brust- und Bauchraumerweiterung bestimmt, bei der die Muskulatur am meisten entspannt war und somit am wenigsten Widerstand vorlag. Die so ermittelten ökonomischen Relaxationslinien verglichen sie mit Atembewegungen unter verschiedenen Bedingungen. Exemplarische Arbeiten aus dieser Forschungsgruppe sind Konno und Mead (1967), Hixon et al. (1973) und Hixon et al. (1976).

atmet. Die Ventilation sorgt für den Luftaustausch und die Erneuerung des Konzentrationsunterschieds von Sauerstoff und Kohlendioxid in der Alveolarluft und im Kapillarblut (Rutte & Sturm, 2018, S. 13f.). Da die Strukturen vom Mund- oder Naseneingang bis zum alveolaren Bereich zwar belüftet werden, aber nicht am Gasaustausch beteiligt sind, wird das Luftvolumen in diesem Bereich auch Totraum genannt. Genauer muss zwischen anatomischem (d. h. Volumen in den Luftwegen) und alveolärem Totraumvolumen unterschieden werden. Zusammen bilden sie das funktionelle Totraumvolumen (Rutte & Sturm, 2018, S. 14). Alveoläre Ventilation wird dagegen nur der Anteil an Atemluft genannt, welcher im alveolären Bereich am Gasaustausch beteiligt ist (Larsen et al., 2018, S. 8, S. 27ff.). Vereinfacht ausgedrückt sorgt die Durchblutung der Lungenkapillaren, welche die Alveolen netzartig umgeben, für die Sauerstoffanreicherung des dort vorhandenen venösen Blutes. Sowohl der Vorgang der Ventilation als auch jener der Perfusion werden von der Schwerkraft beeinflusst, sodass in Abhängigkeit von der Körperposition die unteren Lungenabschnitte besser durchblutet werden, die oberen dagegen besser belüftet (Rutte & Sturm, 2018, S. 14ff.).

Da an späterer Stelle noch die Koordination von Atmung und Sprechen bzw. Schlucken in den Fokus rückt (Kapitel 3, 4), wird in Kapitel 2.1.4 weiterhin besprochen, inwiefern die Atemsteuerung reflektorisch erfolgt und in welchem Ausmass sie willkürlich beeinflusst werden kann.

2.1.4 Atemregulation

Die Regulation der Atmung richtet sich nicht nur nach den Sauerstoff- und Kohlendioxidanteilen, sondern auch nach dem pH-Wert. «Ein Grossteil der beim Stoffwechsel anfallenden Säure wird in Form von Kohlendioxid über die Lunge ausgeschieden. So hat die Atmung einen wesentlichen Anteil an der Regulation des Säure-Basen-Gleichgewichts» (Rutte & Sturm, 2018, S. 15).

Der neuronale Atemrhythmus besteht aus drei Phasen, da neben der Inspirationsphase (I-Phase) die Expiration in die Postinspirationsphase (P_I-Phase) mit passiver Ausatmung und in die Expirationsphase (E₂-Phase) mit aktiver Ausatmung aufgeteilt wird. Die aktive E₂-Phase entfällt allerdings bei Ruheatmung (Larsen et al., 2018, S. 55).

Die Atemregulation erfolgt zentral und chemisch, wobei auch andere Faktoren bzw. unspezifische Reize diese beeinflussen können. Inspiratorische, postinspiratorische und expiratorische Neurone bilden ein in sich verbundenes neuronales Netzwerk, welches zusätzlich mit anderen Netzwerken synaptisch verschaltet ist. Es wird durch rhythmische, erregende Zuflüsse aus der Medulla oblongata (dem verlängerten Rückenmark) aktiviert, wodurch wiederum hemmende oder erregende postsynaptische Potenziale ausgelöst werden. So entsteht die periodische Ventilation der Lunge (Faller & Schünke, 2008, S. 412f.; Larsen et al., 2018, S. 55f.).

Zentrale und periphere Chemorezeptoren kontrollieren die Blutgase und den pH-Wert im arteriellen Blut, genauer den Partialdruck des Kohlendioxids ($p_a\text{CO}_2$), den Sauerstoffpartialdruck ($p_a\text{O}_2$) und den pH-Wert bzw. die Wasserstoff-Ionenkonzentration (H^+). Durch reflektorische Anpassung der Atmung werden diese Faktoren möglichst konstant gehalten und kontrolliert. Der Anstieg des CO_2 -Wertes hat dabei gegenüber dem Abfall der O_2 -Konzentration eine dominierende Wirkung auf die Atemregulation. Durch die Rückkopplung der chemischen Atemantriebe erfolgt eine Regulierung der Atmung und automatische Anpassung an die Bedürfnisse des Organismus (Faller & Schünke, 2008, S. 412f.; Larsen et al., 2018, S. 56ff.).

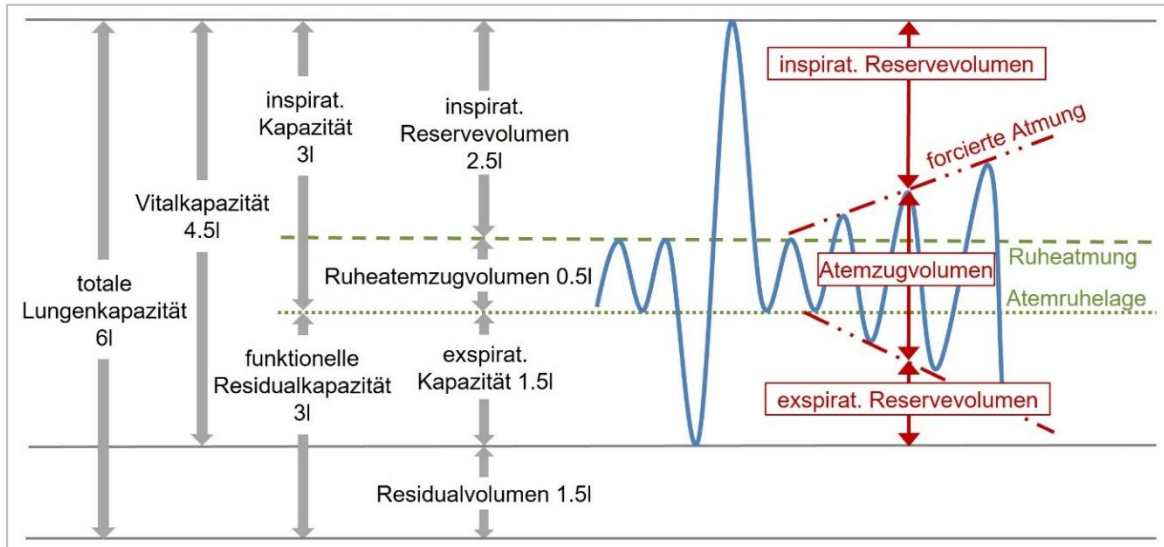
Die menschliche Atemregulation unterliegt aber nicht ausschliesslich diesen zentralen und chemischen Regulationsprozessen. Da der *Formatio reticularis* auch Afferenzen (aufsteigende Bahnen) aus der Peripherie zufließen, können ausreichend starke Reize aus der Körperperipherie die zentrale-chemische Atemregulation beeinflussen. Zu nennen wären hier beispielsweise eine willkürliche Steigerung des Atems über den Cortex und das respiratorische Netzwerk, wie es zum Beispiel beim Singen und Sprechen der Fall ist (siehe Kapitel 3.3). Zudem kann der Atem willkürlich angehalten werden, zumindest bis zum Abfall des $p_a\text{CO}_2$ auf einen Grenzwert von 50 mm Hg⁵. Ein weiteres Beispiel für die Beeinflussung der Atemregulation ist das Husten oder Niesen. Dabei werden über chemo- und mechanosensible Sensoren im Atemsystem laryngeale und tracheale Schutzreflexe ausgelöst. Weitere Veränderungen der Atmung gibt es u. a. bei körperlicher Anstrengung, psychischer Erregung, Schmerz- und Temperaturreizen, durch Hormone (z. B. in der Schwangerschaft) und bei Blutdruckschwankungen (Faller & Schünke, 2008, S. 412ff.; Larsen et al., 2018, S. 56ff.).

2.1.5 Ventilationsgrößen

Bezüglich der verschiedenen Ventilationsgrößen müssen statische und dynamische Lungenvolumen unterschieden werden. Dynamische Volumen sind von der Atemstromstärke bzw. vom zeitlichen Verlauf abhängig, statische sind von der Atemstromstärke unabhängig. Atemvolumen, die aktiv durch die Atemmuskulatur ein- und ausgeatmet werden können, nennt man mobilisierbare Lungenvolumen. Sie können direkt über die Spirometrie gemessen werden. Die nicht messbaren Anteile, welche nach maximaler Ausatmung in der Lunge verbleiben, sind nichtmobilisierbare Lungenvolumen (Larsen et al., 2018, S. 24). Die wichtigsten Größen sind in Abbildung 3 dargestellt und werden an dieser Stelle kurz erklärt.

⁵ Millimeter-Quecksilbersäule (mm Hg) ist eine Druckeinheit. Der Grenzwert von 50 mm Hg gilt nach Raumlufatmung. Mit vorheriger Hyperventilation oder Präoxygenierung kann das Atemanhalten jedoch verlängert werden (Larsen et al., 2018, S. 59).

Graphische Darstellung der Atemvolumen



Anmerkungen. Die blaue Kurve stellt die Volumenänderung beim Atmen dar, mit der Ruheatmung innerhalb der grünen Linien und der maximalen Aus- und Einatmung bis zu den grauen Linien. Rote Linien kennzeichnen die Volumenänderung unter Leistungsatmung bzw. forcierter Atmung. Die Volumenangaben sind Kurtz (2019, S. 316) entnommen und gelten für 20–30-jährige, ca. 70 kg schwere Männer. Volumen für Frauen sind etwas kleiner, wobei Körpergrösse und Alter zu berücksichtigen sind. Beispielsweise haben 28-jährige, 1.80 m grosse Frauen 11–15 % niedrigere Werte als gleichgrosse und gleichaltrige Männer (Eigene Darstellung in Anlehnung an Schultz-Coulon, 2000, S. 5.).

Das mit jedem Atemzug ein- und ausgeatmete Luftvolumen wird *Atemzugvolumen* (AZV) oder *Tidalvolumen* (V_T) genannt und beträgt bei einem Erwachsenen ungefähr 350–850 ml mit deutlichen individuellen Schwankungen. Multipliziert man das Atemzugvolumen mit der *Atemfrequenz* (Atemzüge pro Minute), ergibt sich das *Atemminutenvolumen* (AMV). Es beträgt bei erwachsenen Männern 6–10 l/min in Ruhe, bei Frauen sind die Werte ca. 20 % niedriger. Die alveoläre Minutenventilation, also die für den Gasaustausch relevante Ventilation (vgl. Kapitel 2.1.3), errechnet sich entsprechend aus der Differenz von Atemzugvolumen und Totraumvolumen (Larsen et al., 2018, S. 8, S. 27ff.) und beträgt ca. 70 % des Atemminutenvolumens (Lang, 2020, S. 8).

Das *Ruheatemzugvolumen* beträgt beim Erwachsenen ca. 500 ml. Atemzüge über die Grenzen der Ruheatmung hinaus stellen eine mögliche Leistungsatmung mit grösserem Atemzugvolumen dar.

Wird über die Atemruhelage hinaus forciert maximal ausgeatmet, wird bei der zusätzlich ausgeatmeten Luft von der *expiratorischen Kapazität* (EC) gesprochen. Das nach maximaler Ausatmung in der Lunge verbleibende Luftvolumen ist das *Residualvolumen* (RV). Beide zusammen bilden die *funktionelle Residualkapazität* (FRC). Das Volumen, welches nach normaler Inspiration (in Ruhe) zusätzlich forciert eingeatmet werden kann, wird *inspiratorisches Reservevolumen* (IRV) genannt. Als *inspiratorische Kapazität* (IC) bezeichnet man die Summe des Ruheatemzugvolumens und

des inspiratorischen Reservevolumens (Bösch & Criée, 2013, S. 4; Larsen et al., 2018, S. 24ff.; Schindelmeiser, 2014, S. 71f.; Schultz-Coulon, 2000, S. 5).

Die Summe von Atemzugvolumen, inspiratorischem und expiratorischem Reservevolumen bildet die *allgemeine Vitalkapazität* und wird in der Regel mit VC abgekürzt. Durchschnittlich beträgt die Vitalkapazität eines Erwachsenen 4000–4500 ml (Lang, 2020, S. 16f.). Allerdings gibt es bei der Vitalkapazität grosse individuelle Schwankungen, da sie vom Geschlecht, vom Körpergewicht, der Körpergrösse, dem Trainingszustand (Kurtz, 2019, S. 315f.) und der Körperposition abhängig ist. Die Vitalkapazität gesunder junger Männer beträgt etwa 5.6 l und von Frauen ca. 5.0 l. Die Vitalkapazität und die Residualkapazität bilden zusammen die *totale Lungenkapazität* (TLC). Sie ist das Volumen, das sich nach maximal möglicher Einatmung in der Lunge befindet (Larsen et al., 2018, S. 24f.).

Unter den dynamischen Grössen ist ausserdem der expiratorische Spitzenfluss bei forcierter Ausatmung zu nennen, also die maximale Flussgeschwindigkeit, auch *Peak Expiratory Flow* (PEF) genannt. Er wird in Liter pro Sekunde angegeben (Bösch & Criée, 2013, S. 7; Nawka & Wirth, 2008, S. 16; Rutte & Sturm, 2018, S. 20). Der Normalwert liegt bei etwa > 450 l/min und ist abhängig vom Alter und der Grösse (Oczenski, 2017, S. 101).

Die verschiedenen Lungenvolumen können in einer Lungenfunktionsprüfung, beispielsweise durch eine Spirometrie oder die modernere Pneumotachographie erhoben werden (Kurtz, 2019, S. 317). Ein Pneumotachograph ist ein medizinisches Gerät, in welches gegen einen eingebauten Widerstand ein- und ausgeatmet wird. Mit dem Pneumotachographen können neben den in- und expiratorischen Volumen auch die Strömungsgeschwindigkeiten ermittelt werden, sodass die wichtigsten Werte in einem sogenannten Fluss-Volumen-Diagramm graphisch dargestellt werden können (Hien, 2012, S. 18). Es gibt auch kleine, tragbare Messgeräte, mit denen einzelne Werte erhoben werden können, beispielsweise die Vitalkapazität mithilfe eines Spirometers oder der Peak Expiratory Flow mithilfe eines Peak-Flow-Meters (Kulnik, MacBean et al., 2015).

2.1.6 Pulmonale Reinigungsmechanismen und Hustenreflex

Da Reinigungsfunktionen in der Dysphagietherapie aber auch im Trachealkanülenmanagement eine wesentliche Rolle spielen (vgl. Kapitel 2.2.2, Kapitel 4.2.1), ist es von Nutzen, pulmonale Reinigungsmechanismen und den Hustenreflex genauer zu betrachten.

Der Respirationstrakt ist bei einem normalen Gesundheitszustand fähig, sich selbst zu reinigen. Diese sogenannte *mukoziliäre Clearance* ist durch das Flimmerepithel möglich, welches durchgängig die Innenwände der Atemwege auskleidet. Das Flimmerepithel ist mit schleimproduzierenden Drüsenzellen durchsetzt, wodurch eingedrungene Fremdkörper in produziertes Sekret eingepackt werden. Die Flimmerhärchen (Zilien) transportieren durch ihre peitschenartigen Bewegungen die

Fremdpartikel in Richtung Luftröhre nach oben, sodass die meisten Fremdpartikel innerhalb von 24 Stunden abtransportiert werden. Allerdings ist bei zu kühler und zu trockener Luft die Beweglichkeit der Flimmerhärchen und somit die Selbstreinigungsfunktion der Lunge beeinträchtigt. Dies muss bei Personen mit maschineller Beatmung berücksichtigt werden (Lang, 2020, S. 8f.).

Werden die Schleimhäute wiederholt gereizt (mechanisch, chemisch oder entzündlich), reagieren die Drüsenzellen kurz- und im Falle von Entzündungen auch langfristig mit Hypersekretion. Die Überproduktion an Bronchialsekret kann von den Zilien nicht mehr ausreichend abtransportiert werden, sodass verbleibendes Sekret die pulmonale Belüftung und somit den Gasaustausch einschränkt (K. Frank & Frank, 2020, S. 20f.).

Ein wichtiger Schutzreflex für das Respirationssystem ist der *Hustenreflex*. Dringen «Sekret, Fremdkörper, Reizgase oder kalte Luft» (Rutte & Sturm, 2018, S. 18) in die Trachea oder die tieferen Luftwege ein, werden mechanische, chemische und thermische Rezeptoren gereizt und Husten wird ausgelöst (Rutte & Sturm, 2018, S. 18). Husten gilt aber auch bei eingeschränkter mukoziliärer Clearance als wichtiger Kompensationsmechanismus, da durch ihn Sekret aus den unteren Atemwegen befördert werden kann. Je stärker die mukoziliäre Clearance eingeschränkt ist, desto häufiger wird gehustet (K. Frank & Frank, 2020, S. 21).

Als erster Schritt erfolgt beim Husten eine vertiefte Inspiration, nach der sich die Glottis reflektorisch verschliesst. Durch gleichzeitiges Anspannen der Expirationsmuskeln und durch Wirken der Rückstellkräfte wird ein grosser subglottischer und somit alveolärer Druck aufgebaut. Als letztes öffnet sich die Glottis und durch den Druckunterschied zur Umgebungsluft strömt die Luft explosionsartig aus der Lunge über die Atemwege nach aussen (Rutte & Sturm, 2018, S. 18). Die drei beschriebenen Phasen werden auch Inspiration, Kompression und Expulsion genannt.

In der Regel wird zwischen reflektorischem sowie willkürlichem Hustenstoss unterschieden, beide Arten können allerdings vom Kortex moduliert werden (Ledl & Ullrich, 2022, S. 526). Einige Autorinnen und Autoren, beispielsweise Widdicombe et al. (2011, S. 314f.), differenzieren sogar drei verschiedene Hustenarten. Zum einen nennen sie den vom Kortex initiierten willkürlichen Husten, der durch eine bewusste initiale Inspiration gekennzeichnet ist und bei dem die Kompression und Expulsion wie beschrieben stattfinden. Als zweites nennen sie den reflektorischen Husten, wie er im Rahmen von Lungenerkrankungen oder Irritationen in den Atemwegen ausgelöst wird. Der Ablauf entspricht an sich dem des willentlichen Hustens, dennoch gibt es Hinweise auf zwei unterschiedliche Arten der Steuerung. Die Autorinnen und Autoren stellen fest, dass sich bei aspirationsgefährdeten Personen beide Muster ungünstig auswirken können, da durch die initiale Inspiration das Fremdmaterial zunächst noch tiefer in die Atemwege gelangen kann. Als drittes nennen sie schliesslich den laryngealen Expirationsreflex, welcher durch taktile Reizung von flüssigem oder festem Material

sowie durch chemische Reizung der Stimmlippen ausgelöst wird. Im Gegensatz zu den anderen beiden Arten findet hier initial keine Inspiration statt, sondern die Glottis wird prompt verschlossen und sofort wird eine starke Expulsion ausgelöst, ggf. gefolgt von erneutem Glottisverschluss und Expirationsbemühungen sowie mehreren Wiederholungen. Die fehlende Inspiration verhindert ein noch tieferes Eindringen des Fremdkörpers in die Lunge, was als beste Technik im Falle einer Dysphagie gesehen werden kann. Willkürliches Räuspern ohne vorherige Inspiration sehen Widdicombe et al. (2011, S. 315) als willkürliche Variante des laryngealen Expirationsreflexes.

Der reflektorische Hustenstoss lässt sich künstlich durch chemische Reizung triggern, etwa durch Inhalation oder Vernebelung einer Weinsäure-, Zitronensäure- oder Capsaicinlösung. Dieser laryngeale Hustentest (laryngeal cough reflex) wird eingesetzt, um stille Aspirationen aufzuspüren, Pneumonien zu reduzieren oder lediglich um die Sensitivität des Hustenreflexes zu eruieren (Addington et al., 1999; Battel et al., 2016; Morice et al., 2007; Tabor-Gray et al., 2020; Wakasugi et al., 2008). Der Test wird entweder mit einer bestimmten Konzentration der Lösung durchgeführt, mit schrittweiser Dosierungssteigerung bei kontinuierlicher Atmung, oder mit einer hohen Dosierung, die nach vollständiger Expiration mit der folgenden Inspiration appliziert wird (Widdicombe et al., 2011). In Abhängigkeit von der Durchführung wird entweder ein reflektorischer Husten oder der laryngeale Expirationsreflex getriggert. Häufig treten aber beide Hustenarten auf, wobei der laryngeale Expirationsreflex stets seltener ist. Je höher die Dosierung, desto grösser die Anzahl und Länge an aufeinanderfolgenden Hustenstössen (Vovk et al., 2007). Derzeit gibt es für den laryngealen Hustentest keinen klaren Standard in der Durchführung, der einen Vergleich von Ergebnissen erlauben würde, ebenso ist sein klinischer Nutzen nicht eindeutig belegt (Curtis & Troche, 2020b; Ledl & Ullrich, 2022; Miles et al., 2013; Morice et al., 2007).

In der Diagnostik können stellvertretend für die willkürliche Hustenkapazität unter anderem das ausgestossene Volumen (cough expired volume), die Volumenbeschleunigung (cough volume acceleration) oder der erreichte Spitzenfluss beim Husten gemessen werden. Dieser sogenannte *Peak Cough Flow* (PCF) lässt sich mit einem tragbaren Peak-Flow-Meter oder Pneumotachographen evaluieren (Kulnik, MacBean et al., 2015; P. R. Rodrigues et al., 2017; Sancho et al., 2004), aber auch eine klinische Beurteilung mittels einer 6-stufigen Skala (SCSS – semiquantitative cough strength score) ist möglich (Duan et al., 2015). Der PCF kann laut McCool (2006, S. 495) bis zu 720 l/min erreichen. In einer Studie von Bach et al. (2006) erreichten gesunde Männer ($N = 52$) Werte zwischen 498–696 l/min, bei Cardoso et al. (2012) lagen die Werte für gesunde Frauen und Männer ($N = 484$) eher zwischen 240–500 l/min. Frauen erreichen in der Regel niedrigere Messwerte als Männer, ebenfalls nimmt der PCF mit zunehmendem Alter ab (Gregg & Nunn, 1973; Silverman et al., 2016).

Zwei Aspekte zum willkürlichen Peak Cough Flow sind für die Diagnostik und Therapie besonders interessant. Die Höhe des PCF ist massgeblich vom initialen Inspirationsvolumen abhängig, wie J. A.

Smith et al. (2012) zeigen konnten ($N = 16$). Je mehr eingeatmet wird, desto höher ist der PCF und die ausgestossene Luftmenge. Der PCF hängt demnach von der Lungenfunktionsfähigkeit ab und kann folglich auch verbessert werden, sofern diese gesteigert wird. Ausserdem konnten Mills et al. (2017) bei gesunden Erwachsenen ($N = 53$) und Tabor-Gray et al. (2020) bei gesunden Personen ($n = 26$) sowie bei solchen mit Amyotropher Lateralsklerose ($n = 28$) zeigen, dass beim willkürlichen Hustenstoss deutlich höhere PCF-Werte erreicht werden als beim reflektorischen. Gleiches kann auch bei Personen mit Parkinsonsyndrom beobachtet werden (Curtis & Troche, 2020b; Wheeler Hegland, Troche et al., 2014). Abgesehen von den Unterschieden in der neuronalen Steuerung ist ein möglicher Grund hierfür, dass reflektorisches Husten zu jedem möglichen Zeitpunkt im Atemzyklus ausgelöst werden kann. Es findet verhältnismässig prompt⁶ und unerwartet statt, wodurch das initiale Lungenvolumen häufig geringer ist. Beim willkürlichen Husten bleibt hingegen viel mehr Zeit für eine willkürliche, tiefe Einatmung (Tabor-Gray et al., 2020). Bei der Erhebung von Messwerten zur Hustenkraft ist dies zu berücksichtigen. Auf weitere Aspekte, die den Zusammenhang von willkürlichem bzw. reflektorischem Husten und Schlucken betreffen, wird in Kapitel 4.2.1 noch näher eingegangen.

Kann der Fremdkörper oder das Sekret abgehustet werden, spricht man von produktivem Husten. Werden die Hustenrezeptoren dagegen ohne Sekret oder Fremdkörper gereizt, sodass ein Hustenreiz getriggert wird, spricht man von unproduktivem Husten. Im Falle eines zu schwachen Hustenstosses, z. B. aufgrund pulmonaler Einschränkungen, kann dieser ebenfalls unproduktiv bleiben (Schindelmeiser, 2014, S. 18f.). Damit der beschriebene Hustenablauf suffizient abläuft, ist neben der intakten neuromuskulären Aktivität auch eine effektive Koordination notwendig. Abweichungen senken die Effektivität des Hustens und können zu pulmonalen Komplikationen führen (Brennan et al., 2022, S. 1).

2.2 Beatmung bei respiratorischer Insuffizienz

Gemäss dem Fall, eine Person ist nicht mehr fähig, selbstständig und zuverlässig zu atmen, d. h. ihre respiratorischen Fähigkeiten sind insuffizient, dann ist oder wird sie beatmungspflichtig. Die respiratorische Insuffizienz kann entweder durch das Versagen der Atempumpe oder das Versagen des pulmonalen Gasaustausches auftreten.

Die Atempumpe bezeichnet das gemeinsame Wirken der Atemmuskulatur, des knöchernen Thorax, der Nerven und des Atemzentrums. Eine Störung dieses Zusammenspiels wird auch ventilatorische Insuffizienz genannt und führt zu einem starken Anstieg des CO_2 -Gehaltes (Hyperkapnie) sowie zu

⁶ Sowohl Wheeler Hegland, Troche et al. (2014) als auch Tabor-Gray et al. (2020) verglichen willkürliches Husten nur mit Hustenstössen, die mit der höchsten Capsaicin-Konzentration getriggert wurden, weshalb vermutlich eine sehr prompte Reflextriggerung provoziert werden konnte.

einem Sauerstoffmangel (Hypoxämie) (Lang, 2020, S. 20). Die pulmonale Erschöpfung, die zur ventilatorischen Insuffizienz führt, resultiert aus einem gestörten Gleichgewicht von Pumpkapazität und Belastung (Oczenski, 2017, S. 127). Die Ursachen hierfür sind vielseitig.

Störungen des Atemantriebes können zum Ausfall des Atemzentrums führen, wie es beispielsweise durch Schädigungen des Gehirns oder durch Medikamente verursacht wird. Neuromuskuläre Erkrankungen beeinträchtigen dagegen die Funktionsfähigkeit der Motoneurone (Nervenzellen) oder Atemmuskulatur. Ebenfalls kann die Bildung des alveolären Unterdruckes, der für das Einströmen der Luft in die Lunge benötigt wird, beeinträchtigt sein. Ursächlich hierfür können Deformitäten von Rumpf und Thorax sein, was zu einer Reduktion der Atemarbeit oder zu einer permanenten Überblähung des Thorax führt, wie bei einem Emphysem. Auch Verlegungen und Verengungen der Atemwege (Stenosen) oder Schlafapnoe lösen unter Umständen eine Ventilationsstörung aus. Das Leitsymptom ist ein starker Anstieg des CO₂-Gehalts, sodass die betroffenen Personen ermüden, eintrüben bis hin zur Bewusstlosigkeit durch CO₂-Narkose (Lang, 2020, S. 20f.).

Der pulmonale Gasaustausch ist auf ein ausgeglichenes Verhältnis von alveolärer Ventilation (Belüftung) und Perfusion (Durchblutung) angewiesen. Sind die Ventilation, die Perfusion oder ihr Verhältnis zueinander gestört, spricht man von einer Verteilungsstörung. Bei einer ungenügenden Belüftung von Lungenabschnitten (Hypoventilation) bilden sich Atelektasen, d. h. die Alveolen kollabieren. Obturationsatelektasen entstehen durch Verlegung mit Sekret (Schleim, Blut, Fremdkörper), Kompressionsatelektasen durch Druck von aussen (Erguss, Emphysem, Tumor usw.). Auch abhängig von ihrer Lage und Ausdehnung werden Atelektasen unterschiedlich bezeichnet (Platten-, Segment-, Lappen-, Total- oder Mikroatelektasen). Bei mangelnder Belüftung wird das Kapillarblut nicht oder unzureichend mit Sauerstoff angereichert (Schäfer et al., 2015, S. 22). Weiter kann der Gasaustausch selbst betroffen sein (Diffusionsstörung), da Sauerstoff nicht ungehindert von der Alveole in die Kapillare diffundieren kann. Gründe hierfür sind eine verlängerte Diffusionsstrecke bei verdickter Membran oder eine verkürzte Kontaktzeit für den Gasaustausch. Die Aufnahme von Sauerstoff wird auch bei einer reduzierten Durchblutung der Lunge verzögert oder unterbrochen, obwohl die Lunge gut belüftet ist. Ein Beispiel hierfür ist die Lungenembolie (Lang, 2020, S. 22f.). Für den Fall, dass Blut, ohne am Gasaustausch teilzunehmen, direkt vom rechten zum linken Herzen fließt, spricht man von einem pulmonalen Rechts-Links-Shunt (Schäfer et al., 2015, S. 23).⁷

Abhängig von der Ausprägung der respiratorischen Insuffizienz sowie der Grunderkrankung wird entweder eine nicht-invasive Beatmung (NIV) mit Beatmungsmasken über die oberen Atemwege oder

⁷ Vertiefende Informationen zur respiratorischen Insuffizienz sowie den zahlreichen zugrundeliegenden Ursachen und Erkrankungen finden sich z. B. in Lang (2020, S. 20ff.) oder Larsen et al. (2018, S. 232ff.).

eine invasive Beatmung durch einen Tubus oder eine Trachealkanüle über die unteren Atemwege (unterhalb der Glottis) nötig (Lang, 2020, S. 24). Da in diesem Rahmen die Behandlung von Patientinnen und Patienten mit Trachealkanüle im Fokus steht, wird im Folgenden auf nähere Ausführungen zur nicht-invasiven Beatmung verzichtet und auf die entsprechende Fachliteratur verwiesen⁸.

Die Intubation mit einem Tubus erfolgt meist über den Mund (selten über die Nase) und durch den Larynx in die Trachea (translaryngeale Intubation). Hauptindikationen sind die Notwendigkeit maschineller Beatmung bei respiratorischer Insuffizienz, die Gabe hoher Sauerstoffkonzentrationen, das Entfernen von Bronchialsekret durch Absaugen sowie der Schutz der oberen Atemwege vor Aspiration und Verlegung. Bei anhaltender Intubationsdauer von sieben bis zehn Tagen wird in der Regel die Indikation für eine Tracheotomie geprüft (Larsen et al., 2018, S. 118). Sie bietet gegenüber der Beatmung mit Tubus mehrere Vorteile:

- «Grössere und kürzere Kanülen
- Einfacherer und rascherer Kanülenwechsel (nach Stabilisierung des Stomas)
- Bessere Platzierbarkeit der Kanüle in der Trachea (keine einseitige Intubation)
- Bessere Fixierbarkeit der Kanüle
- Bessere Mund- und Nasenpflege; einfacheres und effektiveres Absaugen
- Herabsetzung der Atemarbeit
- Verminderung des Totraums; grösserer Patientenkomfort»

(Larsen et al., 2018, S. 158)

Ein Ziel der Beatmung ist die Gewährleistung des pulmonalen Gasaustausches, d. h. die Aufnahme von Sauerstoff und das Ausscheiden von Kohlendioxid. Weiter soll das Lungenvolumen erhöht werden, um die alveoläre Ventilation und Compliance zu verbessern, um Atelektasen zu öffnen oder zu verhindern und um eine voranschreitende Schädigung der Lunge zu vermeiden (Lang, 2020, S. 25).

2.2.1 Beatmungsformen

Für die Therapie mit invasiv beatmeten Personen ist es unerlässlich, sich mit den verschiedenen Beatmungsformen auseinanderzusetzen. Die Beatmungsmedizin ist allerdings ein sehr komplexes und durch die Vielzahl an möglichen Beatmungsformen auch ein sehr umfassendes Themengebiet geworden. Da es aber weniger um die medizinische Behandlung, sondern um das therapeutische Trachealkanülenmanagement aus logopädischer Sicht geht, werden an dieser Stelle vor allem Grundlagen und Grundformen Berücksichtigung finden.⁹

⁸ z. B. Lang (2020, S. 61ff.); Larsen et al. (2018, S. 241ff); Oczenski (2017, S. 245ff.)

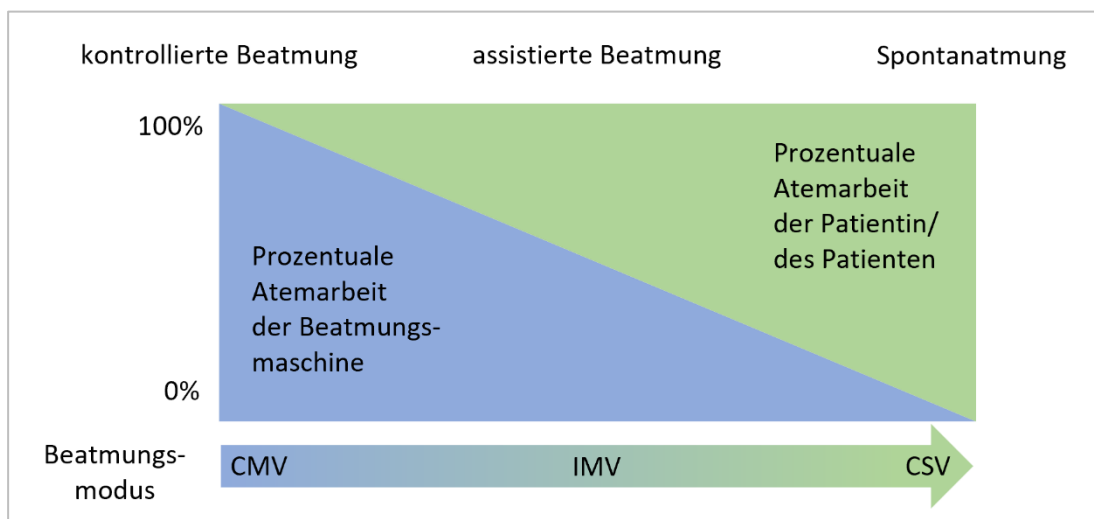
⁹ Vertiefende Ausführungen finden sich z. B. in Lang (2020); Larsen et al. (2018); Oczenski (2017)

In der Spontanatmung strömt die Luft durch den erzeugten Unterdruck in die Lungen. Maschinelle Beatmung erfolgt dagegen in der gängigen Praxis gewissermassen ausschliesslich durch Überdruckbeatmung¹⁰. Die Beatmungsmaschine, auch Respirator genannt, generiert an der Kanüle, dem Tubus oder ggf. an der Maske einen Überdruck, sodass die Inspiration erfolgt (Larsen et al., 2018, S. 250). Dies ist möglich, da mit der Verbindung von Respirator und Tubus (bzw. Trachealkanüle oder Maske) ein geschlossenes System zwischen Maschine und Lunge entsteht (Schwegler, 2022, S. 139). Die Expiration erfolgt dagegen meist passiv über die Retraktionskräfte des Atemapparates (Larsen et al., 2018, S. 250). Ein Expirationsventil kontrolliert dabei den Luftstrom und leitet die verbrauchte Luft nach aussen (Schwegler, 2022, S. 139).

Die verschiedenen Beatmungsformen unterscheiden sich darin, wie viel Prozent der Atemarbeit durch die Beatmungsmaschine (Respirator) übernommen werden. Leistet die Maschine die vollständige Atemarbeit, spricht man von *mandatorischer* oder *kontrollierter* Beatmung. Ist die Patientin oder der Patient jedoch fähig, einen Teil der Atemarbeit selbst zu leisten, ist eine *assistierte* oder *augmentierte* Beatmung möglich. Die Übergänge zur Spontanatmung sind dabei fließend (vgl. Abbildung 4) (Lang, 2020, S. 94).

Abbildung 4

Prozentuale Aufteilung der Atemarbeit zwischen Beatmungsmaschine und Patientin bzw. Patient in den verschiedenen Beatmungs-Modi



Anmerkungen. CMV = continuous mandatory ventilation; IMV = intermittent mandatory ventilation; CSV = continuous spontaneous ventilation (Eigene Darstellung in Anlehnung an Larsen et al., 2018, S. 258; Oczenski, 2017, S. 154).

¹⁰ In den Anfängen der maschinellen Beatmung arbeitete man mit Unterdruckbeatmung. Die *eiserne Lunge* erzeugte den Unterdruck an der äusseren Thoraxwand, sodass dieser sich ausdehnte und Luft einströmte (Larsen et al., 2018, S. 250).

Die Inspiration wird entweder von der Maschine übernommen (zeitlich gesteuert) oder kann von der beatmeten Person getriggert werden, sofern diese einen Teil der Atemarbeit selbst übernimmt. In letzterem Fall registriert der Respirator Veränderungen im Volumen, im Druck oder Flow, wodurch dann der Beginn der Inspiration ausgelöst wird.

Der Atemhub endet, wenn ein definierter Zielwert beim Druck oder Volumen erreicht wird. Dementsprechend unterscheidet man druck- und volumenkontrollierte Beatmungsformen (pressure controlled ventilation – PCV; volume controlled ventilation – VCV). Der gesamte Beatmungsmodus lässt sich aber auch durch adaptive oder intelligente Zielvariablen in Form von Algorithmen überprüfen und steuern (Larsen et al., 2018, S. 253ff.).

Auch das Ende der Inspiration erfolgt wahlweise durch Maschinen- oder Patientensteuerung. Um die Bildung von Atelektasen zu vermeiden, wird in den meisten Fällen gegenüber der Atmosphäre ein positiver endexpiratorischer Druck (PEEP) eingestellt. Das bedeutet, dass am Ende der Expiration der Druck nicht bis zum atmosphärischen Druck abfällt, sondern der definierte PEEP wird stets aufrechterhalten und sichert so die Belüftung (Oczenski, 2017, S. 169).

Da es bei der Klassifizierung der Beatmungsformen leider keine einheitliche Nomenklatur, sondern viele firmenspezifische Bezeichnungen gibt (Larsen et al., 2018, S. 256), empfiehlt es sich, den Beatmungsmodus in Bezug auf drei Faktoren zu beschreiben (Chatburn et al., 2014): als erstes in Bezug auf die Art der Kontrollvariable (druck- oder volumenkontrolliert), als zweites in Bezug auf die Kontrolle der Atemsequenz (durch die Maschine, die Patientin oder den Patienten oder durch beide) und drittens durch das Schema der Zielvariablen (Sollwert, adaptiv usw.).

Die Kontrolle der Atemsequenz erfolgt in diesem Modell auf drei verschiedene Arten. Bei der *kontinuierlich mandatorischen Atemsequenz* (CMV – continous mandatory ventilation) steuert die Maschine durchgehend, d. h. der Beginn und das Ende der Inspiration werden zeitlich determiniert und gesteuert. Die Patientin oder der Patient kann zwar – falls möglich – einen Atemhub triggern, allerdings erfolgt der Hub selbst mandatorisch, also durch die Maschine. Bei der *intermittierend mandatorischen Atemsequenz* (IMV – intermittent mandatory ventilation) ist es der Patientin oder dem Patienten dagegen möglich, zwischen den mandatorischen Atemhüben spontane Atemzüge zu machen, ohne dass ein mandatorischer Atemhub ausgelöst wird. Das Gerät gibt nur mandatorische Atemhübe ab, wenn die Spontanatemfrequenz oder das Atemminutenvolumen einen Sollwert unterschreiten, oder diese werden mit einer vorher definierten Atemfrequenz abgegeben. In der *kontinuierlich spontanen Atemsequenz* (CSV – continous spontaneous ventilation) löst die Patientin oder der Patient den Atemhub selbst aus und beendet diesen ebenfalls selbst. Die Maschine kann hier die Inspiration weiter unterstützen, oder die Patientin bzw. der Patient atmet vollständig alleine (Larsen et al., 2018, S. 257f.).

Zwischen den beiden Extremformen, also der kontinuierlich mandatorischen Atemsequenz und der kontinuierlich spontanen Atemsequenz ohne Unterstützung, gibt es zahlreiche mögliche Beatmungsformen, die sich innerhalb dieses Kontinuums befinden und bezüglich der Atemunterstützung variieren lassen. An dieser Stelle sollte es jedoch ausreichen, die Grundformen der Beatmung aufzuzeigen, welche sich aus der Kombination der drei Atemsequenzen mit den zwei möglichen Kontrollvariablen ergeben.

Die kontrolliert mandatorische Beatmung sowie die intermittierend mandatorische Beatmung können entweder druckkontrolliert (PC) oder volumenkontrolliert (VC) sein. Die kontinuierlich spontane Atemsequenz kann die Inspiration nur druckkontrolliert unterstützen. Daher ergeben sich fünf Grundformen, die Tabelle 2 entnommen werden können (Chatburn et al., 2014, S. 1753; Larsen et al., 2018, S. 259).

Tabelle 2

Die fünf Grundformen der Ventilation nach Chatburn et al. (2014, S. 1753)

	druckkontrolliert (PC)	volumenkontrolliert (VC)
Kontrolliert mandatorische Beatmung (CMV)	druckkontrolliert kontinuierlich mandatorische Beatmung (PC-CMV)	volumenkontrolliert kontinuierlich mandatorische Beatmung (VC-CMV)
Intermittierend mandatorisch Beatmung (IMV)	druckkontrolliert intermittierend mandatorische Beatmung (PC-IMV)	volumenkontrolliert intermittierend mandatorische Beatmung (VC-IMV)
Kontinuierlich spontane Beatmung (CSV)	druckkontrolliert kontinuierlich spontane Atmung (PC-CSV)	-

Häufig finden sich für die gleichen Beatmungsformen je nach Gerätehersteller unterschiedliche Bezeichnungen. Teilweise unterscheiden sie sich auch bezüglich einiger Details, selbst innerhalb eines Herstellers, in Abhängigkeit von der Softwareversion. Eine genaue Kenntnis der Möglichkeiten des speziell verwendeten Gerätes ist daher unabdingbar (Schäfer et al., 2015, S. 119).¹¹

In jedem Modus gibt es unterschiedliche Einstellgrößen, die definiert werden können. Zu den wichtigsten gehören je nach Modus u. a. die Sauerstoffkonzentration, die Atemfrequenz (f), das

¹¹ An dieser Stelle wird auf eine Ausführung verschiedener Beatmungs-Modi verzichtet. Vertiefende Ausführungen zu firmenspezifischen Beatmungsformen sowie -nomenklaturen, aber auch zu möglichen Spezialbeatmungsformen sind beispielsweise Chatburn et al. (2014), Larsen et al. (2018, S. 285ff.), Oczenski (2017, S. 150ff.) und Schönhofer et al. (2019, S. 251ff.) zu entnehmen.

Atemhubvolumen (V_T) mit dem Atemminutenvolumen (AMV), der bereits genannte positive endexpiratorische Druck (PEEP), der maximale Inspirationsdruck (p_{max}), die Inspirationszeit (I) bzw. das Verhältnis von Inspirations- und Expirationszeit (I : E) sowie die Triggerart (Druck oder Flow) und Triggerempfindlichkeit (Larsen et al., 2018, S. 265ff.).

Die Beatmung sollte, sofern möglich, immer nur eine temporäre Unterstützung der Atemfunktion sein, da sie auch mit spezifischen Gefahren verbunden sein kann. Daher sollte von Anfang an ebenfalls die Entwöhnung von der Beatmung durchdacht und geplant werden (Larsen et al., 2018, S. 400). Da im Weaning eine logopädische Therapie beginnen kann, ist es wichtig, sich als Therapeutin oder Therapeut auch mit den genannten Aspekten sowie dem Weaning vertraut zu machen.

2.2.2 Weaning – Die Entwöhnung von der Beatmungsmaschine

Als Weaning wird die Entwöhnung von der Beatmungsmaschine bezeichnet. Damit ist der gesamte Prozess gemeint, in dem die Invasivität der maschinellen Atemarbeit reduziert wird und die Atemarbeit und Atemregulation langsam wieder der Patientin oder dem Patienten übertragen werden. Diese spezielle, schrittweise Entwöhnung wird nötig, wenn Personen länger als 48 h beatmet wurden. Kann die Patientin oder der Patient letztendlich länger als 24 h ohne maschinelle Hilfe und ohne respiratorische Erschöpfung atmen, verlief das Weaning erfolgreich und die Entwöhnung ist beendet (Oczenski, 2017, S. 268). Das Weaning gilt ebenfalls als beendet, wenn die betroffene Person zwar weiterhin mit einer Trachealkanüle versorgt ist, aber spontan ohne Maschine atmen kann. Ist nach Entfernung des Tubus (Extubation) oder der Trachealkanüle (Dekanülierung) allerdings weiterhin eine nicht-invasive Beatmung (NIV) über Maske nötig, gilt das Weaning als nicht beendet (Schäfer et al., 2015, S. 187). Je nachdem, wie der Weaningprozess verläuft, unterscheidet man zwischen einfachem, schwierigem und prolongiertem Weaning¹² (Boles et al., 2007).

Damit der Weaningprozess gelingt, braucht es durchgehend ein ausgeglichenes Verhältnis von Belastung und Pumpkapazität der Atempumpe (Oczenski, 2017, S. 267), d. h. eine ausreichende Oxygenierung und Ventilation, ohne Erschöpfung der Patientin oder des Patienten (Larsen et al., 2018, S. 400). Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Weaningstrategien: das *diskontinuierliche* und das *kontinuierliche* Weaning. Im diskontinuierlichen Weaningprozess wechseln sich lange mandatorische Beatmungsphasen und kurze Spontanatemphasen ohne Maschine (am HME-Filter) intervallartig ab.

¹² Einfach = erfolgreich im ersten Spontanatemversuch (SAV) und bei erster Extubation
Schwierig = erfolgreich spätestens beim dritten SAV oder innerhalb von sieben Tagen nach erstem Versuch
Prolongiert = erfolgreich nach mehr als drei SAV oder nach mehr als sieben Tage nach erstem Versuch
(Schönhofer et al., 2019, S. 731)

Die Spontanatemphasen werden, sofern keine Anzeichen von Erschöpfung erkennbar sind, sukzessive verlängert, die mandatorischen verkürzt. Irgendwann überwiegen schliesslich Spontanatemphasen, die nur noch intermittierend von kürzeren und später nur noch von sehr kurzen Beatmungsphasen unterbrochen werden, bis die Patientin oder der Patient letztendlich reine Spontanatmung schafft. Ein kontinuierliches Weaning ermöglicht dagegen den fließenden Übergang von mandatorischer Beatmung, über die assistierte Beatmung bis hin zur Spontanatmung, wie es in Abbildung 4 dargestellt wird (Lang, 2020, S. 331f.).

Patientinnen und Patienten, die über die unteren Atemwege beatmet werden, müssen in der Regel auch analgosediert werden. Diese Kombination aus medikamentöser Schmerzausschaltung (Analgese) und Beruhigung/Bewusstseinsdämpfung (Sedierung) (Schäfer et al., 2015, S. 176) bewirkt zudem eine vegetative Dämpfung und somit Relaxierung, sodass ein Hauptziel – die ausreichende Oxygenierung – sichergestellt werden kann. Eine Intubation würde in der Regel nicht ohne Sedierung toleriert werden (Lang, 2020, S. 35). Die Sedierung sollte allerdings «nur so tief wie nötig und nur so lange wie notwendig eingesetzt werden» (Schäfer et al., 2015, S. 177), da eine Übersedierung negative Folgen haben kann. Ein kontrolliertes Management der Sedierung (Anpassung, Pausierung mit Aufwachversuchen usw.) gehört daher zum Weaning-Prozess dazu, beide müssen aufeinander abgestimmt werden (Schönhofer et al., 2019, S. 739ff.).

Um das Weaning zu beenden, sind eine ausreichende Oxygenierung sowie die ausreichende Ventilation Voraussetzung, aber auch andere Kriterien müssen erfüllt sein. Die Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGPB) empfiehlt in ihrer S2k-Leitlinie «Prolongiertes Weaning» folgende Kriterien:

- «Klinische Stabilität
- Ausreichende Spontanatemungskapazität bzw. Fähigkeit zur NIV
- Fehlen einer relevanten Schluckstörung bzw. Aspirationsneigung
- Ausreichender Hustenstoss, alternativ nichtinvasives Sekretmanagement
- Kooperation des Patienten (z. B. kein Delir)
- Ausschluss einer Obstruktion im Bereich Glottis/Kehlkopf/Trachea
- Ggf. positiver Cuff-Leak-Test¹³» (Schönhofer et al., 2019, S. 764)

¹³ Im Cuff-Leak-Test vergleicht man das Tidalvolumen bei geblockter und entblockter Trachealkanüle, um eine mögliche Obstruktion einschätzen zu können. Details finden sich in Schönhofer et al. (2019, S. 746f.).

In logopädischer Literatur finden sich darüber hinaus zusätzliche Dekanülierungskriterien:

- Niedrige Absaugfrequenz (Ledl & Ullrich, 2022, S. 538; Schwegler, 2022, S. 108)
- Ausreichende Sensibilität pharyngeal, laryngeal und tracheal
- Keine Mundöffnungsstörung (Ledl & Ullrich, 2022, S. 538)

Die Überprüfung einer potenziellen Dysphagie und der Effizienz des Hustenstosses (Larsen et al., 2018, S. 401f.) ist für die logopädische Therapie von besonderem Interesse, weshalb sich ein genauerer Blick auf die zugrunde liegenden wissenschaftlichen Erkenntnisse lohnt.

2.2.2.1 Schluckdiagnostik im Weaningprozess

Zahlreiche Studien zeigen, dass Dysphagien nach Langzeitbeatmung oder nach Tracheotomie durchaus häufig vorkommen. Romero et al. (2010) konnten beispielsweise bei langzeitbeatmeten Patientinnen und Patienten ($N = 40$) ohne neurologische Erkrankungen einen erheblichen Anteil an Dysphagien (fast 40 %) beobachten.¹⁴ Auch in einer Übersichtsarbeit von C.-A. Bader und Keilmann (2017) wurde nach einem Zusammenhang von Dysphagie und Trachealkanüle gesucht. Nach ausführlicher Recherche wurden 48 Studien (bis November 2016) in die Auswertung eingeschlossen. Die Autorin und der Autor kommen zu dem Fazit, dass sich beim Vorhandensein einer Trachealkanüle zwar zweifelsfrei das zeitgleiche Auftreten einer Dysphagie häuft, eine Kausalität für diese Koinzidenz lässt sich jedoch nicht nachweisen. Vielmehr scheint die Art und Ausprägung der Grunderkrankung relevant für das Vorliegen einer Trachealkanüle und Dysphagie zu sein. Zuercher et al. (2020) ermittelten Risikofaktoren für ein positives Dysphagiescreening nach Extubation auf Intensivstation ($N = 933$; positives Screening bei $n = 116$). In ihrer Analyse erwies sich allerdings neben der zugrunde liegenden neurologischen Störung und dem Schweregrad der Erkrankung auch die Länge der invasiven Beatmung als ein signifikanter Risikofaktor¹⁵. Erkrankungen, mit denen eine Dysphagie einhergeht, sind häufig neurologischer oder neuromuskulärer Art oder betreffen die oropharyngealen und laryngealen Strukturen. Darüber hinaus gibt es aber auch Ursachen, die mit der intensivmedizinischen Behandlung einhergehen, wie die Intensive Care Unit Acquired Weakness (ICUAW), die Post-Extubations-Dysphagie (PED), die ösophago-gastrale Motilitätsstörung oder multifaktorielle Ursachen¹⁶ (Ledl et al., 2023, S. 512f.). Die Überprüfung

¹⁴ Unklar bleibt allerdings, in welchem Kanülenzustand die Schluckendoskopie gemacht wurde. Da in keiner Weise ein Entblocken oder ein Sprechventil erwähnt wird, kann es daher sein, dass die Trachealkanüle während der Schluckuntersuchung geblockt war und somit keine annähernd natürlichen Atembedingungen vorhanden waren (vgl. Kapitel 6.2), was bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

¹⁵ OR 1.19; 95 % CI, 1.06 – 1.34; $P < .01$ (Zuercher et al., 2020)

¹⁶ ICUAW ist ein Oberbegriff für auf Intensivstation (ICU) erworbene neuromuskuläre Läsionen wie Critical Illness Myopathie, Critical Illness Polyneuropathie oder Critical Illness Neuromyopathie. Eine PED resultiert z. B. aus Intubations-, Schleimhaut-, Druckläsionen, Beatmungsschäden oder kognitiven Beeinträchtigungen. Ösophago-gastrale Motilitätsstörungen können durch neurologische, internistische Erkrankungen oder durch relaxierende

der Schluckfähigkeit vor der Dekanülierung ist daher sinnvoll, auch wenn keine Erkrankungen vorliegen, die eine Dysphagie vermuten lassen.

Im Rahmen eines prolongierten Weaning-Prozesses wird aufgrund der hohen Prävalenz von Dysphagien eine routinemässige Dysphagiediagnostik empfohlen, da eine Koinzidenz mit Komplikationen einhergehen kann (Schönhofer et al., 2019, S. 774). Die Deutsche Gesellschaft für Neurologie (DGN) empfiehlt für tracheotomierte Patientinnen und Patienten eine Beurteilung der Schluckfähigkeit mittels flexibler endoskopischer Evaluation des Schluckaktes (FEES®) (Dziewas & Pflug, 2020, S. 17; Langmore, 2001), da dieses Verfahren gegenüber der klinischen Schluckuntersuchung und dem Evans-Blue-Test (EBT) bzw. dem modifizierten EBT (mEBT)¹⁷ eine deutlich bessere Sensitivität aufweist (Béchet et al., 2016; Dziewas & Pflug, 2020, S. 35f.; Hales et al., 2008). Zudem hat sich die FEES® in der Praxis als diagnostischer Standard etabliert, sie ist an den meisten Orten verfügbar und es gibt standardisierte Durchführungsprotokolle sowie diverse Bewertungsskalen (Dziewas & Pflug, 2020, S. 19ff.).

In einem systematischen Review zum Erfolg verschiedener Dekanülierungsstrategien von Singh et al. (2017) wurden 18 Studien (bis 2016) eingeschlossen. Da ein Teil der Studien auch mit klinischen Schluckuntersuchungen eine hohe Erfolgsrate bei den Dekanülierungen verzeichnen konnte, stellen die Autoren eine standardmässige FEES® bezüglich des Aufwandes und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses infrage. Auch die Verfügbarkeit einer solchen Untersuchung ist nicht immer gegeben. Sie schlagen vor, diese erst im Falle von Auffälligkeiten bei Okklusionsversuchen oder anderen Schwierigkeiten (vgl. Kapitel 6.1) durchzuführen.

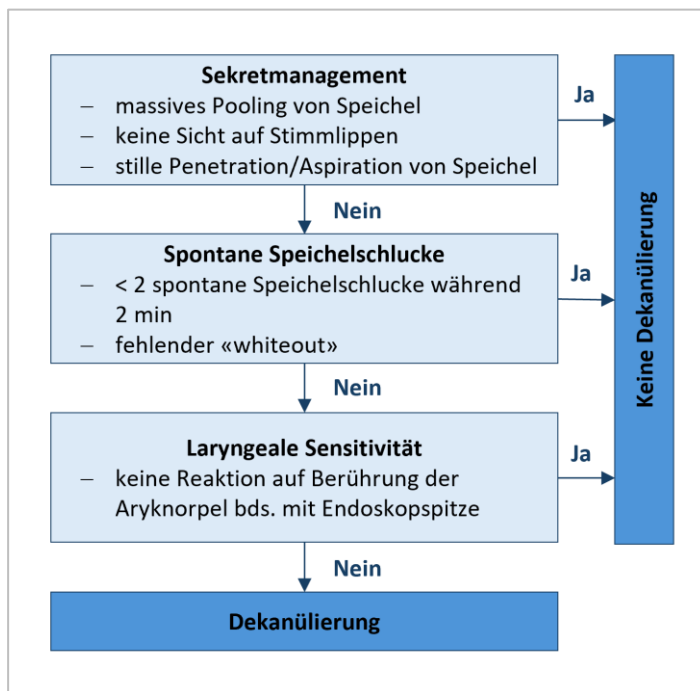
Die DGN (Dziewas & Pflug, 2020) und eine französische Leitlinie (Trouillet et al., 2018) empfehlen den Dekanülierungsalgorithmus von Warnecke et al. (2013), welcher in Abbildung 5 dargestellt ist. Die FEES® ist nach diesem Schema ein mandatorischer Schritt vor der Dekanülierung. Die sogenannte SESETD (Standardized Endoscopic Swallowing Evaluation for Tracheostomy Decannulation) beinhaltet eine Überprüfung des Sekretmanagements, der spontanen Speichelschlucke und der laryngealen Sensibilität bzw. des reflektorischen Hustenreizes mittels FEES. Sie hat sich als sehr sichere Entscheidungshilfe für Dekanülierungen mit guten Inter-Rater- und Retest-Reliabilitäten erwiesen (Dziewas et al., 2018; Warnecke et al., 2020). Nach einer FEES ($N = 100$) konnten sich Warnecke et al. (2013) bei deutlich mehr Personen für eine Dekanülierung entscheiden ($n = 54$) als nach der klinischen Schluckuntersuchung ($n = 29$), wobei nur bei 1.9 % eine Rekanülierung nötig war.

Medikamente ausgelöst werden. Auch der Ventilator induzierte Zwerchfellschaden oder das akute Lungenversagen sind mögliche Risikofaktoren (Ledl et al., 2023, S. 512f.).

¹⁷ Beim EBT bzw. mEBT werden bei entblockter und verschlossener TK vier Tropfen blaue Farbe auf der Hinterzunge platziert bzw. angefärbte Lebensmittel oder Flüssigkeiten geschluckt. In vorgegebenen Zeitintervallen wird endotracheal abgesaugt. Aspirationen können so farblich erkannt werden (Prosiegel & Weber, 2018, S. 192).

Abbildung 5

Standardized Endoscopic Swallowing Evaluation for Tracheostomy Decannulation (SESETD) – Dekanülierungsalgorithmus von Warnecke et al. (2013)



Anmerkungen. Eigene Darstellung in Anlehnung an Warnecke et al. (2013, S. 1729) und Warnecke et al. (2020, S. 2).

2.2.2.2 Die Rolle der Hustenkraft für Extubations- und Dekanülierungsversuche

Der zweite Aspekt, der vor einer Dekanülierung geprüft werden sollte, ist das Husten. Dieser Aspekt findet in vielen Dekanülierungsstrategien ebenfalls Berücksichtigung. Anstelle einer instrumentellen Messung wird die Qualität allerdings häufig nur subjektiv eingeschätzt (Singh et al., 2017), alternativ wird lediglich das Vorhandensein eines reflektorischen Hustenreizes erfasst (Warnecke et al., 2013).

Wie bereits in Kapitel 2.1.6 erläutert wurde, sind für ein effektives Husten mehrere Dinge Voraussetzung: genügend Atemzugvolumen, die Fähigkeit, den Larynx für den subglottischen Druck zu verschliessen, sowie ausreichend Kraft der expiratorischen Muskeln (Rutte & Sturm, 2018, S. 18). Daher können verschiedene Mechanismen für einen reduzierten Hustenstoss bzw. einen reduzierten Spitzenfluss beim Husten verantwortlich sein: eine eingeschränkte inspiratorische oder expiratorische Muskelkraft, ein gestörter Glottisverschluss bzw. -öffnung, Atemwegsobstruktionen, restriktive Lungenerkrankungen sowie ein erhöhtes Alter mit niedrigem Aktivitätsniveau (Brennan et al., 2022, S. 2).

Dass die Hustenkapazität nicht nur für die Reinigung der Lunge wichtig ist, sondern auch auf den Erfolg des Weanings Einfluss hat, konnte mehrfach gezeigt werden. Bach und Saporito (1996) fanden bei

Patientinnen und Patienten mit überwiegend neuromuskulären Beeinträchtigungen¹⁸ (N = 49) heraus, dass die Stärke des Peak Cough Flow (PCF) verantwortlich für das Gelingen der Extubation bzw. Dekanülierung war. Die Fähigkeit, bei entblockter und verschlossener Trachealkanüle (vgl. Kapitel 6.2) einen PCF von mindestens 160 l/min zu produzieren, war in ihrer Studie ein Prädiktor für den Erfolg der Extubation oder Dekanülierung. Dabei spielte es keine Rolle, ob der PCF mit oder ohne manuelle Unterstützung¹⁹ produziert werden konnte. In einer späteren Studie untersuchten Bach et al. (2010) 157 Personen mit neuromuskulären Erkrankungen, bei denen nach Extubation weiterhin eine nicht-invasive Beatmung (NIV) sowie mechanisch unterstütztes Husten nötig war. Auch hier war bei jenen mit einem assistierten PCF > 160 l/min die Extubation erfolgreich. PCF-Werte unter 160 l/min reichen laut dieser Forschergruppe nicht aus, um Sekret aus der Lunge zu befördern.

In einem Review von Ferreira et al. (2021) konnten zwölf Studien bis 2020 eingeschlossen werden. Ihre Metaanalyse suchte die beste Prognosefähigkeit für den Erfolg einer Extubation und somit des Weanings. Ihr Cut-off-Wert für den PCF von < 60 l/min liegt deutlich tiefer, was zum Teil durch die Messung direkt am Tubus erklärt werden kann, wie auch die Studie von Smina et al. (2003) zeigt. Sie untersuchten 95 Patientinnen und Patienten kurz vor dem ersten Extubationsversuch. Analog zum PCF bei Spontanatmung evaluierten sie den Hustenstoß ebenfalls am Ende des Tubus und ermittelten so den Peak Expiratory Flow (PEF). In Fällen gescheiterter Extubation war auch bei ihnen der PEF signifikant niedriger als bei jenen mit erfolgreicher Extubation. Mit einem PEF von ≤ 60 l/min war die Wahrscheinlichkeit für einen Misserfolg der Extubation fünfmal höher, die Mortalitätsrate sogar zwölfmal höher. Den mit Abstand niedrigsten Cut-off-Wert ermittelten Beuret et al. (2009) mit < 35 l/min, den höchsten Kutchak et al. (2015) mit < 80 l/min, welche von Ferreira et al. (2021) eher als Ausreisser gedeutet werden.

Die ermittelten Cut-Off-Werte für den PCF variieren stark, was zum Teil durch die unterschiedlichen zugrunde liegenden Störungsbilder, Beatmungszeiten, aber auch Messmethoden (direkt am Mund, mit oder ohne Trachealkanüle bzw. direkt am Tubus, reflektorisch oder willkürlich) zurückzuführen ist (Terzi et al., 2018). Da durch den offenen Tubus kein Atemstopp durch den Glottisschluss und somit kein subglottischer Druck aufgebaut werden kann, wird lediglich gehufft²⁰, nicht gehustet, weshalb in diesem Fall niedrigere Werte zu erwarten sind (Ferreira et al., 2021). Zudem ist der Widerstand durch

¹⁸ In diesem Fall waren dies Rückenmarksverletzungen, COPD, progressive neuromuskuläre Erkrankungen, Guillain-Barre-Syndrom, Adipositas-Hypoventilationssyndrom, Lungenteilresektion und chronische alveoläre Hypoventilation.

¹⁹ Beim manuell assistierten Husten wird zunächst durch mehrere «gestapelte» Atemzüge nacheinander eingeatmet (air stacking), ein Zwischenatmen wird durch den Verschluss der Glottis unterbunden. Zeitgleich zur explosionsartigen Öffnung der Glottis wird die expiratorische Muskulatur durch manuellen Druck auf den Thorax unterstützt (Bach & Saporito, 1996, S. 1567). Ob für das Air stacking ein Beatmungsbeutel verwendet wurde, wie bei K. Frank und Frank (2011), bleibt unklar.

²⁰ Im Vergleich zum Husten fehlt beim Hufen die Kompression und Sprengung, die Luft wird ohne subglottischen Druckaufbau lediglich schnell ausgestossen (Ledl & Ullrich, 2022, S. 526; Schwegler, 2022, S. 188).

den Tubus grösser (Terzi et al., 2018). Laut Ledl und Ullrich (2022, S. 526f.) kann allerdings theoretisch trotz der offenen Trachealkanüle (TK) oder dem offenen Tubus durchaus ein Druckaufbau stattfinden: «kaudal der TK, im Allgemeinen durch Vorwölbung der Pars membranacea oder Verschluss der Hauptbronchien». Wie oft und zuverlässig einzelne Personen diese Art von Druckaufbau im Vergleich zum Hufen umsetzen können, bleibt jedoch offen.

Terzi et al. (2018) versuchten, Cut-Off-Werte für mehrere Lungenmesswerte zu finden, die nach Extubation die Notwendigkeit einer NIV-Behandlung oder mechanischen Hustenunterstützung vorhersagen können, um so eine Reintubation zu verhindern ($N = 130$). Zudem verglichen sie verschiedene Parameter, die sowohl direkt vor der Extubation am Tubus als auch nach der Extubation am Mund gemessen wurden. Die Werte nach der Extubation waren für die forcierte Vitalkapazität (VC), den PEF und PCF wie erwartet durchgehend höher als jene vor der Extubation. Der PCF-Cut-Off lag vor der Extubation bei 85 l/min und nach der Extubation bei 113 l/min, beide Werte korrelierten nur schwach miteinander. Die forcierte VC korrelierte hier besser und kann, vor der Extubation gemessen, eventuell die Notwendigkeit einer nicht-invasiven Atemtherapie besser vorhersagen als der PCF.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen schon McKim et al. (2012). Sie führten die Messung vor der Dekanülierung bei entblockter Trachealkanüle mit Sprechventil oder Verschlusskappe direkt am Mund durch ($N = 26$). Vermutlich durch den Widerstand der Trachealkanüle in der Trachea bedingt waren die Messwerte im Schnitt um 34.5 l/min geringer als nach der Dekanülierung. Bestätigt wurden die Ergebnisse auch von Ge et al. (2024), die dies zum Anlass nahmen, einen PCF-Grenzwert von 100 l/min als Dekanülierungskriterium zu nehmen. Bei Patientinnen und Patienten mit diversen Ätiologien ($N = 105$) bewährte sich dieser Grenzwert für eine erfolgreiche Dekanülierung.

Für gewisse Störungsbilder werden hingegen weitaus höhere Grenzwerte für den PCF angegeben. Bei Patientinnen und Patienten mit Amyotropher Lateralsklerose oder Duchenne Muskeldystrophie gelten beispielsweise nur Werte über 270 l/min als ausreichend. Niedrigere Ergebnisse erfordern eine nicht-invasive Atemtherapie nach Extubation, um pulmonale Komplikationen in dieser Population zu vermeiden (Bach et al., 2004; Torres-Castro et al., 2014).

Entsprechend der diversen Untersuchungsergebnisse gibt es auch unterschiedliche Empfehlungen. Die Deutsche Gesellschaft für Pulmologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGP) empfiehlt in der Leitlinie zum prolongierten Weaning insbesondere bei neuromuskulären Beeinträchtigungen eine Überprüfung des PEF sowie nach der Extubation oder Dekanülierung «ein intensives nicht-invasives Sekretmanagement», sofern die Werte am Tubus gemessen unter 60 l/min liegen (Schönhofer et al., 2019, S. 750). Im Bereich der logopädischen Literatur orientieren sich die Autorinnen und Autoren hingegen eher an der Forschergruppe rund um Bach (Bach et al., 2004; Bach et al., 2010; Bach & Saporito, 1996). Der PCF, bei verschlossener Trachealkanüle gemessen, sollte mindestens 160 l/min betragen (Ledl et al., 2023; Ledl & Ullrich, 2022, S. 539) und gilt erst dann als effektiv (Brennan et al.,

2022). Bei Werten unter 270 l/min wird nach der Dekanülierung ein Atemtraining sowie Hustenunterstützung (z. B. Air-stacking, Cough-assist, Bagging) empfohlen (Schwegler, 2022, S. 93), da ansonsten mit Sekretansammlungen und Infektionen zu rechnen ist (Brennan et al., 2022). Dieser Wert liegt sogar am unteren Ende der von Cardoso et al. (2012) ermittelten Normdaten (240–500 l/min) für gesunde Erwachsene. Auch in einer Leitlinie zur nicht-invasiven und invasiven Beatmung bei chronisch-respiratorischer Insuffizienz wird bei neuromuskulären Erkrankungen und einem PCF unter 270 l/min ein individualisiertes Sekretmanagement sowie eine Hustenassistenz empfohlen (Windisch et al., 2017, S. 763).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich folgende Richtwerte etabliert haben: Willkürlicher Husten wird erst ab PCF-Werten über 160 l/min als effektiv angesehen. Werte unter 270 l/min werden assoziiert mit erhöhtem Risiko für Sekretansammlungen und Infektionen (Brennan et al., 2022), weshalb der Hustenstoss in diesen Fällen unterstützt werden sollte und ein Training der Atemmuskulatur schon vor Dekanülierung in Betracht gezogen werden sollte (Schwegler, 2022, S. 93f.).

Ein Grossteil der beatmeten Patientinnen und Patienten kann einfach und nach kurzer Zeit von der Beatmung entwöhnt werden. In etwa einem Viertel der Fälle gestaltet sich das Weaning jedoch als langwierig und es besteht das Risiko für eine Langzeitbeatmung, sodass die Betroffenen mit Beatmung in den ausserklinischen Bereich entlassen werden (Schönhofer et al., 2019). Für viele Betroffene bedeutet dies eine enorme Einschränkung der Lebensqualität (Huttmann et al., 2018; Huttmann et al., 2015). In solchen Fällen sollten spezifische Weaning-Zentren hinzugezogen werden, da sie einen erheblichen Anteil (62 %) der Betroffenen noch erfolgreich vom Ventilator entwöhnen können oder zumindest mit NIV (19 %) nach Hause entlassen können (Schönhofer et al., 2016).

In Kapitel 2.2 wurde deutlich, dass die Durchführung einer Schluckdiagnostik und die Berücksichtigung des willkürlichen Hustenstosses aus medizinischer Sicht relevante Parameter für ein erfolgreiches Weaning darstellen. Der Weaningprozess bzw. das Dekanülierungsmanagement sind als interprofessionelle Aufgaben zu sehen (Ledl et al., 2023). In Folge der steigenden Fallzahlen an beatmeten Patientinnen und Patienten und der hohen Dysphagierate in dieser Population stellt dies ein wachsendes Aufgabengebiet der Logopädie dar (Fleischmann-Struzek et al., 2019; Zuercher et al., 2020). Der Dekanülierungsprozess umfasst allerdings viele weitere Aspekte, welche in Kapitel 6.1 noch genauere Berücksichtigung finden. Neben unterschiedlichen Vorgehensweisen sowie Dekanülierungsalgorithmen werden dort insbesondere jene Faktoren besprochen, die aus Sicht der logopädischen Therapie von Bedeutung sind.

Im anschliessenden Kapitel 3 wird jedoch zuvor ein Überblick über die Rolle der Atmung und Lungenfunktion für die Stimmgebung und das Sprechen erörtert, wobei vor allem die prosodische Gliederung Berücksichtigung findet.

3 Die Rolle der Atmung in der Stimmgebung und beim Sprechen

Atmung ist lebenswichtig, da durch sie der Gasaustausch stattfindet. Doch auch der Schutz der unteren Atemwege und die Stimmgebung gehören zu ihren Aufgaben (Kalkhof & Walker, 2007, S. 120). Abgesehen davon, dass ohne Luft kein Leben möglich wäre, gäbe es ohne sie keinen Schall und ohne Schall kein Ton, denn mit Schall bezeichnet man «die von uns auditiv wahrnehmbaren minimalen Luftdruckschwankungen» (Pompino-Marschall, 2009, S. 87). Es scheint daher trivial, dass der Luftfluss, also die Atmung, eine wichtige Rolle bei der Stimmgebung und beim Sprechen spielt. Dennoch lohnt es sich, genauer zu eruieren, wie der Luftfluss und somit auch die Respirationsfähigkeit die Stimmgebung und das Sprechen im Detail verändern und beeinflussen. Gewisse Grundlagen sollen hier deshalb trotzdem, allerdings mit einem besonderen Fokus auf die Luftflüsse, dargestellt werden.

3.1 Phonation

Die Erzeugung eines Lautes erfolgt aufgrund der Schwingungen der Stimmlippen. Allerdings ist dies nur mithilfe des Atemapparates möglich, denn dieser ist die Energiequelle für die Stimmgebung, «die treibende Kraft, auf die sich die Stimmlippenschwingungen einstellen» (Schutte & Seidner, 2005, S. 72). Das Grundprinzip der Vibration der Stimmlippen wurde in einem klassischen Modell von van den Berg (1958; zitiert nach Gick et al., 2013, S. 81) mit der *myoelastisch-aerodynamischen Theorie* beschrieben. Die Schwingungserzeugung bei der Ausatmung kommt demnach durch das gemeinsame Wirken von aerodynamischen und myoelastischen Kräften zustande (Hammer, 2017, S. 23).

Die aerodynamischen Kräfte wirken wie folgt: Nach der Inspiration herrscht gegenüber der Atmosphäre ein positiver Druck (Überdruck) in der Lunge. Bei beginnender Phonation (und Expiration) kommt es dann zu einem Verschluss der Glottis (Phonationsstellung) und somit zu einem Druck von unten auf die Glottis: dem subglottischen Druck. Wird ein bestimmter Druck überschritten, kommt es zu einer Sprengung der Stimmlippen und die Luft aus der Lunge strömt impulsartig aus. Auf Höhe der Stimmlippen wird die Strömungsgeschwindigkeit aufgrund der Engstelle im Strömungskanal erhöht. Dadurch kommt es dort zu den sogenannten Bernoulli-Kräften, welche senkrecht zur Fließgeschwindigkeit wirken. Durch die so entstandene Sogwirkung bewegen sich die Stimmlippen wieder aufeinander zu. Mit dem folgenden Verschluss steigt der Druck von unten auf die Stimmlippen wieder und der Vorgang wiederholt sich (Hammer, 2017, S. 23).

Neben den beschriebenen aerodynamischen Kräften erfolgt der Verschluss der Stimmlippen auch aktiv durch die zuständige Kehlkopfmuskulatur sowie durch die Elastizität der Stimmlippen (Hammer, 2017, S. 23). Die Stimmlippen stellen sich vor Phonation in der Länge und Spannung auf eine bestimmte

Tonhöhe ein und zusammen mit der Kraft der Kehlkopfmuskulatur wird dem Luftstrom ein Widerstand entgegengestellt (Nawka & Wirth, 2008, S. 52).

Allerdings lassen sich nicht alle neueren Erkenntnisse mit dem klassischen Modell der aerodynamisch-elastischen Schwingungstheorie vereinen und einige Aspekte bleiben unberücksichtigt, beispielsweise Schwankungen des subglottischen Druckes während der Verschlussphase, verschiedene biomechanische Faktoren, Energieverluste, die Kompressibilität der Luft und weitere Phänomene (Schutte & Seidner, 2005, S. 88). Die genaue Beschreibung der Stimmlippenschwingung selbst bleibt in diesem Modell ebenfalls aus (Gick et al., 2013, S. 84).

Die Schwingung der Stimmlippen ist ein dreidimensionaler Vorgang, der erst durch deren besonderen anatomischen Aufbau möglich wird (Schneider-Stickler & Bigenzahn, 2013, S. 32). Die Stimmbänder dürfen nicht nur als eine einzige schwingende Masse gesehen werden, sondern als mehrfach geschichtete Massen, die, wie mit einer Feder verbunden, unabhängig voneinander schwingen können. Hierfür wurden mehrere Modelle entworfen, beispielsweise das Zwei-Massen-Modell von Ishizaka und Matsudaira (1972; zitiert nach Gick et al., 2013, S. 86). Eine detaillierte Beschreibung des Stimmlippenaufbaus findet sich bei Hirano (1981, S. 5) und wird auch als *Body-Cover-Modell* bezeichnet. Der M. vocalis – als *body* – hat eine relativ grosse Masse und wird vom Stimmlippenepithel und der obersten Schleimhautschicht mit geringerer Masse, der Lamia propria umhüllt (*cover*). Die mittlere und tiefe Schicht der Lamina Propria verbinden die beiden Komponenten dabei wie ein *Mantelfutter* (Schneider-Stickler & Bigenzahn, 2013, S. 32).

Die Schwingung selbst setzt sich aus drei Komponenten zusammen: Durch den subglottischen Luftdruck beginnt die Öffnung der Glottis von dorsal, wobei der untere Bereich der Stimmlippe mit einer horizontalen Bewegung zur Seite öffnet, gefolgt von einer Öffnung im oberen Bereich. Der Rand der Stimmlippen verschmälert sich und wird nach oben, also vertikal, verschoben (Hammer, 2017, S. 23). Die Öffnung beginnt dabei zuerst im hinteren Bereich. Hinzu kommt die Verschiebung der Schleimhautschicht am Rand der Stimmlippen. Genauer gesagt verschiebt sich gegenüber dem gespannten M. vocalis das Epithel und mit ihm verformt sich die Lamina Propria wellenförmig, was als Randkantenverschiebung bezeichnet wird (Nawka & Wirth, 2008, S. 53f.).

Dieser sich wiederholende Vorgang führt durch die «periodische Verdichtung und Verdünnungen der Luftsäule» (Denk et al., 1998, S. 68) zur eigentlichen Schallwelle, dem primären Kehlkopfklang, welcher dann im Ansatzrohr²¹ zum hörbaren Stimmklang verformt wird (Denk et al., 1998, S. 68).

²¹ Das Ansatzrohr ist der Raum «zwischen ... Rohrschallquelle und den Mundlippen» (Pompino-Marschall, 2009, S. 106).

Folgenden drei aerodynamischen Grössen kann zusammenfassend eine entscheidende Rolle bei der Phonation zugeschrieben werden: dem subglottischen Druck, der Strömungsgeschwindigkeit und dem Glottiswiderstand (Nawka & Wirth, 2008, S. 52). Aufgrund der ersten beiden Faktoren hat also auch die Lungenfunktion einen entscheidenden Einfluss auf die Phonation selbst.

Bevor es zu einer Explosion der Stimmlippen kommen kann, muss der subglottische Druck so weit ansteigen, dass er den Glottiswiderstand überschreitet. Die Luftströmung vermag die Stimmlippen, wie bereits erwähnt, nicht nur zu öffnen, sondern die Strömungsgeschwindigkeit ist durch die entstehende Sogwirkung ebenfalls für den Verschluss der Stimmlippen verantwortlich (Denk et al., 1998, S. 68). Damit überhaupt eine Schwingung der Stimmlippen erzeugt werden kann, ist mindestens ein Druck von 2 cmH₂O in der Trachea nötig (Draper et al., 1960). Ohne ausreichenden subglottischen Druck ist demnach gar keine Phonation möglich. Diesbezüglich ist allerdings zu beachten, dass es innerhalb und zwischen den Individuen grosse Unterschiede gibt. Der für eine Schwingung nötige minimale Anblasedruck hängt zudem von der Lautstärke, der Grundfrequenz und den Atemwegswiderständen ab (Plant, 2005; Plant et al., 2004). Dabei zeigt sich jedoch ein Hysterese-Effekt, d. h. für die Initiierung der Stimmlippenschwingung ist ein höherer subglottischer Druck nötig als für die Aufrechterhaltung der Schwingung. Folglich findet man bei Versuchen an Larynxmodellen und am Menschen einen höheren Schwellenwert für den Onset als für den Offset (Plant, 2005; Plant et al., 2004; Titze et al., 1995). Auch hier lassen sich Schwankungen durch individuelle Unterschiede oder andere Faktoren wie die Frequenz erklären (Lucero et al., 2011). Doch lässt sich in etwa sagen, dass beim gewöhnlichen Sprechen ein subglottischer Druck von 5–10 cmH₂O erreicht wird (Hirano, 1981, S. 37). Der glottale Luftfluss beim Sprechen beträgt normalerweise ungefähr 50–200 ml/s (Hirano, 1981, S. 27; Isshiki, 1964).

Aber nicht nur die Phonation ist vom Atemapparat und dessen Kapazität abhängig, auch die Modulation der Stimme geht mit Veränderungen des Luftflusses und des subglottischen Druckes einher, wie im folgenden Kapitel 3.2 gezeigt wird.

3.2 Modulation der Stimme

Die Modulation der Sprechstimme wird hauptsächlich durch Variation der Tonhöhe und Lautstärke erreicht. Im Durchschnitt liegt der Schalldruckpegel beim Sprechen um die 70 dB und Variationen um 10 dB sind beim normalen Sprechen normal. Eine Sprechstimme sollte im Bereich von 50 bis 80 dB variieren können. Die Modulation der Tonhöhe umfasst in der Regel $\frac{1}{2}$ –1 Oktave um die mittlere Sprechstimmlage herum (Hammer, 2017, S. 30). Der Schwingungsablauf der Stimmlippen wird zum

einen von der Einstellung der Kehlkopfmuskulatur verändert, also der Masse, der Länge und der Spannung der Stimmlippen, zum anderen vom subglottischen Druck (Denk et al., 1998, S. 68).

Die *Tonhöhe* kann durch Variation von Länge und Spannung der Stimmlippen variiert werden. In höheren Tonlagen verlängern sich die Stimmlippen mit zugleich steigender Spannung. Durch deren entstandene Verschmälerung verringert sich der schwingende Anteil der Masse, sodass bei höheren Tönen lediglich die Ränder der Stimmbänder schwingen, bei ganz hohen Tönen nur noch die Schleimhaut. Aufgrund der erhöhten Spannung ist ebenfalls ein erhöhter Anblasedruck nötig, d. h. eine höhere Geschwindigkeit des Ausatemstroms. Die Schwingungsamplitude nimmt ab, die Frequenz erhöht sich und somit auch die Tonhöhe, welche in *Hertz* (Hz) angegeben wird (Hammer, 2017, S. 27f.). Mit steigender Tonhöhe verlängert sich die Öffnungszeit der Stimmlippen im Verhältnis zur Verschlusszeit (Nawka & Wirth, 2008, S. 60).

Die *Lautstärke* wird hauptsächlich durch Erhöhung des Anblasedrucks und der Atemstromgeschwindigkeit gesteigert. Der höhere Anblasedruck erfordert wiederum einen höheren glottischen Widerstand, d. h. eine höhere Kraft und Spannung der Stimmlippen. Mit dem Anblasedruck erhöhen sich die Schwingungsamplitude sowie die Randkantenverschiebung und hierdurch auch die Lautstärke (Hammer, 2017, S. 28; Nawka & Wirth, 2008, S. 59f.). Mit steigender Lautstärke verkürzt sich dagegen die Öffnungszeit der Stimmlippen gegenüber der Verschlusszeit (Nawka & Wirth, 2008, S. 60).

Vereinfacht kann gesagt werden, dass sowohl ein Anheben der Tonhöhe als auch die Steigerung der Lautstärke eine Verstärkung des subglottischen Druckes erfordern (Denk et al., 1998, S. 69; Hirano, 1981, S. 37; Hollien, 2014; Pompino-Marschall, 2009, S. 38f.). Nach Draper et al. (1960, S. 1839) beträgt der subglottische Druck beim leisen Sprechen normalerweise 4–6 cmH₂O, bei lautem Schreien hingegen 20–30 cmH₂O. Der Einfluss der Frequenz wurde hier allerdings vernachlässigt. Soll die Lautstärke beim Sprechen gleichbleiben, muss demnach auch der subglottische Druck konstant gehalten werden. Wenn dies nicht möglich ist, können Lautstärke- und Frequenzschwankungen auftreten (Aronson & Bless, 2009, S. 347).

Die Regulation von Lautstärke und Tonhöhe ist allerdings durchaus komplexer als bisher dargestellt. Viele Studien kamen in Bezug auf die konkreten Zusammenhänge und Abhängigkeiten zu unterschiedlichen Erkenntnissen. Dass ein enger Zusammenhang zwischen den drei Variablen Lautstärke, Tonhöhe und subglottischer Druck existiert, scheint aber einhellige Meinung zu sein. Ob das Verhältnis nun linear, exponentiell oder andersartig ist bzw. wie hoch der Faktor der Abhängigkeit ist, wird aufgrund abweichender Beobachtungen unterschiedlich diskutiert (Björklund & Sundberg, 2015; Herbst et al., 2015; Plant, 2005; Plant & Younger, 2000; Titze, 2000, S. 243ff.; Z. Zhang, 2015). Beispielsweise wurde eine grosse Varianz unter den Probanden festgestellt (Plant, 2005; Plant & Younger, 2000), zudem konnten weitere Einflussfaktoren wie das Geschlecht (Björklund & Sundberg, 2015) oder das Alter ausfindig gemacht werden. Eine Erklärung hierfür wird in den altersbedingten

Gewebeveränderungen der Stimmlippen sowie in den altersbedingten veränderten Lungenvolumen und Retraktionskräfte vermutet (Baker et al., 2001).

Die Komplexität der Zusammenhänge wird auch in der Studie von Plant und Younger (2000) deutlich. Ihre neun männlichen Probanden zeigten die Tendenz, dass eine Steigerung der Lautstärke fast immer mit einer Erhöhung des subglottischen Druckes einherging. Genauer betrachtet beeinflusste die Lautstärke allerdings das Verhältnis von subglottischem Druck und Frequenz. Bei niedrigen Lautstärken war die Frequenz – im Gegensatz zu höheren Lautstärken – nahezu unabhängig vom subglottischen Druck. Besonders interessant ist, dass bei mehreren Individuen für bestimmte Frequenzbereiche ein sprunghafter Anstieg der Frequenz ohne Steigerung bzw. sogar mit einem Abfall des subglottischen Druckes beobachtet werden konnte. Bei bestimmten Frequenzen fiel ihnen die Produktion des Tones scheinbar *leichter*. In Einzelfällen kann der Larynx demnach in bestimmten Frequenzen effizienter Töne produzieren, d. h. mit geringerem subglottischen Druck oder lauter als in anderen Frequenzbereichen. Für diese Einzelfälle stellt sich die Frage, ob für bestimmte Frequenzen mechanische Vorteile existieren. Plant (2005) konnte dies in weiteren einzelnen Fällen beobachten.

Wie zu erwarten, werden auch Unterschiede zwischen trainierten und untrainierten Stimmen beschrieben. Sänger zeigen oft eine geringere relative Öffnungszeit der Stimmlippenschwingung als untrainierte Sprecher, daher auch eine viel effizientere Nutzung des Luftstromes (Nawka & Wirth, 2008, S. 60). Durch die Verkürzung der Öffnungsphase und somit längerer Schwingungsphase steigt ebenfalls der Anteil am Obertonspektrum. Dieses zeichnet das Klangspektrum einer Sängerstimme besonders aus und ist für deren Brillanz verantwortlich (Hammer, 2017, S. 32). Bei einem professionellen Bariton in der Studie von Herbst et al. (2015) war beim Registerwechsel, also beim Wechsel der Schwingungseigenschaften, eine Veränderung des subglottischen Druckes zu beobachten. Der trainierte Sänger konnte zudem die Lautstärke ändern, ohne die Einstellung der Kehlkopfmuskeln oder den Glottiswiderstand zu variieren.

Auch trainierte Sprecher zeigen gegenüber untrainierten signifikant höhere Werte bezüglich der mittleren Lautstärke, des phonatorischen Luftflusses, des subglottischen Drucks, der Inspirationsdauer, des inspiratorischen Luftflusses und des Inspirationsvolumens sowie eine niedrigere mittlere Sprechstimmlage (Master et al., 2015).

Eine gute Stimmqualität ist demnach nicht nur durch eine effizientere Nutzung des Luftstroms gekennzeichnet, sondern auch durch eine suffiziente Respiration. Trotz bestehender Unklarheiten bezüglich der differenzierten Zusammenhänge ist unbestritten, dass neben dem Glottiswiderstand auch die Strömungsgeschwindigkeit und der subglottische Druck bedeutende Größen für Stimmgebung und die prosodische Gestaltung darstellen. Folglich ist im Rahmen von pulmonalen Beeinträchtigungen in Bezug auf die kommunikativen Fähigkeiten auch mit Einschränkungen in der

Stimmgebung und Prosodie zu rechnen (vgl. Kapitel 3.6). Aber auch die rhythmische Gliederung gesprochener Äusserungen wird von der Lungenfunktion beeinflusst, wie in Kapitel 3.4 deutlich werden wird. Zunächst werden allerdings die Grundlagen der Sprechatmung besprochen.

3.3 Sprechatmung

Wie gezeigt wurde, ist die Atmung der Motor der Stimmgebung. Beim Sprechen muss sie sich jedoch an die Bedingungen anpassen und weicht daher deutlich von der normalen Ruheatmung ab.

Die Einatmung beim Sprechen erfolgt im Vergleich zur Ruheatmung innerhalb sehr kurzer Zeit (Binazzi et al., 2006) und der inspiratorische Luftfluss ist um ein Vielfaches schneller als bei der Ausatmung (Nawka & Wirth, 2008, S. 19; Titze, 2000, S. 71). Die Expirationsphasen beim Sprechen sind im Vergleich zur Ruheatmung länger (Binazzi et al., 2006). Sie können im Verhältnis zur Inspiration bis um den Faktor acht verlängert sein, beim Singen ist sogar ein Verhältnis von 1:50 möglich (Hammer, 2017, S. 24). Eine Sprechphrase dauert etwa 1–5 Sekunden. In der Regel ist das Atemzugvolumen leicht erhöht gegenüber der Ruheatmung (Nawka & Wirth, 2008, S. 19; Titze, 2000, S. 70).

Beim Sprechen muss die Atmung zwei Dinge gewährleisten: Zum einen muss ein ausreichendes Luftvolumen für die Phonation zur Verfügung stehen, zum anderen muss der für die Schwingung der Stimmlippen nötige subglottische Druck hergestellt werden (Nawka & Wirth, 2008, S. 19; Schultz-Coulon, 2000, S. 9). Die verlängerte Expirationsphase erfordert daher eine konstante Luftstromdosierung über die gesamte Sprechphase hinweg (Hammer, 2017, S. 24).

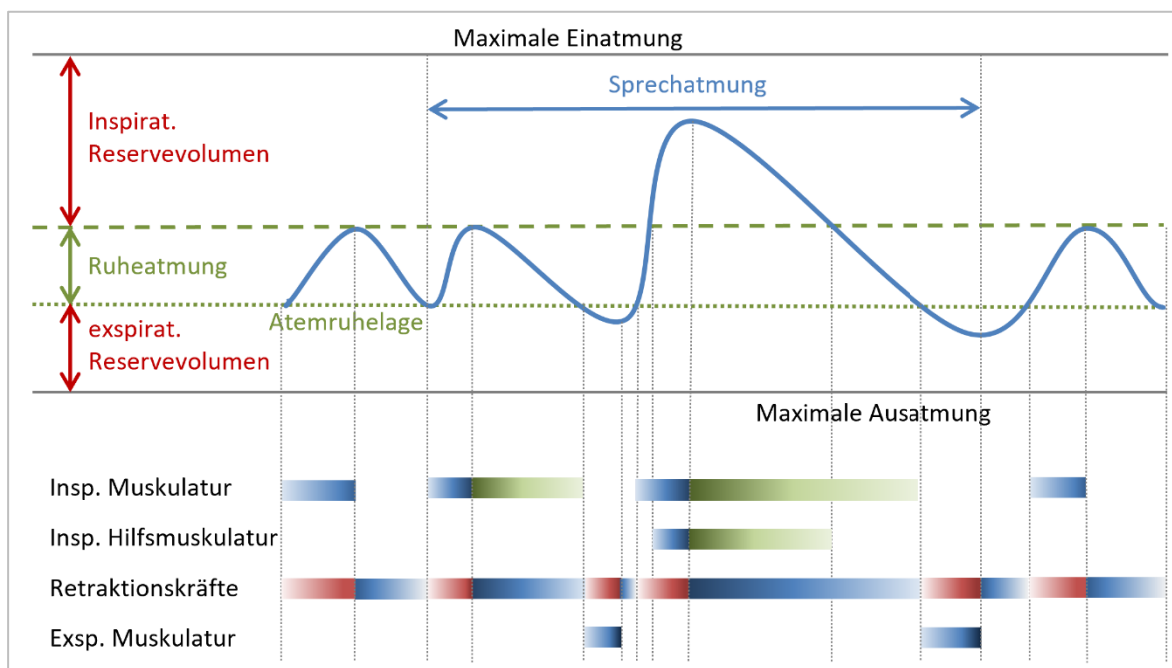
Das *Atemzugvolumen* kann, falls die Sprechleistung dies erfordert, über das Ruheatemzugvolumen hinaus erweitert werden. Durch eine vertiefte Einatmung sowie eine forcierte Ausatmung können inspiratorische und expiratorische Volumenreserven ergänzend genutzt werden. Hierfür ist zusätzliche Kraft inspiratorischer und expiratorischer Muskeln nötig, wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben (Schultz-Coulon, 2000, S. 9ff.).

Betrachtet man die Respirationszyklen beim Sprechen genauer (vgl. Abbildung 6), zeigt sich, dass die Einatmung häufig innerhalb des normalen Ruheatemzugvolumens stattfindet. Steigt jedoch die Anforderung an die Phonationsatmung, beispielsweise beim lauten Sprechen, beim Lesen, bei Aufgaben der Maximalleistung oder beim Singen, muss das Atemzugvolumen nach oben angepasst werden. Die Expirationsphasen müssen beim Sprechen deutlich verlängert werden (Bouhuys et al., 1966; Hixon et al., 1973; Nawka & Wirth, 2008, S. 19). Das Lungenvolumen am Phrasenende kann dabei über der Atemruhelage liegen, je nach Sprechaufgabe werden die Sprechphrasen aber mehrheitlich rund um die Atemruhelage oder darunter beendet. Diesbezüglich ist allerdings eine grosse inter- und intraindividuelle Variabilität beobachtbar (Bouhuys et al., 1966; Estenne et al., 1990; Hixon et al., 1973;

Hixon et al., 1976; Hoit & Lohmeier, 2000; Winkworth et al., 1995). Dies mag zum einen an den allgemeinen Bedingungen oder Lautstärkeanforderungen liegen, zum anderen wird dies aber auch durch linguistische Faktoren beeinflusst, wie das Einhalten sinnvoller Phrasengrenzen (Winkworth et al., 1995). Beim deutlichen Überziehen der Atemmittellage kommt es durchaus vor, dass die expiratorischen Volumenreserven bis zum Residualvolumen gebraucht werden. Auch beim Lachen werden die unteren Grenzen der Vitalkapazität erreicht (Bouhuys et al., 1966; Winkworth et al., 1995). Sprechen stellt also an die Respiration deutlich höhere Anforderungen als die Ruheatmung.

Abbildung 6

Vereinfachte schematische Darstellung der an der Sprechatembewegung beteiligten Muskel- und Retraktionskräfte



Anmerkungen. Das Beispiel zeigt zwei Sprechatemzüge mit verkürzter Inspirations- und verlängerter Expirationsdauer (steilerer Kurvenanstieg bzw. flacherer Kurvenabfall). Die Farbänderungen der Balken stehen für unterschiedlich starke Kräfte: Je dunkler, desto grösser die Kraft. Die blau dargestellten Kräfte bewirken die Atembewegung, die rot markierten Retraktionskräfte wirken entgegen der Bewegungsrichtung und müssen überwunden werden. Die grünen Kräfte der Inspirationsmuskulatur bremsen die Wirkung der Retraktionskräfte aus, sodass der subglottische Druck über die gesamte Expiration hinweg konstant gehalten wird. Unterhalb der Atemruhelage hält die expiratorische Muskulatur diesen aufrecht (Eigene Darstellung in Anlehnung an Gick et al., 2013, S. 65).

Beim freien Sprechen und Lesen kann das Atemzugvolumen, wie eben geschildert, grösser sein als in Ruheatmung. Die Atembewegungen finden aber aus ökonomischen Gründen in nächster Nähe zur Atemruhelage statt, denn der Atemapparat lässt sich in diesem Bereich mit dem geringsten Widerstand verändern (Estenne et al., 1990; Schultz-Coulon, 2000). In der Stimmtherapie spricht man

auch von *Sprechen aus der Atemmittellage* (Bergauer & Janknecht Susanne, 2005, S. 14) und einige Therapieansätze, wie beispielsweise die atemrhythmisch angepasste Phonation, fokussieren sich auf dieses Ökonomieprinzip (Coblenzer & Muhar, 1976, S. 16ff.).

Der zweite Punkt, den die Atmung neben dem ausreichenden Lungenvolumen gewähren sollte, ist der *subglottische Druck* zur Schwingungsanregung der Stimmlippen (Nawka & Wirth, 2008, S. 19; Schultz-Coulon, 2000, S. 9). Wie erwähnt, muss dieser mindestens 2 cmH₂O betragen und wird je nach gewünschter Lautstärke bis auf 30 cmH₂O erhöht (Draper et al., 1960). Im Kapitel 3.2 wurde auch angeführt, dass ein gleichmässiges Aufrechterhalten des subglottischen Druckes nötig ist, um ungewollte Lautstärke- und Frequenzschwankungen zu verhindern (Aronson & Bless, 2009, S. 347). Nun baut sich aber mit steigender Inspiration ein höherer subglottischer Druck auf, der durch die steigenden passiven Retraktionskräfte des Atemapparates erklärt werden kann. Lässt man bei unterschiedlichen Inspirationsvolumen die Luft aktiv anhalten und die Atemmuskulatur bewusst relaxieren, können die so entstandenen subglottischen Drücke gemessen werden. In dieser dynamischen Beziehung von Volumen und Druck können subglottische Drücke laut Schultz-Coulon (2000, S. 10) bis zu 30 cmH₂O betragen.

Draper et al. (1960) konnten beobachten, dass der subglottische Druck bei fortlaufender Silbenwiederholung über die gesamte Phonationsphase etwa gleich blieb bei etwa 3.5 cmH₂O. Dies kann nur erreicht werden, wenn nach vertiefter Einatmung bis zu einem bestimmten Punkt der Ausatmung die Retraktionskräfte aktiv durch Inspirationsmuskulatur gehemmt werden, um die Expiration zu verlangsamen und den subglottischen Druck gleich zu halten. Analog müssen beim Überschreiten der Atemmittellage, also der funktionellen Residualkapazität, die expiratorischen Muskeln aktiv werden, um den entstehenden inspiratorisch wirkenden Retraktionskräften und dem Unterdruck entgegenzuwirken (Schultz-Coulon, 2000, S. 9ff.). Um zu veranschaulichen, inwiefern sich Ruhe- und Sprechatmung unterscheiden, und wann die Muskeln zusammen mit den Retraktionskräften oder ihnen entgegenwirken, werden diese Vorgänge in Abbildung 6 schematisch dargestellt. Die aktive Verlangsamung der Expiration durch die Kraft inspiratorischer Muskeln wird auch als inspiratorische Gegenspannung oder Atemstütze bezeichnet, letztere wird häufig in der Gesangsausbildung explizit trainiert (Hammer, 2017, S. 25; Seidner & Wendler, 1982, S. 57ff.).

Wie bereits beschrieben, sind die Funktionsfähigkeit der Atmung und deren Regulation, insbesondere der subglottische Druck, entscheidend bei der Modulation der Stimme, so auch für die Lautstärkeänderungen. Zum einen kann die Lautstärke durch ein höheres inspiratorisches Volumen erhöht werden, wodurch höhere Rückstellkräfte und dadurch höhere Drücke entstehen. Alternativ oder zusätzlich kann die Aktivität der expiratorischen Muskeln gesteigert werden (Huber et al., 2005).

Darüber hinaus gibt es noch weitere Einflussfaktoren, welche die Sprechatmung beeinflussen. So ist beispielsweise die Körperposition entscheidend für die Aktivität verschiedener abdomineller Muskeln (Hoit et al., 1988). Auch geschlechtsspezifische Unterschiede lassen sich bei Volumenparametern der Sprechatmung, wie beim verbrauchten Volumen oder Brustkorbbewegungen finden (Hoit et al., 1989). Weiter existieren bei Frauen und Männern Altersunterschiede. Allgemein sind im Alter eine abnehmende Lungenfunktion (z. B. schlechtere Vitalkapazität) und eine abnehmende Ökonomie in der Atem-Sprech-Koordination (z. B. höherer Luftverbrauch pro Silbe) zu beobachten. Vermutlich spielen hier die reduzierte Beweglichkeit des Brustkorbes, die reduzierten Rückstellkräfte und ein veränderter laryngealer Verschluss bzw. Widerstand eine Rolle (Huber & Spruill, 2008). Daher müssen ältere Personen ihre Sprechatmung anpassen, um die gleiche Stimmleistung zu erreichen. Dies zeigt sich beispielsweise in einem erhöhten initialen Tidalvolumen, höherem finalen Residualvolumen (Hoit & Hixon, 1987; Hoit et al., 1989) oder erhöhter abdominaler Muskelaktivität (Huber & Spruill, 2008). Neben dem Alter, dem Geschlecht und der Körperposition kann auch der Körperbau einzelne kinematische Aspekte der Sprechatmung beeinflussen. Anteile an Brustkorb- oder Bauchraumbewegungen bzw. die Aktivität einzelner Muskelgruppen können je nach Typ voneinander abweichen (Hoit & Hixon, 1986).

Beim abschliessenden Vergleich des Ablaufs der Ruheatmung (Kapitel 2.1.2) mit jenem der Sprechatmung werden die Unterschiede im Ablauf und in den Anforderungen deutlich. Es wurde bereits erwähnt, dass die zentral gesteuerte und automatisierte metabolische Atmung von ausreichend starken Reizen aus der Peripherie – zumindest bis zu einem $p_a\text{CO}_2$ von 50 mm Hg (Larsen et al., 2018, S. 59) – beeinflusst werden kann (Larsen et al., 2018, S. 56ff.). Sowohl neurobiologische als auch klinische Evidenzen sprechen für eine unterschiedliche Steuerung der automatisierten metabolischen Atmung und der willkürlichen Atmung, zu der die Sprechatmung zählt (Ziegler, 2003a, 2003c). An späterer Stelle (Kapitel 3.5) wird auf die Steuerung der am Sprechen beteiligten Organe noch detaillierter eingegangen.

Die Sprechatmung passt sich allerdings nicht nur an die Modulation an, sondern auch an die Art der Aufgabe. Die Atemfrequenz für gelesene Sprache ist höher als für die Ruheatmung (Hoit & Lohmeier, 2000), für Spontansprache hingegen niedriger als für die Ruheatmung (Butcher, 1981, S. 203ff.), d. h. in Abhängigkeit von der Sprechaufgabe werden unterschiedlich viele Atempausen gesetzt. Somit stellt sich die Frage, welche Faktoren neben metabolischen Bedürfnissen den Einsatz von Atempausen zusätzlich beeinflussen. Weiter soll im Folgenden geklärt werden, an welchen Stellen Pausensetzungen in der Regel stattfinden.

3.4 Strukturierung gesprochener Äusserungen durch Pausen und Atempausen

Um Sprache zu verstehen, ist deren Strukturierung mithilfe von suprasegmentalen Mitteln essenziell. Hierzu gehören Akzentuierungen im Wort oder der rhythmischen Gruppe, Hierarchisierung von Phrasen, Markierung der Modalität rhythmischer Gruppen oder das Kennzeichnen von Turn- oder Absatzzeichen. Das Hervorheben von Phrasengrenzen oder rhythmischen Gruppen ist unter anderem durch Pausen möglich (Hirschfeld & Stock, 2004, S. 38). Neben Pausen können aber auch andere Grenzsignale prosodische Phrasierungseinheiten markieren, z. B. Veränderungen in der Zeitstruktur (Dehnungen), Tonhöhenbewegungen oder Neueinsatz und Unterbrechung von Melodiebögen (Kohler, 1995, S. 192). Prosodische Elemente spielen aber nicht nur beim Verstehen gesprochener Sprache eine grosse Rolle, sondern auch beim Lesen (M. Bader, 1996), beim Führen von Gesprächen (Selting, 1995) oder dem frühen Spracherwerb bei Kindern (Jungheim et al., 2014; Schröder & Höhle, 2011). Somit ist das Element der Sprech- bzw. der Atempause, welcher an dieser Stelle besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, in vielerlei Hinsicht ein wichtiger Aspekt in der täglichen Kommunikation.

Der Einsatz von Atempausen beim Sprechen unterliegt nicht nur den metabolischen Bedürfnissen des Körpers, also dem Bedürfnis nach Sauerstoffzufuhr durch Einatmung (vgl. Kapitel 2.1.4), sondern orientiert sich – falls physisch möglich – auch an grammatikalischen bzw. phonologischen Strukturen, wie in Kapitel 3.4.2 gezeigt wird.

Den meisten Hörerinnen und Hörern fällt es vermutlich sofort auf, wenn ein Sprecher oder eine Sprecherin an unpassenden Stellen Sprech- oder Atempausen einlegt. Doch bei dem Versuch, die Frage zu klären, wann eine gesetzte Pause eigentlich adäquat oder inadäquat ist, lässt sich dies nicht ganz so einfach beantworten. Zuvor muss der Blick auf einen kurzen Exkurs zur phonologischen Hierarchie gerichtet werden.

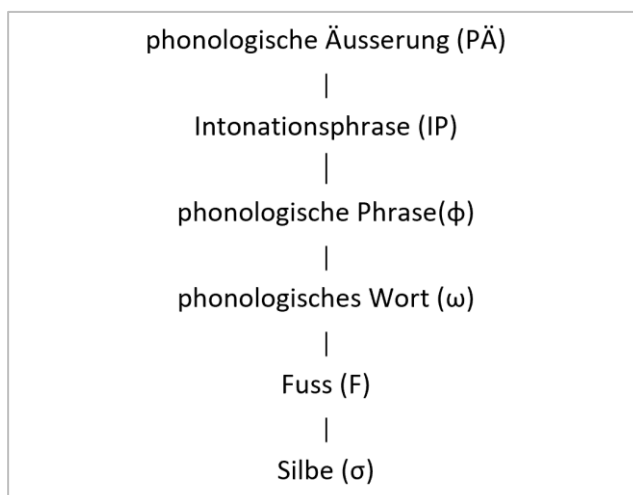
3.4.1 Phonologische Hierarchie und Pausensetzung

«Die Gesamtheit der prosodischen Eigenschaften wird (...) allgemein als Prosodie bezeichnet» (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 5). Gesprochene Äusserungen können aber bezüglich ihrer melodischen Eigenschaften in verschiedene Einheiten unterteilt werden. In der segmentalen Phonologie richtet sich der Fokus auf die phonologischen Eigenschaften einzelner Laute. In der suprasegmentalen Phonologie werden dagegen grössere prosodische Einheiten betrachtet. Sie wird auch prosodische Phonologie genannt. Zudem wird zwischen lautbezogener und tonaler Phonologie unterschieden. In der lautbezogenen Phonologie werden der phonologische Laut auf segmentaler Ebene und die zuvor genannten grösseren prosodischen Einheiten auf suprasegmentaler Ebene betrachtet. In der tonalen Phonologie richtet sich dagegen der Fokus auf Töne (segmentale Ebene) und grössere tonbasierte Einheiten wie Tonhöhenakzent und Intonationskontur (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 2ff.).

Es gibt verschiedenste theoretische Annahmen, wie die prosodische Phrasierungsstruktur abgeleitet werden kann. Eine sehr umfassende Zusammenstellung der Schnittstellen von Syntax und Prosodie findet sich in Korth (2018). An dieser Stelle wird jedoch nur auf das wahrscheinlich am häufigsten verwendete Modell zur Anordnung prosodischer Konstituenten näher eingegangen: die *phonologische Hierarchie* nach Nespor und Vogel (1986). Sie ist ursprünglich auf Selkirk (1986) zurückzuführen und wurde von Nespor und Vogel (1986) übernommen und geringfügig verändert. In dieser traditionellen und klassischen Einteilung werden die prosodischen Einheiten hierarchisch gegliedert. Nespor und Vogel (1986) fanden in verschiedenen Sprachen Evidenz für die hierarchische Gliederung der Phonologie, aber die Allgemeingültigkeit für alle Sprachen und deren Varietäten ist als Hypothese zu sehen und bedarf einzelner Überprüfungen. Auch wenn dieses Modell im Deutschen an einigen Stellen zu Regelbrüchen führt, so wird in vielen Werken dennoch von einer Gültigkeit des Modells ausgegangen (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 7ff.; Grassegger, 2016, S. 63ff.; z. B. in Hall, 2000, S. 313; Wiese, 1996, S. 83). Für die vorliegende Arbeit scheint das Modell ausreichend und wird übernommen. In der phonologischen Hierarchie wird davon ausgegangen, dass eine Ebene jeweils komplett in der nächsthöheren Ebene enthalten ist, was unter dem Begriff *Strict Layer Hypothese*²² geführt wird (Selkirk, 1986, S. 26). Die einzelnen Konstituenten der phonologischen Hierarchie werden in Abbildung 7 dargestellt.

Abbildung 7

Phonologische Hierarchie nach Nespor und Vogel (1986, S. 11), jedoch ohne die zwischen phonologischem Wort und phonologischer Phrase liegende klitische Phrase (Grassegger, 2016, S. 65; Hall, 2000, S. 313; Korth, 2018, S. 126)



²² Auch die universelle Gültigkeit der Strict Layer Hypothese wird infrage gestellt, da in bestimmten Konstellationen und Sprachen dieses Prinzip durchaus verletzt werden kann. Nicht alle Äusserungen lassen sich mit den gegebenen Ebenen und ohne rekursive Strukturen adäquat darstellen (Hall, 2000, S. 313ff.; Korth, 2014, S. 54ff., 2018, S. 162ff.). Vertiefende Literatur findet sich u. a. bei Korth (2018).

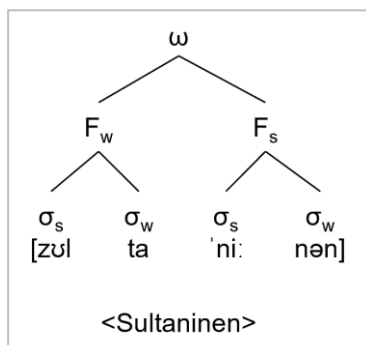
Als kleinste Einheit gilt nach diesem Modell die Gruppierung mehrerer Laute zu einer Silbe (Symbol griechisches Sigma: σ). Silben können metrisch schwach (nicht akzentuiert, unbetont; Symbol: σ_w , vom engl. *weak*) oder metrisch stark (akzentuiert, betont; Symbol: σ_s , vom engl. *strong*) gesprochen werden.²³

Eine Gruppe, bestehend aus einer betonten und einer bzw. mehrerer unbetonter Silben, bildet die nächsthöhere Einheit: den Fuss (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 3). Die verschiedenen Fusstypen sind aus der traditionellen Verslehre bekannt: der «Trochäus ($\sigma_s \sigma_w$), Iambus ($\sigma_w \sigma_s$), Daktylus ($\sigma_s \sigma_w \sigma_w$) und Anapäst ($\sigma_w \sigma_w \sigma_s$)» (Grassegger, 2016, S. 64). Eine Äusserung ist rhythmisch geprägt von der Anordnung der Füße, diese können als eigene Einheit ebenfalls metrisch stark oder schwach sein (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 3).

Das phonologische Wort (Symbol griechisches Omega: ω) definiert die nächste Ebene und entspricht im Normalfall dem morphologischen Wort²⁴. Beispielsweise lässt sich das phonologische Wort (ω) *Sultaninen* in zwei unterschiedlich starke Füße mit jeweils zwei Silben unterteilen (Abbildung 8).

Abbildung 8

Beispiel für ein phonologisches Wort



Anmerkungen. ω = phonologisches Wort; F = Fuss; σ = Silbe; s = betont; w = unbetont.

Nespor und Vogel (1986, S. 11) gehen an dieser Stelle von einer weiteren eigenständigen phonologischen Ebene aus: der klitischen Gruppe oder Wortformen (Nespor & Vogel, 1986, S. 145ff.). Einige Wortformen müssen sich an benachbarte Wortformen anlehnen, da sie selbst stark abgeschwächt sind, z. B. *es gibt* oder *gibt es*, in diesem Fall werden sie als klitisch bezeichnet. Allerdings kann diese Ebene nach Fuhrhop und Peters (2013) im hiesigen Sprachraum vernachlässigt werden, da «für das Deutsche (...) das phonologische Wort als prosodische Einheit auszureichen [scheint], um das

²³ Es sei hier noch erwähnt, dass zwischen Laut und Silbe noch die More eingeordnet werden kann, welche das Gewicht der Silbe definiert (leicht oder schwer) (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 100f.). Eine zu detaillierte Untergliederung ist für diese Arbeit jedoch nicht relevant und wird aus diesem Grund vernachlässigt.

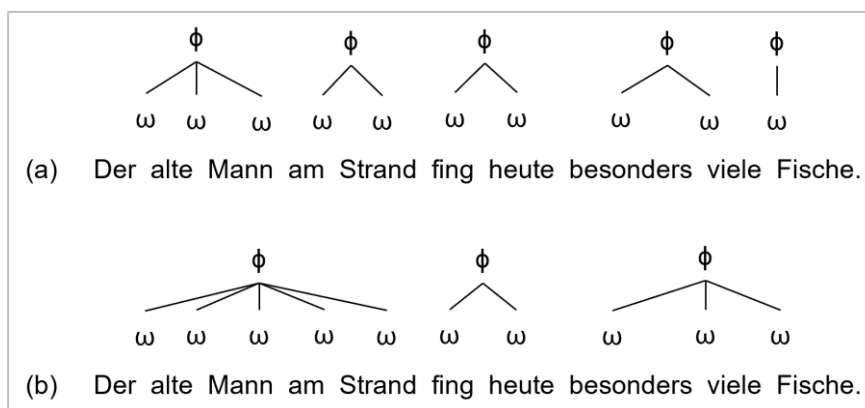
²⁴ Eine Abweichung vom Normalfall besteht, wenn beispielsweise zwei morphologische Wörter zu einem einzigen phonologischen Wort verschmelzen (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 3), wie wenn *läuft es* zu einem *läuft's* fusioniert werden.

klitische Verhalten von Wortformen, die kein eigenes phonologisches Wort bilden, zu erfassen» (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 125).

Das griechische Phi (ϕ) symbolisiert die darüberliegende Ebene der phonologischen Phrase (PP) (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 3). Nach Wiese (1996, S. 74) kann man im Deutschen davon ausgehen, dass die phonologische Phrase den Grenzen einer syntaktischen Phrase entspricht. Neben dem syntaktischen Kopf sollte sie noch mindestens ein weiteres Komplement enthalten. Möglich sind beispielsweise Nominalphrasen (z. B. *brave Schüler*), Präpositionsphrasen (z. B. *in die Schule*), aber auch Adjektivgruppen (z. B. *ihr eigenes*) sowie Verbalphrasen (z. B. *gehen*) (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 126; Grassegger, 2016, S. 65). Die Unterteilung in phonologische Phrasen ist jedoch, im Gegensatz zu phonologischen Wörtern, variabel und kann unterschiedlich akustisch realisiert werden. Das heisst, dass die syntaktische Struktur unterschiedliche Untergliederungen in phonologische Phrasen zulässt, wie im Beispiel von Abbildung 9 deutlich wird. Die akustische Realisierung kann beispielsweise durch rhythmische Veränderungen erfolgen (wie Verlangsamung der Sprechgeschwindigkeit am Ende einer PP, bzw. Zunahme am Anfang einer PP) oder eben durch akustische Pausen zwischen zwei phonologischen Phrasen intensiviert werden. Es gibt durchaus Beobachtungen, welche für die Eigenständigkeit einer PP als prosodische Einheit des Deutschen sprechen, allerdings sind die Evidenzen hier geringer als beim phonologischen Wort (2013, S. 126ff.).

Abbildung 9

Beispiel für die unterschiedlich rhythmische Gliederung eines Satzes aus Wiese (1996, S. 75), die Aufteilung in phonologische Phrasen kann auf mehrere Arten realisiert werden (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 126f.)



Anmerkungen. ϕ = phonologische Phrase; ω = phonologisches Wort.

Die melodische Gestaltung gesprochener Äusserungen wird als Intonation bezeichnet und wird durch die Variation der Grundfrequenz (f_0) bzw. der mittleren Sprechstimmlage realisiert. So sind steigende, fallende, steigend-fallende, fallend-steigende oder gleichbleibende Tonhöhenverläufe möglich, wobei diesen eine distinktive Funktion zugeordnet werden kann. Ein interrogatives Tonmuster kann

beispielsweise mit einer final steigenden Tonhöhe gekennzeichnet werden, ein terminales Tonmuster mit einer final fallenden Tonhöhe. Die melodische Gestaltung ist also für die Bedeutungsdifferenzierung von Sätzen relevant (Grassegger, 2016, S. 76), wie die als Frage realisierte Äußerung «*Das ist wirklich passiert?*» im Gegensatz zur Aussage «*Das ist wirklich passiert.*» verdeutlicht.

Erfüllen verschiedene Tonhöhenverläufe in einer Sprache die gleiche sprachliche Funktion, spricht man von einer Intonationskontur. Ein Äußerungsabschnitt, in dem eine eigenständige Intonationskontur realisiert wird, bildet die nächsthöhere prosodische Domäne – die Intonationsphrase (IP). Sie wird auch mit dem griechischen Jota (ι) gekennzeichnet (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 126ff.; S. 157ff.). Intonationskonturen werden durch Grenzschnale gekennzeichnet, diese sind phonetische Mittel wie beispielsweise Dehnungen der finalen Silben von Intonationsphrasen (phrasenfinale Dehnung) oder linguistische Pausensetzungen. Grenzschnale trennen nicht nur zwei Intonationsphrasen voneinander, sondern ihnen kommt – neben dem Setzen des Satz- bzw. Fokusakzentes²⁵ – ebenfalls eine stark strukturierende und gliedernde Funktion gesprochener Sprache in Sinneinheiten zu (Grassegger, 2016, S. 76 ff.). Bei zwei oder mehreren in der Wortabfolge identischen Sätzen kann die unterschiedliche Intonation die syntaktische und somit auch die semantische Struktur der Sätze eindeutig aufzeigen und etwaige Ambiguitäten aus dem Weg räumen (Wiese, 2011, S. 98). Die Fähigkeit, Grenzschnale – auch Pausen – an den richtigen bzw. nur an den richtigen Stellen zu setzen sowie Intonationskonturen richtig umzusetzen, kann demnach für die Semantik entscheidend sein, wie das Beispiel in Abbildung 10 zeigt.

Abbildung 10

Beispiel für identische Wortabfolgen mit unterschiedlicher Zeichensetzung und somit unterschiedlicher Intonation aus Kreuz (2016, S. 7)

- | | |
|-----|---------------------------|
| (a) | Klara liebt Peter nicht. |
| (b) | Klara liebt, Peter nicht. |
| (c) | Klara liebt Peter nicht? |
| (d) | Klara liebt Peter, nicht? |

Anmerkungen. Die Wortabfolge der vier Sätze ist identisch. Ihre unterschiedlichen Bedeutungen können in der Schriftsprache durch die Zeichensetzung eindeutig zugewiesen werden. In der gesprochenen Sprache wird die Bedeutung durch unterschiedliche Realisierung der Intonationskontur und Pausensetzung geklärt. Die an den Kommata gesetzten Pausen trennen jeweils die zwei Intonationsphrasen im Satz (b) und (d) voneinander.

²⁵ Jede IP muss mindestens einen Tonhöhenakzent/nuklearen Akzent beinhalten, der als Fokusakzent dient. Vertiefende Informationen hierzu sowie zur Phrasierung, Akzentzuweisung und Konturwahl finden sich in Fuhrhop und Peters (2013, S. 129ff., S. 157ff.).

Weiter ist zwischen selbstständigen und klitischen Intonationsphrasen zu unterscheiden. Eine Intonationsphrase, die nicht für sich selbst auftreten kann, sondern nur gemeinsam mit einer vorangehenden Intonationsphrase vorkommen kann, wird als klitisch bezeichnet (vgl. Abbildung 11), wobei auch deren tonale Struktur von der vorgeschalteten Intonationsphrase abhängig ist. Ebenso kann eine eigenständige Intonationsphrase durch den Einschub einer syntaktischen Phrase, welche selbst eine Intonationsphrase darstellt, in zwei Teile getrennt werden, sodass der neue Satz insgesamt drei Intonationsphrasen umfasst, wie im letzten Beispielsatz (c) von Abbildung 11. In diesem Fall spricht man von einer prosodischen Parenthese (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 161ff.).²⁶ Intonationsphrasen können demnach eigenständige Sätze, kurze Äusserungen oder nur einzelne Satzteile umfassen.

Abbildung 11

Beispielsätze für unterschiedliche Arten von Intonationsphrasen aus Fuhrhop und Peters (2013, S. 162f.)

- | | |
|-----|--|
| (a) | {Bist Du fertig Annika} |
| (b) | {Maria ist nicht zu hause } |
| (c) | {Maria ist {da bin ich mir sicher nicht zu hause } |

Anmerkungen. Satz (a) zeigt ein Beispiel für eine klitische Intonationsphrase (IP), wobei die Abhängigkeit von der vorangegangenen IP durch das Fehlen der Anfangsgrenze der IP (geschweifte Klammer) angezeigt wird. Der Matrixsatz aus Beispiel (b) wird durch den Einschub einer IP in Beispiel (c) unterteilt, sodass dann insgesamt drei IPs entstehen.

Es hat sich gezeigt, dass Intonationsphrasen nicht rein aus den syntaktischen Strukturen definiert werden können, vielmehr müssen sie aus den tonalen Strukturen der sprachlichen Realisierung hergeleitet werden. Die deutsche Sprache ist durch eine sehr flexible Gliederung in Intonationsphrasen gekennzeichnet, sodass sich hier – wie bei den phonologischen Phrasen – mehrere Möglichkeiten der melodischen Gestaltung für die gleiche syntaktische Struktur ergeben (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 129ff.). Fuhrhop und Peters (2013, S. 159) nennen zwei Minimalitätsanforderungen, die eine Intonationsphrase identifizieren: Sie sollte mindestens einen Tonhöhenakzent aufzeigen sowie zwei Grenztöne aufweisen²⁷.

²⁶ Weiterführende Informationen zur tonalen Struktur von klitischen Phrasen oder parenthetischen Einschüben sowie zu den verschiedenen Parenthesetypen finden sich beispielsweise in Fuhrhop und Peters (2013, S. 161ff.), Nespor und Vogel (1986, S. 187ff.) und Selkirk (1986).

²⁷ Der Tonhöhenakzent ist der nukleare Akzent, welcher ebenfalls als Fokusakzent dient. Die Grenzsingnale sollten von Akzentsilben unabhängig sein (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 159).

Im Modell von Selkirk (1986) und Nespor und Vogel (1986) bildet die phonologische Äusserung (PÄ) oder utterance phrase (UP) die höchste Ebene und wird mit dem griechischen Ypsilon (υ) symbolisiert. Sie umfasst eine oder mehrere Intonationsphrasen.

Bei anderen Autorinnen und Autoren werden mehrere phonologische Äusserungen weiter zu prosodischen Paragraphen (PP) zusammengefasst. Der prosodische Paragraph umfasst eine oder mehrere prosodische Äusserungen, die am Ende einen grösseren thematischen Einschnitt aufzeigen. Im geschriebenen Text wird dies oft durch einen Abschnitt markiert. In der gesprochenen Sprache wird dies ebenfalls durch prosodisch auffälligeren Grenzen gekennzeichnet: die sogenannte Paragraphenintonation (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 173ff.).

Das Setzen von akustischen Pausen – somit auch von Atempausen – ist nach diesem Modell also an den Grenzen von phonologischen Phrasen, Intonationsphrasen oder Äusserungsphrasen denkbar. Wie jedoch gezeigt wurde, ist die hierarchische Gliederung durchaus variabel, ist zum Teil von der tonalen Realisierung abhängig und kann teils auf unterschiedliche Arten realisiert werden. So ergeben sich auch für die Pausensetzung oft mehrere Varianten. Andere Aspekte wie Akzentuierung, Melodieführung oder weitere Grenzschnitte und Merkmale sollten natürlich kohärent zur gewählten Gliederung sein. Grice und Bauman (2007, S. 29ff.) sehen die Pause als den grössten Indikator für Intonationsgrenzen, wobei diese gefüllt oder leise sein können. Je länger die Pause, desto deutlicher die Grenzen. Syntaktische und prosodische Grenzen fallen laut ihnen sehr häufig, jedoch nicht zwingend zusammen.

Nun stellt sich die Frage, wie – ungeachtet der beschriebenen Modelle – gesunde Sprecherinnen und Sprecher ihre Pausengestaltung tatsächlich umsetzen und ob sich diesbezüglich Muster und Regeln erkennen lassen. Im Folgenden wird der Fokus auf Arbeiten gelegt, welche vor allem den Ort von Pausen bzw. Atempausen beim Sprechen untersuchten, wobei den Leseaufgaben ein besonderes Interesse zukommt.

3.4.2 Position von Sprech- und Atempausen beim Lesen

Nach Jones (1991, S. 274) werden die beim Sprechen kontinuierlich gemachten Sprechpausen hauptsächlich aus zwei Gründen gemacht: um zu atmen oder um die Bedeutung von Worten zu verdeutlichen. Er unterscheidet zwischen *breath-groups* und *sense-groups*. Die *breath-groups* kennzeichnen Phrasen bzw. ganze Sätze, welche in einem Atemzug gesprochen werden können. Laut ihm werden Atempausen aber normalerweise nicht nur an Stellen eingesetzt, an denen es physiologisch nötig ist, sondern auch dort, wo es bezüglich der Bedeutung möglich ist. Sätze bzw.

breath-groups können demnach auch in kleinere Phrasen unterteilt werden. Die Abgrenzung erfolgt durch akustische Pausen, welche jedoch nicht obligatorisch sind. Sequenzen, die nicht weiter mit Pausen untergliedert werden können und grammatikalisch zusammenhängen, nennt er sense-groups. Inwiefern diese grammatikalische Zusammengehörigkeit definiert werden kann, erläutert er nicht näher und verweist implizit auf das eigene Sprachgefühl: «Each sense-group consists of a few words in close grammatical connexion, such as would be said together in giving a slow dictation exercise» (Jones, 1991, S. 274).

Auch etwa ein Jahrhundert nach der Erstausgabe von Jones Überblick über die englische Phonetik um 1918 gibt es nach Hirschfeld und Stock (2004, S. 42ff.) zwar zahlreiche Studien in der Intonationsforschung, jedoch weiterhin Divergenzen und einen fehlenden einheitlichen Konsens über die Relationen von auditiv erfassbaren Merkmalen gesprochener Äusserungen (z. B. Pausen, Lautdehnungen, Tonabbrüche) und syntaktisch-relevanten Differenzierungs- und Strukturierungsleistungen.

Die innerhalb der generativen Grammatik formulierten Gliederungs-Regularitäten beziehen sich ausschliesslich auf reproduzierendes Sprechen und sind vor allem syntaktisch motiviert. Demnach wird vorwiegend an der Satzgrenze in Satzverbindungen/-gefügen sowie nach einem Satzthema mit Substantiv pausiert. Die Realisierung dieser und weiterer potenzieller Pausenstellen an der Grenze von Akzentgruppen (...) wird von der Sprechgeschwindigkeit abhängig gemacht. Je langsamer gesprochen wird, desto mehr Pausenstellen werden realisiert. Pragmatische Aspekte und Textsortenspezifika werden nicht beachtet. (Hirschfeld & Stock, 2004, S. 43)

In einigen älteren Studien (Butcher, 1981; Goldman-Eisler, 1968, 1972; Henderson et al., 1965) wurden deutliche Unterschiede der Pausensetzung im Rahmen von Spontansprachproben im Vergleich zu Leseproben festgestellt. Beispielsweise konnte Goldman-Eisler (1972, S. 110) in einer Analyse unterschiedlicher Sprechproben mehrerer Sprecher²⁸ beobachten, dass alle Pausen mit einer Länge von mindestens 1.5 s, z. B. lexikalische Pausen innerhalb von Abschnitten oder vor Nebensätzen, in der Spontansprache gehäuft auftraten. Beim Lesen traten solch lange Pausen hingegen nicht auf. Hierfür macht sie die kognitiven Prozesse verantwortlich, die nötig sind, um Spontansprache semantisch, syntaktisch und schliesslich lexikalisch zu planen. Bei gelesener Sprache fallen diese hingegen weg. Diese und weitere Beobachtungen führten zu der Annahme, dass neben der physiologischen Notwendigkeit auch kognitive Planungsprozesse sowie strukturierende Funktionen einen Einfluss auf die Pausensetzung haben. Die Art der Sprechaufgabe spielt somit eine entscheidende Rolle und muss berücksichtigt werden.

Die kognitiven Anforderungen an die Sprechaufgabe scheinen dabei keinen Einfluss auf das grundlegende mechanische Atemverhalten zu haben, hingegen durchaus auf jene Aspekte, welche die

²⁸ Hier ist zu berücksichtigen, dass die neun verschiedenen Sprechproben (Rundfunkgespräch, Diskussion, Konversation) und die fünf Leseaufgaben von unterschiedlichen Individuen durchgeführt und miteinander verglichen wurden.

Sprechflüssigkeit betreffen. H. L. Mitchell et al. (1996) liessen 20 Frauen Sprechaufgaben mit unterschiedlichen linguistisch-kognitiven Anforderungen durchführen²⁹. Aspekte wie das Lungen-, Rippen- und Bauchvolumen unterschieden sich mit wachsenden linguistisch-kognitiven Anforderungen nicht. Jedoch gab es einen signifikanten Effekt der Schwierigkeit der Sprechaufgabe auf die Sprechgeschwindigkeit (langsamer bei höheren Anforderungen), die mittlere Äusserungslänge pro Sekunde (geringer bei höheren Anforderungen) und das verbrauchte Lungenvolumen pro Silbe (grösser bei höheren Anforderungen). Die Autorinnen und der Autor führen dies wie Goldman-Eisler (1972) auf die Beobachtung zurück, dass die Probandinnen wegen der linguistisch-kognitiven Anforderungen mehr und längere Pausen bei steigender Schwierigkeit machen mussten.

Pausen können in unterschiedliche Arten von Pausen kategorisiert werden. Meist werden Atempausen von solchen ohne Atmung unterschieden, sie werden auch *hesitation pauses* (Zögerungs- oder Häsitationspausen) genannt. Zögerungspausen können wiederum still oder gefüllt sein (Butcher, 1981; Goldman-Eisler, 1968, 1972; Henderson et al., 1965). Hirschfeld und Stock (2004, S. 43) kategorisieren Pausen frei gesprochener Äusserungen in gewollte, syntaktisch bedingte oder Zögerungspausen.

Die grundlegende Frage, an welcher Position Pausen in der Regel gemacht werden bzw. ob sie als adäquat oder inadäquat eingestuft werden können, scheint allerdings ein komplexes Konstrukt zu sein. In der Spontansprache ist dies wegen der höheren kognitiv-linguistischen Anforderungen noch vielschichtiger als beim Lesen. Im Folgenden werden zwar Unterschiede zwischen den beiden Sprechaufgaben betrachtet, der Fokus wird aber mehrheitlich auf das Lesen gerichtet.

Bei Henderson et al. (1965) war der Anteil an Zögerungspausen im Verhältnis zu Atempausen in der Spontansprache (65.9 %) signifikant höher als beim Lesen (22.6 %), was wiederum durch die anspruchsvolleren kognitiven Prozesse zu erklären ist ($N = 5$). Beim Lesen wurden alle Atempausen an grammatikalischen Einschnitten gesetzt. In der Spontansprache waren dagegen etwa 30 % der Atempausen an anderen Stellen, welche sich bezüglich des umgebenden Intonationsmusters nicht immer eindeutig klassifizieren liessen.

Goldman-Eisler (1968, S. 24) beobachtete, dass die Sprechgeschwindigkeit weniger von der Artikulationsgeschwindigkeit, sondern mehrheitlich von der Anzahl an Pausen sowie deren Dauer abhängt. Je länger und häufiger Pausen auftraten, desto langsamer war die Sprechgeschwindigkeit, nicht aber die Artikulationsgeschwindigkeit.

Bei Henderson et al. (1965, S. 239f.) oder Goldman-Eisler (1968, S. 13) findet sich im Gegensatz zu den meisten anderen Arbeiten zumindest eine Definition von grammatikalisch angemessenen und

²⁹ Die Probandinnen mussten je drei Minuten frei über ein vorgegebenes Thema sprechen, anschliessend durften Sie sich Notizen zum gleichen Thema machen und die Ausführungen mit Hilfe der Notizen nochmals wiederholen, was kognitiv weniger anspruchsvoll ist. Das Vorgehen wurde mit einer weiteren Themenvorgabe wiederholt.

unangemessenen Pausenpositionen für das Englische. Nach ihnen ist das Auftreten von Pausen nach ganzen Sätzen, Satzzeichen, Nominal-, Verb-, Adverbialphrasen oder anderen Phrasen angemessen. Grammatikalisch unangemessen werden dagegen Pausen innerhalb dieser Phrasen oder innerhalb von Wörtern gesehen. Auf ihre Definition beziehen sich später auch andere Arbeiten (Y.-T. Wang et al., 2010; Y.-T. Wang et al., 2005; Winkworth et al., 1994).

Auch Butcher (1981, S. 203ff.) konnte durch Analysen unterschiedlicher Sprachproben zeigen, dass Atempausen normalerweise nur an Stellen gemacht werden, an denen eine lange Pause linguistisch vertretbar ist, also nach grösseren Abschnitten, jedoch fast nie innerhalb von Intonationsgruppen. Auch hier zeigten sich beim freien Sprechen deutlich mehr lange Pausen als beim Lesen, sogar an Stellen, an denen beim Lesen kaum Pausen zu beobachten waren. Dies scheint wiederum die Rolle kognitiver Prozesse zu bestätigen. An Abschnittsgrenzen variierte die Länge der Pause in Abhängigkeit von der hierarchischen syntaktischen Struktur. Er beobachtete beispielsweise, «the closer the syntactic connection between two clauses, the shorter the break» (Butcher, 1981, S. 210). Butcher (1981, S. 61) differenziert hierbei drei Pausenarten: *junction*, das Grenzmerkmal am Ende einer Tongruppe, *pause*, ein von mehreren Hörern wahrgenommenes, stilles Intervall des akustischen Signals, und *break*, ein instrumentell erfassbarer Abfall der Intensität des Sprachsignals über eine bestimmte Zeitspanne hinweg.

Besonders interessant ist eine Beobachtung von Winkworth et al. (1994). Bei mehrfach wiederholtem Lesen eines Standardtextes über mehrere Sitzungen hinweg ($N = 6$) waren zwar intraindividuelle Schwankungen bezüglich der Vitalkapazität, nicht jedoch bei der Wahl des Ortes von Atempausen zu beobachten. Die Übereinstimmung der Position von Atempausen lag innerhalb eines Individuums bei 80–100 %. Dies spricht wieder für einen starken linguistischen Einfluss beim Planen von Atempausen, vorausgesetzt, die Lungenkapazität liegt im Normbereich. In dieser Untersuchung handelte es sich um pulmonal gesunde Frauen, sodass davon auszugehen ist, dass die Teilnehmerinnen bei der Pausensetzung vermutlich nie an die Grenze ihrer Lungenkapazität kamen.

In einer Studie von Faust (1997, S. 128f.) zeigte sich, dass, egal ob in einem Dialog³⁰ oder beim Vorlesen, Atempausen am häufigsten waren, gefolgt von stillen und gefüllten Pausen. Letztere waren beim Lesen kaum vorzufinden. In ihrer Studie waren alle Pausenarten ebenfalls häufiger an syntaktischen Grenzen zu finden als innerhalb von syntaktischen Phrasen. Die Autorin spricht hier auch von *den Redefluss nicht-unterbrechenden* im Vergleich zu den *unterbrechenden Stellen*.

Auch spätere Studien zeigen ähnliche Ergebnisse. Y.-T. Wang et al. (2010) verglichen die Spontansprache von 16 gesunden Erwachsenen mit gelesener Sprache. Sie fanden beim Lesen ebenfalls deutlich weniger Atempausen an inadäquaten Stellen (1.8 %) im Vergleich zur

³⁰ Sieben Sprecherpaare wurden analysiert.

Spontansprache (13 %). Die Länge der breath-groups war in der Spontansprache durchschnittlich länger als beim Lesen.

Eine weitere Art, Pausen zu kategorisieren, findet man bei Watson und Hixon (2001). Sie unterteilen in ihrer Arbeit Sprechpausen nach Hammen und Yorkston (1994, zitiert nach:; Watson & Hixon, 2001, S. 754), wobei Pausen zwischen zwei Sätzen (Typ 1), zwischen zwei Phrasen oder Nebensätzen (Typ 2) sowie jenen innerhalb von Phrasen oder Nebensätzen (Typ 3) differenziert werden. Letztere würden nach bisherigen Kenntnissen als inadäquat eingestuft werden.

Regelhaftigkeiten, die es erlauben, Pausen in Texten vorherzusagen, sind auch für die Sprachsynthese, also die künstliche, maschinelle Erzeugung von Sprache, von grosser Bedeutung. Um die Qualität von Systemen für die Sprachsynthese zu verbessern, untersuchten Trouvain und Möbius (2018) sechs natürliche Sprecherinnen und Sprecher beim Lesen und verglichen deren Pausensetzung mit der von zwei TTS-Systemen (Text-to-Speech-Synthese). Sie stellen fest, dass die Pausengestaltung der von ihnen getesteten TTS-Systeme von der natürlichen weit abwich. Synthetische Sprache war – abhängig vom System – im Vergleich zu natürlicher Sprache durch beispielsweise kürzere und zudem geräuschlose Pausen an Satzgrenzen gekennzeichnet, oder durch deutlich mehr oder weniger Binnenpausen, die wiederum viel kürzer oder länger waren. Die Pausensetzung von natürlichen Sprecherinnen und Sprechern sollte laut den beiden Autoren mehr Berücksichtigung finden. Im Bereich der Sprachsynthese findet man hierzu allerdings nur wenige Forschungsarbeiten. Umso interessanter ist ihre Analyse der sechs natürlichen Sprecherinnen und Sprecher. Sie erzeugten alle an den vorhandenen Satzgrenzen Pausen, welche nahezu ausschliesslich zum Atemholen genutzt wurden. Bei den Binnenpausen war der Anteil an Atempausen etwas höher als der von Nicht-Atempausen, die Länge der Binnenpausen war im Schnitt kürzer als bei Satzgrenzen. Bezüglich der Anzahl an Binnenpausen gab es allerdings sehr grosse individuelle Unterschiede. Es scheint, als gäbe es Positionen, an denen optional eine kurze Pause gesetzt werden kann. Binnengrenzen mit Satzzeichen wurden meistens mit Pause gesprochen, jedoch nicht immer. An einer Stelle mit der Konjunktion *und* wurde ebenfalls einheitlich von allen Sprecherinnen und Sprechern eine Pause gemacht (Trouvain & Möbius, 2018, S. 336ff.).

Pausen innerhalb von Silben oder Wörtern werden bei gesunden Sprecherinnen und Sprechern nicht genannt, sie können aber bei bestimmten Störungsbildern auftreten. Im Rahmen einer zentralen Sprechstörung, wie beispielsweise der Sprechapraxie, fällt die Prosodie der Betroffenen unter anderem durch inadäquate Pausensetzung auf. Ziegler et al. (2020, S. 116f.) beziehen sich hier auf Nespor und Vogel (1986) und definieren Pausen innerhalb von Intonationsphrasen als adäquat. Als inadäquat und auffällig werden hingegen Pausen innerhalb von Wörtern oder sogar Silben wahrgenommen, wie dies bei Sprechapraxie beobachtet werden kann. Diese Pausen zwischen den

Silben (intersilbisch) und innerhalb einer Silbe (intrasilbisch) werden laut ihnen als besonders salient empfunden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich bezüglich der Pausensetzung beim Lesen eine grosse Variabilität beobachten lässt und diese somit auch in der Produktion möglich ist. Es scheint Konsens zu sein, dass Pausen normalerweise an Phrasengrenzen gesetzt werden, wobei die genaue Definition einer Phrase meist nicht im Detail geklärt wird. Hier wird uneinheitlich von Tongruppen, Intonationsphrasen, syntaktischen Phrasen usw. gesprochen, teils auch pauschal von inadäquaten und adäquaten Pausen. Klar scheint hingegen das Setzen von Pausen an Satzgrenzen. Atempausen sind vorwiegend an Satzgrenzen zu finden. An Stellen mit Satzzeichen werden überwiegend, jedoch nicht zwingend, Binnenpausen gemacht, teilweise werden diese ebenfalls zum Atmen genutzt. Auch bei satzverbindenden Elementen wie der Konjunktion *und* werden Pausen beobachtet. Optional scheint es viele Möglichkeiten beim Setzen von Binnenpausen zu geben. Unter Berücksichtigung der dargestellten hierarchischen Gliederung nach Nespor und Vogel (1986) und der geschilderten Untersuchungen kann vermutet werden, dass Pausen nach Intonationsphrasen und Äusserungsphrasen in jedem Fall als adäquat anzusehen sind. Pausen nach phonologischen Phrasen sind optional ebenfalls möglich. Es bleibt jedoch unklar, ob zu viele solcher Pausen auffällig wären, bzw. ab wann sie als auffällig wahrgenommen werden. Zieht man die Aufteilung in phonologische Phrasen aus Abbildung 9 in der Variante *a* heran, würden Pausen nach jeder phonologischen Phrase vermutlich als auffällig empfunden werden. Pausen innerhalb von phonologischen Phrasen kommen äusserst selten vor und werden wahrscheinlich inadäquat eingestuft. Dies entspricht auch der Definition von adäquaten Pausen nach Henderson et al. (1965). Da Atempausen in der Regel länger andauern und eine stärkere Zäsur bedeuten, fallen solche an inadäquaten Stellen vermutlich stärker auf als kurze, stille Pausen. Pausen innerhalb von Wörtern oder Silben gelten dagegen klar als inadäquat.

In Lesetexten sind Pausen überwiegend an syntaktischen Grenzen, also bei Satzzeichen und Konjunktionen, zu erwarten (Goldman-Eisler, 1955, 1968, S. 14). Dennoch können auch hier individuelle Unterschiede auftreten und für eine *normale* Pausensetzung sind durchaus mehrere Varianten möglich. Über mehrmalige Wiederholungen hinweg scheint das Pausenmuster innerhalb eines Individuums jedoch konstant zu bleiben.

3.5 Steuerung und Kontrolle der Sprechatmung

Wie gezeigt wurde, spielen sowohl metabolische als auch linguistische Einflüsse eine wichtige Rolle bei der Bildung von Sprechpausen. Um der Komplexität der Thematik gerecht zu werden, wird an dieser

Stelle noch ein kleiner Exkurs zur zentralen Steuerung der am Sprechen beteiligten Organe – und somit der Sprechatmung – eingefügt.

Zur Frage, ob Bewegungen der am Sprechen beteiligten Organe entweder zentral von einem globalen senso-motorischen System oder aufgabenspezifisch gesteuert werden, findet man zwischen Ballard et al. (2000; 2003) und Ziegler (2003a, 2003b) eine aufschlussreiche fachliche Diskussion. Ziegler (2003a, 2003b, 2003c) argumentiert in diesem Diskurs gegen das Modell einer zentralen senso-motorischen Steuerung. Zahlreiche klinische Beobachtungen (bidirektionale Dissoziationen), physiologische und neuroanatomische Überlegungen sprechen laut ihm dafür, dass Bewegungen der facio-oralen, laryngealen und respiratorischen Muskulatur aufgabenspezifisch gesteuert werden. Je nachdem, ob diese Organe emotionale³¹, vegetative³², willkürliche³³ oder ungeübte neue Willkürbewegungen³⁴ durchführen, werden sie von einem autonomen, spezialisierten senso-motorischen System gesteuert, d. h. spezifisch für den jeweiligen Aufgabentyp. Obwohl es gewisse neuroanatomische Überlappungen der Systeme zu geben scheint, können die einzelnen Aufgabentypen folglich auch unabhängig voneinander gestört sein. Dies bedeutet, dass mit ein und demselben Organ der eine Aufgabentyp durchgeführt werden kann, der andere allerdings nicht. Für die logopädisch relevanten Funktionen der am Sprechen beteiligten Organe bedeutet dies, dass beispielsweise zentrale Sprechstörungen unabhängig von zentralen Schluckstörungen auftreten. Auch besteht keine Korrelation zwischen der Fähigkeit zu Sprechen sowie der Fähigkeit, nichtsprachliche oralmotorische Willkürbewegungen, Maximalleistungsaufgaben (wie diadochokinetische) oder emotionale Bewegungen im facio-oralen Bereich durchzuführen. Dieser Aspekt muss in der logopädischen Diagnostik und Therapie ständig berücksichtigt werden. Auch die Sprechatmung kann demzufolge unabhängig von der metabolischen Atmung zentral gestört sein (Ziegler, 2003a; 2003b, 2003c). Eine zugrunde liegende respiratorische Insuffizienz wirkt sich hingegen auf alle Aufgabentypen aus.

In den Kapiteln 2.1.4 und 3.3 wurde erläutert, dass im Wachzustand die für den Gasaustausch benötigten ventilatorischen Anforderungen stets mit einer Vielzahl von freiwilligen, unbewussten, erlernten und reflexiven Verhaltensweisen um die Atemressourcen konkurrieren. Die Atmung kann zumindest bis zu einem gewissen Punkt willentlich beeinflusst und verändert werden, beispielsweise beim Sprechen, was sich ebenfalls mit dem aufgabenspezifischen Modell von Ziegler (2003a, S. 9) erklären lässt.

Eine Studie von Bailey und Hoit (2002) beschäftigt sich genau mit diesem Aspekt. Die Autorinnen überprüften, ob sich das Atemverhalten von gesunden Männern ($N = 10$) bei einer erhöhten CO_2 -

³¹ z. B. «Lachen, Weinen, Schluchzen» (Ziegler, 2003c, S. 7)

³² z. B. «metabolische Atmung, Schlucken» (Ziegler, 2003c, S. 7)

³³ Sprechen (Ziegler, 2003a, S. 6), wobei die Sprechatmung ebenfalls hier zuzuordnen ist (Ziegler, 2003a, S. 9)

³⁴ z. B. nichtsprachliche imitatorische oder diadochokinetische Bewegungen, Folgebewegungsaufgaben (visuo-motor-tracking) (Ziegler, 2003a, S. 6)

Konzentration in der Raumluft – und somit unter erhöhtem Atemantrieb – verändert. Eine erhöhte CO₂-Konzentration führte erwartungsgemäss zu einem Anstieg des Tidalvolumens, der Atemfrequenz sowie der in- und expiratorischen Luftflüsse. Dies war nicht nur bei Ruheatmung, sondern auch bei einer Leseaufgabe der Fall. Beim Sprechen zeigten sich unter hohen CO₂-Bedingungen signifikant kürzere Äusserungslängen (Silbe/Atemzug), kürzere Sprechzeiten (pro Atemzug) sowie ein höherer Verbrauch an Atemvolumen pro Silbe. Die Artikulationsrate veränderte sich hingegen nicht signifikant, d. h. das Sprechtempo blieb unter beiden Bedingungen gleich. Besonders interessant scheint, dass die Probanden trotz der erhöhten Atemarbeit versuchten, die Atempausen an sinnvollen Grenzen (Satz- und Phrasengrenzen) zu setzen, was ihnen bis auf 7 % der Pausen auch gelang. Informell meldeten sie allerdings zurück, dass es eine grosse Herausforderung war, das metabolische Bedürfnis zu atmen mit dem adäquaten Setzen von Pausen zu kombinieren. Zudem empfanden sie das Sprechen anstrengender als das Atmen (unter hohen CO₂-Konzentrationen). In 73 % waren am Ende der Atemzüge phonationslose Anteile der Expiration zu beobachten, wobei der Grossteil (60 %) an Satzgrenzen auftrat. Diese waren scheinbar metabolisch nötig, um überschüssiges CO₂ möglichst schnell loszuwerden. Die Autorinnen folgern, dass auch bei erhöhter Atemarbeit die linguistischen Anforderungen zwar keinen absoluten, aber einen starken Einfluss auf das Atemverhalten haben.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine weitere Studie von Hoit et al. (2007). Erwachsene Personen ($N = 11$) mussten unter verschiedenen hohen CO₂-Konzentrationen Sprechaufgaben bewältigen. Das subjektive Empfinden von Luftnot, körperlicher und kognitiver Anstrengung stieg signifikant mit höherer CO₂-Konzentration. Mit steigender CO₂-Konzentration konnte zwar kein Einfluss auf die Atemfrequenz festgestellt werden, allerdings stiegen auch hier das Tidalvolumen und die Geschwindigkeit des Luftflusses signifikant an. Ebenfalls erhöhte sich der Anteil an linguistisch nicht adäquaten Pausen, das Lungenvolumen pro Silbe sowie der Anteil an phonationsloser Expiration. Auch in dieser Studie versuchten die Probandinnen und Probanden, durch vermehrte Atemarbeit (höheres Tidalvolumen usw.) der Atemnot bei höherer CO₂-Konzentration entgegenzuwirken. Ferner beabsichtigten sie, die Unterbrechungen im Redefluss weitestgehend zu minimieren, obwohl dies physisch und kognitiv anstrengender war.

Beide Studien lassen erkennen, dass sowohl linguistische Faktoren als auch metabolische Bedürfnisse die Sprechatmung steuern, beeinflussen und zum Teil sogar miteinander konkurrenzieren. Zudem zeigen sie, dass Sprechen bei erhöhter Atemarbeit als anstrengend empfunden wird und sich deutlich auf die Sprechatmung und Pausensetzung auswirkt. Ähnliche Veränderungen der Sprechatmung können bei Personen mit eingeschränkter Lungenfunktion beobachtet werden, was in Kapitel 3.6 näher betrachtet werden soll.

3.6 Auswirkungen einer reduzierten Lungenfunktion auf Stimme, Sprechen und Atem-Sprech-Koordination

In vorangegangenen Kapiteln wurde die Bedeutung der Atemfunktion für die Phonation, die Sprechatmung sowie für die Prosodie und somit für die lautsprachliche Kommunikation deutlich. Demzufolge sind bei Personen mit eingeschränkter Atemfunktion auch Auswirkungen auf die Prosodie zu erwarten. Theoretisch sind Einschränkungen in der Modulation der Tonhöhe, Lautstärke, in der Gestaltung von Akzenten, Betonungen und Intonationsmustern möglich, aber auch das Versagen der Stimme in Form von ungewollten Abbrüchen der Phonation ist denkbar. Ebenso könnten sich die pulmonalen Defizite auf die rhythmische Gliederung auswirken. Aufgrund der metabolischen Bedürfnisse könnten gehäuft Atempausen und diese folglich auch vermehrt an linguistisch inadäquaten Stellen auftreten. Laut Grassegger (2016, S. 78) können solche Abweichungen in der Realisierung segmentübergreifender lautsprachlicher Äußerungen sogar als prosodische Störung definiert werden. Y.-T. Wang et al. (2005, S. 87) warnen davor, dass Probleme im Management der Sprechatmung sowie die resultierenden prosodischen Auffälligkeiten die alltägliche Kommunikation und somit die Partizipation in einer Gemeinschaft negativ beeinflussen können. Diese physiologischen Überlegungen und Vermutungen lassen sich auch mit Ergebnissen aus unterschiedlichen Forschungsarbeiten verifizieren, allerdings finden die Sprechatmung und die damit eng verknüpfte Pausensetzung relativ wenig Berücksichtigung.

Eine insuffiziente Atemfunktion kann die Sprechatmung allein aufgrund der eingeschränkten Vitalkapazität beeinflussen. Beispielsweise geben Patientinnen und Patienten mit einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) Atemnot bzw. Kurzatmigkeit in unterschiedlichen Sprechsituationen an (Binazzi et al., 2011). Aber auch im Rahmen anderer Krankheitsbilder wie Parkinson-Syndrom (PD), Amyotropher Lateralsklerose (ALS), Herzproblemen, Multipler Sklerose (MS) oder Rückenmarksverletzungen wird Atemnot beim Sprechen mitgeteilt. Atemnot kommt bei gesunden Personen nur in extremen Belastungssituationen vor. Bei den genannten Erkrankungen wird Atemnot aber schon bei längeren, lauten, emotionalen Sprechsituationen oder beim Sprechen am Telefon empfunden (Hoit et al., 2011).

Bei gewissen neurologischen Erkrankungen oder Schädigungen können allerdings zusätzlich zur zentral geschädigten Sprechatmung auch andere Probleme, so z. B. eine gestörte Sprechplanung oder Sprechmotorik, das Sprechen beeinflussen, wie es bei Sprechapraxien (Ziegler et al., 2020, S. 116ff.) oder Dysarthrien (Ziegler & Vogel, 2010, S. 45ff.) zu beobachten ist. Beispielsweise sind bei peripher paretischen (schlaffen) Dysarthrien aufgrund der geschwächten inspiratorischen Muskulatur die In- und Expiration reduziert, sodass gehäuft Atempausen beim Sprechen gemacht werden müssen. Durch

den reduzierten Luftfluss und den eingeschränkten subglottischen Druck kommt es zudem zu einer verminderten Lautstärke und einer beeinträchtigten Stimmbandschwingung, welche sich durch Rauigkeit, Heiserkeit, Stimmabbrüche oder sogar durch Aphonie äussern kann. Häufig reden die Betroffenen tiefer und mit einer monotonen Melodieführung. Hinzu kommen hier allerdings auch noch die krankheitsbedingten motorischen Bewegungsstörungen der Artikulatoren, welche sich insbesondere auf die Verständlichkeit auswirken (Ziegler & Vogel, 2010, S. 45ff.). Y.-T. Wang et al. (2005, S. 84ff.) kommen ebenfalls zu dem Schluss, dass neben artikulatorischen auch respiratorische Beeinträchtigungen entscheidende Faktoren für die prosodischen Auffälligkeiten darstellen. In ihrer Studie verglichen sie Spontansprachproben und nachgesprochene Sätze von Patientinnen und Patienten ($n = 12$) mit unterschiedlichen Dysarthriearten nach Schädel-Hirn-Trauma (SHT) mit denen von gesunden Personen ($n = 8$). Generell zeigte die Gruppe nach SHT, insbesondere die schwerer betroffenen, kürzere Atemzyklen, eine geringere Anzahl an Wörtern und Silben pro Atemzyklus (MLU = mittlere Äusserungslänge) sowie mehr Pausen an inadäquaten Stellen als die Kontrollen. Allerdings gab es deutliche individuelle Schwankungen³⁵. Es erstaunt nicht, dass die Länge der Atemzyklen mit der MLU signifikant korrelierte.

Studien zur veränderten Sprechatmung bei Dysarthrien lassen sich vorwiegend für Personen mit Parkinson-Syndrom, also für rigid-hypokinetische Dysarthrien finden. Neben der typischen höheren Artikulationsgeschwindigkeit zeigt sich bei den Betroffenen oft, dass sie im Vergleich zu gesunden Personen kürzere Äusserungslängen haben (Darling-White et al., 2022; Huber et al., 2012; Solomon & Hixon, 1993), weniger Pausen an den grossen syntaktischen Einschnitten machen, dafür mehr an kleineren Grenzen oder unpassenden Stellen (Darling-White & Huber, 2020; Huber et al., 2012). Zudem machen sie weniger Pausen insgesamt (Skodda & Schlegel, 2008). Im Vergleich zu Gesunden weisen sie häufig deutliche Unterschiede in Bezug auf mehrere Lungenparameter beim Sprechen auf (z. B. niedrigeres oder höheres endinspiratorisches und endexpiratorisches Volumen etc.). Dies ist die Folge einer gestörten Atem-Sprech-Planung. Ihnen gelingt die Anpassung an die Anforderungen von Sprechsituationen weniger gut (Darling-White et al., 2022; Huber & Darling, 2011; Huber et al., 2012; Huber & Darling-White, 2017; Skodda & Schlegel, 2008).

Unabhängig von der Störungsursache stellt sich aber die Frage, inwiefern sich eine reduzierte Lungenfunktion oder deren Veränderung auf die Sprechatmung bzw. die Atem-Sprech-Koordination auswirken. Bei Störungsbildern ohne Beteiligung einer zentralen Sprechstörung wurde der Fokus

³⁵ Die individuellen Schwankungen verwundern nicht, wenn man berücksichtigt, dass einer Dysarthrie völlig unterschiedliche Bewegungsstörungen zugrunde liegen können, die sich ebenfalls in der Ausführung von Bewegungen der beim Sprechen beteiligten Organe sehr unterschiedlich äussern können. Eigentlich müssten hier die verschiedenen Ursachen in Subgruppen analysiert werden, wie es z. B. Staiger et al. (2017) für den Vergleich mit nichtsprachlichen oralmotorischen Bewegungen gemacht haben.

bisher allerdings nur selten auf das Sprechen oder die Sprechatmung gelegt, trotz der entscheidenden partizipativen Rolle.

L. Lee et al. (1993) konnten zeigen, dass eine Anpassung der Atmung an die Sprechsituation (vgl. Kapitel 3.3) Personen mit eingeschränkter Lungenfunktion nicht so gut zu gelingen scheint wie Gesunden. Sie analysierten die Sprechatmung von Personen mit respiratorischer Insuffizienz aufgrund von Asthma ($n = 14$), Lungenemphysem ($n = 15$) oder Sarkoidose ($n = 12$). Während einer Konversation zeigten diese im Vergleich zu gesunden Personen ($n = 16$) kürzere Respirationszyklen sowie ein geringeres Atemzugvolumen, wobei sowohl endinspiratorische als auch endexpiratorische Lungenvolumen niedriger waren. Die Sprechphasen waren kürzer als bei den gesunden Probandinnen und Probanden. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die Betroffenen häufigere Sprechpausen machen mussten und auch eine kürzere mittlere Äußerungslänge (Silben pro Respirationszyklus) zeigten als die gesunden Personen. Weiter stellten sie unterschiedliche Auswirkungen auf die Sprechatmung in Abhängigkeit von der Diagnose fest, was durch die krankheitsbedingten Veränderungen der Atmung erklärt werden kann. Personen mit Asthma brauchen krankheitsbedingt beispielsweise länger für die Inspiration, da die inspiratorischen Luftflüsse langsamer sind (Loudon et al., 1988).

Befragungen von Patientinnen und Patienten mit COPD zeigen indirekt Auswirkungen der reduzierten Lungenfunktion auf die Sprechatmung. Sie empfinden beim Sprechen Atemnot, vor allem in Abhängigkeit von den Anforderungen an die Sprechaufgabe oder in Kombination mit körperlicher Bewegung (Hodgev et al., 2003; L. Lee et al., 1998). Ein vierwöchiges Programm zur pulmonalen Rehabilitation für Patientinnen und Patienten mit COPD ($N = 31$) konnte in der Studie von Binazzi et al. (2011) immerhin eine signifikante Reduktion der empfundenen Dyspnoe (Atemnot) in Sprechsituationen erwirken. Diese Verbesserung ging zwar deskriptiv einher mit Fortschritten in der Lungenfunktion, allerdings waren diese statistisch nicht signifikant. Die Autorinnen und Autoren vermuten, dass die erreichten Veränderungen bezüglich der Lungenparameter zu gering für nachweisbare Zusammenhänge waren.

Auch nach Verletzungen des zervikalen Rückenmarks kommt es zur Beeinträchtigung der Atemmuskulatur (Brown et al., 2006). Dieser Bereich weist einige Arbeiten auf, die sich mit den Auswirkungen auf die Sprechatmung beschäftigten. Bei Hoit et al. (1990, S. 803) zeigten zehn Männer mit Läsionen an den Halswirbeln (C4–C8) eine kürzere MLU pro Respirationszyklus im Vergleich zu gesunden Sprechern³⁶. Das durchschnittlich abgegebene Lungenvolumen pro Silbe wich hingegen nicht von der Norm ab (35–80 cc/Silbe), sodass ihnen insgesamt weniger Expirationsvolumen zur

³⁶ Analysiert wurden eine Spontansprachprobe und ein Lesetext.

Verfügung stand³⁷. Die Probanden mussten ihre Sprechatmungszyklen mit einem für sie hohen Tidalvolumen beginnen und deutlich oberhalb ihrer Atemruhelage beenden, daher könnte gesagt werden, dass sie mit überblähter Lunge bzw. mit starker Hochatmung sprachen. Es wurde vermutet, dass dieser Mechanismus nötig sei, um die geschwächte Atemmuskulatur, insbesondere die fehlende Bauchmuskulatur, zu kompensieren. Durch die Lähmungen der unteren Atemmuskulatur kann der Brustkorb nicht mehr so stark gedehnt werden, was tiefe Atemzüge limitiert. Die Autorschaft geht davon aus, dass durch den so entstandenen leicht erhöhten Druck und die erhöhten Rückstellkräfte die Stimmbänder besser innerviert werden konnten und es den Betroffenen so möglich war, mit mehr Volumen zu sprechen.

Auch bei Tamplin et al. (2011) zeigten Erwachsene ($n = 6$) mit Tetraplegie (C5–7) im Gegensatz zu vergleichbaren gesunden Personen ($n = 6$) kompensatorische Strategien beim Singen sowie bei leisen und lauten Sprechaufgaben. Aufgrund der reduzierten Vitalkapazität konnten vermehrte Muskelaktivitäten der Atemhilfsmuskeln (M. sternocleidomastoideus und M. trapezius) mit steigenden Anforderungen an das Sprechen gemessen werden. Beide Studien verdeutlichen, dass eine reduzierte Atemfunktion negative Folgen für das Sprechen hat, und die Betroffenen versuchen, dieses Atemdefizit, soweit es ihnen möglich ist, zu kompensieren.

Das eben beschriebene Defizit in der abdominalen Atemmuskulatur versuchten Watson und Hixon (2001) mit einer Bauchbinde zu verbessern. Tatsächlich konnten sie bei drei Männern mit Querschnittslähmung (C5–6) teilweise signifikante Verbesserungen beim Lesen beobachten. So wurden einige Atemparameter durch die Bauchbinde positiv beeinflusst, sodass sich mit verbesserter Vitalkapazität auch die Dauer der Äusserungen (2/3 sign.) und die Äusserungslängen (Silben/Atemzug) verlängerten (3/3 sign.). Ferner konnten Pausen mit Bauchbinde ausschliesslich an linguistisch adäquaten Stellen³⁸ gesetzt werden, was ohne dieses Hilfsmittel nicht der Fall war. Fremde Hörer ($n = 10$) verglichen jeweils die Sprechproben der drei Probanden unter beiden Bedingungen. Die Varianten mit Bauchbinde wurden häufiger als angenehmer empfunden, u. a., weil sie lauter waren, natürlicher klangen, längere und natürlichere Phrasierungen enthielten und adäquatere Pausen vorwiesen. Hier zeigt sich zumindest exemplarisch, dass abhängig von der Lungenfunktion auch andere Veränderungen der Prosodie einhergehen können. Auch Cornwell et al. (2014) untersuchten den Einsatz einer Bauchbinde bei 13 Personen mit einer hohen Querschnittslähmung (C3-T1). Zwar brachte dieser eine signifikante Verbesserung bezüglich einiger Lungenparameter (Vitalkapazität, forcierte Vitalkapazität und forciertes expiratorisches Volumen für eine Sekunde), akustische und perzeptive Parameter der Stimmfunktion veränderten sich hingegen nicht signifikant. Allerdings wurde hier die

³⁷ Diese Analysen waren allerdings rein deskriptiv.

³⁸ Adäquat heisst in diesem Fall: nicht innerhalb einer Phrase oder eines Nebensatzes.

Sprechatmung nur indirekt mit der maximalen Tonhaldedauer und Lautstärke berücksichtigt und der Fokus eher auf die Stimmqualität gelegt.

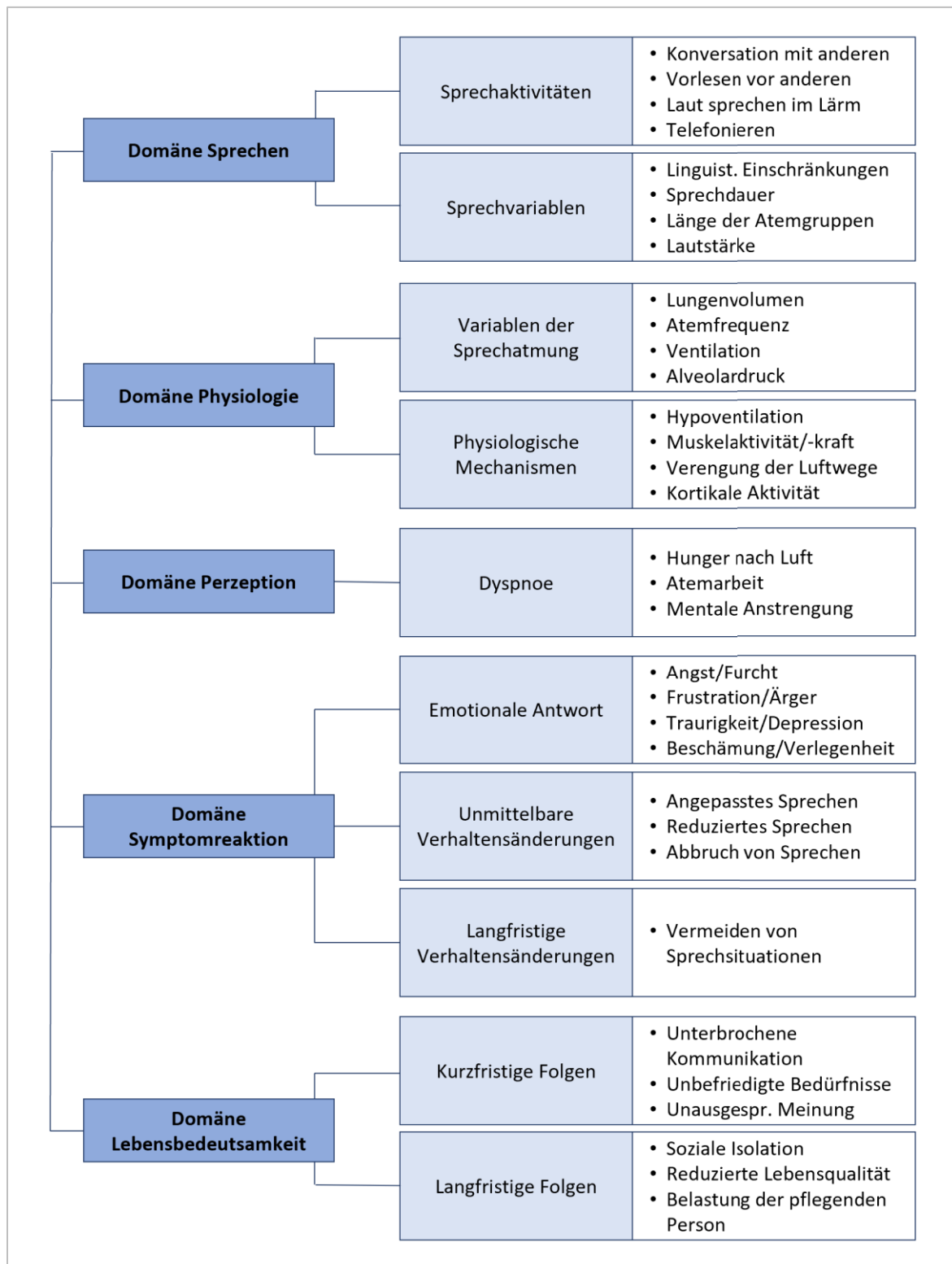
Dass Personen mit hohen Querschnittslähmungen durch die reduzierte Atemfunktion auch negative Veränderungen auf die Stimmqualität und deren Leistungsfähigkeit aufweisen, findet im Vergleich zu den Auswirkungen auf die Sprechatmung etwas mehr Beachtung. Es ist bekannt, dass die Betroffenen u. a. eine reduzierte Lautstärke, eine reduzierte Tonhaldedauer, weniger Silben pro Atemzug, Auffälligkeiten im Stimmklang wie Rauigkeit und eine geringere Stimmstabilität haben. Bei Befragungen mit dem Voice-Handicap-Index von Jacobson et al. (1997) fallen sie im Vergleich zu Gesunden durch eine reduzierte Selbsteinschätzung der Stimmfunktion und somit auch durch eine reduzierte Lebensqualität auf (Johansson, 2013; Johansson et al., 2018; MacBean et al., 2013; F. d. O. Rodrigues et al., 2023; Tamplin et al., 2014; Tamplin et al., 2013; Tamplin et al., 2011; Ward et al., 2016).

Atemnot beim Sprechen wird sehr unterschiedlich empfunden. Um die individuelle Wahrnehmung von Dyspnoe besser zu verstehen, versuchten Lansing und Hoit (2021), einen konzeptionellen Rahmen für Dyspnoe beim Sprechen zu entwickeln, wobei sie sich teils auf das Modell von Parshall et al. (2012) stützen. Nach ihnen kann sich das Empfinden von Dyspnoe beim Sprechen über fünf Domänen erstrecken, die sich gegebenenfalls wechselseitig beeinflussen: (1) Domäne Sprechen mit Sprechaktivitäten und Sprechvariablen, (2) Domäne Physiologie mit Variablen der Sprechatmung und physiologischen Mechanismen, (3) Domäne Perzeption von Dyspnoe, (4) Domäne der Symptomreaktion mit emotionalen Antworten, unmittelbaren Verhaltensänderungen sowie langfristigen Verhaltensänderungen und zuletzt (5) Domäne der Lebensbedeutsamkeit mit kurz- und langfristigen Folgen. Welche Faktoren diese einzelnen Bereiche umfassen können, ist in Abbildung 12 aufgelistet. Anhand dieses Modells wird deutlich, dass viele Variablen des Sprechens und der Respiration die Atem-Sprech-Koordination beeinflussen und dass sich Dyspnoe auf diverse Aspekte des Sprechens auswirken kann. Besonders aufgrund der emotionalen Folgen sowie des möglichen sozialen Vermeidungsverhaltens kann dies auch eine deutliche Einschränkung der Lebensqualität bedeuten.

In der Summe kann festgehalten werden, dass Auffälligkeiten prosodischer Merkmale auch ohne vorhandene zentrale Sprechstörung auftreten können, allein durch eine reduzierte Lungenfunktion. Die eingeschränkte Leistung der Respiration wirkt sich dabei vielseitig auf verschiedene Parameter der Stimmqualität und deren Leistungsfähigkeit aus, aber auch auf die Modulationsfähigkeit sowie die Atem-Sprech-Koordination. In Bezug auf die Letztgenannte sind die gesteigerte Anzahl an Pausen und die kürzeren Äusserungslängen pro Atemzug markante Parameter. Zudem können betroffene Personen beim Sprechen die Pausen häufig nicht mehr durchgehend an linguistisch adäquaten Stellen machen, da die metabolischen Bedürfnisse schon verfrüht einen nächsten Atemzug erfordern. Auch

Abbildung 12

Konzeptioneller Rahmen von Dyspnoe beim Sprechen von Lansing und Hoit (2021) mit fünf Domänen, die sich gegenseitig beeinflussen können (in Anlehnung an Lansing & Hoit, 2021, S. 846)



gesunde Personen empfinden Sprechen unter erhöhter Atemarbeit (z. B. bei hoher CO₂-Konzentration) als körperlich und kognitiv anstrengend. Es ist daher nicht erstaunlich, dass Personen mit eingeschränkter Lungenfunktion subjektiv das Gefühl von Dyspnoe beim Sprechen sowie eine reduzierte subjektive Bewertung der Stimmfunktion angeben, was mit einer reduzierten stimmbezogenen Lebensqualität einhergeht. Eine Verbesserung der Sprechatmung sollte daher bei Personen mit pulmonalen Defiziten mehr Beachtung finden, um die Kommunikationsfähigkeit zu erleichtern und die Lebensqualität zu verbessern.

4 Die Rolle der Atmung beim Schlucken

Nachdem in Kapitel 3 die Bedeutung der Atmung beim Sprechen, insbesondere bei der Setzung von Atempausen, deutlich wurde, soll im Folgenden die Rolle der Atmung beim Schlucken herausgestellt werden. In gängigen Fachbüchern zu Dysphagien findet die Atem-Schluck-Koordination durchaus indirekt oder am Rande Aufmerksamkeit, z. B. beim Einsatz von kompensatorischen Reinigungsfunktionen oder dem Einsatz von Atemtechniken im Rahmen kompensatorischer Schlucktechniken wie dem supraglottischen Schlucken³⁹ (Bartolome & Schröter-Morasch, 2018; Prosiegel & Weber, 2018). In neueren Werken, die sich spezifisch mit Dysphagien und Beatmung bzw. dem Trachealkanülenmanagement auseinandersetzen, werden noch Aspekte wie die Relevanz eines effizienten Hustenstosses oder der physiologischen Luftstromführung betont, so z. B. bei Schwegler (2022) oder Ledl und Ullrich (2022). Befasst man sich aber intensiver mit dem Aspekt Atmung, entsteht der Eindruck, dass ihre Relevanz unter Umständen unterschätzt wird.

Diesem etwas vernachlässigten Aspekt des Schluckens widmet sich Kapitel 4. Auf eine detaillierte Darstellung des physiologischen Schluckaktes wird verzichtet und auf die genannten Grundlagenwerke verwiesen. Hingegen werden im Folgenden vor allem die spezifische Rolle der Atmung beim Schlucken, die Koordination beider Abläufe, die Bedeutung pulmonaler Fähigkeiten für Reinigungsfunktionen und kompensatorische Schlucktechniken sowie die Folgen von respiratorischen Einschränkungen für das Schlucken differenziert dargestellt und diskutiert.

4.1 Atem-Schluck-Koordination

4.1.1 *Physiologische Überlegungen und Beobachtungen zur Atem-Schluck-Koordination*

Das grosse Lautrepertoire eines Menschen wird durch die für die Spezies typische Tiefstellung des Kehlkopfes möglich. Bei Neugeborenen steht der Kehlkopf noch hoch, doch mit zunehmendem Alter senkt er sich ab. Durch das Absenken teilen sich der Atemweg sowie der obere Verdauungstrakt einen Teil der Wegstrecke im Pharynx (Aerodigestivtrakt), bevor sie sich dann im Hypopharynx kreuzen und getrennt voneinander in Luft- und Speisröhre weiterverlaufen. Diese gemeinsame Wegstrecke macht das Schlucken allerdings sehr störanfällig (Prosigel & Weber, 2018, S. 8) und erfordert eine exakte Koordination der Atmung und des Schluckens und somit aller beteiligten Strukturen und Organe (McFarland et al., 2016, S. 89), damit sich die beiden Systeme nicht gegenseitig behindern.

³⁹ Beim supraglottischen Schlucken erfolgt vor der Reflextriggerung eine bewusste Inspiration mit folgendem Atemstopp, wodurch ein willkürlicher Glottisschluss entsteht. Nach der Reflextriggerung wird ohne Zwischenatmen sofort abgehustet, wodurch der Larynxeingang gereinigt wird (Bartolome, 2022b, S. 390f.).

Zum einen ist die Funktionsfähigkeit des oberen Ösophagussphinkters (OÖS) wichtig. Er ist in Ruhestellung aktiv angespannt und dadurch verschlossen, das Eindringen von Luft in die Speiseröhre und den Magen beim Atmen wird so verhindert. Des Weiteren bietet der Verschluss einen Schutz vor Reflux, also einem Rückfluss von Magensaft in den Pharynx (Goyal et al., 1970, zitiert in: Goyal et al., 1993). Zum anderen muss beim Schlucken sichergestellt werden, dass das Material ausschliesslich in die Speiseröhre gelangt und nichts in die oberen oder unteren Atemwege gerät. Ein velopharyngealer Verschluss, also ein Kontakt vom Velum zur Rachenwand, verhindert das Eindringen von Bolus in den Nasenraum (Nasopharynx). Weiter erfolgt in der reflektorischen, pharyngealen Schluckphase ein dreifacher Verschluss der Luftröhre durch die Stimmlippen, die Taschenfalten und die Epiglottis, um die unteren Atemwege zu schützen. Zugleich öffnet sich der obere Ösophagussphinkter durch mehrere Mechanismen und ermöglicht somit die Weiterleitung des Bolus in die Speiseröhre: Er relaxiert, wird durch die superior-anteriore Exkursion (Aufwärts- und Vorwärtsbewegung) von Hyoid und Larynx aufgezoogen und durch den Bolusdruck geweitet (Prosiegel & Weber, 2018, S. 14ff.). Der geschilderte mechanische Verschluss der Atemwege erfordert einen kurzen Atemstopp bis zum Ende der pharyngealen Phase, welcher auch *Schluckapnoe* genannt wird (Bartolome, 2022c, S. 34; Prosiegel & Weber, 2018, S. 23). Grob beträgt diese Schluckapnoe für einen Einzelschluck Flüssigkeit etwa eine Sekunde (Martin et al., 1994). Nachdem der Bolus den oberen Ösophagussphinkter vollständig passiert hat, gehen die beteiligten Strukturen in ihre Ausgangslage zurück und die Atmung setzt wieder ein (Prosiegel & Weber, 2018, S. 22f.).

Die physiologischen Anforderungen zeigen deutlich, dass eine exakte Koordination des Atem- und Schluckvorgangs nötig ist. Wie genau die Atem-Schluck-Koordination ist, konnten beispielsweise Perlman et al. (2000) ($N = 15$) und Martin-Harris et al. (2005) ($N = 76$) zeigen. Der Onset der Schluckapnoe scheint als einziger Parameter variabel einzusetzen, teils vor dem Schluckreflex, teils schon mit der Aufnahme des Bolus. Bei Perlman et al. (2000) begann die Apnoe in 95 % der Fälle, bevor der Bolus in den Hypopharynx eintrat. Die restlichen Atem- und Schluckbewegungen folgen in einer zeitlich signifikant aufeinander abgestimmten Abfolge, was gewährleistet, dass Atemwege rechtzeitig geschützt werden. Laut den Messungen von Martin-Harris et al. (2005) korreliert der Beginn des laryngealen Verschlusses mit dem Beginn der Hyoidexkursion. Es folgt die Öffnung des OÖS zusammen mit dem maximalen Verschluss der Atemwege und der maximalen Hyoidexkursion. Ebenfalls korrelieren diese Bewegungen mit darauffolgenden Ereignissen. Der Verschluss des OÖS erfolgt zeitgleich mit der beginnenden Öffnung des Larynx. In Bezug auf die Sicherheit scheint dies sinnvoll, da eine Öffnung des Larynx sicher erst gefahrlos ist, wenn der Bolus den Speiseröhreneingang passiert hat. Zuletzt findet das Ende der Schluckapnoe statt, welche mit dem vollständigen Absenken des Hyoids korreliert, wobei die Atmung meist vor vollständigem Erreichen der Ausgangslage einsetzt. Bei Perlman et al. (2000) endete die Apnoe ohne Ausnahme erst, wenn der gesamte Bolus in die

Speiseröhre gelangt war. Dass die Atmung meist in Form einer Expiration fortgesetzt wird, sehen die Autorinnen und Autoren wiederum als Schutzmechanismus vor drohender Aspiration, da so mögliche Retentionen aus dem Larynx entfernt werden könnten (Martin-Harris et al., 2005).

4.1.2 Steuerung der Atem-Schluck-Koordination

Wie in Kapitel 4.1.1 geschildert, scheint es für ein sicheres Schlucken unabdingbar, dass die Atmung und das Schlucken eng miteinander gekoppelt sind. Diese Nähe lässt sich auch neuroanatomisch erkennen.

Da der Schluckvorgang willkürliche und reflektorische Anteile besitzt, sind dementsprechend Strukturen im Grosshirn (willentlich und reflektorisch) und im Hirnstamm (reflektorisch) für die Steuerung verantwortlich. Der eigentliche Schluckkortex umfasst das frontoparietale Operkulum⁴⁰ und ist bei willentlichem sowie reflektorischem Schlucken beteiligt. Aber auch der vordere Teil der Insel kann dem Schluckkortex zugeordnet werden. Vom Schluckkortex verlaufen kortikobulbäre Bahnen gekreuzt und ungekreuzt zu den Hirnnervenkernen (V, VII, IX, X XII) in der Medulla oblongata im Hirnstamm. Diese innervieren nicht nur die Schluckmuskulatur, sondern erhalten auch sensibel-sensorische Rückmeldung, sodass die relevanten Hirnareale Nachkorrekturen und Anpassungen vornehmen können. Die höheren Hirnregionen modulieren also diesen sensomotorischen Regelkreis (Prosiegel, 2002, S.110ff.; Prosiegel & Weber, 2018, S. 30ff.).

Im Gegensatz zu spontanem Schlucken werden beim willentlichen Schlucken zusätzliche Bereiche im Grosshirn aktiviert (Kern et al., 2001). Der willentliche Einfluss auf das Schlucken ist dabei ähnlich begrenzt wie bei der Atmung (vgl. Kapitel 2.1.4), da nur die Schluckphasen bis zur Reflextriggerung willentlich beeinflussbar sind. Der Kauvorgang kann im Prinzip unbegrenzt verlängert werden, bzw. der Bolus kann beliebig lange im Mund gehalten werden. Ein Abschlucken kann so zwar hinausgezögert werden, sobald jedoch die Schluckreflextriggerung erfolgt, kann der Vorgang nicht mehr beeinflusst werden (Prosiegel & Weber, 2018, S. 8).

Um der Frage nachzugehen, ob es bei den reflektorischen Schluckbewegungen auch eine Koordination mit der reflektorischen Atmung gibt, muss der Blick genauer auf die zuständigen Areale im Hirnstamm gerichtet werden.

Seit den Tierexperimenten von Doty und Bosma (1956) liegt die Vermutung nahe, dass das reflektorische Schlucken nahezu autonom vom unteren Bereich des Hirnstamms (Medulla oblongata) gesteuert wird. Sie konnten auf jeder Hirnstammseite zwei Schluckzentren lokalisieren, welche später

⁴⁰ «Der untere Bereich der primär-motorischen Rinde (einschliesslich des angrenzenden prämotorischen Kortex) und der primär-sensiblen Rinde wird als frontoparietales Operkulum bezeichnet (lat. Operculum = Deckel)» (Prosiegel & Weber, 2018, S. 30).

durch den Begriff der *Central Pattern Generators for Swallowing* (CPGs) geprägt wurden, im Deutschen spricht man oft von *Mustergeneratoren des Schluckens* (Doty, 1968; in Prosiegel & Weber, 2018, S. 38f.). Auch beim Menschen geht man auf jeder Hirnstammseite von einem dorsomedialen CPG (dmCPG) und einem ventrolateralen CPG (vlCPG) in der «parvozellulären (kleinzelligen), lateralen *Formatio reticularis* der oberen *Medulla oblongata*» aus (Prosiegel & Weber, 2018, S. 39). Sie liegen wahrscheinlich neben dem *Nucleus tractus solitarius* (NTS) bzw. neben dem *Nucleus ambiguus* (NA), direkt beim *Nucleus reticularis parvocellularis* (PCR) (Prosiegel & Weber, 2018, S. 39).⁴¹ Die dmCPGs enthalten Generator-Neurone, welche für das Auslösen, Modellieren und die zeitliche Abstimmung sequenzierten bzw. rhythmischen Schluckens zuständig sind. Die vlCPGs enthalten sogenannte Umschalt-Neurone, die den Atemantrieb, also den zeitlich-sequenzierten Output der dmCPGs, dann an verschiedenste Motoneurone weiterleiten – dementsprechend an die an der Motorik beteiligten Hirnnerven (Jean & Dallaporta, 2013; Prosiegel, 2022b, S. 57). Dabei scheinen die CPGs durchaus flexibel auf Input aus der Peripherie zu reagieren, da sich die Schluckbewegung den Gegebenheiten des zu schluckenden Bolus anpassen kann. Hierfür mag die Lage des NTS von Vorteil sein, der als eine Art sensorische Schaltzentrale fungiert (Jean & Dallaporta, 2013, S. 83). Um dies an einem Beispiel zu verdeutlichen: Aufgrund der gustatorischen und sensiblen Informationen zu den Boluseigenschaften passt sich die Öffnungszeit des oberen Ösophagussphinkters an den Bolus an, d. h. im Falle eines grösseren Bolus verlängert sich diese, damit genügend Zeit für den Durchtritt vorhanden ist (Prosiegel & Weber, 2018, S. 40).

Betrachtet man nun die neuronale Steuerung der Atmung, sieht man, dass ein Teil der Mustergeneratoren für die Atmung sehr nahe bei den CPGs für das Schlucken liegt. Bianchi und Gestreau (2009, S. 6) nennen hier die dorsale respiratorische Gruppe (DRG) in der Region des NTS und die ventrale respiratorische Säule (VRC) in der ventro-lateralen *Medulla oblongata* inclusive dem NA. Beide erhalten über afferente Bahnen sensorischen Input der beteiligten Organe. Es scheint auch ein gewisser Austausch beider Mustergeneratoren vorhanden zu sein, wodurch sie ihr Programm entsprechend der physiologischen Bedingungen modulieren können. Es besteht daher die berechtigte Vermutung, dass sich einige der respiratorischen CPGs mit den CPGs für das Schlucken überschneiden, aber auch mit nicht-respiratorischen Funktionen wie Husten und Erbrechen. Das respiratorische Netzwerk hat offenbar einige Neuronen, welche zusätzlich anderen Netzwerken angehören. Dies ermöglicht die systemübergreifende Koordination der Atemfunktion mit anderen nicht-respiratorischen Funktionen wie dem Schlucken, Husten oder Erbrechen, wobei diese teilweise sogar

⁴¹ Eine detailliertere Darstellung der anatomischen Lokalisierung der CPGs sowie zur Schluckanatomie sowie Steuerung des Hirnstamms findet sich beispielsweise in Jean (2001), Jean und Dallaporta (2013) oder Neuhuber und Bieger (2013). Die anschauliche Darstellung von Grundlagen sowie zahlreiche Abbildungen zum Schlucken und zur Neuroanatomie des Schluckens finden sich weiter in Bartolome und Schröter-Morasch (2022) sowie Prosiegel und Weber (2018).

antagonistische Ziele verfolgen (Bianchi & Gestreau, 2009). Beim Verschlucken möchte beispielsweise der Schutzreflex das Material mit Husten ausstossen, das Bedürfnis nach Sauerstoff veranlasst hingegen eine Inspiration.

Es scheint daher nicht unbegründet, die Atmung und insbesondere die Atem-Schluck-Koordination bei der Therapie von Schluckstörungen zu berücksichtigen, da sie sehr eng miteinander verwoben sind.

Wie genau sich die Atem-Schluck-Koordination und die gegenseitige Beeinflussung beider Vorgänge klinisch äussern, zeigen Beobachtungen einiger Forschungsarbeiten. Bevor die Erkenntnisse aus diversen Untersuchungen dargestellt werden, sei darauf hingewiesen, dass die Erhebungsmethoden der zahlreichen Untersuchungen teils stark voneinander abweichen, wie es auch in den systematischen Übersichtsarbeiten von Hopkins-Rossabi et al. (2019) und Krishnan et al. (2020) aufgeführt wird. Zum einen variieren die Messmethoden. Der Luftfluss wurde teils über eine supraglottische Druckmessung, teils über Temperatur- oder Feuchtigkeitsmessung erhoben, diese wiederum über eine Mund- und Nasenmaske oder eine Kanüle in der Nase. Die kinematischen Bewegungen des Brust- und Bauchraumes wurden meist mit einer respiratorisch induktiven Plethysmographie gemessen (Sensoren am Thorax und Abdomen), wobei hier verschiedenste Kalibrierungsaufgaben für die Volumen verwendet wurden. Auch die Schluckbewegungen selbst wurden auf sehr unterschiedliche Arten erhoben: Oberflächenelektromyographie, Visualisierung mit Videoendoskopie oder Videofluoroskopie, akustische Aufnahmen, manuelle Erfassung im Protokoll, manometrische Druckmessungen oder diverse Messbänder am Hals (Hopkins-Rossabi et al., 2019, S. 868f.). Bei Gross et al. (2006) und Gross et al. (2012) wurde der subglottische Druck sogar direkt im Larynx gemessen, indem ein Sensor durch eine perkutane Punktur zwischen Thyroid und Cricoid eingeführt wurde. Auch die Art und Weise, wie der Schluck erfolgte, variierte (spontan, auf Aufforderung, mit vorherigem Halten des Bolus im Mundraum), ebenso wie die Art der Bolusgabe (z. B. Löffel, Strohhalm, Tasse). Die Anzahl an Studienteilnehmerinnen und -teilnehmern ist oft niedrig und die Anzahl und Art der analysierten Schlucke variiert stark (total, pro Person, pro Konsistenz, pro Volumen, über alle Volumen oder Konsistenzen hinweg usw.).

Die zum Teil deutlichen methodischen Abweichungen erschweren einen direkten Vergleich von Ergebnissen und können Unterschiede und Widersprüche dieser zum Teil erklären.

4.1.3 Respirationsphase und Schlucken

Die meisten frühen Studien befassten sich mit der Frage, in welcher Atemphase die Schluckreflextriggerung bzw. die Schluckapnoe stattfindet. Es wurde entdeckt, dass im Gegensatz zu Tieren, welche vorwiegend in einer Inspirationsphase schlucken, der Mensch überwiegend in der

Expirationsphase schluckt, was McFarland et al. (1994) zum einen auf die Tiefstellung des Larynx, andererseits auf die aufrechte Position zurückführen⁴². Auch Nishino et al. (1985) und J. Smith et al. (1989) stellten fest, dass die Schluckapnoe sowohl bei spontanen Speichelschlucken als auch bei Wasserschlucken vorwiegend in der Expirationsphase stattfand. Bei Nishino et al. (1985) waren dies 80 % der Schlucke ($N_P = 8$; $n_S = 136$)⁴³, bei J. Smith et al. (1989) sogar 99 % ($N_P = 7$; $n_S = 271$). Allerdings zeigt sich bei diesen beiden Studien, dass eine genauere Unterscheidung der Apnoeposition sinnvoll ist. Erfolgte der Schluck genau zwischen dem Ende der Inspiration und dem Anfang der Expiration, wurde dieser bei Nishino et al. (1985) der Inspiration zugeordnet, bei J. Smith et al. (1989) hingegen der Expiration, wodurch sich die abweichenden Ergebnisse zum Teil erklären lassen.

Interessant ist dabei nicht nur, in welcher Atemphase die Reflextriggerung, also die Schluckapnoe beginnt, sondern es scheint relevanter, welche Atemphase danach folgt. J. Smith et al. (1989) beobachteten für Speichel- und Flüssigkeitsschlucke zusammen, dass diese mehrheitlich in der Mitte einer Expirationsphase stattfinden, d. h. vor und nach dem Schluck erfolgte eine Expiration. Dagegen waren nur in 16 % der Fälle vor dem Schluck eine Inspiration und danach eine Expiration zu sehen, ein Schluck inmitten einer Inspiration war lediglich in 0.74 % der Fälle zu erkennen. Dementsprechend wird in den meisten Studien sinnvollerweise zwischen vier Mustern unterschieden (vgl. Tabelle 3), wie sie auch bei Martin-Harris et al. (2005) zu finden sind: Findet der Schluckreflex während einer Expiration statt, welche danach fortgesetzt wird, wird vom Ex/Ex-Muster gesprochen. Ein In/In-Muster ist demnach ein Schluck inmitten einer Inspirationsphase. Erfolgt der Schluck am finalen Ende einer Inspiration und anschliessend beginnt eine Expiration, wird dies In/Ex-Muster genannt. Der umgekehrte Fall ist analog ein Ex/In-Muster.

Tabelle 3

Die vier möglichen Atem-Schluck-Muster nach Martin-Harris et al. (2005)

Ex/Ex-Muster	Expiration – Schluck – Expiration
In/Ex-Muster	Inspiration – Schluck – Expiration
Ex/In-Muster	Expiration – Schluck – Inspiration
In/In-Muster	Inspiration – Schluck – Inspiration

⁴² McFarland et al. (1994) stellten fest, dass die Schluckapnoe in aufrechter Position ($N = 10$) am Ende der Expirationsphase zu beobachten war, im tierähnlichen Vierfüsslerstand verschob sie sich hingegen an den Anfang der Expirationsphase. Daher messen sie der Körperposition eine relevante Bedeutung bei.

⁴³ Sofern die Anzahl an ausgewerteten Schlucken vorhanden ist, wird zwischen N_P , der Anzahl der untersuchten Personen, und n_S der Anzahl an ausgewerteten Schlucken unterschieden. Wird nur N angegeben, ist damit die Anzahl der Personen gemeint.

Einige Arbeiten beschäftigten sich mit dem nicht-nutritiven Schlucken, also dem spontanen Schlucken von Speichel. Einheitlich kommen alle zu dem Ergebnis, dass ein Ex/Ex-Muster beim spontanen Speichelschluck überwiegt, obwohl die Angaben durchaus variieren, wie Tabelle 4 verdeutlicht. Hiss et al. (2001) geben beispielsweise nur 62 % der Speichelschlucke im Ex/Ex-Muster an, Hårdemark Cedborg et al. (2010) dagegen 98 %. Die anderen drei Atem-Schluck-Muster kommen hingegen gar nicht bis selten vor, wie die Studien von Hårdemark Cedborg et al. (2009), Pinto et al. (2017) und Preiksaitis et al. (1992) zeigen. Sie sind meist nur bei einem kleinen Anteil der Probandinnen und Probanden beobachtbar (Hårdemark Cedborg et al., 2010; Hårdemark Cedborg et al., 2009).

Tabelle 4

Studien zur Atemschluck-Koordination von spontanen Speichelschlucken mit prozentualem Anteil der beobachteten Atem-Schluck-Muster

Studie	N_P	N_S	Ex/Ex (%)	In/Ex (%)	Ex/In (%)	In/In (%)
Hårdemark Cedborg et al. (2009)	6	81	93	0	7	0
Hårdemark Cedborg et al. (2010)	32	-	98	-	-	-
Hiss et al. (2001)	60	180	62	-	-	-
Pinto et al. (2017)	32	-	81.5	0	18.5	0
Preiksaitis et al. (1992)	12	126	76.5	11.1	10.1	1.1
C.-M. Wang et al. (2015)	112 (3 Altersgruppen)	336	75 (20–30 J.) 52 (31–50 J.) 52 (51–70 J.)	-	-	-

Anmerkungen. N_P = Stichprobengrösse; N_S = Anzahl an ausgewerteten spontanen Speichelschlucken; Ex = Exspiration; In = Inspiration; - = keine Angaben.

Kelly et al. (2007) verglichen von 20 Personen spontane Speichelschlucke ($n_S = 400$), willentliche Speichelschlucke ($n_S = 300$) und reflektorische Speichelschlucke im Schlaf ($n_S = 347$). Auch hier war das Ex/Ex-Muster mit 58.6 % in allen drei Bedingungen am häufigsten. Allerdings zeigte sich das In/Ex-Muster beim willentlichen Schlucken häufiger als beim wachen, spontanen Schlucken. Das Ex/In-Muster war dagegen beim willentlichen Schlucken seltener zu beobachten als beim spontanen Schlucken (wach oder schlafend). Kelly et al. (2007) schlussfolgern, dass nicht die Wachheit alleine, sondern rein jene kortikalen Areale, die für willentliches Schlucken zuständig sind, die vom Hirnstamm gesteuerte Atem-Schluck-Koordination modulieren können.

Gleiche Beobachtungen wurden bei der künstlichen Provokation von spontanem, nicht-nutritiven Schlucken gemacht. Ayuse et al. (2010) injizierten mittels einer Sonde am Mundboden kontinuierlich

Wassertropfen in den Pharynx von gesunden Erwachsenen ($N = 12$). Der zum Schutz der Atemwege nötige Schluckreflex fand auch hier hauptsächlich im Ex/Ex-Muster statt.⁴⁴

Weitaus mehr Studien zur Atem-Schluck-Koordination finden sich zum nutritiven Schlucken, wobei hier vor allem der Einzelschluck von Flüssigkeiten, ggf. mit einem Vergleich verschiedener Volumen, dominiert (z.B. Hao et al., 2021; Hirst et al., 2002; Hiss et al., 2004; Hiss et al., 2001; Martin et al., 1994; Martin-Harris et al., 2005; Martin-Harris et al., 2003; Perlman et al., 2000; C.-M. Wang et al., 2015; Wheeler Hegland et al., 2011). Aber auch zum sequenziellen Schlucken grösserer Flüssigkeitsmengen (z.B. Dozier et al., 2006; Hao et al., 2021; Lederle et al., 2012; Martin et al., 1994; Preiksaitis & Mills, 1996; Wheeler Hegland et al., 2011) oder anderen Konsistenzen, wie breiig, weich/fest (z.B. Hiss et al., 2004; Klahn & Perlman, 1999; McFarland & Lund, 1995; McFarland et al., 2016; Perlman et al., 2000; Preiksaitis & Mills, 1996; Valenzano et al., 2020; Yamada et al., 2017), finden sich Untersuchungen. Eine spezielle Situation entsteht beim Essen fester Nahrung, da hier der Kauprozess, das mehrmalige Zwischenschlucken sowie die Atmung koordiniert werden müssen und sich gegenseitig beeinflussen.

Die Angaben zur Häufigkeit eines auftretenden Ex/Ex-Musters variieren teilweise deutlich, wobei hier die Unterschiede in den Experimentalgruppen in Bezug auf das Alter, die unterschiedlich verwendeten Volumen und die unterschiedlichen Darreichungsformen sowie die bereits erwähnten variierenden Messmethoden Effekte verursachen können. Beispielsweise wird für 10 ml Wasser bei Hårdemark Cedborg et al. (2010) das Ex/Ex-Muster bei jüngeren Erwachsenen in 99 % der Fälle beobachtet ($N_p = 32$; $n_s = 92$), bei C.-M. Wang et al. (2015) hingegen abhängig vom Alter in 73 % (jung), 39 % (mittelalt) bzw. 50 % (alt) ($N_p = 112$; $n_s = 336$).

Im systematischen Review von Hopkins-Rossabi et al. (2019) wurden 37 Studien (bis 2018) zur Atem-Schluck-Koordination bei gesunden Erwachsenen berücksichtigt und ausgewertet. Sie kommen zu dem Schluss, dass bei Einzelschlucken Wasser verschiedener Volumen (5–25 ml) einheitlich von einem dominierenden Ex/Ex-Muster gesprochen wird, auch wenn die Auswertung von Einzelschlucken Wasser und Speichelschlucken zusammen erfolgte. In 19 Arbeiten fanden sie quantitative Angaben zum Atem-Schluck-Muster, mit denen sie eine Meta-Analyse durchführen konnten. Diese bestätigte eine signifikante Häufung des Ex/Ex-Musters für alle Bolusgrößen, inklusive sequenziellem Schlucken und für alle Altersgruppen zusammen. Über die 19 Studien hinweg errechneten sie einen Anteil des Ex/Ex-Musters in 77.4 % der Fälle. Weiter zeigt sich in ihrer Metaanalyse, dass das Bolusvolumen von Flüssigkeiten einen signifikanten Einfluss auf die Häufung des Ex/Ex-Musters hat. Mit zunehmendem Bolusvolumen sank der Prozentsatz des Ex/Ex-Musters.

⁴⁴ Mit einer ähnlichen Technik, in der das Wasser mithilfe einer dünnen Sonde über die Nase direkt in den Pharynx injiziert wurde, konnten Dua et al. (2007) zeigen, dass dieser Schutzreflex sogar bei schlafenden Personen ($N = 3$) künstlich provoziert sowie sicher und zuverlässig ausgelöst werden kann, d. h. ohne Penetration oder Aspiration.

Bei sequenziellem Schlucken grösserer Flüssigkeitsmengen können innerhalb einer Schluckapnoephase ein oder mehrere Schlucke stattfinden, wobei hier ebenfalls die Respiration vor und nach einer solchen Apnoephase von Interesse ist (Wheeler Hegland et al., 2011). Unter Umständen sind Zwischenatmungen nötig, deren Anzahl individuell stark variiert (Martin et al., 1994). Auch bei sequenziellem Schlucken grösserer Volumen Flüssigkeit (> 50 ml) sank der Anteil an Schluckapnoephasen innerhalb einer Expiration – in einzelnen Arbeiten sogar unter 50 % –, sodass anderen Mustern teilweise ein deutlich grösserer Anteil zufiel. Bei Wheeler Hegland et al. (2011) dominierte z. B. das Ex/In-Muster bei 100 ml Flüssigkeit aus der Tasse mit 37 % und mit Strohhalm 33.8 % ($N = 20$). Eine spätere Studie von Ouahchi et al. (2019) bestätigte jedoch erneut, dass unabhängig von der vorgegebenen Schluckfrequenz sequenzielles Schlucken vorherrschend in der Expirationsphase stattfindet ($N = 31$). Allerdings wurde in dieser Studie das zu schluckende Volumen nicht kontrolliert. Die Anweisung beinhaltete lediglich, dass ein ganzer Mund voll Wasser in mehreren Schlucken, also jeweils kleinen Mengen, mit einem fest vorgegebenen Rhythmus geschluckt werden sollte. Auch bei Hao et al. (2021) wurden 100 ml Wasser mit 52.4 % dominierend im Ex/Ex-Muster geschluckt ($N = 21$). Bei sequenziellem Schlucken grösserer Flüssigkeitsmengen kommt es aber scheinbar häufiger zu Abweichungen vom Ex/Ex-Muster.

Zum Einfluss von Boluseigenschaften auf respiratorische Messungen beim Schlucken gibt es ein systematisches Review von Krishnan et al. (2020), in das 25 Studien eingeschlossen wurden⁴⁵. Auch diese Autorinnen und Autoren kommen zu dem Schluss, dass die allgemein dominierende postdeglutitive Expiration mit grösserem Bolusvolumen weniger häufig vorkommt.

Ebenfalls halten Hopkins-Rossabi et al. (2019) fest, dass unabhängig von der Darreichungsform, der Konsistenz, der Körperhaltung oder dem Geschlecht das Ex/Ex-Muster in den Forschungsarbeiten dominiert. Auch bei Valenzano et al. (2020) war das Ex/Ex-Muster mit 92.7 % über alle Boluskonsistenzen hinweg vorherrschend ($N = 30$).

Das Essen fester Konsistenzen stellt für die Atem-Schluck-Koordination allerdings einen Spezialfall dar und sollte daher doch getrennt von den anderen Konsistenzen betrachtet werden. Feste Konsistenzen müssen vor dem oralen Transport im Mundraum zerkleinert werden, dabei läuft die Atmung über die Nase parallel weiter (Matsuo & Palmer, 2009). Allerdings wird der Atemrhythmus vom Kautvorgang beeinflusst, die Atemzyklen werden unregelmässiger (Palmer & Hiemae, 2003), kürzer und häufiger, bevor sie während des Schluckens wieder länger werden (Fontana et al., 1992; Matsuo et al., 2008; McFarland & Lund, 1995). Nun kann beobachtet werden, dass ein Teil des Bolus vor dem eigentlichen Schluck in den Oropharynx oder sogar bis die Valleculae transportiert wird und dort im Pharynx für

⁴⁵ Zwölf der eingeschlossenen Studien von Krishnan et al. (2020) sind mit denen aus dem Review von Hopkins-Rossabi et al. (2019) identisch.

wenige Sekunden oder sogar mehrere Atemzyklen gesammelt wird, bevor der eigentliche Schluck und pharyngeale Transport beginnt⁴⁶. Eine exakte Koordination von Atmung, Kauen und Schlucken ist daher unabdingbar (Matsuo et al., 2008; Matsuo & Palmer, 2009, 2015; Palmer & Hiimae, 2003; Palmer et al., 1992). Der eigentliche Schluckreflex erfolgt aber auch bei festen Konsistenzen hauptsächlich innerhalb einer Expiration (Hao et al., 2021; Matsuo & Palmer, 2015). Interessant und entscheidend für die Sicherheit ist, dass auch der eben geschilderte prädeglutitive Transport in den Oropharynx überwiegend von einer Expiration begleitet wird (Matsuo & Palmer, 2015; Palmer & Hiimae, 2003).

Zum Einfluss des Alters auf die Atem-Schluck-Koordination ist die Datenlage allerdings widersprüchlich. In manchen Arbeiten hatte das Alter keinen Einfluss, in anderen zeigte sich hingegen eine Abnahme des Ex/Ex-Musters mit zunehmendem Alter, sodass diese Frage nicht eindeutig beantwortet werden kann (Hopkins-Rossabi et al., 2019).

Laut Krishnan et al. (2020) gibt es auch keine ausreichenden Hinweise auf einen Effekt der Bolustemperatur und des Geschmack auf das Respirationsmuster. Lediglich die Studie von C.-M. Wang et al. (2015) lässt vermuten, dass bei kühleren Flüssigkeiten im Alter zuverlässiger das bevorzugte Ex/Ex-Muster beobachtbar ist.

Schlussendlich kann festgehalten werden, dass das physiologisch dominierende Atem-Schluck-Muster ein Ex/Ex-Muster zu sein scheint. Einigkeit besteht bezüglich der Annahme, dass einem Schluck im Ex/Ex-Muster – insbesondere der postdeglutitiven Expiration – eine protektive Wirkung zukommt. Mögliche Bolusreste könnten durch eine postdeglutitive Inspiration in die unteren Luftwege gesogen werden. Der expiratorische Luftstrom sorgt jedoch dafür, dass diese eher nach oben befördert wird, und verringert somit die Gefahr einer Aspiration (Hårdemark Cedborg et al., 2009; Martin-Harris et al., 2005). Unterstützt wird diese Annahme durch die Beobachtung von Hårdemark Cedborg et al. (2009). Sie konnten nicht nur beim Onset der Schluckapnoe Zwerchfellaktivität messen, sondern auch noch beim postdeglutitiven Einsetzen der Atmung ($N = 6$). Die Atmung wird also nicht nur aktiv angehalten, sondern nach dem Schluck wird die Luft auch aktiv ausgestossen, was die normalen Rückstellkräfte unterstützt und den protektiven Charakter der Expiration verstärkt. Vermutlich könnte so auch ein Hustenstoss schneller ausgelöst werden, falls dieser erforderlich wäre.

Obwohl die beobachtete Abnahme des Ex/Ex-Musters mit zunehmendem Alter fraglich signifikant ist, kann man für ältere Personen einen physiologischen Nachteil und einen Verlust an Sicherheit beim Schlucken erwarten, vor allem bei zusätzlichen Beeinträchtigungen oder Schluckproblemen (Hopkins-

⁴⁶ Laut Definition entspricht dies eigentlich einem posteriorem Leaking und ist demnach bei festen Konsistenzen nicht ungewöhnlich. Laut Prosiegel und Weber (2018, S. 57) ist ein Leaking «nur dann als pathologisch zu werten, wenn es anschliessend zu einer Penetration oder Aspiration kommt».

Rossabi et al., 2019). Ebenso rechtfertigt die Beobachtung einer Abnahme des Ex/Ex-Musters mit zunehmendem Volumen, dass bei Personen mit Schluckproblemen das Bolusvolumen kontrolliert, ggf. kleingehalten und Einzelschlucke bevorzugt werden sollten. Ebenfalls scheinen feste Konsistenzen höhere Anforderungen an die Atem-Schluck-Koordination zu stellen, was bei einer gestörten Koordination, bei Schluckproblemen oder pulmonalen Einschränkungen relevant sein könnte. Auch an eine Optimierung der Koordination von Schluck- und Atemphasen sollte in der Therapie gedacht werden (Martin-Harris, 2008).

4.1.4 Lungenvolumen und subglottischer Druck beim Schlucken

Es gilt die Annahme, dass für einen reibungslosen Schluckvorgang der Aufbau eines positiven subglottischen Druckes eine Schlüsselkomponente darstellt. Durch ihn scheinen subglottische Mechanorezeptoren stimuliert zu werden, die bei der neuronalen Steuerung des Schluckens, beispielsweise beim reflektorischen Glottisverschluss, sowie bei Feedbackprozessen zur Anpassung pharyngo-laryngealer Bewegungen beteiligt sind (Eibling & Gross, 1996; Gross et al., 2009; Gross, Mahlmann & Grayhack, 2003).

Verschiedene Beobachtungen lassen darauf schliessen, dass das Lungenvolumen bei Schluckinitiierung eine relevante Rolle spielt. Gross, Atwood et al. (2003) ($N_p = 22$; $n_s = 179$) konnten beobachten, dass die pharyngeale Phase beim Einzelschluck breiiger Konsistenz signifikant länger dauert, wenn der Schluck nach maximaler Ausatmung, also bei Residualvolumen (RV), ausgelöst wird, im Vergleich zu Schlucken bei funktioneller Residualkapazität (FRC) oder totaler Lungenkapazität (TLC) (vgl. Abbildung 13). Bei einer direkten Messung des subglottischen Druckes via Punktion konnten Gross et al. (2006) ($N = 1$) zeigen, dass dieser beim Schlucken oberhalb der FRC positiv war, darunter, also bei RV negativ. Oberhalb der FRC steigt der subglottische Druck mit zunehmendem Lungenvolumen signifikant linear an und ist somit bei TLC am grössten ($N = 10$) (Gross et al., 2012). Die Vermutung von Gross, Atwood et al. (2003), dass dem respiratorischen System eine regulatorische Rolle bei der Adaption des automatisierten Schluckens an die Bedingungen zukommt, scheint nicht unbegründet. Offenbar spielen der positive subglottische Druck und damit verbunden das Lungenvolumen bei Reflextriggerung in Bezug auf die Sicherheit beim Schlucken eine tragende Rolle (vgl. Kapitel 4.1.2).

Wheeler Hegland et al. (2009) untersuchten bei jungen Erwachsenen, mit welchem initialen Lungenvolumen die Schluckreflextriggerung von Einzelschlucken (flüssig und breiig) ausgelöst wurde ($N_p = 20$; $n_s = 414$). Der Grossteil aller Schlucke (95 %) fand im Bereich von 42.71–64.31 % der Vitalkapazität statt (vgl. Abbildung 13). Im Mittel wurde der Schluck unabhängig von der Konsistenz im Bereich von 51–56 % der VC ausgelöst, also 13–19 % oberhalb der funktionalen Residualkapazität, welche laut der Autorinnen bei etwa 35–38 % VC liegt. Vergleicht man dies mit den

Volumenangaben⁴⁷ von Kurtz (2019, S. 316), liegen diese Werte auch über dem Ruheatemzugvolumen (vgl. Abbildung 13). Interessant ist, dass dies nicht nur für Schlucke im vorherrschenden Ex/Ex-Muster (79 %) galt, denn das initiale Lungenvolumen variierte in ihrer Erhebung über alle vier Atem-Schluck-Muster hinweg nicht wesentlich. Es scheint also nicht allein die Respirationsphase, sondern auch das Lungenvolumen eine relevante Rolle zu spielen. Der mittleren VC bei Schluckinitiierung (51–56 %), welche Wheeler Hegland et al. (2009) ermittelten, konnten Gross et al. (2012) subglottische Drücke zwischen 5.5 cmH₂O und 9.5 cmH₂O zuordnen. Dies deckt sich etwa mit den positiven Drücken von 6.0 ± 1.8 mm Hg (umgerechnet 8.2 ± 2.4 cmH₂O), die Shaker et al. (2002) für Speichelschlucke beobachteten ($N = 11$). Überdies zeigten Konsistenzen bei Wheeler Hegland et al. (2009) einen signifikanten Effekt, Schlucken flüssiger Konsistenzen fand bei höherem Lungenvolumen statt (55.77 % VC) als Schlucken breiiger Konsistenzen (51.32 % VC).

Auch McFarland et al. (2016) konnten zeigen ($N_P = 20$; $n_S = 831$), dass Flüssigkeitsschlucke bei höherem Lungenvolumen initiiert wurden als breiige und feste Konsistenzen. Ebenfalls wurden spontane Flüssigkeitsschlucke bei höherem Lungenvolumen initiiert als solche auf Aufforderung. Das Lungenvolumen war beim Flüssigkeitsschluck mit Löffel oder Tasse höher als mit Strohhalm, die Bolusgrösse hatte hier hingegen keinen Einfluss auf das Lungenvolumen. Im Gegensatz zu Wheeler Hegland et al. (2009) fanden alle Schlucke bei McFarland et al. (2016) innerhalb des normalen Ruheatemzugvolumens statt, sogar eher im mittleren bis unteren Bereich (vgl. Abbildung 13), aber ebenfalls über der funktionalen Residualkapazität. Als Ursache für die abweichenden Ergebnisse sind methodische Unterschiede bei der Aufgabenstellung sowie insbesondere bei der Kalibrierung der Messgeräte denkbar.

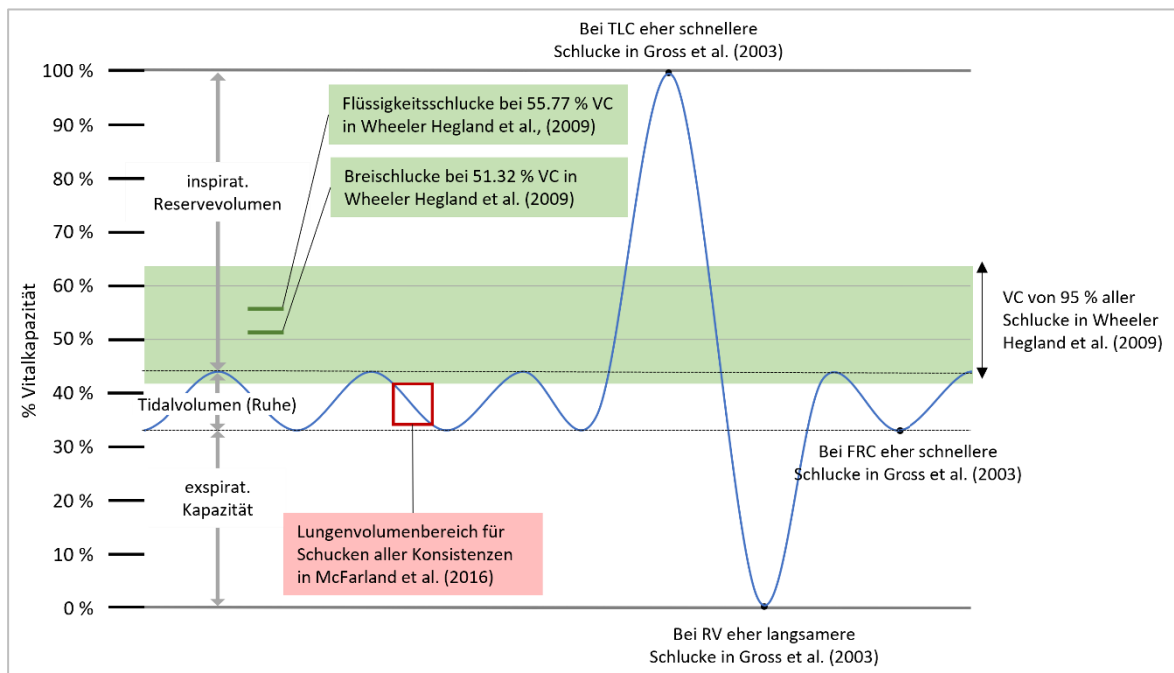
Für sequenzielles Schlucken grösserer Flüssigkeitsmengen ($N = 20$) zeigte sich, dass das Lungenvolumen bei Auslösung des Schluckreflexes höher war, wenn aus einer Tasse getrunken wurde, im Vergleich zu einem Strohhalm. Zudem war das Lungenvolumen beim Trinken aus der Tasse höher für sequenzielles Schlucken als für Einzelschlucke. Erfolgte postdeglutitiv eine Expiration, war das initiale Lungenvolumen ebenfalls höher. Das bedeutet umgekehrt, grössere initiale Lungenvolumen begünstigen eine postdeglutitive Expiration (Wheeler Hegland et al., 2011).

Schlucken findet offenbar in der Regel deutlich oberhalb der funktionellen Residualkapazität statt, ggf. sogar über dem Ruheatemzugvolumen. Dies scheint aufgrund der Rückstellkräfte des Thorax bzw. der Lunge sowie aufgrund des vorhandenen subglottischen Druckes gewisse Vorteile zu bieten, was sich auch in einer besseren Schluckphysiologie zeigt. Ebenfalls ist ein höheres initiales Lungenvolumen bei

⁴⁷ In den Volumenangaben von Kurtz (2019, S. 316) entspricht die FRC etwa 33.3 %, das Ruheatemzugvolumen etwa 44.4 % der VC (vgl. Abbildung 13).

Abbildung 13

Graphische Darstellung der Studienergebnisse von Gross, Atwood et al. (2003) ($N_P = 22$; $n_S = 179$), Wheeler Hegland et al. (2009) ($N_P = 20$; $n_S = 414$) sowie McFarland et al. (2016) ($N_P = 20$; $n_S = 831$) zur Atem-Schluck-Koordination



Anmerkungen. VC = Vitalkapazität; FRC = Funktionelle Residualkapazität; TLC = Totale Lungenkapazität; RV = Residualvolumen.

Die Werte für das Ruheatemzugvolumen (Tidalvolumen in Ruhe) orientieren sich an jenen von Kurtz (2019, S. 316). Die blaue Kurve zeigt das Lungenvolumen bei Ruheatemzug (links), bei maximaler Einatmung (TLC) und maximaler Ausatmung (RV). Die schwarzen Punkte markieren jene Lungenvolumen (TLC, FRC, RV), für die Gross, Atwood et al. (2003) signifikante Unterschiede in der Geschwindigkeit des Schluckens gefunden wurden. Die grüne Fläche sowie grüne Striche kennzeichnen jene Lungenvolumen, die Wheeler Hegland et al. (2009) Flüssigkeitsschlucken bzw. Breischlucken zuordnen konnten. Die rot umrahmte Fläche umfasst jene Lungenvolumenbereiche, in denen McFarland et al. (2016) Schlucken (flüssig, breiig, fest) beobachteten (Eigene Darstellung in Anlehnung an Wheeler Hegland et al. 2009, S. 184; McFarland et al., 2018, S. 240).

gewissen Anforderungen an das Schlucken (Flüssigkeiten, Mehrfachschlucke) anzutreffen. Neben der bereits erwähnten Rolle der Luftstromrichtung erleichtern die vorherrschenden Rückstellkräfte ein allfällig nötiges Husten nach dem Schluck und unterstützen so die abdominale Muskulatur beim aktiven Husten (Wheeler Hegland et al., 2009). Abweichungen vom vorherrschenden Muster, wie beispielsweise eine postdeglutitive Inspiration oder Schlucken bei sehr geringem Lungenvolumen, wirken sich bei gesunden Personen in der Regel ohne Gefahr auf das Atem-Schluckmuster aus. Die Vermutung liegt aber nahe, dass diese Faktoren bei Schluckstörungen zum Problem werden können (McFarland et al., 2016) und daher Berücksichtigung finden sollten. Ebenfalls sollten die beobachteten Ergebnisse bei Personen mit eingeschränkter Lungenfunktion und Schluckproblemen bedacht werden.

Umgekehrt liegt es nahe, dass ein bewusster Einsatz von Atemtechniken beim Schlucken, z. B. eine gezielte Veränderung des prädeglutitiven Lungenvolumens bzw. eine gezielte postdeglutitive Expiration, als protektive Technik eingesetzt werden kann, wie es beispielsweise bei klassischen Schlucktechniken in der funktionellen Dysphagietherapie (Bartolome, 2022b) bereits getan wird. Auch scheint das Trinken in Einzelschlucken gegenüber sequenziellem Schlucken an die Lungenfunktion weniger Anforderungen zu stellen und könnte gezielt eingesetzt werden.

4.1.5 Die Schluckapnoe

Wie bereits Perlman et al. (2000) ($N = 15$) und Martin-Harris et al. (2005) ($N = 76$) konnten auch Hårdemark Cedborg et al. (2009) ($N = 6$) beobachten, dass die Schluckapnoe schon oft vor der pharyngealen Phase beginnt. Bei gesunden Personen begann sie zuverlässig vor Boluseintritt in den Hypopharynx (Perlman et al., 2000) (vgl. Kapitel 4.1.1). Während der Endpunkt der Apnoe stark mit den Schluckbewegungen korreliert, variiert der Onset auch bei Hårdemark Cedborg et al. (2010) stark ($N = 32$). Sie unterscheiden daher zwischen drei Apnoephasen: der praedeglutitiven, intradeglutitiven und postdeglutitiven Schluckapnoe. Zudem konnten Hårdemark Cedborg et al. (2009) parallel zum Apnoebeginn eine beginnende EMG-Aktivität des Zwerchfells registrieren, was einen aktiven Unterbruch der passiven Expiration bedeutet. Da dieser aktive Atemstopp variabel vor der pharyngealen Phase erfolgte, vermuten die Autorinnen und Autoren eine Steuerung der Schluckapnoe durch den Hirnstamm, losgelöst vom mechanischen Larynxverschluss.

In der Untersuchung von Kelly et al. (2007) ($N = 20$) veränderte sich die Länge der Schluckapnoe nicht, egal ob die Speichelschlucke willentlich, spontan im Schlaf oder wach stattfanden. Laut ihnen spricht dies dafür, dass die Schluckapnoe gegenüber suprabulbären⁴⁸ Einflüssen robust zu sein scheint.

Hiss et al. (2001) analysierten verschieden grosse Flüssigkeitsschlucke zusammen mit Speichelschlucken ($N = 60$). Frauen zeigten signifikant längere Apnoezeiten als Männer, dies galt ebenfalls für ältere Personen gegenüber jüngeren und mittelalten. Bei Speichelschlucken gab es hingegen eine signifikante Wechselwirkung von Alter und Geschlecht. Es ist unklar, warum Männer mit zunehmendem Alter eine kürzere Apnoedauer hatten und Frauen eine längere. Bei Leslie et al. (2005) waren auch bei kleinen Einzelschlucken Wasser und Joghurt mit steigendem Alter zunehmende Apnoezeiten messbar ($N = 50$).

Hiss et al. (2004) fokussierten hingegen in ihrer Untersuchung den Apnoeonset ($N = 40$), der offensichtlich variabler auftritt als der Offset (Hårdemark Cedborg et al., 2010). Ältere Personen generierten grundsätzlich einen früheren Apnoeonset als jüngere, wobei zudem eine Wechselwirkung

⁴⁸ Der untere Hirnstamm, also die Medulla oblongata, wurde früher als *Bulbus* bezeichnet (Prosiegel & Weber, 2018, S. 32)

von Alter, Geschlecht und Volumen vorlag (Hiss et al., 2004)⁴⁹. Dass sich mit zunehmendem Alter die Schluckapnoe verlängert, beobachteten auch Martin-Harris et al. (2005), wobei dies bei ihnen durch ein späteres Ende der Apnoephase verursacht wurde. Mit zunehmendem Alter kann zudem eine verlängerte Dauer des oropharyngealen Schluckens auftreten (Robbins et al., 1992).

Yokoyama et al. (2000) wiesen bei älteren Personen sowohl längere segmentale Transitzeiten des Bolus als auch eine längere pharyngeale Transitzeit nach. Bei Kendall et al. (2000) hatte das Alter hingegen keinen signifikanten Einfluss auf diese. Dass die zeitliche Abstimmung der Bewegungen vom Alter beeinflusst werden kann, zeigten Mendell und Logemann (2007). Die zeitlichen Abstände pharyngealer Bewegungen in Relation zur Öffnung des OÖS waren bei älteren Personen grösser ($N = 100$). Die Verlängerung der Schluckapnoe scheint mit zunehmendem Alter eine mögliche Anpassung an die altersbedingten neuronalen und strukturellen Veränderungen zu sein (Hiss et al., 2004). Die gender- und altersspezifischen Unterschiede lassen sich z. B. auch bei der hyolaryngealen Bewegung erkennen. Diese nimmt bei Frauen mit dem Alter zu, bei Männern hingegen ab, was womöglich durch den unterschiedlichen Erhalt von Muskelreserven erklärt werden kann (Logemann et al., 2002).

Der Einfluss der Boluseigenschaften auf die Apnoedauer kann nur unzureichend beantwortet werden, zu diesem Ergebnis kommen Krishnan et al. (2020) in ihrer Übersichtsarbeit. Die Boluskonsistenz hatte manchmal keinen Einfluss auf die Apnoedauer (z. B. Leslie et al., 2005; Perlman et al., 2000), teilweise aber schon. Hiss et al. (2004) entdeckten bei flüssigen Konsistenzen längere Apnoezeiten als bei dickflüssigen Boli. Zwischen dickflüssigen und breiigen Konsistenzen zeigte sich dieser Unterschied hingegen nicht. Da bei festeren Konsistenzen die Schluckbewegungen mit grösseren zeitlichen Differenzen ablaufen als bei Flüssigkeiten (Mendell & Logemann, 2007), besteht laut Hiss et al. (2004) auch weniger Eile, mit der Schluckapnoe zu beginnen. Auch gegenüber Speichel wurden für Flüssigkeiten längere praedeglutitiven Apnoezeiten beobachtet (Hårdemark Cedborg et al., 2010). In der Untersuchung von Preiksaitis und Mills (1996) ($N = 50$) hatten Schlucke fester Konsistenzen dagegen eine längere Apnoedauer als andere Konsistenzen.

Etwas besser untersucht ist der Einfluss des Bolusvolumens. Da die zeitlichen Abstände der pharyngealen Bewegungen in Relation zur Öffnung des OÖS ebenfalls mit grösseren Bolusvolumen ansteigen (Mendell & Logemann, 2007), ist auch eine verlängerte Schluckapnoe zu vermuten. Dagegen spricht allerdings das Ergebnis von Kendall et al. (2000), die keinen Einfluss des Bolusvolumens auf die pharyngeale Transitzeit nachweisen konnten. Ein grösseres Volumen führte beispielsweise in den Untersuchungen von Hiss et al. (2001), Hiss et al. (2004) sowie Leslie et al. (2005) zu einer signifikant längeren Apnoedauer, bei Hirst et al. (2002) ($N = 29$) war der erkennbare Trend jedoch nicht

⁴⁹ Beim Schlucken von 20 ml Flüssigkeit war der Apnoeonset bei älteren Männern signifikant früher als bei jüngeren. Ebenso war der Apnoeonset bei 20 ml Flüssigkeit früher als bei 5 ml, und dies in den Gruppen der jungen Frauen, der älteren Frauen, der jungen Männer und der älteren Männer.

signifikant. Bei Higashijima (2010) ($N = 46$) und Preiksaitis und Mills (1996) hatte das Bolusvolumen hingegen keinen Einfluss.

So kann diese Frage nicht eindeutig geklärt werden. Es spricht aber einiges dafür, dass bei grösserem Bolusvolumen die Schluckapnoe länger dauern kann. Physiologisch nachvollziehbar ist die Beobachtung, dass ein sequenzielles Schlucken grösserer Flüssigkeitsmengen ohne Zwischenatmung eine längere Schluckapnoe erfordert. Je mehr Schlucke am Stück gemacht werden, desto länger dauert die Apnoephase (Wheeler Hegland et al., 2011).

Ob die Bolustemperatur oder die Geschmackseigenschaften Einfluss auf die Schluckapnoedauer haben, ist bisher zu wenig untersucht, als dass hier klare Schlussfolgerungen gezogen werden könnten (Krishnan et al., 2020).

Wie die in diesem Kapitel geschilderten Forschungsarbeiten zeigen, scheint die Schluckapnoe unabhängig vom mechanischen Verschluss gesteuert zu werden. Sie setzt variabel schon vor der pharyngealen Phase ein und endet zuverlässig erst, nachdem der Bolus in der Speiseröhre ist. Eine längere Apnoedauer, welche höhere Anforderungen an die Lungenfunktion stellt, ist eher bei Frauen, bei älteren Personen und grösserem Bolusvolumen beobachtbar. Zwar ist die Schluckapnoe kurz, bei starken pulmonalen Einschränkungen könnten diese Beobachtungen jedoch relevant werden.

In Kapitel 4.1 zur Atem-Schluck-Koordination wurde deutlich, dass Atmung und Schlucken äusserst präzise aufeinander abgestimmt sind und anatomische wie neuronale Überlappungen aufweisen. Die Mustergeneratoren beider Systeme befinden sich im Austausch und reagieren auf sensorischen Input, sodass die motorischen Programme an die Gegebenheiten angepasst werden können, wobei sie manchmal auch antagonistische Ziele verfolgen.

Um die unteren Atemwege beim Schlucken zu schützen, erfolgt zusätzlich zum mechanischen Verschluss eine muskulär aktiv ausgeführte Atemapnoephase, die zeitlich über den mechanischen Verschluss hinausgeht. Überwiegend findet die Schluckapnoe innerhalb einer Expirationsphase statt, wobei das Lungenvolumen zu Beginn der Apnoe in der Regel über der normalen Atemruhelage liegt. Das Lungenvolumen und der damit verbundene höhere subglottische Druck sowie die grösseren Rückstellkräfte haben zusammen mit der Luftstromrichtung (Expiration) eine zusätzliche protektive Funktion. Mögliche Bolusreste drohen so weniger nach unten abzugleiten, sondern werden eher nach oben befördert. Dies scheint durch eine Aktivität des Zwerchfells unterstützt zu werden.

Durch gewisse Einflussfaktoren können jedoch Abweichungen vom gängigen Atem-Schluck-Muster auftreten, beispielsweise mit zunehmendem Alter oder grösserem Bolusvolumen. Bei älteren Menschen, Personen mit Beeinträchtigungen beim Schlucken, der Lungenfunktion oder Atem-Schluck-Koordination, oder jenen mit mehreren dieser Parameter, mögen solche Abweichungen durchaus zu

Problemen führen. In diesen Fällen könnten adaptive Massnahmen wie beispielsweise die Gabe von Einzelschlucken, kleinen Volumen, den Einsatz gezielter Atemtechniken usw. die Anforderungen an das Schlucken und die Lungenfunktion herabsetzen und Gefahren reduzieren.

Ob und inwiefern respiratorische Einschränkungen und Einschränkungen in den Reinigungsmechanismen aber tatsächlich das Schlucken verändern, gilt es in den folgenden Ausführungen noch zu klären.

4.2 Auswirkungen reduzierter Lungenfunktion und Reinigungsmechanismen auf das Schlucken

Bei vielen Erkrankungen, infolge derer Schluckstörungen zu erwarten sind, wie beispielsweise bei Schlaganfällen, Parkinson-Syndrom, Amyotropher Lateralsklerose, diversen Muskelerkrankungen (Prosiegel, 2022a) oder Erkrankungen der Halswirbelsäule (Schröter-Morasch, 2022a), sind die Lungenfunktion bzw. die Reinigungsmechanismen häufig ebenfalls beeinträchtigt. Dies kann entweder durch eine gestörte Steuerung und Koordination bedingt sein, oder aber aufgrund einer generellen Schwäche der Atemmuskulatur bzw. Erkrankung der Lunge (Camela et al., 2019; Ebihara et al., 2003; S. J. Lee et al., 2021; Smith Hammond et al., 2001; Tabor-Gray et al., 2019). Die eingeschränkte Lungenfunktion wird häufig mit einer gesteigerten Atemarbeit kompensiert, d. h. mit einer erhöhten Atemfrequenz und dem Einsatz von in- und expiratorischer Atem-Hilfsmuskulatur (Kapitel 2.1.2), worin K. Frank und Frank (2020) eine potenzielle Ursache für eine Störung der Atem-Schluck-Koordination sehen. Dass ein effektiver Hustenstoss bedeutsam für eine erfolgreiche Extubation oder Dekanülierung ist, wurde bereits in Kapitel 2.2.2 besprochen. Weiter zeigt nicht nur die Physiologie des Schluckens (Kapitel 4.1), dass die Lungenfunktion bzw. intakte Reinigungsfunktionen ebenfalls eine Rolle beim Schlucken oder Schluckstörungen spielen, sondern auch diverse Studien zu den oben genannten Störungsbildern. Selbst wenn nicht klar eruiert werden kann, inwiefern die Steuerung der Atem-Schluck-Koordination direkt betroffen ist oder eine vorliegende reduzierte Lungenfunktion nicht als direkte Ursache für eine vorliegende Schluckstörung gesehen werden kann, so ist aufgrund bisheriger physiologischer Überlegungen dennoch davon auszugehen, dass die Lungenfunktion per se einen klinisch relevanten Einfluss auf die Atem-Schluck-Koordination und die Schluckfähigkeit hat, was im Folgenden verdeutlicht werden soll. Zuvor wird allerdings in Kapitel 4.2.1 noch auf die Testung des laryngealen Hustenreflexes im Rahmen der Dysphagiediagnostik eingegangen.

4.2.1 Laryngealer Hustenreflex und Schluckfähigkeit

Um die Lungenfunktion mit der Schluckleistung in Beziehung zu setzen, wird als Referenz für die Lungenfunktion häufig der Hustenstoss gemessen, da er als relevanter Schutzmechanismus für das Schlucken gesehen wird. Dabei muss allerdings zwischen einem willkürlich ausgelösten maximalen Hustenstoss und einem reflektorisch ausgelösten Hustenstoss unterschieden werden.

Der Einsatz des laryngealen Hustentests, bei dem ein Hustenreflex durch chemische Reizung getriggert wird, wurde bereits in Kapitel 2.1.6 genannt. Im Idealfall dient sein Einsatz der Entdeckung stiller Aspirationen, der Senkung von Pneumonieraten oder als möglicher Prädiktor für Penetrationen und Aspirationen, seine Zuverlässigkeit variiert allerdings (Addington et al., 1999; Battel et al., 2016; Curtis & Troche, 2020b; Miles et al., 2013). Ebenfalls unterscheidet sich die Durchführung sehr stark, sowohl in der Art der verwendeten chemischen Substanz (z. B. Zitronensäure, Weinsäure, Capsaicin), der Stoffmengenkonzentration, als auch bezüglich der Darreichung über Nase, Mundstück, mit oder ohne Nasenklammer. Weiter besteht die Möglichkeit, die Reizapplikation während kontinuierlicher Respiration oder einmaliger Inspiration zu setzen. Entweder wird eine bestimmte Stoffmengenkonzentration appliziert oder mehrere Dosierungen werden sukzessive gesteigert und nacheinander verabreicht. Ebenso können verschiedene Faktoren gemessen werden, wie die Anzahl an einzelnen oder sequenziellen Hustenantworten, diverse spirometrische Messungen, oder die Reizschwelle für eine bestimmte Hustenantwort, z. B. die Ermittlung der niedrigsten Dosierung, mit der zuverlässig zwei aufeinanderfolgende Hustenstöße ohne Zwischenatmung ausgelöst werden können (Addington et al., 1999; Mills et al., 2017; Tabor-Gray et al., 2020; Wakasugi et al., 2008). Ein Vergleich von Messdaten und Hustenreizschwellen ist daher sehr schwierig. Die Durchführung ist durch einen sogenannten Handapparat, der nur noch aus verbundener Gesichtsmaske, Vernebler und analogem Peak-Cough-Flow-Meter besteht (Curtis & Troche, 2020b), inzwischen aber auch in einer technisch einfachen Variante ohne Pneumotachograph möglich.

Reflektorischer Husten ist für die Atemwege eine wichtige Schutzreaktion. Zum einen muss er stark genug sein, um eingedrungenes Material suffizient zu entfernen. Zum anderen muss er auch schon bei geringer Stimulusintensität, z. B. bei Mikro-Aspirationen, ausgelöst werden (Curtis & Troche, 2020b). Je höher die Stimulusintensität, desto höher ist normalerweise der Hustenreiz. Bei gesunden Personen hat die Dosierungshöhe einen Einfluss auf die Anzahl und Länge der sequenziellen Hustenantworten, wobei der laryngeale Expirationsreflex ohne vorherige Inspiration durchweg seltener vorkommt als der Hustenreflex mit vorheriger Inspiration (Vovk et al., 2007). Weiter ist bekannt, dass die Hustensensitivität vom Geschlecht abhängt: Frauen zeigen eine niedrigere Reizschwelle als Männer (Dicpinigaitis et al., 2001).

Auch im Rahmen verschiedener Krankheitsbilder lässt sich der Einfluss der Dosierungshöhe beobachten, wie beispielsweise die Studie von Curtis und Troche (2020b) für das Parkinson-Syndrom

(PD) zeigt ($N = 20$). Weiter gingen in ihrer Studie schlechtere Werte auf der Penetrations-Aspirations-Skala⁵⁰ (PAS) mit einer geringeren Stärke des Hustenreizes einher. Sie konnten bei Personen mit PD mit einer Dosierung von 50 μm (Mikromolar) Capsaicin klinisch relevante Dysphagien (PAS-Werte > 2) am zuverlässigsten vorhersagen. Mit dieser Dosierung errechneten sie für den PCF den besten Cut-off-Wert von 42.5 l/min. Dosierungen unter 50 μm lösten selten einen Hustenreflex aus, darüber gab es einen Deckeneffekt.

Es bleibt allerdings fraglich, ob je nach zugrunde liegendem Störungsbild oder Art der chemischen Substanz nicht auch unterschiedliche Reizschwellen zu erwarten sind. In einer Studie von Chang et al. (1997) zeigten Kinder mit verschiedenen Atemwegserkrankungen ($N = 109$) eine unterschiedliche Hustensensitivität in Abhängigkeit von der Grunderkrankung. Zudem war die Hustensensitivität bei gesunden Kindern ($N = 100$) vom Alter abhängig.

Durchgehend zuverlässig ist zu beobachten, dass der reflektive Hustenstoss bei gesunden Personen, aber auch im Rahmen verschiedener Krankheitsbilder schwächer ist als der willkürliche Hustenstoss (Curtis & Troche, 2020b; Mills et al., 2017; Tabor-Gray et al., 2020; Wheeler Hegland, Troche et al., 2014). Der willkürliche Peak Cough Flow ist zwar technisch einfacher und zuverlässiger zu messen, eine Überschätzung der reflektorischen Hustenreaktion ist dabei aber dringend zu berücksichtigen (Wheeler Hegland, Troche et al., 2014). Dennoch scheint der willkürliche Husten «eine Einschätzung der generellen Fähigkeit zum effektiven Husten zu» ermöglichen (K. Frank & Frank, 2020, S. 25).

Wie komplex die Interpretation beim laryngealen Hustentest ist, zeigen beispielsweise Troche et al. (2016). Sie analysierten von 46 Personen mit Parkinson-Syndrom willkürliche und reflektorische Hustenantworten, die durch unterschiedliche, gesteigerte Dosierungen mit Capsaicin ausgelöst wurden. Auf der Suche nach einem Prädiktor für den Penetrations- bzw. Aspirationsgrad (einer Videofluoroskopie) überprüften sie diverse Faktoren: krankheitsspezifische Faktoren, spirometrische Messungen beider Hustenarten, den Schwellenwert für zuverlässige Auslösung von sequenziellen Hustenstößen oder die Stärke des subjektiv empfundenen Hustenreizes nach Capsaicin-Stimulation. In einer Videofluoroskopie ermittelten sie den Wert der Penetrations-Aspirations-Skala (vgl. Tabelle 7) (Rosenbek et al., 1996) und prüften verschiedene Gruppeneinteilungen bezüglich Dysphagie:

- 1. Modell: Personen mit unauffälligem Schlucken vs. Personen mit auffälligem (PAS 1 vs. PAS 2–8)
- 2. Modell: Personen ohne oder mit milden Auffälligkeiten vs. Personen mit starken Auffälligkeiten beim Schlucken (PAS 1–3 vs. PAS 4–8)
- 3. Modell: Personen mit Penetration ohne effektive Reinigungsmechanismen vs. Personen mit Aspiration (PAS 3–5) vs. PAS (6–8)

⁵⁰ Penetration-Aspiration Scale nach Rosenbek et al. (1996)

Je nachdem, mit welchem Modell gerechnet wurde, kamen sie zu unterschiedlichen Ergebnissen. Dies zeigt, dass die Mechanismen bei reflektorischem Husten komplex sind und die Art der Auswertung entscheidend. Die Messdaten zum willkürlichen Husten konnten bei ihnen in keinem der drei Modelle zuverlässig zwischen verschiedenen Dysphagie-Schweregraden unterschieden. Je nachdem, mit welchem Modell gerechnet wurde, war aber ein anderer Aspekt signifikanter Prädiktor:

- 1. Modell (PAS 1 vs. PAS 2–8): Dauer der Erkrankung
- 2. Modell (PAS 1–3 vs. PAS 4–8): reliable Auslösung sequenzieller Hustenstöße
- 3. Modell (PAS 3–5 vs. PAS 6–8): subjektive Stärke des Hustenreizes in Abhängigkeit von der Capsaicin-Dosis

Das bedeutet zum einen, dass die Krankheitsdauer bei PD entscheidend für das Auftreten einer Dysphagie ist (Modell 1). Zum anderen zeigt die reduzierte Hustenantwort bei Personen mit schwerer Dysphagie, dass die laryngeale Sensitivität eine bedeutende Rolle bei den laryngealen Schutzmechanismen spielt (Modell 2). Des Weiteren kann die kognitive Perzeption des Hustenreizes mehr oder weniger zwischen Penetration und Aspiration unterscheiden (Modell 3). Die willentliche Kontrolle des reflektorischen Hustens geschieht in Form der Perzeption des Hustenreizes, die dem Hustenreiz vorausgeht. Reflexives Husten wird nicht nur vom Hirnstamm, sondern auch vom Kortex beeinflusst. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass sensorische und motorische Aspekte beim Schlucken und beim reflektorischen Husten zusammenspielen (Troche et al., 2016).

Ob überhaupt ein Hustenreflex beim laryngealen Hustentest ausgelöst wird, welcher Art und wie stark er ist, scheint von einem komplexen Gefüge abhängig zu sein. Neben der reinen Lungenfunktion spielen auch die sensomotorische Kontrolle, Art und Dauer des Krankheitsbildes, Alter, Geschlecht, die Art der chemischen Substanz, Dosierung, Art der Durchführung und womöglich noch weitere Aspekte eine Rolle. Bei der Frage, ob willkürlicher oder reflektorischer Husten geprüft werden soll, sollte überlegt werden, ob die Sensitivität und Intensität des reflektorischen Hustens geprüft werden sollen oder ob der Einfluss der reduzierten Lungenfunktion auf die Schluckstörung kontrolliert werden soll, v. a. in Hinblick auf den bewussten Einsatz von Reinigungsfunktionen.

Der reflektorische Husten ist ein existenzieller Schutzmechanismus für die Atemwege, sein Gelingen hängt allerdings nicht von der Lungenfunktion allein ab. Um den Einfluss der Respirationsfähigkeit auf die Schluckfunktion möglichst isoliert zu betrachten, wird in der folgenden Darstellung von Studienergebnissen der Fokus vorwiegend auf Arbeiten gelegt, die sich mit der Lungenfunktion, also mit willkürlichen Lungenfunktionsmessungen, beschäftigt haben.

4.2.2 Studien zum Schlaganfall

In der Gruppe der Schlaganfallpatientinnen und -patienten findet man neben den erwähnten Studien zur Auslösung eines laryngealen Hustenreflexes als Prädiktor für Aspirationen auch solche, die den Einfluss der Lungenfunktion auf das Schlucken mithilfe von willkürlichen Lungenfunktionsmessungen untersuchen.

Smith Hammond et al. (2001) verglichen aerodynamische Messungen des willkürlichen Hustens von gesunden ($n = 18$) und betroffenen ($n = 43$) Personen. Personen mit Schlaganfall zeigten hier durchgehend schlechtere Werte als die Kontrollgruppe. Zudem korrelierte die Aspirationsstärke mit dem Peak Cough Flow sowie der Volumenbeschleunigung beim Husten (cough volume acceleration)⁵¹, sodass schlechtere aerodynamische Messungen mit einem höherem Aspirationsgrad einhergingen. Später konnten Smith Hammond et al. (2009) sogar zeigen, dass objektive Messungen des willkürlichen Hustens ($N = 96$) ein Aspirationsrisiko besser vorhersagen können als klinische Symptome, wie das Ausbleiben eines Schluckes, Probleme im Sekretmanagement oder das Auftreten von reflektorischem Husten nach einem Wasserschluck (58 % Sensitivität; 84 % Spezifität). Die Cut-Off-Werte für die Faktoren *Zeit bis zum Spitzenfluss* (expulsive phase rise time) > 55 ms, *Volumenbeschleunigung* < 50 L/s/s (91%/92%) sowie *Spitzenfluss bei Husten* (expulsive phase peak flow) < 2.9 L/s zeigten bei ihren Berechnungen eine Sensitivität von 91 %, 91 % und 82 %, und eine Spezifität von 81 %, 92 % und 83 %.

Kimura et al. (2013) verglichen Personen mit Schlaganfall und Dysphagie ($n = 10$), Personen mit Schlaganfall ohne Dysphagie ($n = 20$) und gesunde Personen ($n = 10$). Im Vergleich zu den gesunden Personen wiesen jene mit Schlaganfall signifikant niedrigere willkürliche PCF-Werte auf. Von diesen hatten wiederum die Personen mit Dysphagie niedrigere Werte als jene ohne Dysphagie, allerdings war der PCF unabhängig vom Schweregrad der Penetration/Aspiration.

In der klinischen Schluckuntersuchung ist die Beobachtung von Symptomen einer Dysphagie zwar unerlässlich, objektive Messungen des willkürlichen Hustens können aber demnach die Diagnostik nach Schlaganfall sinnvoll ergänzen (Smith Hammond, 2008) und sollten bei Verdacht auf respiratorische Einschränkungen berücksichtigt werden, da es einen Zusammenhang zwischen Dysphagie und Lungenfunktion zu geben scheint.

4.2.3 Studien zur COPD

Bei chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD) würde man im ersten Moment eventuell gar keine Dysphagie erwarten, dennoch treten sie bei diesem Störungsbild nicht zu selten auf. Laut einem

⁵¹ Cough volume acceleration = expulsive phase peak flow / expulsive phase rise time (Smith Hammond et al., 2001)

systematischen Review von Ghannouchi et al. (2016) erhöht eine COPD die Wahrscheinlichkeit für eine Dysphagie. Bei Gonzalez Lindh et al. (2017) waren bei 78 % der an COPD erkrankten Personen ($N = 51$) subjektiv empfundene Symptome (56 %) oder klinisch beobachtbare Symptome (49 %) vorhanden. Weiter zeigt ein Literaturreview von Steidl et al. (2015), dass eine Dysphagie bei bestehender COPD häufig mit einer Verschlechterung der Lungenerkrankung einhergeht. Innerhalb von 103 Patientinnen und Patienten mit Schlaganfall filterten G. W. Park et al. (2015) 30 Personen mit einer zusätzlichen COPD und reduzierter Lungenfunktion heraus. Die Personen mit zusätzlicher COPD aspirierten signifikant häufiger als jene ohne COPD und hatten signifikant schlechtere Werte auf der Penetrations-Aspirations-Skala (PAS). Die zusätzliche Erkrankung oder reduzierte Lungenfunktion scheint auf die Dysphagie einen negativen Einfluss zu haben, was möglicherweise auch den Auswirkungen auf die Atem-Schluck-Koordination geschuldet ist. Es verwundert nicht, dass sich dies ebenso negativ auf die Lebensqualität auswirkt. Die stimmbezogene Lebensqualität (VRQoL) wurde in einer Studie von Da Silva et al. (2022) negativ von der Schwere der COPD, dem Risiko einer Dysphagie sowie dem reduzierten PCF beeinflusst.

Cvejic et al. (2011) konnten bei Patientinnen und Patienten mit COPD ($n = 16$) im Vergleich zu gesunden Kontrollen ($n = 15$) erhöhte Werte auf der PAS nachweisen. Prädiktoren für eine Penetration/Aspiration waren eine erhöhte Atemfrequenz, eine niedrigere Sauerstoffsättigung, eine geringere Elevation des Hyoids sowie postdeglutitive Residuen. Letzteres spricht für die Bedeutung effizienter Reinigungsfunktionen. Zudem wiesen jene Personen mit COPD beim Trinken grösserer Flüssigkeitsmengen überwiegend ein In/Ex-Muster auf, wohingegen bei gesunden Personen das Ex/Ex-Muster dominierte.

Der Einfluss auf die Atem-Schluck-Koordination durch die COPD bzw. die reduzierte Lungenfunktion zeigt sich auch in anderen Untersuchungen. In einem Vergleich von 25 gesunden Personen mit 25 betroffenen (Gross et al., 2009) zeigten letztere signifikant häufiger ein In/In-Muster bei fester Nahrung, respektive eine postdeglutitive Inspiration bei breiiger Nahrung. In beiden Gruppen dauerte die Schluckapnoe bei Schlucken im In/In-Muster länger, was als Kompensationsmechanismus für das gefährlichere Atemmuster gesehen werden kann (vgl. Kapitel 4.1.5).

Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass in einer Befragung von Personen mit COPD ($N = 133$) 74 % Atemnot beim Essen oder Trinken angaben, vor allem wenn sie grössere Mengen bzw. Boli zu sich nahmen⁵². Dies versuchten sie durch Ausweichverhalten zu kompensieren, beispielsweise kleinere Schlucke, geringere Nahrungs- oder Trinkmengen insgesamt, das Vermeiden von Sprechen bei der Nahrungsaufnahme oder das Meiden von Mahlzeiten überhaupt. Weiter wird die entstehende Atemnot häufig durch bewusste vertiefte Einatmung ausgeglichen (Hoit et al., 2011).

⁵² Die befragten gesunden Personen ($N = 13$) gaben keinerlei Atemnot an.

In einem Vergleich von Pinto et al. (2017) wiesen Personen mit COPD ($n = 32$) eine eindeutig längere Apnoedauer auf als gesunde Personen ($n = 32$). Das Bolusvolumen hatte auf die Apnoedauer keinen Effekt, dafür war diese bei dickeren Konsistenzen länger als bei flüssigeren (vgl. Kapitel 4.1.5). Auch das Atemmuster unterschied sich vom eindeutig vorherrschenden Ex/Ex-Muster der Gesunden. Bei den Betroffenen dominierte das Ex/In-Muster, gefolgt vom In/Ex-Muster, was mit einem erhöhten Risiko für Penetrationen bzw. Aspirationen in Verbindung gebracht wird (vgl. Kapitel 4.1.3).

Yoshimatsu et al. (2020) verglichen Personen mit COPD, bei denen sich innerhalb eines Jahres das Krankheitsbild verschlechterte ($n = 28$) und solche mit stabilem Krankheitsverlauf ($n = 42$). Im Falle einer Verschlechterung hatten die Betroffenen einen niedrigeren skelettalen Muskelindex (SMI⁵³), zudem waren sie seltener im Stande, vor dem Schluck einzuatmen, was in Bezug auf Reinigungs- und Schutzfunktionen eher ein ungünstiges Atem-Schluck-Muster darstellt.

Den Einfluss des initialen Lungenvolumens auf das Schlucken kontrollierten Drulia et al. (2021) bei Personen mit COPD ($n = 10$). Im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe ($n = 10$) war das initiale Lungenvolumen in der Gruppe mit COPD signifikant niedriger. Zudem zeigte sich auch bei ihnen tendenziell häufiger eine Inspiration nach dem Schluck. Die Dauer der pharyngealen Phase unterschied sich zwar nicht wesentlich zwischen den Gruppen, in der Gruppe mit COPD war allerdings eine Abnahme der Schluckdauer mit zunehmendem inspiratorischen Lungenvolumen zu beobachten. Weiter waren signifikant häufiger postdeglutitive Inspirationen bei initialem Reservevolumen beobachtbar als bei normalem oder maximalem Tidalvolumen.

Das beobachtete niedrigere prädeglutitive Lungenvolumen ist in Bezug auf Reinigungsmechanismen eher negativ zu werten und verlängert zudem die Schluckdauer, was mit höheren Anforderungen an die Atmung verbunden ist. Ein bewusst generiertes höheres prädeglutitives Lungenvolumen scheint dem entgegenzuwirken. Diese könnte zudem die postdeglutitiven Inspirationen bei COPD und somit das Risiko für eine Penetration/Aspiration verringern. Ein begleitendes Lungentraining parallel zur Schlucktherapie und die Technik forcierter vertiefter Einatmung in Schlucktechniken scheinen bei dieser Klientel sinnvolle Strategien zu sein.

Die geschilderten Forschungsarbeiten zeigen, dass eine reduzierte Lungenfunktion im Rahmen einer COPD mit einer schlechteren Atem-Schluck-Koordination, einer veränderten Schluckphysiologie sowie einem erhöhten Aspirationsrisiko einhergeht. Umgekehrt ist das Vorhandensein einer Dysphagie auch mit einem ungünstigeren Verlauf der COPD verbunden, d. h. Dysphagie und COPD beeinflussen sich gegenseitig. Die ätiologischen Zusammenhänge sind allerdings nicht vollständig geklärt (Prosiegel & Weber, 2018, S. 120f.).

⁵³ SMI = skeletal muscle mass / body mass $\times 100$ (Yoshimatsu et al., 2020, S. 1690)

4.2.4 Studien zum Parkinson-Syndrom

Ein weiteres Störungsbild, in dessen Rahmen das Zusammenspiel von Atmen und Schlucken in einigen wenigen Studien untersucht wurde, ist das Parkinson-Syndrom (PD). Die motorische Kontrolle ist beim Parkinson-Syndrom auch in Bezug auf das Husten beeinträchtigt und nimmt mit fortschreitender Krankheit zu. So haben Betroffene gegenüber Gesunden einen schwächeren willkürlichen sowie reflektorischen Hustenstoss (Fontana et al., 1998). Die motorische Störung lässt sich auch im Atem-Schluck-Muster erkennen, wie ein Review von Rangwala et al. (2023) verdeutlicht. Personen mit PD zeigen nach ihrer Metaanalyse (11 Studien eingeschlossen) in 60 % der Fälle ein atypisches Atem-Schluck-Muster (nicht Ex/Ex), wobei hier auch das meist fortgeschrittene Alter eine Rolle spielen könnte. Zudem ist die Schluckapnoe deutlich länger als bei Gesunden, was zu Dyspnoe führen kann. Ferner ist bekannt, dass die Reflextriggerung in dieser Population öfter bei niedrigerem Lungenvolumen stattfindet, was die häufigen postdeglutitiven Inspirationen erklärt (Curtis & Troche, 2020a; Gross et al., 2008).

So steht beim Parkinson-Syndrom ebenfalls ein Zusammenhang zwischen Lungenfunktion und der Gefahr von Penetration und Aspiration im Raum. Wie in Kapitel 4.2.1 erwähnt wurde, konnten Troche et al. (2016) den Penetrations-Aspirations-Grad durch Testung willkürlichen Hustens nicht vorhersagen. Bei anderen zeigten sich allerdings Zusammenhänge zwischen der Schluckfunktion und der Lungenfunktion.

Ob ein höherer Grad an Penetration und Aspiration bei Männern mit PD auch mit schwächerem willkürlichem Husten einhergeht, analysierten T. Pitts et al. (2008). Sie verglichen Hustenparameter von jenen Personen, die im 30-ml-Wassertest eine Penetration/Aspiration hatten ($n = 10$) mit jener Gruppe ohne Auffälligkeiten ($n = 10$). Personen mit Dysphagie hatten eine signifikant längere Kompressionsphase, eine längere expiratorische Anstiegszeit (der Geschwindigkeit), niedrigere Spitzenflüsse (PCF) und eine geringere Volumenbeschleunigung als jene ohne Dysphagie.

Folglich versuchten T. Pitts et al. (2010) etwas später, in einer Gruppe von 56 Personen mit PD die Penetration/Aspiration durch willkürliches Husten vorherzusagen. Dabei erwiesen sich die Daten zur Dauer der Kompressionsphase (CPD), expiratorischen Anstiegszeit der Geschwindigkeit (EPRT), Spitzenfluss (PCF) und Volumenbeschleunigung (CVA) als geeignet, um Dysphagien (PAS 1 vs. PAS 2–8) vorherzusagen⁵⁴. Um zwischen Penetration und Aspiration zu unterscheiden, erwies sich nur noch die expiratorische Anstiegszeit der Geschwindigkeit als ein signifikanter Prädiktor⁵⁵.

Wheeler Hegland, Okun und Troche (2014) analysierten hingegen willkürliche sequenzielle Hustenstöße von Personen mit PD ($N = 20$). Diejenigen mit schlechteren Werten auf der PAS (> 2) zeigten

⁵⁴ Die AUC von CPD, EPRT, CPF und CVA betrug 0.83, 0.71, 0.69 bzw. 0.78, die Sensitivität 95.83 %, 70.83 %, 87.50 % bzw. 84.53 %, die Spezifität 64.71 %, 73.53 %, 50.01 % bzw. 97.06 % (T. Pitts et al., 2010).

⁵⁵ Die AUC betrug 0.88, die Sensitivität 57.15 %, die Spezifität 100 % (T. Pitts et al., 2010).

niedrigere Werte für die Dauer der Kompressionsphase, den PCF und die Menge des ausgestossenen Volumens pro Hustenstoss. Eine zusätzliche Dysphagie bei Parkinson-Syndrom ging mit einer reduzierten willkürlichen Hustenfunktion einher.

Dies konnten Silverman et al. (2016) bestätigen. Sie verglichen unter Personen mit PD ($N = 68$) den willkürlichen PCF mit dem Stadium der Grunderkrankung (mild vs. mittel-schwer⁵⁶) und dem Schweregrad der Dysphagie (PAS 1–2 vs. PAS 3–5 vs. PAS 6–8 für Wasserschlucke). Nicht nur ein fortgeschrittenes Stadium der Grunderkrankung, sondern auch ein höherer Penetrations-Aspirations-Grad ging signifikant mit niedrigeren PCF-Werten einher.

Einen bis dahin unbeachteten Aspekt untersuchten Borders et al. (2021). Sie betrachteten die Konstanz des motorischen Outputs beim wiederholten sequenziellen Husten. Bei Personen mit PD ($n = 16$) war die Variabilität verschiedener Parameter, die für die Effektivität des Hustens stehen (Volumenbeschleunigung, ausgestossenes Volumen, Zeit bis zur Maximalen Fließgeschwindigkeit) höher als bei gesunden Personen ($n = 26$). Dies deutet zusätzlich zum ineffektiven motorischen Output auch auf eine Inkonsistenz beim Husten hin. Bei gesunden älteren Personen ($n = 26$) war dies im Vergleich zu jüngeren ($n = 25$) in Bezug auf das Inspirationsvolumen und das ausgestossene Volumen ebenfalls erkennbar, was ein Nachlassen motorischer Kontrolle im Alter vermuten lässt.

Auch im Rahmen einer Parkinson-Erkrankung sind mit fortschreitendem Verlauf sowohl ein Nachlassen willkürlicher Hustenfunktion, eine schlechtere Atem-Schluck-Koordination als auch schlechtere Schluckleistungen zu beobachten. Häufig können diese in Zusammenhang gebracht werden. In der Diagnostik und Therapie sind daher auch bei diesem Störungsbild Aspekte der Lungenfunktion und Atem-Schluck-Koordination zu berücksichtigen.

4.2.5 Studien zu neuromuskulären Erkrankungen

Im Rahmen von neuromuskulären Erkrankungen finden sich einige wenige Untersuchungen, welche die Schluckleistung und Lungenfunktionen in einen Zusammenhang bringen. Terzi et al. (2007) verglichen Personen mit neuromuskulären Erkrankungen mit ($n = 10$) und ohne ($n = 19$) Trachealkanüle mit gesunden Personen ($n = 10$). Im Vergleich zu den Gesunden, zeigten die Betroffenen beim Wasserschluck signifikant längere Schluckzeiten sowie mehr Schlucke pro Bolus. Zudem war bei ihnen zur Hälfte eine postdeglutitive Inspiration zu beobachten, was bei den Gesunden fast nie auftrat.

⁵⁶ Die Stadieneinteilung des Parkinson-Syndroms erfolgt meist mit der Hoehn-und-Yahr-Skala (H&Y) (Hoehn & Yahr, 1967), welche aus fünf Stufen besteht. In diesem Fall gruppierte man zwischen mild (H&Y 1–2) und mittel bis schwer (H&Y 3–5) (Silverman et al., 2016).

Auch in einer Untersuchung von J. W. Lee et al. (2020) mit 180 Personen mit Duchenne-Muskeldystrophie gab es Korrelationen zwischen willkürlichen Lungenfunktionsparametern und nicht näher bezeichneten klinischen Symptomen einer Dysphagie.

Im Rahmen von Erkrankten mit Amyotropher Lateralsklerose (ALS) konnten Plowman, Watts, Robison et al. (2016) einen Zusammenhang zwischen der Lungenfunktion und der Schluckleistung nachweisen. Unter 70 Personen mit ALS gab es zwischen denen ohne Penetration/Aspiration (PAS 1–2) und jenen mit (PAS 3–8) signifikante Gruppenunterschiede bei der Volumenbeschleunigung (CVA), der Anstiegszeit des Spitzenflusses (PEFRT) und dem Spitzenfluss beim willkürlichen Husten (PEFR). Zudem konnten diese drei Parameter eine Penetration/Aspiration vorhersagen (AUC 0.85/0.81/0.78; Sens. 91.3 %/82.6 %/73.9 %; Spez. 82.2 %/73.9 %/78.3 %).

In einer Pilotstudie verglichen Garand et al. (2022) acht Personen mit ALS mit acht gesunden Personen. Die Betroffenen zeigten signifikant weniger Schlucke im Ex/Ex-Muster (59 %) als die gesunden Kontrollpersonen (80 %). Wie zu erwarten, zeigten die Personen mit ALS schlechtere Lungenfunktionsparameter (PCF, FVC) sowie schlechtere Werte in Fragebögen zum Schlucken (EAT-10 und DHI⁵⁷), wobei es einen signifikanten Zusammenhang von PCF und der Häufigkeit eines Ex/Ex-Musters gab.

Ein Zusammenhang von Lungenfunktion und Atem-Schluck-Koordination bzw. Dysphagie scheint auch bei neuromuskulären Erkrankungen vorzuliegen. In Diagnostik und Therapie muss dieser Aspekt v. a. bei voranschreitender Grunderkrankung dringend Berücksichtigung finden, nicht nur wegen der negativen physiologischen Auswirkungen, sondern auch aufgrund der psychologischen Folgen.

4.2.6 Studien zu zervikalen Rückenmarksverletzungen

Dass Dysphagien nach zervikalen Rückenmarksverletzungen (CRV) nicht allzu selten sind, ist bekannt. Die Angaben zur Häufigkeit variieren allerdings. Laut Schröter-Morasch (2022a, S. 101) schwanken die Angaben sehr stark (2–80 %), insbesondere da in der Regel eine Abnahme im zeitlichen Verlauf beobachtbar ist. Einer von vielen Risikofaktoren für das Vorliegen einer Dysphagie ist eine erfolgte Operation an der Halswirbelsäule (Iruthayarajah et al., 2018), da u. a. Verletzungen, Schäden, Schwellungen sowie Narben an schluckrelevanten, nahen Strukturen und umliegendem Gewebe eine Dysphagie hervorrufen können (Schröter-Morasch, 2022a, S. 100). Die Sensibilität für einen protektiven Hustenreflex ist in der Regel erhalten, sodass vorliegende Einschränkungen in der Husten-

⁵⁷ Das Eating Assessment Tool (EAT-10) ist ein validierter Fragebogen, der symptom-spezifische Aspekte zum Vorliegen einer Dysphagie abklärt (Belafsky et al., 2008). Der Dysphagia Handicap Index (DHI) ist ein validierter Fragebogen, der emotionale, körperliche und funktionale Auswirkungen einer Dysphagie erfasst (Silbergleit et al., 2012).

leistung auf die fehlende oder eingeschränkte Innervation der Atemmuskulatur zurückzuführen sind (Dicpinigaitis et al., 1999). Möglicherweise ist es diesen Tatsachen geschuldet, dass auch bei diesem Störungsbild wenige Studien den Zusammenhang von eingeschränkter Lungenfunktion und Schluckstörung betrachtet haben.

S. J. Lee et al. (2021) verglichen retrospektiv die willkürliche Lungenfunktionstestung von 78 Personen nach CRV mit der PAS sowie dem Ausmass an pharyngealen Residuen⁵⁸ in einer Videofluoroskopie. Unklar bleibt jedoch, für welche der fünf erwähnten Konsistenzen von flüssig bis fest die Ergebnisse verwendet wurden. Es zeigte sich, dass alle Lungenfunktionswerte, insbesondere der PCF sowie das FVE1 (forced expiratory volume in one second), negativ mit dem Grad der Penetration-Aspiration und der Residuen korrelierten. Ihre Analyse ergab weiter, dass ein höheres Alter, ein anteriorer operativer Zugang, ein höheres Läsionslevel der Wirbelsäule sowie niedrigere PCF-Werte das Risiko einer Dysphagie in dieser Population erhöhten.

Gestützt werden diese Ergebnisse von Matsumoto et al. (2023). Sie untersuchten 54 Personen zwei Wochen nach einer CRV bezüglich ihrer willkürlichen Lungenfunktion, des Ernährungsstatus (Funktional Oral Intake Skale = FOIS⁵⁹) und des Schweregrads der Dysphagie (Dysphagie Severity Index = DSS⁶⁰). Ein Grossteil (88.9 %) wies zwei Wochen nach dem Ereignis eine restriktive Ventilationsstörung auf, 31.5 % hatten eine schwere Dysphagie (DSS 1–4). Im Verlauf von drei Folgeuntersuchungen (4, 8, 12 Wochen nach dem Ereignis) verbesserten sich sowohl die Lungenleistung (CPF, FVE1, prozentuale VC) als auch die Schluckstörung (FOIS, DSS) signifikant, wobei beide Aspekte stets korrelierten.

L. L. Pitts et al. (2023) verglichen die willkürliche Hustenleistung mit dem PAS für Flüssigkeitsschlucke (Videofluoroskopie) von zehn Personen mit CRV. Jene mit Schluckauffälligkeiten (PAS > 2) zeigten niedrigere Werte beim inspiratorischen Spitzenfluss (IPCF) und der Volumenbeschleunigung (CVA) sowie eine längere Hustendauer. Der beste Prädiktor für eine Dysphagie war die Volumenbeschleunigung (Sensitivität = 100 %; Spezifität = 75 %) mit einem sehr niedrigen Cut-Off-Wert von 24.8 L/s.

Alle drei Studien zeigen, dass auch bei zervikalen Rückenmarksverletzungen ein enger Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Schluckproblemen bzw. dem Grad der Schluckstörung und den eingeschränkten willkürlichen Lungen- und Reinigungsfunktionen zu erkennen ist.

⁵⁸ Verwendet wurde eine Graduierung der Residuen nach T. R. Han et al. (2001).

⁵⁹ Die FOIS (Functional Oral Intake Scale) ist eine validierte 7-stufige Ordinalskala zur Beurteilung der oralen Zufuhr von Flüssigkeiten und Nahrung (Crary et al, 2005). Sie ist in verschiedene Sprachen übersetzt und validiert worden, u. a. auf Deutsch (Hamzic et al, 2021).

⁶⁰ Die DSS (Dysphagia Severity Scale) ist eine 7-stufige Ordinalskala zur Beurteilung des Schweregrades der Dysphagie (O'Neil et al., 1999).

In Kapitel 4.2 sowie vorausgehenden Kapiteln wurde deutlich, dass ein laryngealer Hustenreflex einen essenziellen und komplexen Schutzmechanismus für die Lunge darstellt und im Rahmen von Schluckstörungen oder Ventilationsstörungen bedeutsam ist. Allerdings scheint es auch einen engen Zusammenhang zwischen der Lungenfunktion sowie willkürlichen Reinigungsfunktionen und dem Schlucken zu geben. Schlechtere willkürliche Lungenfunktionen gehen häufig mit einer auffälligen Atem-Schluck-Koordination und einem höheren Schweregrad der Dysphagie einher. Dies kann im Rahmen unterschiedlicher Krankheitsbilder beobachtet werden, bei denen neben der Lungenfunktion häufig auch das Schlucken betroffen ist. Wenngleich von keinem direkten kausalen Zusammenhang gesprochen werden kann, so scheint zumindest eine wechselseitige Beeinflussung vorzuliegen.

Infolge dieser Beobachtungen stellt sich die Frage, ob willkürliche Lungenfunktionsmessungen in der Diagnostik nicht nur in Bezug auf das Weaning oder die Dekanülierung berücksichtigt werden sollten, sondern auch, wenn es um die Beurteilung der Schluckfähigkeit oder den Einsatz von kompensatorischen Strategien geht. Die Unterschiede zum reflektorischen Husten müssen dabei allerdings beachtet werden. Die beobachteten atypischen Atem-Schluckmuster im Rahmen pulmonaler Einschränkungen haben biomechanische Nachteile beim Schlucken, insbesondere beim Schutz der unteren Atemwege (Rangwala et al., 2023). Da willkürliche Reinigungsfunktionen zudem eine wichtige Kompensationstechnik bei Schluckstörungen darstellen, ist es durchaus sinnvoll, der Atmung und Atem-Schluck-Koordination bei dysphagischen Patientinnen und Patienten mit zusätzlichen pulmonalen Einschränkungen mehr Beachtung zu schenken. Zudem sind die emotionalen Auswirkungen von Dyspnoe (Hoit et al., 2011) nicht zu unterschätzen.

5 Atemtraining und Einsatz von Atemtechniken in der logopädischen Therapie

Es ist unbestritten, dass die Arbeit an der Atmung ein unverzichtbarer und grundlegender Bestandteil der Stimmtherapie ist. So finden sich zahlreiche Atemübungen in diversen Übungssammlungen und Therapieansätzen (z.B. Bergauer & Janknecht, 2011, S. 67ff.; Hammer, 2017, S. 207ff.). Auch in der Behandlung von zentralen Sprechstörungen wie Dysarthrien oder Sprechapraxien wird an der Atmung gearbeitet (Ziegler et al., 2020, S. 309ff.; Ziegler & Vogel, 2010, S. 118ff.). Das Ziel der Atemübungen ist, die Ruheatmung, aber auch die Sprechatmung, also die Koordination von Atmung und Phonation, zu verbessern. Ebenso macht es im Rahmen der Dysphagietherapie in vielen Fällen durchaus Sinn, die Atmung und Atemtechniken zu integrieren.

Im Frührehabilitationsbereich können beispielsweise Stimulationstechniken eingesetzt werden, die eine Vertiefung der Atmung, des Hustens und der Atemführung bewirken sollen (Bartolome, 2022a, S. 459). Eine gezielte Kontrolle der Atem-Schluck-Koordination wird vor allem im Rahmen von kompensatorischen Schlucktechniken wie dem supraglottischen und supersupraglottischen Schlucken (SGS bzw. SSGS) umgesetzt. Der Patient oder die Patientin wird hier nach bewusster Inspiration zum Atemstopp (SGS) bzw. zum gepressten Atemstopp (SSGS) aufgefordert. Nach erfolgter Reflextriggerung soll ohne Zwischenatmung sofort abgehustet und ggf. nachgeschluckt werden (Bartolome, 2022b, S. 390ff.). Diese Technik ist demnach ein bewusstes Einhalten des In/Ex-Musters in Kombination mit sofortigen Reinigungsfunktionen. Ausserdem wird hier das initiale Lungenvolumen bewusst erhöht. Einige Studien konnten mit diesen Techniken bessere (d. h. grössere und z. T. längere) hyolaryngeale Bewegungen und einen besseren Verschluss des Larynxeinganges nachweisen (Bülow et al., 1999; Logemann et al., 1997; Martin et al., 1993; Ohmae et al., 1996; van Daele et al., 2005). Nur teilweise wird das bewusste Luftanhalten beim Schlucken auch in Kombination mit anderen kompensatorischen Schlucktechniken wie dem Mendelsohn-Manöver oder Haltungsänderungen vorgeschlagen (Prosiegel & Weber, 2018, S. 282f.). Es stellt sich allerdings die Frage, ob die Atem-Schluck-Koordination sinnvollerweise nicht bei allen Techniken integriert werden sollte.

Weiter findet der gezielte Einsatz und die Verbesserung von Reinigungsfunktionen Berücksichtigung im Falle von pharyngealen Bolusresten. Neben Mehrfachschlucken und Nachschlucken werden hier das gezielte Rachenreinigen oder Husten genannt (Bartolome, 2022b, S. 395f.) sowie die Kräftigung der Reinigungsfunktionen, sofern diese geschwächt sind (Prosiegel & Weber, 2018, S. 282). Erst in den letzten Jahren finden sich in der deutschsprachigen Literatur auch Fachbücher oder Kapitel zu beatmeten Patientinnen oder Patienten sowie zu Aspekten der Lungen- und Reinigungsfunktionen im Sekret- oder Trachealkanülenmanagement, wie sie z. T. auch in Kapitel 2.2.2 genannt wurden (Ledl &

Ullrich, 2022; Prosiegel & Weber, 2018, S. 285f., S. 289ff.; Schwegler, 2022). Gleiches gilt für den Einsatz von expiratorischem Atemmuskeltraining (Bartolome, 2022b, S. 369f., 382, 418, 422; Prosiegel & Weber, 2018, S. 277f., 282).

Aspekte der Lungen- und Reinigungsfunktionen und der Atem-Schluck-Koordination finden zwar ein gewisses Mass an Beachtung, ob die Rolle und Relevanz der Atem-Schluck-Koordination jedoch ausreichend bekannt ist und infolgedessen in der Praxis genügend Berücksichtigung findet, bleibt allerdings fraglich.

Der Einfluss eingeschränkter pulmonaler Fähigkeiten auf das Sprechen und Schlucken wurde vorgängig ausführlich dargestellt. Es ist daher naheliegend, umgekehrt zu fragen, ob es nicht grundsätzlich sinnvoll ist, Atemtechniken in die Therapie zu integrieren, und ob sich ein Atemtraining positiv auf das Sprechen und Schlucken auswirken kann. Allerdings lässt sich diese Frage nicht allgemein beantworten, wie folgende Ausführungen in Kapitel 5.1 und Kapitel 5.2 zeigen.

5.1 Auswirkung respiratorischer Trainings auf das Sprechen

Ein respiratorisches Training hat nicht in allen Fällen positive Effekte auf das Sprechen, wie eine systematische Übersichtsarbeit von Desjardins und Bonilha (2020) zeigt. Die Autorinnen suchten nach Arbeiten, welche die Auswirkung eines Atemtrainings auf Parameter der Stimme / des Sprechens untersuchten, und werteten 23 Studien (bis Februar 2018) aus. Allerdings erschwerten methodische Unterschiede die Vergleichbarkeit der Studien. Zum einen schlossen sie sehr unterschiedliche Probandengruppen ein: stimmgesunde Personen (Laien wie geschulte Stimmen), Dysphonien (bei Kindern und Erwachsenen), Dysarthrien unterschiedlicher Ursache (bei Kindern und Erwachsenen) sowie Personen mit Rückenmarksverletzungen. Ein ebenso breites Spektrum zeigte sich bei der Art des Atemtrainings. Zum einen gab es diverse Trainingsmethoden, welche mit einem Gerät die Expiration, Inspiration oder Ventilation trainierten. Zum anderen fanden sie zahlreiche respiratorische Übungsbehandlungen, welche ohne Hilfsmittel an der Vertiefung und Kräftigung der Atmung isoliert oder in Kombination mit Phonationsübungen arbeiteten (z. B. das LSVT[®]LOUD⁶¹). Ebenfalls variierten die Therapiedauer (1–8 Wochen) und -frequenz erheblich (einmalig bis täglich, festgelegte Zeit von 10–50 Minuten oder Übungsmenge, z. B. fünf mal fünf Atemzüge). Nur in einem Teil der Studien (12/23) konnten respiratorische Verbesserungen beobachtet werden, aber immerhin waren bei einem

⁶¹ Das Lee Silverman Voice Treatment (LSVT[®]LOUD) ist ein Therapieansatz von L. Ramig und C. Mead-Bonitati für hyperkinetische Dysarthrien beim Parkinson-Syndrom und ist bezüglich seiner Wirksamkeit sehr gut erforscht (Benecke & Penner, 2017, S. 125). Das Besondere an diesem intensiven Übungsprogramm sind die einfachen Phonationsübungen mit dem Fokus auf Lautstärke bei kräftiger respiratorischer Leistung (Ramig et al., 2001, S. 493).

überwiegenden Teil (9/12) Verbesserungen einzelner Parameter der Stimme (z. B. Lautstärke, Modulation) oder des Sprechens (z. B. mittlere Äusserungslänge) zu beobachten. Verbesserungen in einem dieser Bereiche scheinen von den individuellen Bedürfnissen bzw. Einschränkungen der Betroffenen abhängig zu sein.

Die Geräte für die Atemtherapie sind meist in Form einfacher Handapparate möglich. Meist werden Widerstände durch ein Federventil erzeugt oder es sind variierende Widerstände für den inspiratorischen oder expiratorischen Luftfluss möglich. Die unterschiedlichen Trainingsarten sind normokapnische Hyperpnoe, Anreizspirometrie, Widerstandstraining und Druckschwellentraining (Sapienza, 2008), welche in Tabelle 5 näher erläutert werden.

Tabelle 5

Verschiedene Arten für respiratorisches Muskeltraining mit Geräten nach Sapienza (2008)

Normokapnische Hyperpnoe bzw. Hyperventilation (isocapnic hyperpnea)	Mehrventilation (wie unter körperlicher Belastung) über längeren Zeitraum (30 Minuten); Anpassung des eingeatmeten O ₂ /CO ₂ -Gehaltes, um Hyperventilation zu vermeiden (McConnell & Romer, 2004, S. 285)
Anreizspirometrie (incentive spirometry)	Halten eines bestimmten Luftflusses über möglichst lange Zeit, niedriger Widerstand (Sapienza, 2008, S. 217)
Widerstandstraining (flow resistive loading)	Durchmesser des Luftstromkanals wird angepasst verkleinert; luftflussabhängiger Widerstand (Sapienza, 2008, S. 217)
Druckschwellentraining (pressure threshold loading)	Luftfluss erst bei Überschreiten eines definierten Luftdrucks möglich; luftflussunabhängiger Widerstand (Sapienza, 2008, S. 217)

Eine ausreichende expiratorische Muskelkraft ist für den Aufbau des subglottischen Druckes wichtig, der zur Phonation oder für ein suffizientes Husten benötigt wird. Daher fokussieren sich viele Atemtrainings auf die expiratorische Muskelkraft und sind auch unter der Abkürzung EMST (expiratory muscle strength training) zu finden (Laciuga et al., 2014, S. 535). In einem narrativen Review fassen Laciuga et al. (2014) die Ergebnisse von 24 Studien (zwischen 1994 und 2014) zu diesem Thema zusammen. Auch sie heben die grosse Bandbreite an Trainingsgeräten bzw. -methoden und Therapiefrequenz und -länge hervor. Bei EMST-Geräten wird in der Regel gegen einen Widerstand ausgeatmet, der einem vordefinierten Prozentsatz (30–75 %) des eigenen maximalen Expirationsdrucks entspricht. Neben mehrheitlich zu beobachtenden Verbesserungen der expiratorischen Muskelkraft war beispielsweise auch eine Reduzierung der Dyspnoe bei körperlichen Aktivitäten von Betroffenen mit COPD und gesunden Personen zu beobachten. Nicht nur bei gesunden, sondern auch bei Personen mit Dysarthrie scheint EMST zum Teil Verbesserungen einzelner Sprechparameter (Lautstärke, mittlere Äusserungslänge, Tonhaltedauer), der stimmbezogenen Lebensqualität und sogar der Verständlichkeit zu bewirken.

Besonders hervorzuheben ist eine Studie, welche in die Auswertung von Desjardins und Bonilha (2020) einbezogen wurde. Huber und Darling-White (2017) untersuchten als einzige die Auswirkungen von EMST auf die Sprechatmung von Personen mit PD ($N = 12$). Die Probandinnen und Probanden hatten im Vergleich zu Gesunden vor dem Training ein niedrigeres oder höheres Lungenvolumen vor Sprechbeginn – ein typisches Symptom der gestörten Atem-Sprech-Koordination beim Parkinson-Syndrom. Nach dem Training (5 x/Wo, 4 Wochen lang) veränderte sich dies bei den meisten signifikant in Richtung Normwerte, d. h. je nach Fall in Richtung oben oder unten. Die Verbesserungen der Lungenfunktion gingen demnach mit einer Normalisierung der Sprechatmung einher. Die mittlere Äusserungslänge und Vokalintensität verbesserten sich hingegen nur bei der Hälfte.

Eine der späteren Arbeiten zu diesem Thema, welche nicht in die beiden Reviews eingeschlossen wurde, ist jene von Reyes et al. (2020). Die Autoren und Autorinnen verglichen inspiratorisches und expiratorisches Atemtraining bei Personen mit PD ($N = 31$) und dessen Auswirkung auf akustische und aerodynamische Messungen der Stimme. Sie kamen zu dem Schluss, dass inspiratorisches Training geeigneter ist, um die Tonhaltedauer zu verbessern, und expiratorisches Training eher zu einer Verbesserung des subglottischen Drucks sowie der Lautstärke führt.

In einer neueren Studie von Antonsson et al. (2023) durchliefen dysarthrische Patientinnen und Patienten mit Parkinson-Syndrom und Multipler Sklerose ein EMST. Beide Gruppen zeigten eine signifikante Verbesserung des maximalen expiratorischen Druckes (MEP) und in der Diadochokinese (DDK). Eine Verbesserung anderer sprachrelevanter Parameter (Tonhaltedauer, Verständlichkeit, mittlere Äusserungslänge) trat hingegen nur vereinzelt auf und war insgesamt nicht signifikant. Allerdings gaben 33 % der Personen mit PD und 80 % derer mit MS eine subjektive Verbesserung in der Kommunikation an. Alle empfanden das Training als durchweg positiv. Ob sich eine verbesserte Atemmuskulatur auch positiv auf das Sprechen bei Dysarthrien auswirkt, kann demnach nicht eindeutig geklärt werden, es scheint aber positive Effekte auf einzelne Parameter zu geben.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Pilot-Studie von van Sluis et al. (2020), in der neun Männer mit Stimmprothese nach totaler Laryngektomie EMST erhielten. Sie verbesserten sich durch die Intervention lediglich im MEP, andere Messgrößen änderten sich nicht wesentlich (PEF, VC, FEV1). Auch bei den Messungen zur Stimme und der körperlichen Belastung verbesserte sich nur der Dynamikumfang, also die funktionale Lautstärke. Aspekte wie die Tonhaltedauer, der Stimmumfang, die subjektive Bewertung der Stimmfunktion (VHI), pulmonale Einschränkungen und körperliche Belastbarkeit und Dyspnoe verbesserten sich ebenfalls nicht bedeutsam. Da sich vor allem bei den klinisch besseren Patienten subjektiv kaum etwas veränderte, gehen die Autorinnen und Autoren davon aus, dass das Ausmass der pulmonalen Einschränkungen relevant für beobachtbare Erfolge sein könnte, welche in ihrer Studie sehr gering waren.

Dass die Respiration sowie deren therapeutische Berücksichtigung beim Sprechen eine wesentliche Rolle spielen, zeigen auch Wirksamkeitsstudien zum Lee Silverman Voice Treatment (LSVT®LOUD) nach Benecke und Penner (2017, S. 125), das in der Logopädie wohl zu den am besten erforschten Therapieansätzen gehört. Der Therapieansatz für Menschen mit Parkinson-Syndrom setzt an den krankheitsspezifischen Schwächen an, vor allem der reduzierten Lautstärke. Verbessert sich diese, so die Idee, wirkt sich dies positiv auf das sprechmotorische System aus und verbessert somit auch andere Aspekte wie die Artikulation und die Verständlichkeit, die Stimmqualität, Prosodie oder das Tempo (Benecke & Penner, 2017, S. 125ff.). Die Phonationsübungen werden mit dem Fokus auf eine normal hohe Lautstärke unter dem Einsatz von vermehrter Kraft durchgeführt (Benecke & Penner, 2017, S. 129). Dadurch können sie auch als Respirationsübungen gesehen werden. Ramig et al. (1995) sprechen in frühen Arbeiten von einem Stimm- und Respirationstraining. Das LSVT®LOUD liefert somit weitere Hinweise, inwiefern sich die Berücksichtigung der Respiration bei Phonationsübungen positiv auf das Sprechen auswirkt.

In zahlreichen Studien konnte die Wirksamkeit des LSVT®LOUD belegt werden, wie mehrere Übersichtsarbeiten zusammenfassend zeigen (Mahler et al., 2015; Pu et al., 2021; Yuan et al., 2020). In Bezug auf das Sprechen und die Stimme verbessern sich laut Mahler et al. (2015) folgende Aspekte: Stimmlautstärke, Sprechrate (langsamer), Variation der Tonhöhe (weniger monoton), Artikulation, Verständlichkeit, Stimmqualität (perzeptiv und physiologisch), respiratorische Bewegungen sowie aerodynamische Messungen (z. B. subglottischer Druck). Fokussiert man die Outcomevariablen Lautstärke und stimmbezogene Lebensqualität (VHI), ist das LSVT®LOUD signifikant wirksamer als keine Therapie, eine Schein-Therapie oder alternative Sprachtherapie und genauso effektiv wie eine Online-Version, was Metaanalysen von Yuan et al. (2020) und Pu et al. (2021) bestätigen. Pu et al. (2021) konnten weiter zeigen, dass es positive Effekte auf die Verständlichkeit und die Modulationsfähigkeit gibt. Zu berücksichtigen ist, dass die in die Auswertung einbezogenen Studien von Yuan et al. (2020) ($N = 8$) und Pu et al. (2021) ($N = 10$) fünf identische Arbeiten enthalten.

Für die nähere Analyse der Bedeutung des respiratorischen Aspektes sind einige Arbeiten aus der Forschungsgruppe rund um Lorraine Ramig von besonderem Interesse. Bei einem Vergleich eines respiratorischen Trainings mit dem LSVT®LOUD ($N = 35$; $N = 45$; $N = 33$) zeigte letzteres größeren Benefit mit Langzeiteffekt für die Lautstärkeänderung und auf die subjektive Kommunikationsfähigkeit (Ramig et al., 1996; Ramig et al., 1995; Ramig et al., 2001). Die Arbeit an der Sprechatmung war somit effektiver als das reine Respirationstraining. Beim Vergleich des LSVT®LOUD mit einem identischen Training ($N = 44$), welches den Fokus nicht auf Respiration und Lautstärke legt, sondern auf Artikulation, so findet sich auch hier eine bessere Steigerung der Lautstärke mit anhaltendem Langzeiteffekt. Die subjektive Kommunikationsfähigkeit verbesserte sich kurzfristig bei beiden Therapien, langfristig allerdings nur beim LSVT®LOUD (Ramig et al., 2018).

Schlussendlich kann zusammengefasst werden, dass ein alleiniges Training der Atemmuskulatur neben positiven Effekten auf respiratorische Parameter vereinzelt auch Verbesserungen von Parametern des Sprechens bewirkt, so zum Beispiel eine Verbesserung der Lautstärke, Modulation, Äusserungslänge, Tonhaltedauer, Verständlichkeit, Diadochokinese, stimmbezogene Lebensqualität oder eine Normalisierung der Sprechatmung. Die Ergebnisse hierzu sind allerdings sehr unterschiedlich, wofür wohl auch die Diversität der untersuchten Populationen verantwortlich ist.

Die Beobachtung, dass das LSVT®LOUD beim Parkinson-Syndrom im Gegensatz zu respiratorischen Übungen einen grösseren Effekt auf die Lautstärke hat (Ramig et al., 2001), ist insofern logisch, da beim Parkinson-Syndrom die Atem-Sprech-Planung beeinträchtigt ist. Durch die aufgabenspezifische Steuerung (Ziegler, 2003a, 2003b) muss auch die Atem-Sprech-Koordination geübt werden, um Verbesserungen darin zu erzielen. Ein isoliertes Training der Respiration scheint gerechtfertigt, sofern diese grundsätzlich reduziert ist. Falls aber die Koordination, also die Steuerung oder Ausführung der Sprechatmung, betroffen ist, ist es sinnvoll, die Aspekte Respiration und Phonation zu kombinieren, wie dies im LSVT®LOUD der Fall ist. Weiter wird dieses Vorgehen durch die Beobachtung bestätigt, dass Sprechtherapie ohne integrierte Respirationsübungen gegenüber dem LSVT®LOUD schlechtere Effekte erzielt, zumindest im Rahmen des Parkinson-Syndroms.

Ein Einfluss der Respirationsfunktion auf das Sprechen scheint vorhanden zu sein, allerdings ist das Ausmass offensichtlich von diversen Faktoren abhängig. In Fällen deutlich reduzierter Lungenfunktion, wie bei Personen mit Trachealkanüle und Beatmung, ist zu vermuten, dass unabhängig von der zugrunde liegenden Erkrankung eine dauerhafte oder temporäre Verbesserung der pulmonalen Fähigkeiten das Sprechen positiv beeinflussen kann.

5.2 Auswirkung eines respiratorischen Trainings auf willkürliche Reinigungsfunktionen und das Schlucken

Da ein Zusammenhang von Lungenfunktion bzw. Reinigungsfunktionen und Schluckfunktion beobachtet werden kann, ist es naheliegend zu eruieren, inwiefern ein Respirationstraining Auswirkungen auf Reinigungsfunktionen und das Schlucken hat. Auch hier gibt es, wie in Kapitel 5.1 bereits erläutert, verschiedenste Formen, wie dieses Atemtraining realisiert werden kann.

Im erwähnten narrativen Review von Laciuga et al. (2014) werden neben allgemein verbesserten pulmonalen Funktionen auch bessere Hustenleistungen nach EMST genannt. Bei Personen mit Multipler Sklerose, älteren Personen und jenen mit Parkinson-Syndrom scheint EMST aerodynamische Parameter des Hustens und somit die Effektivität des Hustens zu verbessern. Zudem scheint EMST bei Parkinson den Penetrations-Aspirationsgrad, einzelne Bewegungsamplituden der Schluckbewegung

sowie die schluckbezogene Lebensqualität zu steigern. Auch in Silverman et al. (2017) konnte EMST die subjektiv empfundene Belastung durch die Schluckstörung und die psychische Gesundheit bei Personen mit MS verbessern. Wheeler et al. (2007) und Wheeler-Hegland et al. (2008) beobachteten während EMST-Übungen eine Aktivierung der suprahyoidalen Muskulatur, sodass davon auszugehen ist, dass sich EMST eventuell positiv auf physiologische Aspekte des Schluckens auswirkt. Die suprahyoidalen Muskeln sind wichtig für die Anhebung des hyolaryngealen Komplexes sowie bei der Öffnung des oberen Ösophagusphinkters und somit ein wichtiger Aspekt beim Schutz der Atemwege (Wheeler et al., 2007). So zeigten sich nach EMST tatsächlich grössere Amplituden der hyolaryngealen Bewegungen und längere Öffnungsphasen des oberen Ösophagusphinkters (Wheeler-Hegland et al., 2008).

Zu den Auswirkungen eines Respirationstrainings gibt es zahlreiche Studien. Ob die positiven Ergebnisse einzelner Studien allerdings auch generalisiert werden können, zeigt ein Blick in die systematischen Reviews und Metaanalysen zu diesem Thema, welche vor allem in den letzten Jahren gehäuft publiziert wurden.

Zuallererst stellt sich die Frage, ob ein Training der respiratorischen Muskulatur Schutzmechanismen des Schluckens wie das Husten verbessern kann. Templeman und Roberts (2020) ermittelten in ihrer Metaanalyse die Auswirkung von EMST auf die expiratorische Muskulatur, pulmonale Funktionen und das Husten. Sie schlossen darin neun Studien (bis Dezember 2017) zu gesunden und vorerkrankten Erwachsenen ein ($N = 213$; MS, COPD, Stroke, CRV). Im Vergleich zu einer Kontrollgruppe oder Scheinintervention ergab ihre Analyse eine geringe signifikante Verbesserung des MEP durch ein EMST, wobei sich das Husten oder Lungenparameter nicht wesentlich veränderten (PCF, FVC, FEV1). Die Ergebnisse der Metaanalyse von Y. He et al. (2021) sind ebenfalls nicht ganz eindeutig. Die Daten aus fünf Studien zeigen bei Personen mit neurologischen Störungsbildern ($N = 185$) nach einem Respirationstraining zwar einen signifikant gesteigerten willkürlichen und reflektorischen PCF, die Verbesserungen des MIP und MEP verfehlten jedoch die Signifikanz.

In heterogenen Experimentalgruppen sind die Ergebnisse demnach nicht homogen, aber es gibt Hinweise darauf, dass sich einzelne Parameter der Atemmuskulatur bzw. der Lungen- und Schutzfunktionen verbessern. Beide Studien schlossen Personen mit unterschiedlichsten Erkrankungen ein, ebenfalls ist von grossen Unterschieden bezüglich der Lungenfunktion vor dem Training auszugehen, was die Ergebnisse teilweise erklären könnte.

Y.-S. Zhang et al. (2024) konzentrierten sich dagegen auf Studien (bis Dezember 2023), die nur Personen in der frühen Phase (< 3 Monate) nach einem Schlaganfall untersuchten. Ihre Metaanalyse ($N = 526$) zeigte signifikante Verbesserungen der Atemmuskulatur, der Lungenfunktion und Parametern des Hustens (MIP, MEP, FVC, PEF, FEV1, FC) nach einem Atemtraining. Ein gemischt

inspiratorisch-expiratorisches Training scheint in dieser Gruppe für die Lungenfunktion von grösserem Vorteil zu sein als ein rein inspiratorisches Training.

Personen mit Parkinson-Syndrom scheinen laut einem Review von van de Wetering-van Dongen et al. (2020) grundsätzlich von einem Atemtraining zu profitieren – neben der Lungenfunktion verbessert sich auch ihr Husten. Bei bestimmten Störungsbildern kann ein Respirationstraining demnach die Lungen- und Hustenfunktion steigern.

Im Rahmen der Erprobung eines standardisierten Dekanülierungsmanagements erhielten 80 spontan-atmende Personen mit unterschiedlichen Krankheitsbildern, Trachealkanüle und reduziertem PCF (< 100 l/min) eine individuell angepasste Atem-Hustentherapie, d. h. eine Auswahl oder Kombination von beispielsweise Air stacking, manueller oder mechanischer Unterstützung des Hustens, inspiratorischem oder allgemeinem respiratorischem Muskeltraining oder Ganzkörpertraining. Die therapeutischen Massnahmen zeigten Wirkung, denn der PCF erreichte bei 73 Personen und durchschnittlich nach 26 ± 3 Tagen den geforderten Schwellenwert und stieg im Mittel um 119 ± 14 l/min an (Ge et al., 2024, S. 6f.).

Einige Reviews beschäftigen sich mit der Frage, welche Wirkung ein respiratorisches Training auf die Schluckfunktion selbst hat, wobei teilweise auch die Wirkung auf die Hustenfunktion berücksichtigt wurde. Die Reviews weichen zwar bezüglich ihrer Forschungsfragen und Einschlusskriterien teils deutlich voneinander ab, dennoch überlappen sie sich in Bezug auf die berücksichtigten Studien. In Tabelle 6 sind die jeweils einbezogenen Studien dargestellt, um vorhandene Überschneidungen transparent darzulegen.

Brooks et al. (2019) schlossen in ihre Auswertung sieben Artikel aus fünf Studien ein (bis Juni 2016). Durch die geringe Anzahl an inkludierten Artikeln sind die Autorinnen eher zurückhaltend und folgern, dass es erste Hinweise auf einen Zusammenhang von EMST und der Schluckfähigkeit von Betroffenen mit Dysphagie nach Schlaganfall, mit PD oder MS gibt. Dies zeigt sich in einem verbesserten Wert auf der PAS (in drei Studien), verbesserter allgemeiner und schluckbezogener Lebensqualität (in einer Studie) und verbesserter suprahyoidaler Muskulatur (nur in J.-S. Park et al., 2016). In Bezug auf die Lungenfunktion konnten vor allem Verbesserungen des MEP erzielt werden (in vier Studien).

Auch Z. Wang et al. (2019) prüften im Rahmen neurologischer Störungsbilder den Einfluss von EMST und führten eine Metaanalyse von insgesamt zehn Studien durch. Mit den Daten aus fünf Studien ($N = 151$) errechneten sie eine signifikante Reduktion und somit eine Verbesserung der PAS⁶² nach EMST im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Analyse von zwei Studien mit kategorischer Einteilung

⁶² -0.94 ($n = 151$, 95 % CI = -1.27 bis -0.61 , $I^2 < 50$ %, $p < .01$) (Z. Wang et al., 2019)

Tabelle 6

Übersicht über Reviews und Metaanalysen zum Einfluss von respiratorischem Training auf das Schlucken und Reinigungsfunktionen mit den von ihnen berücksichtigten Störungsbildern

Reviews und Metaanalysen; eingeschl. Störungsbilder	Brooks et al., 2019	Dai et al., 2024	Mancopes et al., 2020	Rodríguez et al., 2020	Z. Wang et al., 2019	W. Zhang et al., 2022
	Stroke, PD, MS	Stroke, PD	Stroke, PD, ALS, MS, HNC	PD	Stroke, PD, MS	Stroke
Einzelne Studien						
Byeon, 2016			x			
Choi et al., 2021						x
Claus et al., 2021		x				
Eom et al., 2017		x	x		x	x
Guillén-Solà et al., 2017		x				x
Hegland et al., 2016			x		x	
Hutcheson et al., 2018			x			
Inzelberg et al., 2005				x		
Jang et al., 2019		x				
Kulnik, Birring et al., 2015					x	x
Liaw et al., 2020						x
PeMessaggi-Sartor et al., 2015						x
Moon et al., 2017		x	x		x	x
J.-S. Park et al., 2016	x	x	x		x	x
Parreiras de Menezes et al., 2019						x
T. Pitts et al., 2009	x		x		x	
Plowman, Watts, Tabor et al., 2016			x		x	
Plowman et al., 2019			x		x	
Reyes et al., 2018				x		
Reyes et al., 2020				x		
Roy et al., 2003	x					
Sapienza et al., 2011	x			x		
Silverman et al., 2017			x		x	
Troche et al., 2010	x		x	x	x	
Troche et al., 2014	x					
Tsai et al., 2016	x					
J. J. Wang & Zhang, 2019 ^a						x
Yoo & Pyun, 2018						x
Ergebnis des Reviews oder der Metaanalyse bezüglich Veränderung der PAS:	Sign. in 3/3 Studien	Sign. in MA von 5 Studien	Sign. in 5/9 Studien	Sign. in 1/1 Studie	Sign. in MA von 5 Studien	Sign. in MA von 3 Studien

Anmerkungen. Stroke = Schlaganfall; PD = Parkinson-Syndrom; MS = Multiple Sklerose; HNC = Kopf-Hals-Tumor (Head and Neck Cancer); PAS = Penetrations-Aspirations-Skala; MA = Metaanalyse.

Die jeweils eingeschlossenen Studien sind mit einem x markiert. Studien, in denen sich die Veränderung der PAS nach dem respiratorischen Training signifikant verändert hat, sind grün markiert, jene mit nicht signifikanter Veränderung sind rot markiert. Publikationen, die sich auf die gleiche Forschungsarbeit beziehen, sind durch fehlende Trennlinien markiert.

^a Zeitschrift und Artikel waren bei eigener Recherche nicht auffindbar, der Artikel ist vermutlich von zwei Autorinnen/Autoren des Reviews von W. Zhang et al. (2022).

(PAS 1–2 vs. PAS 3–8) konnte aber keine signifikanten Veränderungen im Vergleich zur Kontrollgruppe nachweisen. Die kategorische Einteilung bedeutet jedoch lediglich, dass die Dysphagie durch das EMST nicht verschwand. Auch verschiedene Hustenparameter veränderten sich nicht in relevanter Weise (willkürlicher CPF, CVA, MEP aus jeweils zwei Studien mit $n = 37$, $n = 24$, $n = 41$).

Mit der Literatur zu respiratorischem Muskeltraining bei PD beschäftigt sich der Review von Rodríguez et al. (2020). Nur in einer der fünf eingeschlossenen Studien wurde der Penetrations-Aspirations-Grad evaluiert (Troche et al., 2010): Er wurde durch das Training signifikant verbessert.

Mancopes et al. (2020) fokussierten sich auf EMST in der Rehabilitation von Dysphagien (bei PD, Stroke, ALS, MS und Kopf-Hals-Tumoren) und schlossen in ihr Review elf Studien ein, wobei die grossen Differenzen in Bezug auf die Bewertung (Einzelwerte der PAS oder Kategorisierung in Gruppen) und Durchführung der Videofluoroskopien (Anzahl Schlucke, Konsistenzen, Wertung schlechtesten Wert oder der Mittelwert) keine Metaanalyse erlaubten. Eine signifikante Verbesserung auf der PAS wurde nur in der Hälfte der Studien erreicht. Auch andere Skalen zur Quantifizierung des Schluckens wurden verwendet und zeigten meist positive Veränderungen. Drei Studien nutzten die Functional Dysphagia Scale (FDS)⁶³ und berichteten alle von einem Fortschritt. Zwei Studien verwendeten das Modified Barium Swallow Study Impairment Profile (MBSImP®)⁶⁴, wobei nur in einer Studie die Verbesserung im Gesamtwert, nicht aber einzelner Komponenten bewirkt wurde. Mit dem Dynamic Imaging Grade of Swallowing Toxicity (DIGEST)⁶⁵ konnte ebenfalls nur in einer von zwei Arbeiten eine signifikante Veränderung verzeichnet werden. Verschiedene Parameter des Schluckens verbesserten sich nicht durchgehend, sodass nach ihrer Analyse von keinem eindeutigen Benefit für das Schlucken auszugehen ist. Für die unterschiedlichen Ergebnisse machen die Autorinnen auch die Wahl der statistischen Verfahren verantwortlich, da vor allem Arbeiten mit rangbasierten Skalen häufiger signifikante Veränderungen hervorbrachten als jene mit kategorialen Skalen. Aber auch die unterschiedlich grossen Stichprobengrössen und die häufig eher milde Ausprägung der Dysphagie und pulmonale Einschränkung spielten womöglich eine Rolle. Dennoch gehen auch sie davon aus, dass EMST neben den positiven Auswirkungen auf den Reinigungsmechanismus Husten möglicherweise auch Verbesserungen in der suprahyoidalen Muskulatur (z. B. in Plowman, Watts, Robison et al., 2016; Troche et al., 2010) und somit weiterer Parameter der Schluckphysiologie bewirken kann, wie beispielsweise eine bessere Öffnung des oberen Ösophagussphinkters.

⁶³ Die Functional Dysphagia Scale (FDS) von T. R. Han et al. (2001) ist eine Skala zur Quantifizierung des Schweregrades der Dysphagie in einer Videofluoroskopie. Es gibt Werte zwischen Null (unauffällig) und 100 (schlechtesten Wert). Berücksichtigt werden hier u. a. das Ausmass bzw. die Mengen von nasaler Penetration und Residuen sowie zeitliche und motorische Aspekte von Teilbewegungen.

⁶⁴ Das Modified Barium Swallow Study Impairment Profile (MBSImP®) von Martin-Harris et al. (2008) fasst in einem Gesamtscore 17 einzelne Parameter zur Schluckphysiologie zusammen.

⁶⁵ Der Dynamic Imaging Grade of Swallowing Toxicity (DIGEST) ist eine 5-stufige Skala von Hutcheson et al. (2017), welche Schlucksicherheit (PAS) und Schluckeffizienz (Menge der pharyngealen Residuen) zusammenfasst.

Eine weitere Metaanalyse mit insgesamt elf RCTs zu EMST nach Stroke von W. Zhang et al. (2022) zeigt einen signifikanten Einfluss auf die PAS-Werte⁶⁶ (drei Studien, $n = 71$) von Flüssigkeitsschlucken oder die FOIS (zwei Studien, $n = 48$). Der willkürliche und reflektorische PCF (vier Studien; $n_w = 226$ / zwei Studien; $n_r = 161$) werden hingegen unwesentlich beeinflusst. Allerdings bewirkte EMST im Vergleich zu einer Scheinintervention eine signifikante Reduktion von respiratorischen Komplikationen wie Pneumonien oder pulmonalen Infektionen (sechs Studien; $n = 394$). Hingegen ist bezüglich der Aussagen zu beachten, dass W. Zhang et al. (2022) von J. He und Cheng (2023) insbesondere wegen der mangelhaften Risiko- und Qualitätsbeurteilung der eingeschlossenen Studien kritisiert wurden.

Eine aktuelle Metaanalyse von Dai et al. (2024) konnte insgesamt sechs Studien (bis Dez. 2022) einschliessen, welche respiratorisches Muskeltraining bei Dysphagie (Stroke oder PD) analysierten. Mit Daten von fünf Studien ($n = 151$) konnten auch sie den Vorteil eines Atemmuskeltrainings gegenüber einer Kontrollintervention zeigen, da sich die PAS⁶⁷ signifikant reduzierte. Das expiratorische Muskeltraining scheint jedoch gegenüber dem gemischten Inspirations-Expirations-Training bessere Ergebnisse zu erzielen. Auch auf der Functional Dysphagia Scale war die Verbesserung signifikant.

Mit den Daten aus Claus et al. (2021) und Moon et al. (2017) ($n = 63$) konnten Dai et al. (2024) den Einfluss von EMST auf Residuen analysieren. Im Vergleich zur Kontrollgruppe reduzierten sich diese durch das EMST signifikant⁶⁸, wobei hier zwei unterschiedliche Ratingskalen verwendet wurden. In zwei der analysierten Studien wurden Verbesserungen auf der FOIS beschrieben, eine weitere Studie zeigte keine signifikante Veränderung der schluckbezogenen Lebensqualität.

Weitere Reviews zu Behandlungsmethoden beim Parkinson-Syndrom (J. Y. Kim & Kim, 2023; Wen et al., 2022) verweisen auf den positiven Effekt von EMST auf das Schlucken. Die darin erwähnten Studien sind jedoch durch die aus den bisher genannten Übersichtsarbeiten aus Tabelle 6 abgedeckt und die Ergebnisse somit schon eingeflossen.

Erwähnenswert scheint jedoch die Arbeit von Byeon (2016), in der ein reines EMST mit einem kombinierten Training, bestehend aus EMST und Training einer Abfolge von Haltungsänderungen bzw. Haltungstechniken⁶⁹, verglichen wurde. Das kombinierte Training verbesserte das Schlucken mehr als das isolierte EMST. Ferner ist eine umfassende Arbeit zu verhaltensorientierten Interventionen bei Parkinson-Syndrom von Speyer et al. (2022) interessant. In deren Auswertung zeigen sich signifikante, grosse Effektstärken von EMST gegenüber konventioneller Dysphagietherapie, wobei die Ergebnisse

⁶⁶ -0.81 ($n = 71$, 95 % CI = -1.19 bis -0.43 ; $I^2 = 39$ %, $p < .0001$) (W. Zhang et al., 2022)

⁶⁷ -0.69 ($n = 151$, 95% CI = -1.11 to -0.26 , $I^2 = 36$ %, $p < 0.001$) (Dai et al., 2024)

⁶⁸ SMD = -1.67 ($n = 63$, 95 % CI = -2.26 to -1.09 , $I^2 = 23$ %, $p < 0.001$) (Dai et al., 2024)

⁶⁹ Die Haltungstechniken umfassten Kopfvorwärtsneigung, -drehung, -neigung zur Seite, Rückwärtsneigung und gerades Liegen (Byeon, 2016).

aufgrund der kleinen Subgruppenanalyse (zwei Studien) und der Heterogenität der Arbeiten mit Vorsicht interpretiert werden müssen.

Ebenfalls scheint Atemtraining die Schluckfrequenz zu fördern. In einer Studie mit 30 tracheotomierten Personen in der neurologischen Frührehabilitation bewirkte tägliches Bagging⁷⁰ über drei Wochen nicht nur eine signifikante Verbesserung des Sauerstoffpartialdruckes, der Sauerstoffsättigung und der Atemfrequenz, sondern auch der Vigilanz sowie der Schluckfrequenz. Dieser Effekt blieb über ein Follow-up hinweg stabil (U. Frank et al., 2015).

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung der Ergebnisse der geschilderten Arbeiten scheint ein Respirationstraining die Hustenfunktion und die Schluckfunktion zwar nicht durchwegs positiv zu beeinflussen, allerdings verbessern sich diese beiden Aspekte bei einem beträchtlichen Teil der Fälle durchaus.

Bezüglich der Reinigungsfunktionen sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich, meist werden nur einzelne, allerdings wechselnde Parameter verbessert. Dies lässt sich zum Teil durch die unterschiedlichen Formen des Respirationstrainings (inspiratorisch, expiratorisch oder gemischt) erklären. In bisherigen Studien dominieren expiratorische Muskeltrainings (Dai et al., 2024), weshalb Hypothesen bezüglich einer Überlegenheit von expiratorischem gegenüber inspiratorischem Training sowie einem gemischten Training gegenüber rein expiratorischem Training erst mit zukünftigen Studien bestätigt werden müssen. Viele Einzelstudien sind aufgrund der bereits erwähnten methodischen Unterschiede teils schwer zu vergleichen, vor allem das Schlucken wurde mit mehreren möglichen Skalen gemessen. Ferner muss berücksichtigt werden, dass sich einige der Übersichtsarbeiten auf die gleichen einzelnen Studien beziehen. In Tabelle 6 sind jene Studien farblich markiert, welche die Veränderung des Schluckens mit der PAS gemessen haben. Es fällt auf, dass sich die genannten Reviews und Metaanalysen häufig auf die gleichen Arbeiten beziehen und insgesamt nur sechs Arbeiten signifikante Ergebnisse bezüglich der PAS aufwiesen. Eine weitere Erkenntnis liefert ein genauerer Blick auf die Berechnungen der drei Metaanalysen von Dai et al. (2024), Z. Wang et al. (2019) und W. Zhang et al. (2022). Mit den grösseren Stichproben konnten sie durchweg signifikante Verbesserungen der Schluckleistung (PAS) nachweisen, allerdings veränderte sich diese nach dem Training bei allen drei Studien nur um knapp einen Punkt auf der Skala (−0.69/−0.94/−0.81). Diese Veränderung scheint auf den ersten Blick zwar nicht sehr gross, aber auf der 8-stufigen PAS (vgl. Tabelle 7) stellt eine Verbesserung um einen Punkt durchaus eine klinisch relevante Veränderung dar. Die Verbesserung kann beispielsweise bedeuten, dass die Reinigungsversuche erfolgreich geworden

⁷⁰ Beim Bagging wird mithilfe eines Beatmungsbeutels bei der Inspiration zusätzliche Luft insuffliert (Hyperinflation), woraufhin eine thorakale Hustenunterstützung gegeben wird (U. Frank et al., 2015).

sind (PAS 7 → 6; 5 → 4; 3 → 2) oder dass eine vorherige Aspiration sich zu einer Penetration verbessert hat (PAS 6 → 5). Einige Studien reduzierten die Bewertung der Penetration und Aspiration auf weniger Stufen, z. B. Claus et al. (2021) auf fünf Stufen, oder sie kategorisierten die PAS in jeweils zwei Bereiche (PAS 1–2 vs. PAS 3–8) wie Plowman et al. (2019) und Silverman et al. (2017). Mit dieser Einteilung konnten in allen drei Studien keine signifikanten Veränderungen durch das Respirationstraining festgestellt werden. Es ist daher zu vermuten, dass der Einfluss des Respirationstrainings nicht ausreichend gross ist, um eine Veränderung auf diesen kategorischen oder reduzierten Skalen zeigen zu können. Auch wenn ein Respirationstraining die Schluckstörung nicht vollständig eliminieren kann, ist der Einfluss in vielen Fällen dennoch gross genug, um eine Veränderung auf der PAS zu bewirken, was für diese Fälle durchaus klinische Relevanz hat. Ebenfalls haben die Ergebnisse zum positiven Einfluss auf Residuen von Dai et al. (2024) klinische Bedeutung.

Wird ferner berücksichtigt, dass die Probandinnen und Probanden aus den Studien vorab nicht zwingend in Bezug auf eine reduzierte Respiration oder Atem-Schluck-Koordination untersucht wurden und solche Defizite weder Einschlusskriterien für die Studien waren noch als alleinige Ursache für die Schluckprobleme gesehen werden können, sind die Ergebnisse durchaus positiv zu sehen. Der Einfluss respiratorischer Fähigkeiten auf die Schluckfähigkeit scheint immerhin gross genug, dass bei gewissen Störungsbildern eine Verbesserung der Respiration auch das Schlucken in vielen Fällen positiv verändern kann.

Neben alleinigen Atemübungen sollte aber auch der Aspekt der Atem-Schluck-Koordination therapeutisch gezielter unterstützt und trainiert werden. Eine intakte Atem-Schluck-Koordination ist ein wichtiger Aspekt bezüglich der Sicherheit beim Schlucken, wie es in Kapitel 4.1.3 bereits dargestellt wurde. Man nimmt an, dass ein Abweichen vom Ex/Ex-Muster eher mit Nachteilen einhergeht, weshalb auch Martin-Harris (2008) eine Optimierung der Atem-Schluck-Koordination in der Therapie vorschlägt. Welche Vorteile ein solches Koordinationstraining haben kann, wurde nur in wenigen Arbeiten untersucht.

Curtis und Troche (2020a) betrachteten genau diesen Aspekt bei Personen mit Parkinson-Syndrom, indem sie überprüften, inwiefern verbale Aufforderungen zum Schlucken (verbal cueing) in unterschiedlichen Phasen der Respirationsphase auf die Atem-Schluck-Koordination wirken ($N_p = 25$; $n_s = 375$). Sie fanden heraus, dass die verbalen Aufforderungen die postdeglutitive Respirationsphase, das Lungenvolumen bei Reflextriggerung sowie die Apnoedauer massgeblich beeinflussten, allerdings konnte die Cues positive wie negative Veränderungen bewirken. Da die Reflextriggerung erst mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung nach Aufforderung ausgelöst wird, eigneten sich nach ihren Analysen Cues gegen Ende der Inspiration am besten. So konnte der Schluck am Anfang der Expiration ausgelöst werden und ging eher mit postdeglutitiver Expiration, höherem Lungenvolumen bei Reflextriggerung

sowie kürzerer Schluckapnoe einher. Cues gegen Ende der Expiration verschlechterten hingegen die Atem-Schluck-Koordination. Daraus kann gefolgert werden, dass die Berücksichtigung der Respirationsphase bei Reflextriggerung als Schlucktechnik die Atem-Schluck-Koordination verbessern kann. Bei verbalen Anweisungen ist die zeitliche Verzögerung der Umsetzung allerdings zu beachten.

In einer Einzelfallstudie von Curtis, Seikaly und Troche (2020) durchlief ein 68-jähriger Mann mit anoxischem Hirnschaden, gestörter Atem-Schluck-Koordination und Dysphagie ein Atem-Schluck-Training (1x/Woche 45–60 min, insgesamt vier Wochen). Hauptsächlich wurde Schlucken im optimalen Respirationsmuster und bei mittlerem Tidalvolumen im Ex/Ex-Muster geübt. Ein geringer Anteil an Schlucken wurde aber auch bewusst mit suboptimalen Mustern geübt, wodurch die kontextuelle Interferenz⁷¹ erhöht und eine Fehlerverarbeitung ermöglicht werden sollte. Das Training verbesserte die Schlucksicherheit (PAS), die Schluckeffizienz (Residuen) und den Schweregrad der Dysphagie kurz- und längerfristig.

In einer weiteren Einzelfallstudie von Curtis, Dakin und Troche (2020) absolvierte ein 81-jähriger Mann mit PD und schwerer Dysphagie ebenfalls vier Lektionen vom genannten Koordinationstraining (allerdings innerhalb von zehn Tagen) und anschliessend noch vier Lektionen eines intensiven willkürlichen Hustentrainings (vier Lektionen innerhalb von 14 Tagen). Auch hier konnte nach nur vier Sitzungen des Atem-Schluck-Trainings eine deutliche Zunahme einer günstigen Atem-Schluck-Koordination erreicht werden. Zudem nahm die Variabilität in der Umsetzung ab und die Leistung wurde konstanter, was mit der erhöhten kontextuellen Interferenz auch bezweckt wurde. Die Schlucksicherheit und -effizienz sowie der Schweregrad der Dysphagie verbesserten sich deutlich, die Effekte erwiesen sich als langfristig robust (zwei Monate). Das Hustentraining brachte ebenfalls eine kurz- und langfristige Kräftigung des willkürlichen und reflektorischen Hustens.

Die wenigen Studien hierzu liefern folglich erste Hinweise, dass ein gezieltes Optimieren der Atem-Schluck-Koordination die Schluckfähigkeit verbessern kann und solche Techniken bei Störungsbildern mit Einschränkungen in diesen Bereichen versucht werden sollten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Datenlage derzeit nicht ausreicht, um von einem eindeutigen Benefit von Respirationstrainings auf Reinigungsfunktionen und Schlucken zu sprechen. Dennoch kann nicht ignoriert werden, dass sich in einem beträchtlichen Teil der Studien einzelne Parameter der Lungenfunktion und Reinigungsfunktionen verbesserten, auch wenn die Datenlage in Bezug auf die Art der Parameter heterogen ist. Vereinzelt wurden die Verbesserungen

⁷¹ Lernen unter kontextueller Interferenz, also in unterschiedlichen Bewegungssituationen und mit vielen Kontextwechseln, hat einen positiven Effekt auf das Lernen von Fähigkeiten. Zwar führt dies initial zu langsamerem Lernen, allerdings ist die Transferleistung grösser und die Lernleistung hält länger an (Magill & Hall, 1990).

auch durch niedrigere pulmonale Komplikationen bestätigt. Nicht zu verkennen ist, dass trotz der meist kleinen Stichprobengrößen mit teils heterogener Ätiologie ein Teil der Studien eine positive Auswirkung auf die Schluckfähigkeit zeigen konnte. Alle geschilderten Metaanalysen wiesen eine signifikante Reduktion der Penetration/Aspiration nach. Weiter scheint es durch ein Respirationstraining positive Auswirkungen auf die Schluckphysiologie zu geben, d. h. einzelne Bewegungen und die Koordination verbessern sich. Zudem gibt es erste Beobachtungen, dass sich die Menge an Residuen verringert. Die Ergebnisse müssen aber aufgrund der geringen Anzahl an Studien sowie aufgrund der unterschiedlichen Ratingskalen mit Vorsicht interpretiert werden. Trotzdem lässt sich auch diese Beobachtung mit verbesserten Reinigungsfunktionen und der verbesserten Schluckfähigkeit erklären.

Erste Untersuchungen konnten zeigen, dass auch ein gezieltes Training der Atem-Schluck-Koordination eine positive Wirkung auf die Schluckfähigkeit hat. Obwohl nicht davon ausgegangen werden kann, dass bei allen untersuchten Personen eine relevante Einschränkung der pulmonalen Kapazitäten oder der Atem-Schluck-Koordination vorlag, profitierte dennoch ein beträchtlicher Anteil von isoliertem oder kombiniertem Atemtraining bzw. von einem Atem-Schluck-Training. Reinigungsfunktionen sowie die Sicherheit und Effizienz beim Schlucken konnten bei ihnen verbessert werden.

Unter der Annahme, dass auch die Atem-Schluck-Koordination spezifisch gesteuert wird, kann erwartet werden, dass sich diese vor allem dann verbessert, wenn sie explizit geübt wird, was den Einsatz solch kombinierter Schlucktechniken rechtfertigt.

Auch wenn in diesem Bereich weitere Arbeiten nötig sind, gibt es nach aktuellem Forschungsstand doch genügend Hinweise für «die enge Interaktion von Atmung und Schluckfunktion» (K. Frank & Frank, 2020, S. 23). Grundsätzlich sollte hinterfragt werden, ob Aspekte der Atmung noch gezielter in die Dysphagietherapie integriert werden können.

Die theoretische Auseinandersetzung mit der Rolle der Atmung beim Schlucken hat gezeigt, dass es sinnvoll ist, die Lungenkapazität bzw. die Hustenkapazität sowie die Atem-Schluck-Koordination in der Diagnostik und Therapie zu berücksichtigen. Bei möglichen Auffälligkeiten sollte ein Respirationstraining bzw. ein gezieltes Training der Atem-Schluck-Koordination neben den bekannten Schlucktechniken in Erwägung gezogen werden. Da pharyngeale Residuen als Risikofaktor bzw. Prädiktor für Aspirationen gelten (Eisenhuber et al., 2002; Molfenter & Steele, 2013), sollte zusätzlich zur konsequenten Anwendung von Reinigungstechniken nach Schluckereignissen auch an der Kräftigung der Lungenfunktion und somit auch von Reinigungsfunktionen gearbeitet werden.

6 Die Rolle der Atemsituation im therapeutischen Trachealkanülenmanagement bei invasiv beatmeten Patientinnen und Patienten

In den letzten Jahren wurden Therapeutinnen und Therapeuten in der Dysphagietherapie zunehmend mit tracheotomierten Patientinnen und Patienten konfrontiert. Nachdem neue Vorgehensweisen erschlossen werden mussten, erfolgte die Umsetzung erster Leitfäden nur zögerlich und mit Vorsicht, sodass Heidler im Jahr 2011 mehr Risikobereitschaft von Kolleginnen und Kollegen forderte, um eine schnellere Dekanülierung zu erreichen, «da geblockte Kanülen so viele Nachteile haben, dass eine Entwöhnung schnellstmöglich erfolgen sollte, um Langzeitkomplikationen und Spätfolgen zu minimieren» (Heidler, 2011, S. 22). Der Umgang mit Trachealkanülen (TK) ist inzwischen ein wichtiger Bestandteil in der Behandlung von Dysphagien und die Zögerlichkeit ist hoffentlich gewichen. Die Konfrontation mit zunehmenden Fällen an beatmeten Patientinnen und Patienten (Heidler & Bidu, 2015) erfordert allerdings wieder einen Abbau von Berührungsängsten und die Erweiterung des eigenen Fachwissens. Spezielle Aspekte der Beatmungssituation müssen berücksichtigt werden, jedoch sind die grundlegenden Prinzipien und Vorgehensweisen des TK-Managements mit einigen Anpassungen an die Beatmungssituation die gleichen wie im TK-Management ohne Beatmung.

In diesem Kapitel werden vor allem die speziellen Aspekte der Atemsituation mit Trachealkanüle und im Weaningprozess analysiert und besprochen. Der Fokus liegt auf der Bedeutung des TK-Zustandes mit oder ohne Anwesenheit des Ventilators, der daraus resultierenden Atemsituation bzw. Luftstromführung sowie den damit verbundenen Auswirkungen für das Sprechen und Schlucken. Grundlagen wie die Pflege- und Hygienemaßnahmen, die grundsätzliche Vorgehensweise beim TK-Management, Algorithmen und einzelne Schritte des TK-Managements wie Entblocken sowie diverse diagnostische und therapeutische Schritte usw. finden zwar teilweise Berücksichtigung, werden aber nicht grundlegend und umfassend aufgearbeitet. Für Grundlagen und wichtige Prinzipien zum TK-Management wird auf Ledl et al. (2023), Schröter-Morasch (2022b) und Ledl und Ullrich (2022) verwiesen. Ein sehr umfassender und differenzierter Algorithmus, der das komplexe TK-Management auch im Rahmen des Weanings differenziert abbildet, wurde von Schwegler (2022) veröffentlicht und bietet einen ausführlichen, praxisorientierten Leitfaden für das therapeutische Handeln.

6.1 Wichtige Prinzipien eines interprofessionellen Trachealkanülenmanagements

Wie eingangs geschildert wurde, liegt in Fällen prolongierten Weanings eine hohe Rate an Dysphagien vor (Pohl et al., 2016). Die mit der Schluckstörung verbundenen Aspirationen verursachen häufig ein verlängertes oder gescheitertes Weaning, eine erfolglose Dekanülierung oder wiederkehrende Infektionen der unteren Atemwege (Schönhofer et al., 2019, S. 774). Ein möglichst rasches Weaning

sowie eine erfolgreiche Dekanülierung sind daher primäre Therapieziele und verbessern das Outcome der Betroffenen (Pohl et al., 2016).

Auf dem Weg dorthin ist ein optimales TK-Management unabdingbar. Egal, ob während des Beatmungs-Weanings oder nach dessen Abschluss unter Spontanatmung: Die Betroffenen durchlaufen unterschiedliche Phasen. Das Beatmungs-Weaning, das Trachealkanülen-Weaning und das Dysphagiemanagement müssen daher koordiniert und zusammen erfolgen (Ledl et al., 2023). Etabliert haben sich interprofessionelle Teams, bestehend aus medizinischem Personal, Pflegekräften, ggf. Gesundheitsfachkräften mit Spezialisierung auf Atemwegserkrankungen und Beatmung (Respiratory Care Practitioner), Fachpersonen aus der Logopädie, Physiotherapie und ggf. der Ernährungsberatung, welche gemeinsam am TK-Management arbeiten. Mehrere Reviews kommen zu dem Schluss, dass die Einführung dieser interprofessionellen Teams positive Wirkung zeigt, z. B. einen häufigeren Gebrauch von Sprechventilen, ein früheres Ermöglichen von Kommunikation für die betroffene Person, eine kürzere Zeit bis zur Dekanülierung, eine Reduktion von ungewünschten Ereignissen und die Verkürzung der Aufenthaltsdauer im Krankenhaus oder auf der Intensivstation (Garrubba et al., 2009; Mussa et al., 2021; Ninan et al., 2023; Speed & Harding, 2013).

Die Einführung von TK-Beauftragten, die sich unter anderem speziell um Lagekontrollen der Trachealkanülen sowie um Fälle mit Hypergranulationen, anderen Reizungen oder Wundheilungsstörungen kümmerten, führte bei Ledl et al. (2023, S. 700) zu einem Rückgang der Komplikationen durch die Trachealkanüle, zu einer Reduktion des TK-Verbrauchs sowie zu einer höheren Dekanülierungsrate. Auch die Einführung von standardisierten Weaning- und Dekanülierungsprotokollen zeigte positive Auswirkungen auf die Zeit bis zur Dekanülierung (Mussa et al., 2021). Die Ergebnisse machen deutlich, dass ein fundiertes und standardisiertes therapeutisches TK-Management nicht nur für die Betroffenen von Vorteil ist, sondern auch ökonomische Konsequenzen in Bezug auf Kosten und Ressourcen hat.

Ein grosses Problem liegt allerdings darin, dass sich kaum Dekanülierungsalgorithmen finden lassen, die statistisch sauber überprüft oder mit anderen Strategien verglichen wurden (Singh et al., 2017). Mehrere Übersichtsarbeiten kommen weiter zu dem Schluss, dass international kein einheitliches standardisiertes Vorgehen im TK-Management existiert, sodass hier in der Praxis sehr unterschiedliche Vorgehensweisen zu beobachten sind. Zum Teil ist dies der fehlenden, qualitativ hochwertigen Forschung zum Dekanülierungsmanagement geschuldet, aber zum Teil auch einer unzureichenden Ausbildung bzw. Weiterbildung und fehlender Erfahrung in diesem Bereich (Kutsukutsa et al., 2019; Ninan et al., 2023; Whitmore et al., 2020). Einige Grundprinzipien im Vorgehen haben sich klinisch und empirisch bewährt, allerdings gibt es durchaus Abweichungen in der Umsetzung (Schwegler, 2022; Trouillet et al., 2018; Whitmore et al., 2020; Zhou et al., 2022).

Auf den ersten Blick scheinen die Aufgaben sehr einfach zu sein. In Bezug auf die Atmung muss der Weg von der maschinellen Atmung oder Atemunterstützung hin zur Spontanatmung geschaffen werden. In Bezug auf die Trachealkanüle muss man vom Zustand der geblockten Trachealkanüle hin zum Zustand der entblockten Trachealkanüle und schliesslich zur Dekanülierung gelangen (Heidler, 2011; Ledl et al., 2023). «Dazwischen liegen jedoch zahlreiche Zwischenstufen» (Heidler, 2011, S. 23) und Voraussetzungen, die unter Umständen erst erreicht werden müssen.

Grundsätzlich wird infolgedessen zwischen zwei verschiedenen Dekanülierungsstrategien unterschieden. Die *spontane Dekanülierung* erfolgt kurze Zeit nach dem erfolgreichen Weaning und unmittelbar nach einem erfolgreichen Okklusionsversuch oder einer unauffälligen FEES, wie dies bereits in Kapitel 2.2.2 besprochen wurde. Bei der *schrittweisen Dekanülierung* müssen unter Umständen mehrfach Entblockungs- oder Okklusionsversuche (vgl. Kapitel 6.2) durchgeführt werden. Im Falle von Fehlversuchen sind Ursachen hierfür ggf. diagnostisch zu klären, und bei Bedarf müssen Anpassungen der Trachealkanüle (Downsizing, Wechsel auf TK ohne Cuff) erfolgen. Ein stufenweises Ausweiten der Entblockungs- oder Okklusionsphasen (z. B. 30 min, 2 × 1 h, 2 × 2 h, 2 × 4 h, 12 h, 24 h) sollte dann in Abhängigkeit von der Aspirationsneigung und den pulmonalen Kapazitäten geschehen, bis ein längerer Zeitraum möglich ist. Dazu müssen in der Therapie je nach Einzelfall willkürliche Reinigungsfunktionen, das Speichelmanagement sowie die Kraft der Atemmuskulatur gefördert werden, wodurch auch das Riechen und die verbale Kommunikation verbessert werden (Ledl et al., 2023). Wie lange eine Patientin oder ein Patient Entblockungs- oder Okklusionsphasen für einen Dekanülierungsversuch schaffen muss, wird sehr unterschiedlich gehandhabt und ist vermutlich der diversen Klientel mit den unterschiedlichen Vorgeschichten bezüglich Beatmungszeiten, ICU, Atemfunktion, Sekretmanagement usw. geschuldet (Singh et al., 2017). Die Zeiten variieren hier zwischen vier Stunden mit Sprechventil und 72 Stunden mit Verschlusskappe (Enrichi et al., 2017; Singh et al., 2017; Zhou et al., 2022). Da es nicht nur um die Atemarbeit geht, sondern auch um ein effizientes Sekretmanagement, sollte auch die Absaugfrequenz in dieser Zeit niedrig sein ($< 4 \times /24 \text{ h}$) (Ledl et al., 2023; Singh et al., 2017). Welche Bedeutung und Anforderungen die unterschiedlichen TK-Zustände für das Schlucken und die Atemarbeit mit sich bringen, wird an späterer Stelle noch ausführlich besprochen (Kapitel 6.2).

Eine retrospektive Studie von O. Cohen et al. (2016) verdeutlicht, dass bei Personen mit erfolgreichem Weaning und ohne Schluckauffälligkeiten⁷² eine spontane Dekanülierung nach FEES eher Vorteile gegenüber der Dekanülierung nach schrittweiser Steigerung der Entblockungszeiten hat. Die Dekanülierung und Dauer der Hospitalisierung waren dort niedriger und durch die endoskopische

⁷² Es ist zu beachten, dass O. Cohen et al. (2016) nicht angeben, wie die Schluckfähigkeit beurteilt wurde.

Überprüfung von Stenosen war ebenfalls die Komplikationsrate geringer. Der in Kapitel 2.2.2 erwähnte Dekanülierungsalgorithmus von Warnecke et al. (2013) (SESETD) zeigt, dass bei unauffälligem Sekretmanagement, spontanem Speichelschlucken und laryngealer Sensibilität in der FEES eine spontane Dekanülierung relativ sicher möglich ist. Auch in einer Untersuchung (Muhle et al., 2021) mit schwerkranken neurologischen Patientinnen und Patienten ($N = 377$) konnten 60.2 % mithilfe der SESETD dekanüliert werden: 15.6 % innerhalb von 24 h nach erfolgreichem Weaning, 44.6 % im weiteren Verlauf bei Wiederholung der SESETD. In ihrer Studie war die Rekanülierung mit 3.5 % relativ gering und akzeptabel, wobei die Länge der mechanischen Beatmung der einzige signifikante Prädiktor für ein Scheitern war. Muhle et al. (2021) kommen zu dem Schluss, dass die SESETD eine sichere, effiziente, moderat aggressive Methode für eine schnelle Dekanülierung ist. Allerdings betonen sie, dass nicht nur eine unnötige Verlängerung der Kanülierung Komplikationen generieren kann, sondern auch eine gescheiterte Dekanülierung Probleme mit sich bringt. Es müsse daher bei jedem Dekanülierungsalgorithmus eine Balance zwischen schnellem und eher vorsichtig konservativem Vorgehen gefunden werden, und es sei unmöglich, in jedem Einzelfall gleich vorzugehen.

Als Ursachen für eine gescheiterte Dekanülierung werden am häufigsten Dysphagien, insuffizientes Sekretmanagement, insuffizienter Hustenstoss, pulmonale Infekte sowie respiratorische Insuffizienz nach Langzeitbeatmung sowie Atemwegsstenosen genannt (Bishnoi et al., 2022; Choate et al., 2009; Ghiani et al., 2022; Medeiros et al., 2019). Es scheint daher logisch und sinnvoll, bei Patientinnen und Patienten mit längeren Beatmungsdauern, bei neuromuskulären Schwächen, z. B. bei Intensive Care Unit Acquired Weakness (ICUAW), oder jenen mit insuffizientem Speichel- und Sekretmanagement bzw. bei schwerer Dysphagie einen schrittweisen Dekanülierungsprozess vorzuziehen (Ledl et al., 2023; Singh et al., 2017).⁷³

Ebenfalls uneinheitlich sind Aussagen zur Schluckfähigkeit als Voraussetzung für die Dekanülierung. Während von einigen Autorinnen und Autoren ein sicheres Schlucken von Konsistenzen (breiig, flüssig) und Speichel/Sekret gefordert wird (Trouillet et al., 2018), reduzieren sich andere rein auf das Speichel- und Sekretmanagement (Dziawas & Pflug, 2020; Enrichi et al., 2017; Ledl & Ullrich, 2022, S. 538; Zhou et al., 2022) und betonen, dass eine orale Ernährung keine Voraussetzung für eine Dekanülierung ist

⁷³ Während der COVID-19-Pandemie zeigte sich, dass es Krankheitsbilder gibt, die spezielle Sicherheitsmassnahmen (Schutzkleidung, spezielle geschlossene Absaugvorrichtungen usw.) erfordern, um Ansteckungen mit Aerosolen im TK-Management für alle Beteiligten so weit wie möglich zu verhindern. Auch wurden bewährte Algorithmen und Dekanülierungsprotokolle angepasst und speziell für diese Klientel erarbeitet Cavalli et al. (2023); Goldman et al. (2020); Rovira et al. (2021). Auch unter diesen besonderen Bedingungen sollen die frühe physiologische Luftstromführung, also das Entblocken mit Sprechventil oder Kappe (Kapitel 6.2), sowie das Ermöglichen verbaler Kommunikation umgesetzt werden. Rovira et al. (2021) empfehlen, bezüglich der ersten Entblockungsversuche individuell abzuwägen, ob diese so früh wie möglich oder erst nach beendetem Weaning erfolgen.

(Schwegler, 2022, S. 108). Einige Empfehlungen überlassen es der Interpretation der Praktizierenden, was genau effektives Schlucken ist bzw. wie eine relevante Schluckstörung oder Aspiration zu definieren ist, die einer Dekanülierung im Wege steht (Schönhofer et al., 2019; Singh et al., 2017). Da im ursprünglichen SESETD von Warnecke et al. (2013) alle Personen, die in den ersten drei Schritten der FEES (Sekretmanagement, spontane Speichelschlucke und laryngeale Sensibilität) erfolgreich waren, auch den Breischluck und Flüssigkeitsschluck erfolgreich meisterten, wurde das Schlucken von Konsistenzen später aus dem Algorithmus gestrichen (Warnecke et al., 2020). Auch wenn die Fähigkeit, Konsistenzen zu schlucken, sich nicht mit dem Speichelmanagement deckt, können ein Schlucktraining und Kostaufbau dennoch gut ohne Trachealkanüle stattfinden (Schwegler, 2022, S. 108). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass für die Dekanülierung ein effektives Speichel- und Sekretmanagement ausreicht.

Um eine weitere häufige Ursache für ein Scheitern der Dekanülierung zu verringern, wird vor der Dekanülierung zusätzlich eine routinemässige transstomatal-endoskopische Überprüfung potenzieller Atemwegsstenosen rund um das Tracheostoma empfohlen. Ebenso sollten während des schrittweisen Dekanülierungsprozesses regelmässige Lagekontrollen der Trachealkanüle stattfinden (O. Cohen et al., 2016; Dziewas & Pflug, 2020; Ledl et al., 2023). Wie bereits erwähnt, kann diese Massnahme Komplikationen durch Stenosen verringern (Ledl et al., 2023).

Übereinstimmend mit der geschilderten Bedeutung von Schluckfähigkeit, Atemwegsstenosen und Okklusionsversuchen analysierten Enrichi et al. (2017) Prädiktoren für eine erfolgreiche Dekanülierung ($N = 74$ nach Schädelhirnverletzung). Die höchste Sensitivität (100 %) und Spezifität (82 %) ermittelten sie für die Kombination folgender Voraussetzungen: Okklusionsphase für 72 h möglich, Durchgängigkeit der Atemwege (FEES) und keine Schluckstörung (FEES und Blue Dye Test).

Auf die Rolle des reflektorischen und willkürlichen Hustens als wichtige Schutz- und Reinigungsfunktion für die Lunge und somit als bedeutendes Kriterium für die Dekanülierung, wurde bereits ausführlich eingegangen (Kapitel 2.1.6 und Kapitel 2.2.2). Neben dem reflektorischen Hustenreflex (Trouillet et al., 2018; Warnecke et al., 2013) hat sich die instrumentelle Überprüfung der Hustenkraft, meist als PCF, unterdessen in vielen Dekanülierungsalgorithmen etabliert (Medeiros et al., 2019; R. B. Mitchell et al., 2013; Santus et al., 2014; Schönhofer et al., 2019; Schwegler, 2022; Singh et al., 2017), ebenso wie allfällig nötige atemtherapeutische Massnahmen bei eingeschränkter Lungenfunktion (K. Frank & Frank, 2020; Schönhofer et al., 2019, S. 773; Schwegler, 2022, S. 108).

Wenn das Beatmungs-Weaning noch nicht abgeschlossen ist, lassen sich sehr unterschiedliche Strategien bezüglich des Zeitpunktes für erste Entblockungsversuche finden. Gleiches gilt für das Atem-, Sekret- und Schlucktraining unter physiologischer Luftstromführung. Einige raten, mit dem Entblocken erst nach erfolgreichem Weaning zu beginnen (Alnijoumi & Whitacre, 2022; R. B. Mitchell

et al., 2013). Andere plädieren für Entblockungsversuche und -training während des diskontinuierlichen Weanings innerhalb von Spontanatemphasen (Hernandez et al., 2013; Trouillet et al., 2018). Da es beim kontinuierlichen Weaning aber keine Spontanatemphasen gibt, sollte insbesondere bei langwierigen Weaningprozessen auch ein frühzeitiges Entblocken mit beispielsweise Inline-Sprechventilen in Betracht gezogen werden, sofern die Voraussetzungen hierfür erfüllt sind (vgl. Kapitel 6.3) (Schwegler, 2022; Whitmore et al., 2020).

Ob das Entblocken eher als ein früher oder ein später Schritt im Weaningprozess angesehen wird, variiert laut Whitmore et al. (2020) sowohl zwischen als auch innerhalb einzelner Länder, ebenso wie andere Aspekte im Weaningprozess. Die Befürchtung, ein frühes Entblocken im Weaning könne zu mehr Komplikationen führen, sehen sie als unbegründet. Eine Umfrage von Gesundheitspersonal ($N = 243$) in insgesamt 25 Ländern zeigt, dass der Zeitpunkt des ersten Entblockens nicht pauschalisiert werden kann. Mehrheitlich gaben die Befragten an, dieser hänge von der Patientin bzw. dem Patienten (50 %) sowie dem verantwortlichen medizinischen Personal (9 %) ab. Immerhin 21 % gaben an, in den ersten fünf Tagen nach der Tracheotomie erste Entblockungsversuche innerhalb des Weanings zu probieren. Dass auch die Schlucktherapie trotz mechanischer Beatmung schon früh auf der Intensivstation erfolgen kann und das Entblockungstraining mit Inline-Ventil zudem zu einer frühzeitigen Oralisierung beitragen kann, wurde von K. A. Rodrigues et al. (2015) bestätigt ($N = 14$).

Neben der frühzeitigen Förderung der Schluckfähigkeit (Heidler et al., 2014) ist ein weiteres Argument für frühe Entblockungsversuche, dass eine Tracheotomie oder invasive Beatmung unter anderem durch die ständige mechanische Reizung der vorhandenen Trachealkanüle oder des Tubus sowie durch die notwendigen Absaugmanöver zur Hypersekretion führt (vgl. Kapitel 2.1.6). Aufgrund der eingeschränkten mukoziliären Clearance sind mehr Absaugmanöver nötig, wodurch die Hypersekretion wiederum verstärkt wird (K. Frank & Frank, 2020, S. 21). Dies verdeutlicht, dass es auch für die Lungenfunktion förderlich sein kann, wenn frühzeitig und – sofern dies die Aspirationsneigung und Lungenfunktion zulassen – so oft wie möglich eine physiologische Luftstromführung und Reinigungsfunktionen wiederhergestellt werden.

Für ihren Scoping Review werteten Whitmore et al. (2020) 102 Artikel (bis Oktober 2019) zum TK-Management auf der Intensivstation aus und prüften diese auf vorhandene Evidenz oder Forschungslücken zum TK-Management. Ihre Hauptfragen bezogen sich neben Strategien zum Weaning auch auf das Cuff-Management, den Wechsel der Trachealkanülen sowie die Optimierung von Sprechen, Kommunikation und Schlucken. Sie stellen fest, dass trotz des langsam wachsenden Interesses für diesen Bereich und trotz der Zunahme an Forschungsarbeiten in den letzten zehn Jahren die Evidenz sehr eingeschränkt ist und vor allem in Bezug auf die Qualität der Arbeiten stark begrenzt

ist. Sie kritisieren v. a. den Mangel an klinischen Studien. Bezüglich des TK-Managements sehen sie jedoch für einige relevante Aspekte durchaus Evidenzen:

- ein frühes Entblocken der TK unterstützt die verbale Kommunikation und das Schlucken; es kann die Länge des Aufenthaltes, die Zeit bis zur Dekanülierung sowie das Risiko für Pneumonien reduzieren;
- ein früher TK-Wechsel (Downsizing, Ersatz durch TK ohne Cuff) kann einen früheren Einsatz von Sprechventilen, eine frühere Oralisierung sowie einen kürzeren Aufenthalt auf der Intensivstation mit sich bringen;
- *Inline*-Sprechventile (vgl. Kapitel 6.3) können bei beatmeten Personen den Gasaustausch und die alveolare Rekrutierung (Wiederöffnung) verbessern; sie verbessern das Sprechen und die Kommunikation und wirken sich positiv auf die Lebensqualität der Betroffenen aus;
- die Schluckphysiologie kann durch die Blockung und den Cuff-Druck negativ beeinflusst werden; im Vergleich zu Personen mit Trachealkanüle auf der Normalstation erhalten auf der Intensivstation deutlich weniger eine orale Nahrungszufuhr (Whitmore et al., 2020, S. 4).

Alle gefundenen Evidenzen sprechen für einen Vorteil des frühen Entblockens, egal ob mit oder ohne Beatmung. Das Ziel von Entblockungs- oder Okklusionsversuchen ist die physiologische Luftstromführung, die für das Schlucken eine bedeutsame Funktion hat (Ledl et al., 2023). Aber auch auf die Atemsituation bzw. auf die Lungenfunktion und somit auf das Weaning hat diese einen erheblichen Einfluss. Daher ist es unerlässlich, die Auswirkungen der unterschiedlichen Zustände einer TK und der Beatmung auf Luftstromführung, Atmung, Sprechen, Schlucken und Lungenfunktion genauestens zu verstehen und zu berücksichtigen.

6.2 Bedeutung der physiologischen Luftstromführung unter Spontanatmung

Ist die Versorgung mit einer Trachealkanüle indiziert, so ist in den überwiegenden Fällen – zumindest zu Beginn – auch eine Blockung⁷⁴ der Trachealkanüle nötig, z. B. wegen einer bestehenden Beatmungspflicht oder um Aspirationen weitestgehend zu minimieren (Schröter-Morasch, 2022b, S. 250f.). Es ist allerdings zu beachten, dass ein vollständiges Verhindern von Aspirationen nicht möglich ist, da es durch das aufgestaute Sekret oberhalb des Cuffs entlang einer Falte des Cuffs oder durch anatomische Unebenheiten zu Mikroaspirationen kommt (Oikkonen & Aromaa, 1997; Winklmaier et al., 2006; Winklmaier et al., 2005).

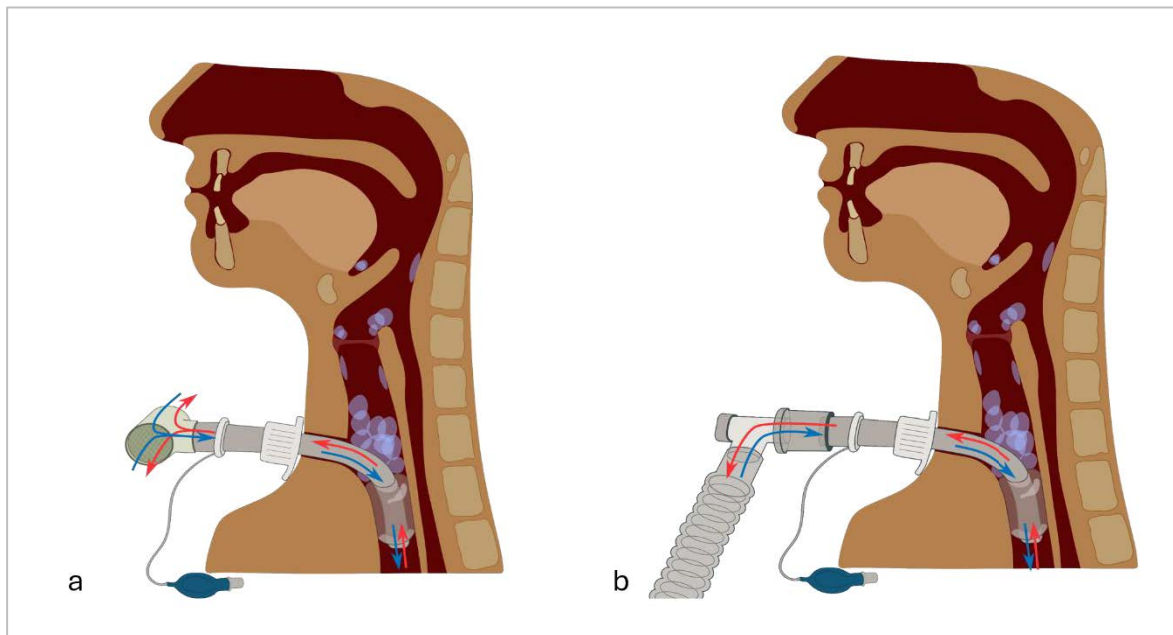
Der geblockte Trachealkanülenzustand verändert die physiologische Luftstromführung. Durch das aufgeblasene Cuff erfolgt sowohl die Inspiration als auch die Expiration über die Trachealkanüle (vgl.

⁷⁴ Der Cuffdruck muss regelmässig geprüft und nachkorrigiert werden und sollte 25 mm Hg nicht überschreiten, da es sonst zu Verletzungen der Trachealwand kommt (Schröter-Morasch, 2022b, S. 252).

Abbildung 14a). Die oberen Atemwege oberhalb des Cuffs werden umgangen, also ein Teil der Trachea, der Larynx, der Laryngo-, Oro- und Nasopharynx. Sowohl die Geruchswahrnehmung als auch die Phonation und somit die verbale Kommunikation sind nicht möglich (Schröter-Morasch, 2022b, S. 250), die Betroffenen können lediglich nonverbal oder mit Pseudoflüstern kommunizieren. Letzteres ist ein Flüstern mit der vorhandenen Mundluft, aber ohne Atemstrom.

Abbildung 14

Luftstromführung bei geblockter Trachealkanüle spontanatmend (a) und an der Beatmung (b)



Anmerkungen. Die Inspiration (blaue Pfeile) und Expiration (rote Pfeile) gehen über die Kanüle. An der Beatmung strömt die expiratorische Luft über den Beatmungsschlauch und schliesslich über ein Expirationsventil nach aussen. Da die oberen Atemwege umgangen werden, kann das dargestellte Sekret oberhalb des Cuffs bei geblockter Trachealkanüle nicht durch Reinigungsfunktionen entfernt werden (Eigene Darstellung in Anlehnung an Schröter-Morasch, 2022b, S. 251; Schwegler, 2022, S. 28).

Der für das Husten nötige Druckaufbau in den unteren Atemwegen, der normalerweise durch Verschluss der Stimmlippen aufgebaut wird, ist bei geblockter Trachealkanüle nicht möglich, da die Luft über das Kanülenrohr permanent entweichen kann. Die Betroffenen können lediglich schnell und kräftig ausatmen, was auch als *Huffen* bezeichnet wird (Schwegler, 2022, S. 71f.). Unabhängig von der Sensibilität sind Reinigungsmechanismen oberhalb des Cuffs durch den fehlenden Luftstrom nicht mehr möglich, sodass mögliches Sekret oder Aspirationen nicht entfernt werden können (Ledl et al., 2023). Zudem kann es durch den anhaltenden Sekretaufstau sowie den fehlenden Luftfluss zu Sensibilitätsbeeinträchtigungen kommen. Ohne Luftfluss werden Druck- und Chemorezeptoren zu wenig stimuliert (Larminat et al., 1995), was eine Deprivation von Schluck- und Hustenreflex verursachen kann (Heidler et al., 2014, S. 1). Weiter zeigt sich bei geblockter TK eine schlechtere

Koordination zwischen dem Stimmbandschluss und der Schluckapnoe, d. h. die Atem-Schluck-Koordination ist schlechter (Shaker et al., 1995).

Beim TK-Management für spontanatmende Personen ist demzufolge die Wiederherstellung einer möglichst physiologischen Luftstromführung (PLF) ein wichtiges Prinzip im therapeutischen TK-Management (Ledl et al., 2023). Nach dem Prinzip «use it or lose it» (Goff & Patterson, 2019, S. 38) soll die PLF einer negativen Verstärkung der Schluckstörung durch die Dauerblockung entgegenwirken (Schwegler, 2022, S. 73) und kann auch die Schluckfrequenz verbessern (Seidl et al., 2005).

Die physiologische Luftstromführung kann wiederhergestellt werden, indem das Cuff unter Absaugkontrolle entblockt wird und die Trachealkanüle mit einem Sprechventil, mit einer Verschlusskappe oder sogar mit dem Finger verschlossen wird. Bei den sogenannten Sprechventilen handelt es sich um Ventile, durch die die Luft nur nach innen fließen kann. Bei der Expiration verschliesst es sich.⁷⁵ Demzufolge erfolgt bei entblockter Trachealkanüle mit Sprechventil die Inspiration wegen des geringeren Widerstandes über die Trachealkanüle, die Expiration kann aber physiologisch über Mund und Nase stattfinden (Abbildung 15a). Bei Verwendung einer Verschlussklappe oder eines Fingers wird die Trachealkanüle hingegen ganz verschlossen. Sowohl die Inspiration als auch die Expiration erfolgen nun physiologisch über Mund und Nase (Abbildung 15c). Mit Sprechventil und Verschlusskappe kann demnach der Ausatemstrom durch den Stimmbandschluss blockiert werden, sodass ein subglottischer Druckaufbau für Reinigungsfunktionen und Husten wieder möglich ist. Auch Sprechen sowie Geruchs- und Geschmackswahrnehmung sind wieder möglich, die Sensibilität wird erhalten oder erneut geschult (Schwegler, 2022, S. 75ff.).

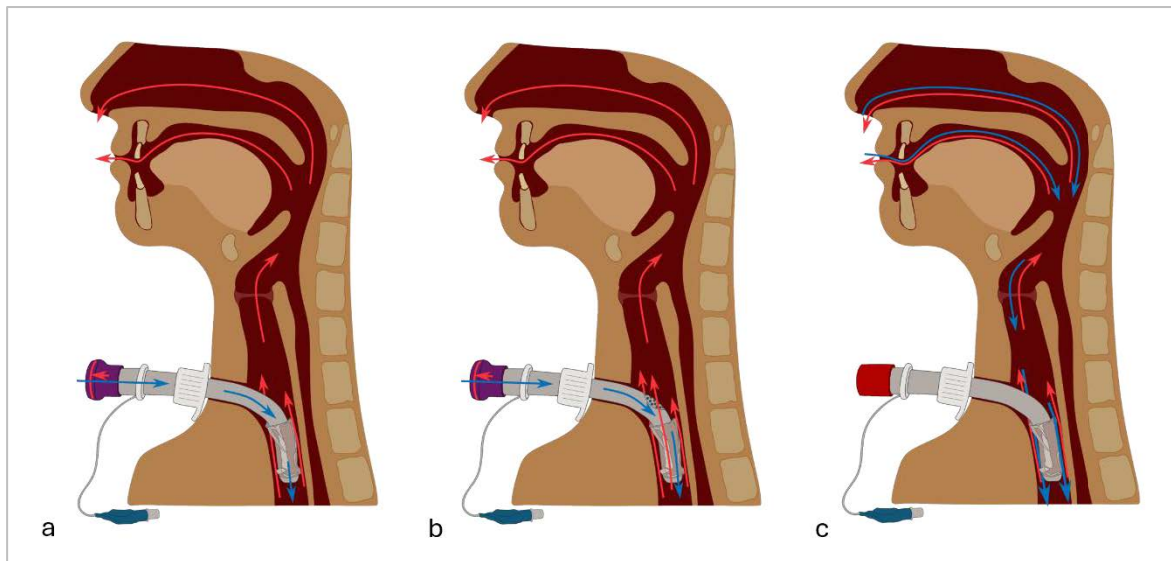
Bei der Verwendung von Sprechventilen und Verschlusskappen müssen mehrere Aspekte beachtet werden, die besonders für Personen mit schlechter Lungenfunktion von grosser Bedeutung sind. Zum einen sollte zwischen Trachealkanüle und Luftröhre genügend Platz sein, damit die Expiration ohne erhöhten Widerstand/Druck (intrinsic-PEEP) und ohne Anstrengung stattfindet, ansonsten droht die respiratorische Erschöpfung. Eine Messung des Ausatemdrucks mit einem Manometer zwischen Trachealkanüle und Sprechventil kann hier Klarheit verschaffen (Schwegler, 2022, S. 75ff.). Bei Werten < 5 cmH₂O kann ein Sprechventil bedenkenlos verwendet werden, bei 5–10 cmH₂O kurzzeitig. Bei Werten > 10 cmH₂O sollte es nicht verwendet werden (Johnson et al., 2009). Im Falle eines erhöhten Ausatemdrucks müssen Ursachen (Stenosen, zu grosse TK usw.) abgeklärt und behoben werden. Neben allfälligen medizinischen Massnahmen kann ein Wechsel zu einer Trachealkanüle mit kleinerem Aussendurchmesser (Downsizing) – aber ausreichendem Innendurchmesser – oder zu einer fenestrierten doppelumigen Trachealkanüle nötig sein (Schwegler, 2022, S. 81ff.). Bei einer

⁷⁵ Im Englischen werden sie daher häufig als *one-way speaking valve* bezeichnet (Skoretz et al., 2020).

fenestrierten Trachealkanüle gibt es an der maximalen Biegung des Kanülenrohrs eine Phonationsöffnung auf der konvexen Seite (Abbildung 15b). Durch eine zusätzliche Innenkanüle kann diese Öffnung freigelegt oder verschlossen werden, sodass bei Öffnung mehr Luft nach oben ausgeatmet werden kann (Schröter-Morasch, 2022b, S. 247f.). Die optimale Lage der Fenestrierung ist allerdings nicht immer gegeben, was ihre Funktion aufheben und zu Granulationen führen kann. Eine endoskopische Lagekontrolle ist daher angeraten (Pandian et al., 2019; Schwegler, 2022, S. 39ff.).

Abbildung 15

Luftstromführung bei entblockter Trachealkanüle mit Sprechventil (a), mit zusätzlicher Fenestrierung (b) und mit Verschlusskappe (c)



Anmerkungen. Blaue Pfeile markieren den Luftfluss bei Inspiration, rote Pfeile den Luftfluss bei Expiration (Eigene Darstellung in Anlehnung an Ledl & Ullrich, 2022, S. 532; Schwegler, 2022, S. 39, 59, 61).

Bei Verwendung einer Verschlusskappe muss zudem der Widerstand bei Inspiration kontrolliert werden, da diese dann rein über die oberen Atemwege und um die TK herum stattfindet. Der Weg der Inspiration wird so normalisiert, ist aber ca. doppelt so gross wie mit Sprechventil. Der Totraum für die Ventilation wird dadurch ebenfalls verdoppelt und eine höhere Atemarbeit ist erforderlich. Im Vergleich zum Sprechventil ist die Atemarbeit mit Verschlusskappe also nochmals höher. Diese Simulation von weitestgehend normaler Atemarbeit kann allerdings für Personen mit grenzwertiger Lungenfunktion einen entscheidenden Unterschied machen. Mithilfe eines digitalen Manometers zwischen Verschlusskappe und Trachealkanüle kann der inspiratorische Widerstand gemessen werden (Schwegler, 2016, S. 61ff.), er sollte nicht tiefer als $-3 \text{ cmH}_2\text{O}$ liegen (Johnson et al., 2009). Gewisse Probleme, die mit Sprechventil nicht auffallen, können bei Verwendung einer Verschlusskappe zum Vorschein kommen, z. B. ein inspiratorischer Stridor aufgrund von Atemwegshindernissen durch

tracheale Stenosen, beidseitige Stimmbandparesen, das Schlafapnoesyndrom⁷⁶ usw. Ledl et al. (2023) empfehlen daher sogar bei jedem TK-Wechsel bzw. bei Dekanülierung einen digitalen Zuhalteversuch des Tracheostomas, ggf. mit nasalem Zuhalteversuch, oder eine transstomatale endoskopische Kontrolle, um einen möglichen in- oder expiratorischen Stridor aufzudecken.

Die geschilderten physiologischen Anforderungen an die Verwendung von Sprechventilen und Verschlusskappen decken sich mit den gefundenen Prädiktoren für eine erfolgreiche Dekanülierung, bzw. mit den Risikofaktoren für einen gescheiterten Dekanülierungsversuch (vgl. Kapitel 6.1). Mit Blick auf die unterschiedlichen letzten Schritte in den vielen Dekanülierungsalgorithmen kann zusammenfassend gesagt werden, dass ein obligatorischer Okklusionsversuch ein sinnvoller, wichtiger und wenig aufwendiger Zwischenschritt ist. Das Voranschreiten im Dekanülierungsmanagement muss nicht nur unter Berücksichtigung der individuellen Aspirationsneigung und des Sekretmanagements stattfinden. Ebenfalls zu beachten ist, inwiefern sich die Atemarbeit mit Art des Trachealkanülenzustandes ändert und von den Betroffenen bewältigt wird. Aus Rücksicht auf eine mögliche respiratorische Erschöpfung sind längere obligatorische Okklusionsphasen als Zwischenschritt vor der Dekanülierung durchaus gerechtfertigt und im Falle von respiratorischen Beeinträchtigungen sehr sinnvoll.

6.3 Möglichkeiten einer physiologischen Luftstromführung bei invasiver Beatmung

Die in Kapitel 6.2 geschilderten Auswirkungen und negativen Folgen einer dauergeblockten Trachealkanüle sind selbstredend auch unter invasiver Beatmung ein Problem, da die Luftstromführung auch hier bei geblockter Trachealkanüle ausschliesslich über das Kanülenrohr erfolgt (vgl. Abbildung 14b). Vor allem bei langwierigen Weaningprozessen sollte daher ein paralleles Weaning von der Beatmung und der Trachealkanüle erwogen werden. Eine normale oder annähernd normale Luftstromführung kann unter bestimmten Voraussetzungen auch in einer Beatmungsphase hergestellt werden bzw. bei Personen, die nicht vom Beatmungsgerät diskonnektiert werden können. Dabei geht es nicht nur um das Minimieren und Verhindern von negativen Auswirkungen der Dauerblockung (Schwegler, 2022, S. 144), sondern auch um das Ermöglichen von verbaler Kommunikation, oraler Nahrungsaufnahme und um die Verbesserung der Lebensqualität (Whitmore et al., 2020).

Die verschiedenen Lösungen haben unterschiedliche Vor- und Nachteile und erfordern verschiedene Voraussetzungen. Je nach Allgemeinsituation, Sekretsituation, Aspirationsneigung sowie Lungen- und

⁷⁶ Bei Anwendung einer Verschlusskappe in der Nacht ist daher dringend eine Überwachung der Atmung nötig, insbesondere das CO₂ sollte kontrolliert werden (Schwegler, 2022, S. 106). Im Idealfall erfolgt eine Polysomnographie (Bashir et al., 2018).

Beatmungssituation bergen sie unterschiedliche Risiken, die gegeneinander abgewogen werden müssen und ein engmaschiges, angepasstes Alarmmanagement sowie Monitoring erfordern (Schönhofer et al., 2019; Schwegler, 2022; Windisch et al., 2017). Ferner sind differenzierte Kenntnisse zu den verwendeten Produkten, den nötigen Anpassungen des Beatmungsgerätes sowie den medizinischen Risiken unentbehrlich.

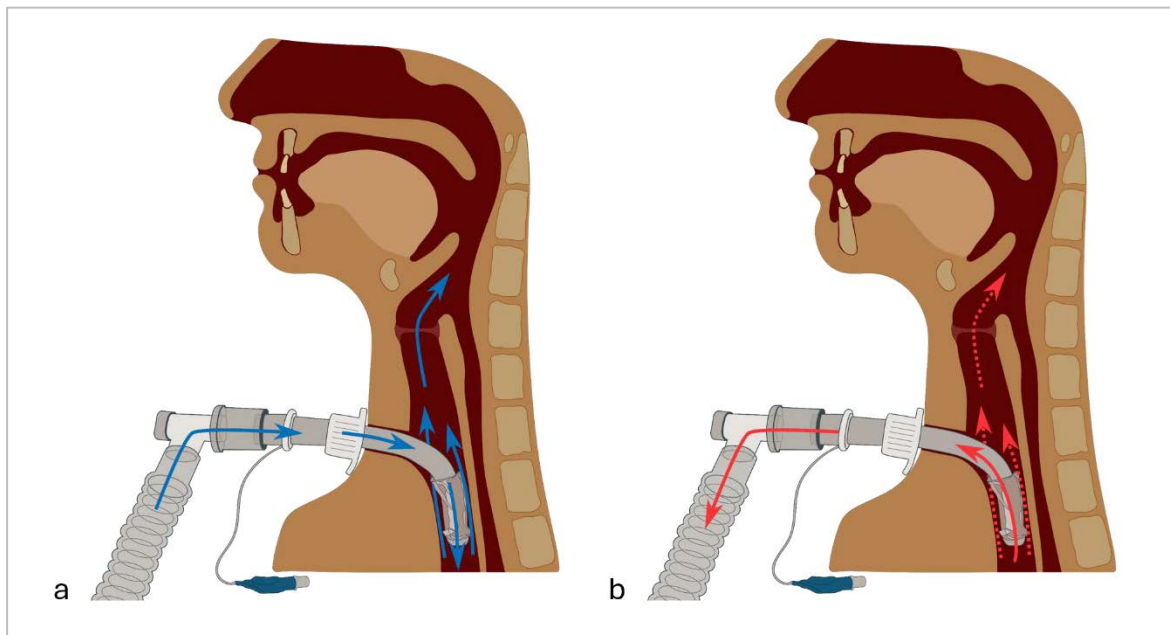
Ob unter invasiver Beatmung ein Entblockungsversuch durchgeführt werden kann, hängt vor allem vom individuell benötigten PEEP ab. Da beim Entblocken des Cuffs der endexpiratorische Atemwegsdruck zusammenfällt, kann dies nicht bei Personen gemacht werden, deren respiratorischer Zustand von diesem abhängt. Abhängig vom Gesamtzustand und der Sicherheit der betroffenen Person kann ab einem $PEEP \leq 8\text{mbar}$ über Entblockungsversuche nachgedacht werden. Die durch die Entblockung entstehende Leckage im Beatmungskreislauf erfordert eine Anpassung verschiedener Beatmungsparameter (z. B. Inspirationsdruck, Druckunterstützung, Tidalvolumen, Flow, PEEP) durch eine Fachperson, wobei eine suffiziente Beatmung trotz Leckage gewährleistet sein muss, aber auch das subjektive Wohlbefinden der Patientin bzw. des Patienten Berücksichtigung finden sollte (Ledl & Ullrich, 2022, S. 534f.; Schwegler, 2022, S. 145ff.). Zudem kommt es durch die Leckage zur Alarmauslösung, die Alarme können vorübergehend unterdrückt (Schwegler, 2022, S. 147) oder angepasst werden. Das Alarmmanagement muss dabei aber trotzdem Probleme wie Diskonnektion und Hyperventilation erkennen (Windisch et al., 2017, S. 733).

Durch die Leckage am Cuff strömt bei Inspiration nicht alle Luft in die Lunge, sondern ein Teil davon entweicht auch über die oberen Atemwege, sodass diese zur Phonation genutzt werden kann (Abbildung 16a). Bei Expiration geht allerdings der meiste Anteil über die Trachealkanüle in das Beatmungssystem zurück (Abbildung 16b), wo es dann über ein spezielles Expirationsventil ausströmt, sodass der Luftfluss über die oberen Atemwege sehr schnell wegfällt. Die für die Phonation erforderliche Druckschwelle wird daher in der Expirationsphase oft rasch unterschritten. Somit kommt es bei der sogenannten *Leckage-Beatmung* oder *Leak Speech* zu einer paradoxen Atem-Sprech-Situation, eine Phonation ist vor allem bei Inspiration möglich, bei Expiration bricht die Phonation früher oder später ab. Ein weiterer Nachteil ist, dass durch die Leckage kein zusätzlicher subglottischer Druckaufbau zum Husten aufgebaut werden kann, allfällige Sekretansammlungen können nicht gut entfernt werden. Allerdings kann es auch ein Vorteil sein, dass die Expiration ohne Widerstand über die Trachealkanüle gewährleistet ist und weder blockiert noch erschwert werden kann. Wie unter Spontanatmung fördert der wiederhergestellte Luftfluss nach oben die Sensibilität und ermöglicht die verbale Kommunikation (Ledl & Ullrich, 2022, S. 534f.; Schwegler, 2022, S. 145ff.).

Die Anpassung der Ventilatoreinstellungen muss sorgfältig durch eine Fachkraft erfolgen, um negative Ereignisse zu vermeiden. Dennoch wird Leckage-Beatmung als einfach und sicher anwendbares Verfahren gesehen (Zaga, Chao et al., 2023).

Abbildung 16

Luftstromführung bei entblockter Trachealkanüle und invasiver Beatmung (Leakage-Beatmung) bei Inspiration (a) und Expiration (b)



Anmerkungen. Der Luftstrom über die oberen Atemwege intensiviert sich während der Inspirationsphase (blau) der Maschine und lässt mit der Expirationsphase (rot) rasch nach, da die meiste Luft wegen des geringeren Luftwiderstandes vor allem über die Trachealkanüle entweicht (Eigene Darstellung in Anlehnung an Schwegler, 2022, S. 146).

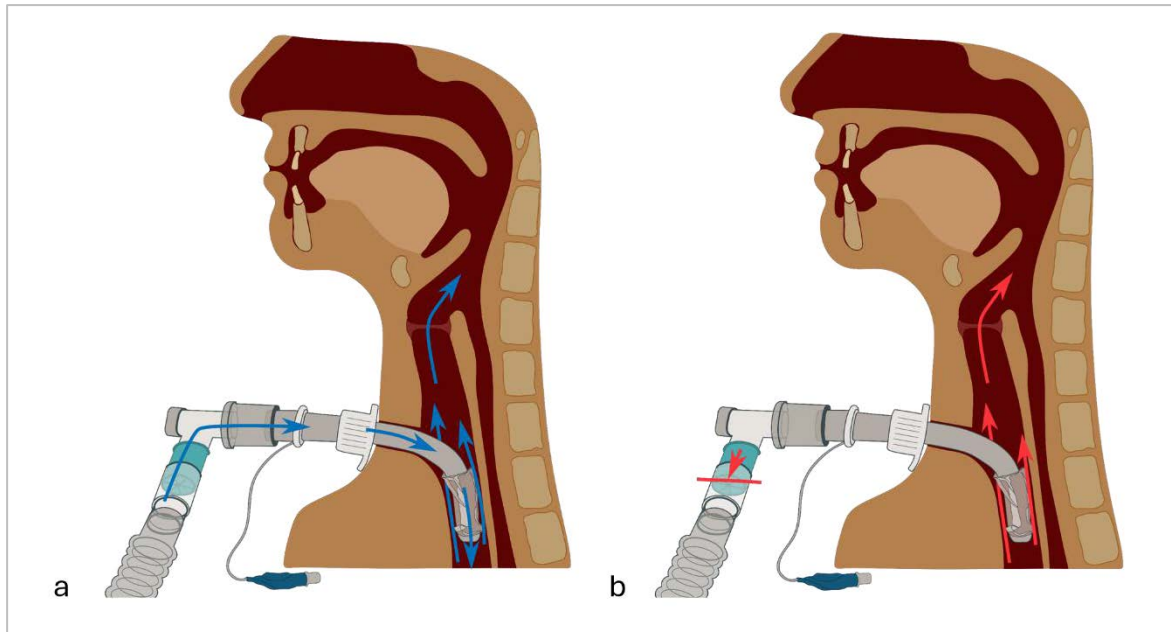
Sofern eine Ausatmung über die oberen Atemwege unter Leakage-Beatmung möglich ist, kann ein Inline-Sprechventil verwendet werden, welches speziell für Beatmungssysteme konzipiert ist. Das Prinzip ist das gleiche wie bei Sprechventilen für Spontanatmung: Das Ventil verschliesst sich bei Expiration. Dadurch ergibt sich folgende Luftstromführung: Bei Inspiration strömt wie bei der Leakage-Beatmung Luft vom Respirator in die Lunge und ein Teil über die oberen Atemwege nach aussen. Bei Expiration muss nun aber die gesamte Luft an der Trachealkanüle vorbei über die oberen Atemwege ausströmen (Abbildung 17). Das Inline-Ventil darf deshalb auf keinen Fall bei geblockter Trachealkanüle verwendet werden. Erste Versuche sollten erst nach erfolgreichem Cuff-Leak-Test bzw. erfolgreicher Leakage-Beatmung und mit grösster Sorgfalt unter durchgehendem Monitoring erfolgen. Es muss genauestens überprüft werden, ob die Ausatmung genügend Platz hat.⁷⁷ Ist dies nicht der Fall, kann es zu Unwohlsein, Atemnot oder gravierenderen Komplikationen durch die Überblähung wie Hypoventilation, Pneumothorax oder sogar lebensbedrohlichen Situationen kommen. Bei Bedarf müssen Anpassungen der Trachealkanüle (Fenestrierung, Downsizing etc.) vorgenommen und Ursachen für mögliche misslungene Versuche abgeklärt werden (vgl. Kapitel 6.2). Auch mit Inline-Ventil müssen Beatmungseinstellungen gegebenenfalls angepasst werden. Einige Geräte können

⁷⁷ Detaillierte praktische Hinweise, wie dies überprüft werden kann, finden sich bei Schwegler (2022, S.147ff.).

unterschiedliche Beatmungsprofile speichern, sodass sie bei Situationswechseln schnell abgerufen werden können (Ledl & Ullrich, 2022, S. 535f.; Schwegler, 2022, S. 147ff.).

Abbildung 17

Luftstromführung bei entblockter Trachealkanüle und invasiver Beatmung mit Verwendung eines Inline-Ventils bei Inspiration (a) und Expiration (b)



Anmerkungen. Da das Inline-Ventil (türkis) bei Expiration verschliesst, entweicht sowohl bei Inspiration (blau) als auch bei Expiration (rot) Luft über die oberen Atemwege (Eigene Darstellung in Anlehnung an Schwegler, 2022, S. 147).

Wie unter Spontanatmung hat die Verwendung eines Sprechventils den Vorteil, dass der Luftfluss die Sensibilität oberhalb des Cuffs fördert und durch den Verschluss in der Expirationsphase das Husten und Reinigungsfunktionen ermöglicht. Die Phonation ist durch den anhaltenden Luftfluss häufig während der Inspirations- und Expirationsphase möglich. Allerdings kann der durchgehende Luftfluss für einige Betroffene auf Dauer als störend empfunden und nur durch aktives Verschliessen der Glottis von den Patientinnen und Patienten unterbrochen werden (Schwegler, 2022, S. 152ff.). Bei häufiger Verwendung eines Inline-Ventils müssen eine mögliche Austrocknung der Luftwege und Sekretveränderungen im Auge behalten und ggf. durch Befeuchtungsmassnahmen vermieden oder verbessert werden (Egbers et al., 2023).

Im Rahmen des Dekanülierungsmanagements parallel zum Weaning kann im Prinzip so vorgegangen werden wie unter Spontanatmung. Die Entblockungszeiten mit Sprechventil sollten unter Berücksichtigung von Aspirationsneigung und pulmonaler Situation ausgeweitet werden. Die nächtliche Verwendung von Inline-Ventilen ist vonseiten des Herstellers zwar nicht empfohlen, ein Off-Label-Use nach ärztlicher Verordnung ist jedoch theoretisch möglich und wird auch praktiziert. In

Abhängigkeit von der Beatmungssituation, dem Sekretmanagement und der Aspirationsneigung können weitere Schritte unternommen werden, beispielsweise ein Wechsel auf eine nicht blockbare Trachealkanüle, Okklusionsversuche, ein Wechsel auf nicht-invasive Beatmung (NIV) usw., bis im Idealfall alle Dekanülierungskriterien erfüllt sind (Schwegler, 2022, S. 154ff.).

Die Verwendung eines Inline-Sprechventils wird im Vergleich zur Leckage-Beatmung als gefährlicher angesehen, da eine mögliche Überblähung durch versehentliches Blocken oder durch anderweitige Verlegung der oberen Atemwege lebensbedrohlich werden könnte (Garguilo et al., 2013; Hoit et al., 2003). Bei sachgerechtem, sorgfältigem Gebrauch durch geschultes Personal kann dieses Verfahren allerdings mit hoher Sicherheit für die Patientinnen und Patienten sowie ohne negatives Outcome angewendet werden (Freeman-Sanderson et al., 2016b; Fröhlich et al., 2017; Sutt et al., 2015; Zaga, Chao et al., 2023). Vorgängig wurde bereits erwähnt (Kapitel 6.1), dass sich bei frühem Gebrauch von Inline-Ventilen positive Effekte u. a. auf die Oralisierung, das Weaning und die Dekanülierung nachweisen lassen (Whitmore et al., 2020). Zudem ermöglichen sie eine frühere verbale Kommunikation und verbessern die Lebensqualität der Betroffenen (Freeman-Sanderson et al., 2016a, 2016b; Manzano et al., 1993).

Eine weitere Möglichkeit, bei laufender Beatmung den Luftstrom nach oben zu lenken, ist die Verwendung der Blom[®] Sprech-Innenkanüle (Abbildung 18), welche nur in eine gefensterter Blom[®] Trachealkanüle eingesetzt werden kann⁷⁸. Anders als bei normalen gefensterten Trachealkanülen kann das Cuff dabei durchgehend geblockt bleiben. Die Innenkanüle verläuft nach unten konisch und verjüngt sich bis auf die Hälfte des Durchmessers. Am Ende befindet sich ein Klappventil (Flap-Valve), durch das Luft bei der Inspiration einströmt, sich dann aber bei Expiration verschliesst. Da das Cuff geblockt ist, wird die Luft innerhalb der Aussenkanüle, aber ausserhalb der Innenkanüle nach oben geleitet. Das Druckventil (Bubble-Valve) der Innenkanüle, bestehend aus einer flexiblen Membran an der konvexen Seite der Krümmung, wird von der Fensterung verdrängt, sodass Luft über die freigelegte Fenestrierung zu den oberen Atemwegen gelangen kann (Ledl & Ullrich, 2022, S. 533ff.). Dadurch ermöglicht die Blom[®] Sprech-Innenkanüle Sprechen sowie Reinigungsfunktionen und die Wiederherstellung der Sensibilität, zumindest in der Expirationsphase des Beatmungsgerätes. Bei Inspiration werden die oberen Atemwege umgangen. Allerdings kann es ein Nachteil sein, dass die Luftstromführung nur über den halben Innendurchmesser und somit höherem Widerstand läuft, zudem ist die Kanüle bei Personen mit viel oder zähem Sekret ungeeignet (Schwegler, 2022, S. 50ff.). Die Kanüle ist eher für wache, kooperationsfähige Personen mit gutem Allgemeinzustand geeignet. Die

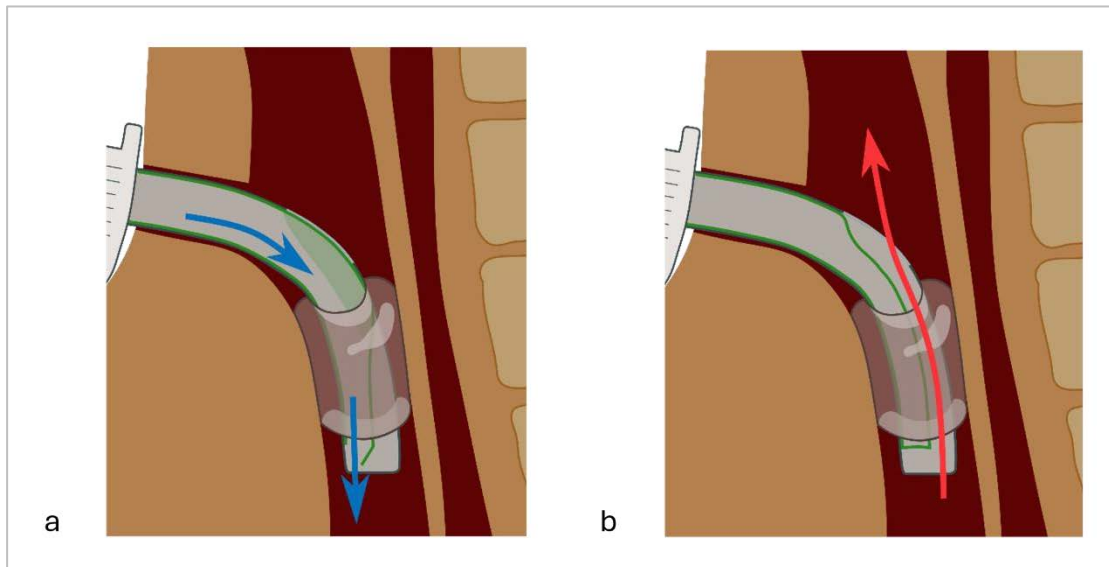
⁷⁸ Die Blom[®] Sprech-Innenkanüle für die Beatmung sollte nicht mit dem Blom[®] Low Profile Valve für Spontanatmung verwechselt werden.

Larynxfunktion und Sprechmotorik sollten intakt sein, die oberen Atemwege sollten frei sein (Ledl & Ullrich, 2022, S. 534). Bei vorhandener Dysphagie ist die Innenkanüle daher eher ungeeignet.

Laut Kunduk et al. (2010) und Leder et al. (2013) ist die Blom® Sprech-Innenkanüle ein sicheres Verfahren⁷⁹, mit dem die Phonation bei geblockter TK und mechanischer Beatmung wiederhergestellt werden kann.

Abbildung 18

Schematische Darstellung der Blom® Sprech-Innenkanüle (grün) bei Inspiration (a) und Expiration (b)



Anmerkungen. Bei Inspiration (a) öffnet das Klappventil (grüne Kontur, am unteren Ende der Innenkanüle) und Luft strömt ein (blaue Pfeile). Dabei wird das Druckventil (hellgrüne Fläche) nach aussen gewölbt und verschliesst die Fenestrierung. Bei Expiration (b) verschliesst sich das Klappventil, sodass die Ausatemluft (roter Pfeil) zwischen Innen- und Aussenkanüle einströmt, das Druckventil nach innen drückt und über die Fenestrierung ausströmen kann (Eigene Darstellung in Anlehnung an Ledl & Ullrich, 2022, S. 534).

Die Wiederherstellung eines möglichst physiologischen Luftstromes über die oberen Atemwege ist mit Trachealkanüle sowie mit Beatmung auf unterschiedlichen Wegen möglich. In vorangegangenen Kapiteln (Kapitel 2.2.2, 3, 4, 5) wurde ausführlich besprochen, inwiefern die Atmung und Lungenfunktion das Sprechen und Schlucken beeinflussen. Die Vermutung liegt nahe, dass auch der Zustand der Trachealkanüle und die daraus resultierende Luftstromführung sowie die An- und Abwesenheit der Beatmung das Sprechen und Schlucken beeinflussen, womit sich Kapitel 6.4 und 6.5 befassen. Des Weiteren werden Möglichkeiten zur verbalen Kommunikation besprochen.

⁷⁹ Gleichwohl können in Einzelfällen Probleme wie ein relevanter Abfall der Sauerstoffsättigung auftreten (Kunduk et al., 2010).

6.4 Verbale Kommunikationsmöglichkeiten bei tracheotomierten Patientinnen und Patienten mit Beatmung und deren Auswirkung auf das Sprechen

Es ist wenig verwunderlich, dass tracheotomierte und beatmete Personen häufig unter der fehlenden Kommunikationsmöglichkeit leiden (Foster, 2010). Neben Lippenlesen, Zeichensprache und Schriftsprache gibt es einige alternative Kommunikationsmöglichkeiten wie Kommunikationstafeln oder hochtechnologische Geräte für die unterstützte Kommunikation (z. B. Sprachausgabe via Berührung oder Augenbewegung), welche das Wohlbefinden verbessern können. Als Nachteile werden aber beispielsweise der hohe Zeitaufwand, die eingeschränkte Aussagekraft oder die Komplexität in der Bedienung genannt (Hoorn et al., 2016; McClintock et al., 2024; Rose et al., 2021; Zaga et al., 2019). Für die Lebensqualität von beatmeten bzw. teilbeatmeten Patientinnen und Patienten ist es daher von grosser Bedeutung, ihnen eine oder mehrere verschiedene Möglichkeiten der verbalen Kommunikation zu ermöglichen. Dass sich das Sprechen in den einzelnen Varianten teils stark unterscheidet und unterschiedliche Vor- und Nachteile hat, wird in den folgenden Kapiteln gezeigt.

6.4.1 Elektrolarynx

In Fällen, in denen unter Beatmung keine Veränderung der geblockten Trachealkanüle möglich ist, bietet die Verwendung eines Elektrolarynx⁸⁰ eine Möglichkeit der verbalen Kommunikation. Meist kann mit dessen Hilfe verständliche Sprache produziert werden (Hoorn et al., 2016; Zaga et al., 2019). Allerdings besteht das Problem, dass gängige Geräte nur eine ausgewählte Grundfrequenz ausgeben und daher eine Variation der Frequenz und auch der Intensität nicht möglich ist. Die Stimme klingt dadurch unnatürlich monoton und *roboterhaft*. Eine abgeflachte Grundfrequenzkontur beeinflusst grundsätzlich die Verständlichkeit, vor allem bei Nebengeräuschen (Laures & Bunton, 2003; Laures & Weismer, 1999; Miller et al., 2010), so ist die Verständlichkeit auch bei der Verwendung eines Elektrolarynx mit Trachealkanüle und Beatmung reduziert (Watson & Schlauch, 2009; Zaga et al., 2019).⁸¹ Hervorzuheben ist, dass Sprechen unabhängig vom Atemluftstrom möglich ist. Durch die nicht nötige Atem-Sprech-Koordination müssen Sprecherinnen und Sprecher keine grammatikalisch gebundenen Atempausen setzen, sondern können Pausen und Satzgrenzen unabhängig von der Atmung mit der On/Off-Funktion des Gerätes markieren (Bohnenkamp et al., 2010). Tatsächlich sind

⁸⁰ Ein Elektrolarynx ist ein batteriebetriebenes Handgerät, das seitlich an den Hals gelegt wird und durch Vibration einen elektronischen Ton simuliert. Dieser kann dann im Ansatzrohr durch Artikulationsbewegungen zu Sprache geformt werden (Liu & Ng, 2007).

⁸¹ Da bei Benutzung eines Elektrolarynx die Verständlichkeit allgemein, insbesondere aber in tonalen Sprachen (z. B. Mandarin) unter der konstanten Grundfrequenz leidet, gibt es neuere Geräte bzw. erste Versuche mit Geräten, welche die Melodie an das Wort oder den Satzbau anpassen können. Die Schwierigkeit besteht dabei in der Koordination der gesprochenen Sprache mit einer manuellen Betonungstaste oder einem Regler (Li et al., 2018; Liu & Ng, 2007; L. Wang et al., 2017).

bei Personen, die nach Laryngektomie mit dem Elektrolarynx kommunizieren, zeitliche Veränderungen des Atem-Sprechmusters und der Pausenmarkierung ganz unterschiedlichen Ausmasses zu beobachten. Diese reichen von leichten Zeitverschiebungen, Sprechen während der Expiration, Sprechen während der gesamten Respiration, bis hin zum Atemstopp während des Sprechens (Bohnenkamp et al., 2010; Liu et al., 2004; Stepp et al., 2008).

Die Verwendung eines Elektrolarynx bei beatmeten Personen ist allerdings eher gering. In einer australischen Umfrage verwendete diesen auf Intensivstationen niemand (Zaga, Berney et al., 2023).

Verständlicherweise bevorzugen tracheotomierte Personen die Kommunikation mit der eigenen Stimme (Wallace et al., 2023). Es erstaunt daher wenig, dass die Wiederherstellung verbaler Kommunikation mit der eigenen Stimme eine signifikante Steigerung des Selbstwertgefühls und der Fröhlichkeit der Betroffenen bewirkt (Freeman-Sanderson et al., 2016a). Die eigene Stimme kann auf unterschiedliche Arten wiederhergestellt werden. Welche Art geeignet und möglich ist, muss individuell erwogen werden.

6.4.2 Sprechventil in Spontanatmungsphasen

Sind Spontanatmungsphasen möglich, können diese für Entblockungszeiten mit Sprechventil genutzt werden (Rollnik et al., 2017; Schönhofer et al., 2019), sofern das Dekanülierungsmanagement dementsprechend fortgeschritten ist. Wie bei normalem Sprechen ohne Trachealkanüle steht hier die Expirationsluft für die Phonation zur Verfügung. Aufgrund der eingeschränkten Lungenfunktion ist in diesem Modus mit den in Kapitel 3.6 geschilderten Auswirkungen auf prosodische Merkmale und die Stimme zu rechnen, d. h. mit häufigen Atempausen, kurzen Äusserungslängen, gegebenenfalls auffälliger rhythmischer Gliederung sowie einer reduzierten Lautstärke. Zusätzlich zur Ateminsuffizienz sind der erhöhte Ausatemwiderstand durch die Trachealkanüle (Kapitel 6.2) und das Sprechventil zu berücksichtigen. Bezüglich des Luftwiderstandes unterscheiden sich die verschiedenen Sprechventilmodelle zum Teil deutlich. Allerdings wirkt sich dies weniger auf respiratorische Parameter aus, kann aber das Empfinden von Dyspnoe (Prigent et al., 2006) sowie die subjektive empfundene Sprechqualität beeinflussen (Leder, 1994). Hinzu kommt die körperliche Anstrengung, die für die Respiration und das zusätzliche Sprechen gebraucht wird. Insbesondere bei längeren Sprechanlässen können daher eine Ermüdung bzw. Erschöpfung sowie Dyspnoe auftreten.

6.4.3 Above Cuff Vocalisation

In Fällen, in denen das Cuff z. B. wegen des zu hohen PEEP nicht entblockt werden kann, ist eine *Above Cuff Vocalisation* (ACV) mit einer speziellen Trachealkanüle möglich. Diese ist mit einem zusätzlichen dünnen Druckluftkanal ausgestattet, der von aussen durch das Kanülenschild, entlang des Kanülenrohrs, bis hin zu einer Öffnung direkt oberhalb des Cuffs nach innen verläuft (Abbildung 19). Sofern allfällige Sekretreste oberhalb des Cuffs fachmännisch entfernt wurden, kann ein Druckluft- oder Sauerstoffschlauch angeschlossen und individuell reguliert werden. Die zugeführte Luft strömt über den Schlauch oberhalb des Cuffs in die Luftröhre und über den Larynx und die oberen Atemwege nach aussen, sodass meist eine Phonation möglich wird. Mittels Fingerventil kann der anhaltende Luftstrom unterbrochen werden, um negative Empfindungen sowie Austrocknung zu vermeiden (Ledl & Ullrich, 2022, S. 532f.; McGrath et al., 2016; Schwegler, 2022, S. 47ff.).⁸² Der Luftfluss muss individuell an das Outcome und Empfinden angepasst werden, häufig werden 1–5 l/min genommen (McGrath et al., 2019; Pandian et al., 2020). Höhere Luftflüsse können ebenfalls als unangenehm empfunden werden (Leder, 1990) und zur Austrocknung führen. Der Gebrauch sollte sich deshalb laut McGrath et al. (2019) auf 15 min/2 h beschränken. Kontraindikationen für eine ACV sind jegliche Verlegungen der oberen Atemwege (Wallace et al., 2023) sowie ausgeprägte pharyngeale und laryngeale Sekretretentionen (Ledl & Ullrich, 2022, S. 533).

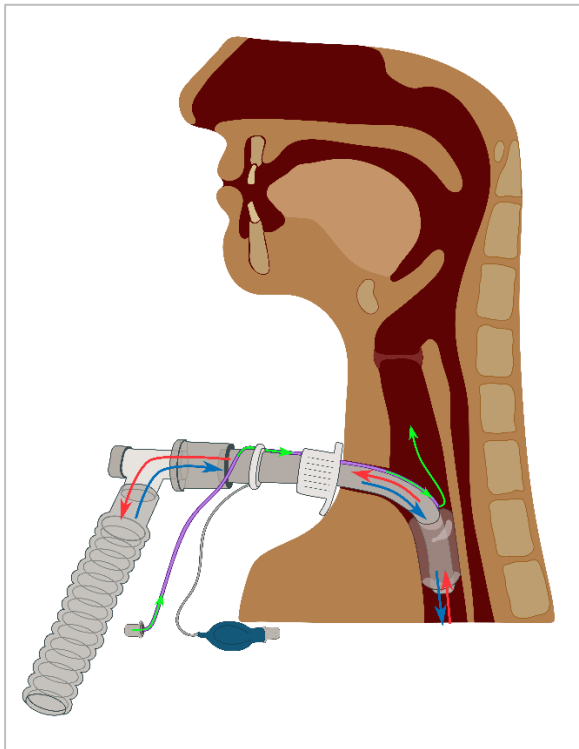
Der Luftstrom über die oberen Atemwege ermöglicht laut dem Review von Petosic et al. (2021) in 80 % der Fälle eine Phonation oder ein Flüstern (17 Studien, $N = 231$), wodurch die Lebensqualität der Betroffenen, allerdings mit geringer Qualität der Evidenz, verbessert werden konnte. Mehrere kleine sowie wenig schwerwiegende unerwünschte Ereignisse wurden verzeichnet (z. B. subkutanes Emphysem, Dilatation der Luftröhre). Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Mills, Michou, King et al. (2022) in ihrem systematischen Review (13 Studien).

Theoretisch ist mit ACV eine Phonation während des gesamten Respirationszyklus möglich, was vermutlich ebenfalls eine von der Atmung unabhängige Pausensetzung ermöglicht. Oft fällt es den Betroffenen allerdings schwer, während der Inspiration zu sprechen (Leder & Traquina, 1989). Die Lautstärke hängt dabei von der Stärke des Luftflusses ab (Leder, 1990; Leder & Traquina, 1989). Über weitere qualitative Merkmale der Stimmfunktion bei ACV finden sich keine Aussagen. Es ist davon auszugehen, dass hier Lautstärkevariationen reduziert, Frequenzvariationen jedoch bedingt möglich sein sollten, da die Einstellung der Tonhöhe über die Stimmbänder erfolgt, der subglottische Druck jedoch nicht variiert werden kann (vgl. Kapitel 3.2).

⁸² Im Prinzip besitzen Trachealkanülen mit subglottischer Absaugvorrichtung den gleichen Aufbau und sind zum Teil ebenfalls für die Luftzufuhr zugelassen. Ob die Trachealkanüle für die subglottische Absaugung und/oder Luftzufuhr zugelassen ist, muss bei jedem Produkt berücksichtigt werden (Ledl & Ullrich, 2022, S. 533).

Abbildung 19

Trachealkanüle mit Möglichkeit zur Above Cuff Vocalisation



Anmerkungen. Druckluft oder Sauerstoff (grün) wird über den zusätzlichen Kanal (violett) zugefügt, sodass diese während der Inspiration (blau) sowie Expiration (rot) über die oberen Atemwege entweicht (Eigene Darstellung in Anlehnung an McGrath et al., 2016, S. 21).

Ein routinemässiger Einsatz von ACV auf der Intensivstation ist eine sichere und durchführbare Methode, um Patientinnen und Patienten auf der Intensivstation früher verbal kommunizieren zu lassen (Gajic et al., 2024). Die ACV sollte jedoch nur eine temporäre Lösung sein und zeitnah «von alternativen Möglichkeiten (z. B. Inline-Sprechventile) mit höherem funktionellem Benefit abgelöst werden» (Ledl & Ullrich, 2022, S. 533).

Laut einer Umfrage von 243 Fachkräften im Gesundheitswesen in insgesamt 25 Ländern (mit vorwiegenden Antworten aus dem englischsprachigen Raum) setzen 39 % der Befragten ACV im Alltag ein, allerdings nur mit einer sehr geringen Anzahl an Personen. Hier wird bestätigt, dass Gründe, die ACV zu beenden, neben Komplikationen häufig die entstandene Möglichkeit des Entblockens darstellen (Mills, Michou, Bellamy et al., 2022).

6.4.4 Leckage-Beatmung (Leak Speech)

Die zuvor geschilderte Leak Speech (Kapitel 6.3) ermöglicht mit relativ geringem zeitlichen und materiellen Aufwand eine Phonation. Allerdings wurde bereits auf die paradoxe Atem-Stimm-Koordination hingewiesen, da vorwiegend während der Inspiration, allenfalls am Anfang der

Expiration, gesprochen werden kann (Ledl & Ullrich, 2022, S. 534f.; MacBean et al., 2009). Für die Betroffenen ist Sprechen während der Inspiration ungewohnt und durch die schwierige Koordination mit dem Rhythmus der Maschine werden oft nicht die vollen Phasen des Respirators genutzt. Das Sprechen ist gekennzeichnet durch lange Pausen und kurze Sprechphasen (Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009). Durch Anpassungen der Ventilatoranpassungen kann dies jedoch verbessert werden. Durch eine Erhöhung des PEEP (bis max. 10 cmH₂O) oder/und mit einer verlängerten Inspirationszeit kann beispielsweise der subglottische Druck in der Expirationsphase länger über dem nötigen Schwellenwert gehalten werden. Dieser ist nötig, um die Stimmlippen in Schwingung zu versetzen (Kapitel 3.1). So kann ein höherer Anteil des Respirationszyklus für die Phonation genutzt werden, die Sprechlänge pro Atemzyklus wird verlängert und die Sprechpausen verkürzen sich. Ebenso wirkt sich die Ventilatoranpassung positiv auf die Stimmqualität, Lautstärke und Verständlichkeit aus (Garguilo et al., 2013; Hoit & Banzett, 1997; Hoit et al., 2003; Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009; Prigent et al., 2010). Verschiedene Möglichkeiten der Ventilatoranpassungen sowie mögliche auftretende Probleme sind bei Zaga, Chao et al. (2023) beschrieben.

Wenn beim Sprechen der subglottische Druck während der Expiration nicht konstant gehalten werden kann, kommt es zu Lautstärke- und Frequenzschwankungen (Aronson & Bless, 2009, S. 347). Durch den ansteigenden und abfallenden Luftdruck, den der Respirator in die Lunge befördert, kommt es folglich beim Sprechen mit Leak-Speech zu leichten Frequenz- und starken Lautstärkeschwankungen entsprechend dem Luftdruck, den die Maschine gibt (Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009). Manche Personen empfinden Sprechen in diesem Modus als frustrierend und nicht geeignet für eine laute Umgebung (MacBean et al., 2009).

6.4.5 Inline-Sprechventil

Im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Möglichkeiten kann bei Verwendung eines Inline-Ventils an der Beatmung sowohl bei Expiration als auch bei Inspiration gesprochen werden. Die Betroffenen können daher ohne Probleme und Pausen ganze Sätze sprechen (Passy et al., 1993). Die beiden Probanden mit hohen Querschnittslähmungen von MacBean et al. (2009) zeigten daher im Vergleich zur Leckage-Beatmung mit oder ohne PEEP auch eine längere maximale Phonationsdauer mit Inline-Ventil. Ebenfalls verbesserte sich die Anzahl an Silben pro Minute und pro Atemzug, was die gesamte Lesezeit eines Standardtextes verkürzte. Auch die perzeptive Bewertung der Prosodie verbesserte sich mit Inline-Ventil. Die Probanden selbst empfanden ihre Stimme aber immer noch leicht bis mässig eingeschränkt, insbesondere wegen der begrenzten Leistungsfähigkeit. Da es sich nur um zwei Probanden handelte, erfolgte die Auswertung rein deskriptiv.

Dass sich die Verwendung eines Inline-Ventils kaum von gut eingestellter Leak Speech mit PEEP-Unterstützung unterscheidet, konnten hingegen Prigent et al. (2010) bei Personen mit neuromuskulären Erkrankungen zeigen ($N = 10$). Die leichten Unterschiede der akustischen und perzeptiven Messungen wie Tonhaldedauer, Stimmumfang, Lesezeit, Verständlichkeit, perzeptive Beurteilung sowie der subjektive Komfort beim Sprechen und Atmen waren durchweg nicht signifikant. Im Vergleich zum Inline-Ventil war mit Leckage-Beatmung lediglich eine tendenziell erhöhte Respirationsrate erkennbar.

Auch wenn mit Inline-Ventil Verbesserungen akustisch-perzeptiver Parameter möglich sind, so muss wie bei der Leckage-Beatmung mit Lautstärke- und Tonhöhenschwankungen durch den schwankenden Luftstrom des Respirators gerechnet werden, d. h. Lautstärke und Tonhöhe können analog zum Atemrhythmus wellenartig schwanken. Subjektiv wird die Stimme durch den Einsatz eines Inline-Sprechventils jedoch dennoch als kräftig und klar empfunden (Fröhlich et al., 2017).

Es erstaunt nicht, dass der frühe Einsatz von Inline-Sprechventilen bei beatmeten Patientinnen und Patienten von grosser Bedeutung ist und deren Kommunikationsfähigkeit und Lebensqualität ohne grössere negative Ereignisse nachweislich verbessert (Freeman-Sanderson et al., 2016a, 2016b; Fröhlich et al., 2017; Sutt et al., 2022; Sutt et al., 2015).

6.4.6 Blom® Sprech-Innenkanüle

Das Sprechen mit der Blom® Sprech-Innenkanüle ist nur in der Expirationsphase möglich, die Inspirationsphase muss hingegen abgewartet werden, wodurch der Sprechfluss lange und somit unnatürlich unterbrochen wird. Da auch die Dauer der Phonationsphase von der Expirationsphase des Ventilators abhängt, wird eine natürliche Phrasenbildung erschwert. Die Dauer der Sprech- und Pausenphasen ist von den Einstellungen des Respirators abhängig (Schwegler, 2022, S. 51).

Systematisch untersucht wurde das Sprechen mit Blom® Sprech-Innenkanüle an der Beatmung jedoch kaum. Einige Studien belegen lediglich, dass allen oder fast allen Probandinnen und Probanden eine Phonation für normalen Umgebungslärm ermöglicht werden kann und wiederholte Versuche Lautstärke und Phonationsdauer etwas verbessern (Kunduk et al., 2010; Leder et al., 2013; Pryor et al., 2016).

6.4.7 Schlussfolgerungen

Obwohl die verbale Kommunikationsfähigkeit für beatmete Patientinnen und Patienten so wichtig ist (Foster, 2010), scheint diese den Betroffenen nur selten ermöglicht zu werden. In einer australischen Umfrage von Zaga, Berney et al. (2023) nutzen nur 8 % der Patientinnen und Patienten eine Leak

Speech, 5 % ein Inline-Ventil, 2 % beides ($N = 380$). In den meisten Fällen wurde ein Sprechventil nur in den Spontanatemphasen verwendet (80 %). Als Gründe für den geringen Anteil an verbalen Kommunikationsmöglichkeiten sehen die Autorinnen und Autoren neben medizinischen Kontraindikationen vor allem eine mangelnde Fachkenntnis und Erfahrung des Personals mit den verschiedenen Optionen. Schwegler (2022, S. 183ff.) berichtet sogar von einem dauerbeatmeten Patienten, dem über zwei Jahre lang keine verbale Kommunikationsform ermöglicht wurde (Schwegler, 2022, S. 183ff.). Obwohl die Anwendung verschiedener Trachealkanülen-Beatmungs-Modi mit entsprechenden Vorkehrungen als sicher gelten, wird aus Angst vor negativen Ereignissen häufig darauf verzichtet. Projekte wie bei Fröhlich et al. (2017), welche eine oder mehrere der besprochenen Möglichkeiten zur Kommunikation implementieren und das interdisziplinäre Personal beim routinemässigen Einsatz schulen, sind daher auch in Zukunft wünschenswert.

Wie in Kapitel 6.4 deutlich wurde, gibt es zu den Auswirkungen der unterschiedlichen Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf das Sprechen zwar einige Studien, ein Vergleich verschiedener Optionen wurde jedoch nur vereinzelt untersucht (Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009; Prigent et al., 2003). Die genannten Techniken ermöglichen durchweg eine häufig zufriedenstellende verbale Kommunikation, dennoch bewirken die Modifikation der Trachealkanüle sowie die An- und Abwesenheit der Beatmung grosse Unterschiede beim Sprechen. Allein der Anteil des Respirationszyklus, der für eine Phonation genutzt werden kann, variiert stark und ist in jenen Varianten mit Beatmung anders oder entgegen der natürlichen Sprechatmung, wie Abbildung 20 verdeutlicht. Wenn die beatmete Person den Zeitpunkt der Beatmungszyklen nicht kontrollieren kann, muss sie zudem mit den wechselnden Luftdrücken zurechtkommen und die aerodynamischen Anforderungen an das Sprechen mit den respiratorischen Vorgaben koordinieren. Dies ist für viele Betroffene schwierig und gelingt nicht immer, sodass die geeignete Phase zur Phonation oft nicht vollumfänglich genutzt wird. Dabei kann zudem beobachtet werden, dass manche Personen sich bei der Pausensetzung eher an den linguistischen Grenzen orientieren, andere eher unabhängig von den linguistischen Grenzen an den respiratorischen Vorgaben (Hoit et al., 1994).

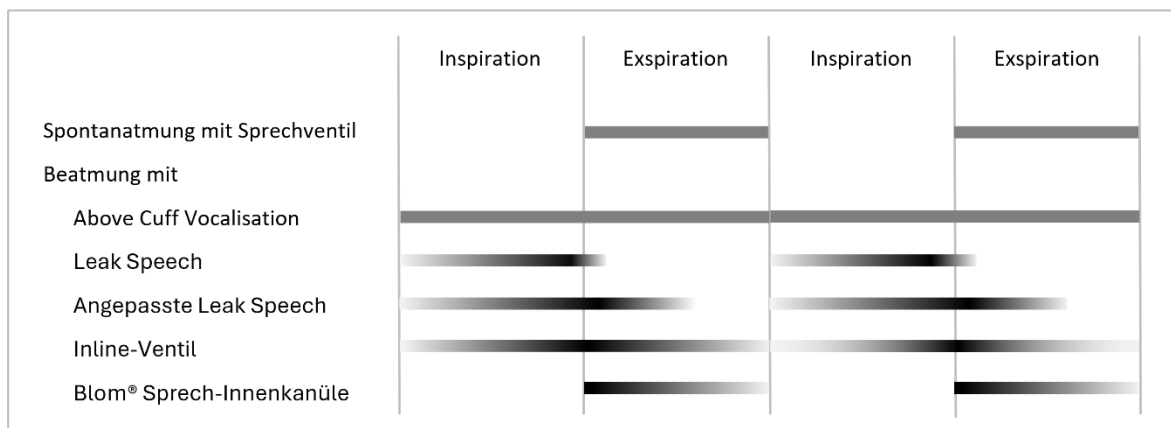
Im Weaning-Alltag sind die Betroffenen oft mehreren der genannten Modifikationsmöglichkeiten ausgesetzt, zwischen denen gewechselt wird (Schwegler, 2022; Zaga, Chao et al., 2023). Wie vorangehende Ausführungen zeigen, sind jedoch mit den verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi Unterschiede bezüglich der Lautstärke, der Lautstärkevariation, der mittleren Äusserungslänge, der Pausenlänge, Pausenhäufigkeit und der rhythmischen Gliederung zu erwarten.

Sprechen mit diesen wechselnden Modifikationen bringt zudem für die Betroffenen unterschiedliche Herausforderungen mit sich. In Spontanatemphasen muss mit reduzierter Lungenkapazität und höherer Anstrengung gesprochen werden. In Beatmungsphasen ist zwar eine respiratorische Unterstützung vorhanden, aber Sprechen ist vom Rhythmus und der Stärke des kranialen Luftflusses

abhängig, den die Maschine und die TK-Modifikation vorgeben. Dies wirkt sich wiederum unterschiedlich auf den Atem-Sprech-Rhythmus bzw. den Sprechfluss und die rhythmische Gliederung (Pausensetzung) aus, was vor allem in längeren Sprechphasen zum Tragen kommt. Ein diesbezüglicher Vergleich der Optionen wäre dahingehend von Interesse, um den Betroffenen und Gesprächspartnern für längere oder wichtige Gesprächssituationen möglichst gute Bedingungen zu schaffen. Fraglich bleibt allerdings, ob es grundsätzlich Modi gibt, mit denen respiratorisch eingeschränkte Personen besser zurechtkommen, oder ob individuelle Präferenzen vorhanden sind. Es hat sich gezeigt, dass durch die Anwesenheit der Beatmung eine Dyspnoe reduziert werden kann und möglicherweise die Äusserungslänge verbessert wird. Es wurde aber ebenfalls beobachtet, dass hier die individuelle Fähigkeit, die Atem-Sprech-Koordination auf den jeweiligen Modus anzupassen, eine Rolle spielt (Kapitel 6.4.4, 6.4.5). Ferner ist es möglich, dass es einen Einfluss hat, an welchen Modus die Personen am meisten gewöhnt sind, wie es MacBean et al. (2009) beobachten konnten.

Abbildung 20

Vereinfachte Darstellung der theoretisch möglichen Phonationsphasen im Respirationszyklus mit verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen



Anmerkungen. Die zeitlichen Relationen sind nicht massgetreu abgebildet, da sie vom spontanen Respirationszyklus bzw. dem eingestellten Respirationszyklus der Beatmungsmaschine abhängen. Die Schwankungen in der Intensität des maschinell vorgegebenen Luftflusses bzw. -druckes sind in Graustufen angedeutet, sind aber in der Intensität ebenfalls von den Ventilatoreinstellungen abhängig (Eigene Darstellung).

Da die verschiedenen Möglichkeiten neben dem veränderten Sprechen auch mit unterschiedlichen negativen Empfindungen verbunden sein können (Dyspnoe, Austrocknung, zu starker oder langer Luftstrom über den Larynx usw.), ist es ebenfalls interessant zu eruieren, welche der alltäglich genutzten Modifikationen von den Betroffenen bevorzugt werden. Gemäss dem Fall, dass sich Modifikationen finden, die das Sprechen und Empfinden allgemein oder individuell begünstigen, könnte man dies bei wichtigen oder längeren Sprechsituationen bzw. routinemässig berücksichtigen und somit einen kleinen Beitrag zur verbesserten Lebensqualität der Betroffenen leisten.

Da es gegenüber den Patientinnen und Patienten nicht genügen sollte, ihnen einfach nur das Sprechen zu ermöglichen, sondern auch die Qualität des Sprechens und das Befinden zu optimieren, finden einige der hier aufgeworfenen Fragen zum Sprechen im Weaning-Alltag im empirischen Teil dieser Forschungsarbeit (Kapitel 7) weiter Berücksichtigung.

6.5 Der Einfluss verschiedener Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf das Schlucken

Während sich zum Sprechen in verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen zumindest einige Studien finden lassen, gibt es zum Schlucken mit Beatmung beträchtliche Forschungslücken, wie folgende Kapitel verdeutlichen. Da im diskontinuierlichen Weaningprozess auch Spontanatemphasen vorkommen, ist der Einfluss eines Sprechventils auf das Schlucken unter Spontanatmung aber ebenfalls relevant und wird zuerst dargestellt.

6.5.1 Sprechventil

Dass die Verwendung eines Sprechventils⁸³ gegenüber der Nicht-Verwendung (bei entblockter oder nicht-blockbarer Trachealkanüle) oder der geblockten Trachealkanüle als vorteilhaft gesehen wird, zeigt sich in praktischen Empfehlungen. Eine frühe und rasche Ausweitung von Entblockungszeiten sowie die Nahrungsaufnahme bei entblockter Trachealkanüle mit Sprechventil werden in Leitlinien und gängiger Fachliteratur empfohlen (Dziewas & Pflug, 2020; Rollnik et al., 2017; Schröter-Morasch, 2022b; Schwegler, 2022). Die empirische Beweislage hinsichtlich der positiven Wirkung auf die Schluckfunktion mag auf den ersten Blick etwas widersprüchlich und lückenhaft scheinen. Dies relativiert sich allerdings, sofern bei der kritischen Auseinandersetzung mit den Studien auch physiologische Überlegungen miteinbezogen werden.

Vorgängig wurde die Rolle der Atmung, des subglottischen Druckes und der Reinigungsfunktionen für das Schlucken besprochen (Kapitel 4.1). All dies rechtfertigt die Verwendung eines Sprechventils, da eine physiologische Luftstromführung viele für das Schlucken bedeutende Funktionen wieder herstellen kann. Dass sich der Einsatz eines Sprechventils nachweislich positiv auf das Schlucken auswirkt, konnten einige Untersuchungen bestätigen, andere fanden keinen Benefit. Allerdings muss man zwischen dem längerfristigen Trainingseffekt von Sprechventilzeiten und dem unmittelbaren

⁸³ Im Dekanülierungsprozess (Kapitel 6.1) wird wie in der Regel der Verschluss der entblockten Trachealkanüle anfangs mit einem Sprechventil durchgeführt und erst später werden Okklusionsversuche mit Verschlusskappen unternommen. Daher liegt der Fokus auf Sprechventilen.

Effekt durch die Ab- oder Anwesenheit des Sprechventils unterscheiden, welche in dieser Arbeit vorrangig interessieren.

X. Han et al. (2022) untersuchten den Effekt von klassischer Dysphagietherapie bei tracheotomierten Personen ($N = 20$). Dabei blieb in der Kontrollgruppe die Trachealkanüle dauerhaft geblockt, die Experimentalgruppe bekam dasselbe Training in Entblockungsphasen mit Sprechventil (tägl. 30 min, 5 x/Woche). Zwei Wochen nach dem Training zeigte die Gruppe mit Sprechventil gegenüber der Kontrollgruppe signifikante Verbesserungen in der Schluckphysiologie (höherer velopharyngealer Druck, längere Öffnung des OÖS, höherer subglottischer Druck) sowie eine signifikante Reduktion auf der PAS. Dies verdeutlicht, dass das Training von Entblockungsphasen im Dekanülierungsmanagement sinnvoll ist (Kapitel 6.1) und das Schlucken längerfristig positiv beeinflussen kann. Das Ergebnis deckt sich mit der Beobachtung, dass die Einführung von Tracheostomie-Teams das Outcome verbesserte (Garrubba et al., 2009; Mussa et al., 2021; Ninan et al., 2023; Speed & Harding, 2013), da ein Training der physiologischen Luftstromführung ein wichtiger Teil des interprofessionellen Vorgehens ist.

Den unmittelbaren Einfluss des Sprechventils auf die Atem-Schluck-Koordination nahmen Prigent et al. (2012) mithilfe von Patientinnen und Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen ($N = 8$) unter die Lupe. Bei entblockter bzw. cuffloser Trachealkanüle ohne Sprechventil war bei Expiration eine Leckage über die Trachealkanüle messbar. Erfolgte der Schluck in einer Expirationsphase, so war die Leckage über die TK prä-, intra- und postdeglutitiv messbar. Dadurch war die postdeglutitive Expiration über die oberen Atemwege vernachlässigbar klein, was physiologisch gesehen ein Nachteil bezüglich der Sicherheit darstellt. Mit Sprechventil wurden zwar nicht mehr Schlucke während der Expiration geschluckt, die Leckage konnte aber unterbunden und ein subglottischer Druck wieder aufgebaut werden, sodass die protektive postdeglutitive Expiration vollständig wiederhergestellt war. Bezüglich der Anzahl der Schlucke pro Bolus, der Dauer der Schlucke oder der Anzahl Respirationszyklen pro Schlucke gab es keine wesentlichen Unterschiede.

O'Connor et al. (2019) analysierten in ihrem Review physiologische und klinische Auswirkungen durch den Einsatz eines Sprechventils. Sie schlossen in ihre Auswertung 16 Studien zu allen Altersgruppen ein, welche physiologische und klinische Parameter mit und ohne Sprechventil sowie mit und ohne Beatmung verglichen. In einzelnen Studien fanden sich statistisch signifikante Effekte (längerfristig) auf die Olfaktion, das Sekretmanagement (Häufigkeit des endotrachealen Absaugens), das Weaning und die Aspiration. Nur zwei der eingeschlossenen Studien analysierten die Wirkung auf pharyngeale Residuen (Ongkasuwan et al., 2014; Suiter et al., 2003), eine eindeutige Reduktion konnten beide nicht nachweisen. Eine Random-Effects-Metaanalyse mit fünf Studien (Dettelbach et al., 1995; Elpern et al., 2000; Leder, 1999; Srinet et al., 2015; Suiter et al., 2003) konnte eine statistisch signifikante Reduzierung der Häufigkeit von Aspiration bei Verwendung eines Sprechventils unter

Spontanatmung⁸⁴ nachweisen, wobei es hier um den unmittelbaren Effekt eines Sprechventils ging. Aufgrund der grossen Heterogenität der Studien sind die Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu interpretieren.

Skoretz et al. (2020) fokussierten sich in ihrem Review auf die unmittelbare Auswirkung verschiedener TK-Modifikationen auf das Schlucken. Berücksichtigt wurden Untersuchungen mit Erwachsenen und grösseren Stichproben ($N > 10$). Ein Vergleich der zehn berücksichtigten Studien⁸⁵ wird durch die Tatsache erschwert, dass jeweils unterschiedliche TK-Zustände miteinander verglichen wurden (z. B. geblockt vs. entblockt mit Sprechventil, entblockt ohne vs. entblockt mit Sprechventil, entblockt ohne vs. entblockt mit Verschlusskappe usw.). Ein relevanter Punkt scheint laut ihnen auch hier die Bewertung des Penetrations-Aspirations-Risikos zu sein. Nur in etwa der Hälfte der Studien (4/7), die eine dichotome Ausprägung (Anwesenheit/Abwesenheit) verwendeten, konnte eine signifikante Reduzierung der Aspiration mit Sprechventil oder Kappe nachgewiesen werden, wobei deren Reliabilität und Validität nicht wirklich beurteilbar sind. Jene zwei Studien (Ledl & Ullrich, 2017; Suiter et al., 2003), welche die PAS mit acht Ausprägungen verwendeten, konnten hingegen durch die Verwendung eines Ventils bzw. einer Kappe auf eine ungeblockte Trachealkanüle unmittelbar signifikante funktionale Verbesserungen des Schluckens beobachten ($N = 20$ bzw. $N = 14$). Im Falle von quantitativen Messungen (wie Dauer oder Amplitude von Teilbewegungen oder Schluckphasen) zeigten sich funktionelle Verbesserungen durch das Entblocken der Trachealkanüle. Der Verschluss der TK hatte hingegen keine positive Wirkung. Es bleibt unklar, welche Varianten oder Faktoren das Schlucken in welchem Umfang beeinflussen. Den Einfluss des Trachealkanülen-Zustandes auf pharyngeale Residuen betrachtete neben der Arbeit von Suiter et al. (2003) nur eine weitere Studie von Ohmae et al. (2006), welche ebenfalls keine Reduktion nachweisen konnte.

Ein universaler und unmittelbarer Benefit des Sprechventils konnte bisher nicht eindeutig nachgewiesen werden. Bei der Interpretation der Studienlage muss aber ein entscheidender Aspekt berücksichtigt werden. Es ist aufgrund der bisher geschilderten physiologischen Vorteile durch die Verwendung eines Sprechventils nicht davon auszugehen, dass Aspirationen, die ohne Sprechventil stattfinden, durch die Anwesenheit eines Sprechventils durchweg eliminiert werden. So waren beispielsweise bei Srinet et al. (2015) keine Veränderungen des Aspirationsstatus festzustellen. Bei Patientinnen und Patienten mit schwerer Dysphagie ist unabhängig vom TK-Zustand immer mit einer Aspiration zu rechnen. Ebenso werden Personen mit unauffälligem Schlucken mehrheitlich in diversen TK-Modifikationen unauffällig schlucken. Vielmehr spiegeln die Ergebnisse wider, dass die physiologischen Vorteile, die ein Sprechventil (und ebenso eine Verschlusskappe) gegenüber einer offenen

⁸⁴ $I^2 = 71.96$, $p = .006$; OD 0.122; 95 % CI = 0.031 – 0.479; $p = .003$ (O'Connor et al., 2019)

⁸⁵ Die Reviews von O'Connor et al. (2019) und Skoretz et al. (2020) überschneiden sich in Bezug auf drei eingeschlossene Studien: Elpern et al. (2000), Leder (1999) und Suiter et al. (2003).

Trachealkanüle mit sich bringt, immerhin bei einem gewissen Teil der Patientinnen und Patienten unmittelbar einen funktionellen und klinisch relevanten Unterschied beim Schlucken ausmachen können, wie schon Eibling und Gross (1996, S. 256) postulierten. Ein nicht vernachlässigbarer Prozentsatz an Personen mit Dysphagie kann allerdings durchaus die Aspirations- oder Penetrationsneigung sowie die Clearance durch Wiederherstellung der physiologischen Luftführung und des subglottischen Druckes klinisch relevant verbessern (Dettelbach et al., 1995; Elpern et al., 2000; Ledl & Ullrich, 2017; Logemann et al., 1998; Ohmae et al., 2006; Stachler et al., 1996; Suiter et al., 2003). Dies rechtfertigt die empfohlene Verwendung von Sprechventilen und Verschlusskappen – zum einen wegen der sofortigen, zum anderen wegen der längerfristigen Auswirkungen auf das Sekretmanagement und das Schlucken (Kapitel 6.1, 6.2).

Folgerichtig wird für die Schluckdiagnostik und für die Nahrungsaufnahme grundsätzlich eine entblockte Trachealkanüle mit Ventil oder Verschlusskappe empfohlen (Dziawas & Pflug, 2020; Ledl et al., 2023). Manchmal ist die Entblockung aus spezifischen Gründen langfristig nicht möglich. In diesen Fällen gilt es nach einer Überprüfung des Schluckens Risiken und Lebensqualität gegeneinander abzuwägen, sodass gegebenenfalls die Nahrungsaufnahme bei geblockter Trachealkanüle erfolgen kann (Ledl et al., 2023).

Bisher wurde die Wirkung von Sprechventilen und Verschlusskappen als weitestgehend gleichwertig beschrieben. Schwegler (2022, S. 62) weist allerdings noch auf einen speziellen Aspekt hin, bei dem es möglicherweise durchaus einen entscheidenden Unterschied macht, welches von beiden verwendet wird. Bei Residuen im Hypopharynx kann ein Sprechventil gegenüber einer Verschlusskappe von Vorteil sein, bzw. ein Problem, das ohne Trachealkanüle oder mit Verschlusskappe auftreten würde, wird mit Sprechventil verkannt. Die Inspiration erfolgt beim Sprechventil über die Kanüle und umgeht den Larynx, anders bei der Verschlusskappe (vgl. Abbildung 15). Hier kann der inspiratorische Luftsog nach unten (kaudal) laryngeale Residuen mit sich ziehen, sodass diese möglicherweise aspiriert werden. Gleiches gilt auch für Schlucken ohne Trachealkanüle. Theoretisch ist also denkbar, dass Personen mit Residuen im Hypopharynx mit einem Sprechventil unauffällig schlucken, weil durch den Larynx nur Luft nach kranial (oben) passiert. Bei Verwendung einer Verschlusskappe sorgt aber der inspiratorische Luftstrom nach unten für eine Aspiration. Vermutlich ist dies sehr selten der Fall, aber für einzelne Personen kann ein Wechsel der Verschlussart oder eine Dekanülierung eben doch einen relevanten Unterschied ausmachen, was in der Diagnostik und Therapie beachtet werden muss.

6.5.2 ACV

Über den Einfluss von Above Cuff Vocalisation auf das Schlucken ist nur wenig bekannt. ACV ermöglicht zwar keinen normal kräftigen Hustenstoss (Schwegler, 2022, S. 49), der Luftstrom nach oben sowie die

dadurch möglichen Reinigungsfunktionen scheinen aber dennoch eine positive Wirkung zu haben. Eine Einzelfallstudie sowie zwei Studien mit jeweils zehn Personen weisen darauf hin, dass sich der Einsatz von ACV positiv auf die Schluckfrequenz, die Sensibilität, spontane Husten- und Reinigungsversuche sowie die subglottischen Sekretmengen und das Schlucken auswirkt (Kothari et al., 2017; McGrath et al., 2019; Naito et al., 1996; Wallace et al., 2023).

6.5.3 Leckage-Beatmung

Auch zum Schlucken mit Leckage-Beatmung finden sich nur sehr wenige Studien. Bei tracheotomierten Patientinnen und Patienten mit neuromuskulärer Erkrankung ($N = 10$) konnten Terzi et al. (2007) Wasserschlucke unter Spontanatmung mit Sprechventil und kontrolliert-assistierter Beatmung bei entblockter TK (Leckage-Beatmung) vergleichen. Mit Unterstützung des Ventilators konnte die Anzahl an Schlucken sowie deren Dauer pro Bolus (5 ml, 10 ml, 15 ml Wasserschluck) gegenüber der Spontanatmung signifikant verkürzt werden. Die für das Krankheitsbild typischen Auffälligkeiten beim Schlucken (Kapitel 4.2.5) können somit verbessert werden. Ebenfalls hatte die Beatmung den Vorteil, dass der Kohlendioxidpartialdruck im Blut sowie das subjektive Empfinden von Dyspnoe deutlich geringer waren. Ein einzelner Patient, der spontanatmend nicht in der Lage war, den grössten Bolus (15 ml) zu schlucken, schaffte dies jedoch an der Beatmung. Bei Patientinnen und Patienten mit eingeschränkter Lungenfunktion und Teilbeatmung bietet eine Ventilation beim Schlucken offensichtlich Vorteile gegenüber der Spontanatmung und verbessert einige Aspekte. Es sollte daher individuell überprüft werden, ob die Anwesenheit der Beatmung bei der Nahrungsaufnahme sowohl für die Respiration als auch für das Schlucken eine Entlastung schaffen könnte.

In einer weiteren Studie konnten Terzi et al. (2010) sieben Personen mit Duchenne Muskeldystrophie untersuchen. Sie verglichen die Schluckuntersuchung vor einer medizinisch notwendigen Tracheotomie (spontanatmend ohne Trachealkanüle) mit jener danach (entblockt mit Inline-Ventil und Beatmung). Die Patientinnen und Patienten benötigten spontanatmend alle Mehrfachschlucke und mehrere Respirationszyklen pro Bolus. Mit Trachealkanüle und Beatmung sank die Dauer des Schluckes sowie die Anzahl an Schlucken pro Bolus signifikant, die Anzahl an Respirationszyklen war ebenfalls geringer, verfehlte aber das Signifikanzniveau. Auch hier waren zwei Patienten nur mithilfe der Beatmung fähig, grössere Boli zu schlucken. Die subjektive Dyspnoe verbesserte sich ebenfalls mit der Beatmung. Allerdings konnte kein Unterschied in der Anzahl an postdeglutitiver Expiration beobachtet werden (50 %).

In beiden Studien zeigte sich, dass sich die Atem-Schluck-Koordination, welche durch die respiratorische Einschränkung beeinträchtigt war, durch Anwesenheit der Beatmung verbesserte. Als möglichen Grund hierfür sehen die Autorinnen und Autoren, dass mit erfolgter Atemunterstützung die

Anforderung an die Atemmuskulatur sinkt und die obere Atemmuskulatur rein für das Schlucken verwendet werden kann. Ausserdem kann die Aufmerksamkeit so vollkommen auf das Schlucken ausgerichtet werden. Eine Reduzierung der Dyspnoe und der damit verbundenen Angstzustände hat womöglich ebenfalls einen positiven Einfluss. Dass die Leckage-Beatmung den subglottischen Druck über den gesamten Respirationszyklus aufrecht hält, interpretieren Terzi et al. (2007) in Bezug auf die Sicherheit beim Schlucken eher als positiv.

6.5.4 Inline-Ventile

Theoretisch sollte die positive Wirkung eines Sprechventils auf das Schlucken auch in der Beatmungssituation zum Tragen kommen. Die Ergebnisse der Studien zum Sprechventil in Spontanatmungssituationen (Kapitel 6.5.1) sollten an sich auch auf die Beatmungssituation übertragen werden können, womit auch häufig argumentiert wird (Fröhlich et al., 2017; Schwegler, 2022, S. 153). Die Anzahl an Belegen hierfür ist aber gering.

Eine frühe und wiederholte Verwendung eines Inline-Ventils an der Beatmung kann in den meisten Fällen ohne grössere Probleme und negative Auswirkungen erfolgen und wirkt auf diverse Parameter wie Kommunikationsfähigkeit, Olfaktion, Oralisierung, Sekretmanagement oder Weaning langfristig positiv (Freeman-Sanderson et al., 2016b; Fröhlich et al., 2017; Lichtman et al., 1995; K. A. Rodrigues et al., 2015; Sutt et al., 2016; Whitmore et al., 2020). Die Auswirkungen eines Trainings mit Inline-Ventil an der Beatmung in der Akutphase auf die Schluckphysiologie und -funktion ($N = 14$) beobachteten K. A. Rodrigues et al. (2015). Eine endoskopische Schluckuntersuchung, die mit eigens entwickelten Rating-Skalen bewertet wurde, zeigte, dass ein Training beide Faktoren sowie die Oralisierung eindeutig positiv verbessern konnte. Da der Vergleich zu einer Kontrollgruppe fehlt, liefert dies jedoch nur erste Anhaltspunkte.

Es fanden sich auf der Suche nach weiteren Studien zu langfristigen Effekten auf das Schlucken keine weiteren Arbeiten. Auch zu unmittelbaren Effekten auf die Schluckphysiologie und -effizienz bei Verwendung eines Inline-Ventils an der Beatmung blieb die Suche erfolglos.⁸⁶ Soweit bekannt, gab es noch keine Studie, die den Einfluss der Anwesenheit eines Inline-Ventils mit Beatmung auf das Schlucken oder den Unterschied zwischen Ventil mit und ohne Beatmung untersuchte.

⁸⁶ Fälschlicherweise wird z. B. bei Schönhofer et al. (2019) eine Studie von Srinet et al. (2015) zitiert, welche angeblich unter Beatmung verschiedene Ventil-Lösungen mit offener Trachealkanüle vergleicht. Allerdings führten hier ungenaue und ähnliche Produktnamen des Sprechventils von Passy Muir® und einer Innenkanüle von Blom® zu einem Missverständnis, denn die verwendeten Kanülen und Ventile bei Srinet et al. (2015) waren die jeweiligen Varianten für Spontanatmung, und somit fand auch die Testreihe unter Spontanatmung statt.

6.5.5 Blom® Sprech-Innenkanüle

Studien zum Schlucken in der Beatmungssituation mit der Blom® Sprech-Innenkanüle wurden nicht gefunden.

6.5.6 Schlussfolgerungen

Beim Blick auf die verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen, die eine weitestgehend physiologische Luftstromführung ermöglichen, bleibt für beatmete Patientinnen und Patienten die Frage, welche Variante für das Schlucken am meisten Vorteile mit sich bringt. In Anbetracht der jeweiligen Eigenschaften und der Forschungslage lassen sich folgende Schlüsse ziehen. Falls kein Entblocken möglich ist, scheint die ACV durch den Luftstrom nach oben geeignet, Aspekte wie die Sensibilität, die Schluckfrequenz und das Sekretmanagement zu verbessern. Da allerdings die Hustenfunktion nicht wiederhergestellt werden kann, scheint dieser Modus zur Nahrungsaufnahme weniger empfehlenswert.

Die Blom® Sprech-Innenkanüle sollte nur bei wenig Sekret und intakter Schluckfähigkeit verwendet werden. Da der Anteil an Dysphagien bei beatmeten Personen sehr hoch ist, ist sie vermutlich weniger für die Anfangsphase und das Weaning geeignet, sondern eher für spätere Phasen, sofern alle Voraussetzungen abgeklärt wurden.

So bleiben im typischen Dekanülierungsmanagement für (teil-)beatmete Patientinnen und Patienten drei Modifikationen: Spontanatmung mit Sprechventil, Leckage-Beatmung und Beatmung mit Inline-Ventil. Alle drei haben den Vorteil, dass sie keine spezielle Trachealkanüle benötigen und ein Wechsel nur nötig ist, sofern die Expiration rund um das Kanülenrohr nicht ausreichend stattfinden kann (Kapitel 6.2, 6.3).

Es herrscht Einigkeit, dass die Verwendung eines Sprechventils in Spontanatemphasen längerfristig eine funktionale Verbesserung des Schluckens fördert. Trotz kontroverser Ergebnisse zur unmittelbaren Wirkung kann zusammenfassend gesagt werden, dass die Anwesenheit eines Sprechventils die Schluckfähigkeit positiv verändert. Dabei spielen die weitestgehend physiologische Luftstromführung sowie die Möglichkeit, einen subglottischen Druck aufzubauen, eine Schlüsselrolle. Zwar nicht in allen, aber in mehreren Fällen bewirkt dies eine klinisch relevante Verbesserung in Bezug auf den Penetrations-Aspirations-Status.

Auch der Einsatz von speziellen, für die invasive Beatmung geeigneten Ventilen fördert verschiedene Aspekte rund um das Atmen und Schlucken längerfristig. Die Frage, ob ein Inline-Ventil auch eine unmittelbare Wirkung auf das Schlucken hat, wurde allerdings noch nicht systematisch untersucht. Es

kann lediglich vermutet werden, dass der physiologischen Luftstromführung und der Möglichkeit zum subglottischen Druckaufbau auch in der Beatmungssituation entscheidende Rollen zukommen.

Die genannten Studien zum Schlucken mit Leckage-Beatmung (vor allem solche mit Ventilatoranpassungen) zeigen einen Benefit für Personen mit Ateminsuffizienz im Vergleich zur Spontanatmung. Die respiratorisch bedingten Veränderungen der Atem-Schluck-Koordination können durch die Anwesenheit der Beatmung deutlich verbessert werden.

Dass die Anwesenheit der Beatmung das Schlucken bei Ateminsuffizienz verbessern kann, zeigt auch eine Studie von Vitacca et al. (2005). Die Autoren und Autorinnen verglichen die Nahrungsaufnahme bei Personen mit COPD ($N = 16$) spontanatmend und an der Beatmung. Details über den Trachealkanülenzustand sind allerdings unzureichend. Es ist aber davon auszugehen, dass die Schluckversuche – entgegen den heutigen Empfehlungen – jeweils bei geblockter Trachealkanüle stattfanden. Beim Essen mit Spontanatmung wurde die Dyspnoe deutlich stärker empfunden als im Ruhezustand. Mit druckunterstützter Beatmung konnte dies kompensiert werden. Zudem zeigten die Betroffenen mit Atemunterstützung eine niedrigere Atemfrequenz, ein höheres Tidalvolumen, bessere CO_2 -Werte sowie einen niedrigeren Puls.

Auch die Anwesenheit der nicht-invasiven Ventilation (über Nasenmaske oder Mundstück) scheint unterstützend zu wirken. Es zeigt sich deutlich, dass Personen mit respiratorischen Einschränkungen mit NIV deutlich besser bei den Mahlzeiten zurechtkommen. Die Anwesenheit einer kontinuierlichen druckgesteuerten Beatmung (CPAP) wirkt sich positiv auf die Atem-Schluck-Koordination (Respirationszyklen, Dauer und Mehrfachschlucke pro Bolus, Anzahl an postdeglutitiver Expiration, Dauer der Schluckapnoe) sowie auf das Empfinden von Dyspnoe aus (Garguilo et al., 2013; Hori et al., 2016; Hori et al., 2019; Terzi et al., 2014).

Beim NIV kann es allerdings je nach Beatmungsmodus zu negativen Auswirkungen auf das Schlucken kommen. Mit der nicht-invasiven biphasisch positiven Druckbeatmung (BIPAP) wird durch das Schlucken eine Inspiration getriggert, die dann auf den Schluck folgt. Da die Inspiration bei NIV über die oberen Atemwege geht, besteht so die Gefahr einer Aspiration (Sogwirkung nach unten). Mit CPAP werden hingegen wieder deutlich mehr postdeglutitive Expirationen beobachtet (Hori et al., 2016; Hori et al., 2019), weshalb bei der Nahrungsaufnahme zur Unterstützung mit CPAP geraten wird. Dabei muss gegebenenfalls der Trigger weniger sensibel eingestellt werden (Andersen et al., 2024).

Diese Beobachtung und Empfehlung sind insofern interessant, da sich für invasive Beatmung vereinzelt ähnliche Überlegungen zur Bedeutung des Luftstromes finden. Im physiologischen Schluckvorgang wird der postdeglutitiven Expiration eine protektive Wirkung zugewiesen: Sie verringert das Aspirationsrisiko. Analog kann jedwedem laryngealen Luftstrom nach oben (kranial) eine Schutzfunktion zugeschrieben werden. Schwegler (2022, S. 62) verweist schon beim potenziellen Wechsel von Sprechventil zu Verschlusskappe auf den möglichen Effekt des inspiratorischen

Luftflusses nach unten (Abbildung 21a, 21b), welcher allfällige Penetrationen und Residuen in die Luftröhre befördern kann und das Aspirationsrisiko steigert (Kapitel 6.5.1). Eine ähnliche Überlegung macht er in Bezug auf die Anwesenheit der Beatmung im Vergleich zur Spontanatemsituation mit Sprechventil. In beiden Beatmungs-Modi gibt es über den Larynx durchgehend (Inline-Ventil) oder nahezu durchgehend (Leakage-Breathing) einen Luftstrom nach oben (Abbildung 21c, 21d). Dieser könne laut Schwegler (2022, S. 153f.) eine Penetration bzw. Aspiration von vorhandenen Speichelresiduen oder Penetrationen zwar nicht gänzlich verhindern, allerdings sei ein Abgleiten in den Aditus laryngis oder in die Trachea gegen den Luftstrom deutlich erschwert. Bei einem Wechsel auf ein Sprechventil unter Spontanatmung ist zu bedenken, dass hier nur während der Expiration ein kranialer Luftstrom über die oberen Atemwege geht (Abbildung 21a), die Inspiration erfolgt über das Kanülenrohr. Das Risiko für Penetrationen und Aspirationen von Speichel kann in diesem Modus daher höher sein, was bei einer Umstellung beobachtet werden muss. Auch Terzi et al. (2007) vermuten, dass bei Leakage-Beatmung der andauernde Luftfluss nach oben und somit der über den gesamten Respirationszyklus erhöhte subglottische Druck ein Grund für die positive Wirkung auf das Schlucken und Aspirationen ist.

Schlussendlich können aus physiologisch-physikalischen Überlegungen sowie aus der Studienlage drei Aspekte herausgefiltert werden, welche die Schluckfähigkeit von (teil-)beatmeten Patientinnen und Patienten positiv beeinflussen können:

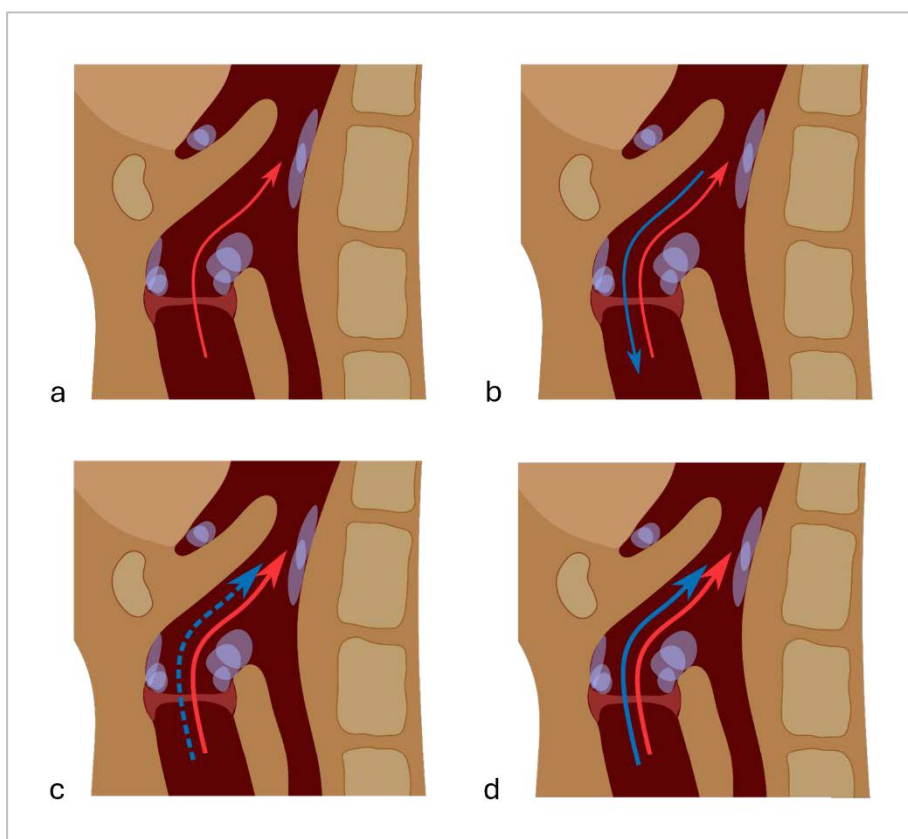
1. Anwesenheit eines Ventils, damit möglichst physiologische Luftstromführung stattfindet und subglottischer Druck aufgebaut werden kann;
2. Kompensation der Ateminsuffizienz durch die Anwesenheit der Beatmung;
3. Kranialer, laryngealer Luftfluss über einen möglichst langen Teil des Respirationszyklus hinweg, um den Schutz vor Penetrationen und Aspirationen zu erhöhen.

Es drängt sich die Frage auf, ob eine Kombination dieser drei Aspekte, welche an der Beatmung mit Inline-Ventil gegeben ist, für gewisse Personen nicht den grössten Benefit bewirken kann. Es könnte aber auch sein, dass in der Beatmungssituation eher die Anwesenheit des Respirators gegenüber dem Ventil einen dominierenden Effekt hat und somit kein Vorteil gegenüber der Leakage-Beatmung besteht. Der Unterschied zur Leakage-Beatmung liegt in der Möglichkeit zum subglottischen Druckaufbau, was wiederum auf Reinigungsfunktionen positiv wirkt. Erstaunlicherweise wurde Schlucken mit Inline-Ventilen bisher nur bezüglich seiner längerfristigen Effekte auf das Schlucken untersucht. Soweit bekannt, gibt es keine Studien, die das Schlucken an der Beatmung mit Inlineventil mit Ventilen spontanatmend oder bei Leakage-Beatmung verglichen. Dies verwundert insofern, da im Weaningalltag zwischen verschiedenen Modifikationen gewechselt wird und unklar bleibt, in welchem

Modus die orale Nahrungsaufnahme am besten wäre. Denkbar ist allerdings auch, dass es individuelle Faktoren sind, die im einen oder anderen Modus Vorteile mit sich bringen. Eine entscheidende Frage ist zudem, wie die betreffenden Personen die einzelnen Modi gewohnt sind und wie gut sie ihre Schluckabläufe mit dem Rhythmus der Beatmungsmaschine oder der eigenen Atemkapazität abstimmen können. Bei den Probanden von MacBean et al. (2009) spielte es eine grosse Rolle, welchen Beatnungsmodus sie zum Sprechen gewohnt waren. Je nachdem konnten sie mit den einzelnen Modi besser oder schlechter umgehen oder bevorzugten eher den gewohnten Modus. Vielen Personen fällt beim Sprechen die Abstimmung auf den Rhythmus der Beatmungsmaschine schwer (Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009). Es ist daher nicht abwegig, dass die individuelle Präferenz oder Gewohnheit auch beim Schlucken, sowie die individuelle Fähigkeit, das Timing auf die einzelnen Modi abzustimmen, relevant sind.

Abbildung 21

Schematische Darstellung der laryngealen Luftflüsse bei Spontanatmung mit Sprechventil (a), Spontanatmung mit Verschlusskappe (b), Leckage-Beatmung (c) und Inline-Ventil mit Beatmung (d)



Anmerkungen. Die inspiratorischen (blau) und expiratorischen (rot) Luftflüsse strömen vollständig (durchgezogener Pfeil) oder teilweise (gestrichelter Pfeil) über den Larynx. Die Glottis ist im helleren Weinrot vereinfacht angedeutet. Oberhalb der Glottis befinden sich Residuen und penetriertes Material (bläulich/violett). In Fällen respiratorischer Insuffizienz sind in den beiden Varianten mit Beatmung (c, d) stärkere Luftflüsse zu erwarten als spontanatmend (a, b) (Eigene Darstellung).

Im Rahmen prolongierten Weanings in der neurologisch-neurochirurgischen Frührehabilitation vertreten Rollnik et al. (2017, S. 665) folgende Ansicht: «Generell ist eine Oralisierung bei entblocktem Cuff mit Sprechventilaufsatz in den Spontanatmungsphasen ohne Beatmungsgerät oder nach erfolgtem Weaning anzustreben» (Rollnik et al., 2017, S. 665). Dagegen lässt sich einwenden, dass es nicht sinnvoll ist, bis nach dem Weaning zu warten. Wie in Kapitel 6.1 dargelegt wurde, spricht nichts gegen ein frühes Entblocken und die Förderung oder den Beginn der Oralisierung trotz der Beatmung. Im Gegenteil, es treibt die Schluckfähigkeit und Oralisierung ohne negative Auswirkungen voran.

Darüber hinaus stellt sich auch für die Schlucktherapie die Frage, welche Modifikation für die Therapie zu bevorzugen ist. Im diskontinuierlichen Weaning sind die Therapie und die Oralisierung prinzipiell in beiden Phasen möglich (Schwegler, 2022, S. 155).

Selbstverständlich ist das angestrebte Ziel, möglichst zuverlässig und so lange wie möglich spontanatmend zurechtzukommen. Neben den subjektiven Präferenzen der Patientin bzw. des Patienten und dem Tempo des zu erwartenden Weaningverlaufs (Schwegler, 2022, S. 155) sind aber auch respiratorische Erschöpfung und die unterschiedlichen Effekte auf die Schluckfähigkeit zu berücksichtigen. Bei respiratorischer Insuffizienz scheint die Nahrungsaufnahme eine zusätzliche körperliche Anstrengung darzustellen, die sich auf den Allgemeinzustand und die Atem-Schluck-Koordination auswirkt. Eine routinemässige Unterstützung durch Beatmung bei der täglichen Nahrungsaufnahme wird daher an einigen Stellen empfohlen (Andersen et al., 2024; Terzi et al., 2007; Vitacca et al., 2005) und sollte in Erwägung gezogen werden. Auch wegen des verringerten Penetration-Aspirationsrisikos durch den permanenten kranialen Luftfluss am Larynx empfiehlt Schwegler (2022, S. 154f.), die Therapie und eine mögliche Oralisierung vorerst in der sichereren Variante mit Beatmung durchzuführen. Bevor Therapie und Nahrungsaufnahme unter Spontanatmung begonnen werden, sollten etwaige Unterschiede diagnostisch überprüft werden. Aus therapeutischer Sicht ist die Fähigkeit zum Husten und Räuspern unentbehrlich, daher plädiert er bevorzugt für die Verwendung von Inline-Ventilen.

Konsequenterweise wäre es dann ebenfalls empfehlenswert, die verschiedenen Modifikationen im Rahmen einer bildgebenden Schluckdiagnostik routinemässig zu überprüfen, um klinisch relevante Unterschiede für die jeweilige Person zu entdecken.

Die genannten Argumente, dass Schlucken an der Beatmung mit Inline-Ventil aus therapeutischer Sicht in bestimmten Phasen des Weanings als bevorzugte Modifikation gesehen werden kann, sind soweit schlüssig und werden vom bisherigen Wissens- und Forschungsstand bekräftigt. Unklar ist jedoch, ob dieser positive Effekt im Vergleich mit den anderen Modi allgemein vorhanden ist, oder ob es doch individuelle Aspekte sind, die Vorteile in einem bestimmten Modus mit sich bringen. Ein direkter und

unmittelbarer Vergleich mit Leckage-Beatmung oder Spontanatmung mit Sprechventil wurde bisher noch nicht durchgeführt, sofern dies bekannt ist.

Um jene drei Modifikationen in einem ersten Versuch gegenüberzustellen und deren Einfluss auf das Schlucken und die Atem-Sprech-Koordination zu eruieren, wurde eine nicht-klinische prospektive Studie durchgeführt, welche in Kapitel 7 ausführlich dargestellt wird.

7 Empirische Untersuchung

7.1 Fragestellungen und Hypothesen

Im Verlauf dieser Arbeit wurde auf die vielseitigen Auswirkungen einer respiratorischen Insuffizienz auf das Sprechen und Schlucken hingewiesen, welche zusätzlich zu einer möglichen Dysphagie oder Störung des Sprechens auftreten können. Der derzeitige Forschungsstand zu kurzfristigen positiven Effekten auf das Schlucken durch Anwesenheit eines Sprechventils oder der Beatmung verdeutlicht zwar, dass Effekte vorhanden sind, die Zusammenhänge sind jedoch komplexer Art und bisher konnten keine differenzierten Antworten gefunden werden. Insbesondere ist der Kenntnisstand zur Wirkung von Inline-Ventilen an der Beatmung unbefriedigend. Um diesen Fragen weiter nachzugehen, ist das zentrale Thema dieser Forschungsarbeit der Vergleich der im diskontinuierlichen Weaning gebräuchlichen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi sowie deren unmittelbare Effekte auf das Schlucken und die Atem-Sprech-Koordination. Der Vergleich bezieht Leakage-Beatmung, Inline-Ventil an der Beatmung und Sprechventil spontanatmend mit ein.

Im Rahmen der *ersten Fragestellung* zur Auswirkung der Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Schlucken wird primär der Unterschied in Bezug auf das Kardinalsymptom von Dysphagien untersucht. Das Ausmass von Penetrationen und Aspirationen dient als Hauptoutcome-Parameter dieser Studie. Wie vorangegangene Ausführungen gezeigt haben, konnten durch Anwesenheit eines Sprechventils unter Spontanatmung vereinzelt positive Effekte auf den Grad der Penetration und Aspiration beobachtet werden. Mit respiratorischer Unterstützung durch Leakage-Beatmung konnten positive Effekte auf die Atem-Schluck-Koordination erzielt werden (Kapitel 6.5). Die Vermutung liegt nahe, dass sich die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen ebenfalls unterschiedlich auf das Schlucken auswirken. Für den klinischen Alltag ist vor allem die Gabe von breiigen und flüssigen Konsistenzen relevant, da mit diesen häufig begonnen wird (Clavé et al., 2008; Trapl et al., 2007). Folglich lauten die Hypothesen zur ersten Fragestellung:

Hypothese H1a: Der Penetrations-Aspirationsgrad für breiige Konsistenzen unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.

Hypothese H1b: Der Penetrations-Aspirationsgrad für flüssige Konsistenzen unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.

Da das Verbleiben von Residuen als häufiger Prädiktor bzw. als häufige Ursache von Aspirationen gesehen wird (Eisenhuber et al., 2002; Kendall & Leonard, 2001; Logemann et al., 2005; Molfenter &

Steele, 2013), findet die Auswirkung der Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf pharyngeale Residuen in einer *zweiten Fragestellung* Berücksichtigung. Allerdings wird hier auf eine Hypothesenprüfung verzichtet – die zugehörige explorative Forschungsfrage wird lediglich deskriptiv ausgewertet. Ein Grund für den Verzicht auf eine inferenzstatistische Analyse liegt darin begründet, dass bisher keine klaren Aussagen zur Wirkung eines Sprech- bzw. Inline-Ventils auf das Vorhandensein pharyngealer Residuen existieren. Zwar besteht die Effizienz von Reinigungsmechanismen im Zusammenhang mit der Menge an pharyngealen Residuen (Kapitel 4.2; 5.2), ob der Trachealkanülen-Beatmungs-Modus darauf Einfluss hat, bleibt allerdings unklar. Rein aus physiologischen Überlegungen scheinen Reinigungsfunktionen hier eine grössere Rolle zu spielen. Eine weitere Überlegung liegt darin, dass es fraglich ist, ob die Menge an Residuen unabhängig vom Penetrations-Aspirationsgrad gesehen werden kann und eine Reduktion dieser durchweg positiv zu interpretieren ist. Wie erwähnt, reduziert sich die Gefahr von Penetration und Aspiration, je weniger pharyngeale Residuen nach erfolgter Schlucksequenz vorhanden sind. Jedoch sollte auch der theoretisch protektive Effekt des kranialen Luftstromes der Beatmung über den Larynx (Kapitel 6.5.6) berücksichtigt werden. Bei einem Wechsel von Beatmung zu Spontanatmung könnte eine Reduktion von pharyngealen Residuen theoretisch aufgrund einer vermehrten Penetration oder Aspiration entstanden sein, insbesondere bei Flüssigkeiten. Weniger pharyngeale Residuen sind daher nicht zwingend mit einer besseren Schluckeffizienz verbunden. Da diesbezüglich noch deutliche Wissenslücken vorhanden sind, wird in diesem ersten Vergleich nach möglichen Zusammenhängen oder Mustern gesucht.

Die entsprechende explorative Forschungsfrage zu den Residuen lautet daher:

Forschungsfrage F2: Wie wirken sich die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf pharyngeale Residuen aus?

Die *dritte Fragestellung* bezieht sich auf Reinigungsfunktionen. Aufgrund der respiratorischen Insuffizienz ist mit einer reduzierten Hustenkraft zu rechnen (Kapitel 4.2), sodass sich die Frage stellt, ob diese in den einzelnen Modi unterschiedlich gut ausfällt bzw. in einem Modus verbessert werden kann. Erst die Anwesenheit eines Ventils ermöglicht den subglottischen Druckaufbau, der für effiziente Reinigungsfunktionen nötig ist. Weiter ist zu vermuten, dass sich auch die Anwesenheit der Beatmungsmaschine positiv auf willkürliche Reinigungsfunktionen auswirkt, was vor allem für den Einsatz von kompensatorischen Techniken (Rachen reinigen, Räuspern, Abhusten) klinisch relevant ist. Die Hypothese hierzu lautet folglich:

Hypothese H3: Der willkürliche Peak Cough Flow unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.

Im Review von Whitmore et al. (2020, S. 7) wird vermerkt, dass verschiedene Optionen der Kommunikationsmöglichkeiten zu selten miteinander verglichen werden. Daher bezieht sich die *vierte Fragestellung* auf die Auswirkungen der Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf die Atem-Sprech-Koordination. Aufgrund der respiratorischen Insuffizienz ist mit Einschränkungen beim Sprechen und der Atem-Sprech-Koordination zu rechnen (Kapitel 3.6). Auch die unterschiedlichen Auswirkungen der Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Sprechen wurden dargestellt (Kapitel 6.4), welche die Kommunikationsfähigkeit mehr oder weniger beeinträchtigen. Es kann daher vermutet werden, dass sich die Menge der zum Sprechen zur Verfügung stehenden Luft in den einzelnen Modi unterscheidet. Allerdings interessiert hier weniger die Luftmenge in Form der forcierten Vitalkapazität, sondern mehr die Koordination von Atmung und Phonation. Bezüglich der Atem-Sprech-Koordination ergeben sich für Aufgaben der Maximalleistung sowie für Sprechen im Rahmen einer Leseaufgabe folgende Hypothesen:

Hypothese H4a: Die maximale Tonhaltedauer unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.

Hypothese H4b: Die mittlere Äusserungslänge beim Lesen unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.

Hypothese H4c: Die Sprechrate (Silben/min) beim Lesen unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.

Whitmore et al. (2020, S. 7) fordern dazu auf, zukünftig auch die subjektive Erfahrung der Patientinnen und Patienten im Weaning mehr zu berücksichtigen. Auch Dai et al. (2024) weisen darauf hin, dass sich subjektiv empfundene Aspekte als relevante Parameter erwiesen haben und in Forschungsarbeiten mehr Berücksichtigung finden sollten. Die *fünfte Fragestellung* ist daher explorativer Art und beschäftigt sich mit dem subjektiven Empfinden und den Präferenzen zu den einzelnen Modi. Da hier sehr individuelle Antworten erwartet werden, wurde auch in diesem Fall die deskriptive Auswertung der inferenzstatistischen vorgezogen:

Forschungsfrage F5a: Wie ist das subjektive Wohlbefinden beim Atmen und Sprechen in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi?

Forschungsfrage F5b: Welchen Modus bevorzugen die Patientinnen und Patienten generell und aus welchen Gründen?

7.2 Methodisches Vorgehen

Bei der vorliegenden prospektiven Untersuchung zum Einfluss dreier Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf das Schlucken und Sprechen von teilbeatmeten Patienten handelt es sich um eine nicht-klinische Beobachtungsstudie gemäss HFV mit Personen der Risikokategorie A. Die Datenerhebung wurde am Schweizer Paraplegiker-Zentrum in Nottwil im Zeitraum von August 2015 bis Dezember 2017 durchgeführt (Screening-Zeitraum April 2015 bis Dezember 2017). Das Vorgehen wurde vorgängig der hausinternen Ethikkommission vorgelegt, auf deren Anraten modifiziert und genehmigt. Anschliessend wurde das Vorhaben der Ethikkommission Nordwest- und Zentralschweiz (EKNZ) vorgelegt (EKNZ 2015-055) und nach Erfüllung von Auflagen genehmigt (März 2015). Spätere Anträge bezüglich geringer Änderungen (Erweiterung der Einschlusskriterien, Verlängerung der Datenerhebung) wurden ebenfalls genehmigt.

Die Studie wurde gemäss der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes, den ICH-GCP-Richtlinien oder der ISO-Norm 14155 sowie den vor Ort geltenden gesetzlichen Bestimmungen durchgeführt. Im Rahmen der Studie kam es zu keinerlei negativen Ereignissen.

Das Forschungsprojekt erhielt finanzielle Unterstützung vom Schweizer Paraplegiker-Zentrum in Nottwil sowie von der Stiftung Heilpädagogisches Zentrum Freiburg (CH) und wurde im Rahmen einer Qualifikationsarbeit an der Universität Freiburg (CH) erstellt. Es bestehen keinerlei Interessenskonflikte.

7.2.1 Untersuchungsdesign und Ablauf

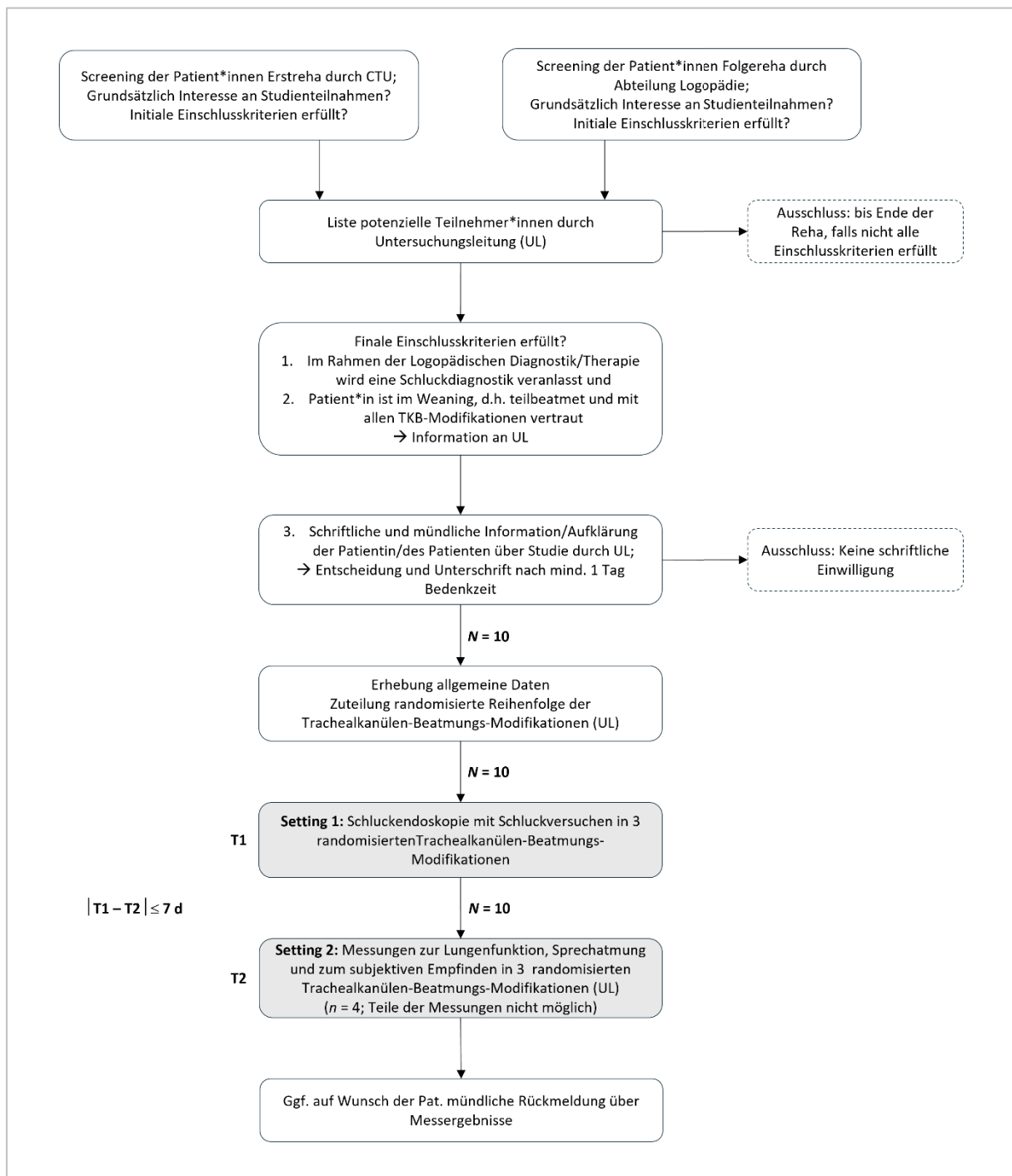
Da mit den genannten Forschungsfragen (Kapitel 7.1) kurzfristige Auswirkungen von verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Schlucken und Sprechen untersucht werden sollen, wurde ein prospektives Within-Subjects-Design gewählt. Innerhalb einer Stichprobe wurden Messwiederholungen in drei randomisierten Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen durchgeführt. Es handelt sich somit um eine Querschnittstudie.

Der Vorteil einer verbundenen Versuchsanordnung liegt darin, dass trotz einer möglichen Heterogenität der Stichprobe eine gute Strukturgleichheit gewährleistet wird. Da intraindividuelle Differenzen untersucht werden, ist die interindividuelle Varianz vernachlässigbar (Gaus & Muche, 2014, S. 31).

Der Ablauf der Studie ist in Abbildung 22 dargestellt. Die Rekrutierung wurde für die Erstrehabilitation von Angestellten der Abteilung Clinical Trial Unit (CTU) und für die Folgerehabilitation von Angestellten der Abteilung Logopädie durchgeführt. Bei Erfüllung der initialen Einschlusskriterien wurden Informationen zu den Personen an die Untersuchungsleitung (Autorin dieser Arbeit) weitergegeben.

Abbildung 22

Ablauf der prospektiven Untersuchung zum Einfluss dreier Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf das Schlucken und Sprechen von teilbeatmeten Patienten



Waren im Rehabilitationsverlauf auch die finalen Einschlusskriterien erfüllt, wurden die potenziellen Teilnehmerinnen und Teilnehmer von der Untersuchungsleitung mündlich und schriftlich über die Studienteilnahme informiert und aufgeklärt. Die Befragten durften sofort ablehnen oder nach mindestens einem Tag Bedenkzeit ablehnen bzw. schriftlich einwilligen. Falls die Teilnehmenden nicht in der Lage waren, selbst zu unterschreiben, konnte eine von der Studie unabhängige, anwesende

Person dies im Auftrag von und stellvertretend für die Patientin bzw. den Patienten übernehmen. Die Zustimmung war jederzeit widerrufbar. Die Studieninformation und Einwilligungserklärung sind in Anhang A zu finden.

Den Teilnehmenden wurde von der Untersuchungsleitung eine anonymisierte Probandennummer für die Untersuchungsbögen zugeteilt. Allgemeine Daten und Informationen wurden der Krankenakte entnommen.

Im Rahmen von zwei Untersuchungs-Settings wurden jeweils in den drei relevanten Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen Messreihen zum Schlucken (Setting 1), den Reinigungsfunktionen und dem Sprechen (Setting 2) durchgeführt. Die beiden Settings fanden innerhalb einer Woche statt. Um einen Effekt der präsentierten Reihenfolge der Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen zu vermeiden, wurde vorab die Reihenfolge durch Blockrandomisierung festgelegt (<http://www.randomizer.org/>). Bei drei Modi ergeben sich sechs mögliche Varianten der Reihenfolge. Diese wurden den Probanden⁸⁷ in der Reihenfolge ihrer Studienteilnahme zugewiesen und galt für beide Untersuchungssituationen (Anhang B).

Nach der Datenerhebung wurden die Teilnehmenden, falls gewünscht, über die Messergebnisse informiert.

7.2.2 Stichprobe

Für die durchgeführte Studie lag der Fokus auf teilbeatmeten Patientinnen und Patienten mit Trachealkanüle, die wegen einer Dysphagie in logopädischer Behandlung waren und im Rahmen ihres Alltags in der Rehabilitation zwischen verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen wechselten. Um diese ohnehin vulnerable Personengruppe möglichst zu schonen und keinen zusätzlichen oder unnötigen Belastungen auszusetzen, wurden in Absprache mit der Ethikkommission Personen auf der Intensivstation ausgeschlossen. Ebenfalls wurde auf eigens für die Studie veranlasste Schluckendoskopien verzichtet, sodass lediglich Schluckendoskopien, die im Rahmen der logopädischen Diagnostik und Therapie veranlasst wurden, in die Datenerhebung einfließen.

Um eine möglichst homogene Stichprobe zu bekommen, war die ursprüngliche Absicht, ausschliesslich Personen mit Tetraplegie und Klassifikation nach dem ASIA Impairment-Score einzuschliessen. Die Rekrutierung erwies sich nach einem Probelauf jedoch als unrealistisch, sodass diverse Ursachen für die Beatmungspflicht eingeschlossen wurden.

⁸⁷ Da im Rahmen der Studie ausschliesslich männliche Probanden eingeschlossen werden konnten, wird von nun an, sofern die Stichprobe gemeint ist, auch nur die männliche Form verwendet.

Die initialen Einschlusskriterien waren daher:

- grundsätzliches Interesse an Studien und Zustimmung, über potenzielle Studienteilnahmen informiert zu werden
- Männer und Frauen
- Alter > 18 Jahre
- Patientinnen und Patienten auf Normalstation, in Erst- oder Folgerehabilitation
- tracheotomiert
- beatmungspflichtig
- Kooperationsfähigkeit grundsätzlich vorhanden
- Verständnis der deutschen Sprache
- in logopädischer Behandlung

Tatsächlich eingeschlossen wurden Personen erst, wenn auch folgende finale Einschlusskriterien erfüllt waren:

- Leckage-Beatmung und Entblocken mit Inline-Ventil an der Beatmung für jeweils 30 Minuten möglich
- Spontanatemphasen am Sprechventil für mindestens 30 Minuten möglich
- im Rahmen der logopädischen Diagnostik bzw. Therapie steht eine Schluckendoskopie an
- unterschriebene Einverständniserklärung der Patientin bzw. des Patienten

Das Vorliegen eines der folgenden Ausschlusskriterien führte zum Ausschluss aus der Studie:

- Allergie gegen verwendete Lebensmittel (inklusive Lebensmittelfarbe)
- kurzfristige Verschlechterung des Allgemeinzustandes oder der Atemsituation, sodass die 30 Minuten in einem der getesteten Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen nicht mehr möglich sind

Trotz einer Verlängerung des Screeningzeitraumes von ursprünglich 18 Monaten auf 33 Monate wurde die geplante Stichprobengröße von 23 (siehe Kapitel 7.2.4) nicht erreicht, es konnten lediglich zehn Probanden eingeschlossen werden.

Einige Aufgaben zum Sprechen im zweiten Setting (sekundäre Outcome-Parameter) konnten nicht von allen Probanden durchgeführt werden. Ein Teilnehmer (P04) hatte eine Aphonie bzw. Anarthrie, weshalb alle Aufgaben zum Sprechen bei ihm nicht möglich waren. Bei einem anderen Probanden (P07) wurde nach der Datenerhebung ein technischer Defekt der Tonbandaufnahme (Mikrofonausfall am Ende des Settings) im Modus MVB entdeckt, weshalb die Aufgabe zur Silbenwiederholung und die Leseaufgaben nicht ausgewertet werden konnten. Zwei weitere Patienten (P01, P06) hatten so starke Sehprobleme, dass bei ihnen die Leseaufgabe nicht möglich war. Die Analysen wurden dementsprechend mit reduzierter Probandenzahl durchgeführt.

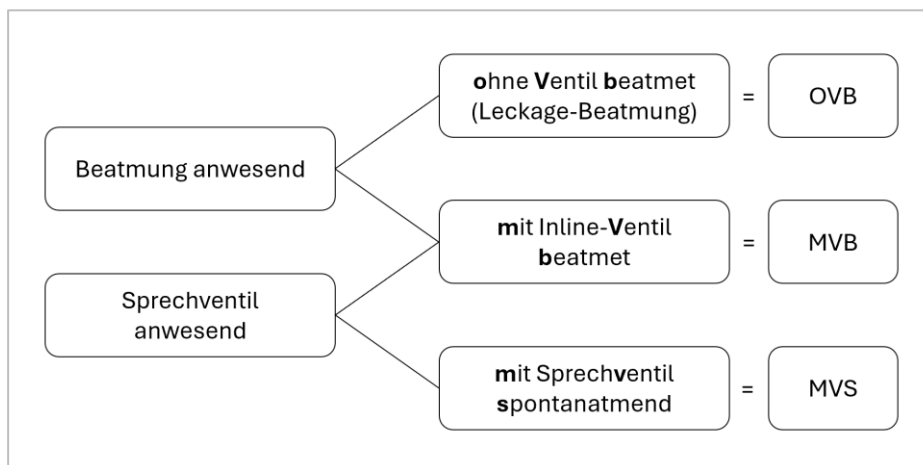
7.2.3 Durchführung und Erhebungsinstrumente

7.2.3.1 Die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Teilbeatmete Patientinnen und Patienten wechseln im Alltag zwischen Spontanatmung und Beatmung. Da nicht bekannt ist, ob die Anwesenheit eines Sprechventils an der Beatmung von Vorteil ist, wurden drei verschiedene Modifikationen bei jeweils entblockter Trachealkanüle miteinander verglichen: Leakage-Beatmung (ohne Ventil beatmet), mit Inline-Ventil an der Beatmung und mit Sprechventil spontanatmend. Diese Modifikationen wurden mit OVB, MVB und MVS abgekürzt (Abbildung 23).

Abbildung 23

Darstellung der drei untersuchten Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen mit ihren jeweiligen Abkürzungen



Als Sprechventil für die Spontanatmung wurde das PMV® 2001, als Inline-Ventil für die Beatmung das PMV® 007 von Passy Muir® verwendet.

Um in den beiden Beatmungs-Modi den Einfluss der An- und Abwesenheit des Inline-Ventils zu untersuchen, wurden die Beatmungsparameter an der Maschine in beiden Modi beibehalten. Es wurde jeweils auf das vom Respi-Care-Team gespeicherte individuelle Beatmungsprofil für entblockte Trachealkanüle zurückgegriffen.

7.2.3.2 Schlucken

Die transnasale videoendoskopische Schluckuntersuchung wurde im Rahmen einer im Therapieverlauf anstehenden Schluckdiagnostik oder Verlaufskontrolle durchgeführt, bei der unter anderem auch Unterschiede bezüglich mehrerer Trachealkanülen-Beatmungs-Modi eruiert wurden. So wurde bei den eingeschlossenen Patienten lediglich auf einen zuvor festgelegten Ablauf der Untersuchung (vgl. Anhang C) sowie auf die zugewiesene Reihenfolge der Modi geachtet.

Die Patienten wurden, so gut es individuell möglich war, im Bett aufgerichtet oder, sofern sie dazu in der Lage waren, im Rollstuhl sitzend untersucht. Während der ganzen Untersuchung wurden die Probanden pulsoxymetrisch überwacht. Die Untersuchung wurde von einer Phoniaterin oder einem Phoniater durchgeführt. Eine Pflegefachkraft des Respi-Care-Teams sowie die behandelnde Logopädin bzw. der Logopäde sowie die Untersuchungsleitung assistierten bei der Untersuchung. Zu Beginn wurden die Patienten unter Absaugkontrolle entblockt und in den ersten zugewiesenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modus gebracht.

Die Schluckendoskopie wurde mit dem Bronchoskop Fujinon EB-530P und dem Videoprozessor Fujinon VP-4400 mit Lichtquelle XL-4400 von Fujifilm Corporation durchgeführt. Auf ein lokales Anästhetikum in der Nase wurde routinemässig verzichtet, um die Sensibilität im Larynx nicht zu beeinflussen (Leder et al., 1997).

Nach erfolgter phoniatischer Untersuchung von Morphologie und Funktion wurden die Schluckversuche durchgeführt. In zugewiesener Reihenfolge wurden in jedem der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi zuerst breiige, dann flüssige Konsistenzen getestet. Es wurden schluckweise je drei Teelöffel grün gefärbtes Apfelmus und blau gefärbtes Wasser verwendet. In Ausnahmefällen (bei flacher Lagerung und mundmotorischen Einschränkungen) musste bei einzelnen Personen für Flüssigkeiten ein Trinkhalm verwendet werden, wobei die Aufforderung war, jeweils gleichgrosse kleine Schlucke zu verwenden. Wie bei Schluckendoskopien üblich, wurde bei ersichtlicher Aspiration, starker Aspirationsgefahr sowie bei drohender Erschöpfung des Patienten jedoch schon nach ein oder zwei Boli gewechselt. Falls im Rahmen der Therapie weitere Konsistenzen überprüft werden sollten, erfolgte dies im Anschluss und wurde für diese Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Am Ende eines jeden Modus wurde der Patient nochmals aktiv aufgefordert, den Rachen zu reinigen, um allfällige Retentionen möglichst gut zu beseitigen, und ggf. abgesaugt. Bei individuellem Bedarf wurden anschliessend weitere nötige Untersuchungsschritte wie die transstomatale Kontrolle des subglottischen Raumes oder ein Kanülenwechsel durchgeführt, allerdings unabhängig von der vorliegenden Studie. Nach der Untersuchung wurden die Patienten routinemässig endotracheal abgesaugt.

Die Videoaufnahmen der endoskopischen Schluckdiagnostik wurden von der Untersuchungsleitung für jeden Patienten, Modus und jede Konsistenz geschnitten und anonymisiert (Video Editor Shotcut; <https://www.shotcut.org/>). Um eine verblindete Auswertung zu gewährleisten, wurden in den Videoaufnahmen Gesicht, Trachealkanülen- und Beatmungsstatus und sonstige personenbezogene Daten verpixelt. Ebenfalls wurden sensible akustische Informationen zur Person, zum Modus oder zum Ergebnis der Untersuchung entfernt. Der restliche Ton wurde belassen, sodass spontane Reaktionen von Aufforderungen zum Husten, Schlucken oder Räuspern unterschieden werden konnten. Für jeden Patienten, jeden Modus und jede Konsistenz wurde eine Datei angelegt. Alle 60 Dateien wurden

mithilfe eines Online-Tools (www.randomizer.org) randomisiert und entsprechend der Nummerierung umbenannt, sodass die Auswertung verblindet in der generierten Reihenfolge stattfand. Durch eine zweite Randomisierung aller Dateien wurden 25 % aller Schluckserien unabhängig von der Konsistenz zufällig ausgewählt (15 Videos). In einem Abstand von zwei Wochen wurden diese in der neu generierten Reihenfolge von der gleichen Raterin⁸⁸ erneut ausgewertet, um die Intra-Rater-Reliabilität zu kontrollieren.

Um den Grad des Hauptmerkmals einer Schluckstörung zu erfassen, wurde auf die Penetrations-Aspirations-Skala (PAS) von Rosenbek et al. (1996) zurückgegriffen. Es handelt sich hierbei um eine englische Skala zur Gradeinteilung der Penetration und Aspiration, die sich international etabliert hat und sowohl für den klinischen Gebrauch als auch für Wissenschaft und Forschung geeignet ist. In einer ordinalen 8-stufigen Skala werden drei Aspekte des Schluckvorganges berücksichtigt: wie tief Material in die Luftwege eindringt, wie der oder die Betroffene auf diesen Vorgang reagiert und wie effektiv die Reaktion ist. Höhere Werte auf der Skala stehen dabei für einen höheren Grad an Penetration bzw. Aspiration (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014). Die Skala wurde für Videofluoroskopien und Videoendoskopien validiert und erwies sich für beide Untersuchungsmethoden als reliables und valides Messinstrument (Colodny, 2002; Rosenbek et al., 1996). Gleiches konnten Hey, Pluschinski, Zaretsky et al. (2014) für ihre ins Deutsche übersetzte Version (Tabelle 7) nachweisen. Obwohl der Erfahrungsgrad der Raterinnen und Rater⁸⁹ einen Einfluss auf die Reliabilität und Validität zu haben scheint, gilt sie generell als geeignete Skala zur Graduierung von Penetration und Aspiration.

Welches Skalenniveau die PAS tatsächlich hat, wird unterschiedlich diskutiert, da sie nur weitestgehend, aber eben nicht vollständig ordinal- oder intervallskaliert ist (McCullough et al., 1998; Steele & Grace-Martin, 2017). In der Dysphagieforschung war bisher auch der statistische Umgang damit sehr unterschiedlich. Borders und Brates (2020) kommen in ihrem systematischen Review zu dem Ergebnis, dass die Annahme eines ordinalen Skalenniveaus sowie eine statistische Analyse mit nicht-parametrischen Tests zu bevorzugen sind. Alternativ werden in jüngster Zeit häufiger kategoriale Klassifizierungen oder Modifizierungen der PAS vorgeschlagen oder angewandt, beispielsweise bei Steele und Grace-Martin (2017). Auch die Kombination mit dem Rating von Residuen wird populärer, wie in der (DIGEST) von Hutcheson et al. (2017) bzw. der für Schluckendoskopien adaptierten Version DIGEST-FEES (Starmer et al., 2021) oder der Visual Analysis of Swallowing Efficiency and Safety (VASES)

⁸⁸ Details zur Raterin folgen am Ende des Kapitels 7.2.3.2.

⁸⁹ z. B. trainiert vs. untrainiert bzw. weniger (< 3 Jahre) vs. viel (> 3 Jahre) Berufserfahrung (Borders & Brates, 2020; Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014)

von Curtis et al. (2022).⁹⁰ Da die deutsche Version der ursprünglichen PAS aber ein bewährtes und validiertes Messinstrument ist, wurde sie für die Auswertung in der vorliegenden Arbeit bevorzugt.

Tabelle 7

Die validierte deutschsprachige Version der Penetrations-Aspirations-Skala nach Rosenbek et al. (1996) von Hey, Pluschinski, Zaretsky et al. (2014, S. 278)

Grad	Beschreibung
1	Material dringt nicht in den Luftweg ein.
2	Material dringt in den Luftweg ein, verbleibt oberhalb der Stimmlippen und wird aus dem Luftweg ausgestossen ^a .
3	Material dringt in den Luftweg ein, verbleibt oberhalb der Stimmlippen und wird nicht aus dem Luftweg ausgestossen ^a .
4	Material dringt in den Luftweg ein, kontaktiert die Stimmlippen und wird aus dem Luftweg ausgestossen.
5	Material dringt in den Luftweg ein, kontaktiert die Stimmlippen und wird nicht aus dem Luftweg ausgestossen.
6	Material dringt in den Luftweg ein, passiert bis unter die Stimmlippen und wird in den Larynx hinein oder aus dem Luftweg ausgestossen.
7	Material dringt in den Luftweg ein, passiert bis unter die Stimmlippen und wird nicht aus der Trachea ausgestossen, trotz Bemühung.
8	Material dringt in den Luftweg ein, passiert bis unter die Stimmlippen, und es wird keine Bemühung zum Ausstossen unternommen.

Anmerkungen.

^a Ausstossen inkludiert: Husten, Räuspern und Schlucken (nach Rücksprache mit J. Rosenbek).

Um Residuen zu bewerten, gibt es inzwischen mehrere auch erprobte Verfahren, wie beispielsweise den Pooling-Score (Farneti, 2008; Farneti et al., 2014), die Boston Residue and Clearance Scale (BRACS) (Kaneoka et al., 2014), die Sekretbeurteilungsskala von Murray et al. (1996), die Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale (YPRSRS, oder kurz Yale-Scale) (Neubauer et al., 2015) oder mit der Bewertung von Aspiration und Penetration kombinierte Verfahren wie die bereits genannte DIGEST oder VASES. Zum Zeitpunkt der Auswertung lagen validierte deutsche Versionen für die Sekretbeurteilungsskala nach Murray (Hey, Pluschinski, Stöver & Zaretsky, 2014) und die Yale-Scale (Gerschke et al., 2019) vor. Die Sekretbeurteilungsskala nach Murray unterscheidet hinsichtlich der Residuen ausserhalb des Aditus laryngis weder den Ort noch die Menge. Die Yale-Scale gibt hingegen zusätzlich zur Lokalisation auch klar definierte Mengenbeurteilungen im Verhältnis zur anatomischen Struktur. Zudem sind Referenzbilder für die Bewertung publiziert, weshalb die Wahl auf deren Übersetzung von Gerschke et al. (2019) fiel. Die ordinale 5-stufige Skala bewertet die Menge an Residuen in den Valleculae und den sinu piriformes im Rahmen einer videoendoskopischen

⁹⁰ Zum Zeitpunkt der Auswertung standen keine validierten übersetzten Versionen der genannten Alternativen vor.

Schluckuntersuchung, wobei die Bewertung anhand von Bildern stattfindet. Eine höhere Bewertung steht auch hier für einen höheren Schweregrad. Sowohl die englische Originalversion als auch die ins Deutsche übersetzte Variante weisen sehr gute bis exzellente psychometrische Eigenschaften in Bezug auf die Konstruktvalidität, die Inter-Rater- und die Intra-Rater-Reliabilität auf. Die Erfahrung der Raterinnen und Rater hat bei der Yale-Skala keinen wesentlichen Einfluss auf die Reliabilität, wobei ein Training mit Referenzbildern die Validität verbessert (Gerschke et al., 2019; Rocca et al., 2024). Auch für eine videobasierte Auswertung konnten mit lediglich kleinen Einbussen ähnlich gute psychometrische Eigenschaften nachgewiesen werden (Rocca et al., 2022).

Tabelle 8

Validierte deutsche Version der Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale nach Neubauer et al. (2015) von Gerschke et al. (2019, S. 10f.)

Schweregrad-Bewertung von Residuen in den Valleculae			
I	Keine	0 %	Keine Residuen
II	Spuren	1 – 5 %	Spuren überziehen die Schleimhaut
III	Leicht	5 – 25 %	Epiglottisches Ligament sichtbar
IV	Mässig	25 – 50 %	Epiglottisches Ligament bedeckt
V	Stark	> 50 %	Gefüllt bis Epiglottisrand
Schweregrad-Bewertung von Residuen in den Sinus piriformis			
I	Keine	0 %	Keine Residuen
II	Spuren	1 – 5 %	Spuren überziehen die Schleimhaut
III	Leicht	5 – 25 %	Wandaufwärts bis zu einem Viertel gefüllt
IV	Mässig	25 – 50 %	Wandaufwärts bis zur Hälfte gefüllt
V	Stark	> 50 %	Gefüllt bis zur aryepiglottischen Falte

Die verblindete Auswertung der Schluckendoskopien erfolgte durch eine Logopädin, die an der Datenerhebung nicht beteiligt war. Sie war bezüglich der PAS geschult und hatte über fünf Jahre Erfahrung in deren Anwendung. In die weniger verbreitete Yale-Skala arbeitete sie sich zuvor mithilfe der detaillierten Beschreibung und den Referenzbildern aus entsprechender Literatur ein (Gerschke et al., 2019; Neubauer et al., 2015), sammelte erste Erfahrungen in deren Anwendung, bis sie diese subjektiv verinnerlicht hatte. Die Aufnahmen wurden am Computer im Vollbildmodus mit dem Programm Shotcut betrachtet, da hier die Aufnahmen in Schritten von 0.12 Sekunden angesehen werden konnten. Für die Auswertung konnte die Raterin die Aufnahmen beliebig oft ansehen, stoppen und ebenfalls das Tempo der Wiedergabe nach Belieben regulieren. Bei mehreren Schlucken wurde für die PAS der schlechteste Schluck bewertet. Die Bewertung der Residuen erfolgte am Ende der Schlucksequenz einer Konsistenz (Rocca et al., 2022), je nach Anzahl der verabreichten Boli nach

einem, zwei oder drei Schlucken sowie nach allen spontanen Reaktionen auf das Schlucken einer bestimmten Konsistenz und vor allfälligen Aufforderungen zu willkürlichen Reinigungsmanövern.

7.2.3.3 Lungenparameter (PCF und FVC)

Alle im Folgenden geschilderten Messungen wurden in einem zweiten Setting von der Untersuchungsleitung durchgeführt. Hierfür wurden die Patienten wieder so gut es ging im Bett aufgerichtet oder sie sassen, falls möglich, im Rollstuhl. Alle Messungen wurden in einer festgelegten Reihenfolge für jeden Modus nacheinander durchgeführt (vgl. Anhang D). Hierfür wurden die Probanden von der zuständigen Pflege unter Absaugkontrolle entblockt und in den entsprechenden Modus gebracht. Während des gesamten zweiten Settings wurden die Probanden pulsoxymetrisch überwacht.

Als Referenz für die Lungenfunktion bzw. für die im jeweiligen Modus zur Verfügung stehende Luft erfolgte eine Messung der forcierten Vitalkapazität (FVC). Die Messdaten entsprechen selbstverständlich nur im Falle der Spontanatmung der tatsächlichen FVC, bei Anwesenheit der Beatmung werden die Werte je nach Beatmungsmodus verfälscht. Wie dies bereits in Kapitel 6.3 erläutert wurde, fließt ein Teil der maschinell zugeführten Luft gar nicht in die Lunge, sondern entweicht vom unteren Ende der Trachealkanüle direkt über die oberen Atemwege nach aussen. Für das Sprechen und die Reinigungsfunktionen ist jedoch klinisch relevant, wie viel Luft pro Respirationszyklus ausgestossen werden kann. Der Einfachheit halber wird daher in allen Modi von FVC gesprochen. Sie wird zwar nicht direkt für eine Hypothesenprüfung benötigt, könnte aber für die deskriptive Analyse und auf der Suche nach Erklärungen zu Ergebnissen weitere Anhaltspunkte geben. Die forcierte Vitalkapazität wurde mit dem Respirometer Wright Mark 14™ von Wright™ & Haloscale™ gemessen. Die Messeinheiten erfolgen in 10-ml-Schritten, die Genauigkeit wird für die Vitalkapazität mit $\pm 3\text{--}4\%$ angegeben (KoKo Medical, 2022).

Als Referenz für die Effektivität des Hustens und zur Prüfung der zweiten Hypothese wurde der willkürliche Peak Cough Flow (PCF) gemessen. Es muss berücksichtigt werden, dass mit Leckage-Beatmung kein subglottischer Druck aufgebaut werden kann und in diesem Modus lediglich von Peak Expiratory Flow Rate (PEFR) gesprochen werden kann. Für die Reinigungsfunktionen und das Sprechen ist jedoch klinisch ausschliesslich relevant, wie viel Luft und vor allem wie schnell diese in der Situation ausgestossen wird. Der Einfachheit halber wird daher auch beim Hufen von PCF gesprochen.

Es stellt sich die Frage, ob für die Messung des PCF ein tragbares Peak-Flow-Messgerät geeignet ist. Der Vorteil liegt in der unkomplizierten, einfachen Anwendung, der geringen Grösse und dem niedrigen Preis (Sancho et al., 2004, S. 609).

Sancho et al. (2004) verglichen PCF-Messwerte des tragbaren Vitalograph® Peak-Flow-Meters asmaPLAN+ mit den Messwerten eines Pneumotachographen. Sie konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messwerten der beiden Geräte feststellen, weder für gesunde Probandinnen und Probanden ($n_g = 30$), noch für Patientinnen und Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen ($n_k = 32$), noch für die gesamte Population ($N_a = 62$). Die Daten der beiden Messgeräte wiesen für alle drei Populationen eine hohe lineare Korrelation auf (Pearson's $r_g = .87$; $r_k = .91$; $r_a = .95$; $p < .001$).

Kulnik, MacBean et al. (2015) verglichen bei 20 gesunden Erwachsenen die PCF-Messwerte von verschiedenen tragbaren Peak-Flow-Metern mit den Ergebnissen eines Pneumotachographen. Durchgängig zeigten die vier tragbaren Geräte signifikant niedrigere Werte für den PCF an als der Pneumotachograph, im Schnitt 50 l/min weniger. Zu ähnlichen Ergebnissen kam auch P. R. Rodrigues et al. (2017). Die Werte von tragbaren Geräten sollten somit nicht mit Absolutwerten aus der Literatur verglichen werden. Einige niedrige Messwerte bei pulmonal besonders schwachen Patientinnen und Patienten wurden mit den tragbaren Geräten nicht erfasst. Für Studien, in denen mit absoluten Schwellenwerten aus der Literatur gearbeitet wird, empfehlen die Autorinnen und Autoren die Verwendung eines Pneumotachographen. Allerdings zeigten die tragbaren Messgeräte eine gute Messwiederholung. Die Variationskoeffizienten zeigten je nach Gerätetyp nur $< 1\%$ bzw. $< 2\%$, wobei die Variation auch auf die grossen Messeinheiten in Schritten von 10 l/min zurückgeführt werden könnte. Die Variabilität bei der Messung des Spitzenflusses könnte dadurch erklärt werden. Die guten Ergebnisse bei Messwiederholung rechtfertigen nach Meinung der Autorinnen und Autoren aber durchaus den Einsatz tragbarer Geräte bei Forschungsdesigns mit Messwiederholungen (Kulnik, MacBean et al., 2015, S. 250ff.).

In der vorliegenden Studie werden Messwiederholungen in unterschiedlichen Modi erhoben, die Messwerte intrasubjektiv miteinander verglichen und es werden keine Absolutwerte hinzugezogen. Aufgrund der geschilderten guten Korrelation mit einem Pneumotachographen sowie der guten Ergebnisse bei Messwiederholung wurde in diesem Fall ein tragbarer Peak-Flow-Meter verwendet.

Der Peak Cough Flow wurde mit dem tragbaren Vitalograph® Peak-Flow-Meter asmaPLAN+ (Model 4300) erhoben. Der Messbereich dieses Modells liegt bei 50–800 l/min, die Schritte der Messeinheit und somit auch der Genauigkeit beträgt ± 10 l/min⁹¹ (Vitalograph DE, 2022).

Um einen möglichen insuffizienten Lippenschluss zu umgehen und um das Husten ohne Bewegungseinschränkungen im Mundbereich zu ermöglichen, wurden beide Messungen mit einer Nasen-Mund-Maske, wie sie auch für die Beatmung verwendet wird, durchgeführt. Die Nasen-Mund-

⁹¹ Genauigkeit $\pm 10\%$ des Messwertes (EN ISO 23747:2015); Reproduzierbarkeit ± 10 ml/min oder $\pm 5\%$ des Messwertes (EN ISO 23747:2015); (Vitalograph DE, 2022)

Maske wurde dafür jeweils mit dem Spirometer oder Peak-Flow-Meter verbunden (Curtis, Seikali und Troche, 2020). Die Patienten wurden aufgefordert, möglichst tief einzuatmen und schliesslich so viel Luft wie möglich auszuatmen (FVC) bzw. so fest wie möglich zu husten (PCF). Dabei wurde in den beiden Beatmungs-Modi darauf geachtet, dass die Messung nur innerhalb eines Respirationszyklus der Beatmungsmaschine stattfand.

Da es durchaus normal ist, dass Betroffene nicht gleich beim ersten Versuch die maximal höchsten Leistungen zeigen, sind mehrfache Wiederholungen der PCF- und FVC-Messung ratsam (K. Frank & Frank, 2020, S. 25). Daher wurden jeweils drei Messungen durchgeführt und der Mittelwert berechnet (Ge et al., 2024). Alternativ könnte der beste erreichte Wert genommen werden, wie bei Smina et al. (2003), Kimura et al., 2013 sowie S. J. Lee et al. (2021). Allerdings produzieren die Betroffenen auch im Rahmen therapeutischer Strategien unterschiedlich gute Hustenstösse, weshalb der Mittelwert die Realität besser abzubilden scheint. Falls beim PCF der Schwellenwert des Messgerätes von ≥ 50 l/min nicht überschritten wurde, wurde mit einem Wert von Null gerechnet.

7.2.3.4 Aufgaben der Maximalleistung beim Sprechen

Um den Einfluss der Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf die Atem-Sprech-Koordination zu prüfen, fiel bezüglich Hypothese H3a die Wahl auf die maximale Phonationsdauer auf /a/. Sie eignet sich als Aufgabe, da sie die Länge der maximal möglichen Dauerphonation innerhalb eines Respirationszyklus abbildet und somit eine gute Referenz dafür ist, wie lange ausreichend Luft für die Stimmgebung zur Verfügung steht. Sobald der subglottische Druck den für die Phonation nötigen Schwellenwert unterschreitet, bricht die Phonation ab. Daher sollten allfällige Unterschiede in den verschiedenen Modi gut erkennbar sein.

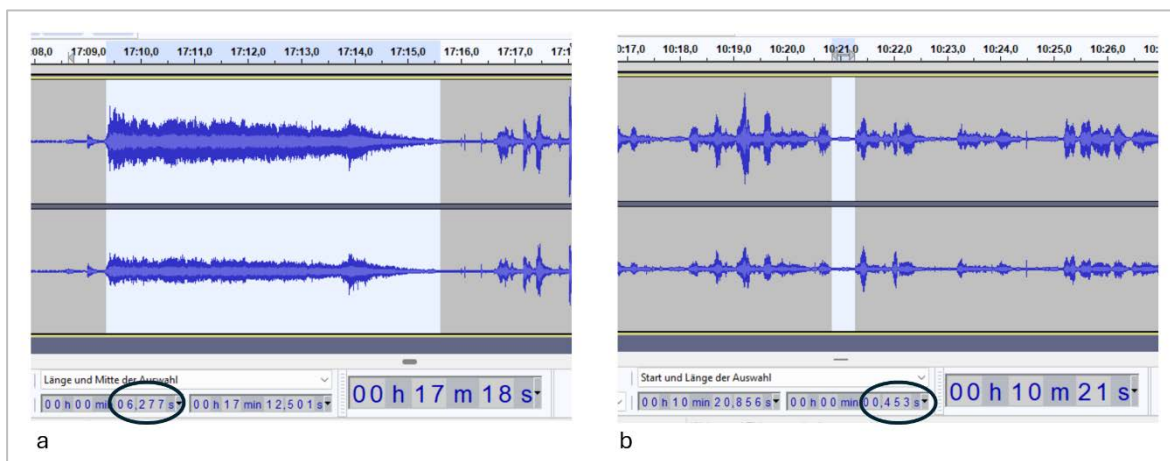
Zwei weitere Aufgaben der Maximalleistung – die maximal mögliche Lautstärke sowie die maximale Anzahl an Silbenwiederholungen (/ta/) innerhalb eines Respirationszyklus (Prigent et al., 2003) – wurden ebenfalls erhoben. Da die Lautstärke jedoch nicht ausschliesslich vom Luftfluss bzw. Anblasedruck abhängt (vgl. Kapitel 3.2), wurde hierzu keine Hypothese formuliert. Bei der Silbenwiederholung handelt es sich um eine *unnatürliche* Sprechaufgabe. Theoretisch sollte auch hier die Anzahl an Silben von der zur Verfügung stehenden Luft limitiert werden. Allerdings ist es theoretisch möglich, dass geübte Sprecher durch Federung der Bauchdecke eine reflektorische Atemergänzung (Coblenzer & Muhar, 1976) zwischen den Silben machen können und die klare Abgrenzung einzelner Respirationszyklen an der Beatmung ohne synchronisierte Messung der Atembewegungen mithilfe eines Plethysmographen ungenau ist. Daher wurde auch hierzu keine Hypothese formuliert und als Referenz für die maximale Phonationslänge die Tonhaltedauer gewählt.

Beiden Variablen wurden folglich nur deskriptiv ausgewertet und für mögliche Erklärungen einbezogen.

Alle Aufgaben zum Sprechen wurden mit einem Diktiergerät (Sony ICD-UX543) aufgezeichnet, wobei das Mikrophon (Philips SBC ME570) mit einem Abstand von 50 cm vom Mund entfernt positioniert wurde. Bis auf die Lautstärkemessung wurden alle Tonaufnahmen mithilfe des Sound Editors Audacity® (Version 2.4.2) geschnitten. Um die Grenzen der Phonation möglichst exakt zu ermitteln, erfolgte die Auswertung mit zusätzlicher Darstellung des Oszillogramms akustisch und optisch (Hoit et al., 1994; Prigent et al., 2003), ein Beispiel hierzu findet sich in Abbildung 24. Die graphische Darstellung zur Dokumentation und Ermittlung einzelner Zeitparametern (z. B. Silbenlänge, Lesedauer usw.) wurde mithilfe der phonetischen Analysesoftware Praat® (Version 6.1.16) durchgeführt. Durch die Kombination der akustischen und optischen Auswertung sollten Messungenauigkeiten weitestgehend reduziert worden sein.

Abbildung 24

Beispiel für die akustisch und optische Auswertung der Tonhaltedauer (a) und Pausenlänge (b) mit Audacity



Anmerkungen. Der hell markierte Bereich umfasst den Messbereich, dessen Dauer im eingekreisten Bereich abgelesen werden kann.

Erhoben wurden die maximale Phonationsdauer, die maximale Lautstärke und die maximale Anzahl an wiederholten Silben pro Respirationszyklus. Pro Aufgabe und Modus wurden je drei Messungen durchgeführt und deren Mittelwert ermittelt (Adam et al., 2015; MacBean et al., 2009).

Für die maximale Phonationsdauer pro Respirationszyklus wurden die Probanden aufgefordert, nach einer tiefen Einatmung so lange wie möglich ein /a/ zu phonieren.

Für die Lautstärke sollten sie so laut wie möglich ein /a/ phonieren. Die Messung erfolgte dabei auch mit 50 cm Abstand zum Mund mit dem digitalen Schalldruckpegelmessgerät sl1361 von Koolertron. Der Messbereich wird mit 30–130 dB angegeben, die Messgenauigkeit mit ± 1.5 dB.

Um die Anzahl an Silbenwiederholungen pro Respirationszyklus zu ermitteln, wurden die Probanden aufgefordert, in einem vorgegebenen Rhythmus (120 bpm), der mit einem Metronom vorgegeben wurde, die Silbe /ta/ in einem Atemzug so oft wie möglich zu wiederholen. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass die Probanden die Silben etwa in der gleichen Geschwindigkeit produzierten.

7.2.3.5 Atem-Sprech-Koordination beim Lesen

Für die Leseaufgabe in dieser Studie wurde der Standardtext «Der Nordwind und die Sonne» verwendet, eine Fabel von Aesop (Schneider-Stickler & Bigenzahn, 2013, S. 320). Den Patienten wurde die Textvorlage in Schriftgrösse 18 mit 1.5-fachem Zeilenabstand vorgehalten (vgl. Anhang E). Sie durften sich vorab mit dem Text vertraut machen. Die Aufnahme der Leseaufgaben erfolgte wie bereits beschrieben (Kapitel 7.2.3.4).

Auch diese Tonaufnahme wurde mit Audacity® (schneiden und visuelle Analyse) und Praat® (exakte Zeitmessung und graphische Darstellung) ausgewertet. In erster Linie wurden Anzahl und Position der Atempausen ermittelt (Markierung mit einem senkrechten Strich, z. B. «Sie wurden einig | dass derjenige ...»), wobei dies sowohl akustisch als auch optisch – mithilfe des Oszillogramms – erfolgte. Atempausen sind in guten Tonaufnahmen leicht hörbar und somit generell im Transkript leicht und zuverlässig zu erfassen (Goldman-Eisler, 1955; Henderson et al., 1965, S. 237). Bei respiratorisch eingeschränkten Personen sind vorwiegend Atempausen zu erwarten. Aus Erfahrung sind diese bei vorhandener Trachealkanüle und insbesondere mit Beatmung sehr gut hörbar. Als zusätzliches Kriterium wurde jedoch auch eine Mindestlänge der Pause von 250 ms angesetzt, was nach den Ergebnissen von Goldman-Eisler (1968, S. 36) sowie Butcher (1981, S. 85) ein sinnvoller Grenzwert ist, ab dem Pausen als solche wahrgenommen werden. Pausen bis zu einer Sekunde werden eher als kurz, darüber als lang empfunden (Butcher, 1981, S. 84f.). Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen zu Messungen von Zögerungs- und Atempausen, die im schnellsten Fall bei etwa 250 ms liegen (Goldman-Eisler, 1968, S. 23; Y.-T. Wang et al., 2010). Die optische Auswertung der Pausenlänge in Kombination mit dem akustischen Signal sollte so zuverlässig wie möglich sein (Abbildung 24). Ebenfalls wurde die gesamte Lesedauer für den Standardtext (ohne Überschrift) ermittelt.

Bei vorgelesenen Texten sind laut Goldman-Eisler (1955, 1968, S. 14) normalerweise lediglich Gliederungspausen an syntaktisch-semantischen Einheiten zu erwarten (Kapitel 3.4.2). Daher wurde für den gewählten Text die Phraseneinteilung von Schnitker (1999) übernommen, die durch die vorhandenen Satzzeichen sowie die Konjunktion *und* vorgegeben ist. So lässt sich die gewählte

Textvorlage ohne Überschrift in 17 Phrasen mit insgesamt 178 Silben⁹² einteilen, wie dies im Auswertungsbogen ersichtlich ist (vgl. Anhang F). Eine Silbe wird in dieser Arbeit durch den obligatorischen Silbenkern – den Vokal – definiert, da der Onset und die Coda der Silbe nur fakultativ vorhanden sind (Ziegler et al., 2020, S. 39ff.). Die exakte Silbifizierung bzw. Definition von Silbengrenzen spielt für die Ermittlung der Silbenanzahl keine Rolle und wurde daher wie bei Schnitker (1999) nicht näher betrachtet.

Zusätzlich gesprochene Silben (z. B. durch Wiederholung, Fehler) oder ausgelassene Silben wurden erfasst, sodass die tatsächliche Anzahl an gesprochenen Silben ermittelt werden konnte. Versprecher, welche die Silbe, aber nicht die Anzahl an Silben veränderten, wurden notiert, aber in der Auswertung ignoriert. Weiter wurden aphon gesprochene Silben markiert (mit runden Klammern) und gezählt – sie wurden aber nicht zu den stimmhaft gesprochenen Silben gewertet, sondern zu den Pausen, da der Fokus auf der Fähigkeit zur stimmhaften Phonation lag.

Die gesamte Lesedauer wurde ebenfalls akustisch und optisch ermittelt. Aus den beschriebenen Parametern konnten die Anzahl an Äusserungen (zusammenhängend gesprochene Äusserungen ohne Pause), die mittlere Äusserungslänge (Silben gesamt / Anzahl an Äusserungen) sowie die mittlere Sprechrate (Silben/min) abgeleitet werden. Die Sprechrate kann in Form der Artikulationsrate (mit Abzug der Pausen) oder der Sprech- oder Silbenrate (mit Einbezug aller Pausen) bestimmt werden (Goldman-Eisler, 1968, S. 24). Da die Anzahl und Dauer der Pausen in dieser Untersuchung interessiert, bildet die Sprechrate eine gute Variable ab, um Unterschiede in der Atem-Sprech-Koordination darzustellen.

Wie in Kapitel 3.4.2 gezeigt wurde, ist die Pausensetzung von Individuen bei wiederholtem Lesen eines Textes über mehrere Sitzungen hinweg weitgehend konstant, d. h. die Pausen werden überwiegend an den gleichen Stellen platziert, sogar unabhängig von der situativ schwankenden Vitalkapazität. Neben metabolischen Bedürfnissen scheinen die linguistischen Strukturierungsprozesse bei der Pausensetzung eine sehr wichtige Rolle zu spielen (Winkworth et al., 1994). Für einen intraindividuellen Vergleich und den Einfluss verschiedener *Atemmodi* auf das Setzen von Atempausen ist das Lesen eines Standardtextes daher eine geeignete Aufgabe. Bei ausreichender Lungenkapazität würden Einzelpersonen bei wiederholtem Lesen die Pausen überwiegend an den gleichen Stellen setzen, d. h. auch die gleiche Anzahl an Pausen machen. Schränkt jedoch die Luftkapazität in den verschiedenen Modi die Pausensetzung physiologisch ein, würden sich intraindividuell veränderte Pausensetzungen bezüglich der Positionen und Häufigkeiten in den einzelnen Modalitäten zeigen, ebenso eine verkürzte mittlere Äusserungslänge (MLU). Frühere Untersuchungen zeigten, dass die

⁹² Schnitker (1999) benutzte eine andere Textvorlage, die sich von der hier verwendeten in zwei Wörtern (*seinen* statt *den* und zusätzlich *warmen*) unterschied. Er kommt daher auf 181 Silben. Die Gliederung ist hiervon jedoch nicht betroffen und kann übernommen werden.

Sprechgeschwindigkeit, also die Anzahl an Silben pro Minute, weniger von der Artikulationsgeschwindigkeit abhängt als von der Anzahl und Dauer der Pausen (Goldman-Eisler, 1968, S. 24; Hirschfeld & Stock, 2004, S. 43). Diese werden wiederum von der Atemsituation beeinflusst. Somit sind bei der Sprechgeschwindigkeit ebenfalls intraindividuelle Unterschiede in den verschiedenen Modi zu erwarten. Die MLU und die Sprechgeschwindigkeit sind daher zwei geeignete Variablen, um die Auswirkungen auf die Atem-Sprech-Koordination beim Lesen gut abzubilden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Sprechgeschwindigkeit langsamer ist, je mehr Pausen gemacht werden (Gebhard, 2012, S. 48).

Die theoretische Auseinandersetzung zur Adäquatheit von Pausenpositionen (vgl. Kapitel 3.4.2) hat gezeigt, dass dies sehr unterschiedlich ausgelegt werden kann und schwer zu beantworten ist. Es wird daher vereinfacht angenommen, dass im gewählten Text Pausen normalerweise an den 16 beschriebenen syntaktischen Grenzen (Satzzeichen und Konjunktionen) gesprochen werden und folglich auch als normal empfunden werden (Schnitker, 1999). Je mehr Pausen gemacht werden, desto niedriger ist die MLU und desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie an inadäquat empfundenen Positionen auftreten. Für weiterführende Analysen und Erklärungsversuche wurde bei Auswertung der Leseaufgaben ebenfalls erfasst, wie häufig eine Pausensetzung am Phrasenende übergangen wird, also wie häufig eine Pause über 250 ms fehlt.

Eine Verblindung bei der Auswertung schien unnötig, da zusätzlich zur akustischen Auswertung das optische Signal als Kontrolle eingesetzt wurde und so eine Erfassung aller Signalunterbrechungen gewährleistet (Butcher, 1981; Schnitker, 1999). Zum anderen ist bei der akustischen Auswertung des Lesetextes die Anwesenheit der Beatmung deutlich zu hören und aufgrund der hörbaren Atem-Sprech-Koordination kann auch auf die Ab- oder Anwesenheit eines Inline-Ventils geschlossen werden. Die Fehlerquote für Ungenauigkeiten ist aufgrund der akustisch-optischen Auswertung als gering einzustufen, weshalb auf einen zweiten Rater sowie die Intra-Rater-Reliabilität verzichtet wurde. Alle Auswertungen wurden von der Untersuchungsleitung durchgeführt.

7.2.3.6 Subjektives Empfinden

Am Ende der Messreihe eines Modus wurden die Probanden jeweils gefragt, wie angenehm oder unangenehm es sei, in diesem Modus zu sprechen und zu schlucken.

Zur Evaluation subjektiven Empfindens eignen sich grundsätzlich visuelle Analogskalen (VAS) (Gaus & Muche, 2014, S. 86; McCormack et al., 1988). Die Frage nach dem subjektiven Atem- sowie Sprechkomfort wurde daher informell mit einer solchen Skala erhoben. Da zu erwarten war, dass einige Probanden die Stelle auf der VAS nicht selbst markieren oder zeigen können, wurde die VAS

vorab in Ränge unterteilt und von null (nicht angenehm) bis zehn (sehr angenehm) durchnummeriert, sodass ein Zahlenwert angegeben werden konnte (vgl. Anhang G).

Auch Prigent et al. (2003), Prigent et al. (2010) und Garguilo et al. (2013) verwendeten eine solche gestufte VAS zum Erfassen des Atem- und Sprech-Komforts in unterschiedlichen Modi, andere erfassten damit hingegen das Empfinden von Dyspnoe oder anderen subjektiven Gefühlen (Hoit et al., 2007; Vitacca et al., 2005).

Wie bei MacBean et al. (2009) und Terzi et al. (2014) wurden die Probanden am Ende des zweiten Settings noch gefragt, welchen der drei Modi sie grundsätzlich bevorzugen und weshalb. Subjektive Präferenzen und Gründe dafür wurden so informell erfasst und deskriptiv ausgewertet.

7.2.4 Datenanalyse

Der Penetrations-Aspirations-Grad wurde als Hauptoutcome-Parameter gewählt. Bisherige Studien lassen leider keine exakte Berechnung des erwarteten Effektes und somit der nötigen Stichprobengröße zu. In Bezug auf die erste Hypothese wurde eine relativ hohe Korrelation zwischen den einzelnen Messungen erwartet, dafür nur ein mittlerer Effekt. Es wurde vorgängig eine Poweranalyse mithilfe des Programmes G*Power 3.1 durchgeführt, welche folgende Schätzung ergab: Für eine Gruppe mit drei Messwiederholungen, einem α -Fehler von 5 %, einer Power von .80, einem mittleren Effekt (Effect size $f = .25$) und einer Korrelation (Corr among repeated measures) von .60 wäre eine Stichprobengröße von 23 Personen nötig.

Die Intra-Rater-Reliabilität der Schluckendoskopien (25 %) wurde jeweils für die PAS und die Yale-Scale (für beide Werte) eruiert⁹³. Hierfür wurden die prozentuale Übereinstimmung von Einzelurteilen sowie das gewichtete Cohens-Kappa (lineare Gewichtung) ermittelt, um die Gewichtung möglicher Diskordanzen zu berücksichtigen (Bortz & Lienert, 2008, S. 321).

Zur Prüfung der Hypothesen H1a und H1b lag eine Variable mit ordinalem Skalenniveau vor, zur Prüfung der restlichen Hypothesen Intervallskalen. Da die tatsächliche Stichprobengröße aber deutlich kleiner war als die geplante, konnte nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Zudem empfehlen Bortz und Lienert (2008, S. 59), für die klinische Forschung mit kleinen Stichproben «im Zweifelsfalle» verteilungsfreie Verfahren einzusetzen. Die Wahl fiel daher bei allen Hypothesen auf ein nicht-parametrisches Verfahren.

Für den Vergleich der zentralen Tendenz von k ($k = 3$) abhängigen Stichproben eignet sich die Rangvarianzanalyse von Friedman. Sie prüft, ob bei mindestens zwei Bedingungen Unterschiede vorhanden sind. Beim Friedman-Test wird nicht mit den Absolutwerten gerechnet, sondern mit den

⁹³ Details zur Auswertung und zur Raterin sind in Kapitel 7.2.3.2 aufgeführt.

innerhalb eines Falles zugeordneten Rängen bzw. den Rangsummen für die k Bedingungen. Dabei wird der niedrigste Rang ($R = 1$) dem niedrigsten Skalenwert zugeordnet, der höchste Rang ($R = 3$) dem höchsten Wert. Bei gleichen Werten (Rangbindung) wird der mittlere Rangplatz vergeben. Unabhängig von der individuellen Schweregradausprägung prüft der Test, ob mögliche Rangsummenunterschiede zwischen den Modi noch als zufallsbedingt gesehen werden können oder nicht (Bortz & Lienert, 2008, S. 204; Gaus & Muche, 2014, S. 313f.). Eine Voraussetzung für den Test ist die wechselseitige Unabhängigkeit der N Individuen, was in dieser Untersuchung erfüllt ist (Bortz & Lienert, 2008, S. 203ff.). Im Falle eines signifikanten Ergebnisses wurden Post-hoc-Testungen mittels Dunn-Bonferroni-Tests durchgeführt (paarweise Einzelvergleiche mit Anpassung der Signifikanz), um zu ermitteln, zwischen welchen Modi Unterschiede bestehen (IBM, 2018; H.-Y. Kim, 2014). Als allgemeine Effektstärke für den Friedman-Test wurde Kendall's Konkordanzkoeffizient (Kendall's W) ermittelt (Tomczak & Tomczak, 2014, S. 24). Im Falle eines signifikanten Friedman-Tests wurden auch die Effektstärken der Post-Hoc-Testungen berechnet (Fritz et al., 2012, S. 12):

$$r = \frac{z}{\sqrt{n}}.$$

Die Interpretation der Effektstärken erfolgt nach der Einteilung von J. Cohen (1988, S. 79ff.), wonach $r = .10$ einem schwachen Effekt, $r = .30$ einem mittleren und $r = .50$ einem starken Effekt entspricht.

Bei der deskriptiven Beschreibung der Stichprobe und den Ergebnissen zum subjektiven Empfinden wurden der Median und der Interquartilabstand ($IQR = Q3 - Q1$) berechnet (Gaus & Muche, 2014, S. 126ff.)⁹⁴. Da der Friedman-Test anstelle der Absolutwerte oder Mediane mit den Rangsummen rechnet, wurden bei inferenzstatistisch ausgewerteten Variablen die mittleren Ränge (Rangsumme/N) ermittelt und in die deskriptive Auswertung miteinbezogen.

Da es sich um einen Vergleich mit mehreren Endpunkten ($m = 6$) handelt, musste das α -Niveau von 5 % mittels Bonferroni-Korrektur angepasst werden (Bortz & Lienert, 2008, S. 39):

$$\alpha^* = \frac{.05}{6} = .0083.$$

Die statistischen Berechnungen wurden mit Ausnahme der Effektstärken von Post-hoc-Testungen, welche mit Hilfe der genannten Formel ermittelt wurden, mit IBM® SPSS 29 durchgeführt.

⁹⁴ Auf die Angabe des mittleren Quartilabstandes (Q) wird verzichtet, da dieser auf dem Interquartilabstand (IQR) basiert: $Q = \frac{IQR}{2}$ (Bortz et al., 2008, S. 75).

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Beschreibung der Stichprobe

Wie bereits in Kapitel 7.2.2 erwähnt, entsprach die geplante Stichprobengrösse ($N = 23$) nicht der tatsächlichen ($N = 10$). Die zehn eingeschlossenen Personen waren ausschliesslich männliche Probanden zwischen 30 und 72 Jahren, das mediane Alter beträgt 66.5 ($IQR = 11$). Die Hauptdiagnosen, welche in Tabelle 9 aufgelistet werden, umfassen ein Wallenberg-Syndrom, eine Paraplegie, eine Tetraplegie sowie mehrere Tetraparesen mit unterschiedlichen Ätiologien, dreimal Guillain-Barré-Syndrom, jeweils einmal Hyperextensionsverletzung, Myelomeningocele, genetisch gesicherte hereditäre motorische Neuropathie mit Neigung zu Druckparese, Muskeldystrophie Typ Duchenne, FSME-Meningoencephalomyelitis sowie eine unklare Ursache.

Tabelle 9

Informationen zur Stichprobe

Pbn	Geschl.	Alter	Tage seit Ereignis ^a	Vergangene Pneumonien	Hauptdiagnosen
P01	m	69	423	ja	sensomot. inkompl. Paraplegie sub Th9 (AIS A) bei Myelomeningocele (MMC)
P02	m	68	97	nein	sensomot. inkompl. Tetraplegie sub C4 bei genetisch gesicherter hereditärer Neuropathie mit Neigung zu Druckparese (HNPP)
P03	m	65	165	ja	inkompl. Tetraplegie, sens. Sub C5, mot. Sub C4 (AIS B) nach Hyperextensionsverletzung C4/5, C6/7
P04	m	47	119	ja	Tetraparese sub C0 (AIS A) unklarer Ursache
P05	m	61	111	nein	Guillain-Barré-Syndrom, Tetraplegie
P06	m	65	303	ja	Guillain-Barré-Syndrom, Übergang Miller-Fisher-Syndrom, inflammatorische demyelinisierende Polyradikuloneuropathie mit Hirnnervenbeteiligung, absteigende Tetraplegie sub C4 (AIS C)
P07	m	68	131	ja	Wallenberg-Syndrom
P08	m	68	134	ja	Guillain-Barré-Syndrom, progredient aufsteigende, schlaffe Tetraparese
P09	m	30	4200	ja	Muskeldystrophie Typ Duchenne, Tetraplegie
P10	m	72	118	ja	FSME-Meningoencephalomyelitis, schwere Tetraparese

Anmerkungen. Pbn = Probanden.

^a Tage seit Krankheitsbeginn mit bzw. seit Beatmungspflicht bis zum ersten Untersuchungstermin.

Die Probanden waren alle mit einer Trachealkanüle versorgt, Art und Grösse können Tabelle 10 entnommen werden, ebenso der Ernährungsstatus. Dieser variierte von voll oral ernährt bis vollständig künstlich ernährt über die Magensonde (PEG = Perkutan endoskopische Gastrostomie). Das Ereignis

bzw. der Krankheitsbeginn mit Beatmungspflicht lag im Median 132.5 Tage zurück (*IQR* = 217). Acht von zehn Probanden hatten vorgängig eine oder mehrere Pneumonien.

Die Notwendigkeit zur Beatmung variierte zwischen 3 h und 21 h täglich (*Md* = 9.0, *IQR* = 9). Die individuellen Zeiten, die Modelle der Beatmungsmaschinen sowie die jeweiligen Einstellungen des Respirators bei entblockter Trachealkanüle werden in Tabelle 11 und Tabelle 12 aufgelistet.

Beide Untersuchungstermine konnten im Abstand von null bis vier Tagen (*Md* = 1.0, *IQR* = 3) realisiert werden (vgl. Tabelle H).

Tabelle 10

Angaben zu den Trachealkanülen und dem Ernährungsstatus der Probanden

Pbn	Trachealkanüle (TK)	Grösse TK (ID)	Ernährung bisher	mögliche Konsistenzen
P01	cuffed Shiley™	8	PEG	-
P02	cuffless Binova®	7	voll oral	alle
P03	cuffed Portex® Blue Line®	7	teils oral, PEG	weich
P04	cuffed Portex® Blue Line®	7	PEG	-
P05	cuffed Mallinckrodt Seal Guard®	8	PEG	-
P06	cuffed Mallinckrodt Seal Guard®	8	teils oral, PEG	breiig
P07	cuffed Portex® Blue Line®	6	PEG	-
P08	cuffed Rüsch® Tracheoflex	8	teils oral, PEG	breiig, weich
P09	cuffless Rüsch® Tracheoflex	7	voll oral	alle
P10	cuffed Portex® Blue Line®	8	teils oral, PEG	breiig

Anmerkungen. Pbn = Probanden; ID = Innendurchmesser; PEG = Perkutane endoskopische Gastrostomie.

Tabelle 11*Angaben zum Beatmungsstatus der einzelnen Probanden*

Pbn	Beatmungs- maschine	Stunden beatmet	Stunden spontanatmend
P01	Vivo 50	23 h	1 h tagsüber
P02	Vivo 50	3 x 1 h tagsüber	21 h, tagsüber und nachts
P03	Vivo 50	10 h nachts	14 h tagsüber
P04	Vivo 50	3 h nachts	21 h tagsüber
P05	Vivo 50	6 h nachts	18 h tagsüber und nachts
P06	Trilogy 100	8 h nachts	16 h tagsüber
P07	Vivo 50	12 h nachts	tagsüber
P08	Vivo 50	8–12 h nachts	tagsüber
P09	Vivo 50	8 h nachts	tagsüber
P10	Trilogy 100	21 h	3 x 1 h tagsüber

Anmerkungen. Pbn = Probanden.**Tabelle 12***Angaben zum Beatmungsmodus der einzelnen Probanden und individuelle Einstellungen des Respirators bei entblockter Trachealkanüle*

Pbn	Beatm.- modus	PEEP	Insp. Druck/ Unterstützungs- druck	Ziel- volumen	Atem- frequenz	Inspirations- trigger	Inspirations- zeit
P01	PCV	6	16 / 23	500	10	3	2
P02	PSV	5	13			2	1.8 / 2.5
P03	PSV	5	17			3	2
P04	PSV	5	16		12	2	1.5
P05	PSV	5	13 / 18		11	2	2
P06	AVAPS	4	17		14	auto	1.6
P07	PCV	5	17		14	3	1.5
P08	PSV	5	17		11	3	1.2 / 3
P09	PCV	2	16 / 23	500	12	3	1.8
P10	S/T	5	14		8	auto	1.3

Anmerkungen. Pbn = Probanden; PEEP = positiver endexpiratorischer Druck; PCV = pressure controlled ventilation; PSV = pressure support ventilation; AVAPS = average volume assured pressure support; S/T = spontaner/zeitgesteuerter Modus.

7.3.2 Einfluss der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Schlucken

Alle Probanden ($N = 10$) konnten die Schluckendoskopie in den drei Modi und mit der jeweiligen Gabe von breiigen sowie flüssigen Konsistenzen durchführen. Aus bereits genannten Gründen wurde jedoch nicht allen Personen je drei Teelöffel pro Konsistenz gegeben (vgl. Anhang I).

Die Intra-Rater-Reliabilität für die Penetrations-Aspirations-Skala (PAS) ist nach Landis und Koch (1977, S. 165) perfekt ($\kappa = 1.00$), bei den 15 Bewertungen gibt es keine Abweichung im Urteil bei Wiederholung. Die Bewertung mit der Yale-Scale für die Valleculae (VS V) weicht nur in einem Urteil um einen Punkt ab, so liegt auch hier eine nahezu perfekte Übereinstimmung vor ($\kappa = .95$). Die Bewertung der pharyngealen Residuen in den Sinus piriformes mit der Yale-Scale (YS S) zeigt zwar in drei Einzelurteilen eine Abweichung um einen Punkt, mit $\kappa = .77$ fällt die Übereinstimmung aber dennoch substanziell aus (vgl. Tabelle 13; Tabelle J). Bei Rocca et al. (2022) war die Bewertung von Flüssigkeiten mit etwas schlechterer Intra-Rater-Reliabilität verbunden, so bestanden auch hier drei von vier abweichenden Urteilen im Rahmen von Flüssigkeitsschlucken.

Tabelle 13

Prozentuelle Übereinstimmung und linear gewichtetes Cohens Kappa mit Standardabweichung der Intra-Rater-Reliabilität

	Übereinstimmung der Einzelurteile (%)	Gewichtetes Cohens Kappa ^a (SD)
Intra-Rater-Reliabilität		
PAS	100 %	1.00 (± 0.00)
YS V	93.33 %	.95 (± 0.06)
YS S	80 %	.77 (± 0.13)

Anmerkungen. Basierend auf der wiederholten Auswertung von 15 Schlucksequenzen; PAS = Penetrations-Aspirations-Skala (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014); YS V = Yale-Scale Valleculae; YS S = Yale-Scale Sinus piriformes (Gerschke et al., 2019); SD = Standardabweichung.

^a Lineare Gewichtung.

Die Einzelbewertungen zu den Schluckendoskopien sowie die mittleren Ränge sind in Tabelle 14 detailliert aufgelistet, wobei zu beachten ist, dass höhere Werte in der Penetrations-Aspirations-Skala (PAS) für einen höheren Schweregrad der Penetrationen und Aspirationen stehen, so auch die Ränge. Beim ersten deskriptiven Blick auf die Bewertung mit der PAS fällt auf, dass niedrigere Werte (PAS 1–2) bei beiden Konsistenzen und in allen Modi mit 70–80 % dominieren. Höhere und mittlere Bewertungen kommen nur sehr wenige vor. Intraindividuelle Unterschiede bezüglich der PAS-Werte in den drei Modi gibt es für breiige Konsistenzen in der Hälfte der Fälle ($n = 5$), für flüssige Konsistenzen bei drei von zehn Probanden. Der Penetrations-Aspirationsgrad unterscheidet sich dabei meist nur um einen Punkt, ausser bei Proband P04, bei dem es klinisch relevante Unterschiede von zwei bis fünf Punkten gibt. Ein

Muster der intraindividuellen Rangfolgen zugunsten eines Parameters (Anwesenheit Beatmung oder Ventil) oder eines Modus lässt sich mithilfe von Tabelle 14 und Abbildung 25 auf den ersten Blick nicht erkennen. Im Rahmen breiiger Konsistenzen fällt der mittlere Rang für den Modus MVS jedoch höher aus als für die anderen beiden Ränge ($M_{\text{Rang MVS}} > M_{\text{Rang OVB}} = M_{\text{Rang MVB}}$), was tendenziell eher für einen höheren Penetrations-Aspirations-Grad unter Spontanatmung spricht. Auch für Flüssigkeitsschlucke scheint die Beatmung, insbesondere mit Ventil, gegenüber der Spontanatmung diskrete Vorteile zu bieten, die Abstände sind hier allerdings sehr gering ($M_{\text{Rang MVS}} > M_{\text{Rang OVB}} > M_{\text{Rang MVB}}$).

Der Friedman-Test kann zwischen den drei Modi keine Unterschiede nachweisen. Weder für breiige Konsistenzen ($\chi^2(2) = 3.60, p = .165, N = 10, W = .18$), noch für flüssige Konsistenzen ($\chi^2(2) = 0.80, p = .670, N = 10, W = .04$) sind die Ergebnisse signifikant. Bei Orientierung an Kendall's W für beide Konsistenzen ist der Effekt für breiige Konsistenzen schwach, für flüssige Konsistenzen nicht bis sehr schwach vorhanden (J. Cohen, 1992).

Der nach deskriptiver Analyse vermutete geringe Vorteil durch Anwesenheit der Beatmungsmaschine kann statistisch nicht bestätigt werden. Beide Hypothesen zur ersten Fragestellung (H1a und H1b) können nicht angenommen werden, ein Unterschied des Penetrations-Aspirations-Grades in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi kann weder für breiige noch für flüssige Konsistenzen nachgewiesen werden.

Die Graduierung pharyngealer Residuen zwischen den drei Modi lässt intraindividuelle Abweichungen um 1–2 Punkte auf der Yale-Skala für breiige Konsistenzen bei 60 % der Probanden erkennen, in den Sinus piriformes bei 80 % der Probanden. Für Flüssigkeiten sind Unterschiede in den Valleculae bei 80 %, in den Sinus piriformes bei 50 % der Patienten vorhanden. Höhere Bewertungen und Ränge sind ausserdem in dieser Skala mit einem höheren Schweregrad verbunden. Die Interpretation gestaltet sich auch hier schwierig – in Tabelle 14 und Abbildung 25 sind keine klaren Effekte zugunsten eines einzelnen Modus zu erkennen. Bei der Prüfung, ob ein Effekt zugunsten der An-/Abwesenheit der Beatmung (OVB, MVB) bzw. eines Ventils (MVB, MVS) in den intraindividuellen Rangfolgen zu erkennen ist, traten die individuell besten Bewertungen allerdings tendenziell häufiger bei Anwesenheit eines Ventils (MVB und MVS) auf, mit Ausnahme von flüssigen Residuen in den Sinus piriformes. Auch die Anordnung der mittleren Ränge der Modi zeigt dies. Über alle Probanden hinweg ist erkennbar, dass an der Beatmung ohne Ventil unabhängig vom Ort oder der Konsistenz am meisten Residuen auftraten. Mit Sprechventil war die Menge an Residuen hingegen tendenziell etwas geringer (breiig unabhängig vom Ort: $M_{\text{Rang OVB}} > M_{\text{Rang MVS}} > M_{\text{Rang MVB}}$; flüssig unabhängig vom Ort: $M_{\text{Rang OVB}} > M_{\text{Rang MVB}} > M_{\text{Rang MVS}}$).

Tabelle 14

Bewertung der Schluckendoskopien für breiige und flüssige Konsistenzen in Bezug auf Penetration und Aspiration sowie pharyngeale Residuen in den drei Trachealkanüle-Beatmungs-Modi und die jeweiligen mittleren Ränge

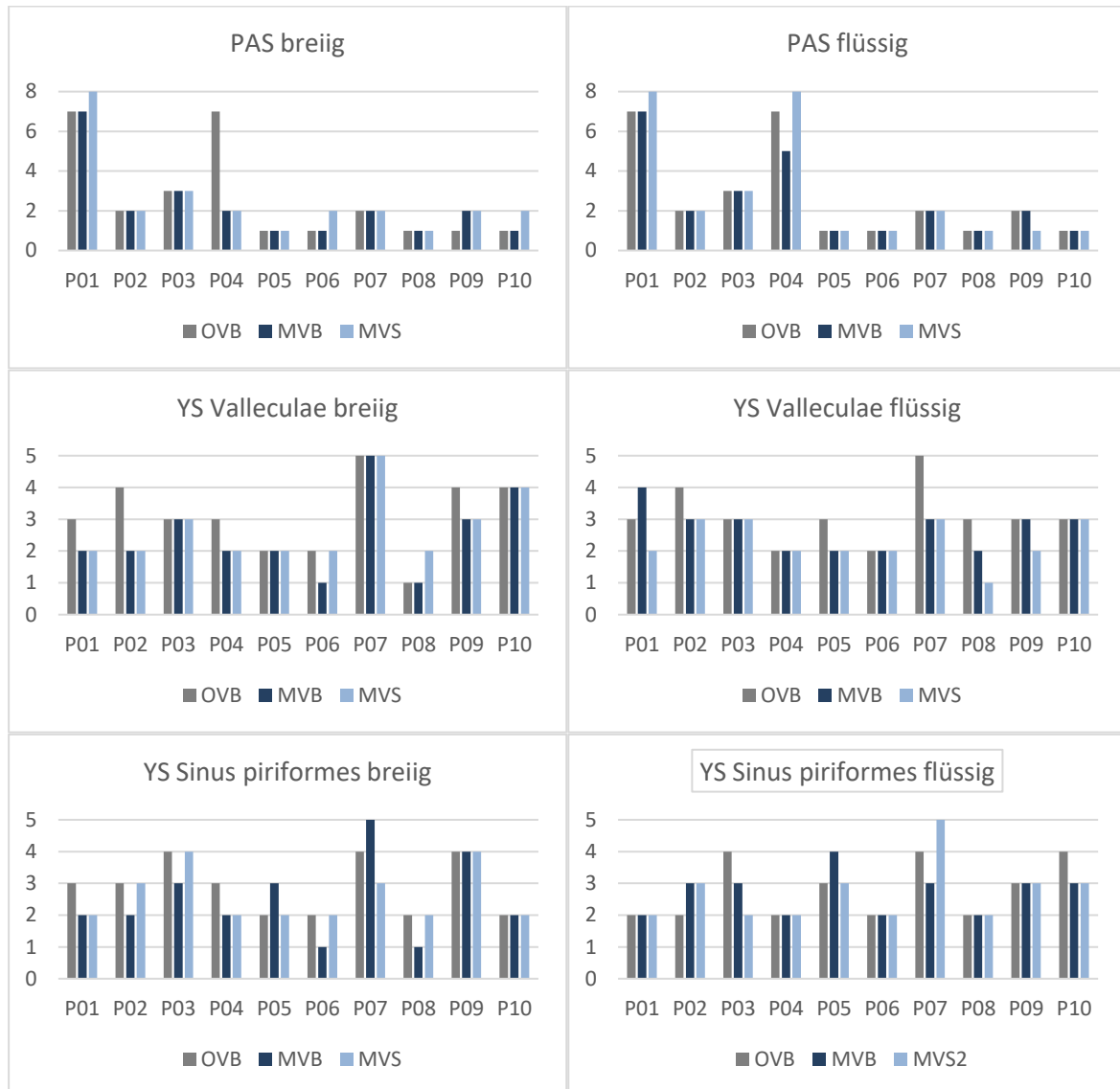
Pbn	breiig								
	PAS (1–8)			YS Valleculae (1–5)			YS Sinus piriformes (1–5)		
	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS
P01	7	7	8	3	2	2	3	2	2
P02	2	2	2	4	2	2	3	2	3
P03	3	3	3	3	3	3	4	3	4
P04	7	2	2	3	2	2	3	2	2
P05	1	1	1	2	2	2	2	3	2
P06	1	1	2	2	1	2	2	1	2
P07	2	2	2	5	5	5	4	5	3
P08	1	1	1	1	1	2	2	1	2
P09	1	2	2	4	3	3	4	4	4
P10	1	1	2	4	4	4	2	2	2
Mittlerer Rang	1.85	1.85	2.30	2.40	1.65	1.95	2.35	1.70	1.95

Pbn	flüssig								
	PAS (1–8)			YS Valleculae (1–5)			YS Sinus piriformes (1–5)		
	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS
P01	7	7	8	3	4	2	2	2	2
P02	2	2	2	4	3	3	2	3	3
P03	3	3	3	3	3	3	4	3	2
P04	7	5	8	2	2	2	2	2	2
P05	1	1	1	3	2	2	3	4	3
P06	1	1	1	2	2	2	2	2	2
P07	2	2	2	5	3	3	4	3	5
P08	1	1	1	3	2	1	2	2	2
P09	2	2	1	3	3	2	3	3	3
P10	1	1	1	3	3	3	4	3	3
Mittlerer Rang (N = 10)	2.00	1.90	2.10	2.45	2.00	1.55	2.05	2.00	1.95

Anmerkungen. Pbn = Probanden; PAS = Penetrations-Aspirations-Skala (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014); YS V = Yale-Scale Valleculae; YS S = Yale-Scale Sinus piriformes (Gerschke et al., 2019); OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend. Falls es intraindividuell zwischen den Modi unterschiedliche Werte gibt, sind jene Werte, welche für die geringste Ausprägung innerhalb eines Patienten stehen, jeweils fett gedruckt.

Abbildung 25

Graphische Darstellung der Bewertungen zu den Schluckendoskopien für breiige (links) und flüssige (rechts) Konsistenzen



Anmerkungen. PAS = Penetrations-Aspirations-Skala (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014); YS V = Yale-Scale Valleculae; YS S = Yale-Scale Sinus piriformes (Gerschke et al., 2019); OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Ein Vergleich der Ausprägung von Residuen mit dem Aspirations-Penetrations-Grad lässt ebenfalls keine offensichtlichen Muster erkennen. Es gibt Fälle, in denen die Ausprägungen über beide Skalen hinweg in einem Modus schlechter waren als in anderen, z. B. bei Patient P04 (breiig). Beatmet ohne Ventil hatte er in beiden Skalen schlechtere Werte als in den anderen Modi. In anderen Fällen (z. B. P02 breiig und flüssig, P04 flüssig) traten nur in einer Skala (PAS oder YS) Ausprägungsunterschiede auf, in der anderen nicht. Dass geringere Residuen mit einem höheren Penetrationsgrad verbunden

sein können, zeigen die Daten von Patient P09 (breiig und flüssig). Geringe intraindividuelle Unterschiede in der Schluckleistung waren über beide Skalen hinweg in Abhängigkeit vom Modus mit einer Ausnahme (P06 flüssig) bei allen Probanden und beiden Konsistenzen beobachtbar, die Abweichungen sind jedoch relativ gering und nur in Einzelfällen ausgeprägt (z. B. P04 flüssig).

Zur Frage, inwiefern sich die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf pharyngeale Residuen auswirken (Forschungsfrage F2), kann gesagt werden, dass zwar kein klares einheitliches intraindividuelles Muster vorliegt, jedoch eine vorsichtige Vermutung ausgesprochen werden kann, dass die Anwesenheit eines Sprechventils spontanatmend oder eines Inline-Ventils an der Beatmung gegenüber der Leckage-Beatmung tendenziell eher mit weniger Residuen einhergeht.

7.3.3 Einfluss der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf Reinigungsfunktionen

Aus den drei Messungen zum willkürlichen Peak Cough Flow (PCF) und zur forcierten Vitalkapazität (FVC) (Tabelle K) wurden Mittelwerte für jeden Modus bestimmt, welche Tabelle 15 entnommen werden können ($N = 10$).

Die Messwerte liegen bei allen Patienten in allen Modi unter 260 l/min. Einzel- und Mittelwerte über 160 l/min finden sich nur bei einem Patienten (P07). Der für effektives Husten nötige Schwellenwert (> 160 l/min) wird in 90 % der Fälle nicht erreicht (Brennan et al., 2022). Die Hustenkraft war bei 30 % der Personen sogar so schwach, dass sie nie über die Messschwelle des Peak-Flow-Meters von 50 l/min kamen, weitere 20 % hatten teilweise Messwerte unter 50 l/min. Einzelne Probanden zeigten abhängig vom Modus nur geringfügige Unterschiede in ihrer Hustenleistung (z. B. P04, P09), andere konnten sich hingegen vom tiefsten bis zum höchsten Mittelwert um ca. 85–100 l/min verbessern (P06, P07). Mithilfe der Messdaten von Tabelle 15 und Abbildung 26 lässt sich kein eindeutiges Muster erkennen, wobei die mittleren Ränge des PCF vermuten lassen, dass die Hustenkraft mit Anwesenheit eines Ventils, vor allem mit Beatmung, tendenziell etwas besser ausfällt ($M_{\text{Rang MVB}} > M_{\text{Rang MVS}} > M_{\text{Rang OVB}}$).

Der Friedman-Test zeigt keine signifikanten Unterschiede über die drei Modi hinweg ($\chi^2(2) = 1.14$, $p = .565$, $N = 10$, $W = .06$) mit einem nicht vorhandenen bis sehr schwachen Effekt (J. Cohen, 1992).

Die Hypothese H3 kann nicht bestätigt werden, ein genereller Unterschied im willkürlichen Peak Cough Flow zwischen den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Messungen zur forcierten Vitalkapazität zeigen, wie vermutet, mehrheitlich (90 %) die besten Werte unter Anwesenheit der Beatmung (OVb und MVB), was auch die mittleren Ränge bestätigen ($M_{\text{Rang MVB}} > M_{\text{Rang OVb}} > M_{\text{Rang MVS}}$). Bezüglich der Anwesenheit eines Inline- oder Sprechventils ist kein

klarer Trend erkennbar, ebenfalls ist keiner der drei Modi klar im Vorteil. Auch ein Zusammenhang der zur Verfügung stehenden Luft (FVC) und der Hustenkraft (PCF) lässt sich deskriptiv nicht erkennen. Beim Vergleich der mittleren Ränge der beiden Lungenparameter mit jenen der Schluckuntersuchung zeigt sich allerdings, dass die forcierte Vitalkapazität und beide Werte auf der PAS jeweils spontanatmend (MVS) am schlechtesten sind. Zu beachten ist hier, dass die Rangfolgen der Lungenparameter umgekehrt ausgerichtet sind als bei den Skalen zum Schlucken. Schlechtere Ränge bei den Lungenparametern bedeuten schlechtere Leistung, bei den Skalen zum Schlucken stehen schlechtere Ränge für bessere Leistung bzw. weniger Symptomausprägung. Der PCF erfolgt hingegen tendenziell mit Beatmung ohne Ventil (OVB) am schwächsten. Dies deckt sich wiederum mit einer Tendenz zu den ausgeprägtesten Residuen in diesem Modus, unabhängig vom Ort und bei beiden Konsistenzen.

Tabelle 15

Mittelwerte des Peak Cough Flow und der forcierten Vitalkapazität in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi und die jeweiligen mittleren Ränge

Pbn	Peak Cough Flow ^a (l/min)			Forcierte Vitalkapazität ^a (ml)		
	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS
P01	0	0	0	2803	2353	570
P02	0	0	0	1900	1020	510
P03	68	108	97	1500	1210	847
P04	18	45	35	600	807	407
P05	118	70	97	630	1280	1297
P06	0	107	85	520	823	677
P07	167	147	233	2420	2840	2767
P08	73	122	120	2553	3257	1813
P09	42	20	0	873	1023	873
P10	0	0	0	607	457	323
Mittlerer Rang (N = 10)	1.80	2.20	2.00	2.05	2.50	1.45

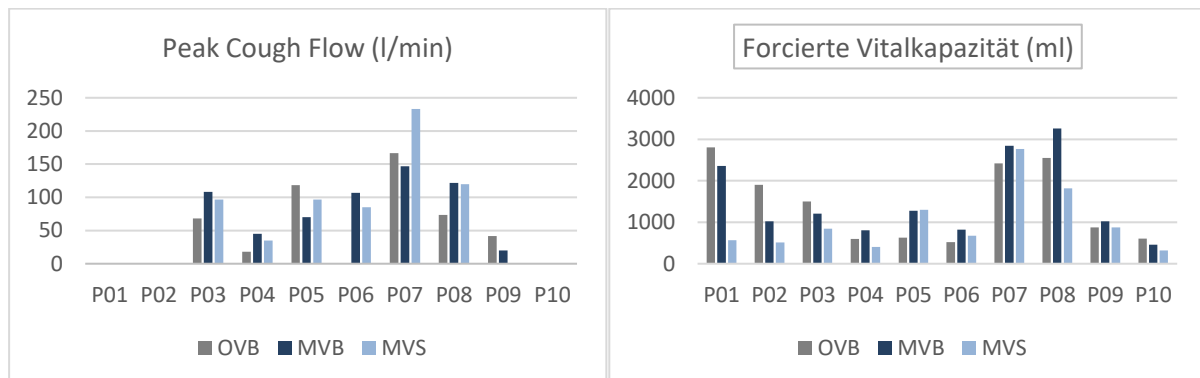
Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Der beste Wert eines Probanden ist jeweils fett gedruckt.

^a Der jeweilige Mittelwert wurde aus drei Messungen (vgl. Tabelle K) ermittelt. Bei Werten < 50 wurde mit Null gerechnet.

Abbildung 26

Graphische Darstellung der Mittelwerte zum Peak Cough Flow und der forcierten Vitalkapazität in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi



Anmerkungen. OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

7.3.4 Einfluss der drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Sprechen

Aus den drei Messwiederholungen zu den Aufgaben der Maximalleistung (vgl. Anhang L) wurden die entsprechenden Mittelwerte errechnet, welche zusammen mit dem mittleren Rang des jeweiligen Modus für alle drei Parameter in Tabelle 16 dargestellt werden.

Die maximale Tonhaltedauer ($n = 9$) erreichte Werte zwischen 0.3 s und 16.7 s. Bis auf einen Ausreisser liegen alle Werte unter 10 s. Die intraindividuellen Unterschiede zwischen den Modi sind teilweise recht gross (z. B. P05, P08, P10). Auch wird deutlich, dass die Tonhaltedauer in neun Fällen (89 %) am schlechtesten im Modus OVB war. Hingegen scheint die Anwesenheit eines Ventils die maximale Tonhaltedauer zu verbessern, in 67 % war sie im Modus MVB am besten, in 33 % im Modus MVS. In Abbildung 27 ist deutlich erkennbar, dass bei Leakage-Beatmung überwiegend die schlechtesten Werte vorkamen. Die mittleren Ränge zeigen mit relativ grossen Abständen, dass in der gesamten Gruppe die Tonhaltedauer im Modus MVB am längsten, im Modus MVS am zweitlängsten und im Modus OVB am kürzesten ist ($M_{\text{Rang MVB}} > M_{\text{Rang MVS}} > M_{\text{Rang OVB}}$).

Dieser Eindruck wird vom Friedman-Test bestätigt. Über die drei Modi hinweg bestehen signifikante Unterschiede: $\chi^2(2) = 11.56$, $p = .003$, $n = 9$; $W = .64$. Der Effekt ist nach J. Cohen (1992) stark. Die anschliessende Post-hoc-Analyse nach Bonferroni-Korrektur zeigt, dass sich lediglich die Tonhaltedauer im Modus OVB und MVB signifikant unterscheidet ($z = -1.56$, $p_{\text{angepasst}} = .003$, $n = 9$, $r = .52$), wobei im Modus MVB die höheren Werte erreicht werden und der Effekt wiederum stark ist (J. Cohen, 1992). Ein Unterschied zwischen OVB und MVS ($z = -1.11$, $p_{\text{angepasst}} = .055$, $n = 9$, $r = .37$) sowie zwischen MVS und MVB ($z = .44$, $p_{\text{angepasst}} = 1.000$, $n = 9$, $r = .15$) ist jedoch statistisch nicht nachweisbar.

Die Hypothese H4a kann somit angenommen werden. Die maximale Tonhaltedauer auf /a/ unterscheidet sich in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi signifikant, wobei die Tonhaltedauer an der Beatmung mit Inlineventil signifikant länger ist als ohne Ventil.

Tabelle 16

Mittelwerte der maximalen Tonhaltedauer, der maximalen Lautstärke und der maximalen Silbenwiederholung in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Pbn	Aufgaben der Maximalleistung								
	Max. Tonhaltedauer /a/ (s)			Max. Lautstärke (dB)			Max. Silbenwiederholung /ta/		
	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS
P01	3.8	5.0	4.3	82.1	72.0	81.4	7.3	7.3	7.7
P02	1.7	4.3	2.9	80.2	75.0	65.5	3.7	13.0	7.7
P03	2.3	3.2	3.6	83.5	84.2	81.3	6.3	7.0	6.0
P04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P05	3.6	7.2	5.9	78.8	83.4	87.9	7.7	9.0	8.3
P06	0.3	1.9	1.1	70.4	86.0	76.4	1.0	3.0	1.3
P07	2.9	3.6	4.8	81.6	79.1	78.5	9.3	-	19.3
P08	1.9	8.0	16.7	90.3	94.0	98.4	3.3	29.0	15.3
P09	1.6	2.0	1.3	68.3	75.6	60.1	4.7	4.7	4.0
P10	2.8	6.4	3.1	62.8	83.6	61.7	6.7	4.0	2.0
Mittlerer Rang^a	1.11	2.67	2.22	2.00	2.33	1.67	1.63	2.63	1.75

Anmerkungen. Pbn = Probanden; max. = maximal; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inline-Ventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Der beste Wert eines Probanden ist jeweils fett gedruckt. Kursiv gedruckte Messdaten wurden wegen fehlender Daten nicht in die Auswertung einbezogen.

^a $n = 9$ bei der maximalen Tonhaltedauer und der maximalen Lautstärke, $n = 8$ bei der maximalen Silbenwiederholung.

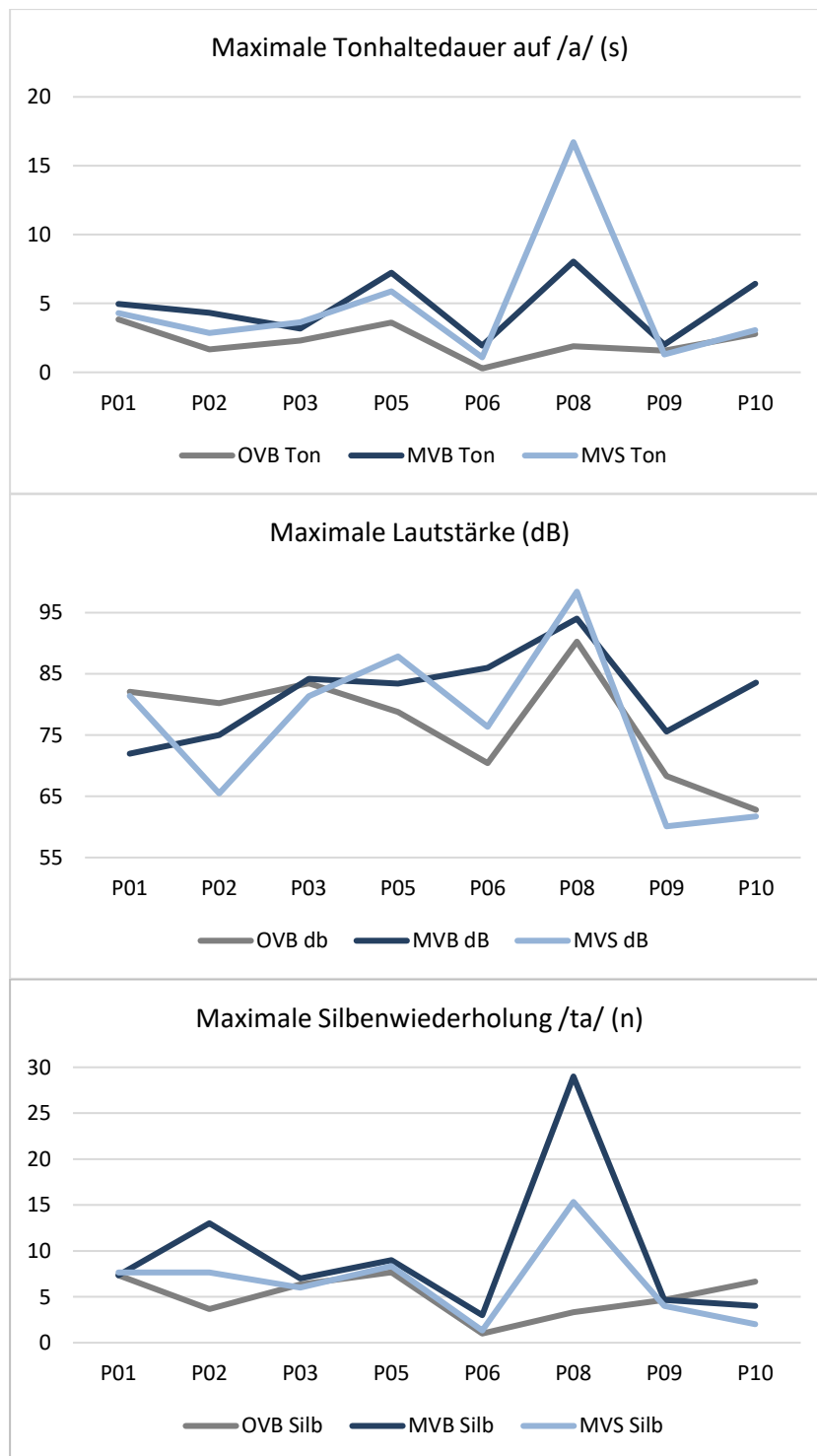
Die zusätzlich erhobenen Messwerte zur maximalen Lautstärke ($n = 9$) liegen zwischen 61.7 dB und 98.4 dB. Die individuellen Rangfolgen zeigen bei Betrachtung der besten Werte kein einheitliches Muster, auch graphisch lässt sich kein eindeutiges Muster erkennen (Abbildung 27). Die mittleren Ränge für die Gesamtstichprobe sprechen jedoch wiederum für tendenziell bessere Werte an der Beatmung, insbesondere mit Inline-Ventil ($M_{\text{Rang MVB}} > M_{\text{Rang OVB}} > M_{\text{Rang MVS}}$).

Die maximale Silbenwiederholung ($n = 8$) erreicht Werte zwischen 1.0 und 29.0, die überwiegende Mehrheit liegt aber deutlich unter 10.0. Die individuellen Rangfolgen haben die Tendenz, im Modus mit Ventil an der Beatmung besser zu sein, was auch in Abbildung 27 zu erkennen ist. Auch der mittlere

Rang ist für den Modus MVB deutlich grösser als für die anderen beiden, die sich nur wenig unterscheiden ($M_{\text{Rang MVB}} > M_{\text{Rang MVS}} > M_{\text{Rang OVB}}$).

Abbildung 27

Graphische Darstellung der maximalen Tonhaltdauer, Lautstärke und Silbenwiederholung in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi



Anmerkungen. OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inline-Ventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Eine Gemeinsamkeit dieser drei Aufgaben zur Maximalleistung ist, dass bei allen der höchste mittlere Rang im Modus mit Ventil beatmet zu finden ist. Ein ähnliches Muster zeigt sich lediglich ansatzweise zwischen der maximalen Lautstärke und der Tonhaldedauer.

Die detaillierten Ergebnisse zur Auswertung der Leseaufgabe ($n = 6$) können in Tabelle M eingesehen werden. Die daraus ermittelten Werte zur mittleren Äusserungslänge pro Respirationszyklus (MLU) sowie zur Sprechgeschwindigkeit (Silben/Minute) werden in Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17

Mittlere Äusserungslänge und Sprechgeschwindigkeit in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Pbn	MLU			Silben/min (incl. Pausen)		
	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS
P01	-	-	-	-	-	-
P02	7.2	6.5	4.6	97.6	154.4	157.5
P03	7.1	8.0	6.2	171.2	174.3	164.2
P04	-	-	-	-	-	-
P05	8.1	12.3	7.6	188.1	209.8	187.0
P06	-	-	-	-	-	-
P07	<i>10.3</i>	-	<i>15.1</i>	<i>157.7</i>	-	<i>178.9</i>
P08	5.4	13.5	10.7	158.0	166.3	170.1
P09	6.8	8.1	4.9	154.0	156.6	141.6
P10	7.4	9.7	3.8	159.6	164.2	103.2
Mittlerer Rang (n = 6)	2.00	2.83	1.17	1.67	2.67	1.67

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Der beste Wert eines Probanden ist jeweils fett gedruckt. Kursiv gedruckte Messdaten wurden wegen fehlender Daten nicht in die Analysen einbezogen.

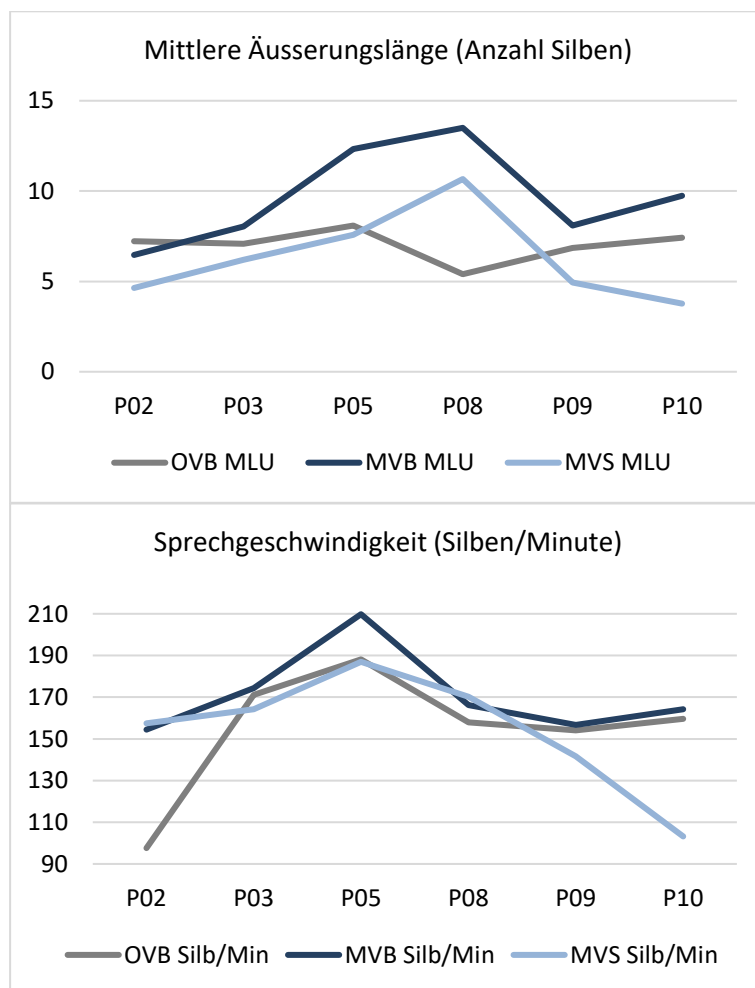
Die mittlere Äusserungslänge variiert zwischen 3.8 und 13.5 Silben. Deskriptiv fällt auf, dass jeweils in fünf von sechs Fällen der höchste Wert mit Ventil an der Beatmung erreicht wurde. Ebenfalls war in fünf Fällen die niedrigste MLU unter Spontanatmung zu beobachten. Beides ist gut in Abbildung 28 zu erkennen. Entsprechend unterscheiden sich die mittleren Ränge über die gesamte Gruppe hinweg mit eindeutigen Abständen, wobei mit Ventil beatmet der höchste Rangplatz erreicht wird und für Spontanatmung der niedrigste ($M_{\text{Rang_MVB}} > M_{\text{Rang_OVB}} > M_{\text{Rang_MVS}}$).

Trotz dieser deutlichen Tendenz verfehlt der Friedman-Test aufgrund der Bonferroni-Korrektur das Signifikanzniveau: $\chi^2(2) = 8.33$, $p = .016$, $n = 6$; $W = .69$.

Obwohl nach J. Cohen (1992) ein starker Effekt vorliegt, kann die Hypothese H4b und somit ein Unterschied der mittleren Äusserungslänge über die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi hinweg nicht eindeutig bestätigt werden.

Abbildung 28

Graphische Darstellung der Mittleren Äusserungslänge und Sprechgeschwindigkeit in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi



Anmerkungen. OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inline-Ventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; MLU = Mittlere Äusserungslänge.

Da die mittlere Äusserungslänge von der Pausensetzung abhängt, kann für die Anzahl an Pausen beim Lesen analog formuliert werden, dass am meisten Pausen spontanatmend gesetzt wurden und mit Ventil beatmet am wenigsten. Blickt man zusätzlich auf die detaillierten Auswertungen der Leseaufgaben und auf die Einhaltung von Pausen an den 16 zuvor definierten Phrasengrenzen, so fällt

auf, dass diese Pausen an Phrasengrenzen am häufigsten mit Ventil beatmet *überlesen* wurden, am wenigsten wurde dies spontanatmend gemacht (vgl. Tabelle M).

Die Sprechrate variiert zwischen 97.6 und 209.8 Silben/min. Sie war in vier von sechs Fällen spontanatmend am kürzesten, in zwei Fällen mit Leckage-Beatmung. Der höchste Wert wird viermal mit Inline-Ventil beatmet und zweimal spontanatmend erreicht. In Abbildung 28 ist die höhere Sprechgeschwindigkeit im Modus MVB erkennbar, der auch den höchsten mittleren Rang in der Gesamtgruppe aufweist. Die anderen beiden Modi sind gleichauf: $M_{\text{Rang_MVB}} > M_{\text{Rang_OVB}} = M_{\text{Rang_MVS}}$.

Die Unterschiede reichen auch hier nicht aus, um statistisch bestätigt zu werden. Der Friedman-Test ist bei einem mittleren Effekt (J. Cohen, 1992) nicht signifikant ($\chi^2(2) = 4.00, p = .135, n = 6; W = .33$). Unterschiedliche Sprechgeschwindigkeiten in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi waren nicht eindeutig nachweisbar, weshalb Hypothese H4c nicht angenommen werden kann.

Tabelle 18

Zusammenfassung der Hypothesenprüfungen mittels Rangvarianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben mit drei Messwiederholungen und im Falle signifikanter Testergebnisse die zugehörigen Post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni-Test)

H	Variable, ggf. mit Paarvergleich	N	Rangvarianzanalyse nach Friedman				Post-hoc Testungen (Dunn-Bonferroni)		
			Chi ²	Df	Sign. ^a	Kendall's W	z	ang. Sign. ^b	r
H1a	PAS breiig	10	3.60	2	.165	.18			
H1b	PAS flüssig	10	0.80	2	.670	.04			
H3	PCF	10	1.14	2	.565	.06			
H4a	Tonhalte-dauer	9	11.56	2	.003 *	.64			
	OVB-MVS						-1.11	.055	.37
	OVB-MVB						-1.56	.003 *	.52
	MVS-MVB						0.44	1.00	.15
H4b	MLU	6	8.33	2	.016	.69			
H4c	Silb/min	6	4.00	2	.135	.33			

Anmerkungen. H = Hypothese; Sign. = Signifikanz; ang. Sign. = angepasste Signifikanz; PAS = Penetrations-Aspirations-Skala (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014); PCF = Peak Cough Flow; MLU = mittlere Äusserungslänge; Silb/min = Sprechgeschwindigkeit.

^a Asymptotische Signifikanz.

^b Die Signifikanzwerte der Post-hoc Testungen wurden für mehrere Tests angepasst (Bonferroni-Korrektur).

* Das Signifikanzniveau ist nach Bonferroni-Korrektur .0083.

Um einen abschliessenden Überblick über die sechs inferenzstatistischen Hypothesenprüfungen zu bekommen, sind die jeweiligen Ergebnisse gesammelt in Tabelle 18 abgebildet.

7.3.5 Subjektives Empfinden in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Aus Tabelle 19, Abbildung 29 und Tabelle 20 wird ersichtlich, dass die meisten Patienten sowohl das Sprechen als auch das Atmen in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi nicht als gleich angenehm empfanden und hierfür auch Gründe nennen konnten. Je höher die Werte, desto angenehmer wurde der Modus empfunden. Eine Ausnahme bildet allerdings Patient P01: Er konnte keinen Unterschied zwischen den Modi spüren und gab auch überall die höchste Bewertung an.

Tabelle 19

Angaben zum subjektiven Atem- und Sprech-Komfort in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf einer visuellen Analogskala von null (nicht angenehm) bis zehn (sehr angenehm)

Pbn	Subjektiver Komfort beim Sprechen			Subjektiver Komfort beim Atmen		
	OVB	MVB	MVS	OVB	MVB	MVS
P01	10	10	10	10	10	10
P02	5	7	8	5	8	9
P03	7	8	7	7	9	8
P04	-	-	-	-	-	-
P05	7	7	10	3	4	7
P06	4	7	8	5	7	9
P07	8	4	10	8	4	10
P08	5	9	4	9	5	8
P09	7	8	4	10	9	5
P10	7	8	5	8	10	8
Median	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
IQR	3	2	6	5	5	2
Mittlerer Rang (n = 9)	1.67	2.28	2.06	1.72	2.00	2.28

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; IQR = Interquartilabstand.

Der beste Wert eines Probanden ist jeweils fett gedruckt.

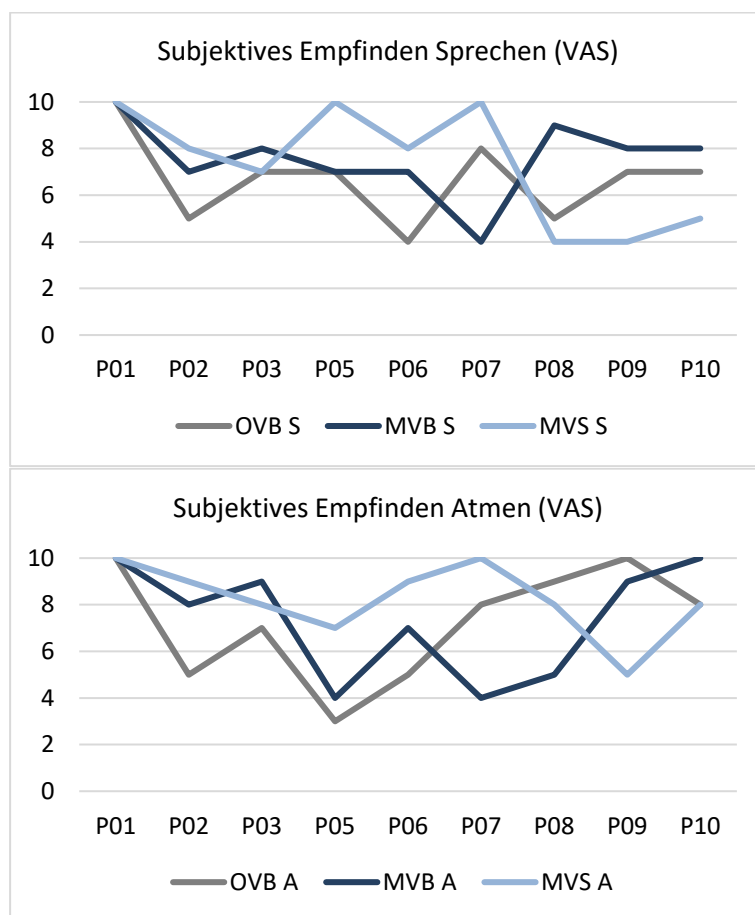
Im Median ($n = 9$) wurde das subjektive Empfinden beim Sprechen ohne Ventil an der Beatmung schlechter bewertet, allerdings fällt auf, dass vor allem beim Sprechen am Ventil spontanatmend die

Streuung der Urteile am grössten ist ($Md_{OVB} = 7.0$, $IQR_{OVB} = 3$; $Md_{MVB} = 8.0$, $IQR_{MVB} = 2$; $Md_{MVS} = 8.0$, $IQR_{MVS} = 6$).

Die intraindividuellen Rangplätze sind hier etwas aufschlussreicher. Acht Probanden empfinden das Sprechen spontanatmend mit Sprechventil oder beatmet mit Inline-Ventil am angenehmsten. Graphisch wirkt die intraindividuelle Rangfolge jedoch weniger einheitlich (Abbildung 29). Die mittleren Ränge zeigen aber, dass Sprechen in den beiden Modi mit Ventil angenehmer empfunden wurde als ohne, den höchsten mittleren Rang erreicht der Modus mit Inline-Ventil beatmet, gefolgt vom Modus mit Ventil spontanatmend (Tabelle 19).

Abbildung 29

Graphische Darstellung des subjektiven Empfindens beim Sprechen und beim Atmen in den einzelnen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi



Anmerkungen. VAS = visuelle Analogskala; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inline-Ventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; S = Sprechen; A = Atmen. Die VAS reicht von null (nicht angenehm) bis zehn (sehr angenehm).

Auch das subjektive Empfinden beim Atmen scheint mit Blick auf Abbildung 29 individuell sehr unterschiedlich empfunden zu werden. Der Median für alle drei Modi liegt gleich auf, wobei hier die Urteile in den beiden Beatmungs-Modi eine grössere Streuung aufweisen ($Md_{OVB} = 8.0$, $IQR_{OVB} = 5$;

$Md_{MVB} = 8.0, IQR_{MVB} = 5; Md_{MVS} = 8.0, IQR_{MVS} = 2$). Zwei Patienten bewerteten das Empfinden im Modus ohne Ventil beatmet am besten, zwei im Modus mit Ventil beatmet und vier im Modus mit Ventil spontanatmend. Die mittleren Ränge lassen jedoch eine Präferenz für Modi mit Ventil vermuten, mit einem ersten Rangplatz des Modus mit Ventil spontanatmend gefolgt vom Modus mit Ventil beatmet ($M_{Rang_MVS} > M_{Rang_BVB} > M_{Rang_OVB}$).

Zu Forschungsfrage F5a kann schlussfolgernd gesagt werden, dass Sprechen in den beiden Modi mit Ventil als angenehmer empfunden wurde als an der Beatmung ohne Ventil. Ob das Wohlbefinden bei zusätzlicher Anwesenheit der Beatmungsmaschine grösser ist als spontanatmend, scheint individuell unterschiedlich zu sein. In Bezug auf das Wohlbefinden beim Atmen ist die Bevorzugung der Modi mit Ventil zwar diskret vorhanden, aber weniger eindeutig. Vor allem die Anwesenheit der Beatmung wird sehr unterschiedlich empfunden.

Die letzte Fragestellung bezog sich auf den individuell bevorzugten Modus und die Gründe dafür (Tabelle 20). Jener Patient (P01), der keine Unterschiede bezüglich der drei Modi empfinden konnte, hatte dementsprechend auch keine Präferenz. Ein anderer Proband (P03) gab an, er bevorzuge ein wenig mehr die beiden Modi mit Beatmung (OVB und MVB), da er mit ihnen besser Luft bekäme. Drei Personen bevorzugten den Modus mit Inline-Ventil an der Beatmung, vier den Modus mit Sprechventil spontanatmend. Die Mehrheit bevorzugte demnach die Anwesenheit eines Sprechventils (78 % ohne P03). Gründe für die Präferenz des Modus MVB waren die geringere Anstrengung sowie positive Auswirkungen auf das Sprechen wie die Lautstärke, die Verständlichkeit, das Sprechtempo und die Ausdrucksfähigkeit. Zwei Patienten, die Spontanatmung bevorzugten, empfanden die Atemunterstützung durch die Maschine als stark störend. Bei einem löste sie tränende Augen und eine Sekretproduktion in der Nase aus, zudem könne er ohne Maschine auch besser schlafen. Beide Patienten betonten, dass Sprechen ohne Beatmung natürlicher sei, da man nicht auf den Atemzug der Maschine warten müsse. Eine weitere Person gab an, sie bekomme spontanatmend besser Luft. Niemand hat den Modus ohne Ventil mit Beatmung als alleinigen Favoriten angegeben.

In Bezug auf die letzte Forschungsfrage (F5b) kann gesagt werden, dass in dieser Studie eine deutliche Präferenz für die beiden Modi mit einem Ventil vorhanden war. Als Gründe werden häufig die positiven Effekte auf das Sprechen genannt. Allerdings empfindet der eine Teil der Patienten die Anwesenheit des Respirators als unterstützend für Atmung und Sprechen, der andere empfindet wiederum dessen Anwesenheit als störend und bevorzugt deshalb die Spontanatmung.

Tabelle 20*Individuell bevorzugter Trachealkanülen-Beatmungs-Modus und Gründe hierfür*

Pbn	bevorzugter Modus	Gründe
P01	keiner	Pat. hat alle gleich empfunden; spürt keine Unterschiede, auch nicht die An- oder Abwesenheit der Beatmung
P02	MVS	Mit Beatmung bekommt Pat. Tränen in den Augen und eine verstopfte, laufende Nase; MVS ist am angenehmsten, weil die Nase und die Augen gleich wieder normal werden; Sprechen mit MVS empfindet er natürlicher; mit Maschine muss man auf Atemzüge warten; Pat. schläft ohne Beatmung viel besser
P03	OVb und MVB	Pat. empfindet alle Modi gut, Unterschiede seien gering, aber mit Maschine etwas angenehmer, da er mehr Sauerstoff bekommt; MVS sei aber auch nicht schlecht
P04	-	-
P05	MVS	Pat. fühlt sich mit MVS einfach wohl, da keine fremde Luft kommt; er könne aus dem freien Raum heraus atmen und reden, so wie man eigentlich als Mensch ist
P06	MVS	Pat. kann keinen Grund angeben
P07	MVS	Pat. kann mit MVS besser atmen und bekommt besser Luft
P08	MVB	Pat. empfindet MVB einfach besser, Lautstärke ist normal
P09	MVB	Pat. empfindet MVB weniger anstrengend; er kann schneller, besser und lauter reden
P10	MVB	Pat. kann sich mit MVB besser ausdrücken, wird besser verstanden, kann deutlicher sprechen

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVb = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; Pat. = Patient.

7.4 Diskussion der Ergebnisse

7.4.1 Schlucken mit unterschiedlichen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Das Kernziel dieser Untersuchung war es, zu eruieren, inwiefern sich die drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi *Leckage-Beatmung*, *Inline-Ventil mit Beatmung* und *Sprechventil ohne Beatmung* bei teilbeatmeten Patientinnen und Patienten unterschiedlich auf das Sprechen, auf Reinigungsfunktionen sowie auf das Schlucken auswirken. In einem direkten Vergleich der drei Modi lag das Hauptaugenmerk zunächst auf dem unmittelbaren Einfluss auf die Schluckfähigkeit. Soweit bekannt, gab es bisher noch keine Studien, welche zwei oder mehrere der genannten Modi verglichen. Dennoch kann aufgrund des derzeitigen Forschungsstandes und aufgrund von physiologischen Überlegungen vermutet werden, dass die An- oder Abwesenheit eines Ventils oder der Beatmung innerhalb dieser Modi einen Einfluss hat.

Entgegen der ursprünglichen Annahme konnten in der hier untersuchten Stichprobe allerdings keine signifikanten Veränderungen auf der Penetrations-Aspirations-Skala (PAS) (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014) für breiige und flüssige Konsistenzen gefunden werden. Deskriptiv zeigt sich jedoch eine leichte Tendenz, dass die Anwesenheit der Beatmung im Vergleich zur Spontanatmung bei breiigen Konsistenzen eher mit einem niedrigeren Penetrations-Aspirationsgrad einhergeht. Für Flüssigkeiten ist dieser Effekt mehr oder weniger vernachlässigbar. Für eine statistische Absicherung wäre bei den errechneten schwachen (breiig) bis sehr schwachen (flüssig) Effekten jedoch eine deutlich grössere Stichprobe nötig gewesen, um diesen Trend zu bestätigen. Daher bleibt diese Frage weiterhin offen. Die gefundene Tendenz zugunsten der Anwesenheit der Beatmung ist mit Vorsicht zu interpretieren, allerdings deckt sich dies mit den Beobachtungen zur Atem-Schluck-Koordination bei Leckage-Beatmung oder nicht-invasiver Beatmung. Auffälligkeiten der Atem-Schluck-Koordination, die durch die reduzierte Lungenfunktion verursacht wurden, konnten bei Terzi et al. (2007) und Terzi et al. (2010) mit Unterstützung durch Leckage-Beatmung reduziert werden. Gleiches konnten mehrere Forschungsgruppen unter nicht-invasiver Beatmung beobachten (Garguilo et al., 2013; Hori et al., 2016; Hori et al., 2019; Terzi et al., 2014; Vitacca et al., 2005). Aussagen zur Schluckfähigkeit bzw. zur Sicherheit beim Schlucken fehlen zwar in den genannten Studien, allerdings ist davon auszugehen, dass eine verbesserte Atem-Schluck-Koordination zudem mit einem geringeren Aspirationsrisiko einhergeht (Hårdemark Cedborg et al., 2009). Auch wenn dies in dieser Studie nicht signifikant bestätigt werden konnte, kann zumindest ein kleiner positiver Effekt durch die Anwesenheit der Beatmung vermutet werden. Physiologisch-physikalische Überlegungen zur protektiven Wirkung des cranialen Luftstromes stützen diese Vermutung (Schwegler, 2022, S. 153f.; Terzi et al., 2007). Ob sie berechtigt ist, muss allerdings noch bestätigt werden.

Wie zu erwarten, konnte die untersuchte Stichprobe deskriptiv in beiden Beatmungs-Modi auch tendenziell bessere Werte der forcierten Vitalkapazität erreichen. Analog hierzu war auch die Schluckleistung an der Beatmung etwas besser. Folglich wäre es möglich, dass das zur Verfügung stehende Lungenvolumen mit der Schluckleistung zusammenhängt. Dafür würden die Ergebnisse von Gross, Atwood et al. (2003) und Gross et al. (2006) sprechen, denn in ihren Untersuchungen hatten Schlucke bei höheren Lungenvolumen über der Atemruhelage eine bessere Schluckphysiologie, niedrigere Volumen führten hingegen eher zu negativen Effekten. Auch die Beobachtungen zur positiven Wirkung respiratorischer Übungsprogramme auf die Schlucksicherheit (Dai et al., 2024; Z. Wang et al., 2019; Y.-S. Zhang et al., 2024) und Schluckphysiologie (Wheeler et al., 2007; Wheeler-Hegland et al., 2008) stützen diese Vermutung. Ob die Lungenvolumen beim Schlucken in den beiden Beatmungs-Modi tatsächlich höher waren als unter Spontanatmung, kann allerdings nur gemutmasst werden, da in vorliegender Untersuchung keine kinematischen Respirationsbewegungen erfasst wurden.

Inwiefern die Anwesenheit eines Ventils an der Beatmung für die Schluckleistung eine Rolle spielt, kann hier nicht abschliessend geklärt werden. Die Anwesenheit eines Ventils zeigt bei der Schlucksicherheit deskriptiv über alle Probanden hinweg keine (breiig) oder minimale (flüssig) Unterschiede im Vergleich zur Leckage-Beatmung. Ein Argument für den Vorzug eines Ventils gegenüber einer offenen Kanüle ist – zumindest unter Spontanatmung – die Herstellung des subglottischen Druckes und die Verbesserung von Reinigungsfunktionen (Schröter-Morasch, 2022b, S. 245ff.). Prigent et al. (2012) konnten bei offener Trachealkanüle spontanatmend eine Leckage beim Schlucken messen, was den Verlust des subglottischen Druckes und somit den Wegfall der protektiven postdeglutitiven Expiration bedeutet. Diese Überlegung kann allerdings nicht eins zu eins auf die Situation an der Beatmung übertragen werden. Ohne Ventil – also mit Leckage-Beatmung – ist erstens ein cranialer Luftfluss über die oberen Atemwege vorhanden (vgl. Kapitel 6.3), zweitens wirkt er für die Schlucksicherheit protektiv und drittens verursacht er einen gewissen subglottischen Druck (Terzi et al., 2007). Die Stärke des postdeglutitiven Luftflusses hängt allerdings davon ab, in welcher Beatmungsphase der Schluckreflex stattfindet, da mit Luftdruckschwankungen zu rechnen ist. Ähnlich wie beim Sprechen (Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009) ist dabei vermutlich die individuelle Fähigkeit entscheidend, wie gut das *Timing* beim Schlucken an den Respirator angepasst werden kann. Dies alles sind mögliche Gründe, warum sich in dieser Untersuchung keine relevanten Unterschiede bei Verwendung eines Ventils an der Beatmung gezeigt haben bzw. warum der Effekt so minimal war.

Ähnlich wie in der Diskussion zur unmittelbaren Wirkung eines Sprechventils unter Spontanatmung (Kapitel 6.5.1) machen diese ersten Resultate deutlich, dass auch innerhalb der drei untersuchten Trachealkanülen-Beatmungs-Modi nicht damit gerechnet werden kann, dass eine Penetration oder Aspiration in einem Modus auftritt und im anderen nahezu ganz verschwindet. Die meisten Probanden hatten Schwankungen nur innerhalb einer eher milden (PAS 1–2) oder einer eher schweren (PAS 7–8) Symptomausprägung, grössere Schwankungen gab es lediglich vereinzelt. Von Nachteil war diesbezüglich, dass es kaum mittlere Symptomausprägungen gab, bei denen eher Effekte erwartbar wären. Dennoch waren intraindividuelle Unterschiede bei der Hälfte (breiig) bzw. knapp einem Drittel (flüssig) der Personen beobachtbar. Die Frage, ob dies im Rahmen normaler Leistungsschwankungen erklärt werden kann, oder ob es doch einen schwachen Effekt der Modi auf die Sicherheit beim Schlucken gibt, gilt es weiter zu klären.

Bezüglich der explorativen Frage zum Ausmass von Residuen in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi kann anhand der deskriptiven Auswertung unter Vorbehalt die These aufgestellt werden, dass unabhängig von der Konsistenz mit Leckage-Beatmung am meisten Residuen auftreten. Die Daten deuten darauf hin, dass die Anwesenheit eines Ventils gegenüber der Anwesenheit der Beatmung hier den grösseren Effekt hat. Ob die Anwesenheit der Beatmung zusätzlich zum Ventil weitere Vorteile

bringt, bleibt fraglich. Dieser Trend zeigt sich nur für breiige Konsistenzen, bei Flüssigkeiten ist dies genau umgekehrt.

Geringere Residuen bei Anwesenheit eines Sprechventils könnten dadurch erklärt werden, dass die Reinigungsfunktionen mit Ventil rein aus physiologisch-physikalischen Gründen effizienter sein müssten (vgl. Kapitel 6.2). Studien zur Anwesenheit eines Sprechventils bei Spontanatmung konnten allerdings bisher keine signifikanten Effekte auf Residuen nachweisen, wenngleich auch hier teilweise Tendenzen in diese Richtung erkennbar waren (Ohmae et al., 2006; Ongkasuwan et al., 2014; Suiter et al., 2003). Auch sonst gibt es zur Auswirkung der im Weaningprozess gängigen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf Residuen bisher keine verlässlichen Aussagen. Bei respiratorisch eingeschränkten Personen mit beispielsweise COPD und zervikalen Rückenmarksverletzungen konnte jedoch die Menge an Residuen mit schlechterer Hustenkraft in Verbindung gebracht werden (Cvejic et al., 2011; S. J. Lee et al., 2021), was wiederum die positive Wirkung eines Atemtrainings auf das Auftreten von Residuen erklären kann (Claus et al., 2021; Dai et al., 2024; Moon et al., 2017).

Da ohne Ventil kein subglottischer Druckaufbau und lediglich ein *Huffen* möglich ist (Schwegler, 2022, S. 71f.), sind in diesem Modus auch niedrigere Werte des Peak Cough Flow zu erwarten (Ferreira et al., 2021). Die verminderten Residuen könnten also auch durch einen besseren Hustenstoss erklärt werden.

Über alle Probanden hinweg war ein höherer PCF in beiden Modi mit Ventil tendenziell erkennbar, ein Ventil an der Beatmung schien deskriptiv häufiger das beste Ergebnis zu ermöglichen. Der Effekt war jedoch äusserst schwach und nicht signifikant, d. h., dass kein nachweislich relevanter Einfluss der Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf die Hustenkraft bestätigt werden konnte.

Es fällt auf, dass nahezu alle Messwerte der Stichprobe im Bereich unter 160 l/min lagen, was einer insuffizienten Hustenkraft entspricht (Brennan et al., 2022). Dies bedeutet, dass die stark eingeschränkte Hustenkraft weder mithilfe der Beatmung noch mithilfe eines Ventils so weit verbessert werden konnte, dass Reinigungsfunktionen effizient möglich gewesen wären. Selbst im Modus mit Inline-Ventil an der Beatmung konnten die Probanden durch das höhere Luftvolumen (FVC), welches die Maschine ermöglichte, die fehlende muskuläre Kraft, die für einen höheren subglottischen Druck in der Kompressionsphase und somit einen höheren PCF nötig wäre, nur geringfügig kompensieren. Ob der PCF über diese Stichprobe hinaus generell bei respiratorischer Insuffizienz so wenig vom Trachealkanülen-Beatmungs-Modus beeinflusst wird, bleibt allerdings unklar. Der leichte Trend zugunsten eines Ventils spricht jedoch zusammen mit physiologisch-physikalischen Überlegungen trotzdem dafür, Modi mit Ventil zu bevorzugen, auch wenn die Hustenkraft nur geringfügig verbessert werden kann.

Wie in Kapitel 4.2 besprochen, konnte im Rahmen mehrerer Störungsbilder die Höhe des willkürlichen PCF in Zusammenhang mit dem Auftreten einer Penetration/Aspiration gebracht werden und gilt

teilweise sogar als Prädiktor für Dysphagien. Ein Zusammenhang mit dem Schweregrad einer Dysphagie besteht allerdings nicht immer (Kimura et al., 2013; S. J. Lee et al., 2021; T. Pitts et al., 2010; Plowman, Watts, Robison et al., 2016; Silverman et al., 2016; Smith Hammond et al., 2001; Wheeler Hegland, Okun & Troche, 2014). Die mittleren Ränge der untersuchten Stichprobe ordnen sich für diese zwei Variablen allerdings unterschiedlich an. Im Gruppenmittel schneidet der PCF mit Leckage-Beatmung am schlechtesten ab, und für beide Konsistenzen zeigen sich mit Spontanatmung die höheren PAS-Werte. In vorliegender Stichprobe kann folglich nicht von einem klaren Zusammenhang des PCF und der Penetration/Aspiration in Abhängigkeit vom Modus ausgegangen werden.

Ein Punkt, der an dieser Stelle noch diskutiert werden muss, betrifft mögliche Anpassungen des Ventilators. Gerade im Rahmen von Leckage-Beatmung gab es Versuche, durch Erhöhung des PEEP das Sprechen zu optimieren. Es wäre denkbar, dass dies ebenfalls stärkere Auswirkungen auf die Schluckphysiologie und -funktion hat. In dieser Untersuchung wurde jedoch bewusst auf Ventilatoranpassungen unter Leckage-Beatmung verzichtet, da der Einfluss eines Ventils an der Beatmung unter gleichen Atemparametern eruiert werden sollte. Ferner ist zu bedenken, dass die Beatmung «kein Selbstzweck ist, sondern immer nur eine vorübergehende, mit spezifischen Gefahren einhergehende Unterstützung der Atemfunktion» (Larsen et al., 2018, S. 400) und das Prinzip des Weanings die schrittweise Reduzierung der Unterstützung durch die Maschine ist (Larsen et al., 2018, S. 400ff.). Insofern sollten Nachteile aus beatmungsmedizinischer Sicht den potenziellen Vorteilen für das Sprechen und für das Schlucken gegenübergestellt und mit dem verantwortlichen medizinischen Personal diskutiert werden.

Obwohl in diesem ersten Vergleich von verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi die Vermutungen zum Einfluss auf die Schlucksicherheit und -effizienz nicht abschliessend geklärt und bestätigt werden konnten, so können sie dennoch weiterhin bestehen bleiben. Selbst wenn die Effekte eher klein sind, so spricht doch einiges dafür, diese Vermutungen in der Praxis zu berücksichtigen.

Es gab vorab diverse theoretische Überlegungen, warum die Anwesenheit eines Ventils oder die Anwesenheit der Beatmung bei eingeschränkter Schluckfähigkeit von Vorteil sein könnten. In der zentralen Tendenz war dies in dieser Untersuchung deskriptiv durchaus erkennbar. Bei allen untersuchten Variablen zum Schlucken und zu den Reinigungsfunktionen fiel ein Vergleich der Modi eher zugunsten eines Ventils aus, insbesondere war ein Ventil an der Beatmung überwiegend mit besseren Ergebnissen verbunden.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse und des allgemeinen Forschungsstandes sowie physiologischer Vorüberlegungen ist aus therapeutischer Sicht die Verwendung eines Ventils gegenüber einer Leckage eindeutig sinnvoller. Für die Beatmungssituation bedeutet dies ebenfalls,

dass zur Herstellung einer physiologischen Luftstromführung im Rahmen des Entblockungstrainings, der Dysphagietherapie oder der oralen Nahrungsaufnahme die Verwendung eines Inline-Ventils favorisiert werden sollte. Im diskontinuierlichen Weaning oder bei teilbeatmeten Patienten ist selbstverständlich erstrebenswert, unter Berücksichtigung der respiratorischen Fähigkeiten und des Sekretmanagements möglichst viele Spontanatemphasen zu erreichen. Im Falle von Dysphagien muss allerdings auch beachtet werden, dass die An- und Abwesenheit des Respirators die Schluckfähigkeit durchaus beeinflussen kann. Selbst wenn dies nicht in allen Fällen und eher in geringem Umfang der Fall sein mag, so kann dies in Einzelfällen dennoch klinisch relevant sein.

Dies heisst in erster Linie, dass bei einem alltäglichen Wechsel zwischen Spontanatem- und Beatmungsphasen mit Ventil allfällige Unterschiede in der bildgebenden Diagnostik geprüft werden sollten, um die Ergebnisse im Rahmen der Dysphagietherapie oder im Alltag berücksichtigen zu können. Gerade bei Personen, die respiratorisch oder bei der Nahrungsaufnahme schnell erschöpfen, kann die Anwesenheit der Maschine unterstützend wirken. Auch in zweifelhaften Fällen kann die Beatmung möglicherweise im Sinne einer protektiven Schutzfunktion förderlich wirken und somit die sicherere Variante zur oralen Nahrungsaufnahme darstellen. Dem sind zweifelsfrei die Nachteile einer dauerhaften maschinellen Beatmung gegenüberzustellen sowie das Ziel, von dieser zeitnah entwöhnt zu werden. Letztendlich gilt es, die gegenseitige Beeinflussung von Schluckfähigkeit, Aspirationsgefahr, Reinigungsfunktionen sowie Lungenfunktion und Beatmungsstatus gegeneinander abzuwägen und für den Moment den sichersten Weg zu wählen. Umgekehrt kann im Falle progredienter Erkrankungen mit zunehmender Beatmungspflicht und Verschlechterung der Dysphagie zu gegebenem Zeitpunkt eruiert werden, ob die orale Nahrungsaufnahme mit Beatmung erleichtert und verbessert werden kann.

Unabhängig von den unmittelbaren Effekten eines Inline-Ventils auf die Schluckfähigkeit sind die langfristigen Verbesserungen in Bezug auf das Schlucken nicht zu vergessen und rechtfertigen deren Einsatz zusätzlich.

7.4.2 Sprechen mit unterschiedlichen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Aufgrund der theoretischen Erkenntnisse zum Sprechen unter Beatmung war ein Unterschied verschiedener Sprechparameter in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi zu erwarten.

Die hier untersuchte Stichprobe war in ihrer Tonhaltedauer deutlich eingeschränkt. Normalerweise sind selbst bei älteren Erwachsenen durchschnittlich Werte über 20 s zu erwarten (Maslan et al., 2011). Bis auf eine Ausnahme liegen alle ermittelten Werte deutlich unter dem Normwert, was für eine starke Beeinträchtigung in allen Modi spricht. Die Modi hatten aber wie erwartet einen starken signifikanten Effekt auf die Tonhaltedauer. Im paarweisen Vergleich war die Tonhaltedauer mit dem Inline-Ventil an

der Beatmung signifikant höher als an der Leckage-Beatmung, ebenfalls mit einem starken Effekt. Doch auch spontanatmend mit Sprechventil war die Tonhaldedauer grösser als mit Leckage-Beatmung, der mittlere Effekt verfehlte allerdings das Signifikanzniveau. Die Tonhaldedauer profitiert somit eindeutig von der Anwesenheit eines Ventils, insbesondere mit zusätzlicher Beatmung. Dies ist insofern logisch, da mit Anwesenheit eines Ventils kein expiratorischer Luftstrom über das Kanülenrohr geht und die gesamte Luft für die Phonation zur Verfügung steht. Die respiratorische Schwäche kann mit Anwesenheit der Beatmung zumindest teilweise kompensiert werden und ermöglicht so eindeutig die längste Phonation.

Die Ergebnisse decken sich mit den Beobachtungen von MacBean et al. (2009), bei denen die Tonhaldedauern deskriptiv ebenfalls mit Inline-Ventil länger waren als mit Leak-Speech. Bei Prigent et al. (2010) zeigte sich dies deskriptiv auch, allerdings war der Unterschied bei ihnen nicht signifikant.

In welchem Modus die grösste Lautstärke produziert werden konnte, war individuell sehr unterschiedlich. Zwar zeigen sich über die gesamte Gruppe Vorteile durch die Anwesenheit der Beatmung, insbesondere mit Ventil, allerdings sind die Unterschiede nicht gross. In früheren Arbeiten konnte durch Ventilatoranpassungen bei Leckage-Beatmung eine Verbesserung der Lautstärke erzielt werden (Hoit et al., 2003), mit Inline-Ventil gibt es lediglich subjektive Selbsteinschätzungen. Die Stimme wurde dabei als kräftig empfunden (Fröhlich et al., 2017). Es bleibt daher offen, ob sich die Lautstärke wesentlich beeinflussen lässt. Sie scheint allerdings nicht in gleichem Masse wie die Tonhaldedauer beeinflusst zu werden.

Die maximale Silbenwiederholung verändert sich hingegen annähernd ähnlich wie die Tonhaldedauer, zumindest konnten diesbezüglich an der Beatmung mit Ventil deutlich höhere Werte erreicht werden. Die schlechtesten Werte traten auch hier meist mit Leckage-Beatmung auf.

Nachdem die Anwesenheit eines Ventils an der Beatmung signifikante Effekte auf die Phonationsdauer bewirken konnte, stellt sich die Frage, wie sich dies auf die mittlere Äusserungslänge beim Lesen auswirkt, da dort neben der Luftkapazität zusätzlich linguistische Faktoren beim Setzen von Pausen eine Rolle spielen (vgl. Kapitel 3.4.2). Die MLU variierte in den drei Modi mit einem starken Effekt, allerdings reichte die Stichprobe nicht aus, um dies signifikant zu bestätigen. Dennoch lässt sich zusammenfassend sagen, dass an der Beatmung mit Ventil offensichtlich längere Äusserungen möglich sind als mit Ventil spontanatmend. Auch die Leckage-Beatmung scheint diesbezüglich bessere Leistungen zu ermöglichen als die Spontanatmung. Es kann daher die These vertreten werden, dass die bei respiratorischer Insuffizienz typische Kurzatmigkeit mit verkürzten Phrasenlängen beim Sprechen mit Anwesenheit der Beatmung und insbesondere mit einem zusätzlichen Ventil verbessert werden kann. Dies muss allerdings noch anhand einer grösseren Stichprobe verifiziert werden.

Sowohl die maximale Tonhaldedauer als auch die mittlere Äusserungslänge waren mit Ventil an der Beatmung am besten. Bezüglich der anderen beiden Modi zeigten sich allerdings abweichende Ergebnisse. Es ist zu vermuten, dass dies vor allem an der ungewohnten koordinativen Abstimmung der Phonationsphasen auf den Rhythmus der Beatmungsmaschine bei Leckage-Beatmung liegt. Dass dies für viele Betroffene schwierig ist, hat sich mehrfach gezeigt (Hoit et al., 2003; MacBean et al., 2009). Beim Lesen wird dies bei Patient P02 besonders deutlich. Er hatte grosse Probleme, das Sprechen auf die Maschine abzustimmen, sodass an der Leckage-Beatmung der Anfang einer Sprechphrase häufig gekennzeichnet war durch wiederholte aphone Artikulationsversuche, bis schliesslich der Luftdruck der Maschine gross genug war, um die Phonation starten zu können (vgl. Anhang M). So hat ein zeitlich schlecht koordinierter Start bei maximaler Phonation auf /a/ auch eine sehr kurze Phonationsdauer zur Folge. Beim Lesen konnte hingegen bei einigen Patienten die Strategie erkannt werden, dass sie den Luftfluss der Maschine bei Leckage-Beatmung dann ungeachtet der syntaktischen Grenzen ausnutzen, solange er ein Sprechen ermöglichte. Durch diese Taktik war die mittlere Äusserungslänge mit Leckage-Beatmung oft besser als spontanatmend. Dies zeigt sich auch in der Analyse der Position von Pausen.

Nach Goldman-Eisler (1955, 1968, S. 14) sind nur an syntaktisch-semantischen Einheiten Pausen zu erwarten, welche im verwendeten Text durch die Satzzeichen vorgegeben werden (vgl. Kapitel 7.2.3.5 und Anhang F). Demnach ist für die 16 Phrasen mit insgesamt 178 Silben bei gesunden Sprechern mit einer mittleren Äusserungslänge von 11.1 Silben zu rechnen, die Anforderungen variieren dabei zwischen vier und zwanzig Silben pro Phrase. Die gesunde Kontrollstichprobe ($n = 6$) bei Schnitker (1999) erreichte Werte zwischen 11.4 und 18.3 Silben. Die sechs Probanden in dieser Studie hatten hingegen bis auf zwei Ausnahmen (im Modus MVB) deutlich tiefere Werte. Das heisst, dass die Probanden in fast allen Fällen und Modi deutlich mehr Pausen machen mussten als an den 15 definierten Phrasengrenzen. Unter Spontanatmung waren am meisten Zusatzpausen nötig, an der Beatmung mit Ventil am wenigsten. Die erhöhte Pausenzahl bei Spontanatmung war zu erwarten und stimmt mit Ergebnissen aus anderen Studien überein, die bei respiratorischer Insuffizienz eine höhere Anzahl an Pausen sowie kürzere Phrasenlängen beobachteten (Hoit et al., 1990; L. Lee et al., 1993).

Bei einem vertiefenden Blick auf die Auswertung fällt aber auf: Je weniger Pausen gemacht werden müssen, desto häufiger werden die definierten Phrasengrenzen überlesen und stattdessen Pausen an kleineren syntaktischen Einschnitten oder unpassenden Stellen gebildet (vgl. Anhang M). Das ist paradox, denn eigentlich würden längere Äusserungslängen es auch ermöglichen, sich mehr an linguistischen Grenzen zu orientieren. Das gleiche Phänomen ist bei Personen mit Dysarthrie zu beobachten, wo dies allerdings zusätzlich zur respiratorischen Einschränkung als Folge der eingeschränkten zentralen Steuerung zu sehen ist (Darling-White & Huber, 2020; Huber et al., 2012).

Bei den untersuchten Probanden entstand mehrheitlich der Eindruck, sie wollten den anhaltenden – und fremdgesteuerten – Luftfluss der Maschine noch ganz ausnutzen, sodass zu erwartende Pausen häufig übergangen wurden. Dies führt teilweise zu wahllos wirkender prosodischer Gliederung, wie das Beispiel von P09 (MVB) zeigt (Pausen werden mit einem senkrechten Strich markiert):

«Sie wurden | einig(,) dass derjenige für den Stärkeren | gelten sollte(,) der den | Wanderer zwingen würde seinen Mantel | abzunehmen. | »

Diese Beobachtung konnten auch Hoit et al. (1994) machen. Einige ihrer Probandinnen und Probanden orientierten mit Leckage-Beatmung die Pausensetzung ebenfalls weniger an linguistischen Grenzen, sondern mehr an den respiratorischen Vorgaben, andere wiederum nicht. Die Betroffenen scheinen diesbezüglich sehr unterschiedliche Strategien zu haben, was auch in dieser Studie zu erkennen ist. Im Gegensatz zu anderen gelang es z. B. Patient P05 in allen Modi relativ gut, Phrasengrenzen einzuhalten. Mit zusätzlichem PEEP bei Leckage-Beatmung konnten sich die beiden Probanden von MacBean et al. (2009) wieder mehr an den linguistischen Strukturen orientieren als ohne. Es kann also sein, dass sich dieses Phänomen vereinzelt durch individuelle Ventilatoranpassungen verbessern lässt. Wie aber schon im vorherigen Kapitel bemerkt, widerspricht die Erhöhung der Atemunterstützung dem Ziel des Weaning, was bei der Entscheidung nach einer geeigneten Kommunikationsmöglichkeit beachtet werden muss.

Unter Spontanatmung waren zwar am meisten Pausen nötig, und somit ist auch von vielen zusätzlichen Pausen an inadäquaten Stellen auszugehen, aber hier wurden die definierten Phrasengrenzen insgesamt viel häufiger berücksichtigt (vgl. Anhang M), selbst an Stellen, an denen die Luft vermutlich noch zum Weiterreden ausgereicht hätte. Das Beispiel von P10 (MVS) verdeutlicht dies:

«Einst stritten sich | Nordwind und | Sonne, | wer von ihnen beiden | wohl der stärkere | wäre, | als ein Wanderer, | der in einen | warmen Mantel gehüllt war, | des Weges kam. | »

Bei Schnitker (1999) realisieren zwar gesunde Sprecher ($n = 6$) vor allem innerhalb komplexer Sätze auch nicht an jeder der definierten Phrasengrenzen eine Pause. Aber alle gesetzten Pausen entsprachen bis auf eine rhetorische Zögerungspause durchgehend der Interpunktion. In der hier untersuchten Patientengruppe war dies spontanatmend erwartungsgemäss aufgrund der Lungenfunktion bei Weitem nicht möglich. Aber trotz der nötigen hohen Pausenzahl achteten die Probanden spontanatmend besser auf die Interpunktion. Wenngleich sich die mittlere Äusserungslänge an der Beatmung verbesserte, entstanden durch die schwierige Koordination mit dem Beatmungsrhythmus des Gerätes andere Auffälligkeiten in der Gliederung. Hinzu kommen noch die Lautstärke- und Tonhöhenschwankungen, die hier nicht näher analysiert wurden, aber bereits bekannt sind (Kapitel 6.4).

Bei Personen mit zervikalen Rückenmarksverletzungen konnte mithilfe einer Bauchbinde die Pausensetzung soweit verbessert werden, dass Pausen mit ihr nur noch an linguistischen Grenzen auftraten (Watson & Hixon, 2001). Diesen Benefit konnte die Beatmungsmaschine zumindest in dieser Studie nicht bewirken.

Unterschiede in der Sprechrate konnten trotz mittlerem Effekt nicht bestätigt werden. Die Sprechrate war aber tendenziell an der Beatmung mit Ventil am besten. Die Anzahl und Länge der Pausen spielen für die Sprechrate normalerweise eine grössere Rolle als die Artikulationsgeschwindigkeit (Gebhard, 2012, S. 48; Goldman-Eisler, 1968, S. 24; Hirschfeld & Stock, 2004, S. 43), es kann daher angenommen werden, dass die Artikulationsgeschwindigkeit über die drei Modi hinweg relativ konstant geblieben ist. An der Beatmung mit Ventil wurden am wenigsten Pausen und die längsten Sprechphrasen gebildet, somit war der Sprechfluss in diesem Modus am besten. Leckage-Beatmung und Spontanatmung zeigten kaum Unterschiede in der Sprechgeschwindigkeit. Da die Leckage-Beatmung durch lange Pausen gekennzeichnet ist (Hoit et al., 1994; MacBean et al., 2009), müssen die Pausen bei Spontanatmung – da hier am meisten nötig waren – deutlich kürzer gewesen sein. Offen bleibt allerdings, was Hörer als natürlicher oder weniger störend empfinden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Effekte auf das Sprechen deutlich stärker sind als auf die Schluckfähigkeit. Auch wenn die Stichprobe nicht ausreichte, um alle Hypothesen zu bestätigen, so war doch recht deutlich zu beobachten, dass Sprechen mit Ventil an der Beatmung rein funktional am besten möglich ist, also mit längeren, lauterer Äusserungen, weniger Atem- bzw. Gliederungspausen und besserem Sprechfluss. Unter Anwesenheit der Beatmung stellt die Abstimmung der Atem-Sprech-Koordination auf den Rhythmus der Maschine allerdings eine grosse Herausforderung dar, auf die mit unterschiedlichen Strategien, teils zulasten der Gliederung, reagiert wird. Zudem können Frequenz- und Lautstärkechwankungen mit Beatmung nicht kontrolliert werden, was befremdlich wirken kann. Demgegenüber dominieren beim Sprechen unter Spontanatmung die Einschränkungen der Atem-Sprech-Koordination durch die respiratorische Insuffizienz.

Im Alltag und in der Therapie sollten die Vor- und Nachteile der einzelnen Lösungen zu respiratorischen Anforderungen, Natürlichkeit und Sprechleistung daher gegeneinander abgewogen werden. Insbesondere muss die individuelle Fähigkeit, mit den einzelnen Modi umzugehen, Berücksichtigung finden – vor allem wenn es um ausdauernde, emotional bedeutsame oder belastende Sprechsituationen geht.

7.4.3 Das subjektive Wohlbefinden in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen

Die Verwendung eines Ventils im Trachealkanülenmanagement sollte nicht nur aufgrund von physiologischen Vorteilen für das Schlucken und Sprechen präferiert werden. Die untersuchte Patientengruppe empfand überwiegend einen der beiden Modi mit Ventil sowohl beim Sprechen als auch beim Atmen als deutlich angenehmer. Wie die Anwesenheit der Beatmung empfunden wurde, war hingegen individuell sehr unterschiedlich. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen konnten Prigent et al. (2010) bei einem Vergleich von Leckage-Beatmung und Inline-Ventil keine Unterschiede im Atem- und Sprechkomfort feststellen, wobei sie die Leckage-Beatmung mit angepasster Druckunterstützung (PEEP) durchführten. Eine Anpassung des PEEP kann den Sprechkomfort gegenüber normaler Leckage-Beatmung verbessern (Garguilo et al., 2013), worauf aber in dieser Untersuchung bewusst verzichtet wurde.

Übereinstimmend mit dem Empfinden wurde bei der Frage nach dem Favoriten mehrheitlich einer der beiden Ventil-Modi genannt. Ein Teil der Probanden schätzte und bevorzugte die Anwesenheit der Beatmung wegen der geringeren Anforderungen an die Respiration sowie aufgrund der besseren Sprechleistung wie Lautstärke, Verständlichkeit und Sprechtempo. Auf der anderen Seite gab es jene, die den fremdgesteuerten Luftstrom aufgrund von negativen physischen Reaktionen und Auswirkungen auf das Sprechen wie lange Pausen und Luftdruckschwankungen weniger bevorzugten. Trotz der Kurzatmigkeit empfanden Letztgenannte das Sprechen mit Spontanatmung als natürlicher. Die beiden Modi mit Ventil konnten das Sprechen nicht nur funktional verbessern, sie wurden auch subjektiv bevorzugt. Das Wohlbefinden mit Beatmung variierte jedoch individuell, so wie die Fähigkeit, sich beim Schlucken und Sprechen zeitlich mit der Beatmung abzustimmen.

Neben funktionalen Vorteilen sind subjektive Fähigkeiten, aber auch Bedürfnisse und Empfindungen in den Entscheidungsprozess dringend einzubinden, denn für die Genesung und die Lebensqualität der Betroffenen spielt das Wohlergehen eine tragende Rolle und ist Teil eines partizipativen Behandlungsplans.

7.4.4 Grenzen der Studie und Implikationen für zukünftige Forschung

Die zweifelsfrei grösste Einschränkung dieser Studie entsteht durch die Diskrepanz zwischen geplanter und tatsächlicher Stichprobengrösse. Obwohl der Erhebungszeitraum fast verdoppelt wurde, konnte die angestrebte Probandenzahl nicht erreicht werden. Zum Teil ist dies der Tatsache geschuldet, dass man diese schwer betroffene Gruppe von Patientinnen und Patienten grundsätzlich so gut und lange wie möglich vor zusätzlicher Belastung durch Forschungsprojekte schützen möchte, was in Anbetracht der belastenden Lebenssituation absolut folgerichtig ist. Ein beträchtlicher Teil der beatmeten

Patientinnen und Patienten vollzieht das Weaning allerdings auf der Intensivstation, sodass bei Verlegung auf eine Normalstation häufig der für die Untersuchung entscheidende Zeitpunkt schon verpasst wurde. Zudem sollten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer nicht einer zusätzlichen Schluckendoskopie rein aus Studienzwecken ausgesetzt werden. Entgegen vorgängigen Einschätzungen überschritten sich die im therapeutischen Alltag verordneten Schluckdiagnostiken bedauerlicherweise sehr selten mit den relevanten Weaningphasen, weshalb mit einer reduzierten Stichprobengrösse umgegangen werden musste. Hinzu kommt, dass lediglich männliche Probanden eingeschlossen werden konnten, was bei der Generalisierbarkeit der Ergebnisse ferner zu berücksichtigen ist.

Um kleinere und mittlere Effekte zuverlässig aufzuzeigen, wäre eindeutig eine grössere Probandengruppe nötig gewesen, allerdings waren das Design und die Anzahl an Probanden ausreichend geeignet, um einen sehr starken Effekt auf die Tonhaldedauer zu bestätigen. Die Ergebnisse zu den anderen Forschungsfragen sind zwar nicht generalisierbar, können aber als erste richtungsweisende Ergebnisse für weitere Forschungsprojekte gesehen werden und ermöglichen trotzdem einige Implikationen für die Praxis.

Es wurde sehr deutlich, dass die Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Sprechen wesentlich grössere Effekte haben als auf die Schlucksicherheit, was bei der Planung von zukünftigen Studien zu beachten ist. Unter Berücksichtigung von physiologischen und therapeutischen Aspekten und unter Beachtung des dargestellten Forschungsstandes sowie der hier geschilderten Ergebnisse scheint es auch sinnvoll, sich zukünftig auf zwei Modi zu reduzieren. Im Rahmen des Dysphagie- und Trachealkanülenmanagements macht es Sinn, beim Training der physiologischen Luftstromführung lediglich zwischen Inline-Ventil an der Beatmung und Sprechventil spontanatmend zu wechseln. So könnte auch ein vereinfachtes Design mit dem Vergleich dieser beiden Modi die Umsetzung solcher Projekte vereinfachen.

Wie das Schlucken am besten objektiviert werden kann, ist weiter zu diskutieren. Die Penetrations-Aspirations-Skala von Rosenbek et al. (1996) ist wegen ihrer international weit verbreiteten Anwendung und ihrer Validierung auf Deutsch (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014) durchaus ein geeignetes Messinstrument, allerdings scheint deren Erweiterung um eine Skala zur Beurteilung von Residuen angebracht. Die Yale-Scale hat sich in dieser Studie bewährt, der grosse Nachteil ist allerdings, dass mit ihr je zwei weitere Variablen für jede Konsistenz berücksichtigt werden müssen, da zwei anatomische Strukturen getrennt voneinander bewertet werden. Eine Skala, welche die Menge an Residuen und die Reaktionen darauf in einem Skore zusammenfasst, wäre hier unter Umständen von Vorteil. Denkbar wäre auch eine Skala, die Aspirationen, Penetrationen und Residuen in einem berücksichtigt, wie beispielsweise die DIGEST-FEES (Starmer et al., 2021), die allerdings zum Zeitpunkt

der Auswertung noch nicht als übersetzte Version zur Verfügung stand und lediglich für Schluckstörungen im Rahmen von Kopf-Hals-Tumoren validiert wurde.

Der PCF konnte mit einem tragbaren Peak-Cough-Flow-Meter einfach erhoben werden. Allerdings war von Nachteil, dass Werte unter 50 l/min nicht erfasst werden konnten, sodass in diesen Fällen mit dem Wert 0 l/min gerechnet wurde. Werte in diesen tiefen Bereichen sind klinisch zwar wenig relevant, doch könnte dies die Auswertung des PCF leicht verfälscht haben. Für Studien mit pulmonal sehr stark beeinträchtigten Personen sollten besser Geräte mit Messbereichen ab 0 l/min verwendet werden.

Die gewählten Variablen zur Atem-Sprech-Koordination haben sich bewährt. Da eingangs Zweifel bestanden, ob die maximale Silbenwiederholung eine geeignete Aufgabe ist, fiel die Entscheidung auf die maximale Tonhaltedauer. Diese Entscheidung hat sich als geeignet erwiesen, da die Evaluation der Tonhaltedauer sehr zuverlässig und einfach möglich war. In der Untersuchungssituation fiel tatsächlich auf, dass einige wenige Probanden hier die Grenzen des Respirationszyklus der Maschine zum Teil ignorieren konnten, vermutlich durch minimale Zwischenatmungen zwischen zwei Silben, sodass das Ende eines maschinellen Respirationszyklus von der Untersuchungsleitung markiert werden musste. Diese Aufgabe ist daher weniger geeignet, zudem erweitert sie die Aussagekraft im Vergleich zur maximalen Tonhaltedauer nicht wirklich. Für die Kommunikation relevanter ist hingegen die mittlere Äusserungslänge, die hier sehr gut erfasst werden konnte.

Je nach technischen Möglichkeiten wäre ferner interessant, die kinematischen Bewegungen des Thorax mit einem Plethysmographen zu erfassen und diese mit den Aufnahmen des Schluckens sowie den akustischen Signalen der Sprechaufgaben zu synchronisieren (Curtis & Troche, 2020a; Prigent et al., 2010). Dies würde zum einen die Auswertung weiter präzisieren, ferner wären zusätzliche Aussagen zu den Respirationszyklen und Lungenvolumen möglich, was in Bezug auf die Effekte der Beatmung interessante und entscheidende Parameter zu sein scheinen.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss ausserdem die Frage nach den individuellen Gewohnheiten berücksichtigt werden. Es hat sich gezeigt, dass es an der Beatmungsmaschine entscheidend ist, wie gut sich die Personen auf deren Rhythmus abstimmen können. Dabei spielt die Gewohnheit eine grosse Rolle. In der Einrichtung, in der die Evaluation stattfand, werden im klinischen Alltag vor allem aus therapeutischen Gründen Modi mit Sprechventil bevorzugt. So ist davon auszugehen, dass diese beiden Modi den Patienten mehrheitlich vertrauter waren als Leckage-Beatmung, was die Ergebnisse verzerrt haben könnte.

Viele interessante Aspekte im Umgang mit wechselnden Trachealkanülen-Beatmungs-Modi und deren Wirkung auf das Schlucken und Sprechen bleiben offen, und so wäre es wünschenswert, wenn sich zukünftig weitere Arbeiten mit grösseren Stichproben vertieft mit diesem Thema auseinandersetzen.

8 Fazit

Eingangs wurde die Frage aufgeworfen, ob die Atmung im Rahmen der logopädischen Therapie, insbesondere der Dysphagietherapie, nicht mehr Aufmerksamkeit bekommen sollte. Der dargestellte Forschungsstand zum Zusammenspiel von *Atmung und Schlucken* sowie *Atmung und Sprechen*, aber auch die Resultate der durchgeführten Untersuchung lassen diese Frage zustimmend beantworten, denn die Atemfunktion interagiert in relevanter Weise mit anderen Funktionen wie Sprechen und Schlucken.

Im Rahmen einer respiratorischen Insuffizienz, aber auch bei diversen neurologischen Störungsbildern, sind Auffälligkeiten beim Sprechen – und damit einhergehend die Einschränkung der Kommunikationsfähigkeit – häufig auch auf eine gestörte Atem-Sprech-Koordination zurückzuführen. Darüber hinaus zeigen sich oft Abweichungen in der Atem-Schluck-Koordination, welche sich wiederum negativ auf die Schluckphysiologie, -effizienz und -sicherheit auswirken. Eine gestörte Atem-Schluck-Koordination ist somit als möglicher Verstärker oder als Ursache einer Dysphagie zu sehen.

Es scheint daher sinnvoll, die Atmung bzw. Lungenfunktion, aber auch die Atem-Sprech-Koordination sowie die Atem-Schluck-Koordination im Rahmen der Diagnostik zu überprüfen. Bei Einschränkungen in diesen Bereichen sollte auch in der Therapie gezielt daran gearbeitet werden. Ein Respirationstraining sowie der Einsatz diverser Atemtechniken zeigten positive Effekte auf das Sprechen, auf Reinigungsfunktionen und das Schlucken. Insbesondere in der Dysphagietherapie sollten neben klassischen Schlucktechniken und Reinigungsfunktionen auch atemtherapeutische Massnahmen und Techniken, z. B. eine bewusste Kontrolle der Respirationsphase und des Lungenvolumen beim Schlucken, in das therapeutische Repertoire aufgenommen werden, um die Atmung noch gezielter im Behandlungsplan zu berücksichtigen.

Im Dekanülierungsmanagement von spontanatmenden Personen hat sich unlängst ein frühes Training der physiologischen Luftstromführung mithilfe von Sprechventilen oder Verschlusskappen durchgesetzt. Bei teilbeatmeten Personen oder jenen im Weaningprozess konnte sich jedoch noch kein festes Schema im Vorgehen etablieren. Die aufgearbeiteten Forschungsergebnisse zeigen allerdings, dass ein frühes Entblockungstraining mit Inline-Ventil an der Beatmung sicher möglich ist und mit positiven Auswirkungen auf diverse Outcome-Parameter einhergeht.

In der durchgeführten Studie sollte in einem ersten Vergleich eruiert werden, inwiefern die verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi im Weaning das Sprechen und Schlucken beeinflussen. Auch wenn diese Frage nicht abschliessend beantwortet werden konnte, so kann aufgrund der Resultate sowie aufgrund des aktuellen Forschungsstandes geschlussfolgert werden, dass die Sprechfunktion durchaus vom Modus beeinflusst wird. Respiratorische Defizite in der Atem-Sprech-Koordination können mithilfe der Beatmung teils deutlich verbessert werden und spiegeln sich

beispielsweise in einer verlängerten Tonhaltedauer und Phrasenlänge. Die Verwendung eines Ventils gegenüber der Leckage-Beatmung scheint dabei gewisse Vorteile zu bringen. Da die Anpassung an den Rhythmus der Maschine einigen Personen sehr schwerfällt, muss dies nicht zwingend mit einer natürlicheren Gliederung von Äusserungen einhergehen.

Subjektiv werden Modi mit Ventil klar bevorzugt, wobei die Anwesenheit der Beatmung zum Teil als störend empfunden wird. Grundsätzlich sind hier die individuellen Fähigkeiten, mit dem Modus umzugehen, sowie die persönlichen Präferenzen zu berücksichtigen.

Das Schlucken scheint hingegen deutlich weniger von den Trachealkanülen-Beatmungs-Modi beeinflusst zu werden. In vorliegender Untersuchung konnten zwar intraindividuelle Abweichungen im Auftreten von Residuen, Penetration und Aspiration sowie in den Reinigungsfunktionen beobachtet werden, allerdings waren die tendenziellen Unterschiede nicht ausreichend, um sie von Leistungsschwankungen zuverlässig abzugrenzen. In der Tendenz scheint die Schluckleistung mit Anwesenheit eines Inline-Ventils an der Beatmung jedoch besser zu sein. Aufgrund von physiologischen Überlegungen, dem derzeitigen Forschungsstand sowie diesen ersten orientierenden Ergebnissen lässt sich aus therapeutischer Sicht aber eine Empfehlung aussprechen: Im Dekanülierungsmanagement von teilbeatmeten Patientinnen und Patienten sollte die physiologische Luftstromführung entweder an der Beatmung mit Inline-Ventil oder in Spontanatemphasen mit Sprechventil geübt werden, da sich hier potenziell positive Effekte auf die Stimmgebung, das Sekretmanagement sowie die Schluckphysiologie und -sicherheit zeigen. Allfällige Unterschiede in der Schluckfunktion durch An- und Abwesenheit der Beatmung sollten diagnostisch geprüft und in der Dysphagietherapie sowie bei der Oralisierung berücksichtigt werden.

Für die Dysphagietherapie von teilbeatmeten Patientinnen und Patienten wäre es wünschenswert, wenn diese ersten orientierenden Ergebnisse durch zukünftige Studien mit grösseren Probandengruppen ergänzt würden. Vor allem ein systematischer Vergleich des Schluckens mit Ventil an der Beatmung gegenüber spontanatmend wäre von grossem Interesse, um das Dekanülierungsmanagement weiter optimieren zu können. Aber vor allem gilt es, die Lebensqualität der Betroffenen individuell und so gut als möglich zu verbessern.

9 Zusammenfassung

Logopädinnen und Logopäden werden zunehmend mit der Behandlung von beatmeten Patientinnen und Patienten konfrontiert. Eine respiratorische Insuffizienz geht häufig mit Auffälligkeiten der Atem-Sprech-Koordination sowie der Atem-Schluck-Koordination einher. Da Dysphagien im Rahmen von beatmeten Personen häufig auftreten und mit einem schlechteren Outcome verbunden sind, stellen die Entwöhnung von der Beatmungsmaschine sowie von der Trachealkanüle (TK) wichtige Ziele dar. Im interprofessionellen TK-Management von beatmeten Personen hat sich allerdings noch kein einheitliches Vorgehen durchgesetzt. Vor allem in Bezug auf den Einfluss der verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi (TKB-Modi) auf das Sprechen und Schlucken bleiben für die Dysphagietherapie viele Fragen offen.

Dass die Atmung sowohl mit dem Sprechen als auch mit dem Schlucken auf komplexe Art und Weise interagiert, zeigt sich in vielen Bereichen, welche in dieser Arbeit detailliert geschildert werden.

Die physiologische Atmung ermöglicht in einem komplexen Zusammenspiel verschiedener Strukturen des Atemsystems den lebenswichtigen Gasaustausch sowie den Erhalt des Säure-Basen-Haushaltes. Die Atemregulation erfolgt zentral und chemisch, ist aber in begrenztem Masse willkürlich beeinflussbar. Reinigungsfunktionen der Lunge sowie der Hustenreflex spielen dabei eine wichtige Rolle.

Kommt es zu einer respiratorischen Insuffizienz, kann eine invasive Beatmung nötig werden, wobei es hier diverse Formen der Atemunterstützung gibt. So bald wie möglich wird jedoch die Entwöhnung von der Beatmung (Weaning) angestrebt, mit dem Ziel der schnellstmöglichen Extubation oder Dekanülierung. Ein intaktes Sekretmanagement, eine unauffällige Schluckdiagnostik, aber auch eine ausreichende Hustenkraft sind hierfür wichtige Voraussetzungen.

Verschiedene Parameter der Lungenfunktion spielen bei der Stimmgebung und beim Sprechen eine tragende Rolle. So wird die Phonation vor allem vom Glottiswiderstand, vom subglottischen Druck und der Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst. Diese Aspekte sind auch für die Modulation der Stimme relevant. Die Gliederung gesprochener Äußerungen orientiert sich zwar an syntaktischen und phonologischen Merkmalen, allerdings wird sie auch von metabolischen Bedürfnissen beeinflusst.

Eine reduzierte Lungenfunktion wirkt sich folglich auch auf die Stimmqualität, auf prosodische Merkmale und die Atem-Sprech-Koordination aus. Bei vielen Störungsbildern zeigt sich dies u. a. in verkürzten mittleren Äußerungslängen, vermehrten Pausen und Pausen an inadäquaten Stellen.

Doch die Atmung interagiert auch äusserst präzise und komplex mit dem Vorgang des Schluckens. So sind verschiedenste Aspekte der Atmung wie das Lungenvolumen beim Schlucken, die Schluckapnoephase sowie die Respirationsphase optimal auf den Schluckvorgang abgestimmt, sodass stets der beste Schutz der unteren Atemwege gewährleistet wird.

Bei unterschiedlichsten Krankheitsbildern kann ein klarer Zusammenhang von Lungenfunktion und Schluckfunktion beobachtet werden. So geht ein schwacher, willkürlicher Hustenstoss bei Personen mit Schlaganfall häufig mit einem höheren Aspirationsrisiko einher. Bei unterschiedlichen Ätiologien sind Veränderungen der Schluckphysiologie, der Atem-Schluck-Koordination sowie reduzierte Reinigungsfunktionen auf die eingeschränkte Lungenfunktion zurückzuführen, häufig stehen sie im Zusammenhang mit einem erhöhten Aspirationsrisiko.

Aufgrund dieser engen Verknüpfung mit der Atmung kann ein Training der Atemmuskulatur, der Atem-Sprech-Koordination bzw. der Atem-Schluck-Koordination folglich auch positive Veränderungen auf Reinigungsfunktionen oder einzelne Parameter des Sprechens bzw. des Schluckens erzielen.

Im Dekanülierungsmanagement spontanatmender Personen haben sich feste Vorgehensweisen und Kriterien für die Dekanülierung weitestgehend durchgesetzt, dem Sekretmanagement und der Schluckfunktion in Bezug auf Speichel kommt hier eine tragende Rolle zu. Bei persistierenden Auffälligkeiten müssen diese Aspekte im Rahmen eines Entblockungstrainings verbessert werden. Bei Personen mit respiratorischen Einschränkungen sind zudem Okklusionsphasen vor der Dekanülierung sinnvoll.

Ob Entblockungsversuche schon in Beatmungsphasen gemacht werden sollen, wird unterschiedlich gehandhabt. Ein frühes Entblocken an der Beatmung gilt jedoch als sicher und wird mit einigen positiven Auswirkungen auf das Outcome der Betroffenen in Verbindung gebracht.

Für beatmete Personen ist die Herstellung einer verbalen Kommunikationsmöglichkeit von grosser Bedeutung. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten, deren Vor- und Nachteile eruiert werden.

Der Forschungsstand zum Einfluss dieser Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf das Schlucken ist sehr lückenhaft. Es gibt einzelne Hinweise, dass die Anwesenheit der Beatmung einige Aspekte der Atem-Schluck-Koordination sowie der Schluckphysiologie zugunsten einer gesteigerten Sicherheit verbessern kann. In Bezug auf die Verwendung eines Inline-Ventils finden sich allerdings keine klaren Aussagen. Ein Vergleich von verschiedenen TKB-Modi in Bezug auf das Sprechen und Schlucken fehlt bisher.

Um diese Lücke zu schliessen, wurde eine prospektive Studie mit teilbeatmeten, männlichen Patienten ($N = 10$) durchgeführt. In einem Within-Subjects-Design wurden drei TKB-Modi miteinander verglichen: Leckage-Beatmung (OVb), Inline-Ventil mit Beatmung (MVB) und Sprechventil ohne Beatmung (MVS). In den drei Modi wurden Messwiederholungen zum Schlucken (Videoendoskopie), zu Reinigungsfunktionen und zum Sprechen durchgeführt.

In Bezug auf den Penetrations-Aspirations-Grad (PAS) für breiige und flüssige Konsistenzen konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der drei TKB-Modi entdeckt werden. Deskriptiv zeigen sich jedoch etwas bessere Werte unter Anwesenheit der Beatmung, insbesondere mit Inline-Ventil. Die Menge an Residuen war deskriptiv tendenziell mit Anwesenheit eines Ventils, insbesondere mit

Beatmung, besser. Die gleiche Tendenz war deskriptiv beim Peak Cough Flow (PCF) erkennbar, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

Bei der maximalen Tonhaldedauer konnten signifikante Unterschiede innerhalb der TKB-Modi bestätigt werden, wobei diese im Modus MVB signifikant höher war als im Modus MVS. Für die mittlere Äusserungslänge (MLU) und Sprechgeschwindigkeit beim Lesen eines Textes erreichten die erkennbaren Unterschiede hingegen kein Signifikanzniveau. Bei allen drei Aufgaben konnte im Modus MVB die beste Sprechleistung erzielt werden. Allerdings ging die bessere MLU nicht zwingend mit einer besseren Gliederung durch Pausen einher, die zeitliche Abstimmung auf den Respirator scheint individuell sehr unterschiedlich zu gelingen.

Das subjektive Wohlbefinden beim Sprechen und Atmen variierte, beide Modi mit Ventil wurden allerdings eher als angenehm empfunden und daher auch individuell bevorzugt. Die Anwesenheit der Beatmung wurde dabei von einem Teil als unterstützend, vom anderen Teil als störend empfunden.

Obwohl die hier gefundenen Tendenzen noch mit grösseren Stichproben verifiziert werden müssen, so können aus den gewonnenen Erkenntnissen sowie aus dem derzeitigen Forschungsstand für die Praxis dennoch Schlüsse gezogen werden. Bei beatmeten und teilbeatmeten Patientinnen und Patienten sollte die Verwendung von Ventilen mit oder ohne Beatmung im Rahmen des Entblockungstrainings, bei der Dysphagietherapie sowie bei der oralen Nahrungsaufnahme präferiert werden. Da die Anwesenheit der Beatmung vereinzelt das Risiko für Penetration/Aspiration beeinflusst, müssen allfällige Unterschiede diagnostisch abgeklärt und im Alltag und der Therapie berücksichtigt werden, insbesondere wenn ein Wechsel von TKB-Modi stattfindet.

Neben der verbesserten Sprechfunktion sollte unter Berücksichtigung des persönlichen Empfindens und der individuellen Präferenzen jeder bzw. jedem Betroffenen die individuell beste Lösung zur verbalen Kommunikation ermöglicht werden.

Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematische Darstellung des Atemapparates in Atemruhelage und aufrechter Haltung	11
Abbildung 2 Vereinfachte schematische Darstellung der an der Atembewegung beteiligten Muskel- und Retraktionskräfte in Ruheatmung sowie bei der maximalen Ein- und Ausatmung ..	13
Abbildung 3 Graphische Darstellung der Atemvolumen.....	18
Abbildung 4 Prozentuale Aufteilung der Atemarbeit zwischen Beatmungsmaschine und Patientin bzw. Patient in den verschiedenen Beatmungs-Modi.....	25
Abbildung 5 Standardized Endoscopic Swallowing Evaluation for Tracheostomy Decannulation (SESETD) – Dekanülierungsalgorithmus von Warnecke et al. (2013)	32
Abbildung 6 Vereinfachte schematische Darstellung der an der Sprechatembewegung beteiligten Muskel- und Retraktionskräfte	43
Abbildung 7 Phonologische Hierarchie nach Nespor und Vogel (1986, S. 11), jedoch ohne die zwischen phonologischem Wort und phonologischer Phrase liegende klitische Phrase (Grassegger, 2016, S. 65; Hall, 2000, S. 313; Korth, 2018, S. 126).....	47
Abbildung 8 Beispiel für ein phonologisches Wort	48
Abbildung 9 Beispiel für die unterschiedlich rhythmische Gliederung eines Satzes aus Wiese (1996, S. 75), die Aufteilung in phonologische Phrasen kann auf mehrere Arten realisiert werden (Fuhrhop & Peters, 2013, S. 126f.)	49
Abbildung 10 Beispiel für identische Wortabfolgen mit unterschiedlicher Zeichensetzung und somit unterschiedlicher Intonation aus Kreuz (2016, S. 7).....	50
Abbildung 11 Beispielsätze für unterschiedliche Arten von Intonationsphrasen aus Fuhrhop und Peters (2013, S. 162f.).....	51
Abbildung 12 Konzeptioneller Rahmen von Dyspnoe beim Sprechen von Lansing und Hoit (2021) mit fünf Domänen, die sich gegenseitig beeinflussen können (in Anlehnung an Lansing & Hoit, 2021, S. 846).....	65
Abbildung 13 Graphische Darstellung der Studienergebnisse von Gross, Atwood et al. (2003) ($N_P = 22$; $n_S = 179$), Wheeler Hegland et al. (2009) ($N_P = 20$; $n_S = 414$) sowie McFarland et al. (2016) ($N_P = 20$; $n_S = 831$) zur Atem-Schluck-Koordination.....	79
Abbildung 14 Luftstromführung bei geblockter Trachealkanüle spontanatmend (a) und an der Beatmung (b)	117

Abbildung 15 Luftstromführung bei entblockter Trachealkanüle mit Sprechventil (a), mit zusätzlicher Fenestrierung (b) und mit Verschlusskappe (c)	119
Abbildung 16 Luftstromführung bei entblockter Trachealkanüle und invasiver Beatmung (Leckage-Beatmung) bei Inspiration (a) und Expiration (b).....	122
Abbildung 17 Luftstromführung bei entblockter Trachealkanüle und invasiver Beatmung mit Verwendung eines Inline-Ventils bei Inspiration (a) und Expiration (b)	123
Abbildung 18 Schematische Darstellung der Blom® Sprech-Innenkanüle (grün) bei Inspiration (a) und Expiration (b)	125
Abbildung 19 Trachealkanüle mit Möglichkeit zur Above Cuff Vocalisation	129
Abbildung 20 Vereinfachte Darstellung der theoretisch möglichen Phonationsphasen im Respirationszyklus mit verschiedenen Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen ..	133
Abbildung 21 Schematische Darstellung der laryngealen Luftflüsse bei Spontanatmung mit Sprechventil (a), Spontanatmung mit Verschlusskappe (b), Leckage-Beatmung (c) und Inline-Ventil mit Beatmung (d)	143
Abbildung 22 Ablauf der prospektiven Untersuchung zum Einfluss dreier Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen auf das Schlucken und Sprechen von teilbeatmeten Patienten.....	150
Abbildung 23 Darstellung der drei untersuchten Trachealkanülen-Beatmungs-Modifikationen mit ihren jeweiligen Abkürzungen	153
Abbildung 24 Beispiel für die akustisch und optische Auswertung der Tonhaltedauer (a) und Pausenlänge (b) mit Audacity	161
Abbildung 25 Graphische Darstellung der Bewertungen zu den Schluckendoskopien für breiige (links) und flüssige (rechts) Konsistenzen	173
Abbildung 26 Graphische Darstellung der Mittelwerte zum Peak Cough Flow und der forcierten Vitalkapazität in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	176
Abbildung 27 Graphische Darstellung der maximalen Tonhaltedauer, Lautstärke und Silbenwiederholung in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	178
Abbildung 28 Graphische Darstellung der Mittleren Äusserungslänge und Sprechgeschwindigkeit in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	180
Abbildung 29 Graphische Darstellung des subjektiven Empfindens beim Sprechen und beim Atmen in den einzelnen Trachealkanülen-Beatmungs-Modi.....	183

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zusammenstellung der Inspirations- und Expirationsmuskeln mit ihrer jeweiligen Funktion und Innervation nach Nawka und Wirth (2008, S. 6ff.)	9
Tabelle 2 Die fünf Grundformen der Ventilation nach Chatburn et al. (2014, S. 1753)	27
Tabelle 3 Die vier möglichen Atem-Schluck-Muster nach Martin-Harris et al. (2005)	72
Tabelle 4 Studien zur Atemschluck-Koordination von spontanen Speichelschlucken mit prozentualem Anteil der beobachteten Atem-Schluck-Muster	73
Tabelle 5 Verschiedene Arten für respiratorisches Muskeltraining mit Geräten nach Sapienza (2008)	97
Tabelle 6 Übersicht über Reviews und Metaanalysen zum Einfluss von respiratorischem Training auf das Schlucken und Reinigungsfunktionen mit den von ihnen berücksichtigten Störungsbildern.....	103
Tabelle 7 Die validierte deutschsprachige Version der Penetrations-Aspirations-Skala nach Rosenbek et al. (1996) von Hey, Pluschinski, Zaretsky et al. (2014, S. 278).....	156
Tabelle 8 Validierte deutsche Version der Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale nach Neubauer et al. (2015) von Gerschke et al. (2019, S. 10f.).....	157
Tabelle 9 Informationen zur Stichprobe	167
Tabelle 10 Angaben zu den Trachealkanülen und dem Ernährungsstatus der Probanden	168
Tabelle 11 Angaben zum Beatmungsstatus der einzelnen Probanden.....	169
Tabelle 12 Angaben zum Beatmungsmodus der einzelnen Probanden und individuelle Einstellungen des Respirators bei entblockter Trachealkanüle	169
Tabelle 13 Prozentuelle Übereinstimmung und linear gewichtetes Cohens Kappa mit Standardabweichung der Intra-Rater-Reliabilität.....	170
Tabelle 14 Bewertung der Schluckendoskopien für breiige und flüssige Konsistenzen in Bezug auf Penetration und Aspiration sowie pharyngeale Residuen in den drei Trachealkanüle-Beatmungs-Modi und die jeweiligen mittleren Ränge	172
Tabelle 15 Mittelwerte des Peak Cough Flow und der forcierten Vitalkapazität in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi und die jeweiligen mittleren Ränge	175
Tabelle 16 Mittelwerte der maximalen Tonhaldauer, der maximalen Lautstärke und der maximalen Silbenwiederholung in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	177
Tabelle 17 Mittlere Äusserungslänge und Sprechgeschwindigkeit in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi	179

Tabelle 18 Zusammenfassung der Hypothesenprüfungen mittels Rangvarianzanalyse nach Friedman bei verbundenen Stichproben mit drei Messwiederholungen und im Falle signifikanter Testergebnisse die zugehörigen Post-hoc-Testungen (Dunn-Bonferroni-Test)	181
Tabelle 19 Angaben zum subjektiven Atem- und Sprech-Komfort in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi auf einer visuellen Analogskala von null (nicht angenehm) bis zehn (sehr angenehm)	182
Tabelle 20 Individuell bevorzugter Trachealkanülen-Beatmungs-Modus und Gründe hierfür	185

Abkürzungsverzeichnis

ACV	Above Cuff Vocalisation
ALS	Amyotrophe Lateralsklerose
AMV	Atemminutenvolumen
AZV	Atemzugvolumen
CMV	Kontinuierlich mandatorische Atemsequenz/Continuous mandatory ventilation
CO ₂	Kohlendioxid
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
CPGs	Central Pattern Generators for Swallowing/Mustergeneratoren des Schluckens
CRV	Zervikale Rückenmarksverletzungen
CSV	Kontinuierlich spontane Atemsequenz/continuous spontaneous ventilation
CVA	Cough Volume Acceleration/Volumenbeschleunigung beim Husten
DGN	Deutsche Gesellschaft für Neurologie
DGP	Deutsche Gesellschaft für Pulmologie und Beatmungsmedizin e.V.
DIGEST	Dynamic Imaging Grade of Swallowing Toxicity
dm	Dorsomedial
DSS	Dysphagia Severity Index
EBT	Evans-Blue-Test
EC	Expiratorische Kapazität
EMST	Expiratory muscle strength training/Training der expiratorischen Muskelkraft
Ex	Expiration
f	Atemfrequenz
F	Fuss, Gruppe mit einer betonten und einer oder mehrerer unbetonter Silben
F ₀	Grundfrequenz
FDS	Functional Dysphagia Scale
FEES®	Flexible endoskopische Evaluation des Schluckaktes
FOIS	Funktional Oral Intake Skale
FRC	Funktionelle Residualkapazität
FVE1	Forced expiratory volume in one second
I	Inspirationszeit
I : E	Verhältnis von Inspirations- und Expirationszeit
IC	Inspiratorische Kapazität
ICU	Intensivstation
ICUAW	Intensive Care Unit Acquired Weakness

IMV	Intermittierend mandatorischen Atemsequenz/Intermittent mandatory ventilation
In	Inspiration
IP	Intonationsphrase
IRV	Inspiratorisches Reservevolumen
mEBT	Modified Evans-Blue-Test
MEP	Maximaler expiratorischer Druck
MIP	Maximaler inspiratorischer Druck
MLU	Mittlere Äusserungslänge
MS	Multiple Sklerose
MVB	Mit Ventil beatmet = Inline-Ventil an der Beatmung
MVS	Mit Ventil spontanatmend = mit Sprechventil spontanatmend
NA	Nucleus ambiguus
NIV	Nicht-invasive Beatmung
NTS	Nucleus tractus solitarii
O ₂	Sauerstoff
OVb	Ohne Ventil beatmet = Leckage-Beatmung
PÄ	Phonologische Äusserung
p _a CO ₂	Partialdruck des Kohlendioxids
p _a O ₂	Sauerstoffpartialdruck
PAS	Penetrations-Aspirations-Skala
PC	Druckkontrolliert
PCF	Peak Cough Flow/Spitzenfluss beim Husten
PD	Parkinson-Syndrom
PED	Post-Extubations-Dysphagie
PEEP	Positive End-Expiratory Pressure/positiver endexpiratorischer Druck
PEF	Peak Expiratory Flow/Spitzenfluss bei Ausatmung
PEG	Perkutan endoskopische Gastrostomie
PLF	Physiologische Luftstromführung
p _{max}	Maximaler Inspirationsdruck
PP	Phonologische Phrase
PP	Prosodischer Paragraph
RV	Residualvolumen
SAV	Spontanatemversuch
SESETD	Standardized Endoscopic Swallowing Evaluation for Tracheostomy Decannulation

SGS	Supraglottisches Schlucken
SSGS	Supersupraglottisches Schlucken
TK	Trachealkanüle
TKB-Modi	Trachealkanülen-Beatmungs-Modi
TLC	Totale Lungenkapazität
VASES	Visual Analysis of Swallowing Efficiency and Safety
VC	Vitalkapazität
VC (in Verbindung mit Beatmung)	Volumenkontrolliert
VHI	Voice Handicap Index
vl	Ventrolateral
V_T	Tidalvolumen
σ	Phonologische Silbe
ϕ	Phonologische Phrase
ω	Phonologisches Wort

Literaturverzeichnis

- Adam, S. I., Srinet, P., Aronberg, R. M., Rosenberg, G. & Leder, S. B. (2015). Verbal communication with the Blom low profile and Passy-Muir one-way tracheotomy tube speaking valves. *Journal of communication disorders*, 56, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2015.06.003>
- Addington, W. R., Stephens, R. E. & Gilliland, K. A. (1999). Assessing the laryngeal cough reflex and the risk of developing pneumonia after stroke: an interhospital comparison. *Stroke*, 30(6), 1203–1207. <https://doi.org/10.1161/01.STR.30.6.1203>
- Alnijoumi, M. & Whitacre, T. (2022). Tracheostomy Care. In N. Arora (Hrsg.), *Procedures and Protocols in the Neurocritical Care Unit* (S. 427–444). Springer International Publishing.
- Andersen, T. M., Bolton, L. & Toussaint, M. (2024). Practical recommendations for swallowing and speaking during NIV in people with neuromuscular disorders. *Acta myologica: myopathies and cardiomyopathies: official journal of the Mediterranean Society of Myology*, 43(2), 62–70. <https://doi.org/10.36185/2532-1900-417>
- Antonsson, M., Johansson, K., Bonde Dalemo, A., Ivehorn Axelsson, C., Burge, Å., Lesueur, U. & Hartelius, L. (2023). Effect of expiratory muscle strength training on voice and speech: An exploratory study in persons with Parkinson's disease or multiple sclerosis. *International journal of speech-language pathology*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/17549507.2023.2243402>
- Aronson, A. E. & Bless, D. M. (2009). *Clinical voice disorders* (4. ed.). Thieme.
- Ayuse, T., Ishitobi, S., Yoshida, H., Nogami, T., Kurata, S., Hoshino, Y. & Oi, K. (2010). The mandible advancement may alter the coordination between breathing and the non-nutritive swallowing reflex. *Journal of oral rehabilitation*, 37(5), 336–345. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2010.02067.x>
- Bach, J. R., Bianchi, C. & Aufiero, E. (2004). Oximetry and indications for tracheotomy for amyotrophic lateral sclerosis. *Chest*, 126(5), 1502–1507. <https://doi.org/10.1378/chest.126.5.1502>
- Bach, J. R., Gonçalves, M. R., Hamdani, I. & Winck, J. C. (2010). Extubation of patients with neuromuscular weakness: a new management paradigm. *Chest*, 137(5), 1033–1039. <https://doi.org/10.1378/chest.09-2144>
- Bach, J. R., Gonçalves, M. R., Páez, S., Winck, J. C., Leitão, S. & Abreu, P. (2006). Expiratory flow maneuvers in patients with neuromuscular diseases. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 85(2), 105–111. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000197307.32537.40>
- Bach, J. R. & Saporito, L. R. (1996). Criteria for extubation and tracheostomy tube removal for patients with ventilatory failure. A different approach to weaning. *CHEST Journal*, 110(6), 1566–1571. <https://doi.org/10.1378/chest.110.6.1566>
- Bader, C.-A. & Keilmann, A. (2017). Schluckstörungen bei tracheo(s)tomierten Patienten. *Laryngo- rhinotologie*, 96(5), 280–292. <https://doi.org/10.1055/s-0043-103279>
- Bader, M. (1996). *Sprachverstehen* [Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 1995, Westdt. Verl, Opladen]. Deutsche Nationalbibliothek.
- Bailey, E. F. & Hoit, J. D. (2002). Speaking and breathing in high respiratory drive. *Journal of speech, language, and hearing research*, 45(1), 89–99. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002/007\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002/007))
- Baker, K. K., Ramig, L. O., Sapir, S., Luschei, E. S. & Smith, M. E. (2001). Control of vocal loudness in young and old adults. *Journal of speech, language, and hearing research*, 44(2), 297–305. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/024](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/024)
- Ballard, K. J., Granier, J. P. & Robin, D. A. (2000). Understanding the nature of apraxia of speech: Theory, analysis, and treatment. *Aphasiology*, 14(10), 969–995. <https://doi.org/10.1080/02687030050156575>
- Ballard, K. J., Robin, D. A. & Folkins, J. W. (2003). An integrative model of speech motor control: A response to Ziegler. *Aphasiology*, 17(1), 37–48. <https://doi.org/10.1080/729254889>
- Bartolome, G. (2022a). FDT bei speziellen neurologischen Erkrankungen. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 437–469). Elsevier.
- Bartolome, G. (2022b). Grundlagen der funktionellen Dysphagietherapie (FDT). In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 283–435). Elsevier.

- Bartolome, G. (2022c). Physiologie des Schluckvorgangs. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 23–51). Elsevier.
- Bartolome, G. & Schröter-Morasch, H. (Hrsg.). (2018). *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (6. Auflage). Elsevier.
- Bartolome, G. & Schröter-Morasch, H. (Hrsg.). (2022). *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage). Elsevier.
- Bashir, A., Henningfeld, J. K., Thompson, N. E. & D'Andrea, L. A. (2018). Polysomnography Provides Useful Clinical Information in the Liberation from Respiratory Technology: A Retrospective Review. *Pediatric pulmonology*, 53(11), 1549–1558. <https://doi.org/10.1002/ppul.24164>
- Battel, I., Ceolin, A., Koch, I., Ventura, L., Tonin, P., Palmer, K. & Meneghello, F. (2016). Comparison of the cough reflex test and water swallowing test in healthy participants and neurological patients. *B-ENT*, 12(4), 285–289.
- Béchet, S., Hill, F., Gilheaney, Ó. & Walshe, M. (2016). Diagnostic Accuracy of the Modified Evan's Blue Dye Test in Detecting Aspiration in Patients with Tracheostomy: A Systematic Review of the Evidence. *Dysphagia*, 31(6), 721–729. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9737-3>
- Belafsky, P. C., Mouadeb, D. A., Rees, C. J., Pryor, J. C., Postma, G. N., Allen, J. & Leonard, R. J. (2008). Validity and reliability of the Eating Assessment Tool (EAT-10). *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 117(12), 919–924. <https://doi.org/10.1177/000348940811701210>
- Benecke, P. & Penner, H. (2017). Behandlung nach dem Lee Silverman Voice Treatment. In A. Nebel, G. Deuschl, N. Lauer & D. Schrey-Dern (Hrsg.), *Dysarthrie und Dysphagie bei Morbus Parkinson*. Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-0036-139997>
- Bergauer, U. G. & Janknecht, S. (2011). *Praxis der Stimmtherapie: Logopädische Diagnostik, Behandlungsvorschläge und Übungsmaterialien; mit zahlreichen Übungsvorlagen* (3., überarb. Aufl.). Logopädie. Springer.
- Bergauer, U. G. & Janknecht Susanne. (2005). *Praxis der Stimmtherapie: Logopädische Behandlungsvorschläge und Übungsmaterialien*. Springer.
- Beuret, P., Roux, C., Auclair, A., Nouridine, K., Kaaki, M. & Carton, M.-J. (2009). Interest of an objective evaluation of cough during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Medicine*, 35(6), 1090–1093. <https://doi.org/10.1007/s00134-009-1404-9>
- Bianchi, A. L. & Gestreau, C. (2009). The brainstem respiratory network: an overview of a half century of research. *Respiratory physiology & neurobiology*, 168(1-2), 4–12. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2009.04.019>
- Binazzi, B., Lanini, B., Bianchi, R., Romagnoli, I., Nerini, M., Gigliotti, F., Duranti, R., Milic-Emili, J. & Scano, G. (2006). Breathing pattern and kinematics in normal subjects during speech, singing and loud whispering. *Acta physiologica (Oxford, England)*, 186(3), 233–246. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.2006.01529.x>
- Binazzi, B., Lanini, B., Romagnoli, I., Garuglieri, S., Stendardi, L., Bianchi, R., Gigliotti, F. & Scano, G. (2011). Dyspnea during speech in chronic obstructive pulmonary disease patients: effects of pulmonary rehabilitation. *Respiration; international review of thoracic diseases*, 81(5), 379–385. <https://doi.org/10.1159/000319553>
- Bishnoi, T., Sahu, P. K. & Arjun, A. P. (2022). Evaluation of Factors Determining Tracheostomy Decannulation Failure Rate in Adults: An Indian Perspective Descriptive Study. *Indian journal of otolaryngology and head and neck surgery : official publication of the Association of Otolaryngologists of India*, 74(Suppl 3), 4849–4854. <https://doi.org/10.1007/s12070-020-01982-y>
- Björklund, S. & Sundberg, J. (2015). Relationship between subglottal pressure and sound pressure level in untrained voices. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 30(1), 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.03.006>
- Bohnenkamp, T. A., Stowell, T., Hesse, J. & Wright, S. (2010). Speech breathing in speakers who use an electrolarynx. *Journal of communication disorders*, 43(3), 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2010.01.003>
- Boles, J.-M., Bion, J., Connors, A., Herridge, M., Marsh, B., Melot, C., Pearl, R., Silverman, H., Stanchina, M., Vieillard-Baron, A. & Welte, T. (2007). Weaning from mechanical ventilation. *The European respiratory journal: official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology*, 29(5), 1033–1056. <https://doi.org/10.1183/09031936.00010206>

- Borders, J. C., Brandimore, A. E. & Troche, M. S. (2021). Variability of Voluntary Cough Airflow in Healthy Adults and Parkinson's Disease. *Dysphagia*, 36(4), 700–706. <https://doi.org/10.1007/s00455-020-10190-3>
- Borders, J. C. & Brates, D. (2020). Use of the Penetration-Aspiration Scale in Dysphagia Research: A Systematic Review. *Dysphagia*, 35(4), 583–597. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-10064-3>
- Bortz, J. & Lienert, G. A. (2008). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung: Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben* (3., aktualisierte und bearbeitete Auflage). Springer-Lehrbuch Bachelor, Master. Springer.
- Bortz, J., Lienert, G. A. & Boehnke, K. (2008). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik* (3., korrigierte Auflage). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74707-9>
- Bösch, D. & Criée, C.-P. (2013). *Lungenfunktionsprüfung*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34942-3>
- Bouhuys, A., Proctor, D. F. & Mead, J. (1966). Kinetic aspects of singing. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 21(2), 483–496. <https://doi.org/10.1152/jappl.1966.21.2.483>
- Brennan, M., McDonnell, M. J., Duignan, N., Gargoum, F. & Rutherford, R. M. (2022). The use of cough peak flow in the assessment of respiratory function in clinical practice- A narrative literature review. *Respiratory medicine*, 193, 106740. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2022.106740>
- Brooks, M., McLaughlin, E. & Shields, N. (2019). Expiratory muscle strength training improves swallowing and respiratory outcomes in people with dysphagia: A systematic review. *International journal of speech-language pathology*, 21(1), 89–100. <https://doi.org/10.1080/17549507.2017.1387285>
- Brougham, R., David, D. S., Adornato, V., Gordan, W., Dale, B., Georgeadis, A. C. & Gassaway, J. (2011). The SCIRehab project: treatment time spent in SCI rehabilitation. Speech-language pathology treatment time during inpatient spinal cord injury rehabilitation: the SCIRehab project. *The journal of spinal cord medicine*, 34(2), 186–195. <https://doi.org/10.1179/107902611X12971826988174>
- Brown, R., DiMarco, A. F., Hoit, J. D. & Garshick, E. (2006). Respiratory dysfunction and management in spinal cord injury. *Respiratory care*, 51(8), 853-68;discussion 869-70. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2495152/pdf/nihms43993.pdf>
- Bülow, M., Ekberg, O. & Olsson, R. (1999). Videomanometric analysis of supraglottic swallow, effortful swallow, and chin tuck in healthy volunteers. *Dysphagia*, 14(2), 67–72. <https://doi.org/10.1007/PL00009589>
- Butcher, A. (1981). *Aspects of the speech pause: Phonetic correlates and communicative functions*. Arbeitsberichte. Institut für Phonetik, Universität Kiel: Bd. 15. Inst. für Phonetik.
- Byeon, H. (2016). Effect of simultaneous application of postural techniques and expiratory muscle strength training on the enhancement of the swallowing function of patients with dysphagia caused by parkinson's disease. *Journal of physical therapy science*, 28(6), 1840–1843. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.1840>
- Camela, F., Gallucci, M. & Ricci, G. (2019). Cough and airway clearance in Duchenne muscular dystrophy. *Paediatric respiratory reviews*, 31, 35–39. <https://doi.org/10.1016/j.prrv.2018.11.001>
- Cardoso, F. E., Abreu, L. C. de, Raimundo, R. D., Faustino, N. A., Araújo, S. F., Valenti, V. E., Sato, M. A., Martins, S. R. & Torquato, J. A. (2012). Evaluation of peak cough flow in Brazilian healthy adults. *International archives of medicine*, 5(1), 25. <https://doi.org/10.1186/1755-7682-5-25>
- Cavalli, E., Belfiori, G., Molinari, G., Peghetti, A., Zanoni, A. & Chinelli, E. (2023). Does a decannulation protocol exist in COVID-19 patients? The importance of working in a multiprofessional team. *Discover health systems*, 2(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s44250-023-00031-z>
- Chang, A. B., Phelan, P. D., Sawyer, S. M., Del Brocco, S. & Robertson, C. F. (1997). Cough sensitivity in children with asthma, recurrent cough, and cystic fibrosis. *Archives of disease in childhood*, 77(4), 331–334. <https://doi.org/10.1136/ad.77.4.331>
- Chatburn, R. L., El-Khatib, M. & Mireles-Cabodevila, E. (2014). A taxonomy for mechanical ventilation: 10 fundamental maxims. *Respiratory care*, 59(11), 1747–1763. <https://doi.org/10.4187/respcare.03057>
- Choate, K., Barbetti, J. & Currey, J. (2009). Tracheostomy decannulation failure rate following critical illness: a prospective descriptive study. *Australian critical care: official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses*, 22(1), 8–15. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2008.10.002>
- Choi, H. E., Jo, G. Y., Do, H. K. & On, C. W. (2021). Comprehensive Respiratory Muscle Training Improves Pulmonary Function and Respiratory Muscle Strength in Acute Stroke Patients. *Journal of*

- cardiopulmonary rehabilitation and prevention, 41(3), 166–171. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000526>
- Claus, I., Muhle, P., Czechowski, J., Ahring, S., Labeit, B., Suntrup-Krueger, S., Wiendl, H., Dziewas, R. & Warnecke, T. (2021). Expiratory Muscle Strength Training for Therapy of Pharyngeal Dysphagia in Parkinson's Disease. *Movement Disorders*, 36(8), 1815–1824. <https://doi.org/10.1002/mds.28552>
- Clavé, P., Arreola, V., Romea, M., Medina, L., Palomera, E. & Serra-Prat, M. (2008). Accuracy of the volume-viscosity swallow test for clinical screening of oropharyngeal dysphagia and aspiration. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 27(6), 806–815. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2008.06.011>
- Coblentz, H. & Muhar, F. (1976). *Atem und Stimme: Anleitung zum guten Sprechen. Schriften zur Lehrerbildung und Lehrerfortbildung: Bd. 13. Österr. Bundesverl.*
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. ed.). Erlbaum. <http://www.loc.gov/catdir/enhancements/fy0731/88012110-d.html>
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.155>
- Cohen, O., Tzelnick, S., Lahav, Y., Stavi, D., Shoffel-Havakuk, H., Hain, M., Halperin, D. & Adi, N. (2016). Feasibility of a single-stage tracheostomy decannulation protocol with endoscopy in adult patients. *The Laryngoscope*, 126(9), 2057–2062. <https://doi.org/10.1002/lary.25800>
- Colodny, N. (2002). Interjudge and intrajudge reliabilities in fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing (fees) using the penetration-aspiration scale: a replication study. *Dysphagia*, 17(4), 308–315. <https://doi.org/10.1007/s00455-002-0073-4>
- Cornwell, P. L., Ward, E. C., Lim, Y. & Wadsworth, B. (2014). Impact of an abdominal binder on speech outcomes in people with tetraplegic spinal cord injury: perceptual and acoustic measures. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 20(1), 48–57. <https://doi.org/10.1310/sci2001-48>
- Curtis, J. A., Borders, J. C., Perry, S. E., Dakin, A. E., Seikaly, Z. N. & Troche, M. S. (2022). Visual Analysis of Swallowing Efficiency and Safety (VASES): A Standardized Approach to Rating Pharyngeal Residue, Penetration, and Aspiration During FEES. *Dysphagia*, 37(2), 417–435. <https://doi.org/10.1007/s00455-021-10293-5>
- Curtis, J. A., Dakin, A. E. & Troche, M. S. (2020). Respiratory-Swallow Coordination Training and Voluntary Cough Skill Training: A Single-Subject Treatment Study in a Person With Parkinson's Disease. *Journal of speech, language, and hearing research*, 63(2), 472–486. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00207
- Curtis, J. A., Seikaly, Z. N. & Troche, M. S. (2020). Respiratory-Swallow Coordination Training Improves Swallowing Safety and Efficiency in a Person With Anoxic Brain Injury. *American journal of speech-language pathology*, 29(4), 1965–1975. https://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-20-00095
- Curtis, J. A. & Troche, M. S. (2020a). Effects of Verbal Cueing on Respiratory-Swallow Patterning, Lung Volume Initiation, and Swallow Apnea Duration in Parkinson's Disease. *Dysphagia*, 35(3), 460–470. <https://doi.org/10.1007/s00455-019-10050-9>
- Curtis, J. A. & Troche, M. S. (2020b). Handheld Cough Testing: A Novel Tool for Cough Assessment and Dysphagia Screening. *Dysphagia*, 35(6), 993–1000. <https://doi.org/10.1007/s00455-020-10097-z>
- Cvejic, L., Harding, R., Churchward, T., Turton, A., Finlay, P., Massey, D., Bardin, P. G. & Guy, P. (2011). Laryngeal penetration and aspiration in individuals with stable COPD. *Respirology (Carlton, Vic.)*, 16(2), 269–275. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1843.2010.01875.x>
- Da Silva, G. D. A. P., Feltrin, T. D., Pichini, F. D. S., Cielo, C. A. & Pasqualoto, A. S. (2022). Quality of Life Predictors in Voice of Individuals With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2022.05.017>
- Dai, Y., Cai, J., Wang, H., Zhang, Y [Yingying], Niu, C. & Wang, Y [Yalan] (2024). Effect of respiratory training on swallowing function in swallowing disorders: a systematic review and meta-analysis. *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery*, 281(3), 1069–1081. <https://doi.org/10.1007/s00405-023-08280-7>
- Darling-White, M., Anspach, Z. & Huber, J. E. (2022). Longitudinal Effects of Parkinson's Disease on Speech Breathing During an Extemporaneous Connected Speech Task. *Journal of speech, language, and hearing research*, 65(4), 1402–1415. https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00485

- Darling-White, M. & Huber, J. E. (2020). The Impact of Parkinson's Disease on Breath Pauses and Their Relationship to Speech Impairment: A Longitudinal Study. *American journal of speech-language pathology*, 29(4), 1910–1922. https://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-20-00003
- Denk, D.-M., Swoboda, H. & Steiner, E. (1998). Physiologie des Larynx. *Der Radiologe*, 38(2), 63–70. <https://doi.org/10.1007/s001170050325>
- Desjardins, M. & Bonilha, H. S. (2020). The Impact of Respiratory Exercises on Voice Outcomes: A Systematic Review of the Literature. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 34(4), 648.e1-648.e39. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.01.011>
- Dettelbach, M. A., Gross, R. D., Mahlmann, J. & Eibling, D. E. (1995). Effect of the Passy-Muir Valve on aspiration in patients with tracheostomy. *Head & neck*, 17(4), 297–302. <https://doi.org/10.1002/hed.2880170405>
- Dicpinigaitis, P. V., Allusson, V. R., Baldanti, A. & Nalamati, J. R. (2001). Ethnic and gender differences in cough reflex sensitivity. *Respiration; international review of thoracic diseases*, 68(5), 480–482. <https://doi.org/10.1159/000050554>
- Dicpinigaitis, P. V., Grimm, D. R. & Lesser, M. (1999). Cough reflex sensitivity in subjects with cervical spinal cord injury. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159(5 Pt 1), 1660–1662. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.159.5.9810060>
- Doty, R. W. (1968). Neural organization of deglutition. In C. F. Code (Hrsg.), *Handbook of physiology: alimentary canal* (Sect. 6, Vol. 4, S. 1861–1902). American Physiology Society.
- Doty, R. W. & Bosma, J. F. (1956). An electromyographic analysis of reflex deglutition. *Journal of neurophysiology*, 19(1), 44–60. <https://doi.org/10.1152/jn.1956.19.1.44>
- Dozier, T. S., Brodsky, M. B., Michel, Y., Walters, B. C. & Martin-Harris, B. (2006). Coordination of swallowing and respiration in normal sequential cup swallows. *The Laryngoscope*, 116(8), 1489–1493. <https://doi.org/10.1097/01.mlg.0000227724.61801.b4>
- Draper, M. H., Ladefiged, P. & Witheridge, D. (1960). Expiratory pressures and air flow during speech. *British medical journal*, 1(5189), 1837–1843. <https://doi.org/10.1136/bmj.1.5189.1837>
- Drulia, T. C., Kamarunas, E., O'Donoghue, C. & Ludlow, C. L. (2021). An Exploration of Lung Volume Effects on Swallowing in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *American journal of speech-language pathology*, 30(5), 2155–2168. https://doi.org/10.1044/2021_AJSLP-20-00389
- Dua, K. S., Bajaj, J. S., Rittmann, T., Hofmann, C. & Shaker, R. (2007). Safety and feasibility of evaluating airway-protective reflexes during sleep: new technique and preliminary results. *Gastrointestinal Endoscopy*, 65(3), 483–486. <https://doi.org/10.1016/j.gie.2006.10.019>
- Duan, J., Zhou, L., Xiao, M., Liu, J. & Yang, X. (2015). Semiquantitative cough strength score for predicting reintubation after planned extubation. *American journal of critical care: an official publication, American Association of Critical-Care Nurses*, 24(6), e86-90. <https://doi.org/10.4037/ajcc2015172>
- Dziewas, R. & Pflug, C. (2020). *Neurogene Dysphagie: S1-Leitlinie*. Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. www.dgn.org/leitlinien
- Dziewas, R., Stellato, R., van der Tweel, I., Walther, E., Werner, C. J., Braun, T., Citerio, G., Jandl, M., Friedrichs, M., Nötzel, K., Vosko, M. R., Mistry, S., Hamdy, S., McGowan, S., Warnecke, T., Zwitter, P. & Bath, P. M. (2018). Pharyngeal electrical stimulation for early decannulation in tracheotomised patients with neurogenic dysphagia after stroke (PHAST-TRAC): a prospective, single-blinded, randomised trial. *The Lancet. Neurology*, 17(10), 849–859. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30255-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30255-2)
- Ebihara, S., Saito, H., Kanda, A., Nakajoh, M., Takahashi, H., Arai, H. & Sasaki, H. (2003). Impaired efficacy of cough in patients with Parkinson disease. *Chest*, 124(3), 1009–1015. <https://doi.org/10.1378/chest.124.3.1009>
- Egbers, P. H., Sutt, A.-L., Petersson, J. E., Bergström, L. & Sundman, E. (2023). High-flow via a tracheostomy tube and speaking valve during weaning from mechanical ventilation and tracheostomy. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*, 67(10), 1403–1413. <https://doi.org/10.1111/aas.14305>
- Eibling, D. E. & Gross, R. D. (1996). Subglottic air pressure: a key component of swallowing efficiency. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 105(4), 253–258. <https://doi.org/10.1177/000348949610500401>
- Eisenhuber, E., Schima, W., Schober, E., Pokieser, P., Stadler, A., Scharitzer, M. & Oschatz, E. (2002). Videofluoroscopic assessment of patients with dysphagia: pharyngeal retention is a predictive factor for

- aspiration. *AJR. American journal of roentgenology*, 178(2), 393–398. <https://doi.org/10.2214/ajr.178.2.1780393>
- Elpern, E. H., Borkgren Okonek, M., Bacon, M., Gerstung, C. & Skrzynski, M. (2000). Effect of the Passy-Muir tracheostomy speaking valve on pulmonary aspiration in adults. *Heart & lung: the journal of critical care*, 29(4), 287–293. <https://doi.org/10.1067/mhl.2000.106941>
- Enrichi, C., Battel, I., Zanetti, C., Koch, I., Ventura, L., Palmer, K., Meneghello, F., Piccione, F., Rossi, S., Lazzeri, M., Sommariva, M. & Turolla, A. (2017). Clinical Criteria for Tracheostomy Decannulation in Subjects with Acquired Brain Injury. *Respiratory care*, 62(10), 1255–1263. <https://doi.org/10.4187/respcare.05470>
- Eom, M.-J., Chang, M.-Y., Oh, D.-H., Kim, H.-D., Han, N.-M. & Park, J.-S. (2017). Effects of resistance expiratory muscle strength training in elderly patients with dysphagic stroke. *NeuroRehabilitation*, 41(4), 747–752. <https://doi.org/10.3233/NRE-172192>
- Estenne, M., Zocchi, L., Ward, M. & Macklem, P. T. (1990). Chest wall motion and expiratory muscle use during phonation in normal humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 68(5), 2075–2082. <https://doi.org/10.1152/jappl.1990.68.5.2075>
- Faller, A. & Schünke, M. (2008). *Der Körper des Menschen: Einführung in Bau und Funktion* (15., komplett überarb. Aufl.). Thieme.
- Farneti, D. (2008). Pooling score: an endoscopic model for evaluating severity of dysphagia. *Acta otorhinolaryngologica Italica: organo ufficiale della Società italiana di otorinolaringologia e chirurgia cervico-facciale*, 28(3), 135–140.
- Farneti, D., Fattori, B., Nacci, A., Mancini, V., Simonelli, M., Ruoppolo, G. & Genovese, E. (2014). The Pooling-score (P-score): inter- and intra-rater reliability in endoscopic assessment of the severity of dysphagia. *Acta otorhinolaryngologica Italica: organo ufficiale della Società italiana di otorinolaringologia e chirurgia cervico-facciale*, 34(2), 105–110.
- Faust, L. (1997). *Variationen zur Sprache: Ihre Bedeutung für unser Ohr und für die Sprachtechnologie*. Kovac.
- Ferreira, N. d. A., Ferreira, A. d. S. & Guimarães, F. S. (2021). Pico de fluxo da tosse para prever o resultado da extubação: uma revisão sistemática e metanálise [Cough peak flow to predict extubation outcome: a systematic review and meta-analysis]. *Revista Brasileira de terapia intensiva*, 33(3), 445–456. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20210060>
- Fleischmann-Struzek, C., Mikolajetz, A., Reinhart, K., Curtis, R. J., Haase, U., Thomas-Rüddel, D., Dennler, U. & Hartog, C. S. (2019). Hospitalization and Intensive Therapy at the End of Life. *Deutsches Arzteblatt international*, 116(39), 653–660. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0653>
- Fontana, G. A., Pantaleo, T., Bongianni, F., Cresci, F., Viroli, L. & Saragó, G. (1992). Changes in respiratory activity induced by mastication in humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 72(2), 779–786. <https://doi.org/10.1152/jappl.1992.72.2.779>
- Fontana, G. A., Pantaleo, T., Lavorini, F., Benvenuti, F. & Gangemi, S. (1998). Defective motor control of coughing in Parkinson's disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 158(2), 458–464. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.158.2.9705094>
- Foster, A. (2010). More than nothing: the lived experience of tracheostomy while acutely ill. *Intensive & critical care nursing*, 26(1), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2009.09.004>
- Frank, K. & Frank, U. (2011). Bagging und Air Stacking: Ein atemtherapeutischer Ansatz für Patienten in der neurologischen Frührehabilitation. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, 65(5), 314–319. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1256181>
- Frank, K. & Frank, U. (2020). Atmen und Schlucken interaktiv: Atemtherapeutische Ansätze in der Dysphagietherapie. In K. Richter, F. Heimann, A. Schmidkört & M. Hielscher-Fastabend (Hrsg.), *Aktuelle Aspekte der Dysphagiediagnostik und Behandlung* (S. 17–32). Peter Lang D.
- Frank, U., Frank, K. & Zimmermann, H. (2015). Effects of Respiratory Therapy (bagging) on Respiratory Function, Swallowing Frequency and Vigilance in Tracheotomized Patients in Early Neurorehabilitation. *Pneumologie*, 69(07), 394–399. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1392359>
- Freeman-Sanderson, A. L., Togher, L., Elkins, M. R. & Phipps, P. R. (2016a). Quality of life improves with return of voice in tracheostomy patients in intensive care: An observational study. *Journal of critical care*, 33, 186–191. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2016.01.012>

- Freeman-Sanderson, A. L., Togher, L., Elkins, M. R. & Phipps, P. R. (2016b). Return of Voice for Ventilated Tracheostomy Patients in ICU: A Randomized Controlled Trial of Early-Targeted Intervention. *Critical care medicine*, 44(6), 1075–1081. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000001610>
- Fritz, C. O., Morris, P. E. & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *Journal of experimental psychology. General*, 141(1), 2–18. <https://doi.org/10.1037/a0024338>
- Fröhlich, M. R., Boksberger, H., Barfuss-Schneider, C., Liem, E. & Petry, H. (2017). Sicheres Sprechen und Schlucken bei tracheotomierten, beatmeten Patientinnen und Patienten auf der Intensivstation: Implementierung des Passy Muir Sprechventils. *Pflege*, 30(6), 387–394. <https://doi.org/10.1024/1012-5302/a000589>
- Fuhrhop, N. & Peters, J. (2013). *Einführung in die Phonologie und Graphematik*. J.B. Metzler. <https://doi.org/10.1007/978-3-476-00597-7>
- Gajic, S., Jacobs, L., Gellentien, C., Dubin, R. M. & Ma, K. (2024). Implementation of Above-Cuff Vocalization After Tracheostomy Is Feasible and Associated With Earlier Speech. *American journal of speech-language pathology*, 33(1), 51–56. https://doi.org/10.1044/2023_AJSLP-23-00184
- Garand, K. L. F., Bhutada, A. M., Hopkins-Rossabi, T., Mulekar, M. S. & Carnaby, G. (2022). Pilot Study of Respiratory-Swallow Coordination in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Journal of speech, language, and hearing research*, 65(8), 2815–2828. https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00619
- Garguilo, M., Leroux, K., Lejaille, M., Pascal, S., Orlikowski, D., Lofaso, F. & Prigent, H. (2013). Patient-controlled positive end-expiratory pressure with neuromuscular disease: effect on speech in patients with tracheostomy and mechanical ventilation support. *Chest*, 143(5), 1243–1251. <https://doi.org/10.1378/chest.12-0574>
- Garrubba, M., Turner, T. & Grieveson, C. (2009). Multidisciplinary care for tracheostomy patients: a systematic review. *Critical care (London, England)*, 13(6), R177. <https://doi.org/10.1186/cc8159>
- Gaus, W. & Muche, R. (2014). *Medizinische Statistik: Angewandte Biometrie für Ärzte und Gesundheitsberufe*. Schattauer.
- Ge, J., Niu, G., Li, Q., Li, Y., Yang, B., Guo, H., Wang, J [Jianjun], Zhang, B., Zhang, C., Zhou, T., Zhao, Z. & Jiang, H. (2024). Cough flows as a criterion for decannulation of autonomously breathing patients with tracheostomy tubes. *Respiratory research*, 25(1), 128. <https://doi.org/10.1186/s12931-024-02762-w>
- Gebhard, C. (2012). *Sprechtempo im Sprachvergleich*. <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/17219/gebhard.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://doi.org/10.18452/16567>
- Gerschke, M., Schöttker-Königer, T., Förster, A., Netzebandt, J. F. & Beushausen, U. M. (2019). Validation of the German Version of the Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale. *Dysphagia*, 34(3), 308–314. <https://doi.org/10.1007/s00455-018-9935-2>
- Ghannouchi, I., Speyer, R., Doma, K., Cordier, R. & Verin, E. (2016). Swallowing function and chronic respiratory diseases: Systematic review. *Respiratory medicine*, 117, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2016.05.024>
- Ghiani, A., Tsitouras, K., Paderewska, J., Milger, K., Walcher, S., Weiffenbach, M., Neurohr, C. & Kneidinger, N. (2022). Incidence, causes, and predictors of unsuccessful decannulation following prolonged weaning. *Therapeutic advances in chronic disease*, 13, 20406223221109655. <https://doi.org/10.1177/20406223221109655>
- Gick, B., Wilson, I. & Derrick, D. (2013). *Articulatory phonetics*. John Wiley & Sons Inc.
- Goff, D. & Patterson, J. (2019). Eating and drinking with an inflated tracheostomy cuff: a systematic review of the aspiration risk. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 54(1), 30–40. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12430>
- Goldman, R. A., Swendseid, B., Chan, J. Y. K., Lewandowski, M., Adams, J., Purcell, M. & Cognetti, D. M. (2020). Tracheostomy Management during the COVID-19 Pandemic. *Otolaryngology - head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 163(1), 67–69. <https://doi.org/10.1177/0194599820923632>
- Goldman-Eisler, F. (1955). Speech-breathing activity—a measure of tension and affect during interviews. *British journal of psychology (London, England: 1953)*, 46(1), 53–63. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1955.tb00524.x>

- Goldman-Eisler, F. (1968). *Psycholinguistics: Experiments in spontaneous speech* (2. print). Academic Press.
- Goldman-Eisler, F. (1972). Pauses, clauses, sentences. *Language and speech*, 15(2), 103–113. <https://doi.org/10.1177/002383097201500201>
- Gonzalez Lindh, M., Blom Johansson, M., Jennische, M. & Koyi, H. (2017). Prevalence of swallowing dysfunction screened in Swedish cohort of COPD patients. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 12, 331–337. <https://doi.org/10.2147/COPD.S120207>
- Goyal, R. K., Martin, S. B., Shapiro, J. & Spechler, S. J. (1993). The role of cricopharyngeus muscle in pharyngoesophageal disorders. *Dysphagia*, 8(3), 252–258. <https://doi.org/10.1007/BF01354547>
- Goyal, R. K., Sangree, M. H., Hersh, T. & Spiro, H. M. (1970). Pressure inversion point at the upper high pressure zone and its genesis. *Gastroenterology*, 59(5), 754–759.
- Grassegger, H. (2016). *Phonetik, Phonologie* (5., überarbeitete Auflage). *Das Gesundheitsforum*. Schulz-Kirchner Verlag.
- Gregg, I. & Nunn, A. J. (1973). Peak expiratory flow in normal subjects. *British medical journal*, 3(5874), 282–284. <https://doi.org/10.1136/bmj.3.5874.282>
- Grice, M. & Bauman, S. (2007). An introduction to intonation - functions and models. In J. Trouvain & U. Gut (Hrsg.), *Non-native Prosody: Phonetic Description and Teaching Practice (Trends in linguistics. Studies and monographs, 186)* (S. 25–51). De Gruyter Mouton.
- Gross, R. D., Atwood, C. W., Grayhack, J. P. & Shaiman, S. (2003). Lung volume effects on pharyngeal swallowing physiology. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 95(6), 2211–2217. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00316.2003>
- Gross, R. D., Atwood, C. W., Ross, S. B., Eichhorn, K. A., Olszewski, J. W. & Doyle, P. J. (2008). The coordination of breathing and swallowing in Parkinson's disease. *Dysphagia*, 23(2), 136–145. <https://doi.org/10.1007/s00455-007-9113-4>
- Gross, R. D., Atwood, C. W., Ross, S. B., Olszewski, J. W. & Eichhorn, K. A. (2009). The coordination of breathing and swallowing in chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 179(7), 559–565. <https://doi.org/10.1164/rccm.200807-1139OC>
- Gross, R. D., Carrau, R. L., Slivka, W. A., Gisser, R. G., Smith, L. J., Zajac, D. J. & Sciruba, F. C. (2012). Deglutitive subglottic air pressure and respiratory system recoil. *Dysphagia*, 27(4), 452–459. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9389-2>
- Gross, R. D., Mahlmann, J. & Grayhack, J. P. (2003). Physiologic effects of open and closed tracheostomy tubes on the pharyngeal swallow. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 112(2), 143–152.
- Gross, R. D., Steinhauer, K. M., Zajac, D. J. & Weissler, M. C. (2006). Direct measurement of subglottic air pressure while swallowing. *The Laryngoscope*, 116(5), 753–761. <https://doi.org/10.1097/01.mlg.0000205168.39446.12>
- Guillén-Solà, A., Messaggi-Sartor, M., Bofill Soler, N., Duarte, E., Barrera, M. C. & Marco, E. (2017). Respiratory muscle strength training and neuromuscular electrical stimulation in subacute dysphagic stroke patients: a randomized controlled trial. *Clinical rehabilitation*, 31(6), 761–771. <https://doi.org/10.1177/0269215516652446>
- Hales, P. A., Drinnan, M. J. & Wilson, J. A. (2008). The added value of fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing in tracheostomy weaning. *Clinical otolaryngology : official journal of ENT-UK ; official journal of Netherlands Society for Oto-Rhino-Laryngology & Cervico-Facial Surgery*, 33(4), 319–324. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4486.2008.01757.x>
- Hall, T. A. (2000). *Phonologie: Eine Einführung* (Reprint 2020). *De Gruyter Studienbuch*. De Gruyter. <https://www.degruyter.com/isbn/9783110803815> <https://doi.org/10.1515/9783110803815>
- Hammen, V. L. & Yorkston, K. M. (1994). Respiratory patterning and variability in dysarthric speech. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 2, 253–261.
- Hammer. (2017). *Stimmtherapie mit Erwachsenen*. Springer Berlin Heidelberg.
- Han, T. R., Paik, N. J. & Park, J. W. (2001). Quantifying swallowing function after stroke: A functional dysphagia scale based on videofluoroscopic studies. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(5), 677–682. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.21939>
- Han, X., Ye, Q., Meng, Z., Pan, D., Wei, X., Wen, H. & Dou, Z. (2022). Biomechanical mechanism of reduced aspiration by the Passy-Muir valve in tracheostomized patients following acquired brain injury:

- Evidences from subglottic pressure. *Frontiers in neuroscience*, 16, 1004013. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.1004013>
- Hao, N., Sasa, A., Kulvanich, S., Nakajima, Y., Nagoya, K., Magara, J., Tsujimura, T. & Inoue, M. (2021). Coordination of Respiration, Swallowing, and Chewing in Healthy Young Adults. *Frontiers in physiology*, 12, 696071. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.696071>
- Hårdemark Cedborg, A. I., Bodén, K., Witt Hedström, H., Kuylensstierna, R., Ekberg, O., Eriksson, L. I. & Sundman, E. (2010). Breathing and swallowing in normal man - effects of changes in body position, bolus types, and respiratory drive. *Neurogastroenterol. Motil. (Neurogastroenterology and motility: the official journal of the European Gastrointestinal Motility Society)*, 22(11), 1201-8, e316. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2982.2010.01551.x>
- Hårdemark Cedborg, A. I., Sundman, E., Bodén, K., Hedström, H. W., Kuylensstierna, R., Ekberg, O. & Eriksson, L. I. (2009). Co-ordination of spontaneous swallowing with respiratory airflow and diaphragmatic and abdominal muscle activity in healthy adult humans. *Experimental physiology*, 94(4), 459–468. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2008.045724>
- He, J. & Cheng, X. (2023). Letter to the Editor on: Respiratory Muscle Training Reduces Respiratory Complications and Improves Swallowing Function After Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 104(6), 988–989. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.12.197>
- He, Y., Zhao, C. & Liu, Y. (2021). Effects of respiratory muscle training on cough function in neurological disorders: A systematic review with meta-analysis. *NeuroRehabilitation*, 48(4), 441–449. <https://doi.org/10.3233/NRE-210017>
- Hegland, K. W., Davenport, P. W., Brandimore, A. E., Singletary, F. F. & Troche, M. S. (2016). Rehabilitation of Swallowing and Cough Functions Following Stroke: An Expiratory Muscle Strength Training Trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 97(8), 1345–1351. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.03.027>
- Heidler, M.-D. (2011). Dekanülierungsmanagement in der Frührehabilitation: Ein Plädoyer für mehr Risikobereitschaft. *Forum Logopädie*, 25(3), 22–25.
- Heidler, M.-D. & Bidu, L. (2015). Therapie bei beatmeten Patienten: Was müssen Sprachtherapeuten wissen und können? *Forum Logopädie*, 29(1), 18–23. <https://doi.org/10.2443/skv-s-2015-53020150103>
- Heidler, M.-D., Bidu, L., Friedrich, N. & Völler, H. (2014). Oralisierung langzeitbeatmeter Patienten mit Trachealkanüle: Unterschätzte Gefahr von Dysphagien. *Medizinische Klinik, Intensivmedizin und Notfallmedizin*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s00063-014-0397-5>
- Henderson, A., Goldman-Eisler, F. & Skarbek, A. (1965). Temporal patterns of cognitive activity and breath control in speech. *Language and speech*, 8(4), 236–242. <https://doi.org/10.1177/002383096500800405>
- Herbst, C. T., Hess, M., Müller, F., Švec, J. G. & Sundberg, J. (2015). Glottal Adduction and Subglottal Pressure in Singing. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 29(4), 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.08.009>
- Hernandez, G., Pedrosa, A., Ortiz, R., Del Cruz Accuaroni, M. M., Cuenca, R., Vaquero Collado, C., García Plaza, S., González Arenas, P. & Fernandez, R. (2013). The effects of increasing effective airway diameter on weaning from mechanical ventilation in tracheostomized patients: a randomized controlled trial. *Intensive Care Medicine*, 39(6), 1063–1070. <https://doi.org/10.1007/s00134-013-2870-7>
- Hey, C., Pluschinski, P., Stöver, T. & Zaretsky, Y. (2014). Validierung der deutschen Kurzversion der Sekretbeurteilungsskala nach Murray [Validation of the German Short Version of the Murray Secretion Rating Scale]. *Laryngo- rhino- otologie*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385848>
- Hey, C., Pluschinski, P., Zaretsky, Y., Almahameed, A., Hirth, D., Vaerst, B., Wagenblast, J. & Stöver, T. (2014). Penetrations-Aspirations-Skala nach Rosenbek. Validierung der deutschen Version für die endoskopische Dysphagiediagnostik. *HNO*, 62(4), 276–281. <https://doi.org/10.1007/s00106-013-2815-z>
- Hien, P. (2012). Lungenfunktionsprüfungen. In P. Hien (Hrsg.), *Praktische Pneumologie* (S. 17–32). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10209-7_3
- Higashijima, M. (2010). Influence of age and bolus size on swallowing function: basic data and assessment method for care and preventive rehabilitation. *The American journal of occupational therapy: official*

- publication of the American Occupational Therapy Association, 64(1), 88–94.
<https://doi.org/10.5014/ajot.64.1.88>
- Hirano, M. (1981). *Clinical examination of voice. Disorders of human communication: Bd. 5*. Springer-Verlag.
- Hirschfeld, U. & Stock, E. (2004). Aussprache. In M. Pabst-Weinschenk (Hrsg.), *UTB Sprachwissenschaft, Medien- und Kommunikationswissenschaft: Bd. 8294. Grundlagen der Sprechwissenschaft und Sprecherziehung* (S. 31–47). Reinhardt.
- Hirst, L. J., Ford, G. A., Gibson, G. J. & Wilson, J. A. (2002). Swallow-induced alterations in breathing in normal older people. *Dysphagia*, 17(2), 152–161. <https://doi.org/10.1007/s00455-001-0115-3>
- Hiss, S. G., Strauss, M., Treole, K., Stuart, A. & Boutilier, S. (2004). Effects of age, gender, bolus volume, bolus viscosity, and gustation on swallowing apnea onset relative to lingual bolus propulsion onset in normal adults. *Journal of speech, language, and hearing research*, 47(3), 572–583. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004/044\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004/044))
- Hiss, S. G., Treole, K. & Stuart, A. (2001). Effects of age, gender, bolus volume, and trial on swallowing apnea duration and swallow/respiratory phase relationships of normal adults. *Dysphagia*, 16(2), 128–135. <https://doi.org/10.1007/s004550011001>
- Hixon, T. J., Goldman, M. D. & Mead, J. (1973). Kinematics of the chest wall during speech production:: Volume displacements of the rib cage, abdomen, and lung. *Journal of speech and hearing research*, 16(1), 78–115.
- Hixon, T. J., Mead, J. & Goldman, M. D. (1976). Dynamics of the chest wall during speech production: function of the thorax, rib cage, diaphragm, and abdomen. *Journal of speech and hearing research*, 19(2), 297–356.
- Hodgev, V., Kostianev, S. & Marinov, B. (2003). University of Cincinnati Dyspnea Questionnaire for Evaluation of Dyspnoea during physical and speech activities in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a validation analysis. *Clinical physiology and functional imaging*, 23(5), 269–274. <https://doi.org/10.1046/j.1475-097x.2003.00506.x>
- Hoehn, M. M. & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*, 17(5), 427–442. <https://doi.org/10.1212/wnl.17.5.427>
- Hoit, J. D. & Banzett, R. B. (1997). Simple Adjustments Can Improve Ventilator-Supported Speech. *American journal of speech-language pathology*, 6(1), 87–96. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0601.87>
- Hoit, J. D., Banzett, R. B., Brown, R. & Loring, S. H. (1990). Speech breathing in individuals with cervical spinal cord injury. *Journal of speech and hearing research*, 33(4), 798–807.
- Hoit, J. D., Banzett, R. B., Lohmeier, H. L., Hixon, T. J. & Brown, R. (2003). Clinical ventilator adjustments that improve speech. *Chest*, 124(4), 1512–1521.
- Hoit, J. D. & Hixon, T. J. (1986). Body type and speech breathing. *Journal of speech and hearing research*, 29(3), 313–324. <https://doi.org/10.1044/jshr.2903.313>
- Hoit, J. D. & Hixon, T. J. (1987). Age and speech breathing. *Journal of speech and hearing research*, 30(3), 351–366. <https://doi.org/10.1044/jshr.3003.351>
- Hoit, J. D., Hixon, T. J., Altman, M. E. & Morgan, W. J. (1989). Speech breathing in women. *Journal of speech and hearing research*, 32(2), 353–365. <https://doi.org/10.1044/jshr.3202.353>
- Hoit, J. D., Lansing, R. W., Dean, K., Yarkosky, M. & Lederle, A. (2011). Nature and evaluation of dyspnea in speaking and swallowing. *Seminars in speech and language*, 32(1), 5–20. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271971>
- Hoit, J. D., Lansing, R. W. & Perona, K. E. (2007). Speaking-related dyspnea in healthy adults. *Journal of speech, language, and hearing research*, 50(2), 361–374. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/026\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/026))
- Hoit, J. D. & Lohmeier, H. L. (2000). Influence of continuous speaking on ventilation. *Journal of speech, language, and hearing research*, 43(5), 1240–1251.
- Hoit, J. D., Plassman, B. L., Lansing, R. W. & Hixon, T. J. (1988). Abdominal muscle activity during speech production. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 65(6), 2656–2664. <https://doi.org/10.1152/jappl.1988.65.6.2656>
- Hoit, J. D., Shea, S. A. & Banzett, R. B. (1994). Speech production during mechanical ventilation in tracheostomized individuals. *Journal of speech and hearing research*, 37(1), 53–63.
- Hollien, H. (2014). Vocal fold dynamics for frequency change. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 28(4), 395–405. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.12.005>

- Hoorn, S. ten, Elbers, P. W., Girbes, A. R. & Tuinman, P. R. (2016). Communicating with conscious and mechanically ventilated critically ill patients: a systematic review. *Critical care (London, England)*, 20(1), 333. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1483-2>
- Hopkins-Rossabi, T., Curtis, P., Temenak, M., Miller, C. & Martin-Harris, B. (2019). Respiratory Phase and Lung Volume Patterns During Swallowing in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of speech, language, and hearing research*, 62(4), 868–882. https://doi.org/10.1044/2018_JSLHR-S-18-0323
- Hori, R., Isaka, M., Oonishi, K., Yabe, T. & Oku, Y. (2016). Coordination between respiration and swallowing during non-invasive positive pressure ventilation. *Respirology (Carlton, Vic.)*, 21(6), 1062–1067. <https://doi.org/10.1111/resp.12790>
- Hori, R., Ishida, R., Isaka, M., Nakamura, T. & Oku, Y. (2019). Effects of noninvasive ventilation on the coordination between breathing and swallowing in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 14, 1485–1494. <https://doi.org/10.2147/COPD.S205543>
- Huber, J. E., Chandrasekaran, B. & Wolstencroft, J. J. (2005). Changes to respiratory mechanisms during speech as a result of different cues to increase loudness. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 98(6), 2177–2184. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01239.2004>
- Huber, J. E. & Darling, M. (2011). Effect of Parkinson's disease on the production of structured and unstructured speaking tasks: respiratory physiologic and linguistic considerations. *Journal of speech, language, and hearing research*, 54(1), 33–46. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0184\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0184))
- Huber, J. E., Darling, M., Francis, E. J. & Zhang, D. (2012). Impact of typical aging and Parkinson's disease on the relationship among breath pausing, syntax, and punctuation. *American journal of speech-language pathology*, 21(4), 368–379. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2012/11-0059](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2012/11-0059)
- Huber, J. E. & Darling-White, M. (2017). Longitudinal Changes in Speech Breathing in Older Adults with and without Parkinson's Disease. *Seminars in speech and language*, 38(3), 200–209. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1602839>
- Huber, J. E. & Spruill, J. (2008). Age-related changes to speech breathing with increased vocal loudness. *Journal of speech, language, and hearing research*, 51(3), 651–668. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/047\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/047))
- Hutcheson, K. A., Barrow, M. P., Barringer, D. A., Knott, J. K., Lin, H. Y., Weber, R. S., Fuller, C. D., Lai, S. Y., Alvarez, C. P., Raut, J., Lazarus, C. L., May, A., Patterson, J., Roe, J. W. G., Starmer, H. M. & Lewin, J. S. (2017). Dynamic Imaging Grade of Swallowing Toxicity (DIGEST): Scale development and validation. *Cancer*, 123(1), 62–70. <https://doi.org/10.1002/cncr.30283>
- Hutcheson, K. A., Barrow, M. P., Plowman, E. K., Lai, S. Y., Fuller, C. D., Barringer, D. A., Eapen, G., Wang, Y [Yiqun], Hubbard, R., Jimenez, S. K., Little, L. G. & Lewin, J. S. (2018). Expiratory muscle strength training for radiation-associated aspiration after head and neck cancer: A case series. *The Laryngoscope*, 128(5), 1044–1051. <https://doi.org/10.1002/lary.26845>
- Huttmann, S. E., Magnet, F. S., Karagiannidis, C., Storre, J. H. & Windisch, W. (2018). Quality of life and life satisfaction are severely impaired in patients with long-term invasive ventilation following ICU treatment and unsuccessful weaning. *Annals of intensive care*, 8(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0384-8>
- Huttmann, S. E., Windisch, W. & Storre, J. H. (2015). Invasive home mechanical ventilation: living conditions and health-related quality of life. *Respiration; international review of thoracic diseases*, 89(4), 312–321. <https://doi.org/10.1159/000375169>
- IBM. (2018). *Source for Post Hoc tests for Friedman in Nonparametric Tests: Document number: 429153. Modified date: 16 June 2018.* <https://www.ibm.com/support/pages/source-post-hoc-tests-friedman-nonparametric-tests>
- Inzelberg, R., Peleg, N., Nisipeanu, P., Magadle, R., Carasso, R. L. & Weiner, P. (2005). Inspiratory muscle training and the perception of dyspnea in Parkinson's disease. *The Canadian journal of neurological sciences. Le journal canadien des sciences neurologiques*, 32(2), 213–217. <https://doi.org/10.1017/s0317167100003991>

- Iruthayarajah, J., McIntyre, A., Mirkowski, M., Welch-West, P., Loh, E. & Teasell, R. (2018). Risk factors for dysphagia after a spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Spinal Cord*, 56(12), 1116–1123. <https://doi.org/10.1038/s41393-018-0170-3>
- Ishizaka, K. & Matsudaira, M. (1972). *Fluid mechanical considerations of vocal cord vibration*. Speech Communications Research Laboratory.
- Isshiki, N. (1964). Regulatory mechanism of voice intensity variation. *Journal of speech and hearing research*, 7, 17–29. <https://doi.org/10.1044/jshr.0701.17>
- Jacobson, B. H., Johnson, A., Grywalski, C., Silbergleit, A. K., Jacobson, G., Benninger, M. S. & Newman, C. W. (1997). The Voice Handicap Index (VHI). *American journal of speech-language pathology*, 6(3), 66–70. <https://doi.org/10.1044/1058-0360.0603.66>
- Jang, K. W., Lee, S. J [Sook Joung], Kim, S. B., Lee, K. W., Lee, J. H. & Park, J. G. (2019). Effects of mechanical inspiration and expiration exercise on velopharyngeal incompetence in subacute stroke patients. *J Rehabil Med (Journal of rehabilitation medicine: official journal of the UEMS European Board of Physical and Rehabilitation Medicine)*, 51(2), 97–102. <https://doi.org/10.2340/16501977-2506>
- Jean, A. (2001). Brain stem control of swallowing: neuronal network and cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 81(2), 929–969. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.2.929>
- Jean, A. & Dallaporta, M. (2013). Brainstem Control of Deglutition: Swallowing Pattern Generator. In R. Shaker, P. C. Belafsky, G. N. Postma & C. Easterling (Hrsg.), *Principles of Deglutition* (S. 67–87). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3794-9_6
- Johansson, K. (2013). *Speech and voice characteristics in multiple sclerosis and cervical spinal cord injury: Descriptive studies and effects of respiratory training* [28424492]. ProQuest Dissertations & Theses. <https://www.proquest.com/dissertations-theses/speech-voice-characteristics-multiple-sclerosis/docview/2570402845/se-2>
- Johansson, K., Seiger, Å., Forsén, M., Holmgren Nilsson, J., Hartelius, L. & Schalling, E. (2018). Assessment of voice, speech and communication changes associated with cervical spinal cord injury. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 53(4), 761–775. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12380>
- Johnson, D. C., Campbell, S. L. & Rabkin, J. D. (2009). Tracheostomy tube manometry: evaluation of speaking valves, capping and need for downsizing. *The Clinical Respiratory Journal*, 3(1), 8–14. <https://doi.org/10.1111/j.1752-699X.2008.00100.x>
- Jones, D. (1991). *An outline of English phonetics* (9th ed., with 116 Ill. and with appendices on Types of phonetic transcription and American pronunciation). Cambridge Univ. Press.
- Jungheim, M., Miller, S [Simone], Kühn, D. & Ptok, M. (2014). Prosodie, Inputsprache und Spracherwerb. *HNO*, 62(4), 249–253. <https://doi.org/10.1007/s00106-013-2816-y>
- Kalkhof, S. & Walker, M. (2007). Atmung und Stimme: wieder sprechen... In R. Nusser-Müller-Busch (Hrsg.), *Die Therapie des Facio-Oralen Trakts: F.O.T.T. nach Kay Coombes* (2. Aufl.). Springer Medizin.
- Kaneoka, A. S., Langmore, S. E., Krisciunas, G. P., Field, K., Scheel, R., McNally, E., Walsh, M. J., O'Dea, M. B. & Cabral, H. (2014). The Boston Residue and Clearance Scale: Preliminary Reliability and Validity Testing. *Folia phoniatrica et logopaedica: official organ of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (IALP)*, 65(6), 312–317. <https://doi.org/10.1159/000365006>
- Karagiannidis, C., Strassmann, S., Callegari, J., Kochanek, M., Janssens, U. & Windisch, W. (2019). Epidemiologische Entwicklung der außerklinischen Beatmung: Eine rasant zunehmende Herausforderung für die ambulante und stationäre Patientenversorgung. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, 73(11), 670–676. <https://doi.org/10.1055/a-0976-9119>
- Kelly, B. N., Huckabee, M.-L., Jones, R. D. & Carroll, G. J. (2007). The influence of volition on breathing-swallowing coordination in healthy adults. *Behavioral neuroscience*, 121(6), 1174–1179. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.121.6.1174>
- Kendall, K. A. & Leonard, R. J. (2001). Pharyngeal constriction in elderly dysphagic patients compared with young and elderly nondysphagic controls. *Dysphagia*, 16(4), 272–278. <https://doi.org/10.1007/s00455-001-0086-4>
- Kendall, K. A., McKenzie, S., Leonard, R. J., Gonçalves, M. I. & Walker, A [Alice] (2000). Timing of events in normal swallowing: a videofluoroscopic study. *Dysphagia*, 15(2), 74–83. <https://doi.org/10.1007/s004550010004>

- Kern, M. K., Jaradeh, S., Arndorfer, R. C. & Shaker, R. (2001). Cerebral cortical representation of reflexive and volitional swallowing in humans. *American journal of physiology. Gastrointestinal and liver physiology*, 280(3), G354-60. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.2001.280.3.G354>
- Kim, H.-Y. (2014). Statistical notes for clinical researchers: Nonparametric statistical methods: 2. Nonparametric methods for comparing three or more groups and repeated measures. *Restorative dentistry & endodontics*, 39(4), 329–332. <https://doi.org/10.5395/rde.2014.39.4.329>
- Kim, J. Y. & Kim, H. (2023). Effects of behavioural swallowing therapy in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *International journal of speech-language pathology*, 25(2), 269–280. <https://doi.org/10.1080/17549507.2022.2045356>
- Kimura, Y., Takahashi, M., Wada, F. & Hachisuka, K. (2013). Differences in the peak cough flow among stroke patients with and without dysphagia. *Journal of UOEH*, 35(1), 9–16.
- Klahn, M. S. & Perlman, A. L. (1999). Temporal and durational patterns associating respiration and swallowing. *Dysphagia*, 14(3), 131–138. <https://doi.org/10.1007/PL00009594>
- Kohler, K. J. (1995). *Einführung in die Phonetik des Deutschen* (2., neubearbeitete Aufl.). *Grundlagen der Germanistik: Bd. 20*. Schmidt.
- KoKo Medical. (2022, 17. November). *Respirometer für Beatmungsgeräte - WRIGHT MARK 14™ - KoKo PFT - für Patienten-Beatmungsschlauchsystem / für Kinder*. <https://www.medicalexpo.de/prod/koko-pft/product-84541-541069.html>
- Konno, K. & Mead, J. (1967). Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 22(3), 407–422.
- Korth, M. (2014). *Von der Syntax zur Prosodie: Über das strukturelle Verhältnis zweier Komponenten der Grammatik im Deutschen. Studien zur deutschen Grammatik: Band 88*. Stauffenburg Verlag.
- Korth, M. (2018). *Das Syntax/Prosodie-Interface: Die Entwicklung der Forschung an der Schnittstelle zwischen Syntax und Prosodie. Stauffenburg-Einführungen: Band 33*. Stauffenburg Verlag.
- Kothari, M., Bjerrum, K., Nielsen, L. H., Jensen, J. & Nielsen, J. F. (2017). Influence of External Subglottic Air Flow on Dysphagic Tracheotomized Patients With Severe Brain Injury. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 126(3), 199–204. <https://doi.org/10.1177/0003489416683192>
- Kreuz, J. (2016). Sinngestaltendes Vorlesen in der Schule. *Leseforum - Literalität in Forschung und Praxis*, 1. https://www.leseforum.ch/myUploadData/files/2016_1_Kreuz.pdf
- Krishnan, G., Goswami, S. P. & Rangarathnam, B. (2020). A Systematic Review of the Influence of Bolus Characteristics on Respiratory Measures in Healthy Swallowing. *Dysphagia*, 35(6), 883–897. <https://doi.org/10.1007/s00455-020-10103-4>
- Kulnik, S. T., Birring, S. S., Moxham, J., Rafferty, G. F. & Kalra, L. (2015). Does respiratory muscle training improve cough flow in acute stroke? Pilot randomized controlled trial. *Stroke*, 46(2), 447–453. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.007110>
- Kulnik, S. T., MacBean, V., Birring, S. S., Moxham, J., Rafferty, G. F. & Kalra, L. (2015). Accuracy of portable devices in measuring peak cough flow. *Physiological measurement*, 36(2), 243–257. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/36/2/243>
- Kunduk, M., Appel, K., Tunc, M., Alanoglu, Z., Alkis, N., Dursun, G. & Ozgursoy, O. B. (2010). Preliminary report of laryngeal phonation during mechanical ventilation via a new cuffed tracheostomy tube. *Respiratory care*, 55(12), 1661–1670.
- Kurtz, A. (2019). Atmung. In H.-C. Pape, A. Kurtz & S. Silbernagl (Hrsg.), *Physiologie* (9., vollständig überarbeitete Auflage, S. 307–367). Thieme.
- Kutchak, F. M., Debesaitys, A. M., Rieder, M. d. M., Meneguzzi, C., Skueresky, A. S., Forgiarini Junior, L. A. & Bianchin, M. M. (2015). Reflex cough PEF as a predictor of successful extubation in neurological patients. *Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisilogia*, 41(4), 358–364. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132015000004453>
- Kutsukutsa, J., Kuupiel, D., Monori-Kiss, A., Del Rey-Puech, P. & Mashamba-Thompson, T. P. (2019). Tracheostomy decannulation methods and procedures for assessing readiness for decannulation in adults: a systematic scoping review. *International journal of evidence-based healthcare*, 17(2), 74–91. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000166>

- Laciuga, H., Rosenbek, J. C., Davenport, P. W. & Sapienza, C. M. (2014). Functional outcomes associated with expiratory muscle strength training: narrative review. *Journal of rehabilitation research and development*, 51(4), 535–546. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2013.03.0076>
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Lang, H. (2020). *Beatmung für Einsteiger: Theorie und Praxis für die Gesundheits- und Krankenpflege* (3. Aufl.). Springer.
- Langmore, S. E. (Hrsg.). (2001). *Endoscopic evaluation and treatment of swallowing disorders*. Thieme.
- Lansing, R. W. & Hoit, J. D. (2021). A Conceptual Framework for Understanding Speaking Dyspnea. *American journal of speech-language pathology*, 30(2), 844–851. https://doi.org/10.1044/2020_AJSLP-20-00179
- Larminat, V. de, Montravers, P., Dureuil, B. & Desmonts, J. M. (1995). Alteration in swallowing reflex after extubation in intensive care unit patients. *Critical care medicine*, 23(3), 486–490.
- Larsen, R., Ziegenfuss, T. & Mathes, A. (2018). *Beatmung: Indikationen - Techniken - Krankheitsbilder* (6. Aufl.). Springer.
- Laures, J. S. & Bunton, K. (2003). Perceptual effects of a flattened fundamental frequency at the sentence level under different listening conditions. *Journal of communication disorders*, 36(6), 449–464. [https://doi.org/10.1016/s0021-9924\(03\)00032-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9924(03)00032-7)
- Laures, J. S. & Weismer, G. (1999). The effects of a flattened fundamental frequency on intelligibility at the sentence level. *Journal of speech, language, and hearing research*, 42(5), 1148–1156. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4205.1148>
- Leder, S. B. (1990). Verbal communication for the ventilator-dependent patient: voice intensity with the Portex "Talk" tracheostomy tube. *The Laryngoscope*, 100(10 Pt 1), 1116–1121. <https://doi.org/10.1288/00005537-199010000-00017>
- Leder, S. B. (1994). Perceptual rankings of speech quality produced with one-way tracheostomy speaking valves. *Journal of speech and hearing research*, 37(6), 1308–1312.
- Leder, S. B. (1999). Effect of a one-way tracheostomy speaking valve on the incidence of aspiration in previously aspirating patients with tracheotomy. *Dysphagia*, 14(2), 73–77. <https://doi.org/10.1007/PL00009590>
- Leder, S. B., Pauloski, B. R., Rademaker, A. W., Grammer, T., Dikeman, K., Kazandjian, M. S., Mendes, J. & Logemann, J. A. (2013). Verbal communication for the ventilator-dependent patient requiring an inflated tracheotomy tube cuff: A prospective, multicenter study on the Blom tracheotomy tube with speech inner cannula. *Head & neck*, 35(4), 505–510. <https://doi.org/10.1002/hed.22990>
- Leder, S. B., Ross, D. A., Briskin, K. B. & Sasaki, C. T. (1997). A prospective, double-blind, randomized study on the use of a topical anesthetic, vasoconstrictor, and placebo during transnasal flexible fiberoptic endoscopy. *Journal of speech, language, and hearing research*, 40(6), 1352–1357. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4006.1352>
- Leder, S. B. & Traquina, D. N. (1989). Voice intensity of patients using a Communi-Trach I cuffed speaking tracheostomy tube. *The Laryngoscope*, 99(7 Pt 1), 744–747.
- Lederle, A., Hoit, J. D. & Barkmeier-Kraemer, J. (2012). Effects of sequential swallowing on drive to breathe in young, healthy adults. *Dysphagia*, 27(2), 221–227. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9357-x>
- Ledl, C., Frank, U. & Ullrich, Y. Y. (2023). Trachealkanülen(TK)-Management, TK-Weaning und Versorgungsaspekte in der Dysphagietherapie. *Der Nervenarzt*, 94(8), 694–701. <https://doi.org/10.1007/s00115-023-01489-1>
- Ledl, C. & Ullrich, Y. Y. (2017). Occlusion of Tracheostomy Tubes Does Not Alter Pharyngeal Phase Kinematics But Reduces Penetration by Enhancing Pharyngeal Clearance: A Prospective Study in Patients With Neurogenic Dysphagia. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 96(4), 268–272. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000602>
- Ledl, C. & Ullrich, Y. Y. (2022). Management von Schluckstörungen auf Intensivstation. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 511–551). Elsevier.
- Lee, J. W., Oh, H. J., Choi, W. A., Kim, D. J. & Kang, S.-W. (2020). Relationship between Eating and Digestive Symptoms and Respiratory Function in Advanced Duchenne Muscular Dystrophy Patients. *Journal of neuromuscular diseases*, 7(2), 101–107. <https://doi.org/10.3233/JND-190435>

- Lee, L., Friesen, M., Lambert, I. R. & Loudon, R. G. (1998). Evaluation of dyspnea during physical and speech activities in patients with pulmonary diseases. *Chest*, 113(3), 625–632. <https://doi.org/10.1378/chest.113.3.625>
- Lee, L., Loudon, R. G., Jacobson, B. H. & Stuebing, R. (1993). Speech breathing in patients with lung disease. *The American review of respiratory disease*, 147(5), 1199–1206. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/147.5.1199>
- Lee, S. J [So Jung], Huh, S., Ko, S.-H., Min, J. H. & Ko, H.-Y. (2021). Utilizing Pulmonary Function Parameters to Predict Dysphagia in Individuals With Cervical Spinal Cord Injuries. *Annals of rehabilitation medicine*, 45(6), 450–458. <https://doi.org/10.5535/arm.21161>
- Leslie, P., Drinnan, M. J., Ford, G. A. & Wilson, J. A. (2005). Swallow respiratory patterns and aging: presbyphagia or dysphagia? *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 60(3), 391–395. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.3.391>
- Li, W., Zhaopeng, Q., Yijun, F. & Haijun, N. (2018). Design and Preliminary Evaluation of Electrolarynx With F0 Control Based on Capacitive Touch Technology. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 26(3), 629–636. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2018.2805338>
- Liaw, M.-Y., Hsu, C.-H., Leong, C.-P., Liao, C.-Y., Wang, L.-Y., Lu, C.-H. & Lin, M.-C. (2020). Respiratory muscle training in stroke patients with respiratory muscle weakness, dysphagia, and dysarthria - a prospective randomized trial. *Medicine*, 99(10), e19337. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000019337>
- Lichtman, S. W., Birnbaum, I. L., Sanfilippo, M. R., Pellicone, J. T., Damon, W. J. & King, M. L. (1995). Effect of a tracheostomy speaking valve on secretions, arterial oxygenation, and olfaction: a quantitative evaluation. *Journal of speech and hearing research*, 38(3), 549–555.
- Liu, H [Hanjun] & Ng, M. L. (2007). Electrolarynx in voice rehabilitation. *Auris, nasus, larynx*, 34(3), 327–332. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2006.11.010>
- Logemann, J. A., Pauloski, B. R. & Colangelo, L. (1998). Light digital occlusion of the tracheostomy tube: a pilot study of effects on aspiration and biomechanics of the swallow. *Head & neck*, 20(1), 52–57.
- Logemann, J. A., Pauloski, B. R., Rademaker, A. W. & Colangelo, L. A. (1997). Super-supraglottic swallow in irradiated head and neck cancer patients. *Head & neck*, 19(6), 535–540. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0347\(199709\)19:6<535::aid-hed11>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0347(199709)19:6<535::aid-hed11>3.0.co;2-4)
- Logemann, J. A., Pauloski, B. R., Rademaker, A. W. & Kahrilas, P. J. (2002). Oropharyngeal swallow in younger and older women: videofluoroscopic analysis. *Journal of speech, language, and hearing research*, 45(3), 434–445. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2002\)034](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2002)034)
- Logemann, J. A., Williams, R. B., Rademaker, A. W., Pauloski, B. R., Lazarus, C. L. & Cook, I. (2005). The relationship between observations and measures of oral and pharyngeal residue from videofluorography and scintigraphy. *Dysphagia*, 20(3), 226–231. <https://doi.org/10.1007/s00455-005-0019-8>
- Loudon, R. G., Lee, L. & Holcomb, B. J. (1988). Volumes and breathing patterns during speech in healthy and asthmatic subjects. *Journal of speech and hearing research*, 31(2), 219–227. <https://doi.org/10.1044/jshr.3102.219>
- Lucero, J. C., Koenig, L. L., Lourenço, K. G., Ruty, N. & Pelorson, X. (2011). A lumped mucosal wave model of the vocal folds revisited: recent extensions and oscillation hysteresis. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(3), 1568–1579. <https://doi.org/10.1121/1.3531805>
- MacBean, N., Ward, E. C., Murdoch, B., Cahill, L. & Geraghty, T. (2013). Phonation after cervical spinal cord injury (CSCI): prospective case examinations of the acute and sub-acute stages of recovery. *International journal of speech-language pathology*, 15(3), 312–323. <https://doi.org/10.3109/17549507.2013.777784>
- MacBean, N., Ward, E. C., Murdoch, B., Cahill, L., Solley, M., Geraghty, T. & Hukins, C. (2009). Optimizing speech production in the ventilator-assisted individual following cervical spinal cord injury: a preliminary investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 44(3), 382–393. <https://doi.org/10.1080/13682820802190339>
- Macht, M., King, C. J., Wimbish, T., Clark, B. J., Benson, A. B., Burnham, E. L., Williams, A. & Moss, M. (2013). Post-extubation dysphagia is associated with longer hospitalization in survivors of critical illness with neurologic impairment. *Critical care (London, England)*, 17(3), R119. <https://doi.org/10.1186/cc12791>

- Macht, M., Wimbish, T., Clark, B. J., Benson, A. B., Burnham, E. L., Williams, A. & Moss, M. (2011). Postextubation dysphagia is persistent and associated with poor outcomes in survivors of critical illness. *Critical care (London, England)*, 15(5), R231. <https://doi.org/10.1186/cc10472>
- Magill, R. A. & Hall, K. G. (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Science*, 9(3-5), 241–289. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(90\)90005-X](https://doi.org/10.1016/0167-9457(90)90005-X)
- Mahler, L. A., Ramig, L. O. & Fox, C. (2015). Evidence-based treatment of voice and speech disorders in Parkinson disease. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, 23(3), 209–215. <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000151>
- Mancopes, R., Smaoui, S. & Steele, C. M. (2020). Effects of Expiratory Muscle Strength Training on Videofluoroscopic Measures of Swallowing: A Systematic Review. *American journal of speech-language pathology*, 29(1), 335–356. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-00107
- Manzano, J. L., Lubillo, S., Henríquez, D., Martín, J. C., Pérez, M. C. & Wilson, D. J. (1993). Verbal communication of ventilator-dependent patients. *Critical care medicine*, 21(4), 512–517.
- Martin, B. J., Logemann, J. A., Shaker, R. & Dodds, W. J. (1993). Normal laryngeal valving patterns during three breath-hold maneuvers: a pilot investigation. *Dysphagia*, 8(1), 11–20. <https://doi.org/10.1007/BF01351472>
- Martin, B. J., Logemann, J. A., Shaker, R. & Dodds, W. J. (1994). Coordination between respiration and swallowing: respiratory phase relationships and temporal integration. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 76(2), 714–723. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.2.714>
- Martin-Harris, B. (2008). Clinical implications of respiratory-swallowing interactions. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, 16(3), 194–199. <https://doi.org/10.1097/MOO.0b013e3282febd4b>
- Martin-Harris, B., Brodsky, M. B., Michel, Y., Castell, D. O., Schleicher, M., Sandidge, J., Maxwell, R. & Blair, J. (2008). MBS measurement tool for swallow impairment--MBSImp: establishing a standard. *Dysphagia*, 23(4), 392–405. <https://doi.org/10.1007/s00455-008-9185-9>
- Martin-Harris, B., Brodsky, M. B., Michel, Y., Ford, C. L., Walters, B. C. & Heffner, J. (2005). Breathing and swallowing dynamics across the adult lifespan. *Archives of otolaryngology--head & neck surgery*, 131(9), 762–770. <https://doi.org/10.1001/archotol.131.9.762>
- Martin-Harris, B., Brodsky, M. B., Price, C. C., Michel, Y. & Walters, B. C. (2003). Temporal coordination of pharyngeal and laryngeal dynamics with breathing during swallowing: single liquid swallows. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 94(5), 1735–1743. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00806.2002>
- Maslan, J., Leng, X., Rees, C., Blalock, D. & Butler, S. G. (2011). Maximum phonation time in healthy older adults. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 25(6), 709–713. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2010.10.002>
- Master, S., Guzman, M., Azócar, M. J., Muñoz, D. & Bortnem, C. (2015). How do laryngeal and respiratory functions contribute to differentiate actors/actresses and untrained voices? *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 29(3), 333–345. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2014.09.003>
- Matsumoto, Y., Hayashi, T., Fujiwara, Y., Kubota, K., Masuda, M., Kawano, O. & Maeda, T. (2023). Correlation between Respiratory Dysfunction and Dysphagia in Individuals with Acute Traumatic Cervical Spinal Cord Injury. *Spine surgery and related research*, 7(4), 327–332. <https://doi.org/10.22603/ssrr.2022-0180>
- Matsuo, K., Hiiemae, K. M., Gonzalez-Fernandez, M. & Palmer, J. B. (2008). Respiration during feeding on solid food: alterations in breathing during mastication, pharyngeal bolus aggregation, and swallowing. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 104(3), 674–681. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00527.2007>
- Matsuo, K. & Palmer, J. B. (2009). Coordination of Mastication, Swallowing and Breathing. *The Japanese dental science review*, 45(1), 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2009.03.004>
- Matsuo, K. & Palmer, J. B. (2015). Coordination of oro-pharyngeal food transport during chewing and respiratory phase. *Physiology & behavior*, 142, 52–56. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.01.035>
- McClintock, C., McAuley, D. F., McIlmurray, L., Alnajada, A. A. R., Connolly, B. & Blackwood, B. (2024). Communication in critical care tracheostomy patients dependent upon cuff inflation: A scoping review.

Australian critical care: official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2024.02.009>

- McConnell, A. K. & Romer, L. M. (2004). Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *International journal of sports medicine*, 25(4), 284–293. <https://doi.org/10.1055/s-2004-815827>
- McCool, F. D. (2006). Global physiology and pathophysiology of cough: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest*, 129(1 Suppl), 48S–53S. https://doi.org/10.1378/chest.129.1_suppl.48S
- McCormack, H. M., Horne, D. J. & Sheather, S. (1988). Clinical applications of visual analogue scales: a critical review. *Psychological medicine*, 18(4), 1007–1019. <https://doi.org/10.1017/s0033291700009934>
- McCullough, G. H., Rosenbek, J. C., Robbins, J. A., Coyle, J. L. & Wood, J. L. (1998). Ordinality and intervality of a penetration-aspiration scale. *Journal of Medical Speech-Language Pathology*, 6(2), 65–72.
- McFarland, D. H., Harris, B.-M. & Fortin, A. J. (2018). Enhancing Swallowing-Respiration Coordination. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 6(4), 239–244. <https://doi.org/10.1007/s40141-018-0202-0>
- McFarland, D. H. & Lund, J. P. (1995). Modification of mastication and respiration during swallowing in the adult human. *Journal of neurophysiology*, 74(4), 1509–1517. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.74.4.1509>
- McFarland, D. H., Lund, J. P. & Gagner, M. (1994). Effects of posture on the coordination of respiration and swallowing. *Journal of neurophysiology*, 72(5), 2431–2437. <https://doi.org/10.1152/jn.1994.72.5.2431>
- McFarland, D. H., Martin-Harris, B., Fortin, A.-J., Humphries, K., Hill, E. & Armeson, K. (2016). Respiratory-swallowing coordination in normal subjects: Lung volume at swallowing initiation. *Respiratory physiology & neurobiology*, 234, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2016.09.004>
- McGrath, B. A., Lynch, J., Wilson, M., Nicholson, L. & Wallace, S. (2016). Above cuff vocalisation: A novel technique for communication in the ventilator-dependent tracheostomy patient. *Journal of the Intensive Care Society*, 17(1), 19–26. <https://doi.org/10.1177/1751143715607549>
- McGrath, B. A., Wallace, S., Wilson, M., Nicholson, L., Felton, T., Bowyer, C. & Bentley, A. M. (2019). Safety and feasibility of above cuff vocalisation for ventilator-dependant patients with tracheostomies. *Journal of the Intensive Care Society*, 20(1), 59–65. <https://doi.org/10.1177/1751143718767055>
- McKim, D. A., Hendin, A., LeBlanc, C., King, J., Brown, C. R. L. & Woolnough, A. (2012). Tracheostomy decannulation and cough peak flows in patients with neuromuscular weakness. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 91(8), 666–670. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31825597b8>
- Medeiros, G. C. de, Sassi, F. C., Lirani-Silva, C. & Andrade, C. R. F. de (2019). Critérios para decanulação da traqueostomia: revisão de literatura [Criteria for tracheostomy decannulation: literature review]. *CoDAS*, 31(6), e20180228. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20192018228>
- Mendell, D. A. & Logemann, J. A. (2007). Temporal sequence of swallow events during the oropharyngeal swallow. *Journal of speech, language, and hearing research*, 50(5), 1256–1271. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007/088\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007/088))
- Miles, A., Zeng, I. S. L., McLauchlan, H. & Huckabee, M.-L. (2013). Cough reflex testing in Dysphagia following stroke: a randomized controlled trial. *Journal of clinical medicine research*, 5(3), 222–233. <https://doi.org/10.4021/jocmr1340w>
- Miller, S. E., Schlauch, R. S. & Watson, P. J. (2010). The effects of fundamental frequency contour manipulations on speech intelligibility in background noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 128(1), 435–443. <https://doi.org/10.1121/1.3397384>
- Mills, C. S., Jones, R. & Huckabee, M.-L. (2017). Measuring voluntary and reflexive cough strength in healthy individuals. *Respiratory medicine*, 132, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2017.09.013>
- Mills, C. S., Michou, E., Bellamy, M. C., Siddle, H. J., Brennan, C. A. & Bojke, C. (2022). Determining the Prevalence, Implementation Approaches, and Opinions of Above Cuff Vocalization: A Survey of Health Care Professionals. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 103(3), 394–401. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.08.016>
- Mills, C. S., Michou, E., King, N., Bellamy, M. C., Siddle, H. J., Brennan, C. A. & Bojke, C. (2022). Evidence for Above Cuff Vocalization in Patients With a Tracheostomy: A Systematic Review. *The Laryngoscope*, 132(3), 600–611. <https://doi.org/10.1002/lary.29591>

- Mitchell, H. L., Hoit, J. D. & Watson, P. J. (1996). Cognitive-linguistic demands and speech breathing. *Journal of speech and hearing research*, 39(1), 93–104. <https://doi.org/10.1044/jshr.3901.93>
- Mitchell, R. B., Hussey, H. M., Setzen, G., Jacobs, I. N., Nussenbaum, B., Dawson, C., Brown, C. A., Brandt, C., Deakins, K., Hartnick, C. & Merati, A. (2013). Clinical consensus statement: tracheostomy care. *Otolaryngology - head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 148(1), 6–20. <https://doi.org/10.1177/0194599812460376>
- Molfenter, S. M. & Steele, C. M. (2013). The relationship between residue and aspiration on the subsequent swallow: an application of the normalized residue ratio scale. *Dysphagia*, 28(4), 494–500. <https://doi.org/10.1007/s00455-013-9459-8>
- Moon, J. H., Jung, J.-H., Won, Y. S., Cho, H.-Y. & Cho, K. (2017). Effects of expiratory muscle strength training on swallowing function in acute stroke patients with dysphagia. *Journal of physical therapy science*, 29(4), 609–612. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.609>
- Morice, A. H., Fontana, G. A., Belvisi, M. G., Birring, S. S., Chung, K. F., Dicpinigaitis, P. V., Kastelik, J. A., McGarvey, L. P., Smith, J. A., Tatar, M. & Widdicombe, J. (2007). ERS guidelines on the assessment of cough. *The European respiratory journal: official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology*, 29(6), 1256–1276. <https://doi.org/10.1183/09031936.00101006>
- Muhle, P., Suntrup-Krueger, S., Burkardt, K., Lapa, S., Ogawa, M., Claus, I., Labeit, B., Ahring, S., Oelenberg, S., Warnecke, T. & Dziawas, R. (2021). Standardized Endoscopic Swallowing Evaluation for Tracheostomy Decannulation in Critically Ill Neurologic Patients - a prospective evaluation. *Neurological research and practice*, 3(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s42466-021-00124-1>
- Murray, J., Langmore, S. E., Ginsberg, S. & Dostie, A. (1996). The significance of accumulated oropharyngeal secretions and swallowing frequency in predicting aspiration. *Dysphagia*, 11(2), 99–103.
- Mussa, C. C., Goma, D., Rowley, D. D., Schmidt, U., Ginier, E. & Strickland, S. L. (2021). AARC Clinical Practice Guideline: Management of Adult Patients with Tracheostomy in the Acute Care Setting. *Respiratory care*, 66(1), 156–169. <https://doi.org/10.4187/respcare.08206>
- Naito, Y., Mima, H., Itaya, T., Yamazaki, K. & Kato, H. (1996). Continuous oxygen insufflation using a speaking tracheostomy tube is effective in preventing aspiration during feeding. *Anesthesiology*, 84(2), 448–450. <https://doi.org/10.1097/00000542-199602000-00025>
- Nawka, T. & Wirth, G. (2008). *Stimmstörungen: Für Ärzte, Logopäden, Sprachheilpädagogen und Sprechwissenschaftler* (5., völlig überarb. Aufl.). Dt. Ärzte-Verl.
- Nespor, M. & Vogel, I. (1986). *Prosodic phonology. Studies in generative grammar: Bd. 28*. Foris.
- Neubauer, P. D., Rademaker, A. W. & Leder, S. B. (2015). The Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale: An Anatomically Defined and Image-Based Tool. *Dysphagia*, 30(5), 521–528. <https://doi.org/10.1007/s00455-015-9631-4>
- Neuhuber, W. & Bieger, D. (2013). Brainstem Control of Deglutition: Brainstem Neural Circuits and Mediators Regulating Swallowing. In R. Shaker, P. C. Belafsky, G. N. Postma & C. Easterling (Hrsg.), *Principles of Deglutition* (S. 89–113). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3794-9_7
- Ninan, A., Grubb, L. M., Brenner, M. J. & Pandian, V. (2023). Effectiveness of interprofessional tracheostomy teams: A systematic review. *Journal of clinical nursing*, 32(19-20), 6967–6986. <https://doi.org/10.1111/jocn.16815>
- Nishino, T., Yonezawa, T. & Honda, Y. (1985). Effects of swallowing on the pattern of continuous respiration in human adults. *The American review of respiratory disease*, 132(6), 1219–1222. <https://doi.org/10.1164/arrd.1985.132.6.1219>
- O'Connor, L. R., Morris, N. R. & Paratz, J. (2019). Physiological and clinical outcomes associated with use of one-way speaking valves on tracheostomized patients: A systematic review. *Heart & lung: the journal of critical care*, 48(4), 356–364. <https://doi.org/10.1016/j.hrtlng.2018.11.006>
- Oczenski, W. (2017). *Atmen - Atemhilfen: Atemphysiologie und Beatmungstechnik* (10. überarbeitete und erweiterte Auflage). Georg Thieme Verlag.
- Ohmae, Y., Adachi, Z., Isoda, Y., Maekawa, H., Kitagawa, Y., Karaho, T., Tanabe, T. & Kitahara, S. (2006). Effects of one-way speaking valve placement on swallowing physiology for tracheostomized patients: impact on laryngeal clearance. *Nihon Jibiinkoka Gakkai kaiho*, 109(7), 594–599. <https://doi.org/10.3950/jibiinkoka.109.594>

- Ohmae, Y., Logemann, J. A., Kaiser, P., Hanson, D. G. & Kahrilas, P. J. (1996). Effects of two breath-holding maneuvers on oropharyngeal swallow. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 105(2), 123–131. <https://doi.org/10.1177/000348949610500207>
- Oikkonen, M. & Aromaa, U. (1997). Leakage of fluid around low-pressure tracheal tube cuffs. *Anaesthesia*, 52(6), 567–569. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1997.149-az0153.x>
- O'Neil, K. H., Purdy, M., Falk, J. & Gallo, L. (1999). The Dysphagia Outcome and Severity Scale. *Dysphagia*, 14(3), 139–145. <https://doi.org/10.1007/PL00009595>
- Ongkasuwan, J., Turk, C. L., Rappazzo, C. A., Lavergne, K. A., Smith, E. O. & Friedman, E. M. (2014). The effect of a speaking valve on laryngeal aspiration and penetration in children with tracheotomies. *The Laryngoscope*, 124(6), 1469–1474. <https://doi.org/10.1002/lary.24457>
- Ouahchi, Y., Ben Salah, N., Mjid, M., Hedhli, A., Abdelhedi, N., Beji, M., Toujani, S. & Verin, E. (2019). Breathing pattern during sequential swallowing in healthy adult humans. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 126(2), 487–493. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00150.2018>
- Palmer, J. B. & Hiilemae, K. M. (2003). Eating and breathing: interactions between respiration and feeding on solid food. *Dysphagia*, 18(3), 169–178. <https://doi.org/10.1007/s00455-002-0097-9>
- Palmer, J. B., Rudin, N. J., Lara, G. & Crompton, A. W. (1992). Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia*, 7(4), 187–200. <https://doi.org/10.1007/BF02493469>
- Pandian, V., Boisen, S., Mathews, S. & Brenner, M. J. (2019). Speech and Safety in Tracheostomy Patients Receiving Mechanical Ventilation: A Systematic Review. *American journal of critical care: an official publication, American Association of Critical-Care Nurses*, 28(6), 441–450. <https://doi.org/10.4037/ajcc2019892>
- Pandian, V., Cole, T., Kilonsky, D., Holden, K., Feller-Kopman, D. J., Brower, R. & Mirski, M. (2020). Voice-Related Quality of Life Increases With a Talking Tracheostomy Tube: A Randomized Controlled Trial. *The Laryngoscope*, 130(5), 1249–1255. <https://doi.org/10.1002/lary.28211>
- Park, G. W., Kim, S. K., Lee, C. H., Kim, C. R., Jeong, H. J. & Kim, D. K. (2015). Effect of chronic obstructive pulmonary disease on swallowing function in stroke patients. *Annals of rehabilitation medicine*, 39(2), 218–225. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.2.218>
- Park, J.-S., Oh, D.-H., Chang, M. Y. & Kim, K. M. (2016). Effects of expiratory muscle strength training on oropharyngeal dysphagia in subacute stroke patients: a randomised controlled trial. *Journal of oral rehabilitation*, 43(5), 364–372. <https://doi.org/10.1111/joor.12382>
- Parreiras de Menezes, K. K., Nascimento, L. R., Ada, L., Avelino, P. R., Polese, J. C., Mota Alvarenga, M. T., Barbosa, M. H. & Teixeira-Salmela, L. F. (2019). High-Intensity Respiratory Muscle Training Improves Strength and Dyspnea Poststroke: A Double-Blind Randomized Trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 100(2), 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.09.115>
- Parshall, M. B., Schwartzstein, R. M., Adams, L., Banzett, R. B., Manning, H. L., Bourbeau, J., Calverley, P. M., Gift, A. G., Harver, A., Lareau, S. C., Mahler, D. A., Meek, P. M. & O'Donnell, D. E. (2012). An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 185(4), 435–452. <https://doi.org/10.1164/rccm.201111-2042ST>
- Passy, V., Baydur, A., Prentice, W. & Darnell-Neal, R. (1993). Passy-Muir tracheostomy speaking valve on ventilator-dependent patients. *The Laryngoscope*, 103(6), 653–658. <https://doi.org/10.1288/00005537-199306000-00013>
- PeMessaggi-Sartor, M., Guillen-Solà, A., Depolo, M., Duarte, E., Rodríguez, D. A., Barrera, M.-C., Barreiro, E., Escalada, F., Orozco-Levi, M. & Marco, E. (2015). Inspiratory and expiratory muscle training in subacute stroke: A randomized clinical trial. *Neurology*, 85(7), 564–572. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001827>
- Perlman, A. L., Ettema, S. L. & Barkmeier, J. (2000). Respiratory and acoustic signals associated with bolus passage during swallowing. *Dysphagia*, 15(2), 89–94. <https://doi.org/10.1007/s004550010006>
- Petotic, A., Viravong, M. F., Martin, A. M., Nilsen, C. B., Olafsen, K. & Berntzen, H. (2021). Above cuff vocalisation (ACV): A scoping review. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*, 65(1), 15–25. <https://doi.org/10.1111/aas.13706>
- Pham, T., Heunks, L., Bellani, G., Madotto, F., Aragao, I., Beduneau, G., Goligher, E. C., Grasselli, G., Laake, J. H., Mancebo, J., Peñuelas, O., Piquilloud, L., Pesenti, A., Wunsch, H., van Haren, F., Brochard, L. &

- Laffey, J. G. (2023). Weaning from mechanical ventilation in intensive care units across 50 countries (WEAN SAFE): a multicentre, prospective, observational cohort study. *The Lancet. Respiratory medicine*, 11(5), 465–476. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(22\)00449-0](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(22)00449-0)
- Pinto, C. F., Balasubramaniam, R. K. & Acharya, V. (2017). Nasal airflow monitoring during swallowing: Evidences for respiratory-swallowing incoordination in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *Lung India*, 34(3), 247–250. https://doi.org/10.4103/lungindia.lungindia_117_16
- Pitts, L. L., Hamilton, V. K., Walaszek, E. A., Watts, S. A. & Cherney, L. R. (2023). Voluntary Cough Testing as a Clinical Indicator of Airway Protection in Cervical Spinal Cord Injury. *The Laryngoscope*, 133(6), 1434–1441. <https://doi.org/10.1002/lary.30369>
- Pitts, T., Bolser, D. C., Rosenbek, J. C., Troche, M. S., Okun, M. S. & Sapienza, C. M. (2009). Impact of expiratory muscle strength training on voluntary cough and swallow function in Parkinson disease. *Chest*, 135(5), 1301–1308. <https://doi.org/10.1378/chest.08-1389>
- Pitts, T., Bolser, D. C., Rosenbek, J. C., Troche, M. S. & Sapienza, C. M. (2008). Voluntary cough production and swallow dysfunction in Parkinson's disease. *Dysphagia*, 23(3), 297–301. <https://doi.org/10.1007/s00455-007-9144-x>
- Pitts, T., Troche, M. S., Mann, G., Rosenbek, J. C., Okun, M. S. & Sapienza, C. M. (2010). Using voluntary cough to detect penetration and aspiration during oropharyngeal swallowing in patients with Parkinson disease. *Chest*, 138(6), 1426–1431. <https://doi.org/10.1378/chest.10-0342>
- Plant, R. L. (2005). Aerodynamics of the human larynx during vocal fold vibration. *The Laryngoscope*, 115(12), 2087–2100. <https://doi.org/10.1097/01.mlg.0000184324.45040.17>
- Plant, R. L., Freed, G. L. & Plant, R. E. (2004). Direct measurement of onset and offset phonation threshold pressure in normal subjects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3640–3646. <https://doi.org/10.1121/1.1812309>
- Plant, R. L. & Younger, R. M. (2000). The interrelationship of subglottic air pressure, fundamental frequency, and vocal intensity during speech. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 14(2), 170–177. [https://doi.org/10.1016/S0892-1997\(00\)80024-7](https://doi.org/10.1016/S0892-1997(00)80024-7)
- Plowman, E. K., Tabor-Gray, L. C., Rosado, K. M., Vasilopoulos, T., Robison, R., Chapin, J. L., Gaziano, J., Vu, T. & Gooch, C. (2019). Impact of expiratory strength training in amyotrophic lateral sclerosis: Results of a randomized, sham-controlled trial. *Muscle & nerve*, 59(1), 40–46. <https://doi.org/10.1002/mus.26292>
- Plowman, E. K., Watts, S. A., Robison, R., Tabor, L. C., Dion, C., Gaziano, J., Vu, T. & Gooch, C. (2016). Voluntary Cough Airflow Differentiates Safe Versus Unsafe Swallowing in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Dysphagia*, 31(3), 383–390. <https://doi.org/10.1007/s00455-015-9687-1>
- Plowman, E. K., Watts, S. A., Tabor, L. C., Robison, R., Gaziano, J., Domer, A. S., Richter, J., Vu, T. & Gooch, C. (2016). Impact of expiratory strength training in amyotrophic lateral sclerosis. *Muscle & nerve*, 54(1), 48–53. <https://doi.org/10.1002/mus.24990>
- Pohl, M., Berger, K., Ketter, G., Krusch, C., Pause, M., Puschendorf, W., Schaupp, M., Schleep, J., Spranger, M., Steube, D., Scheidtmann, K. & Mehrholz, J. (2011). Langzeitverlauf von Patienten der neurologischen Rehabilitation Phase B. Ergebnisse der 6-Jahres-Nachuntersuchung einer Multicenterstudie. *Der Nervenarzt*, 82(6), 753–763. <https://doi.org/10.1007/s00115-010-3119-0>
- Pohl, M., Bertram, M., Bucka, C., Hartwich, M., Jöbges, M., Ketter, G., Leineweber, B., Mertl-Rötzer, M., Nowak, D. A., Platz, T., Rollnik, J. D., Scheidtmann, K., Thomas, R., Rosen, F. von, Wallesch, C. W., Woldag, H., Peschel, P. & Mehrholz, J. (2016). Rehabilitationsverlauf von Patienten in der neurologisch-neurochirurgischen Frührehabilitation. *Der Nervenarzt*, 87(6), 634–644. <https://doi.org/10.1007/s00115-016-0093-1>
- Pompino-Marschall, B. (2009). *Einführung in die Phonetik* (3., durchgesehene Aufl.). De Gruyter Studienbuch. Walter de Gruyter.
- Preiksaitis, H. G., Mayrand, S., Robins, K. & Diamant, N. E. (1992). Coordination of respiration and swallowing: effect of bolus volume in normal adults. *The American journal of physiology*, 263(3 Pt 2), R624-30. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.1992.263.3.R624>
- Preiksaitis, H. G. & Mills, C. A. (1996). Coordination of breathing and swallowing: effects of bolus consistency and presentation in normal adults. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 81(4), 1707–1714. <https://doi.org/10.1152/jappl.1996.81.4.1707>

- Prigent, H., Garguilo, M., Pascal, S., Pouplin, S., Bouteille, J., Lejaille, M., Orlikowski, D. & Lofaso, F. (2010). Speech effects of a speaking valve versus external PEEP in tracheostomized ventilator-dependent neuromuscular patients. *Intensive Care Medicine*, 36(10), 1681–1687. <https://doi.org/10.1007/s00134-010-1935-0>
- Prigent, H., Lejaille, M., Terzi, N., Annane, D., Figere, M., Orlikowski, D. & Lofaso, F. (2012). Effect of a tracheostomy speaking valve on breathing–swallowing interaction. *Intensive Care Medicine*, 38(1), 85–90. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2417-8>
- Prigent, H., Orlikowski, D., Blumen, M. B., Leroux, K., Legrand, L., Lejaille, M., Falaize, L., Ruquet, M., Raphael, J.-C. & Lofaso, F. (2006). Characteristics of tracheostomy phonation valves. *The European respiratory journal: official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology*, 27(5), 992–996. <https://doi.org/10.1183/09031936.06.00009405>
- Prigent, H., Samuel, C., Louis, B., Abinun, M.-F., Zerah-Lancner, F., Lejaille, M., Raphael, J.-C. & Lofaso, F. (2003). Comparative effects of two ventilatory modes on speech in tracheostomized patients with neuromuscular disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 167(2), 114–119. <https://doi.org/10.1164/rccm.200201-026OC>
- Prosiegel, M. (2002). *Klinische Hirnanatomie: Funktion und Störung zentralnervöser Strukturen ; mit 9 Tabellen. Pflaum Physiotherapie*. Pflaum.
- Prosiegel, M. (2022a). Mit Schluckstörungen assoziierte neurologische Erkrankungen. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 67–92). Elsevier.
- Prosiegel, M. (2022b). Neuroanatomie des Schluckens. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 53–66). Elsevier.
- Prosiegel, M. & Weber, S. (2018). *Dysphagie: Diagnostik und therapie. ein wegweiser fr kompetentes handeln* (3. Aufl.). Springer.
- Pryor, L. N., Ward, E. C., Cornwell, P. L., O'Connor, S. N. & Chapman, M. J. (2016). Establishing phonation using the Blom® tracheostomy tube system: A report of three cases post cervical spinal cord injury. *Speech, Language and Hearing*, 19(4), 227–237. <https://doi.org/10.1080/2050571X.2016.1196035>
- Pu, T., Huang, M., Kong, X., Wang, M., Chen, X., Feng, X., Wei, C., Weng, X. & Xu, F. (2021). Lee Silverman Voice Treatment to Improve Speech in Parkinson's Disease: A Systemic Review and Meta-Analysis. *Parkinson's disease*, 2021, 3366870. <https://doi.org/10.1155/2021/3366870>
- Ramig, L. O., Countryman, S., O'Brien, C., Hoehn, M. & Thompson, L. L. (1996). Intensive speech treatment for patients with Parkinson's disease: short-and long-term comparison of two techniques. *Neurology*, 47(6), 1496–1504. <https://doi.org/10.1212/WNL.47.6.1496>
- Ramig, L. O., Countryman, S., Thompson, L. L. & Horii, Y. (1995). Comparison of two forms of intensive speech treatment for Parkinson disease. *Journal of speech and hearing research*, 38(6), 1232–1251. <https://doi.org/10.1044/jshr.3806.1232>
- Ramig, L. O., Halpern, A., Spielman, J., Fox, C. & Freeman, K. (2018). Speech treatment in Parkinson's disease: Randomized controlled trial (RCT). *Movement Disorders*, 33(11), 1777–1791. <https://doi.org/10.1002/mds.27460>
- Ramig, L. O., Sapir, S., Countryman, S., Pawlas, A. A., O'Brien, C., Hoehn, M. & Thompson, L. L. (2001). Intensive voice treatment (LSVT) for patients with Parkinson's disease: a 2 year follow up. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 71(4), 493–498. <https://doi.org/10.1136/jnnp.71.4.493>
- Rangwala, R., Saadi, R., Lee, J. J., Reedy, E. L., Kantarcigil, C., Roberts, M. & Martin-Harris, B. (2023). Respiratory-Swallow Coordination in Individuals with Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Parkinson's disease*, 13(5), 681–698. <https://doi.org/10.3233/JPD-230057>
- Reyes, A., Castillo, A., Castillo, J. & Cornejo, I. (2018). The effects of respiratory muscle training on peak cough flow in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled study. *Clinical rehabilitation*, 32(10), 1317–1327. <https://doi.org/10.1177/0269215518774832>
- Reyes, A., Castillo, A., Castillo, J., Cornejo, I. & Cruickshank, T. (2020). The Effects of Respiratory Muscle Training on Phonatory Measures in Individuals with Parkinson's Disease. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 34(6), 894–902. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2019.05.001>
- Robbins, J., Hamilton, J. W., Lof, G. L. & Kempster, G. B. (1992). Oropharyngeal swallowing in normal adults of different ages. *Gastroenterology*, 103(3), 823–829. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(92\)90013-o](https://doi.org/10.1016/0016-5085(92)90013-o)

- Rocca, S., Negri, L., Valenza, N., Schindler, A. & Pizzorni, N. (2024). Pharyngeal Residues Scoring through the Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale (YPRSRS): Efficacy of Training. *Dysphagia*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1007/s00455-024-10725-y>
- Rocca, S., Pizzorni, N., Valenza, N., Negri, L. & Schindler, A. (2022). Reliability and Construct Validity of the Yale Pharyngeal Residue Severity Rating Scale: Performance on Videos and Effect of Bolus Consistency. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/diagnostics12081897>
- Rodrigues, F. d. O., Sarmet, M., Maldaner, V., Yamasaki, R., Behlau, M. & Davison Mangilli, L. (2023). Traumatic Spinal Injury: Preliminary Results of Respiratory Function, Voice and Quality of Life. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 37(3), 469.e1-469.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2021.02.009>
- Rodrigues, K. A., Machado, F. R., Chiari, B. M., Rosseti, H. B., Lorenzon, P. & Gonçalves, Maria Inês Rebelo (2015). Swallowing rehabilitation of dysphagic tracheostomized patients under mechanical ventilation in intensive care units: a feasibility study. *Revista Brasileira de terapia intensiva*, 27(1), 64–71. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20150011>
- Rodrigues, P. R., Brito, P. U., Fernandes, L., Rodrigues, C., Reis, A. & Moita, J. (2017). Peak cough flow measurement with a pneumotacograph and a portable peak flow meter in patients with neuromuscular diseases. *Revista portuguesa de pneumologia*, 23(1), 39–40. <https://doi.org/10.1016/j.rppnen.2016.08.003>
- Rodríguez, M. Á., Crespo, I., Del Valle, M. & Olmedillas, H. (2020). Should respiratory muscle training be part of the treatment of Parkinson's disease? A systematic review of randomized controlled trials. *Clinical rehabilitation*, 34(4), 429–437. <https://doi.org/10.1177/0269215519896054>
- Rollnik, J. D., Adolphsen, J., Bauer, J., Bertram, M., Brocke, J., Dohmen, C., Donauer, E., Hartwich, M., Heidler, M.-D., Hüge, V., Klarmann, S., Lorenzl, S., Lück, M., Mertl-Rötzer, M., Mokrusch, T., Nowak, D. A., Platz, T., Riechmann, L., Schlachetzki, F., . . . Pohl, M. (2017). Prolongiertes Weaning in der neurologisch-neurochirurgischen Frührehabilitation : S2k-Leitlinie herausgegeben von der Weaning-Kommission der Deutschen Gesellschaft für Neurorehabilitation e. V. (DGNR). *Der Nervenarzt*, 88(6), 652–674. <https://doi.org/10.1007/s00115-017-0332-0>
- Romero, C. M., Marambio, A., Larrondo, J., Walker, K., Lira, M.-T., Tobar, E., Cornejo, R. & Ruiz, M. (2010). Swallowing dysfunction in nonneurologic critically ill patients who require percutaneous dilatational tracheostomy. *Chest*, 137(6), 1278–1282. <https://doi.org/10.1378/chest.09-2792>
- Rose, L., Sutt, A.-L., Amaral, A. C., Fergusson, D. A., Smith, O. M. & Dale, C. M. (2021). Interventions to enable communication for adult patients requiring an artificial airway with or without mechanical ventilator support. *The Cochrane database of systematic reviews*, 10(10), CD013379. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013379.pub2>
- Rosenbek, J. C., Robbins, J. A., Roecker, E. B., Coyle, J. L. & Wood, J. L. (1996). A penetration-aspiration scale. *Dysphagia*, 11(2), 93–98. <https://doi.org/10.1007/BF00417897>
- Rovira, A., Dawson, D., Walker, A [Abigail], Tornari, C., Dinham, A., Foden, N., Surda, P., Archer, S., Lonsdale, D., Ball, J., Ofo, E., Karagama, Y., Odutoye, T., Little, S., Simo, R. & Arora, A. (2021). Tracheostomy care and decannulation during the COVID-19 pandemic. A multidisciplinary clinical practice guideline. *Eur Arch Otorhinolaryngol (European archives of oto-rhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery)*, 278(2), 313–321. <https://doi.org/10.1007/s00405-020-06126-0>
- Roy, N., Weinrich, B., Gray, S. D., Tanner, K., Stemple, J. C. & Sapienza, C. M. (2003). Three treatments for teachers with voice disorders: a randomized clinical trial. *Journal of speech, language, and hearing research*, 46(3), 670–688. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2003\)053](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2003)053)
- Rutte, R. & Sturm, S. (2018). *Atemtherapie* (3. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54628-4>
- Sancho, J., Servera, E., Díaz, J. & Marín, J. (2004). Comparison of peak cough flows measured by pneumotachograph and a portable peak flow meter. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 83(8), 608–612. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000133431.70907.a2>

- Santus, P., Gramegna, A., Radovanovic, D., Racanelli, R., Valenti, V., Rabbiosi, D., Vitacca, M. & Nava, S. (2014). A systematic review on tracheostomy decannulation: a proposal of a quantitative semiquantitative clinical score. *BMC pulmonary medicine*, 14, 201. <https://doi.org/10.1186/1471-2466-14-201>
- Sapienza, C. M. (2008). Respiratory muscle strength training applications. *Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery*, 16(3), 216–220. <https://doi.org/10.1097/MOO.0b013e3282fe96bd>
- Sapienza, C. M., Troche, M. S., Pitts, T. & Davenport, P. W. (2011). Respiratory strength training: concept and intervention outcomes. *Seminars in speech and language*, 32(1), 21–30. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1271972>
- Schäfer, S., Kirsch, F., Scheuermann, G. & Wagner, R. (2015). *Fachpflege Beatmung* (7. Auflage). Elsevier Urban & Fischer.
- Schindelmeiser, J. (2014). *Anatomie und Physiologie für Sprachtherapeuten* (3., überarb. Aufl.). Elsevier, Urban & Fischer.
- Schneider-Stickler, B. & Bigenzahn, W. (2013). *Stimmdiagnostik*. Springer Vienna. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1480-3>
- Schnitker, R. (1999). *Eine kontrastive Untersuchung ausgewählter phonetischer Parameter, durchgeführt am Beispiel dysarthrisch gestörter und normaler gesprochener Sprache: Band 1: Grundlagen und Ergebnisse der empirischen Untersuchung* [Magisterarbeit, Fachbereich II, Studienfach Phonetik]. Universität Trier. https://www.researchgate.net/profile/Ralph-Schnitker/publication/309858931_Eine_kontrastive_Untersuchung_ausgewahlter_phonetischer_Parameter_durchgefuehrt_am_Beispiel_dysarthrisch_gestorter_und_normaler_gesprochener_Sprache/link/s/58258d3408aeebc4f8a19a86/Eine-kontrastive-Untersuchung-ausgewaehlter-phonetischer-Parameter-durchgefuehrt-am-Beispiel-dysarthrisch-gestoerter-und-normaler-gesprochener-Sprache.pdf
- Schönhofer, B., Geiseler, J., Dellweg, D., Fuchs, H., Moerer, O., Weber-Carstens, S., Westhoff, M., Windisch, W., Hirschfeld-Araujo, J., Janssens, U., Rollnik, J., Rosseau, S., Schreiter, D. & Sitter, H. (2019). Prolongiertes Weaning: S2k-Leitlinie herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V [Prolonged Weaning - S2k-Guideline Published by the German Respiratory Society]. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, 73(12), 723–814. <https://doi.org/10.1055/a-1010-8764>
- Schönhofer, B., Geiseler, J., Herth, F., Berthold, J., Pfeifer, M. & Westhoff, M. (2016). WeanNet: Das Netzwerk von Weaning-Einheiten der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP): Epidemiologie und Outcome bei Patienten im prolongierten Weaning. *Deutsche medizinische Wochenschrift (1946)*, 141(18), e166–72. <https://doi.org/10.1055/s-0042-112345>
- Schröder, C. & Höhle, B. (2011). Prosodische Wahrnehmung im frühen Spracherwerb. *Sprache · Stimme · Gehör*, 35(03), e91–e98. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1284404>
- Schröter-Morasch, H. (2022a). Schluckstörungen bei Erkrankungen der oropharyngealen und laryngealen Strukturen. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 93–128). Elsevier.
- Schröter-Morasch, H. (2022b). Trachealkanülenversorgung - Sondenernährung. In G. Bartolome & H. Schröter-Morasch (Hrsg.), *Schluckstörungen: Interdisziplinäre Diagnostik und Rehabilitation* (7. Auflage, S. 231–282). Elsevier.
- Schultz-Coulon, H.-J. (2000). Ventilatorische und phonatorische Atmungsfunktion. *Sprache · Stimme · Gehör*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.1055/s-2000-11070>
- Schutte, H. C. & Seidner, W. (2005). Physiologische Grundlagen. In J. Wendler, W. Seidner & U. Eysholdt (Hrsg.), *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie* (4., völlig überarb. Aufl., S. 71–90). Thieme.
- Schwegler, H. (2016). *Trachealkanülenmanagement: Dekanülierung beginnt auf der Intensivstation* (1. Auflage). Schulz-Kirchner Verlag GmbH.
- Schwegler, H. (2022). *Trachealkanülenmanagement: In sicheren Schritten Richtung Dekanülierung* (4. Auflage). Schulz-Kirchner Verlag.
- Seidl, R. O., Nusser-Müller-Busch, R. & Ernst, A. (2005). The influence of tracheotomy tubes on the swallowing frequency in neurogenic dysphagia. *Otolaryngology - head and neck surgery: official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 132(3), 484–486. <https://doi.org/10.1016/j.otohns.2004.09.047>

- Seidner, W. & Wendler, J. (1982). *Die Sängerstimme: Phoniatische Grundlagen für die Gesangsausbildung* (2. Aufl.). Heinrichshofen.
- Selkirk, E. O. (1986). *Phonology and syntax: The relation between sound and structure* (First pbk. ed.). *Current studies in linguistics series: Bd. 10*. MIT Press.
- Selting, M. (1995). *Prosodie im Gespräch: Aspekte einer interaktionalen Phonologie der Konversation* (Reprint 2012). *Linguistische Arbeiten: Bd. 329*. De Gruyter.
- Shaker, R., Dua, K. S., Ren, J [Junlong], Xie, P., Funahashi, A. & Schapira, R. M. (2002). Vocal cord closure pressure during volitional swallow and other voluntary tasks. *Dysphagia*, 17(1), 13–18. <https://doi.org/10.1007/s00455-001-0096-2>
- Shaker, R., Milbrath, M., Ren, J [J.], Campbell, B., Toohill, R. & Hogan, W. (1995). Deglutitive aspiration in patients with tracheostomy: effect of tracheostomy on the duration of vocal cord closure. *Gastroenterology*, 108(5), 1357–1360. [https://doi.org/10.1016/0016-5085\(95\)90682-7](https://doi.org/10.1016/0016-5085(95)90682-7)
- Silbergleit, A. K., Schultz, L., Jacobson, B. H., Beardsley, T. & Johnson, A. F. (2012). The Dysphagia handicap index: development and validation. *Dysphagia*, 27(1), 46–52. <https://doi.org/10.1007/s00455-011-9336-2>
- Silverman, E. P., Carnaby, G., Singletary, F. F., Hoffman-Ruddy, B., Yeager, J. & Sapienza, C. M. (2016). Measurement of Voluntary Cough Production and Airway Protection in Parkinson Disease. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 97(3), 413–420. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.10.098>
- Silverman, E. P., Miller, S [Sarah], Zhang, Y [Yi], Hoffman-Ruddy, B., Yeager, J. & Daly, J. J. (2017). Effects of expiratory muscle strength training on maximal respiratory pressure and swallow-related quality of life in individuals with multiple sclerosis. *Multiple sclerosis journal - experimental, translational and clinical*, 3(2), 2055217317710829. <https://doi.org/10.1177/2055217317710829>
- Singh, R. K., Saran, S. & Baronia, A. K. (2017). The practice of tracheostomy decannulation-a systematic review. *Journal of intensive care*, 5, 38. <https://doi.org/10.1186/s40560-017-0234-z>
- Skodda, S. & Schlegel, U. (2008). Speech rate and rhythm in Parkinson's disease. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*, 23(7), 985–992. <https://doi.org/10.1002/mds.21996>
- Skoretz, S. A., Anger, N., Wellman, L., Takai, O. & Empey, A. (2020). A Systematic Review of Tracheostomy Modifications and Swallowing in Adults. *Dysphagia*, 35(6), 935–947. <https://doi.org/10.1007/s00455-020-10115-0>
- Smina, M., Salam, A., Khamiees, M., Gada, P., Amoateng-Adjepong, Y. & Manthous, C. A. (2003). Cough peak flows and extubation outcomes. *Chest*, 124(1), 262–268. <https://doi.org/10.1378/chest.124.1.262>
- Smith, J. A., Aliverti, A., Quaranta, M., McGuinness, K., Kelsall, A., Earis, J. & Calverley, P. M. (2012). Chest wall dynamics during voluntary and induced cough in healthy volunteers. *The Journal of physiology*, 590(3), 563–574. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.213157>
- Smith, J., Wolkove, N., Colacone, A. & Kreisman, H. (1989). Coordination of eating, drinking and breathing in adults. *CHEST Journal*, 96(3), 578. <https://doi.org/10.1378/chest.96.3.578>
- Smith Hammond, C. A. (2008). Cough and aspiration of food and liquids due to oral pharyngeal Dysphagia. *Lung*, 186 Suppl 1, S35–40. <https://doi.org/10.1007/s00408-007-9064-4>
- Smith Hammond, C. A., Goldstein, L. B., Horner, R. D., Ying, J., Gray, L., Gonzalez-Rothi, L. & Bolser, D. C. (2009). Predicting aspiration in patients with ischemic stroke: comparison of clinical signs and aerodynamic measures of voluntary cough. *Chest*, 135(3), 769–777. <https://doi.org/10.1378/chest.08-1122>
- Smith Hammond, C. A., Goldstein, L. B., Zajac, D. J., Gray, L., Davenport, P. W. & Bolser, D. C. (2001). Assessment of aspiration risk in stroke patients with quantification of voluntary cough. *Neurology*, 56(4), 502–506. <https://doi.org/10.1212/WNL.56.4.502>
- Solomon, N. P. & Hixon, T. J. (1993). Speech breathing in Parkinson's disease. *Journal of speech and hearing research*, 36(2), 294–310. <https://doi.org/10.1044/jshr.3602.294>
- Speed, L. & Harding, K. E. (2013). Tracheostomy teams reduce total tracheostomy time and increase speaking valve use: a systematic review and meta-analysis. *Journal of critical care*, 28(2), 216.e1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2012.05.005>
- Speyer, R., Cordier, R., Sutt, A.-L., Remijn, L., Heijnen, B. J., Balaguer, M., Pommée, T., McInerney, M. & Bergström, L. (2022). Behavioural Interventions in People with Oropharyngeal Dysphagia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Clinical Trials. *Journal of clinical medicine*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/jcm11030685>

- Spiecker-Henke, M. & Tuschy-Nitsch, D. (2014). *Leitlinien der Stimmtherapie* (2., vollst. überarb. und erw. Aufl.). Thieme, Georg, Verlag.
- Srinet, P., van Daele, D. J., Adam, S. I., Burrell, M. I., Aronberg, R. M. & Leder, S. B. (2015). A Biomechanical Study of Hyoid Bone and Laryngeal Movements During Swallowing Comparing the Blom Low Profile Voice Inner Cannula and Passy-Muir One Way Tracheotomy Tube Speaking Valves. *Dysphagia*, 30(6), 723–729. <https://doi.org/10.1007/s00455-015-9649-7>
- Stachler, R. J., Hamlet, S. L., Choi, J. & Fleming, S. (1996). Scintigraphic quantification of aspiration reduction with the Passy-Muir valve. *The Laryngoscope*, 106(2 Pt 1), 231–234. <https://doi.org/10.1097/00005537-199602000-00024>
- Staiger, A., Schölderle, T., Brendel, B. & Ziegler, W. (2017). Dissociating oral motor capabilities: Evidence from patients with movement disorders. *Neuropsychologia*, 95, 40–53. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.12.010>
- Starmer, H. M., Arrese, L., Langmore, S. E., Ma, Y., Murray, J., Patterson, J., Pisegna, J., Roe, J., Tabor-Gray, L. & Hutcheson, K. (2021). Adaptation and Validation of the Dynamic Imaging Grade of Swallowing Toxicity for Flexible Endoscopic Evaluation of Swallowing: DIGEST-FEES. *Journal of speech, language, and hearing research*, 64(6), 1802–1810. https://doi.org/10.1044/2021_JSLHR-21-00014
- Steele, C. M. & Grace-Martin, K. (2017). Reflections on Clinical and Statistical Use of the Penetration-Aspiration Scale. *Dysphagia*, 32(5), 601–616. <https://doi.org/10.1007/s00455-017-9809-z>
- Steidl, E., Ribeiro, C. S., Gonçalves, B. F., Fernandes, N., Antunes, V. & Mancopes, R. (2015). Relationship between Dysphagia and Exacerbations in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Literature Review. *International archives of otorhinolaryngology*, 19(1), 74–79. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1376430>
- Suiter, D. M., McCullough, G. H. & Powell, P. W. (2003). Effects of cuff deflation and one-way tracheostomy speaking valve placement on swallow physiology. *Dysphagia*, 18(4), 284–292. <https://doi.org/10.1007/s00455-003-0022-x>
- Sutt, A.-L., Caruana, L. R., Dunster, K. R., Cornwell, P. L., Anstey, C. M. & Fraser, J. F. (2016). Speaking valves in tracheostomised ICU patients weaning off mechanical ventilation - do they facilitate lung recruitment? *Critical care (London, England)*, 20, 91. <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1249-x>
- Sutt, A.-L., Cornwell, P. L., Hay, K., Fraser, J. F. & Rose, L. (2022). Communication Success and Speaking Valve Use in Intensive Care Patients Receiving Mechanical Ventilation. *American journal of critical care: an official publication, American Association of Critical-Care Nurses*, 31(5), 411–415. <https://doi.org/10.4037/ajcc2022516>
- Sutt, A.-L., Cornwell, P., Mullany, D., Kinneally, T. & Fraser, J. F. (2015). The use of tracheostomy speaking valves in mechanically ventilated patients results in improved communication and does not prolong ventilation time in cardiothoracic intensive care unit patients. *Journal of critical care*, 30(3), 491–494. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2014.12.017>
- Tabor-Gray, L. C., Gallestagui, A., Vasilopoulos, T. & Plowman, E. K. (2019). Characteristics of impaired voluntary cough function in individuals with amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotrophic lateral sclerosis & frontotemporal degeneration*, 20(1-2), 37–42. <https://doi.org/10.1080/21678421.2018.1510011>
- Tabor-Gray, L. C., Vasilopoulos, T. & Plowman, E. K. (2020). Differences in voluntary and reflexive cough strength in individuals with amyotrophic lateral sclerosis and healthy adults. *Muscle & nerve*, 62(5), 597–600. <https://doi.org/10.1002/mus.27040>
- Tamplin, J., Baker, F. A., Buttifant, M. & Berlowitz, D. J. (2014). The effect of singing training on voice quality for people with quadriplegia. *Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 28(1), 128.e19–128.e26. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2013.08.017>
- Tamplin, J., Baker, F. A., Grocke, D., Brazzale, D. J., Pretto, J. J., Ruehland, W. R., Buttifant, M., Brown, D. J. & Berlowitz, D. J. (2013). Effect of singing on respiratory function, voice, and mood after quadriplegia: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 94(3), 426–434. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.10.006>
- Tamplin, J., Brazzale, D. J., Pretto, J. J., Ruehland, W. R., Buttifant, M., Brown, D. J. & Berlowitz, D. J. (2011). Assessment of breathing patterns and respiratory muscle recruitment during singing and speech in quadriplegia. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92(2), 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.10.032>

- Templeman, L. & Roberts, F. (2020). Effectiveness of expiratory muscle strength training on expiratory strength, pulmonary function and cough in the adult population: a systematic review. *Physiotherapy*, 106, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2019.06.002>
- Terzi, N., Lofaso, F., Masson, R., Beuret, P., Normand, H., Dumanowski, E., Falaize, L., Sauneuf, B., Daubin, C., Brunet, J., Annane, D., Parienti, J.-J. & Orlikowski, D. (2018). Physiological predictors of respiratory and cough assistance needs after extubation. *Annals of intensive care*, 8(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0360-3>
- Terzi, N., Normand, H., Dumanowski, E., Ramakers, M., Seguin, A., Daubin, C., Valette, X., Masson, R., Sauneuf, B., Charbonneau, P., Du Cheyron, D. & Lofaso, F. (2014). Noninvasive ventilation and breathing-swallowing interplay in chronic obstructive pulmonary disease *Critical care medicine*, 42(3), 565–573. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e3182a66b4a>
- Terzi, N., Orlikowski, D., Aegerter, P., Lejaille, M., Ruquet, M., Zalzman, G., Fermanian, C., Raphael, J.-C. & Lofaso, F. (2007). Breathing-swallowing interaction in neuromuscular patients: a physiological evaluation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 175(3), 269–276. <https://doi.org/10.1164/rccm.200608-1067OC>
- Terzi, N., Prigent, H., Lejaille, M., Falaize, L., Annane, D., Orlikowski, D. & Lofaso, F. (2010). Impact of tracheostomy on swallowing performance in Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscular Disorders*, 20(8), 493–498. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2010.05.009>
- Titze, I. R. (2000). *Principles of voice production*. National Center for Voice and Speech.
- Titze, I. R., Schmidt, S. S. & Titze, M. R. (1995). Phonation threshold pressure in a physical model of the vocal fold mucosa. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97(5 Pt 1), 3080–3084. <https://doi.org/10.1121/1.411870>
- Tomczak, M. & Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited: An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in sport sciences*, 1(21), 19–25. <https://tss.awf.poznan.pl/pdf-188960-110189?filename=The%20need%20to%20report%20effect.pdf>
- Torres-Castro, R., Vilaró, J., Vera-Urbe, R., Monge, G., Avilés, P. & Suranyi, C. (2014). Use of air stacking and abdominal compression for cough assistance in people with complete tetraplegia. *Spinal Cord*, 52(5), 354–357. <https://doi.org/10.1038/sc.2014.19>
- Trapl, M., Enderle, P., Nowotny, M., Teuschl, Y., Matz, K., Dachenhausen, A. & Brainin, M. (2007). Dysphagia bedside screening for acute-stroke patients: the Gugging Swallowing Screen. *Stroke*, 38(11), 2948–2952. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.483933>
- Troche, M. S., Okun, M. S., Rosenbek, J. C., Musson, N., Fernandez, H. H., Rodriguez, R., Romrell, J., Pitts, T., Wheeler-Hegland, K. M. & Sapienza, C. M. (2010). Aspiration and swallowing in Parkinson disease and rehabilitation with EMST: a randomized trial. *Neurology*, 75(21), 1912–1919. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181fef115>
- Troche, M. S., Rosenbek, J. C., Okun, M. S. & Sapienza, C. M. (2014). Detraining outcomes with expiratory muscle strength training in Parkinson disease. *Journal of rehabilitation research and development*, 51(2), 305–310. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2013.05.0101>
- Troche, M. S., Schumann, B., Brandimore, A. E., Okun, M. S. & Hegland, K. W. (2016). Reflex Cough and Disease Duration as Predictors of Swallowing Dysfunction in Parkinson's Disease. *Dysphagia*, 31(6), 757–764. <https://doi.org/10.1007/s00455-016-9734-6>
- Trouillet, J. L., Collange, O., Belafia, F., Blot, F., Capellier, G., Cesareo, E., Constantin, J.-M., Demoule, A., Diehl, J.-L., Guinot, P.-G., Jegoux, F., L'Her, E., Luyt, C.-E., Mahjoub, Y., Mayaux, J., Quintard, H., Ravat, F., Vergez, S., Amour, J. & Guillot, M. (2018). Tracheotomy in the intensive care unit: guidelines from a French expert panel. *Annals of intensive care*, 8(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s13613-018-0381-y>
- Trouvain, J. & Möbius, B. (2018). Zu Mustern der Pausengestaltung in natürlicher und synthetischer Lesesprache. In A. Berton, U. Haiber & W. Minker (Hrsg.), *Studientexte zur Sprachkommunikation: Bd. 90. Elektronische Sprachsignalverarbeitung 2018: Tagungsband der 29. Konferenz, Ulm, 7.-9. März 2018* [1. Auflage], S. 334–341). TUDpress. https://www.essv.de/pdf/2018_334_341.pdf
- Tsai, Y.-C., Huang, S., Che, W.-C., Huang, Y.-C., Liou, T.-H. & Kuo, Y.-C. (2016). The Effects of Expiratory Muscle Strength Training on Voice and Associated Factors in Medical Professionals With Voice Disorders.

- Journal of voice: official journal of the Voice Foundation*, 30(6), 759.e21-759.e27. <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2015.09.012>
- Valenzano, T. J., Guida, B. T., Peladeau-Pigeon, M. & Steele, C. M. (2020). Respiratory-Swallow Coordination in Healthy Adults During Drinking of Thin to Extremely Thick Liquids: A Research Note. *Journal of speech, language, and hearing research*, 63(3), 702–709. https://doi.org/10.1044/2019_JSLHR-19-00163
- van Daele, D. J., McCulloch, T. M., Palmer, P. M. & Langmore, S. E. (2005). Timing of glottic closure during swallowing: a combined electromyographic and endoscopic analysis. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 114(6), 478–487. <https://doi.org/10.1177/000348940511400610>
- van de Wetering-van Dongen, V. A., Kalf, J. G., van der Wees, P. J., Bloem, B. R. & Nijkrake, M. J. (2020). The Effects of Respiratory Training in Parkinson's Disease: A Systematic Review. *Journal of Parkinson's disease*, 10(4), 1315–1333. <https://doi.org/10.3233/JPD-202223>
- van den Berg, J. (1958). Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *Journal of speech and hearing research*, 1(3), 227–244. <https://doi.org/10.1044/jshr.0103.227>
- van Sluis, K. E., Kornman, A. F., Groen, W. G., van den Brekel, M. W. M., van der Molen, L., Hoffman-Ruddy, B. & Stuiver, M. M. (2020). Expiratory Muscle Strength Training in patients After Total Laryngectomy; A Feasibility Pilot Study. *The Annals of otology, rhinology, and laryngology*, 129(12), 1186–1194. <https://doi.org/10.1177/0003489420931889>
- Vitacca, M., Callegari, G., Sarv , M., Bianchi, L., Barbano, L., Balbi, B. & Ambrosino, N. (2005). Physiological effects of meals in difficult-to-wean tracheostomised patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Intensive Care Medicine*, 31(2), 236–242. <https://doi.org/10.1007/s00134-004-2530-z>
- Vitalograph DE. (2022, 17. November). *Vitalograph Peak-Flow-Meter asmaPLAN+ | Vitalograph*. <https://vitalograph.com/de/produkt/peak-flow-meter-asmaplan-plus/>
- Vovk, A., Bolser, D. C., Hey, J. A., Danzig, M., Vickroy, T., Berry, R., Martin, A. D. & Davenport, P. W. (2007). Capsaicin exposure elicits complex airway defensive motor patterns in normal humans in a concentration-dependent manner. *Pulmonary pharmacology & therapeutics*, 20(4), 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.pupt.2006.11.006>
- Wakasugi, Y., Tohara, H., Hattori, F., Motohashi, Y., Nakane, A., Goto, S., Ouchi, Y., Mikushi, S., Takeuchi, S. & Uematsu, H. (2008). Screening test for silent aspiration at the bedside. *Dysphagia*, 23(4), 364–370. <https://doi.org/10.1007/s00455-008-9150-7>
- Wallace, S., McGowan, S. & Sutt, A.-L. (2023). Benefits and options for voice restoration in mechanically ventilated intensive care unit patients with a tracheostomy. *Journal of the Intensive Care Society*, 24(1), 104–111. <https://doi.org/10.1177/17511437221113162>
- Wang, C.-M., Chen, J.-Y., Chuang, C.-C., Tseng, W.-C., Wong, A. M. K. & Pei, Y.-C. (2015). Aging-related changes in swallowing, and in the coordination of swallowing and respiration determined by novel non-invasive measurement techniques. *Geriatrics & gerontology international*, 15(6), 736–744. <https://doi.org/10.1111/ggi.12343>
- Wang, J. J. & Zhang, W. W. (2019). A study on the feasibility of respiratory muscle training to prevent pulmonary infection after stroke. *J Clin Pulm Med*, 24, 308–311.
- Wang, L., Feng, Y., Yang, Z. & Niu, H. (2017). Development and evaluation of wheel-controlled pitch-adjustable electrolarynx. *Medical & biological engineering & computing*, 55(8), 1463–1472. <https://doi.org/10.1007/s11517-016-1606-6>
- Wang, Y.-T., Green, J. R., Nip, Ignatius S B, Kent, R. D. & Kent, J. F. (2010). Breath group analysis for reading and spontaneous speech in healthy adults. *Folia phoniatrica et logopaedica: official organ of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (IALP)*, 62(6), 297–302. <https://doi.org/10.1159/000316976>
- Wang, Y.-T., Kent, R. D., Duffy, J. R. & Thomas, J. E. (2005). Dysarthria in traumatic brain injury: a breath group and intonational analysis. *Folia phoniatrica et logopaedica: official organ of the International Association of Logopedics and Phoniatrics (IALP)*, 57(2), 59–89. <https://doi.org/10.1159/000083569>
- Wang, Z [Zhuo], Wang, Z [Zhi], Fang, Q., Li, H [Huiling], Zhang, L. & Liu, X [Xueyun] (2019). Effect of Expiratory Muscle Strength Training on Swallowing and Cough Functions in Patients With Neurological Diseases: A Meta-analysis. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 98(12), 1060–1066. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001242>

- Ward, E. C., Jarman, L., Cornwell, P. L. & Amsters, D. I. (2016). Impact of voice and communication deficits for individuals with cervical spinal cord injury living in the community. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 51(5), 568–580. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12232>
- Warnecke, T., Muhle, P., Claus, I., Schröder, J. B., Labeit, B., Lapa, S., Suntrup-Krueger, S. & Dziewas, R. (2020). Inter-rater and test-retest reliability of the "standardized endoscopic swallowing evaluation for tracheostomy decannulation in critically ill neurologic patients". *Neurological research and practice*, 2, 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42466-020-00055-3>
- Warnecke, T., Suntrup, S., Teismann, I. K., Hamacher, C., Oelenberg, S. & Dziewas, R. (2013). Standardized endoscopic swallowing evaluation for tracheostomy decannulation in critically ill neurologic patients. *Critical care medicine*, 41(7), 1728–1732. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31828a4626>
- Watson, P. J. & Hixon, T. J. (2001). Effects of abdominal trussing on breathing and speech in men with cervical spinal cord injury. *Journal of speech, language, and hearing research*, 44(4), 751–762. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001/059\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001/059))
- Watson, P. J. & Schlauch, R. S. (2009). Fundamental frequency variation with an electrolarynx improves speech understanding: a case study. *American journal of speech-language pathology*, 18(2), 162–167. [https://doi.org/10.1044/1058-0360\(2008/08-0025](https://doi.org/10.1044/1058-0360(2008/08-0025)
- Wen, X., Liu, Z., Liu, X [Xuejin], Peng, Y. & Liu, H [Huiyu] (2022). The effects of physiotherapy treatments on dysphagia in Parkinson's disease: A systematic review of randomized controlled trials. *Brain research bulletin*, 188, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2022.07.016>
- Wheeler, K. M., Chiara, T. & Sapienza, C. M. (2007). Surface electromyographic activity of the submental muscles during swallow and expiratory pressure threshold training tasks. *Dysphagia*, 22(2), 108–116. <https://doi.org/10.1007/s00455-006-9061-4>
- Wheeler Hegland, K. M., Huber, J. E., Pitts, T., Davenport, P. W. & Sapienza, C. M. (2011). Lung volume measured during sequential swallowing in healthy young adults. *Journal of speech, language, and hearing research*, 54(3), 777–786. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010/09-0237](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010/09-0237)
- Wheeler Hegland, K. M., Huber, J. E., Pitts, T. & Sapienza, C. M. (2009). Lung volume during swallowing: single bolus swallows in healthy young adults. *Journal of speech, language, and hearing research*, 52(1), 178–187. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/07-0165\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/07-0165))
- Wheeler Hegland, K. M., Okun, M. S. & Troche, M. S. (2014). Sequential voluntary cough and aspiration or aspiration risk in Parkinson's disease. *Lung*, 192(4), 601–608. <https://doi.org/10.1007/s00408-014-9584-7>
- Wheeler Hegland, K. M., Troche, M. S., Brandimore, A. E., Davenport, P. W. & Okun, M. S. (2014). Comparison of voluntary and reflex cough effectiveness in Parkinson's disease. *Parkinsonism & related disorders*, 20(11), 1226–1230. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2014.09.010>
- Wheeler-Hegland, K. M., Rosenbek, J. C. & Sapienza, C. M. (2008). Submental sEMG and hyoid movement during Mendelsohn maneuver, effortful swallow, and expiratory muscle strength training. *Journal of speech, language, and hearing research*, 51(5), 1072–1087. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/07-0016](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/07-0016)
- Whitmore, K. A., Townsend, S. C. & Laupland, K. B. (2020). Management of tracheostomies in the intensive care unit: a scoping review. *BMJ open respiratory research*, 7(1). <https://doi.org/10.1136/bmjresp-2020-000651>
- Widdicombe, J. G., Addington, W. R., Fontana, G. A. & Stephens, R. E. (2011). Voluntary and reflex cough and the expiration reflex; implications for aspiration after stroke. *Pulmonary pharmacology & therapeutics*, 24(3), 312–317. <https://doi.org/10.1016/j.pupt.2011.01.015>
- Wiese, R. (1996). *The phonology of German. The phonology of the world's languages*. Clarendon Press.
- Wiese, R. (2011). *Phonetik und Phonologie* (1. Auflage). *utb-studi-e-book: Bd. 3354*. Wilhelm Fink; UTB GmbH. <https://elibrary.utb.de/doi/book/10.36198/9783838533544>
- Windisch, W., Dreher, M., Geiseler, J., Siemon, K., Brambring, J., Dellweg, D., Grolle, B., Hirschfeld, S., Köhnlein, T., Mellies, U., Rosseau, S., Schönhofer, B., Schucher, B., Schütz, A., Sitter, H., Stieglitz, S., Storre, J., Winterholler, M., Young, P. & Waltersbacher, S. (2017). S2k-Leitlinie: Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz – Revision 2017. *Pneumologie (Stuttgart, Germany)*, 71(11), 722–795. <https://doi.org/10.1055/s-0043-118040>
- Winklmaier, U., Wüst, K., Schiller, S. & Wallner, F. (2006). Leakage of fluid in different types of tracheal tubes. *Dysphagia*, 21(4), 237–242. <https://doi.org/10.1007/s00455-006-9047-2>

- Winklmaier, U., Wüst, K. & Wallner, F. (2005). Evaluation des Aspirationsschutzes blockbarer Trachealkanülen. *HNO*, 53(12), 1057–1062. <https://doi.org/10.1007/s00106-005-1263-9>
- Winkworth, A. L., Davis, P. J., Adams, R. D. & Ellis, E. (1995). Breathing patterns during spontaneous speech. *Journal of speech and hearing research*, 38(1), 124–144. <https://doi.org/10.1044/jsr.3801.124>
- Winkworth, A. L., Davis, P. J., Ellis, E. & Adams, R. D. (1994). Variability and consistency in speech breathing during reading: lung volumes, speech intensity, and linguistic factors. *Journal of speech and hearing research*, 37(3), 535–556.
- Yamada, T., Matsuo, K., Izawa, M., Yamada, S., Masuda, Y. & Ogasawara, T. (2017). Effects of age and viscosity on food transport and breathing-swallowing coordination during eating of two-phase food in nursing home residents. *Geriatrics & gerontology international*, 17(11), 2171–2177. <https://doi.org/10.1111/ggi.13056>
- Yokoyama, M., Mitomi, N., Tetsuka, K., Tayama, N. & Niimi, S. (2000). Role of laryngeal movement and effect of aging on swallowing pressure in the pharynx and upper esophageal sphincter. *The Laryngoscope*, 110(3 Pt 1), 434–439. <https://doi.org/10.1097/00005537-200003000-00021>
- Yoo, H.-J. & Pyun, S.-B. (2018). Efficacy of Bedside Respiratory Muscle Training in Patients With Stroke: A Randomized Controlled Trial. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 97(10), 691–697. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000933>
- Yoshimatsu, Y., Tobino, K., Nagami, S., Yagi, N. & Oku, Y. (2020). Breathing-Swallowing Discoordination and Inefficiency of an Airway Protective Mechanism Puts Patients at Risk of COPD Exacerbation. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease*, 15, 1689–1696. <https://doi.org/10.2147/COPD.S257622>
- Yuan, F., Guo, X., Wei, X., Xie, F., Zheng, J., Huang, Y., Huang, Z., Chang, Z., Li, H [H.], Guo, Y., Chen, J., Guo, J., Tang, B., Deng, B. & Wang, Q. (2020). Lee Silverman Voice Treatment for dysarthria in patients with Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *European journal of neurology*, 27(10), 1957–1970. <https://doi.org/10.1111/ene.14399>
- Zaga, C. J., Berney, S., Hepworth, G., Cameron, T. S., Baker, S., Giddings, C., Howard, M. E., Bellomo, R. & Vogel, A. P. (2023). Tracheostomy clinical practices and patient outcomes in three tertiary metropolitan hospitals in Australia. *Australian critical care: official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses*, 36(3), 327–335. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2022.03.002>
- Zaga, C. J., Berney, S. & Vogel, A. P. (2019). The Feasibility, Utility, and Safety of Communication Interventions With Mechanically Ventilated Intensive Care Unit Patients: A Systematic Review. *American journal of speech-language pathology*, 28(3), 1335–1355. https://doi.org/10.1044/2019_AJSLP-19-0001
- Zaga, C. J., Chao, C., Cameron, T., Ross, J., Rautela, L., Rollinson, T. C., Marchingo, E., Gregson, P. A., Warrillow, S., Atkins, N. E. & Howard, M. E. (2023). A Multidisciplinary Approach to Verbal Communication Interventions for Mechanically Ventilated Adults With a Tracheostomy. *Respiratory care*, 68(5), 680–691. <https://doi.org/10.4187/respcare.10511>
- Zhang, W., Pan, H., Zong, Y., Wang, J [Jixian] & Xie, Q. (2022). Respiratory Muscle Training Reduces Respiratory Complications and Improves Swallowing Function After Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 103(6), 1179–1191. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2021.10.020>
- Zhang, Y.-S., Zhang, K., Huang, L., Wei, J.-X., Bi, Z.-T., Xiao, J.-H., Huang, J., Luo, C.-S., Li, Y.-D. & Zhang, J.-M. (2024). The effects of respiratory muscle training on respiratory function and functional capacity in patients with early stroke: a meta-analysis. *European review of aging and physical activity: official journal of the European Group for Research into Elderly and Physical Activity*, 21(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s11556-024-00338-7>
- Zhang, Z. (2015). Regulation of glottal closure and airflow in a three-dimensional phonation model: implications for vocal intensity control. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(2), 898–910. <https://doi.org/10.1121/1.4906272>
- Zhou, T., Wang, J [Jianjun], Zhang, C., Zhang, B., Guo, H., Yang, B., Li, Q., Ge, J., Li, Y., Niu, G., Gao, H. & Jiang, H. (2022). Tracheostomy decannulation protocol in patients with prolonged tracheostomy referred to a rehabilitation hospital: a prospective cohort study. *Journal of intensive care*, 10(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40560-022-00626-3>

- Ziegler, W. (2003a). Speech motor control is task-specific: Evidence from dysarthria and apraxia of speech.: Review. *Aphasiology*, 17(1), 3–36. <https://doi.org/10.1080/729254892>
- Ziegler, W. (2003b). To speak or not to speak: Distinctions between speech and nonspeech motor control. *Aphasiology*, 17(2), 99–105. <https://doi.org/10.1080/729255218>
- Ziegler, W. (2003c). Zur Autonomie sprechmotorischer Kontrollfunktionen. *Forum Logopädie*, 17, 6–13.
- Ziegler, W., Aichert, I. & Staiger, A. (2020). *Sprechapraxie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59331-8>
- Ziegler, W. & Vogel, M. (2010). *Dysarthrie: Verstehen - untersuchen - behandeln: 39 Tabellen* [1. Aufl.]. *Forum Logopädie*. Thieme.
- Zuercher, P., Schenk, N. V., Moret, C., Berger, D., Abegglen, R. & Schefold, J. C. (2020). Risk Factors for Dysphagia in ICU Patients After Invasive Mechanical Ventilation. *Chest*, 158(5), 1983–1991. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.05.576>

Anhang

Anhang A	Probandeninformation und Einverständniserklärung.....	241
Anhang B	Blockrandomisierung der Modi	247
Anhang C	Ablauf Setting 1	248
Anhang D	Ablauf Setting 2	250
Anhang E	Textvorlage zum Lesen in Originalschriftgrösse.....	251
Anhang F	Vorlage zur Auswertung des Lesetextes.....	252
Anhang G	Visuelle Analogskala zum subjektiven Wohlbefinden beim Sprechen und Atmen.....	253
Anhang H	Abstand der beiden Untersuchungstermine.....	254
Anhang I	Menge der in der Schluckendoskopie verabreichten Boli	255
Anhang J	Auswertung der Schluckendoskopien	256
Anhang K	Messdaten zum Peak Cough Flow und zur forcierten Lungenkapazität ...	258
Anhang L	Messdaten zur Sprechaufgaben der Maximalleistung	259
Anhang M	Auswertung Lesen.....	261

Anhang A

Probandeninformation und Einverständniserklärung

A) Studieninformation Kurzfassung		Studieninformation und Einverständniserklärung		
 Kurzfassung der Studieninformation	Studententitel Einfluss eines Sprechventils und der Beatmung auf Schlucken, Reinigungsfunktionen und Sprechen bei beatmeten Menschen Was wir Ihnen mitteilen wollen: Wir möchten Sie hiermit bitten, an unserem Forschungsprojekt teilzunehmen. Wir untersuchen Patientinnen und Patienten, welche über eine Kanüle im Hals mechanisch beatmet werden. Sie sind von diesem Störungsbild betroffen. Deshalb lassen wir Ihnen diese Studieninformation zukommen. Was wir mit unserer Studie erreichen wollen: Wir machen diese Studie, um zu untersuchen, welchen Einfluss die im Alltag verwendeten Einstellungen der Beatmung und Kanüle auf die Fähigkeit zu essen, zu trinken, zu husten, zu räuspern und zu sprechen haben. Was bedeutet die Teilnahme an der Studie für Sie: Wenn Sie an der Studie teilnehmen, werden Sie für zwei Sitzungen einbestellt. In jeder Sitzung vergleichen wir drei Kanülen-Beatmungsmodi miteinander. In der ersten Sitzung (Dauer ca. 30 Minuten) wird eine Schluckuntersuchung mit einem Endoskop durchgeführt, d.h. ein kleiner Schlauch mit Kamera wird durch die Nase eingeführt. Die Untersuchung wird von einem Arzt/einer Ärztin für Phonetrie durchgeführt. Da Sie diese Untersuchung im Rahmen der Logopädie ohnehin machen, werden wir die Termine zusammenlegen und für beide Zwecke nutzen. Der zweite Termin (Dauer max. 60 Minuten) ist eine klinische Diagnostik zum Husten, zum Sprechen, zur Sprechatmung und Ihrem Wohlbefinden. Hier werden wir Ihnen nur einfache Aufgaben geben, z.B. müssen Sie ein paar Mal in ein Gerät husten, Töne lange, laut oder schnell produzieren, einen Text lesen und wenige Fragen zu Ihrem aktuellen Wohlbefinden beantworten. Die Untersuchung wird von einer/r Logopädin/en durchgeführt. Dieser Termin fällt zusätzlich zu Ihrem Alltag an.	Details Seite 3 3 4 4 5 6	7 7 6 8 6-7 8 3-9 10-11 8	Welcher Nutzen und welches Risiko mit der Studie für Sie verbunden sind: Wenn Sie bei dieser Studie mitmachen, können wir mit Ihnen besprechen, ob und inwiefern die unterschiedlichen Einstellungen der Kanüle und der Beatmung für Sie individuell Vorteile mit sich bringen, in welchem Modus Sie sich wohl fühlen und in welchen Situationen welcher Modus für Sie günstiger ist. Ausserdem können die Resultate für andere Personen wichtig sein, die nach Ihnen in derselben Situation sind. Die Schluckuntersuchung wird im Rahmen Ihres klinischen Alltages gemacht. Bei dieser setzen Sie sich gewissen kleinen Risiken aus: Obwohl die Schluckendoskopie als ein sicheres und gut toleriertes Verfahren gilt, könnte Unwohlsein oder Nasenbluten auftreten. Wenn Sie sich an grösseren Mengen Essen und Trinken verschlucken, besteht die Gefahr einer Lungenentzündung. Wenn wir bei Ihnen ein Verschlucken beobachten, reduzieren wir deshalb die Mengen an Essen und Trinken auf ein Minimum. Nähere Angaben zu Risiken können Sie in den Ausführungen auf S. 7 nachlesen. Welche Rechte Sie haben, wenn Sie an der Studie teilnehmen: Sie entscheiden frei, ob Sie an der Studie teilnehmen wollen oder nicht. Nicht-Teilnahme ändert nichts an Ihrer laufenden medizinischen Betreuung. Wenn Sie sich jetzt entscheiden teilzunehmen, können Sie jederzeit wieder aus der Studie aussteigen. Sie müssen Ihre Entscheidungen nicht begründen. Während der Studie erheben wir medizinische Daten über Sie. Zum Teil entnehmen wir diese Ihrer Krankenakte, zum anderen in den beiden Untersuchungen. Wenn Sie zu einem späteren Zeitpunkt aussteigen, werden wir die bis dahin erhobenen Daten nur mit Ihrem Einverständnis für die Auswertung verwenden. Welche Pflichten mit der Teilnahme an der Studie für Sie verbunden sind: Wenn Sie an der Studie teilnehmen, müssen Sie nur an den zwei beschriebenen Untersuchungen teilnehmen und den Anweisungen der Untersuchungsleiter folgen. Was mit Ihren Daten geschieht: Wir halten alle gesetzlichen Regeln des Datenschutzes ein. Wir verwenden Ihre Daten nur im Rahmen der Studie und in verschlüsselter Form. Alle Beteiligten unterliegen der Schweigepflicht. Was Sie mit Ihrer Einwilligung bestätigen: Nebst dieser Kurzfassung finden Sie auf den nachfolgenden Seiten umfassende Zusatzinformationen. Diese sind integrierter Bestandteil der Information. Mit der Unterzeichnung der Einwilligungserklärung akzeptieren Sie das vollständige Dokument. An wen Sie sich wenden können: Sie können jederzeit auf alle Fragen Auskunft erhalten. Wenden Sie sich an: – Veronika Schradi, Untersuchungsleitung, Universität Freiburg (CH), Departement für Heil- und Sonderpädagogik, Abteilung für Logopädie, Petrus-Kanisius-Gasse 21, 1700 Freiburg, Tel.: [REDACTED] – Ebenso können Sie sich an die hausinterne Abteilung für Logopädie (Leitung [REDACTED]) wenden, die Ihnen gerne einen Termin bei Frau Schradi vermittelt.

B) Studieninformation Langfassung

Inhaltsverzeichnis	Seite x von 11
1. Auswahl der Personen, die an der Studie teilnehmen können	3
2. Ziele der Studie	4
3. Allgemeine Informationen zur Studie	4
4. Ablauf für die Teilnehmenden (Abbruch der Studie durch die Forschenden)	5-6
5. Rechte der Teilnehmenden	6
6. Pflichten der Teilnehmenden	6-7
7. Nutzen für die Teilnehmenden	7
8. Risiken und Belastungen für die Teilnehmenden	7
9. Andere Behandlungsmöglichkeiten	7
10. Ergebnisse	7
11. Vertraulichkeit der Daten	8
12. Weitere Verwendung von Material und Daten	8
13. Entschädigung für Teilnehmende	8
14. Finanzierung der Studie	8
15. Kontaktperson(en)	8
16. Glossar (erklärungsbedürftige Begriffe)	9

Titel der Studie

Einfluss eines Sprechventils und der Beatmung auf Schlucken, Reinigungsfunktionen und Sprechen bei beatmeten Menschen

Sponsor: Universität Freiburg, Departement für Heil- und Sonderpädagogik, Abteilung Logopädie, [REDACTED]

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr

Mein Name ist Veronika Schradi, Sprachheilpädagogin/Logopädin an der Universität Freiburg. In Zusammenarbeit mit der Abteilung für Logopädie (Leitung [REDACTED]) des Schweizer-Paraplegiker-Zentrums bin ich verantwortlich für diese Studie.

1. Auswahl der Personen, die an der Studie teilnehmen können

Es können alle Personen teilnehmen, die mit einer Trachealkanüle (Kanüle im Hals, über die man atmet) versorgt wurden und auf eine Beatmungsmaschine angewiesen sind. Ausserdem sollten Sie mindestens 18 Jahre alt sein und bereits auf Normalisation verfügt worden sein. Sie sollten inzwischen mit der entcuftten (bzw. entblockten) Kanüle an der Beatmungsmaschine vertraut sein, und die entcuftte Kanüle mit und ohne Sprechventil für jeweils 30 Minuten am Stück verwenden können. Zudem sollten Sie auch schon 30 Minuten ohne Beatmung mit Sprechventil zurechtkommen.

Nicht teilnehmen hingegen dürfen Personen, die in einem sehr schlechten Allgemeinzustand sind, eine Allergie gegen Lebensmittelfarben haben, oder einfache Anweisungen in deutscher Sprache nicht verstehen.

2. Ziele der Studie

Ziel der Studie ist es, den generellen Einfluss des Sprechventils und der Beatmung auf die Fähigkeit zu essen und zu trinken, zu husten, zu räuspern und zu sprechen genauer zu untersuchen.

Dieses Wissen ist wichtig, um für Menschen wie Sie generell die beste Variante zu finden, wie man im Alltag am besten und mit möglichst wenig Gefahren Essen und Trinken kann, wie man in der Logopädie bei solchen Personen mit Schluckproblemen am besten das Schlucken trainieren kann, und wie diese im Falle eines Verschluckens am besten räuspern und abhusten können. Für die Diagnostik von Schluckstörungen, ist dieses Wissen ebenfalls sehr wichtig.

Es ist wichtig herauszufinden, wie das Sprechventil und die Beatmung das Schlucken generell beeinflussen, da dieses Wissen dann bei den täglichen Mahlzeiten, beim Testen der Schluckfähigkeit und in der Therapie berücksichtigt werden kann. Ausserdem ist Husten und Räuspern eine wichtige Schutzfunktion, die man ggf. mit Veränderungen an der Kanüle und Beatmung z.B. bei den Mahlzeiten verbessern und unterstützen könnte.

Ausserdem möchten wir herausfinden, mit welchen im Alltag verwendeten Kanülen- und Beatmungseinstellungen Personen wie Sie sich am besten unterhalten können, und unter welchen Bedingungen sich diese am wohlsten fühlen.

3. Allgemeine Informationen zur Studie

- Diese Studie wird nur hier am Schweizer Paraplegiker-Zentrum durchgeführt.
- Wie oben erwähnt, sollen die im Alltag verwendeten Einstellungen der Kanüle und Beatmung miteinander verglichen werden, um deren Einfluss auf Schlucken, Husten/Räuspern und Sprechen zu erforschen.
- Dazu machen wir bei Personen, die wie Sie gerade anfangen, ohne Beatmung zu atmen, eine Momentaufnahme in drei verschiedenen Einstellungen/Modi der Trachealkanüle und Beatmungsmaschine. Diese drei Einstellungen kennen Sie aus dem Alltag, es sind:
 - eine entcuftte Kanüle (d.h. die Luft aus dem Ballon ist raus) an der Beatmung ohne Sprechventil
 - eine entcuftte Kanüle an der Beatmung mit Sprechventil
 - eine entcuftte Kanüle, ohne Beatmung, mit Sprechventil
- Es gibt 2 Untersuchungssitzungen, in denen nacheinander die gleichen Messungen in allen 3 Modi gemacht werden.
- Die Reihenfolge der Modi wird jeder teilnehmenden Person zufällig zugeteilt und muss für beide Sitzungen gleich sein.
- Die erste Sitzung dauert etwa 30 Minuten, die zweite maximal 60 Minuten. Beide Sitzungen werden innerhalb von einer guten Woche (8 Tage) stattfinden. Der zeitliche Aufwand für Sie ist daher insgesamt 1,5 h innerhalb einer guten Woche.
- Wir wollen 23 Personen untersuchen. Vermutlich dauert die Studie daher ca. 1 ½ Jahre.
- Wir machen diese Studie so, wie es die Gesetze in der Schweiz vorschreiben. Ausserdem beachten wir alle international anerkannten Richtlinien. Die zuständige Ethikkommission hat die Studie geprüft und bewilligt.

4. Ablauf für die Teilnehmenden

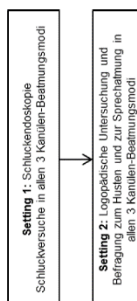


Abbildung 1: Ablauf der Studie

- Sie haben in Ihrem RehaVerlauf schon Fortschritte im Kanülenmanagement (Umgang mit der Kanüle) und im Ausbau von Spontanatmungszeiten (ohne Beatmung) gemacht. Zusammen mit der Logopädie und Pflege haben Sie versucht, mit entlüfter Kanüle (mit und ohne Sprechventil, mit und ohne Beatmung) zu atmen und zu sprechen. Wenn Sie dies für jeweils 30 Minuten in allen drei beschriebenen Modi schaffen, können wir Sie in die Untersuchung einschließen.
- Im Rahmen des Kanülenmanagements (Umgang mit der Kanüle) wird es im Verlauf Ihrer Reha sehr wahrscheinlich vorkommen, dass Ihre behandelnde /r Logopädin/e eine bildgebende Schluckdiagnostik veranlasst, um zu sehen, wie gut Sie Ihren Speichel schlucken, Essen und Trinken können, wie gut Sie Essensreste im Rachen/Hals spüren, oder ob die Kanüle Ihnen genug Platz in der Luftröhre lässt, um an ihr vorbei auszuatmen. Ebenfalls wird dort überprüft, ob die Einstellungen der Beatmung, der Kanüle Auswirkungen auf diese Dinge haben. Wenn bei Ihnen, wie bei den meisten Patientinnen und Patienten mit Ihrer Diagnose, eine solche Untersuchung im Rahmen der Logopädie ansteht, würden wir diesen Untersuchungstermin für die Studie nutzen, da sich dessen Inhalte mit der Studie weitgehend decken. Die Untersuchungsfragen, die in Ihrer alltäglichen logopädischen Behandlung anstehen, werden in der Untersuchung geklärt und durch einen kurzen Untersuchungsteil für unsere Studie ergänzt. Die Untersuchung verlängert sich dadurch für Sie um 5 Minuten.

Ablauf der 1. Untersuchung:

- Mit dieser 1. Untersuchung, wollen wir herausfinden, ob und wie der Kanülen-Beatmungsmodus Ihre Fähigkeit zu schlucken beeinflusst und verändert.
- Wir vereinbaren mit Ihnen einen Termin für die Untersuchung und organisieren den Transport. Die Station wird informiert, was Sie zur Untersuchung alles mitbringen müssen. Sie werden mit dem Transportdienst zum Untersuchungszimmer gefahren.
- Ihr behandelnde/r Logopädin/e und die Untersuchungsleitung Frau Schradi werden bei der Untersuchung anwesend sein. Die bildgebende Schluckuntersuchung wird dann von einer/r Hals-Nasen-Ohren-Arzt (einer/r Phoniater/in) durchgeführt. Sie/Er macht eine sogenannte Schluckendoskopie mit Ihnen. Dafür wird ein dünner Schlauch (wenige Millimeter) mit Videokamera in ihre Nase eingeführt, bis er oberhalb des Kehlkopfes angelangt ist. Hier kann der Arzt beobachten, ob Ihr Speichel und Essen ganz weggeschluckt wurde, oder ob etwas von Ihnen unbemerkt in die Luftröhre läuft. Die Bilder von Ihrem Kehlkopf werden mit der Videokamera aufgenommen.
- Der Arzt/die Ärztin wird Ihnen kurze Aufforderungen geben, z.B. „Sagen Sie aaaa. Halten Sie die Luft kurz an. Atmen Sie wieder“ usw. Wir lassen Sie dann nacheinander in jedem der drei genannten Kanülen- und Beatmungsmodi drei Teelöffel Apfelsaft und dann drei Teelöffel Wasser schlucken, welche wir mit Lebensmittelfarbe angefärbt haben.
- Anschließend werden bei individuellem Bedarf noch Dinge ausprobiert, die Ihre Logopädin zusätzlich für die weitere Therapieplanung noch testen möchte. Diese Daten gehen aber nicht in unsere Studie ein.
- Nach der Untersuchung, kann es nötig sein, Sie abzusaugen.

2014-17_InVaVent, Version 3 of 15.07.2015

Studieninformation und
Einverständniserklärung

Page 5 of 11

- Der zweite Termin dauert maximal 60 Minuten und wird von der Untersuchungsleitung, Frau Veronika Schradi durchgeführt. Es handelt sich hierbei um eine klinische Diagnostik mit Tests zum Husten, Sprechen und der Sprechatmung. Diese Untersuchung fällt zusätzlich zu Ihrem Alltag an.

Ablauf der 2. Untersuchung

- Mit der 2. Untersuchung möchten wir überprüfen, ob der Kanülen-Beatmungsmodus Ihre Fähigkeit zu husten und zu sprechen beeinflusst.
 - Frau Schradi holt Sie für die Untersuchung ab. Sie erklärt Ihnen den Ablauf der Untersuchung. Es werden wieder Messungen in allen drei Kanülen- und Beatmungsmodi gemacht. In jedem Modus machen Sie die gleichen Aufgaben.
 - Zuerst müssen Sie mehrmals so kräftig wie möglich Husten. Dann machen wir eine Diagnostik Ihrer Sprechatmung. Sie müssen mehrmals einen Ton so lange wie möglich, oder so laut wie möglich produzieren. Dann sollen Sie Silben wiederholen. Anschliessend werden Sie einen Text vorlesen. Die Sitzung wird mit einem Tonbandgerät aufgenommen, damit die einzelnen Aufgaben von Frau Schradi exakt ausgewertet werden können. Anschliessend beantworten Sie noch 2 Fragen zu Ihrem Wohlbefinden.
 - Dieser Ablauf wird dann in den beiden anderen Kanülen-Beatmungsmodi wiederholt.
 - Ganz am Ende werden Ihnen noch 2 Fragen zu den drei Durchgängen gestellt, um Ihre Präferenzen zu erfahren.
- Ergebnisse:**
- Die Ergebnisse der Schluckuntersuchung (Befund der Phoniaterin) können direkt nach der Untersuchung oder bei einem separaten Termin danach besprochen werden. Die Aufnahmen können Sie gerne mit Ihrer/r Logopädin/en oder mit Frau Schradi ansehen und besprechen.
 - Die groben Ergebnisse der 2. Untersuchung können wir Ihnen ebenfalls gleich nach der Sitzung mitteilen. Die exakten Auswertungen (auf die Zehntelsekunde genau) können Ihnen erst einige Wochen später mitgeteilt werden.
 - Auf Wunsch besprechen wir mit Ihnen sehr gerne, ob und inwiefern ein Modus für Sie persönlich in welcher Situation am meisten Vorteile bringt.

Es kann sein, dass wir Sie von der Studie vorzeitig ausschliessen müssen. Das kann geschehen, wenn sich Ihr allgemeiner Zustand verschlechtert, oder Sie plötzlich nicht mehr alle Teilnahmebedingungen erfüllen, beispielsweise wenn Sie plötzlich nicht mehr die oben beschriebenen Einstellungen/Modi der Kanüle und Beatmung für 30 Minuten tolerieren.

5. Rechte der Teilnehmenden

Sie nehmen nur dann an dieser Studie teil, wenn Sie es wollen. Niemand darf Sie dazu in irgendeiner Weise drängen oder dazu überreden. Ihre laufende medizinische Behandlung geht genau gleich weiter, wenn Sie nicht mitmachen. Sie müssen nicht begründen, warum Sie nicht mitmachen wollen. Wenn Sie sich entscheiden mitzumachen, können Sie diesen Entscheid jederzeit zurücknehmen. Sie müssen ebenfalls nicht begründen, wenn Sie aus der Studie aussteigen wollen.

Sie dürfen jederzeit alle Fragen zur Studie stellen. Wenden Sie sich dazu bitte an die Person, die am Ende dieser Studieninformation genannt ist.

6. Pflichten der Teilnehmenden

Wenn Sie bei der Studie mitmachen, müssen Sie bestimmte Regeln beachten. Dies ist notwendig für Ihre Sicherheit und Gesundheit. Wir werden Sie dabei so gut wir können unterstützen. Als Studienteilnehmer/r sind Sie verpflichtet,

- den Anweisungen der Phoniaterin und der Untersuchungsleitung bei den Untersuchungen zu folgen;

2014-17_InVaVent, Version 3 of 15.07.2015

Studieninformation und
Einverständniserklärung

Page 6 of 11

• Ihre/n behandelnde/n Logopädin/en (und dadurch die Studienleitung) und Ihren behandelnden Arzt über Veränderungen Ihres Allgemeinzustandes, wie neue Symptome, neue Beschwerden und Änderungen im Befinden zu melden. Wenn Sie die Pflichten nicht beachten, können Sie Haftungsansprüche verlieren. 7. Nutzen für die Teilnehmenden Wenn Sie bei dieser Studie mitmachen, können wir mit Ihnen besprechen, ob und inwiefern die unterschiedlichen Einstellungen der Kanüle und der Beatmung für Sie individuell Vorteile mit sich bringen, in welchem Modus Sie sich wohl fühlen und in welchen Situationen welcher Modus für Sie persönlich günstiger ist. Ausserdem können die Resultate für andere Personen wichtig sein, die nach Ihnen dieselbe Diagnose haben. 8. Risiken und Belastungen für die Teilnehmenden Die Schluckuntersuchung, welche Sie im Rahmen Ihrer Logopädischen Behandlung machen und welche wir für die Studie nutzen, gilt insgesamt als ein gut tolariertes und sicheres Verfahren. Obwohl die meisten Patienten kein oder nur mässiges Unwohlsein empfinden, kann es dennoch vorkommen, dass die Untersuchung (v.a. das Einführen des Schlauches) für Sie unangenehm ist. In gelegentlichen Fällen kommt es zu Nasenbluten. In sehr seltenen Fällen kann es zu einer vasovagalen Synkope (ein kurzzeitiger Abfall des Blutdrucks und des Puls) oder einem Laryngospasmus (= Verkrampfung der Stimmbänder) kommen. Falls Sie sich bei den Schluckversuchen verschlucken und Essen bzw. Trinken in Ihre Lunge geraten, besteht die Gefahr einer Lungenentzündung. Ein direkter Zusammenhang zwischen den Schluckversuchen in einer Untersuchung und der Entwicklung einer Lungenentzündung, konnte jedoch bisher nicht nachgewiesen werden. Falls Sie sich während der Untersuchung verschlucken, werden wir, um das Risiko zu verringern, die Menge an Löffel mit Essen/Trinken so gering wie möglich halten, wir geben Ihnen dann keine weiteren Löffel (Apfelmus oder Wasser) im gleichen Modus. Der zum klinischen Alltag zusätzliche zeitliche Aufwand beläuft sich für Sie auf ca.65 Minuten. Wenn Sie bei dieser Studie mitmachen, so ist dies für Sie kostenlos. 9. Andere Behandlungsmöglichkeiten Sie müssen bei dieser Studie nicht mitmachen. Wenn Sie nicht mitmachen, werden Sie bei Bedarf ganz normal über Ihre behandelnde/n Logopädin/en bezüglich Schlucken und Sprechen untersucht. Neben einer klinischen Untersuchung, wird diese/r Ihnen vermutlich die gleiche Untersuchung wie im Setting 1 anraten. In diesem Fall fliessen die Ergebnisse aber nicht in die Studie ein. 10. Ergebnisse aus der Studie Die Studienleitung wird Sie während der Studie über alle neuen Erkenntnisse informieren, die den Nutzen der Studie oder Ihre Sicherheit und somit Ihr Einwilligung zur Teilnahme an der Studie beeinflussen können. Sie werden die Information mündlich und schriftlich erhalten. Bei Zufallsbefunden, die bei Ihnen zur Verhinderung, Feststellung und Behandlung bestehender oder künftig zu erwartender Krankheiten beitragen können, haben Sie folgende Wahl, die Sie bitte bei Einwilligungserklärung ankreuzen wollen: – Wollen Sie von den Ergebnissen erfahren? – Wollen Sie, dass wir die Ergebnisse einer Person Ihrer Wahl mitteilen? (zum Beispiel Angehörigen, Ihrem Hausarzt etc.)	2014-17_inVaVent, Version 3 of 15.07.2015 Studieninformation und Einverständniserklärung Page 7 of 11
--	--

11. Vertraulichkeit der Daten Wir werden für diese Studie Ihre persönlichen und medizinischen Daten erfassen. Diese Daten werden wir verschlüsseln, d.h. um Sie zu kennzeichnen, werden wir Ihnen anstelle Ihres vollen Namens nur einen Code zuordnen, welcher nichts mit Ihrem Namen oder Ihrem Geburtsdatum zu tun hat. Einzig der Leiter der Studie weiss, wer sich hinter dieser Abkürzung verbirgt. Die Forschenden werden nur mit den so verschlüsselten Daten arbeiten. Es kann sein, dass die Studie während des Ablaufs überprüft wird. Dies können die Behörden tun, die sie vorab kontrolliert und bewilligt haben. Auch diejenige Institution, die die Studie bezahlt, kann den Ablauf überprüfen lassen. Sie alle sorgen dafür, dass die Regeln eingehalten werden und Ihre Sicherheit nicht gefährdet wird. Dazu muss der Leiter der Studie eventuell Ihre persönlichen und medizinischen Daten für solche Kontrollen offenlegen. Ebenso kann es sein, dass im Fall eines Schadens ein Vertreter der Versicherung Ihre Daten ansehen muss. Das darf dann aber nur die Daten betreffen, die unbedingt gebraucht werden, um den Schadenfall zu erledigen. Alle Personen, die mit der Studie in irgendeiner Weise zu tun haben, müssen absolute Vertraulichkeit wahren. Wir werden Ihren Namen nirgends, in keinem Bericht, keiner Publikation, nicht gedruckt und nicht im Internet, veröffentlichen. 12. Weitere Verwendung von Material und Daten Wenn Sie es wünschen, können Sie jederzeit aus der Studie aussteigen. Die medizinischen Daten, die wir bis dahin von Ihnen erhoben haben, werden wir nur mit Ihrem Einverständnis in die Auswertung einschliessen. Falls Sie aus der Studie aussteigen, können Sie eine Vernichtung der Tonbänder verlangen. Danach werden wir Ihre Daten anonymisieren, d.h. wir werden endgültig Ihren Namen darauf löschen. Niemand wird danach mehr erfahren können, dass die Daten von Ihnen stammten. 13. Entschädigung für Teilnehmende Wenn Sie bei dieser Studie mitmachen, bekommen Sie dafür keine Entschädigung. 14. Finanzierung der Studie Die Studie wird vollständig vom Schweizer Paraplegiker-Zentrum, der Stiftung für Heilpädagogik und dem Departement für Heil- und Sonderpädagogik der Universität Freiburg (CH) bezahlt. 15. Kontaktperson(en) Bei allen Unklarheiten, Befürchtungen oder Notfällen, die während der Studie oder danach auftreten, können Sie sich jederzeit an eine dieser Kontaktpersonen wenden. Leiterin der Studie: Veronika Schrödi Abteilung Logopädie, Departement für Heil- und Sonderpädagogik, Petrus-Kanisius-Gasse 21, 1700 Freiburg, Tel.: [REDACTED] Kontakt auch über [REDACTED] Leitung der Logopädie Schweizer Paraplegiker-Zentrum Nottwil, Guido A. Zäch Strasse 1, 6207 Nottwil, Tel.: [REDACTED] Prüfärzt: [REDACTED] Paraplegiker-Zentrum Nottwil, Guido A. Zäch Strasse 1, 6207 Nottwil	2014-17_inVaVent, Version 3 of 15.07.2015 Studieninformation und Einverständniserklärung Page 8 of 11
---	--

- **Trachealkanüle:** das ist die Kanüle, die von aussen über ihren Hals in die Luftröhre geht. Sie atmen über diese Kanüle und werden über diese auch beatmet.
- **Entwurf/entblockt:** die eben beschriebene Kanüle hat aussen einen Ballon angebracht, den man aufblasen kann. Den Ballon nennt man Cuff. Ist die Kanüle gerufft/entblockt (ist also Luft im Ballon), dann dichtet die Kanüle die Luftröhre nach oben ab und Sie atmen über die Kanüle ein und aus. Wird die Luft aus dem Ballon gezogen, nennt man das die Kanüle enttauchen, bzw. entblocken. Enttaucht kann die Luft wieder nach oben über Mund und Nase fliessen.
- **Kanülenmanagement:** Damit ist gemeint, wie man mit der Kanüle umgeht, wann welche „Einstellungen“ vorgenommen werden. Ziel ist es, möglichst viel die Kanüle zu entblocken und ihnen z.B. das Sprechen zu ermöglichen. Ebenfalls soll der Umgang mit der Kanüle und das Reduzieren von Beatmungszeiten gemeinsam gefordert werden.
- **Spontanatmung:** Wenn Sie selbständig ohne Beatmungsmaschine atmen, nennt man das Spontanatmung.
- **Kehlkopf:** der Kehlkopf ist etwa dort, wo der Adamsapfel am Hals zu sehen ist. Er ist der Eingang zur Luftröhre und trennt diese von der Speiseröhre.
- **Randomisierte Reihenfolge:** bei drei möglichen Modi, ergeben sich 6 Möglichkeiten, in welcher Reihenfolge man diese präsentieren kann. Damit alle Möglichkeiten gleich oft in unserer Studie vorkommen, und die Reihenfolge keine Auswirkung auf das Ergebnis hat, erfolgt die Zuteilung der Reihenfolge für jede Person zufällig und so, dass alle Möglichkeiten gleich oft vorkommen. Die Zuteilung wird durch ein Computerprogramm gemacht.

Schriftliche Einwilligungserklärung zur Teilnahme an einer Studie

- Bitte lesen Sie dieses Formular sorgfältig durch.
- Bitte fragen Sie, wenn Sie etwas nicht verstehen oder wissen möchten.

EKNZ 2015_055

Einfluss eines Sprechventils und der Beatmung auf Schlucken, Reinigungsfunktionen und Sprechen bei beatmeten Menschen

Universität Freiburg, Departement für Heil- und
Sonderpädagogik, Abteilung für Logopädie
([REDACTED]), Petrus-Kanisius-
Gasse 21, 1700 Freiburg

Schweizer Paraplegiker-Zentrum Nottwil, Guido
A. Zäch Strasse 1, 6207 Nottwil

Veronika Schrödi

☐ weiblich ☐ männlich

- Ich wurde von der / von dem unterzeichnenden Studienmitarbeiter/in mündlich und schriftlich über den Zweck, den Ablauf der Studie, über die zu erwartenden Wirkungen, über mögliche Vor- und Nachteile sowie über eventuelle Risiken informiert.
- Meine Fragen im Zusammenhang mit der Teilnahme an dieser Studie sind mir zufriedenstellend beantwortet worden. Ich kann die schriftliche Studieninformation vom 19.12.14 behalten und erhalte eine Kopie meiner schriftlichen Einwilligungserklärung. Ich akzeptiere den Inhalt der zur oben genannten Studie abgegebenen schriftlichen Studieninformation.
- Ich nehme an dieser Studie freiwillig teil. Ich kann jederzeit und ohne Angabe von Gründen meine Zustimmung zur Teilnahme widerrufen, ohne dass ich deswegen Nachteile bei der weiteren medizinischen Betreuung erleide.
- Ich hatte genügend Zeit, meine Entscheidung zu treffen.
Bei Zufallsbefunden möchte ich
 - a) ☐ in jedem Fall informiert werden
 - b) ☐ nicht informiert werden
 - c) ☐ die Entscheidung folgender Person überlassen:
- Ich weiss, dass meine persönlichen Daten nur in verschlüsselter Form zu Forschungszwecken weitergegeben werden können. Ich bin einverstanden, dass die zuständige Fachstelle des Auftraggebers der Studie, der Behörden und der Kantonalen Ethikkommission zu Prüf- und Kontrollzwecken in meine Originaldaten Einsicht nehmen dürfen, jedoch unter strikter Einhaltung der Vertraulichkeit.

- Ich bin mir bewusst, dass die in der Teilnehmerinformation genannten Pflichten während der Studie einzuhalten sind. Im Interesse meiner Gesundheit kann mich der Leiter / die Leiterin jederzeit von der Studie ausschliessen.

Ort, Datum	Unterschrift Studienteilnehmerin/Studienteilnehmer
Ort, Datum	Ggf. in Vertretung für Studienteilnehmerin/Studienteilnehmer Unterschrift einer Zeugin/eines Zeugen

Bestätigung der/des Studienmitarbeiterin/s: Hiermit bestätige ich, dass ich dieser Teilnehmerin/diesem Teilnehmer Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie erläutert habe. Ich versichere, alle im Zusammenhang mit dieser Studie stehenden Verpflichtungen gemäss dem geltenden Recht zu erfüllen. Sollte ich zu irgendeinem Zeitpunkt während der Durchführung der Studie von Aspekten erfahren, welche die Bereitschaft der Teilnehmerin/des Teilnehmers zur Teilnahme an der Studie beeinflussen könnten, werde ich sie/ihn umgehend darüber informieren.

Ort, Datum	Unterschrift der/des Studienmitarbeiters
------------	--

Anhang B

Blockrandomisierung der Modi

Tabelle B

Zugewiesene Reihenfolge der Modi durch Blockrandomisierung

Pbn	Modi Reihenfolge
P01	MVS - OVB - MVB
P02	MVS - MVB - OVB
P03	OVB - MVB - MVS
P04	MVB - OVB - MVS
P05	OVB - MVS - MVB
P06	MVB - MVS - OVB
P07	MVS - OVB - MVB
P08	MVS - MVB - OVB
P09	OVB - MVB - MVS
P10	MVB - OVB - MVS

Anmerkungen. Pbn = Proband; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; OVB = ohne Ventil beatmet.

Anhang C

Ablauf Setting 1

Schweizer Paraplegiker Zentrum
Forschungsanreise

Forschungsprojekt Veronica Schradl
Universität Freiburg

Ablauf für Setting 1 - Schluckendoskopie:

Planung:

- Termin für 30' Endoskopie abmachen (jeweils Donnerstag 13-14 Uhr Zeit freigehalten)
- Raum belegen, Endoskopie-Team informieren
- informiert?
- Patient und Station informieren (was der Pat. zur Untersuchung mitnehmen muss)

Vorbereitung am Untersuchungstag:

- Apfelmus, Wasser, Lebensmittelfarbe vorbereiten (breiig=grün, flüssig=blau)
- Pat. soll Beatmungsmaschine (Einstellungen für PMV) und seine Sprechventil-Box mitnehmen (PMV mit Gärsegel, Sprechventil für Spontanatmung)
- Reihenfolge der Modi festlegen, bzw. Zuordnung nachsehen

Untersuchungsablauf:

A	Vorbereitung	Pat. über Ablauf der Untersuchung aufklären Lagerung kontrollieren, Pulsoxymetrie anschliessen
B	1. Modus	Herstellung des 1. TKB-Modus Pat. nach Wohlbefinden in diesem Modus fragen, fragen ob bereit
C	Endoskopie beginnen:	Funktionsstestung (übliches standardisiertes Vorgehen der Phoniaterin): - Ruhebeobachtung (Morphologie, Speichelfresiden, -aspiration, Reaktion auf Sekret) - Funktionsprüfung (Phonation/Adduktion, Atmen/Abduktion, willkürliches Luft anhalten, willkürliches Husten, Sensibilitätstest)
D	Schluckversuche im 1. Modus	Breilige Konsistenz (grün): 1. breiiger Bolus (1TL) - Reaktion abwarten, beobachten (immer: falls massive Aspiration beobachtbar, keine Gabe weiterer Bolus der gleichen Konsistenz im gleichen Modus) 2. breiiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten 3. breiiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten - Zum willkürlichen Husten und Rachenreinigen auffordern

2014-17_InVaVent, Version 1 of 19.12.2014 Ablauf Setting 1 Page 1 of 3

Schweizer Paraplegiker Zentrum
Forschungsanreise

Forschungsprojekt Veronica Schradl
Universität Freiburg

	Flüssige Konsistenz (blau): 1. flüssiger Bolus (1TL) - Reaktion abwarten, beobachten (immer: falls massive Aspiration beobachtbar, keine Gabe weiterer Bolus der gleichen Konsistenz im gleichen Modus) 2. flüssiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten 3. flüssiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten - Zum willkürlichen Husten und Rachenreinigen auffordern	
E	Unterstützung Reinigungs-funktionen	Unterstütztes Abhusten bei persistierenden Retentionen
F	2. Modus	Herstellung des 2. TKB-Modus Pat. nach Wohlbefinden in diesem Modus fragen, fragen ob bereit
G	Schluckversuche im 2. Modus	Breilige Konsistenz (grün): 1. breiiger Bolus (1TL) - Reaktion abwarten, beobachten (immer: falls massive Aspiration beobachtbar, keine Gabe weiterer Bolus der gleichen Konsistenz im gleichen Modus) 2. breiiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten 3. breiiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten - Zum willkürlichen Husten und Rachenreinigen auffordern
	Flüssige Konsistenz (blau): 1. flüssiger Bolus (1TL) - Reaktion abwarten, beobachten (immer: falls massive Aspiration beobachtbar, keine Gabe weiterer Bolus der gleichen Konsistenz im gleichen Modus) 2. flüssiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten 3. flüssiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten - Zum willkürlichen Husten und Rachenreinigen auffordern	
H	Unterstützung Reinigungs-funktionen	Unterstütztes Abhusten bei persistierenden Retentionen
I	3. Modus	Herstellung des 3. TKB-Modus Pat. nach Wohlbefinden in diesem Modus fragen, fragen ob

2014-17_InVaVent, Version 1 of 19.12.2014 Ablauf Setting 1 Page 2 of 3

bereit	
J	Schluckversuche im 3. Modus Breige Konsistenz (grün): 1. breiger Bolus (1TL) - Reaktion abwarten, beobachten (immer: falls massive Aspiration beobachtbar, keine Gabe weiterer Bolus der gleichen Konsistenz im gleichen Modus) 2. breiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten 3. breiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten - Zum willkürlichen Husten und Rachenreinigen auffordern Flüssige Konsistenz (blau): 1. flüssiger Bolus (1TL) - Reaktion abwarten, beobachten (immer: falls massive Aspiration beobachtbar, keine Gabe weiterer Bolus der gleichen Konsistenz im gleichen Modus) 2. flüssiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten 3. flüssiger Bolus - Reaktion abwarten, beobachten - Zum willkürlichen Husten und Rachenreinigen auffordern
K	Unterstützung Reinigungs-funktionen Unterstütztes Abhusten bei persistierenden Retentionen
L	Ggf. weitere Testungen, ggf. endotracheales Absaugen Bei Bedarf Testung von weiteren individuell anstehenden, logopädischen Fragestellungen in Bezug auf andere Konsistenzen, Schluckmanöver usw. Bei jeglichem Verdacht auf Aspiration endotracheales Absaugen.
M	Dokumentation Beatnungsmodus, -parameter und Ergebnisse der Funktionsprüfung dokumentieren (CRF)

Abbruchkriterien:

- Pat. wird instabil
- Pat. möchte abbrechen
- Pat. erbricht
- Innerhalb eines TKB-Modus keine weitere Gabe von Bolus der gleichen Konsistenz wenn diese massiv aspiriert wird
- Sonstige Komplikationen

Anhang D

Ablauf Setting 2

Schweizer Paraplegiker Zentrum
Forschungsprozesse

Forschungsprojekt Veronika Schradi
Universität Freiburg

Ablauf Setting 2 – Logopädische Untersuchung

Planung:

- V. Schradi: Termin für 60' Logopädie abmachen
- Patient und Station informieren (was der Pat. zur Untersuchung mitnehmen muss)

Vorbereitung am Untersuchungstag:

- Pat. soll Beatmungsmaschine (Einstellungen für PMV) und seine Sprechventil-Box mitnehmen (PMV mit Gänsegurte, Sprechventil für Spontanatmung, ggf. Lesebrille)
- Reihenfolge der Modi festlegen, bzw. Zuordnung nachsehen
- Vorbereiten: Aufnahmegerät mit Mikrophon, Schalldruckpegelmessgerät, Massband, Metronom, Textvorlage, VAS-Vorlage, Untersuchungsbögen, Pulsoxymeter

Untersuchungsablauf:

A	Vorbereitung	Pat. über Ablauf der Untersuchung aufklären Lagerung kontrollieren, Pulsoxymetrie anschliessen, Aufnahmegerät und Schalldruckpegelmessgerät mit 50cm Abstand zum Mund positionieren Dem Patienten die Textvorlage geben, um sich mit diesem vertraut zu machen In dieser Zeit Beatmungsmodus und –Parameter dokumentieren
B	1. Modus	Herstellung des 1. TKB-Modus Pat. nach Wohlbefinden in diesem Modus fragen, 5 Min. Zeit zur Adaption geben, fragen ob bereit Aufnahmegerät starten - Peak-Flow-Meter mit Mund- und Nasenmaske: 3x zum möglichst kräftigen Husten auffordern → kurze Pause - Spirometer mit Mund- und Nasenmaske: 3x zum möglichst kräftigen Husten auffordern → kurze Pause Sprechatmung 3x möglichst lange Phonation auf /a/ 3x möglichst laute Phonation auf /a/ (Gerät an) 3x möglichst viele /ta-ta-ta/-Wiederholung nach vorgegebenem Rhythmus (120bpm) innerhalb eines Respirationszyklus - Text lesen lassen Sprech- und Atemkomfort VAS zum subjektiven Sprech- und Atemkomfort stellen

Schweizer Paraplegiker Zentrum
Forschungsprozesse

Forschungsprojekt Veronika Schradi
Universität Freiburg

C	2. Modus	Herstellung des 2. TKB-Modus Pat. nach Wohlbefinden in diesem Modus fragen, 5 Min. Zeit zur Adaption geben, fragen ob bereit Husten - Peak-Flow-Meter mit Mund- und Nasenmaske: 3x zum möglichst kräftigen Husten auffordern → kurze Pause - Spirometer mit Mund- und Nasenmaske: 3x zum möglichst kräftigen Husten auffordern → kurze Pause Sprechatmung 3x möglichst lange Phonation auf /a/ 3x möglichst laute Phonation auf /a/ (Gerät an) 3x möglichst viele /ta-ta-ta/-Wiederholung nach vorgegebenem Rhythmus (120bpm) innerhalb eines Respirationszyklus - Text lesen lassen Sprech- und Atemkomfort VAS zum subjektiven Sprech- und Atemkomfort stellen
D	3. Modus	Herstellung des 3. TKB-Modus Pat. nach Wohlbefinden in diesem Modus fragen, 5 Min. Zeit zur Adaption geben, fragen ob bereit Husten - Peak-Flow-Meter mit Mund- und Nasenmaske: 3x zum möglichst kräftigen Husten auffordern → kurze Pause - Spirometer mit Mund- und Nasenmaske: 3x zum möglichst kräftigen Husten auffordern → kurze Pause Sprechatmung 3x möglichst lange Phonation auf /a/ 3x möglichst laute Phonation auf /a/ (Gerät an) 3x möglichst viele /ta-ta-ta/-Wiederholung nach vorgegebenem Rhythmus (120bpm) innerhalb eines Respirationszyklus - Text lesen lassen Sprech- und Atemkomfort VAS zum subjektiven Sprech- und Atemkomfort stellen
E	Frage zu Präferenz	- Frage: „Welchen der drei eben getesteten Möglichkeiten zu Sprechen bevorzugen Sie?“ - Frage: „Warum bevorzugen Sie diesen Modus zum Sprechen im Vergleich zu den anderen?“

Abbruchkriterien:

- Pat. möchte abbrechen
- Pat. wird instabil bzw. sonstige Komplikationen

2014-17_InVaVent, Version 1 of 19.12.2014

Ablauf Setting 2

Page 1 of 2

2014-17_InVaVent, Version 1 of 19.12.2014

Ablauf Setting 2

Page 2 of 2

Fabel von Aesop (Schneider-Stickler & Bigenzahn, 2013, S. 320):

«Der Nordwind und die Sonne»

Einst stritten sich Nordwind und Sonne, wer von ihnen beiden wohl der Stärkere wäre, als ein Wanderer, der in einen warmen Mantel gehüllt war, des Weges kam. Sie wurden einig, dass derjenige für den Stärkeren gelten sollte, der den Wanderer zwingen würde, seinen Mantel abzulegen. Der Nordwind blies mit aller Macht, aber je mehr er blies, desto fester hüllte sich der Wanderer in seinen Mantel ein. Endlich gab der Nordwind den Kampf auf. Nun erwärmte die Sonne die Luft mit ihren freundlichen Strahlen und schon nach wenigen Augenblicken zog der Wanderer seinen Mantel aus. Da musste der Nordwind zugeben, dass die Sonne von ihnen beiden der Stärkere war.

Anhang F

Vorlage zur Auswertung des Lesetextes

Auswertung Lesen		Patienten ID: _____				
Modus:	☐ OVB	☐ MVB	☐ MVS	±Silb.	np	Silb/Respz.
(Der Nordwind und die Sonne) <i>nicht gewertet</i>						
Einst · strit · ten · sich · Nord · wind · und · Son · ne ·						
wer · von · ih · nen · bei · den · wohl · der · Stär · ke · re · wä · re ·						
als · ein · Wan · de · rer ·						
der · in · ei · nen · war · men · Man · tel · ge · hüllt · war ·						
des · We · ges · kam ·						
Sie · wur · den · ei · nig ·						
dass · der · je · ni · ge · für · den · Stär · ke · ren · gel · ten · soll · te ·						
der · den · Wan · de · rer · zwin · gen · wür · de ·						
sei · nen · Man · tel · ab · zu · neh · men ·						
Der · Nord · wind · blies · mit · al · ler · Macht ·						
a · ber · je · mehr · er · blies ·						
des · to · fes · ter · hüll · te · sich · der · Wan · de · rer · in · sei · nen · Man · tel · ein ·						
End · lich · gab · der · Nord · wind · den · Kampf · auf ·						
Nun · er · wärm · te · die · Son · ne · die · Luft · mit · ih · ren · freund · lich · en · Strah · len ·						
und · schon · nach · we · ni · gen · Au · gen · bli · cken · zog · der · Wan · de · rer · sei · nen · Man · tel · aus ·						
Da · muss · te · der · Nord · wind · zu · ge · ben ·						
dass · die · Son · ne · von · ih · nen · bei · den · der · Stär · ke · re · war ·						
Silben Standardtext: 178 + zusätzliche _____ Silben = _____ gesprochene Silben						Min: _____
Respirationszyklen/Text: _____ → Silben/Resp.zyklen = _____						Max: _____
Lesedauer gesamt: _____ → Silben/Minute = _____						

Besonderheiten:

Anhang G

Visuelle Analogskala zum subjektiven Wohlbefinden beim Sprechen und Atmen

Schweizer Paraplegiker-Zentrum
Forschungsprozesse

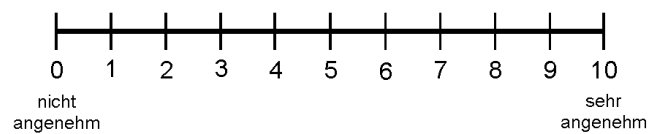
Forschungsprojekt Veronika Schrödi
Universität Freiburg

Fragen zum Sprech- und Atemkomfort

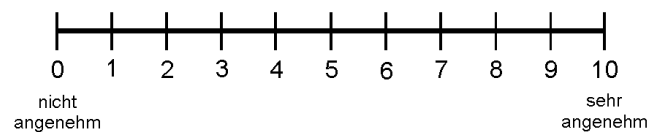
Da die Betroffenen häufig in der Motorik der Arme eingeschränkt sind, werden die Skalen den Patientinnen und Patienten nur visuell (laminiert) vorgelegt. Sie sollen dann einen entsprechenden Zahlenwert wählen und nennen. Die von ihnen genannten Werte werden von der Versuchsleitung direkt in den CRF eingetragen.

Nun geht es darum, wie angenehm der eben getestete Modus beim Sprechen und Atmen für Sie war:

In diesem Modus zu sprechen ist



In diesem Modus zu atmen ist



Anhang H

Abstand der beiden Untersuchungstermine

Tabelle H

Abstand zwischen den beiden Untersuchungsterminen in Tagen

Pbn	 T2 – T1
P01	4
P02	1
P03	3
P04	0
P05	1
P06	1
P07	1
P08	1
P09	0
P10	1

Anmerkungen. Pbn. = Probanden; T = Untersuchungstermin.

Anhang I

Menge der in der Schluckendoskopie verabreichten Boli

Tabelle I

Anzahl der in der Schluckendoskopie verabreichten Boli pro Modus und Konsistenz

Pbn	OVB		MVB		MVS	
	Boli brei	Boli flüssig	Boli brei	Boli flüssig	Boli brei	Boli flüssig
P01	3	1	3	1	2	1
P02	3	3	3	3	3	3
P03	3	3	3	3	3	3
P04	3	1	3	3	3	2
P05	3	3	3	3	3	3
P06	3	3	3	3	3	3
P07	3	1	1	1	3	3
P08	3	2	3	3	3	3
P09	3	3	3	3	3	3
P10	3	3	3	3	3	3

Anmerkungen. Pbn. = Probanden; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Anhang J

Auswertung der Schluckendoskopien

Tabelle J.

Auswertung der Schluckendoskopien mit jeweiligem Trachealkanülen-Beatmungs-Modus, zugehöriger Konsistenz und zugeteilter Reihenfolge der primären Auswertung (randomisiert) sowie Auswertung und Randomisierung für die Intra-Rater-Reliabilität (1–15)

Pbn	Modus	Kons.	Primäre Auswertung				Auswertung Intra-Rater-Reliabilität			
			Rand. 1	PAS	YS V	YS S	Rand. 2	PAS 2	YS V 2	YS S 2
P01	MVB	brei	59	7	2	2	20			
P01	MVB	flüssig	4	7	4	2	19			
P01	MVS	brei	6	8	2	2	13	8	2	2
P01	MVS	flüssig	30	8	2	2	58			
P01	OVb	brei	23	7	3	3	22			
P01	OVb	flüssig	10	7	3	2	16			
P02	MVB	brei	54	2	2	2	51			
P02	MVB	flüssig	18	2	3	3	53			
P02	MVS	brei	49	2	2	3	40			
P02	MVS	flüssig	16	2	3	3	6	2	3	4
P02	OVb	brei	46	2	4	3	15	2	4	3
P02	OVb	flüssig	2	2	4	2	28			
P03	MVB	brei	48	3	3	3	43			
P03	MVB	flüssig	24	3	3	3	8	3	2	3
P03	MVS	brei	51	3	3	4	14	3	3	3
P03	MVS	flüssig	15	3	3	2	49			
P03	OVb	brei	58	3	3	4	21			
P03	OVb	flüssig	43	3	3	4	54			
P04	MVB	brei	41	2	2	2	2	2	2	2
P04	MVB	flüssig	21	5	2	2	50			
P04	MVS	brei	52	2	2	2	44			
P04	MVS	flüssig	22	8	2	2	18			
P04	OVb	brei	44	7	3	3	37			
P04	OVb	flüssig	14	7	2	2	56			
P05	MVB	brei	47	1	2	3	39			
P05	MVB	flüssig	34	1	2	4	29			
P05	MVS	brei	57	1	2	2	25			
P05	MVS	flüssig	60	1	2	3	26			
P05	OVb	brei	40	1	2	2	46			
P05	OVb	flüssig	7	1	3	3	23			

Anmerkungen. Pbn = Proband; Kons. = Konsistenz; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; OVb = ohne Ventil beatmet; Rand. = Randomisierung Reihenfolge; PAS = Penetrations-Aspirations-Skala (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014); YS V = Yale-Scale Valleculae; YS S = Yale-Scale Sinus piriformes (Gerschke et al., 2019).

Fortsetzung Tabelle J.

Auswertung der Schluckendoskopien mit jeweiligem Trachealkanülen-Beatmungs-Modus, zugehöriger Konsistenz und zugeteilter Reihenfolge der primären Auswertung (randomisiert) sowie Auswertung und Randomisierung für die Intra-Rater-Reliabilität (1–15)

Pbn	Modus	Kons.	Primäre Auswertung				Auswertung Intra-Rater-Reliabilität			
			Rand. 1	PAS	YS V	YS S	Rand. 2	PAS 2	YS V 2	YS S 2
P06	MVB	brei	9	1	1	1	59			
P06	MVB	flüssig	28	1	2	2	31			
P06	MVS	brei	13	2	2	2	47			
P06	MVS	flüssig	37	1	2	2	48			
P06	OVb	brei	36	1	2	2	57			
P06	OVb	flüssig	38	1	2	2	45			
P07	MVB	brei	29	2	5	5	9	2	5	5
P07	MVB	flüssig	26	2	3	3	3	2	3	3
P07	MVS	brei	42	2	5	3	52			
P07	MVS	flüssig	33	2	3	5	42			
P07	OVb	brei	12	2	5	4	30			
P07	OVb	flüssig	25	2	5	4	7	2	5	4
P08	MVB	brei	31	1	1	1	33			
P08	MVB	flüssig	20	1	2	2	4	1	2	3
P08	MVS	brei	5	1	2	2	10	1	2	2
P08	MVS	flüssig	3	1	1	2	12	1	1	2
P08	OVb	brei	19	1	1	2	27			
P08	OVb	flüssig	17	1	3	2	24			
P09	MVB	brei	53	2	3	4	34			
P09	MVB	flüssig	50	2	3	3	1	2	3	3
P09	MVS	brei	39	2	3	4	36			
P09	MVS	flüssig	55	1	2	3	60			
P09	OVb	brei	45	1	4	4	35			
P09	OVb	flüssig	35	2	3	3	11	2	3	3
P10	MVB	brei	8	1	4	2	17			
P10	MVB	flüssig	56	1	3	3	41			
P10	MVS	brei	11	2	4	2	32			
P10	MVS	flüssig	27	1	3	3	5	1	3	3
P10	OVb	brei	32	1	4	2	38			
P10	OVb	flüssig	1	1	3	4	55			

Anmerkungen. Pbn = Proband; Kons. = Konsistenz; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; OVb = ohne Ventil beatmet; Rand. = Randomisierung Reihenfolge; PAS = Penetrations-Aspirations-Skala (Hey, Pluschinski, Zaretsky et al., 2014); YS V = Yale-Scale Valleculae; YS S = Yale-Scale Sinus piriformes (Gerschke et al., 2019).

Anhang K

Messdaten zum Peak Cough Flow und zur forcierten Lungenkapazität

Tabelle K

Einzelmessungen zum Peak Cough Flow und zur forcierten Lungenkapazität in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Willkürlicher Peak Cough Flow (PCF) in ml/min									
Pbn	OVB			MVB			MVS		
	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.
P01	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
P02	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
P03	65	70	70	110	110	105	120	110	60
P04	< 50	55	< 50	65	< 50	70	< 50	50	55
P05	110	125	120	80	60	70	90	95	105
P06	< 50	< 50	< 50	95	105	120	115	80	60
P07	150	160	190	130	160	150	240	210	250
P08	80	60	80	125	90	150	110	140	110
P09	60	65	< 50	60	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
P10	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50

Forcierte Lungenkapazität (FVC) in ml									
Pbn	OVB			MVB			MVS		
	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.
P01	2250	3030	3130	240	3620	3200	230	640	840
P02	1100	1800	2800	1250	760	1050	460	590	480
P03	1500	1500	1500	1080	1250	1300	950	890	700
P04	620	570	610	760	850	810	310	520	390
P05	530	660	700	1290	1210	1340	1290	1300	1300
P06	590	270	700	850	850	770	890	680	460
P07	2430	2290	2540	2480	3040	3000	2630	2810	2860
P08	1710	4110	1840	3180	3410	3180	1590	1900	1950
P09	1200	780	640	860	1040	1170	1200	780	640
P10	650	620	550	520	480	370	240	450	280

Anmerkungen. Pbn = Probanden; M. = Messung; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend.

Anhang L

Messdaten zur Sprechaufgaben der Maximalleistung

Tabelle L1

Messdaten zur maximalen Tonhaltedauer in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Pbn	Maximale Tohnahltedauer auf /a/ in s								
	OVb			MVB			MVS		
	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.
P01	3.20	5.50	2.82	2.70	6.89	5.29	5.16	3.48	4.24
P02	1.85	1.49	1.67	4.36	4.29	4.32	3.54	2.48	2.55
P03	2.32	2.67	1.96	2.94	3.42	-	3.35	3.82	3.72
P04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P05	4.71	3.08	3.03	6.89	7.81	6.99	5.73	5.56	6.37
P06	0.27	0.32	0.27	2.58	2.15	1.09	1.17	1.29	0.80
P07	2.38	3.06	3.36	3.21	3.91	3.58	5.14	5.35	3.93
P08	3.11	1.24	1.33	8.22	8.52	7.38	17.97	16.13	16.04
P09	1.90	1.41	1.46	2.00	1.95	2.05	1.13	1.50	1.25
P10	3.04	2.93	2.43	4.77	6.67	7.88	3.09	3.04	3.05

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVb = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; M. = Messung.

Tabelle L2

Messdaten zur maximalen Lautstärke in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Pbn	Maximale Lautstärke in dB								
	OVb			MVB			MVS		
	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.
P01	78	83.3	85	72.4	74.6	68.9	84.6	79.9	79.7
P02	81.8	82.5	76.4	62.2	81.3	81.6	63.2	56.3	77
P03	77.4	83.7	89.3	85.9	82.8	83.8	81.6	81.2	81.2
P04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P05	79.9	78.4	78	85.5	85	79.7	86.7	86.2	90.7
P06	77.6	77.4	56.3	84.8	87.6	85.6	75.8	76.2	77.1
P07	84.5	85.1	75.3	77.2	82.6	77.6	78.5	77.2	79.9
P08	94	88.2	88.6	95.4	94.9	91.8	102.2	97.3	95.8
P09	49	79.9	76.1	73.9	77	75.8	79.6	51.6	49.1
P10	62.3	57.8	68.3	80.9	82.8	87	59.6	59.2	66.3

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVb = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; M. = Messung.

Tabelle L3

Messdaten zur maximalen Anzahl an Silbenwiederholungen in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Pbn	Maximale Anzahl an Silbenwiederholungen								
	OVB			MVB			MVS		
	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.	1. M.	2. M.	3. M.
P01	7	6	9	7	9	6	8	9	6
P02	2	5	4	13	12	14	5	7	11
P03	3	7	9	5	7	9	7	5	6
P04	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P05	6	9	8	11	8	8	9	8	8
P06	1	1	1	3	2	4	2	1	1
<i>P07</i>	<i>10</i>	<i>9</i>	<i>9</i>	-	-	-	<i>19</i>	<i>16</i>	<i>23</i>
P08	3	3	4	24	35	28	12	20	14
P09	4	5	5	6	4	4	4	4	4
P10	7	7	6	3	3	6	2	2	2

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; M. = Messung.

Kursiv gedruckte Messdaten wurden wegen fehlender Daten nicht in die Analysen einbezogen.

Anhang M

Auswertung Lesen

Tabelle M

Die ermittelten Parameter beim Lesen eines Textes in den drei Trachealkanülen-Beatmungs-Modi

Pbn	Lesen «Der Nordwind und die Sonne»														
	OVB					MVB					MVS				
	Lesedauer (s)	Silben gesamt (n)	Silben aphon (n)	Sprechphrasen (n)	fehlende Phrasenpausen (n)	Lesedauer (s)	Silben gesamt (n)	Silben aphon (n)	Sprechphrasen (n)	fehlende Phrasenpausen (n)	Lesedauer (s)	Silben gesamt (n)	Silben aphon (n)	Sprechphrasen (n)	fehlende Phrasenpausen (n)
P01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P02	102.1	166	53	23	6	70.3	181	2	28	5	69.0	181	0	39	0
P03	62.1	177	0	25	4	60.9	177	0	22	8	68.0	186	0	30	2
P04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P05	56.8	178	0	22	4	52.9	185	0	15	4	58.4	182	0	24	0
P06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P07	66.6	175	0	17	8	-	-	-	-	-	60.7	181	0	12	11
P08	71.8	189	0	35	5	68.2	189	0	14	12	67.7	192	0	18	8
P09	69.3	178	0	26	4	68.2	178	0	22	10	75.4	178	0	36	2
P10	66.9	178	0	24	3	67.6	185	0	19	4	105.2	181	0	48	0

Anmerkungen. Pbn = Probanden; OVB = ohne Ventil beatmet; MVB = mit Inlineventil beatmet; MVS = mit Sprechventil spontanatmend; fehlende Phrasenpausen = fehlende Pausen an Phrasenenden mit Satzzeichen oder der Konjunktion *und*.

Kursiv gedruckte Messdaten wurden wegen fehlender Daten nicht in die Analysen einbezogen. Die Anzahl an Pausen ist in der Tabelle indirekt vorhanden, da die Anzahl der Sprechphrasen der Anzahl an Pausen plus eins entspricht.

Danksagung

Auf dem Weg von der Idee bis zur Fertigstellung dieser Arbeit wurde ich von zahlreichen Menschen begleitet, ohne deren Unterstützung mir der Atem ausgegangen wäre.

In erster Linie habe ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Erich Hartmann zu danken, der mir diese Chance gegeben, sich auf dieses Vorhaben eingelassen, die Durchführung tatkräftig gefördert und mich mit seinen fachlichen Anregungen unterstützt hat.

Weiter danke ich Herrn Prof. Dr. med. Eberhard Seifert, dass er sich über seine beruflichen Verpflichtungen hinaus für die Gutachtertätigkeit dieser Dissertation zur Verfügung gestellt hat.

Bei der Durchführung der klinischen Studie habe ich in diversen Formen Unterstützung von Kolleginnen und Kollegen des Schweizer Paraplegiker-Zentrums in Nottwil erfahren. Ein grosser Dank gilt insbesondere Hans Schwegler, der viele meiner fachlichen Vorüberlegungen teilte und ohne dessen grosszügige Hilfe diese empirische Arbeit überhaupt nie entstanden wäre. Ebenfalls danke ich seinem ganzen Logopädie-Team, dem Respi-Team und dem IVM-Team im Paraplegiker-Zentrum in Nottwil, sowie Dr. med. Kathrin Degenhardt für die Mithilfe bei der Durchführung dieser Studie. Überdies bin ich dankbar für die Unterstützung und fachliche Beratung der Clinical Trial Unit und dem Team rund um Dr. Gabi Müller Verbiest, Dr. Angela Frotzler und Dr. med. Michael Baumberger. Vor allem möchte ich mich von Herzen bei all den Patienten bedanken, die trotz ihrer gesundheitlichen Situation als Probanden bei dieser Studie mitgewirkt haben.

Weiter bin ich sehr froh um den Austausch mit den vielen Kolleginnen und Kollegen am Departement für Sonderpädagogik, die mich in diesen Jahren begleitet haben, ich danke vor allem Isabelle Züger-Kälin, Dr. Xenia Müller, Dr. Julia Winkes und Dr. Christoph Till, zudem Dr. Verena Hofmann für die statistische Beratung.

Bei Dr. Monika Stelling möchte ich mich für das akribische Aufspüren von Fehlern und den sprachlichen Feinschliff bedanken.

Dem Paraplegiker Zentrum Nottwil und der Stiftung Heilpädagogisches Zentrum Freiburg (CH) danke ich für die finanzielle Unterstützung.

Einen entscheidenden Beitrag haben auch meine Familie und mein Freundeskreis geleistet. Meinen Eltern danke ich, dass sie mir diesen Weg ermöglicht haben, Anna danke ich für den steten Rückhalt, Jutta verdanke ich mein Interesse, mein erstes Wissen und viel Berufserfahrung zu Dysphagien, Melanie danke ich für die vielen motivierenden Worte, für die Ratschläge einer Wissenschaftlerin sowie für die entspannten Verschnaufpausen und Yvonne danke ich herzlichst für diese tiefe Freundschaft und den Beistand in allen Lebenslagen. Äusserst dankbar bin ich zudem Vroni und Peter für die bedingungslose Unterstützung.

Für die andauernde Neuordnung von Prioritäten, den gegenseitigen Rückhalt, die Fokuslenkung auf die kleinen, faszinierenden Dinge im Leben sowie das Teilen von Glück und Freude danke ich meiner Familie – Markus, Selma und Jakob.

Veronika Schradi