

Aus dem Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der
Klinikum der Ludwigs-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Dennis Nowak

Arbeitsgruppe Arbeits- und Umweltepidemiologie & Net Teaching

Leitung: Prof. Dr. Katja Radon

**„Spirometrische Befunde bei traditionellen Berufstauchern und Fi-
schern in Südchile – eine Querschnittsstudie“**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von

Lorenz Mark

Aus

Spittal an der Drau

2021

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Katja Radon

Mitberichterstatter: PD Dr. Katrin Milger-Kneidinger

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 15.12.2021

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis:	5
1. Einleitung	6
1.1 Geschichte des Tauchens & Tauchen Heute	6
1.1.1 Tauchverfahren.....	7
1.1.2 Traditionelles Berufstauchen in Südchile	7
1.2 Pathophysiologie des Tauchens	9
1.2.1 Allgemeines.....	9
1.2.2 Physikalische Grundlagen & Krankheitsbilder beim Tauchen	10
1.2.3 Epidemiologie von Tauchunfällen und Taucherkrankungen	13
1.3 Lungenfunktion	13
1.3.1 Bestimmung der Lungenfunktion.....	14
1.3.2 Lungenfunktion bei Tauchern	17
1.4 Therapie pulmonaler Pathologien	24
2. Zielsetzung	25
3. Material und Methoden	26
3.1 Untersuchungskollektiv	26
3.2 Probandenrekrutierung	27
3.3. Untersuchungsablauf	28
3.4 Fragebogen.....	30
3.5 Spirometrie.....	31
3.5.1 Durchführung der Spirometrie	33
3.5.2 Spirometrische Messwerte	34
3.6 Variablendefinition.....	35
3.6.1 Deskriptive Variablen:.....	35
3.6.1.3 Respiratorischer Fragebogen.....	36
3.7 Statistische Analysen.....	37

4. Ergebnisse	39
4.1 Teilnahmebereitschaft	39
4.2 Deskriptive Ergebnisse	41
4.2.1 Allgemeine deskriptive Ergebnisse und Spirometrien	41
4.2.3 Lungenfunktionsbefunde	46
4.3 Ergebnisse der univariaten und multiplen linearen Regression	49
4.3.1 Ergebnisse der Regressionsanalysen bezüglich des potenziellen Einflusses des Tauchens auf die Lungenfunktionsparameter.....	49
5. Diskussion	55
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	55
5.2 Diskussion der Methoden	55
5.2.1 Diskussion des Studiendesigns.....	55
5.2.2 Diskussion der Untersuchungsmethoden.....	57
5.3 Diskussion der Ergebnisse	59
5.3.1 Ergebnisse des respiratorischen Fragebogens	59
5.3.2 Möglicher Einfluss des Tauchens auf forcierte Vitalkapazität und die Einsekundenkapazität	60
5.3.3 Möglicher Einfluss des Tauchens auf die kleinen Atemwege	62
5.4 Ausblick.....	63
6. Zusammenfassung	65
7. Verzeichnisse	66
7.1 Abbildungsverzeichnis:	66
7.2 Tabellenverzeichnis:.....	67
7.3 Literaturverzeichnis.....	68
8. Anhang	75
8.1. Weitere Ergebnisse der Studie:	76
8.2 Probandenaufklärung:.....	85
8.3 Fragebogen:	91

9. Danksagung.....	102
10. Lebenslauf	105

Abkürzungsverzeichnis:

AGE	„Arterial Gas Embolism“ (Arterielle Gasembolie)
ATS	American Thoracic Society
BMI	Body Mass Index
COPD	Chronic obstructive pulmonary disease
DCI	“Decompressionillness“ (Dekompressionserkrankung)
ERS	European Respiratory Society
FEF ₂₅	maximaler expiratorischer Fluss bei 25% der FVC
FEF ₅₀	maximaler expiratorischer Fluss bei 50% der FVC
FEF ₇₅	maximaler expiratorischer Fluss bei 75% der FVC
FEV ₁	“Einsekundenkapazität“
FVC	Forcierte Vitalkapazität
KI	Konfidenzintervall
kPA	Kilopascal (SI-Einheit für Druck)
MEF	veraltete Nomenklatur zur Bezeichnung der mittleren expiratorischen Atemstromstärke in % der FVC (heute als FEF bezeichnet)
mmHG	Millimeter Quecksilbersäule (Maßeinheit des Druckes)
SD	Standardabweichung (Standard deviation)
Scuba	„Self-contained under water breathing apparatus“

1. Einleitung

1.1 Geschichte des Tauchens & Tauchen Heute

Erste archäologische Fundstücke datieren die Anfänge des Tauchens um das Jahr 4500 v.Chr. In der Antike suchten Apnoetaucher unter Wasser Muscheln, Perlen, Schwämmen und andere Nahrungsmittel.(1)(2) In den nachfolgenden Jahrhunderten wurden Taucher auch für militärische Zwecke, beispielsweise zur Zerstörung feindlicher Schiffsflotten, eingesetzt.(3) Die ersten großen Veränderungen der Tauchtechnik begannen im 16. bzw. 17. Jahrhundert mit der Erfindung der ersten Taucherglocke. Aus dieser entwickelte sich eine verkleinerte Form, das sogenannte Helmtauchergerät und im Zuge der ersten industriellen Revolution der erste geschlossene Helmtaucheranzug. Die Sauerstoffversorgung wurde damals über komprimierte Luft gewährleistet, die über Schläuche von der Oberfläche aus zum Taucher gepumpt wurde.(4)

Mitte des 20. Jahrhunderts wurden schließlich die Prototypen des heute weltweit verbreiteten „Scuba-diving“ Apparats entwickelt. Dieser ermöglicht mittels Druckluftflaschen eine von der Oberfläche unabhängige Versorgung des Tauchers mit Luft, Sauerstoff oder anderen Gasmischungen. Damit war die Grundlage für die Weiterentwicklung des Tauchens auch zu einem Breitensport entstanden. Schätzungen zufolge beträgt die Anzahl an weltweit zertifizierten Tauchern heute mehr als 10 Millionen.(5)

Neben dem Tauchen mit touristischem oder sportlichem Hintergrund, existieren Taucher, die ihren Lebensunterhalt aus dieser Tätigkeit erwirtschaften. Sie werden als Berufstaucher bezeichnet. Dazu werden u.a. Industrie,- Offshore,- Militär,- Rettungs- oder wissenschaftliche Taucher gezählt. In Hocheinkommensländern, wie z.B. Europa und der USA, ist eine mehrjährige Ausbildung zum Berufstaucher erforderlich.(6) Durch immer größere Tauchtiefen und längere Tauchgänge sind Berufstaucher im Vergleich zu Sport- bzw. Freizeittauchern auch höheren Gesundheitsrisiken ausgesetzt. Deswegen herrschen in den meisten Ländern strenge Richtlinien und engmaschige Sicherheitsbedingungen, um die gesundheitlichen Folgeschäden für Berufstaucher möglichst gering zu halten.(6)

Informelle Taucher (d.h. auf selbstständiger Basis arbeitende Taucher, die keinen gesetzlichen Regulationen und Kontrollen unterliegen(7)) in Niedrig- bzw. Mitteleinkommensländern arbeiten häufig mit veralteter technischer Ausrüstung und werden nicht zu physikalischen Grundlagen, gesundheitlichen Risiken und Langzeitschäden des Tauchens geschult. Ihr Einkommen hängt direkt von den Erträgen aus den Tauchgängen ab. Dieser finanzielle Druck gepaart mit mangelnder Ausbildung führt häufig zu einem risikoreichen Tauchverhalten.(8) Dies spiegelt sich auch an den Inzidenzen einer Dekompressionserkrankung wider.(9)

1.1.1 Tauchverfahren

Ein Tauchgang kann mit Hilfe unterschiedlicher Techniken und Ausrüstung durchgeführt werden. Im Allgemeinen wird zwischen dem Apnoe- und Gerätetauchen unterschieden. Im Unterschied zum Apnoetauchen, bei dem sich der Taucher ohne künstliche Atemluftzufuhr unter Wasser befindet, wird beim Gerätetauchen auf externe Atemluftreserven zurückgegriffen. Die Luftversorgung kann einerseits über portable Druckluftflaschen („Scuba-Diving“), andererseits auch über Kreissysteme oder Druckluftkompressoren an der Oberfläche erfolgen. Während die Dauer eines Tauchganges beim Sport- und Freizeittauchen meist durch die Scuba-Ausrüstung limitiert wird, verwenden Berufstaucher auch andere Tauchverfahren, wie z.B. das oberflächenversorgte Tauchen. Dies ermöglicht längere Tauchzeiten und größere Tauchtiefen.

1.1.2 Traditionelles Berufstauchen in Südchile

In Chile arbeiten insgesamt ca. 11.000 traditionelle Berufstaucher und ca. 50.000 traditionelle Fischer.(10, 11) Etwas weniger als die Hälfte der traditionellen Berufstaucher (43%) arbeiteten im Jahr 2015 in der Region „Los Lagos“ in Südchile.(10) Diese traditionellen Berufstaucher verwenden die sogenannte „Hookah-Technik“, eine Form des oberflächenversorgten Tauchens. Bei dieser Methode drückt ein Kompressor Umgebungsluft über einen Luftschlauch zum Taucher. Ein Atemregler reguliert das Druckniveau der zugeführten Luft, bevor der Taucher diese einatmet.

Im Vergleich zum weit verbreiteten Scuba-Diving ermöglicht die Hookah-Technik längere Tauch- und damit Arbeitszeiten. Die Luftschläuche können jedoch beispielsweise durch stärkere Strömungen oder Riffkanten abknicken oder reißen und stellen somit einen der Risikofaktoren für einen Tauchunfall bei den Muscheltauchern dar.(12) Eine Studie an mexikanischen Hummer-Tauchern konnte zeigen, dass bei ihnen die Verwendung dieser Hookah-Technik ein höheres Risiko für die Entwicklung einer Dekompressionserkrankung darstellte als der Einsatz von den gängigen Scuba-Apparaten.(13)

In Südchile arbeiten Taucher und Fischer auf kleinen Booten in Gruppen zusammen. Die Aufgabe der Taucher umfasst die Extraktion von Meeresfrüchten, wie beispielsweise zahlreichen Muschelarten, Weichtieren und Krabben, mittels traditioneller Techniken, z.B. spitze Werkzeuge, Greifzangen und Netzen. Die Fischer sind an Deck, bedienen den Kompressor und stellen dadurch eine kontinuierliche Versorgung der Taucher mit Umgebungsluft sicher. Zudem übernehmen sie die Steuerung des Bootes sowie die Entgegennahme und Lagerung der Meeresprodukte.

Am Ende eines Tauchgangs werden die extrahierten Produkte mit den Booten zum Hafen zurückgebracht, dort kontrolliert, an Zwischenhändler verkauft und teilweise auch weiter prozessiert. In der Weiterverarbeitung werden die Meeresprodukte Großteils von den Ehefrauen der Taucher und Fischer für den Verkauf verarbeitet. Bedingt durch die hohe familiäre Einbindung in den Verarbeitungsprozess hängt vielfach das gesamte Familieneinkommen von der Extraktion der Meeresprodukte ab.

1.1.2.1 Arbeitsbedingungen

Sowohl die Taucher als auch Fischer arbeiten auf selbstständiger Basis. Ihr Einkommen steht daher direkt im Zusammenhang mit der extrahierten Menge an Meeresprodukten. Ihr Arbeitsverhältnis beruht überwiegend auf informellen Verträgen mit den Bootsinhabern. Dadurch besteht bei Berufsunfällen auch keine Versorgung durch die gesetzliche Unfallversicherung, d.h. die Kosten einer medizinischen Behandlung müssen vom Patienten selbst bzw. seiner Familie getragen werden.(14)

Die wöchentlichen Arbeitszeiten variieren stark zwischen den einzelnen Jahreszeiten und den klimatischen Gegebenheiten. Zudem ist die Extraktion von den Gezeiten beeinflusst,

nicht zu jeder Tageszeit können die Taucher bei guten Strömungs- und Sichtverhältnissen arbeiten. Durch klimatische Veränderungen, Umweltverschmutzung und Überfischung werden die lokalen Arbeitsbedingungen immer schwieriger.(15, 16) Ein Beispiel dafür stellt die exzessive Vermehrung von Mikroalgen, im Spanischen als „Marea roja“ („rote Gezeiten“) bezeichnet, dar. Begünstigt durch wärmere Temperaturen und einem höheren Nährstoffgehalt produzieren die Mikroalgen diverse für den Menschen toxische Substanzen. Diese Toxine werden auch von Weichtieren und Muscheln filtriert, in diesen abgelagert und können zu Lebensmittelintoxikationen führen.(17, 18) Vom chilenischen Staat werden daher immer wieder Extraktionsverbote verhängt. Die wirtschaftlichen Folgen für die selbständigen Berufstaucher und Fischer sind gravierend.

Offiziellen Angaben zufolge waren im Jahr 2017 insgesamt ca. 38.400 Berufstaucher in Chile registriert, von denen mehr als 50% eine Ausbildung zum „buzo básico“ („einfacher Taucher“) besaß.(14) Diese erlaubt gemäß chilenischem Gesetz eine maximale Tauchtiefe von 20 m.(19) Durch die oben genannten Veränderungen sehen sich viele Taucher gezwungen, auch in tieferen Gewässern zu arbeiten, was längere Tauchzeiten, größere Tauchtiefen und damit die Notwendigkeit der Einhaltung von Dekompressionsphasen erfordert. Eine Vorstudie zeigte, dass viele der Taucher nicht gelernt haben, Dekompressionstabellen korrekt zu interpretieren.(20) Tauchcomputer oder andere technische Hilfsmittel stehen den meisten nicht zur Verfügung. Zudem wird die Einhaltung der Dekompressionstabellen durch den Zeitbedarf oft als den Gewinn verringernd eingestuft.

1.2 Pathophysiologie des Tauchens

1.2.1 Allgemeines

Unter Wasser ist der menschliche Körper im Vergleich zur Oberfläche veränderten Umweltbedingungen exponiert, die systemische Effekte hervorrufen können. Einflussfaktoren sind, neben den hyperbaren Umgebungsbedingungen, auch beispielsweise die Wassertemperatur oder die Strömungsverhältnisse.(21) Diese Faktoren wirken sich u.a. auf das kardiovaskuläre und respiratorische System sowie den Energiehaushalt aus. Zum Beispiel kommt es durch den erhöhten hydrostatischen Druck zu Verschiebungen des Blutvolumens und zu veränderten intravaskulären und intrakardialen Druckbedingungen.(22)

(23) Diese können zu einem erhöhten kardialen Sauerstoff- und Energieverbrauch führen.(24, 25)

Zudem besitzt Wasser im Vergleich zur Luft eine höhere Wärmespeicher- und Leitkapazität.(4, 26) Dies führt bei niedriger Wassertemperatur zu einer Erhöhung des zentralen Blutvolumens und infolge zur Abkühlung der Körpertemperatur.(27) Überdies trägt der erhöhte Wärmeverlust zu einem Anstieg des gesamten körperlichen Energieverbrauches bei.(28) Auch die Funktionalität des respiratorischen Systems wird durch die andersartigen Gegebenheiten unter Wasser beeinflusst: Die Compliance (Dehnbarkeit) der Lunge und dadurch auch die Lungenvolumina sind vermindert, der Atemwegswiderstand ist erhöht. Dadurch ist auch die Atemarbeit erhöht.(29)

1.2.2 Physikalische Grundlagen & Krankheitsbilder beim Tauchen

Der mittlere Luftdruck auf Meereshöhe beträgt 101,325 kPa. Umgerechnet entspricht dies ca. 1 bar oder 760 mmHg.(30) Bei einem Tauchgang nimmt der Umgebungsdruck, d.h. der Wasserdruck, mit steigender Tiefe zu (sogenannte Kompression). Der Ausgangsdruck auf Meereshöhe von ca. 1 bar erhöht sich alle 10 Meter um ein weiteres bar (Tabelle 1).(29)

Tabelle 1: Verhalten von Druck, Volumen und Dichte eines Gases bei steigender Wassertiefe¹

Wassertiefe	Druck	Volumen	Dichte
0 m	1 bar	1	1
10 m	2 bar	1/2	2
20 m	3 bar	1/3	3
30 m	4 bar	1/4	4

¹ Gemäß dem **Gesetz von Boyle-Mariotte** ist bei gleichbleibender Temperatur und gleichbleibender Stoffmenge das Volumen eines Gases indirekt proportional zum Druck. Die Dichte eines Gases verhält sich bei turbulentem Fluss direkt proportional zum Druck.31. Rusoke-Dierich O. *Physikalisches Verhalten von Gasen. Tauchmedizin: Grundlagen, Sicherheit, Technik, Notfälle und Reisemedizin für Tauchmediziner, Berufstaucher und Tauchlehrer.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 47-53.

Der Gesamtdruck eines Gasgemisches aus idealen Gasen ergibt sich aus der Summe der Partialdrücke, also der Einzeldrücke der verschiedenen Gase (Gesetz von Dalton).(31) Der fraktionierte Anteil der einzelnen idealen Gase an einem Gasgemisch bleibt jedoch gleich, unabhängig vom Umgebungsdruck. Beispielsweise beträgt der Sauerstoffanteil in der Luft 21%, der Partialdruck vom Sauerstoff 21 kPa auf Meereshöhe. Bei einer Tiefe von 20 Metern bleibt der Sauerstoffanteil der Luft bei 21%, der Partialdruck erhöht sich jedoch auf 63 kPa.(31) Der erhöhte Sauerstoffpartialdruck und die dadurch bedingte Hyperoxie können zu toxischen Veränderungen führen. Beispielsweise entstehen vermehrt freie Sauerstoffradikale, die inflammatorische Gewebsveränderungen hervorrufen können.(32) Bei kurzzeitiger Exposition kann sich eine akute, reversible Tracheobronchiolitis entwickeln. Chronische Exposition kann im Zuge eines bindegewebigen Umbauprozesses bis zu einer irreversiblen Lungenfibrose führen.(33) Oben genannte Faktoren sind insbesondere für Taucher, die mit Sauerstoff angereicherte Gasmixturen verwenden, relevant.(34) Die toxischen Manifestationsformen des Sauerstoffes in der Lunge werden unter dem Begriff „Pulmonary Oxygen Toxicity“ (POT) zusammengefasst.

Auch das Lösungsverhalten von Gasen in Flüssigkeiten spielt beim Tauchen eine Rolle. Dieses ist proportional zum Partialdruck des Gases (Gesetz von Henry). Mit steigendem Partialdruck erhöht sich das Volumen eines in einer Flüssigkeit (so auch im Blut) gelösten Gases, bis ein Gleichgewicht erreicht ist. Die Flüssigkeit ist dann mit dem Gas gesättigt.(35) Die verschiedenen Gewebetypen des menschlichen Körpers besitzen unterschiedliche Sättigungseigenschaften. Vor allem inerte, d.h. reaktionsträge, Gase, wie z.B. Stickstoff, können durch den fallenden Umgebungsdruck beim Auftauchen (sog. Dekompressionsphase) vom gelösten wieder in den gasförmigen Zustand übergehen und zu Gewebeschäden führen. Diese Gewebeschäden werden unter dem Begriff der Dekompressionserkrankung (aus dem englischen Decompression Illness (DCI)) zusammengefasst.(36, 37) Je nach Schweregrad reichen die Symptome der Dekompressionskrankheit von Hautmanifestationen, Muskel- und Gelenkschmerzen bis hin zu neurologischen (Missempfindungen, Paresen, Bewusstlosigkeit), vestibulocochleären (Störungen des Gleichgewichtes und des Gehörs) oder respiratorischen Beschwerden.(37) Die Verwendung standardisierter „Dekompressionstabellen“, die anhand der Tiefe und Zeit des Tauchgangs bestimmte Dekompressionsphasen, d.h. Zwischenstopps, beim Auftauchen indizieren, soll zelluläre Schäden vermeiden, indem überständiges Gas aus dem Gewebe über die Gefäße ins pulmonale Kapillargebiet transportiert wird und anschließend per Diffusion

in den Alveolarraum übergeht. Unter Einhaltung der Dekompressionszeiten kann so das Risiko für die Entstehung einer Dekompressionserkrankung reduziert werden.(38)

Ein fehlender Druckausgleich zwischen Innen- und Umgebungsdruck kann beim Tauchen auch zur Entstehung von Barotraumata führen. Prädisponierend dafür sind die mit Gasen gefüllten körperlichen Hohlräume, beispielsweise die Lunge, die Nasennebenhöhlen oder die Gehörgänge. So ist die häufigste Komplikation bei Tauchern ein Barotrauma des Mittelohrs. Davon sind insbesondere Menschen mit Fehlfunktionen der Eustachischen Röhre („Ohrtrumpete“, Verbindung zw. Mittelohr und Rachen), bedingt durch anatomische Gegebenheiten, chron. Infektionen der Atemwege oder Allergien, betroffen. Studien zufolge liegt die Inzidenz des Barotraumas bei Tauchanfängern bei ihrem ersten Tauchgang bei bis zu 30%.(21, 39)

Während die Lunge sich auf hohen Druck gut einstellen kann, sind es v.a. rasche Druckveränderungen und die daraus resultierenden variierenden Volumina, die das Parenchym schädigen können. Die gefährliche Phase ist hierbei wiederum die Dekompressionsphase. Durch zu rasches Auftauchen kann es zu einer Ruptur der Alveolarwand und bei gravierenden Schädigungen infolgedessen auch zu lebensbedrohlichen Krankheitsbildern, wie z.B.: einem Pneumothorax, Mediastinalemphysem oder Pneumoperitoneum, kommen.(40, 41) Vor allem Menschen mit chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD), pleuralen Verwachsungen oder Lungenzysten haben ein höheres Risiko für pulmonale Barotraumata (PBT).(42)

Durch erhöhte intrapulmonale Druckbedingungen können auch kleine Gasbläschen von der venösen in die arterielle Blutzirkulation übertreten und dort zu Embolien führen (Arterielle Gas Embolien - AGE). Auch venöse Gasbläschen können zu pulmonalen Mikrozirkulationsstörungen, Permeabilitätsveränderungen und Erhöhungen des pulmonalarteriellen Druckes führen. Dadurch kann es zu einer Flüssigkeitsverschiebung ins Interstitium und zu einem Lungenödem kommen.(43, 44) Individuelle Risikofaktoren, wie z.B. kardiale Vorerkrankungen, fortgeschrittenes Alter oder übermäßige körperliche Belastung,(45) begünstigen diesen Prozess.(35)

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Lungenfunktion, ist die Dichte eines Gases. Diese verhält sich bei turbulentem Gasfluss (bei den meisten Tauchgeräten vorhanden) direkt

proportional zum Druck. Dies bedeutet, dass in einer Tiefe von 30 m unter der Meeresoberfläche die Dichte eines Gases viermal so groß ist. Da der Atemwegswiderstand auch proportional zur Dichte steht, wird auch dieser mit steigender Tiefe größer, so dass die Atemarbeit steigt.(46)

1.2.3 Epidemiologie von Tauchunfällen und Taucherkrankungen

Die Prävalenz von Tauchunfällen bei Scuba-Tauchern im Freizeit- und Sportbereich liegt zwischen 7 und 35 pro 10.000 Tauchern.(47) Das Divers Alert Network, eine internationale Organisation zur Verbesserung der Tauchsicherheit, veröffentlicht jährliche Berichte über die Häufigkeit von Tauchunfällen. Darin werden Daten über amerikanische und kanadische Sporttaucher weltweit erhoben. Im Jahr 2016 konnten hiernach knapp 50% der gesundheitlichen Probleme beim Sporttauchen auf Barotraumata und ca. 30% auf Folgen einer Dekompressionserkrankung zurückgeführt werden.(48) Eine Studie bei australischen Scuba-Tauchern beziffert die Inzidenz einer Dekompressionserkrankung auf ca. 1,74/10.000 Tauchgängen.(49)

Für Chile zeigte eine Auswertung der bei Berufs- und Sporttaucher registrierten Tauchunfälle zwischen 2000 und 2012 eine Anzahl von 522. 87% der Tauchunfälle betrafen Taucher mit der Tauchlizenz „buzo mariscador básico“ („einfacher Muscheltaucher“), der Lizenz, die auch der überwiegende Anteil der in dieser Arbeit untersuchten Muscheltaucher in Südchile besitzt.(50) Gemäß der jährlichen Tauchunfallstatistik der chilenischen Marine kam es im Jahr 2019 zu 58 Tauchunfällen bei traditionellen Berufstauchern, bei einer Anzahl von ca. 11.000 traditionellen Berufstauchern, die im informellen Sektor tätig sind.(11)

1.3 Lungenfunktion

Die bedeutendste Aufgabe der Lunge ist die Atmung, d.h. der Gasaustausch (die Aufnahme von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlendioxid) zwischen Organismus und Umwelt. Zur Aufrechterhaltung des Gasaustausches ist eine kontinuierliche Ventilation (Be-

lüftung) der Lunge sowie eine adäquate Diffusion in den Lungenbläschen (Alveolen) notwendig.(51) Zur Quantifizierung der Lungenfunktion können zum einen verschiedene Volumina („Lungenvolumina“), zum anderen auch die alveoläre Diffusionskapazität bestimmt werden. Die Lungenvolumina werden wiederum in verschiedene Volumina unterteilt: Beispielsweise umfasst das Atemzugvolumen die Luftmenge, die bei einem Atemzug eingeatmet wird. Zudem können Volumina, die nach normaler Ein- bzw. Ausatmung zusätzlich ausgeatmet werden können, bestimmt werden (Inspiratorisches/ expiratorisches Reservevolumen). Zusammengesetzte Lungenvolumina werden als „Kapazitäten“ bezeichnet. Beispielsweise wird das Volumen, das nach maximaler Ausatmung maximal eingeatmet wird, als Inspiratorische Vitalkapazität (IVC) bezeichnet. (Abbildung 2)

1.3.1 Bestimmung der Lungenfunktion

Für die Messung der verschiedenen Lungenvolumina werden zwei Messinstrumente im Alltag eingesetzt: Die Spirometrie und die Bodyplethysmographie.

1.3.1.1 Spirometrie

Die Spirometrie ist ein nicht invasives Messverfahren, anhand dessen statistische und dynamische Lungenfunktionsparameter, beispielsweise Lungenvolumina und Flussgeschwindigkeiten, bestimmt werden können.

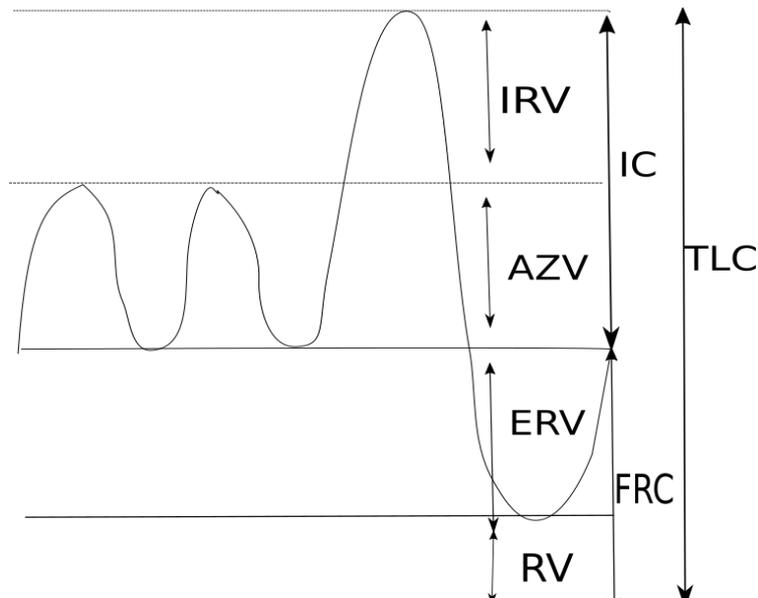


Abbildung 1: Lungenvolumina und Kapazitäten: Inspiratorisches Reservevolumen (IRV), Atemzugvolumen (AZV), Expiratorisches Reservevolumen (ERV), Residualvolumen (RV), Inspiratorische Kapazität (IC), Funktionelle Residualkapazität (Quelle: L.Mark)

Dynamische Lungenfunktionsparameter sind Messwerte, die vom zeitlichen Verlauf abhängig sind. Unter Anleitung einer medizinisch geschulten Fachkraft können verschiedene Manöver, beispielsweise unter maximaler Anstrengung, durchgeführt werden. Während eines spirometrischen Manövers erfolgt die Messung mittels Strömungssensoren, z.B. Ultraschallsensoren, oder Volumensensoren. Anschließend kann das Volumen unter Anwendung mathematischer Formeln berechnet werden.(52)

Messparameter:

Es können zahlreiche verschiedene Lungenfunktionsparameter mittels Spirometrie erfasst werden.

Forcierte Vitalkapazität (FVC): Die FVC bezeichnet das gesamte Volumen in Litern, das nach maximaler Inspiration mit maximalem Kraftaufwand ausgeatmet wird.(52)

Das Forcierte Expiratorische Volumen in einer Sekunde (FEV₁): Die FEV₁ spiegelt das Volumen in Litern wider, das nach maximaler Inspiration bei forcierter Expiration in einer Sekunde ausgeatmet wird. (die sogenannte Einsekundenkapazität) (52)

Tiffeneau-Index (FEV₁/FVC in %): Der Tiffeneau-Index ist das Verhältnis zwischen Forciertem Expiratorischem Volumen in einer Sekunde (FEV₁) und der Forcierten Vitalkapazität (FVC).(52)

Spitzenfluss (PEF): Der Spitzenfluss (Peak Expiratory Flow) ist die maximal erreichte Atemstromstärke bei maximaler Anstrengung.(52)

Expiratorischen Flusswerte: Die forcierten expiratorischen Flusswerte geben die mittlere maximale expiratorische Atemstromstärke in Litern/Sekunde [L/s] bei einem gewissen Prozentsatz der Forcierten Vitalkapazität an. Daher gibt z.B. der Forcierte Expiratorische Fluss 25% (FEF₂₅) die Flussgeschwindigkeit bei 25% der FVC in [L/s], der Forcierte Expiratorische Fluss 50% (FEF₅₀) die Flussgeschwindigkeit bei 50% der FVC wieder. Früher wurden diese expiratorischen Flussparameter als „Mean Expiratory Flow“ (MEF) Werte bezeichnet und gaben den Prozentsatz an Forciertes Vitalkapazität wieder, der noch ausgeatmet werden kann. D.h. FEF₂₅ wäre identisch mit MEF₇₅.(52)

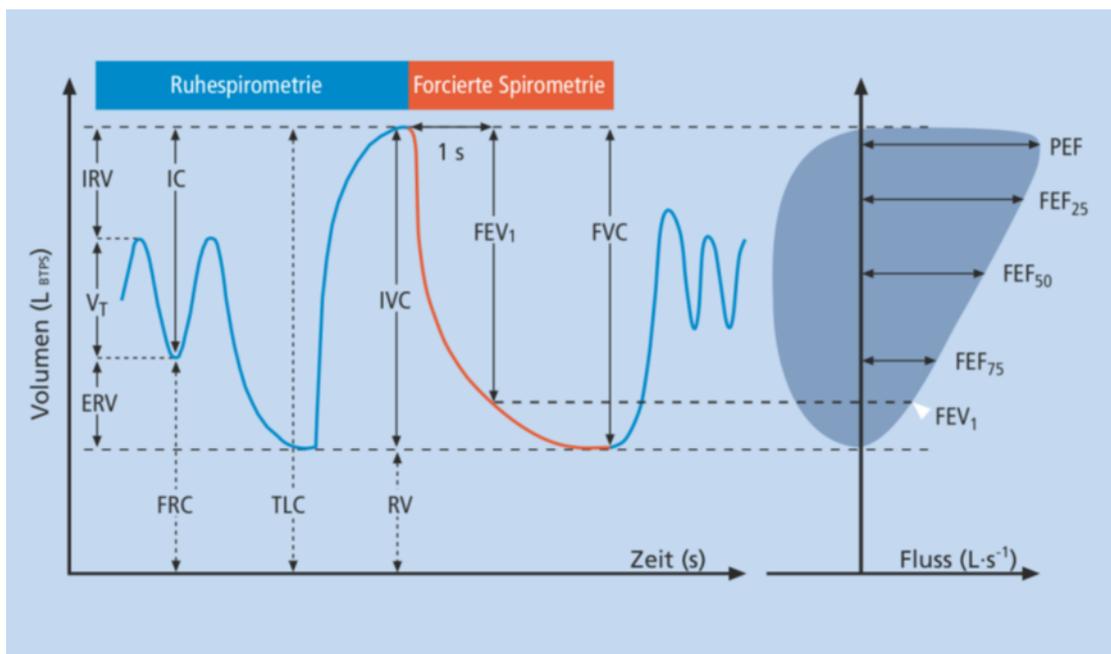


Abbildung 2: Statische (Ruhespirometrie) und dynamische (forcierte Spirometrie) Lungenfunktionsparameter (Quelle: Deutsche Atemwegliga, S2K Leitlinie Spirometrie)

1.3.1.2 Rolle der Spirometrie zur Messung der Lungenfunktion

Vor allem in peripheren Regionen stellt die Spirometrie eine kostengünstige, leicht verfügbare Alternative zur Ganzkörperplethysmographie dar. Bei Einhaltung der von der European Respiratory Society (ERS) bzw. American Thoracic Society (ATS) festgelegten Qualitätskriterien (53) können bereits kleinere Veränderungen der Lungenfunktion detektiert werden. Hierbei können die unterschiedlichen Messparameter zur Diagnosestellung und Lokalisation pathologischer Veränderungen beitragen. Beispielsweise ist ein erniedrigter Tiffenau-Index ein Hinweis für eine obstruktive Lungenfunktionsstörung. Verminderte FVC und FEV₁-Werte deuten auf eine mögliche restriktive Atemwegsstörung hin.(52) Die expiratorischen Flusswerte FEF₂₅₋₇₅, FEF₅₀ und FEF₇₅ repräsentieren die peripheren, kleinen Atemwege. Daher sind verminderte Messwerte dieser Parameter ein Hinweis auf pathologische Veränderungen in der Lungenperipherie.(52) Deren Ätiologie kann dann im Rahmen weiterer Untersuchungen, wie beispielsweise mittels bildgebender Verfahren oder Bronchoskopie, abgeklärt werden.

1.3.1.3 Ganzkörperplethysmographie

Die Ganzkörperplethysmographie (Bodyplethysmographie) misst die Lungenfunktion in einer luftdichten Kammer. Anhand von Druckveränderungen in der Kammer können diverse Lungenvolumina bestimmt werden. Hierbei können auch Volumina bestimmt werden, die spirometrisch nicht gemessen werden können, wie beispielsweise das Residualvolumen. Die Vorteile der Ganzkörperplethysmographie umfassen zum einen ein erweitertes Spektrum an Lungenvolumina, zum anderen auch ihre Unabhängigkeit von der Mitarbeit des Patienten und Untersuchers.(54) Im Gegensatz zur Spirometrie ist die Bodyplethysmographie jedoch mit einem höheren technischen Aufwand sowie mit höheren finanziellen Kosten verbunden.

1.3.2 Lungenfunktion bei Tauchern

Wie bereits erwähnt, wirken sich die veränderten Umweltbedingungen (Druck, Dichte, Volumen, Temperatur) beim Tauchen auch auf die Lungenfunktion aus (Tabelle 2). In

vielen Ländern hat sich eine Untersuchung der Lungenfunktion als Screeninginstrument zur Ermittlung der Taucheignung etabliert.(55, 56) Hintergrund ist, dass bei chronischen Atemwegserkrankungen, wie z.B. COPD, Asthma oder Lungenfibrose, die Luft mit geringerer Geschwindigkeit ausgeatmet wird. Es verbleibt tendenziell mehr Luft in den unteren Atemwegen zurück (sogenanntes „Air trapping“). Durch den sinkenden Druck und das größer werdende Volumen beim Auftauchen ist das Risiko für ein pulmonales Barotrauma bei diesen Patienten daher erhöht.(42, 55) Eine Studie bei Tauchern mit Pulmonalen Barotrauma (PBT) konnten zeigen, dass bei diesen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe von Tauchern mit DCS spirometrisch bereits vor dem Tauchgang verminderte expiratorische Flussraten (Mean Expiratory Flow 25 (MEF25), Mean Expiratory Flow 50 (MEF50)) festgestellt werden konnten. Daher könnten regelmäßige Lungenfunktionsuntersuchungen einen wichtigen Beitrag zur Risikoreduktion von PBT leisten.(57)

Tabelle 2: Potenzielle Einflussfaktoren auf die Lungenfunktion (modifiziert nach Tetzlaff et al., Table 1 (39))

Einflussfaktoren	Pathophysiologie	Krankheitsbilder	Klinische Manifestationen
Veränderte Druckbedingungen (Kompressions- und Dekompressionsphase)	Alveolarwandruptur	Pulmonales Barotrauma (PBT) (40, 41)	Dyspnoe
	Venöse Gasbläschen (v.a. Stickstoff)	Deskompressionserkrankung, Arterielle Gasembolien (37)	Muskel- und Gelenkschmerzen, neurologische Symptome (z.B. Paresen)
Erhöhte Sauerstoffzufuhr	Hyperoxie, Hyperinflammation	Pulmonary Oxygen Toxicity (POT) (33)	Husten, Heiserkeit, Belastungsdyspnoe
	Vasokonstriktion		Erhöhte körperliche Anstrengung, vermehrter Energieverbrauch
Niedrige Wassertemperatur	Erhöhung des intrathorakalen Blutvolumens (24), des pulmonalarteriellen Drucks (25), der kardialen Nachlast (27)	Lungenödem (45)	Dyspnoe
	Erhöhter Wärmeverlust		körperliche Erschöpfung
Körperliche Verausgabung		Lungenödem (45)	Husten, Dyspnoe
Erhöhte Atemarbeit	Höhere Dichte der Atemgase, erhöhter Atemwegwiderstand		Dyspnoe
Tauchausrüstung	größeres Totraumvolumen		Erhöhte Atemarbeit; Dyspnoe

1.3.3 Entwicklung pathologischer Veränderungen der peripheren Atemwege

Risikofaktoren, die potenziell zu obstruktiven Veränderungen der peripheren Atemwege (im Englischen als „small airway disease“ bezeichnet) führen können, sind beispielsweise Dekompressionsstress und oxidativer Stress bedingt durch Hyperoxie. Beide Faktoren könnten insbesondere bei chronischer Exposition zu inflammatorischen Veränderungen des Lungengewebes bzw. Gefäßveränderungen beitragen.(29, 58)

Neben den obstruktiven Veränderungen kann die chronische Exposition mit hohen Sauerstoffkonzentrationen- und partialdrücken (50–300 kPa) über inflammatorische Prozesse auch zur Entwicklung einer irreversiblen Lungenfibrose se führen.(33)

1.3.4 Kurzzeiteffekte des Tauchens auf die Lungenfunktion

Studien bei Berufs- und Sättigungstauchern konnten bei Lungenfunktionsmessungen direkt im Anschluss an Tauchgänge zeigen, dass es zu einer Verminderung der Diffusionskapazität von Kohlenmonoxid (DLCO, TLCO) (59, 60) kommt. Zudem konnten Tetzlaff et al. bei Scuba-Tauchern Verminderungen an den expiratorischen Lungenfunktionsparametern (Forciertes Expiratorisches Volumen in 1 Sekunde (FEV1), MEF75%) feststellen. Diese Veränderungen könnten auf eine durch niedrige Temperaturen bedingte Bronchokonstriktion sowie steigende Tauchtiefen zurückzuführen sein.(61)

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Lungenfunktion scheint der Sauerstoffanteil der zugeführten Atemluft zu sein. Bei Sättigungstauchern, die hohen Sauerstoffpartialdrücken (PO₂) über einen längeren Zeitraum exponiert waren, konnten auch Verminderungen der Diffusionskapazität von Stickstoffmonoxid (DLCO) gemessen werden.(62-64) Auch bei militärischen Berufstauchern der niederländischen Marine, die unter Zufuhr von 100% Sauerstoff tauchten, konnten Verminderungen der alveolären Diffusionskapazität festgestellt werden.(59)

1.3.5 Langzeiteffekte des Tauchens auf die Lungenfunktion

Bezüglich der Langzeiteffekte vom Tauchen auf die Lungenfunktion werden in der Literatur v.a. zwei Hypothesen diskutiert. Zum einen konnte in spirometrischen Lungenfunktionsuntersuchungen gezeigt werden, dass Taucher im Verhältnis zu einer Kontrollgruppe erhöhte Forcierte Vitalkapazitäten (FVC) vorwiesen.(65-67) Dieses, in der Literatur als „large lungs“ („große Lungen“) bezeichnete Phänomen, wird kontrovers diskutiert. Ob es aufgrund von natürlicher Selektion, d.h. Menschen mit größeren Lungenvolumina haben bessere Voraussetzungen fürs Tauchen (68), oder aufgrund der Anpassung des menschlichen Körpers an die veränderten Umgebungsbedingungen („Trainingseffekt“) (69), entsteht, wird derzeit noch erforscht.

Zum anderen wird diskutiert, ob jahrelanges Tauchen zu einer Verengung der kleinen Atemwege führen könnte. So zeigten Thorsen et al. (70) in einer Querschnittsstudie an 152 Sättigungstauchern einen statistisch signifikanten Unterschied in der Einsekundenkapazität, dem Tiffenau-Index sowie den Forcierten expiratorischen Flusswerten $FEF_{50\%}$, $FEF_{75\%}$ und FEF_{25-75} im Vergleich zu einer Kontrollgruppe aus der Normalbevölkerung zeigen. Auch in einigen longitudinalen Studien (Skogstad et al. (71), Pougnet et al. (72) oder Lucas et al. (73)) konnten Verminderungen in einigen Lungenfunktionsparametern gezeigt werden (Tabelle 3). Demgegenüber stehen zwei Studien, die in einem longitudinalen Studiendesign die Lungenfunktion von Berufstauchern der deutschen bzw. niederländischen Marine untersuchten. Beide konnten keine Unterschiede zwischen Tauchern und einer nicht-exponierten Vergleichsgruppe feststellen.(74, 75).

Die erwähnten Studien wurden alle in Hocheinkommensländer durchgeführt, in denen für Taucher strikte Regeln und Normen zu den Tauchzeiten, Tiefen sowie Dekompressionsphasen existieren. Studien aus Niedrig- und Mitteleinkommensländern konnten in PubMed und Scielo nur vereinzelt gefunden werden. Eine Studie hat die Lungenfunktion bei traditionellen Muscheltauchern, die Apnoetauchen, in Brasilien untersucht. Insgesamt wurden 11 Apnoetaucher untersucht und mit einer Kontrollgruppe verglichen. Statistisch zeigten die Taucher signifikant höhere FVC und FEV_1 -Werte ($p < 0,05$) im Vergleich zur Kontrollgruppe.(76) Eine Studie an traditionellen Apnoetauchern in Indonesien konnte auch erhöhte FVC ($p < 0,05$) und FEV_1 -Werte ($p = 0,03$) im Vergleich zu einer Kontrollgruppe aufzeigen.(77)

Tabelle 3: Übersicht über die aktuelle Studienlage zu Veränderungen der Lungenfunktion bei Berufstauchern

Autor	Studientyp	Fallzahl	Mittleres Alter	Raucheranteil	Ergebnisse
Watt et al. 1985 (78)	Retrospektive Datenanalyse [Gruppe 1: Messintervall: 3-4 Jahre; Gruppe 2: ≥ 5 Jahre]	224 (Gruppe 1), bzw. 123 (Gruppe2) Berufstaucher	30 Jahre (range: 22-45)	34,8% (Gruppe1), bzw. 33,3% (Gruppe 2)	Statistisch signifikante Verminderungen ($p = <0,001$) des FVC sowie FEV ₁
Thorsen et al. 1990 (70)	Querschnittstudie	152 Sättigungs-taucher (Kontrollgruppe: 102 Polizisten)	33,2 Jahre (SD: 5,5)	30,0%	Signifikanter Unterschied ($p < 0,01$) zw. beiden Gruppen in FEV ₁ , FEV ₁ /FVC, FEF _{50%} , FEF _{75%} , FEF _{25-75%}
Fitzpatrick, Conkin; 2003 (79)	Retrospektive Datenanalyse (Messintervall: 3 Jahre)	43 Taucher	31 Jahre (range: 21-45)	33,0%	statistisch signifikante Erhöhung der FVC ($p < 0,01$) sowie des FEV ₁ ($p < 0,05$);
Lucas et al. 2005 (73)	Retrospektive Datenanalyse (Messintervall: 5 Jahre)	31 Taucher	Unbekannt	unbekannt	Signifikante Verminderung des FEF _{75%} ($p < 0,01$); keine signifikante Verminderung des FEV ₁ , des FEF _{50%}
Tetzlaff et al. 2006 (74)	Prospektive Kohortenstudie (Intervall zw. Messungen: 5 Jahre)	468 militärische Taucher der deutschen Marine (Kontrollgruppe: 122)	32,0 Jahre (SD: 9,1)	43%	Kein signifikanter Unterschied in der Verminderung des FEV ₁ zw. Tauchern und Kontrollgruppe

Skogstad et al. 2008 (71)	Longitudinal retrospektive Datenanalyse	37 norwegische Taucher	24,6 Jahre zu Studienbeginn (SD: 4,2)	29,7%	Nach Anpassung für Alter, Größe, Gewicht und Raucherstatus; signifikante Reduktion der FEF _{25%-75%}
Sames et al, 2009 (80)	Retrospektive Datenanalyse (Messintervall: 5 Jahre)	336 Taucher	35,6 Jahre (SD: 8,6)	17,3 Raucher	Signifikante (p<0.05) Verminderung des FEV ₁ , sowie PEF. Keine Verschlechterung der FVC.
Pouget et al., 2013 (72)	Retrospektive Datenanalyse (Messintervall 5 Jahre, bzw. 10 Jahre)	33 Taucher	42 (range 33-64)	25,0%	-nach 5 Jahren: statistisch signifikante Verminderung des FEF _{75%} (p<0.05); keine statistisch sign. Verminderung des FEV ₁ , der FVC sowie des FEF _{25%} , FEF _{75%} - nach 10 Jahren: Statistisch signifikante Verminderung des FEF _{50%} (p<0.01), sowie des FEF _{75%} (p<0.01),
Voortman et al., 2016 (75)	Retrospektive Datenanalyse (Messzeitraum: 1983-2013)	1260 Navy Divers	Unbekannt	Unbekannt	longitudinale Veränderungen bei Tauchern unterscheiden sich nicht von denen der Normalbevölkerung
Shopov et al, 2019 (81)	Querschnittsstudie	52 militärische Taucher (Kontrollgruppe: 42)	35,20 (SD 10,05)	25%	-statistisch signifikant höhere FVC-Werte der Taucher (p<0.02) -statistisch signifikant niedrigere FEF ₂₅ (p<0.01), FEF ₅₀ (p<0.04) und FEV ₁ /FVC (p<0.001)
Ozgok-Kangal et al., 2020 (82)	Retrospektive Datenanalyse (Messzeitraum: 2013-2019)	64 Berufstaucher	43,7 (10,6)	31,3%	-statistisch signifikante negative Korrelation zwischen FEV ₁ /FVC und FEF ₂₅₋₇₅ Werten (p<0,05 und der Tauchexposition (Jahren)

1.4 Therapie pulmonaler Pathologien

Akut auftretende Krankheitsmanifestationen, wie beispielsweise pulmonale Barotrauma, erfordern eine umgehende klinische Versorgung und Therapie. Diese findet überwiegend unter frühzeitiger Applikation von 100% Sauerstoff und Verwendung einer sogenannten Überdruckkammer statt. In dieser können verschiedene Druckverhältnisse, abhängig vom Tauchprofil des erkrankten Tauchers, generiert werden, um eine adäquate Dekompression zu ermöglichen.(83)

Zum Zeitpunkt des Verfassens der Doktorarbeit bestand hingegen noch kein wissenschaftlicher Konsens über die Langzeiteffekte des Tauchens auf die Lungenfunktion. Bei in Lungenfunktionsmessungen detektierten pathologischen Veränderungen besteht ärztlicher Handlungsbedarf, denn das Risiko für Tauchschäden, bzw. Unfälle steigt.(42, 55) Der vermutlich bedeutendste Ansatz liegt in der Prävention. Aufklärungskampagnen und Schulungen über risikoarmes Tauchverhalten, potenzielle pulmonale Schadstoffe und die Bedeutung von regelmäßigen Lungenfunktionsuntersuchungen sind daher wichtig.

2. Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Studie war es, Unterschiede der Lungenfunktion zwischen traditionellen Muscheltauchern und Fischern im Süden Chiles zu untersuchen. Hintergrund ist, dass der Einfluss des stark risikobehafteten Tauchverhaltens auf die Lungenfunktion in der traditionellen Meerestierextraktion kaum untersucht ist. Im Rahmen einer Querschnittsstudie wurden spirometrische Lungenfunktionsuntersuchungen an traditionellen Berufstauchern und Fischern im Süden Chiles durchgeführt. Die untersuchten Fischer fungieren dabei als nichtexponierte Vergleichsgruppe. Zudem sollten Risikofaktoren für verminderte Lungenfunktionsbefunde identifiziert werden.

Die Resultate können erste Erkenntnisse zur Klärung der Fragestellung beitragen, ob traditionelle Berufstaucher im Vergleich zur Normalbevölkerung Unterschiede der Lungenfunktion aufweisen. Identifizierte Risikofaktoren dienen der Etablierung entsprechender Präventions- und Screening Maßnahmen.

3. Material und Methoden

Die Feldarbeit der Querschnittsstudie fand im Zeitraum von September 2017 bis November 2018 durch den Autor dieser Arbeit und Marie Astrid Garrido in Südchile statt. Im Rahmen der Studie wurden neben den Untersuchungen der Lungenfunktion auch verschiedene Tests zur Untersuchung neurokognitiver Funktionen durchgeführt. Diese sind jedoch nicht Teil dieser Arbeit.

3.1 Untersuchungskollektiv

Das Untersuchungskollektiv wurde aus der Gemeinde Maullín in der zehnten Region Chiles („Región los Lagos“) ausgewählt. In dieser Region lebt ca. 1/3 der Taucher und Fischer, die im sogenannten „pesca artesanal“ (auf Deutsch „traditioneller Fischfang“) in Chile arbeiten. (11)

Das Untersuchungskollektiv setzte sich aus selbstständigen Muscheltauchern („buzos mariscadores“), die als exponierte Gruppe bei ihrer Arbeit der hyperbaren Umgebung ausgesetzt sind, und Fischern („asistente de buzos/pescadores“) als nichtexponierte Vergleichsgruppe, zusammen. Ausgeschlossen wurden Fischer, die in der Vergangenheit als Taucher gearbeitet hatten, Frauen und Personen jünger als 18 Jahre und älter als 59 Jahre. Das Alterslimit wurde aufgrund der auch im Rahmen der Studie durchgeführten kognitiven Tests festgelegt.

In Maullín leben insgesamt ca. 14.000 Menschen.(84) Die Studienteilnehmer wurden aus mehreren Dörfern (Carelmapu, La Pasada, Lepihue, la Lolcura und el Carrizo) rekrutiert (Abbildung 3). Im größten Studienort, dem Fischerdorf Carelmapu, leben laut Schätzung



Abbildung 3: Geographische Lage der Studienregion (Quelle: modifiziert, Original von Douglas Fernandez, <https://www.flickr.com/photos/thejourney1972/2203262447/in/photostream/>)

gen des chilenischen Statistikamtes knapp 4000 Einwohner.(85) Von diesen 4000 Bewohnern sind ca. 400 entweder als „buzos mariscadores“ (d.h. Muscheltaucher) oder als „asistente de buzos/pescadores“ (Fischer) aktiv.

Am Nordufer des Maullín Flusses liegen zudem mehrere kleine Fischerdörfer, zu denen auch La Pasada, la Lolcura und el Carrizo zählen. Ihre Bevölkerung liegt bei ca. 2000 Einwohnern.(85) In der statistischen Auswertung werden diese Dörfer unter „Nordufer Maullín Fluss“ zusammengefasst.

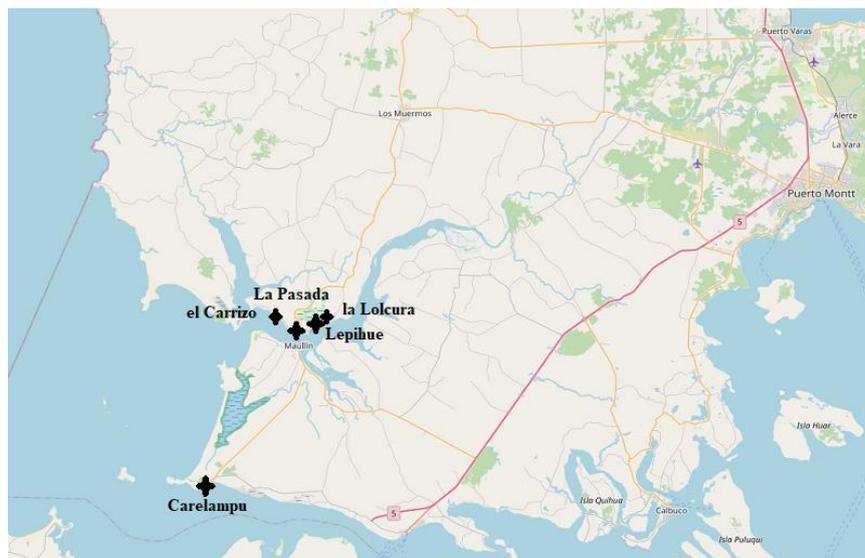


Abbildung 3: Detailansicht der Studienregion, Región de los Lagos, Chile (Quelle: <https://www.openstreetmap.org/#map=10/-41.6355/-73.4134>)

3.2 Probandenrekrutierung

Da kein Verzeichnis der traditionellen Taucher und Fischer in der Studienregion existiert, setzten wir die sogenannte „random walk- Methode“ ein.(86) Bei dieser Methode werden die Häuser einer Gemeinde nach einem vorher streng festgelegten Schema, besucht, potenzielle Probanden identifiziert und, sofern sie zur Teilnahme bereit sind, rekrutiert.

Für unsere Studie legten wir im Vorhinein folgende Kriterien für die Hausbesuche fest:

1. In den Studienorten wurden alle bewohnten Häuser für einen Besuch ausgewählt.

2. Jedes Haus in einem Studienort darf maximal drei Mal besucht werden, um die Bewohner nicht zu belästigen.
3. Es dürfen maximal ein Taucher und ein Fischer pro Haus eingeschlossen werden.
4. Wenn mehrere Taucher, bzw. Fischer im gleichen Haus wohnen, wird der Jüngste eingeladen.
5. Es können telefonische Kontaktdaten notiert werden, um den Probanden für einen Untersuchungstermin zu kontaktieren.
6. Um die Probanden nicht zu belästigen, dürfen maximal drei telefonische Anrufe getätigt werden.
7. Die Studienteilnahme ist freiwillig und die Probanden können sich auch jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie zurückziehen.

3.3. Untersuchungsablauf

Die Studie erhielt sowohl von der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der LMU als auch von der zuständigen chilenischen Ethikkommission („Comité Ético Científico del Servicio de Salud de Valdivia“) ein positives Votum. Bereits bei der Einladung wurden die Probanden über die Studie, den Untersuchungsablauf, die einzelnen Tests sowie über die Studienziele informiert. Die Untersuchungen wurden entweder in den Räumlichkeiten des Hafens oder in den Häusern der Studienteilnehmer durchgeführt.



Abbildung 4: Hafen in Carelmapu (Quelle: L. Mark)

Zur Anonymisierung wurde jedem Probanden per Losverfahren eine Identifikationsnummer zugewiesen. Dies sicherte einerseits den Datenschutz, andererseits war es den Probanden unter Angabe der persönlichen ID jederzeit möglich, ohne Angabe von Gründen aus der Studie auszutreten. Die für diese Arbeit relevanten Studienteile umfassten die Bearbeitung eines Fragebogens (Anhang), eine spirometrische Messung der Lungenfunktion sowie die Bestimmung der Körpergröße und des Körpergewichtes.

Tabelle 4: Untersuchungsablauf

Dauer	Thematik
10 min	Einladung sowie Erläuterung der Studie
15 min	Bearbeitung des Fragebogens
20 min	WCST & TAVEC ²
3 min	Messung der Körpergröße & Gewicht
10 - 15 min	Spirometrische Untersuchung der Lungenfunktion

² WCST: Wisconsin Card Sorting Test, TAVEC: Test de Aprendizaje Verbal España-Complutense; der WCST und TAVEC Test sind nicht Teil dieser Arbeit.

3.4 Fragebogen

Der Fragebogen (Anhang) gliederte sich in mehrere Teile und umfasste einen soziodemographischen Teil, Fragen bezüglich des Tauchverhaltens der Taucher sowie ein Fragebogen zu respiratorischer Symptomatik. (Tabelle 5)

Tabelle 5: Inhalt des Fragebogens

Bestandteile	
Soziodemographischer Teil	Lebensalter (in Jahren)
	Beruf
	Arbeitszeit (in Stunden/Woche)
Tauchverhalten	Anzahl an Tauchjahren
	Anzahl an Tauchgängen (pro Jahr)
	Tiefe der Tauchgänge (in Meter)
	Dauer eines Tauchganges (in Stunden)
Gesundheitszustand	Risikofaktoren (Rauchen)
	Respiratorische Symptome bezüglich chronischer Bronchitis bzw. Asthma bronchiale

Die Fragen aus dem allgemeinen, soziodemographischen Teil wurden aus Vorstudien (*Garrido Campos MA. et al. „Prevalence and Risk Factors for Hearing Loss in Chilean Shellfish Divers“, Hindelang B. „Aufmerksamkeitsdefizite bei chilenischen Muscheltauchern*) übernommen.(20, 87) Zur Erfassung respiratorischer Atemwegsveränderungen wurden Teile eines von der European Community Respiratory Health Survey (ECRHS) entwickelten Fragebogens auf Spanisch eingesetzt. Dieser wurde als Screening Instrument eingesetzt, um den Einfluss anderer respiratorischer Erkrankungen, z.B. Asthma oder chron. Bronchitis, bei der Auswertung der Lungenfunktionsuntersuchungen zu berücksichtigen.(88)

3.5 Spirometrie

Alle Lungenfunktionsuntersuchungen wurden mit dem „EasyOne™“-Spirometer (Modell 2001) der Firma ndd durchgeführt (Abbildung 5). Dieses Spirometer bedient sich der sogenannten „TrueFlow™“-Technologie, bei der die Messung des Luftstromes anhand der Laufzeitdifferenzen zweier Ultraschallimpulse berechnet wird.(89) Ein Vorteil dieser Technologie ist, dass das Spirometer nicht regelmäßig kalibriert werden muss und trotzdem exakte Messungen vollzogen werden können.(90)



Abbildung 5: ndd „Easy One™“ – Spirometer (Quelle: Easy One Manual, ndd Medizintechnik, Zürich; Abbildung freundlicherweise von NDD zur Verfügung gestellt)

Qualitätskriterien

Zur Qualitätssicherung wurden alle Lungenfunktionsmessungen gemäß den Richtlinien der European Respiratory Society (ERS) sowie der American Thoracic Society (ATS) durchgeführt. Entsprechend dieser Richtlinien gelten folgende Kriterien für eine repräsentative forcierte Expiration (53):

1. Es müssen mindestens drei akzeptable Versuche durchgeführt werden. Beim besten und zweitbesten Versuch sollte die Differenz der FVC und FEV₁-Werte nicht größer als 5% bzw. 150ml sein.

2. Eine Spirometrie ist akzeptabel, wenn sie frei von Artefakten, z.B. Husten, Glottisschluss, Leckagen, vorzeitiger Testabbruch und unterschiedlicher Anstrengung, ist.
3. Die Expirationsdauer sollte ≥ 6 Sekunden sein und ein ausreichender expiratorischer Spitzenfluss innerhalb von 120ms erreicht werden.

Gemäß diesen Kriterien wurden die durchgeführten Spirometrien in 4 Grade unterteilt:

1. Spirometrien von guter Qualität
2. Spirometrien von fraglicher Qualität
3. Spirometrien von schlechter Qualität
4. Nicht verwertbare Spirometrien

Ausschlusskriterien

Anhand der Empfehlungen der ERS (91) wurden zudem die Ausschlusskriterien für eine spirometrische Untersuchung wie folgt festgelegt:

- Hämoptysen³ mit unklarer Genese
- Pneumothorax
- Instabiler kardiovaskulärer Zustand, bzw. Herzinfarkt in jüngster Vergangenheit
- Thorakale, abdominelle sowie zerebrale Aneurysmen
- Kürzliche Augenoperationen bzw. thorakale oder abdominelle Eingriffe
- Körperliche Zustände, die das Testergebnis beeinflussen können (z.B. Übelkeit, Erbrechen)

³ Hämoptysen: Aushusten von blutigem Auswurf

3.5.1 Durchführung der Spirometrie

Nach Abfrage der Ausschlusskriterien wurde dem Probanden der Versuchsablauf sowie die Durchführung der Spirometrie erläutert.

Die Messungen wurden bei den Probanden im Sitzen, in lockerer Kleidung und nach Anbringen einer Nasenklemme durchgeführt (s. Abbildung 6). Ein Maximum von acht Versuchen pro Studienteilnehmer wurde im Vorhinein gemäß den ERS-Kriterien festgelegt. Bei jedem Versuch wurde der Proband gebeten, tief einzusatmen und die eingeatmete Luft unmittelbar mit maximaler Kraft und Geschwindigkeit wieder auszuatmen. Die Lungenfunktionsuntersuchungen wurden frühestens zwei Stunden nach dem letzten Tauchgang durchgeführt.



Abbildung 6: Studienteilnehmer während der spirometrischen Untersuchung (Quelle: A.Garrido)

3.5.2 Spirometrische Messwerte

Folgende spirometrische Messwerte wurden erhoben:

Forcierte Vitalkapazität (FVC): als FVC wird das gesamte Volumen in Litern bezeichnet, das nach maximaler Inspiration mit maximalem Kraftaufwand ausgeatmet wird.(52)

Das Forcierte Expiratorische Volumen in einer Sekunde (FEV₁): Die FEV₁ spiegelt das Volumen in Litern wider, das nach maximaler Einatmung forciert innerhalb einer Sekunde ausgeatmet wird (die sogenannte Einsekundenkapazität).(52)

Tiffeneau-Index (FEV₁/FVC in %): Der Tiffeneau-Index ist das Verhältnis zwischen Forciertem Expiratorischem Volumen in einer Sekunde (FEV₁) und der Forcierten Vitalkapazität (FVC).(52)

Forcierter expiratorischer Fluss 25-75% (FEF₂₅₋₇₅): Der FEF₂₅₋₇₅ gibt die mittlere maximale expiratorische Atemstromstärke in [l/s], die zwischen 25% -75% der FVC erreicht wird, wieder.(52)

Forcierter expiratorischer Fluss 25% (FEF₂₅): Der FEF₂₅ spiegelt die Flussgeschwindigkeit bei 25% der FVC in [l/s] wider.(52)

Forcierter expiratorischer Fluss 50% (FEF₅₀): Der FEF₅₀ ist der maximal expiratorische Fluss bei 50% der FVC in [l/s](52)

Vor Durchführung der Lungenfunktionsmessung wurden auch das Geschlecht, Alter, Gewicht [kg], Körpergröße [m] und der BMI erfasst. Das **Körpergewicht** der Probanden wurde in leichter Bekleidung, ohne Schuhe oder schwere Gegenstände in den Taschen mittels einer Standwaage, deren Funktionalität regelmäßig überprüft wurde, gemessen. Die **Körpergröße** wurde mit Hilfe eines Maßbandes im Stehen mit dem Rücken gegen eine Wand in aufrechter Körperposition gemessen. Der BMI wurde dann aus dem Körpergewicht in kg dividiert durch die Körpergröße in m zum Quadrat errechnet. Das **Alter** der Studienteilnehmer wurde aus dem Geburtsdatum errechnet.

3.6 Variablendefinition

3.6.1 Deskriptive Variablen:

3.6.1.1 Allgemeine Variablen

Beruf: Es wurde unterschieden zwischen Tauchern und Fischern. Zudem wurden auch ehemalige Taucher und Fischer (Ex-Taucher/Ex-Fischer) in die Studie aufgenommen und die Ursache für die Beendigung der Beschäftigung notiert. Bei Taucher wurden diese in folgende Kategorien unterteilt: Tauchunfälle, andere Erkrankungen, wirtschaftliche Faktoren und unbekannt. Bei den Fischern wurden unterteilt in: gesundheitliche Gründe, wirtschaftliche Faktoren und unbekannt.

Studienorte: Es wurde zwischen Studienteilnehmern aus Carelmapu und Nordufer des Maullín Flusses unterschieden.

Alter: Das Lebensalter der Studienteilnehmer in Jahren wurde anhand des Fragebogens erfasst. Die erhobenen Daten wurden als kategorielle Variable erfasst und in folgende Altersgruppen unterteilt: <20 Jahre, 20-29 Jahre, 30-39 Jahre, 40-49 Jahre und 50-59 Jahre.

BMI: Mittels Körpergröße und Körpergewicht wurde der BMI-Wert berechnet. (Formel: $BMI = \frac{\text{Körpergewicht [kg]}}{(\text{Größe [m]})^2}$). Gemäß des BMI-Wertes wurden die Studienteilnehmer in drei Gruppen unterteilt: $<25 \text{ kg/m}^2$, $25- <30 \text{ kg/m}^2$ und $\geq 30 \text{ kg/m}^2$. Per Definition der World Health Organisation (WHO) werden Menschen mit einem BMI-Wert ≥ 25 als übergewichtig, ab einem BMI ≥ 30 als Adipositas Grad I bezeichnet.(92)

Raucherstatus: Es wurde die relative und absolute Häufigkeit der Raucher im Verhältnis zur Gesamtzahl an Taucher und Fischer angegeben.

3.6.1.2 Tauchexposition

Das Expositionsverhalten der Taucher wurde anhand der Tauchhäufigkeit und der Tauchtiefe untersucht.

Tauchjahre: Anzahl an Jahren, die die Taucher zum Studienzeitpunkt bereits als Taucher gearbeitet haben. Es wurden zwei Kategorien gebildet: Taucher, die mehr als 25 Jahre und Taucher, die weniger als 25 Jahre getaucht haben.

Tauchhäufigkeit: Die Anzahl an Tauchgängen der letzten 12 Monate wurde in drei Kategorien unterteilt: 0-100, 100-200 und >200 Tauchgänge.

Tauchtiefe: Die Angaben zur Tauchtiefe wurden in 3 Kategorien unterteilt: <30m, 30-50m und >50m.

3.6.1.3 Respiratorischer Fragebogen

Die Fragen respiratorischer Symptome bezüglich Asthmas und chronischer Bronchitis wurden zur Abschätzung der Prävalenz der beiden Erkrankungen in der Studienpopulation herangezogen, da beide mit spirometrisch messbaren Veränderungen der Lungenfunktion einhergehen können. Asthma und Chronische Bronchitis wurden anhand der Fragebogenangaben wie folgt definiert:

- **Asthma:** Zur Bestimmung der Prävalenz von Asthma flossen die Fragen MR 1.2 und MR 5 ein (vergleiche Anhang 8.3 Fragebogen: „Módulo salud respiratoria“). Asthma lag vor, wenn die Frage MR 1.2. (ins Deutsche übersetzt: „Haben Sie Symptome wie Giemen oder Pfeifen im Brustkorb, wenn sie nicht erkältet sind?“ (88)) und die Frage MR 5: (ins Deutsche übersetzt: „Nehmen sie derzeit irgendwelche Medikamente, z.B. Asthasprays, gegen das Asthma ein?“ (88)) beide jeweils mit „ja“ beantwortet wurden.
- **Chronische Bronchitis:** Zur Bestimmung der Prävalenz einer chronischen Bronchitis wurden die Fragen MR 9.1 und MR 11.1 ausgewählt (vergleiche Anhang 8.3 Fragebogen: „Módulo salud respiratoria“). Eine chronische Bronchitis lag vor, wenn die Frage MR 9.1 (ins Deutsche übersetzt „Hatten sie Husten an den meisten Tagen, mindestens über drei Monate, innerhalb eines Jahres?“ (88)) und die Frage MR 11.1 (ins Deutsche übersetzt: „Haben sie Auswurf an den meisten Tagen, mindestens über einen Zeitraum von drei Monaten, innerhalb eines Jahres?“ (88)) beide mit „ja“ beantwortet wurden.

3.7 Statistische Analysen

Die statistische Auswertung erfolgte unter Verwendung der Statistiksoftware „Stata“, Version 12. Der verwendete Datensatz wurde mittels Doppeleingabe in Microsoft Excel von zwei verschiedenen Personen eingegeben und anschließend auf Unterschiede überprüft und korrigiert. Die deskriptive Analyse erfolgte mittels Angabe von relativer und absoluter Häufigkeit sowie der Errechnung von Mittelwert, Standardabweichung und Konfidenzintervall. Die Variablen Alter, Beruf, BMI, Studienort und Raucherstatus wurden mittels Chi-Quadrat-Test auf Unabhängigkeit zwischen Tauchern und Fischern überprüft. Zur statistischen Analyse der spirometrischen Messwerte zwischen Tauchern und Fischern wurden der T-Test sowie der Mann Whitney U Test angewendet. Das Signifikanzniveau α wurde auf $\leq 5\%$ festgelegt. Zudem wurde eine Sensitivitätsanalyse für Spirometrien durchgeführt, bei der Spirometrien, die gemäß den ATS/ERS- Richtlinien eine schlechtere Qualität aufweisen, von den Analysen ausgeschlossen wurden.

Es wurden verschiedene Modelle der univariaten bzw. multiplen linearen Regression eingesetzt, um den Einfluss des Tauchens (Referenzgruppe: Fischer) auf die verschiedenen Lungenfunktionsparameter zu quantifizieren. Dabei fungierten die Messparameter der Spirometrien jeweils als abhängige Variable. Als Regressoren wurde die Gruppenzugehörigkeit (Taucher vs. Fischer) zusammen mit den Confoundern Alter und Körpergröße verwendet. Dies war notwendig, da die Lungenvolumina u.a. abhängig von der Körpergröße und vom Alter sind. Mit zunehmender Körpergröße liegen höhere Lungenvolumina vor. Mit zunehmendem Alter vermindern sich die Lungenvolumina. Da für Chile keine Referenzwerte vorliegen, wurden die Lungenfunktionsparameter für Alter und Körpergröße adjustiert.

Das Expositionsverhalten der Taucher wurde anhand der Tauchjahre, der Tauchtiefe und der Anzahl an Tauchgängen in den letzten 12 Monaten im Fragenbogen erfasst. Anschließend wurde deren Einfluss auf die Messwerte der Spirometrie anhand von Regressionsmodellen, die ausschließlich die Population der Taucher enthielt, analysiert. Zudem erfolgte mittels Chiquadrat Tests eine Überprüfung auf Korrelation zwischen Tauchtiefe und Tauchhäufigkeit. Beide Variablen wurden getrennt in die Regressionsmodelle aufgenommen. Des Weiteren wurde mittels Chiquadrat-Tests überprüft, ob die Tauchtiefe, Tauchhäufigkeit, Tauchjahre und der Raucherstatus miteinander korrelieren. Zudem wurde der Raucherstatus in einem Modell aufgenommen, um zu untersuchen, ob dieser

ein potenzieller Confounder ist. In weiterer Folge wurden Sensitivitätsanalysen der Regressionsanalysen durchgeführt, bei denen Spirometrien mit schlechter und fraglicher Qualität ausgeschlossen wurden.

4. Ergebnisse

4.1 Teilnahmebereitschaft

Mittels Random-Walk Methode wurden insgesamt 1436 bewohnte Häuser besucht. Von diesen lagen 1116 Häuser in Carelmapu und 320 am Nordufer des Maullín Flusses. Von den 380 Tauchern und Fischern, die die Einschlusskriterien für diese Studie erfüllten, wurden 263 persönlich angetroffen und zur Studienteilnahme eingeladen. Von diesen nahmen 175 (112 Taucher und 65 Fischer) an der Studie teil (Teilnahmequote 67%; Tabelle 6).

Tabelle 6: Teilnahmebereitschaft nach Untersuchungsort und insgesamt

	Total	Caremapu	Nordufer Maullín Fluss			
Häuser	1511	1116	395			
Unbewohnte Häuser	75	75	0			
Bewohnte Häuser	1436	1116	320			
Von diesen: Häuser, bei denen Tür geöffnet wurde	1245	996	249			
	Taucher	Fischer	Taucher	Fischer	Taucher	Fischer
Hausbewohner, die als Taucher/Fischer arbeiten und Einschlusskriterien erfüllen	236	144	173	108	63	36
Von diesen angetroffen	163	100	123	75	40	25
Von diesen Teilnehmer	112	63	92	51	20	12
Teilnahmequote (teilgenommen/eingeladen)	69%	63%	75%	68%	50%	48%

4.2 Deskriptive Ergebnisse

4.2.1 Allgemeine deskriptive Ergebnisse und Spirometrien

Insgesamt nahmen 175 Probanden an der Studie teil, von diesen konnte bei 166 eine Spirometrie durchgeführt werden. Von den 166 erfüllten 150 Spirometrien (98 von Tauchern, 52 von Fischern) die festgelegten Qualitätsstandards. Nach Auswertung entsprachen 91 Spirometrien einem guten, 33 einem fraglichen und 26 einer schlechten Qualitätsgrad (Tabelle 7). Es ergaben keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich Alter, BMI und Raucheranteil zwischen Tauchern und Fischer (Tabelle 8). Zudem unterscheidet sich die Zusammensetzung der Studienpopulation nicht zwischen den beiden Studienorten (Carelmapu und Nordufer des Maullín Flusses). Über 70% der Teilnehmer waren zwischen 40-59 Jahren alt. Zudem lag der Anteil an Übergewichtigen und Probanden mit Adipositas Grad I (BMI 25 - < 30) sowohl bei den Tauchern als auch Fischern bei ca. 80%.

Tabelle 7: Auswertung der Spirometrien

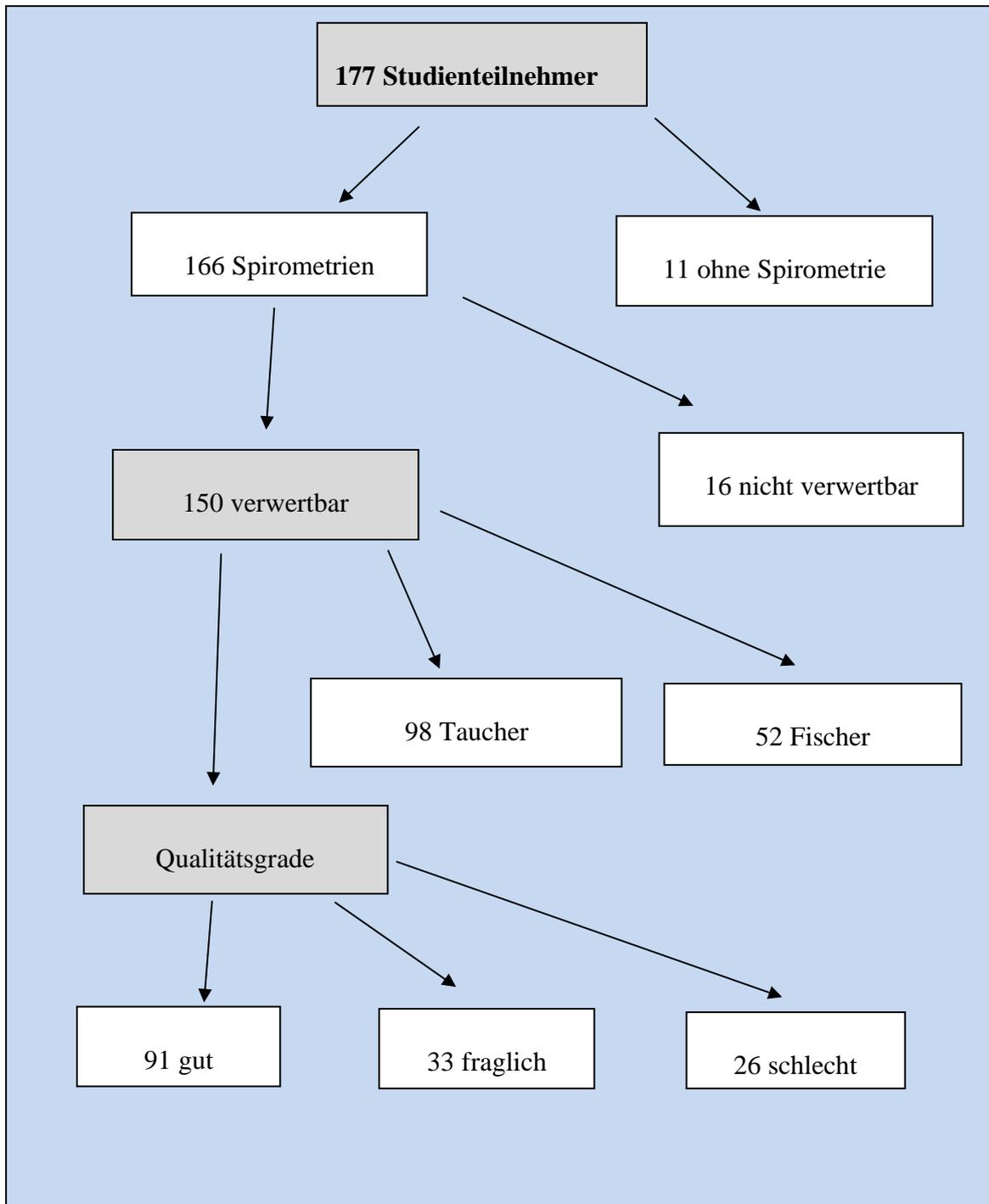


Tabelle 8: Charakteristika der Untersuchungsgruppen

Variable	Gesamt	Taucher ^a	Fischer ^b	Signifikanz (p-Chi ²)
Untersuchungs-kollektiv	150	98 (100,0%)	52 (100,0%)	
Verteilung nach Studienort				
Carelmapu	127	83 (84,7%)	44 (84,6%)	0,99
Nordufer	23	15 (15,3%)	8 (15,4%)	
Mauullín Fluss				
Lebensalter (Jahren)				
≤ 20		1 (1,0%)	1 (1,9%)	0,59
20-29		9 (9,2%)	8 (15,4%)	
30-39		16 (16,3%)	11 (21,2%)	
40-49		34 (34,7%)	17 (32,7%)	
50-59		38 (38,8%)	15 (28,9%)	
BMI (kg/m ²)				
< 25		19 (19,4%)	10 (19,2%)	0,81
25 - < 30		44 (44,9%)	26 (50,0%)	
≥ 30		35 (35,7%)	16 (30,8%)	
Raucheranteil (%)		35 (35,7%)	20 (38,5%)	0,74

a: Von den 98 Tauchern waren 12 Ex-Taucher (8%) (Ursachen für Beendigung der Beschäftigung: Tauchunfälle (7), andere Erkrankungen (2), wirtschaftlich (1), unbekannt (2))

b: von den 52 Fischer waren 7 Ex-Fischer (5%) (Ursachen für Beendigung der Beschäftigung: wirtschaftlich (3), gesundheitlich (1), unbekannt (3))

4.2.2 Ergebnisse des respiratorischen Fragebogens

Ca. 3% der Taucher und 4% der Fischer gaben an, aktuell Medikamente gegen Asthma bronchiale einzunehmen. 6% der Taucher und 8% der Fischer gaben das Symptom regelmäßiges Giemen an, ohne erkältet zu sein. Ca. 2% der Teilnehmer litten unter chronischem Husten und Auswurf über einen Zeitraum von mehr als 3 Monaten im Jahr. In den Chi-Quadrat-Tests konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen der Symptomatik der Taucher und Fischer festgestellt werden (Tabelle 9).

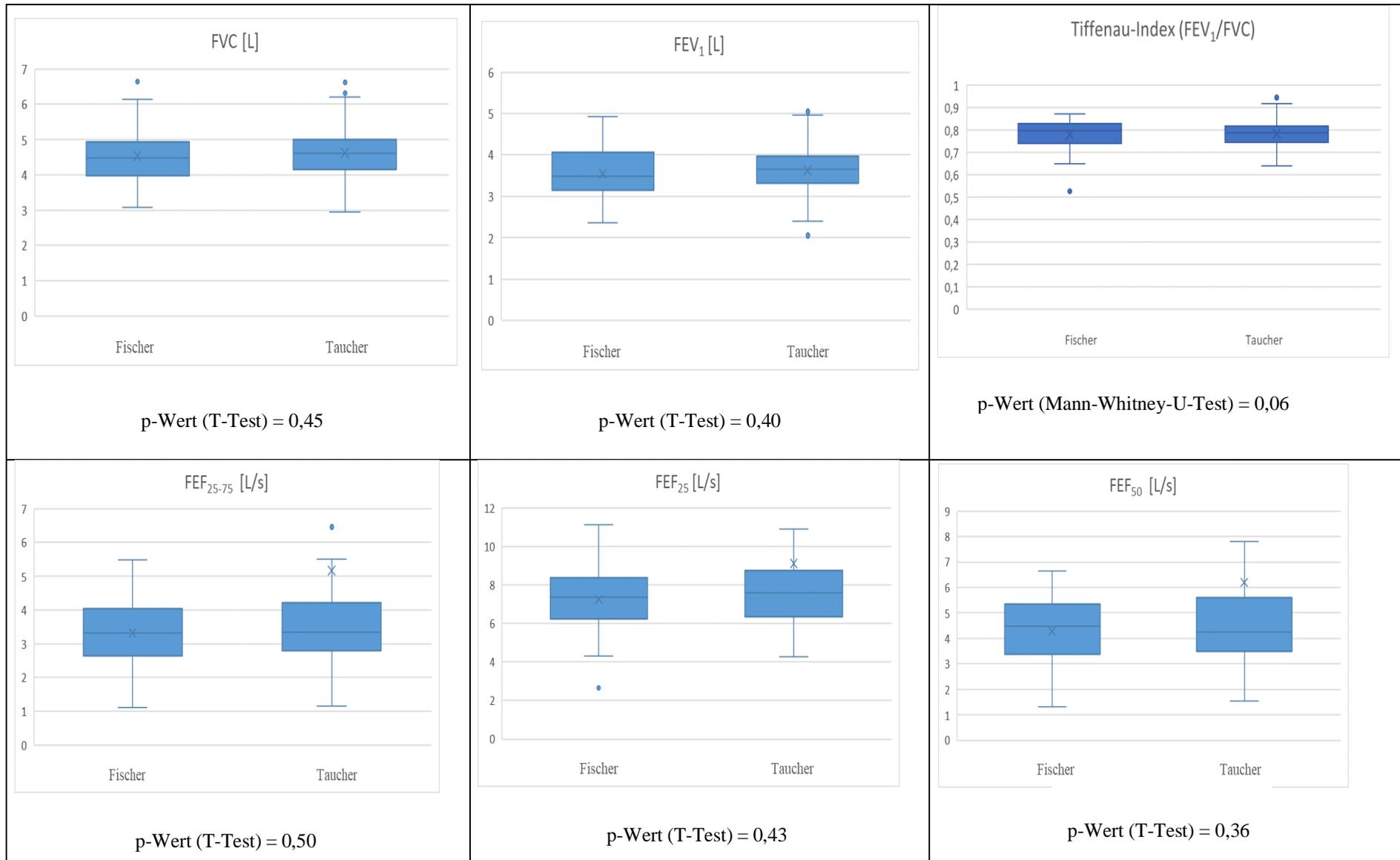
Tabelle 9: Prävalenz respiratorischer Atemwegssymptome

		Taucher	Fischer
Giemen	Ja	6 (6,3%)	4 (7,8%)
	Nein	90 (93,8%)	47 (92,2%)
	Keine Angabe	2	1
	p-Chi ²	0,72	
Asthma-Medikamente	Ja	3 (3,1%)	2 (3,9%)
	Nein	94 (96,9%)	50 (96,2%)
	Keine Angabe	1	0
	p-Chi ²	0,81	
Chron. Husten	Ja	6 (6,4%)	2 (3,9%)
	Nein	88 (93,6%)	50 (96,2%)
	Keine Angabe	4	0
	p-Chi ²	0,52	
Chron. Auswurf	Ja	9 (9,8%)	8 (15,7%)
	Nein	83 (90,2%)	43 (84,3%)
	Keine Angabe	6	1
	p-Chi ²	0,30	
Chron. Husten + Auswurf	Ja	2 (2,0%)	1 (1,9%)
	Nein	96 (98%)	51 (98,1%)
	Keine Angabe	0	0
	p-Chi ²	<0,05	0,38

4.2.3 Lungenfunktionsbefunde

Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied in den Lungenfunktionsparametern FVC, FEV₁, FEV₁/FVC, FEF₂₅, FEF₅₀ und FEF₂₅₋₇₅ zwischen Tauchern und Fischern gezeigt werden. Die Lungenfunktionsparameter waren, bis auf den Tiffenau-Index, normalverteilt. Die Mittelwerte der FVC und FEV₁ bei Tauchern lagen bei 4,62 L (SD: ± 0,71) und 3,62 L/s (SD: ± 0,59), bei Fischern bei 4,53 L (SD: ± 0,71) und 3,54 L/s (SD: ± 0,61). Der Mittelwert der Tiffenau-Indices betrug bei Tauchern 0,78% (SD: ± 0,06) und bei Fischern 0,78% (SD: ± 0,07), welche beide im Normbereich liegen (Anhang). Bei den expiratorischen Flussparametern (FEF₂₅₋₇₅, FEF₂₅ und FEF₅₀) tendieren die Taucher zu besseren Werten (Tabelle 10), es besteht jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Untersuchungsgruppen. Auch in den Sensitivitätsanalysen konnte sich kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Untersuchungsgruppen zeigen und auch keine Tendenz zu besseren Lungenfunktionsparametern (Anhang).

Tabelle 10: Verteilung der Lungenfunktionsparameter bei Tauchern und Fischern (n1=150 für FVC, FEV1; n2=149 für FEF25-75, FEF25 und FEF50)



4.2.4 Ergebnisse des Tauchverhaltens (Tauchhäufigkeit und Tauchtiefe)

Die Anzahl an Tauchgängen wurde in 3 Gruppen unterteilt. Ca. 50% der Taucher absolvierten in den letzten 12 Monaten 100-200 Tauchgänge. Mehr als die Hälfte der Tauchgänge fand in einer Tiefe von weniger als 30 Metern unter dem Meeresspiegel statt. Mehr als 50% der Taucher tauchten zum Studienzeitpunkt mehr als 25 Jahre.

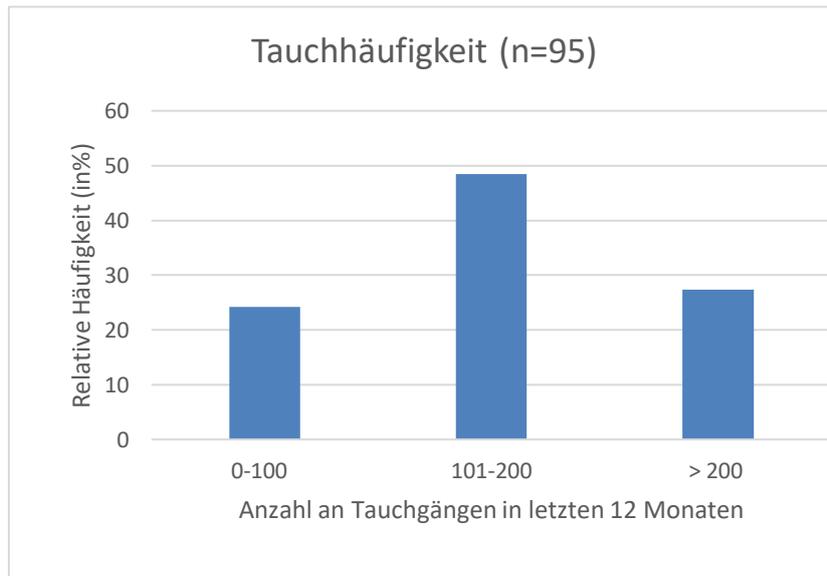


Abbildung 7: Anzahl an Tauchgängen in den letzten 12 Monaten

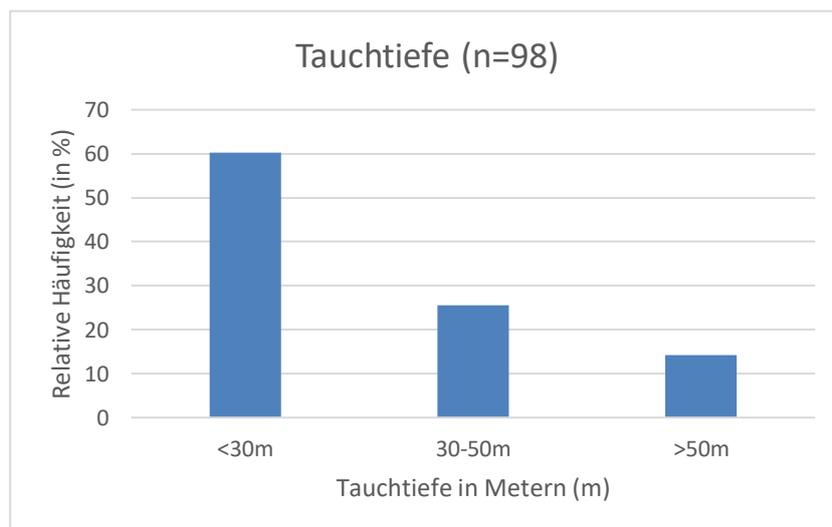


Abbildung 8: Verteilung der Tauchtiefe der letzten 12 Monate

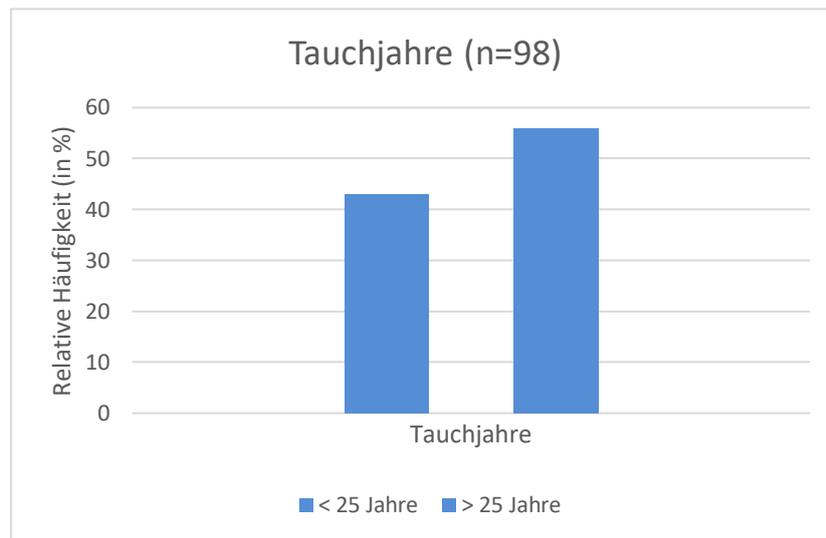


Abbildung 9: Verteilung der Tauchjahre

4.3 Ergebnisse der univariaten und multiplen linearen Regression

4.3.1 Ergebnisse der Regressionsanalysen bezüglich des potenziellen Einflusses des Tauchens auf die Lungenfunktionsparameter

Im Zuge der Regressionsmodelle konnte gezeigt werden, dass Taucher statistisch signifikant höhere FVC und FEV₁-Werte im Vergleich zu Fischern vorwiesen. Kein statistisch signifikanter Unterschied bestand in den Flusswerten FEF₂₅₋₇₅, FEF₂₅ und FEF₅₀ (Tabelle 11). Diese Ergebnisse bestätigten sich auch in einem Regressionsmodell, das auf Rauchen adjustiert war (Anhang). Der Anteil an Rauchern unterschied sich statistisch nicht signifikant zwischen Tauchern und Fischern. Zunehmendes Alter war sowohl bei den Tauchern als auch bei den Fischern mit einer statistisch signifikanten Verminderung der Lungenfunktionsparameter FVC, FEV₁ und FEF₂₅₋₇₅ assoziiert, zunehmende Körpergröße mit statistisch signifikant höheren FEV₁ und FVC-Werten. In der durchgeführten Sensitivitätsanalyse zeigten sich keine statistisch signifikanten Assoziationen zwischen dem Tauchen und den einzelnen Lungenfunktionsparametern, eine Tendenz bezüglich höherer FVC und FEV₁-Werte blieb bestehen.

Tabelle 11: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen zum Zusammenhang zwischen dem Tauchen, Alter und der Körpergröße und den Lungenfunktionsparametern

	FVC (n=150)		FEV ₁ (n=150)		FEV ₁ /FVC (n=150)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=148)		FEF ₂₅ (n=148)		FEF ₅₀ (n=148)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Taucher	0,29	0,097 - 0,48*	0,24	0,08 - 0,4*	0,003	-0,02 - 0,02	0,26	-0,07 - 0,59	0,399	-0,13 - 0,93	0,36	-0,09 - 0,81
Alter (in Jahren)	-0,48	-0,70 - -0,25*	-0,49	-0,68 - -0,298*	-0,02	-0,05 - -0,001*	-0,67	-1,06 - -0,28*	-0,49	-1,12 - 0,13	-0,69	-1,21 - -0,16*
Körpergröße (in cm)	0,05	0,04 - 0,07*	0,03	0,02 - 0,05*	-0,002	-0,003 - -0,0001*	0,01	-0,02 - 0,03	0,03	-0,02 - 0,07	0,01	-0,03 - 0,05

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

4.3.2 Ergebnisse der Regressionsanalysen zum Zusammenhang zwischen dem Tauchverhalten und der Lungenfunktionsparameter

Zur Analyse des Expositionsverhaltens der Taucher wurden Angaben von 95 Tauchern berücksichtigt, bei 3 Tauchern waren keine Daten bezüglich der Tauchhäufigkeit vorhanden. Es wurde eine Korrelation zwischen Tauchtiefe und Tauchhäufigkeit gezeigt sowie eine Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchjahren (Anhang). In den Modellen, in denen Tauchtiefe und Tauchhäufigkeit getrennt analysiert wurden, zeigte sich, dass Taucher, die in den letzten 12 Monaten vor der Untersuchung 100-200 Tauchgänge absolviert hatten, im Vergleich zu denjenigen, mit weniger als 100 Tauchgängen, statistisch signifikant schlechtere FVC-Werte vorwiesen (Tabelle 12). Die Tauchtiefe war nicht assoziiert mit schlechteren Lungenfunktionswerten (Tabelle 13). Zudem waren die Tauchhäufigkeit und Tiefe nicht statistisch signifikant mit den Lungenflussparameter FEF_{25-75} , FEF_{25} und FEF_{50} assoziiert. Taucher, die bereits seit mehr als 25 Jahren tauchten, wiesen tendenziell schlechtere Lungenfunktionsparameter auf (Tabelle 12). In der Gegenüberstellung der Regressionskoeffizienten zwischen Haupt- und Sensitivitätsanalyse zeigten sich diese negativen Tendenzen bestätigt (Tabelle 14, Anhang).

Tabelle 12: Ergebnisse der multiplen Regressionsanalysen zum Zusammenhang der Tauchhäufigkeit und der Lungenfunktionsparameter, adjustiert für Alter, Raucher und Körpergröße

	FVC (n=95)		FEV ₁ (n=95)		FEV ₁ /FVC (n=95)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=93)		FEF ₂₅ (n=93)		FEF ₅₀ (n=93)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Tauchjahre (>25 Jahre)	-0,05	-0,38 – 0,28	-0,07	-0,35 – 0,21	-0,01	-0,04 – 0,02	-0,21	-0,76 – 0,35	-0,18	-1,03 – 0,67	-0,12	-0,88 – 0,64
Taughäufigkeit (100-200 Tauchgänge)	-0,33	-0,64 - -0,02*	-0,2	-0,46 – 0,07	0,02	-0,01 – 0,04	-0,06	-0,58 – 0,46	-0,17	-0,96 – 0,62	-0,13	-0,84 – 0,58
Alter (50-59 Jahre)	-0,66	-1,07 - -0,24*	-0,64	-0,99 - -0,28*	-0,02	-0,06 – 0,01	-0,94	-1,64 - -0,25*	-1,23	-2,29 - -0,17*	-1,05	-2,001 - -0,10*
Körpergröße (in cm)	0,06	0,03 – 0,08	0,03	0,01 – 0,05*	-0,002	-0,004 – 0,0004	0,02	-0,02 – 0,06	0,02	-0,04 – 0,08	0,02	-0,04 – 0,07
Raucher	0,02	-0,24 – 0,29	0,04	-0,19 – 0,26	0,004	-0,02 – 0,03	-0,12	-0,57 – 0,33	-0,34	-1,02 – 0,34	-0,15	-0,76 – 0,46

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

Tabelle 13: Ergebnisse der Regressionsanalysen zum Zusammenhang der Tauchtiefe und der Lungenfunktionsparameter, adjustiert für Raucher, Alter und Körpergröße

	FVC (n=98)		FEV ₁ (n=98)		FEV ₁ /FVC (n=98)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=96)		FEF ₂₅ (n=96)		FEF ₅₀ (n=96)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Tauchjahre (>25 Jahre)	0,005	-0,33 – 0,34	-0,05	-0,33 – 0,23	-0,01	-0,04 – 0,02	-0,27	-0,84 – 0,29	-0,17	-1,04 – 0,69	-0,26	-1,04 – 0,51
Tauchtiefe (<30m)	-0,54	-1,28 – 0,21	-0,29	-0,91 – 0,34	0,02	-0,04 – 0,09	0,18	-1,06 – 1,41	0,03	-1,85 – 1,92	0,43	-1,27 – 2,12
Alter (50-59 Jahre) (in Jahren)	-0,396	-1,03 - -0,195*	- 0,59	-0,94 - -0,24*	-0,02	-0,06 – 0,01	-0,84	-1,54 - -0,14*	-1,17	-2,24 - -0,11*	-0,84	-1,16 – 0,53
Körpergröße (in cm)	0,05	0,03 – 0,08*	0,03	0,01 – 0,05*	-0,002	-0,004 – 0,0005	0,02	-0,02 – 0,06	0,03	-0,03 – 0,09	0,02	-0,03 – 0,08
Raucher	0,06	-0,21 – 0,32	0,05	-0,18 – 0,27	0,001	-0,02 – 0,02	-0,16	-0,61 – 0,29	-0,37	-1,05 – 0,31	-0,21	-0,83 – 0,40

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

Tabelle 14: Gegenüberstellung der Regressionskoeffizienten der Tauchjahre zwischen Haupt- und Sensitivitätsanalysen (adjustiert für Tauchhäufigkeit)

	FVC		FEV ₁		FEV ₁ /FVC		FEF ₂₅₋₇₅		FEF ₂₅		FEF ₅₀	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
>25 Tauchjahre (Hauptanalyse)	-0,05	-0,38 – 0,28	-0,07	-0,35 – 0,21	-0,01	-0,04 – 0,02	-0,21	-0,76 – 0,35	-0,18	-1,03 – 0,67	-0,12	-0,88 – 0,64
>25 Tauchjahre (Sensitivitätsanalyse)	-0,14	-0,59 – 0,32	-0,05	-0,41 – 0,31	0,01	-0,02 – 0,05	0,11	-0,56 – 0,78	0,28	-0,76 – 1,33	0,21	-0,72 – 1,15

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

5. Diskussion

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Querschnittsstudie wurde die Lungenfunktion von traditionellen, chilenischen Muscheltauchern (N=98) untersucht und mit Fischern (N=52) verglichen. Die beiden Untersuchungsgruppen unterschieden sich nicht bezüglich Alter, BMI und Raucheranteil. Im Hinblick auf die untersuchten Lungenfunktionsparameter zeigten die Taucher in den Regressionsmodellen eine höhere Forcierten Vitalkapazität (FVC) und ein höheres forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde (FEV₁). Die Tauchhäufigkeit hingegen war negativ mit der FVC assoziiert. Zudem zeigte sich ein negativer Effekt bei zunehmender Expositionsdauer (>25 Tauchjahre) auf die Lungenfunktionsparameter, trotz einer Altersadjustierung. Die Tauchtiefe hingegen wies keine Assoziation mit den Lungenfunktionsparametern auf.

5.2 Diskussion der Methoden

5.2.1 Diskussion des Studiendesigns

Die Studie wurde im Querschnittsdesign durchgeführt. Der Vorteil dieses Designs liegt zum einen im relativ kurzen Zeitraum der Datenerhebung, zum anderen auch im geringen finanziellen Kostenaufwand verglichen mit einer prospektiven Kohortenstudie. Querschnittsstudien sind eine Momentaufnahme einer Studienpopulation und werden beispielsweise zur Bestimmung der Prävalenz von Erkrankungen und zur Identifikation von Risikofaktoren herangezogen. Die berichteten Ergebnisse sollten im Rahmen von Längsschnittstudien weiter untersucht werden, um beispielsweise Selektionsmechanismen zu identifizieren.

In vorliegender Studie ist unseres Wissens nach erstmalig, die Lungenfunktion bei traditionellen Berufstauchern in Chile und damit auch deren Expositionsverhalten untersucht

worden. Im Vergleich zu größeren Studien (Tetzlaff et al. (74), Voortmann et al. (75)) aus Hocheinkommensländern, die in einem longitudinalen Studiendesign die Lungenfunktion von militärischen Berufstauchern untersucht haben, ist die kleinere Teilnehmerzahl eine Schwäche der Studie.

Ein Problem bei der Studienplanung einer wissenschaftlichen Studie ist die Auswahl einer Stichprobe, die repräsentativ für die Grundpopulation ist. Während der Probandenrekrutierung kann es zum Auftreten eines Selektionsbias („Selection Bias“), d.h. zu einer Verzerrung der Teilnehmersauswahl und damit zur Auswahl einer nicht repräsentativen Stichprobe kommen. Da kein offizielles, vollständiges Register aller traditionellen Berufstaucher und Fischer existiert, haben wir in der vorliegenden Studie die Teilnehmer durch Verwendung der Random Walk Methode rekrutiert. Mithilfe von Tür-zu-Tür Besuchen wurden alle Häuser der Studienorte besucht und alle potenziellen Studienteilnehmer erfasst. Dadurch konnten wir die Wahrscheinlichkeit eines Selektionsbias reduzieren. Diese Methode der Probandenrekrutierung hat sich bereits in größeren Studien, beispielsweise der „European Working Conditions Survey“, bewährt.(86)

Ein weiterer Faktor, der auch zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann, ist der „Healthy Worker Effect“. Dieser beschreibt, dass Berufstätige im Vergleich zur Gesamtbevölkerung gesünder sind und damit der wahre Effekt der Exposition gegenüber einem bestimmten Faktor unterschätzt wird.(93) Denkbar ist, dass bereits erkrankte Taucher die Gemeinden verlassen haben, um einer anderen Beschäftigung nachzugehen, da in den eingeschlossenen Dörfern neben der Extraktion von Muscheln kaum andere Optionen zur Einkommensgenerierung bestehen. Eine der wenigen Alternativen zum Tauchen nach Muscheln ist die Führung des Bootes als Fischer. Auch wenn wir ehemalige Taucher, die zum Zeitpunkt der Studie als Fischer arbeiteten, als Ex-Taucher eingeschlossen haben, ist denkbar, dass eine Selektion gesünderer Personen in den Beruf des Tauchers bereits zum Zeitpunkt der Berufswahl stattgefunden hat. Es ist sogar denkbar, dass die Selektion über mehrere Generationen stattfand. Dies könnte die teilweise sogar besseren Lungenvolumina der Taucher erklären.

In der vorliegenden Studie wurden die spirometrischen Messparameter zwischen den Tauchern und Fischern verglichen. Die Vergleichsgruppe wurde gewählt, da sie unter sehr ähnlichen Lebensverhältnissen und Umweltbedingungen lebt, wodurch das Risiko von Verzerrungen durch externe Faktoren reduziert werden konnte.

5.2.2 Diskussion der Untersuchungsmethoden

5.2.2.1 Fragebogen

Der soziodemographische Teil sowie die Fragen bezüglich der Exposition der Taucher (Tauchtiefe, Häufigkeit an Tauchgängen) hatten sich bereits in einer Vorstudie (20, 87) bewährt und wurden daher erneut verwendet. Sowohl die Angaben zur Tauchtiefe als auch zur Häufigkeit an Tauchgängen innerhalb der letzten 12 Monate beruhen auf Eigenangaben der Taucher. Es ist zu beachten, dass die gesetzliche Tauchtiefe für „buzos mariscadores“ auf 20 Meter beschränkt ist. Die Taucher kennen die Tiefe ihres Tauchganges anhand persönlicher Erfahrungswerte. Zudem wird als Hilfestellung eine markierte Ankerleine eingesetzt, die mittels verschiedener Farben in einem bestimmten Abstand auf die Tauchtiefe hinweist.(20) Während der Feldarbeit konnten wir beobachten, dass lediglich vereinzelt Taucher über Tauchcomputer verfügen oder die eingesetzten Schiffe besitzen in seltenen Fällen auch Echosonden, anhand derer eine Tiefenbestimmung erfolgen kann. Aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen ist mit einer Verzerrung der erhobenen Daten zugunsten sozial erwünschter sowie legaler Antworten, d.h. zugunsten geringerer Tauchtiefen, zu rechnen („Social desirability bias“). Zur Verminderung dieser Verzerrung wurde im Interview auf die im Rahmen der Studie gewährleistete Anonymität vor der Bearbeitung des Fragebogens verwiesen.

Die Fragen des respiratorischen Fragebogens wurden dem European Community Respiratory Health Survey (ECRHS), einer großen Kohortenstudie zur Erfassung von Erkrankungen des atopischen Formenkreises, entnommen.(88) Der Fragebogen dient als Screeningmethode zur Detektion von Erkrankungen der Atemwege, wie z.B. Asthma bronchiale und chronischer Bronchitis, die differentialdiagnostisch als Ursachen für Veränderungen der Lungenfunktion in Betracht gezogen wurden. Eine Schwäche der angewandten Fragen bezüglich einer chronischen Bronchitis ist, dass die in dieser Studie verwendeten Fragen nicht exakt den aktuellen Empfehlungen der Diagnosekriterien einer chronischen Bronchitis entsprechen. In dieser Studie wurden die Studienteilnehmer bezüglich Hustens und Auswurfs über mehr als 3 Monate innerhalb eines Jahres befragt. Die derzeit gültigen Diagnosekriterien einer chronischen Bronchitis umfassen jedoch Husten und Auswurf über mehr als 3 Monate innerhalb von zwei Jahren.

In Anlehnung an die „World Health Survey“, einer großen Studie der WHO zur Quantifizierung der Asthma-Prävalenz bei Erwachsenen, wurde in vorliegender Studie zur Erfassung von asthmatischen Symptomen Fragen bezüglich Giemens ohne Erkältung und der Einnahme von Asthmamedikation inkludiert. Insbesondere in medizinisch schlecht versorgten Regionen trägt diese Methodik zu einer höheren Sensitivität zur Erfassung von Asthma bei als eine rein ärztliche Diagnosestellung.(94) Es ist jedoch zu beachten, dass, abgesehen vom Screening Fragebogen, keine weiterführende Diagnostik bezüglich des Vorliegens von Atemwegserkrankungen, beispielsweise auch restriktiver Genese, durchgeführt wurde.

5.2.2.2 Spirometrie

Unter Berücksichtigung der Richtlinien der American Thoracic Society (ATS) und European Respiratory Society (ERS) können mittels Spirometrie bereits kleine Veränderungen der Lungenfunktion detektiert werden. Weltweit ist die Spirometrie das am häufigsten verwendete Messinstrument zur Detektion von Atemwegserkrankungen.(95) Daher wurde sie bereits in zahlreichen Studien zur Untersuchung der Lungenfunktion von Tauchern herangezogen.(58, 66, 71, 78, 80, 81, 96) Aufgrund des relativ geringen technischen und finanziellen Aufwandes im Vergleich zu anderen Messinstrumenten werden die Vorteile der Spirometrie insbesondere in dünnbesiedelten Gegenden deutlich.

In vorliegender Studie wurden die Lungenfunktionsuntersuchungen frühestens zwei Stunden nach dem letzten Tauchgang durchgeführt, da zwei Studien zeigten, dass die Lungenfunktion bei Messungen direkt nach einem Tauchgang vermindert sein kann. Als Einflussfaktoren werden die Tiefe, bzw. die Umgebungs- und Körpertemperatur genannt.(61, 97)

Ein weiterer Faktor, der einen wichtigen Einfluss auf das Ergebnis einer Spirometrie hat, ist die Mitarbeit des Untersuchten. Daher wurden alle Messungen standardisiert unter Anleitung und Kontrolle von vorab trainierten Personen durchgeführt. Vor Studienbeginn wurde hierzu die exakte Durchführung der Spirometrie in einigen Testdurchläufen an Freiwilligen erprobt. In der Auswertung wurden alle Spirometrien anhand der etablierten ATS-/ERS-Kriterien in verschiedene Qualitätsgrade eingeteilt und in Sensitivitätsanalysen Spirometrien von schlechterer Qualität ausgeschlossen.

Zu beachten ist, dass die Spirometrie nur ein Messinstrument von mehreren Testverfahren in der Diagnostik von Lungenerkrankungen darstellt und spirometrisch nicht alle Aspekte der Lungenfunktion gemessen werden können. Beispielsweise ist es mittels Spirometrie nicht möglich eine Aussage über den alveolären Gasaustausch zu treffen.(52) Alternativ hätte eine Bodyplethysmographie verwendet werden können. Aufgrund des Fehlens eines Bodyplethysmographen vor Ort sowie dem damit verbundenen hohen finanziellen Aufwandes, wurde dieses Messverfahren in vorliegender Studie nicht eingesetzt. Zur Detektion von pulmonalen Schäden durch Sauerstoff (POT) wurden neuere Verfahren, wie die Bestimmung von Volatilen Organic Compounds (VOC), in ersten Studien eingesetzt. Es sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig, um diese für einen standardmäßigen Einsatz heranzuziehen. Daher fand dieses neue Messverfahren keinen Einklang in vorliegender Studie.(34, 98)

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Ergebnisse des respiratorischen Fragebogens

Anhand der Ergebnisse des respiratorischen Fragebogens ergab sich in unserer Untersuchung eine Prävalenz einer chronischen Bronchitis bei Tauchern von ca. 2%, bei Fischern von 1,9%. Eine Studie aus Santiago de Chile geht bei über 40-Jährigen von einer Prävalenz einer chronischen Bronchitis von 7,5% (95%-Konfidenzintervall (KI): 5,3-10,6, adjustiert für Alter und Geschlecht) bei diagnostizierter COPD und einer Prävalenz von 7,0% (KI: 6,1-8,0, adjustiert für Alter und Geschlecht) ohne diagnostizierter COPD aus. Das Durchschnittsalter der Studienteilnehmer lag bei über 60 Jahren und somit deutlich über dem Durchschnittsalter der hier vorgestellten Studie.(99) Da mit steigendem Alter eine höhere Prävalenz einer chron. Bronchitis zu erwarten ist, könnte man dadurch die Differenz der Ergebnisse beider Studien erklären.

Gemäß den Ergebnissen des respiratorischen Fragebogens der vorliegenden Studie lag die Prävalenz von Asthma zwischen 3% - 7% (ca. 3% der Teilnehmer nahmen eine Asthamedikation ein, ca. 7% gaben Giemen ohne Erkältung an). Studien zur Prävalenz von Asthma bei Erwachsenen sind selten in Südamerika. Eine kolumbianische Studie kam zu

dem Ergebnis, dass die Prävalenz von ärztlich diagnostiziertem Asthma bronchiale bei 18-59 bei ca. 6,3% (KI: 5,50%-7,09 %), die Prävalenz an asthmatischen Symptomen bei 18-59 Jährigen in den letzten 12 Monaten bei ca. 9,68% (KI: 8,69-10,66%) liegt.(100) Die Diskrepanz der Ergebnisse könnte auf andere Expositionsfaktoren zurückzuführen sein. Im Vergleich zu vorliegender Studie wurden die kolumbianischen Probanden in größeren Städten rekrutiert. Im urbanen Umfeld ist von einer höheren Prävalenz asthmatischer Beschwerden auszugehen.(101)

5.3.2 Möglicher Einfluss des Tauchens auf forcierte Vitalkapazität und die Einsekundenkapazität

In vorliegender Studie konnte gezeigt werden, dass Taucher eine signifikant höhere Forcierte Vitalkapazität und Einsekundenkapazität aufweisen im Vergleich zu den untersuchten Fischern. Wie bereits in der Einleitung kurz thematisiert (s. 1.3.5 Langzeiteffekte des Tauchens auf die Lungenfunktion), konnten mehrere Studien erhöhte Werte der Forcierten Vitalkapazität bei Berufstauchern vorweisen.(68, 69) Aktuell werden zwei Hypothesen bezüglich der Ätiologie der erhöhten Lungenfunktionsparameter, FVC bzw. FEV₁, bei Tauchern diskutiert. Die eine geht von einem Trainingseffekt der Atemwegsmuskulatur aus. Dieser entsteht beim Tauchen beispielsweise durch einen erhöhten Atemwegswiderstand, bedingt durch die größere Dichte von Gasen, den hyperbaren Umgebungsbedingungen und der Tauchausrüstung. Der kontinuierliche Trainingsreiz könnte das mobilisierbare Lungenvolumen erhöhen und würde damit die höheren Werte der Forcierten Vital- und Einsekundenkapazität erklären. Unterstützend für diese Hypothese konnten Davey et al. (102) in einer Studie eine Korrelation zwischen erhöhten FVC-Werten und der Tauchtiefe zeigen. Die Daten stammten von spirometrischen Ergebnissen und Angaben zum Expositionsverhalten von 858 englischen Tauchern, die in einem zentralen Register in Newcastle gespeichert waren. Zudem konnten Fitzpatrick et al. (79) in einer longitudinalen Studie an 43 Berufstauchern über einen Zeitraum von 3 Jahren eine positive Assoziation zwischen einer größeren Forcierten Vital- und Einsekundenkapazität und der kumulativen Tauchexposition zeigen.

Andere Studien konnten zwar erhöhte FVC Werte detektieren, jedoch keine positive Assoziation zur Exposition der Taucher aufzeigen. Beispielsweise untersuchten Dembert et

al. (103) die Lungenfunktion von 93 Tauchern der US Navy und konnten keinen Zusammenhang mit veränderten Lungenfunktionsparametern nachweisen. Auch eine retrospektive Kohortenstudie an 1.260 Berufstauchern der niederländischen Marine untersuchte Veränderungen der Lungenfunktion über einen Studienzeitraum von 30 Jahren. Es konnten keine Unterschiede der Veränderung der Lungenfunktionsparameter im Vergleich zu Nicht-Tauchern gezeigt werden.(75) Zu beachten ist jedoch, dass die Gesundheit militärischer Berufstaucher regelmäßig untersucht wird und Taucher mit gesundheitlichen Beschwerden, womöglich von der Tauchtätigkeit ausgeschlossen wurden. Das Potenzial eines Healthy Worker Effektes ist daher durchaus vorhanden.

In vorliegender Studie konnte jedoch eine Assoziation zwischen der Tauchhäufigkeit und niedrigeren FVC gezeigt werden sowie eine Tendenz, dass Taucher, die länger als 25 Jahre getaucht haben, schlechtere Lungenfunktionswerte aufweisen. Diese Tendenz bestand, obwohl in den Modellen für das Alter adjustiert wurde. Das bedeutet, dass dieser negative Effekt, obwohl statistisch nicht signifikant, nicht nur durch das Alter erklärt werden kann, sondern auch durch die zunehmende Expositionsdauer bedingt ist. Das fehlende statistische Signifikanzniveau könnte auf eine niedrigere statistische Power bei kleinerer Probandenzahl zurückzuführen sein. Unterstützend dafür bestätigte sich in den Sensitivitätsanalysen die Tendenz zu niedrigeren FVC-Werten. Daher finden sich in vorliegender Studie Hinweise, dass mit zunehmender Berufsdauer bei Tauchern ein negativer Effekt auf die Lungenfunktionsparameter existieren könnte. Diese Ergebnisse gehen einer mit Studien, wie z.B. die von Ozgok-Kangal et al. (82), die in einer Studie mit 64 türkischen Berufstauchern eine negative Korrelation zwischen FEV_1/FVC und FEF_{25-75} und der Expositionsdauer (Tauchjahre) aufzeigen konnten.

Die Zusammenschau der erhöhten Werte der Forcierten Vitalkapazität und Einsekundenkapazität der chilenischen Berufstaucher im Vergleich zu einer Kontrollgruppe und der mögliche negative Effekt auf die Lungenfunktionsparameter bei kumulativer Expositionsdauer sprechen gegen die Hypothese eines Trainingseffektes und für einen natürlichen Selektionseffekt.

5.3.3 Möglicher Einfluss des Tauchens auf die kleinen Atemwege

In der Literatur wurde der Effekt des Tauchens auf die kleineren Atemwege, sog. „small airway disease“, diskutiert (s. 1.3.5 Langzeiteffekte des Tauchens auf die Lungenfunktion). Die vorliegende Studie an chilenischen Muscheltauchern konnte keine Unterschiede der „kleinen Flusswerte“ FEF_{25-75} , FEF_{25} und FEF_{50} zwischen Tauchern und Fischern feststellen. Auch in den Regressionsmodellen zeigte sich keine statistisch signifikante Assoziation zwischen den Tauchern und den kleinen Atemflusswerten. Es zeigte sich jedoch ein negativer Effekt auf die expiratorischen Flussparameter bei zunehmender Berufsdauer, obwohl für das Alter adjustiert wurde.

Dies geht einher mit Ergebnissen von Studien an Sättigungstauchern (70) (104), die großen Tiefen über einen längeren Zeitraum exponiert waren. In diesen konnten pathologisch veränderten Flusswerte der kleinen Atemwege nachgewiesen werden. Auch bei Studien an Scuba-Divern wurden ähnliche Veränderungen nachgewiesen.(71-73) Diese Studien wurden an einer kleinen Anzahl an Tauchern durchgeführt. Größere Kohortenstudien an Scuba-Divern der deutschen und niederländischen Marine konnten oben genannte Veränderungen nicht bestätigen.(74, 75) Auch eine kleine bildgebende Studie mittels Computertomographie an Tauchern der deutschen Marine konnte keine radiologischen Hinweise auf eine pathologische Veränderung der kleinen Atemwege feststellen.(105)

Es ist zu beachten, dass die Messung der expiratorischen Flussparameter stärker abhängig von der Mitarbeit der Probanden ist. Ihre Verwendbarkeit wird zum einen über die schlechtere Reproduzierbarkeit, zum anderen über den Bezug zur Forcierten Vitalkapazität limitiert.(52) Dies wäre eine mögliche Erklärung für die detektierten Effekte bei kleineren Studien bzw. für das Ausbleiben von Effekten in größeren Studien.

Risikofaktoren für pathologische Veränderungen der Atemwege sind beispielsweise oxidativer Stress bedingt durch Hyperoxie und Dekompressionsstress (s.1.3.3 Entwicklung pathologischer Veränderungen der peripheren Atemwege). Eine mögliche Ursache für den fehlenden Nachweis pathologischer Lungenfunktionsparameter könnte einerseits ein zu kurzer Expositionszeitraum darstellen. Sättigungstaucher sind mehrere Stunden bis Tage den hyperbaren Umgebungsbedingungen ausgesetzt. Abhängig vom Partialdruck, der Expositionsdauer und der individuellen Suszeptibilität sind pathophysiologische Ef-

effekte wahrscheinlicher als bei anderen Tauchverfahren. Die Studien an den Sättigungstauchern fanden in den 90er Jahren statt. Mittlerweile wurden strengere Sicherheitsbestimmungen und Richtlinien für industrielle Sättigungstaucher etabliert. Daher ist möglicherweise von einer Verminderung des messbaren Effektes in Hocheinkommensländern auszugehen. Aufgrund der geringen Anzahl an weltweiten Sättigungstauchern sind neuere Studien selten.(106)

Auch die Auswahl des Messverfahrens spielt eine Rolle, um pathologische Veränderungen an der Lunge zu detektieren. Die Bestimmung der Lungenvolumina stellt nur einen Teilaspekt der Lungenfunktion dar. Beispielsweise ist derzeit der Goldstandard in der Detektion der pulmonalen Sauerstoff Toxizität (POT) die Bestimmung der Vitalkapazität und auch die der Diffusionskapazität von Stickstoffmonoxid (CO). Erste Ergebnisse neuer Studien zeigen jedoch, dass die Bestimmung sogenannter „Volatile organic compounds“ eine sensitivere Methode zur Früherkennung pathologischer Effekte darstellen könnte.(34, 98) Es sind jedoch noch weitere Studien zur Überprüfung der neuen Messverfahren notwendig, bevor diese standardmäßig zur Untersuchung pathologischer, pulmonaler Veränderungen herangezogen werden können.

5.4 Ausblick

Die vorliegende Studie konnte zeigen, dass die Taucher statistisch signifikant höhere Werten der Forcierten Vitalkapazität (FVC) und Einsekundenkapazität (FEV₁) vorweisen. Zudem ist sie eine der ersten Studien, neben Diniz et al.(76) und Luhulima et al.(77), die die Lungenfunktion bei traditionellen Muscheltauchern untersuchte. Es mehren sich die Hinweise, dass die erhöhten Lungenfunktionsparameter aufgrund von natürlicher Selektion bei Berufstauchern entstehen könnten.

Die in der Literatur postulierte Hypothese, dass Tauchen zu einer pathologischen Veränderung der kleineren Atemwege führt, konnte in dieser Studie nicht belegt werden. In den Regressionsmodellen zeigten sich jedoch Tendenzen von niedrigeren Lungenfunktionswerten bei zunehmender Expositionsdauer der Taucher. Dieser Effekt war zwar statistisch nicht signifikant, sollte aber als Basis in anschließenden wissenschaftlichen Unter-

suchungen weiter untersucht werden. Alternative Messverfahren, beispielsweise die Bestimmung von volatilen organischen Stoffen (VOC), könnten zukünftig eine wichtige Rolle zur Früherkennung von toxischen Effekten bei Tauchern darstellen.

Für weitere Untersuchungen wäre es durchaus interessant die Ergebnisse der Lungenfunktionsparameter mit chilenischen Sollwerten zu vergleichen. Mit unserer Methodik konnten wir die Effekte des Tauchens auf die Lungenfunktion untersuchen, jedoch könnten unbekannte, lokale Faktoren der untersuchten Studienpopulation einen Effekt auf die Lungenfunktion haben, der unentdeckt bleibt. Zur weiterführenden Interpretation der Ergebnisse wäre es daher durchaus interessant, die erhobenen Daten auch mit Normwerten aus der chilenischen Bevölkerung zu vergleichen, um etwaige Einflussfaktoren detektieren zu können.

Studien über die Lungenfunktion bei traditionellen Berufstauchern in Niedrig- und Mitteleinkommensländern sind selten. Sie leisten einen entscheidenden Beitrag, um das dortige Tauchverhalten und dessen gesundheitliche Folgen genauer zu untersuchen und um Vorsorgemaßnahmen daran anzupassen. Das traditionelle Muscheltauchen in Chile ist aktuell stark im Wandel. Prekäre Arbeitsbedingungen, Überfischung und die globale Erderwärmung erschweren die lokalen Bedingungen für die chilenischen Muscheltaucher und Fischer. Die im chilenischen Gesetz festgelegten Tauchbestimmungen für traditionelle Muscheltaucher lassen sich aufgrund der bestehenden Verhältnisse nur schwer umsetzen. Daher kommt der Prävention ein immer größerer Stellenwert zu, um Langzeitschäden zu verhindern.

6. Zusammenfassung

Die Langzeiteffekte der Exposition von hyperbaren Umgebungsbedingungen auf die Lungenfunktion sind Bestandteil wissenschaftlichen Diskussionen. Ziel dieser Arbeit war es die Lungenfunktion mittels Spirometrien bei traditionellen chilenischen Muscheltauchern, die sich der Hookah Technik bedienen, zu untersuchen, mit der Lungenfunktion von lokalen Fischern zu vergleichen und potenzielle arbeitsbedingte Risikofaktoren pathologischer Lungenfunktionsparameter zu identifizieren.

Hierfür wurden im Rahmen einer Querschnittsstudien spirometrische Lungenfunktionsuntersuchungen gemäß internationalen Richtlinien und ein Fragebogen bezüglich soziodemographischer Daten, Arbeitsbedingungen der Taucher und respiratorischer Symptome durchgeführt. Die Probanden wurden mithilfe von Tür-zu-Tür Besuchen rekrutiert. In der statistischen Analyse wurden die Messparameter der Taucher und Fischer mittels parametrischer und nicht parametrischer Tests auf Unabhängigkeit geprüft und anschließend wurde in multiplen linearen Regressionsmodellen ein möglicher Einfluss des Tauchens bzw. des Tauchverhaltens auf die Lungenfunktionsparameter untersucht.

Insgesamt konnten die Daten von 98 Taucher und 52 Fischer (Response 67%) ausgewertet werden. Die Regressionsanalysen ergaben für Taucher statistisch signifikant höhere Werte der Forcierten Vitalkapazität (FVC) (Beta 0,29 Konfidenzintervall: 0,097 l – 0,48 l) und der Einsekundenkapazität (FEV_1) (Beta 0,24 Konfidenzintervall: 0,08 l – 0,4 l). Zudem war die Tauchhäufigkeit statistisch signifikant mit niedrigeren FVC-Werten (Beta -0,33, Konfidenzintervall -0,64l - -0,02l) assoziiert. Auch konnte in den Regressionsmodellen eine negative Tendenz zwischen längerer Berufsdauer und verminderten Lungenfunktionsparametern, trotz Altersadjustierung, gezeigt werden.

In vorliegender Studie finden sich Hinweise auf einen negativen Effekt auf die Lungenfunktion von traditionellen Berufstauchern mit kumulativer Expositionsdauer. Anschlussstudien mit höherer statistischer Power wären sinnvoll, um die gezeigten Ergebnisse weiter zu untersuchen.

7. Verzeichnisse

7.1 Abbildungsverzeichnis:

ABBILDUNG 1: LUNGENVOLUMINA UND KAPAZITÄTEN: INSPIRATORISCHES RESERVEVOLUMEN (IRV), ATEMZUGVOLUMEN (AZV), EXPIRATORISCHES RESERVEVOLUMEN (ERV), RESIDUALVOLUMEN (RV), INSPIRATORISCHE KAPAZITÄT (IC), FUNKTIONELLE RESIDUALKAPAZITÄT (QUELLE: L.MARK).....	15
ABBILDUNG 2: STATISCHE (RUHESPIROMETRIE) UND DYNAMISCHE (FORCIERE SPIROMETRIE) LUNGENFUNKTIONSPARAMETER (QUELLE: DEUTSCHE ATEMWEGSLIGA, S2K LEITLINIE SPIROMETRIE).....	16
ABBILDUNG 3: GEOGRAPHISCHE LAGE DER STUDIENREGION (QUELLE: MODIFIZIERT, ORIGINAL VON DOUGLAS FERNANDEZ, HTTPS://WWW.FLICKR.COM/PHOTOS/THEJOURNEY1972/2203262447/IN/PHOTOSTREAM/).....	26
ABBILDUNG 4: HAFEN IN CARELMAPU (QUELLE: L. MARK).....	29
ABBILDUNG 5: NDD „EASY ONE™“ – SPIROMETER (QUELLE: EASY ONE MANUAL, NDD MEDIZINTECHNIK, ZÜRICH; ABBILDUNG FREUNDLICHERWEISE VON NDD ZUR VERFÜGUNG GESTELLT).....	31
ABBILDUNG 6: STUDIENTEILNEHMER WÄHREND DER SPIROMETRISCHEN UNTERSUCHUNG (QUELLE: A.GARRIDO).....	33
ABBILDUNG 7: ANZAHL AN TAUCHGÄNGEN IN DEN LETZTEN 12 MONATEN	48
ABBILDUNG 8: VERTEILUNG DER TAUCHTIEFE DER LETZTEN 12 MONATE	48
ABBILDUNG 9: VERTEILUNG DER TAUCHJAHRE	49

7.2 Tabellenverzeichnis:

TABELLE 1: VERHALTEN VON DRUCK, VOLUMEN UND DICHT EINES GASES BEI STEIGENDER WASSERTIEFE	10
TABELLE 2: POTENZIELLE EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE LUNGENFUNKTION (MODIFIZIERT NACH TETZLAFF ET AL., TABLE 1 (39)).....	19
TABELLE 3: ÜBERSICHT ÜBER DIE AKTUELLE STUDIENLAGE ZU VERÄNDERUNGEN DER LUNGENFUNKTION BEI BERUFSTAUCHERN	22
TABELLE 4: UNTERSUCHUNGSABLAUF.....	29
TABELLE 5: INHALT DES FRAGEBOGENS	30
TABELLE 6: TEILNAHMEBEREITSCHAFT NACH UNTERSUCHUNGSORT UND INSGESAMT	40
TABELLE 7: AUSWERTUNG DER SPIROMETRIEN	42
TABELLE 8: CHARAKTERISTIKA DER UNTERSUCHUNGSGRUPPEN	43
TABELLE 9: PRÄVALENZ RESPIRATORISCHER ATEMWEGSSYMPTOME	45
TABELLE 10: VERTEILUNG DER LUNGENFUNKTIONSPARAMETER BEI TAUCHERN UND FISCHERN (N1=150 FÜR FVC, FEV1; N2=149 FÜR FEF25-75, FEF25 UND FEF50).....	47
TABELLE 11: ERGEBNISSE DER MULTIPLN REGRESSIONSANALYSEN ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEM TAUCHEN, ALTER UND DER KÖRPERGRÖÖE UND DEN LUNGENFUNKTIONSPARAMETERN.....	50
TABELLE 12: ERGEBNISSE DER MULTIPLN REGRESSIONSANALYSEN ZUM ZUSAMMENHANG DER TAUCHHÄUFIGKEIT UND DER LUNGENFUNKTIONSPARAMETER, ADJUSTIERT FÜR ALTER, RAUCHER UND KÖRPERGRÖÖE	52
TABELLE 13: ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSEN ZUM ZUSAMMENHANG DER TAUCHTIEFE UND DER LUNGENFUNKTIONSPARAMETER, ADJUSTIERT FÜR RAUCHER, ALTER UND KÖRPERGRÖÖE.....	53
TABELLE 14: GEGENÜBERSTELLUNG DER REGRESSIONSKOEFFIZIENTEN DER TAUCHJAHRE ZWISCHEN HAUPT- UND SENSITIVITÄTSANALYSEN (ADJUSTIERT FÜR TAUCHHÄUFIGKEIT).....	54

7.3 Literaturverzeichnis

1. Marx, RF, 1990, The history of underwater diving, Dover ed New York: Dover Publications
2. Pennefather, J. , 2002, History of Diving, In Diving and Subaquatic Medicine 4th edition. Sydney: Diving Medical Centre Publication, 1981;
3. Edmonds, C; Lowry, C; Pennefather, J, History of Diving, South Pacific Underwater Medicine Society, 1975
4. Rusoke-Dierich O. Geschichte des Tauchens. Tauchmedizin: Grundlagen, Sicherheit, Technik, Notfälle und Reisemedizin für Tauchmediziner, Berufstaucher und Tauchlehrer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 3-14.
5. [Garrod B. ; Gössling St.], (2008) "New Frontiers in Marine Tourism: Diving Experiences, Sustainability and Management."
6. International AoDC. International Consensus Standards For Commercial Diving and Underwater Operations. 2016;6.2 Edition.
7. Hussmanns R. Defining and measuring informal employment. Geneva: International Labour Office. 2004.
8. Gold D, Aiyarak S, Wongcharoenyong S, Geater A, Juengprasert W, Gerth WA. The indigenous fisherman divers of Thailand: diving practices. Int J Occup Saf Ergon. 2000;6(1):89-112.
9. Huchim-Lara O, Salas S, Chin W, Montero J, Fraga J. Diving behavior and fishing performance: the case of lobster artisanal fishermen of the Yucatan coast, Mexico. Undersea Hyperb Med. 2015;42(4):285-96.
10. Social SdS. Panorama Mensual Seguridad y Salud en el Trabajo 2015 [Available from: file:///C:/Users/Media/AppData/Local/Temp/Panorama%20Mensual%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo%20julio%202015.pdf.
11. (Sernapesca) SNdPyA. Anuarios Estadísticos de Pesca y Acuicultura 2019. 2019.
12. Gold D, Case Study Indigenous Divers, Encyclopaedia of Occupational Health & Safety, 2011 [retrieved 08.10.2018 from <https://www.iloencyclopaedia.org/part-x-96841/fishing/item/562-case-study-indigenous-divers>]
13. DeNoble P, Sanchez C, Fostervold A, Haukenes O, Brubakk A, Gerth W. DIVING PATTERNS IN LOBSTER FISHERMEN OF ISLA MUJERES, MEXICO. 2001.
14. Herrera S. Experiencia de Chile en regulación del uso del buceo en la pesca y acuicultura: Principales éxitos y desafíos futuros. FAO; 2017.

15. Doney SC. The growing human footprint on coastal and open-ocean biogeochemistry. *Science*. 2010;328(5985):1512-6.
16. Impacts of Climate Change on Marine Fisheries and Aquaculture in Chile. *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture*. p. 239-332.
17. Lopez DA, Lopez BA, Gonzalez ML. Shellfish culture in Chile. *Int J Environ Pollut*. 2008;33(4):401-31.
18. James K, Carey B, O'halloran J, Škrabáková Z. Shellfish toxicity: human health implications of marine algal toxins. *Epidemiology & Infection*. 2010;138(7):927-40.
19. Reglamento de Buceo para buzos profesionales [press release]. Direccion General del Territorio maritimo y de marina mercante 2014.
20. Hindelang B. Aufmerksamkeitsdefizite bei chilenischen Muscheltauchern: Imu; 2017.
21. Bove AA. Diving medicine. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014;189(12):1479-86.
22. Lin YC. Circulatory functions during immersion and breath-hold dives in humans. *Undersea Biomed Res*. 1984;11(2):123-38.
23. Hong SK, Cerretelli P, Cruz JC, Rahn H. Mechanics of respiration during submersion in water. *J Appl Physiol*. 1969;27(4):535-8.
24. Arborelius M, Jr., Ballidin UI, Lilja B, Lundgren CE. Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water. *Aerosp Med*. 1972;43(6):592-8.
25. Risch WD, Koubenec HJ, Beckmann U, Lange S, Gauer OH. The effect of graded immersion on heart volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. *Pflugers Arch*. 1978;374(2):115-8.
26. Pendergast DR, Moon RE, Krasney JJ, Held HE, Zamparo P. Human Physiology in an Aquatic Environment. *Compr Physiol*. 2015;5(4):1705-50.
27. Keatinge WR, McIlroy MB, Goldfien A. Cardiovascular Responses to Ice-Cold Showers. *J Appl Physiol*. 1964;19:1145-50.
28. LeBlanc JA. Cold Exposure, Appetite, and Energy Balance 1996 [Institute of Medicine (US) Committee on Military Nutrition Research; Marriott BM, Carlson SJ,]; [Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK232851/>].
29. Tetzlaff K, Thomas PS. Short- and long-term effects of diving on pulmonary function. *Eur Respir Rev*. 2017;26(143).
30. Rusoke-Dierich O. Druck. *Tauchmedizin: Grundlagen, Sicherheit, Technik, Notfälle und Reisemedizin für Tauchmediziner, Berufstaucher und Tauchlehrer*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 43-5.
31. Rusoke-Dierich O. Physikalisches Verhalten von Gasen. *Tauchmedizin: Grundlagen, Sicherheit, Technik, Notfälle und Reisemedizin für Tauchmediziner*,

Berufstaucher und Tauchlehrer. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2017. p. 47-53.

32. Fracica PJ, Knapp MJ, Piantadosi CA, Takeda K, Fulkerson WJ, Coleman RE, et al. Responses of baboons to prolonged hyperoxia: physiology and qualitative pathology. *J Appl Physiol* (1985). 1991;71(6):2352-62.

33. van Ooij PA, Sterk PJ, van Hulst RA. Oxygen, the lung and the diver: friends and foes? *Eur Respir Rev*. 2016;25(142):496-505.

34. van Ooij PJ, Hollmann MW, van Hulst RA, Sterk PJ. Assessment of pulmonary oxygen toxicity: relevance to professional diving; a review. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013;189(1):117-28.

35. Tetzlaff K, Thorsen E. Breathing at depth: physiologic and clinical aspects of diving while breathing compressed gas. *Clin Chest Med*. 2005;26(3):355-80, v.

36. Doolette DJ, Mitchell SJ. The physiological kinetics of nitrogen and the prevention of decompression sickness. *Clin Pharmacokinet*. 2001;40(1):1-14.

37. Mahon RT, Regis DP. Decompression and decompression sickness. *Compr Physiol*. 2014;4(3):1157-75.

38. Vann RD, Butler FK, Mitchell SJ, Moon RE. Decompression illness. *Lancet*. 2011;377(9760):153-64.

39. Lynch JH, Bove AA. Diving medicine: a review of current evidence. *J Am Board Fam Med*. 2009;22(4):399-407.

40. Strauss RH. Diving medicine. *Am Rev Respir Dis*. 1979;119(6):1001-23.

41. Schaffer KE, Mc NW, Jr., Carey C, Liebow AA. Mechanisms in development of interstitial emphysema and air embolism on decompression from depth. *J Appl Physiol*. 1958;13(1):15-29.

42. Calder IM. Autopsy and experimental observations on factors leading to barotrauma in man. *Undersea Biomed Res*. 1985;12(2):165-82.

43. Catron PW, Flynn ET, Jr., Yaffe L, Bradley ME, Thomas LB, Hinman D, et al. Morphological and physiological responses of the lungs of dogs to acute decompression. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1984;57(2):467-74.

44. Atkins CE, Lehner CE, Beck KA, Dubielzig RR, Nordheim EV, Lanphier EH. Experimental respiratory decompression sickness in sheep. *J Appl Physiol* (1985). 1988;65(3):1163-71.

45. Boussuges A, Ayme K, Chaumet G, Albier E, Borgnetta M, Gavarry O. Observational study of potential risk factors of immersion pulmonary edema in healthy divers: exercise intensity is the main contributor. *Sports Med Open*. 2017;3(1):35.

46. Maio DA, Farhi LE. Effect of gas density on mechanics of breathing. *J Appl Physiol*. 1967;23(5):687-93.

47. Buzzacott PL. The epidemiology of injury in scuba diving. *Med Sport Sci.* 2012;58:57-79.
48. Network DA. DAN Annual Diving Report 2018 Edition: A Report on 2016 Diving Fatalities, Injuries, and Incidents. 2018.
49. Lippmann J. Review of scuba diving fatalities and decompression illness in Australia. *Diving Hyperb Med.* 2008;38(2):71-8.
50. Berríos RP, Burgos AV, Sepúlveda JE, Renauld MA, Paris AD. LESIONES Y FATALIDADES CAUSADAS POR ACCIDENTES DE BUCEO EN CHILE ENTRE 2000 AL 2012. *Journal of Sport and Health Research.*11.
51. Silbernagl S, Despopoulos jr. A, Draguhn A. (2018) Atmung. In: Silbernagl S, Despopoulos jr. A, Draguhn A, Hrsg. *Taschenatlas Physiologie.* 9., doi:10.1055/b-006-149287
52. Deutschen Atemwegsliga dDGfPuBudDGfAuU. S2k-Leitlinie Spirometrie. 2015.
53. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, et al. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J.* 2005;26(2):319-38.
54. Criée C-P, et al. Empfehlungen zur Ganzkörperplethysmographie (Bodyplethysmographie). *Dustri Verlag: Deutschen Atemwegsliga, Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin;* 2009.
55. British Thoracic Society Fitness to Dive Group SotBTSSoCC. British Thoracic Society guidelines on respiratory aspects of fitness for diving. *Thorax.* 2003;58(1):3-13.
56. Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin (GTÜM) Ö. Tauchmedizinischer Untersuchungsbogen 2017 [Available from: <https://www.gtuem.org/files/579/2017-06-28-gtuem-untersuchungsbogen.pdf>].
57. Tetzlaff K, Reuter M, Leplow B, Heller M, Bettinghausen E. Risk factors for pulmonary barotrauma in divers. *Chest.* 1997;112(3):654-9.
58. Lemaitre F, Tourny-Chollet C, Lemouton MC. Ventilatory function in experienced recreational scuba divers: Evidence of small airways disease? *Int J Sports Med.* 2006;27(11):875-9.
59. van Ooij PJ, van Hulst RA, Houtkooper A, Sterk PJ. Differences in spirometry and diffusing capacity after a 3-h wet or dry oxygen dive with a PO₂ of 150 kPa. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2011;31(5):405-10.
60. Thorsen E, Segadal K, Kambestad BK. Mechanisms of reduced pulmonary function after a saturation dive. *Eur Respir J.* 1994;7(1):4-10.
61. Tetzlaff K, Friege L, Koch A, Heine L, Neubauer B, Struck N, et al. Effects of ambient cold and depth on lung function in humans after a single scuba dive. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85(1-2):125-9.

62. Suzuki S, Ikeda T, Hashimoto A. Decrease in the single-breath diffusing capacity after saturation dives. *Undersea Biomed Res.* 1991;18(2):103-9.
63. Cotes JE, Davey IS, Reed JW, Rooks M. Respiratory effects of a single saturation dive to 300 m. *Br J Ind Med.* 1987;44(2):76-82.
64. Thorsen E, Segadal K, Stuhr LE, Troland K, Gronning M, Marstein S, et al. No changes in lung function after a saturation dive to 2.5 MPa with intermittent reduction in Po₂ during decompression. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98(3):270-5.
65. Crosbie WA, Clarke MB, Cox RA, McIver NK, Anderson IK, Evans HA, et al. Physical characteristics and ventilatory function of 404 commercial divers working in the North Sea. *Br J Ind Med.* 1977;34(1):19-25.
66. Konarski M, Klos R, Nitsch-Osuch A, Korzeniewski K, Prokop E. Lung function in divers. *Adv Exp Med Biol.* 2013;788:221-7.
67. Bouhuys A, Beck GJ. Large lungs in divers? *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1979;47(5):1136-7.
68. Adir Y, Shupak A, Laor A, Weiler-Ravell D. Large lungs in divers: natural selection or a training effect? *Chest.* 2005;128(1):224-8.
69. Crosbie WA, Reed JW, Clarke MC. Functional characteristics of the large lungs found in commercial divers. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1979;46(4):639-45.
70. Thorsen E, Segadal K, Kambestad B, Gulsvik A. Divers' lung function: small airways disease? *Br J Ind Med.* 1990;47(8):519-23.
71. Skogstad M, Skare O. Pulmonary function among professional divers over 12 years and the effect of total number of dives. *Aviat Space Environ Med.* 2008;79(9):883-7.
72. Richard P, Anne H, Philippe M, David L, Laurence P, Ronan G, et al. Evolution of the ventilatory function of professional divers over 10 years. *Undersea Hyperb Med.* 2013;40(4):339-43.
73. Lucas D, Loddé B, Choucroun P, Jegaden D, Mialon P, Sarni D, et al. Etude sur 5 ans de l'évolution de la fonction respiratoire d'une cohorte de 31 plongeurs professionnels. *Med Marit.* 2005;5(1):17-28.
74. Tetzlaff K, Theysohn J, Stahl C, Schlegel S, Koch A, Muth CM. Decline of FEV₁ in scuba divers. *Chest.* 2006;130(1):238-43.
75. Voortman M, Ooij P, Hulst RAV, Zanen P. Pulmonary function changes in Navy divers during their professional careers. *Undersea Hyperb Med.* 2016;43(6):649-57.
76. Diniz CM, Farias TL, Pereira MC, Pires CB, Gonçalves LS, Coertjens PC, et al. Chronic adaptations of lung function in breath-hold diving fishermen. *Int J Occup Med Environ Health.* 2014;27(2):216-23.

77. Luhulima J, et al. . Comparison of lung function between breath-holding diving and non-breath-holding diving fishermen in Ambon city. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019.
78. Watt SJ. Effect of commercial diving on ventilatory function. Br J Ind Med. 1985;42(1):59-62.
79. Fitzpatrick DT, Conkin J. Improved pulmonary function in working divers breathing nitrox at shallow depths. Aviat Space Environ Med. 2003;74(7):763-7.
80. Sames C, Gorman DF, Mitchell SJ, Gamble G. The long-term effects of compressed gas diving on lung function in New Zealand occupational divers: a retrospective analysis. Diving Hyperb Med. 2009;39(3):133-7.
81. Shopov NG. Study of the changes in respiratory function in self-contained underwater breathing apparatus divers. Int Marit Health. 2019;70(1):61-4.
82. Ozgok-Kangal K, Canarslan-Demir K, Zaman T, Sımsek K. The changes in pulmonary functions in occupational divers: smoking, diving experience, occupational group effects. Int Marit Health. 2020;71(3):201-6.
83. Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin. Leitlinie Tauchunfall 2014-2017. 2014.
84. Instituto Nacional de Estadísticas, Chile, Censo 2017 [retrieved 15.06.2020 from <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R10>]
85. Comuna de Maullín. Plan de Desarrollo Comunal de Maullín (Pladeco 2013-2018) 2013 [Available from: <http://resultados.censo2017.cl/Region?R=R10>].
86. Parent-Thirion A, et al. Vierte Europäische Erhebung über die Arbeitsbedingungen. 2007.
87. Garrido Campos MA, Hindelang BA, De Carvalho DS, Urzua Finke I, Herrera R, Radon K. Prevalence and Risk Factors for Hearing Loss in Chilean Shellfish Divers. Ann Glob Health. 2018;84(3):442-9.
88. European Community Respiratory Health Survey (ECRHS). European Community Respiratory Health Survey (ECRHS) 1994 [Available from: https://6fd15a2b-ea79-4986-ac5e-7f83fc24a0b2.filesusr.com/ugd/4aa474_d47994f942554c10bff43e3cc517fbfd.pdf]
89. ndd Medizintechnik AG, "TrueFlow"-Technologie [Retrieved 13.05.2018 from <https://www.ndd.ch/de/ndd/bewaehrte-technologie.html>]
90. Skloot GS, Edwards NT, Enright PL. Four-Year Calibration Stability of the EasyOne Portable Spirometer. Respiratory Care. 2010;55(7):873-7.
91. Moore VC. Spirometry: step by step. Breathe. 2012;8(3):232-40.
92. WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic World Health Organisation; 2000.

93. Chowdhury R, Shah D, Payal AR. Healthy Worker Effect Phenomenon: Revisited with Emphasis on Statistical Methods - A Review. *Indian J Occup Environ Med.* 2017;21(1):2-8.
94. To T, Stanojevic S, Moores G, Gershon AS, Bateman ED, Cruz AA, et al. Global asthma prevalence in adults: findings from the cross-sectional world health survey. *BMC Public Health.* 2012;12:204.
95. McNulty W, Usmani OS. Techniques of assessing small airways dysfunction. *Eur Clin Respir J.* 2014;1.
96. Skogstad M, Thorsen E, Haldorsen T. Lung function over the first 3 years of a professional diving career. *Occup Environ Med.* 2000;57(6):390-5.
97. Uhlig F, Muth CM, Tetzlaff K, Koch A, Leberle R, Georgieff M, et al. Lung function after cold-water dives with a standard scuba regulator or full-face-mask during wintertime. *Diving Hyperb Med.* 2014;44(2):70-3.
98. Wingelaar TT, van Ooij PAM, Brinkman P, van Hulst RA. Pulmonary Oxygen Toxicity in Navy Divers: A Crossover Study Using Exhaled Breath Analysis After a One-Hour Air or Oxygen Dive at Nine Meters of Sea Water. *Front Physiol.* 2019;10:10.
99. de Oca MM, Halbert RJ, Lopez MV, Perez-Padilla R, Tálamo C, Moreno D, et al. The chronic bronchitis phenotype in subjects with and without COPD: the PLATINO study. *European Respiratory Journal.* 2012;40(1):28-36.
100. Dennis RJ, Caraballo L, García E, Rojas MX, Rondon MA, Pérez A, et al. Prevalence of asthma and other allergic conditions in Colombia 2009–2010: a cross-sectional study. *BMC Pulmonary Medicine.* 2012;12(1):17.
101. Rodriguez A, Brickley E, Rodrigues L, Normansell RA, Barreto M, Cooper PJ. Urbanisation and asthma in low-income and middle-income countries: a systematic review of the urban-rural differences in asthma prevalence. *Thorax.* 2019;74(11):1020-30.
102. Davey IS, Cotes JE, Reed JW. Relationship of ventilatory capacity to hyperbaric exposure in divers. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1984;56(6):1655-8.
103. Dembert ML, Beck GJ, Jekel JF, Mooney LW. Relations of smoking and diving experience to pulmonary function among U.S. Navy divers. *Undersea Biomed Res.* 1984;11(3):299-304.
104. Thorsen E, Segadal K, Kambestad B. Mechanisms of reduced pulmonary function after a saturation dive. *European Respiratory Journal.* 1994;7(1):4-10.
105. Reuter M, Tetzlaff K, Steffens JC, Gluer CC, Faeseke KP, Bettinghausen E, et al. Functional and high-resolution computed tomographic studies of divers' lungs. *Scand J Work Environ Health.* 1999;25(1):67-74.
106. Saturation Diving; Physiology and Pathophysiology. *Comprehensive Physiology.* p. 1229-72.

8. Anhang

8.1. Weitere Ergebnisse der Studie:	76
8.1.1 Deskriptive Ergebnisse	76
8.1.1.1 Verteilung der Lungenfunktionsparameter bei Taucher und Fischern (in Tabellenform)	76
8.1.1.2 Sensitivitätsanalyse der Lungenfunktionsparameter von Tauchern und Fischern. (n=91)	77
8.1.1.3 Überprüfung auf Korrelation zwischen Tauchtiefe und Tauchhäufigkeit ..	78
8.1.1.4 Überprüfung auf Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchjahre	78
8.1.1.5 Überprüfung auf Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchtiefe.....	79
8.1.1.6 Überprüfung auf Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchhäufigkeit	79
8.1.2 Regressionsmodelle und Sensitivitätsanalysen	80
8.1.2.1 Regressionsmodell zum Zusammenhang des Tauchens und der Lungenfunktionsparameter, adjustiert für, Alter, Körpergröße und Rauchen (alle Lufus)	80
8.1.2.2 Sensitivitätsanalyse: Regressionen Taucher und Fischer, nicht für Rauchen adjustiert (Lufus mit schlechter oder fraglicher Qualität ausgeschlossen).....	81
8.1.2.3 Sensitivitätsanalyse: Regressionen Taucher und Fischer, für Rauchen adjustiert (Lufus mit schlechter oder fraglicher Qualität ausgeschlossen)	82
8.1.2.4 Sensitivitätsanalyse: Möglicher Einfluss der Tauchhäufigkeit auf die Lungenfunktionsparameter, adjustiert für Raucher.....	83
(Lufus mit schlechter und fragl. Qualität ausgeschlossen).....	83
8.1.2.5 Sensitivitätsanalyse: Möglicher Einfluss der Tauchtiefe auf die Lungenfunktionsparameter, adjustiert für Raucher (Lufus mit schlechter und fragl. Qualität ausgeschlossen)	84
8.2 Probandenaufklärung:	85
8.3 Fragebogen:	91

8.1. Weitere Ergebnisse der Studie:

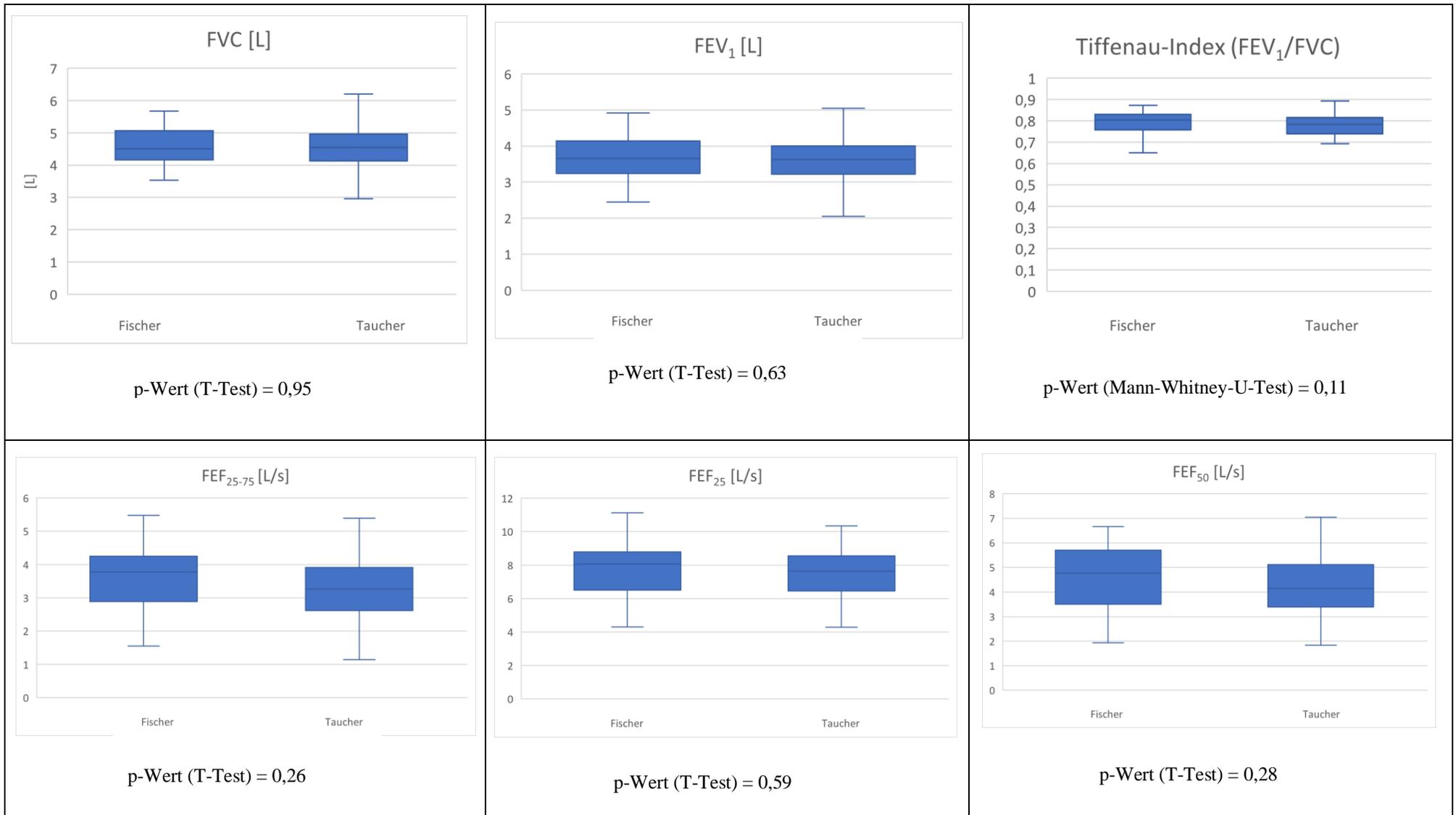
8.1.1 Deskriptive Ergebnisse

8.1.1.1 Verteilung der Lungenfunktionsparameter bei Taucher und Fischern (in Tabellenform)

Parameters	Divers	Fishermen	pChi ²
FVC	4,62 ± 0,71(n=98)	4,53 ± 0,71 (n= 52)	0,45
FEV₁	3,62 ± 0,59 (n=98)	3,54 ± 0,61 (n=52)	0,40
FEV₁/FVC	0,78 ± 0,06 (n=98)	0,78 ± 0,07 (n=52)	0,06
FEF₂₅₋₇₅	3,44 ± 1,05 (n=96)	3,32 ± 1,03 (n=52)	0,50
FEF₂₅	7,46 ± 1,58 (n=96)	7,25 ± 1,58 (n=52)	0,43
FEF₅₀	4,49 ± 1,39 (n=96)	4,27 ± 1,29 (n=52)	0,36

Mittelwerte ± Standardabweichung (SD), Signifikanzniveau: p < 0,05, n= Teilnehmeranzahl, FVC = Forcierte Vitalkapazität, FEV₁ = Einsekundenkapazität, FEV₁/FVC = Tiffeneau Index, FEF₂₅₋₇₅ = Forcierter expiratorischer Fluss zwischen 25-75% der FVC, FEF₂₅ = Forcierter expiratorischer Fluss bei 25% der FVC, FEF₅₀ = Forcierter expiratorischer Fluss bei 50% der FVC

8.1.1.2 Sensitivitätsanalyse der Lungenfunktionsparameter von Tauchern und Fischern. (n=91)



8.1.1.3 Überprüfung auf Korrelation zwischen Tauchtiefe und Tauchhäufigkeit

Tauchtiefe letzten 12 Monate	Anzahl Tauchgänge letzte 12 Monate			Total
	0 – 100	100 – 200	> 200	
Keine Tauchgänge	3 (13,0%)	0	0	3 (3,2%)
< 30m	16 (69,6%)	31 (67,4%)	6 (23,1%)	53 (55,8%)
30-50m	3 (13,0%)	15 (32,6%)	7 (26,9%)	25 (26,3%)
> 50m	1 (4,4%)	0	13 (50%)	14 (14,7%)
Total	23 (100%)	46 (100%)	26 (100%)	95 (100%)

Pearsons- $\chi^2 = 48,9$; p-Wert < 0,001, Signifikanzniveau: p < 0,05

8.1.1.4 Überprüfung auf Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchjahre

Raucherstatus	Tauchjahre		Total
	<25	>25	
Ja	25 (51,0%)	38 (77,6%)	63 (64,3%)
Nein	24 (49%)	11 (22,5%)	35 (35,7%)
Total	49 (100%)	49 (100%)	98 (100%)

Pearson- $\chi^2 = 7,51$; p-Wert = 0,006, Signifikanzniveau: p < 0,05

8.1.1.5 Überprüfung auf Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchtiefe

Raucherstatus	Tauchtiefe				Total
	Keine Tauchgänge	0 – 30m	30-50m	>50m	
Ja	3 (100%)	37 (66,1%)	13 (52,0%)	10 (71,4%)	63 (64,3%)
Nein	0	19 (33,9%)	12 (48,0%)	4 (28,6%)	35 (35,7%)
Total	3 (100%)	56 (100%)	25 (100%)	14 (100%)	98 (100%)

Pearsons-Chi² = 3,7 ; p-Wert = 0,3, Signifikanzniveau: p <0,05

8.1.1.6 Überprüfung auf Korrelation zwischen Raucherstatus und Tauchhäufigkeit

Raucherstatus	Anzahl Tauchgänge letzte 12 Monate			Total
	0 – 100	100 – 200	> 200	
Ja	14 (60,9%)	30 (65,2%)	16 (61,5%)	60 (63,2%)
Nein	9 (39,1%)	16 (34,8%)	10 (38,5%)	35 (36,8%)
Total	23 (100%)	46 (100%)	26 (100%)	95 (100%)

Pearsons-Chi² = 0,16 ; p-Wert = 0,92

8.1.2 Regressionsmodelle und Sensitivitätsanalysen

8.1.2.1 Regressionsmodell zum Zusammenhang des Tauchens und der Lungenfunktionsparameter, adjustiert für, Alter, Körpergröße und Rauchen (alle Lufus)

	FVC (n=150)		FEV ₁ (n=150)		FEV ₁ /FVC (n=150)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=148)		FEF ₂₅ (n=148)		FEF ₅₀ (n=148)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Taucher	0,29	0,098 – 0,48*	0,24	0,08 – 0,40*	0,003	-0,02 – 0,02	0,26	-0,07 – 0,59	0,399	-0,13 – 0,93	0,36	-0,09 – 0,81
Alter (in Jahre)	-0,46	-0,68 - -0,23*	-0,47	-0,67 - -0,28*	-0,02	-0,05 - -0,001*	-0,66	-1,06 - -0,27*	-0,498	-1,13 – 0,13	0,69	-1,22 - -0,15*
Körpergröße (in cm)	0,05	0,04 – 0,07*	0,03	0,02 – 0,05*	-0,002	-0,003 - -0,0001*	0,01	-0,02 – 0,03	0,03	-0,02 – 0,07	0,01	-0,03 – 0,05
Raucher	0,15	-0,04 – 0,33	0,13	-0,03 – 0,29	0,003	-0,02 – 0,02	0,06	-0,27 – 0,38	-0,03	-0,55 – 0,49	-0,02	-0,46 – 0,43

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

8.1.2.2 Sensitivitätsanalyse: Regressionen Taucher und Fischer, nicht für Rauchen adjustiert (Lufus mit schlechter oder fraglicher Qualität ausgeschlossen)

	FVC (n=91)		FEV ₁ (n=91)		FEV ₁ /FVC (n=91)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=91)		FEF ₂₅ (n=91)		FEF ₅₀ (n=91)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Taucher	0,26	-0,01 – 0,53	0,16	-0,06 – 0,38	-0,01	-0,03 – 0,01	-0,02	-0,45 – 0,40	0,12	-0,56 – 0,81	-0,07	-0,65 – 0,50
Alter (in Jahren)	-0,38	-0,68 - -0,09*	-0,33	-0,57 - -0,09*	-0,01	-0,03 – 0,02	-0,31	-0,77 – 0,14	-0,14	- 0,88 – 0,598	-0,25	-0,87 – 0,37
Körpergröße (in cm)	0,06	0,04 – 0,08*	0,04	0,02 – 0,06*	-0,001	-0,003 – 0,001	0,02	-0,01 – 0,06	0,05	-0,01 – 0,10	0,03	-0,02 – 0,07

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

8.1.2.3 Sensitivitätsanalyse: Regressionen Taucher und Fischer, für Rauchen adjustiert (Lufus mit schlechter oder fraglicher Qualität ausgeschlossen)

	FVC (n=91)		FEV ₁ (n=91)		FEV ₁ /FVC (n=91)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=91)		FEF ₂₅ (n=91)		FEF ₅₀ (n=91)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Taucher	0,23	-0,04 – 0,497	0,13	-0,09 – 0,35	-0,01	-0,03 – 0,01	-0,05	-0,48 – 0,38	0,11	-0,59 – 0,80	-0,09	-0,67 – 0,49
Alter (in Jahren)	-0,36	- 0,65 - -0,07*	-0,31	-0,54 - -0,08*	-0,005	-0,03 – 0,02	-0,29	-0,75 – 0,17	-0,13	-0,87 – 0,62	-0,24	-0,86 -0,39
Körpergröße (in cm)	0,06	0,04 – 0,08*	0,04	0,02 – 0,06	0,001	-0,003 – 0,001	0,02	-0,01 – 0,06	0,05	-0,01 – 0,10	0,03	-0,02 – 0,07
Raucher	0,23	-0,02 – 0,48	0,21	0,01 – 0,41*	0,01	-0,02 – 0,03	0,22	-0,18 – 0,61	0,10	-0,54 – 0,74	0,13	-0,40 – 0,66

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

8.1.2.4 Sensitivitätsanalyse: Möglicher Einfluss der Tauchhäufigkeit auf die Lungenfunktionsparameter, adjustiert für Raucher

(Lufus mit schlechter und fragl. Qualität ausgeschlossen)

	FVC (n=62)		FEV ₁ (n=62)		FEV ₁ /FVC (n=62)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=62)		FEF ₂₅ (n=62)		FEF ₅₀ (n=62)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Tauchjahre (>25 Jahre)	-0,14	-0,59 – 0,32	-0,05	-0,41 – 0,31	0,01	-0,02 – 0,05	0,11	-0,56 – 0,78	0,28	-0,76 – 1,33	0,21	-0,72 – 1,15
Tauchhäufigkeit (100-200 Tauchgänge)	-0,14	-0,56 – 0,28	-0,13	-0,46 – 0,20	-0,0009	-0,33 – 0,03	-0,19	-0,81 – 0,43	-0,15	-1,11 – 0,81	-0,12	-0,97 – 0,74
Alter (50-59 Jahre)	-0,53	-1,09 – 0,02	-0,58	-1,02 - - 0,14*	-0,04	-0,08 – 0,01	-0,97	-1,79 - -0,14*	-1,23	-2,51 – 0,05	-1,01	-2,15 – 0,13
Körpergröße (in cm)	0,07	0,04 – 0,10*	0,05	0,02 – 0,08*	-0,001	-0,003 – 0,002	0,04	-0,01 – 0,08	0,06	-0,02 – 0,13	0,05	-0,02 – 0,11
Raucher	0,15	-0,19 – 0,48	0,12	-0,15 – 0,39	0,003	-0,02 – 0,03	0,04	-0,46 – 0,54	-0,24	-1,01 – 0,54	-0,07	-0,76 – 0,63

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

8.1.2.5 Sensitivitätsanalyse: Möglicher Einfluss der Tauchtiefe auf die Lungenfunktionsparameter, adjustiert für Raucher (Lufus mit schlechter und fragl. Qualität ausgeschlossen)

	FVC (n=63)		FEV ₁ (n=63)		FEV ₁ /FVC (n=63)		FEF ₂₅₋₇₅ (n=63)		FEF ₂₅ (n=63)		FEF ₅₀ (n=63)	
	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI	Reg.	95%-KI
Tauchjahre (>25 Jahre)	-0,13	-0,60 – 0,33	-0,05	-0,42 – 0,32	0,01	-0,02 – 0,05	0,07	-0,63 – 0,77	0,52	-0,57 – 1,61	0,15	-0,81 – 1,11
Tauchtiefe (<30m)	-0,09	-1,42 – 1,24	-0,20	-1,25 – 0,85	-0,03	-0,14 – 0,07	-0,47	-2,48 – 1,53	-1,33	-4,44 – 1,78	-0,44	-3,18 – 2,298
Alter (50-59 Jahre)	-0,42	-0,97 -0,11	-0,49	-0,92 - -0,06*	-0,04	-0,08 – 0,01	-0,78	-1,6 – 0,03	-1,28	-2,54 - -0,01*	-0,74	-1,85 – 0,38
Körpergröße (in cm)	0,07	0,04 – 0,10*	0,05	0,03 – 0,08*	-0,001	-0,003 – 0,002	0,04	-0,01 – 0,09	0,06	-0,01 – 0,14	0,05	-0,01 – 0,12
Raucher	0,15	-0,19 – 0,48	0,12	-0,14 – 0,39	0,004	-0,02 – 0,03	0,06	-0,45 – 0,56	-0,17	-0,95 – 0,62	-0,06	-0,75 – 0,63

Reg.: β -Regressionskoeffizient, 95%-KI: 95%-Konfidenzintervall, * = statistisch signifikant, Signifikanzniveau: $p < 0,05$

8.2 Probandenaufklärung:

Carta de información y declaración de confidencialidad para buzos y pescadores de tres localidades costeras del sur de Chile invitados a participar en el estudio:

“Evaluación de la función neurocognitiva y su relación con factores de riesgo ocupacional en buzos mariscadores del sur de Chile”

Estimado señor,

Yo soy Astrid Garrido, enfermera en salud ocupacional, estudiante del Centro para la Salud Internacional de la universidad Ludwig-Maximilians-Universität de Munich, Alemania. Me encuentro investigando sobre la función neurocognitiva de los buzos mariscadores y su relación con las condiciones de trabajo en el sur de Chile. La función neurocognitiva es el conjunto de procesos que ocurren en nuestro cerebro para funcionar en el día a día. Algunos de estos procesos son la memoria, la concentración y la habilidad para resolver problemas.

A continuación le informaré más sobre el estudio, para que usted decida si desea participar o no. Si hay palabras que no entiende, puede interrumpirme y me daré el tiempo de explicarle mejor.

Hasta ahora en Chile existe poca información sobre el estado de la función neurocognitiva de trabajadores como los buzos mariscadores de la pesca extractiva y si ésta se ve afectada por situaciones presentes en su trabajo, como por ejemplo, la exposición a cambios de la presión atmosférica o por el humo de los motores que podrían ir deteriorándola silenciosamente al pasar los años.

Por lo tanto, el propósito de este estudio, es evaluar esta función en buzos que trabajan en la pesca artesanal y también determinar si existe una relación con situaciones que podrían ser de riesgo. De esta forma se pueden buscar maneras para cuidar la salud. Para lograrlo, el estudio incluye una entrevista y la aplicación de algunas pruebas (test) que se explican más adelante.

En este estudio estamos invitando a los buzos y pescadores que trabajan normalmente en localidades dedicadas a la pesca extractiva artesanal en la Región de Los Lagos. Usted ha sido invitado por pertenecer a este grupo de personas.

Su participación es totalmente voluntaria. Usted puede elegir si participar o no. Si necesita más tiempo para tomar la decisión, puede tomarlo. Si usted acepta y más adelante cambia de idea, puede retirarse del estudio sin necesidad de dar los motivos de su decisión, ya que es su derecho y esto no tiene ningún inconveniente para usted. Para esto sólo debe

contactarme y presentar el número de identificación de su cuestionario para eliminar sus respuestas. Este número se le entregará impreso.

Procedimientos y protocolo

A continuación le explico los procedimientos del estudio:

- Le pediré que asista por una sola vez a un lugar que se le informará al momento de la invitación, para los siguientes procedimientos, los cuales tendrán una duración total de unos 50 minutos aproximadamente:

1. Entrevista: un investigador le hará preguntas para completar un cuestionario con datos generales, sobre las condiciones de su trabajo y salud.

2. Aplicación de unos test o pruebas para evaluar la función neurocognitiva: Aplicados por un investigador. Los test consisten en algunas preguntas o tareas que usted deberá responder en la entrevista. Las instrucciones serán dadas en el momento de la evaluación. Para esto usted no necesita ningún tipo de preparación previa como estudiar o aprender algo.

3. Entrevista a un familiar o amigo cercano: También le pediré que, sólo si es posible, usted venga acompañado por un familiar o amigo cercano (adulto) que pueda responder una pequeña encuesta, lo cual le tomará unos 5 minutos aproximadamente. Si no se puede, no se preocupe, puede venir usted solo.

4. Espirometría: le invitaremos a realizar una prueba común para evaluar cómo funciona su pulmón al botar aire. Usted deberá tomar aire al máximo y botarlo con fuerza a través de una boquilla durante unos segundos (ver foto 1). La prueba puede durar entre 5 a 15 minutos. Adicionalmente mediremos su estatura (sin zapatos) y su peso para analizar los resultados del examen. Usted puede saber el resultado de la espirometría presentando su número de identificación del cuestionario una semana después de tomado el examen. Si éste muestra alguna sospecha de alteración se le recomendará consultar en el Centro de Salud u Hospital de la localidad.

- A algunos participantes, elegidos al azar, los invitaremos para realizar las siguientes pruebas en terreno:

1. Medición de monóxido de carbono del aire respirado: para saber si ha estado expuesto a monóxido de carbono (un gas que se emite por ejemplo en la combustión incompleta de algunos motores). Es un procedimiento sencillo y rápido, usando una pequeña máquina que mide el monóxido que sale por el aire que botamos al respirar (ver foto 2). Si usted acepta este procedimiento, tendrá que tomar aire, mantener por 15 segundos y luego soplar suavemente por un pequeño tubo intentando vaciar el aire de los pulmones. El resultado se muestra automáticamente en la pantalla de la máquina, por lo tanto usted podrá conocerlo. Esta medición la haremos en terreno antes de que se embarque y al regresar del mar. En caso de obtener un valor alterado se le indicará qué debe hacer. El

tubo por donde se sopla es de uso individual y desechable, por lo tanto no existe riesgo de contaminación o infección. También le pediré que, si usted fuma, el día en que realicemos esas mediciones evite hacerlo para obtener un dato más realista.

2. Uso de un computador de buceo: Sólo si usted es buzo, es posible que lo invite a usar un computador de buceo, que es un dispositivo muy parecido a un profundímetro (un poco más grande que un reloj de pulsera, ver foto 3). Este equipo servirá sólo para registrar algunos datos de su buceo. Sólo le pediré que lo use mientras bucea durante una semana de trabajo normal. Se le enseñará como colocarlo y las condiciones en que debe guardarlo para su cuidado. Usted es libre de decidir si acepta o no el uso del computador.



Efectos secundarios y riesgos del estudio: Las evaluaciones de este estudio no tienen efectos secundarios ni riesgos para su salud.

Molestias: Al respirar fuerte en la espirometría algunas personas podrían sentir un leve mareo por lo cual tomaremos el examen con usted sentado en una silla. Es posible que el tiempo de evaluación para la entrevista y test sea un inconveniente para usted (50 minutos aproximadamente). Así mismo, puede haber molestias debido a la solicitud de que si usted es fumador, en lo posible evite hacerlo el día de la medición de monóxido de carbono y una hora antes de la espirometría.

Beneficios

El beneficio de participar en el estudio es general para la comunidad, ya que si usted colabora, ayudará a obtener un panorama local de la salud de los buzos y pescadores que permitirá tener una base para incorporar medidas de prevención de daños a la salud.

Incentivos: A modo de motivación y agradecimiento por su participación, usted junto a un familiar o alguien cercano podrán participar en un curso de primeros auxilios que realizaremos durante este año en la comunidad. Además, una vez que los datos sean analizados y tengamos los resultados generales de la investigación, usted podrá asistir a una actividad para conocerlos y para entrenamiento en prevención. Se avisarán oportunamente las fechas a través de afiches en el terminal pesquero, sedes de reuniones, u otro medio que permita la difusión.

Declaración de confidencialidad:

El cuestionario y otros registros que usemos, no llevarán su nombre ni ningún otro dato personal que lo asocie a usted. Sólo serán identificados con un número, el cual se le entregará impreso por si más adelante cambia de idea y desea retirarse del estudio.

Sólo en el caso de que usted sea invitado y acepte participar en la medición de monóxido de carbono y/o a usar el computador de buceo, se anotará en un registro aparte, un nombre que usted elija para reemplazar al suyo verdadero (nombre falso o seudónimo) y un número telefónico para contactarlo en caso necesario. De esta forma aseguraremos que los datos recolectados en terreno se asignen correctamente a su cuestionario. Luego de esto, el registro de nombres falsos y teléfono será eliminado.

Luego de leer esta información se le solicitará que firme un documento de aceptación de participación (consentimiento informado). Este papel, se guardará en una caja aparte y no se juntará con su cuestionario, pues la información es anónima.

Los datos obtenidos son sólo para el uso de esta investigación, y se analizarán de forma general, es decir, se hablará de los resultados del grupo y no individuales. Los resultados serán compartidos en forma de publicaciones científicas, en la actividad de entrenamiento mencionada anteriormente y en reuniones con autoridades relacionadas con la seguridad y salud de los trabajadores de la pesca artesanal para trabajar en prevención.

Si usted tiene preguntas, puede contactarse incluso más adelante con:

Astrid Garrido (Investigador responsable), Teléfono: +56 9 78783908. Email: Marieastrid.garrido@lrz.uni-muenchen.de.

Este proyecto ha sido revisado y aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Munich y por el Comité Ético Científico del Servicio de Salud Valdivia. Este Comité está acreditado y tiene como función resguardar los derechos de las personas como sujetos de investigación. Si usted desea averiguar más sobre este comité, contacte al teléfono: 63-2281784 o en Edificio Prales, Vicente Pérez Rosales 560, oficina 307, 3° Piso, Valdivia, Chile.

Formulario de Consentimiento informado

Yo, he sido invitado a participar del estudio “Evaluación de la función neurocognitiva y su relación con factores de riesgo ocupacional en buzos mariscadores del sur de Chile”. He leído o se me ha leído la información sobre el estudio y se me ha informado que los procedimientos a los que me someteré son: una entrevista, unos test para evaluar la función neurocognitiva, una evaluación de la función del pulmón y sólo si es posible, asistiré acompañado por un familiar o amigo cercano para que conteste un cuestionario corto. También podría ser invitado para la medición del monóxido de carbono exhalado y, si soy buzo, a usar un computador de buceo durante una semana de trabajo. Se me ha informado que no hay riesgos para mi salud. Sólo el tiempo que toma la entrevista y la aplicación de los test, y la solicitud de no fumar en el día de la medición del monóxido de carbono y espirometría (si es que soy fumador) podrían significar una molestia para mí. Además de la posibilidad de sentir un leve mareo al soplar fuerte en la espirometría.

Se me ha informado que no hay beneficios personales, pero sí para la comunidad. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y se me ha contestado satisfactoriamente y si requiero mayor información puedo contactarme con el investigador responsable. Entiendo que la información obtenida será utilizada solamente para los objetivos de la investigación y será guardada y utilizada de manera anónima.

Por lo tanto, doy voluntariamente mi consentimiento para participar en esta investigación y entiendo que tengo el derecho de retirarme de ésta en cualquier momento sin que me afecte de ninguna manera y sin necesidad de dar motivos, sólo presentando el número de mi cuestionario para que mis datos sean eliminados.

Además, doy mi consentimiento para:

-la medición de monóxido de carbono exhalado: Sí___ No___ No he sido invitado ___

-uso de un computador de buceo por una semana: Sí___ No___ No he sido invitado ___

-espirometría: Sí___ No___ No he sido invitado ___

Firma del participante _____ Fecha: _____
(día /mes/ año)

Si tiene dificultades para leer o escribir:

He sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento para el potencial participante y el individuo ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirmando que el individuo ha dado consentimiento libremente.

Nombre del testigo _____ Y huella dactilar del participante

Firma del testigo _____ Fecha _____
(día/mes/año)

He leído con exactitud o he sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento informado para el potencial participante y el individuo ha tenido la oportunidad de hacer preguntas. Confirmando que el individuo ha dado consentimiento libremente.

Nombre del Investigador _____ Firma del Investigador

Fecha _____ (día/mes/año)

Nombre del Director del Establecimiento, Delegado o Ministro de Fe

Firma _____ Fecha _____ (día/mes/año)

Ha sido proporcionada al participante una copia de este documento de Consentimiento Informado _____ (iniciales del investigador/asistente).

8.3 Fragebogen:

Cuestionario: “Evaluación de la función neurocognitiva y su relación con factores de riesgo ocupacional en buzos mariscadores del sur de Chile”

PG. PREGUNTAS GENERALES

PG.1 ¿Qué edad tiene usted?

- 1 Menos que 20 años
- 2 20-29 años
- 3 30-39 años
- 4 40-49 años
- 5 50 años o más que 50 años

PG.2 ¿A qué nivel educacional corresponde?

- 1 Ninguno / sin educación
- 2 Educación inicial
- 3 Educación Básica / Primaria incompleta
- 4 Educación Básica / Primaria completa
- 5 Educación Secundaria / Media incompleta
- 6 Educación Secundaria / Media completa
- 7 Educación Superior (No Universitaria/ Universitaria/ Universitaria de Postgrado)

PE. SU EMPLEO

- 1 1 hora o menos
- 2 Entre más de 1 hora y 2 horas
- 3 Entre más de 2 horas y 3 horas
- 4 Entre más de 3 horas y 4 horas
- 5 Entre más de 4 y 5 horas
- 6 Más de 5 horas

PB.3 ¿Cuántas inmersiones realizó por día, en la última semana? (*leer: inmersiones son las veces en que tuvo que salir y entrar nuevamente al agua en una jornada de trabajo o buceo*)

Día	Hoy	Ayer (<i>nombrar el día</i>)	Antes de ayer (<i>nombrar el día</i>)	Antes de antes de ayer (<i>nombrar el día</i>)
N° de inmersiones				

PB.4 ¿Qué producto(s) recolectó en la última semana?

PB.5 ¿Cuántos buceos realizó en los últimos 12 meses? |_|_|_|_|_|

PB.6 De éstos, ¿cuántos fueron a una profundidad... (*Mostrar tarjeta con el esquema de profundidades mientras se pregunta por cada una*)

Profundidad	N
... menor que 30 metros?	
... entre 30 y 50 metros?	
... mayor que 50 metros?	

PB.7 Si usted usa profundímetro, en el último buceo: ¿Qué profundidad marcó?
 ||_|_| m.

PB.7.1 ¿Cuánto tiempo buceó? _____

PB.8 ¿Usted sabe utilizar las tablas de descompresión?

1 Sí 2 No 3 Más o menos

PB.9 ¿Utiliza usted las tablas de descompresión cuando es necesario?

1 Nunca 2 Ocasionalmente 3 Siempre

PB.10 Durante su vida de trabajo, usted ha tenido alguna vez después de bucear:

	No	Sí, una vez	Sí, varias veces	No sabe/ No responde	¿Fue diagnosticado por médico/en urgencias?		
					No	Sí	No sabe/ No responde
“Mal de presión” sólo con dolor de articulaciones o manchas en la piel?	1	2	3	99	1	2	99
“Mal de presión” neurológica (por ejemplo con problemas para hablar, caminar, moverse, orinar)	1	2	3	99	1	2	99
Embolismo gaseoso cerebral (<i>explicar: burbujas de nitrógeno en el cerebro</i>)	1	2	3	99	1	2	99
Intoxicación por gases	1	2	3	99	1	2	99

Continúe en la sección PSM. SALUD MENTAL (PHQ 9).

PNB. TRABAJO NO BUZOS (sólo para quienes no han trabajado como buzos)**PNB.1 ¿Cuántas veces sale a trabajar al mar en la semana?**

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1 De 1 a 3 | <input type="checkbox"/> 4 De 12 a 15 |
| <input type="checkbox"/> 2 De 4 a 7 | <input type="checkbox"/> 5 De 16 a 19 |
| <input type="checkbox"/> 3 De 8 a 11 | <input type="checkbox"/> 6 20 o más |

PNB.2 ¿Generalmente, ¿cuánto tiempo dura cada salida al mar?

- 1 1 hora o menos
- 2 Entre más de 1 hora y 2 horas
- 3 Entre más de 2 horas y 3 horas
- 4 Entre más de 3 horas y 4 horas
- 5 Entre más de 4 y 5 horas
- 6 Más de 5 horas

PNB.3 ¿Qué producto(s) recolectó en la última semana?

PSM. SALUD MENTAL (PHQ 9). *Mostrar tarjeta si es necesario.*

Durante las últimas 2 semanas ¿con qué frecuencia le han molestado los siguientes problemas?	Nunca	Varios días	Más de la mitad de los días	Casi todos los días
1. Tener poco interés o placer en hacer las cosas	0	1	2	3
2. Sentirse desanimado/a, deprimido/a, o sin esperanza	0	1	2	3
3. Con problemas en dormirse o en mantenerse dormido/a, o en dormir demasiado	0	1	2	3
4. Sentirse cansado/a o tener poca energía	0	1	2	3
5. Tener poco apetito o comer en exceso	0	1	2	3
6. Sentir falta de amor propio- o que sea un fracaso o que decepcionara a si mismo/a a su familia	0	1	2	3
7. Tener dificultad para concentrarse en cosas tales como leer el periódico o mirar televisión	0	1	2	3
8. Se mueve o habla tan lentamente que otra gente se podría dar cuenta- o de lo contrario, está tan agitado/a o inquieto/a que se mueve mucho más de lo acostumbrado	0	1	2	3
9. Se le han ocurrido pensamientos de que sería mejor estar muerto/a o de que haría daño de alguna manera	0	1	2	3
(For office coding: Total Score ___ = ___ + ___ + ___)				

Si usted se identificó con cualquier problema en este cuestionario, ¿cuán difícil se le ha hecho cumplir con su trabajo, atender su casa, o relacionarse con otras personas debido a estos problemas?

Nada en absoluto	Algo difícil	Muy difícil	Extremadamente difícil
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

PDC. AUTORREPORTE DE DETERIORO COGNITIVO LEVE (AD8-CH)

En el siguiente cuadro, marcaremos con una cruz la columna que mejor representa su estado. Recuerde: “Si, hay cambios.” significa que ha habido un cambio en los últimos años debido a problemas cognitivos (pensamiento y memoria).

AD8-Ch	Sí. Hay cambios	No. No hay cambios	No aplica/ No sé.
1. Problemas de juicio (Ejemplo: compra regalos inadecuados, ha sido estafado, toma malas decisiones en lo económico)			
2. Menor interés en realizar actividades o sus pasatiempos			
3. Repite las preguntas, historias			
4. Tiene dificultad para aprender a usar instrumentos tecnológicos, electrodomésticos (como el control remoto TV, computador, microondas, video grabadora)			
5. Olvida el mes o año			
6. Tiene dificultad en el manejo de asuntos financieros complejos (pagar las cuentas, llevar la chequera, pago de impuestos)			
7. Tiene dificultad para acordarse de los compromisos (citas al doctor etc.)			
8. Problema persistente de memoria y pensamiento (no ocasional)			

PS. SALUD GENERAL

¿Alguna vez le ha dicho un médico u otra persona relacionada con la salud que tiene usted... (leer el enunciado por cada pregunta)

	No	Sí
PS.1 ... la presión arterial alta o hipertensión arterial?	1	2
PS.2 ... elevada el azúcar de la sangre o diabetes?	1	2
PS.3 ... elevado el colesterol sanguíneo?	1	2

PS. 4 ¿Está usted actualmente en control o tratamiento por alguna enfermedad psiquiátrica como depresión, esquizofrenia u otra? Especifique: _____

1 No

2 Sí

PS. 5 ¿Ha sufrido usted alguna vez un accidente cerebrovascular (derrame o infarto cerebral)?

1 No

2 Sí

99 No sabe / no responde

PT. TABACO

PT.1 ¿Fuma usted actualmente algún producto de tabaco como cigarrillos, puro o pipa?

1 No → PT.2

2 Sí → PT.3

PT.2 ¿Fumó usted anteriormente?

1 No 2 Sí

PT.3 En promedio, ¿cuántos cigarrillos, puro o pipa fuma usted al día o a la semana?

Al día: |_|_| o a la semana: |_|_|_|_|

PA. ALCOHOL (AUDIT-C)

Comience diciendo: “Ahora voy a hacerle algunas preguntas sobre su consumo de bebidas alcohólicas durante el último año”. (Explique qué se entiende por bebidas alcohólicas usando ejemplos típicos como cerveza, vino, pisco, ron, vodka, etc. y explique el concepto de “trago” (bebida estándar)). Recuerde, 1 trago es aproximadamente una lata de cerveza, una copa de vino o un corto de licor, o un combinado suave. Marque la cifra de la respuesta adecuada.

PA.1 ¿Con qué frecuencia consume alguna bebida alcohólica? (Mostrar tarjeta si es necesario)

 0 Nunca 1 1 o menos veces al mes 2 De 2 a 4 veces al mes 3 De 2 a 3 veces a la semana 4 4 o más veces a la semana

PA.2 ¿Cuántos tragos de alcohol suele tomar en un día de consumo normal? (Mostrar tarjeta si es necesario)

 0 1 ó 2 1 3 ó 4 2 5 ó 6 3 7, 8 ó 9 4 10 ó más

PA.3 ¿Con qué frecuencia toma 5 o más tragos en un solo día? (Mostrar tarjeta si es necesario)

- 0 Nunca
- 1 Menos de una vez al mes
- 2 Mensualmente
- 3 Semanalmente
- 4 A diario o casi a diario

PCO. MONÓXIDO DE CARBONO

PCO.1 ¿Qué tipo de calefacción usted ha utilizado en los últimos 12 meses? Marque las alternativas que ha utilizado.

	Brasero	Estufa/cocina a leña	Estufa/cocina a gas	Estufa a parafina	Estufa eléctrica
...en su casa?					
...en la embarcación o lancha mientras trabaja?					

PCO.2 Durante su tiempo libre o como trabajo adicional, usted...

	No	Sí
... realiza trabajos de soldadura?	1	2
... trabaja en taller mecánico donde hay motores en funcionamiento?	1	2

MR. MÓDULO SALUD RESPIRATORIA – DATOS PARA ESPIROMETRÍA

Horas desde su último bu-

PESO: _____ Kg. ESTATURA: _____ cm.

LAS SIGUIENTES PREGUNTAS SERAN MAYORITARIAMENTE SOBRE SU RESPIRACION SIEMPRE QUE SEA POSIBLE, INTENTE RESPONDER "SI" O "NO".	No	Sí
MR.1 ¿Ha tenido silbidos o pitos en el pecho alguna vez en los últimos 12 meses?	1	2
MR.1.2 ¿Ha tenido estos silbidos o pitos cuando no estaba resfriado?	1	2
MR.4 ¿Ha tenido algún ataque de asma en los últimos 12 meses?	1	2
MR.5 ¿Toma actualmente alguna medicación (incluyendo inhaladores, aerosoles o pastillas) para el asma?	1	2
MR.7 ¿Se ha despertado por un ataque de tos alguna vez en los últimos 12 meses?	1	2
MR.8 ¿Tose habitualmente al levantarse por la mañana durante el invierno? [SI DUDOSO, USAR LA PREGUNTA MR.9.1 PARA CONFIRMAR]	1	2
MR.9.1 ¿Ha tenido esta tos la mayoría de los días al menos 3 meses cada año?	1	2
MR.10 ¿Acostumbra a arrancar o sacar esputos al levantarse por la mañana durante el invierno? [SI DUDOSO, USAR LA PREGUNTA 11.1 PARA CONFIRMAR]	1	2
MR.11 ¿Acostumbra a arrancar o sacar esputos durante el día o la noche en invierno?	1	2
MR11.1 ¿Arranca o expectora así la mayoría de los días al menos 3 meses cada año?	1	2

¡Gracias por su participación!

9. Danksagung

Diese Arbeit hätte nicht ohne die Unterstützung zahlreicher Personen durchgeführt werden können.

An erster Stelle würde ich mich gerne bei Frau Prof. Dr. Katja Radon bedanken! Ihre Unterstützung sowie stets prompte Rückmeldung und Hilfestellung bei Fragen sind außergewöhnlich.

Auch bei Herrn Prof. Dr.med. Dennis Nowak möchte ich für seine Unterstützung und die Möglichkeit der Durchführung meiner Dissertation am Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin bedanken. Der Dank gilt zudem auch allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes, die an der Durchführung dieser Arbeit beteiligt waren.

Auch meiner Projektpartnerin Frau MSc Marie Astrid Garrido Campos möchte ich von tiefstem Herzen danken! Gemeinsam haben wir die Studie in Chile durchgeführt und einige Probleme und Hindernisse bewältigen können. Ich hatte das Glück mit ihr nicht nur eine erfahrene und exzellente Projektpartnerin, sondern auch eine neue Freundschaft, die uns nun verbindet, zu gewinnen.

Auch bei Frau Dr. Dipl.-Soz. MSc Laura Wengenroth möchte ich mich recht herzlich für Ihre Hilfe bei der statistischen Auswertung und ihre Begleitung im letzten Abschnitt der Doktorarbeit bedanken! Auch sie hatte stets ein offenes Ohr und eine Antwort auf meine Fragen.

Die einzigartige Gastfreundschaft, Offenheit und Unterstützung von Frau Juana Díaz Delgado, ihrem Ehemann, Raúl Serón González sowie ihrer gesamten Familie während meines Aufenthaltes in Chile waren bemerkenswert. Als neuwertiges Familienmitglied teilen wir nun viele außergewöhnliche Momente und positive Erinnerungen.

Auch allen Tauchern und Fischern, die an unserer Studie teilnahmen, bin ich zu großem Dank verpflichtet! Ohne ihr Zutun und ihre freiwillige, unentgeltliche Teilnahme wäre diese Studie nicht durchführbar gewesen. Sie gewährten uns einen tiefen Einblick, nicht nur in ihre Arbeit, sondern auch in ihre Lebensverhältnisse.

Mein Dank gilt auch dem Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für die finanzielle Unterstützung zur Durchführung dieses Projektes.

Auch meinen Eltern, meinem Bruder und meinen Freunden bin ich zu großem Dank verpflichtet! Ohne ihre Unterstützung, ihre aufmunternden Worte sowie ihre kritische Auseinandersetzung mit der Thematik wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.



Eidesstattliche Versicherung

Mark, Lorenz

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

„Spirometrische Befunde bei traditionellen Berufstauchern und Fischern in Südchile – eine Querschnittsstudie“

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 15.12.2021

Ort, Datum

Lorenz Mark

Unterschrift Doktoran-
din/Doktorand