

Dennis Bösch

Carl-Peter Criée

## **Lungenfunktionsprüfung**

Durchführung – Interpretation – Befundung

Dennis Bösch  
Carl-Peter Criée

# Lungenfunktions- prüfung

**Durchführung – Interpretation – Befundung**

2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 87 Abbildungen und 19 Tabellen

**Dr. med. Dennis Bösch**

Zentrum für Pneumologie  
Diakoniekrankenhaus Rotenburg (Wümme)  
Verdener Straße 200  
27356 Rotenburg (Wümme)  
boesch@atem-online.de

**Prof. Dr. med. Carl-Peter Criée**

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

ISBN 978-3-540-88038-7 Springer Medizin Verlag Heidelberg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

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.

**Springer Medizin Verlag**

springer.com  
© Springer Medizin Verlag Heidelberg 2007, 2009

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: Gisela Zech, Heidelberg  
Copyediting: Gabriele Siese, Untergruppenbach  
Titelbild links: Ganshorn Medizin Electronic, Niederlauer  
Titelbild rechts: Tillmann, Atlas der Anatomie des Menschen, Springer 2004  
Einbandgestaltung: deblik Berlin

SPIN 12257553  
Satz: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg  
Druck: Stürtz GmbH, Würzburg

# Vorwort zur 2. Auflage

---

Nach sehr erfreulicher Resonanz ist nach weniger als zwei Jahren die erste Neuauflage unseres Buches erforderlich geworden. Wir haben dies zum Anlass genommen, das positiv aufgenommene Konzept der praxisorientierten Darstellung in der vorliegenden Auflage weiter zu verfeinern. Überdies wurden einige Inhalte aktualisiert und der Umfang des Buches erweitert. An nunmehr 56 authentischen Fallbeispielen mit über 60 Originalbefunden wird nahezu das gesamte Spektrum der Lungenfunktionsprüfungen vom orientierenden Einstieg in die Methode über typische Befundmuster hin zu komplexeren und selteneren Befunden dargestellt. Durch seine klare Gliederung und die hervorgehobenen zusammenfassenden Vermerke kann das Buch sowohl als Kursus durch die Lungenfunktionsprüfung als auch als Kompendium genutzt werden.

Wir hoffen, mit unserem Buch einen kleinen Beitrag zum stetig wachsenden Interesse an der Lungenfunktionsprüfung beisteuern zu können und dem Leser zu einer freudeerfüllten und sicheren Befundung im klinischen Alltag zu verhelfen.

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

Bremen, Göttingen im Februar 2009

# 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

---

<b>1</b>	<b>Lungenfunktionsprüfung im Überblick</b> .....	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>Diffusionstestung</b> .....	<b>97</b>
			6.1	Einleitung .....	98
			6.2	Fallbeispiele .....	99
<b>2</b>	<b>Lungenfunktionsparameter</b> .....	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>Mundverschlussdruckmessung</b> .....	<b>109</b>
2.1	Allgemeines .....	4	7.1	Einleitung .....	110
2.2	Statische und dynamische Volumina .....	4	7.2	Fallbeispiele .....	111
2.3	Atemflussparameter .....	7			
2.4	Resistance-Parameter .....	7			
2.5	Diffusionsparameter .....	8	<b>8</b>	<b>Peakflow-Messung</b> .....	<b>117</b>
2.6	Mundverschlussdruckparameter .....	8	8.1	Einleitung .....	118
2.7	Blutgasanalyseparameter .....	8	8.2	Fallbeispiele .....	119
<b>3</b>	<b>Spirometrie</b> .....	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>Blutgasanalyse</b> .....	<b>127</b>
3.1	Einleitung und Messprinzip .....	10	9.1	Einleitung .....	128
3.2	Durchführung der Untersuchung .....	12	9.2	Fallbeispiele .....	129
3.3	Ventilationsstörungen .....	12			
3.4	Fallbeispiele .....	13	<b>10</b>	<b>Die Variable Patient</b> .....	<b>137</b>
<b>4</b>	<b>Bodyplethysmographie</b> .....	<b>45</b>	<b>11</b>	<b>Interpretationsstrategie der Lungenfunktionsprüfung</b> .....	<b>141</b>
4.1	Einleitung und Messprinzip .....	46			
4.2	Durchführung der Untersuchung .....	48			
4.3	Fallbeispiele .....	50	<b>12</b>	<b>Gemischter Übungsteil</b> .....	<b>143</b>
<b>5</b>	<b>Bronchospasmolysetestung und Provokationstestung</b> .....	<b>83</b>		<b>Praxisrelevante Literaturempfehlungen</b> .....	<b>165</b>
5.1	Einleitung .....	84		<b>Verzeichnis der Fallbeispiele</b> .....	<b>167</b>
5.2	Bronchospasmolysetestung .....	84		<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>171</b>
5.3	Provokationstestung .....	84			
5.4	Fallbeispiele .....	86			

# Abkürzungsverzeichnis

<b>6MWD</b>	6-minute walking distance (6-Minuten-Gehtest)	<b>O<sub>2</sub></b>	Sauerstoff
<b>art.</b>	arteriell	<b>OHS</b>	adipositasassoziiertes Hypoventilations-syndrom
<b>ATS</b>	American Thoracic Society	<b>OSAS</b>	obstruktives Schlafapnoesyndrom
<b>BE</b>	Base Excess (Basenüberschuss)	<b>P0,1</b>	inspiratorischer Mundverschlussdruck bei 0,1 s
<b>BGA</b>	Blutgasanalyse	<b>pCO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxidpartialdruck
<b>COPD</b>	Chronic Obstructive Pulmonary Disease	<b>PEF</b>	expiratorischer Peakflow
<b>CT</b>	Computertomographie	<b>pH</b>	pH-Wert
<b>DGP</b>	Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin	<b>PIF</b>	inspiratorischer Peakflow
<b>DL<sub>CO</sub></b>	Diffusionskapazität (Syn.: TL <sub>CO</sub> )	<b>PI<sub>max</sub></b>	maximaler inspiratorischer Mundverschlussdruck
<b>ERV</b>	expiratorisches Reservevolumen	<b>pO<sub>2</sub></b>	Sauerstoffpartialdruck
<b>ERS</b>	European Respiratory Society	<b>R<sub>eff</sub></b>	effektiver Atemwegwiderstand
<b>FEF</b>	forcierte expiratorische Flussgeschwindigkeit	<b>R<sub>occ</sub></b>	okklusiver Atemwegwiderstand
<b>FEV<sub>1</sub></b>	Einsekundenkapazität	<b>R<sub>os</sub></b>	oszillatorischer Atemwegwiderstand
<b>FEV<sub>1</sub>%</b>	relative Einsekundenkapazität	<b>RAW<sub>ex</sub></b>	expiratorischer Teilwiderstand
<b>FRC</b>	funktionelle Residualkapazität	<b>RAW<sub>tot</sub></b>	totaler Atemwegwiderstand
<b>FVC</b>	forcierte Vitalkapazität	<b>RSD</b>	residuale Standardabweichung
<b>Hb</b>	Hämoglobin	<b>RV</b>	Residualvolumen
<b>HCO<sub>3</sub></b>	Bikarbonat	<b>s</b>	Sekunde
<b>IC</b>	inspiratorische Kapazität	<b>SaO<sub>2</sub></b>	Sauerstoffsättigung
<b>IRV</b>	inspiratorisches Reservevolumen	<b>sR<sub>eff</sub></b>	spezifischer effektiver Atemwegwiderstand
<b>ITGV</b>	intrathorakales Gasvolumen	<b>sRAW<sub>tot</sub></b>	spezifischer Atemwegwiderstand
<b>IVC</b>	inspiratorische Vitalkapazität	<b>TGV</b>	thorakales Gasvolumen
<b>kap.</b>	kapillär	<b>TLC</b>	totale Lungenkapazität
<b>K<sub>CO</sub></b>	Krogh-Index Kohlenmonoxid	<b>TL<sub>CO</sub></b>	Transferfaktor Kohlenmonoxid
<b>kg</b>	Kilogramm	<b>VA</b>	Alveolarvolumen
<b>KL</b>	Körperlänge	<b>VC</b>	Vitalkapazität
<b>kPA</b>	Kilopascal	<b>VC<sub>ex</sub></b>	expiratorische Vitalkapazität
<b>l</b>	Liter	<b>VC<sub>in</sub></b>	inspiratorische Vitalkapazität
<b>MEF</b>	maximale expiratorische Flussgeschwindigkeit	<b>VT</b>	Tidalvolumen

# 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 zur Verfügung:

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

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.

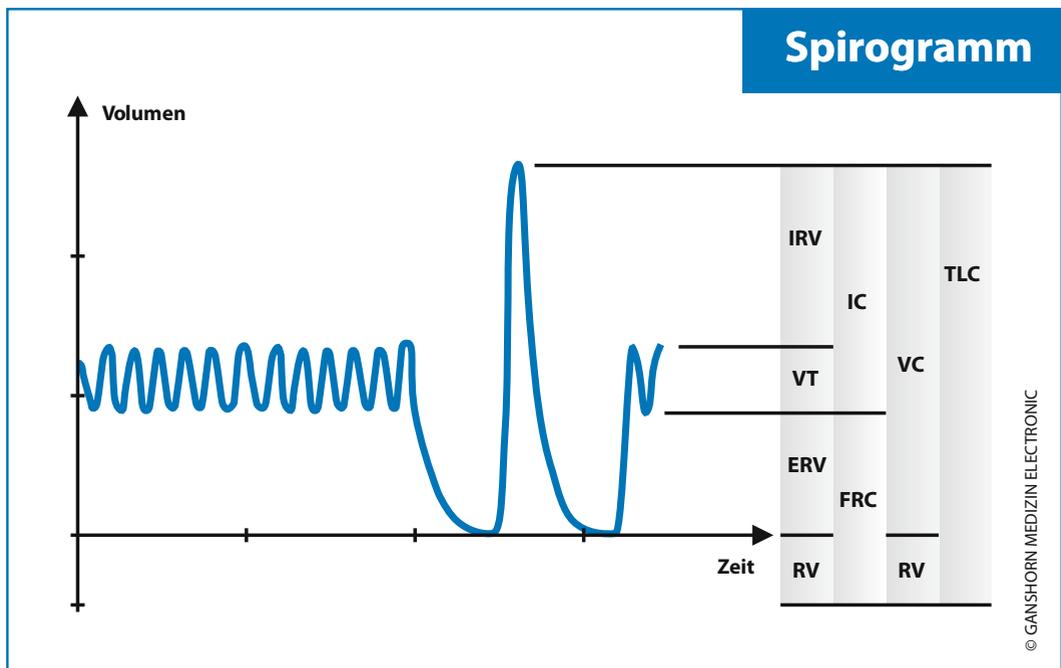
Sollwerte beziehen sich auf eine bestimmte Kohorte gesunder Referenzpersonen. Gewisse Schwankungen zwischen den einzelnen Personen sind normal und ohne Krankheitswert. Der eigentliche Sollwert ist also vielmehr der Mittelwert innerhalb der zugrunde liegenden Kohorte. Das als normal zu bezeichnende Referenzintervall 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 <sub>in</sub>	Inspiratorische Vitalkapazität (IVC): das Volumen, das nach maximaler Expiration maximal eingeatmet werden kann.
VC <sub>ex</sub>	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 Emphysebullae) 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

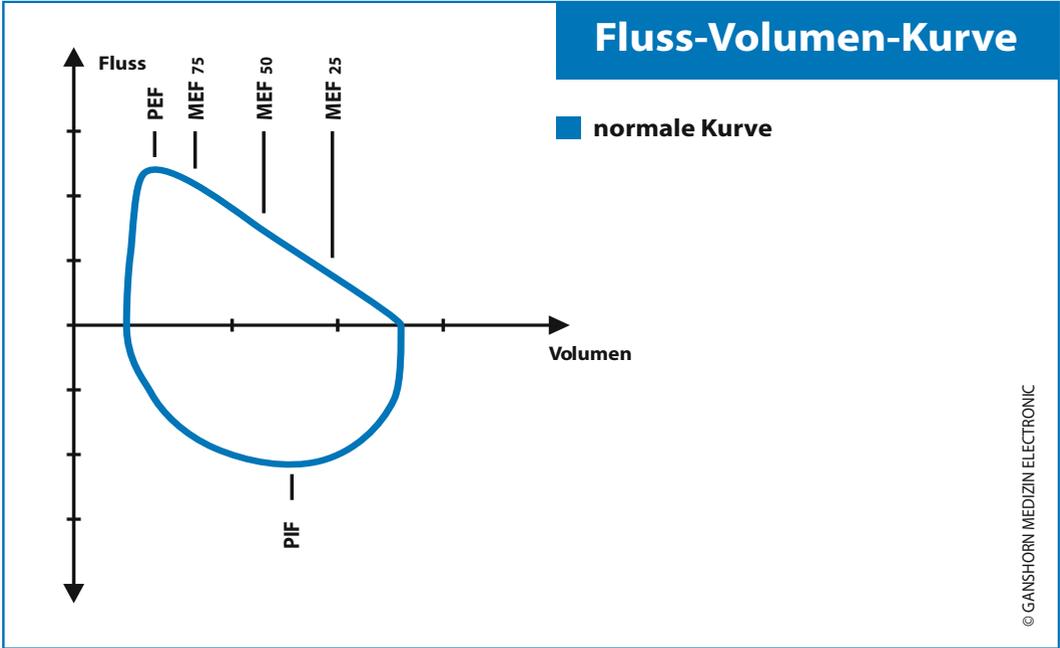


Abb. 2.2. Übersicht der Atemflussparameter

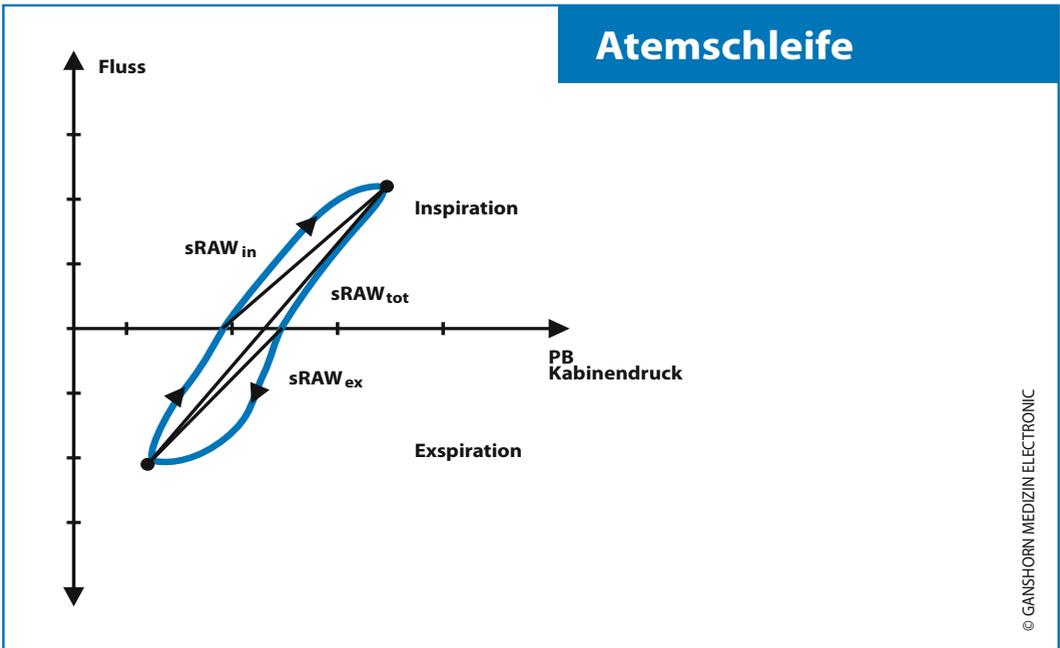


Abb. 2.3. Atemschleife mit spezifischem Atemwegswiderstand

### 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 <sub>75</sub>	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem noch 75% der VC auszuatmen sind.
MEF <sub>50</sub>	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem noch 50% der VC auszuatmen sind.
MEF <sub>25</sub>	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem noch 25% der VC auszuatmen sind.
MEF <sub>75-25</sub>	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) im Volumenabschnitt 75–25% der noch auszuatmenden FVC.
FEF <sub>25</sub>	Maximale (forcierte) expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem 25% der VC ausgeatmet wurden (=MEF <sub>75</sub> ).
FEF <sub>50</sub>	Maximale (forcierte) expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem 50% der VC ausgeatmet wurden (=MEF <sub>50</sub> ).
FEF <sub>75</sub>	Maximale (forcierte) expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) zu dem Zeitpunkt, bei dem 75% der VC ausgeatmet wurden (=MEF <sub>25</sub> ).
FEF <sub>25-75</sub>	Maximale expiratorische Atemstromstärke bzw. Flussgeschwindigkeit (Flow) im Volumenabschnitt 25–75% der ausgeatmeten FVC (=MEF <sub>75-25</sub> ).

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 Atemwegswiderstand (sRAW) ermitteln. Durch zusätzliche Messung des thorakalen Gasvolumens (TGV) im Verschlussmanöver lässt sich dann im Weiteren der eigentliche Atemwegswiderstand (RAW) errechnen.

Die Ermittlung des effektiven spezifischen Atemwegswiderstandes (sR<sub>eff</sub>) erfolgt über das

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

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

$RAW_{\text{tot}}$	Totaler Atemwegswiderstand (Resistance) bzw. Strömungswiderstand. Berechnung: $RAW = sRAW/TGV$ .
$sRAW_{\text{tot}}$	Spezifischer totaler Atemwegswiderstand. Gerade zwischen maximalem in- und expiratorischem Druckpunkt der Atemschleife
$sR_{\text{eff}}$	Spezifischer effektiver Atemwegswiderstand. Ermittelt über die Fläche von Atemschleife und Fluss-Volumen-Kurve.
$R_{\text{eff}}$	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.
$TL_{\text{CO}}$	Transferfaktor: Gasmenge an Kohlenmonoxid (CO), die vom Alveolarraum ins Blut (Hämoglobin) aufgenommen wurde. Synonym auch $DL_{\text{CO}}$ (Diffusionskapazität).
$K_{\text{CO}}$	Krogh-Index oder Transferkoeffizient ( $TL_{\text{CO}}/VA$ ): Transferfaktor bezogen auf das Alveolarvolumen (VA).
VA	Alveolarvolumen: VA+Totraumvolumen entspricht weitestgehend der TLC.

## 2.6 Mundverschlussdruckparameter

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

## 2.7 Blutgasanalyseparameter

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.
Hb	Hämoglobin.

# Spirometrie

- 3.1 Einleitung und Messprinzip – 10
- 3.2 Durchführung der Untersuchung – 12
- 3.3 Ventilationsstörungen – 12
- 3.4 Fallbeispiele – 13

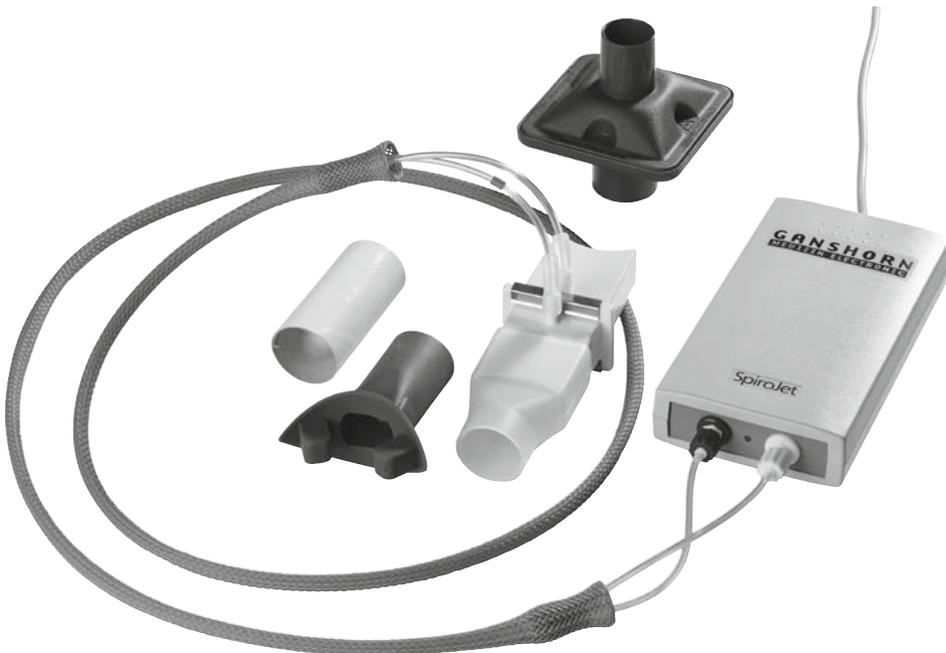
### 3.1 Einleitung und Messprinzip

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.

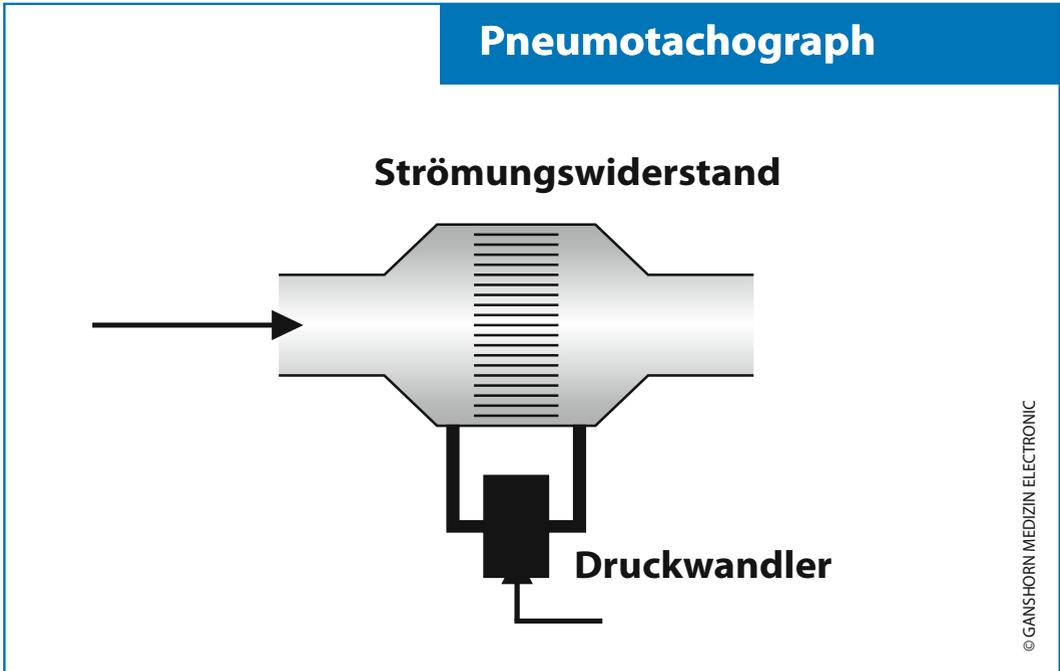
Der besondere Wert der Spirometrie liegt in der Diagnostik obstruktiver Ventilationsstörungen und der Möglichkeit, die therapeutische Beeinflussbarkeit dieser sehr häufigen Ventilationsstörung zu objektivieren. Es sei darauf hingewiesen, dass andere Störungen der Lungenfunktion mit der Spirometrie nicht 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. 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](#)).

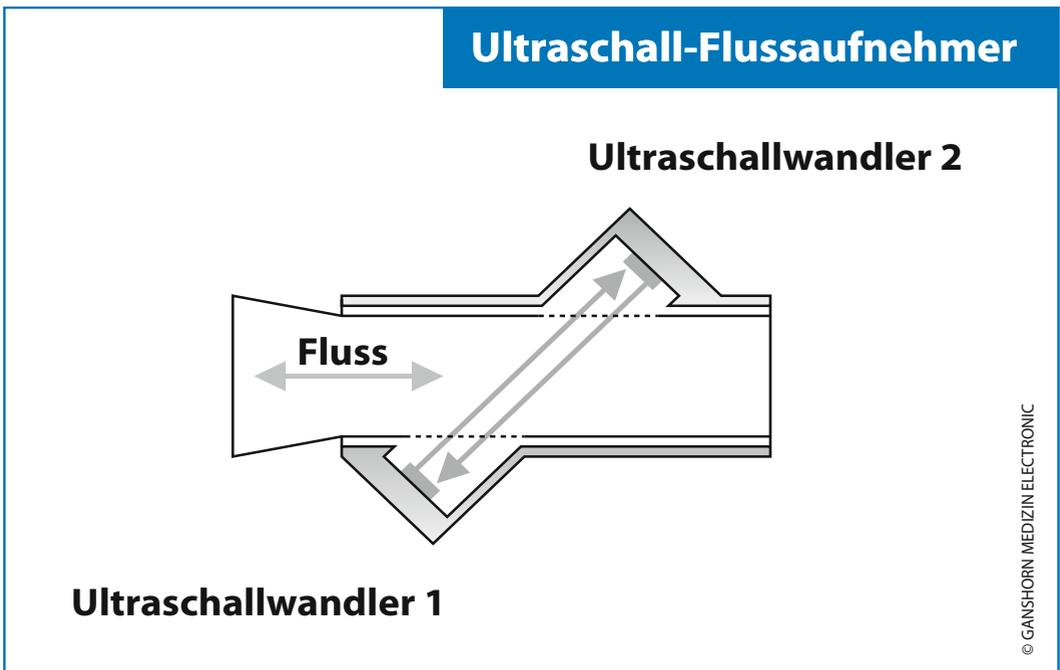
Bei der Spirometrie per Ultraschall basiert die Flussmessung auf der Beeinflussung des Ultraschallsignals durch den Atemfluss. Zwei diagonal gegenüberliegende Schallwandler senden und emp-



[Abb. 3.1](#). Spirometer mit Mundstück und Filter sowie Verbindungskabel zum PC



■ Abb. 3.2. Druckdifferenzmessung des Pneumotachographen



■ Abb. 3.3. Ultraschall-Flussaufnehmer