

Bösch · Criée

Lungenfun  
prüfung

Dennis Bösch

Carl-Peter Criée

## **Lungenfunktionsprüfung**

Durchführung – Interpretation – Befundung

Dennis Bösch  
Carl-Peter Criée

# Lungenfunktions- prüfung

Durchführung – Interpretation – Befundung

Mit 81 Abbildungen und 18 Tabellen

**Dr. med. Dennis Bösch**

Zentrum für Pneumologie  
Diakoniekrankenhaus Rotenburg (Wümme)  
Verdener Straße 200  
27356 Rotenburg (Wümme)

**Prof. Dr. med. Carl-Peter Criée**

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

ISBN 978-3-540-34108-6 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

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

Einbandgestaltung: deblik Berlin

SPIN 11601913

Satz: TypoStudio Tobias Schaedla, Heidelberg

Druck: Stürtz GmbH, Würzburg

# Vorwort

---

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>89</b>
			6.1	Einleitung .....	90
			6.2	Fallbeispiele .....	91
<b>2</b>	<b>Lungenfunktionsparameter .....</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>Mundverschlussdruckmessung .....</b>	<b>101</b>
2.1	Allgemeines .....	4	7.1	Einleitung .....	102
2.2	Statische und dynamische Volumina .....	4	7.2	Fallbeispiele .....	103
2.3	Atemflussparameter .....	6	<b>8</b>	<b>Peakflow-Messung .....</b>	<b>109</b>
2.4	Resistance-Parameter .....	7	8.1	Einleitung .....	110
2.5	Diffusionsparameter .....	8	8.2	Fallbeispiele .....	111
2.6	Mundverschlussdruckparameter .....	8	<b>9</b>	<b>Blutgasanalyse .....</b>	<b>119</b>
2.7	Blutgasanalyseparameter .....	8	9.1	Einleitung .....	120
<b>3</b>	<b>Spirometrie .....</b>	<b>9</b>	9.2	Fallbeispiele .....	121
3.1	Einleitung und Messprinzip .....	10	<b>10</b>	<b>Interpretationsstrategie der</b>	
3.2	Durchführung der Untersuchung .....	12		<b>Lungenfunktionsprüfung .....</b>	<b>127</b>
3.3	Ventilationsstörungen .....	12	<b>11</b>	<b>Gemischter Übungsteil .....</b>	<b>129</b>
3.4	Fallbeispiele .....	13		<b>Praxisrelevante</b>	
<b>4</b>	<b>Bodyplethysmographie .....</b>	<b>43</b>		<b>Literaturempfehlungen .....</b>	<b>149</b>
4.1	Einleitung und Messprinzip .....	44		<b>Verzeichnis der Fallbeispiele .....</b>	<b>151</b>
4.2	Durchführung der Untersuchung .....	46		<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>153</b>
4.3	Fallbeispiele .....	46			
<b>5</b>	<b>Bronchospasmolysetestung</b>				
	<b>und Provokationstestung .....</b>	<b>75</b>			
5.1	Einleitung .....	76			
5.2	Bronchospasmolysetestung .....	76			
5.3	Provokationstestung .....	76			
5.4	Fallbeispiele .....	78			

# Abkürzungsverzeichnis

---

<b>ATS</b>	American Thoracic Society	<b>P<sub>0,1</sub></b>	Inspiratorischer Mundverschlussdruck bei 0,1 s
<b>BE</b>	Base Excess	<b>pCO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxidpartialdruck
<b>BGA</b>	Blutgasanalyse	<b>PEF</b>	Expiratorischer Peakflow
<b>COPD</b>	Chronic Obstructive Pulmonary Disease	<b>pH</b>	pH-Wert
<b>CT</b>	Computertomographie	<b>PIF</b>	Inspiratorischer Peakflow
<b>ERV</b>	Expiratorisches Reservevolumen	<b>PI<sub>max</sub></b>	Maximaler inspiratorischer Mundverschlussdruck
<b>ERS</b>	European Respiratory Society	<b>pO<sub>2</sub></b>	Sauerstoffpartialdruck
<b>FEF</b>	Forcierte expiratorische Flussgeschwindigkeit	<b>R<sub>AWex</sub></b>	Expiratorischer Teilwiderstand
<b>FEV<sub>1</sub></b>	Einsekundenkapazität	<b>R<sub>AWtot</sub></b>	Totaler Atemwegswiderstand
<b>FEV<sub>1%</sub></b>	Relative Einsekundenkapazität	<b>RV</b>	Residualvolumen
<b>FRC</b>	Funktionelle Residualkapazität	<b>s</b>	Sekunde
<b>FVC</b>	Forcierte Vitalkapazität	<b>SaO<sub>2</sub></b>	Sauerstoffsättigung
<b>Hb</b>	Hämoglobin	<b>sR<sub>AW tot</sub></b>	Spezifischer Atemwegswiderstand
<b>HCO<sub>3</sub></b>	Bikarbonat	<b>TGV</b>	Thorakales Gasvolumen
<b>IC</b>	Inspiratorische Kapazität	<b>TLC</b>	Totale Lungenkapazität
<b>IRV</b>	Inspiratorisches Reservevolumen	<b>TL<sub>CO</sub></b>	Transferfaktor Kohlenmonoxid
<b>ITGV</b>	Intrathorakales Gasvolumen	<b>VA</b>	Alveolarvolumen
<b>IVC</b>	Inspiratorische Vitalkapazität	<b>VC</b>	Vitalkapazität
<b>KCO</b>	Krogh-Index Kohlenmonoxid	<b>VC<sub>EX</sub></b>	Expiratorische Vitalkapazität
<b>kg</b>	Kilogramm	<b>VC<sub>IN</sub></b>	Inspiratorische Vitalkapazität
<b>kPA</b>	Kilopascal	<b>VT</b>	Tidalvolumen
<b>l</b>	Liter		
<b>MEF</b>	Maximale expiratorische Flussgeschwindigkeit		

# Lungenfunktionsprüfung im Überblick



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/Pneumotachographie,
- 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.

# Lungenfunktionsparameter

- 2.1 Allgemeines – 4
- 2.2 Statische und dynamische Volumina – 4
- 2.3 Atemflussparameter – 6
- 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.

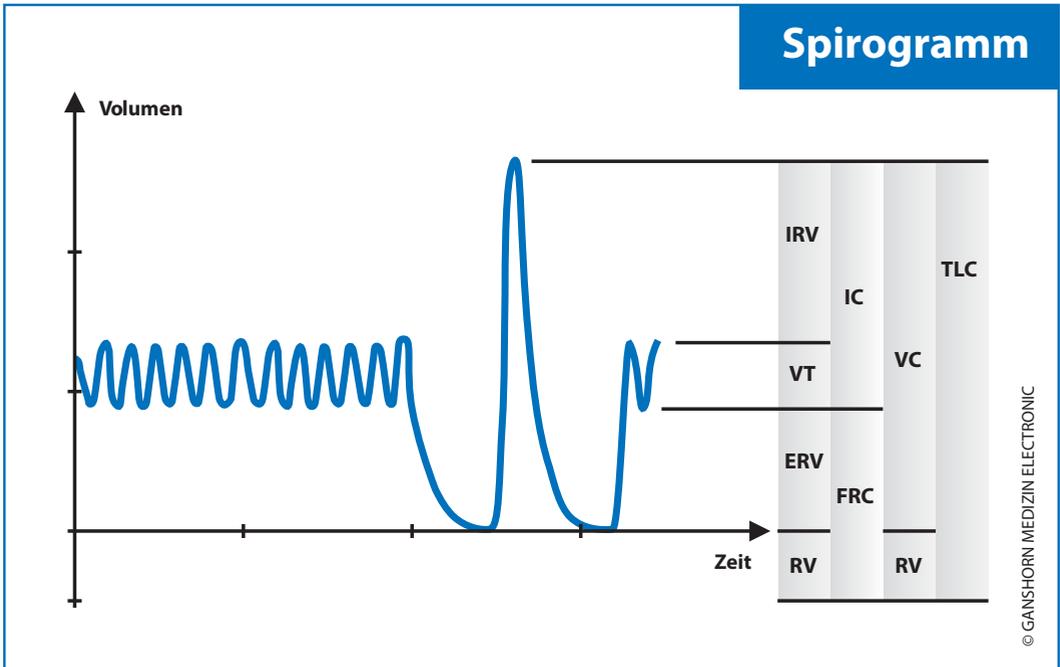
Die einzelnen Werte sind jeweils als Ist-Wert (also gemessener Wert) und meist als Soll-Wert (also Normal- oder Referenzwert) mit entsprechender prozentualer Abweichung des Messwertes vom Sollwert angeben.

## 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 ventilerten Anteilen werden auch die gasgefüllten Anteile erfasst. Entspricht physiologisch der FRC, die mittels Heliumdilution ermittelt wird, jedoch nur den ventilerten Anteil erfasst. Bei intrathorakalen Luft einschüssen (z. B. »trapped air« oder Emphysebullae) kann die TGV größer sein als die FRC.
RV	Residualvolumen: das Volumen, das nach maximaler Expiration noch in der Lunge verbleibt und nicht ausgeatmet werden kann.
▼	

TLC	Totale Lungenkapazität: das Volumen, das sich nach maximaler Inspiration in der Lunge befindet, also VC+RV.	FEV <sub>1</sub> %	Relative Einsekundenkapazität: das nach maximaler Inspiration unter stärkster Anstrengung, schnellstmöglich ausgeatmete Volumen der ersten Sekunde im Verhältnis zur Vitalkapazität (FVC oder VC <sub>IN</sub> , s. oben). Ausgedrückt als Prozentanteil der FEV <sub>1</sub> an der FVC bzw. VC <sub>IN</sub> .
FEV <sub>1</sub>	Einsekundenkapazität (forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde): das nach maximaler Inspiration unter stärkster Anstrengung schnellstmöglich ausgeatmete Volumen der ersten Sekunde.		



■ Abb. 2.1. Übersicht der Volumina

2.3 Atemflussparameter

2

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> ).

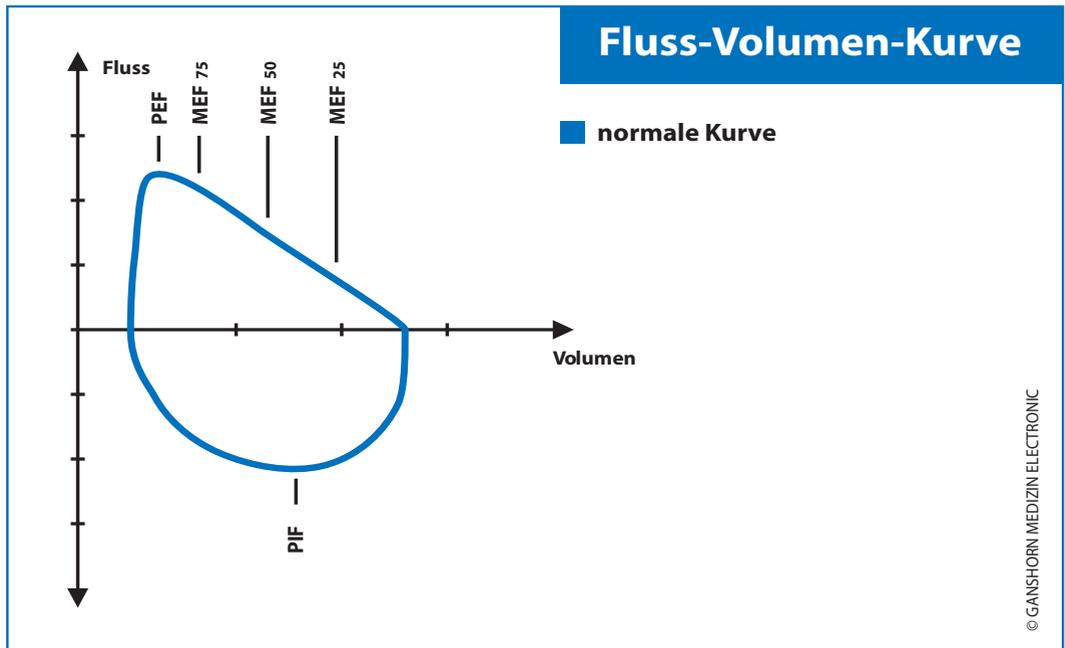


Abb. 2.2. Übersicht der Atemflussparameter

Bei **Bewertung des forcierten Expirationsmanövers (Tiffenau-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

$R_{AW\text{tot}}$	Totaler Atemwegswiderstand (Resistance) bzw. Strömungswiderstand: gerade zwischen maximalem in- und expiratorischen Druckpunkt der Resistanceschleife.
$sR_{AW\text{tot}}$	Spezifischer totaler Atemwegswiderstand: volumenkorrigierte $R_{AW\text{tot}}$ , d. h. $R_{AW\text{tot}} \times \text{TGV}$ .
$R_{AW\text{ex}}$	Expiratorischer Teilwiderstand.

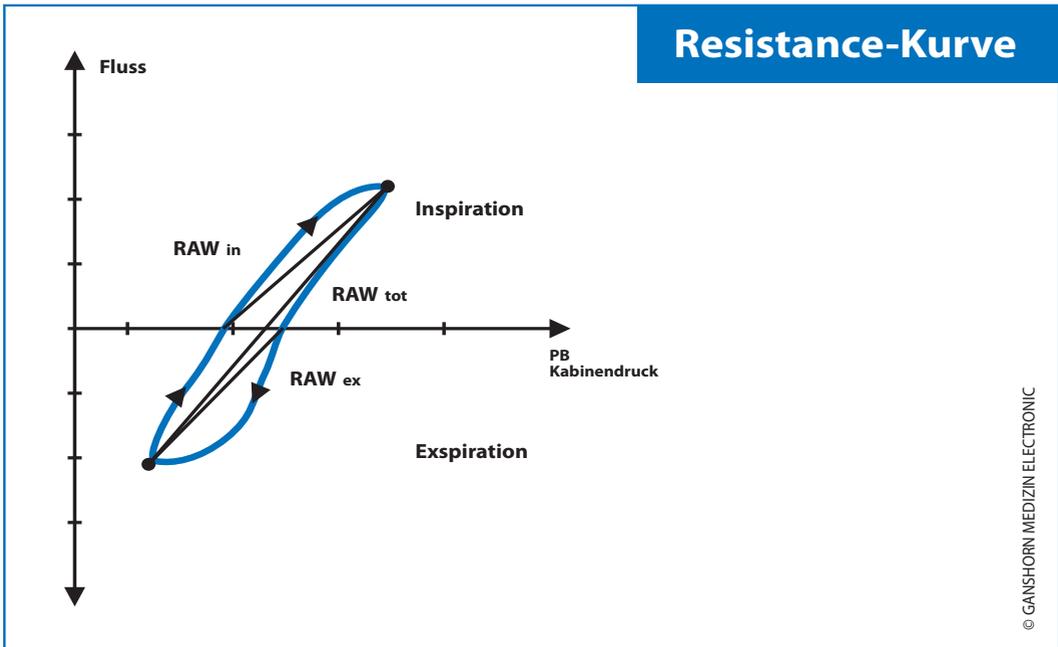


Abb. 2.3. Übersicht der Resistance-Parameter

## 2.5 Diffusionsparameter

FRC-He	Funktionelle Residualkapazität (mittels Heliumdilution); s. FRC, TGV.
RV-He	Residualvolumen (mittels Heliumdilution); s. RV.
TLCO	Transferfaktor: Gasmenge an Kohlenmonoxid (CO), die vom Alveolarraum ins Blut (Hämoglobin) aufgenommen wurde. Synonym auch DLCO (Diffusionskapazität).
KCO	Krogh-Index oder Transferkoeffizient (TLCO/VA): Transferfaktor bezogen auf das Alveolarvolumen (VA).
VA	Alveolarvolumen: VA+Totraumvolumen entspricht weitestgehend der TLC.

## 2.7 Blutgasanalyseparameter

pH	pH-Wert: aktueller Gehalt an freien Protonen (H <sup>+</sup> -Ionenkonzentration).
pO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck: Teildruck des Sauerstoffs am Gesamtgasgemisch.
pCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidpartialdruck: Teildruck des Kohlendioxids am Gesamtgasgemisch.
HCO <sub>3</sub>	Bikarbonat: Konzentration an Bikarbonat bzw. Standardbikarbonat (berechnet für normoventilatorische Verhältnisse).
BE	Basenüberschuss (»base excess«): Abweichung der Pufferbasen.
SaO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung: Hämoglobinanteil, der mit Sauerstoff gesättigt (oxygeniert) ist.
Hb	Hämoglobin.

## 2.6 Mundverschlussdruckparameter

P <sub>0,1</sub>	Inspiratorischer Mundverschlussdruck 0,1 s nach Beginn der Inspiration, bei Ruheatmung.
PI <sub>max</sub>	Maximaler inspiratorischer Mundverschlussdruck bei forcierter Inspiration nach vorheriger kompletter Expiration bis zum Residualvolumen.
P <sub>0,1</sub> /PI <sub>max</sub>	Mundverschlussdruck P <sub>0,1</sub> , bezogen auf den maximalen statischen Inspirationsdruck.
P <sub>0,1</sub> /MV	Mundverschlussdruck P <sub>0,1</sub> , bezogen auf das Atemminutenvolumen.
P <sub>0,1</sub> /(VT/ti)	Mundverschlussdruck P <sub>0,1</sub> , bezogen auf die mittlere Inspirationsgeschwindigkeit bei Ruheatmung.

# Spirometrie

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

