

Bösch · Criée



Lungenfunktions- prüfung

3. Auflage

- Durchführung
- Interpretation
- Befundung

 Springer

Lungenfunktionsprüfung

Dennis Bösch
Carl-Peter Criée

Lungenfunktions- prüfung

Durchführung – Interpretation – Befundung

3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 101 Abbildungen und 19 Tabellen

Dr. med. Dennis Bösch

Klinikum Bremerhaven
Medizinische Klinik 1 – Sektion Pneumologie
Postbrookstraße 103
27574 Bremerhaven

Prof. Dr. med. Carl-Peter Criée

Evangelisches Krankenhaus Göttingen-Weende e.V.
Medizinische Klinik – Pneumologie
Pappelweg 5
37120 Bovenden-Lenglern

ISBN-13 978-3-642-34941-6

ISBN 978-3-642-34942-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-34942-3

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Medizin

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2007, 2009, 2013

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Hinrich Küster, Heidelberg
Projektmanagement: Kerstin Barton, Heidelberg
Lektorat: Michaela Mallwitz, Tairnbach
Fotonachweis: © photos.com
Einbandgestaltung: deblik Berlin

SPIN 12995134

Satz: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg

Druck: Stürtz GmbH, Würzburg

Vorwort zur 3. Auflage

Die 3. Auflage haben wir zum Anlass genommen, viele Passagen zu überarbeiten und den Umfang des Buches erneut deutlich zu erweitern. Wir haben uns bemüht, das bisherige Konzept beizubehalten, und den Inhalt weiterhin bewusst auf praxisrelevante Themen konzentriert. Hierbei wurde an vielen Stellen weitergehendes Wissen integriert, um auch dem Erfahrenen eine tiefergehende Lektüre zu ermöglichen. Es wurden zudem Beispiele ausgetauscht und neu aufgenommen. Kapitel wurden neu eingefügt, vorhandene Kapitel zum Teil neu strukturiert und inhaltlich erweitert.

6 Jahre nach Erscheinen der 1. Auflage liegt nunmehr ein Standardwerk vor, welches sowohl dem Anfänger als auch dem Fortgeschrittenen sämtliche relevanten Inhalte der Lungenfunktionsprüfung auf leicht verständliche und stets praxisorientierte Weise vermittelt. Es kann tutoriell und gleichermaßen als Kompendium genutzt werden. Wir wünschen Ihnen eine freudebringende und zugleich anregende Lektüre und freuen uns stets über konstruktive Anmerkungen.

Dr. med. Dennis Bösch
Prof. Dr. med. Carl-Peter Criée

Ritterhude, Göttingen im Januar 2013

Vorwort zur 1. Auflage

Nicht zuletzt dem technischen Fortschritt mit immer kompakteren und bedienerfreundlicheren Geräten ist es zu verdanken, dass die Lungenfunktionsdiagnostik zunehmende Verbreitung findet. Zudem wecken ein stark anhaltender Wissenszuwachs und stetig steigende Zahlen an Patienten mit obstruktiven Lungenerkrankungen seit Jahren das Interesse an Lungenfunktionsstörungen und entsprechenden Untersuchungsmethoden. Bei zunehmender klinischer Bedeutung der Lungenfunktionsdiagnostik im klinischen Alltag gehören die verschiedenen Methoden der Lungenfunktionsprüfung in den Krankenhäusern und den internistischen, allgemeinmedizinischen und pädiatrischen Praxen heute zum Standard. Neben der weit verbreiteten Spirometrie sind dies die Bodyplethysmographie, Diffusionstestung, Mundverschlussdruckmessung, Blutgasanalyse und die erweiterten Untersuchungen mit Provokation und Bronchospasmodolyse.

Dieses Buch richtet sich an alle, die mit der Durchführung und Befundung von Lungenfunktionsprüfungen befasst sind. Dem Leser soll nach bewusst kurzer Einführung in die verschiedenen Methoden systematisch – anhand authentischer, klinischer Patientenfallbeispiele – die Befundung und Interpretation der Untersuchungsergebnisse unter Berücksichtigung der klinischen Umstände vermittelt werden. Hierzu wurden über 60 Untersuchungsergebnisse von Patienten, die mit Geräten verschiedener Hersteller und unterschiedlichen Modellen erhoben worden waren, ausgesucht und zusammengestellt. Wichtige Punkte und Hintergrundinformationen zu den jeweiligen Untersuchungen und Funktionsstörungen sind hervorgehoben und gesondert zusammengefasst. Dabei wurde mit großer Sorgfalt versucht, die Empfehlungen der deutschen und internationalen Fachgesellschaften zu berücksichtigen.

Neben dem Anfänger wird auch der Fortgeschrittene wertvolle Informationen zur täglichen Praxis finden, da die Beispiele neben den klassischen Befundkonstellationen auch seltenere und kompliziertere Fälle aufzeigen. Abschließend bietet ein Kapitel die Möglichkeit, das erworbene Wissen und die erlernten Fertigkeiten anhand z. T. komplexerer Fallübungen zu kontrollieren. Dieses Buch soll zudem auch als Kompendium und Nachschlagewerk für die tägliche Praxis dienen.

Wir wünschen Ihnen eine interessante und lehrreiche Lektüre sowie viel Erfolg und Freude bei der Befundung eigener Lungenfunktionsuntersuchungen.

Dr. med. Dennis Bösch
Prof. Dr. med. Carl-Peter Criée

Bremen, Göttingen im Dezember 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Lungenfunktionsprüfung im Überblick	1
2	Lungenfunktionsparameter	3
2.1	Allgemeines	4
2.2	Statische und dynamische Volumina	4
2.3	Atemflussparameter	7
2.4	Resistance-Parameter	7
2.5	Diffusionsparameter	8
2.6	Mundverschlussdruckparameter	8
2.7	Blutgasanalyseparameter	8
3	Spirometrie	9
3.1	Einleitung und Messprinzip	10
3.2	Durchführung der Untersuchung	12
3.3	Ventilationsstörungen	12
3.4	Fallbeispiele	14
	Literatur	48
4	Bodyplethysmographie	49
4.1	Einleitung und Messprinzip	50
4.2	Durchführung der Untersuchung	52
4.3	Fallbeispiele	54
	Literatur	88
5	Bronchospasmolysetestung und Provokationstestung	89
5.1	Einleitung	90
5.2	Bronchospasmolysetestung	90
5.3	Provokationstestung	90
5.4	Fallbeispiele	93
	Literatur	103
6	Diffusionsmessung	105
6.1	Einleitung	106
6.2	Fallbeispiele	107
	Literatur	118
7	Mundverschlussdruckmessung	119
7.1	Einleitung	120
7.2	Fallbeispiele	121
	Literatur	126
8	Peakflow-Messung	127
8.1	Einleitung	128
8.2	Fallbeispiele	129
	Literatur	136

9	Blutgasanalyse	137
9.1	Einleitung	138
9.2	Fallbeispiele	139
	Literatur	150
10	Pulsoxymetrie	151
10.1	Einleitung	152
10.2	Fallbeispiele	153
	Literatur	156
11	Die Variable Patient	157
11.1	Lebensphasen der Lungenfunktion	158
11.2	Erworbene Einflüsse der Lungenfunktion	160
	Literatur	161
12	Interpretationsstrategie der Lungenfunktionsprüfung	163
	Literatur	164
13	Gemischter Übungsteil	165
	Verzeichnis der Fallbeispiele	189
	Quellenhinweis	192
	Stichwortverzeichnis	193

Abkürzungsverzeichnis

6MWD	6-minute walking distance (6-Minuten-Gehtest)	MEF	maximale expiratorische Fluss geschwindigkeit
art.	arteriell	O₂	Sauerstoff
ATS	American Thoracic Society	OHS	adipositasassoziiertes Hypoventilations-syndrom
BE	Base Excess (Basenüberschuss)	OSAS	obstruktives Schlafapnoesyndrom
BGA	Blutgasanalyse	P0,1	inspiratorischer Mundverschlussdruck bei 0,1 s
BMI	Body-Mass-Index [kg/m ²]	pCO₂	Kohlendioxidpartialdruck
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease	PEF	expiratorischer Peakflow
CT	Computertomographie	pH	pH-Wert
C_aO₂	arterieller Sauerstoffgehalt	PIF	inspiratorischer Peakflow
DGP	Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin	PI_{max}	maximaler inspiratorischer Mundver-schlussdruck
DL_{CO}	Diffusionskapazität (Syn.: TL _{CO})	pO₂	Sauerstoffpartialdruck
EGKS	Europäische Gemeinschaft für Kohle und Stahl	R_{eff}	effektiver Atemwegswiderstand
ERS	European Respiratory Society	R_{occ}	okklusiver Atemwegswiderstand
ERV	expiratorisches Reservevolumen	R_{os}	oszillatorischer Atemwegswiderstand
FEF	forcierte expiratorische Fluss geschwindig-keit	RAW_{ex}	expiratorischer Teilwiderstand
FEV₁	Einsekundenkapazität	RAW_{tot}	totaler Atemwegswiderstand
FEV₁%	relative Einsekundenkapazität	RSD	residuale Standardabweichung
FRC	funktionelle Residualkapazität	RV	Residualvolumen
FVC	forcierte Vitalkapazität	s	Sekunde
Hb	Hämoglobin	SaO₂	Sauerstoffsättigung, arteriell
HCO₃	Bikarbonat	SpO₂	Sauerstoffsättigung, pulsoxymetrisch
IC	inspiratorische Kapazität	sR_{eff}	spezifischer effektiver Atemwegswider-stand
IRV	inspiratorisches Reservevolumen	sRAW_{tot}	spezifischer Atemwegswiderstand
ITGV	intrathorakales Gasvolumen	TGV	thorakales Gasvolumen
IVC	inspiratorische Vitalkapazität	TLC	totale Lungenkapazität
kap.	kapillär	TL_{CO}	Transferfaktor Kohlenmonoxid
K_{CO}	Krogh-Faktor Kohlenmonoxid	V_A	Alveolarvolumen
kg	Kilogramm	VC	Vitalkapazität
KL	Körperlänge	VC_{ex}	expiratorische Vitalkapazität
kPA	Kilopascal	VC_{in}	inspiratorische Vitalkapazität
l	Liter	VT	Tidalvolumen
LLN	»lower limit of normal«		

Lungenfunktionsprüfung im Überblick

Die Hauptaufgabe der Lungenfunktion ist die Atmung, also der Gasaustausch zwischen Körperzellen und Umgebung. Hierbei wird Sauerstoff (O_2) für den Transport zu den Zellen aufgenommen und Kohlendioxid (CO_2), nach Abgabe der Gewebe in die Blutbahn, über die Lunge ausgeatmet. Die Atmung (Ventilation) unterliegt hierbei komplexen Gesetzmäßigkeiten und Regelmechanismen, die ein sehr variables Anpassen der Funktion an verschiedenste Einflüsse und Anforderungen ermöglicht. Zudem kommt der Lunge eine wichtige Aufgabe in der Regulation des Säure-Basen-Haushaltes des Organismus zu. Im Blut gepufferte saure Valenzen können über das Abatmen des Säureanhydrids CO_2 eliminiert werden.

Die Lungenfunktionsdiagnostik ist ein sehr heterogenes Feld von unterschiedlichen Untersuchungen, mit denen die verschiedenen Anteile der Lungenfunktion im Einzelnen oder global als Summe dargestellt und überprüft werden können.

Die Lungenfunktion besteht aus einem Zusammenspiel von Einzelfunktionen. Vereinfacht kann man folgende Bereiche unterscheiden:

- die Ventilation,
- die Perfusion,
- den Gasaustausch und
- die Atemmuskelfunktion mit ihrer zentralen Steuerung.

Neben einer Störung dieser Einzelfunktionen mit den jeweiligen Unterformen können auch kombinierte Störungen auftreten oder Störungen, die auf einem unphysiologischen Zusammenspiel der Einzelfunktionen basieren.

Für die Lungenfunktionsdiagnostik stehen uns im Wesentlichen folgende Tests bzw. Messmethoden zur Verfügung:

- die Spirometrie,
- die Bodyplethysmographie,
- die Bronchospasmodolyse-/Provokationstestung,
- die Diffusionstestung,
- die Mundverschlussdruckmessung,
- die Blutgasanalyse und
- die Pulsoxymetrie.

Mit den einzelnen Methoden ist es möglich, verschiedene Atemvolumina, Flussgeschwindigkeiten, thorakale Druckverhältnisse, ggf. mit entsprechenden Veränderungen auf Medikamentengabe oder auch Exposition von Reizstoffen, sowie die Diffusionsverhältnisse und den Gasaustausch zu untersuchen.

Die Indikation zur Durchführung einer Lungenfunktionsprüfung liegt meist in der Abklärung und Objektivierung einer Dyspnoe (also der subjektiven unangenehmen Wahrnehmung der Atmung) begründet. Die mit einer Lungenfunktionsstörung einhergehenden Erkrankungen können zudem in ihrem lungenfunktionellen Verlauf beobachtet und die Therapie überprüft und bewertet werden. Des Weiteren wird die Lungenfunktionsdiagnostik auch im Rahmen präventiver Screening-Untersuchungen oder auch zur Risikoabschätzung belastender Eingriffe durchgeführt.


In den nachfolgenden Kapiteln werden die verschiedenen Methoden anhand unterschiedlicher Beispiele einfacher und komplexer Lungenfunktionsstörungen dargestellt und erläutert.

Lungenfunktionsparameter

- 2.1 Allgemeines – 4
- 2.2 Statische und dynamische Volumina – 4
- 2.3 Atemflussparameter – 7
- 2.4 Resistance-Parameter – 7
- 2.5 Diffusionsparameter – 8
- 2.6 Mundverschlussdruckparameter – 8
- 2.7 Blutgasanalyseparameter – 8

2.1 Allgemeines

Die genaue Kenntnis der Bedeutung der einzelnen Messwerte und ihrer Zusammenhänge ist eine Grundvoraussetzung für die Interpretation der Lungenfunktionsprüfung.

Man unterscheidet die statischen Volumina, also die zeitunabhängigen einzelnen Teilvolumina der Totalkapazität (z. B. die Vitalkapazität), von den dynamischen Volumina, die in forcierten Atemmanövern in Bezug zur Zeit ermittelt werden (z. B. die Einsekundenkapazität). Des Weiteren können Atemstromstärken bzw. Atemflussparameter (z. B. der Peakflow), Munddruckverhältnisse, Diffusionsparameter und Blutgaswerte gemessen werden. Die einzelnen Parameter werden nachfolgend erläutert und in den  Abb. 2.1, 2.2 und 2.3 veranschaulicht.

Die einzelnen Werte sind jeweils als Ist-Wert (also gemessener Wert) und meist als Soll-Wert (also Normal- oder Referenzwert) mit entsprechender prozentualer Abweichung des Messwertes vom Sollwert angegeben.

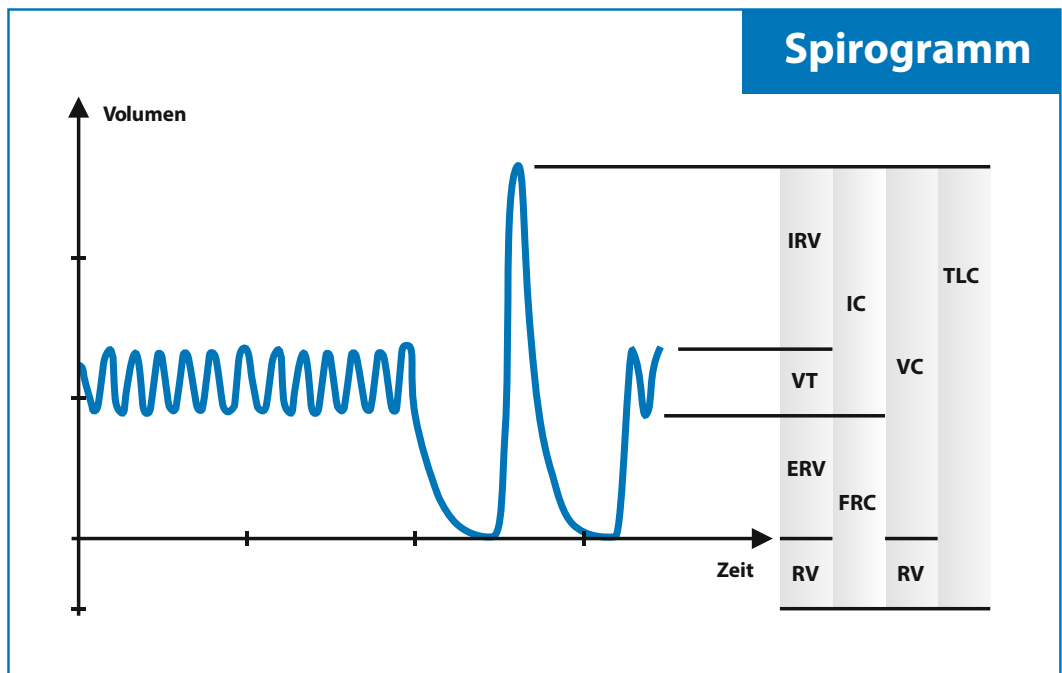
Sollwerte beziehen sich auf eine bestimmte Kohorte gesunder Referenzpersonen. Gewisse Schwankungen zwischen den einzelnen Personen sind normal und ohne Krankheitswert. Der eigentliche Sollwert ist also vielmehr der Mittelwert innerhalb der zugrunde liegenden Kohorte. Das als normal zu bezeichnende Referenzintervall wurde definiert als Sollwert-Mittelwert $\pm 1,64$ RSD (residuale Standardabweichung) und beinhaltet 90% der gemessenen gesunden Population. Die unteren und oberen 5% der normalen Population liegen definitionsgemäß außerhalb der 5. Perzentile-Grenze (lower bzw. upper limit of normal) und werden fälschlicherweise als falsch-positiv definiert.

2.2 Statische und dynamische Volumina

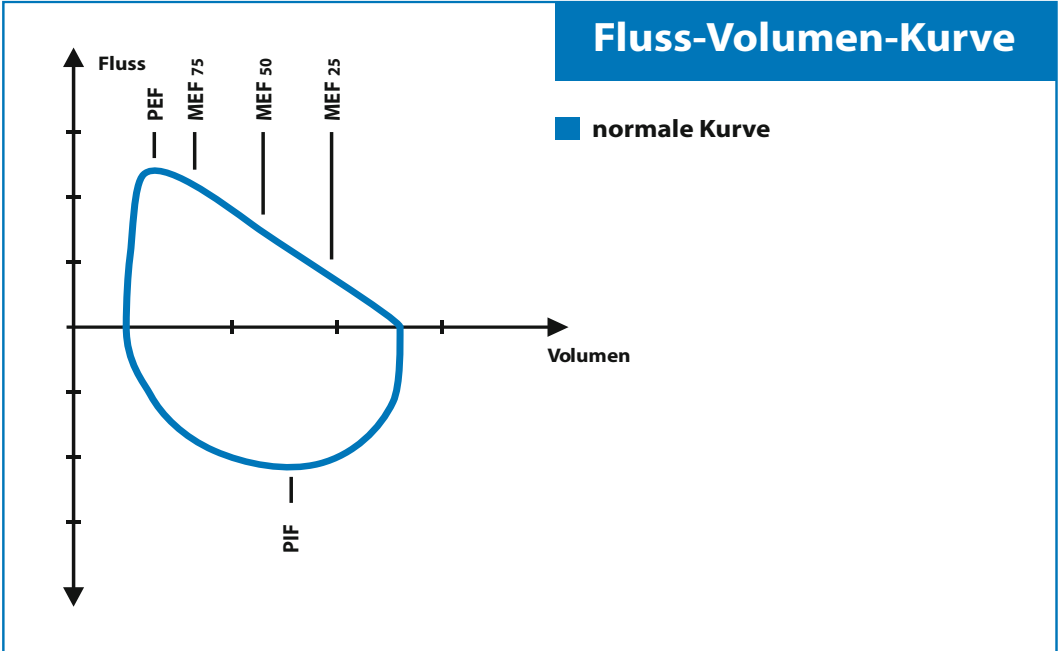
VT	Atemzugvolumen/Tidalvolumen: das pro (Ruhe-)Atemzug ein- bzw. ausgeatmete Volumen. Der Wendepunkt zwischen Aus- und Einatmung bezeichnet die Atemmittellage.
▼	

IRV	Inspiratorisches Reservevolumen: das Volumen, das nach normaler Inspiration noch zusätzlich maximal eingeatmet werden kann.
IC	Inspiratorische Kapazität: das Volumen, das aus der Atemruhelage heraus noch maximal eingeatmet werden kann, also VT+IRV.
ERV	Expiratorisches Reservevolumen: das Volumen, das nach normaler Expiration noch zusätzlich maximal ausgeatmet werden kann.
VC _{in}	Inspiratorische Vitalkapazität (IVC): das Volumen, das nach maximaler Expiration maximal eingeatmet werden kann.
VC _{ex}	Expiratorische Vitalkapazität (EVC): das Volumen, das nach maximaler Inspiration maximal ausgeatmet werden kann. Es kann zwischen einer langsamen (»relaxed«) Expiration und einer forcierten Expiration (FVC) unterschieden werden. Bei gesunden Probanden besteht keine systematische Differenz zwischen IVC und EVC; nur bei obstruktiven Lungenerkrankungen kann die IVC größer sein als EVC und FVC. EVC ist in der Regel größer als FVC.
FVC	Forcierte Vitalkapazität: das nach kompletter Inspiration unter stärkster Anstrengung schnellstmöglich ausgeatmete maximale Volumen (Tiffenau-Manöver).
FRC	Funktionelle Residualkapazität: das Volumen, das sich nach normaler Expiration (endexpiratorisch) noch in der Lunge befindet, also ERV+RV. Bestimmung nur der ventilierten Anteile mittels Heliumdilutionsmethode. Entspricht physiologisch dem TGV.
TGV	(Intra-)Thorakales Gasvolumen (=ITGV): das Volumen, das sich nach normaler Expiration (endexpiratorisch) noch in der Lunge befindet, also ERV+RV. Bestimmung mittels Bodyplethysmographie – neben den ventilierten Anteilen
▼	

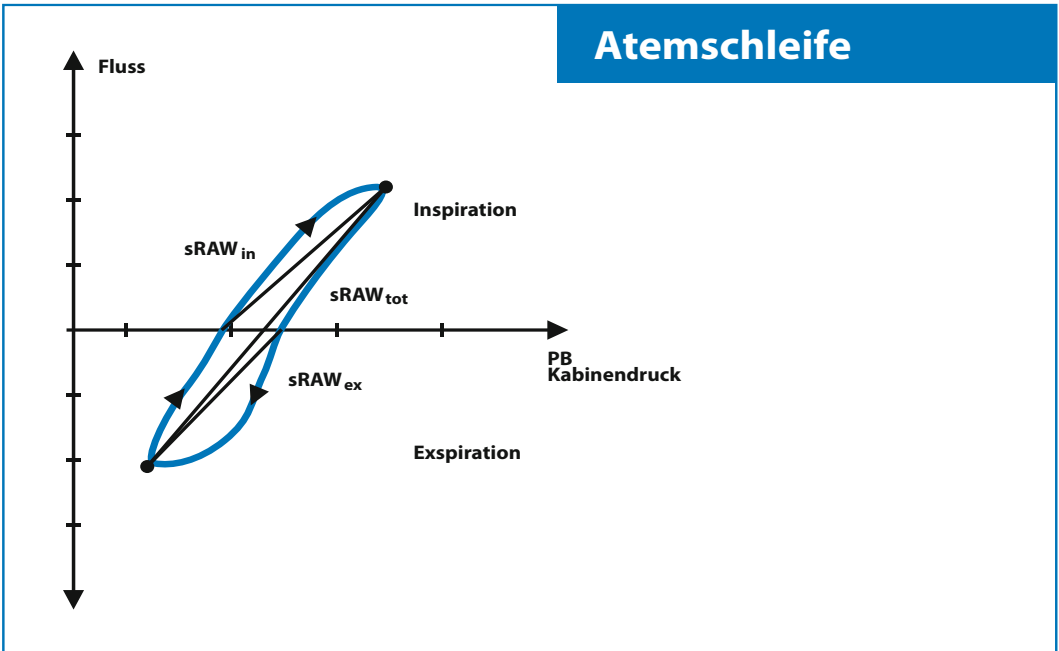
	werden auch die gasgefüllten Anteile erfasst. Entspricht physiologisch der FRC, die mittels Heliumdilution ermittelt wird, jedoch nur den ventilerten Anteil erfasst. Bei intrathorakalen Lufteinschlüssen (z. B. »trapped air« oder Emphysembullae) kann die TGV größer sein als die FRC.	FEV ₁	Einsekundenkapazität (forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde): das nach maximaler Inspiration unter stärkster Anstrengung schnellstmöglich ausgeatmete Volumen der ersten Sekunde.
RV	Residualvolumen: das Volumen, das nach maximaler Expiration noch in der Lunge verbleibt und nicht ausgeatmet werden kann.	FEV ₁ %	Relative Einsekundenkapazität: das nach maximaler Inspiration unter stärkster Anstrengung, schnellstmöglich ausgeatmete Volumen der ersten Sekunde im Verhältnis zur Vitalkapazität (FVC oder VC _{IN} , s. oben). Ausgedrückt als Prozentanteil der FEV ₁ an der FVC bzw. VC _{IN} .
TLC	Totale Lungenkapazität: das Volumen, das sich nach maximaler Inspiration in der Lunge befindet, also VC+RV.		



■ Abb. 2.1. Übersicht der Volumina



■ Abb. 2.2. Übersicht der Atemflussparameter



■ Abb. 2.3. Atemschleife mit spezifischem Atemwegwiderstand

2.3 Atemflussparameter

PEF	Peak Expiratory Flow: maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit, die bei forcierter Expiration nach kompletter Inspiration erreicht werden kann.
PIF	Peak Inspiratory Flow: maximale inspiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit, die bei forcierter Inspiration nach kompletter Expiration erreicht werden kann.
MEF ₇₅	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem noch 75% der VC auszuatmen sind.
MEF ₅₀	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem noch 50% der VC auszuatmen sind.
MEF ₂₅	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem noch 25% der VC auszuatmen sind.
MEF ₇₅₋₂₅	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) im Volumenabschnitt 75–25% der noch auszuatmenden FVC.
FEF ₂₅	Maximale (forcierte) expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem 25% der VC ausgeatmet wurden (=MEF ₇₅).
FEF ₅₀	Maximale (forcierte) expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem 50% der VC ausgeatmet wurden (=MEF ₅₀).
FEF ₇₅	Maximale (forcierte) expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem 75% der VC ausgeatmet wurden (=MEF ₂₅).
FEF ₂₅₋₇₅	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) im Volumenabschnitt 25–75% der ausgeatmeten FVC (=MEF ₇₅₋₂₅).

MEF und FEF unterscheiden sich lediglich hinsichtlich ihrer Nomenklatur voneinander. Während sich die MEF jeweils auf das noch auszuatmende Volumen (des Tiffeneau-Manövers bzw. FVC) bezieht, ist es bei der FEF das bereits ausgeatmete Volumen (angegeben als Prozent der FVC). MEF wird vornehmlich im europäischen Raum angewandt, während FEF überwiegend im angloamerikanischen Raum Anwendung findet.

Bei **Bewertung des forcierten Expirationsmanövers (Tiffeneau-Manöver)** sind 2 Phänomene zu berücksichtigen:

- Es besteht eine deutliche **Atemabhängigkeit** («effort dependence») der expiratorischen Atemflüsse. Dies gilt insbesondere für die 1. Hälfte der ausgeatmeten Vitalkapazität. Bei unzureichender Mitarbeit des Patienten sind die Atemflüsse entsprechend niedriger. Andererseits sind die maximalen (forcierten) Atemflüsse bei maximaler Anstrengung, bedingt durch die Kompression der Atemwege, häufig etwas geringer als bei submaximaler Anstrengung. Bei schlechter Reproduzierbarkeit einer submaximalen Anstrengung ist jedoch stets ein maximal forciertes Manöver zu fordern.
- Das 2. Phänomen ist die **Zeitabhängigkeit** («time dependence»). Bei langsamer Inspiration (bis zum TLC-Niveau) mit zusätzlicher Pause (>1 s) vor der forcierten Expiration sind die Atemflüsse bis zu 25% geringer als bei schneller Inspiration ohne Pause vor der forcierten Expiration. Ursächlich hierfür sind unterschiedliche viskoelastische Eigenschaften der Lunge und eine unterschiedlich gute Aktivierung der Expirationsmuskulatur abhängig vom zeitlichen Verlauf.

2.4 Resistance-Parameter

Über die Atemschleife lässt sich der sog. spezifische Atemwegwiderstand (sRAW) ermitteln. Durch zusätzliche Messung des thorakalen Gasvolumens (TGV) im Verschlussmanöver lässt sich dann im Weiteren der eigentliche Atemwegwiderstand (RAW) errechnen.

Die Ermittlung des effektiven spezifischen Atemwegwiderstandes (sR_{eff}) erfolgt über das

Verhältnis von der Fläche der Atemschleife zur Fläche der Fluss-Volumen-Kurve. Der effektive Atemwegswiderstand (R_{eff}) wird analog zu RAW in einem zweiten Schritt im Wesentlichen über Berücksichtigung des TGV bestimmt.

Bei etwas geringerer Sensitivität von R_{eff} bzgl. vornehmlich peripherer funktioneller Veränderungen ist R_{eff} weniger anfällig gegenüber Störeinflüssen bzw. intra- und interindividuellen Variabilitäten im Vergleich zu RAW.

RAW_{tot}	Totaler Atemwegswiderstand (Resistance) bzw. Strömungswiderstand. Berechnung: $RAW = sRAW/TGV$.
$sRAW_{\text{tot}}$	Spezifischer totaler Atemwegswiderstand. Gerade zwischen maximalem in- und expiratorischem Druckpunkt der Atemschleife
sR_{eff}	Spezifischer effektiver Atemwegswiderstand. Ermittelt über die Fläche von Atemschleife und Fluss-Volumen-Kurve.
R_{eff}	Effektiver Atemwegswiderstand. Berechnung: $sR_{\text{eff}} / (TGV+VT/2)$.

2.5 Diffusionsparameter

FRC-He	Funktionelle Residualkapazität (mittels Heliumdilution); s. FRC, TGV.
RV-He	Residualvolumen (mittels Heliumdilution); s. RV.
TL_{CO}	Transferfaktor (auch DL_{CO} -Diffusionskapazität). Produkt aus K_{CO} und V_A , beschreibt die Gesamtaufnahme von CO durch die Lunge nach vollständiger Inspiration.
K_{CO}	Krogh-Faktor (auch TL_{CO}/V_A oder DL_{CO}/V_A -Transferkoeffizient bzw. Diffusionskoeffizient). Primäre Messgröße, beschreibt die CO-Aufnahme als Konzentrationsabfall pro Zeiteinheit und in Abhängigkeit der alveolokapillären Druckdifferenz.
V_A	Alveolarvolumen: $V_A + \text{Totraumvolumen}$ entspricht weitestgehend der TLC. Messung mittels Heliumdilution.

2.6 Mundverschlussdruckparameter

$P_{0,1}$	Inspiratorischer Mundverschlussdruck 0,1 s nach Beginn der Inspiration, bei Ruheatmung.
$P_{I_{\text{max}}}$	Maximaler inspiratorischer Mundverschlussdruck bei forcierter Inspiration nach vorheriger kompletter Expiration bis zum Residualvolumen.
$P_{0,1}/P_{I_{\text{max}}}$	Mundverschlussdruck P 0,1, bezogen auf den maximalen statischen Inspirationsdruck.
$P_{0,1}/MV$	Mundverschlussdruck P 0,1, bezogen auf das Atemminutenvolumen.
$P_{0,1}/(VT/t_i)$	Mundverschlussdruck P 0,1, bezogen auf die mittlere Inspirationsgeschwindigkeit bei Ruheatmung.

2.7 Blutgasanalyseparameter

CO-Hb	Carboxyhämoglobin: Hämoglobinfraktion die mit Kohlenmonoxid gebunden ist.
Met-Hb	Methämoglobin: Hämoglobinfraktion mit dreiwertig oxidiertem Eisen im Hb.
pH	pH-Wert: aktueller Gehalt an freien Protonen (H^+ -Ionenkonzentration).
pO_2	Sauerstoffpartialdruck: Teildruck des Sauerstoffs am Gesamtgasgemisch.
pCO_2	Kohlendioxidpartialdruck: Teildruck des Kohlendioxids am Gesamtgasgemisch.
HCO_3	Bikarbonat: Konzentration an Bikarbonat bzw. Standardbikarbonat (berechnet für normoventilatorische Verhältnisse).
BE	Basenüberschuss (»base excess«): Abweichung der Pufferbasen.
SaO_2	Sauerstoffsättigung: Hämoglobinanteil, der mit Sauerstoff gesättigt (oxygeniert) ist.

Spirometrie

- 3.1 Einleitung und Messprinzip – 10
- 3.2 Durchführung der Untersuchung – 12
- 3.3 Ventilationsstörungen – 12
- 3.4 Fallbeispiele – 14
- Literatur – 48

3.1 Einleitung und Messprinzip

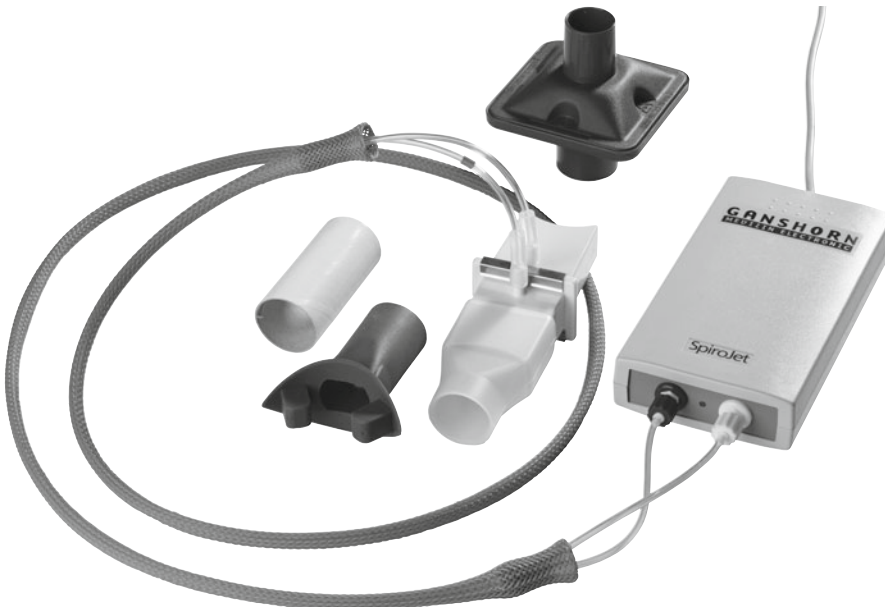
Die Spirometrie besitzt einen hohen Stellenwert in der differenzialdiagnostischen Untersuchung und Bewertung respiratorischer Symptome. Darüber hinaus kommt einigen Messwerten eine hohe Bedeutung als prognostischer Faktor von Atemwegserkrankungen zu. Mit relativ geringem apparativen und zeitlichen Aufwand ist sie einfach durchführbar und ermöglicht die Ermittlung grundlegender Atemvolumina sowie in- und expiratorischer Atemflussverhältnisse. Sie ist deshalb hervorragend als Screening-Untersuchung geeignet. Die [Abb. 3.1](#) zeigt ein Modell eines einfachen Spirometers.

Der besondere Wert der Spirometrie liegt in der Diagnostik obstruktiver Ventilationsstörungen und der Möglichkeit, die therapeutische Beeinflussbarkeit dieser sehr häufigen Ventilationsstörung zu objektivieren. Es sei darauf hingewiesen, dass andere Störungen der Lungenfunktion mit der Spirometrie nicht oder nur eingeschränkt darstellbar sind. Patienten mit schwerster Ateminsuffizienz können so unter Umständen ein normales Untersuchungsergebnis in der Spirometrie aufweisen.

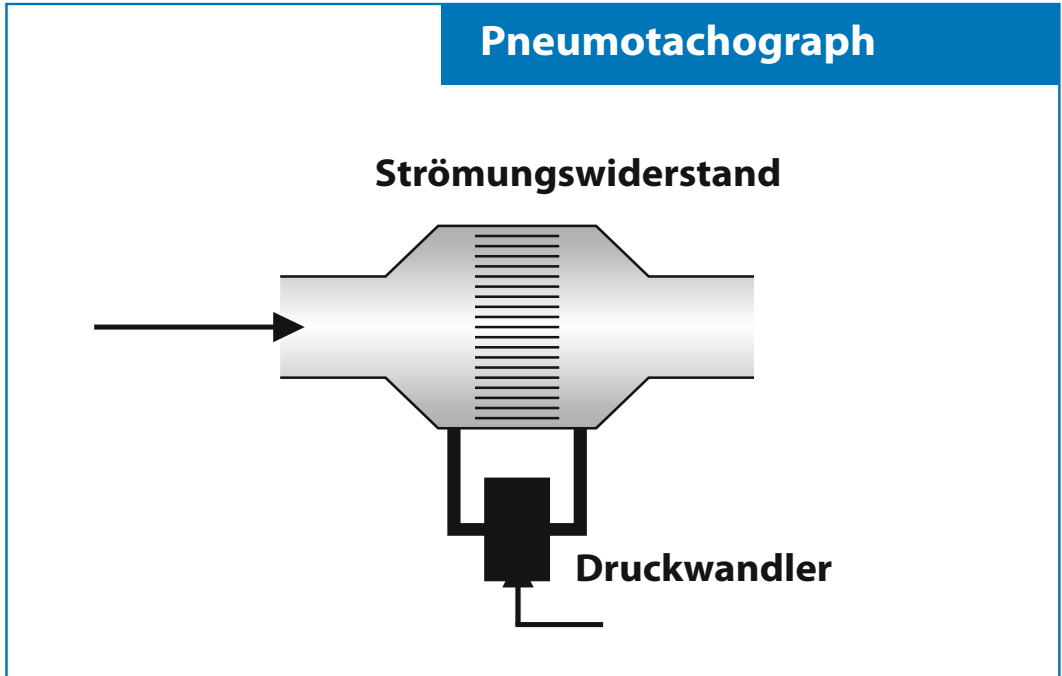
Unter Spirometrie versteht man die Messung von Lungenvolumina am Mund. Erste Untersuchungen von Atemvolumina gehen bis auf das Jahr 1681 zurück (G.A. Borelli). Nach einer stetigen Weiterentwicklung hat A. Fleisch um 1925 mit der Pneumotachographie die Glockenspirometrie, den Keilbalg etc. abgelöst und ein neues Zeitalter der Lungenfunktionsprüfung eingeleitet. Das forcierte Expirationsmanöver war erstmals von Tiffeneau und Pinelli 1947 beschrieben worden und ist bis heute als Tiffeneau-Manöver bekannt.

Ein Pneumotachograph arbeitet mittels eines bekannten Widerstandes, der in die Atemströmung der zu untersuchenden Person geschaltet ist. Der Widerstand bewirkt einen atemflussabhängigen Druckabfall. Diese Druckdifferenz wird in elektrische Spannung umgewandelt und verhält sich proportional zur Atemströmung ([Abb. 3.2](#)). Durch Integration dieser Spannung über die Zeit kann dann zusätzlich das Volumen bestimmt werden. Neuere Pneumotachographen messen die Strömung mittels eines schräg in die Atemluft einfallenden Ultraschallmessstrahls ([Abb. 3.3](#)).

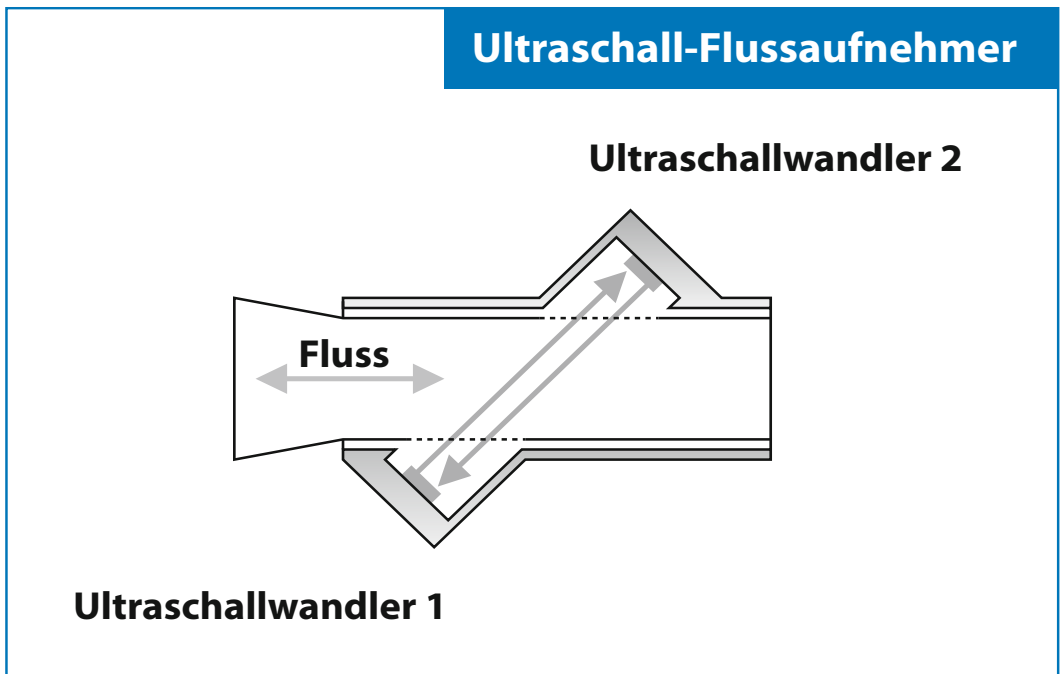
Bei der Spirometrie per Ultraschall basiert die Flussmessung auf der Beeinflussung des Ultra-



[Abb. 3.1](#). Spirometer mit Mundstück und Filter sowie Verbindungskabel zum PC. (Mit freundlicher Genehmigung der Fa. Ganshorn, Niederlauer)



■ Abb. 3.2. Druckdifferenzmessung des Pneumotachographen



■ Abb. 3.3. Ultraschall-Flussaufnehmer