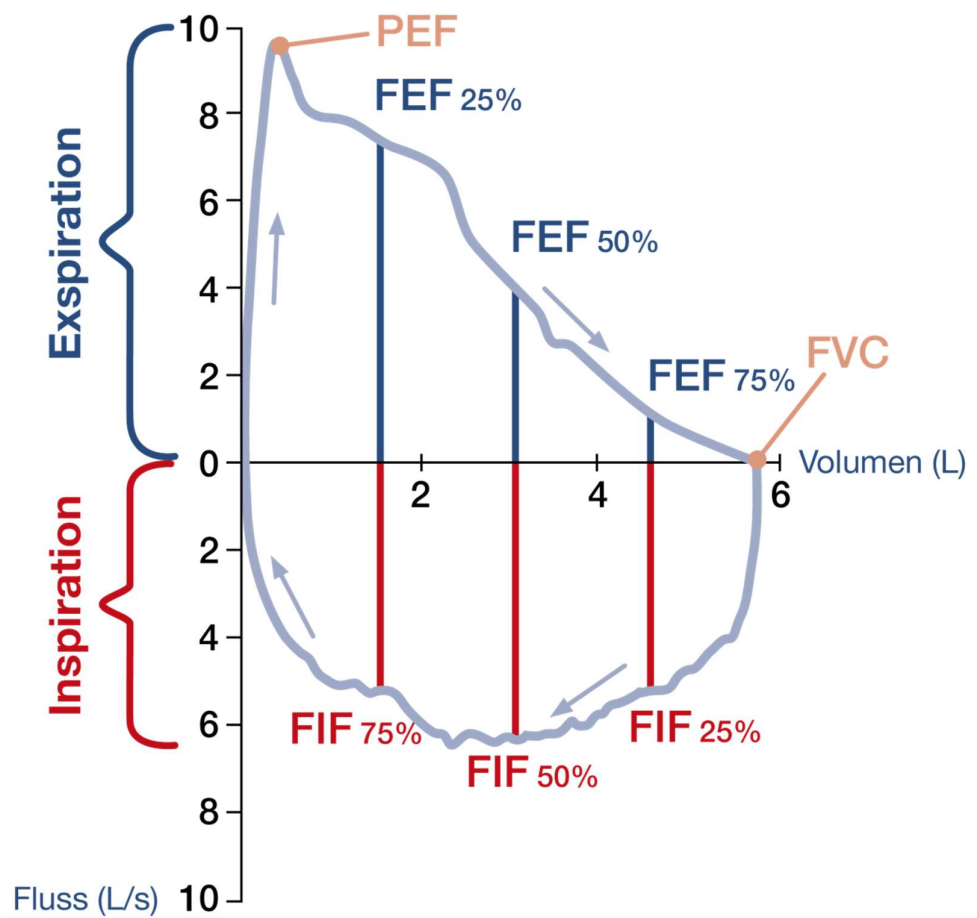


# Spirometrie

3. Auflage 2023





---

# **SPIROMETRIE**

---

**Skriptum der Österreichischen Gesellschaft für Pneumologie**

**Erstellt von den Mitgliedern der Expert\*innengruppe Atemphysiologie**

**08/2023**

**Impressum:**

Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Pneumologie (ÖGP)  
Druck: Friedrich Druck & Medien GmbH, 4020 Linz | [www.friedrichdruck.com](http://www.friedrichdruck.com)

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	2
Vorwort .....	5
1 Wofür Spirometrie? .....	7
1.1 Was wird in der Spirometrie gemessen? .....	7
1.2 Was kann die Spirometrie aussagen? .....	7
1.3 Indikation zur Spirometrie .....	9
1.4 Kontraindikationen .....	10
2 Was wird gemessen? .....	12
2.1 Lungenvolumina und Kapazitäten .....	12
2.1.1 Mittels Spirometrie bestimmbare Größen .....	13
2.1.2 Mittels Bodyplethysmographie bestimmbare Größen .....	14
2.2 Atemflussparameter .....	14
3 Wie wird gemessen? .....	16
3.1 Spirometergeräte .....	16
3.1.1 Gerätespezifikationen .....	17
3.2 Handhabung des Spirometers .....	17
3.2.1 Kalibrierung .....	17
3.2.2 Geräteüberprüfung .....	18
3.2.3 Definition der Umgebungsbedingungen (BTPS und ATPS) .....	18
3.2.4 Hygiene .....	19
3.3 Messung – Rahmenbedingungen .....	19
3.3.1 Vorinformationen für den*die Patient*in .....	19
3.4 Untersuchungsablauf .....	20
3.4.1 Patientenvorbereitung .....	20
3.4.2 Atemmanöver – Messungen .....	20
3.4.3 Forciertes inspiratorisches Manöver .....	23
3.4.4 Bronchodilatator-Response-Test (BDR-Test) .....	23
3.4.5 Zeitbedarf .....	25
3.5 Qualitätskriterien der Messung (forciertes Manöver) .....	26
3.5.1 Akzeptanz- und Usability-Kriterien .....	27
3.5.2 Reproduzierbarkeit .....	28
3.5.3 Graduierung der Qualität der Messwerte FEV1 und FVC .....	28
3.6 Selektion der Messwerte .....	29
3.7 Grafiken .....	29
3.8 Häufige und vermeidbare Fehlerquellen .....	30
4 Wie wird beurteilt? .....	32
4.1 Beurteilbarkeit und Plausibilität der Untersuchung .....	32
4.2 Referenzwerte .....	33



4.2.1	Normalkollektiv .....	33
4.2.2	Vergleichsmethode.....	35
4.2.3	Natürlicher Verlauf der Lungenfunktion .....	36
4.3	Graduierung des Schweregrades von Ventilationsstörungen .....	37
4.4	Leitfaden zur Befundung und Klassifikation ventilatorischer Störungen .....	39
4.5	Atemfluss-Limitation und obstruktive Ventilationsstörung .....	43
4.5.1	Graduierung des Schweregrades der obstruktiven Ventilationsstörung .....	44
4.5.2	COPD und GOLD-Kriterien .....	44
4.5.3	Bronchodilatator-Response (BDR).....	45
4.5.4	Small airway obstruction (SAO).....	46
4.6	Restriktive Ventilationsstörung .....	48
4.6.1	Graduierung des Schweregrades restriktiver Ventilationsstörungen .....	49
4.7	Gleichzeitig vorliegende obstruktive und restriktive Ventilationsstörung.....	49
4.8	Unspezifisches Muster.....	51
4.9	Muster bei neuromuskulären Erkrankungen .....	51
4.10	Varianten einer gesunden Lunge.....	52
4.11	Inspiratorische Parameter und forciertes inspiratorisches Manöver .....	52
4.11.1	Extra- und intrathorakale Stenosen der oberen Atemwege .....	52
4.11.2	Peak Inspiratory Flow (PIF) .....	55
4.11.3	Inspiratorische Kapazität (IC).....	55
4.12	Präoperative Beurteilung.....	55
4.12.1	Operation in Allgemeinnarkose.....	56
4.12.2	Operation mit Resektion von Lungenvolumen.....	58
4.13	Spirometrie in der Arbeitsmedizin.....	59
4.14	Befunddarstellung .....	62
4.14.1	Befundkopf (obligat).....	62
4.14.2	Fluss-Volumen-Kurve (obligat) .....	63
4.14.3	Volumen-Zeit-Kurve (optional).....	63
4.14.4	Messwerttabelle (obligat) .....	64
4.14.5	Technischer Kommentar (obligat) .....	66
4.14.6	Befundung (obligat) .....	67
4.14.7	Trendgrafik (optional).....	67
4.15	Grenzen der Spirometrie und weiterführende Methoden.....	67
4.15.1	Bodyplethysmographie.....	67
4.15.2	Ermittlung der Diffusionskapazität der Lunge .....	68
4.15.3	Mobile Peak-Flow-Messung (Selbstmessung des Spitzenflusses).....	68
4.15.4	Provokationstestung.....	69
4.15.5	Messung des Stickstoffmonoxids in der Ausatemluft (FeNO) .....	69
4.15.6	Messung der Atemmuskelfunktion .....	69
4.15.7	Stellenwert der Impuls-Oszillometrie (IOS).....	69

---

5	Pädiatrische Spirometrie .....	70
5.1	Spirometrie und Flussvolumenkurve.....	70
5.2	Durchführung von Lungenfunktionen im Kindesalter .....	71
5.2.1	Art des Labors.....	72
5.2.2	Durchführung.....	72
5.3	Besonderheiten der Altersgruppen .....	73
6	Appendix.....	75
6.1	Musterbefunde für die Spirometrie .....	75
6.1.1	Minimal-Variante.....	75
6.1.2	Maximal-Variante .....	76
6.2	Textbausteine für die Befundung .....	77
	Danksagung und Ausblick.....	79
	Abkürzungen .....	80
	Literaturverzeichnis.....	82

## Vorwort

Die Spirometrie ermöglicht Kliniker\*innen pathophysiologische Muster zu erkennen und im Weiteren bei Diagnosen bzw. deren Ausschluss sowie Therapieentscheidungen in der Pneumologie eine Unterstützung zu sein – alles unter der Voraussetzung einer korrekten Durchführung. Mit schlecht oder falsch angeleiteter Spirometrie können irreführende Ergebnisse erzielt werden, die mitunter Fehler bei Diagnose und Therapie nach sich ziehen. Es ist also sehr relevant, zu wissen, wie man es richtig macht – und das ist gar nicht so einfach.

Dieser Tatsache tragen sowohl die internationalen Statements der ERS/ATS (European Respiratory Society/American Thoracic Society) zur Durchführung<sup>1</sup> als auch zur Interpretation von Spirometriem<sup>2</sup> Rechnung. In den letzten Jahren wurde und wird über die „Global Lung Initiative (GLI)“ an einem wissenschaftlich fundierten und differenzierten Referenzwertesystem gearbeitet<sup>3</sup>, das zur Verbesserung und Vereinheitlichung spirometrischer Ergebnisse bzw. Interpretation empfohlen wird und bereits in die Praxis der Lungenfunktion und auch in die Software der Hersteller Eingang findet. Online-Ressourcen finden sich hierzu auf der ERS-Homepage (SpirExpert: [spirxpert.ers-education.org/en/spirometry/welcome-to-spirxpert](https://spirxpert.ers-education.org/en/spirometry/welcome-to-spirxpert) und GLI: [www.ersnet.org/science-and-research/ongoing-clinical-research-collaborations/the-global-lung-function-initiative/](http://www.ersnet.org/science-and-research/ongoing-clinical-research-collaborations/the-global-lung-function-initiative/)).

Die Österreichische Gesellschaft für Pneumologie (ÖGP) möchte mit der Neuauflage (3. Auflage) des Skriptums „Spirometrie“ eine aktualisierte Version von Verständnis, Durchführung und Interpretation dieser Untersuchung anbieten. Wir wollen damit die Spirometrie sowohl praxisbezogen als auch anwenderfreundlich darstellen – und gleichzeitig der Komplexität des Themas auf Basis der internationalen Vorgaben Rechnung tragen. Im Vergleich zur 2. Auflage wurden insbesondere folgende Kapitel in Bezug auf die aktuellen ERS/ATS-Leitlinien überarbeitet:

- Atemmanöver – Messung (Kapitel 3.4.2)
- Durchführung des Bronchodilator-Responsiveness-Tests (Kapitel 3.4.4) und dessen Interpretation (Kapitel 4.5.3)
- Qualitätskriterien (Kapitel 3.5)
- Interpretation und Klassifikation von Ventilationsstörungen mit Befundalgorithmus (Kapitel 4.4)
- Ergänzung von Kapiteln zum natürlichen Verlauf der Lungenfunktion (Kapitel 4.2.3), dem unspezifischen Muster (Kapitel 4.8) und der Spirometrie bei neuromuskulären Erkrankungen (Kapitel 4.9)

Dieses Skriptum soll damit auch dazu beitragen, dass die Spirometrie über die Pneumologie hinaus sinnvoll und korrekt Anwendung findet. Spirometer sind nicht mehr teuer, meist in der Anwendung unkompliziert und sinnvoll in Allgemeinmedizin, Arbeitsmedizin, Vorsorgemedizin usw. eingesetzt. Die in der Pneumologie erforderliche komplettere Lungenfunktionsdiagnostik mittels Bodyplethysmographie und Diffusionsmessung hat die spirometrische Messung ebenfalls integriert.

Somit legen wir Wert auf Erklärung des sinnvollen Einsatzes und der Grenzen dieser Untersuchung – das WOFÜR, das Verständnis der Messwerte – das WAS und das richtige WIE (Durchführung und Interpretation), inklusive der Qualitätskontrollen in der Beurteilung der Ergebnisse.

Darüber hinaus wird das Sollwertesystem nach GLI und seine Vorteile im Vergleich zu früheren Bezugsrahmen ausführlich dargestellt und erklärt: Es soll die Implementierung dieser international außer Frage gestellten Anforderung an die Befunde fördern; Ergebnisse können damit besser verglichen und in ihrer Wertigkeit eingeschätzt werden. Auch Mindestanforderungen an die Qualität der Durchführung und an Befundaufgaben und Befundinterpretation werden dargestellt.

Dieses Skriptum richtet sich an alle, die an pneumologischer Funktionsdiagnostik interessiert sind, an Pneumolog\*innen, biomedizinische Assistent\*innen, Allgemeinmediziner\*innen, Fachärzt\*innen, Studierende. Die Qualitätsansprüche, die in diesem Skriptum dargelegt werden, richten sich primär an Lungenfunktionslabore, wo unter professionellen Bedingungen eine Funktionsdiagnostik durchzuführen ist (niedergelassene Lungenfachärzt\*innen und Krankenhäuser). Diese Qualitätsstandards können oft bei Messungen mit kleinen mobilen Geräten (z. B. auch „expiratory-only“ Geräten), die häufig bei spirometrischen Screenings wie zum Beispiel im Rahmen von „Gesundheits-Initiativen“, Betriebsuntersuchungen oder bei allgemeinmedizinischen Praxen verwendet werden, meist nicht eingehalten werden.

Auf die Darstellung der Anatomie des Respirationstraktes und auf die Beschreibung der physiologischen Grundlagen der Lungenarbeit haben wir im Sinne der Kompaktheit dieses Skriptums verzichtet und verweisen auf die entsprechenden Lehrbücher (Textbook of respiratory medicine – elsevier saunders, Pulmonary physiology and pathophysiology, John B. West, Pneumologie, Thiemeverlag).

Ein Kapitel ist der „Spirometrie bei Kindern“ gewidmet: Es beleuchtet die im Umgang mit Probanden/Patient\*innen im Kindes- und Jugendalter erforderlichen Besonderheiten beim Messvorgang und der Befundinterpretation.

Für die Darstellung der Bodyplethysmographie, der Provokationsuntersuchung, der Blutgasanalyse, der Diffusionsmessung, der Atemmuskelmessung sowie die Bestimmung von FeNO (Messung des Stickstoffmonoxids in der Ausatemluft) und die Darstellung von Belastungstests sind weitere Skripten in Arbeit bzw. Planung.

Gestaltet und formuliert wurde dieses Skriptum von der Expert\*innengruppe Atemphysiologie der ÖGP. Wir verstehen dieses Skriptum als Empfehlung und somit als Grundlage für die Handhabung der Spirometrie, die zu einer weiteren Standardisierung dieser Untersuchung in Österreich beitragen soll. Ebenso sollen die Empfehlungen dieses Skriptums Basis für Untersuchungen gemäß Arbeitnehmer\*innenschutzgesetz sein (eine entsprechende Aktualisierung der Verordnung über die Gesundheitsüberwachung/VGÜ ist in Arbeit). Gleichzeitig ist uns bewusst: das theoretische Wissen ist die Basis, aber zur erfolgreichen Anwendung der Funktionsprüfung der Lunge sind Training und praktische Durchführung unter kompetenter Anleitung unerlässlich – diese kann das vorliegende Werk nicht ersetzen! Entsprechende Praxis-Workshops werden von der ÖGP angeboten.

Eine ausführliche Bibliografie ist am Ende des Skriptums für den\*die interessierte\*n Leser\*in verfügbar.

Wir wünschen Ihnen viel Freude mit diesem Skriptum und freuen uns über Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge!

Für das gesamte Autor\*innen-Team,

Daniel Doberer

## 1 Wofür Spirometrie?

### Fact Box:

- Eine valide Spirometrie braucht die aktive Mitarbeit des\*der Proband\*in/Patient\*in und des\*der Untersuchenden.
- Nur qualitativ gute Spirometrie-Ergebnisse können sinnvoll und verlässlich ausgewertet werden.
- Zur Diagnose der obstruktiven Lungenerkrankungen ist die Spirometrie unerlässlich.
- Für andere Funktionsstörungen der Lunge, wie Restriktion oder Diffusionsstörungen, sind weitere Untersuchungen wie z.B. die Bodyplethysmographie, Diffusionskapazität oder Blutgasanalyse erforderlich.
- Der breite Einsatz der Spirometrie in Allgemeinmedizin, Arbeitsmedizin und/oder im Vorsorgebereich u.a. ist wünschenswert.

**Die Spirometrie – die (wörtliche) „Vermessung der Atmung“ – ist in den letzten Jahrzehnten zur unverzichtbaren Routine in der Diagnostik** von Atembeschwerden und Lungenkrankheiten geworden. Ihr Einsatz hat sich über die Kerndomäne der Pneumologie hinaus auch bei Allgemeinmediziner\*innen, Arbeitsmediziner\*innen und Internist\*innen erweitert, nicht zuletzt auch, weil die Verfügbarkeit von „einfach“ zu bedienenden Spirometern zugenommen hat. Dennoch ist die Spirometrie keine „einfach“ durchzuführende und zu interpretierende Untersuchungsmethode: Das Verständnis für die erfassten Parameter und ihre Messung erfordert ein solides Wissen sowie Qualifikation und Übung in der Ausführung. Die Interpretation der Ergebnisse orientiert sich an den gemessenen Werten, ihrem Verhältnis zueinander, sowie an Referenzwerten und der Qualität der Messung. Die Definierung eines weltweiten neuen Referenzrahmens im Rahmen der „Global Lung Function Initiative (GLI)“ zieht auch die Einführung eines neuen Vorgehens bei Darstellung und Interpretation der Ergebnisse nach sich. Dies zu erklären und zu erläutern ist Ziel der Neuauflage dieses Skriptums. Es soll zur Standardisierung und Qualitätssicherung der Spirometrie in Durchführung und Interpretation beitragen.

### 1.1 Was wird in der Spirometrie gemessen?

Die Messung der Luftmenge, die aktiv maximal ein- oder ausgeatmet werden kann – die **Vitalkapazität VC** – und die **Parameter des Atemflusses** bei forcierter Ausatmung sind die Domäne der Spirometrie. Die so erfassten statischen und dynamischen Ventilationsparameter der früher als „kleine Lungenfunktion“ bezeichneten Untersuchung werden sowohl auf den Referenzbereich des statistisch „Normalen“ bezogen, wie auch auf ihr Verhältnis zueinander. Das expiratorische Volumen, das in der 1. Sekunde im forcierten Atemmanöver abgeatmet werden kann, ist als FEV1 bereits von Marc Tiffeneau in der Mitte des vorigen Jahrhunderts in seiner Bedeutung erkannt worden – fast zeitgleich wurde von dem aus Österreich nach USA emigrierten Herrn Gaensler die Bedeutung dieses Wertes beschrieben und publiziert<sup>4</sup>. Das Verhältnis von FEV1/FVC – der relative Tiffeneau-Index, der sich auf die forciert ausgeatmete Vitalkapazität FVC bezieht – ist der wesentliche Parameter, der obstruktive Ventilationsstörungen erkennen lässt und definiert. Die Charakterisierung des Atemflusses mittels PEF und FEF – die maximalen Flussgeschwindigkeiten (Peak- und Forced Expiratory Flow) im Zuge der forcieren Ausatmung – sowie die grafische Darstellung der Fluss-Volumen-Kurve ergänzen die Möglichkeiten der Interpretation der Spirometrie.

### 1.2 Was kann die Spirometrie aussagen?

Die Spirometrie ist eine mitarbeitsabhängige Untersuchung. Auch wenn die Geräte heute leicht zu erwerben und einfach zu bedienen sind, ist eine sinnvolle Interpretation des Ergebnisses zunächst

von einer qualitativ gut durchgeführten Messung abhängig. Eine mitarbeitsbedingte Einschränkung der Ventilationsparameter kann eine Pathologie vortäuschen.

Sowohl Patient\*innen wie Untersuchende brauchen entsprechende Rahmenbedingungen (räumlich, zeitlich) sowie Motivation und Verständnis für die erforderlichen willkürlichen Atemmanöver. Limitationen können Sprachbarrieren, Hördefizite, physiologische oder kognitive Grenzen sein.

Die in mehreren Versuchen (mindestens 3) unter Einhaltung von Qualitätskriterien beim willkürlichen Atemmanöver gemessenen Werte werden zu Referenzwerten bzw. deren Standardabweichung in Bezug gesetzt. Die 2012 publizierten Referenzwerte der „Global Lung Function Initiative (GLI)“ sind von der Europäischen Lungengesellschaft ERS als europäischer Standard empfohlen und lösen damit die bisherigen Normwerte auch in Österreich nach und nach ab (EGKS – Europäische Gesellschaft für Kohle und Stahl, Forche, Zapletal) – siehe Kapitel 4.2. Im Unterschied zu früheren Sollwertformeln basieren die neuen Gleichungen auf weltweit zusammengetragenen und ausgewerteten Daten von über 97.000 gesunden Proband\*innen verschiedener Ethnien im Alter von 3 bis 95 Jahren. Für FVC und FEV1 (in L), FEV1/FVC (in %), forcierte expiratorische Flussrate bei 75 % der FVC FEF75 in L/s (bisher MEF25), FEF25–75 in L/s (bisher MMEF) und bei Kindern (3–7 Jahre) auch noch für die Werte FEV0.75 (in L) und FEV0.75/FVC (in %) wurden somit Referenzwerte erstellt, die der altersabhängigen Verteilung der Normwerte Rechnung tragen. Mit der Einführung des Lower/Upper Limit of Normal (LLN/ULN) bzw. dem z-Score werden die Abweichungen in Bezug auf die Normalbevölkerung besser beschrieben. Dies reduziert im Gegensatz zu den bisher üblichen starren %-Soll-Angaben vom Referenzwert Unter- bzw. Überschätzungen von Pathologien (siehe Details in Kapitel 4.2).

Auch bei den neuen Bezugsgrößen bleiben die Aussagen „normal“, „erhöht“ oder „erniedrigt“ weiterhin lediglich beschreibend. Keine dieser Feststellungen kann Auskunft geben über „gesund“ oder „krank“: so kann ein erniedrigter Wert z. B. der Vitalkapazität bei einem\*r völlig Gesunden ohne pathologische Bedeutung sein oder aber ein statistisch „normaler“ Wert pathologisch sein, wenn er kleiner ist als ein besserer Wert, der zu einem früheren Zeitpunkt bei diesem\*r Patient\*in gemessen wurde (als klinisch sinnvoller Referenzwert).

Der Befund der Spirometrie ist daher ein deskriptiver Funktionsbefund, der vom Zuweisenden in die klinische Diagnostik zu integrieren ist.

Für die klinische Diagnose selbst sind neben den spirometrisch erfassten Atemparametern sowohl die Anamnese wie auch weitere Untersuchungen erforderlich und/oder unverzichtbar.

Im Bodyplethysmographen und auch mit der Diffusionsmessung kann im Unterschied zur Spirometrie auch jene Luftmenge vermessen werden, die nach maximaler Ausatmung im Thorax zurückbleibt: das sogenannte Residualvolumen. Nur in Kenntnis dieser Größe kann eine Restriktion oder Überblähung des Lungenvolumens konstatiert bzw. unterschieden werden.

#### **Die korrekt durchgeführte Spirometrie kann folgende Aussagen treffen:**

- Ermöglicht pathophysiologische Muster zu erkennen und somit den Effekt einer Erkrankung auf die Lungenfunktion zu beurteilen.
- Unterstützt Kliniker\*innen in Zusammenschau von Symptomen, Anamnese und klinischen Untersuchungen eine Diagnose zu stellen.
- Die Veränderung der Lungenfunktion im Verlauf einer Erkrankung bzw. unter einer Therapie zu messen.
- Die Lungenfunktion kann prognostische Information für einige pulmonale Erkrankungen liefern (z. B. COPD, ILD, etc.).
- Liegt eine Einschränkung des Atemflusses – eine Obstruktion – vor ( $FEV1/FVC < LLN$ ) oder nicht?
- Sind die gemessenen Parameter FVC, FEV1 und FEF-Werte im Vergleich zu den Referenzbereichen normal, erhöht oder erniedrigt – bzw. innerhalb oder außerhalb der Standardabweichung?

- Lassen sich aus der Form der Fluss-Volumen-Kurve Rückschlüsse auf eine mögliche Pathologie ableiten?
- Ist die Obstruktion nicht, teilweise oder völlig durch Inhalation eines Bronchodilatators beeinflussbar (im akuten BDR-Test oder als Therapieeffekt im Verlauf)?
- Reagiert das Bronchialsystem übermäßig auf inhalative Provokation mit bronchienverengenden Pharmaka oder Substanzen? Besteht somit eine bronchiale Hyperreaktivität?
- Ist das aktiv verschiebbare Atemvolumen – die Vitalkapazität – gegenüber dem Sollwert normal oder über der Norm? Damit kann zunächst eine restriktive Ventilationsstörung weitgehend ausgeschlossen werden. Ist sie unter der Norm, besteht der Verdacht auf eine Verminderung der Ausdehnungsfähigkeit von Lunge und/oder Thorax. Diese kann mannigfaltige Ursachen haben (pulmonal, pleural, diaphragmal, skelettal, neurologisch u.v.a.). Ob tatsächlich eine Volumenrestriktion der Lunge vorliegt, kann nur mittels der Bodyplethysmographie bewiesen oder ausgeschlossen werden.
- Inspiratorisch bedingte Atemflusseinschränkungen können bei einem forcierten Inspirationsmanöver erkannt werden. Die ermittelten Parameter IVC (inspiratorische Vitalkapazität), PIF, FIF50 (maximaler inspiratorischer Fluss bei 50 % der IVC) sind bei der Standarduntersuchung der Spirometrie nicht enthalten, können aber bei Bedarf in einem eigenen Manöver gemessen werden (siehe Kapitel 4.11).

#### Die Spirometrie kann folgende Aussagen nicht treffen:

- Mit der Spirometrie kann keine klinische Diagnose gestellt werden: Es kann lediglich die Aussage getroffen werden, ob der Funktionsbefund zu einer Vermutungsdiagnose passt oder nicht.
- Eine verminderte Vitalkapazität kann beschrieben, aber nicht interpretiert werden: Die Unterscheidung einer Restriktion von einer erniedrigten Vitalkapazität bei vorhandener Überblähung kann nur bodyplethysmographisch erfolgen.

### 1.3 Indikation zur Spirometrie

#### Fact Box:

- Abklärung von respiratorischen Beschwerden wie Husten und Atemnot
- Erhärtung einer Verdachtsdiagnose von obstruktiven Lungenerkrankungen (insbesondere Asthma bronchiale, COPD)
- Verlaufskontrollen bzw. Therapieansprechen und -monitoring bei bronchopulmonalen Erkrankungen
- Früherkennung von Funktionseinschränkungen bei vorhandenem Risikoprofil wie Atopie, Nikotinabusus, inhalativen Noxen
- Erfassung von pulmonalen Funktionsdefiziten bei Erkrankungen anderer Organe
- Arbeitsmedizin
- Im Rahmen von Rehabilitationsprogrammen
- Präoperative Risikoabschätzung und Therapieoptimierung bei gegebenem Anlass (Lungenerkrankungen, Lungenoperationen)
- In der Forschung, bei klinischen und epidemiologischen Studien
- Gutachten

Symptome wie **Atemnot** und **Husten** sind wohl der häufigste Anlass für eine Lungenfunktionsprüfung.

Die Spirometrie ist der GOLD-Standard in der Diagnostik **obstruktiver Ventilationsstörungen**: Bei respiratorischen Beschwerden, wie z. B. Husten, Kurzatmigkeit, Leistungsminderung kann die Spirometrie eine differenzialdiagnostische Zuordnung zu häufigen Erkrankungen wie Asthma bronchiale

oder der chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) ermöglichen – oder ausschließen. Eine frühzeitige Diagnostik kann dazu beitragen, den Verlauf und damit die Belastung für die Betroffenen im Langzeitverlauf zu mildern. Spirometrisch kann der Schweregrad der Obstruktion erfasst werden, damit eine Therapieindikation gestellt und die Verlaufskontrolle monitiert werden.

Die Feststellung einer obstruktiven Einschränkung ist naturgemäß nicht pathognomonisch – wie auch der spirometrische **Hinweis auf eine Restriktion** einer Reihe von pathophysiologischen Veränderungen/Erkrankungen zugeschrieben werden kann.

Für alle **bronchopulmonalen Erkrankungen** liefert die Spirometrie die Aussage über die funktionelle Auswirkung auf Atemvolumen und Atemflusswerte, ihren Verlauf bzw. die Wirkung therapeutischer Maßnahmen. In der Regel wird im pneumologischen Setting primär die aussagekräftigere Bodyplethysmographie sinnvollerweise eingesetzt. Für weitere Verlaufskontrollen kann die Spirometrie ausreichend sein. Dies trifft für die Pädiatrie ebenso zu wie für die Erwachsenenmedizin.

Bei Systemerkrankungen mit möglicher pulmonaler Beteiligung oder kardialen, neurologischen oder muskulären Diagnosen ermöglicht die Spirometrie die Erfassung von funktionellen respiratorischen Defiziten.

Die Spirometrie ist bei respiratorischen **Symptomen** oder **Risikofaktoren** wie Rauchen, familiäre Belastung, Exposition von inhalativen Noxen u.ä. zur Detektion und Erkennung einer Lungenerkrankung („Case finding“) empfohlen.

Im Bereich der **Arbeitsmedizin** ist die Spirometrie ebenfalls ein sinnvolles und unerlässliches Tool zur Erkennung bzw. Überwachung von gesundheitlichen Folgen von inhalativen Belastungen am Arbeitsplatz (Allergene, Staub, Rauch, Chemikalien etc.), wie auch für **sportmedizinische** Eignungsuntersuchungen.

In der **präoperativen Risikoerfassung** ist eine Spirometrie bei Patient\*innen mit respiratorischen Beschwerden und/oder einer bekannten Lungenerkrankung zur peri- und postoperativen Risikoabschätzung und Therapieoptimierung einsetzbar. Bei Operationen mit Resektion von Lungengewebe stellt die Spirometrie (meist im Rahmen der Bodyplethysmographie) eine erste diagnostische Stufe dar.

Die Spirometrie als **Screening-Untersuchung bei Gesunden** (ohne Risikofaktoren bzw. Symptomen) wird im Allgemeinen nicht empfohlen<sup>5</sup>. Rezente Studien zeigen, dass die Entwicklung einer Lungenerkrankung bereits frühzeitig (Kindheit) determiniert werden kann<sup>6</sup>. In welchen spezifischen Bevölkerungsgruppen ein Screening sinnvoll sein kann, ist noch unklar.

## 1.4 Kontraindikationen

Die Spirometrie und insbesondere das forcierte Manöver kann körperlich anstrengend sein und erhöhten intrathorakalen, intraabdominellen und intrakraniellen Druck verursachen. Hieraus ergibt sich für eine\*n Patient\*in das Risiko für Komplikationen, welche üblicherweise minimal und selten sind. Im Rahmen eines 20-jährigen Reviews von 186000 Lungenfunktionen kam es lediglich bei 5 von 10000 Untersuchungen zu milden, meist kardiopulmonalen Komplikationen<sup>7</sup>.

Unter die **absoluten Kontraindikationen** fallen – kurz zusammengefasst – alle klinisch instabilen Zustände. Als Beispiele seien angeführt: akuter Myokardinfarkt, akute Lungenembolie, klinisch instabiles oder dissezierendes thorakales Aortenaneurysma, Spannungspneumothorax u.ä. In der Literatur variieren dazu die Empfehlungen (im ERS/ATS-Standard werden keine absoluten Kontraindikationen angeführt) – es bleibt immer auch eine individuell zu treffende ärztliche Entscheidung, die zwischen Nutzen und Risiko abwägt.

**Relative Kontraindikationen** schließen die Durchführung einer Spirometrie nicht aus, es sollte allerdings eine individuelle Nutzen-Risiko-Abwägung vor der Durchführung erfolgen.



<b>Wegen erhöhtem myokardialen Bedarf bzw. Blutdruckschwankungen</b>
Akuter Myokardinfarkt (in der ersten Woche) Systemische Hypotension oder schwere Hypertension Signifikante atriale oder ventrikuläre Arrhythmie Unkompensierte Herzinsuffizienz Unkontrollierte pulmonale Hypertension oder Cor pulmonale Klinisch instabile Pulmonalembolie Anamnese einer Synkope beim forcierten Manöver
<b>Wegen erhöhtem intrakraniell/intraokulärem Druck</b>
Cerebrales Aneurysma Neurochirurgische Operation in den letzten 4 Wochen Rezente Gehirnerschütterung mit anhaltenden Symptomen Augenoperation in der letzten Woche
<b>Wegen erhöhtem Druck in den Nasennebenhöhlen und Mittelohr</b>
Operation oder Infektion der Nasennebenhöhlen oder des Mittelohrs in der letzten Woche
<b>Wegen erhöhtem intrathorakalem oder intraabdominalem Druck</b>
Vorliegender Pneumothorax Thoraxchirurgische Operation in den letzten 4 Wochen Abdominelle Operation in den letzten 4 Wochen Schwangerschaft ab der 40./41. Woche („late-term“)
<b>Infektionen</b>
Aktive Erkrankungen mit suspizierter Übertragbarkeit, z. B. Tuberkulose, SARS-CoV2, etc. Zustände die eine Übertragung fördern, z. B. Hämoptysen, orale Läsionen oder Blutungen

**Tabelle 1:** Relative Kontraindikationen für eine Spirometrie (modifiziert nach ERS/ATS 2019<sup>1</sup>)

Vor der Durchführung der Spirometrie empfiehlt sich auch die klinische Beurteilung einer **Sinnhaftigkeit** der Untersuchung: Vergeblich und quälend wird die Untersuchung bei körperlichen Beeinträchtigungen (wie z. B. Schmerzen, Schwindel, anatomische Veränderungen, die einen Mundschluss verhindern...) oder auch bei fehlender Motivation oder mangelndem Sprachverständnis (hier werden submaximale Messwerte erzielt, die nicht verwertet werden können).

Auf alle Fälle sollte die Untersuchung abgebrochen werden, wenn der\*die Patient\*in während der Untersuchung Schmerzen erleidet oder eine zunehmende Obstruktion entwickelt (im Sinne eines Abfalls des FEV1 auf weniger als 80 % in Bezug auf die erste Messung).

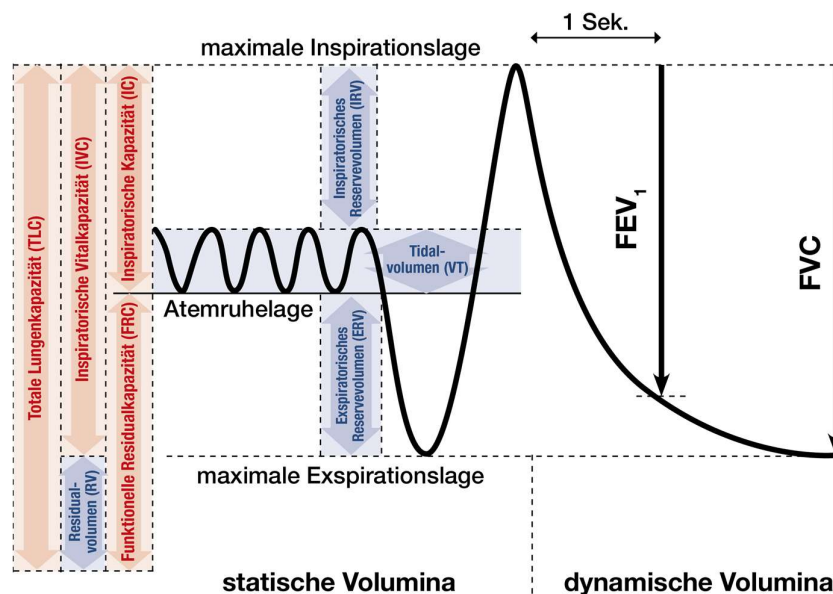
## 2 Was wird gemessen?

### Fact Box:

- Lungenfunktionsparameter werden in Volumina/Kapazitäten und Flussparameter eingeteilt.
- Folgende Volumina werden mittels Spirometrie gemessen: FVC, IVC, IC, IRV, Vt, ERV
- Die Volumina wie RV, FRC und TLC können nur mittels Bodyplethysmographie ermittelt werden.
- Flussparameter werden in Volumen/Zeit gemessen: Die wichtigsten Parameter für die Befundung sind FEV1%FVC (FEV1 in % der FVC), FEV1, PEF.
- FEF75, FEF25-75 können Auskunft über den Atemfluss in den kleinen und mittleren Atemwegen geben.
- Zusätzlich können inspiratorische Parameter wie PIF, FIF50 und andere bei bestimmten Fragestellungen hilfreich sein.

### 2.1 Lungenvolumina und Kapazitäten

In der Atemphysiologie unterscheidet man statische und dynamische Lungenvolumina (siehe **Abbildung 1**). Dynamische Lungenvolumina hängen charakteristischerweise von der Flussrate ab: das forcierte expiratorische Volumen innerhalb 1 Sekunde (FEV1) und die forcierte expiratorische Vitalkapazität (FVC). Standardmäßig werden vier statische (absolute) Volumina unterschieden: das Mittlere-Atemzug- oder Tidal-Volumen (Vt), das inspiratorische Reservevolumen (IRV), das expiratorische Reservevolumen (ERV) und das Residualvolumen (RV). Aus jenen Volumina können die zusammengesetzten Größen der statischen Lungenskapazitäten abgeleitet werden: die Vitalkapazität ( $VC = ERV + Vt + IRV$ ), die inspiratorische Kapazität ( $IC = Vt + IRV$ ), die funktionelle Residualkapazität ( $FRC = RV + ERV$ ) und die totale Lungenskapazität ( $TLC = RV + ERV + Vt + IRV$  oder  $VC + RV$ ).



**Abbildung 1:** Statische und dynamische Lungenfunktionsparameter

Parameter	Definition	Symbol	Einheit
Inspiratorische Vitalkapazität	Atemvolumen, welches nach kompletter Expiration maximal eingeatmet werden kann	IVC (VC IN)	L
Forcierte Vitalkapazität	Atemvolumen, welches nach kompletter Inspiration forciert maximal ausgeatmet werden kann	FVC	L
Forciertes expiratorisches Volumen in 1 Sekunde, Einsekundenkapazität	Atemvolumen, welches nach maximaler Inspiration forciert in der ersten Sekunde ausgeatmet werden kann	FEV1	L
Relative Einsekundenkapazität, Tiffeneau-Index	Forciertes expiratorisches Volumen in 1 Sekunde, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität	FEV1/FVC	%
Maximaler expiratorischer Spitzenfluss, „Peak Flow“	Spitzenfluss bei maximaler expiratorischer Anstrengung	PEF	L/s
Maximaler expiratorischer Fluss bei 75 % der FVC	Maximale Atemflussstärke nach Ausatmung von 25 % der FVC	FEF <sub>25</sub>	L/s
Maximaler expiratorischer Fluss bei 50 % der FVC	Maximale Atemflussstärke nach Ausatmung von 50 % der FVC	FEF <sub>50</sub>	L/s
Maximaler expiratorischer Fluss bei 25 % der FVC	Maximale Atemflussstärke nach Ausatmung von 75 % der FVC	FEF <sub>75</sub>	L/s
Mittlerer expiratorischer Fluss zwischen 25 % und 75 % der FVC	Mittlere maximale Atemflussstärke über die Ausatmung im Bereich von 25 bis 75 % der FVC	FEF <sub>25-75</sub>	L/s
Maximaler inspiratorischer Spitzenfluss	Spitzenfluss bei maximaler inspiratorischer Anstrengung	PIF	L/s
Maximaler inspiratorischer Fluss bei 25 % der IVC	Maximale Atemflussstärke nach Einatmung von 25 % der forcierten IVC	FIF <sub>25</sub>	L/s
Maximaler inspiratorischer Fluss bei 50 % der IVC	Maximale Atemflussstärke nach Einatmung von 50 % der forcierten IVC	FIF <sub>50</sub>	L/s
Maximaler inspiratorischer Fluss bei 75 % der IVC	Maximale Atemflussstärke nach Einatmung von 75 % der forcierten IVC	FIF <sub>75</sub>	L/s

**Tabelle 2:** Wichtige spirometrische Parameter

### 2.1.1 Mittels Spirometrie bestimmbare Größen

Die **Vitalkapazität (VC)** ist das maximale messbare Volumen, welches bei willkürlicher Atmung zur Verfügung steht. Sie besteht aus folgenden Teilverolumina: Atemzugvolumen ( $V_t$ ), inspiratorisches und expiratorisches Reservevolumen (IRV, ERV).

Das **Atemzugvolumen** (Tidal Volumen,  $V_t$ ) beträgt in Ruhe 6–8 mL/kg (bezogen auf das Idealgewicht anhand der Körpergröße, nicht das gewogene Gewicht), also ungefähr 0,5 Liter, wobei die Inspiration aktiv und die Expiration passiv erfolgen. Das **inspiratorische Reservevolumen (IRV)** stellt die Reserve dar, die beispielsweise bei körperlicher Belastung zur Verfügung steht. Sowohl obstruktive wie auch restriktive Ventilationsstörungen führen zu einer Erniedrigung der IRV, es können aber auch Muskelschwäche, Schmerzen oder mangelnde Mitarbeit dazu führen. Aus dem Atemzugvolumen und dem inspiratorischen Reservevolumen lässt sich die **inspiratorische Kapazität (IC =  $V_t$  + IRV)** berechnen.

Das **expiratorische Reservevolumen (ERV)** ist jenes Volumen, welches von der Atemmittellage aus (FRC) maximal ausgeatmet werden kann.

Es besteht die Möglichkeit, die VC mittels langsamer Expiration oder Inspiration oder mittels forciertem expiratorischen Manöver zu bestimmen. Wenn von der Vitalkapazität (VC) ohne weitere Angabe gesprochen wird, wird meistens auf das langsame Manöver bezogen, manchmal auch als SVC (slow vital capacity) oder RVC (relaxed vital capacity) bezeichnet. Unterschiedliche Messwerte zwischen langsamen und forcierten Manövern können diagnostisch von Interesse sein (s.u.).

Zur Bestimmung der **IVC** wird aus der Ruheatmung heraus langsam bis zum Residualvolumen (RV) ausgeatmet (maximale Ausatmung) und anschließend ohne Forcieren bis zur totalen Lungkapazität (TLC) eingeatmet (maximale Einatmung).

Zur Bestimmung der **EVC** (expiratorische Vitalkapazität) erfolgt eine langsame Expiration vom TLC-Niveau aus bis zum Erreichen des RV.

Die Messung der VC erfolgt üblicherweise in Inspiration. Die Expiration wird in der Regel forciert als **FVC** gemessen. Bei obstruktiven Lungenerkrankungen ist die IVC in der Regel größer als die FVC, dies gilt insbesondere, wenn es durch den Bronchialkollaps zu einer Reduktion der FVC kommt.

### 2.1.2 Mittels Bodyplethysmographie bestimmbare Größen

Das **Residualvolumen (RV)** ist jenes Volumen, welches nach maximaler Expiration in der Lunge verbleibt. Gemessen wird dies nur in der Bodyplethysmographie.

Die **Funktionelle Residualkapazität (FRC)** entspricht dem Volumen, das sich in der Atemmittellage (am Ende der Expiration in Ruheatmung) noch in der Lunge befindet.

Die **Totale Lungkapazität (TLC)** ist jenes Volumen, welches sich nach maximaler Inspiration in der Lunge befindet. Es handelt sich somit um die Addition der Vitalkapazität (VC) und des Residualvolumens (RV).

## 2.2 Atemflussparameter

Atemflussparameter sind pro Zeiteinheit gemessene Volumina und können entweder bei der forcierten Expiration oder Inspiration gemessen werden (siehe **Abbildung 2**).

Die **FEV1 (L)** (Forciertes Expiratorisches Volumen innerhalb 1 Sekunde in Liter) ist dabei jenes Volumen, das nach maximaler Inspiration des\*der Proband\*in (Totale Lungkapazität) innerhalb der ersten Sekunde bei forciertem Expiration ausgeatmet werden kann (=Tiffeneau-Test).

Wird das FEV1 in Prozent der Vitalkapazität (**FEV1%FVC**) angegeben, wird dieser Prozentsatz als relativer Tiffeneau-Wert bzw. **FEV1/FVC** als Tiffeneau-Index bezeichnet.

Der **FEV6 (L)** (Forciertes Expiratorisches Volumen innerhalb 6 Sekunden in Liter) ist ein zunehmend häufiger verwendeter Parameter in Patient\*innen mit Atemwegsobstruktion. In der Pädiatrie kommen auch forcierte expiratorische Volumen innerhalb 0.5 bzw. 0.75 s zur Anwendung (**FEV 0.5 und FEV 0.75**, siehe Kapitel 5.2.2).

Die **FET (s)** (Forced Expiratory Time) ist die Länge des forcierten Expirationsmanövers in Sekunden.

Beim forcierten Expirationsmanöver wird nicht nur das Volumen gegen die Zeit aufgetragen (Volumen-Zeit-Kurve für FEV1), sondern auch die höchsten und bei bestimmten Volumina gemessenen expiratorischen Flüsse ermittelt (Fluss-Volumen-Kurve).

Der Spitzenfluss **PEF (L/s)** (Peak Expiratory Flow) ist die maximal gemessene Atemstromstärke bei forciertem Expiration.

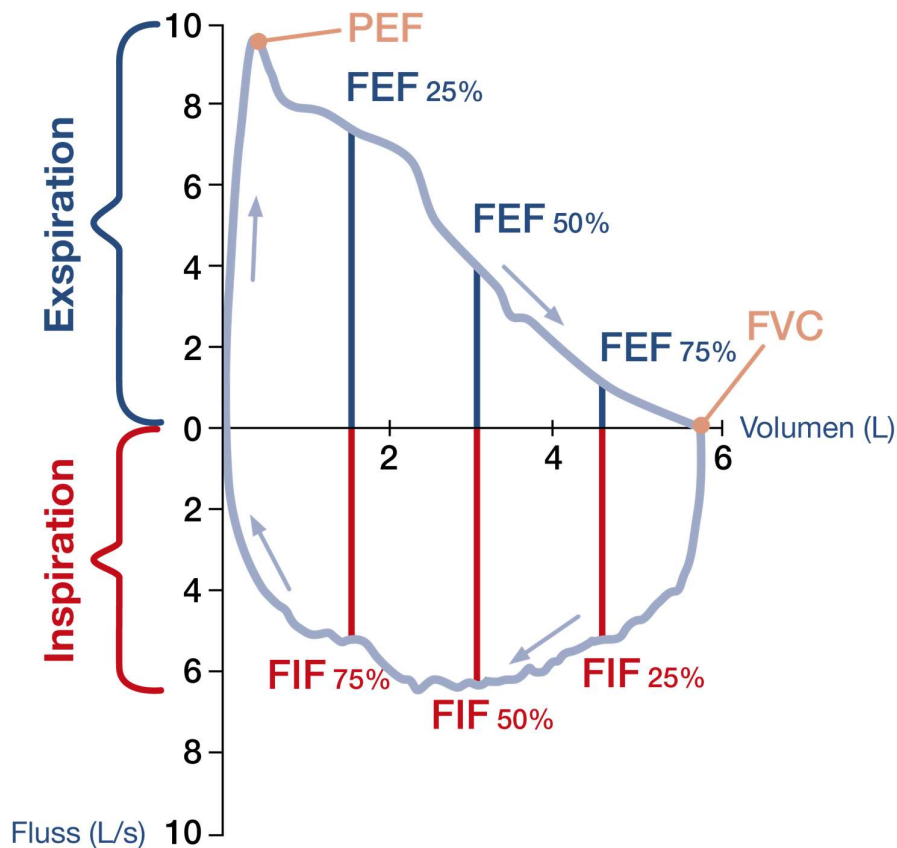
Wenn in der Fluss-Volumen-Kurve (des forcierten expiratorischen Manövers) die gemessenen maximalen Atemstromstärken bei den jeweils expirierten Anteilen der FVC aufgetragen werden, erhält man die jeweiligen **FEF<sub>xx</sub> (L/s)** (Forciertes expiratorisches Fluss bei xx der Vitalkapazität in %).

Dabei werden die **FEF25 (L/s)**, **FEF50 (L/s)** und **FEF75 (L/s)** (bezogen auf abgeatmeten Prozentsatz der FVC) ermittelt. Die früher gebräuchlichere Bezeichnung **MEF (L/s)** (maximaler expiratorischer Fluss) bezog sich auf den noch in der Lunge verbleibenden Anteil der VC. Somit sind FEF75 und MEF75, sowie FEF25 und MEF25 identisch.

Der **FEF25-75 (L/s)** bezeichnet die mittlere maximale expiratorische Atemstromstärke zwischen 25 % und 75 % der FVC. Dieser Parameter wird auch manchmal als MFEF bezeichnet.

Analog zum PEF beschreibt der **PIF (L/s)** (Peak Inspiratory Flow) den Spitzenfluss in einem forciert durchgeführten Inspirationsmanöver.

Ebenso können analog der Parameter in der Expiration **FIF75 (L/s)**, **FIF50 (L/s)** und **FIF25 (L/s)** im Zuge dieses Manövers ermittelt werden. Die Bezeichnungen der Inspirationsflüsse beziehen sich dabei auf den eingeatmeten Prozentsatz der **FIVC (L)** (Forcierte Inspiratorische Vitalkapazität). Üblicherweise ist nur der FIF50 in Verwendung.



**Abbildung 2:** Parameter des Atemflusses in der forcierten Expiration und forcierten Inspiration (Quelle Wikipedia)

### 3 Wie wird gemessen?

#### Fact Box:

- Die Qualität der Messung ist von der Mitarbeit des\*der Patient\*in und der Kompetenz des\*der Untersuchenden abhängig.
- Zur Vorbereitung des\*der Patient\*in und der Untersuchung gehören neben der Erfassung der anamnestischen Angaben (personenbezogene Daten wie Name, Geburtsdatum, Größe, Gewicht, Geschlecht bei Geburt, Ethnie, Vormedikation und Indikation) auch die verständliche Information des\*der Patient\*in über die erforderlichen Atemmanöver bei der Spirometrie.
- Die dafür erforderliche Zeit ist bei der Organisation der Untersuchung einzuplanen.
- Die Selektion der Messwerte erfolgt anhand von definierten Qualitätskriterien (Akzeptanz, Usability und Reproduzierbarkeit).
- Für die Wahl des Spirometers bei der Anschaffung sollten neben den praktischen Gesichtspunkten (wie z.B. Größe und Preis) auf alle Fälle die Gerätespezifikationen berücksichtigt werden.
- Die laufende Wartung, Kalibration und Überprüfung der Einstellungen am Gerät (Temperatur, Barometerdruck, Luftfeuchtigkeit) gehören zur Qualitätssicherung.

#### 3.1 Spirometergeräte

Die heute angebotenen Spirometer stützen sich auf verschiedene Messmethoden: Die häufigsten Geräte verwenden die Messung des Differenzdrucks. Die Atemluft strömt dabei entweder durch ein Sieb (Methode nach Lilly) oder durch ein System aus Kapillarröhrchen (Methode nach Fleisch), vor und hinter diesem künstlichen Widerstand wird der Druck gemessen und die Druckdifferenz bestimmt. Aus dieser Druckdifferenz wird auf den Volumenfluss zurückgeschlossen. Mit diesem **Pneumotachographen** ist eine sehr genaue Messung möglich, allerdings bedarf es zuvor einer Volumenkalibrierung, die durch den\*die Untersuchende durchzuführen und auch zu dokumentieren ist.

Beim **Turbinenradsensor** fließt die Atemluft in eine Turbine und bewegt dadurch das Turbinenrad. Aus der Umdrehungszahl der Turbine kann auf den Volumenfluss geschlossen werden. Neben dem etwas höheren Widerstand ist hier insbesondere auf die Notwendigkeit von Bakterienfiltern hinzuweisen.

Durch Anwendung eines **Ultraschallsensors** wird die Zeit gemessen, die der Schall von einem Punkt zu einem anderen Punkt benötigt. Diese Laufzeit wird anschließend in eine Flussgeschwindigkeit umgerechnet. Bei dieser Methode ist keine Kalibrierung durch \*die Untersuchenden erforderlich, es wird eine Autokalibrierung durchgeführt.

Eine weitere Messmöglichkeit, die auch von Beatmungsgeräten bekannt ist, stellt die **Hitzedrahtmethode** dar. Dabei wird ein dünner Draht auf 50 Grad Celsius erwärmt. Vorbeiströmende Luft würde eine Temperaturänderung des Drahtes zur Folge haben. Um die Temperatur bei 50 Grad zu halten, wird Energie aufgewendet. Das Ausmaß der Energieaufwendung ist dabei proportional zum Volumenfluss, der damit schnell und genau bestimmt werden kann. Auch hier erfolgt die Kalibration automatisch.

Messtechnik	Messgröße	Kalibration
Pneumotachograph	Atemfluss	manuell
Turbinenrad	Atemfluss	manuell
Ultraschallsensor	Atemfluss	automatisch
Hitzedraht	Atemfluss	automatisch

**Tabelle 3:** Verfügbare Messtechniken für die Spirometrie

### 3.1.1 Gerätespezifikationen

Für eine korrekte Bestimmung von Volumen, Zeit und Fluss muss ein Spirometer nachfolgende Anforderungen jedenfalls erfüllen. Vor dem Erwerb eines Spirometers empfiehlt sich eine Betrachtung der jeweiligen Gerätespezifikationen bzw. deren Vergleich mit diesen Mindestanforderungen. Jene werden in der ISO-Norm 26782:9000 definiert (zuletzt 2020 überprüft), auf die auch die rezente ERS/ATS-Leitlinie<sup>1</sup> verweist. Die wesentlichen Punkte sind eine Genauigkeit von 3 % (für Accuracy, Linearity und Repeatability), eine Sampling-Rate für ein digitales Signal von mind. 100 Hz und die Darstellung der Fluss-Volumen-Graphik in einem 2:1 Achsenverhältnis (2 L/s Fluss äquidistant zu 1 L Volumen).

Bei der Entscheidung für die Anschaffung eines Gerätes sollte darauf geachtet werden, dass diese Gerätespezifikationen auch erfüllt werden.

## 3.2 Handhabung des Spirometers

### 3.2.1 Kalibrierung

Das genaue Vorgehen bei der Überprüfung der Messgenauigkeit eines Spirometers (Kalibrierung und Verifizierung) ist den Herstellerangaben zu entnehmen und hängt auch von der verwendeten Messtechnik ab. Generell werden verschiedene Typen der Überprüfung der Messgenauigkeit unterschieden: Volumenkalibrierung, Linearitätstest, Bioverifizierung und Geräteüberprüfungen (siehe Kapitel 3.2.2: Zeit, Temperatur, Dichtheit). Die gemessenen Volumina müssen innerhalb der geforderten Genauigkeit von 3 % für Inspiration und Expiration liegen.

Typ	Prinzip	Zweck	Häufigkeit
Volumenkalibration	Pumpe mit 1–3 L Volumen	Kalibrierung auf ein fixes Volumen	täglich oder Wechsel des Messaufnehmers
Fluss-Linearitätstest	3-Fluss-Kalibration	Überprüfung der Linearität über verschiedene Flussbereiche	täglich
Bioverifizierung	Messungen gesunder Mitarbeiter*innen	Überprüfung des Kalibrierungssystems	optional
Temperatur (Servicetechniker)	externes Thermometer	Überprüfung des internen Thermometers	jährlich

**Tabelle 4:** Überprüfung der Messgenauigkeit eines Spirometers<sup>1,8</sup>

#### **Kalibrierpumpe:**

Die Volumenkalibrierung des Spirometers muss mit einer geeichten Pumpe in regelmäßigen Abständen (zumindest einmal an jedem Untersuchungstag) erfolgen. Das empfohlene Volumen der Pumpe beträgt drei Liter (3 L) und sollte jedenfalls nicht geringer als ein Liter (1 L) sein. Die voraussetzende Präzision der Pumpe liegt bei  $\pm 15$  mL. Die Pumpe muss bei Raumtemperatur gelagert werden. Weiters sollte sie einmal pro Jahr (ERS/ATS-Empfehlung sogar monatlich<sup>1</sup>) auf Dichtheit überprüft bzw. mittels einer zweiten Pumpe das korrekte Volumen verifiziert werden.

#### **Ablauf:**

Die tägliche Volumenkalibration bedarf üblicherweise einer kurzen Entleerungszeit der Pumpe (hoher Fluss von ca. 3–6 L/s). Dies erfolgt durch eine Entleerung der 3-Liter-Pumpe in 0,5 bis 1 Sekunde.

Der Fluss-Linearitätstest wird mit derselben Pumpe durchgeführt, allerdings in verschiedenen Flussbereichen, mindestens in drei verschiedenen: niedrig, mittel und hoch (z. B. 0.0–2.0, 2.0–7.0 und 7.0–12.0 L/s).

Bei Volumen-basierten Messmethoden (heute kaum noch in Verwendung) sollte weiters auch ein Volumen-Linearitätstests durchgeführt werden.

Wird für die Messung ein Bakterienfilter verwendet, muss dieser auch bei der Kalibration verwendet werden.

Ändert sich von einer zur nächsten Kalibration der Kalibrationsfaktor um mind. 6 % oder 2 Standardabweichungen, sollte das Gerät inspiziert und eventuell gereinigt und die Kalibration wiederholt werden.

Die Ergebnisse der Kalibration müssen in einem Log-File dokumentiert werden (dies ist bei modernen Geräten in der Software integriert). Weiters sollten auch Wartungsarbeiten, Austausch von Geräteteilen und Änderungen von Geräten und Software-Versionen dokumentiert werden.

#### **Bioverifizierung:**

In regelmäßigen Abständen ist zudem die Kalibrierung anhand von bekannten und konstanten Lungenvolumina gesunder Mitarbeiter\*innen sinnvoll. Dies wird auch als Bioverifizierung bezeichnet.

### 3.2.2 Geräteüberprüfung

#### **Temperatursensor und Zeit:**

Sofern ein Temperatursensor vorhanden ist, sollte dieser zumindest einmal pro Woche überprüft werden (mit einem externen Thermometer) und eine Genauigkeit von  $\pm 0,5^\circ \text{C}$  feststellbar sein. Zeit- und Datums-Einstellungen sollten regelmäßig auf Korrektheit überprüft werden bzw. werden bei modernen Geräten automatisch über das Internet abgefragt.

Bei Geräten, die auf einer Volumen-basierten Messung beruhen (heute kaum noch in Verwendung), sollten unbedingt das Schlauchsystem und der Messkopf auf Leckagen überprüft werden.

### 3.2.3 Definition der Umgebungsbedingungen (BTPS und ATPS)

Gasvolumina und -flüsse sind stark von den Umgebungsbedingungen abhängig. Vereinbarungsgemäß wird bei der Lungenfunktion wie häufig in der Medizin auf BTPS (body temperature pressure saturated)-Bedingungen bezogen. Dies bedeutet, dass die entsprechenden Volumen-Angaben für die Körpertemperatur von  $37^\circ$ , den gemessenen Luftdruck und 100 % Luftfeuchtigkeit gelten. Expiratorische Volumina werden somit direkt gemessen, während inspiratorische Größen von ATPS (ambient temperature pressure saturated)-Bedingungen (d.h. die aktuell gemessene Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit) auf BTPS-Bedingungen korrigiert werden müssen. Die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit) werden entweder vom Gerät selbst gemessen oder müssen vom\*von der Anwender\*in eingegeben werden (Messung durch externes Gerät); die Korrektur erfolgt dann durch das Gerät automatisch. Es sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass bei Änderungen der Umgebungsbedingungen auch jene am Spirometer aktualisiert werden müssen.

Bei Geräten mit einer Diffusionsmessung ist üblicherweise auch die Eingabe der Höhe über dem Meeresspiegel als Umgebungsbedingung erforderlich.

Hier sei angemerkt, dass Volumenwerte stets für den aktuellen Luftdruck angegeben werden (BTPS) und nicht auf einen Standwert, z. B. 760 mmHg, korrigiert werden. Dies ist verständlich, da jene das Volumen der Lunge des\*der Proband\*in widerspiegeln sollen und sich dieses mit dem Luftdruck nicht verändert. Somit würde eine Korrektur auf Standardbedingungen (z. B. STPD – standard temperature pressure dry) keine physiologisch sinnvolle Korrektur darstellen.



### 3.2.4 Hygiene

Das Ziel der hygienischen Maßnahmen ist es, Übertragungen von Infektionen an Patient\*innen oder das Personal während der Lungenfunktionsmessung zu vermeiden. Die Übertragung kann direkt über Kontakt von Oberflächen oder indirekt über das Aerosol bzw. Tröpfchen, die während der Funktionsdiagnostik generiert werden, erfolgen.

Eine zentrale Rolle spielt die Hände-Hygiene des Personals. Nach jede\*r Patient\*in bzw. bei Kontakt von kontaminierten Gegenständen muss eine Händedesinfektion mit entsprechenden Reinigungsmitteln erfolgen. Werden Einweghandschuhe getragen, sollten jene ebenso nach jede\*r Patient\*in gewechselt und die Hände desinfiziert werden.

Prinzipiell hat der Gerätehersteller die Verpflichtung, Informationen und Empfehlungen zur geeigneten Art der Reinigung und Desinfektion des Messgerätes zur Verfügung zu stellen. Diesen Anleitungen folgend ist für eine tägliche mechanische Reinigung und Desinfektion des Messplatzes zu sorgen.

Da der Messkopf potenziell kontaminiert werden kann, müsste dieser zur bestmöglichen Vermeidung von Infektionen nach jede\*r Patient\*in mechanisch gereinigt und desinfiziert werden. Heutzutage ist es in vielen Lungenfunktionslabors Standard, Mundstücke mit (Einmal-)Bakterien-Viren-Filter zu verwenden. Diese bieten einen zuverlässigen Schutz (auch vor SARS-CoV2) und beeinträchtigen die Messgenauigkeit des Spirometers nicht.

Nasenklemmen sollen mit einem Reinigungsmittel gewaschen, in ein Desinfektionsmittel eingelegt, gespült und getrocknet werden.

Der Übertragung durch Aerosole und Tröpfchen ist während der SARS-CoV2-Pandemie großes Augenmerk geschenkt worden und es wurden Empfehlungen auf lokaler bzw. internationaler Ebene<sup>9</sup> erarbeitet, welche Maßnahmen auf organisatorischer und bautechnischer Ebene, Schutzkleidung sowie SARS-CoV2-Screeningtests bzw. Einschränkungen des Leistungsspektrums empfohlen haben. Es wurden für die einzelnen Funktionsdiagnostik-Test individuelle Empfehlungen abgegeben, abhängig von den technischen Möglichkeiten und dem Ausmaß der Aerosolgenerierung. In der Phase der Normalisierung (post-Pandemie) sollen das volle Indikationsspektrum und die Standardabläufe der Lungenfunktionsdiagnostik wieder hergestellt werden.

## 3.3 Messung – Rahmenbedingungen

Für einen optimalen Ablauf der Untersuchung sind Rahmenbedingungen erforderlich, die je nach Aufgabenbereich auch unterschiedlich sein können. Sie kann mit einer spezifisch pulmonologischen Fragestellung in einem eigenen Lungenfunktionslabor (meist im Rahmen der Bodyplethysmographie, z. B. in Krankenanstalten) durchgeführt werden oder z. B. auch mittels eines kompakten Handspirometers in der Vorsorgemedizin beim\*bei der Allgemeinmediziner\*in erfolgen. Sollen primär Kinder untersucht werden, sollte die Durchführung diesen Rahmenbedingungen angepasst sein (siehe Kapitel 5.2). In jedem Fall ist auf ausreichend Raum und Zeit zu achten.

### 3.3.1 Vorinformationen für den\*die Patient\*in

Bei der Vereinbarung des Lungenfunktionstermins sollten der zu untersuchenden Person bereits Informationen zur Einnahme der inhalativen Medikamente mitgegeben werden (pausieren oder weiterhin einnehmen, siehe Kapitel 3.4.4).

Weiters sollte mindestens 1 Stunde (besser 24 Stunden) vor der Untersuchung und auch zwischen der Erstmessung und einer gegebenenfalls notwendigen Wiederholung nach Bronchospasmyse die Person nicht rauchen und auch keinen anderen inhalativen Noxen ausgesetzt sein. Das Tragen beengender Kleidungsstücke und die vorangehende Einnahme üppiger Mahlzeiten (ca. 2 h) sind ebenfalls zu vermeiden. 10 bis 30 Minuten vor der Messung sollte keine stärkere körperliche Belastung stattfinden.

## 3.4 Untersuchungsablauf

### 3.4.1 Patientenvorbereitung

Vor der Durchführung der Spirometrie erfolgt eine Aufklärung über Ziel und Natur der Untersuchung. Es werden Anamnese (mögliche Kontraindikationen, Raucherstatus), die aktuelle Befindlichkeit und die Einnahme der letzten inhalativen Medikation (Zeitpunkt, Typ und Dosis; Dokumentation als technischer Kommentar im Befund) erfragt.

Weiters werden die Parameter, die für die Berechnung der Referenzwerte erforderlich sind, erhoben: Alter und Größe (gemessen mittels Standardmethode im Stehen, am besten ohne Schuhe). Wenn eine Messung nicht möglich ist, kann sie über die Armspannweite abgeschätzt werden: z. B. bei Skoliose oder Rollstuhlfahrer\*innen. Zusätzlich sollte auch das Gewicht erfasst werden (zur Berechnung von Body Mass Index bzw. Körperoberfläche notwendig). Datum und Uhrzeit der Untersuchung werden ebenfalls dokumentiert.

Der\*die Proband\*in sollte beengende Kleidungsstücke ablegen bzw. öffnen, locker sitzender Zahnersatz (Zahnprothesen) ist zu entfernen. Die Durchführung der Spirometrie erfolgt im Sitzen. Dies hat zwei Gründe: einerseits einen Sicherheitsaspekt (z. B. falls der\*die Proband\*in im Rahmen der Spirometrie schwindlig oder ohnmächtig wird) und andererseits die Standardisierung der Untersuchung (die empfohlenen Referenzwerte sind im Sitzen erhoben).

Vor der Untersuchung sollte der\*die Patient\*in folgende Aktivitäten vermeiden:

- Rauchen, Vaping, Wasserpfeife eine Stunde vor der Untersuchung (Vermeidung einer akuten Bronchokonstriktion)
- Konsum von Rauschmitteln acht Stunden vor der Untersuchung (Vermeidung von Einschränkungen in der Koordination, Verständnis und körperlicher Motorik)
- Starke körperliche Aktivität eine Stunde vor der Untersuchung (Vermeidung einer exercise-induced Bronchokonstriktion)

**Tabelle 5:** Aktivitäten, die vor einer Lungenfunktion vermieden werden sollen (nach ERS/ATS 2019<sup>1</sup>).

### 3.4.2 Atemmanöver – Messungen

Bei der Messung selbst ist auf die verlässliche Verwendung einer Nasenklemme zu achten. Weiters wird die Verwendung eines Bakterienfilters zwischen Mundstück und Sensor empfohlen.

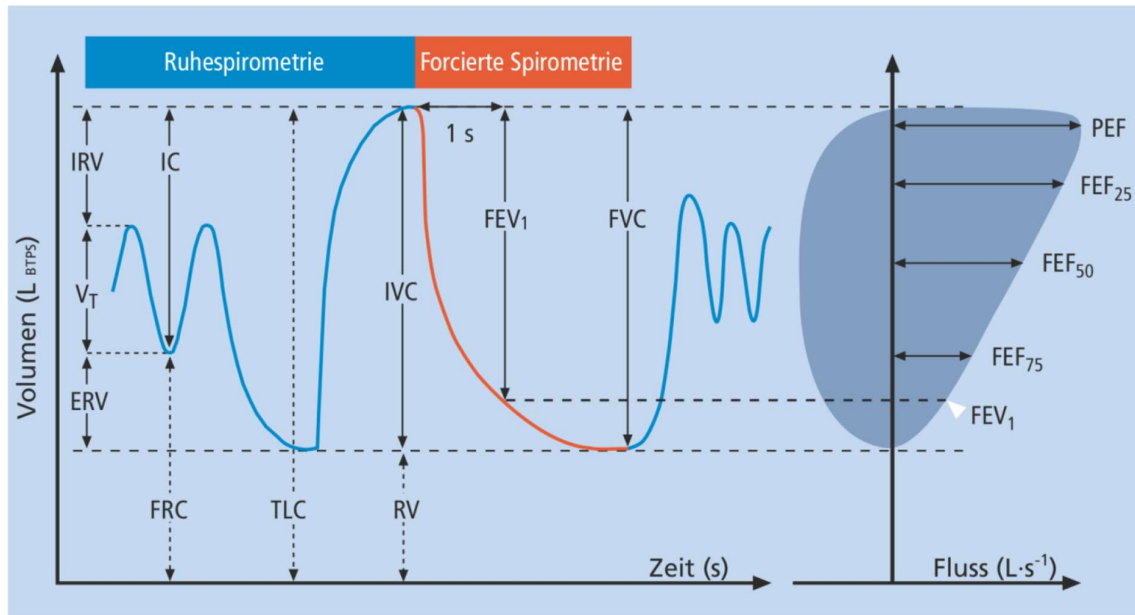
Das Mundstück muss mit den Lippen fest umschlossen werden können. Es ist erforderlich, dass der\*die Untersuchende den Untersuchungsvorgang erklärt und gegebenenfalls auch demonstriert. Der\*die Untersuchende soll so positioniert sein, dass er sowohl den\*die Patient\*in als auch das Display des Gerätes sehen kann.

Das Atemmanöver selbst gliedert sich in zwei Teile: die Erfassung der „Ruheatmung“ (Vt und die Erfassung der maximalen Atmung (VC). Beide Teile sollten in der Fluss-Volumen-Kurve abgebildet sein. Die Ruheatmung soll für einige Zyklen erfasst werden (reproduzierbar/stabil), bevor mit der Erfassung der maximalen Messwerte begonnen werden kann. Eine stabile Ruheatmung ist insbesondere für die Bestimmung des ERV essenziell (wichtig bei der Bodyplethysmographie).

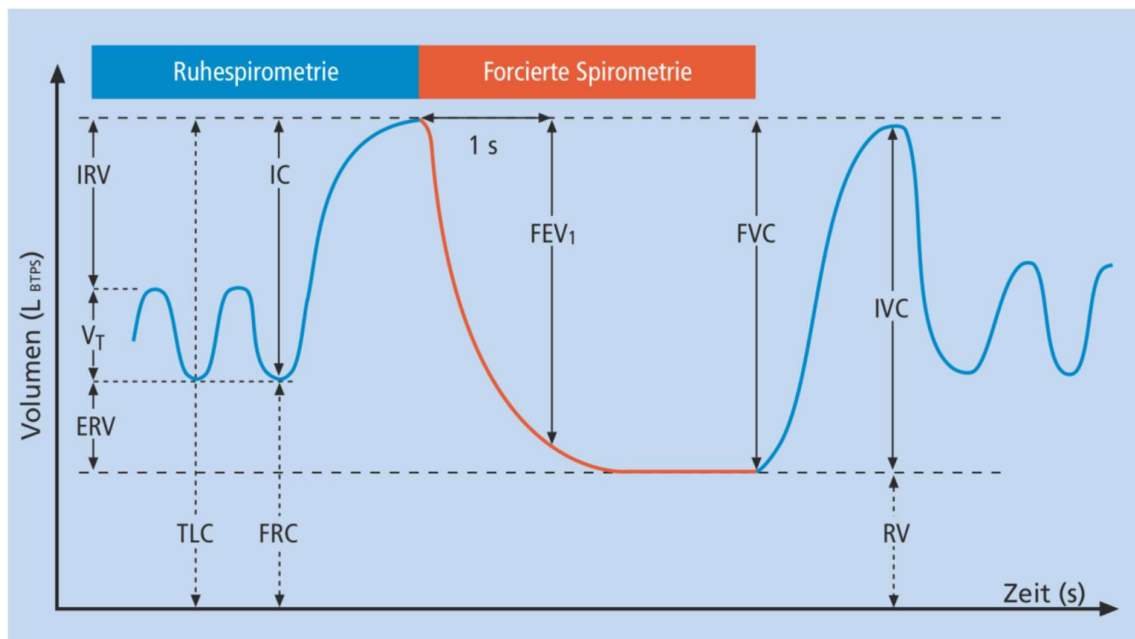
Für die eigentliche Messung (2. Teil) wird zuerst eine langsame und vollständige Expiration durchgeführt. Daran schließt eine langsame, maximale Inspiration an, womit das **IVC-Manöver** komplett ist.

Zur Durchführung der forcierten Expiration (für die Parameter FEV1 und FVC) ist vorweg eine maximale Inspiration erforderlich. Diese kann sowohl durch das oben beschriebene IVC-Manöver (siehe **Abbildung 3**) oder ausgehend von der Atemmittellage (siehe **Abbildung 4**) erzielt werden. Nach maximaler Inspiration soll jedenfalls mit minimaler Verzögerung oder Anhaltezeit (maximal

2 Sekunden) so schnell und so fest wie möglich vollständig ausatmet werden. Dabei sind der schnelle Beginn, die maximale Anstrengung und die Vollständigkeit von eminenter Bedeutung. Das Prinzip lautet: **so schnell, so stark/kräftig und so lang wie möglich ausatmen**. Die forcierte Ausatmung soll dabei bis zu einem sichtbaren Plateau der Ausatemkurve (Änderung von max. 25 mL in der letzten Sekunde) oder bis eine forcierte Ausatemzeit (Forced Expiratory Time, FET) von 15 Sekunden erreicht ist, durchgeführt werden (siehe auch Kapitel 3.5.1.)



**Abbildung 3:** Standardmanöver: Abfolge mit Bestimmung der inspiratorischen Vitalkapazität (IVC) **vor** der forcierten Spirometrie (Quelle: Deutsche Atemwegsliga, Leitlinie zur Spirometrie<sup>10</sup>)

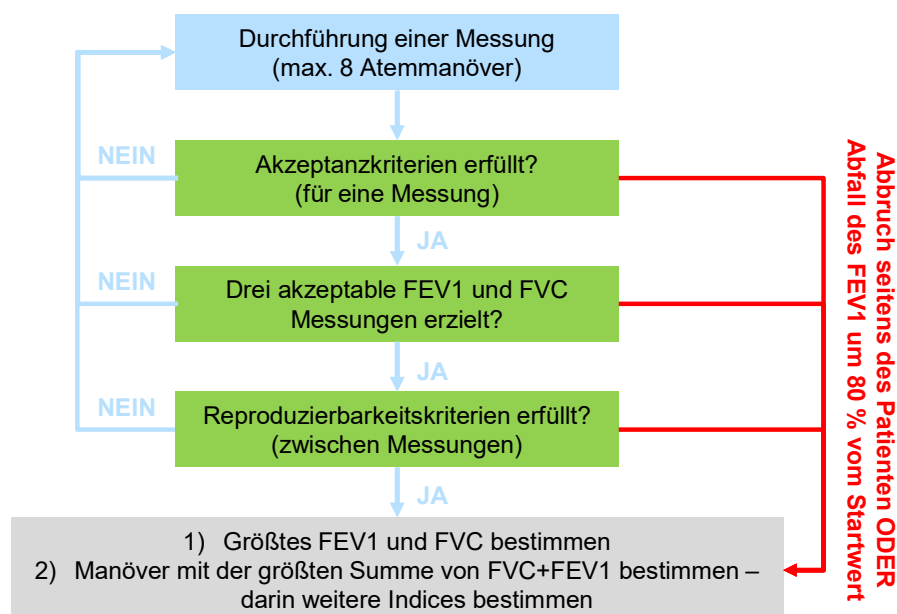


**Abbildung 4:** Alternatives Manöver: Ablauf bei eingeschränkter Kooperationsfähigkeit (Kinder, Schwerkranke) mit Bestimmung der IVC **nach** der forcierten Spirometrie (Quelle: Deutsche Atemwegsliga, Leitlinie zur Spirometrie<sup>10</sup>)

In den rezenten ERS/ATS Empfehlungen<sup>1</sup> wird das zuvor als alternatives Manöver (**Abbildung 4**) bezeichnete präferiert und als neues Standardmanöver empfohlen. Dieser Empfehlung schließen wir uns aus folgenden Gründen nicht an:

- Im deutschsprachigen Raum ist die Bodyplethysmographie in pneumologischen Funktionslabors eine Standarduntersuchung. Hier ist die Durchführung des gelinkten Manövers zur Bestimmung des ERV essenziell (zuerst Expiration mit Inspiration, gefolgt von dem forcierten Manöver). Somit sollte auch bei der Spirometrie ein gleichartiges Manöver durchgeführt werden.
- Bei Patient\*innen mit obstruktiven Lungenerkrankungen kann ein forciertes Manöver eine Überblähung induzieren und zu einer Reduktion der Vitalkapazität führen. Hieraus ergibt sich, dass die Durchführung der Messung der IVC (bzw. VCmax) vor einem forcierten Manöver zu präferieren ist.

Es sollten mindestens 3 Messungen (Atemmanöver) durchgeführt werden. Bei kleinen Kindern unter 6 Jahren können auch weniger Versuche durchgeführt werden, um die Motivation und Mitarbeit auch für zukünftige Messungen zu erhalten<sup>11</sup>. Nach jedem Manöver werden die Akzeptanzkriterien überprüft und die Messung bzgl. der Akzeptanz beurteilt (siehe Kapitel 3.5.1). Nach drei akzeptablen Messungen werden die Reproduzierbarkeitskriterien überprüft (siehe Kapitel 3.5.2); sind jene nicht erfüllt, wird eine weitere Messung durchgeführt (Vorgehen siehe **Abbildung 5**). Können die Akzeptanz- und Reproduzierbarkeitskriterien nicht erfüllt werden, sollte nach üblicherweise 8 Messungen die Untersuchung beendet und dies im technischen Kommentar angeführt werden (siehe Kapitel 4.14.5). Bei Kindern kann es auch nötig sein, mehr als acht Versuche durchzuführen, da einzelne (Übungs-)Versuche kein volles Manöver sind (man sollte allerdings darauf achten, Kinder nicht für zukünftige Untersuchungen zu entmutigen). Ist dem\*der Patient\*in eine weitere Messung nicht zuzumuten (z. B. starker Husten, Erschöpfung), kann die Messung auch vorzeitig abgebrochen werden. Wenn im Verlauf der wiederholten Messungen das FEV<sub>1</sub> im Vergleich zum Startwert um mehr als 80 % abfällt, sollte im Sinne der Sicherheit des\*der Patient\*in die Untersuchung ebenfalls abgebrochen werden. Moderne Geräte bieten Animationen/Videos an (die während des forcierten expiratorischen Atemmanövers angezeigt werden), um maximale Atemflüsse zu fördern (besonders für Kinder hilfreich).



**Abbildung 5:** Vorgehensweise bezüglich Akzeptanz- und Reproduzierbarkeitskriterien für ein forciertes expiratorisches Manöver (modifiziert nach ERS/ATS<sup>1</sup>), Akzeptanz- und Reproduzierbarkeitskriterien siehe Kapitel 3.5, Selektion der besten Messwerte siehe Kapitel 3.6

Ist die Standard-Messung abgeschlossen, können weitere Manöver oder Messungen durchgeführt werden, wie z. B. ein forciertes inspiratorisches Manöver oder ein Bronchodilatator-Response-Test, siehe folgende Kapitel.

Die einzelnen Schritte der Messung sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

**Hände waschen****Patient\*in vorbereiten**

- Händedesinfektion
- Identität, Alter, Geschlecht (bei Geburt), Ethnie etc. überprüfen
- Größe und Gewicht messen
- Aktivitäten (siehe **Tabelle 5**), Verwendung von Medikation, Kontraindikationen und respiratorische Symptome erfragen

**Test erklären und demonstrieren**

- Position und Mundstück und Nasenclip
- Korrekte Sitzposition mit erhobenem Kopf
- Ruheatmung
- Maximale Ausatmung
- Rasche und maximale Einatmung
- Ausatmung mit maximaler Kraft und komplett
- Vergewissern, ob Patient\*in den Ablauf verstanden hat

**Manöver durchführen**

- Patient\*in korrekte Sitzposition einnehmen lassen
- Nasenclip anbringen, Mundstück fixieren und mit Lippen umschließen
- Ruheatmung
- Maximale Ausatmung
- Rasche und maximale Einatmung (Pause bei  $TLC \leq 2$  s)
- Ausatmung mit maximaler Kraft und bis keine Luft mehr ausgeatmet werden kann
- Wenn notwendig, erneute Erklärungen und Demonstration
- Manöver für mindestens 3 Versuche wiederholen, üblicherweise nicht mehr als 8 Versuche (bei Erwachsenen)
- Reproduzierbarkeit von FVC und FEV1 überprüfen und wenn notwendig erneutes Manöver durchführen

**Tabelle 6:** Schritte bei der Durchführung eines FVC-Manövers (modifiziert nach ERS/ATS 2019<sup>1</sup>).

### 3.4.3 Forciertes inspiratorisches Manöver

Wenn ein forciertes inspiratorisches Manöver gefragt ist, sollte dies am Ende des Standard-Atemmanövers durchgeführt werden (vor dem Bronchodilatator-Response-Test). Wird das Alternative Atemmanöver (siehe **Abbildung 4**) durchgeführt, kann im Anschluss an das forcierte expiratorische Manöver ein forciertes inspiratorisches Manöver durchgeführt werden (Empfehlung nach ERS/ATS<sup>1</sup>).

Zur Durchführung des forcierten inspiratorischen Manövers gibt es keine standardisierten Empfehlungen. Das Manöver wird von maximaler Expiration (RV) bis zur maximalen Inspiration (TLC) durchgeführt. Es sollte unbedingt darauf geachtet werden, dass eine Nasenklemme verwendet wird.

### 3.4.4 Bronchodilatator-Response-Test (BDR-Test)

Im deutschsprachigen Raum ist die gängigste Bezeichnung für diesen Test "Reversibilitätstest" (weitere Begriffe sind Bronchospasmodolysetest, Bronchodilatationstest). Hier möchten wir bewusst eine andere Terminologie einführen, aus Gründen der Klarheit und der Analogie im englisch-

sprachigen Raum. Das Konzept der „reversibility“, welcher ein qualitativer Begriff ist und die Normalisierung der Obstruktion (FEV1/FVC) nach Bronchodilatation bezeichnet, spielt in der Differenzierung von Asthma und COPD eine Rolle. Mit dem Bronchodilatator-Response (BDR)-Test wird eine quantitative Veränderung der Lungenfunktion nach Applikation eines Bronchodilatators definiert. Wir wissen heute, dass hierdurch eine Differenzierung zwischen Asthma und COPD nicht möglich ist. In einer rezenten Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Prävalenz eines positiven BDR-Tests sowohl bei Patient\*innen mit Asthma als auch COPD bei ca. 18 % liegt<sup>12</sup>. Somit möchten wir auch die in Österreich gebräuchlichen Begriffe „teilweise und vollständige Reversibilität“ aufgeben, da hierdurch lediglich ein quantitativer Unterschied impliziert wird, obwohl unterschiedliche Konzepte und Implikationen dahinterstehen.

Liegen Zeichen einer obstruktiven Ventilationsstörung vor, sollte ein BDR-Test durchgeführt werden. Welche Kriterien für die Indikation dieses Testes herangezogen werden sollen, ist nicht klar definiert. Dies hängt auch von der klinischen Fragestellung, der eingenommenen Vortherapie bzw. der Diagnose des\*der Patient\*in ab (Überlegungen hierzu siehe **Tabelle 8**). Sinnvolle lungenfunktionelle Indikatoren für einen BDR-Test sind in **Tabelle 7** angeführt.

Lungenfunktions-Kriterium	Grenzwert
FEV1/FVC	< LLN
FEV1	< LLN
Reff	> ULN
RV/TLC	> ULN

**Tabelle 7:** Sinnvolle Kriterien der Lungenfunktion, die zur Indikationsstellung für einen BDR-Test verwendet werden können („Lyse-Kriterien“).

Klinisches Setting	Kommentar
Diagnose	Die häufigsten Diagnosen, wo ein BDR-Test durchgeführt wird, sind Asthma und COPD. Hier kann auch die Reversibilität (Normalisierung der Obstruktion) eine Hilfe in der Differenzialdiagnostik sein. Bei COPD sind für die Graduierung nach GOLD post-Bronchodilatations-Werte notwendig.
Vortherapie	Wenn ein*e Patient*in bereits die übliche antiobstruktive Therapie eingenommen hat (empfohlene Karenzzeiten nicht eingehalten), gibt es unterschiedliche Zugänge zum Vorgehen. Es kann (a) die Spirometrie durchgeführt werden (diese Messung entspricht dann strenggenommen keiner prä-Bronchodilatations-Messung und sollte im technischen Kommentar angeführt werden) oder (b) es erfolgt zuerst eine max. Bronchodilatation und es wird dann eine standardisierte post-Bronchodilatations-Messung ausgeführt (dies kann z. B. bei COPD-Patient*innen sinnvoll sein).
Häufigkeit	Kommen Patient*innen regelmäßig zur lungenfunktionellen Kontrolle, kann es aus Ressourcengründen praktikabel sein, nicht jedes Mal einen BDR-Test durchzuführen. Allerdings ist es durchaus sinnvoll, den BDR-Test wiederholt durchzuführen, da Studien gezeigt haben, dass für einzelne Patient*innen das BDR-Testergebnis variieren kann.
Wunsch des*der Zuweiser*in	Auch wenn keine klassischen lungenfunktionellen Indikatoren der Obstruktion vorliegen, kann ein BDR-Test auf Wunsch des*der Zuweiser*in in einzelnen Fällen sinnvoll sein, z. B. bei Patient*innen mit bekanntem Asthma.

**Tabelle 8:** Überlegungen zur Indikation eines BDR-Tests in Abhängigkeit vom klinischen Setting

Üblicherweise werden eine prä- und post-Bronchodilatations-Messung durchgeführt, allerdings kann es aus Ressourcengründen in bestimmten Fällen (siehe **Tabelle 8**, z. B. bei COPD oder eingenommener Vortherapie) sinnvoll sein, nur eine post-Bronchodilatations-Messung durchzuführen.

Beim BDR-Test erfolgt die zweite Messung nach der Applikation eines Bronchodilatators. Es sind unterschiedliche Protokolle für die Bronchodilatation in Verwendung, einige Beispiele sind in **Tabelle 9** angeführt. Als standardmäßigen Bronchodilatator-Response-Test empfehlen wir die Applikation von 400 µg Salbutamol (ERS/ATS empfehlen im aktuellen Statement<sup>1</sup> kein Standard-Protokoll mehr).

Methode	Substanz	Dosis	Zeitpunkt der post-Bronchodilatator-Messung
Einfache Akuttastung	Salbutamol Ipratropiumbromid	200 µg 160 µg	10-15 min 30 min
<b>Maximale Akuttastung</b>	<b>Salbutamol</b> Salbutamol + Ipratropiumbromid	<b>400 µg</b> 400 µg + 160 µg	<b>10-15 min</b> 30 min
Langzeit-Testung	Prednisolon oral	20-30 mg/d	7-10 Tage

**Tabelle 9:** Beispiele verschiedener Protokolle für eine Bronchodilatation-Testung (grau: die von der ÖGP empfohlene Variante)

Die Applikation sollte über ein Dosieraerosol mittels Inhalierhilfe erfolgen. Dies gewährleistet eine standardisierte Applikation auch bei Patient\*innen mit einer schweren Atemwegsobstruktion. Aus hygienischer Sicht sollte beachtet werden, dass es zu keiner Kontamination bzw. Übertragung von Keimen zwischen den Patient\*innen kommt. Hierzu kann die strikte Einmalverwendung der Utensilien (Dosieraerosol, Inhalationshilfe) angestrebt werden oder auch aus Sicht der Ressourcenschonung z. B. eine Mehrfachverwendung des Dosieraerosol mit Inhalationshilfen mit Ventilen (Expiration in das Gerät nicht möglich) erfolgen. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass die Bedienung des Dosieraerosols durch das Personal erfolgt. Die Inhalationshilfen müssen nach jede\*r Patient\*in gereinigt/desinfiziert werden.

Beim BDR-Test ist auf die vorausgegangene Karenz von Bronchodilatoren zu achten (siehe **Tabelle 10**). Auch eine Nikotinkarenz von mindestens 1 Stunde sollte eingehalten werden. Der Test kann je nach klinischer Situation auch ohne entsprechende Karenz sinnvoll sein (der Zeitpunkt der letzten Einnahme muss allerdings dokumentiert werden). Für die einzelnen Substanzen sind verschiedene Zeiten der Karenz empfohlen.

Substanzklasse	Zeit der Karenz
SABA (Sultanol, Salbutamol)	4–6 h
SAMA (Ipratropiumbromid)	12 h
LABA (Formoterol, Salmeterol)	24 h
Ultra-LABA (Indacaterol, Vilanterol, Olodaterol)	36 h
LAMA (Tiotropium, Umeclidinium, Aclidinium, Glykopyrronium)	36–48 h

**Tabelle 10:** Empfohlene Dauer der Karenz von Bronchodilatoren vor einem Bronchodilatations-Test<sup>1</sup>.

SABA: short-acting beta agonist, SAMA: short-acting muscarinic antagonist, LABA: long-acting beta agonist, LAMA: long-acting muscarinic antagonist

### 3.4.5 Zeitbedarf

Im Sinne einer guten Qualität der Untersuchung sollte ausreichend Zeit für die Durchführung einer Spirometrie eingeplant werden. Laut der ARTP (Association for Respiratory Technology & Physiology) sollte hierfür wie folgt kalkuliert werden<sup>13</sup>:

- Patientenvorbereitung: 5 min
- Atemmanöver prä-Bronchodilatator-Messung: 10 min
  - o Gerät für den\*die Patient\*in einstellen und Erklärung des Manövers: 2 min
  - o Messung des forcierten Atemmanövers (FEV1, FVC): 2.5 min
  - o Messung der Vitalkapazität (IVC oder EVC): 2.5 min (Dieses Manöver kann üblicherweise mit dem forcierten Manöver kombiniert werden – siehe **Abbildung 3** und **Abbildung 4**.)



- Ein Großteil der Patient\*innen ist nicht in der Lage, die geforderten Qualitätskriterien mit 3 Versuchen zu erreichen, weshalb hierfür weitere 3 Minuten vorgesehen werden.
- Bronchodilatator-Response-Test: 15–17 min (davon 10 min Wartezeit)
  - Erklärung und Durchführung der Inhalation: 1–2 min (metered-dose inhaler, MDI oder MDI+Spacer); 5 min (Vernebler)
  - Wartezeit bis zur erneuten Messung: mind. 10 min
  - Atemmanöver post-Bronchodilatator-Messung: 5 min
- Technischer Report (Zusammenstellung der Messung und technischer Kommentar): 2 min
- Klinischer Report (Befundung und Druck/Übermittlung ins elektronische Krankenhaus-Informationssystem): 2–3 min

Zusammengefasst würde sich hieraus folgender Zeitbedarf ableiten:

- Spirometrie: 17 min (Messung) + 2-3 min (klinischer Befund)
- Spirometrie mit Broncholyse: 23 min (Messung) + 10 min (Wartezeit) + 2–3 min (klinischer Befund)

### 3.5 Qualitätskriterien der Messung (forciertes Manöver)

#### **Fact Box:**

Das forcierte expiratorische Manöver wird anhand von Kriterien zur Akzeptanz, Usability (Verwertbarkeit) und Reproduzierbarkeit bewertet (die meisten Kriterien werden von modernen Geräten automatisch beurteilt – mit „AUT“ im Folgenden gekennzeichnet). Basierend auf dieser Klassifikation erfolgt eine Graduierung der Qualität der Messwerte für FEV1 und FVC.

#### **Kriterien der Akzeptanz bzw. Usability eines Manövers (ERS/ATS 2019):**

##### **1) Obligate Kriterien der Akzeptanz bzw. Usability (obligat)**

- Start of Test-Kriterien (AUT): Rück-extrapoliertes Volumen – **BEV  $\leq$  100 mL** oder  $\leq$  5 % der FVC (je nachdem welcher Wert größer ist)
- Kein Hinweis auf fehlerhaften Null-Abgleich
- Kein Hinweis auf Husten, Abbruch, Leck in der ersten Sekunde der Expiration (für FEV1, für Kinder  $\leq$  6 Jahre zumindest 0.75 s wenn FEV0.75 gemessen wird.
- Kein Hinweis auf Glottis-Schluss in der Ersten Sekunde der Expiration (für FEV1, FVC), für Kinder  $\leq$  6 Jahre zumindest 0.75 s wenn FEV0.75 gemessen wird.

##### **2) Obligate Kriterien der Akzeptanz (obligat)**

- Eines der folgenden End of forced expiration (EOFE)-Kriterien erfüllt (für FVC):
  - Plateau in der Fluss-Volumen-Kurve (Volumen  $\leq$  **25 mL** in der letzten Sekunde der Expiration (AUT)
  - Zeit der Expiration (**FET  $\geq$  15 s** – AUT)
  - FVC ist größer als der zuletzt gemessene Wert oder innerhalb der Reproduzierbarkeits-Toleranz (siehe unten):
    - $>$  6 Jahre: Differenz der zwei größten FVC-Werte  $\leq$  150 mL.
    - $\leq$  6 Jahre: Differenz der zwei größten FVC-Werte  $\leq$  100 mL oder  $\leq$  10 % des höchsten Wertes (größeres Kriterium verwenden)
- Weitere Kriterien siehe **Tabelle 11**

#### **Kriterien der Reproduzierbarkeit (ERS/ATS 2019) – AUT:**

Wenn drei akzeptable Manöver durchgeführt wurden, dann ist das Nachfolgende gefordert:

- $>$  6 Jahre: Differenz der zwei größten FVC-Werte UND FEV1-Werte  $\leq$  150 mL.
- $\leq$  6 Jahre: Differenz der zwei größten FVC-Werte UND FEV1-Werte  $\leq$  100 mL oder  $\leq$  10 % des höchsten Wertes (größeres Kriterium verwenden)



**Fact Box - Fortsetzung:**

Treffen beide Bedingungen zu, so kann der Test beendet werden. Andernfalls sind weitere Manöver durchzuführen (bis zu acht Manöver oder bis der\*die Patient\*in nicht mehr fortsetzen kann/soll). Bei KINDERN kann es auch nötig sein mehr als acht Versuche durchzuführen, da einzelne Versuche kein volles Manöver sind (man sollte allerdings darauf achten, Kinder nicht für zukünftige Untersuchungen zu entmutigen).

**Graduierung der Qualität der Messwerte für FEV1 und FVC (ERS/ATS 2019) - AUT:**

Akzeptable Ergebnisse/Messwerte erhalten ein Grading von A bis E (siehe **Tabelle 12**)

Noch verwendbare Werte (zumindest 1x usable) erhalten das Grading U

Werte, die nicht mehr interpretiert werden sollen, erhalten das Grading F

Im Idealfall erfolgt die Selektion der Messwerte für ein forciertes expiratorisches Manöver in drei Schritten (siehe auch **Abbildung 5**):

- Überprüfung der Akzeptanz- bzw. Usability-Kriterien einer Messung (siehe Kapitel 3.5.1)
- Überprüfung der Reproduzierbarkeit von mind. 3 akzeptablen Messungen (siehe Kapitel 3.5.2)
- Bestimmung der besten Messung und Selektion der einzelnen Messwerte (siehe Kapitel 3.6) und Darstellung der Fluss-Volumen-Grafik (siehe Kapitel 3.7)

Spezifische Empfehlungen für Akzeptierbarkeits-, Usability- und Reproduzierbarkeitskriterien für ein forciertes inspiratorisches Manöver sind in der Literatur nicht beschrieben.

### 3.5.1 Akzeptanz- und Usability-Kriterien

Die Überprüfung der technischen Qualität eines **FVC-Manövers** orientiert sich nicht ausschließlich an zahlenmäßigen Kriterien, sondern auch an der exakten Beobachtung während der Messung und an der visuellen Beurteilung des Kurvenbildes. Dies muss das Vorliegen von offensichtlichen Fehlern ausschließen bzw. unwahrscheinlich erscheinen lassen und eine einwandfreie Mitarbeit bestätigen. Die Kriterien für den Start (Start-of-Test) und Ende des Manövers (EOFE) sind wie folgt definiert:

- An eine maximale Inspiration schließt ohne Verzögerung (max. 2 Sekunden) das **forcierte Expirationsmanöver** an, welches einerseits schnell beginnen und mit maximaler Anstrengung erfolgen soll und andererseits vollständig ausgeführt werden muss. Mittels linearer **Extrapolation** des steilsten Stückes der Volumen-Zeit-Kurve ( $dV/dt$ ) wird der exakte Startpunkt bestimmt, der für das FEV1 gilt. Das dabei entstehende Extrapolationsvolumen (back extrapolated volume, **BEV**) darf maximal 5 % der FVC betragen (oder  $\leq 100$  mL, je nachdem welcher Wert größer ist). Nur bei Erfüllung dieses Kriteriums ist der Beginn des Manövers akzeptierbar. Dies spiegelt sich in einem steilen Anstieg der Fluss-Volumen-Kurve in der Expiration wider.
- Das Manöver kann als beendet angesehen werden, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt ist: (a) die Volumenänderung in der letzten Sekunde des forcierten expiratorischen Manövers maximal 25 mL beträgt (end of test volume, **EOTV**), (b) die Expiration mindestens 15 Sekunden durchgehalten wurde (forced expiratory time, **FET**) oder (c) die FVC-Werte innerhalb der Reproduzierbarkeits-Toleranz liegen oder der aktuell gemessene FVC-Wert größer als der zuletzt gemessene Wert ist. Die Kriterien des adäquaten Beginns und Endes des Manövers werden von modernen Geräten automatisch kontrolliert und angezeigt.

Sämtliche Kriterien und die genaue Definition für die Akzeptanz und Usability sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Kriterium	Akzeptanz (acceptability)		Verwertbarkeit (usability)	
	FEV1	FVC	FEV1	FVC
BEV $\leq$ 100 mL oder $\leq$ 5 % der FVC (je nachdem welcher Wert größer ist)	Ja	ja	ja	Ja
Kein Hinweis auf fehlerhaften Null-Abgleich	Ja	ja	ja	Ja
Kein Hinweis auf Husten in der ersten Sekunde der Expiration	Ja	nein	ja	nein
Kein Hinweis Glottis-Verschluss in der ersten Sekunde der Expiration	Ja	ja	ja	ja
Kein Hinweis Glottis-Verschluss nach der ersten Sekunde der Expiration	nein	ja	nein	nein
Einer von 3 EOFE-Kriterien erfüllt: - EOTV $\leq$ 25 mL - FET $\geq$ 15 Sekunden - FVC innerhalb Reproduzierbarkeits-Toleranz oder größer als letzter Messwert.	nein	ja	nein	nein
Kein Hinweis auf obstruiertes Mundstück oder Spirometer	Ja	ja	nein	nein
Kein Hinweis auf Leak	ja	ja	nein	nein
Wenn max. Inspiration after EOFE größer als FVC, FIVC-FVC $\leq$ 100 mL oder 5 % von FVC (welcher Wert größer ist)	ja	ja	nein	nein

**Tabelle 11:** Übersicht zu den Akzeptanz- und Usability-Kriterien für FEV1 und FVC<sup>1</sup>

### 3.5.2 Reproduzierbarkeit

Die Reproduzierbarkeit kann als verlässlicher Beweis für eine maximale Anstrengung angesehen werden. Für die Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse für FVC und FEV1 müssen zumindest drei akzeptierbare Manöver vorliegen. Der jeweils beste Wert kann als reproduzierbares und interpretierbares Endergebnis festgelegt werden, wenn er nicht um mehr als **150 mL** größer ist als der zweitbeste Wert. Das beste FEV1 und die beste FVC können bzw. dürfen durchaus aus verschiedenen Manövern herangezogen werden. Die Reproduzierbarkeit wird von modernen Geräten automatisch kontrolliert und angezeigt. Für Kinder bis 6 Jahre gilt als Kriterium eine max. Differenz von 100 mL bzw. 10 % (je nachdem welcher Wert größer ist).

Ist die Differenz zwischen den Messwerten größer als oben angegeben, so können bis zu acht Messwiederholungen gemacht (siehe **Abbildung 5**) und anschließend der beste dabei aufgezeichnete Wert als Endergebnis angegeben werden.

Wiederholte forcierte Manöver können (im Sinne eines „Spirometrie-Asthma“) eine bronchiale Obstruktion hervorrufen und zu einer kontinuierlichen Verschlechterung der Messergebnisse führen. Ähnliches ist zum Beispiel auch bei Myasthenie möglich. Solche Erscheinungen sollten jedenfalls am Befund dokumentiert werden (technischer Kommentar).

### 3.5.3 Graduierung der Qualität der Messwerte FEV1 und FVC

Die Ergebnisse der Spirometrie sind stark von der Kooperation des\*der Patient\*in abhängig. Technische Standards sollen helfen möglichst gute Messwerte für eine\*n Patient\*in zu erzielen. Basierend auf den obigen Kriterien für die Akzeptanz, Usability und der Reproduzierbarkeit wird die Qualität der Messwerte bewertet. Es gibt die Kategorien akzeptabel (Graduierung A–F), verwendbar/usable (Graduierung U) und nicht verwendbar (Graduierung F), die Parameter FEV1 und FVC werden separat graduiert. Die Graduierung soll dem\*der Befundenden über das Level der Verlässlichkeit/Qualität der Messwerte, die für diese\*n Patient\*in zur Zeit der Messung erzielt werden konnte, informieren.

Manchen Patient\*innen wird es nicht möglich sein die Kriterien der Akzeptanz und Reproduzierbarkeit für Grad A zu erreichen, trotzdem können die Ergebnisse klinisch relevant sein. Das Ziel jeder Messung muss allerdings sein, die bestmögliche Qualität für den\*die Patient\*in zu erreichen. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zum Graduierungssystem. Die Graduierung sollte im technischen Kommentar des Befundes angeführt werden (siehe Kapitel 4.14.5).

Graduierung	Anzahl der Messungen	Reproduzierbarkeit > 6 Jahre	Reproduzierbarkeit ≤ 6 Jahre
A	≥ 3 akzeptable	≤ 150 mL	≤ 100 mL
B	2 akzeptable	≤ 150 mL	≤ 100 mL
C	≥ 2 akzeptable	≤ 200 mL	≤ 150 mL
D	≥ 2 akzeptable	≤ 250 mL	≤ 200 mL
E	≥ 2 akzeptable ODER 1 akzeptable	> 250 mL nicht anwendbar	> 200 mL nicht anwendbar
U	0 akzeptable UND 1 verwendbare	nicht anwendbar	nicht anwendbar
F	0 akzeptable bzw. verwendbare	nicht anwendbar	nicht anwendbar

**Tabelle 12:** Graduierung der Qualität der Messwerte FEV1 und FVC (\* oder 10 % des besten Wertes, je nachdem welches Kriterium größer ist)

### 3.6 Selektion der Messwerte

Seit Jahrzehnten hat sich eingebürgert, die Messwerte aus den akzeptablen Messungen (mindestens drei) auszuwählen. Hierzu wird folgende Vorgangsweise empfohlen:

**IVC, FVC und FEV1:** Bestwert aus allen akzeptablen Manövern (kann auch aus unterschiedlichen Messungen sein)

**PEF, FEF25, FEF50, FEF75 und FEF25–75:** Werte aus der besten Fluss-Volumen-Kurve (jene mit der größten Summe aus FEV1 und FVC), dies entspricht auch dem Selektionskriterium für die Fluss-Volumen-Grafik (siehe Kapitel 3.7)

In mancher Software können auch andere Selektionskriterien definiert werden, welche wir allerdings nicht empfehlen.

Für die Selektion der inspiratorischen Parameter existiert keine Vorgabe. Wir empfehlen ein analoges Vorgehen wie beim expiratorischen Manöver:

**FIV1 (inspiratorische Einsekundenkapazität):** Bestwert aus allen „akzeptablen“ Manövern (kann auch aus unterschiedlichen Messungen sein)

**PIF, FIF50:** Werte aus der besten Fluss-Volumen-Kurve (jene mit der größten Summe aus FIV1 und FVCin)

### 3.7 Grafiken

Ein Befund der Spirometrie ist inkomplett, wenn er nicht zumindest über eine Fluss-Volumen-Kurve verfügt. Ebenso sollte eine Volumen-Zeit-Kurve (für das forcierte expiratorische Manöver) dargestellt werden. Prinzipiell soll die Grafik auch eine manuelle Bestimmung der Messwerte erlauben.

Für Auswahl und Zusammensetzung der inspiratorischen und expiratorischen Teile der **Fluss-Volumen-Kurve** gibt es zwei Methoden (kann bei den meisten Geräten in den Einstellungen spezifiziert werden). Für den expiratorischen Teil wird stets das beste forcierte Manöver (Summe aus FEV1 + FVC am größten, siehe auch Kapitel 3.6), für den inspiratorischen Teil kann

- entweder der inspiratorische Teil des besten forcierten expiratorischen Manövers verwendet werden oder
- die beste inspiratorische Kurve (größte Summe von FVCin + FIV1 aus dem gleichen oder einem anderen Manöver entnommen werden (**empfohlene Methode**)).

Neben der Fluss-Volumen-Kurve zwischen maximaler Expiration und Inspiration sollte auch jene für die Ruheatmung ausgegeben werden (siehe Kapitel 4.14.2).

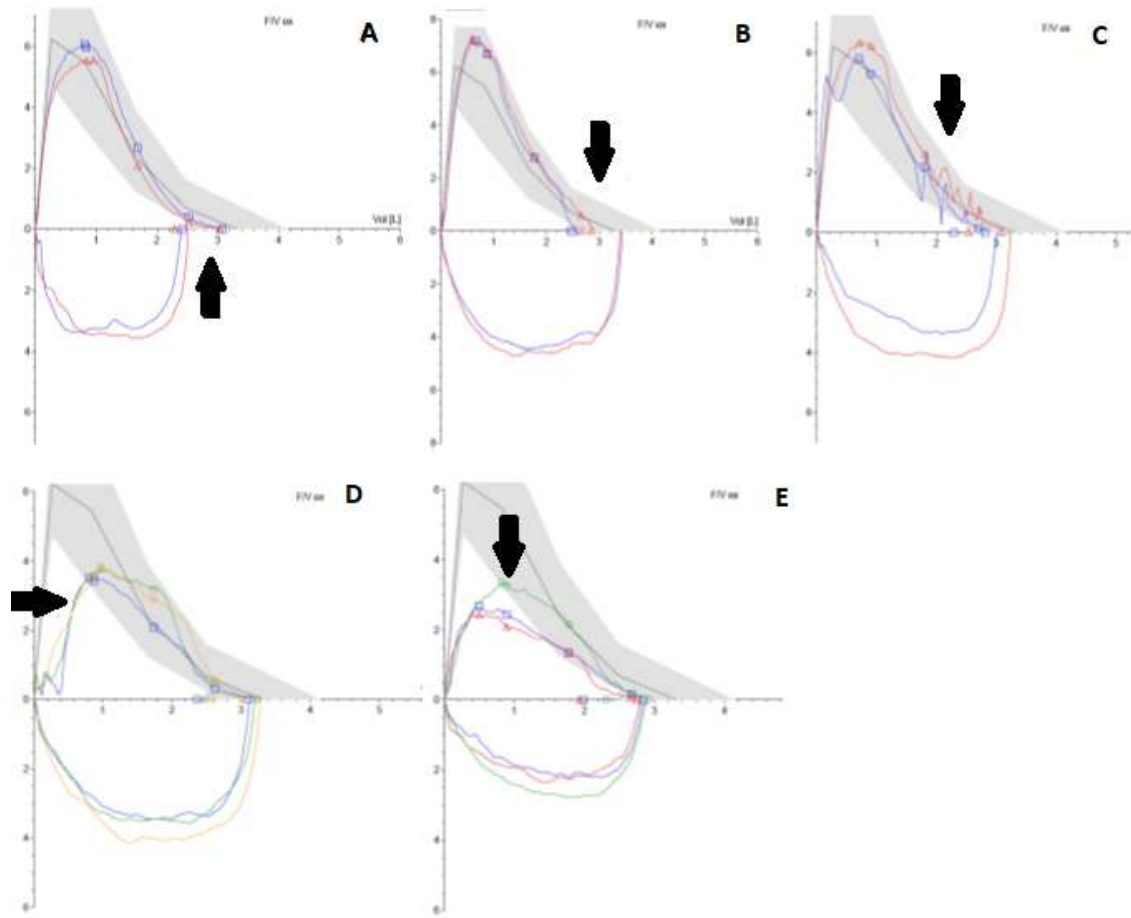
Die Methode der sogenannten „Hüllkurve“ (envelope method) wird nicht empfohlen. Hierbei werden aus mehreren Versuchen die Fluss-Volumen-Kurven übereinandergelegt und eine hypothetische Maximalkurve konstruiert. Aus jener können dann auch Maximalflüsse abgelesen werden. Diese Maximalkurve ist fiktiv und wurde nie real geatmet und ist deshalb problematisch. Allerdings kann es z. B. bei Kleinkindern eine Möglichkeit sein, um überhaupt verwertbare Ergebnisse zu erhalten.

Die Grafik für die **Volumen-Zeit-Kurve** wird für das beste forcierte expiratorische Manöver dargestellt.

### 3.8 Häufige und vermeidbare Fehlerquellen

Bei der Durchführung der Messung kann es zu verschiedenen Fehlern kommen, auf die während der Durchführung der Messung geachtet werden soll. Meist sind diese Fehler auch anhand der Fluss-Volumen-Kurven zu erkennen. Im Folgenden einige Beispiele (siehe **Abbildung 6**):

- Inkomplette Inspiration:**
  - Fehlerzeichen: Der inspiratorische Teil der Fluss-Volumenkurve zeigt ein geringeres Volumen als der expiratorische Teil (die Fluss-Volumen-Kurven sind nicht geschlossen).
  - Maßnahme: Patient\*in bitten, vor der Inspiration maximal auszuatmen und vollständig einzuatmen
- Leck zwischen Lippen und Mundstück oder unvollständige Ausatmung:**
  - Fehlerzeichen: Der expiratorische Teil der Fluss-Volumenkurve zeigt ein geringeres Volumen als der inspiratorische Teil (die Fluss-Volumen-Kurven sind nicht geschlossen).
  - Maßnahme: Patient\*in bitten, das Mundstück fest zu umschließen (Lippen und Zähne) bzw. so lange wie möglich auszuatmen
- Husten während der Ausatmung:**
  - Fehlerzeichen: gezackte Kurve
  - Maßnahme: Patient\*in eventuell vorher abhusten lassen
- Langsamer Beginn der forcierten Expiration:**
  - Fehlerzeichen (Pfeil): kein steiler Anstieg
  - Maßnahme: Patient\*in bitten, schlagartig so schnell wie möglich auszuatmen
- Forcierte Expiration nicht maximal (mangelnde Anstrengung):**
  - Fehlerzeichen (Pfeil): abgerundete obere Spitze
  - Maßnahme: Patient\*in bitten, so kräftig wie möglich auszuatmen



**Abbildung 6:** Beispiele für Fehlerzeichen in den Fluss-Volumen-Kurven (A-E, Beschreibung siehe Text).

## 4 Wie wird beurteilt?

Mittels Spirometrie können unterschiedliche Ventilationsstörungen klassifiziert und quantifiziert werden. Die Beurteilung erfolgt anhand der grafischen Darstellung der Fluss-Volumen-Kurven und der Messwerte im Vergleich zu individuellen Referenzwerten.

Spirometrie ist immer in Anbetracht der Anamnese, Klinik (z. B. Asthma oder COPD) und weiteren Befunden zu bewerten, was stets durch den\*die betreuende\*n Ärzt\*in erfolgt. Die formale Befundung der Lungenfunktion erfolgt anhand der Messwerte und standardisierter Algorithmen, unabhängig von der klinischen Information. Dieses Kapitel widmet sich der formalen Befundung der Spirometrie.

Die Durchführung der Spirometrie soll prinzipiell nach den von der ERS und ATS empfohlenen<sup>1</sup> Qualitätsstandards durchgeführt werden. Dies inkludiert generell zwei Aspekte:

- Qualitätsanforderungen an die technische Ausrüstung (Spirometer, Hygiene, Kalibrierung, etc.) Jene sollen bereits bei der Anschaffung des Spirometers berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.1.1).
- Qualitätsanforderung an die Messung (patientenabhängig, siehe Kapitel 3.5).

Die Qualitätsanforderungen an die technische Ausrüstung müssen stets eingehalten werden und Untersuchungen, die aufgrund gerätetechnischer Probleme mangelhaft sind, sollten nicht interpretiert und freigegeben werden.

Die Qualitätsanforderungen an die Messung selbst sind mannigfaltig (Akzeptierbarkeit, Usability und Reproduzierbarkeit, siehe Kapitel 3.5) und können in einigen Situationen (besonders bei schwerkranken Patient\*innen) nicht vollständig erfüllt werden. Dies bedeutet allerdings nicht, dass solche Untersuchungen nicht dazu verwendet werden können, um klinische Fragestellungen zu beantworten (z. B. präoperative Lungenfunktion eines\*r im Bett liegenden Patient\*in). Allerdings muss die eingeschränkte Qualität der Untersuchung am Befund angeführt werden. Somit sollte jeder spirometrische Befund (neben den Fluss-Volumen-Kurven und den Messwerten) aus zwei Teilen bestehen:

- Technischer Kommentar: Informationen zur technischen Qualität der Messung und Mitarbeit des\*der Patient\*in, verfasst von der Person, die die Messung durchführt, neben Informationen zur Prämedikation
- Interpretation der Spirometrie

Diese Empfehlung enthält einen Leitfaden für die standardisierte Befunddarstellung und Interpretation einer Spirometrie. Heutzutage erfolgt die Befundung oft an einem Computer (EDV-gestützt) und für die Interpretation sollten dem\*der Befundenden nicht nur die Fluss-Volumen-Kurven, einzelne Mess- und Sollwerte und der technische Kommentar, sondern auch voller Zugang zu den einzelnen Messkurven zur Verfügung stehen.

### 4.1 Beurteilbarkeit und Plausibilität der Untersuchung

**Fact Box:**

Vor der Interpretation der Spirometrie sollte ein kurzer Qualitätscheck der Spirometrie durchgeführt werden – dies betrifft im Wesentlichen zwei Aspekte:

- Anhand der Form der Fluss-Volumen-Kurven
- Plausibilität der Normwerte (korrekte Angabe von Geschlecht, Alter, Größe)

Die Beurteilbarkeit und Qualität der Untersuchung wird im Wesentlichen während der Messung beurteilt und berücksichtigt die Mitarbeit des\*der Patient\*in und die technische Qualität (siehe Kapitel 4.14.5). Trotzdem sollten zur Bewertung der Beurteilbarkeit und Qualität der Untersuchung neben diesen Aspekten bei der Befundung der Messwerte auch noch auf folgende Kriterien bzw. Artefakte geachtet werden:

- Plausibilität der Normwerte (korrekte Angabe von Geschlecht, Alter, Größe)
- Fehlerzeichen in der Fluss-Volumen-Kurve (siehe Kapitel 3.8). Ursache von Artefakten sind z. B. Husten, unterschiedliche Anstrengung, vorzeitige Beendigung der Expiration, Zögern beim Start des forcierten expiratorischen Manövers, mangelnde Mitarbeit.
- Schlüssige Lage der Fluss-Volumen-Kurve in Ruhe im Vergleich zum forcierten Expirationsmanöver: Ursache einer solchen Fehllage kann z. B. ebenfalls eine inkorrekte Abfolge von Expiration-Inspiration und forciertem Manöver oder eine unphysiologische inspiratorisch verschobene Atemmittellage bei flacher Hyperventilation in Ruhe sein.
- Niedriger (und flacher) PEF: Ursache kann eine geringe Anstrengung beim forcierten Manöver sein (mangelnde Mitarbeit).
- Inspiratorischer und expiratorischer Teil der Fluss-Volumen-Kurven sollten geschlossen sein (siehe Kapitel 3.8). Ursachen für offene Kurven sind vielfältig, wie z. B. unvollständige Ausatmung beim forcierten expiratorischen Manöver, unvollständige Einatmung vor dem forcierten Manöver, keine vollständige Expiration vor dem IVC-Manöver, oder die Software erkennt das IVC-Manöver nicht korrekt.
- Punkte, die im Rahmen der Akzeptierbarkeit der Messung bereits überprüft werden sollten (siehe Kapitel 3.5.1):
  - o Ausreichende Dauer bzw. erreichtes Plateau bei der forcierten Expiration (falls auch die expiratorische Volumen-Zeit-Kurve des forcierten Manövers abgebildet wird)
  - o Flacher und verzögerter Anstieg: Ursache ist ein zögerlicher Start der Ausatmung.

Erfolgt die Befundung im Rahmen der Lungenfunktionssoftware, kann bei inkonklusiven Messwerten die Betrachtung der Einzelmessungen und Volumen-Zeit-Kurven einen zusätzlichen Informationsgewinn erbringen.

## 4.2 Referenzwerte

### Fact Box:

- Normalkollektiv: Verwendung der GLI-2012-Referenzwerte (für die Parameter FVC, FEV1, FE1/FVC, FEF75, FEF25–75), ansonsten (für die Parameter IVC, PEF, FEF50 und FEF25) EKGS 1993 (für Erwachsene) oder Zapletal 1987 (für Kinder) – siehe Kapitel 5.1
- Vergleichsmethode: Der Bezug der Messwerte auf die Referenzwerte soll in % des Referenzwertes (%Soll) UND mittels z-Score bzw. z-Score-Grafik erfolgen.

Die Bewertung einer spirometrischen Messung kann im Verlauf einer Erkrankung eines\* bestimmten Patient\*in (intraindividuell, siehe Kapitel 4.14.7) und als Querschnittsbeobachtung mit einer einmaligen Messung und Vergleich mit dem Normalkollektiv (interindividueller Vergleich) erfolgen. Beim Vergleich mit dem Normalkollektiv sind zwei Dinge zu berücksichtigen:

- Das Normalkollektiv soll auf einer repräsentativen Stichprobe mit großer Fallzahl beruhen.
- Die statistische Vergleichsmethode soll in Bezug auf das Normalkollektiv sowohl Aussagen zum Mittelwert als auch zur Streuung des Parameters ermöglichen.

### 4.2.1 Normalkollektiv

Im Gegensatz zu den meisten biologischen Indices ist die Lungenfunktion stark abhängig von Alter, Größe, Geschlecht und Ethnie. Die Variabilität bezieht sich nicht nur auf den Mittelwert des Index, sondern auch auf die Streuung. Daraus ergibt sich, dass ein Normkollektiv für die Spirometrie sowohl bzgl. der repräsentativen und umfassenden Stichprobe als auch biostatistisch gut definiert werden muss. Die in Österreich bisher verwendeten Normalwerte wurden in den 1980er Jahren in Österreich an ca. 22.000 Proband\*innen, jeweils gleich verteilt in den vier Gruppen Mädchen (5–15), Frauen (16–90), Knaben (5–17) und Männer (18–90) erhoben<sup>14</sup>.

Die Referenzgleichungen sind nicht für den gesamten Altersbereich gültig und eine Validierung des LLN- und ULN-Modells ist nicht erfolgt. Weiters werden in den über 30 Jahre alten Daten Veränderungen in der Methodik der Spirometrie und Veränderung der Lungenfunktion über Geburtskohorten nicht berücksichtigt. Die Global Lung Initiative (GLI) ist ein Netzwerk, das von sechs internationalen pneumologischen Fachgesellschaften unterstützt wird und sich zum Ziel gesetzt hat, Daten von gesunden Nichtraucher\*innen zu sammeln, die möglichst viele ethnische Gruppen und den gesamten Altersbereich von Vorschulkind bis zum alten Menschen umfassen. Diese Daten wurden mit modernen statistischen Methoden analysiert und führten zu den GLI-2012 Referenzwerten<sup>15</sup>.

Aktuell existieren nach GLI-2012 Referenzgleichungen für die meisten spirometrischen Parameter, die Diffusionskapazität für Kohlenmonoxid und bodyplethysmographischen Parameter. Es wird empfohlen, soweit vorhanden, die Referenzwerte nach GLI zu verwenden und für die übrigen Parameter die Referenzwerte nach EGKS bzw. für Kinder nach Zapletal (siehe **Tabelle 13**). Die Verwendung der Forche- oder anderer Referenz-Werte wird nicht empfohlen, da jene Kohorten fast 30 Jahre alt sind, teilweise nicht in der Primärliteratur verfügbar sind, nicht immer in sitzender Position erhoben wurden und sich durch die Verwendung verschiedener Referenzsysteme eine mangelnde Vergleichbarkeit bzw. unterschiedliche Beurteilung von Spirometrie-Messungen ergeben können. Weiters sei darauf hingewiesen, dass es durch die Kombination mehrerer Referenzsysteme in der Bodyplethysmographie (z. B. TLC: Forche, VC: GLI und RV: EGKS) zu Inkonsistenzen bei den Volumina käme, was zu vermeiden ist.

In Österreich erfolgt aktuell im Rahmen der LEAD-Studie eine umfangreiche Erfassung von Lungenfunktionsdaten der Normalbevölkerung, welche in Zukunft ebenfalls in das GLI-Normkollektiv einfließen sollen. Darüber hinaus ist bereits die Erweiterung der GLI-Referenzwerte für die Bodyplethysmographie<sup>16</sup> und die Diffusionskapazität verfügbar<sup>17</sup>.

Parameter	GLI <sup>15</sup>	EGKS <sup>18</sup>	Forche <sup>14</sup>	Zapletal <sup>19</sup>
Region	Weltweit	Europa	Österreich	Tschechien
Jahr	2012	1993	1986 (1994*)	1987
Population	Gesunde Nichtraucher	Kohle- und Stahlarbeiter*innen	Gesunde Nichtraucher	Gesunde Kinder
Größe	ca. 75.000	unklar	ca. 22.000	ca. 110
Ethnien	Kaukasisch, Afro-amerikanisch, Nordost- und Südost-Asien, Andere	Kaukasisch	Kaukasisch	Kaukasisch
IVC	Nicht verfügbar	18–70 Jahre	Nicht verfügbar	4–17 Jahre
FVC	3–95 Jahre	18–70 Jahre	5–90 Jahre <sup>#</sup>	4–17 Jahre
FEV1	3–95 Jahre	18–70 Jahre	5–90 Jahre	4–17 Jahre
FEV1/FVC	3–95 Jahre	18–70 Jahre	5–90 Jahre	4–17 Jahre
PEF	Nicht verfügbar	18–70 Jahre	5–90 Jahre	4–17 Jahre
FEF25	Nicht verfügbar	18–70 Jahre	5–90 Jahre	4–17 Jahre
FEF50	Nicht verfügbar	18–70 Jahre	5–90 Jahre	4–17 Jahre
FEF75	3–90 Jahre	18–70 Jahre	5–90 Jahre	4–17 Jahre
FEF25-75	3–90 Jahre	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	4–17 Jahre
FEV0.75	3–7 Jahre	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar
FEV0.75/FVC	3–7 Jahre	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar	Nicht verfügbar

**Tabelle 13:** Übersicht über die verfügbaren Referenzsysteme. \*Für das in Österreich oft verwendete Forche-System aus dem Jahre 1994 ist keine Primärliteratur verfügbar.

<sup>#</sup>Die Literatur enthält keine detaillierte Beschreibung des Atemmanövers bzw. der Methode, wie die Vitalkapazität bestimmt wurde, die Messung im Rahmen des FVC-Manövers ist anzunehmen.





In den Altersbereichen mit größerer Streubreite (roter Bereich siehe **Abbildung 7**) kann es je nach Vergleichsmethode zu einer Überschätzung (80 % Soll) oder Unterschätzung der Pathologie (LLN) kommen. Hier kann die klinische Situation miteinbezogen werden, welche dem\*der Befundenden allerdings oft nicht bekannt ist. Wir empfehlen generell für alle Parameter LLN als cut-off zwischen normal und pathologisch zu verwenden. Für die Werte FEV1/FVC und TLC ist durch Studien eindeutig belegt, dass LLN vorzuziehen ist. Dies wurde z. B. für die Risiko-Einschätzung bei Lungenresektionen evaluiert<sup>20</sup>.

Generell gilt, dass der intraindividuelle Vergleich stets aussagekräftiger ist als der interindividuelle Vergleich. Somit sind Verlaufskontrollen für die Beurteilung des Schweregrad oder der Progression der Erkrankung erforderlich.

### z-Score

In der klinischen Praxis wird zur Beurteilung eines\*r Patient\*in anhand des Mittelwertes und der Standardabweichung im Vergleich zum Normalkollektiv der z-Score verwendet (analog dem System zur Beurteilung des Knochendichte). Ein z-Score von 0 bedeutet, dass der Messwert genau am Mittelwert liegt, ein z-Score von +1 oder -1 bedeutet eine Abweichung vom Mittelwert um eine Standardabweichung, d.h. der z-Score ist ein Vielfaches der Standardabweichung. Der Referenzbereich, zwischen LLN und ULN, wird für die Lungenfunktion zwischen der 5. und 95. Perzentile angenommen, was einem z-Score von -1.64 bis +1.64 entspricht. Zur besseren Veranschaulichung werden in den modernen Lungenfunktions-Befundsystemen nicht nur die z-Scores, sondern auch eine z-Score-Grafik (siehe **Abbildung 8**) angegeben.

Der Messwert wird üblicherweise je nach Abweichung von 0 (Mittelwert) farblich gekennzeichnet. Ein Messwert im Referenzbereich ist meist grün dargestellt. Außerhalb des Referenzbereiches kann die Darstellung je nach Software-Hersteller unterschiedlich erfolgen, zum Beispiel im Bereich von -2.5 bis -1.64 orange und < -2.5 als rot. Der cut-off von -2.5 ist willkürlich festgelegt. Im ERS/ATS Statement<sup>2</sup> wurde auch die Schweregrad-Einteilung anhand des z-Score definiert (siehe auch Kapitel 4.2.3 zur Graduierung).

In manchen Befund-Systemen ist die Anpassung der farblichen Kodierung anhand des z-Scores nicht möglich und es müssen die vom Hersteller definierten Bereiche übernommen werden. Für manche Parameter gibt es die farbliche Kodierung nur in eine Richtung, wie z. B. für sämtliche Atemflusswerte (nur LLN). Werte oberhalb von ULN werden trotzdem grün dargestellt.

Farbliche Kennzeichnung	z-Score
<b>Grün</b>	-1.64 (LLN) bis +1.64 (ULN)
<b>Orange</b>	-2.50 bis -1.64 bzw. +1.64 bis +2.50
<b>Rot</b>	< -2.50 bzw. > +2.50

**Tabelle 14:** Mögliche Farbkodierung der z-Scores (die Kodierung ist herstellerabhängig und kann von des ERS/ATS Empfehlungen<sup>2</sup> für eine Graduierung des Schweregrades abweichen)

### 4.2.3 Natürlicher Verlauf der Lungenfunktion

Die regelmäßige Wiederholung der Lungenfunktion wird oftmals verwendet, um eine eventuell auftretende Dynamik zu beurteilen. Wichtig für die Beschreibung einer Veränderung ist die Angabe der Untersuchungsabstände sowie eine ausreichende Reproduzierbarkeit der Untersuchung. Hierbei können prinzipiell zwei Anwendungsgebiete unterschieden werden. Änderungen innerhalb eines kurzen Zeitraumes (6–12 Monate) wie z. B. im Rahmen von klinischen Studien, wo es zu keiner relevanten Änderung des altersabhängigen Referenzwertes kommt. Hier werden die gemessenen Werte verglichen und üblicherweise wird für FEV1 eine Veränderung von über 100 mL oder 10 % als signifikant und größer als die Variabilität angenommen (entspricht der MCID = minimal clinically important difference).

Der zweite Anwendungsbereich betrifft langfristige Änderungen. Idealerweise liegt eine Ausgangsmessung mit einer noch „gesunden“ Lungenfunktion vor. Ein beschleunigter Abfall, der größer ist als die altersbedingten Veränderungen, geht mit einem höheren Risiko für Lungenkrankheiten einher. Bei gesunden Erwachsenen (ab dem 25.LJ) wurde ein jährlicher Abfall des FEV1 um ca. 30 mL beobachtet<sup>21,22</sup>. Die ATS erachtet in der Arbeitsmedizin einen Abfall von 15 % zum altersabhängig vorhergesagten Wert über zumindest 1 Jahr als relevant und weiter abklärungsbedürftig<sup>23</sup>. Ein neuerer Ansatz geht von einer Berechnung von der untersten, zum Leben notwendigen Schwelle, der sogenannten 1. Perzentile, aus (für FEV1 ist dies 0,5 L bei Männern und 0,4 L bei Frauen)<sup>24</sup>. Der FEV1Q beschreibt dann den aktuell gemessenen Wert im Verhältnis zur unteren Schwelle (z. B. bei einem gemessenen FEV1 von 1,6 L:  $1,6 : 0,5 = 3,2$ ). Normalerweise kommt es zu einem Verlust von einer Einheit über einen Zeitraum von 18 Jahren, bei Raucher\*innen oder Personen über 60 Jahren innerhalb von 10 Jahren. Je näher sich der FEV1Q dem Wert 1 nähert, desto größer wird das Mortalitätsrisiko.

Zusammenfassend ist die Datenlage zum natürlichen Verlauf und auch der Variabilität nicht ausreichend, um eine minimale, signifikante Veränderung sicher zu definieren. Des Weiteren besteht die Schwierigkeit, dass der natürliche jährliche Abfall der Lungenfunktion unterhalb der Variabilität (Messgenauigkeit) der Spirometrie liegt. Der Beobachtungszeitraum, die Krankheitsdiagnose sowie der zu erwartende Endpunkt (Symptome, Mortalität) sollten in die Beurteilung miteinfließen<sup>2</sup>.

#### 4.3 Graduierung des Schweregrades von Ventilationsstörungen

**Fact Box:**

- Die Graduierung einer Ventilationsstörung soll anhand des z-Scores erfolgen.
- Die Unterteilung erfolgt in drei Schweregrade (leichtgradig, mittelgradig, schwergradig).

Der Schweregrad einer Messwerteinschränkung muss nicht mit dem klinischen Schweregrad wie z. B. bei COPD oder Asthma übereinstimmen. Die spirometrischen Daten sind nur ein Surrogatparameter. Zum Beispiel wird der Schweregrad des Asthmas klinisch ohne Berücksichtigung der Lungenfunktion definiert und bei der COPD wird die Obstruktion anders graduiert (siehe Kapitel 4.5.1).

Die Graduierung von Messwerteinschränkungen kann prinzipiell nach drei Verfahren erfolgen. Die Graduierung erfolgt anhand

- der Abweichung in Prozent des Sollwertes (derzeit die übliche Methode)
- **des z-Scores (die empfohlene Methode)**
- der Abweichung in Prozent des Lower Limit of normal (LLN)

des jeweiligen Lungenfunktionsparameters (siehe **Tabelle 15**).

Methoden	Beispiel	Vorteil	Nachteil	Verwendung
% Sollwert	Obstruktion: Leichtgradig: FEV1 > 60 % Soll Mittelgradig: FEV1 40–60 % Soll Schwergradig: FEV1 < 40 % Soll		berücksichtigt den altersabhängigen Mittelwert, aber nicht die Streuung	Deutsche Atemwegsliga
<b>z-Score</b>	<b>Obstruktion:</b> <b>Leichtgradig: FEV1 &gt; -2.5 z-Score</b> <b>Mittelgradig: FEV1 -2.5 – -4.0 z-Score</b> <b>Schwergradig: FEV1 &lt; -4.0 z-Score</b>	<b>berücksichtigt den altersabhängigen Mittelwert und die Streuung</b>		<b>ÖGP, ERS/ATS</b>
% LLN	Obstruktion: Leichtgradig: FEV1 > 85 % LLN Mittelgradig: FEV1 55–85 % LLN Schwergradig: FEV1 < 55 % LLN	berücksichtigt den altersabhängigen Mittelwert und die Streuung		Arbeitsmedizin Deutschland (Minderung der Erwerbsfähigkeit – Mde-Bemessung BK 4101/4102/4103)

**Tabelle 15:** Mögliche Verfahren zur Graduierung von ventilatorischen Funktionsstörungen (grau: die von der ÖGP empfohlene Methode)

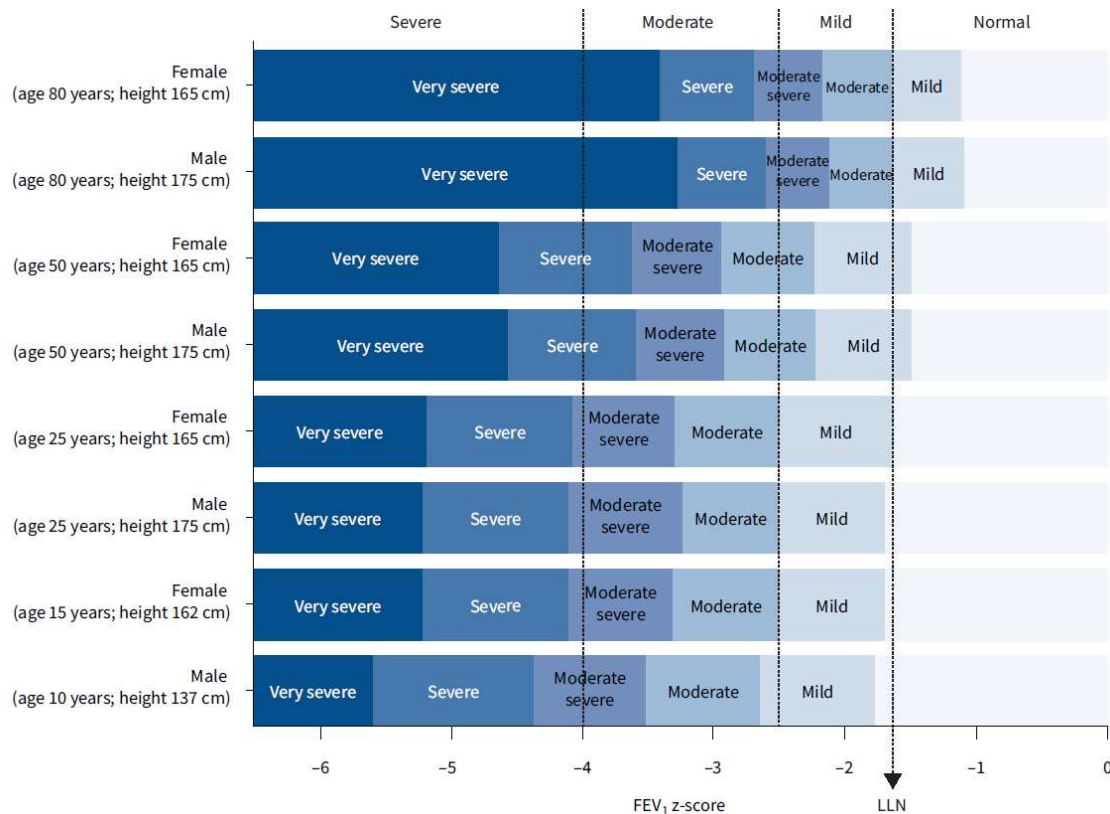
Weiters kann die Graduierung in 3 oder 5 Stufen erfolgen. Von der ERS/ATS Task Force wurde 2005 ein 5-stufiges System empfohlen, in dem anhand der FEV1 jegliche spirometrische Abnormalität graduiert werden sollte. Für jene 5-stufige Graduierung wurde von Quanjer 2014 ein analoges z-Score-System vorgeschlagen (siehe **Tabelle 16** und **Abbildung 9**).

Schweregrad	ATS/ERS 2005 : FEV1 % Soll <sup>25</sup>	Quanjer 2014: FEV1 z-Score <sup>26</sup>
Leicht	> 70	≥ -2
Mittel	60–69	-2.5 bis < -2.0
Mittelschwer	50–59	-3.0 bis < -2.5
Schwer	35–49	-4.0 bis < -3.0
Sehr schwer	< 35	< -4.0

**Tabelle 16:** 5-stufiges Graduierungs-Systeme für obstruktive Ventilationsstörungen

Diese 5-stufige Unterteilung ist willkürlich und nicht sehr praktikabel. Weiters kann es bei der Kombination des LLN-Systems mit einer Graduierung nach %Soll bei älteren Patient\*innen dazu führen, dass ein gerade pathologischer Wert (gering unter LLN) bereits eine mittelgradige Ventilationsstörung zur Folge hat (nach % des Sollwertes). Eine Graduierung von Ventilationsstörungen in drei Schweregrade erscheint sinnvoller und wird in den aktuellen Leitlinien von ERS/ATS<sup>2</sup> als auch jenen DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin) empfohlen<sup>10</sup>, siehe Kapitel 4.5.1 für obstruktive und Kapitel 4.6.1 für restriktive Ventilationsstörungen.

Die Graduierung anhand des z-Scores, welche von der ÖGP in der 2. Auflage dieses Skriptums empfohlen wurde, wurde nun auch in den rezenten ERS/ATS-Empfehlungen von 2022 etabliert<sup>2</sup>. Allerdings wurde hier als cut-off für die schwergradige Ventilationsstörung ein z-Score von 4.0 empfohlen (statt 3.5). Für FVC, FEV1<sup>27</sup> und DLCO<sup>28</sup> konnte eine Korrelation des z-Scores mit der Gesamt-Mortalität gezeigt werden. Dieser Empfehlung schließen sich die Autor\*innen in diesem Skriptum an.



**Abbildung 9:** Korrelation der 5-stufigen Schweregradeinteilung nach ERS/ATS 2005-Empfehlung anhand des Sollwertes für FEV<sub>1</sub> in % (cut-offs 70, 60, 50 und 35 %) versus der neuen 3-stufigen Schweregradeinteilung anhand des z-Scores (cut-offs 2.5 und 4.0) für Patient\*innen unterschiedlichen Alters und Geschlechts (von ERS/ATS Leitlinie 2022<sup>2</sup>).

#### 4.4 Leitfaden zur Befundung und Klassifikation ventilatorischer Störungen

Die Interpretationen der Lungenfunktion basiert auf Parametern des Atemflusses (inspiratorisch und expiratorisch), der Lungenvolumina und des Gastransfers (CO-Diffusion), um Muster einer gestörten Physiologie zu erkennen. Die Befundung beinhaltet die Klassifikation (Muster) und Quantifizierung der Ventilationsstörung. Hierfür gibt es verschiedene Herangehensweisen bzw. Schwellenwerte. Im Folgenden wird ein Algorithmus präsentiert, der sowohl die Spirometrie als auch die Bodyplethysmographie und Diffusionsmessung umfasst, da wesentliche Fragestellungen nur mittels Bodyplethysmographie beantwortet werden können.

Folgende Punkte sollten bei der Befundung berücksichtigt werden:

- Die Befundung beruht stets sowohl auf den Messwerten als auch dem Muster der Fluss-Volumen-Kurven.
- Die Lungenfunktion kann keine klinischen Diagnosen stellen, sondern lediglich eine Verdachtsdiagnose.
- Zur weiteren Differenzierung einer restriktiven Ventilationsstörung, Überblähung oder gleichzeitigen obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörung muss eine Bodyplethysmographie durchgeführt werden.

Bei den Ventilationsstörungen können prinzipiell drei große Gruppen klassifiziert werden:

1) obstruktive Ventilationsstörung (Verengung der Atemwege, die zu einem reduziertem Atemfluss führen, definiert durch die Spirometrie), 2) restriktive Ventilationsstörung (Reduzierte Größe der Lunge, definiert durch die Bodyplethysmographie), 3) Störung des alveolo-kapillären Gastransfers (Reduktion des Gastransportes von CO als Surrogatmarker für Sauerstoff, definiert durch die CO-Diffusions-Kapazität).

Funktionelle Klassifikation	Beschreibung
Obstruktive Ventilationsstörung	Verengung der Atemwege durch strukturelle Obstruktion oder dynamischen Kollaps. Proximale Atemwege determinieren den Atemwegswiderstand auf der Ebene größerer Lungenvolumina und beeinflussen die FEV1/FVC-Messung; distale Atemwege determinieren den Atemwegswiderstand auf der Ebene kleinerer Lungenvolumina und beeinflussen die Messung später im forcierten Manöver. Da die Atemwegs-Obstruktion die Entleerung der Lunge behindert, gehen obstruktive Ventilationsstörungen häufig mit Air-Trapping und Überblähung (Hyperinflation) einher und führen zu einer reduzierten FVC, welche allerdings mittels Bodyplethysmographie (RV) beurteilt wird.
Restriktive Ventilationsstörung	Reduktion in der Größe der Lunge (Lungenvolumina). Dies kann Störungen des Lungenparenchyms reflektieren aber auch die eingeschränkte Inflation auf Grund von extrapulmonalen Faktoren (Muskelschwäche, Brustwand-Abnormalitäten, Adipositas oder Lungenresektionen).
Störung des Gastransfers	Reduktion des Transportes von Gas (Kohlenmonoxid als Surrogat für Sauerstoff) zwischen dem Alveolarraum und dem kapillären Blut. Die Ursache kann eine Reduktion der Alveolarfläche, eine Störung alveolar-kapillären Membran oder eine Reduktion von pulmonal-kapillärem Blut (Hämoglobin) sein. Ein gestörter Gastransfer wird üblicherweise mittels CO-Aufnahme während eines Atemhaltmanövers (DLCO) gemessen. Einige Erkrankungen können zu einem erhöhten Gastransfer führen (z. B. Asthma, Polyglobulie).

**Tabelle 17:** Funktionelle Klassifikation von Ventilationsstörungen, wie sie mit konventionellen Lungenfunktionsuntersuchungen beurteilt werden können, und ihre pathophysiologischen Determinanten (modifiziert nach ERS/ATS 2022<sup>2</sup>)

Muster	FEV1	FVC	FEV1/FVC	PEF	Kommentar
Obstruktive Ventilationsstörung	N/↓	N	↓		Siehe Kapitel 4.5
Restriktive Ventilationsstörung	↓	↓	N/↑		TLC < LLN notwendig zur Bestätigung – siehe Kapitel 4.6
Restriktion und Obstruktion	↓	↓	↓		TLC < LLN notwendig zur Bestätigung – siehe Kapitel 4.7
Unspezifisches Muster	↓	↓	N		TLC normal, weiteres Testen mittels BDR, Raw ist sinnvoll – siehe Kapitel 4.8
Muskelschwäche	↓	↓	N	↓	Typ ist das Fehlen des scharfen PEF-Peaks – siehe Kapitel 4.9
Suboptimale Mitarbeit	↓	↓	N	↓	Typ ist das Fehlen des scharfen PEF-Peaks – siehe Kapitel 0
Dysanapsis	N	N/↑	↓		Normale Variante – siehe Kapitel 4.10
Kleine Lunge	↓	↓	N		Normale Variante – siehe Kapitel 4.10

**Tabelle 18:** Klassifikation von Ventilationsstörungen (Muster) mittels Spirometrie determiniert. Normal bzw. abnormal wird durch Lower (LLN) bzw. Upper limit of normal (ULN) definiert (modifiziert nach ERS/ATS 2022<sup>2</sup>, N: normal).

Bei der Interpretation der Lungenfunktion hat sich eine standardisierte Vorgehensweise bewährt, welche im Folgenden im Rahmen eines Algorithmus dargestellt wird. Wie bei jedem Algorithmus wird hier eine Orientierung vorgegeben, jedoch wird dieser Algorithmus nicht in jedem einzelnen Befund zu einem schlüssigen bzw. korrekten Ergebnis führen. Eine individuelle Bewertung des Befundes, insbesondere im Rahmen der klinischen Kenntnis des\*der Patient\*in, ist gegebenenfalls notwendig. Die vollständige Interpretation schließt neben der Spirometrie auch die Bodyplethysmographie bzw. die CO-Diffusions-Messung mit ein, welche in den folgenden Algorithmus integriert sind.

Für diese weiterführende Musterklassifikation und Interpretation verweisen wir allerdings auf separate Skripten (derzeit in Arbeit):

- A. Beurteilbarkeit und Plausibilität prüfen (siehe Kapitel 4.1)
- B. Lungenfunktionsalgorithmus (siehe **Abbildung 10**)

#### SPIROMETRIE

1. Vorliegen einer obstruktiven Ventilationsstörung (FEV1/FVC)
2. Bewertung der Vitalkapazität
3. Beurteilung der Fluss-Volumen-Kurve
4. Vorliegen einer Small Airway Obstruction (SAO, siehe Kapitel 4.5.4)
5. Vorliegen eines BHR oder Reversibilität der obstruktiven Ventilationsstörung (siehe Kapitel 4.5)
6. Je nach Fragestellung: Kompatibilität/Assoziation des spirometrischen Musters mit einer klinischen Diagnose, Verlaufskontrolle, etc.

#### BODYPLETHSMOGRAPHIE

7. Bewertung der Totalen Lungenkapazität (TLC)
8. Bewertung des Residualvolumens (RV) und dessen Verhältnis zur TLC
9. Je nach Fragestellung: Kompatibilität/Assoziation des spirometrischen Musters mit einer klinischen Diagnose, Verlaufskontrolle, etc.

#### DIFFUSION

10. Bewertung CO-Diffusion (DLCO und KCO)

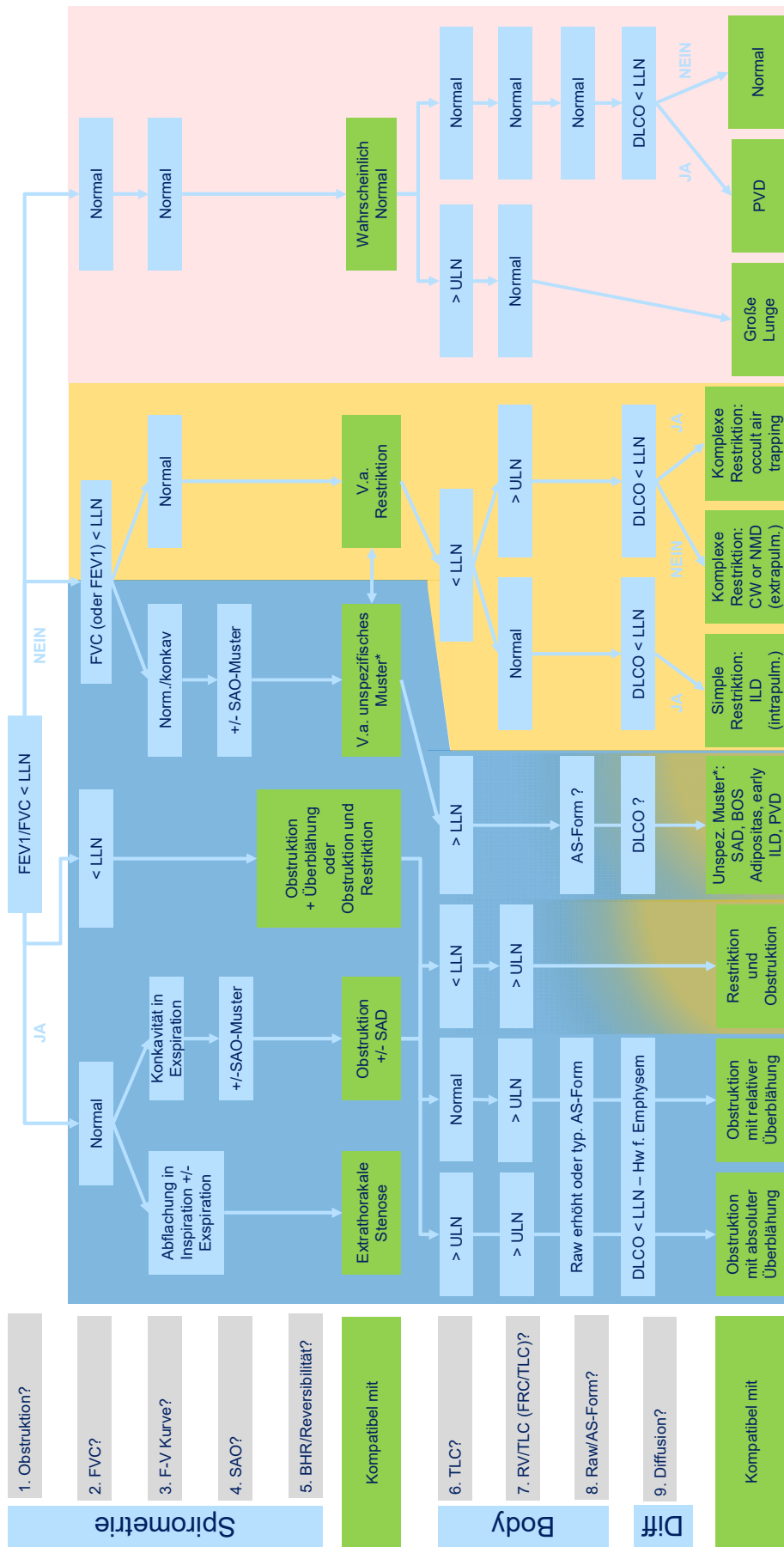
- C. Graduierung der Ventilationsstörung
  - a. Obstruktive Ventilationsstörung (siehe Kapitel 4.5.1)
  - b. Restriktive Ventilationsstörung (siehe Kapitel 4.6.1)
  - c. Diffusionsstörung (siehe separates Skriptum, derzeit in Arbeit)

In den folgenden Kapiteln werden die funktionellen Muster, die mit der Spirometrie erkannt werden können, erläutert. Diese betreffen primär Ventilationsstörungen des Atemflusses. In einer gesunden Lunge wird der Atemfluss durch den expiratorischen Atemtrieb (expiratorische Muskeln und die elastischen Rückstellkräfte) und die Größe und visko-elastischen Eigenschaften der Lunge bestimmt. Der maximale Atemfluss wird spirometrisch bestimmt und kann durch verschiedene Erkrankungen limitiert werden:

- 1) Eine gestörte expiratorische Atemmuskulatur (Schwäche oder mangelnde Mitarbeit), reduzierte elastische Rückstellkräfte oder Thorax-Expansion, welche primär zu reduzierter PEF, FEV1 und FVC mit einer variablen FEV1/FVC-Ratio führen – siehe Kapitel 4.9.
- 2) Eine Obstruktion der zentralen Atemwege (Trachea und Hauptbronchien), welche primär zu einer Reduktion des PEF und weniger der FEV1 mit variabler FEV1/FVC-Ration führt – siehe Kapitel 4.10.
- 3) Intrapulmonale Obstruktion der Atemwege durch einen vorzeitigen Kollaps der Atemwege oder Bronchokonstriktion (durch Inflammation, Remodeling oder Ödem), welche primär zu einer Reduktion von PEF, FEV1 und FEV1/FVC-Ratio führen. Diese pathophysiologische Reduktion des Atemflusses mit einer reduzierten FEV1/FVC-Ratio auf Basis einer Verengung der intrapulmonalen Atemwege nennt man üblicherweise Atemfluss-Obstruktion bzw. obstruktive Ventilationsstörung – siehe Kapitel 4.5.

Für die definitive Bestimmung einiger Muster wie Überblähung (Hyperinflation) bei obstruktiven Ventilationsstörungen, restriktive Ventilationsstörungen, unspezifisches Muster bzw. Störungen des Gas-Transfers sind weiterführende Untersuchungen notwendig (Bodyplethysmographie, CO-Diffusion). Diese Muster werden im Detail in den jeweiligen separaten Skripten erläutert (derzeit in Arbeit).





**Abbildung 10:** Lungenfunktionsalgorithmus zur Befundung von Spirometrie, Bodyplethysmographie und CO-Diffusions-Messung. LLN: Lower Limit of Normal; F-V: Fluss-Volumen-Kurve; SAO: Small Airway Obstruction; SAD: Small Airway Disease.



## 4.5 Atemfluss-Limitation und obstruktive Ventilationsstörung

### Fact Box:

- Definition der obstruktiven Ventilationsstörung anhand der Messung vor Bronchodilatation:  $FEV_1/FVC < LLN$
- Der Schweregrad wird in 3 Stufen anhand des prä-bronchodilatatorischen  $FEV_1$  graduiert (leicht-, mittel- und schwergradig).
- Bei Patient\*innen mit COPD (klinische Information) sollte zusätzlich die Graduierung nach GOLD angeführt werden (post-Bronchodilatation:  $FEV_1/FVC < 70\%$  und 4-stufige Schweregrade).
- Bei Vorliegen einer obstruktiven Ventilationsstörung sollte generell vor und nach Bronchodilatation gemessen werden (Bronchodilatator-Response (BDR)-Test).
- Beurteilung der BDR anhand der  $FEV_1$ - oder FVC-Änderung in Bezug auf den Sollwert

Eine Verminderung des Tiffeneau-Index ( $FEV_1/FVC$ ) auf Werte unterhalb des 5. Perzentils (z-Score  $< -1,645$ , LLN) deutet auf eine obstruktive Ventilationsstörung hin. Nach den alten Kriterien wurde das  $FEV_1$  auf die inspiratorische Vitalkapazität (IVC), z. B. DGP, oder die VCmax bezogen. Im Sinne der internationalen Standardisierung und da es keine aktuellen GLI-Normwerte für die IVC gibt, wird nun die FVC herangezogen. Dies kann allerdings auch kritisch gesehen werden, da bei Patient\*innen mit einer Obstruktion bei einem forcierten Manöver die FVC im Verhältnis zur IVC kleiner sein kann und somit die Definition der Obstruktion nicht erfüllt wird.

Neben dem eindeutigen Kriterium ( $FEV_1/FVC < LLN$ ) für eine obstruktive Ventilationsstörung in der Lungenfunktion gibt es noch folgende Merkmale, die mit einer obstruktiven Ventilationsstörung assoziiert sind:

- Innenkrümmung (Knick) im expiratorischen Anteil der Fluss-Volumen-Kurve
- Reduzierte FEF25 bis FEF75
- Lange Expirationszeit ( $> 6$  s, meist 12–15 s)
- FVC-Verminderung größer als jene von IVC oder VCmax

Weiters kann auch bei normaler  $FEV_1/FVC$ -Ratio eine obstruktive Ventilationsstörung vorliegen. Bei klinischem Verdacht auf eine obstruktive Ventilationsstörung können noch weitere Parameter mittels Bodyplethysmographie erhoben werden (z. B. Resistance, RV und TLC).

Genaugenommen wird mit der Spirometrie nicht die Obstruktion (Verengung des Durchmessers der Atemwege) gemessen, sondern eine Verringerung der Atemflüsse (Volumen pro Zeiteinheit). Eine Verringerung des Atemflusses kann allerdings zwei Ursachen haben:

- eine Atemwegsobstruktion (intrapulmonal oder zentrale Atemwege) oder
- eine verringerte Kraft der Atempumpe/-muskulatur

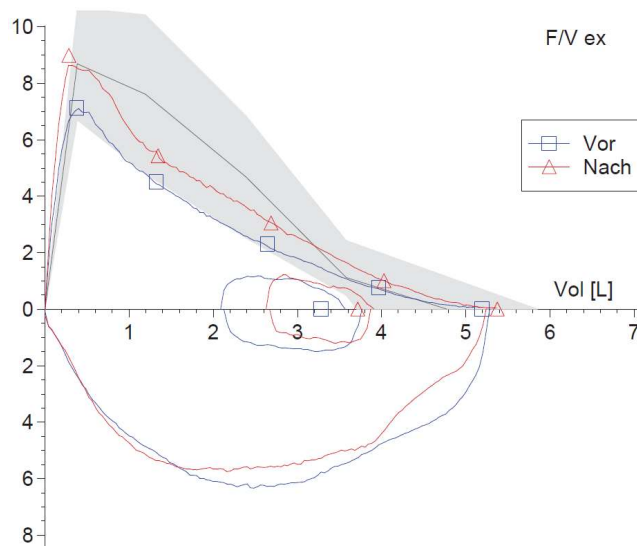
Die häufigste Ursache für eine Atemflusslimitation ist die Obstruktion der intrapulmonalen Atemwege. Bei Erkrankungen mit verringerter Atemmuskulatur, z. B. neuromuskuläre Erkrankungen, ist im Regelfall die Vitalkapazität proportional reduziert und der Tiffeneau-Index somit normal.

Eine Diagnosestellung mittels Spirometrie ist generell nicht möglich, bei den obstruktiven Ventilationsstörungen gibt es eine Reihe von Differenzialdiagnosen:

#### Differenzialdiagnosen bei obstruktiver Ventilationsstörung

- Asthma
- COPD
- Bronchiektasien
- Cystische Fibrose (Mukoviszidose)
- Silikose
- Stenose im Bereich der großen Atemwege
- Lungenparenchymerkrankungen mit Obstruktion (z. B. Sarkoidose)

**Tabelle 19:** Differenzialdiagnosen obstruktiver Ventilationsstörungen



	LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
Substanz										Sult4Hb		
Messzeit				08:50						09:09		
IVC	L	3.68	5.52	4.60	5.04	110 %	0.78		●	5.16	112 %	2 %
FVC	L	3.70	5.85	4.77	5.20	109 %	0.65		●	5.37	113 %	3 %
FEV1	L	2.89	4.55	3.74	3.28	88 %	-0.91	●		3.71	99 %	13 %
FEV1%FVC	%	67.49	88.39	78.71	63.16	80 %	-2.20	●		69.16	88 %	10 %
PEF	L/s	6.69	10.67	8.68	7.11	82 %	-1.30	●		8.98	103 %	26 %
FEF25	L/s	4.79	10.42	7.60	4.51	59 %	-1.81	●		5.42	71 %	20 %
FEF50	L/s	2.51	6.85	4.68	2.30	49 %	-1.80	●		3.04	65 %	32 %
FEF75	L/s	0.48	2.42	1.11	0.76	68 %	-0.76	●		1.00	89 %	31 %
FEF25-75	L/s	1.76	5.43	3.34	1.88	56 %	-1.50	●		2.48	74 %	32 %

**Beispiel 1:** Leichtgradige Obstruktion mit positivem Bronchodilatator-Response (BDR)-Test. Patient hat Asthma (53 J.) und ist ein Gelegenheitsraucher. Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.14 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.

### 4.5.1 Graduierung des Schweregrades der obstruktiven Ventilationsstörung

Wie in Kapitel 4.2.3 erläutert, empfehlen wir eine 3-stufige Schweregrad-Einteilung anhand des z-Scores (siehe **Tabelle 20**). **Beispiel 1** zeigt eine leichtgradige obstruktive Ventilationsstörung.

Definition, prä-Bronchodilatation	FEV1/FVC < LLN		
Schweregrad der Obstruktion	I	Leichtgradig	FEV1 ≥ -2.5 z-Score
	II	Mittelgradig	FEV1 -2.51 bis -4.0 z-Score
	III	Schwergradig	FEV1 < -4.1 z-Score

**Tabelle 20:** Definition und Graduierung der Obstruktion anhand der prä-Bronchodilatation-Messung

### 4.5.2 COPD und GOLD-Kriterien

Der aktuelle GOLD-Report (2023)<sup>29</sup> verwendet weiterhin die Definition der Obstruktion anhand der altersunabhängigen Einschränkung des post-bronchodilatatorischen FEV1/FVC-Quotienten von unter 70 %; weiters wird eine 4-stufige Graduierung verwendet, siehe **Tabelle 21** und **Beispiel 2**.

Definition nach GOLD, post-Bronchodilatation	FEV1/FVC < 70 %		
	Schweregrad der Obstruktion	I	Leicht
II		Mittelgradig	FEV1 50–79 % Soll
III		Schwer	FEV1 30–49 % Soll
IV		Sehr schwer	FEV1 < 30 % Soll

**Tabelle 21:** Definition und Graduierung der Obstruktion bei der COPD nach GOLD<sup>29</sup>

#### 4.5.3 Bronchodilatator-Response (BDR)

Wie in Kapitel 3.4.4 dargelegt ziehen wir den Begriff der Bronchodilatator-Response (BDR) jenem der teilweisen Reversibilität vor (bzw. werden hier unterschiedliche Konzepte verstanden, Details siehe Kapitel 3.4.4).

Die Beurteilung der BDR kann anhand verschiedener Parameter erfolgen. Für die Spirometrie war seit der ERS/ATS Empfehlung von 2005 ein Anstieg des FEV1 oder des FVC von mind. 200 mL UND um mind. 12 % (im Vergleich zum prä-Bronchodilatator-Wert) gefordert. In der neuesten ERS/ATS Empfehlung von 2022 wird die BDR auf den jeweiligen Sollwert statt wie bisher auf den prä-Bronchodilatator-Wert bezogen. Dabei wird die Differenz von FEV1 bzw. FVC (zwischen prä- und post-Bronchodilatator-Werten) in Relation zum jeweiligen Sollwert der untersuchten Person angeführt. Eine Zunahme von mindestens 10 % nach Bronchodilatation wird als signifikant gewertet.

$$\text{BDR} = \frac{\text{FEV1 oder FVC nach Bronchodilatation (L)} - \text{FEV1 oder FVC vor Bronchodilatation (L)} \times 100}{\text{Sollwert FEV1 oder FVC (L)}} \geq 10 \%$$

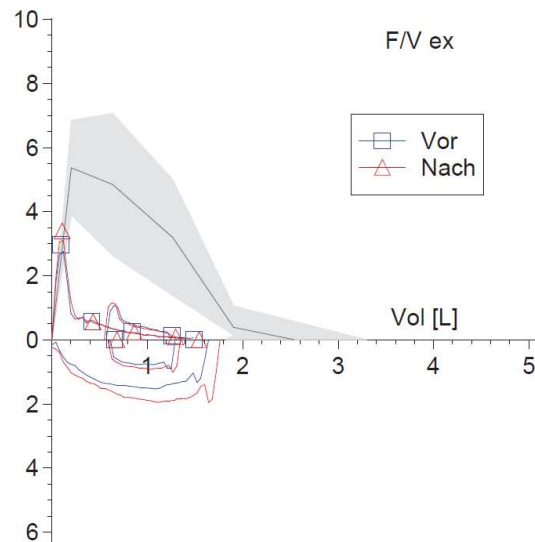
Für Beispiel 1: prä-Bronchodilatator FEV1 von 3,28 L und post-Bronchodilatator FEV1 von 3,71 L. Der Sollwert für FEV1 ist 3,74 L.

$$\text{BDR} = \frac{3,71 \text{ L} - 3,28 \text{ L} \times 100}{3,74 \text{ L}} = 11,5 \%$$

Somit ist bei diesem Patienten ein positiver BDR-Test mit einem Anstieg um 11,5 % des FEV1 in Bezug auf den Sollwert bestätigt.

Der Vorteil der Änderung mit Bezug auf den jeweiligen Sollwert ist der geringere Einfluss von Geschlecht und Körpergröße.

Wird das Kriterium für einen positiven BDR-Test nicht erreicht, sollte nicht von einer Bronchodilatator-Response gesprochen werden. Dies ist eine zufällige Änderung bzw. eine klinisch nicht signifikante Schwankung (die minimal clinically important difference für FEV1 bzw. FVC ist nicht definiert, aber dürfte für FEV1 bei ca. 100–200 mL liegen).



	LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
Substanz										Sult2Hb		
Messzeit				09:04						09:25		
IVC	L	1.62	3.00	2.31	1.68	73 %	-1.49	●		1.80	78 %	7 %
FVC	L	1.82	3.29	2.54	1.49	59 %	-2.44	●		1.54	61 %	4 %
FEV1	L	1.40	2.49	1.96	0.66	33 %	-3.68	●		0.68	35 %	4 %
FEV1%FVC	%	63.90	89.87	77.83	44.05	57 %	-3.49	●		44.07	57 %	0 %
PEF	L/s	3.88	6.84	5.36	2.95	55 %	-2.68	●		3.39	63 %	15 %
FEF25	L/s	2.62	7.06	4.84	0.57	12 %	-3.16	●		0.55	11 %	-3 %
FEF50	L/s	1.37	4.99	3.18	0.25	8 %	-2.67	●		0.24	7 %	-4 %
FEF75	L/s	0.13	1.05	0.38	0.12	32 %	-1.81	●		«0.08	22 %	-29 %
FEF25-75	L/s	0.73	3.00	1.65	0.23	14 %	-3.14	●		0.23	14 %	0 %

**Beispiel 2:** Mittelgradige Obstruktion mit Atemwegskollaps (Knick in der Expirations-Kurve), mit neg. BDR (Änderung ist für FEV1  $(0,68 - 0,66) * 100 / 1,96 = 1 \%$ ). Die Spirometrie ist von einer COPD-Patientin (Schweregrad nach GOLD III) mit einem Nikotinabusus (Exraucherin seit 25 Jahren, zuvor ca. 50 py) und Emphysem.

Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.14 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.

Für die Beurteilung der BDR kann auch signifikante Verbesserung weiterer Parameter verwendet werden (hierzu liegen allerdings keine Empfehlungen zur Standardisierung vor):

- Spirometrisch: FEF50 (kein spezifischer cut-off in der Literatur beschrieben)
- Bodyplethysmographisch:  $R_{eff}$ ,  $sR_{eff}$ ,  $RV\%TLC$ , etc.

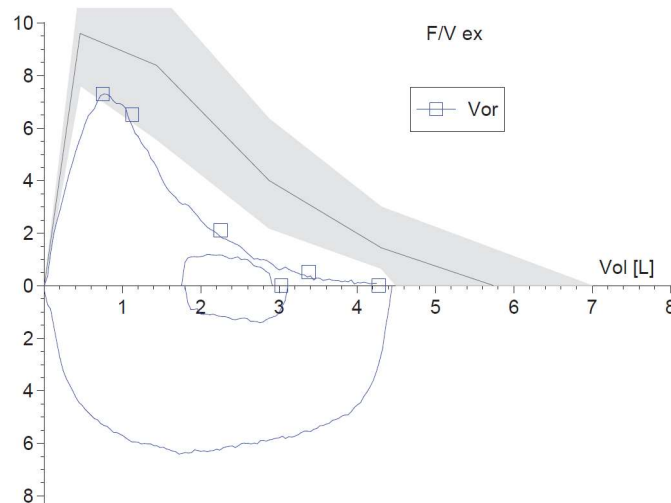
#### 4.5.4 Small airway obstruction (SAO)

In Bezug auf die Größe und Funktion der Atemwege werden verschiedene Termini verwendet, die nicht immer klar voneinander abgetrennt sind:

- Obere Atemwege: Nase, Mund, Pharynx und Larynx
- Untere Atemwege: Trachea, Bronchien und Bronchiolen
- Zentrale Atemwege: Trachea, hier werden aus lungenfunktioneller Sicht extra- und intrathorakale Abschnitte unterschieden (siehe Kapitel 4.10), Haupt- und Lappenbronchien (0–2. Generation)
- Periphere Atemwege: Segment- und Subsegment-Bronchien (ca. 3.–8. Generation)
- Kleine Atemwege („Small airways“): Atemwege kleiner als 2 mm Durchmesser (willkürliche Grenze, ca. ab der 8. Generation)
- Übergangs- und respiratorische Zone: In der Übergangszone (ca. 17–18. Generation) beginnen die Bronchioli respiratorii und danach (ab der 19. Generation) die Alveolargänge (Ductuli alveolares) und Alveolen (Sacculi alveolares).

Als small airway disease werden Veränderungen an den kleinen Atemwegen bezeichnet, die einerseits eine frühe Krankheitsmanifestation (z. B. bei Asthma oder COPD) darstellen können und andererseits mit einem zunehmenden Schweregrad der Erkrankung assoziiert sein können. Auch wenn die konventionelle Lungenfunktion nicht sehr sensitiv in der Diagnostik der small airway disease ist, können sich sowohl indirekte als auch direkte Zeichen im Sinne einer small airway obstruction (SAO) finden:

- Direkte Zeichen: Flusslimitationen in den kleineren Atemwegen (FEF50, FEF75, FEF25-75) im forcierten expiratorischen Manöver
- Indirekte Zeichen: „air trapping“ (RV oder RV%TLC erhöht, Cave: Zwerchfellhochstand) in einer ergänzenden Bodyplethysmographie
- Das Muster einer SAO ist bei leichtgradigen obstruktiven Ventilationsstörungen identifizierbar, bei schwergradigen Störungen ist eine Abgrenzung einer SAO nicht möglich. Die Spezifität dieser Veränderungen für eine small airway disease oder Dysfunktion wird kontroversiell diskutiert, als ergänzende Untersuchung kann auch eine Impulsozillometrie (IOS) hilfreich sein. Ein Beispiel für eine small airway obstruction ist in **Beispiel 3** dargestellt.



		LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>-1</sub>	Z-Score <sub>0</sub>	Z-Score <sub>1</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>
<b>Messzeit</b>					09:35								
<b>VC MAX</b>	L	4.49	7.00	5.74	4.52	79 %	-1.61	●					
<b>FVC</b>	L	4.49	7.00	5.74	4.27	74 %	-1.94	●					
<b>FEV1</b>	L	3.50	5.41	4.48	3.03	68 %	-2.41	●					
<b>FEV1%FVC</b>	%	67.78	87.73	78.53	70.89	90 %	-1.20	●					
<b>PEF</b>	L/s	7.60	11.58	9.59	7.30	76 %	-1.89	●					
<b>FEF25</b>	L/s	5.56	11.19	8.37	6.51	78 %	-1.09	●					
<b>FEF50</b>	L/s	2.18	6.35	3.99	2.11	53 %	-1.72	●					
<b>FEF75</b>	L/s	0.64	2.99	1.43	0.52	36 %	-2.06	●					
<b>MFEF</b>	L/s	2.18	6.35	3.99	1.58	40 %	-2.34	●					

**Beispiel 3:** Formal liegt hier keine Obstruktion vor, allerdings findet sich in der Fluss-Volumen-Kurve als auch bei den FEFxx-Atemflussparametern das Bild einer Obstruktion in den kleinen Atemwegen („small airway obstruction“ – SAO) als Hinweis auf eine „small airway disease“ – SAD. 49 Jahre alter Patient mit Stammzelltransplantation vor 5 Jahren (bei Non-Hodgkin Lymphom) und Graf versus Host Disease (GvHD).

Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.14 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.

### 4.6 Restriktive Ventilationsstörung

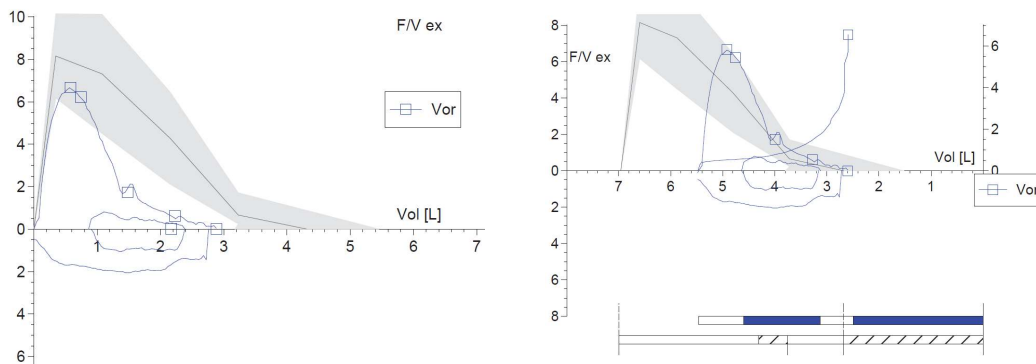
**Fact Box:**

- Eine restriktive Ventilationsstörung kann in der Spirometrie nur vermutet werden, wenn eine reduzierte Vitalkapazität ohne Hinweis auf Obstruktion vorliegt.
- Eine weiterführende Diagnostik ist notwendig (z.B. Bodyplethysmographie, CO-Diffusionskapazität, art. Blutgasanalyse unter Belastung).
- Ebenso soll die Graduierung anhand der TLC erfolgen (nur mittels Bodyplethysmographie zu bestimmen).

Eine restriktive Ventilationsstörung wird durch die Verminderung der totalen Lungenkapazität (TLC) definiert, die allerdings spirometrisch nicht gemessen werden kann. Hierzu ist zur Diagnosesicherung eine Bodyplethysmographie erforderlich. Allerdings kann in der Spirometrie ein restriktives Muster bei folgender Konstellation vermutet werden:

- Normale oder leicht erhöhte FEV1/FVC, gleichsinnige Reduktion der Vitalkapazität (IVC/FVC) und FEV1: keine obstruktive Ventilationsstörung
- Ein normales aber kleiner konfiguriertes Fluss-Volumen-Kurvenmuster

Wenn eine obstruktive Ventilationsstörung und eine Reduktion der Vitalkapazität (FVC) vorliegen, kann keine weitere Differenzierung (mixed defect oder Obstruktion mit Überblähung) erfolgen (siehe Kapitel 4.7). Eine verminderte Vitalkapazität alleine darf nicht als Nachweis einer Restriktion herangezogen werden. Diese kann nämlich durch Erhöhung des Residualvolumens (Überblähung) erniedrigt sein, ohne eine zugrundeliegende Restriktion (verminderter TLC).



	LLN	ULN	Soil	Vor	%(V/S)	Z-Score	Z-Score
						-3	-2
<b>IVC</b>	L	3.42	5.26	4.34	2.97	68 %	-2.45
<b>FVC</b>	L	3.18	5.45	4.31	2.88	67 %	-2.08
<b>FEV1</b>	L	2.32	4.09	3.24	2.17	67 %	-1.90
<b>FEV1%FVC</b>	%	61.94	87.67	75.56	75.28	100 %	-0.04

**Beispiel 4:** Restriktive Ventilationsstörung eines 71 Jahre alten Patienten mit „Lungenfibrose“.  
 LINKS – Spirometrie: Es findet sich eine reduzierte Vitalkapazität ohne Zeichen einer obstruktiven Ventilationsstörung.  
 RECHTS – Bodyplethysmographie: Für den Nachweis der reduzierten TLC und die Graduierung des Schweregrades der Restriktion ist eine Bodyplethysmographie notwendig.  
 Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.10 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.

Eine Diagnosestellung mittels Spirometrie ist generell nicht möglich, bei den restriktiven Ventilationsstörungen gibt es eine Reihe von Differenzialdiagnosen:

Differenzialdiagnosen bei restriktiver Ventilationsstörung
<b>Pulmonal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diffuse Lungenparenchymerkrankungen (DPLD)</li> <li>- Silikose</li> <li>- Pneumonie</li> <li>- Pneumonitis</li> <li>- Cystische Fibrose (Mukoviszidose)</li> <li>- Bronchiektasien</li> <li>- Linksherzinsuffizienz (oft mit Obstruktion)</li> </ul>
<b>Extrapulmonal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pneumothorax</li> <li>- Atemmuskelschwäche (neuromuskuläre Erkrankungen, Myopathien, Steroide, Hyper-/Hypothyreose, etc.)</li> <li>- Kyphoskoliose</li> <li>- Instabiler Thorax</li> <li>- Pleuraerguss, Pleuraschwarte</li> <li>- Zwerchfellparese</li> <li>- Adipositas</li> </ul>
<b>Zustand nach Operationen mit Resektion von Lungengewebe (z. B. Pneumektomie, Lobektomie)</b>

**Tabelle 22:** Differenzialdiagnosen restriktiver Ventilationsstörungen

#### 4.6.1 Graduierung des Schweregrades restriktiver Ventilationsstörungen

Die Definition einer Restriktion erfolgt anhand des Kriteriums  $TLC < LLN$ . Eine Graduierung des Schweregrades der restriktiven Ventilationsstörung anhand des z-Scores für TLC wird ebenfalls empfohlen, da die z-Score optimierten (GLI-)Referenzwerte für die TLC mittlerweile verfügbar sind<sup>16</sup>, eine entsprechende Empfehlung wird im Rahmen des weiteren Skriptums zur Bodyplethysmographie erfolgen. Eine Graduierung der Restriktion anhand der FVC oder IVC empfehlen wir nicht (wie von der DGP vorgegeben<sup>10</sup>).

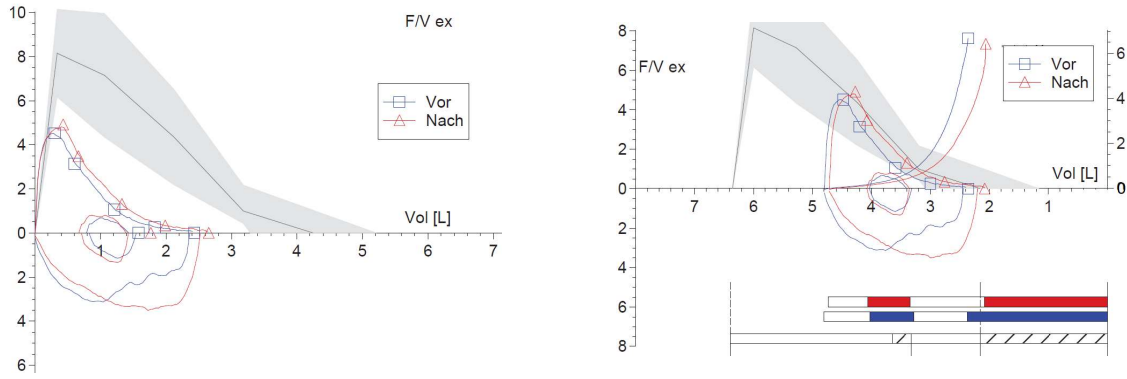
#### 4.7 Gleichzeitig vorliegende obstruktive und restriktive Ventilationsstörung

##### Fact Box:

- Der Terminus „kombinierte Ventilationsstörung“ für die Konstellation einer Obstruktion (FEV1/FVC vermindert) und einer reduzierten Vitalkapazität sollte nicht mehr verwendet werden.
- Liegt eine obstruktive (FEV1/FVC < LLN) und eine restriktive Ventilationsstörung (TLC < LLN) vor, kann von „mixed defect“, der gleichzeitig vorliegenden (simultaner) obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörung, gesprochen werden.

Für die Kombination aus eingeschränktem FEV1/FVC (Obstruktion) und verminderter Vitalkapazität wurde früher oft der Terminus „kombinierte Ventilationsstörung“ verwendet, ohne Unterscheidung, ob dieser Konstellation eine Restriktion oder eine Lungenüberblähung zugrunde liegt. Dies wird heute nicht mehr empfohlen. Wenn allerdings bei einer restriktiven Ventilationsstörung (TLC < LLN) gleichzeitig eine Obstruktion (FEV1/FVC < LLN) vorliegt, sollte eine gleichzeitig bestehende restriktive und obstruktive Ventilationsstörung diagnostiziert werden, im Englischen auch „mixed defect“ genannt.



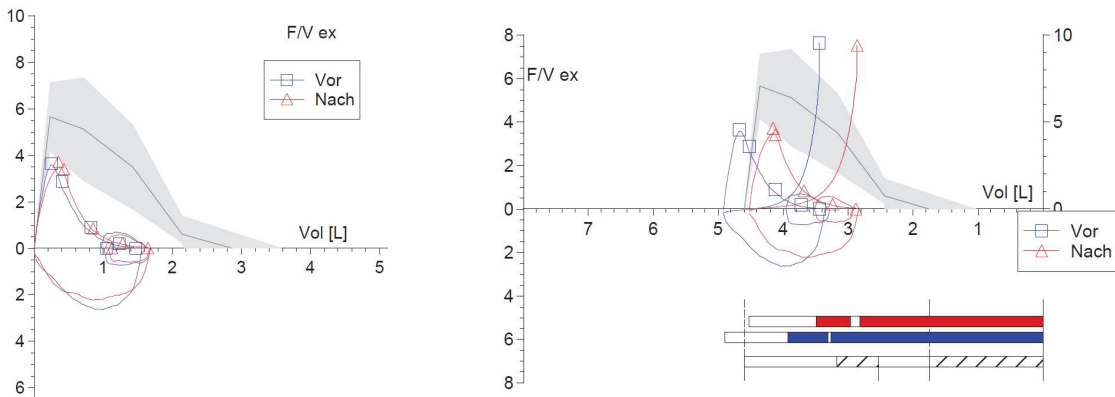


	LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
<b>Substanz</b>										Sult4Hb		
<b>Messzeit</b>				11:11						11:31		
<b>IVC</b>	L	3.16	5.01	4.09	2.01	49 %	-3.71			2.48	61 %	24 %
<b>FVC</b>	L	3.28	5.21	4.24	2.43	57 %	-3.13			2.65	63 %	9 %
<b>FEV1</b>	L	2.58	4.08	3.35	1.58	47 %	-3.62			1.76	53 %	11 %
<b>FEV1%FVC</b>	%	67.76	88.99	79.16	65.14	82 %	-1.98			66.57	84 %	2 %

**Beispiel 5:** Patientin (54 J.) mit Nikotinabusus (25 py) und Kachexie (BMI 16) bei St.p. Lebertransplantation.

LINKS – Spirometrie: mittelgradige obstruktive Ventilationsstörung mit deutlich reduzierter Vitalkapazität in der Spirometrie. RECHTS – Bodyplethysmographie: Nur hier kann der Nachweis der gleichzeitigen mittelgradigen restriktiven Ventilationsstörung erfolgen; in diesem Beispiel beträgt die TLC 5.46 L, 75 % des Solls, z-Score -2.62.

Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.14 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.



	LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
<b>Substanz</b>										Sult4Hb		
<b>Messzeit</b>				08:58						09:22		
<b>IVC</b>	L	1.84	3.22	2.53	1.64	65 %	-2.11			1.67	66 %	2 %
<b>FVC</b>	L	2.17	3.57	2.86	1.47	51 %	-3.43			1.65	58 %	12 %
<b>FEV1</b>	L	1.72	2.80	2.27	1.05	46 %	-3.54			1.13	50 %	8 %
<b>FEV1%FVC</b>	%	67.77	90.05	79.80	71.43	90 %	-1.18			68.32	86 %	-4 %

**Beispiel 6:** Patientin mit Asthma und Bronchiektasien bei rezidivierenden Infekten seit der Kindheit und Adipositas (BMI 37).

LINKS – Spirometrie: Grenzwertige obstruktive Ventilationsstörung (leichtgradige zentrale Obstruktion mit erhöhtem Reff von 152 %) und deutlich reduzierte Vitalkapazität in der Spirometrie. RECHTS - Bodyplethysmographie: Nur hier kann die relative Überblähung bzw. der Zwerchfelhochstand im Rahmen der Adipositas nachgewiesen werden und diese von einer gleichzeitigen restriktiven und obstruktiven Ventilationsstörung abgegrenzt werden; nach der Bronchodilatation (BDR) kommt es zu einer deutlichen Abnahme des Residualvolumens um 400 mL, was auf ein „Air trapping“ hinweisen kann; in diesem Beispiel beträgt die TLC 4.90 L, 110 % des Solls, z-Score +0.77, die RV 3.26 L, 171 % des Solls, z-Score +4.32, RV%TLC 171 %. Beschreibung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.10 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.



Der Nachweis bzw. der Verdacht einer gleichzeitigen Störung kann auf Basis der Spirometrie nicht gestellt werden. Hierzu ist eine Bodyplethysmographie mit Bestimmung der TLC notwendig. Hier kann höchstens auf Grund des Musters der Fluss-Volumen-Kurve bzw. Messwerte (IVC, FVC, FEV1/FVC) die zugrundeliegende Pathologie vermutet werden, dies ist allerdings nicht immer möglich (siehe **Beispiel 5** und **Beispiel 6**).

#### 4.8 Unspezifisches Muster

**Fact Box:**

- FEV1 oder FVC vermindert ( $< LLN$ ) bei gleichzeitig erhaltener FEV1/FVC Ratio ( $> LLN$ )
- Weitere Differenzierung durch die Bodyplethysmographie ( $TLC > LLN$ )

Ein in den letzten Jahren zunehmend Beachtung erfahrendes Thema ist das „Unspezifische Muster“ in der Spirometrie. Es besteht bei reduzierter FEV1 oder FVC ( $< LLN$ ) bei gleichzeitig erhaltener FEV1/FVC Ratio ( $> LLN$ ).

Einerseits kann dieses Muster in der Spirometrie bei einer restriktiven Ventilationsstörung vorliegen, die mittels Messung der TLC in der Bodyplethysmographie bestätigt oder ausgeschlossen werden kann. Andererseits kann eine erniedrigte FVC oder FEV1 bei erhöhtem Residualvolumen auch einen Kollaps der kleinen Atemwege bei beginnender Obstruktion anzeigen. In Beobachtungsstudien, wo dieses Muster auch als „PRISm“ (preserved ratio impaired spirometry) bezeichnet wird, konnte eine Progression zu typischen restriktiven oder obstruktiven Ventilationsstörungen gezeigt werden<sup>30</sup>.

Eine Verbesserung der Spirometrie nach einer Testung mit Bronchodilatator oder ein deutlicher Unterschied zu einer langsamen expiratorischen/inspiratorischen Vitalkapazität ( $SVC - FVC > 100 \text{ mL}$ ) kann bei Vorliegen eines unspezifischen Musters weitere Hinweise auf eine obstruktive Störung liefern<sup>2,31</sup>.

#### 4.9 Muster bei neuromuskulären Erkrankungen

**Fact Box:**

- FEV1 und FVC vermindert ( $< LLN$ ) bei gleichzeitig erhaltener FEV1/FVC Ratio ( $> LLN$ )
- Weitere Differenzierung durch die Bodyplethysmographie ( $TLC < LLN$  und  $RV/TLC > ULN$ )
- Differenz der FVC in liegender und sitzender Position um  $> 10 \%$

Neuromuskuläre Erkrankungen führen im Verlauf zu einer Einschränkung der Zwerchfellfunktion und der nicht diaphragmalen Inspirationsmuskulatur mit daraus resultierendem Atempumpversagen. Bei Patient\*innen mit neuromuskulären Erkrankungen und Atemmuskelschwäche sind in der Spirometrie Hinweise einer restriktiven Ventilationsstörung zu sehen: FEV1 und die FVC sind gleichsinnig vermindert, die FEV1/FVC-Ratio normal oder erhöht. In der Bodyplethysmographie präsentiert sich dieses Muster mit einer verringerten TLC ( $< LLN$ ), allerdings im Gegensatz zur Restriktion meist mit einer erhöhten RV/TLC-Ratio.

Wenn möglich sollte die Spirometrie in aufrechter und liegender Position durchgeführt werden. Eine Abnahme der FVC um mehr als 10 % in liegender Position unterstützt die Diagnose einer verminderten Atemmuskulatur<sup>32</sup>.

Aus der Spirometrie können auch Hinweise abgeleitet werden, wo eine kritische Einschränkung der Atemmuskulatur erreicht ist und eine Evaluation für eine Indikation zu einer Nicht-invasiven Beatmung erfolgen sollte<sup>33,34</sup>. Dieser Grenzwert liegt für die VC bzw. FVC bei ca. 1 L (15–20 mL/kgKG), bzw. 50–60 % des Normwertes.

Weiterführende diagnostische Maßnahmen neben der Spirometrie sind die Messung der Atemmuskulatur<sup>35,36</sup>, die Blutgasanalyse und die Polysomnographie.

#### 4.10 Varianten einer gesunden Lunge

Man muss sich bewusst sein, dass die Unterscheidung zwischen normal und nicht normalen Messwerten anhand des LLN bzw. ULN definiert wird. Somit liegen 5 % bzw. 10 % der gesunden Bevölkerung im nicht normalen (pathologischen) Referenzbereich. Somit sollte im Grenzbereich eine vorsichtige Interpretation der Lungenfunktion erfolgen, insbesondere bei asymptomatischen Patient\*innen bzw. Gesunden. Darüber hinaus gibt es Muster, die bei Gesunden bzw. asymptomatischen Patient\*innen als Varianten der Norm interpretiert werden können. Dies betrifft den Terminus der „kleinen Lunge“. Dies bezeichnet ein restriktives Muster mit gleichmäßiger Reduktion aller Volumina (FVC, TLC, FRC, RV) bei unauffälligem Gas-Transfer und hier kann eine Variante einer „normalen/gesunden“ Lunge angenommen werden. Ebenso ist die Bedeutung einer reduzierten FEV1/FVC-Ratio bei erhaltener FEV1 und normaler bzw. erhöhter FVC bei Gesunden unklar. Dieses Muster kann durch ungleichmäßiges Wachstum von Atemwegen und Lungenparenchym entstehen und wird daher auch als dysanaptisches Muster bezeichnet<sup>2</sup>.

#### 4.11 Inspiratorische Parameter und forciertes inspiratorisches Manöver

##### Fact Box:

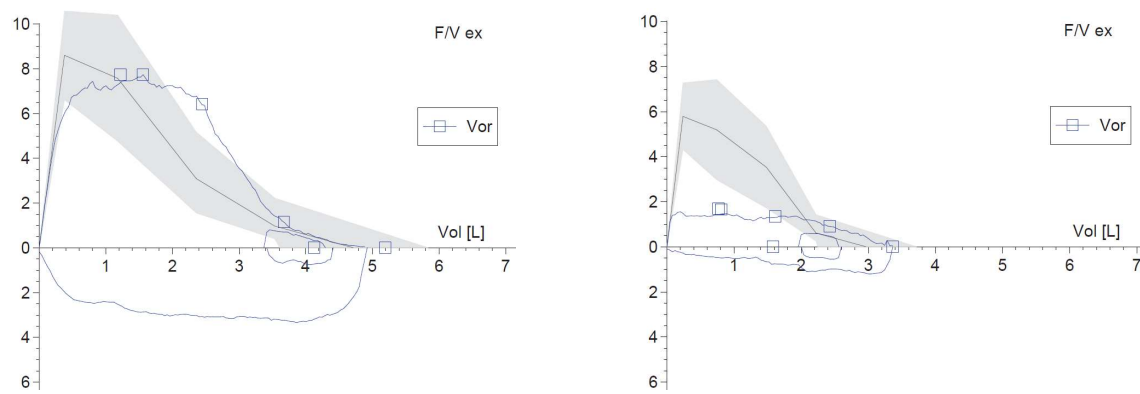
- Die inspiratorische Vitalkapazität (IVC) soll bei jeder Spirometrie bestimmt werden.
- Das separate Manöver der forcierten Inspiration ist speziellen Fragestellungen, wie z.B. obere Atemwegsobstruktion, vorbehalten.

Die neuen Normwerte nach GLI beziehen sich nur auf expiratorische Parameter. So wurde international für die Vitalkapazität lediglich die forcierte expiratorische (FVC) und nicht die inspiratorische Vitalkapazität erhoben (IVC). Die IVC ist insbesondere bei Patient\*innen mit Atemwegsobstruktionen größer als die FVC. Die Bestimmung der IVC wird empfohlen und ist im Rahmen der Standardabfolge der Spirometrie integriert (siehe **Abbildung 3** und **Abbildung 4**). Die inspiratorische Kapazität (IC) ist ebenso im Rahmen der Standardabfolge der Spirometrie bestimmbar (siehe Kapitel 4.11.3).

Weitere inspiratorische Parameter (z. B. FIVC, PIF, FIV1, FIF50) können nur mittels eines separaten forcierten inspiratorischen Manövers ermittelt werden, welches bei speziellen Fragestellungen durchgeführt werden kann. Dies sind extra- und intrathorakale Stenosen der oberen Atemwege oder die Beurteilung der inspiratorisch wirksamen Obstruktion oder Muskelkraft (FIV1), die meist mit der Dyspnoe korrelieren, wie z.B. bei COPD oder Schwäche der Atemmuskulatur.

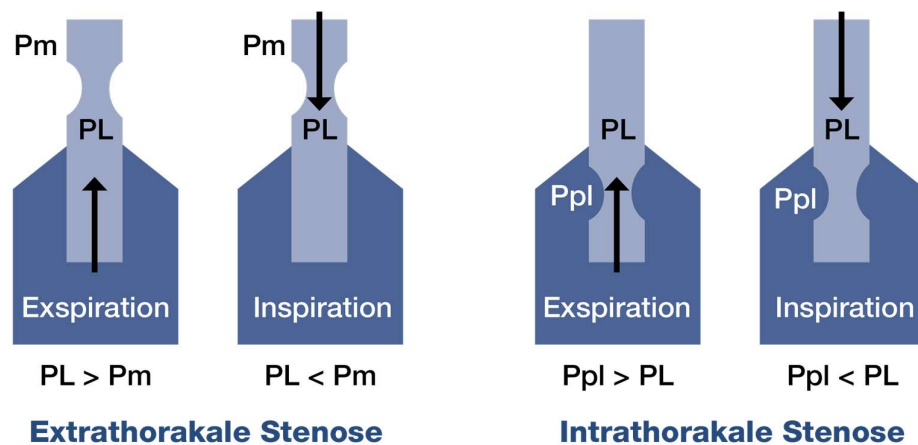
##### 4.11.1 Extra- und intrathorakale Stenosen der oberen Atemwege

Stenosen der oberen und zentralen Atemwege (Atemwege außerhalb des Lungenparenchyms) können in der Spirometrie spezifische Muster verursachen. In idealisierter Form können Muster für fixierte und variable extra- (Pharynx, Larynx und extrathorakaler Anteil der Trachea) und intrathorakale (intrathorakaler Anteil der Trachea und Hauptbronchien) Stenosen unterschieden werden (siehe **Abbildung 11**).



**Abbildung 11:** Fluss-Volumen-Kurven mit typischen Mustern für eine variable (LINKS: Stimmbandlähmung links) und fixierte (RECHTS: bds. komplette Stimmbandlähmung bei St.p. Thyreoidektomie) extra-Stenosen der oberen Atemwege.

Diese unterschiedlichen Muster in der Inspirations- und Expirationskurve beruhen auf den unterschiedlichen Druckverhältnissen während Inspiration und Expiration in den extra- und intrathorakalen Abschnitten der Atemwege (siehe **Abbildung 12**). Ein Parameter, der für die Differenzierung von extra- und intrathorakalen Stenosen herangezogen werden kann, ist die FIF50/FEF50-Ratio: bei fixierter extrathorakaler Stenose normal bzw. ca. 1, bei variabler extrathorakaler Stenose < 1 und bei intrathorakaler Stenose > 1. Typische Befundkonstellationen sind in **Tabelle 23** zusammengefasst.



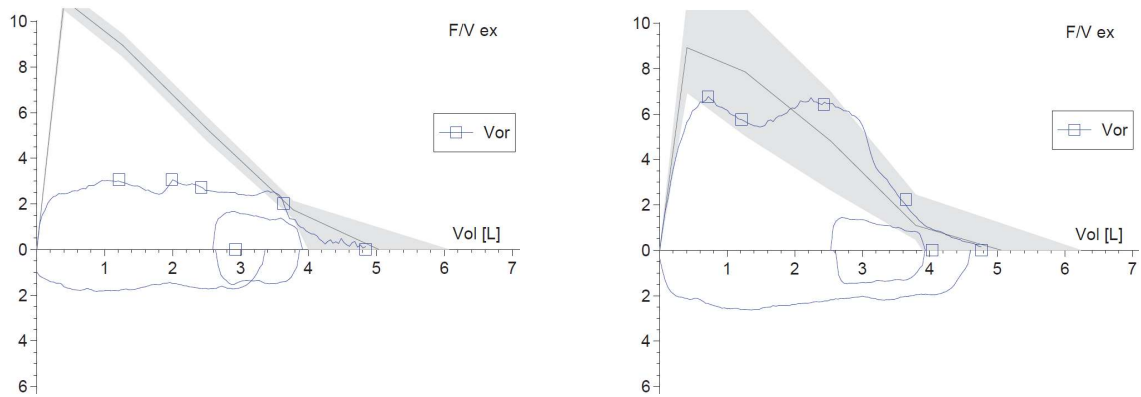
**Abbildung 12:** Bei variablen Stenosen kommt es in den extrathorakalen Atemwegen in der Inspiration zu einem Unterdruck (im Vergleich zu den umgebenden Strukturen) und einer potenziellen Zunahme der Obstruktion, wohingegen es in den intrathorakalen Atemwegen in der Expiration zu einem Unterdruck und einer potenziellen Zunahme der Obstruktion kommt. PL: Druck im Lumen; Pm: atmosphärischer Druck; Ppl: Pleuradruck.

Parameter	Extrathorakale Stenose		Intrathorakale Stenose
	fixiert	variabel	
PEF	reduziert	Normal oder reduziert	reduziert
FIF50	reduziert	reduziert	normal oder reduziert
FIF50/FEF50	ca. 1	< 1	> 1

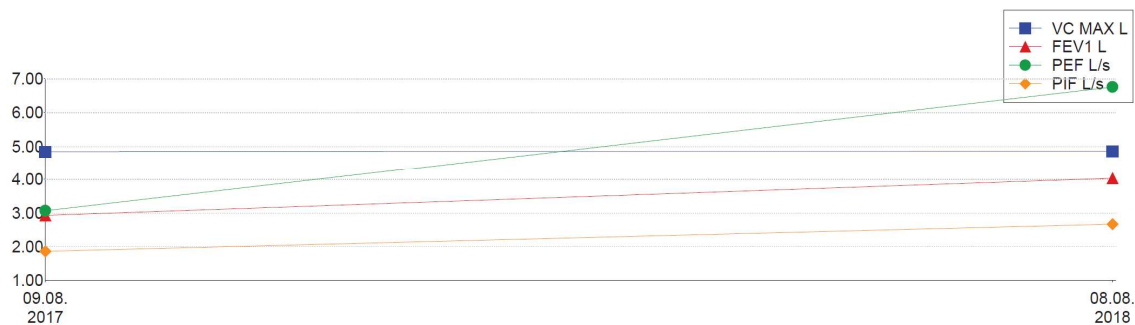
**Tabelle 23:** Charakteristika von intra- und extrathorakalen Stenosen<sup>2</sup>

Eine Quantifizierung der Stenose anhand der Atemflusslimitationen ist schwierig. Die Korrelation zwischen Atemflusslimitation und Stenosedurchmesser ist schlecht und eine entsprechende Sensitivität ist erst bei höhergradigen Stenosen gegeben (ab ca. 8 mm Restlumen, entspricht einer Stenose von ca. 80 %). Für die Beurteilung zur Operationsindikation für kritische Stenosen im

HNO-Bereich gibt es keine klaren Empfehlungen, folgende Parameter sind in Verwendung: PIF, PEF/FEV1 (Empey Index)<sup>37</sup>, wo ein cut-off von > 8 mL/L/min für eine kritische Stenose verwendet werden kann.



		LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>-1</sub>	Z-Score <sub>0</sub>	Z-Score <sub>1</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>
<b>Messzeit</b>					10:03								
PEF	L/s	10.49	11.37	10.93	3.07	28 %	-29.23						
PIF	L/s				1.86								
FEF50	L/s	4.73	5.76	5.24	2.73	52 %	-8.02						
FIF50	L/s				1.58								
FEF50%/FIF50	%				172.25								
<b>Messzeit</b>					12:48								
PEF	L/s	6.93	10.91	8.92	6.76	76 %	-1.78						
PIF	L/s				2.67								
FEF50	L/s	2.64	6.98	4.81	6.41	133 %	1.21						
FIF50	L/s				2.30								
FEF50%/FIF50	%				279.22								



**Beispiel 7:** Kritische fixierte extrathorakale Stenose (BVFP, bilateral vocal fold paralysis) vor (LINKS: PIF = 1.86 L, PEF/FEV1 = 15.9 min\*mL/L) und nach (RECHTS: PIF = 2.67 L, PEF/FEV1 = 9.66 min\*mL/L) der Operation (laserchirurgische Glottiserweiterung) mit einer Trendgrafik zur Verlaufsbeurteilung (UNTEN).

Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.14 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.

#### 4.11.2 Peak Inspiratory Flow (PIF)

Neben der Beurteilung von extrathorakalen Stenosen (siehe oben) wurde der PIF auch im Rahmen der Evaluation der Anwendung von Inhalatoren verwendet. Die Inhalation eines Medikaments benötigt je nach Inhalator eine bestimmte minimale inspiratorische Flussrate (IFR). Die individuell erzielte IFR ist allerdings auch durch den internen Widerstand des Inhalators bestimmt und somit ist die in der Spirometrie gemessene PIF (ohne internen Gerätewiderstand) nur bedingt hilfreich, um die Tauglichkeit eines Inhalators (insbesondere der Pulverinhalatoren – DPIs) für eine\*n Patient\*in abzuschätzen. Hierfür ist die Messung einer Widerstands-adaptierten IFR, z. B. mit In-check Dial, zu bevorzugen.

#### 4.11.3 Inspiratorische Kapazität (IC)

Eine Überblähung der Lunge bei obstruktiven Ventilationsstörungen ist anhand der statischen Lungenvolumina (RV und TLC) definiert, die allerdings nur mittels Bodyplethysmographie zu bestimmen sind. Als Surrogat-Marker wurde hierfür gelegentlich die IC verwendet; dies ist das von der Atemmittlage (FRC) bis zur TLC inspirierte Volumen. Auf Grund verschiedener Einflussfaktoren auf die IC wie auch unterschiedlicher Manifestationen der Überblähung (RV, FRC oder TLC) ist hiervon abzuraten, und die Frage einer Überblähung sollte mittels Bodyplethysmographie beantwortet werden.

### 4.12 Präoperative Beurteilung

**Fact Box:**

- Peri- und postoperative Risikobeurteilung mittels Lungenfunktion
- Zwei unterschiedliche Settings:
  - o Operation in Allgemeinnarkose (A)
  - o Operation mit Resektion von Lungengewebe (B)
- Setting A:
  - o Präoperative Lungenfunktion nicht generell, sondern nur in spezieller Indikation (siehe **Abbildung 13**): Indikatoren sind Auffälligkeiten in der Anamnese oder klinischen Untersuchung, Symptome oder Leistungseinschränkung des\*der Patient\*in bzw. der Schweregrad der geplanten Operation.
  - o Kein standardisiertes Vorgehen bzgl. Risikoabschätzung anhand der Spirometrie verfügbar
  - o  $\text{PaCO}_2 > 45\text{mmHg}$  und  $\text{PaO}_2 < 50\text{mmHg}$ ,  $\text{SaO}_2$ -Abfall  $> 4\%$  unter Belastung,  $\text{FEV1} < \text{L}$  sind mit erhöhten postoperativen Komplikationen verbunden
  - o Risikoabschätzung erfolgt dreistufig: kein erhöhtes Risiko, erhöhtes und stark erhöhtes Risiko
- Setting B:
  - o Anhand des ERS/ESTS-Algorithmus erfolgt die Beurteilbarkeit der Operabilität, wo die Spirometrie die erste diagnostische Stufe darstellt.
- Generelle Risikominimierung durch Nikotinabstinenz und optimierte COPD-/Asthma-Therapie

Die präoperative Evaluierung von Patient\*innen inkludiert standardmäßig die (Belastungs-)Anamnese und eine körperliche Untersuchung. Häufig werden weitere Untersuchungen durchgeführt (Labor, EKG, Thorax-Röntgen, Herzecho, Sonographie der Halsgefäße, Lungenfunktion, etc.), welche allerdings oft nicht notwendig sind<sup>38,39</sup>.

Bei der Beurteilung des post- und peri-operativen Risikos sind aus Sicht der Lungenfunktion generell zwei klinische Situationen zu unterscheiden:

- elektive Operation in Allgemeinnarkose (nichtkardiologisch als auch kardiologisch)
- elektive Operation mit Resektion von Lungenvolumen

Hierfür gelten unterschiedliche Vorgehensweisen. Während es für die Beurteilung des post-operativen Risikos für Operationen mit Resektion von Lungenvolumen klare Leitlinien gibt, fehlen jene aus Sicht der Lungenfunktion für Operationen in Allgemeinnarkose.

#### 4.12.1 Operation in Allgemeinnarkose

Prinzipiell obliegt die Operationsfreigabe dem\*der Anästhesist\*in, aber in letzter Instanz entscheidet über die Durchführung des Eingriffs stets der\*die Operateur\*in. Es ist heutzutage üblich, eine „internistische OP-Freigabe“ präoperativ einzuholen, welche im Wesentlichen eine Risikoabschätzung primär für die post- (und auch peri-)operative Phase bzw. präoperative Therapieoptimierung darstellen soll. Die Lungenfunktion ist im Allgemeinen laut internationalen Leitlinien und Qualitätsleitlinie des Bundesministeriums nicht vorgesehen (siehe **Abbildung 13**), trotzdem ist dies eine sehr häufig angeforderte präoperative Untersuchung. Eine zentrale Rolle in der präoperativen Evaluierung spielen der Schweregrad des geplanten Eingriffs, die Anamnese, klinische Untersuchung, Symptomatik des\*der Patient\*in. Wenn sich hier pulmonale Auffälligkeiten ergeben, wird die Durchführung einer Lungenfunktion empfohlen. Eine weitere Evaluation ist auch indiziert, wenn sich eine deutlich eingeschränkte Leistungsfähigkeit anhand von anamnestisch eruiertem metabolischer Äquivalente (MET) findet (siehe Algorithmus in **Abbildung 13** und **Tabelle 24**).

Ein MET entspricht dem Grundumsatz, also einer relativen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) von 3.5 mL/kg KG bei Männern und 3.15 mL/kg KG bei Frauen oder einem Energieumsatz von 4.2 kJ/h/kg KG. Eine direkte Umrechnung in Leistung (Watt) existiert nicht, da der Grundumsatz von Geschlecht und Körpermasse abhängt und auch beim Leertreten am Ergometer (0 Watt) bereits ca. 2 MET verbraucht werden. Tätigkeiten im Alltag liegen bei ca. 3–6 MET (siehe Tabelle). Als kritischer cut-off für das OP-Risiko haben sich 4 MET (der Grundumsatz wären somit bereits 25 % der maximalen Leistungsfähigkeit) herausgestellt<sup>40</sup>.

Intensität	Körperliche Tätigkeit	METs
Leichte Intensität ( $< 3$ METs)	Schlafen	0.9
	Fernsehen	1.0
	Gehen in der Ebene (ca. 4 km/h)	2.9
Mittlere Intensität (3–6 METs)	Leichtes Radfahren (ca. 50 W)	3.0
	Gehen in der Ebene (ca. 5,5 km/h)	3.9
	Gartenarbeit	4.4
	Radfahren (ca. 100 W)	5.5
Hohe Intensität ( $> 6$ METs)	Langsames Laufen	7.0
	Schnelles Laufen (ca. 4,7 min/km)	13.2

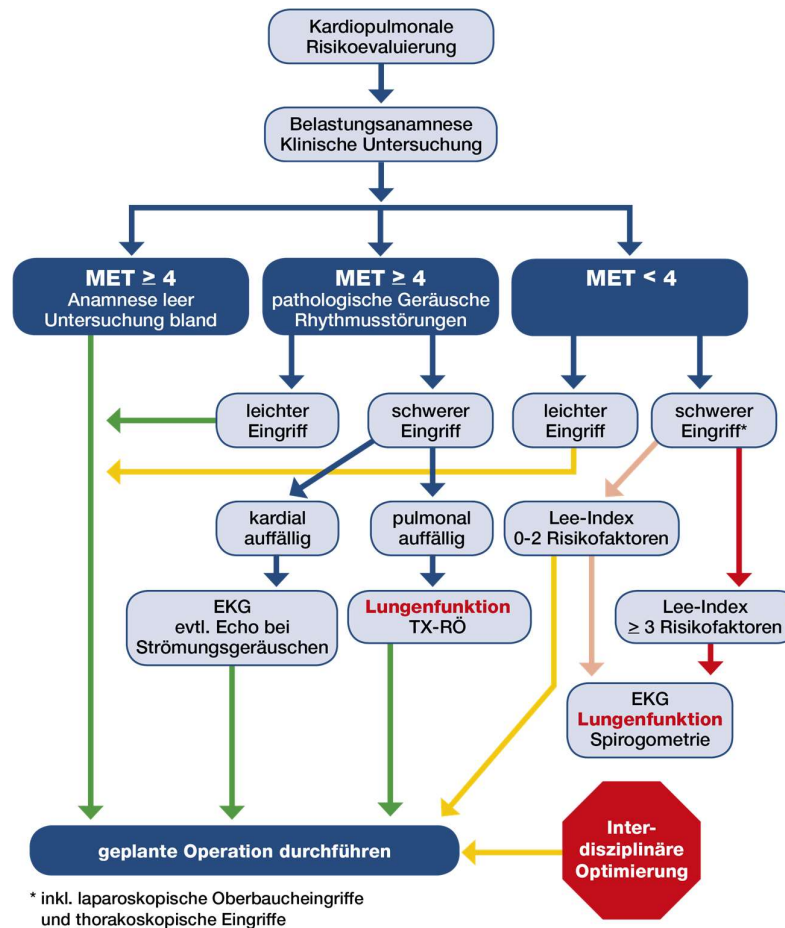
**Tabelle 24:** METs assoziiert mit alltäglichen Tätigkeiten (modifiziert nach Rafiq et al)<sup>41</sup>

Hier sei angemerkt, dass in der Praxis das Vorgehen in der präoperativen Evaluation auch von der jeweiligen Situation abhängen wird. So wird bei einem\*r Patient\*in, der einem\*r Lungenfacharzt\*in zur präoperativen Begutachtung zugewiesen wird, wohl eine Lungenfunktion durchgeführt werden (obwohl dies laut Leitlinie womöglich nicht empfohlen ist).

Vorbestehende pulmonale Erkrankungen erhöhen das intraoperative Risiko nur in geringem Maße, wesentlich häufiger haben sie einen Effekt auf post-operative pulmonale Komplikationen, wie z. B. Atelektasen, respiratorisches Versagen, Hypoxie, Infektionen oder Exazerbationen der Grunderkrankung (COPD oder Asthma). Weiters stellt auch ein aktiver Nikotinkonsum bei COPD-Patient\*innen einen Risikofaktor da (eine Karenz von ca. 2 Monaten präoperativ ist zu

empfehlen)<sup>40</sup>. Pulmonale Erkrankungen, die ebenfalls mit einem erhöhten peri- und post-operativen Risiko einhergehen und nicht mittels Spirometrie erfasst werden, sind z. B. die pulmonale Hypertension (PH) oder ein Obesitas-Hypoventilations-Syndrom (OHS).

Thorakale und Operationen des oberen Abdomens gehen mit einer Reduktion des Lungenvolumens einher: die Vitalkapazität ist postoperativ bis zu 50–60 % eingeschränkt und bis zu einer Woche reduziert, die funktionelle Residualkapazität ist ca. um 30 % reduziert.



**Abbildung 13:** Algorithmus der präoperativen kardiopulmonalen Risikoevaluierung. Schwerer Eingriff: z. B. Dauer > 2 h, Blutverlust > 500 mL, Eingriffe an Thorax oder Abdomen inkl. laparoskopischer Darmchirurgie (Quelle: ÖGARI Leitlinie 2011<sup>39</sup>)

Auch wenn es keine klaren Guidelines für die präoperative pulmonale Risiko-Evaluierung aus Sicht der Lungenfunktion gibt, stehen generell die Pulsoxymetrie, Blutgasanalyse, Spirometrie oder Bodyplethysmographie zur Verfügung. Üblicherweise werden zwei Parameter als relevant eingestuft: FEV1 und die arterielle Sauerstoff-Sättigung ( $sO_2$ ) bzw. Partialdruck ( $pO_2$ ). Jene Parameter gehen auch in die üblichen anästhesiologischen Risiko-Scores ein.

#### FEV1:

In der internationalen Literatur gibt es keine Empfehlung zur FEV1-abhängigen Risikoeinschätzung. In Österreich wurde von Haber eine Einteilung anhand physiologischer Überlegungen eingeführt<sup>42</sup> (siehe **Tabelle 25**). Die physiologische Grundlage ergibt sich aus der Belastungsgrenze (critical power)<sup>43</sup> für die Atemmuskulatur, die bei ca. 30 % der maximalen Leistung liegt. Befindet sich die



Belastung über dieser Schwelle, erschöpft sich die Muskulatur zunehmend. Die Maximal Voluntary Ventilation MVV (wird mit der Formel  $FEV1 \times 35$  abgeschätzt) repräsentiert die maximale Leistung der Atemmuskulatur. Das Atemminutenvolumen (VE) kann 100 % über dem Ruhe-VE (ca. 100 mL/kg) liegen, wie dies bei Fieber oder Schmerzen, aber auch postoperativ vorkommt. Solange diese Steigerung nicht mehr als 30 % der individuellen MVV beträgt, geht man von einem normalen Risiko aus. Der Grundumsatz bei Frauen ist um 10 % niedriger als bei Männern, dementsprechend kann auch das FEV1 um ca. 10 % reduziert sein. Für adipöse Menschen soll hierbei das Normalgewicht nach Broca herangezogen werden (Körpergröße in cm – 100), da ja die Atmung nur die aktive Körpermasse mit O<sub>2</sub> zu versorgen hat.

Risiko	FEV1 in mL/kg KG für Männer	FEV1 in mL/kg KG für Frauen
Normal	≥ 20	≥ 18
Erhöht	14–19.99	12–17.99
Sehr hoch	< 14	< 12

**Tabelle 25:** Abschätzung des peri-/postoperativen Risikos anhand des FEV1 nach Haber<sup>42</sup>

#### Blutgasanalyse (unter Belastung):

Auch hier existieren in der internationalen Literatur keine detaillierten Angaben bzw. Assoziationen von Blutgaswerten mit peri- und postoperativen Komplikationen. Bei einem PaCO<sub>2</sub> > 45 mmHg und einem PaO<sub>2</sub> < 50 mmHg in Ruhe sowie einem SaO<sub>2</sub>-Abfall > 4 % unter Belastung, ist mit erhöhten postoperativen Komplikationen zu rechnen.

#### Risiko-Score in der Anästhesie:

Zur Abschätzung einer postoperativen respiratorischen Insuffizienz (Beatmung > 48 h, ungeplante Re-Intubation) wurden **klinische Scores** entwickelt, die sich an der Art/Größe des operativen Eingriffs, Dringlichkeit, ASA-Klassifikation, Laborwerten, Alter etc. orientieren. In diese Scores gehen auch Lungenfunktionsparameter ein, wie z. B. in den **ARISCAT (Canet) preoperative pulmonary risk index**, der die präoperative Sauerstoffsättigung inkludiert, oder in den **Gupta calculator for postoperative pneumonia**, der die Sauerstoffsättigung in Ruhe und die schwere Einschränkung der Lungenfunktion (FEV1 <1 Liter) berücksichtigt.

#### Risiko-Beurteilung:

Es gibt keine absolute Kontraindikation einer OP anhand der Einschränkung der Lungenfunktion, es muss stets eine Risiko-/Nutzenabwägung geführt werden. Je dringlicher die Indikation für eine Operation, desto eher müssen schlechtere Lungenfunktionswerte in Kauf genommen werden. Beim Vorliegen einer lungenfunktionellen Einschränkung sollte vor der OP eine optimierte medikamentöse Therapie erfolgen, bei fehlender dringlicher Indikation eventuell die Operation verschoben werden. Bei stark erhöhtem Risiko muss für die postoperative Phase ein Intensivbett in Evidenz gehalten werden.

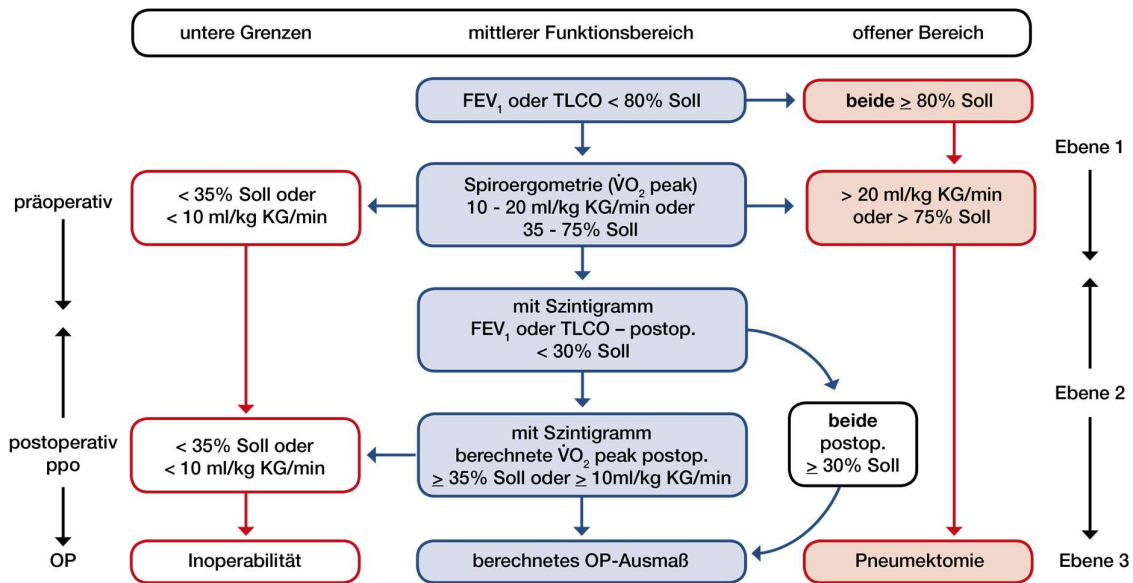
Aus Sicht der Lungenfunktion erscheinen in der präoperativen Risikoevaluierung drei Risiko-Kategorien als zweckmäßig: normales, erhöhtes und stark erhöhtes Risiko. Es gibt keine klaren Kriterien, wie dieses Risiko zu definieren ist. Obige Parameter können dafür herangezogen werden und sollen zu einer Gesamt-Risiko-Beurteilung führen, ergänzt durch Empfehlungen wie z. B. Optimierung der antiobstruktiven Therapie (Textbausteine siehe Kapitel 6.1).

#### 4.12.2 Operation mit Resektion von Lungenvolumen

Zur Beurteilung der funktionellen Resektabilität bei Lungenkarzinomen liegen detaillierte Empfehlungen der ERS und ESTS vor<sup>44</sup>. Die Spirometrie (Bodyplethysmographie) und Diffusions-Messung stellen die erste Stufe in der Evaluierung dar. Sollte sich eine reduzierte FEV1 oder DLCO finden, wird eine weitere Evaluation mittels Spiroergometrie (VO<sub>2</sub>peak) empfohlen. Bei



fehlender Verfügbarkeit können auch einfachere Belastungstests wie der Shuttle Walking Test oder Stiegensteigttest angewendet werden, jedoch mit geringerer qualitativer Aussagekraft. Ergibt sich hier ein grenzwertiger Befund, kann mittels quantitativer V/Q-Szintigraphie der zu erwartende Lungenfunktionsverlust und das maximale mögliche Resektions-Ausmaß abgeschätzt werden. Die zu erwartenden postoperativen Werte (PPO: predicted postoperative) für FEV<sub>1</sub> und DLCO werden mittels einer Formel je nach Ausmaß der geplanten Resektion und der präoperativen Lungenfunktionswerte (für FEV<sub>1</sub> und DLCO) ermittelt (Details siehe entsprechende Literatur).



**Abbildung 14:** Algorithmus zur kardiopulmonalen Evaluation vor Lungenresektion in Lungenkarzinom-Patient\*innen nach ERS/ESTS 2009 (Quelle: Kursbuch Spiroergometrie<sup>45</sup>)

### 4.13 Spirometrie in der Arbeitsmedizin

Die Spirometrie hat in der Arbeitsmedizin verschiedene Anwendungsgebiete. Dieses Kapitel enthält einen kurzen Überblick, praktische Tipps und arbeitsmedizinische Besonderheiten der Spirometrie. Generell sollen die Durchführung und Befundung der Spirometrie in der Arbeitsmedizin den allgemeinen Standards folgen.

Die wichtigsten Anwendungsgebiete in der Arbeitsmedizin sind:

#### - Untersuchungen gemäß ArbeitnehmerInnenschutzgesetz (ASchG):

- Bei der Exposition gegenüber inhalativen Noxen, die Atemwegs- oder Lungengerüsterkrankungen verursachen können, sind Eignungsuntersuchungen mit Spirometrie gesetzlich vorgesehen. Dies betrifft die Exposition durch Mangan, Cadmium, Chrom-VI-Verbindungen, Cobalt, Nickel, Aluminium, Aluminiumoxid, Aluminiumhydroxid, Quarz, Asbest, Hartmetalle, Schweißrauch, Rohbaumwolle, Rohhanf, Rohflachs und Isocyanate, weiters das Arbeiten mit Atemschutzgeräten, unter Hypoxie und Taucharbeiten. Für einige Expositionen definiert die Spirometrie eine Nicht-Eignung. Dies bedeutet, dass der\*die Arbeitnehmer\*in den Beruf nicht antreten oder nicht mehr ausüben darf.
- Die Vorgaben für die Interpretation der Spirometrie finden sich in der Rechtsvorschrift für die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz (Verordnung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz – VGÜ im Bundesgesetzblatt). Hier ist anzumerken, dass in der VGÜ 2017 für

- die Befundung der Spirometrie die Forche-Referenzgleichungen und % des Sollwertes als Definition einer Pathologie festgelegt werden. Derzeit ist die VGÜ in Überarbeitung und wird die neuen Empfehlungen in Zukunft berücksichtigen. Die aktuelle Version der VGÜ ist online über das Rechtsinformationssystem des Bundes abzurufen ([www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at)).
- Besonders aussagekräftig sind longitudinale Beobachtungen.
- **Arbeitsplatz-assoziiertes Asthma:**
- Die mobile Spirometrie (oder PEF-Messung) ermöglicht eine mehrmals tägliche und Vor-Ort-Messung der Lungenfunktion.
  - Eine spezifische bronchiale Provokation kann mit entsprechenden Substanzen an spezialisierten Zentren durchgeführt werden.
- **Gutachten bei Berufskrankheiten:**
- Die Spirometrie (und Bodyplethysmographie) wird in der gutachterlichen Untersuchung im Berufskrankheitenverfahren und im Rahmen von spezifischen Expositionstestungen eingesetzt.
  - Im Falle eines Kausalzusammenhanges wird die Spirometrie (und Bodyplethysmographie) neben anderen Parametern für die Bewertung des funktionellen Anteils der MdE (Minderung der Erwerbsfähigkeit) herangezogen. Die MdE-Einschätzung orientiert sich an den deutschen Expertenempfehlungen, wie z. B. der Reichenhaller, Bochumer bzw. Falkensteiner Empfehlung. Für die Bewertung des Schweregrads der Obstruktion sollen die Empfehlungen der ÖGP herangezogen werden (z-Score). Es ist davon auszugehen, dass durch die Adaptierung der Grenzwerte vor allem bei Menschen höheren Alters bisher pathologisch eingestufte spirometrische Messwerte aufgrund der bei Anwendung der GLI-Referenzwerte höheren Streuung nun als Normalbefund eingestuft werden müssen. In der gutachterlichen Bewertung besteht allerdings keine rechtlich wesentliche Änderung in den Krankheitsfolgen. Darüber hinaus ist gemäß den geltenden Begutachtungsempfehlungen die Spirometrie nur einer von mehreren Aspekten, die in die MdE-Bewertung eingehen, sodass sich in der Praxis kaum Änderungen ergeben werden.

Lfd. Nr.	Berufskrankheiten	Unternehmen
8	Erkrankungen durch Chrom oder seine Verbindungen	Alle Unternehmen
26	a) Staublungenerkrankungen (Silikose oder Silikatose) mit objektiv feststellbarer Leistungsminderung von Atmung oder Kreislauf b) Staublungenerkrankungen in Verbindung mit aktiv-fortschreitender Lungentuberkulose (Siliko-Tuberkulose) c) Bösartige Neubildungen der Lunge durch die Einwirkung von kristallinem Siliziumdioxid bei Silikose	
27	a) Asbeststaublungenerkrankung (Asbestose) mit objektiv feststellbarer Leistungsminderung von Atmung oder Kreislauf b) Bösartige Neubildungen des Rippenfells, des Herzbeutels und des Bauchfells durch Asbest c) Bösartige Neubildungen der Lunge durch Asbest d) Bösartige Neubildungen des Kehlkopfes durch Asbest	Alle Unternehmen
28	Erkrankungen der tieferen Luftwege und der Lunge durch Aluminium oder seine Verbindungen	Alle Unternehmen

29	Erkrankungen der tieferen Luftwege und der Lunge durch Thomasschlackenmehl	Thomasschlackenmühlen, Düngemittelmischereien und Betriebe, die Thomasschlackenmehl lagern, befördern oder verwenden
38	Infektionskrankheiten	Krankenhäuser, Heil- und Pflegeanstalten, Entbindungsheime und sonstige Anstalten, die Personen zur Kur und Pflege aufnehmen, öffentliche Apotheken, ferner Einrichtungen und Beschäftigungen in der öffentlichen und privaten Fürsorge, in Schulen, Kindergärten und Säuglingskrippen und im Gesundheitsdienst sowie in Laboratorien für wissenschaftliche Untersuchungen und Versuche sowie in Justizanstalten und Hafträumen, in denen eine vergleichbare Gefährdung besteht
40	Erkrankungen an Lungenfibrose durch Hartmetallstaub	Herstellung und Bearbeitung von Hartmetallen
41	Durch chemisch-irritativ oder toxisch wirkende Stoffe verursachte Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lunge mit objektivem Nachweis einer Leistungsminderung von Atmung und Kreislauf	Alle Unternehmen
43	Exogen-allergische Alveolitis mit objektiv nachweisbarem Funktionsverlust der Lunge, sofern das als ursächlich festgestellte Antigen bei der Erwerbsarbeit von einem objektiv feststellbar bestimmenden Einfluss gewesen ist	Alle Unternehmen
44	Erkrankungen der tieferen Atemwege und der Lungen durch Rohbaumwoll- oder Flachsstaub	Alle Unternehmen

**Abbildung 15:** Beispielhafter Auszug aus der Liste der pneumologischen Berufskrankheiten. Manche Berufskrankheiten sind auf die Beschäftigung in einem bestimmten Unternehmen eingeschränkt oder setzen (wie beim allergischen Asthma) die Aufgabe der schädigenden Tätigkeit voraus. Quelle: AUVA 2019.

- In Österreich werden Berufskrankheiten bzw. der Verdacht auf eine Berufskrankheit dem zuständigen Unfallversicherungsträger, das ist in den meisten Fällen die Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, gemeldet (entsprechende Formulare und Informationen sind über [www.auva.at](http://www.auva.at) online verfügbar). Es besteht für den Arbeitgeber, die Schulbehörde und den\*die Ärztin eine gesetzliche Meldepflicht; die Meldung kann allerdings auch durch den\*die Betroffene\*n selbst erfolgen. Eine eventuell weitere Abklärung, Beratung, Umschulung erfolgt über die AUVA. Die Liste der Berufskrankheiten gem. §177 des Allgemeinen Sozialversicherungsgesetzes (ASVG) umfasst derzeit 53 Positionen und findet sich in Anlage 1 zum ASVG. Aus pneumologischer Sicht sind die Berufskrankheiten BK 26–30, 38 (Tuberkulose), 40, 41, 43 und 44 relevant (siehe **Abbildung 15**). Bei Lungenkrebserkrankungen ist immer an eine berufliche Ursache zu denken (neben Asbest z. B. durch Chrom [BK 8], Nickel, etc.).

## 4.14 Befunddarstellung

Der spirometrische Befund gliedert sich in verschiedene Bereiche: Befundkopf, grafische Abbildungen, Tabelle der Mess- und Normwerte, technischer Kommentar, Befundung und Trendgrafik. Ziel dieser Empfehlung ist eine gewisse Standardisierung der Lungenfunktionsbefunde. Die Elemente des Befundes gliedern sich in jene Informationen, die auf alle Fälle auf jedem Spirometrie-Befund dargestellt werden sollen (obligat) und jene, die nicht zwingend sind (optional). Die präsentierte Befunddarstellung gibt teilweise Beispiele für eine „Minimal-“ als auch „Maximal-Variante“ an. Weiters kann es notwendig sein, den Befund für spezielle Erkrankungen auch individuell zu designen (z. B. extrathorakale Stenosen).

Befunddarstellungen sind je nach Hersteller vorkonfiguriert, eine Modifikation des Layouts und der Parametereinstellungen ist – wenn erforderlich – zu empfehlen.

### 4.14.1 Befundkopf (obligat)

Üblicherweise enthält der Befundkopf ganz oben Informationen und Kontaktdaten zum betreffenden Lungenfunktionslabor. Darunter folgen die obligaten Patientendaten wie Vorname, Nachname, Geburtsdatum, Geschlecht (bei Geburt), Größe, Gewicht, Ethnie (optional: abgeleitete Größen wie Alter, BMI Körperoberfläche und Angaben zum Raucherstatus inklusive Pack years). Weiters sollten das Messdatum und Informationen zum verwendeten Sollwertmodul angeführt werden (obligat). Die Angabe zum Sollwertmodul ist besonders in der aktuellen Phase der Umstellung der Systeme essenziell. Da häufig auch in einer Messung kein einheitliches System verwendet werden kann (z. B. sind nach GLI nicht für alle Parameter Referenzwerte verfügbar), sollte im Briefkopf der Name des verwendeten Sollwert-Moduls (z. B. GLI/EGKS) angegeben werden und zusätzlich in der Messwert-tabelle für jeden einzelnen Parameter gekennzeichnet sein, nach welchem System referenziert wird (siehe Kapitel 4.14.4).

Informationen zum\*r Untersuchenden, Zuweiser\*in, Fragestellung oder Diagnose, interne Identifikation der Untersuchung, Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte können hilfreich sein (optional).

<b>Name:</b>	<b>Ko</b>	<b>Geschlecht:</b>	<b>männlich</b>
<b>Vorname:</b>	<b>Ma</b>	<b>Geburtsdatum:</b>	<b>03.11.1965</b>
Sollwert-Modul:	GLI#EGKS	Gewicht:	81.0 kg
Ethnie:	Kaukasier	Größe:	176 cm
		<b>Messdatum</b>	15.01.19

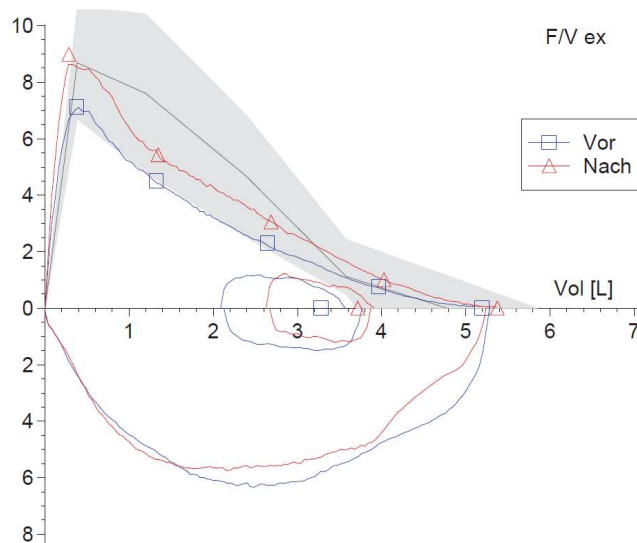
**Abbildung 16:** Muster eines Spirometrie-Befundkopfes (Minimal-Variante)

<b>Name:</b>	<b>Ko</b>	<b>Geschlecht:</b>	<b>männlich</b>
<b>Vorname:</b>	<b>Ma</b>	<b>Geburtsdatum:</b>	<b>03.11.1965</b>
Identifikation:	0004542539	Alter:	53 Jahre
Untersucher:	Biomed. Analytikerin Rass C.	Größe:	176 cm
Zuweiser:	Lungenambulanz	Gewicht:	81.0 kg
Fragestellung:	Asthma bronchiale	BMI:	26
Sollwert-Modul:	GLI#EGKS	Körperoberfläche:	1.97 m <sup>2</sup>
Ethnie:	Kaukasier	Raucherstatus:	Ex-Gelegenheitsraucher seit 19J
		Pack Years:	
<b>Luftdruck</b>	<b>hPa</b>	994	<b>Luftfeuchte</b> % 35
<b>Temperatur</b>	<b>°C</b>	24	<b>Messdatum</b> 15.01.19

**Abbildung 17:** Muster eines Spirometrie-Befundkopfes (Maximal-Variante)

#### 4.14.2 Fluss-Volumen-Kurve (obligat)

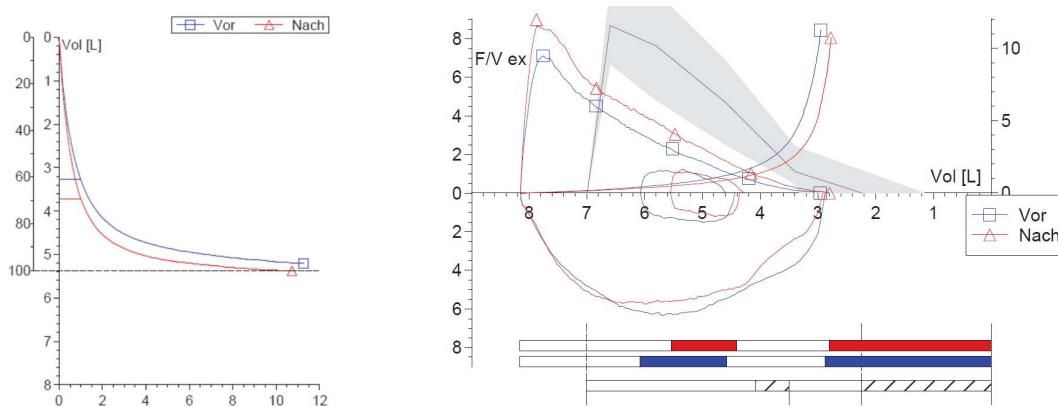
Die Fluss-Volumen-Kurve sollte in aufrechter Darstellung mit dem Fluss auf der y-Achse (L/s, mind. 5 mm pro L/s) und dem Volumen auf der x-Achse (L, mind. 10 mm pro L) dargestellt werden. Das Verhältnis der Skalierung von x- zu y-Achse sollte 2:1 sein (siehe **Abbildung 18**). Weiters ist es hilfreich, eine Sollwert-Kurve mit einem Referenzbereich darzustellen (graue Schattierung).



**Abbildung 18:** Fluss-Volumen-Kurven für die Ruheatmung und maximales Atemmanöver vor (blau) und nach (rot) Bronchodilatation mit Darstellung der Sollwertkurve (schwarze Linie) und dem Referenzbereich (graue Schattierung; je nach Software ein Bereich in %Soll oder LLN bis ULN).

#### 4.14.3 Volumen-Zeit-Kurve (optional)

Die Volumen-Zeit-Kurve des forcierten expiratorischen Manövers kann optional abgebildet werden (bei den meisten Geräten ist eine Integration in die Fluss-Volumen-Kurve möglich (siehe **Abbildung 19**)). Die Auflösung sollte min 10 mm pro L und 20 mm pro Sekunde sein. Diese Kurve dient im Wesentlichen zur Qualitätskontrolle des Atemmanövers, aus welcher auch die Zeit für die forcierte Expiration (FET: forced expiratory time) abgelesen werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann auch die FET als Parameter in der Messwert-Tabelle aufgelistet werden.



**Abbildung 19:** Die Volumen-Zeit-Kurve kann als separate Darstellung abgebildet werden (LINKS) oder in die Fluss-Volumen-Grafik integriert werden, wie hier in einer bodyplethysmographischen Messung (RECHTS), je nach Konfigurationsmöglichkeiten der verwendeten Software.

#### 4.14.4 Messwerttabelle (obligat)

Messwerte gibt es bei der Spirometrie zahlreiche – und folglich auch viele Varianten der Darstellung einer Messwert-Tabelle. Es ist stets ein Kompromiss zwischen ausreichender Information und übersichtlicher bzw. verständlicher Darstellung zu wählen, der auch je nach Setting verschieden sein kann. Allgemein üblich ist die Darstellung in Zeilen (Parameter) und Spalten (Referenzwerte, Messwerte und Korrelation von Referenz- und Messwerten). Üblicherweise werden auch die prä- und post-Bronchodilatator-Messungen in einer Messwerttabelle angeführt (von uns empfohlen). Allerdings kann bei der Vielzahl der Spalten (LLN, ULN, Soll, z-Score, z-Score-Grafik, einzelne Messungen, etc.) die Aufteilung in eine prä- und post-Bronchodilatator-Tabelle notwendig werden (wie z. B. von der ATS empfohlen<sup>46</sup>).

Das Ziel dieser Empfehlung ist eine gewisse Standardisierung der Lungenfunktionsbefunde zu fördern. Im Folgenden wird wieder in obligate und optionale Informationen eingeteilt und ein Vorschlag für eine Minimal- (siehe **Abbildung 20**) und Maximal-Variante (siehe **Abbildung 21**) präsentiert.

		LLN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
Substanz										Sult4Hb		
Messzeit				08:50						09:09		
FVC	L	3.70	4.77	5.20	109 %	0.65		●		5.37	113 %	3 %
FEV1	L	2.89	3.74	3.28	88 %	-0.91	●			3.71	99 %	13 %
FEV1%FVC	%	67.49	78.71	63.16	80 %	-2.20	●			69.16	88 %	10 %
FET	s			5.70						8.69		53 %
PEF	L/s	6.69	8.68	7.11	82 %	-1.30	●			8.98	103 %	26 %

Sollwerte:

GLI 2012: FVC, FEV1, FEV1%FVC

EGKS 1993: PEF

**Abbildung 20:** Mustertabelle der Norm- und Messwerte als „Minimal-Variante“. Wenn keine Volumen-Zeit-Kurve abgebildet wird, sollte zumindest die FET in der Tabelle angeführt werden.

		LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
Substanz											Sult4Hb		
Messzeit				08:50							09:09		
IVC	L	3.68	5.52	4.60	5.04	110 %	0.78		●		5.16	112 %	2 %
FVC	L	3.70	5.85	4.77	5.20	109 %	0.65		●		5.37	113 %	3 %
FEV1	L	2.89	4.55	3.74	3.28	88 %	-0.91	●			3.71	99 %	13 %
FEV1%FVC	%	67.49	88.39	78.71	63.16	80 %	-2.20	●			69.16	88 %	10 %
FET	s			5.70							8.69		53 %
PEF	L/s	6.69	10.67	8.68	7.11	82 %	-1.30	●			8.98	103 %	26 %
FEF25	L/s	4.79	10.42	7.60	4.51	59 %	-1.81	●			5.42	71 %	20 %
FEF50	L/s	2.51	6.85	4.68	2.30	49 %	-1.80	●			3.04	65 %	32 %
FEF75	L/s	0.48	2.42	1.11	0.76	68 %	-0.76	●			1.00	89 %	31 %
FEF25-75	L/s	1.76	5.43	3.34	1.88	56 %	-1.50	●			2.48	74 %	32 %

Sollwerte:

GLI 2012: FVC, FEV1, FEV1%FVC, FEF75, FEF25-75

EGKS 1993: IVC, PEF, FEF25, FEF50

**Abbildung 21:** Mustertabelle der Norm- und Messwerte als „Maximal-Variante“.

#### Zeilen (Parameter):

Parameter können zur besseren Lesbarkeit in Gruppen dargestellt werden, dies kann z. B. nach inhaltlicher Zusammengehörigkeit erfolgen (von uns empfohlen, siehe **Abbildung 20** und **Abbildung 21**) oder auch nach dem verwendeten Referenz-System (GLI oder EGKS).

- **Messzeit (obligat):** Die Messzeit gibt Information über den Abstand zwischen prä- und post-Bronchodilatator-Messung und kann auch beim Vergleich von Messungen (Tageszeit) interessant sein.
- **Substanz und Dosis zur Bronchodilatation (obligat):** Obwohl die Empfehlung zur Bronchodilatation die Verwendung von 400 µg Sultanol (4 Hübe) ist, wird jene nicht einheitlich durchgeführt. Deshalb ist es hilfreich, diese Information anzuführen (insbesondere auch die Dosis der Substanz, z. B. 200 oder 400 µg Sultanol).
- **Forcierte Expiration (obligat):** Diese zentrale Untersuchung der Spirometrie wird mit den Werten FVC, FEV1 und FEV1%FVC abgebildet (obligat).
- Zeit der forcierten Expiration (FET, optional): Die Angabe der FET kann entfallen, wenn die Volumen-Zeit-Kurve des forcierten expiratorischen Manövers abgebildet wird.
- Langsame Vitalkapazität (optional): Da besonders bei obstruktiven Ventilationsstörungen die FVC die Vitalkapazität unterschätzen kann, ist es sinnvoll, die IVC oder eine VC aus einem separaten langsamen expiratorischen Manöver anzugeben (z. B. als VCmax). Wir empfehlen standardmäßig die IVC aus dem Standard-Atemmanöver anzugeben.
- **PEF (obligat):** als Marker für die Anstrengung/Mitarbeit des\*der Patient\*in bzw. auch als Monitoring-Parameter z. B. bei Asthma
- Parameter der großen und kleinen Atemwege (optional): Ob die Angabe der Parameter FEF25, FEF50, FEF75 und FEF25–75 zusätzlich Information liefert, wird kontroversiell diskutiert (siehe Kapitel 4.5.4). Wenn diese Parameter angeführt werden, sollten insbesondere bei Darstellung der z-Score-Grafik alle vier abgebildet werden (zur Mustererkennung, die wichtigsten Zahlenwerte wären FEF50 und FEF25–75).

#### **Spalten (Referenz- und Messwerte):**

Für die Beschriftung der Spalten empfehlen wir Abkürzungen wie in den **Abbildung 20** und **Abbildung 21** verwendet. Statt „Vor“ und „Nach“ kann auch „Prä“ oder „Post“ verwendet werden. Der angegebene Wert ist stets der Bestwert mehrerer Messungen (siehe Kapitel 3.6). Falls einzelne Messungen angeführt werden, müssen auch die einzelnen Messungen und ausgewählte Bestwerte gekennzeichnet werden.

- **Sollwert (obligat):** Da dieser Wert traditionell der zentrale Referenzwert war, empfehlen wir weiterhin die Angabe (auch wenn er z. B. von der ATS wegen fehlendem Informationswert nicht mehr empfohlen wird<sup>46</sup>).
- **LLN (obligat):** Essenziell für das neue z-Score-System ist der untere Grenzwert.
- **ULN (optional):** Für die Spirometrie ist der obere Grenzwert nicht relevant. Allerdings empfehlen wir, im Sinne der Vereinheitlichung mit den bodyplethysmographischen Befunden, jenen hier ebenso anzuführen.
- **Beste Messwert (obligat):** Der beste Messwert selektiert nach den entsprechenden Kriterien (siehe Kapitel 3.6) wird sowohl für die prä- als auch (wenn durchgeführt) für die post-Bronchodilatator-Messung angeführt.
- Einzelne Messungen (nicht empfohlen): Die Angabe der Messwerte von sämtlichen Versuchen empfehlen wir aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht. Die Qualitätskontrolle und Messwertauswahl sollten während der Untersuchung durchgeführt werden (siehe Kapitel 3.5).
- **%Soll (obligat):** Obwohl diese Referenz für das neue z-Score-System nicht mehr notwendig ist, werden die %Soll-Werte teilweise noch für die Graduierung der Ventilationsstörungen verwendet (z. B. GOLD<sup>47</sup> oder DGP<sup>10</sup>) und sind somit eine obligate Angabe für die prä- und post-Bronchodilatator-Messung.
- **z-Score (obligat):** Sowohl die Definition als auch die Graduierung des Schweregrades sollte anhand des z-Scores durchgeführt werden. Deshalb ist nicht nur die z-Score-Grafik, sondern auch der einzelne z-Score-Wert notwendig. Der z-Score kann sowohl für den prä- als auch für den post-Bronchodilatator-Wert angegeben werden. Wird aus Platzgründen nur ein Wert angegeben, sollte dies der prä-Wert sein.



- **z-Score-Graphik (obligat):** Die z-Score-Graphik gibt eine redundante Information zum z-Score, allerdings ermöglicht die grafische (und farblich codierte) Darstellung des z-Scores eine schnelle und einfache Interpretation der Messwerte und sollte unbedingt abgebildet werden. Die z-Score-Graphik kann sowohl für den prä- als auch post-Bronchodilatator-Wert abgebildet werden. Wird aus Platzgründen nur eine Grafik dargestellt, sollte dies die prä-Graphik sein.
- **%Diff (obligat):** Werden eine prä- und post-Bronchodilatator-Messung durchgeführt, ist die Angabe der prozentuellen Differenz sinnvoll (CAVE: zur Beurteilung der Bronchodilatator-Response wird diese Differenz nicht mehr empfohlen – siehe Kapitel 4.5.3.) Die aktuell empfohlene Beurteilung der BDR anhand der Differenz bezogen auf den Sollwert ist in den meisten Software-Systemen noch nicht möglich.
- **Referenzsystem (optional):** Die Angabe des verwendeten Referenzsystems ist essenziell (siehe Befundkopf). Zusätzlich sollte insbesondere in der Phase der Umstellungen und auch der schrittweisen Erweiterung des GLI-Systems für jeden Parameter angegeben werden, nach welchem System der Parameter referenziert wird. Dies kann entweder als Fußnote (von uns empfohlen) oder als eigene Spalte erfolgen (oft aus Platz- oder technischen Gründen nicht möglich).

#### 4.14.5 Technischer Kommentar (obligat)

Der technische Kommentar gliedert sich prinzipiell in drei Teile:

- Hinweis zur Mitarbeit des\*der Patient\*in
- Hinweis zur technischen Qualität der Messungen
- Hinweis zur antiobstruktiven Medikation (Zeitpunkt der Einnahme und Information zum Produkt oder Substanz) vor Durchführung der Untersuchung

Unverzichtbar für einen Befund sind die Angaben zur technischen Qualität der Untersuchung und Mitarbeit des\*der Patient\*in, da diese retrospektiv aus den Messwerten bzw. Grafiken kaum abzuleiten sind. Von der Deutschen Atemwegsliga wird eine standardisierte Dokumentation der Mitarbeit empfohlen (siehe **Tabelle 26**). Optional kann ergänzend auch eine detailliertere Beschreibung des Fehlers erfolgen.

Mitarbeit
Einwandfrei
Gut
Eingeschränkt wegen mangelnden Verständnisses
Eingeschränkt wegen Hustenreiz
Eingeschränkt wegen fehlender Koordination
Eingeschränkt wegen mangelnder Kraft
Eingeschränkt wegen Schmerzen
Eingeschränkt wegen mangelnder Bereitschaft

**Tabelle 26:** Dokumentation Mitarbeit und technische Qualität<sup>10</sup>

Von der ERS und ATS wird für die Beurteilung der technischen Qualität ein detailliertes Grading für die Parameter FEV1 und FVC empfohlen (siehe Kapitel 3.5.3). Dieses Grading sollte im Kommentar angeführt werden (eine automatische Angabe ist derzeit bei den meisten Software-Systemen noch nicht etabliert).

Weiters sollte im technischen Kommentar auch angeführt werden, welche antiobstruktive Medikation in den letzten 24 Stunden vor der Messung eingenommen wurde.



#### 4.14.6 Befundung (obligat)

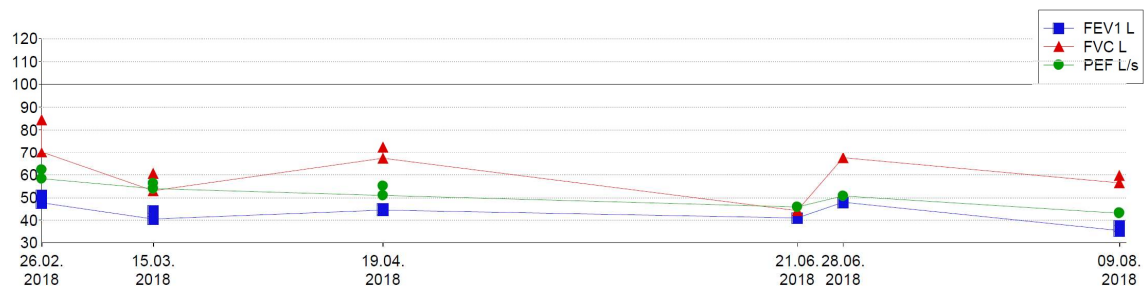
Neben der grafischen und tabellarischen Darstellung der Messwerte sollte ein Spirometrie-Befund auch eine schriftliche Befundung bzw. Zusammenfassung enthalten. Ein Leitfaden und Algorithmus zur Klassifikation und Graduierung von Ventilationsstörungen ist in Kapitel 4.4 wiedergegeben.

Die Befundung kann manuell wie auch automatisiert (software-unterstützt, Mustererkennung mittels Artificial Intelligence) anhand definierter Algorithmen erfolgen. Bei der Entscheidung für eine Methode sollte ein Lungenfunktionslabor Überlegungen wie Standardisierung der Befundung, Spektrum und Anforderung der Fragestellung, Ausbildungsauftrag, personelle Ressourcen, etc. berücksichtigen. Wir empfehlen eine manuelle Befundung.

Vorschläge für standardisierte Textbausteine zur Befundung finden sich im Appendix (siehe Kapitel 6.1).

#### 4.14.7 Trendgrafik (optional)

Oft ist die Verlaufskontrolle der Lungenfunktionswerte eines\*r bestimmten Patient\*in (intraindividuell Vergleich) aussagekräftiger als ein Vergleich zum Normkollektiv (interindividueller Vergleich). Dieser Verlauf kann einerseits bei chronisch progredienten Erkrankungen wie z. B. interstitiellen Lungenerkrankungen, zystischer Fibrose oder COPD (Progredienz der Erkrankung) und andererseits auch bei Erkrankungen mit variablem Verlauf (Kontrolle der Erkrankung) wie z. B. Asthma eine relevante Information darstellen. Am besten ist dieser Verlauf anhand von Trendgrafiken abzubilden, welche bei modernen Lungenfunktions-Programmen dargestellt werden können. Die Zeitspanne der Trendgrafik und die angezeigten Parameter können individuell für einzelne Pathologien oder auch generell für jeden Befund spezifiziert werden. Beispielsweise sollten für interstitielle Lungenerkrankungen unbedingt die TLC und DLCO (Diffusionskapazität) abgebildet sein, für extrathorakale Stenosen werden die Flussparameter PEF und PIF relevanter sein.



**Abbildung 22:** Beispiel für eine Trendgrafik für die Parameter FVC, FEV1 und PEF.

### 4.15 Grenzen der Spirometrie und weiterführende Methoden

Die Spirometrie erfasst neben den Parametern des Atemflusses ausschließlich ventilatorisch mobilisierbare Atemvolumina. Jene umfassen nur Teilaspekte der Ventilation. Rückschlüsse auf Residualvolumen, Atemmuskulaturkraft, Gasaustausch oder Verteilung der Ventilation sind nicht bzw. nur bedingt möglich. Hierzu sind weiterführende Methoden notwendig.

#### 4.15.1 Bodyplethysmographie

Die bodyplethysmographischen Messungen erfordern eine starre luftdichte Kabine. Die Messungen betreffen die Druckschwankungen durch die Thoraxbewegungen bei der Atmung, die einerseits dem Atemfluss (Widerstandsmessung, Resistance), andererseits dem Munddruck (bei geschlossenem

Shutter gleichzusetzen dem Alveolardruck) gegenübergestellt werden. Aus letzteren (Volumenschwankung des Thorax gegen Alveolardruck) wird das intrathorakale Gasvolumen berechnet (Boyle-Mariott-Prinzip).

### Statische Volumina

Parameter wie das Residualvolumen (RV), Totale Lungenkapazität (TLC), und damit der Überblähungsindikator  $RV\%TLC$ , Funktionelle Residualkapazität (FRC), aber auch der Atemwegswiderstand (Resistance,  $R_{eff}$ ) können also mit der Bodyplethysmographie gemessen werden. Die Bodyplethysmographie stellt das Zentrum der mitarbeitersunabhängigen Lungenfunktionsmessung dar und ist für eine vollständige Differenzierung von obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörungen unerlässlich (siehe **Abbildung 10**).

### Resistance

Die Resistance (R) bezeichnet den Atemwegswiderstand. Die in der Bodyplethysmographie gemessenen spezifischen Atmungswiderstände ( $sR_{eff}$ ,  $sR_{tot}$ ) bewerten den gesamten Respirationstrakt mit seinen zentralen und peripheren Komponenten. Die Messung der Atemwegswiderstände ( $R_{aw}$ ) ist stark abhängig von den Lungenvolumina (ITGV – intrathorakales Gasvolumen), sodass immer beide erfasst werden müssen.

Die spezifischen Atmungswiderstände werden aus der Ruheatmung abgeleitet, sodass bodyplethysmographische Untersuchungen von Kindern unterer Altersgruppen, Schwerkranken und geriatrischen Patient\*innen oder neuromuskulär Erkrankten ebenfalls möglich sind (weitgehend mitarbeitersunabhängig, s.o.).

Der spezifische Atemwiderstand kann auch zum BDR-Test oder Bronchoprovokation herangezogen werden.

#### 4.15.2 Ermittlung der Diffusionskapazität der Lunge

Unter der Diffusion versteht man den passiven Austausch von Kohlendioxid und Sauerstoff zwischen Alveolen und Lungenkapillaren. Die gemessenen Werte der Diffusion sind somit abhängig sowohl von der Ventilation als auch von der Lungenperfusion. Die Domäne der Diffusions-Messung sind Erkrankungen, die mit einer Gasaustauschstörung einhergehen, wie z. B. interstitielle Lungenerkrankungen (alveolo-kapillärer Block) oder das Lungenemphysem (Alveolar- und Kapillarverlust).

Das am meisten verbreitete Verfahren zur Bestimmung stellt die Single-Breath-Methode dar. Die gemessenen Werte werden in Abgrenzung zur Steady-State-Methode als  $DLCO_{SB}$  bezeichnet. Es beruht auf einer forcierten Inspiration eines aus Kohlenmonoxid (CO), Helium (oder Methan) und Raumluft bestehenden Gasgemisches, das nach einer 10-sekündigen Atemhaltezeit wieder ausgeatmet und analysiert wird. Je weniger CO in der Ausatemluft, also je mehr in der Lunge abtransportiert wurde, desto höher der Messwert der DLCO. Der Transfer- oder Diffusionskoeffizient ( $DLCO/VA$ ) bzw. Krogh-Faktor bezieht die DLCO auf das alveoläre Lungenvolumen.

#### 4.15.3 Mobile Peak-Flow-Messung (Selbstmessung des Spitzenflusses)

Ein mobiles Peak-Flow-Meter kann dem\*r Patient\*in mitgegeben werden. Es dient der Verlaufsbeobachtung vor allem bei obstruktiven Erkrankungen, z. B. bei Verdacht auf Asthma zur Erfassung der Variabilität (zirkadiane Rhythmik), zur Therapiekontrolle bei Asthma (Selbst-Management-Plan), zur Ermittlung der Langzeit-Reversibilität mittels oralem Kortison-Test oder zur Erfassung bestimmter inhalativer Noxen (Umgebung wie Arbeitsplatz, Wohnung, Tierkontakt) bei allergischem Asthma oder Exogen allergischer Alveolitis. Die Dokumentation kann mit Hilfe von Tagebüchern bzw. bei modernen Geräten über online-Apps erfolgen. Hier sei

angemerkt, dass der PEF bei den mobilen Geräten üblicherweise in einer anderen Einheit (L/min) als in der Spirometrie (L/s) angegeben wird.

#### 4.15.4 Provokationstestung

Ein hyperreagibles Bronchialsystem liegt typischerweise bei Patient\*innen mit Asthma vor. Eine Testung ist mittels eines inhalativen Provokationstests möglich. Die Durchführung erfolgt üblicherweise durch standardisierte Inhalation eines Aerosols (meist Metacholin) in Stufen steigender Dosis (Einkonzentrationsverfahren). Die Funktionsprüfung erfolgt jeweils nach den Steigerungen der Dosen des Testaerosols. Dabei wird jeweils die Änderung der Lungenfunktion (Abnahme der FEV<sub>1</sub> bzw. sReff-Anstieg) bestimmt. Aus der Dosis-Wirkungskurve ist abzulesen, ob eine bronchiale Hyperreagibilität vorliegt (FEV<sub>1</sub> Abnahme > 20 %; sReff-Anstieg > 100 %), und jene graduiert.

#### 4.15.5 Messung des Stickstoffmonoxids in der Ausatemluft (FeNO)

Stickstoffmonoxid (NO) ist ein gasförmiger Mediator, der beim Menschen zahlreiche Funktionen aufweist und in verschiedenen Teilen des Respirationstraktes vom Atemwegsepithel gebildet wird: in den Nasennebenhöhlen (nasal gemessen) oder in den peripheren Atemwegen (als exhalierter NO-Konzentration in ppb gemessen, FeNO). Beim Asthma, insbesondere bei Phänotypen mit Typ-2-Entzündung, kommt es zu erhöhten FeNO-Werten, welche in der Diagnostik oder Therapiekontrolle verwendet werden können.

#### 4.15.6 Messung der Atemmuskelfunktion

Zur Messung der Atemmuskelfunktion gibt es zahlreiche Methoden, die oft spezielle Einsatzgebiete haben (z. B. in der Intensivmedizin in der Bewertung des Weaning-Prozesses). Bei den typischerweise in einem Lungenfunktionslabor durchgeführten nichtinvasiven Messungen handelt es sich meist um die maximalen Atemdrücke (bei intermittierendem Shutterverschluss) beim In- bzw. Expirationsmanöver, wie MIP (P<sub>I</sub>max; maximal inspiratory pressure), MEP (P<sub>E</sub>max; maximal expiratory pressure) und P<sub>0.1</sub>/P<sub>I</sub>max.

#### 4.15.7 Stellenwert der Impuls-Oszillometrie (IOS)

Die IOS dient, wie auch die Bodyplethysmographie, der Ermittlung von Atemwegswiderständen. Dazu wird ein Druck-Fluss-Signal von einem externen Generator erzeugt und die Resonanz des pulmonalen Systems (Bronchien und Alveolarbereich) darauf gemessen.

Es handelt sich um eine Ruheatmungsanalyse. Es lassen sich klinisch relevante Fragestellungen zur Differenzierung und Klassifikation der Lungenfunktion, wie z. B. der Reversibilität von Atemwegsobstruktionen, bronchialen Hyperreagibilität sowie Diagnose einer pulmonalen Obstruktion und deren Phänotypisierung auf Grund der frequenzabhängigen Verteilung der verschiedenen Oszillationsdrücke im Atemwegsbaum in ihre zentralen und peripheren Komponenten (small airways) beantworten. Ab einem Alter von 2 Jahren ist die oszillometrische Untersuchung möglich. Insbesondere können schlecht kooperierende Patientengruppen wie Vorschulkinder, Schwerkranke und ältere Patient\*innen, Patient\*innen mit neuromuskulären Erkrankungen oder koordinativen Problemen untersucht werden.

## 5 Pädiatrische Spirometrie

Erkrankungen des Respirationstrakts zählen im Kindesalter zu den häufigsten Gründen für einen Arztbesuch. Bei hochakuten, oft von Fieber begleiteten Erkrankungen der Atemwege ist üblicherweise die Messung der Spirometrie nicht unmittelbar notwendig.

Die Spirometrie beim Kind kann aber generell zur vollständigen Evaluierung einer möglichen Funktionseinschränkung – so es die Kooperation des Kindes gestattet – empfohlen werden.

Die Anwendung der Spirometrie in der Pädiatrie reicht von der Diagnostik bei unklaren respiratorischen Beschwerden, Verdacht auf Asthma bronchiale, Abklärung des chronischen Hustens, über die Therapiekontrolle bis zur Prognose bei schweren Lungenerkrankungen sowie Systemerkrankungen (Muskelerkrankungen etc.). Darüber hinaus hat sie im Rahmen von wissenschaftlichen Arbeiten oder therapeutischen Studien zur Verlaufskontrolle, bei epidemiologischen Fragestellungen oder Untersuchungen auf Populationsebene und in der sportmedizinischen Eignungstestung eine wichtige Rolle.

Indikationen für eine Spirometrie im Kindesalter sind daher insbesondere der Verdacht auf Atemwegsobstruktion, die Erfassung spontaner oder induzierter Veränderungen des Krankheitsverlaufes bei bereits dokumentierter Atemfunktionsstörung und die Überprüfung einer möglichen Bronchodilatator-Response oder Reversibilität einer Atemwegsobstruktion.

Im Kindesalter liegen meist obstruktive Atemwegserkrankungen vor, restriktive Lungenerkrankungen sind eine Rarität und daher in jedem Fall einer Spezialabteilung zur weiteren Abklärung zuzuführen<sup>48</sup>.

Die Beurteilung der Restriktion ist nicht einfach. Eine alleinige Reduktion des FVC ist nicht ausreichend. Eine Restriktion kann vermutet werden, wenn FVC reduziert ist, FEV1/FVC normal oder erhöht und die FVC-Kurve konvex ist, allerdings kann dies auch bei submaximaler Inspiration oder Expiration gefunden werden. Deswegen ist die Bestimmung der TLC mittels Bodyplethysmographie oder Gasauswaschmethoden notwendig, um die Diagnose einer restriktiven Lungenerkrankung stellen zu können. Dies ist ab dem Alter von sechs bis sieben Jahren möglich.

### 5.1 Spirometrie und Flussvolumenkurve

**Fact Box:**

- Kindgerechtes Umfeld und Geduld sind wesentlich für eine erfolgreiche Messung.
- In der Altersgruppe der unter 18-Jährigen stehen vor allem obstruktive Ventilationsstörungen im Vordergrund.
- Anwendung der GLI-Referenzwerte (GLI-2012-Werte) ermöglichen altersübergreifend eine Beurteilung ab dem 3. Lebensjahr, ohne Fehler durch Wechsel der Regressionsgleichungen, und die Angabe von z-Scores ist dringend empfohlen.
- Vorbefunde des Kindes (sofern vorhanden) sollten für die Befundung als Referenz ebenfalls in Betracht gezogen werden (Dynamik frühzeitig erkennen).

Mit der Spirometrie und der Flussvolumenkurve lässt sich das Ausmaß einer aktuellen kindlichen Atemwegserkrankung schon zum Untersuchungszeitpunkt unter Umständen präzise beschreiben; auf Basis dieses Untersuchungsergebnisses lässt sich gegebenenfalls eine entsprechende Akut- und/oder Dauertherapie festlegen. Darüber hinaus ist mit dieser Methode auch der\*die niedergelassene Ärzt\*in in der Lage, in der Akutphase einer obstruktiven Atemwegserkrankung das Ausmaß der Obstruktion und deren Verbesserung nach Gabe eines Bronchodilatators (BDR-Test – siehe Kapitel 3.4.4 und 4.5.3) zu beurteilen.

Zwei grundsätzliche Herausforderungen der Lungenfunktionsdiagnostik und hier der Spirometrie im Kindesalter sind anzuführen:

- Die Kooperationsfähigkeit variiert sehr stark und kann dadurch einen gewissen, im Einzelfall oft entscheidenden Einfluss auf die Messung haben. Mit viel Geduld kann eine Spirometrie ab dem 3./4. Lebensjahr versucht werden (GLI-Referenzwerte gibt es ab dem 3. Lebensjahr). Bei jüngeren Kindern sind andere Methoden vorzuziehen, die aber im niedergelassenen Bereich kaum Anwendung finden. Kooperationsfähig sind Kinder erfahrungsgemäß erst ab dem Volksschulalter, wobei im Einzelfall – geduldiges und kindgerechtes Vorgehen vorausgesetzt – reproduzierbare Messergebnisse bereits auch bei jüngeren Patient\*innen erzielt werden können.
- Die Entwicklung und das Wachstum des kindlichen Respirationstraktes erfordern eine sinnvolle Interpretation der erhaltenen Messdaten (siehe Kapitel 4.2), entsprechend dem Einsatz der neuen GLI-Referenzwerte.

Die Streuung der Normalwerte ist bei Kindern bis ca. 15 Jahre größer als bei Erwachsenen. Entsprechend ist hier, dass „lower limit of normal“ (LLN) noch wichtiger und die Anwendung der GLI-Werte inklusive z-Scores unbedingt zu bevorzugen ist. Mittels LLN/Perzentilen kann die Streuung der Normalwerte mitberücksichtigt werden und inkludiert die Information zur statistischen Verteilung der jeweiligen Werte bei Kindern in der gesunden Normalbevölkerung. Der z-Score gibt an, um wie viele Standardabweichungen vom Normalwert der gemessene Wert abweicht. Ein z-score von  $-1,645$  entspricht einer Abweichung vom Normalwert auf der 5. Perzentile (siehe auch Kapitel 4.2.2).

Einzelmessungen der Spirometrie haben prinzipiell eine geringe Aussagekraft, da im Regelfall nur bei Beschwerden auffällige Werte zu finden sind. Eine Lyse kann mitunter eine weitere deutliche Verbesserung der Werte aufdecken und hat daher einen hohen diagnostischen Wert. Jedenfalls bringen serielle Lungenfunktionsmessungen beim Kind ein aussagekräftigeres Bild als eine Einzelmessung. Es ist sinnvoll den „personal best“ FEV1 für jedes Kind zu dokumentieren.

Die Spirometrie im Kindesalter benötigt neben der Interpretation auch hinsichtlich der Durchführung der Untersuchung, besonders im niedergelassenen Bereich, ein besonderes Augenmerk auf bestimmte Einflussfaktoren.

Die Spirometrie bei Kindern braucht deutlich mehr Zeit, um die Kinder zur nötigen Kooperation zu überreden, man braucht einen hohen Grad an Aufmerksamkeit. Oftmals ist ein initiales Scheitern für kleine Kinder auch frustrierend, was wiederum die Kooperation für einen weiteren unmittelbar folgenden Versuch erneut reduziert. Die kindliche Aufmerksamkeitsspanne ist geringer, Kinder sind leichter ablenkbar und können den Manövern noch nicht so folgen. Entsprechend sind auch viele Versuche notwendig. Animierte Computerunterstützungen sind jedenfalls hilfreich, um den Kindern die nötigen Atemmanöver leichter verständlich zu machen.

## 5.2 Durchführung von Lungenfunktionen im Kindesalter

### Fact Box:

- Art des Labors: kindgerechte Umgebung, ausreichend Zeit und geschultes Personal
- Typische Fehlerquellen beachten (Qualität der Messung durch Reproduzierbarkeit kontrollieren)
- Normale Spirometrie schließt Pathologie und Erkrankung keinesfalls aus.

Folgende Voraussetzungen sind unbedingt notwendig, um eine effiziente und reproduzierbare Lungenfunktionsdiagnostik im Kindesalter zu ermöglichen:

### 5.2.1 Art des Labors

Eigenes Lungenfunktionslabor für Kinder und Jugendliche oder zumindest bevorzugte Behandlung:

- kinderfreundliche Einrichtung, wenn möglich eigener Wartebereich
- im Umgang mit Kindern geschultes Personal
- geeignete Geräte für die pädiatrische Funktionsdiagnostik
- Vermeidung von anderen evtl. schmerzhaften Eingriffen im selben Raum
- geschulte Untersuchende zur Interpretation der Ergebnisse

### 5.2.2 Durchführung

Das Kind muss kooperationsfähig und altersentsprechend entwickelt sein; ein kindgerechtes Erklären des Untersuchungsvorganges ist Voraussetzung:

- sitzende Position mit meistens Nasenklemme
- Einüben des forcierten Vitalkapazitätsmanövers
- Zeit nehmen und Ruhe ausstrahlen – keine Hektik aufkommen lassen
- Kinder brauchen für einzelne Untersuchungsblöcke oft doppelt so viel Zeit wie Erwachsene.
- kindgerechtes Mundstück
- Pausen zwischen den einzelnen Messgängen
- Obsorgeberechtigte sollen im Raum anwesend sein.

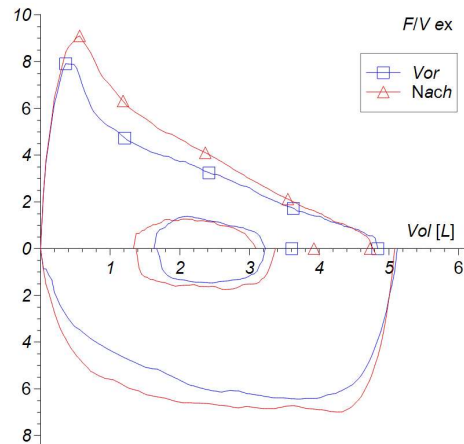
#### **Häufige Fehler beim Kind:**

Keine entsprechende vollständige Inspiration, keine vollständige Expiration, kein Anhalten des Atems vor max. Expiration („sofortiges schlagartiges Ausatmen“), auf das Mundstück beißen, intermittierender Glottisschluss, Zwischenatmen, kein Lippenschluss um das Mundstück, kein reproduzierbares Messergebnis.

#### **Häufige Fehler bei Untersuchenden:**

Untersuchende drängen auf rasche Durchführung, das Kind wird nicht altersadäquat behandelt, zu rasche Abfolge der einzelnen Untersuchungsblöcke, keine Pause, keine Ruhe im Labor.

Die für Erwachsene gültigen Qualitätskriterien für eine forcierte Expiration finden ab dem 6. Geburtstag Anwendung. Kinder leeren ihre Lunge in kürzerer Zeit, da sie relativ große Atemwege im Vergleich zum Lungenvolumen haben. Die Expirationszeit liegt deshalb auch bei guter Mitarbeit auf deutlich unter 1 Sekunde, sodass die FEV1 kein sinnvoller Parameter ist, die zusätzliche Angabe von FEF0.5 und FEF0.75 werden daher empfohlen. Für Kinder jünger als 6 Jahre kann die Spirometrie unabhängig von der Ausatemungszeit versucht werden, wenn eine technisch akzeptable Kurve erhoben wird: ein rascher Anstieg zum Peak Flow, Artefakt-freie Ausatmung und vollständige Ausatmung bis zum Residualvolumen. Grundsätzlich gilt immer, dass die visuelle Kontrolle der numerischen Bewertung überlegen ist.



	LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>-2</sub>	Z-Score <sub>2</sub>	Z-Score <sub>3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
Substanz										Sult4Hb		
Messzeit				08:34						08:44		
IVC	L	4.75	6.23	5.44	5.09	94 %	-1.02	●		5.06	93 %	-0 %
FVC	L	4.34	6.36	5.34	4.84	91 %	-0.82	●		4.73	88 %	-2 %
FEV1	L	3.60	5.37	4.50	3.61	80 %	-1.63	●		3.92	87 %	9 %
FEV1%FEV1	%	73.84	93.89	84.85	74.51	88 %	-1.56	●		82.94	98 %	11 %
PEF	L/s	6.35	12.29	8.83	7.91	90 %	-0.74	●		9.10	103 %	15 %
FEF25	L/s	5.42	10.37	7.50	4.73	63 %	-2.67	●		6.31	84 %	33 %
FEF50	L/s	3.18	6.69	4.77	3.24	68 %	-1.57	●		4.10	86 %	26 %
FEF75	L/s	1.38	4.15	2.49	1.72	69 %	-1.07	●		2.12	85 %	23 %
FEF25-75	L/s	3.18	6.69	4.77	2.94	62 %	-1.92	●		3.67	77 %	25 %

**Beispiel 8:** Bild einer Obstruktion in den kleinen Atemwegen („small airway obstruction“ – SAO) als Hinweis auf eine „small airway disease“ – SAD, formal keine Obstruktion.

Erklärung der Befunddarstellung siehe Kapitel 4.10 und Abkürzungen am Ende des Skriptums.

Wichtig ist, dass auch ältere Kinder mit persistierendem Asthma bronchiale häufig noch eine normale Lungenfunktion haben und daher im Intervall unter Umständen nicht erfasst werden. Oftmals treten messbare Veränderungen der Lungenfunktion erst bei Symptomen auf. So sollte bereits ein konkaver Verlauf des abfallenden Schenkels der Expirationskurve des Flussvolumendiagramms zu einem Bronchodilatationstest Anlass geben, auch wenn die numerischen Werte noch normal sind. Gerade bei Kindern kann bisweilen erst nach Bronchodilatation bzw. nach einem Bronchoprovokationstest eine Aussage über das Vorliegen einer obstruktiven Ventilationsstörung getroffen werden.

### 5.3 Besonderheiten der Altersgruppen

- Die altersabhängigen Qualitätskriterien für das forcierte Manöver (nach ERS/ATS 2019) für Kinder > 6 Jahre und ≤ 6 Jahre sind im Kapitel 3.5 angeführt.
- FEF25–75 beachten, dieser scheint ein sensitiverer Parameter bei jungen Kindern für eine obstruktive Ventilationsstörung (SAO), vor allem im Bereich der kleinen Atemwege zu sein.
- Die visuelle Begutachtung der Kurvenbilder ist der numerischen Befundung gleichzusetzen, wenn nicht sogar überlegen!
- Bei entsprechender Anamnese bzw. Klinik kann auch bei normaler FEV1 ein Lyseversuch mit einem Bronchodilatator versucht werden (FEF25–75!), um eine Obstruktion vor allem in den kleinen Atemwegen zu zeigen.

Generell ist es wichtig, dass die Kinder Freude bei der Ausübung der Lungenfunktion haben, einen tiefen Atemzug nehmen, fest ausatmen und so lange ausatmen, bis sie keine weitere Luft mehr ausatmen können oder der\*die Untersuchende ihnen sagt, dass der Versuch beendet ist.

In manchen Fällen ist es das Beste, die eigenen Vorbefunde als Referenz des Kindes für die nächste Untersuchung zu verwenden. Außerdem haben sich tagesabhängige Variationen der Spirometrie auch bei Kindern gezeigt, die sowohl in Exazerbation als unter klinisch stabiler Lage gefunden werden. Der optimale Zeitpunkt für eine Lungenfunktionsuntersuchung ist schwer zu finden. Dies kann sich ändern, wenn Patient\*innen selbst valide Untersuchungen zum Zeitpunkt ihrer Symptomatik mittels Home-Spirometrie (Selbstmessungen) durchführen können. Dies scheint auch für die Pädiatrie interessant zu werden.



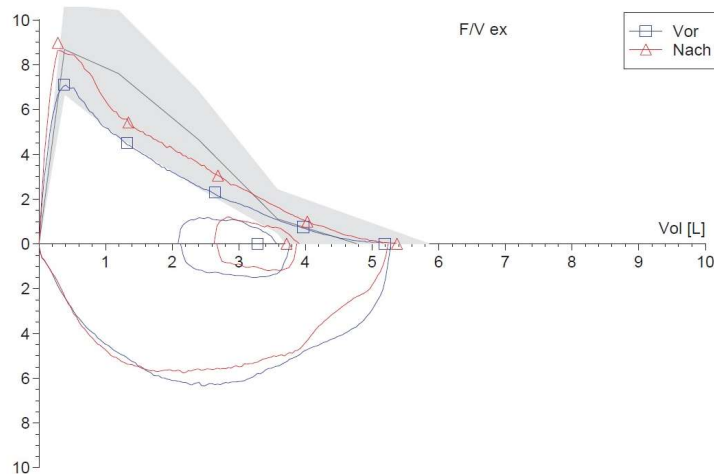
## 6 Appendix

### 6.1 Musterbefunde für die Spirometrie

#### 6.1.1 Minimal-Variante

<b>Name:</b>	<b>Ko</b>	<b>Geschlecht:</b>	<b>männlich</b>
<b>Vorname:</b>	<b>Ma</b>	<b>Geburtsdatum:</b>	<b>03.11.1965</b>
<b>Sollwert-Modul:</b>	<b>GLI#EGKS</b>	<b>Gewicht:</b>	<b>81.0 kg</b>
<b>Ethnie:</b>	<b>Kaukasisch</b>	<b>Größe:</b>	<b>176 cm</b>
		<b>Messdatum</b>	<b>15.01.19</b>

## Spirometrie



	LLN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3-2</sub>	Z-Score <sub>2 3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
<b>Substanz</b>							Sult4Hb		
<b>Messzeit</b>			08:50				09:09		
<b>FVC</b>	L	3.70	4.77	5.20	109 %	0.65	5.37	113 %	3 %
<b>FEV1</b>	L	2.89	3.74	3.28	88 %	-0.91	3.71	99 %	13 %
<b>FEV1%FVC</b>	%	67.49	78.71	63.16	80 %	-2.20	69.16	88 %	10 %
<b>FET</b>	s			5.70			8.69		53 %
<b>PEF</b>	L/s	6.69	8.68	7.11	82 %	-1.30	8.98	103 %	26 %

Sollwerte:

GLI 2012: FVC, FEV1, FEV1%FVC

EGKS 1993: PEF

#### Techn. Kommentar:

Mitarbeit gut. Messung fehlerfrei  
Zuletzt Sultanol vor >12 h.

#### Befund-Zusammenfassung:

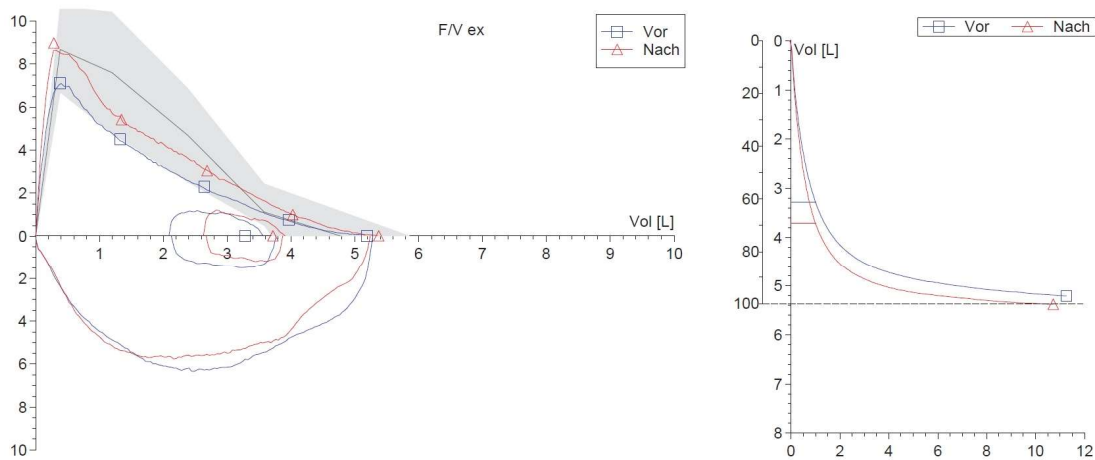
Leichtgradige periphere obstruktive Ventilationsstörung.  
Teil-Reversibilität nach Bronchodilatation.

Dr. Max Muster

## 6.1.2 Maximal-Variante

<b>Name:</b>	<b>Ko</b>	<b>Geschlecht:</b>	<b>männlich</b>
<b>Vorname:</b>	<b>Ma</b>	<b>Geburtsdatum:</b>	<b>03.11.1965</b>
Identifikation:	0004542539	Alter:	53 Jahre
Untersucher:	Biomed. Analytikerin Rass C.	Größe:	176 cm
Zuweiser:	Lungenambulanz	Gewicht:	81.0 kg
Fragestellung:	Asthma bronchiale	BMI:	26
Sollwert-Modul:	GLI#EGKS	Körperoberfläche:	1.97 m <sup>2</sup>
Ethnie:	Kaukasisch	Raucherstatus:	Exraucher seit 19J
		Pack Years:	25
<b>Luftdruck</b>	<b>hPa</b>	994	<b>Luftfeuchte</b> % 35
<b>Temperatur</b>	<b>°C</b>	24	<b>Messdatum</b> 15.01.19

## Spirometrie



	LLN	ULN	Soll	Vor	%(V/S)	Z-Score <sub>-3</sub>	Z-Score <sub>2 3</sub>	Nach	%(N/S)	%(Diff)
<b>Substanz</b>								Sult4 Hb		
<b>Messzeit</b>				08:50				09:09		
<b>IVC</b>	L	3.68	5.52	4.60	5.04	110 %	0.78	5.16	112 %	2 %
<b>FVC</b>	L	3.70	5.85	4.77	5.20	109 %	0.65	5.37	113 %	3 %
<b>FEV1</b>	L	2.89	4.55	3.74	3.28	88 %	-0.91	3.71	99 %	13 %
<b>FEV1%FVC</b>	%	67.49	88.39	78.71	63.16	80 %	-2.20	69.16	88 %	10 %
<b>FET</b>	s				5.70			8.69		53 %
<b>PEF</b>	L/s	6.69	10.67	8.68	7.11	82 %	-1.30	8.98	103 %	26 %
<b>FEF25</b>	L/s	4.79	10.42	7.60	4.51	59 %	-1.81	5.42	71 %	20 %
<b>FEF50</b>	L/s	2.51	6.85	4.68	2.30	49 %	-1.80	3.04	65 %	32 %
<b>FEF75</b>	L/s	0.48	2.42	1.11	0.76	68 %	-0.76	1.00	89 %	31 %
<b>FEF25-75</b>	L/s	1.76	5.43	3.34	1.88	56 %	-1.50	2.48	74 %	32 %

Sollwerte:

GLI 2012: FVC, FEV1, FEV1%FVC, FEF75, FEF25-75

EGKS 1993: IVC, PEF, FEF25, FEF50

**Techn. Kommentar:**

Mitarbeit gut. Messung fehlerfrei  
Zuletzt Sultanol vor >12 h.

**Befund-Zusammenfassung:**

Leichtgradige periphere obstruktive Ventilationsstörung.  
Teil-Reversibilität nach Bronchodilatation.

Dr. Max Muster

**Trendgraphik:**

## 6.2 Textbausteine für die Befundung

Kategorie	Kriterien	Textbaustein
Normalbefund	FEV1, FVC, PEF und FEF-Werte im Normalbereich	Unauffällige Ventilationsparameter
Nicht beurteilbar		Lungenfunktion bei deutlich eingeschränkter Mitarbeit nicht beurteilbar
<b>Obstruktion</b>		
Obstruktion	FEV1/FVC < LLN FEV1 – Graduierung	Leichtgradige/Mittelgradige/Schwergradige obstruktive Ventilationsstörung
COPD – GOLD	FEV1/FVC < LLN FEV1 – Graduierung	Wenn COPD liegt ein Schweregrad GOLD x vor
SAO + Obstruktion	FEV1/FVC < LLN FEFxx – SAO-Muster	Leichtgradige obstruktive Ventilationsstörung mit Fokus in den kleinen Atemwegen (Hinweis für "Small airway disease")
SAO	FEV1/FVC ≥ LLN FEFxx – SAO-Muster	Formal keine obstruktive Ventilationsstörung, allerdings Atemflusslimitierung in den kleinen Atemwegen (Hinweis für "Small airway disease")
<b>Bronchodilatator-Response (BDR)</b>		
Keine	$\Delta$ FEV1/FEV1pred UND $\Delta$ FVC/FVCpred < 10 %	Keine Bronchodilatator-Response
Keine (Vormedikation)	$\Delta$ FEV1/FEV1pred UND $\Delta$ FVC/FVCpred < 10 %	Bei bereits eingenommener Vormedikation keine Bronchodilatator-Response.
Post. BDR	$\Delta$ FEV1/FEV1pred ODER $\Delta$ FVC/FVCpred > 10 %	Positive Bronchodilatator-Response
<b>Verdacht auf Restriktion</b>		
Restriktion	FVC < LLN FEV1/FVC ≥ LLN	Reduzierte Vitalkapazität ohne Nachweis einer obstruktiven Ventilationsstörung; Verdacht auf restriktive Ventilationsstörung (zur weiteren Abklärung ist eine Bodyplethysmographie notwendig).

<b>Extrathorakale Stenose</b>		
Hinweis für extrathorakale Stenose	Typ. Bild in der Fluss-Volumen-Kurve	Im inspiratorischen Teil der Fluss-Volumenkurve Hinweis auf extrathorakale Stenose (Empfehlung zur Durchführung eines forcierten inspiratorischen Manövers).
Kritische Stenose	FEV1/PEF > 15 min * mL/L PIF < 1-2 L/s)	Im forcierten inspiratorischen Atemmanöver Hinweis auf kritische extrathorakale Atemflusslimitation
<b>Operations-Risiko</b>		
Normal	FEV1 [mL/kg KG] Frauen: ≥ 18 Männer: ≥ 20 pO2 [mmHg] ≥ LLN	Aus Sicht der Lungenfunktion kein erhöhtes peri-/post-operatives Risiko.
Erhöht	FEV1 [mL/kg KG] Frauen: 12–18 Männer: 14–20 pO2 [mmHg] 55–LLN	Aus Sicht der Lungenfunktion gering erhöhtes peri-/postoperatives Risiko. Empfehlung zur Optimierung der antiobstruktiven Therapie.
Stark erhöht	FEV1 [mL/kg KG] Frauen: < 12 Männer: < 14 pO2 [mmHg] < 55	Aus Sicht der Lungenfunktion besteht keine absolute OP-Kontraindikation, allerdings deutlich erhöhtes Risiko für ein postoperatives respiratorisches Versagen (individuelle Nutzen-/Risiko-Abwägung). Optimierung der antiobstruktiven Therapie zu empfehlen. Postoperative Bereitstellung eines Intensiv-/Überwachungsbettes.

## Danksagung und Ausblick

Dieses Skriptum zur Spirometrie ist der erste Teil einer Serie von Empfehlungen zur Funktionsdiagnostik der Österreichischen Gesellschaft für Pneumologie (ÖGP), die die Expert\*innengruppe Atemphysiologie in den kommenden Jahren erarbeiten möchte. Die nächsten Skripten werden der Bodyplethysmographie, Provokation und den Blutgasen gewidmet sein.

Dr. Elisabeth Gingrich möchten wir für die Initiative danken, die Expert\*innengruppe Atemphysiologie 2018 reaktiviert und als deren Leiterin die Entstehung dieses Skriptums begleitet zu haben.

Ganz besonderer Dank gilt Prof. Paul Haber, der uns durch die vielen wertvollen Diskussionen und seine langjährige Expertise immer wieder neue Aspekte aufgezeigt hat, und uns unsere Sichtweise hinterfragen und Worte schärfen hat lassen. Sein Input war nicht nur der Qualität dieses Skriptums, sondern auch der lebhaften und lehrreichen Arbeit am Skriptum zuträglich.

Primaria Dr. Johanna Stückler und OÄ Dr. Andrea Geistlinger (Rehabilitationsklinik Tobelbad) danken wir für die Überarbeitung des Kapitels zur Arbeitsmedizin. OÄ Dr. Anna Zschocke (Medizinische Universität Innsbruck, Pädiatrie III) danken wir für die Überarbeitung des Kapitels Pädiatrische Spirometrie.

Zu guter Letzt gilt Mag. Irene Czurda ein besonderer Dank für das gründliche und genaue Lektorieren und Layoutieren unseres Manuskriptes.

### Die Autor\*innen der 2. Auflage

Marie-Theres Czerny  
Daniel Doberer  
Elisabeth Gingrich  
Saad Hussain  
Bernd Lamprecht  
Clemens Mädler  
Claudia Müllauer  
Gerhard Trummer  
Angela Zacharasiewicz  
Ralf-Harun Zwick

### Die Autor\*innen der 3. Auflage

Carolina Amelunxen  
Marie-Theres Czerny  
Daniel Doberer  
Saad Hussain  
Ulrike Ipsmiller  
Raphaella Mladek  
Tobias Mraz  
Claudia Müllauer  
Marcel Rowhani  
Lilith Tomandl

## Abkürzungen

ARTP	Association for Respiratory Technology & Physiology
ASVG	Allgemeines Sozialversicherungsgesetz
ATPS	Ambient Temperature Pressure saturated
ATS	American Thoracic Society
BDR	Bronchodilatator-Response
BEV	Back-extrapolated volume
BTPS	Body Temperature Pressure saturated
CO	Kohlenmonoxid
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung
DGP	Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin
DLCO	Diffusionskapazität
DPI	Dry Powder Inhaler – Pulverinhalator
DPLD	Diffuse Lungenparenchymerkrankungen
dV/dt	Volumen-Zeit-Kurve
EGKS	Europäische Gesellschaft für Kohle und Stahl
EOFE	End of forced expiration
EOTV	Expiratorisches Volumen am Ende des Tests (in der letzten Sekunde)
ERS	European Respiratory Society
ERV	Expiratorisches Reservevolumen
ESTS	European Society of Thoracic Surgeons
EVC	Expiratorische Vitalkapazität
FEF	Forced Expiratory Flow
FEF25-75	Mittlerer expiratorischer Fluss zwischen 25 und 75 % der FVC (auch MFEF)
FEF75	Forced Expiratory Flow bei 75 % der FVC
FEFxx	Forcierter expiratorischer Fluss bei xx der VC in %
FeNO	Messung des Stickstoffmonoxids in der Ausatemluft
FET	Forced Expiratory Time
FEV1	Expiratorisches Volumen innerhalb 1 sec
FEV1/FVC	Relativer Tiffeneau-Index
FEV6	Forciertes expiratorisches Volumen innerhalb 6 sec
FIF50	Maximaler inspiratorischer Fluss bei 50 % der IVC
FIV1	Inspiratorische Einsekundenkapazität
FIVC	Forcierte inspiratorische Vitalkapazität
FRC	Funktionelle Residualkapazität
F-V	Fluss-Volumen-Kurve
FVC	Forcierte Vitalkapazität
GLI	Global Lung Initiative
GOLD	Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease
IC	Inspiratorische Kapazität
IFR	Inspiratorische Fluss-Rate
IOS	Impuls-Oszillometrie
IRV	Inspiratorisches Reservevolumen
ITGV	Intrathorakales Gasvolumen
IVC	Inspiratorische Vitalkapazität
LABA	Long-acting beta agonist
LAMA	Long-acting muscarinic antagonist
LLN	Lower Limit of Normal
MdE	Minderung der Erwerbsfähigkeit
MDI	Metered-dose inhaler

---

MEF	Maximaler expiratorischer Fluss
MEP	Maximal Expiratory Pressure
MET	Metabolische Äquivalente
MFEF	Mittlere maximale expiratorische Atemstromstärke zwischen 25 % und 75 % der FVC (auch FEF25–75)
MIP	Maximal Inspiratory Pressure
MVV	Maximal Voluntary Ventilation
OHS	Obesitas-Hypoventilations-Syndrom
PEF	Peak Expiratory Flow
PEFT	Time to PEF
PH	Pulmonale Hypertonie
PIF	Peak Inspiratory Flow
pO <sub>2</sub>	Partialdruck
R	Resistance
RV	Residualvolumen
RVC	Relaxed Vital Capacity
SABA	Short-acting beta agonist
SAD	Small Airway Disease
SAMA	Short-acting muscarinic antagonist
SAO	Small Airway Obstruktion
sO <sub>2</sub>	Arterielle Sauerstoffsättigung
SOT	Start-of-Test
STPD	Standard temperature pressure dry
SVC	Slow Vital Capacity
TLC	Total Lung Capacity
ULN	Upper Limit of Normal
VC	Vitalkapazität
VE	Atem-Minuten-Volumen
VGÜ	Verordnung über die Gesundheitsüberwachung am Arbeitsplatz
Vt	Mittleres Atemzugs-/Tidal-Volumen

## Literaturverzeichnis

1. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2019; **200**(8): e70-e88.
2. Stanojevic S, Kaminsky DA, Miller MR, et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *Eur Respir J* 2022; **60**(1).
3. Cooper BG, Stocks J, Hall GL, et al. The Global Lung Function Initiative (GLI) Network: bringing the world's respiratory reference values together. *Breathe (Sheff)* 2017; **13**(3): e56-e64.
4. Gaensler EA. Analysis of the ventilatory defect by timed capacity measurements. *Am Rev Tuberc* 1951; **64**(3): 256-78.
5. Guirguis-Blake JM, Senger CA, Webber EM, Mularski RA, Whitlock EP. Screening for Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA* 2016; **315**(13): 1378-93.
6. Dharmage SC, Bui DS, Walters EH, et al. Lifetime spirometry patterns of obstruction and restriction, and their risk factors and outcomes: a prospective cohort study. *Lancet Respir Med* 2023; **11**(3): 273-82.
7. Roberts C, Ward S, Walsted E, Hull JH. Safety of pulmonary function testing: data from 20 years. *Thorax* 2018; **73**(4): 385-7.
8. Miller MR, Crapo R, Hankinson J, et al. General considerations for lung function testing. *Eur Respir J* 2005; **26**(1): 153-61.
9. McGowan A, Laveneziana P, Bayat S, et al. International consensus on lung function testing during the COVID-19 pandemic and beyond. *ERJ Open Res* 2022; **8**(1).
10. Criée CPB, X.; Berdel, D.; Bösch, D.; Gappa, M.; Haidl, P.; Husemann, K.; Jörres, R.A.; Kabitz, H.-J.; Kardos, P.; Köhler, D.; Magnussen, H.; Merget, R.; Mitfessel, H.; Nowak, D.; Ochmann, U.; Schürmann, W.; Smith, H.-J.; Sorichter, S.; Voshaar, T.; Worth, H. S2K Leitlinie Spirometrie. *AWMF*, 2015. (accessed).
11. Salem Y, Latzin, P., Yammine S., Frauchiger, B. Qualitätskontrolle der Lungenfunktion im klinischen Alltag. *GPA Sonderheft 2020; Diagnostik in der Pädiatrischen Pneumologie*: 10ß.
12. Janson C, Malinovschi A, Amaral AFS, et al. Bronchodilator reversibility in asthma and COPD: findings from three large population studies. *Eur Respir J* 2019; **54**(3).
13. Practical Handbook of Spirometry. Plymouth, UK: ARTP; 2017.
14. Forche G. [First comprehensive spirometric studies of new reference values for unrestricted use]. *Wien Med Wochenschr Suppl* 1986; **99**: 1-36.
15. Quanjer PH, Stanojevic S, Cole TJ, et al. Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations. *Eur Respir J* 2012; **40**(6): 1324-43.
16. Hall GL, Filipow N, Ruppel G, et al. Official ERS technical standard: Global Lung Function Initiative reference values for static lung volumes in individuals of European ancestry. *Eur Respir J* 2021; **57**(3).
17. Stanojevic S, Graham BL, Cooper BG, et al. Official ERS technical standards: Global Lung Function Initiative reference values for the carbon monoxide transfer factor for Caucasians. *Eur Respir J* 2017; **50**(3).
18. Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J Suppl* 1993; **16**: 5-40.
19. Zapletal A. Lung function in children and adolescents. *Progress in Respiratory Research* 1987; **22**: 220.
20. Wesolowski SP, Boros PW, Orłowski TM, Quanjer PH. Use the Lower Limit of Normal, Not 80% Predicted, in Judging Eligibility for Lung Resection. *Respiration* 2016; **92**(2): 65-71.



21. Oelsner EC, Balte PP, Bhatt SP, et al. Lung function decline in former smokers and low-intensity current smokers: a secondary data analysis of the NHLBI Pooled Cohorts Study. *Lancet Respir Med* 2020; **8**(1): 34-44.
22. Wang ML, Avashia BH, Petsonk EL. Interpreting periodic lung function tests in individuals: the relationship between 1- to 5-year and long-term FEV1 changes. *Chest* 2006; **130**(2): 493-9.
23. Redlich CA, Tarlo SM, Hankinson JL, et al. Official American Thoracic Society technical standards: spirometry in the occupational setting. *Am J Respir Crit Care Med* 2014; **189**(8): 983-93.
24. Miller MR, Pedersen OF. New concepts for expressing forced expiratory volume in 1 s arising from survival analysis. *Eur Respir J* 2010; **35**(4): 873-82.
25. Pellegrino R, Viegi G, Brusasco V, et al. Interpretative strategies for lung function tests. *European Respiratory Journal* 2005; **26**(5): 948-68.
26. Quanjer PH, Pretto JJ, Brazzale DJ, Boros PW. Grading the severity of airways obstruction: new wine in new bottles. *Eur Respir J* 2014; **43**(2): 505-12.
27. Miller MR, Pedersen OF, Dirksen A. A new staging strategy for chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2007; **2**(4): 657-63.
28. Miller MR, Cooper BG. Reduction in T (LCO) and survival in a clinical population. *Eur Respir J* 2021; **58**(5).
29. Global strategy for diagnosis, management and prevention for chronic obstructive pulmonary disease. *GOLD Guidelines* 2023.
30. Wan ES, Fortis S, Regan EA, et al. Longitudinal Phenotypes and Mortality in Preserved Ratio Impaired Spirometry in the COPDGene Study. *Am J Respir Crit Care Med* 2018; **198**(11): 1397-405.
31. Chan ED, Irvin CG. The detection of collapsible airways contributing to airflow limitation. *Chest* 1995; **107**(3): 856-9.
32. Allen SM, Hunt B, Green M. Fall in vital capacity with posture. *Br J Dis Chest* 1985; **79**(3): 267-71.
33. Miller RG, Rosenberg JA, Gelinas DF, et al. Practice parameter: The care of the patient with amyotrophic lateral sclerosis (An evidence-based review). *Muscle Nerve* 1999; **22**(8): 1104-18.
34. Lawn ND, Fletcher DD, Henderson RD, Wolter TD, Wijdicks EF. Anticipating mechanical ventilation in Guillain-Barre syndrome. *Arch Neurol* 2001; **58**(6): 893-8.
35. Kabitz HJ, Waltersbacher S, Mellies U, Criée CP, Windisch W. Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga zur Messung der Atemmuskelfunktion. *Pneumologie* 2014; **68**(05): 307-14.
36. Kreitzer SM, Saunders NA, Tyler HR, Ingram RH, Jr. Respiratory muscle function in amyotrophic lateral sclerosis. *Am Rev Respir Dis* 1978; **117**(3): 437-47.
37. Empey DW. Assessment of upper airways obstruction. *Br Med J* 1972; **3**(5825): 503-5.
38. Zwissler B, Intensivmedizin DGfAu, Medizin DGfI, Chirurgie DGf. Präoperative Evaluation erwachsener Patienten vor elektiven, nicht Herz-Thorax-chirurgischen Eingriffen. *Der Anaesthetist* 2017; **66**(6): 442-58.
39. Bundesqualitätsleitlinie zur integrierten Versorgung von erwachsenen Patientinnen und Patienten für die präoperative Diagnostik bei elektiven Eingriffen. Wien: Bundesgesundheitskommission, 2011.
40. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A, et al. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: The Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur Heart J* 2014; **35**(35): 2383-431.
41. Rafiq A, Sklyar E, Bella JN. Cardiac Evaluation and Monitoring of Patients Undergoing Noncardiac Surgery. *Health Serv Insights* 2017; **9**: 1178632916686074.
42. Haber P. Lungenfunktion und Spiroergometrie. 3. Auflage ed. Vienna: Springer-Verlag; 2013.

43. Walsh ML. Whole body fatigue and critical power: a physiological interpretation. *Sports Med* 2000; **29**(3): 153-66.
44. Brunelli A, Charloux A, Bolliger CT, et al. ERS/ESTS clinical guidelines on fitness for radical therapy in lung cancer patients (surgery and chemo-radiotherapy). *Eur Respir J* 2009; **34**(1): 17-41.
45. Kroidl RFS, Z.; Lehnigk, B.; Fritsch, J. Kursbuch Spiroergometrie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2015.
46. Culver BH, Graham BL, Coates AL, et al. Recommendations for a Standardized Pulmonary Function Report. An Official American Thoracic Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2017; **196**(11): 1463-72.
47. Global strategy for diagnosis, management and prevention for chronic obstructive pulmonary disease. *GOLD Guidelines* 2018.
48. Lung Function Testing. Wakefield, UK: ERS; 2005.

