

# Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Arts (B.A.)

## **Prāṇāyāma nach COVID-19**

**Können Lungenfunktionsparameter und der subjektive Gesundheitszustand durch eine vierwöchige Atemintervention verbessert werden? Eine explorative Prä-Post-Analyse.**

vorgelegt von

**Christian Mütze**

E-Mail: [stud.muetze@dba-baunatal.de](mailto:stud.muetze@dba-baunatal.de)

Matrikelnummer: **1019008**

Erstgutachterin: **Dr. Melina Schnitzius**

Zweitgutachter: **PD Dr. Holger Cramer**

eingereicht am: **29.07.2022**



## Versicherung an Eides statt

„Ich versichere hierdurch an Eides statt, dass ich diese Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Benutzung der angegebenen Quellen angefertigt habe. Wörtlich übernommene Textstellen, auch Einzelsätze oder Teile davon, sind als Zitate kenntlich gemacht.“

C. Mütze

---

Eigenhändige Unterschrift

## Zusammenfassung (Abstract)

### Ziel

Da eine Vakanz von Studien der Atemtherapie in Bezug auf Long- und Post-COVID-19 vorliegt, soll diese explorative Prä-Post-Analyse zeigen, ob Atemübungen die Lungenfunktionsparameter und den subjektiv-empfundene Gesundheitszustand Betroffener innerhalb von vier Wochen verbessern können.

### Methode

Es wurden 14 Proband:innen eingeschlossen, welche Atemübungen per Video über einen Zeitraum von vier Wochen ausgeführt haben. Bei der Prä- und Posttestung wurden die Lungenfunktionsparameter mit Hilfe der Spirometrie und die subjektiven Parameter mittels Fragebogen erfasst.

### Ergebnisse

Eine signifikante Verbesserung wurde bei der subjektiv-empfundene Lebensqualität, dem subjektiv-empfundene allgemeinen Gesundheitszustand, der subjektiv-empfundene physischen Belastbarkeit und dem Tiffeneau-Index als absoluter Zahlenwert in %, genauso wie beim %-Soll-Wert, festgestellt. Die Effektstärke  $d$  nach Cohen war bei den subjektiv-empfundene Parametern groß (0,8 bis 1,4), beim Tiffeneau-Index als Zahlenwert und in %-Soll mittelgradig (0,5). Neun Proband:innen (64,3%) haben eine subjektiv-empfundene Verbesserung des Gesundheitszustands in Verbindung mit den Atemübungen angegeben.

### Diskussion

Es ist zu vermuten, dass Atemübungen bis ca. 80 Tage (elfeinhalb Wochen) nach der Infektion am effektivsten sind. Diese Untersuchung hat verglichen mit einer Asthma-Meta-Analyse gezeigt, dass *prāṇāyāma* möglicherweise primär auf den Tiffeneau-Index einwirkt. Der gewählte Zeitraum ist für die Verbesserung von FEV1 und FVK zu gering. Es konnte nicht abschließend geklärt werden, ob dieser Zeitraum für eine Verbesserung des PEF-Werts ausreicht. Möglicherweise ist eine Verbesserung von FEV1, FVK und PEF durch die in dieser Untersuchung ausgewählten Atemübungen nicht möglich. Der Tiffeneau-Index ist der wichtigste Parameter zur Beurteilung von Ventilationsstörungen. Da jedoch kein LLN-Wert vorlag, ist die klinische Relevanz dieser Verbesserung kaum gegeben. Größere randomisiert-kontrollierte Studien, welche die Wirkungsmechanismen und -zeiträume besonders auch in Bezug auf Patient:innen mit LLN-Werten betrachten, müssen folgen.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Einführung .....	1
1.2 Definition von Yoga und Prāṇāyāma.....	2
1.3 Yoga und Prāṇāyāma heute.....	4
2. Theoretischer Teil.....	7
2.1 Das pulmonale System.....	7
2.1.1 Aufbau.....	7
2.1.2 Atemmechanik.....	8
2.1.3 Gasaustausch.....	10
2.1.4 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten.....	11
2.1.5 Lungenfunktionsdiagnostik mit der Spirometrie.....	13
2.2 Auswirkungen von Long- und Post-COVID auf die Lungenfunktionsparameter.....	17
2.3 Aktueller Forschungsstand zu Prāṇāyāma.....	20
2.4 Auswahl der Prāṇāyāma-Übungen für die Studie.....	23
3. Methodik.....	25
3.1 Ziel der Arbeit .....	25
3.2 Studiendesign.....	25
3.3 Erhebungsinstrumente.....	26
3.4 Stichprobe.....	26
3.5 Datenanalyse.....	27
4. Ergebnisse.....	29
4.1 Darstellung der Ergebnisse.....	29
4.2 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....	32
5. Diskussion.....	33
5.1 Interpretation der Ergebnisse.....	33
5.2 Stärken und Schwächen der Studie.....	34
5.3 Einordnung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand.....	35
5.4 Implikationen und Handlungsempfehlungen.....	37

6. Fazit und Ausblick.....	39
6.1 Kurze Zusammenfassung und Schlussfolgerung.....	39
6.2 Zukünftige Forschungsansätze.....	39
VIII. Literaturverzeichnis.....	41
IX. Anhang.....	49
IX.I Artikulationsschema.....	49
IX.II Anamnesebogen.....	50
IX.III Atem-Tagebuch.....	54

## Abkürzungsverzeichnis

6MWT	6-Minute-Walk-Distance-Test
AMV	Atemminutenvolumen
ATP(S)	Höhe über Normal-Null (Ambient), Umgebungstemperatur (Temperature), Luftdruck (Pressure) und Luftfeuchtigkeit (Saturation)
AZV	Atemzugvolumen
BMI	Body Mass Index
BTPS	Körper (Body), Umgebungstemperatur (Temperature), Luftdruck (Pressure) und Luftfeuchtigkeit (Saturation)
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease
CT	Computertomografie
DLCO	Diffusion Capacity of the Lungs for Carbon Monoxide (CO)
ERV	Expiratorisches Reservevolumen
FEF <sub>25%-75%</sub>	forcierte expiratorische Flüsse bei 25–75 % der expirierten Vitalkapazität
FEV1	Forced expiratory volume in 1 second (Einsekundenkapazität: Spitzengeschwindigkeit der ausgeatmeten Luft in 1 Sekunde)
FEV1/ FVK	Einsekundenkapazität in Prozent der Vitalkapazität, auch: Tiffeneau-Index
FVK	forcierte expiratorische Vitalkapazität
GZ	Gesundheitszustand
IK	Inspirationskapazität
IRV	Inspiratorisches Reservevolumen
LFP	Lungenfunktionsparameter
LLN	Lower Limit of Normal
LQ	Lebensqualität
M.	Musculus
Mm.	Musculi

MVV	Atemgrenzwert (englisch: Maximum Voluntary Ventilation)
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
PB	physische Belastbarkeit
PEF	Peak Expiratory Flow (Spitzengeschwindigkeit der ausgeatmeten Luft)
PFT	Pulmonale Funktionstests
PR	Pulmonale Rehabilitation
PRED	predicted (Prozentsatz (%) der vorhergesagten Soll-Werte)
RV	Residualvolumen
TK	Totalkapazität
VK	Vitalkapazität

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b> Lungenkapazität im Volumen-Zeit-Verlauf.....	12
<b>Abbildung 2</b> Lungenkapazität in der Fluss-Volumen-Kurve.....	12
<b>Abbildung 3</b> Ablauf der Spirometrie.....	15
<b>Abbildung 4</b> Standardisierte Anweisungen an Patient:innen.....	15
<b>Abbildung 5</b> Perzentile und Z-Scores des Frequenzspektrums der Lungenfunktionsparameter der gesunden Referenzpopulation.....	16
<b>Abbildung 6</b> Krankheitszeichen: leichte, deutliche, schwere Obstruktion und Restriktion.....	17
<b>Abbildung 7</b> Zeitliche Veränderungen der Lungenfunktion nach einem schweren COVID-19-bedingten Krankenhausaufenthalt .....	18
<b>Abbildung 8</b> Individuelle Probandenwerte des allgemeinen Gesundheitszustands, der aktuellen Lebensqualität und der physischen Belastbarkeit bei Prä- und Posttestung.....	30
<b>Abbildung 9</b> Individuelle Proband:innenwerte des Tiffeneau-Index in % und Tiffeneau-Index in %-Soll bei Prä- und Posttestung.....	30
<b>Abbildung 10</b> Subjektiv-empfundene Parameter bei Post-Testung.....	31

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b> Erhobene subjektiv-empfundene und objektiv-messbare Parameter als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung (n=14).....	29
<b>Tabelle 2</b> Kausalität zwischen Abnahme der subjektiven Intensität und der subjektiven Verbesserung des Gesundheitszustands durch die Intervention.....	31



# 1. Einleitung

Im Nachfolgenden wird die Relevanz des Themas aufgezeigt, Yoga und Prāṇāyāma definiert und in den heutigen Kontext eingeordnet.

## 1.1 Einführung

Seit dem erstmalig bekannten Auftreten des SARS-CoV-2-Erregers (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*) im Dezember 2019 in Wuhan, China hat sich die Infektionskrankheit COVID-19 weltweit ausgebreitet. Die WHO (*World Health Organization*) hat daraufhin einen internationalen Gesundheitsnotstand am 20. Januar und eine Pandemie am 11. März 2020 ausgerufen. Diese hat zu weitreichenden internationalen Veränderungen im gesundheitlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Leben geführt. Die meisten Menschen erholen sich dabei ohne einen Krankenhausaufenthalt von der Infektion. Bis Mitte Juni 2022 wurden über 538.758.515 Infizierte und 6.318.331 Verstorbene an oder mit COVID-19 ermittelt (COVID-19 Dashboard, 2022).

Risikogruppen, welche von einem potenziell stärkeren Krankheitsverlauf betroffen sind, wurden neben Menschen aus medizinischen und anderen *systemrelevanten* Berufen, bei Schutzmaßnahmen und Impfungen priorisiert. Erhöhte Risikofaktoren sind: „ein hohes Lebensalter, Vorerkrankungen (Diabetes mellitus, Organtransplantationen, Herzinsuffizienz, Demenz, chronische Nierenerkrankungen, Down-Syndrom oder eine starke Adipositas (Body Mass Index (BMI) > 40))“, sowie Vorerkrankungen mit moderat erhöhten Risikofaktoren: „psychiatrische Erkrankungen, Herzrhythmusstörungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Schlaganfall, Krebserkrankungen, Asthma oder COPD (Chronisch obstruktive Lungenerkrankung)“ (Rommel et al., 2021, S. 3). Die WHO teilt die Symptome der COVID-19-Infektion in drei Kategorien ein: 1. die häufigsten: „Fieber, Husten, Müdigkeit, Verlust von Geschmack und Geruch“, 2. weniger häufige: „Halsschmerzen, Kopfschmerzen, Schmerzen und Unwohlsein, Durchfall, Ausschlag auf der Haut oder Verfärbung der Finger oder Zehen, rote oder gereizte Augen“, 3. schwerwiegende: „Atembeschwerden oder Kurzatmigkeit, Verlust der Sprache oder Mobilität oder Verwirrung, Schmerzen in der Brust“ (Coronavirus disease (COVID-19), 2022, S.1). Dabei wird der Erreger durch Aerosole (kleine Partikel) über die Luft übertragen, weshalb verschiedenen Empfehlungen, wie 1,5 m Abstand, dem Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes, dem regelmäßigen Lüften von Innenräumen, etc. von Wissenschaftler:innen ausgesprochen und von Politiker:innen durchgesetzt wurden. Nach umfassenden klinischen Prüfungen und beschleunigten bürokratischen Verfahren wurden im Dezember 2021 sukzessiv Impfstoffe von der Europäischen Arzneimittel Agentur EMA (European Medicines Agency) zugelassen. Wie die Übersicht der Median Klinik zeigt, können die Zahlen von Long-/ Post-

COVID-Betroffenen stark schwanken (Überblick zu Long Covid Studien und Statistiken, 2022). Aufgrund einer unzureichenden Studienlage (siehe 2.2) besonders im Bezug auf respiratorische Symptome, soll die vorliegende Arbeit diese Problematik aufgreifen und beleuchten. Um die Lesbarkeit dieser Arbeit zu vereinfachen, wird von COVID gesprochen, gemeint ist dabei immer COVID-19, welches durch den SARS-CoV-2-Erreger ausgelöst wird.

## 1.2 Definition von Yoga und Prāṇāyāma

Im Folgenden werden einige wenige ausgewählte Definitionen aufgeführt. Eine allumfassende Definition und philologisch-historische Einordnung würde jedoch den Rahmen dieser Einleitung sprengen. Die Sanskrit-Wörter werden in dieser Arbeit allgemein im *International Alphabet of Sanskrit Transliteration*, dem wissenschaftlichen Standard wiedergegeben. Yoga und Prāṇāyāma werden dabei immer großgeschrieben, wenn diese genauer definiert sind (z.B. Yoga-Stunde) und kleingeschrieben, wenn der Sanskrit-Begriff ohne eine genau definierte Bedeutung Verwendung findet. Wörtliche Zitate sind davon ausgenommen.

Das Wort *Yoga* (योग) stammt von der Sanskrit Verbalwurzel *yuj* (युज्) und bedeutet unter anderem *anschirren, verbinden, einen, den Geist konzentrieren oder fixieren, in Meditation verbunden sein und zusammenbringen* (yuj, 1899). Es ist eines der sechs klassischen Philosophiesysteme bzw. Weltanschauungen (*darśana*) Indiens. Die vermutlich früheste Yoga-Definition stammt aus der *kaṭha upaniṣad*, Kapitel 6 Vers 11 aus dem 3. Jahrhundert vor Christus, welcher von Olivelle (1998, S. 401) wie folgt übersetzt wurde: „Wenn die Sinne fest im Griff sind, das ist Yoga, so denken die Menschen. Von Ablenkungen ist der Mensch dann frei, denn Yoga ist sowohl das Werden als auch das Vergehen des Seins“.

Die *bhagavadgītā* aus dem 2. Jahrhundert definiert Yoga in Kapitel 2 Vers 48 und Vers 50. „Erfülle deine Pflicht gleichmütig, [...] indem du alle Anhaftung an Erfolg oder Misserfolg aufgibst. Solcher Gleichmut wird Yoga genannt [2.48]. Ein Mensch, der sich dem hingebungsvollen Dienst widmet, befreit sich sowohl von guten als auch von schlechten Reaktionen, sogar in diesem Leben. Deshalb strebe nach Yoga, welches die Kunst aller Arbeit ist [2.50]“ (Bhaktivedanta Swami Prabhupāda, 1972, S. 147 - 149). In diesem Text werden auch drei der fünf klassischen Yoga-Systeme genannt, welche alle zum Ziel der Erleuchtung führen sollen: *karmayoga* (Yoga der Handlung), *jñānayoga* (Yoga des Wissens) und *bhaktiyoga* (Yoga der Hingabe). Die berühmteste Definition findet sich im frühesten systematischen Yoga-Text, dem *yogasūtra* des *patañjali*, welches zusammen mit dem Kommentar (dem *bhāṣya*)

das *pātañjalayogaśāstra* bildet. Dies kann laut Maas (2006) auf das 4.-5. Jahrhundert datiert werden. Dies definiert den vierten Yoga-Weg: *rājayoga* (der königliche Yoga). Im Kapitel 1 Vers 2 heißt es: „Yoga ist das Aufhören aller Bewegungen im Bewusstsein.“ In Kapitel 2 Vers 29 wird dann der achtgliedrige (*aṣṭāṅga*) *Yoga* nochmals genauer durch fünf äußere und drei innere Glieder definiert: „Moralische Anweisungen, festgelegte Regeln, Körperhaltung, Atemregulation, Hinwendung der Sinne auf ihren inneren Ursprung, Konzentration, Meditation und Versenkung des Bewusstseins in das Selbst sind die acht Glieder des Yoga“ (Iyengar & Lehner, 2010, S. 83 & 177). Zu guter Letzt ist noch der *haṭhayoga* als fünftes klassisches Yoga-System zu nennen, welches in verschiedenen Texten genannt wird und zu dem vorher eher meditativem Yoga, nun sehr detaillierte Beschreibungen für Körperhaltungen (*āsana*), Atemübungen (*prāṇāyāma*), Handstellungen (*mudrā*), die gezielte Anspannung von Muskeln (*bandha*) und der Versenkung bzw. Erleuchtung (*samādhi*) hinzugibt.

*Prāṇāyāma* (die Kontrolle bzw. Erweiterung des Atems) ist ein zentraler Teil der Yoga-Praxis, seit der frühesten Beschreibung von Yoga-Techniken, welche als Übung der Atemanhaltung bereits dem Buddha (*siddhārtha gautama*) bekannt waren und besonders im *haṭhayoga* Bedeutung finden. Heutzutage sind es besonders die physischen Aspekte, welche hervorgehoben werden. Im vormodernen Indien waren es allerdings jene Praktiken der Atem- und Meditationstechniken (Mallinson & Singleton, 2017). Dabei wird die Praxis der Atemveränderung in Indien oft mit *tapas* (asketischen Praktiken) in Verbindung gesetzt, im Westen werden diese oft weniger intensiv und mit mehr Fokus auf gesundheitlichen Aspekten, im Gegensatz zur Erleuchtung als Endziel, praktiziert. Traditionell gilt *prāṇa* als Lebensenergie, welche durch die gezielte Kontrolle bzw. Erweiterung (*āyāma*) praktiziert wird, um den energetischen Körper (*prāṇamayakoṣa*) mit seinen Energiebahnen (*nāḍī*) zu verstehen und zu kontrollieren. Dadurch sollen auch die anderen Körper (*pañcakōṣā*) in ein Gleichgewicht gebracht werden.

In Kapitel 2 Vers 44 der *haṭhapradīpikā* werden acht *kumbhaka* (Atemanhaltungen) genannt, wovon zwei (*ujjāyī* und *bhrāmarī*) in modifizierter Form auch Anwendung in dieser Arbeit finden (Muktibodhananda, 2013). Diese Übungen werden *sahitaprāṇāyāma* genannt, wenn diese durch bewusste Anstrengung praktiziert werden. So wird *prāṇāyāma* aus der vorherigen reinen Atemanhaltung in ein von Atemtechniken (mit In- und Exhalation) begleitetes Atemanhalten verwandelt (Mallinson & Singleton, 2017). Die Atmung wird dabei allgemein in vier Kategorien unterteilt: Einatmung (*pūraka*), Einatmung mit Atemanhaltung (*antarakumbhaka*), Ausatmung (*recaka*) und Ausatmung mit Atemanhaltung (*bāhyakumbhaka*). Eine Atemübung, welche all diese vier Kategorien verbindet, ist *samavṛtti*, die gleichlange Bewegung (der Atmung), auch als Box- oder Kastenatmung bekannt. *Prāṇāyāma*, wie wir es heute kennen, wird in Kapitel 2 Vers 44 & 71 der *haṭhapradīpikā*, wie oben erläutert, beschrieben.

Somit lässt sich die Altersbestimmung auf das 15. Jahrhundert datieren, was bedeutet, dass *prāṇāyāma* etwa zwischen 522 und 621 Jahre alt sein muss.

### 1.3 Yoga und Prāṇāyāma heute

Im Jahr 2022 gibt es über 300 Millionen Yoga-Praktizierende, 36 Millionen (82,2% weiblich, 17,8% männlich) allein in den U.S.A., nahezu eine Verdoppelung innerhalb des letzten Jahrzehnts. Die Yoga-Industrie ist mit einem weltweiten Wert von über 88 Milliarden Dollar eine der am stärksten wachsenden Wirtschaftszweige mit einem geschätzten Wert von über 215 Milliarden Dollar im Jahr 2025 (Jeong, 2022). Auch in Deutschland ist eine steigende Tendenz zu sehen. Laut einer repräsentativen Studie des Berufsverbands der Yogalehrenden in Deutschland e.V. praktizierten im Jahr 2014 3% der Deutschen *yoga*, 2018 bereits 5%. *Yoga* ist besonders bei Personen mit höherer Schulbildung sowie unter Beamten und Angestellten beliebt und wurde 2018 von jeder vierten in Deutschland lebenden Person in Betracht gezogen (Yoga in Zahlen, 2018). Singleton (2010) beschreibt in seinem Buch *Yoga Body* die westlichen Einflüsse der Gymnastiksysteme des frühen 20. Jahrhundert auf das kolonisierte Indien, welche die Entwicklung des modernen *yoga* beeinflusste.

Das *Postural Yoga* der bekannten Yogameister und die Yogaphilosophie basierend auf indischen und nicht indischen Weltanschauungen wurden besonders in der westlichen Welt (in Deutschland erstmals ab den 1930er Jahren) von Esoterik, Körperkulturbewegung, New Age und verschiedenen Achtsamkeitsströmungen beeinflusst, sodass sich die Yoga-Praxis immer mehr auf erfahrungs- und alltagsorientiertes Erleben ausgerichtet hat. Durch fehlende Sanskrit-Kenntnisse und der dadurch entstehenden Abhängigkeit auf vorgefertigte Übersetzungen und einer soziohistorischen Loslösung des Kontextes erfährt beispielsweise nur das *yogasūtra*, abgekoppelt vom *bhāṣya*, große Bekanntheit (Ostrowski, 2022). Trotz dessen werden immer mehr private Anbieter für akademische Yogakurse (in Geschichte, Philosophie und Sanskrit) international wie Seth Powell mit *yogic studies* oder national wie Corinna Lhoir mit *Yogastudien*, bekannt.

Die Philosophie, wie die des *yoga*, welche große Entfaltungsmöglichkeiten und Freiheiten einräumt, wird oft als Gegenbewegung zur fremdbestimmten, institutionalisierten Religion verstanden, welche keinen direkt-erlebbaeren Zugang, wie beispielsweise in einer körperzentrierten Yoga-Praxis, schafft. Dabei muss sich *Yoga* neben anderen Bewegungsformen wie Pilates behaupten, sodass sich dieser als Alleinstellungsmerkmal immer mehr auch als Lebensphilosophie positioniert (Ostrowski, 2022).

Ostrowski (2022, S. 420 - 424) führt weiter aus, dass *Yoga*:

eine psychosomatische, als holistisch wahrgenommene und innerweltliche Arbeit am Selbst [bietet] und evoziert einen spiritualisierten, verkörperten, ästhetischen Lebensstil [, sodass] in einer sich sehr schnell wandelnden Zeit [...] für manche ein anpassungsfähiges, dynamisches Weltanschauungssystem - das in vielfältiger Hinsicht zu einem Teil des Selbst geworden ist - lebensweltliche Orientierung bedeute[t, denn] es scheint aktuell kein gesellschaftlicher Träger für das zu existieren, was Yogaphilosophie bereitstellt - einen explorativen Raum der Selbsterkundung, den regelmäßigen und systematischen Austausch mit Gleichgesinnten über »Gott und die Welt«, die Reflexion über ethische und gesellschaftliche Dilemmata sowie über den Umgang mit den Schwierigkeiten des Alltags und die Entwicklung effektiver Selbsttechniken.

Deshalb gilt es zu vermuten, dass durch die gesellschaftliche Akzeptanz und das Interesse bzw. die Bekanntheit von *yoga* und/oder *prāṇāyāma* bei COVID-Betroffenen durch ein niedrigschwelliges Angebot auf rege Partizipation stoßen kann. Dies sollte bei der Schaffung von Angeboten seitens der Krankenkassen berücksichtigt werden.

Die Forschungsgebiete der rezenten Yogaforschung können wie folgt untergliedert werden: 1. in die philologische Erschließung indischer Yogatexte [...], 2. in die historische Beforschung vormoderner und moderner Formen von Yoga und 3. in eine sozialwissenschaftlich-empirische Forschung über heutiges Yoga, die häufig auch religionswissenschaftlich informiert ist. (Ostrowski, 2022, S. 11).

Als Viertes ist noch die naturwissenschaftlich-gesundheitsorientierte ((bio)medizinische, neurowissenschaftliche, sportwissenschaftliche und psychologische Beforschung) des *yoga* zu nennen, welche vermutlich auch durch ein zunehmendes Interesse an Yoga-Therapie angetrieben wird. Ostrowski (2022, S. 17 & 18) nennt in Bezug auf die neurowissenschaftliche Beforschung „konzentrierte, meditative und ethische Methoden“, sowie bei der neurowissenschaftlichen und psychologischen Beforschung den Bereich von „Bewusstsein und Achtsamkeit“. Aber auch die allgemeine medizinische Beforschung von *prāṇāyāma* und *āsana*, bzw. das komplette Yoga-System (Atmung, Körperhaltung und Meditation) bei Nacken- und Rückenschmerzen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und anderen Zivilisationserkrankungen wird immer mehr von Forscher:innen aus dem Gesundheitsbereich, wie Holger Cramer, einem der führenden naturwissenschaftlich-gesundheitsorientierten Yoga-Forscher:innen, ausgefüllt.

De Michelis (2007) führte bereits vor 15 Jahren aus wie *Postural Yoga* seit des letzten Jahrhunderts von naturwissenschaftlicher Seite immer mehr erforscht wurde und diese sich gemeinsam mit anderen Inhalten wie die der Salutogenese als *Mind-Body-Medicine* etablierte. Hier ist besonders Andreas Michalsen als Experte zu nennen, welcher sich in seiner Arbeit auch mit *yoga* im

gesundheitlichen Kontext beschäftigt. *Prāṇāyāma* und Meditation (*dhyāna*) sind dabei besonders im mentalen Bereich (Psychologie, Neurowissenschaften) angesiedelt, *āsana* wird hingegen oft eher bei physischen Beschwerden eingesetzt. Die Komplexität aus Atmung, Meditation und Bewegung erschwert eine gezielte Untersuchung nach einzelnen Wirkmechanismen.

*Prāṇāyāma* wird dabei in Yoga-Stunden oder als eigenständige Praxis (beispielsweise in Atemworkshops), je nach Zielsetzung, unterrichtet. Yoga-Inhalte werden sowohl online live oder asynchron als Video wie auch offline in Kursen, Workshops, Retreats, Aus- und Weiterbildungen angeboten. Hatha-Yoga-Kurse können auch von der Zentralen Prüfstelle Prävention (ZPP) zertifiziert werden, so dass Teilnehmenden bis zu zweimal im Jahr einen Teil der Kosten erstattet werden kann.

Durch diese explorative Prä-Post-Analyse soll gezeigt werden, ob *prāṇāyāma* für die Verbesserung der Lungenfunktionsparameter (LFP) und dem subjektiven Gesundheitszustand in Zukunft eingesetzt werden kann. Es werden die LFP durch die Spirometrie und das subjektive Gesundheitsempfinden durch Fragebögen erhoben, um diese nach der Intervention zu vergleichen. Dabei wird auch geprüft, ob ein Zeitraum von vier Wochen ausreicht, um eine signifikante Veränderung festzustellen.

## 2. Theoretischer Teil

Im Folgenden wird das pulmonale System erläutert, allgemeine Auswirkungen von Long- und Post-COVID auf die LFP zusammengefasst, der aktuelle Forschungsstand zu *prāṇāyāma* wiedergegeben und mit diesen Erkenntnissen die Auswahl der Prāṇāyāma-Übungen für die Studie begründet.

### 2.1 Das pulmonale System

Der Körper gewinnt seine Energie durch die Verbrennung von Nährstoffen. Bei diesem Vorgang ist dieser auf Sauerstoff (O<sub>2</sub>) angewiesen. Beim oxidativen Abbau entsteht Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>). Die Lunge (lateinisch *pulmo*) ist ein paariges Organ der Atmung im Thorax, welches durch Gasaustausch die Aufnahme von O<sub>2</sub> und Abgabe von CO<sub>2</sub> im Organismus ermöglicht. So wird ein Gleichgewicht zwischen der sauerstoffreichen Atmosphäre und den sauerstoffverbrauchenden Körperzellen geschaffen. Das Verständnis der anatomischen und physiologischen Gegebenheiten der Lunge sind die Grundvoraussetzung, die Pathophysiologie nach akuter COVID-Erkrankung und die daraus resultierende Krankheitsdynamik, zu verstehen. Darüber hinaus ist es essenziell die Untersuchungsmethoden, wie die Spirometrie, mit den entsprechenden Messwerten interpretieren zu können, um eine objektive Bewertung der Gesundheit bzw. Belastbarkeit der Lunge treffen zu können.

#### 2.1.1 Aufbau

Die Lunge verfügt über die oberen (Nase, Nasennebenhöhlen und Rachen) und die unteren Atemwege (Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien, Bronchiolen und Alveolen). Auf diesem Weg wird die einströmende Luft angefeuchtet, gereinigt und an die entsprechende Körpertemperatur angepasst, bevor diese in die Lungenbläschen (Alveolen) gelangt. Als Schutzmechanismus bewahrt der Hustenreflex im Kehlkopf die Lunge vor dem Eintritt von Fremdkörpern, wie Nahrung und Flüssigkeiten. Hier findet auch die Stimmbildung (Phonation) statt. Unterhalb des Kehlkopfs beginnt die Luftröhre, welche sich auf Höhe des vierten Brustwirbels in zwei Hauptbronchien teilt. Ein Hauptbronchus versorgt je eine Lungenhälfte. Die Lungenflügel werden durch Furchen in Lungenlappen unterteilt. Der rechte Lungenflügel setzt sich aus Ober-, Mittel- und Unterlappen und der linke Lungenflügel aus Ober- und Unterlappen zusammen. Diese werden rechts in zehn und links in neun Lungensegmente unterteilt. Die einzelnen Segmente bilden broncho-arterielle Einheiten. Die Abgrenzung ist besonders für Chirurg:innen wichtig, wenn eine solche Einheit erkrankt und einzeln entfernt werden muss. Beide Lungenflügel werden vom Lungenfell (*pleura visceralis*) umfasst. Zusammen mit dem Rippenfell (*pleura parietalis*),

welches die gesamte Thoraxinnenwand auskleidet, bilden diese das Brustfell (*pleura*). An der Lungenwurzel (*hilum pulmonis*) gehen beide ineinander über. Dort teilen sich auch die zwei Hauptbronchien in drei Lappenbronchien (*bronchi lobares*) in der rechten Lungenhälfte und zwei Lappenbronchien in der linken Lungenhälfte. Diese wiederum gabeln sich in Segmentbronchien auf und verzweigen sich anschließend weiter. Von der Luftröhre bis hin zu den Alveolen gibt es etwa 23 Aufteilungen. Da die Eigensteifigkeit der Bronchien durch mehr Knorpelanteile höher ist, bleiben diese auch bei einem Kollaps offen. Dieses Gebilde ähnelt einem umgedrehten Baum, weshalb man auch vom Bronchialbaum spricht. Zwischen Rippen- und Lungenfell befindet sich der Pleuraspalt, welcher mit seröser Flüssigkeit gefüllt ist, sodass diese voneinander getrennt bleiben und ein Gleiten der Lunge ermöglicht wird. Der dort vorliegende Unterdruck (intrapleuraler Druck) stellt sicher, dass die Lunge jeder Formveränderung des Brustkorbs folgt. Wird beispielsweise durch die Inspiration bei der Bauchatmung das Zwerchfell intensiver nach unten bewegt, kann sich das Atemvolumen zusätzlich in einen Reserveraum (*recessus pleurales*) ausdehnen. Die Alveolen bilden die kleinste Einheit im Bronchialbaum. In diesem Stützgerüst aus elastischen Fasern findet der Gasaustausch, die äußere Atmung, statt. Durch ca. 300 Millionen Lungenbläschen mit einem Durchmesser von etwa 0,2 mm (inspiratorisch: etwa 0,4 mm) steht eine Fläche von etwa 100 m<sup>2</sup>, nach vollständiger Inspiration, zur Verfügung. Bei physischer Inaktivität werden manche Alveolen nicht belüftet und auch weniger durchblutet (Euler-Liljestrand-Reflex), bis sich die Zugänge, durch gesteigerte physische Aktivität oder Fieber, wieder öffnen (Rutte & Sturm, 2017).

### 2.1.2 Atemmechanik

Jede Ein- und Ausatmung bewirkt eine Erweiterung und Verengung im Thorax. Im Ruhezustand kommt zu diesen zwei Phasen zusätzlich die Atemruhe hinzu. Diese Volumenveränderungen bilden die Grundlage des Atemvorgangs. Die unwillkürliche Steuerung dieser Vorgänge findet durch rückgekoppelte und nicht rückgekoppelte Atemreize im Atemzentrum der *medulla oblongata*, im zentralen Nervensystem, statt. Hauptsächlich werden diese Reize durch Partialdruck (CO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>) und die Veränderung des arteriellen PH-Wertes hervorgerufen. Chemorezeptoren können bei einem niedrigen pH-Wert, erhöhten Kohlenstoffdioxidgehalt oder einer niedrigen Sauerstoffsättigung im Blut gemessen und an das Atemzentrum übermittelt werden. Des Weiteren spielen Informationen von Dehnungsrezeptoren eine wichtige Rolle. Dehnungsrezeptoren in den Alveolen, und für die Feineinstellung in den *Mm. (Musculi) intercostales*, senden bei Dehnung Signale zur Ausatmung und bei Verkleinerung Signale zur Einatmung aus. Jede In- und Expiration wird so durch rhythmisch-wechselnde Impulsaussendungen, an die zu kontrahierenden Atem(hilfs)muskeln, ermöglicht. Bei motorischer Aktivität können darüber hinaus auch Signale durch die motorischen Rindenfelder miterregt werden (Menche, 2020). Physische Aktivität kann dabei genauso wie Schmerz- und Temperaturreize, psychische Reize, arterielle

Druckreize von Pressorezeptoren (z.B. nach Blutdruckabfall) und Hormone die Atmung verstärken (Faller & Schünke, 2008).

In Ruhe erfolgt die Inspiration aktiv durch das *Diaphragma* (Zwerchfell), eine breite, gewölbte Muskelplatte, welche durch Kontraktion nach unten absinkt. Durch die Vergrößerung im Thoraxinnenraum und den damit einhergehenden Druckausgleich, strömt Atemluft in die Lunge ein. Dieser Vorgang wird durch die Intercostalmuskulatur (*Mm. intercostales externi*) unterstützt, um das Anheben der Rippen nach außen und oben zu ermöglichen. Je größer der Durchmesser dieser Bewegung ist, desto mehr Luftvolumen gelangt in die Lunge. Diese Bewegung wird auch als Eimerhenkel-Bewegung bezeichnet. Bei der Einatmung wird durch den Unterdruck der interpulmonale Druck negativ. Atemluft strömt so lange ein, bis ein Druckausgleich zwischen interpulmonalem und atmosphärischem Druck stattgefunden hat. Weitere Atemhilfsmuskeln können eingesetzt werden, wenn *Punctum fixum* und *Punctum mobile*, z.B. durch das Aufstützen der Arme im *Kutschersitz*, vertauscht werden. Das sind bei der Inspiration: *Mm. scaleni*, *M. (Musculus) pectoralis major und minor*, *Mm. serrati posterioris und M. sternocleidomastoideus*.

Die Ausatmung in Ruhe erfolgt passiv durch das elastische Zusammenziehen des Brustkorbs. Neben den *Mm. intercostales interni* kann bei aufgerichteter Wirbelsäule die Schwerkraft das Absinken zusätzlich unterstützen. Für die forcierte Ausatmung mit Hilfe des intraabdominalen Druckes werden außerdem die expiratorischen Atemhilfsmuskeln (*M. rectus abdominis*, *Mm. obliqui externus et internus abdominis und M. transversus abdominis*) eingesetzt. Diese kommen beispielsweise bei Stuhlentleerung und Presswehen zum Einsatz. Bei der Ausatmung wird durch den Überdruck der intrapulmonale Druck positiv, bis der oben genannte Druckausgleich stattgefunden hat. Während die Atemluft die Atemwege passiert, entstehen laminare Strömungen (geradlinig, parallel zur Atemwegswand) mit einem geringen Atemwiderstand (*Resistance*) und turbulente Strömungen, welche den Atemwiderstand erhöhen. Die Luftwege von der Nase bis zu den Bronchien weisen mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm 90% des Atemwiderstandes auf. Die restlichen 10% finden durch laminare Strömungen in den Bronchien und Bronchiolen mit einem Durchmesser von weniger als 2 mm statt. Bei einer Obstruktion (Verengung der Atemwege) ist dieser Widerstand erhöht und erschwert die Ausatmung. Um bei dieser Problematik Erleichterung zu schaffen ist bei Asthmatiker:innen die Übung der *Lippenbremse* bekannt (Rutte & Sturm, 2017). Diese Strömungswiderstände müssen zusammen mit den elastischen Widerständen von Lunge und Brustkorb bei jedem Atemzug überwunden werden (Schwarz et al., 2021).

Es gibt neben den Brust- und Bauchatmungstypen auch eine kombinierte Form. Die Bauchatmung ist die natürliche Form der Atmung, welche auch bei Säuglingen durch die Horizontalstellung ihrer Rippen stattfindet. Durch zum Beispiel gesellschaftliche Schönheitsideale (*Bauch rein, Brust raus*) können Menschen die kognitive Verbindung zur Bauchatmung verlieren. Diese gilt in vielen ganzheitlichen Übungssystemen, wie *yoga* oder *Qigong*, als die natürliche Form der Atmung (Zalpour, 2016). Eine ökonomisierte Atmung zeichnet sich durch ein höheres Atemzugvolumen und eine niedrigere Atemfrequenz aus. Bei Hyperventilation wird beispielsweise größtenteils der anatomische Totraum belüftet. Durch eine Vertiefung der Atmung kann dann die alveoläre Ventilation gesteigert werden (Faller & Schünke, 2008).

### 2.1.3 Gasaustausch

Der Gasaustausch ist ein passiver physikalischer Vorgang, bei dem mit Hilfe der Diffusion von  $O_2$  und  $CO_2$  die äußere Atmung zwischen Umwelt und Organismus ermöglicht wird. Ziel ist dabei die Sauerstoffaufnahme und die Kohlenstoffdioxidabgabe des Körpers. Etwa  $\frac{1}{4}$  des Sauerstoffs findet Verwendung, dabei wird ca. 90% der Luft ungenutzt hin- und herbewegt (Zalpour, 2016). Bei der Inspiration gelangt Atemluft von der Luftröhre durch ungefähr 23 Aufteilungen zu den Alveolen und vermischt sich dort mit Alveolarluft. Die Alveolen sind von dünnen Blutgefäßen, den Kapillaren, netzartig umgeben. Diese werden in *Ruhekapillare* für die Dauerdurchblutung und *Arbeitskapillare*, welche nur bei erhöhtem Sauerstoffbedarf genutzt werden, unterteilt (Faller & Schünke, 2008). Durch Diffusion an der Blut-Luft-Schranke gelangt  $O_2$  von den Alveolen in die Kapillare. Diese wird durch das Alveolarendothel, die Basalmembran und das Kapillarendothel gebildet. Gase bewegen sich durch Gaspartikeldrücke ( $pO_2$ ,  $pCO_2$ ) dabei von Orten mit einer hohen Konzentration zu Orten einer niedrigeren Konzentration, bis der Konzentrationsunterschied (Druckdifferenz) ausgeglichen ist. Je höher der Druckunterschied und je kleiner der Weg ist, desto schneller findet der Konzentrationsausgleich statt. Da der Diffusionsweg zwischen Alveolar- und Kapillarwand nur etwa 1 Mikrometer beträgt, liegen dort optimale Bedingungen für einen schnellen Austausch vor. Der alveoläre Gaspartikeldruck ist außerdem bestimmt durch die Anteile der unterschiedlichen Gase am Gesamtvolumen, Luftdruck und -feuchtigkeit, Höhenlage, Körpertemperatur, etc. So kann der gasförmige Inhalt in den Alveolen mit dem flüssigen Inhalt der Kapillaren diffundieren. Am Eisen des Hämoglobins der Erythrozyten (rote Blutkörperchen) gebunden, gelangt  $O_2$  von den Lungenvenen in den linken Vorhof und über die Mitralklappe in die linke Herzkammer und wird anschließend über die Aortaklappe in die Körperarterie (großer Kreislauf) gepumpt.  $O_2$ -armes und  $CO_2$ -reiches Blut gelangt durch die obere und untere Hohlvene (*vena cava superior et inferior*) in den rechten Vorhof und durch die Trikuspidalklappe in die rechte Herzkammer und von dort aus durch die Pulmonalklappe (kleiner Kreislauf) in die Lungenarterien. Anschließend

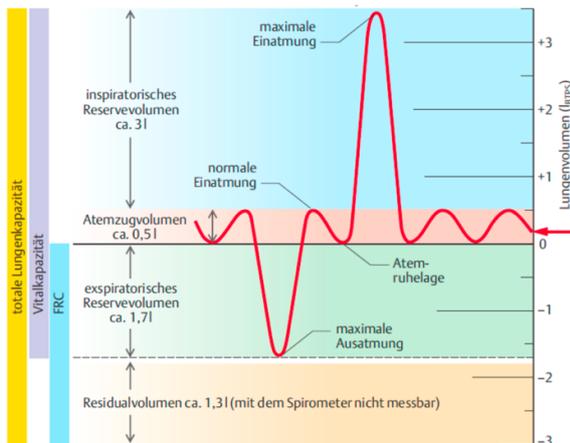
gelangt CO<sub>2</sub> durch Diffusion in die Alveolen und wird durch Expiration wieder ausgeatmet (Faller & Schünke, 2008). Die CO<sub>2</sub>-Bindung im Blut findet durch die physikalische Lösung im Blutplasma, die Anlagerung an das Hämoglobin der Erythrozyten und der Bindung an Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) im Blutplasma und den Erythrozyten statt. Diese Prozesse laufen bei der Kohlendioxidabgabe in der Lunge wieder in umgekehrter Reihenfolge ab (Menche, 2020). Durch das richtige Verhältnis von Ventilation (Belüftung) und Perfusion (Durchblutung) findet so der Gasaustausch zwischen Umwelt und Organismus statt.

#### 2.1.4 Lungenvolumina und Lungenkapazitäten

Für den in 2.1.3 beschriebenen Gasaustausch werden für die Ventilation verschiedene Volumina definiert. Diese Volumina sind zusammen mit den Flussgeschwindigkeiten wichtige Parameter für die Lungenfunktion. Bei der Inhalation und Exhalation in Ruhe werden etwa 0,5 l pro Atemzug, das sogenannte Atemzugvolumen (AZV), genutzt. Nach der Inspiration, der genannten ca. 0,5 l, können zusätzlich noch etwa 2,5 l, das inspiratorische Reservevolumen (IRV), eingeatmet werden. Atemzugvolumen und IRV ergeben insgesamt ungefähr 3 l Inspirationskapazität (IK), die Menge an Luft, welche nach Ausatmung in Atemruhelage maximal eingeatmet werden kann. Das expiratorische Reservevolumen (ERV) umfasst etwa 1,5 l, welches nach dem halben Liter normaler Ausatmung noch zusätzlich maximal ausgeatmet werden kann. Nach der maximalen Ausatmung bleiben ungefähr 1,5 l Luft, das Residualvolumen (RV), in der Lunge zurück. Die Summe aus ERV und Residualvolumen ergibt circa 3 l funktionelle Residualkapazität (FRK). Diese dient als *Sauerstoffpuffer*, um den Körper auch während der Ausatmung mit Sauerstoff zu versorgen. Atemzugvolumen (~0,5 l), inspiratorisches (~2,5 l) und expiratorisches Reservevolumen (~1,5 l) ergeben insgesamt etwa 4,5 l Vitalkapazität (VK). Die Luftmenge, welche nach einer maximalen Einatmung ausgeatmet werden kann. Die Totalkapazität (TK) beschreibt die Summe aus Vitalkapazität (AZV, IRV, ERV) und Residualvolumen (Faller & Schünke, 2008). Diese Volumina können grafisch im Volumen-Zeit-Verlauf (Abb. 1) oder der Fluss-Volumen-Kurve (Abb. 2) dargestellt werden.

## Abbildung 1

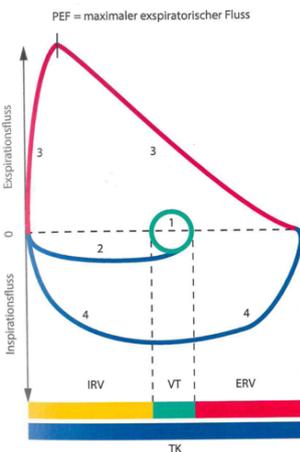
### Lungenkapazität im Volumen-Zeit-Verlauf



(Silbernagl & Despopoulos, 2007)

## Abbildung 2

### Lungenkapazität in der Fluss-Volumen-Kurve



(Rutte & Sturm, 2017)

Man unterscheidet zwischen den oben genannten statischen und dynamischen Atemvolumina. Darunter das respiratorische Atemminutenvolumen (AMV), die Einsekundenkapazität (FEV1), der Peak Expiratory Flow (PEF) und der Atemgrenzwert (MVV). Die genannten Werte sind stark abhängig von Alter, Körpergröße und -gewicht, Konstitution, Geschlecht, Trainingszustand und daher sehr individuell zu bewerten (Silbernagl & Despopoulos, 2007). Frauen besitzen, im Vergleich zu gleichaltrigen und gleichgroßen Männern, etwa 10% weniger Atemvolumen (Weineck, 2010).

Das funktionelle Totraumvolumen setzt sich aus dem anatomischen, etwa 150 ml, in den Atemwegen und dem alveolärem Totraumvolumen, wo Atemluft aus den Alveolen nicht mit Kapillarblut in Berührung kommt, zusammen. Die zurückbleibende Luft nach jeder Expiration trifft bei der

neuen Inspiration, vor der frischen Atemluft, auf den Alveolarraum. Das hat den Vorteil, dass die Sauerstoffkonzentration in den Alveolen relativ konstant bleibt (Faller & Schünke, 2008).

Aus dem oben genannten etwa 0,5 l AZV und der Anzahl der Atemzüge pro Minute setzt sich das AMV zusammen. Es wird wie folgt errechnet:  $AZV \times \text{Atemfrequenz}/\text{min}$ . Ein Erwachsener besitzt eine Ruheatemfrequenz von etwa 15 Atemzügen/min. Der Ruhewert des Atemminutenvolumens beträgt also ca. 5-8 l/min (Rutte & Sturm, 2017). Bei Ausdauersportler:innen kann dieser Wert um ein Vielfaches höher sein. Dieser ist ein wichtiger Parameter für die Ventilation, welche sich allerdings nicht aus der errechneten Menge des AMV zusammensetzt. Die effektive alveoläre Ventilation muss vom funktionellen Totraumvolumen subtrahiert werden. Da der atmosphärische Sauerstoffanteil bei 20,9 % liegt, muss der Mensch für einen Liter Sauerstoff in Ruhe circa 26-28 l Luft ein- und ausatmen. Die tägliche Ventilationsleistung beträgt dabei, je nach physischer Intensität, 10.000 bis 30.000 l Luft (Weineck, 2010).

#### 2.1.5 Lungenfunktionsdiagnostik mit der Spirometrie

„Die Spirometrie wird zur klinischen Diagnosestellung, Beurteilung von ventilatorischen Störungen, für Verlaufsbeobachtungen und Therapieentscheidungen sowie auch im Rahmen von pneumologischen Begutachtungen eingesetzt.“ (Schwarz et al., 2021, S. 25 zitiert nach Comroe et al., 1972, Petro & Konietzko, 1988, Ulmer et al., 2001 und Criée et al., 2015).

Als Diagnosemethode kann für die Ventilation neben der Spirometrie zusätzlich auch die Bodyplethysmografie eingesetzt werden. Das ist beispielsweise der Fall, wenn für eine Diagnose die Messung von RV und TK wichtig ist. Durch beide Methoden können eine Obstruktion (Verengung = Strömungsverlust) oder Restriktion (Volumenminderung) der Lunge klassifiziert werden. 2012 wurden dazu neue spirometrische Referenzwerte publiziert (Quanjer et al., 2012). Diese sollten zusammen mit der *Leitlinie zur Spirometrie* der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Verwendung finden (Criée et al., 2015). Eigentlich werden diese Leitlinien bei einem neuen wissenschaftlichen Kenntnisstand oder spätestens alle 5 Jahre überarbeitet, während der Erstellung dieser Arbeit ist dies jedoch die aktuelle Version. Für eine Lungen(funktions)untersuchung können zusätzliche Verfahren, wie Gasaustausch durch Diffusionskapazität oder Blutgasanalyse, die Atempumpfunktion des Zwerchfells und die Dehnbarkeit (*Compliance*) der Lunge durch Druckmessung sowie die Leistung von Lunge, Herz und Muskulatur durch Spiroergometrie (Spirometrie unter Belastung), genutzt werden.

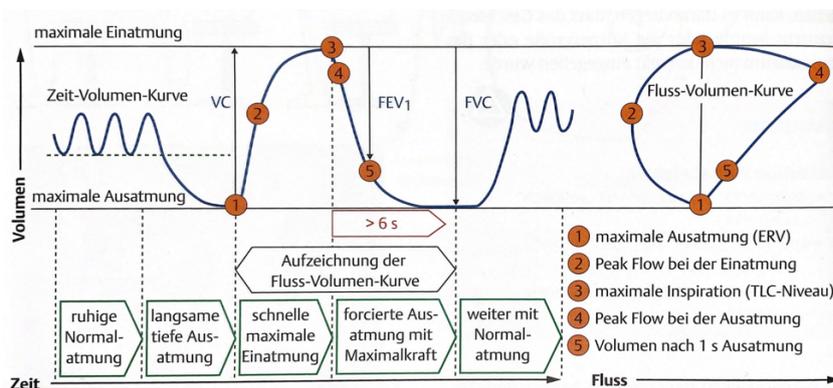
Bei der Spirometrie werden dynamische (vom zeitlichen Verlauf abhängige) und statische (vom zeitlichen Verlauf unabhängige) Luftvolumen ermittelt. Dabei werden Atemvolumen und Luftgeschwindigkeit zur Beurteilung der Lungenfunktion gemessen. Die Spirometrie kann also die Frage beantworten, wie sich Funktionswerte unter Therapie verhalten und damit einen Trend aufzeigen. Verschiedene Messinstrumente können Verwendung finden: Der Pneumotachograf (Druckdifferenz-Flowsensor) misst die Druckdifferenz, welche proportional zur Flussgeschwindigkeit ist (hoher Atemfluss bedeutet hohe Druckdifferenz). Zusammen mit dem Integrator, welcher die Flussrate in Zeit misst, wird das Volumen errechnet. Der Ultraschallsensor funktioniert mit der gleichen Berechnungsmethodik, misst jedoch die Laufzeitdifferenz durch Ultraschallwellen. Bei der *Turbine* (Digitaler Volumen-Transducer) wird das Volumen gemessen und anschließend der Fluss berechnet. Zwei Lichtschrankensysteme registrieren die Drehzahl (ermittelt Volumen) und Drehrichtung (Unterscheidung: In- oder Expiration). Um valide Messergebnisse sicherstellen zu können sind besonders die fachgemäße Kalibrierung und die stetige Aktualisierung der Umweltbedingungen unerlässlich. Die Volumenkalisierung muss nach jedem Austausch des Fluss- / Volumensensors erfolgen, damit Korrekturfaktoren für die In- und Expiration durch eine Software errechnet werden können.

Die relevanten Umweltbedingungen werden mit ATP(S) aus dem Englischen abgekürzt: Höhe über Normal-Null (Ambient), Umgebungstemperatur (Temperature), Luftdruck (Pressure) und Luftfeuchtigkeit (Saturation). Diese sind entscheidend, um Korrekturfaktoren zu errechnen, welche die Verhältnisse in der Lunge (37°, 100 % Luftfeuchtigkeit) durch ggf. exogene Veränderungen in der Berechnung valide zu halten. Dies gilt besonders für inspiratorische Größen. BTPS beschreibt dabei die Verhältnisse in der Lunge, genau wie oben beschrieben, mit der Ausnahme von Körper (Body). Da Luft sich bei Zunahme der (Raum)Temperatur ausdehnt und somit das Volumen zunimmt, obliegen die Umweltdaten ständiger Aktualisierung. Bei einer Veränderung von mehr als 2°C und/oder einer Veränderung in der Luftfeuchtigkeit von 10 % ist eine Neuausrichtung der Messinstrumente notwendig. ATP(S) wird dabei auf BTPS korrigiert. Sobald das Messgerät eingeschaltet ist, findet oft ein automatischer Systemcheck statt. Anschließend werden folgende Daten der Proband:innen, welche unerlässlich für die Berechnung der Referenzwerte sind, eingetragen: Geburtsdatum, Geschlecht, Körpergröße und -gewicht und die ethnische Herkunft. Die Messung findet mit einer aufrechten Haltung im Sitzen statt. Falls restriktive Kleidung vorhanden ist, sollte diese abgelegt werden. Um die Nase luftdicht zu verschließen, wird eine Nasenklammer genutzt. Der Mundansatz wird zwischen die Zähne geführt, die Zunge liegt flach darunter, bevor die Lippen (besonders die Mundwinkel) fest um das Mundstück verschlossen werden.

Als Erstes wird durch eine ruhige und regelmäßige Atmung das Atemzugvolumen ermittelt, anschließend wird langsam maximal ausgeatmet und zügig maximal eingeatmet, um die inspiratorische Vitalkapazität zu ermitteln. Danach wird maximal schnell und solange wie möglich (mindestens sechs Sekunden) für die expiratorisch-forcierte Vitalkapazität (FVK) ausgeatmet, bis ein Plateau erreicht wurde oder sich das Volumen über eine Sekunde um weniger als 25 ml verändert. Zeitgleich wird auch der PEF und FEV<sub>1</sub>, der Tiffeneau-Index (Einsekundenkapazität in Prozent der Vitalkapazität: FEV<sub>1</sub>/FVK) und weitere expiratorische Parameter gemessen (Abb. 3). Drei Versuche sollten pro Testung durchgeführt werden, um die Reproduzierbarkeit (da besonders die Volumenbeschleunigung von der intensiven Mitarbeit der Probanden:innen abhängt) sicherzustellen. Dabei ist besonders das forcierte Vorgehen entscheidend. Eine Abweichung von mehr als 5 % der besten zwei Versuche bei FEV<sub>1</sub> und FVK gilt als invalide. Deshalb muss auch die Mitarbeit der Proband:innen als Gütekriterium dokumentiert werden. Für die lautstarke Anleitung sollte eine standardisierte Sprache (siehe Abb. 4) verwendet werden (Schwarz et al., 2021).

**Abbildung 3**

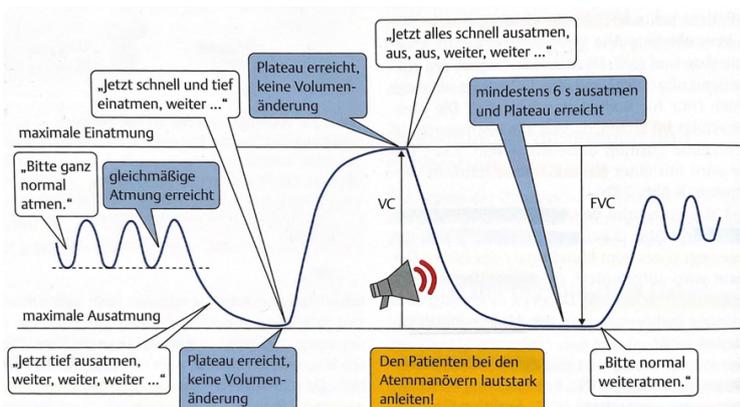
*Ablauf der Spirometrie*



(Schwarz et al., 2021)

**Abbildung 4**

*Standardisierten Anweisungen an Patient:innen*

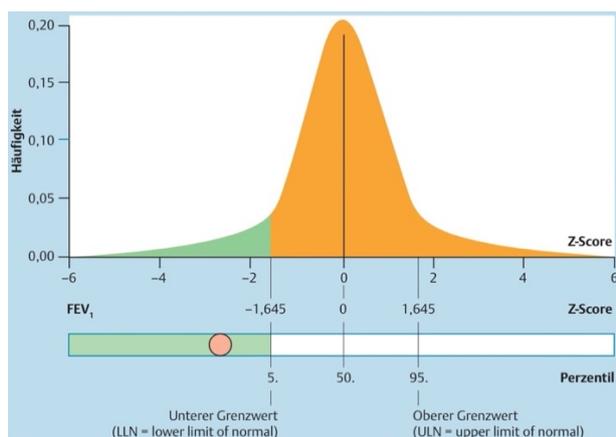


(Schwarz et al., 2021)

In Deutschland und einigen europäischen Ländern wird oft die inspiratorische Vitalkapazität ermittelt. Mit Messgeräten aus Großbritannien und Nordamerika wird die FVK erfasst. Bei gesunden Menschen besteht keine systemische Differenz zwischen den beiden Werten. Da sich die neuen Normwerte (Quanjer et al., 2012) nur auf die FVK und andere expiratorische Werte beziehen, sollten besonders diese Parameter für Vergleiche genutzt werden. Bei der Interpretation kann von einem (gesunden) *Normalbefund* gesprochen werden, wenn die Ergebnisse über dem 5 %-Perzentil liegen. Die Grenzwerte werden *Lower Limit of Normal* (LLN) und *Upper Limit of Normal* genannt. Dabei ist nur LLN für eine Pathophysiologie entscheidend. Dieser sollte immer von einer Software ermittelt werden, da dieser je nach Lebensalter und anderen biologischen Faktoren variiert. Aktuell wird die Nutzung der Sollwerte der *Global Lung Function Initiative* (Abb. 5) in einem Z-Score (1,64-fachen der Standardabweichung) dargestellt (Criée et al., 2015).

### Abbildung 5

*Perzentile und Z-Scores des Frequenzspektrums der Lungenfunktionsparameter der gesunden Referenzpopulation*

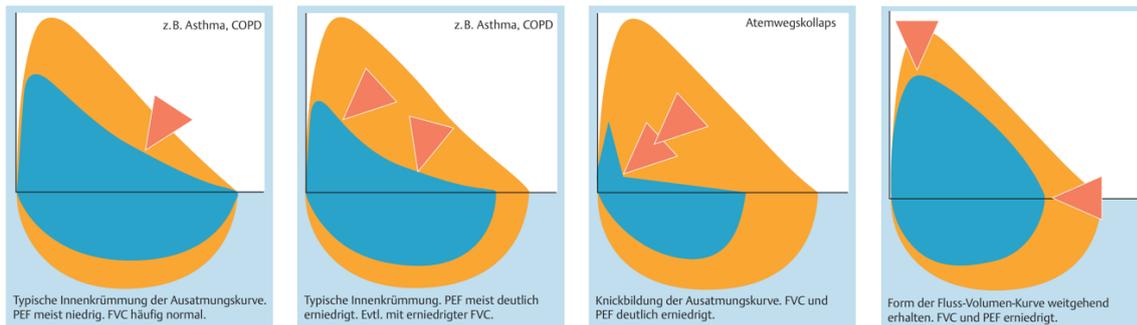


(Criée et al., 2015)

Für die Bewertung ist der visuelle Eindruck der Fluss-Volumen-Kurve (Abb. 2) den numerischen Messwerten überlegen. Die Einteilung der Schweregrade erfolgt anschließend nach Beurteilungskriterien der jeweiligen Leitlinien bzw. Fachgesellschaften. Der Tiffeneau-Index in Prozent ist der wichtigste Parameter zur Beurteilung von Ventilationsstörungen. Wenn der Tiffeneau-Index (FEV<sub>1</sub>/ FVK) kleiner als LLN ist, zeigt dies eine Voraussetzung für eine Obstruktion (Abb. 6), wie z.B. bei Asthma und COPD an. Für eine (pulmonale oder extrapulmonale) Restriktion muss die TK kleiner als LLN sein. Die TK ist mit der Spirometrie nicht messbar, da das RV nicht erfasst werden kann. Hierbei ist die Bodyplethysmografie unerlässlich (Schwarz et al., 2021). Weitere Verfahren zur Lungen(funktions)untersuchung können dann, wie in 2.1.5 beschrieben, eingesetzt werden.

## Abbildung 6

Krankheitszeichen: leichte, deutliche, schwere Obstruktion und Restriktion



(Criée et al., 2015)

## 2.2 Auswirkungen von Long- und Post-COVID auf die Lungenfunktionsparameter

Die akute Krankheitsphase einer COVID-Infektion wird allgemein bis vier Wochen nach Auftreten von Symptomen definiert. Die subakute Phase mit anhaltender Symptomatik bis zwölf Wochen nach Auftreten erster Krankheitszeichen wird *Long-COVID* genannt. Das *Post-COVID-Syndrom* geht über die zwölf Wochen hinaus und beschreibt anhaltende oder wiederkehrende Symptome in wechselnder Intensität, welche nicht durch andere Krankheiten verursacht werden (Long COVID: Langzeitfolgen von COVID-19, 2022). Da trotz dieser Abgrenzung oft eine Verwechslung stattfindet oder die Begriffe als Synonyme verwendet werden, wird zum Zwecke dieser Arbeit vom Begriff *nach COVID* Gebrauch gemacht, welcher alle Symptome/Syndrome, welche vier Wochen nach einer akuten COVID-Erkrankung in Bezug auf die Lungenfunktionsparameter (LFP) auftreten, zusammenfasst.

Da die Symptomatik nach COVID ein relativ neues Forschungsgebiet darstellt, sind Ursachen und Risikofaktoren oft noch nicht allumfassend bekannt. Mögliche Faktoren wurden bereits in 1.1 beschrieben, hinzukommen können neben pulmonalen Einschränkungen, wie Kurzatmigkeit und Atemnot auch eine verminderte Belastbarkeit, Bewusstseinstörung (*Brain Fog*), Fieber, Erschöpfung (*Fatigue*), Verlust des Geschmacks- und/oder Geruchssinns und weitere Symptome (Freitag, 2022).

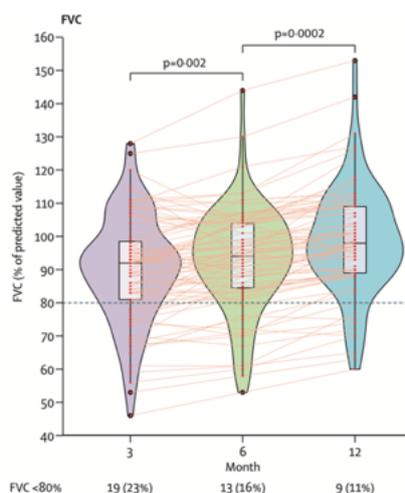
In den anschließenden Studien wurden meist folgende Parameter untersucht: FVK, FEV<sub>1</sub>, FEF<sub>25%-75%</sub> (forcierte expiratorische Flüsse bei 25–75 % der expirierten Vitalkapazität), PEF, FEV<sub>1</sub>/FVK, VK, IK, RV, R<sub>aw</sub> (Atemwegswiderstand), TLK und DLCO (englisch: Diffusion Capacity of the Lungs for Carbon Monoxide). Die Messungen der PFT (Pulmonalen Funktionstests) werden dabei als absolute Werte und in % PRED (Prozentsatz der vorhergesagten Soll-Werte) angegeben. Eine Pathophysiologie ist bei folgenden Werten erreicht: Obstruktiv: FEV<sub>1</sub>/FVK <70 % normal PRED, FEV<sub>1</sub> <80 % PRED;

Restriktiv: FEV1/FVK >70 % normal PRED, TLK <80 % PRED (oder wenn nicht verfügbar: FVK < 80 % PRED); Erkrankung der kleinen Atemwege: FEV1, FEF<sub>25%-75%</sub> <65 % normal PRED; DLCO: Normwert >75 % PRED, leicht: 60 % - 75 % PRED, mäßig: 40 % - 60 % PRED, schwerer <40 % PRED (Pellegrino et al., 2015). Visuell dargestellt in Abbildung 6.

Eine der ersten prospektiven longitudinalen Kohortenstudien wurde direkt aus Wuhan, China von Wu et al. (2021) durchgeführt und hatte zum Ziel durch Interviews, physische Untersuchungen, Blutanalysen, PFT, dem *6-Minute-Walk-Distance-Test* (6MWT) und einer modifizierten Dyspnoe-Skala des Medical Research Councils, die Folgen von schweren COVID-Erkrankungen, bei Krankenhauspflichtigen Behandlungen ohne künstliche Beatmung, über die zeitliche Entwicklung (nach drei, sechs, neun und zwölf Monaten) zu untersuchen, um die gesundheitlichen Folgen klarer zu definieren. Bei den meisten Patient:innen wurden Verbesserungen in Lungenphysiologie/ körperlicher Leistungsfähigkeit beobachtet. Nach drei, sechs und zwölf Monaten konnte eine deutliche Verbesserung der LFP, wie der FVK gezeigt werden (Abb. 7). Nach neun Monaten konnte kein Test wegen lokalen Bestimmungen durchgeführt werden. Bei 20 (24 % der) Patient:innen wurden nach zwölf Monaten noch physiologische und radiologische Anomalien festgestellt. Die DLCO war im Studienzeitraum signifikant verringert. Auch Salem et al. (2021) konnten eine restriktive Lungenbeeinträchtigung und einen leichten Diffusionsdefekt drei Monate nach der akuten Krankheitsphase, nachweisen. Auch die Studie von Liao et al. (2022), welche *Health Care Worker* aus Wuhan untersucht hat, konnte verringerte DLCO, abnorme Computertomographie (CT)-Muster, beeinträchtigte körperliche Funktion und psychiatrische Störungen, ähnlich wie bei Wu et al. (2021), nach zwölf Monaten feststellen. DLCO war nach zwölf Monaten besser als nach sechs Monaten, jedoch immer noch im abnormalen Bereich.

### Abbildung 7

*Zeitliche Veränderungen der Lungenfunktion nach einem schweren COVID-19-bedingten Krankenhausaufenthalt*



(Wu et al., 2021)

Insgesamt 57 Patient:innen konnten Anfang 2020 von Huang et al. (2020) untersucht werden, um deren Gesundheitszustand in der frühen Konvaleszenz-Phase (30 Tage nach Krankenhausentlassung) zu erfassen. 54 % der Patient:innen wiesen abnorme CT-Befunde auf. Bei 75,4 % wurden Anomalien bei den PFT festgestellt. Dabei lagen die Werte der FVK, FEV1, FEV1/FVK, TLK bzw. DLCO (besonders bei schweren Verläufen) unter 80 % PRED, im abnormalen Bereich. 71,9 % hatten einen max. statischen Einatem- und Ausatemdruck von weniger als 80 % PRED. Die Atemmuskulaturkraft war demnach verringert. Der 6MWT war bei Patient:innen mit schwereren Verläufen verschlechtert. Huang et al. (2021) haben außerdem herausgefunden, dass neben den oben beschriebenen Auswirkungen bei schwereren Krankheitsverläufen Patient:innen nach sechs Monaten noch unter Müdigkeit/ Muskelschwäche, Schlafstörungen und Angstzuständen oder Depressionen litten.

In der Studie von Hayden et al. (2021) wurde die Effektivität von PR (Pulmonale Rehabilitation) in einer dreiwöchigen Intervention nach COVID untersucht. Dabei wurden Patient:innen in 3 Gruppen nach dem Schweregrad der Krankheit eingeteilt. Der primäre Endpunkt war Dyspnoe (Atembeschwerden). Zu den sekundären Ergebnissen gehörten andere Symptome der Atemwegserkrankung: körperliche Leistungsfähigkeit, Lungenfunktion, Müdigkeit, Lebensqualität, Depressionen und Angstzustände. Bezogen auf die LFP wurde folgendes herausgefunden: Insgesamt 19,6 % der Patient:innen wiesen bei T<sub>0</sub> (Beginn) ein restriktives Lungenfunktionsmuster (TK weniger als 80 % PRED) auf, aber nur 9,6 % bei T<sub>1</sub> (am Ende). In der Gesamtgruppe sank ein reduzierter VK (VK weniger als 80 % PRED) von 34,6 % bei T<sub>0</sub> auf 17,3 % bei T<sub>1</sub>. Die Lungendiffusion, die bei Studienbeginn leicht beeinträchtigt war, verbesserte sich in der Gesamtgruppe mit einer moderaten Effektgröße. Bei T<sub>0</sub> wies Gruppe A (akut, schwer) eine signifikant stärkere Beeinträchtigung bei mehreren Lungenfunktions-, Blutgas- und Lungendiffusionstests, wie VK, RV, TLC, FEV1, dem arteriellen Sauerstoff-Partialdruck und DLCO, auf. Die Gruppen A und Gruppe B (schwer nach Intervall) zeigten statistisch signifikante Verbesserungen mit mäßigen bis hohen Effektgrößen bei VK %, TK %, FEV1 %, DLCO % und dem max. statische Einatemdruck.

Spielmanns et al. (2021) zeigen mit ihrer Studie die Wichtigkeit von PR für klinische und funktionelle Verbesserungen, um Langzeitkonsequenzen zu vermindern. Auch eine unbeaufsichtigte PR kann eine wirksame und vorteilhafte Methode zur Förderung der physischen Belastbarkeit und der Erholung von Symptomen nach COVID, sowie ein neuartiger Ansatz für die Behandlung von anhaltender Müdigkeit, sein (Stavrou et al., 2021).

Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass Komici et al. (2021) Wettkampfsportler nach COVID untersucht haben und zu dem Ergebnis kamen, dass neben Verlust des Geruchs- und Geschmackssinns,

dem Auftreten von Müdigkeit und Muskelschmerzen, Fieber und Symptomen der oberen Atemwege, keine verringerte physische Leistungsfähigkeit oder verminderte Lungen- und Herz-Kreislauf-Funktionen festgestellt wurden. Mit Ausnahme einer FEV1-Reduktion.

Auch die Follow-Up-Studie nach acht Monaten von Zhang et al. (2021) legt nahe, dass Überlebende mit schwerem COVID-Verlauf im Vergleich zu leichten Fällen häufiger schlechtere DLCO-Werte, anhaltende Symptome im täglichen Leben und einen höheren abnormen CT-Score aufwiesen. Letzteres könnte mit dem Alter und dem Schweregrad zusammenhängen. Eine fehlende oder überschießende Entzündungsreaktion würde laut Zhang et al. (2021) zu einer Beeinträchtigung der pulmonalen Diffusionsfunktion in der Erholungsphase führen.

Balbi et al. (2021) haben den Zusammenhang zwischen CT der Brust und PFT evaluiert und untersucht, ob diese miteinander korrelieren. Die PFT-Parameter: DLCO, VA (alveoläres Volumen) und FVK waren bei Patienten mit CT-Anomalien signifikant niedriger. Bei schweren Verläufen wiesen Erkrankte nach drei Monaten immer noch CT-Anomalien mit Beeinträchtigung der DLCO auf.

Die Studie von Lewis et al. (2021) widerspricht anderen Studien zur Lungenfunktion und deutet darauf hin, dass die Lungenfunktion bei den meisten Patient:innen, zum Ausgangswert zurückkehrt. Besonders von denjenigen, welche nicht künstlich beatmet wurden. Die Besonderheit dieser Studie liegt darin, dass Prä-COVID-Werte für die PFT genutzt werden konnten. Als Grund für verschlechterte Werte nach COVID gibt die Forschergruppe einen Zusammenhang zwischen bestimmten zugrunde liegenden Lungenerkrankungen und einer verminderten Lungenfunktion nach einer Infektion an.

Abschließend ist zu sagen, dass die allgemeine Forschung zu gesundheitlichen Folgen nach COVID noch am Anfang steht. Es gibt gemeinsame Herangehensweisen bei Testungen und ähnliche Parameter, die untersucht werden. Viele Studien bestätigen sich gegenseitig, manche widersprechen sich. Auch die speziellen Veränderungen der LFP, besonders in Bezug auf die physische Belastbarkeit und die Lebensqualität müssen noch intensiver erforscht werden.

## 2.3 Aktueller Forschungsstand zu Prāṇāyāma

Die Forschung zu gesundheitlichen Auswirkungen von *yoga* hat mit Beginn dieses Jahrhunderts einen deutlichen Aufschwung erfahren. *Yoga* ist nicht nur das meistgenutzte, sondern zudem das bestuntersuchte Verfahren in der Komplementärmedizin (Cramer, 2017). Bei der Untersuchung von

*prāṇāyāma* werden oft die LFP mit Hilfe der Spirometrie oder seltener durch die Bodyplethysmographie ermittelt.

Banstola (2016) hat die Auswirkungen von verschiedensten *Prāṇāyāma*-Techniken auf die LFP untersucht. Folgende Übungen wurden inkludiert: *bhastrikā* (*Blasebalg-Atmung*), *kapālabhāti* (*Feuer-Atmung*) und *nāḍīśodhana* (auch: *anuloma viloma*, *Wechselatmung*) für jeweils 15 Minuten, *bāhyakumbhaka* (*Ausatmung mit Atemanhaltung*) für drei bis fünf Wiederholungen, *bhrāmarī* (*Bienen-Atmung*) und *Udgeeth* (auch: *Omkari Japa = Om-Chanting*) für drei Wiederholungen. Folgende (hoch)signifikante Veränderungen wurden über einen Zeitraum von 60 Tagen ermittelt: IRV, ERV, IK, VK, FVK und FEV1. Ein Grund für die Verbesserung des IRV und der IK könnte eine verbesserte Nutzung von inspiratorischen Muskeln sein, genauso wie die expiratorischen Muskeln für das ERV. Erhöhte VK-Werte können durch die oben genannte verbesserte Nutzung der Atemmuskulatur und die darüber hinaus größere Nachgiebigkeit und Beweglichkeit der Brustwandstrukturen oder einer Verringerung der Atemfrequenz erklärt werden (Banstola, 2016). Besonders der hochsignifikante Wert der durchschnittlichen Verbesserung des FEV1 von 2398 auf 2659 ml (Zunahme von 261 ml) ist für die Verbesserung von Obstruktionen interessant.

Auch Makwana et al. (1988), Joshi et al. (1992), Yadav und Das (2001), Sodhi et al. (2009) und Doijad und Surdi (2012) haben in ähnlichen Studien herausgefunden, dass sich in einem Zeitraum zwischen vier bis zwölf Wochen die Atem-Anhaltezeit verbessert, die Atemfrequenz sinkt und sich FVK, FEV1 und PEF deutlich verbesserten. Moovethan und Khode (2014) konnten bestätigen, dass Atemübungen, die sich auf eine intensivere und längere Ausatmung fokussieren (hier: *bhrāmarī* und *om-Chanting*), damit assoziierte LFP (PEF, FEF<sub>25-75%</sub>, FEV1, ...) verbesserten.

Sivakumar et al. (2011) haben die Auswirkungen von Atemübungen auf die LFP nach zwei, fünf und/oder zehn Minuten gemessen und festgestellt, dass sich Atemübungen selbst für die Dauer von wenigen Minuten bereits positiv auf die LFP auswirken. Ahmed et al. (2010) haben die Auswirkungen von *āsana* und *prāṇāyāma* untersucht und kamen bezüglich der LFP zu einem anderen Ergebnis. Nach 30 Tagen gab es keine statistisch relevanten Veränderungen, nach 60 Tagen waren jedoch FVK und FEV1 hochsignifikant und PEF signifikant verändert. Nach 30 Tagen waren nur Veränderungen bei der Altersgruppe der 41-50-Jährigen zu erkennen.

Dinesh et al. (2015) haben in ihrer Studie über einen Zeitraum von zwölf Wochen (Häufigkeit: dreimal eine halbe Std pro Woche) zwischen langsamen Arten (*nāḍīśodhana*, *praṇava* (*om-Chanting*), *sāvitrī* (*Sonnen bzw. Lichtstrahl-Atmung*)) und schnelleren Arten von *prāṇāyāma* (*kapālabhāti*,

*bhastrikā* und *kukkriya* (hechelnder Hundeatem)) unterschieden und herausgefunden, dass sich in der langsamen Gruppe PEF und FEF<sub>25%-75%</sub> und in der schnellen Gruppe FEV<sub>1</sub>/FVK, PEF und FEF<sub>25%-75%</sub> signifikant verbessert haben. Die Forscher konkludierten, dass beide Geschwindigkeiten bei der Ausführung vorteilhaft sind, jedoch bei schnellen Atemübungen ausgeprägter waren.

Die begrenzt-verfügbare Evidenz über die Auswirkungen von *prāṇāyāma* auf das Atmungssystem deutet auf einen positiven Trend der Veränderung der Atmungsphysiologie hin (Saoji et al., 2019). Auch die Effektivität von *prāṇāyāma* auf verschiedene Zielgruppen sollte erwähnt werden: Hakked et al. (2017) haben nationale und internationale Wettkampfschwimmer für 30 Tage lang (eine halbe Std pro Tag, fünf Tage die Woche) *prāṇāyāma* praktizieren lassen. In der *Prāṇāyāma*-Gruppe haben sich MVV, FVK und AMV signifikant verbessert. Auch bei gesunden Individuen (hier: Medizin-Studierende) hat die Studie von Chandrasekhar et al. (2014) nach zwei Monaten und die Studie von Panwar et al. (2012) bei jungen Erwachsenen (Nicht-Sportlern) nach drei Monaten eine deutliche Verbesserung gewisser LFP gezeigt.

Cramer et al. (2019) haben in einer systematischen Review und Meta-Analyse die Wirksamkeit von *yoga* auf die Krankheitssymptome, Lebensqualität und Funktion bei Patient:innen mit COPD untersucht. Es wurden 11 randomisiert-kontrollierte Studien mit insgesamt 586 Patient:innen inkludiert. Es konnte festgestellt werden, dass die Auswirkungen nur in den *Prāṇāyāma*-Gruppen, jedoch nicht bei der ausschließlichen Praxis von Yoga-Haltungen, präsent waren. Es gab 2 Studien (mit 88 Proband:innen), welche signifikante Werte bei FEV<sub>1</sub> PRED aufwiesen. Es wurde konkludiert, dass *prāṇāyāma* eine wirksame ergänzende Maßnahme für COPD-Patient:innen sein kann. Auch Liu et al. (2014) fanden signifikant verbesserte FEV<sub>1</sub> und FEV<sub>1</sub> PRED-Werte. Soni et al. (2012) weisen ebenfalls auf *prāṇāyāma* als ergänzende Maßnahme bei der Behandlung von COPD-Patient:innen hin, da die Forscher:innen signifikante Verbesserungen in DLCO nach vier und acht Wochen im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt haben. Borge et al. (2014) haben außerdem Hinweise darauf gefunden, dass das Training der Atemmuskulatur Auswirkungen auf Atemnot, Müdigkeit und krankheitsspezifische Lebensqualität hat. Mehr qualitativ-hochwertige Studien sind zu dieser Thematik erforderlich. Auch bei Asthma verhält es sich ähnlich: „Yoga kann derzeit nicht als Routinemaßnahme für Asthmapatienten angesehen werden. Es kann als ergänzende Maßnahme oder als Alternative zu Atemübungen für Asthmapatienten betrachtet werden, die an ergänzenden Maßnahmen interessiert sind.“ (Cramer et al., 2014, S. 510).

Es gibt derzeit nur sehr wenige Studien zu Atemübungen nach COVID. Liu et al. (2020) haben die PR bei älteren Patienten (über 65-Jährige) in einer randomisiert-kontrollierten Studie, durch eine

Intervention von betreuten Sessions zweimal wöchentlich und eigenständigen Übungen täglich für 10 min zu Hause über einen Zeitraum von sechs Wochen, untersucht. Dabei kamen Atemmuskeltraining, Hustenübungen, Zwerchfelltraining, Dehnungsübungen und Übungen für zu Hause (Lippenatmung und Hustentraining) zum Einsatz. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen in folgenden LFP festgestellt werden: FEV1, FVK, FEV1/FVK und DLCO.

Viele Studien konnten allgemein-positive Auswirkungen von *prāṇāyāma* auf die LFP zeigen. In der Zukunft müssen besonders die verantwortlichen Mechanismen dahinter untersucht werden. Auch sollten weitere Parameter wie Wirkungszeiträume, Trainingshäufigkeiten, etc. auf physiologische Veränderungen bzw. Anpassungen untersucht werden. Mehr qualitativ-hochwertige Untersuchungen sind dazu erforderlich.

## 2.4 Auswahl der Prāṇāyāma-Übungen für die Studie

Atemtherapie ist bei COVID in allen Krankheitsphasen indiziert. Bei Patient:innen mit einer (in der akuten Krankheitsphase mild-verlaufenden) COVID-Erkrankung sollte die Mobilisierung der Atemmuskulatur, die Erniedrigung der Atemfrequenz und die Zunahme des Atemvolumens im Vordergrund stehen. So können die aktive Atemwahrnehmung und -steuerung durch Kontakt- und Richtungsatmen geschult werden, eine Öffnung des Thorax und der Rippengelenke durch tiefe und räumlich weite Einatmungen, eine aktive Steigerung des Atemvolumens durch zeitlich verlängerte In- und Expirationen (z.B. Summendes Ausatmen) zusammen mit einer eigenständigen Erhöhung der Übungsintensität und Eigenaktivität, erfolgen. Die Atemsteuerung durch Kontakt- und Richtungsatmen mit Slow-Volume-Increase verbunden mit einer tiefen, räumlich weiten Inspiration durch die 3D-Atmung wurde ausgewählt, da „Studien zur Bewegung und Funktion des Zwerchfells besagen, dass eine optimale Atmung eine aktive Kontrolle des Zwerchfells erfordert, sodass die unteren Rippen während der Inspiration niedrig bleiben und sich nur seitlich ausdehnen, während sich der Bauch statt des Brustkorbs ausdehnt“ (Russo et al., 2017, S. 3 nach Vostatek et al., 2013). Außerdem konnten Kolar et al. (2009) feststellen, dass es eine Korrelation zwischen dem Grad der Zwerchfellbewegung und der Veränderung des Atemvolumens gibt: Je größer der Unterschied in der Bewegung des Zwerchfells (zwischen In- und Expiration), desto größer das Atemzugvolumen, wodurch erst einmal auch mehr Sauerstoff in den Körper gelangen kann.

Die spezielle Pathophysiologie von COVID-19 macht es notwendig das Auftreten von (stiller) Hypoxie zu beachten. So können Patient:innen gegebenenfalls subjektiv keine Luftnot empfinden und

diese mitteilen (Fuehner et al., 2022). Da eine Überlastung bzw. Erschöpfung dadurch nicht kommuniziert werden kann ist es notwendig, besonders atemtherapeutische Methoden zu nutzen, welche weniger Stress und Belastung erzeugen (so sind beispielsweise *bhastrikā* und *kapālabhāti* absolut kontraindiziert). Durch das akute Hyperventilationssyndrom besteht auch die Gefahr einer Hyperventilationstetanie, wie bei COPD auch nach COVID, wenn für einen längeren Zeitraum Atemübungen praktiziert werden. Es muss bei der Durchführung auf beginnende Anzeichen, wie Kribbeln in den Händen und Unterarmen und/oder einem Taubheitsgefühl geachtet werden.

Durch physiotherapeutische Behandlungen sollte die Husteneffektivität verbessert und die Atem-Schluck-Koordination reguliert werden. Außerdem müssen zusätzlich die Thoraxmobilisation und Tonusregulation der Atemmuskulatur durch verschiedene Körperhaltungen verbessert werden (Frank & Frank, 2021). Dabei könnten einzelne *āsana* oder komplette Yoga-Stunden, welche speziell auf diese Ursachen-Behandlung ausgerichtet sind, genutzt werden. Besonders bei Patient:innen mit Symptomen wie Kurzatmigkeit, Keuchen und Schwierigkeiten beim Abhusten sind diese Behandlungsschwerpunkte indiziert.

Da oft übermäßige Atemwegsverengungen (Obstruktionen) vorliegen, sollte der Fokus besonders auf die Übungen gelegt werden, welche die Expiration betonen, um die Sputum-Ausscheidung zu erleichtern und die durch Husten verursachte Erschöpfung zu verringern. Eine Hypoxie kann durch eine angemessene Sauerstofftherapie vorgebeugt werden. Das Intervall, in dem die roten Blutkörperchen die Alveolar-Kapillare passieren, verkürzt sich, sodass bei körperlicher Betätigung die gestörte Ventilationsrate steigt, und die Sauerstoffaufnahme abnimmt. Gleichzeitig führt eine erhöhte Atemfrequenz zu einer dynamischen pulmonalen Hyperinflation zu Gaseinlagerungen, wodurch sich die end-expiratorische Lungkapazität erhöht (Yang & Yang, 2020).

Einzelne Wirkungsmechanismen und deren Wiederholungsanzahlen zu *prāṇāyāma* sind (wie in 2.3 erwähnt) noch weitestgehend unerforscht, weshalb unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte auch Erfahrungswissen des Autors in die Auswahl der Prāṇāyāma-Übungen für die Studie fließt.

## 3. Methodik

Im Nachfolgenden wird die Zielsetzung, das Studiendesign, die Erhebungsinstrumente, die Stichprobe und die Datenanalyse aufgeführt.

### 3.1 Ziel der Arbeit

Seit Auftreten des neuartigen SARS-CoV-2-Erregers, wie in 1.1 beschrieben, leiden viele Betroffene an Langzeitfolgen (Long- und Post-COVID), darunter eingeschränkte LFP. Die in 2.2 ausführlich beschriebenen möglichen Auswirkungen auf die LFP, besonders die expiratorischen Parameter und die wenigen Studien zu dieser Problematik, machen es nötig zu untersuchen, ob Atemübungen wie *prāṇāyāma* nach COVID, wie teilweise bei anderen Krankheiten (siehe 2.3) helfen können, die LFP zu verbessern und damit einhergehend möglicherweise sogar eine subjektiv-empfundene Verbesserung des Gesundheitszustands aufzuzeigen. Diese Arbeit soll erste Anhaltspunkte geben, ob die Dauer von 30-minütigen Atemübungen über vier Wochen (insgesamt zehn Std) ausreichend ist, um eine positive Veränderung der LFP herbeizuführen oder ob dieser Zeitraum ausgeweitet werden muss bzw. die ausgewählten Übungen keine Wirkung auf die LFP haben. Daraus ergibt sich folgende Forschungsfrage: Können jahrhundertalte Prāṇāyāma-Übungen helfen, pulmonale Funktionsparameter und den subjektiven Gesundheitszustand nach einer in der akuten Krankheitsphase mild-verlaufenden COVID-19-Erkrankung durch eine Kurzintervention von täglich 30-minütigen Atemübungen über vier Wochen verbessern?

### 3.2 Studiendesign

Das Studiendesign ist eine quantitativ-empirische Längsschnittstudie in Form einer explorativen Prä-Post-Analyse. Ziel dieser Studie ist die Untersuchung der Wirksamkeit des 30-minütigen Artikulationsschemas (der Prāṇāyāma-Übungen) über vier Wochen (insgesamt zehn Zeitstunden) auf die objektiven Lungenfunktionsparameter (FVK, FEV1, Tiffeneau-Index und PEF) und die Bewertung des subjektiv-empfundene allgemeinen Gesundheitszustands, der subjektiv-empfundene Lebensqualität und der subjektiv-empfundene physische Belastbarkeit durch Likert-Skalen (eins: sehr schlecht bis zehn: sehr gut) vor ( $T_0$ ) und nach der Intervention ( $T_1$ ). Die Intervention wird durch ein bereitgestelltes etwa 30-minütiges Video der Prāṇāyāma-Übungen (offline nutzbar, asynchron) von den Proband:innen zu einem selbstgewählten festen Tageszeitpunkt (z.B. direkt nach dem Aufstehen oder vor dem zu Bett gehen) durchgeführt. Anschließend sollen diese in einem kurzen

*Atem-Tagebuch* (siehe IX.III) die subjektiv-empfundene Intensität der Übungen durch die Likert-Skala bewerten (eins: überhaupt nicht anstrengend bis zehn: totale Erschöpfung), sodass eine mögliche physische Adaption erfasst werden kann. Außerdem können die Uhrzeit der Durchführung und eventuell empfundene Veränderungen nach den Atemübungen notiert werden. Dies dient besonders der Motivation der Proband:innen und der anschließenden Nachvollziehbarkeit der tatsächlichen Durchführungsbereitschaft (*Compliance*).

Die Einschlusskriterien sind subjektiv-empfundene Kurzatmigkeit, Atemnot und/oder geringere physische Belastbarkeit (im Vergleich zur subjektiv-empfundene Belastbarkeit vor dem Auftreten von COVID). COVID-Erkrankte mit mildem Verlauf in der akuten Krankheitsphase (ohne Krankenhausaufenthalt) mit der Bereitschaft, die Atemübungen 20x über vier Wochen (Montag bis Freitag) durchzuführen. Außerdem liegt ein ärztlicher oder behördlicher Genesenennachweis vor. Ausschlusskriterien sind Schwangerschaft oder Stillzeit, schwere psychische Störungen, pulmonale (Vor-)Erkrankungen wie Asthma, COPD, starke Allergien, Infektionen der oberen Atemwege und anderen Atemwegserkrankungen jeglicher Art, eine Rauchgewohnheit und chronische Herz-Kreislauf-Erkrankungen, sowie Adipositas (BMI über 30).

### 3.3 Erhebungsinstrumente

Zum Erheben des subjektiv-empfundene Gesundheitszustands (GZ), der subjektiv-empfundene Lebensqualität (LQ) und der subjektiv-empfundene physischen Belastbarkeit (PB) werden Likert-Skalen (eins: sehr schlecht bis zehn: sehr gut) bei  $T_0$  und  $T_1$ , mit dem Wortlaut *Wie bewerten Sie ihren aktuellen Gesundheitszustand / Lebensqualität / physische Belastbarkeit?*, verwendet. Außerdem wurde bei  $T_0$  ein Anamnesebogen inkl. Einverständniserklärung und bei  $T_1$  ein Fragebogen über die subjektiv-empfundene Wirksamkeit und möglichen Nebenwirkungen ausgefüllt (siehe IX.II). Zur Erfassung der LFP wird ein tragbares Spirometer der Firma *Aio Care* genutzt, welches durch Bluetooth mit einem Handy oder Tablet verbunden werden kann. Dabei besteht kein Unterschied zu den Testergebnissen von medizinischen Geräten in ärztlichen Praxen (Breakthrough in the diagnostics of patients with asthma and COPD, 2022). ATP(S) wird automatisch auf BTPS korrigiert.

### 3.4 Stichprobe

Die Rekrutierung hat durch eine Anzeige und einen Bericht in lokalen Medien (Landkreis Waldeck-Frankenberg) und durch Aushänge in ärztlichen und physiotherapeutischen Praxen, über

WhatsApp-Weiterleitungen und Mundpropaganda stattgefunden. 25 Interessent:innen wurden über sechs Wochen rekrutiert, wovon vier aus gesundheitlichen Gründen vor der ersten Testung abgesagt haben. Weitere drei wurden ausgeschlossen: Obstruktion: FEV1 bei 57 % (eine) und Adipositas: BMI 34,6 und 42,4 (zwei). An T<sub>0</sub> haben 18 Proband:innen teilgenommen, an T<sub>1</sub> 14. Während der Intervention haben vier aus folgenden Gründen aufgehört: Keine Zeit (zwei), Bronchitis (eine), erneute COVID-Erkrankung (eine). Somit ist die zu wertende Teilnehmendenzahl n = 14. In der Interventionsgruppe befanden sich Proband:innen im Alter von 15 bis 61 Jahren, mit einem Altersdurchschnitt von 39,4 ± 14,5 Jahren und einer Geschlechterverteilung von 12:2 (12 weiblich, zwei männlich). Davon hatten drei (21,4 %) Vorerfahrungen mit Atemübungen, zwei (14,3 %) mit *yoga*, vier (28,6 %) in beiden Bereichen und fünf (35,7 %) hatten keine Vorerfahrungen. Das Datum der Erstinfektion bei T<sub>0</sub> schwankte von 32 – 739 Tagen mit einem Durchschnitt von 173 Tagen (~ fünfeneinhalb Monate) ± 194,3 Tagen. Der BMI schwankte von 19,6 bis 30 mit einem Durchschnitt von 24,35 ± 3,04. Vollständig geimpft bei Erstinfektion waren vier (28,6 %), geboostert sieben (50 %) und nicht geimpft drei (21,4 %), da bis Mitte Dezember 2020 kein zugelassener Impfstoff verfügbar war. Von drei auszuwählenden subjektiv-empfundene Symptomen (pro Person) wurden folgende angegeben: elf (78,6 %) Kurzatmigkeit, sieben (50 %) Atemnot und 12 (85,7) geringere physische Belastbarkeit. Ein Symptom wurde von zwei Proband:innen angegeben (14,3 %), zwei von acht (57,1 %) und drei von vier (28,6 %).

### 3.5 Datenanalyse

Die Auswertung wurde mit dem *IBM SPSS Statistics Data Editor* (Version 23) durchgeführt. Die Ergebnisse der LFP über die Spirometrie werden direkt durch die App von *Aio Care* ausgewertet und als Zahlenwert (z.B. 3l) und als %-Soll-Wert angegeben. Die Prä- und Post-Werte der Spirometrie, zusammen mit den Parametern der Fragebögen wurden in das Statistik Programm eingetragen. Die Mittelwerte, Standardabweichungen und die p-Werte wurden ausgerechnet. Um die Werte zu vergleichen, wurde ein *paired sample t-test* genutzt. Dabei wurde die Normalverteilung, durch das oben genannte Statistikprogramm überprüft, welche nur bei den %-Soll-Werten der vier LFP gegeben war, sodass für diese der gegebene p-Wert Verwendung finden konnte. Für die Errechnung der anderen p-Werte wurde der *wilcoxon signed rank test* angewendet, welcher genutzt wird, wenn die Voraussetzungen für einen t-test für abhängige Stichproben nicht erfüllt sind (Woolson, 2007). Anschließend wurde für alle Parameter die Effektstärke  $d_{Cohen}$  ( $d = m2 - m1 : sd1$ ) errechnet, um die Bewertung der praktischen Relevanz zu ermöglichen (Fröhlich & Pieter, 2009). Für die PEF-Werte wurde noch eine zusätzliche Power-Analyse mittels *G\*Power* (Version 3.1.9.6) durchgeführt. Das Feld *Notizen* des Atem-Tagebuchs konnte durch unregelmäßig eingetragene Informationen von zu wenigen

Proband:innen nicht ausgewertet werden. Die Uhrzeit wurde ebenfalls nicht ausgewertet, da der Tageszeitpunkt immer gleich sein sollte und diese Information keine zusätzliche Erkenntnis bringen würde. Die Subjektive Bewertung wird in Abbildung 10 wiedergegeben.

## 4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der subjektiv-empfundene Parameter der Fragebögen und die objektiv-messbaren Parameter der LFP, erfasst durch die Spirometrie, übersichtlich dargestellt.

### 4.1 Darstellung der Ergebnisse

Als Erstes erfolgt die tabellarische Darstellung aller erhobener Zielparameter der 14 Proband:innen als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung, inklusive dem p-Wert und der Effektstärke nach Cohen.

**Tabelle 1**

*Erhobene subjektiv-empfundene und objektiv-messbare Parameter als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung (n=14)*

Parameter	Prä-Test (T <sub>0</sub> )	Post-Test (T <sub>1</sub> )	p-Wert	Effektstärke d <sub>Cohen</sub>
GZ	5.57 $\pm$ 1.28	6.86 $\pm$ 1.03	0.01**	1.11 <sup>g</sup>
LQ	5.64 $\pm$ 1.60	6.71 $\pm$ 0.99	0.02*	0.80 <sup>g</sup>
PB	4.86 $\pm$ 0.77	6.43 $\pm$ 1.40	0.01**	1.39 <sup>g</sup>
FVK	4.24 $\pm$ 1.33	4.26 $\pm$ 1.26	0.41	0.02
FVK in %-Soll	104.5 $\pm$ 15.11	103.29 $\pm$ 13.89	0.54	-0.08
FEV1	3.26 $\pm$ 0.93	3.30 $\pm$ 0.89	0.38	0.04
FEV1 in %-Soll	97.29 $\pm$ 15.43	98.79 $\pm$ 13.72	0.35	0.10
FEV1/FVK	0.76 $\pm$ 0.07	0.79 $\pm$ 0.05	0.01**	0.49 <sup>m</sup>
FEV1/FVK in %-Soll	92.50 $\pm$ 7.67	95.86 $\pm$ 5.43	0.01**	0.51 <sup>m</sup>
PEF	6.60 $\pm$ 1.92	6.82 $\pm$ 2.12	0.13	0.11
PEF in %-Soll	88.0 $\pm$ 18.47	91.14 $\pm$ 22.09	0.10	0.15

\* $p < 0.05$  \*\* $p < 0.01$

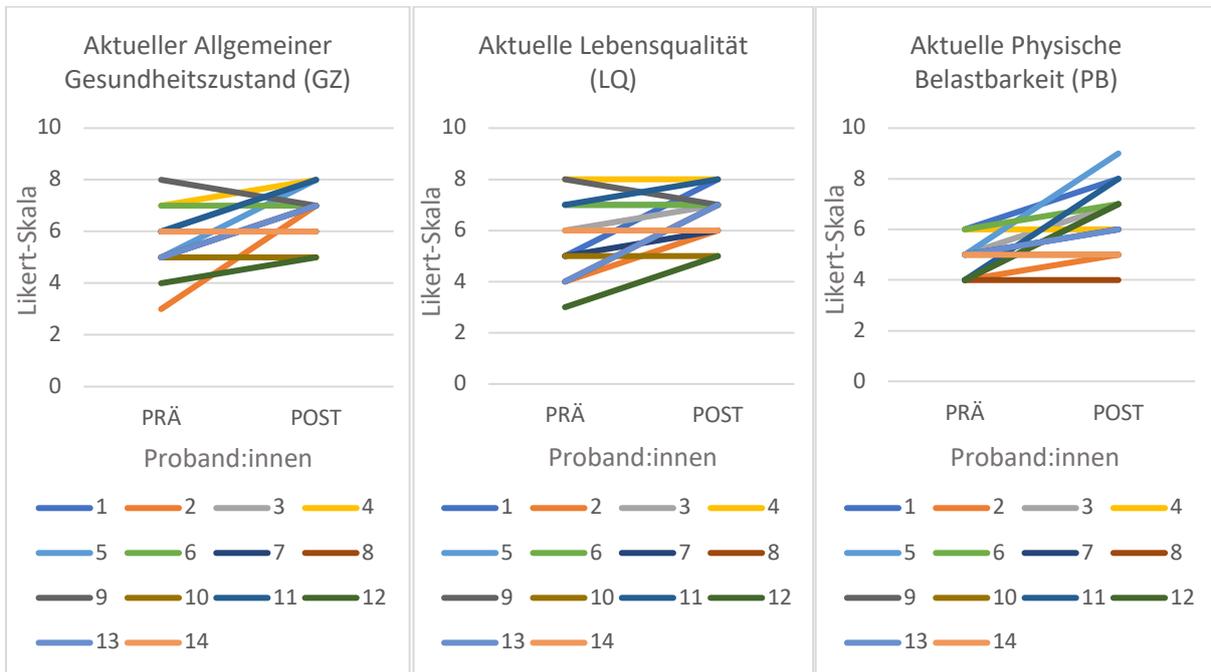
<sup>g</sup> großer Effekt <sup>m</sup> mittelgradiger Effekt

(eigene Darstellung)

Als Nächstes werden die individuellen subjektiven Parameter mit Hilfe der Likert-Skala abgebildet (Abb. 8) und die objektiven Parameter des Tiffeneau-Index in % und Tiffeneau-Index in %-Soll aufgezeigt, welche sich signifikant verändert haben (Abb. 9).

**Abbildung 8**

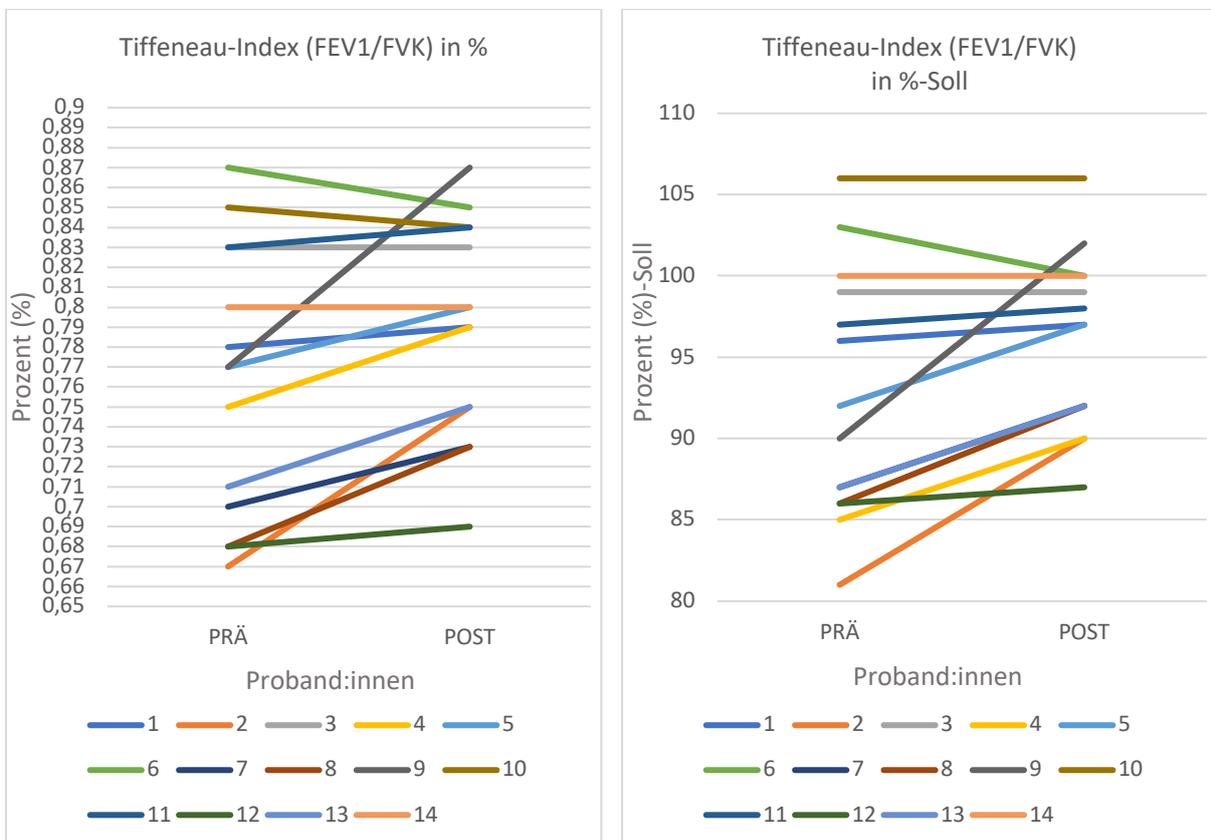
Individuelle Proband:innenwerte des allgemeinen Gesundheitszustands, der aktuellen Lebensqualität und der physischen Belastbarkeit bei Prä- und Posttestung



(eigene Darstellung)

**Abbildung 9**

Individuelle Proband:innenwerte des Tiffeneau-Index in % und Tiffeneau-Index in %-Soll bei Prä- und Posttestung

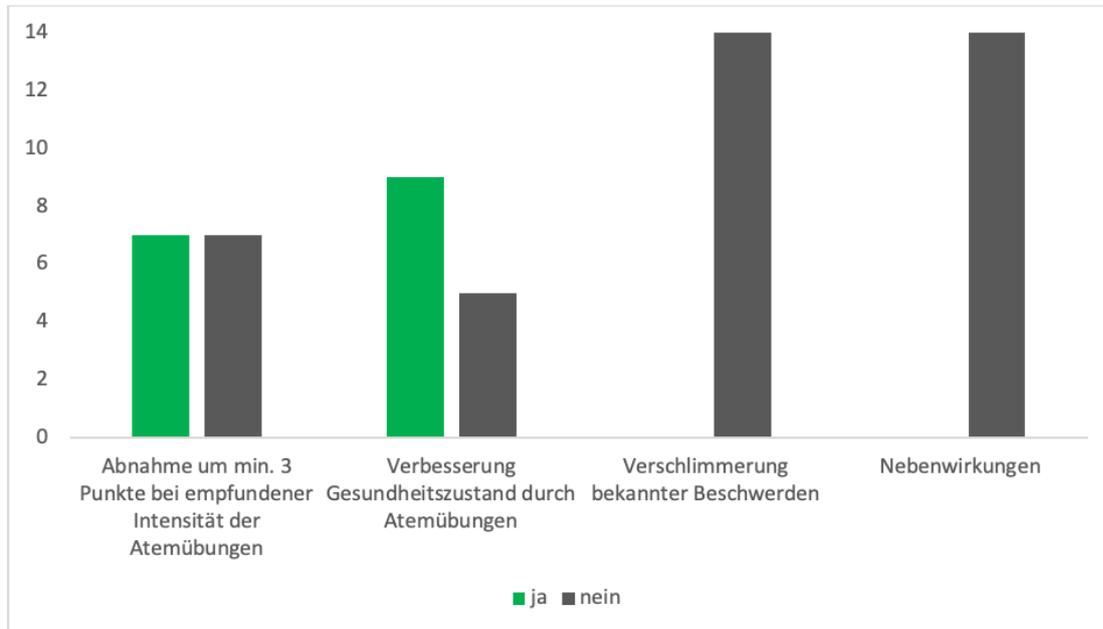


(eigene Darstellung)

Abbildung 10 zeigt die erhobenen Parameter des Fragebogens der Post-Testung inklusive der Abnahme um min. drei Punkte bei der subjektiven Bewertung des Atem-Tagebuchs. Abbildung 11 stellt die Kausalität zwischen dieser Abnahme und einer Verbesserung des Gesundheitszustandes dar.

**Abbildung 10**

*Subjektiv-empfundene Parameter bei Post-Testung*



*(eigene Darstellung)*

**Tabelle 2**

*Kausalität zwischen Abnahme der subjektiven Intensität und der subjektiven Verbesserung des Gesundheitszustands durch die Intervention*

	Verbesserung Gesundheitszustand	Keine Verbesserung Gesundheitszustand	
Abnahme um min. 3 Punkte bei empfundener Intensität der Atemübungen	4	3	7
Keine Abnahme um min. 3 Punkte bei empfundener Intensität der Atemübungen	5	2	7
	9	5	14

*(eigene Darstellung)*

## 4.2 Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Eine signifikante Veränderung wurde bei der subjektiv-empfundene Lebensqualität, dem subjektiv-empfundene allgemeinen Gesundheitszustand, der subjektiv-empfundene physischen Belastbarkeit und dem Tiffeneau-Index (FEV1/FVK) als absoluter Zahlenwert in %, genauso wie beim %-Soll-Wert, festgestellt. Die Effektstärke  $d_{\text{Cohen}}$  hat bei den subjektiv-empfundene Parametern einen großen, beim Tiffeneau-Index als Zahlenwert und in %-Soll einen mittelgradigen Effekt. Neun Proband:innen (64,3 %) haben eine subjektiv-empfundene Verbesserung des Gesundheitszustands in Verbindung mit den Atemübungen angegeben. Sieben von 14 (50 %) konnten sich bei der subjektiv-empfundene Intensität der Atemübungen über die vier Wochen um min. drei Punkte verbessern. Durch die große Streuung konnte keine Kausalität zwischen der Intensität und der Verbesserung des Gesundheitszustands ermittelt werden (siehe Tab. 2). Es wurde keine Verschlimmerung der bekannten Beschwerden oder andere Nebenwirkungen angegeben.

## 5. Diskussion

Im Nachfolgenden werden die vorliegenden Ergebnisse interpretiert, die Stärken und Schwächen des Studiendesigns aufgezeigt, eine Einordnung der Untersuchung in den Forschungsstand unternommen und eine Handlungsempfehlung formuliert.

### 5.1 Interpretation der Ergebnisse

Die subjektiv-empfundene Parameter haben sich mit einer großen Effektstärke signifikant verbessert. Neun Proband:innen (64,3 %) haben eine subjektiv-empfundene Verbesserung des Gesundheitszustands in Verbindung mit den Atemübungen angegeben, welcher die Verbesserung des Parameter GZ noch einmal unterstreicht. Besonders erwähnenswert erscheint, dass die anderen fünf (35,71 %), welche keine Verbesserung des Gesundheitszustands bemerkt haben, alle zwischen dem Infektionszeitpunkt und Studienbeginn im Durchschnitt (ohne den Ausreißer (739) mit mehr als zwei Standardabweichungen über dem Mittelwert hinzuzunehmen)  $141 \pm 47$  (94, 109, 170, 192, 739) Tage aufwiesen. Nur eine Person hat angegeben, dass sie eine Verbesserung bemerkt hat, obwohl 509 Tage dazwischen lagen. Dies kann als erster Hinweis darauf deuten, dass vermutlich bis ca. 80 Tage (elfeinhalb Wochen) nach Infektion (max. Zeitpunkt einer Probandin, welche noch eine positive Veränderung des Gesundheitszustands festgestellt hat) eine Atemintervention anzusiedeln sein sollte. Auch hier müssen unerwünschte Effekte (siehe 5.2) berücksichtigt werden, welche die Aussagekraft des Ergebnisses beeinflussen können. Die *Compliance* war sehr hoch, was für die Wertigkeit der Ergebnisse spricht.

Der Tiffeneau-Index als Absolutwert und in %-Soll hat sich mit einer mittleren Effektstärke nach Cohen hochsignifikant verbessert. Dieser ist der wichtigste Parameter zur Beurteilung von Ventilationsstörungen. Wenn der Tiffeneau-Index kleiner als LLN ist, zeigt dies eine Voraussetzung für eine Obstruktion (wie z.B. bei Asthma und COPD). Da jedoch kein LLN-Wert vorlag, ist die klinische Relevanz dieser Verbesserung kaum gegeben.

Die Länge der Intervention (vier Wochen, fünfmal 30 min pro Woche) könnte auch für die Verbesserung der anderen Parameter zu kurz gewesen sein, sodass die Länge einer effektiven Intervention und die Länge der Atemübungen in weiteren Studien evaluiert werden müssen. Dies könnte ähnlich wie bei der Studie von Ahmed et al. (2010) sein, welche keine Veränderung der LFP nach 30 Tagen, jedoch signifikante Veränderungen nach 60 Tagen feststellen konnte. Auch Makwana et al.

(1988), Joshi et al. (1992), Yadav und Das (2001), Sodhi et al. (2009) und Doijad und Surdi (2012) haben in ähnlichen Studien herausgefunden, dass sich in einem Zeitraum zwischen vier bis zwölf Wochen die Atem-Anhaltezeit verbessert, die Atemfrequenz sinkt und sich FVK, FEV1 und PEF deutlich verbesserten, sodass der gewählte Zeitraum in dieser Studie zu kurz gewesen sein könnte. Viele Teilnehmende haben informell zurückgemeldet, dass die Länge der Session von 30 min oft als sehr lang wahrgenommen wurde und, dass die Länge von 15-20 min subjektiv besser geeignet wäre. Auch diese Problematik sollte in weiteren Studien evaluiert werden.

Eine Verschlimmerung der bekannten Beschwerden oder andere Nebenwirkungen konnten nicht festgestellt werden, welche bei Ateminterventionen auch nicht zu erwarten wären. Besonders interessant war auch die Abnahme der empfundenen Intensität der Atemübungen, welche auf einen Trainingseffekt hätte hindeuten können. Jedoch, wie in Tab. 2 ersichtlich, haben nur vier Proband:innen (28,6 %) diese Abnahme in Verbindung mit einer Verbesserung des Gesundheitszustands angegeben, was eine solche These widerlegt.

## 5.2 Stärken und Schwächen der Studie

Diese explorative Prä-Post-Analyse ist eine der ersten Untersuchungen ihrer Art, welche (yogische) Atemübungen gezielt bei Kurzatmigkeit, Atemnot und verringerter physischer Belastbarkeit in Bezug auf die LFP und den subjektiven Gesundheitszustand bei Post- und Long-COVID-Erkrankten untersucht hat, um herauszufinden, ob es eine Wirkung dieser Übungen auf Betroffene gibt, sodass eventuell weitere Studien durchgeführt werden sollten. Es wurden keine Verschlimmerung der bekannten Beschwerden oder andere Nebenwirkungen durch die Intervention festgestellt. Zusätzlich konnten bei den subjektiv-empfundene Parameter signifikante Ergebnisse mit einer großen Effektstärke nach Cohen nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse geben erste Anhaltspunkte auf eine Wirkung, welche in weiteren Untersuchungen mit einer größeren Anzahl von Proband:innen und einer zusätzlichen Kontrollgruppe bestätigt werden müssen. Des Weiteren wurde eine hohe *Compliance* seitens der Proband:innen durch informale Interviews und das Ausfüllen der Uhrzeiten und der subjektiven Bewertung im Atem-Tagebuch festgestellt.

Die geringe Proband:innenzahl ( $n = 14$ ) und die fehlende Kontrollgruppe mindern die Aussagekraft der Ergebnisse erheblich und erschweren die Kausalität. So kann abschließend nicht belegt werden, ob sich die positiven Veränderungen der subjektiv-empfundene Parameter durch den Zeitverlauf von vier Wochen verbessert haben oder durch die Wirkung der Intervention. Auch die

Kontrollierbarkeit der korrekten Ausführung der Atemübungen ist nicht gegeben, da die Durchführung den Proband:innen überlassen wurde. Weitere unspezifische Effekte können der Pygmalion-Effekt, auch als Rosenthal-Effekt bekannt, der Placebo-Effekt und die *Fehlerquelle der sozialen Erwünschtheit*, darstellen. Der Placebo-Effekt kann meist nur bei Medikamenten aus pharmazeutischen Studien durch Scheinmedikamente ausgeschlossen werden. Oft wird die Wirkung von Medikamenten dabei zusätzlich durch den Placebo-Effekt bestärkt. In Yoga-Studien ist eine derartige Eliminierung des Placebo-Effekts nicht möglich.

Für die beiden größten nicht-signifikanten Effektstärken (PEF und PEF in %-Soll) wurde eine Power-Analyse durchgeführt. Die Power-Berechnung durch G\*Power 3.1.9.6 hat gezeigt, dass bei der vorliegenden explorativen Prä-Post-Analyse mit  $n = 14$  bei PEF eine Power von 7 % gegeben ist, sodass, um bei einem Unterschied ein signifikantes Ergebnis zu erhalten,  $n = \text{min. } 651$  betragen muss. Ähnlich ist es bei PEF in %-Soll, welcher eine Power von 8 % besitzt, sodass  $n = \text{min. } 351$  sein muss, um ein potenziell signifikantes Ergebnis zu erhalten (G\*Power. Statistical Power Analyses for Mac and Windows, 2020). Die klinische Relevanz bei der Verbesserung des Tiffeneau-Index ist, ohne Vorliegen eines LLN, kaum gegeben. Außerdem sind bei Prä-Post-Veränderungen die Effektstärken tendenziell höher, bedingt durch die Abhängigkeit der Stichproben (Maier-Riehle & Zwingmann, 2000).

### 5.3 Einordnung der Ergebnisse in den bisherigen Forschungsstand

Da speziell in diesem Forschungsbereich der Forschungsstand durch die wenigen vorliegenden (hochwertigen) Studien rudimentär ist und diese sich oft nicht in der Tiefe mit den LFP bzw. (yogischen) Atemübungen beschäftigen, sondern z.B. eher den 6MWT als Bewertungsinstrument nutzen, gestaltet sich eine Einordnung äußerst schwierig. Auch das Fehlen der Kontrollgruppe durch die geringe Teilnehmendenzahl macht eine sinnvolle Einordnung sehr schwierig.

Für einen Vergleich der Effektstärke  $d_{\text{Cohen}}$  dieser Untersuchung zu anderen der PR wurden 2 Meta-Analysen von Prāṇāyāma-Studien herangezogen. Die Asthma-Meta-Analyse von randomisiert-kontrollierten Studien von Cramer et al. (2014) konnte genau wie diese Untersuchung bei FEV1 und FVK keine Signifikanz feststellen. Eine weitere Gemeinsamkeit liegt bei der signifikanten Verbesserung mit mittelgradigem Effekt beim Tiffeneau-Index (FEV1/FVK). Ein Unterschied ist beim PEF-Wert festzustellen. Die Meta-Analyse konnte dort eine mittlere Effektstärke aufzeigen, welche vermutlich durch die geringe Proband:innenzahl bei dieser explorativen Prä-Post-Analyse, wie in 5.2 erläutert, nicht festzustellen war. Im Vergleich zu der COPD-Meta-Analyse von Cramer et al. (2019) lassen sich bezüglich

der Effektstärke  $d_{\text{Cohen}}$  folgende Punkte zusammenfassen: FEV1 hat bei *yoga* im Vergleich zu keiner Behandlung eine große Effektstärke, jedoch keinen signifikanten p-Wert und keinen signifikanten Gruppenunterschied. In Bezug auf den p-Wert deckt sich dies mit meinen Ergebnissen. Der Tiffeneau-Index und der PEF wurden bei der COPD-Meta-Analyse nicht abgebildet. Zusammenfassend kann man sagen, dass *prāṇāyāma* möglicherweise primär auf den Tiffeneau-Index wirkt.

Banstola (2016) konnte bei einer achtwöchigen Prāṇāyāma-Intervention eine hochsignifikante Verbesserung verschiedener LFP feststellen. Besonders der durchschnittliche Werte des FEV1 von 2398 auf 2659 ml (Zunahme von 261 ml) hat sich deutlich verändert, was für die Verbesserung von Obstruktionen interessant ist. Dies steht den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung entgegen und könnte damit zusammenhängen, dass die Intervention *bhastrikā und kapālabhāti* enthielt, welche hier als Kontraindikation nach COVID ausgeschlossen werden mussten. Bei beiden Atmungsübungen wird der Fokus auf die schnelle, forcierte Atmung gelegt, welche durch regelmäßiges Praktizieren geübt wird. Da in der vorliegenden Untersuchung besonders langsame Arten von *prāṇāyāma* verwendet wurden, könnte es sein, dass der Effekt, wie bei Dinesh et al. (2015) eher bei schnellen Arten von *prāṇāyāma* eine Verbesserung folgender LFP bedeutet hätte: FEV1/FVK, PEF und FEF<sub>25-75%</sub>. Auch hier wären schnelle Arten von *prāṇāyāma*, wie in 2.4 beschrieben, für COVID-Erkrankte eine Kontraindikation gewesen.

Borge et al. (2014) haben herausgefunden, dass es Hinweise darauf gibt, dass das Training der Atemmuskulatur Auswirkungen auf Atemnot, Müdigkeit und krankheitsspezifische Lebensqualität hat. Auch bei meiner Untersuchung haben sich die subjektiven Parameter (GZ, LQ, PB) mit einer großen Effektstärke signifikant verbessert, was ebenfalls erste Anhaltspunkte darauf gibt, dass dies tatsächlich in Betracht gezogen werden sollte. Ähnlich wie bei Stavrou et al. (2021) wurde bei dieser explorativen Prä-Post-Analyse die Tendenz gezeigt, dass auch eine unbeaufsichtigte PR eine gewisse Wirkung zur Förderung der physischen Belastbarkeit und der Erholung von Symptomen nach COVID aufweist.

Die Charité stellt auf ihrer Webseite ein „Übungsprogramm für Patient\*innen im Rahmen einer Covid-19-Erkrankung“ von Isabelle Reißhauer & Hoffmann (2022) mit folgenden Übungen zur Verfügung: 1. Schnüffelndes Einatmen und Lippenbremse, 2. Kontaktatmung, 3. Wirbelsäule und Brustkorb mobilisieren, 4. Periphere Atemantriebe. Dabei sind die reinen Atemübungen (ohne 3. und 4.), wie die Kontaktatmung (17 min) und ein Einatmen mit halbgeschlossener Stimmritze (*ujjāyī*, 5 min) ebenso in dieser Untersuchung enthalten. Nach Angaben der Autorinnen wurde dieses Programm durch ein interprofessionelles Team aus Fachärzt:innen der physikalischen Medizin und Rehabilitation gemeinsam

mit Physiotherapeut:innen erstellt und intern getestet. Studien gibt die Charité in dem Zusammenhang jedoch nicht an.

Huang et al. (2020) hat COVID-Erkrankte in der frühen Konvaleszenz-Phase (30 Tage nach Krankenhausentlassung) untersucht und verschiedene Anomalien bei den LFP festgestellt. Auch der Tiffeneau-Index ist dabei betroffen, welcher wie bereits oben erwähnt bei dieser Untersuchung und der Asthma-Meta-Analyse von Cramer et al. (2014) eine hochsignifikante Verbesserung mit einem mittelgradigen Effekt nach Cohen aufweist. Diese könnte in Zukunft einen möglichen Behandlungsschwerpunkt bieten.

## 5.4 Implikationen und Handlungsempfehlungen

Da keine Verschlimmerung bekannter Beschwerden oder andere Nebenwirkungen festgestellt wurden und sich die subjektiv-empfundene Parameter mit einer großen Effektstärke signifikant verbessert haben, kann bei nicht obstruktiv-eingeschränkten LFP eine positive Auswirkung auf die Gesundheit vermutet werden. So können Betroffene (ohne einen starken Krankheitsverlauf/ Krankenhausaufenthalt) nach akuter Krankheitsphase und in Absprache mit den behandelnden Ärzt:innen und Physiotherapeut:innen (yogische) Atemübungen als Teil des pulmonalen Rehabilitationsprozesses in Betracht ziehen. Dabei geht es sowohl um die Verbesserung der LFP, jedoch auch um Entspannung und Stressreduktion nach der akuten Krankheitsphase. Die Effektivität ist vermutlich bis ca. 80 Tage (elfeinhalb Wochen) nach Infektion am höchsten. Für weitere Empfehlungen zu PR in Bezug auf Atemübungen müssen dringend weitere Erkenntnisse (z.B. wie oft und wie lange?) durch aussagekräftige Studien gewonnen werden. Es kann vermutet werden, dass kürzere Intervalle (fünf bis 15 min) ein bis zweimal am Tag besser geeignet sind als längere Sessions von 30 bis 45 min, besonders um eine (stille) Hypoxie, oder andere in 2.4 beschriebene Risikofaktoren zu vermeiden. Dabei muss besonders auf das subjektive Empfinden der Patient:innen eingegangen werden. Auch kann vermutet werden, dass ein längerer Zeitraum für die Übungspraxis (sechs bis zwölf Wochen) erforderlich ist. Dabei sind besonders Motivation und *Compliance* in Verbindung mit einer regelmäßigen Ausführung essenziell. Während der Übungspraxis sollte immer mit aufrechter Körperhaltung, im Stehen oder Sitzen, geübt werden. Außerdem muss auf eine ausreichende Sauerstoffversorgung, durch Übung im Freien oder mit einem geöffnetem Fenster, geachtet werden.

Für interdisziplinäre-multimodale Ansätze muss in Zukunft außerdem ein Netzwerk zwischen Ärzt:innen, Therapeut:innen und (Fach)Kliniken geschlossen werden. Dieser Punkt war nicht Teil der

vorliegenden Arbeit, muss jedoch zur Vollständigkeit hier erwähnt werden, da viele Proband:innen während der Testungen von schwierigen Bedingungen beim Auffinden spezieller Angebote berichtet haben. Dieser Problematik könnte mit einem lokalen Netzwerk von Ärzt:innen und Therapeut:innen entgegengewirkt werden. Betroffene könnten über Maßnahmen und Angebote mit Hilfe von Flyern und einer Webseite informiert werden. Feedback könnte über kurze Fragebögen direkt im Wartebereich eingeholt werden, sodass diese Informationsmittel ständig weiterentwickelt werden können. Darüber hinaus braucht es eine einheitliche und übersichtliche Zusammenfassung von bundesweiten Maßnahmen und Angeboten, beispielsweise auf der Webseite der Charité.

## 6. Fazit und Ausblick

Im Folgenden werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftige Forschungsansätze gegeben.

### 6.1 Kurze Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die subjektiven Parameter haben sich alle signifikant mit einer hohen Effektstärke nach Cohen verbessert. Diese Ergebnisse müssen in weiteren randomisiert-kontrollierten Studien bestätigt werden. Es ist besonders aufgefallen, dass Atemübungen vermutlich bis ca. 80 Tage (elfeinhalb Wochen) nach der Infektion am effektivsten sind (siehe 5.1). Diese Untersuchung und die Asthma-Meta-Analyse von Cramer et al. (2014) konnten zeigen, dass *prāṇāyāma* möglicherweise primär auf den Tiffeneau-Index wirkt. Der Tiffeneau-Index ist der wichtigste Parameter zur Beurteilung von Ventilationsstörungen. Wenn der Tiffeneau-Index kleiner als LLN ist, zeigt dies eine Voraussetzung für eine Obstruktion (wie z.B. bei Asthma und COPD). Da jedoch kein LLN-Wert vorlag, ist die klinische Relevanz dieser Verbesserung kaum gegeben. Weitere Studien mit Patient:innen müssen folgen, welche ein LLN-Wert beim Tiffeneau-Index vorweisen. Die Effektstärken der Poweranalysen des PEF und PEF in %-Soll waren so gering, dass keine, zumindest keine klinisch bedeutsame Wirkung zu erwarten ist. Die LFP müssen in weiteren Studien über längere Zeiträume (sechs bis zwölf Wochen) untersucht werden.

Abschließend kann gesagt werden, dass der gewählte Zeitraum für die Verbesserung von FEV1 und FVK zu gering ist. Es konnte nicht abschließend geklärt werden, ob dieser Zeitraum für eine Verbesserung des PEF-Werts ausreicht. Möglicherweise ist eine Verbesserung von FEV1, FVK und PEF durch die in dieser Untersuchung ausgewählten Atemübungen nicht möglich. Beim Tiffeneau-Index hat diese Verbesserung stattgefunden. Die subjektiven Parameter haben sich (hoch) signifikant mit einer hohen Effektstärke verbessert. In weiteren Untersuchungen muss geklärt werden, ob diese Ergebnisse von in 5.2 erwähnten, unspezifischen Effekten möglicherweise verfälscht wurden.

### 6.2 Zukünftige Forschungsansätze

In Zukunft müssen größere randomisiert-kontrollierte Studien folgen, welche Messungen bei vier, acht und zwölf Wochen vornehmen. Folgende Gruppenverteilung wäre sinnvoll: 1.

Interventionsgruppe mit eingeschränkten LFP (LLN-Werten), 2. Interventionsgruppe mit *normalen* LFP, 3. Kontrollgruppe mit *normalen* LFP. Dabei sollten in diversen Studien unterschiedlich lange Atemübungen abgebildet werden (z.B. 15 min zweimal am Tag, 30 min einmal am Tag, etc.). Genau wie bei Soni et al. (2012) und Cramer et al. (2014) bei COPD, könnte durch weitere Studien aufgezeigt werden, dass *prāṇāyāma* möglicherweise eine wirksame, ergänzende Maßnahme für COVID-Patient:innen zur Verbesserung des Tiffeneau-Index bietet. Vertiefte Erkenntnisse über CT-Anomalien, DLCO-Veränderungen und die eingeschränkte physische Belastbarkeit, welche nicht Gegenstand der Arbeit waren, müssen in Zukunft unbedingt erschlossen werden. Auch ist es essenziell die Wirkmechanismen der einzelnen Atemübungen auf das Gehirn, das Nervensystem und das pulmonale System zu verstehen.

## VIII. Literaturverzeichnis

- Ahmed, Q. R., Sau, S. K. & Kar, S. K. (2010). An evaluation of pulmonary parameters in two groups of subjects during Yoga practice. *Nepal Medical College Journal*, 12 (3), 180–182.
- Balbi, M., Conti, C., Imeri, G., Caroli, A., Surace, A., Corsi, A., Mercanzin, E., Arrigoni, A., Villa, G., di Marco, F., Bonaffini, P. A., & Sironi, S. (2021). *Post-discharge chest CT findings and pulmonary function tests in severe COVID-19 patients*. *European Journal of Radiology*, 138, 109676.
- Banstola, D. (2016). Effect of yoga breathing exercises on ventilatory function. *Journal of Gandaki Medical College-Nepal*, 9(2), 17-22.
- Bhaktivedanta Swami Prabhupāda, A. C. (1986). *Bhagavad-gītā as it is* (2. Aufl.). Bhaktivedanta Book Trust.
- Borge, C. R., Hagen, K. B., Mengshoel, A. M., Omenaas, E., Moum, T., & Wahl, A. K. (2014). Effects of controlled breathing exercises and respiratory muscle training in people with chronic obstructive pulmonary disease: results from evaluating the quality of evidence in systematic reviews. *BMC pulmonary medicine*, 14 (1), 1-15.
- Breakthrough in the diagnostics of patients with asthma and COPD*. (2021). AioCare. <https://aiocare.com/doctor/>
- Chandrasekhar, M., Ambareesha, K., & Nikhil, C. (2014). Effect of pranayama and suryanamaskar on pulmonary functions in medical students. *JCDR - Journal of clinical and diagnostic research*, 8 (12), BC04-BC06.
- Comroe, J. H., Forster, R. E., Dubois, A. B., & Briscoe, W. A. (1972) *Die Lunge. Klinische Physiologie und Lungenfunktionsprüfung* (3. Aufl.). Schattauer.
- Coronavirus disease (COVID-19)*. (2022). World Health Organization. [https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab\\_3](https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_3)
- COVID-19 Dashboard*. (2022). <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>

- Cramer, H. (2017). Wo und wie wirkt Yoga?—Eine wissenschaftliche Bestandsaufnahme. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 142 (25), 1925-1929.
- Cramer, H., Haller, H., Klose, P., Ward, L., Chung, V. C., & Lauche, R. (2019). The risks and benefits of yoga for patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *Clinical rehabilitation*, 33 (12), 1847-1862.
- Cramer, H., Posadzki, P., Dobos, G., & Langhorst, J. (2014). Yoga for asthma: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 112 (6), 503-510.
- Criée, C. P., Baur, X., Berdel, D., Bösch, D., Gappa, M., Haidl, P., Husemann, K., Jörres, R. A., Kabitz, H.-J., Kardos, P., Köhler, D., Magnussen, H., Merget, R., Mitfessel, H., Nowak, D., Ochmann, U., Schürmann, W., Smith, H.-J., Sorrichter, S., ..., & Worth, H. (2015). Leitlinie zur Spirometrie. Leitlinie der Deutschen Atemwegsliga, der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin zur Spirometrie. *Pneumologie*, 69 (03), 147-164.
- De Michelis, E. (2007). *A preliminary survey of modern yoga studies*. *Asian Medicine*, 3 (1), 1-19.
- Dinesh, T., Gaur, G. S., Sharma, V. K., Madanmohan, T., Kumar, K. H., & Bhavanani, A. B. (2015). Comparative effect of 12 weeks of slow and fast pranayama training on pulmonary function in young, healthy volunteers: A randomized controlled trial. *International journal of yoga*, 8 (1), 22-26.
- Doijad, V. P., & Surdi, A. D. (2012). Effect of short term yoga practice on pulmonary function tests. *Indian Journal of Basic & Applied Medical Research*, 1 (3), 226-230.
- Faller, A., & Schünke, M. (2008). *Der Körper des Menschen* (17. Aufl.). Thieme.
- Frank, U., & Frank, K. (2021). COVID-19—neue Herausforderungen in der Dysphagie-und Atemtherapie. *Der Nervenarzt*, 93 (2), 167-174.
- Freitag, A. (2022). Was ist dran an Long COVID?. *Orthopress*, 28 (1), 52-53.

- Fröhlich, M., & Pieter, A. (2009). Cohen's Effektstärken als Mass der Bewertung von praktischer Relevanz– Implikationen für die Praxis. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 57 (4), 139-142.
- Fuehner, T., Renger, I., Welte, T., Freundt, T., & Gottlieb, J. (2022). Stille Hypoxie bei COVID-19: Eine Fallserie. *Kompass Pneumologie*, 1 (5), 1-4.
- G\*Power. *Statistical Power Analyses for Mac and Windows*. (2020). <https://www.psychologie.hhu.de/arbeitsgruppen/allgemeine-psychologie-und-arbeitspsychologie/gpower.html>
- Hayden, M. C., Limbach, M., Schuler, M., Merkl, S., Schwarzl, G., Jakab, K., Nowak, D., & Schultz, K. (2021). Effectiveness of a three-week inpatient pulmonary rehabilitation program for patients after COVID-19: A prospective observational study. *International journal of environmental research and public health*, 18 (17), 9001.
- Huang, C., Huang, L., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Gu, X., Kang, L., Gua, L., Liu, M., Zhou, X., Luo, J., Huang, Z., Tu, S., Zhao, Y., Chen, L., Xu, D., Li, Y., Li, C., Peng, L., ... & Cao, B. (2021). 6-month consequences of COVID-19 in patients discharged from hospital: a cohort study. *The Lancet*, 397 (10270), 220-232.
- Huang, Y., Tan, C., Wu, J., Chen, M., Wang, Z., Luo, L., Zhou, X., Liu, X., Huang, X., Yuan, S., Chen, C., Gao, F., Huang, J., Shan, H., & Liu, J. (2020). Impact of coronavirus disease 2019 on pulmonary function in early convalescence phase. *Respiratory research*, 21 (1), 1-10.
- Iyengar, B. K., & Lehner, J. (2010). *Der Urquell des Yoga. Die Yoga-Sutras des Patanjali*. O.W. Barth.
- Jeong, S. (2022). *yoga industry statistics, facts, demographics & infographic*. Yogi Times. <https://www.yogitimes.com/article/unstoppable-trend-yoga-infographic-business>
- Joshi, L. N., Joshi, V. D., & Gokhale, L. V. (1992). Effect of short term 'Pranayam' practice on breathing rate and ventilatory functions of lung. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 36 (2), 105-108.
- Kolar, P., Neuwirth, J., Sanda, J., Suchanek, V., Svata, Z., Volejnik, J., & Pivec, M. (2009). Analysis of diaphragm movement during tidal breathing and during its activation while breath holding using MRI synchronized with spirometry. *Physiological research*, 58 (3), 383-392.

- Komici, K., Bianco, A., Perrotta, F., Dello Iacono, A., Bencivenga, L., D'Agnano, V., Rocca, A., Bianco, A., Rengo, G., & Guerra, G. (2021). Clinical Characteristics, Exercise Capacity and Pulmonary Function in Post-COVID-19 Competitive Athletes. *Journal of Clinical Medicine*, *10* (14), 3053.
- Lewis, K. L., Helgeson, S. A., Tatari, M. M., Mallea, J. M., Baig, H. Z., & Patel, N. M. (2021). COVID-19 and the effects on pulmonary function following infection: A retrospective analysis. *EClinicalMedicine*, *39*, 101079.
- Lhoir, C. M. (2022). *Yogastudien. Philosophie & Geschichte des Yoga online lernen*. <https://www.yogastudien.de>
- Liao, T., Meng, D., Xiong, L., Wu, S., Yang, L., Wang, S., Zhou, M., He, X., Cao, X., Xiong, H., Fan, Y., Xia, J., Hu, Y., & Jin, Y. (2022). Long-Term Effects of COVID-19 on Health Care Workers 1-Year Post-Discharge in Wuhan. *Infectious diseases and therapy*, *11* (1), 145-163.
- Liu, K., Zhang, W., Yang, Y., Zhang, J., Li, Y., & Chen, Y. (2020). Respiratory rehabilitation in elderly patients with COVID-19: A randomized controlled study. *Complementary therapies in clinical practice*, *39*, 101166.
- Liu, X. C., Pan, L., Hu, Q., Dong, W. P., Yan, J. H., & Dong, L. (2014). Effects of yoga training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *Journal of thoracic disease*, *6* (6), 795-802.
- Long COVID: Langzeitfolgen von COVID-19*. (2022). Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung. <https://www.infektionsschutz.de/coronavirus/basisinformationen/long-covid-langzeitfolgen-von-covid-19/>
- Maas, P. A. (2006). *Samādhīpāda. Das erste Kapitel des Pātañjalayogaśāstra zum ersten Mal kritisch ediert*. Shaker.
- Maier-Riehle, B., & Zwingmann, C. (2000). Effektstärkevarianten beim Eingruppen-Prä-Post-Design: Eine kritische Betrachtung. *Die Rehabilitation*, *39* (04), 189-199.
- Makwana, K., Khirwadkar, N., & Gupta, H. C. (1988). Effect of short term yoga practice on ventilatory function tests. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, *32* (3), 202-208.

Mallinson, J., & Singleton, M. (2017). *Roots of yoga*. Penguin UK.

Menche, N. (Ed.). (2020). *Biologie Anatomie Physiologie* (6. Aufl.). Elsevier Health Sciences.

Muktibodhananda, S. (2013). *Hatha yoga pradipika*. Bihar School of Yoga.

Olivelle, P. (1998). *The early Upanisads: Annotated text and translation*. Oxford University Press.

Ostrowski, L. V. (2022). *Ein Text in Bewegung. Das Yogasūtra als Praxiselement im Ashtanga Yoga – eine historische, religionsästhetische und ethnographische Studie*. Georg Olms Verlag.

Panwar, S., Chourishi, A., & Makwana, J. (2012). Effect of pranayama (yoga) on pulmonary function test of young healthy students. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 3 (4), 12-16.

Pellegrino, R., Viegi, G., Brusasco, V., Crapo, R. O., Burgos, F., Casaburi, R., Coates, A., van der Grinten, C. P. M., Gustafsson, P., Hankinson, J., Jensen, R., Johnson, D. C., MacIntyre, N., McKay, R., Miller, M. R., Navajas, D., Pedersen, O. F., & Wanger, J. (2005). Interpretative strategies for lung function tests. *European respiratory journal*, 26 (5), 948-968.

Petro, W., & Konietzko, N. (1988). *Pulmonale Funktionsdiagnostik in der Lungenchirurgie*. Steinkopf.

Powell, S. (2022). *Yogic Studies. An educational platform dedicated to providing the highest quality research and teaching, offering university-level courses on Yoga, Hinduism, Buddhism, and South Asian Languages*. <https://www.yogicstudies.com>

Quanjer, P. H., Stanojevic, S., Cole, T. J., Baur, X., Hall, G. L., Culver, B. H., Enright, P. L., Hankinson, J. L., Ip M. S. M., Zheng, J., Stocks, J. & ERS Global Lung Function Initiative. (2012). Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3–95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *The European respiratory journal*, 40 (6), 1324–1343.

Reißhauer, A., & Hoffmann, A. (2022). Ein Übungsprogramm für Patient\*innen im Rahmen einer Covid-19-Erkrankung [Video]. Charité. [https://physikalische-medicin.charite.de/fuer\\_patienten/spezialsprechstunden/post\\_covid\\_syndrom\\_recovajar/](https://physikalische-medicin.charite.de/fuer_patienten/spezialsprechstunden/post_covid_syndrom_recovajar/)

- Rommel, A., Treskova-Schwarzbach, M., Scholz, S., & Von der Lippe, E. (2021). *Bevölkerung mit einem erhöhten Risiko für schwere COVID-19-Verläufe in Deutschland. Auswertungen der Studie GEDA 2019/2020-EHIS. Journal of Health Monitoring, 6 (2), 2-15.*
- Russo, M. A., Santarelli, D. M., & O'Rourke, D. (2017). The physiological effects of slow breathing in the healthy human. *Breathe, 13 (4), 298-309.*
- Rutte, R., & Sturm, S. (2017). *Atemtherapie (3. Aufl.). Springer-Verlag.*
- Salem, A. M., Al Khathlan, N., Alharbi, A. F., Alghamdi, T., AlDuilej, S., Alghamdi, M., Alfudhaili, M., Alsunni, A., Yar, T., Latif, R., Rafique, N., Asoom, L. A., & Sabit, H. (2021). The Long-term impact of COVID-19 pneumonia on the pulmonary function of survivors. *International Journal of General Medicine, 14, 3271-3280.*
- Saoji, A. A., Raghavendra, B. R., & Manjunath, N. K. (2019). Effects of yogic breath regulation: A narrative review of scientific evidence. *Journal of Ayurveda and integrative medicine, 10 (1), 50-58.*
- Schwarz, S., Lehnigk, B., & Schwittai, W. (Eds.). (2021). *Lungenfunktionsdiagnostik und Spiroergometrie. Georg Thieme Verlag.*
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2007). *Taschenatlas Physiologie (7. Aufl.). Georg Thieme Verlag.*
- Singleton, M. (2010). *Yoga body: The origins of modern posture practice. Oxford University Press.*
- Sivakumar, G., Prabhu, K., Baliga, R., Pai, M. K., & Manjunatha, S. (2011). Acute effects of deep breathing for a short duration (2-10 minutes) on pulmonary functions in healthy young volunteers. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology, 55 (2), 154-159.*
- Sodhi, C., Singh, S., & Dandona, P. K. (2009). A study of the effect of yoga training on pulmonary functions in patients with bronchial asthma. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology, 53 (2), 169-174.*
- Soni, R., Munish, K., Singh, K. P., & Singh, S. (2012). Study of the effect of yoga training on diffusion capacity in chronic obstructive pulmonary disease patients: A controlled trial. *International journal of yoga, 5 (2), 123-127.*

Spielmanns, M., Buelow, M. M., Pekacka-Egli, A. M., Cecon, M., Spielmanns, S., Windisch, W., & Hermann, M. (2021). Clinical and Functional Predictors of Response to a Comprehensive Pulmonary Rehabilitation in Severe Post-COVID-19 Patients. *Microorganisms*, 9 (12), 2452.

Stavrou, V. T., Tourlakopoulos, K. N., Vavougios, G. D., Papayianni, E., Kiribesi, K., Maggoutas, S., Nikolaidis, K., Fradelos, E. C., Dimeas, I., Daniil, Z., Gourgoulisanis, K. I., & Boutlas, S. (2021). Eight weeks unsupervised pulmonary rehabilitation in previously hospitalized of SARS-CoV-2 infection. *Journal of Personalized Medicine*, 11 (8), 806.

*Überblick zu Long Covid Studien und Statistiken.* (2022). Median Klinik. <https://www.median-kliniken.de/long-covid/de/fuer-fachpublikum/krankheitsbild-long-covid/zahlen-aus-studien/>

Ulmer, W. T. (Ed.). (2001). *Die Lungenfunktion: Methodik und klinische Anwendung; mit 23 Tabellen.* Thieme.

Vostatek, P., Novak, D., Rychnovský, T., & Rychnovská, Š. (2013). Diaphragm postural function analysis using magnetic resonance imaging. *PloS one*, 8 (3), e56724.

Weineck, J. (2010). *Sportbiologie* (10. Aufl.). Spitta.

Woolson, R. F. (2007). Wilcoxon signed-rank test. *Wiley encyclopedia of clinical trials*, 4, 528-530.

Wu, X., Liu, X., Zhou, Y., Yu, H., Li, R., Zhan, Q., Fang, N., Fang, S., Lu, Y., Ding, X., Liu, H., Ewing, R. M., Jones, M. G., Hu, Y., Nie, H., & Wang, Y. (2021). 3-month, 6-month, 9-month, and 12-month respiratory outcomes in patients following COVID-19-related hospitalisation: a prospective study. *The Lancet Respiratory Medicine*, 9 (7), 747-754.

Yadav, R. K., & Das, S. (2001). Effect of yogic practice on pulmonary functions in young females. *Indian journal of physiology and pharmacology*, 45 (4), 493-496.

Yang, L. L., & Yang, T. (2020). Pulmonary rehabilitation for patients with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Chronic diseases and translational medicine*, 6 (02), 79-86.

*Yoga in Zahlen.* (2018). Berufsverband der Yogalehrenden in Deutschland e.V.. <https://www.yoga.de/yoga-als-beruf/yoga-in-zahlen/yoga-in-zahlen-2018/>

yuj. (1899). Monier-Williams Sanskrit-English Dictionary. <https://www.sanskrit-lexicon.uni-koeln.de/scans/MWScan/2020/web/webtc2/index.php>

Zalpour, C. (Ed.). (2016). *Anatomie Physiologie für die Physiotherapie* (4. Aufl.). Elsevier, Urban & Fischer Verlag.

Zhang, S., Bai, W., Yue, J., Qin, L., Zhang, C., Xu, S., Xiansheng, L., Wang, N., & Xie, M. (2021). Eight months follow-up study on pulmonary function, lung radiographic, and related physiological characteristics in COVID-19 survivors. *Scientific reports*, 11 (1), 1-13.

# IX. Anhang

## IX.I Artikulationsschema

30-minütiges Artikulationsschema: Prāṇāyāma-Übungen nach COVID, um Lungenfunktionsparameter zu verbessern

Organisationsform: sitzend

Material / Medien: Stuhl oder Yogakissen / -block und Yogamatte, Handy/Tablet/Laptop für das Video der Atemübungen

Phase & Zeit (~ 30 Min.)	Unterrichtsinhalt: Was?	Durchführungshinweise: Wie?	Unterrichtsziel: Wozu?
1. Ankommensphase: Wahrnehmung von Umgebungsgeräuschen und der eigenen Atmung 3 Min.	1) Wahrnehmung der Umgebungsgeräusche im Raum: entfernt & nah, laute & leise, konstant & wechselnd, alles zusammen  1.1) Wahrnehmung von Atemgeräuschen, -sensationen (Anheben und Absenken des Brustkorbs) und -tiefe (Länge der In- und Expirationen)	Verbal angeleitet durch die Stimme des Lehrers / der Lehrerin, sodass die Aufmerksamkeit der Teilnehmenden von den verschiedenen Geräuschen im Raum hin zur eigenen Atmung wandern kann. (1-1.1)	Aufmerksamkeit/ Konzentration soll auf die Umgebung und anschließend auf den eigenen Körper gerichtet werden, um die eigene Atemfrequenz, -tiefe und -erfahrung wahrzunehmen.
2. Atemsteuerung durch Kontakt- und Richtungsatmen mit Slow-Volume-Increase  je 3 Min. = 12 Min. insgesamt	2) Bauchatmung 2.1) Brustatmung 2.2) Rippenatmung 2.3) Rückenatmung (in die Schulterblätter)	Hände werden auf die jeweilige Körperstelle gelegt.	Durch den Kontakt der Hände zu den verschiedenen Körperstellen sollen leichte Druckpunkte als taktiler Reiz gegeben werden, sodass diese Punkte kognitiv besser angesteuert werden können, um dort eine langsam längere und tiefer werdende In- und Expiration zu ermöglichen.
3. tiefe und räumlich weite Inspiration: 3D-Atmung  5 Min.	Inspiration auf 3 Ebenen: 1) Bauch 2) Brust, Rippen & Schulterblätter 3) Hals (Expiration umgekehrt: Hals bis Bauch) -> langsame max. In- und Expiration	Eine Hand liegt auf dem Bauch die andere mit den Fingern auf der Brust, der Daumen wird unter die Achsel geklemmt. Die hintere Ebene (Rücken) wird ohne taktilen Reiz, allein durch die Aufmerksamkeit, kognitiv angesteuert.	Atemfrequenz soll erniedrigt, das Atemvolumen erhöht werden. Ziel ist auch eine Dehnung der Zwischenrippenmuskulatur sowie eine fasziale Öffnung des Brustkorbs.
4. <i>ujjāyī</i> (modifiziert ohne Atemanhaltung)  5 Min.	In- und Expiration durch beide Nasenlöcher, Kehlkopf ist (besonders bei der Expiration) leicht verschlossen.	Kehlkopf wird leicht verschlossen. Konzentration liegt besonders auf dem Geräusch von <i>leichten Stöhnen/ Anhauchen</i> .	Durch längere Expiration sollen damit assoziierte Lungenfunktionsparameter verbessert werden. Vergrößerung der Druckamplitude in der Lunge.
5. <i>bhṛāmārī</i> (modifiziert ohne Atemanhaltung)  5 Min.	Tiefe Inspiration durch die Nase, lange Expiration durch die Nase mit tiefem Summ-Ton.	Tiefe Einatmung durch die Nase, anschließend werden die Ohren mit Hilfe der Zeigefinger verschlossen, um einen möglichst tiefen und intensiven Ton herzustellen.	Durch längere Expiration sollen damit assoziierte Lungenfunktionsparameter verbessert werden. Der expiratorische Widerstand wird erhöht ( <i>Lippenbremse</i> ). Die Mikrovibrationen sollen außerdem lösend auf die Atemwege und die Lunge wirken.
6. Kurze Reflexion (über das Befinden) nach den Atemübungen  2 Min.	Wahrnehmung von Atemgeräuschen, -sensationen (Anheben und Absenken des Brustkorbs) und -tiefe (Länge der In- und Expirationen)	Verbal angeleitet durch den Lehrer/ der Lehrerin.	Den Teilnehmenden soll eine Reflexionsmöglichkeit gegeben werden, um wahrzunehmen, was sich im Körper durch die Atemübungen verändert hat (im besten Fall wird eine positive Erfahrung erlebt, um auf Dauer intrinsische Motivation für <i>prāṇāyāma</i> aufzubauen).

IX.II Anamnesebogen

**Anamnesebogen**

1)	Vorname & Nachname	
2)	Geburtsdatum & Alter	____.____.____ Jahre
3)	Geschlecht	<input type="radio"/> m <input type="radio"/> w <input type="radio"/> d
4)	Körpergröße & Gewicht (um BMI zu errechnen)	____ cm   ____ kg BMI: _____
5)	Besteht Vorerfahrung im Bereich Yoga/ Atemübungen?	<input type="radio"/> JA: Yoga <input type="radio"/> JA: Atemübungen <input type="radio"/> NEIN
6)	Anzahl der Impfungen vor COVID-19-Infektion	_____
7)	Datum der Infektion (Genesenennachweis hinzufügen!)	____.____.____ Der Zeitraum ist länger als 4 Wochen her: <input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN
8)	War ihr Verlauf mild? (ohne Krankenhausaufenthalt)	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN
9)	Welche Symptome treffen auf sie zu?	<input type="radio"/> Kurzatmigkeit <input type="radio"/> Atemnot <input type="radio"/> geringe physische Belastbarkeit
10)	Trifft eine der folgenden Kriterien auf sie zu?	<input type="radio"/> JA <input type="radio"/> NEIN
<p><b>Wenn ja, bitte deutlich unterstreichen:</b></p> <p>1) Schwangerschaft/ Stillzeit                      2) schwere psychische Störungen</p> <p>3) pulmonale (Vor-)Erkrankungen: Asthma, COPD, starke Allergie, Infektionen der oberen Atemwege und anderen Atemwegserkrankungen jeglicher Art, Raucher</p> <p>4) chronische Herz-Kreislauf-Erkrankungen      5) Adipositas (BMI über 30)</p>		

## PRÄ-Test

Fragebogen:

1. Wie bewerten Sie Ihren aktuellen allgemeinen Gesundheitszustand?									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sehr schlecht		schlecht		mittelmäßig		gut		sehr gut	

2. Wie bewerten Sie Ihre aktuelle Lebensqualität?									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sehr schlecht		schlecht		mittelmäßig		gut		sehr gut	

3. Wie bewerten Sie Ihre aktuelle physische Belastbarkeit?									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sehr schlecht		schlecht		mittelmäßig		gut		sehr gut	

---

**VOM TESTER AUSZUFÜLLEN!**

Werte der Spirometrie:

FVK	FEV1	FEV1/FVK- Verhältnis	PEF
l	l in 1 sek	%	l / min
% Soll	% Soll	% Soll	% Soll

## Einwilligungserklärung

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis zur Nutzung der personenbezogenen Daten, die im Rahmen des folgenden Gesprächs/des angehängten Fragebogens erhoben wurden:

- Datum: 28./29.04 und 02./03.06.2022
- Namen der interviewenden Person (siehe unten)
- Kurzbeschreibung Bachelorarbeit: Lungenfunktionsparameter vor und nach einer Intervention von Atemübungen bei Post- und Long-COVID-19
- Durchführende Person: Christian Mütze

Die Daten werden im Rahmen eines Fragebogens erhoben. Der Fragebogen wird datenschutzgerecht aufbewahrt, die Daten werden ausschließlich in anonymisierter Form verwendet. Kontaktdaten, die eine Identifizierung der interviewten Person zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen würden, werden aus Dokumentationsgründen in einem separaten Schriftstück festgehalten und stehen ausschließlich dem Verfasser der Bachelorarbeit zur Verfügung. Am Ende des Kalenderjahres 2022 werden diese Daten gelöscht. Meine Teilnahme an der Erhebung und meine Zustimmung zur Verwendung der Daten, wie oben beschrieben, sind freiwillig. Ich habe jederzeit die Möglichkeit, meine Zustimmung zu widerrufen. Durch Verweigerung oder Widerruf entstehen mir keine Nachteile. Ich habe das Recht auf Auskunft, Berichtigung, Sperrung und Löschung, Einschränkung der Verarbeitung, Widerspruch gegen die weitere Verarbeitung sowie auf Datenübertragbarkeit meiner personenbezogenen Daten. Unter diesen Bedingungen erkläre ich mich bereit, das Interview zu geben, und bin damit einverstanden, dass es aufgezeichnet, verschriftlicht, anonymisiert und ausgewertet wird.

---

Vorname und Name in Druckbuchstaben

Korbach, \_\_\_\_\_/04/2022

Ort und Datum

---

Unterschrift

## POST-TEST

### Fragebogen:

1. Wie bewerten Sie Ihren aktuellen allgemeinen Gesundheitszustand?									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sehr schlecht		schlecht		mittelmäßig		gut		sehr gut	

2. Wie bewerten Sie Ihre aktuelle Lebensqualität?									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sehr schlecht		schlecht		mittelmäßig		gut		sehr gut	

3. Wie bewerten Sie Ihre aktuelle physische Belastbarkeit?									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
sehr schlecht		schlecht		mittelmäßig		gut		sehr gut	

4. Haben sich nach den Atemübungen Ihre schon bekannten Beschwerden verschlimmert? o JA o NEIN

4a. Falls ja, wie lange hat diese Verschlimmerung Ihrer bekannten Beschwerden angehalten? Zeitraum: \_\_\_\_\_Minuten\_\_\_\_\_Stunden\_\_\_\_\_Tage

5. Haben Sie nach den Atemübungen irgendwelche anderen Nebenwirkungen verspürt? o NEIN o JA, folgende Nebenwirkungen traten auf: \_\_\_\_\_

6. Haben Sie seit der 1. Testung eine Verbesserung Ihres Gesundheitszustandes bemerkt? o JA o NEIN

6a. Falls ja, würden Sie behaupten, dass diese Verbesserung mit den Atemübungen zusammenhängt? o JA o NEIN

6b. Falls ja, was genau hat sich verbessert? \_\_\_\_\_

### VOM TESTER AUSZUFÜLLEN!

#### Werte der Spirometrie:

FVK	FEV1	FEV1/FVK-Verhältnis	PEF
l	l in 1 sek	%	l / min
% Soll	% Soll	% Soll	% Soll

# IX.III Atem-Tagebuch

## Atem-Tagebuch

(Bitte nach den Atemübungen kurz ausfüllen.)

Name: \_\_\_\_\_

Protokoll vom Mai 2022

Tag(e)		Notizen (freiwillig: War nach den Atemübungen etwas anders als zuvor?)	Zeitraum als <u>Uhrzeit</u> <small>(sollte immer der Gleiche sein, z.B. morgens nach dem Aufstehen/ vor dem zu Bett gehen)</small>	Subjektive <b>Bewertung: 1-10</b> <small>(1 = überhaupt nicht anstrengend, 10= totale Erschöpfung)</small>
1. Woche	Mo, 1. Tag			
	Di, 2. Tag			
	Mi, 3. Tag			
	Do, 4. Tag			
	Fr, 5. Tag			
2. Woche	Mo, 6. Tag			
	Di, 7. Tag			
	Mi, 8. Tag			
	Do, 9. Tag			
	Fr, 10. Tag			

Tag(e)		Notizen (freiwillig: War nach den Atemübungen etwas anders als zuvor?)	Zeitraum als <u>Uhrzeit</u> <small>(sollte immer der Gleiche sein, z.B. morgens nach dem Aufstehen/ vor dem zu Bett gehen)</small>	Subjektive <b>Bewertung: 1-10</b> <small>(1 = überhaupt nicht anstrengend, 10= totale Erschöpfung)</small>
3. Woche	Mo, 11. Tag			
	Di, 12. Tag			
	Mi, 13. Tag			
	Do, 14. Tag			
	Fr, 15. Tag			
4. Woche	Mo, 16. Tag			
	Di, 17. Tag			
	Mi, 18. Tag			
	Do, 19. Tag			
	Fr, 20. Tag			