

Messgrößen der Ventilation

2.1	Was ist normal? – 10
2.2	Lungenvolumina – 11
2.2.1	Standardbedingungen – 11
2.2.2	Bestimmungsmethoden – 12
2.2.3	Totale Lungenkapazität (TLC) – 14
2.2.4	Vitalkapazität (VC) und Residualvolumen (RV) – 17
2.2.5	Intrathorakales Gasvolumen (IGV) – 20
2.2.6	Atemzugvolumen (V_I) – 22
2.2.7	Inspiratorisches und expiratorisches Reservevolumen (IRV und ERV) – 22
2.2.8	Verschlussvolumen (CV) – 23
2.2.9	Zusammenfassende Beurteilung der TLC und der Teilvolumina – 24
2.3	Atemzeitvolumina ($\dot{V}$) – 26
2.3.1	Atemfrequenz (f) – 26
2.3.2	Expiratorisches Atemminutenvolumen ($\dot{V}_E$) – 27
2.3.3	Forciertes Expirationsvolumen der ersten Sekunde (FEV_1) – 28
2.3.4	Maximale willkürliche Ventilation (MVV) – 31
2.4	Maximaler Atemfluss – 31
2.4.1	Konstruktion der Fluss-Volumen-Kurve (F/V-Kurve) – 32
2.4.2	Peakflow – 33
2.4.3	Maximaler expiratorischer Fluss 75, 50, 25 – 34
2.4.4	Mittlerer maximaler expiratorischer Fluss – 37
2.4.5	Maximaler inspiratorischer Fluss – 39
2.5	Interpretation des Spirogramms – 40
2.5.1	Allgemeines zur Interpretation von Lungenfunktionsbefunden – 41
2.5.2	Spirografische Muster ohne Obstruktion – 42
2.5.3	Spirografische Muster mit Obstruktion – 44
2.5.4	Befundmuster mit verminderter VC ohne Obstruktion – 45
2.6	Atemwegswiderstand, Resistance, R_{aw} – 45
2.6.1	R_{aw} und FEV_1 – 47
2.6.2	Beurteilung der R_{aw} -Kurve – 47
2.7	Gemeinsame Beurteilung von Bodyplethysmografie und Spirogramm – 50
2.7.1	Befundmuster ohne Restriktion – 50
2.7.2	Befundmuster mit Restriktion – 52
2.8	Broncholysetest – 54
2.8.1	Vollständig reversibel – 55
2.8.2	Teilweise reversibel – 56
2.8.3	Kleine Luftwege – 56
2.8.4	Nicht reversibel – 56
2.9	Unspezifische bronchiale Provokation; PC 20 – 56
2.9.1	Bronchiale Hyperreaktivität – 56
2.9.2	Inhalationstest – 58
2.9.3	Untersuchungsablauf – 60
2.10	Compliance (C) – 61
2.10.1	Bestimmung der Compliance – 62
2.10.2	Quasistatische und dynamische Compliance – 62
2.10.3	Spezifische Compliance (C_{sp}) – 63
2.10.4	Beurteilung der Compliance – 64
2.11	Weiterführende Bücher zur Vertiefung – 64

2.1 Was ist normal?

Wenn man sich mit der klinischen Beurteilung von Messgrößen befasst, wenn man also beurteilen will, ob ein Messwert normal oder davon abweichend ist, dann sind geeignete Normal- oder **Referenzwerte** eine Voraussetzung. Der Messwert selbst als absolute Zahl, z. B. ein Atemvolumen in Liter, ist noch nicht ausreichend, um Beurteilungen wie »normal«, »vermindert« oder »vergrößert« zu treffen. Ein und derselbe Wert kann nämlich für einen 25-jährigen großen Mann »vermindert« und für eine 70-jährige kleine Dame »vergrößert« sein. Klinisch informativ wird der Messwert erst dann, wenn er zum Normal- (oder Referenz-)Wert in Beziehung gesetzt wird. Für diesen Zweck wird der Messwert in Prozent des Referenzwertes (% Ref) angegeben. Dazu dient folgende kleine Formel:

$$\text{Messwert \% Ref} = 100 \cdot \text{Messwert/Referenzwert}$$

Diese Prozentzahl repräsentiert die Abweichung des Messwertes vom Referenzwert und diese Abweichung ist die eigentliche klinische Information. Der Referenzwert wird mit einer Formel geschätzt, bzw. er kann einer aus dieser Formel abgeleiteten Tabelle oder aus einem ebenfalls aus der Formel abgeleiteten Nomogramm entnommen werden. Bei der Formel handelt es sich um eine **Regressionsgleichung**. Das ist eine statistische Formel, die den Zusammenhang zwischen einer oder mehreren unabhängigen Variablen und einer abhängigen Variablen beschreibt, also z. B. von Größe, Gewicht und Alter als unabhängiger und der Vitalkapazität als abhängiger Variablen. Eine derartige Referenzwertformel wird durch die statistische Bearbeitung der Messwerte einer möglichst großen Anzahl gesunder Menschen gewonnen. Alle Werte von Alter, Größe und Gewicht, für die diese Referenzwertformel gelten soll, müssen in der untersuchten Gruppe auch tatsächlich vorgekommen sein (also auch »sehr alt« oder »sehr groß«). Nur dann darf die Referenzwertformel auch umfassend angewendet werden. Außerdem werden die Referenzwerte auch nach Geschlechtern getrennt bestimmt.

Bedeutung des Referenzwertes

Die Angabe in Prozent des Referenzwertes hat den unschätzbaren Vorteil, dass »100 %« immer »normal« bedeutet, völlig unabhängig von der individuellen Ausprägung der anthropometrischen Variablen.

Es existieren eine Mehrzahl derartiger Referenzwertformeln, die durchaus unterschiedliche Werte für »normal« ergeben. Moderne elektronische Spirometer bieten meist auch mehrere solcher Formeln zur Auswahl an. Das Problem bei unterschiedlichen Referenzwertformeln ist, dass ein und der selbe Messwert bei einer Formel, die den Referenzwert niedriger schätzt, als »im Normalbereich befindlich« beurteilt werden würde, hingegen bei einer anderen Formel, die den Referenzwert höher schätzt, schon als »vermindert« eingestuft würde. Wenn ein Arzt in der

eigenen Ordination Spirometrie betreibt, dann sollte immer das gleiche Referenzwertsystem verwendet werden, es ist aber nicht so wichtig welches. Anders ist es, wenn Lungenfunktionsuntersuchungen von verschiedenen Stellen durchgeführt und beurteilt werden (müssen). Dann sollten natürlich alle Stellen das gleiche Referenzwertsystem verwenden.

In Österreich werden deshalb auf Empfehlung der »Österreichischen Gesellschaft für Pneumologie« (ÖGP) für die spirometrischen Messwerte bundesweit die »Österreichischen Normalwerte« verwendet, die auf der Untersuchung von über 20.000 gesunden Personen basieren (Forche 1986; die Formeln sind im Anhang aufgeführt, ► Abschn. A.1). Die Bewertung als »normal«, »erhöht« oder »vermindert« ist daher in ganz Österreich einheitlich!

Bei manchen Spirometern kann bei der Eingabe der anthropometrischen Daten auch die Ethnie (kaukasisch, afrikanisch oder asiatisch) angegeben werden. Dies ist von Bedeutung, weil Menschen afrikanischer oder asiatischer Herkunft bei gleicher Körpergröße etwas geringere Normalwerte für die Lungenvolumina aufweisen.

2.2 Lungenvolumina

Die Lungenvolumina beschreiben die Dimensionen, also die Größenverhältnisse der Lunge.

2.2.1 Standardbedingungen

Sofern bei der Überprüfung der Ventilation Gasvolumina gemessen werden, ist zu berücksichtigen, dass Gase ihr Volumen ändern, wenn sich der Druck ändert (Boyle-Marriott-Gesetz: $p \cdot V = \text{konstant}$), aber auch, wenn sich die Temperatur ändert (um $1/273$ pro 1°C). Das heißt, dass bereits witterungsbedingte Luftdruckschwankungen oder die Aufwärmung der eingeatmeten Luft in der Lunge das Volumen verändern. Einen variablen Anteil an den Atemvolumina nimmt auch der gasförmige Wasserdampf ein; sein Anteil ist nach Sättigungsgrad und Temperatur verschieden.

► **Um nun unter verschiedenen Bedingungen gemessene Atemvolumina vergleichbar zu machen, müssen die Gasvolumina auf Standardbedingungen, d. h. auf gleichen Druck, gleiche Temperatur und gleiche Wasserdampfsättigung, umgerechnet werden.**

Messung der
Atemvolumina bei
Standardbedingungen

Im Fall der Atemluft handelt es sich dabei um den Standard: BTPS (»body temperature, pressure, saturated«). Die Temperatur wird dabei mit 37°C festgesetzt, entsprechend der Körpertemperatur im Al-

veolarraum, der Druck mit 760 mmHg, entsprechend dem Luftdruck auf Meeresniveau und die Wasserdampfsättigung mit 100 %, ebenfalls entsprechend den Bedingungen im Alveolarraum. Moderne computerisierte Spirometriegeräte nehmen diese Umrechnung nach Messung von Temperatur und Luftdruck automatisch vor. Da sich auch in klimatisierten Räumen zumindest der Luftdruck im Laufe eines Untersuchungstages ändern kann, empfiehlt es sich, diese Daten mehrmals zu aktualisieren. Eine Temperaturänderung von 5 °C ändert das Volumen um ca. 2 %, ebenso wie eine Änderung des Luftdrucks um 15 mmHg.

Bei den Atemgasen O_2 und CO_2 wird ein anderer Standard verwendet: STPD (»**standard temperature, pressure, dry**«). Die Temperatur wird mit 0 °C angenommen, der Druck mit 760 mmHg und die Wasserdampfsättigung mit 0 %.

2.2.2 Bestimmungsmethoden

Spirometrie

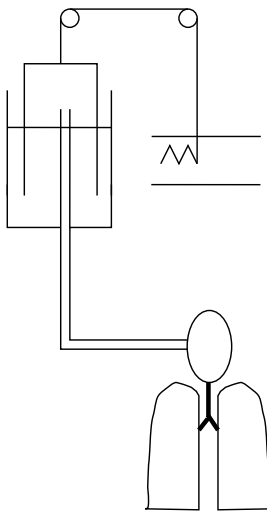
Definition der Spirometrie

Eine Spirometrie ist die Registrierung (= Spirografie) und Messung der ventilatorisch mobilisierbaren Atemvolumina. Da dies nicht das gesamte Lungenvolumen betrifft, und der apparative Aufwand geringer ist, spricht man auch von einer »kleinen Lungenfunktionsprüfung«.

Der Prototyp des Spirometers ist das **Glockenspirometer**, das direkt die Atemvolumina misst. Es besteht aus einer in Wasser schwimmenden Gasglocke, an deren Hohlraum der Proband mittels Schlauch und Mundstück angeschlossen ist und die durch Aus- und Einatmen mehr oder weniger im Wasser eintaucht (**geschlossenes System**). Die Auf- und Abbewegungen der Glocke werden auf gleichmäßig ablaufendem Papier registriert, sodass eine grafische Darstellung der Atmung mit der Zeit auf der X-Achse und dem Volumen auf der Y-Achse entsteht (■ Abb. 2.1).

Moderne Geräte verwenden aber durchwegs **offene Systeme**. Solche bestehen prinzipiell aus einem kleinen, einige Zentimeter großen Messkopf zur Signalerfassung. Mit unterschiedlichen technischen Lösungen wird als Primärsignal der Atemfluss (in l/s oder l/min) erfasst und nicht das Atemvolumen. Dieses entsteht erst rechnerisch im Computer durch Integration des Flusssignals. Häufig besteht heute das Spirometer im Wesentlichen aus einer Software, die auf jedem modernen Computer geladen werden kann, und einem kleinen Messkopf, der über ein Kabel an den Computer angeschlossen wird.

Mit der Spirometrie kann nur das **mobilisierbare** Atemvolumen erfasst werden. Jener Teil des Lungenvolumens, der auch nach maximaler Expiration noch im Thorax verbleibt, das **Residualvolumen**, entzieht sich der Spirometrie.



■ Abb. 2.1 Schematische Darstellung eines Glockenspirometers mit angeschlossenem Probanden und Spirogramm

Bodyplethysmografie

Die Bodyplethysmografie ist eine Methode, um die gesamte zum Zeitpunkt der Messung im Thorax befindliche Luftmenge zu bestimmen, also inklusive des Residualvolumens. Üblicherweise wird die Messung von modernen Geräten derart gesteuert, dass sie am Ende einer normalen Expiration erfolgt.

Der Bodyplethysmograf ist im Prinzip eine luftdichte Kammer mit bekanntem Volumen und einer Vorrichtung zur Druckmessung in der Kammer, in der der Proband angeschlossen an einen Messkopf sitzt. Das Luftvolumen in der Kammer entspricht dem Kammervolumen minus dem Körpervolumen, das aus der Körpermasse (kg) abgeleitet wird. Der Messkopf enthält einen Verschluss, mit dem der Atemstrom des Probanden blitzartig unterbrochen werden kann. Hinter dem Verschluss, also mundwärts, befindet sich eine zweite Vorrichtung zur Druckmessung. Wenn nun der Atemstrom durch den Verschluss unterbrochen ist und somit keine Strömung herrscht, dann bestehen im gesamten Thoraxraum auch keine Druckunterschiede mehr. Somit kann bei der zweiten Messvorrichtung, hinter dem Verschluss am Mundstück, der Druck im Alveolarraum gemessen werden. In dieser Situation gibt es zwei separierte geschlossene Lufträume: die Kammer, deren Volumen bekannt ist und den intrathorakalen Raum, dessen Volumen unbekannt ist. Für beide gilt das Gesetz von **Boyle und Mariott**: $p \cdot V = \text{konstant}$. Der Proband wird aufgefordert nach Betätigen des Verschlusses weiter Atembewegungen auszuführen, wodurch in der Kammer und im intrathorakalen Raum identische aber gegensinnige Volumenveränderungen entstehen. Da aber das Kammervolumen erheblich größer ist als das intrathorakale Gasvolumen (IGV), sind die entstehenden Druckdifferenzen ungleich und zwar in der Kammer geringer als im intrathorakalen Raum. Nun gilt:

$$\text{IGV} = \text{Kammervolumen} \cdot \Delta \text{Kammerdruck} / \Delta \text{Alveolardruck}$$

Die Berechnung wird automatisch durchgeführt. Grafisch wird ein Koordinatensystem dargestellt, in dem auf der Abszisse der Kammerdruck und auf der Ordinate der Alveolardruck aufgetragen ist. Es entsteht eine lineare Schleife, die umso flacher liegt, je größer das IGV ist.

Ebenfalls im Bodyplethysmografen wird auch der Atemwegwiderstand bestimmt, die **Resistance** (R), die das Verhältnis von Alveolardruck zu erzeugtem Atemstrom ist und in kPa/l/s angegeben wird.

Andere Methoden zur Bestimmung des IGV (mit der Heliumverdünnungsmethode; dann wird das IGV zur methodischen Unterscheidung **funktionelles Residualvolumen** [FRC] genannt) und der Resistance (Oszillationsmethode und Unterbrechermethode) haben in der Praxis keine wesentliche Bedeutung erlangt.

Prinzip der Bodyplethysmografie

2.2.3 Totale Lungenkapazität (TLC)

Totale Lungenkapazität

2

Die totale Lungenkapazität (die Abkürzung TLC stammt vom englischen Terminus »total lung capacity«) ist die Gasmenge, die nach maximaler Inspiration im Thorax enthalten ist. Da die TLC auch das RV enthält, kann sie nur mit der Bodyplethysmografie bestimmt werden.

Wie in den allgemeinen Vorbemerkungen (► Kap. 1) erläutert, ist die entscheidende dimensionale Größe der Lunge die Alveolarfläche (bzw. jener Teil davon, der auch mit Kapillaren bedeckt ist). Die Alveolarfläche ist größtmäßig entsprechend der aktiven Körpermasse dimensioniert, die die Summe aller Körperzellen mit mitochondrialer Atmung ist. (Das heißt durchaus, dass die Körpermasse ohne mitochondriale Atmung, wie z. B. Körperfett oder Blutplasma, durch die Alveolarfläche nicht berücksichtigt ist.) Leider kann die Alveolarfläche nicht direkt gemessen werden. Aber derjenige Messwert, der der Alveolarfläche noch am nächsten kommt ist die TLC. Die TLC ist daher, ebenso wie die Alveolarfläche, sehr eng mit der aktiven Körpermasse korreliert. Für die Praxis der Lungenfunktionsuntersuchung hat sich die Körpergröße als bestes anthropometrisches Maß zur Schätzung einer normalen TLC herausgestellt, da die Körpergröße durch Übergewicht, also durch Veränderungen des Körperfettanteils, nicht verändert wird. Außerdem wird die TLC noch durch das Geschlecht beeinflusst, da Frauen bei gleicher Körpergröße einen geringeren Anteil an aktiver Körpermasse haben (im Wesentlichen durch die um ca. 10 % geringere Muskelmasse).

Im Folgenden Vorschläge für Referenzwerte für die TLC (Ulmer et al. 2001):

- Männer: $7,99 \cdot H \text{ [m]} - 7,08$
- Frauen: $6,60 \cdot H \text{ [m]} - 5,79$
- **Der Begriff »normale TLC« kann nicht nur statistisch, sondern auch funktionell definiert werden: Normal ist die TLC dann, wenn sie größtmäßig der mit O₂ zu versorgenden, aktiven Körpermasse entspricht.**
- **Auch der Begriff »Restriktion« kann nun funktionell definiert werden: Restriktion bedeutet, dass die TLC kleiner ist als der mit O₂ zu versorgenden aktiven Körpermasse entspricht.**

Die TLC kann natürlich auch größer als normal sein, aber für diesen Zustand gibt es keine eigene Bezeichnung. Klar ist, dass mit Restriktion eigentlich eine zu kleine Alveolarfläche gemeint ist, die aber, wie erwähnt, leider nicht direkt gemessen werden kann.

Wichtig ist festzuhalten, dass weder »kleiner« noch »größer« als normal automatisch auch »krankhaft« bedeutet, ebenso wie »normal« nicht automatisch »gesund« bedeutet. Es handelt sich lediglich um eine größtmäßige Beschreibung.

■ **Tab. 2.1** Beurteilung der totalen Lungenkapazität in % des Referenzwertes (TLC%Ref)

TLC%Ref	Verbale Beurteilung
140 oder mehr	Deutlich erhöht
115–139	Leichtgradig erhöht
85–114	Normal
80–84	Grenzwertig eingeschränkt
65–79	Leichtgradig eingeschränkt
50–64	Mittelgradig eingeschränkt
49 oder weniger	Hochgradig eingeschränkt

Das Ausmaß der Veränderung der TLC gegenüber der Norm wird primär durch eine Prozentzahl angegeben (Istwert in % des Referenzwertes). In der Befundkommunikation ist es aber durchaus von Nutzen, die Veränderungen, abgesehen von den Zahlenwerten, auch verbal zu quantifizieren. Damit die verbale Befundbeurteilung, z. B. »leichtgradig«, genauso unmissverständlich ist wie die Angabe einer Zahl, müssen den Beurteilungstermini entsprechende Prozentzahlen zugeordnet sein und sich alle an diese Zuordnung halten. Im Folgenden ein Vorschlag, der weite Verbreitung gefunden hat (■ Tab. 2.1).

Manchmal ist es schwierig, den korrekten Referenzwert für die TLC (und andere größenabhängige Lungenvolumina) zu bestimmen, weil die Körpergröße nicht genau bestimmbar ist, z. B. bei Kyphoskoliose oder nach mehreren Wirbelnbrüchen bei Osteoporose. In solchen Fällen kann man die (ursprüngliche) Körpergröße durch die Messung der Armspanne schätzen. Dazu steht der Proband gegen eine Wand gelehnt, mit dem Gesicht zur Wand und streckt beide Arme möglichst weit rechtwinklig seitwärts. Die Armspanne ist dann die Distanz zwischen den Fingerspitzen der Mittelfinger. Für die Schätzung der Körpergröße gelten folgende Formeln (Hepper et al. 1965, Miller et al. 2005):

- Frauen: $\text{Armspanne}/1,01$
- Männer: $\text{Armspanne}/1,03$

Klinische Bedeutung von Veränderungen der TLC

TLC ist größer als normal

Zur Vergrößerung der TLC kommt es sehr oft bei Menschen, die häufig tief einatmen, aber im Übrigen völlig gesund sind. Also z. B. bei Sängern oder Musikern, die Blasinstrumente spielen, aber auch durch regelmäßiges Ausdauertraining. In so einem Fall hat eine leichtgradig oder auch deutlich erhöhte TLC keine pathologische Bedeutung.

Ausmaß der
Veränderung der TLC

Bedeutung der
TLC-Erhöhung

Eine erhöhte TLC kann aber auch die Folge eines rarefizierenden Prozesses der Lunge sein, wie z. B. eines primären Emphysems. Zur Unterscheidung von »gesund« und »krank« bedarf es zusätzlicher Lungenfunktionsbefunde, die in letzterem Fall z. B. noch zusätzlich eine Atemflussobstruktion und/oder eine Diffusionsstörung ergeben.

Eine erhöhte TLC soll auch nicht mit »Überblähung« bezeichnet werden. Überblähung bedeutet meist eine Störung, wogegen eine Erhöhung der TLC kein Krankheitssymptom ist, sondern auch Merkmal einer gesunden und normal funktionierenden Lunge sein kann.

TLC ist normal

Die Feststellung »normal« bedeutet nicht automatisch auch »gesund«. So könnte ein Mensch mit einer ursprünglich erhöhten TLC durch einen lungenverkleinernden Krankheitsprozess zu einer normalen TLC kommen. In so einem Fall liegt eine Krankheit trotz normaler TLC vor. Das heißt, dass auch bei einer normalen TLC erst die weitergehende Lungenfunktionsdiagnostik eine Krankheit ausschließt oder offenbart.

TLC ist eingeschränkt

➤ **Die Feststellung »eingeschränkt« oder »vermindert« bedeutet: Die TLC (und damit eigentlich die Alveolarfläche bzw. Diffusionsfläche der Lunge) ist kleiner als es der mit O_2 zu versorgenden Körpermasse entspricht.**

Restriktion

Nur dieser Zustand einer eingeschränkten TLC sollte mit dem Terminus »Restriktion« bezeichnet werden, da sich eine Restriktion auf die ganze Lunge bezieht und nicht nur auf ein Teilvolumen. Diese Festlegung bedeutet vor allem, dass eine alleinige Einschränkung der Vitalkapazität **nicht** als Restriktion bezeichnet werden soll, wenn die TLC normal ist. Insbesondere auch dann nicht, wenn keine Messung der TLC vorgenommen worden ist, wenn also nur ein Spirogramm vorliegt. Es kann durchaus eine eingeschränkte Vitalkapazität mit einer erhöhten TLC kombiniert sein (z. B. bei einer Obstruktion).

Eine Restriktion ist zwar nicht normal (sie ist ja durch die Abweichung vom Normalwert diagnostiziert worden). Aber sie bedeutet nicht zwingend, dass auch ein pathologischer Zustand oder eine Krankheit vorliegt. Es kann durchaus eine im Übrigen völlig normale und gesunde Lunge um, sagen wir, 20 % kleiner sein als normal. Da eine normal dimensionierte, gesunde Lunge eine Diffusionsreserve besitzt, die bis zu 100 % über dem tatsächlichen Bedarf einer normalen maximalen O_2 -Aufnahme liegt, fällt eine Verkleinerung um 20 oder 30 % nicht ins Gewicht und bedeutet vor allem keine Einschränkung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

2.2.4 Vitalkapazität (VC) und Residualvolumen (RV)

Die TLC kann funktionell in zwei Hauptanteile unterschieden werden, die Vitalkapazität (das Akronym VC entstammt dem englischen Terminus »vital capacity«) und das Residualvolumen.

Vitalkapazität

➤ Die VC ist jener Anteil der TLC, der durch willkürliche Atmung maximal mobilisierbar ist.

Dabei kann die Mobilisation in zwei Richtungen erfolgen: expiratorisch und inspiratorisch.

Expiratorische VC (EVC)

Ausgehend vom Zustand der maximalen Inspiration wird die größtmögliche Luftmenge ausgeatmet. Bei der Messung wird der Proband angewiesen, ausgehend von der normalen Ruheatmung, so tief wie möglich, d. h. bis zum Niveau der TLC, einzuatmen und dann langsam, so weit wie möglich, d. h. bis zum Niveau des RV, auszuatmen (■ Abb. 2.2).

Expiratorische
Vitalkapazität

Inspiratorische VC (IVC)

Ausgehend vom Zustand der maximalen Expiration wird die größtmögliche Luftmenge eingeatmet. Bei der Messung wird der Proband angewiesen, ausgehend von der normalen Ruheatmung, langsam, so tief wie möglich, d. h. bis zum Niveau des RV auszuatmen und dann so weit wie möglich, d. h. bis zum Niveau der TLC, einzuatmen. Für die Erzielung guter Werte ist es günstig, zwischen Ausatmung und Beginn der Einatmung etwa 2 s verstreichen zu lassen (■ Abb. 2.3).

Inspiratorische
Vitalkapazität

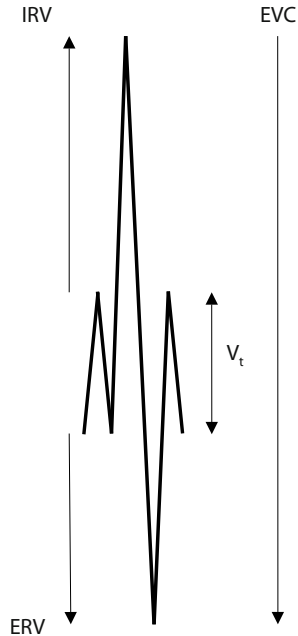
Die EVC hat den Vorteil, dass sie natürlicherweise bereits, abgesehen vom Standard-Luftdruck von 760 mmHg, den BTPS-Bedingungen entspricht: die Luft ist im Alveolarraum auf Körpertemperatur erwärmt und zu 100 % mit Wasserdampf gesättigt worden. Es muss daher nur mehr vom aktuellen Luftdruck auf 760 mmHg umgerechnet werden, was einfach mit Tabellen erfolgen kann.

Bei der IVC müssen die Temperatur und die Wasserdampfsättigung der Raumluft berücksichtigt werden, wobei diese Berechnung bei modernen elektronischen Geräten automatisiert abläuft.

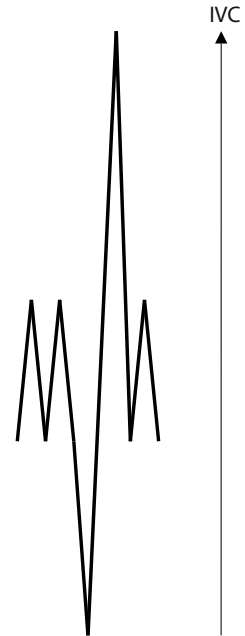
Die Empfehlungen der ÖGP für die Standardisierung der Spirometrie sehen die Verwendung der IVC vor.

Die korrekte Bestimmung der VC ist von der Mitarbeit des Probanden abhängig. Sie soll daher auf jeden Fall 2-mal durchgeführt werden. Wenn der Unterschied zwischen den beiden Messwerten nicht mehr als 5 % oder 100 ml ist (der größere Wert gilt), wird der größere Wert akzeptiert. Ist die Differenz größer, dann soll eine wei-

Korrekte Bestimmung
der VC



■ **Abb. 2.2** Normales Spirogramm mit Atemzugvolumen (V_t) und expiratorischer Vitalkapazität (EVC) ; IRV inspiratorisches Reservevolumen, ERV expiratorisches Reservevolumen



■ **Abb. 2.3** Normales Spirogramm mit inspiratorischer Vitalkapazität (IVC)

tere Bestimmung angeschlossen werden; im Prinzip so oft, bis die Differenz unter das genannte Limit fällt. Fallen mitarbeitsabhängige Messwerte bei wiederholten Untersuchungen unterschiedlich aus, so ist es immer der bessere Wert, der dem individuell wahren Wert näher liegt. Es ist zwar durchaus möglich, einen mitarbeitsabhängigen Messwert künstlich niedrig zu gestalten, was entweder absichtlich erfolgen kann, z. B. bei Simulation, oder unabsichtlich, z. B. bei mangelnder Fähigkeit zur korrekten Kooperation. Es ist aber nicht möglich, einen guten Messwert vorzutäuschen. Daher ist immer der bessere Messwert der richtige.

Auch für die VC gibt es Referenzwerte, die von Geschlecht, Alter und Körpergröße abgeleitet werden. Und auch hier gilt, dass die eigentliche Information über die Größe der VC durch den Vergleich mit dem Referenzwert gewonnen wird. Die Größe wird ebenfalls in Prozent (des Referenzwertes) angegeben. Die Beurteilung ist

- größer als normal,
- normal,
- kleiner als normal.

Keine dieser drei Möglichkeiten bedeutet für sich alleine »gesund« oder »krank«. Für die verbale Beurteilung der Prozentzahlen gilt die gleiche Nomenklatur wie bei der TLC (► Abschn. 2.2.3).

Residualvolumen (RV)

Jener Anteil der TLC, der ventilatorisch nicht mobilisierbar ist, ist das RV. Die Ursache des RV ist im Wesentlichen der knöcherne Thorax und die limitierte Dehnbarkeit des Zwerchfells.

Im Normalfall beträgt der Anteil der VC 65–75 % der TLC, die verbleibenden 25–35 % entsprechen dem RV. Die VC steht also in einer engen Relation zur TLC und erlaubt einen Rückschluss auf diese und damit auf die eigentliche funktionell entscheidende Größe der Lunge, nämlich die Alveolarfläche. Allerdings ist dieser Rückschluss schon sehr indirekt. Dafür ist die Bestimmung der VC mit einem erheblich geringeren Aufwand verbunden als die der TLC.

Der Rückschluss auf die TLC ist allerdings nur dann zulässig, wenn die Relation VC:RV gewahrt bleibt. Nicht selten kommt es bei Erkrankungen der Lunge zu einer Zunahme des RV zu Lasten der VC, ohne dass sich dabei die TLC ändert. In so einem Fall würde ein Spirogramm eine eingeschränkte VC ergeben, die Bodyplethysmografie aber eine normale TLC. Das bedeutet, dass trotz der Verkleinerung der VC **keine** Verkleinerung der Lunge, also keine Restriktion, vorliegt. Eine wesentliche Erkenntnis daraus ist:

► **Ohne Kenntnis der TLC darf eine eingeschränkte VC nicht mit einer Restriktion gleichgesetzt werden.**

Dies ist vor allem dann zu beachten, wenn nur die spirografischen Werte vorliegen.

Bei verschiedenen Störungen der Lunge kann das RV über den normalen Anteil von bis zu 35 % der TLC hinausgehen. Um diese Erhöhung des RV auch verbal einheitlich zu quantifizieren, wird folgende Beurteilung vorgeschlagen (■ Tab. 2.2).

Eine Erhöhung des RV kommt bei der Überblähung der Lunge in der Folge einer Atemflusobstruktion vor. In diesem Sinne sollte es allerdings nur dann interpretiert werden, wenn das im nächsten Kapitel besprochene intrathorakale Gasvolumen ebenfalls erhöht ist und wenn auch tatsächlich eine Obstruktion vorliegt. Ein erhöhtes RV kann auch die Folge eines Zwerchfellohochstandes sein, z. B. bei Adipositas (► Abschn. 2.2.8). Eine relative Erhöhung des RV, also in Prozent der TLC wird häufig auch bei einer Restriktion als Folge einer fibrosierenden Lungenerkrankung gesehen, weil sich im Krankheitsprozess die TLC stärker verkleinert als das RV. Das absolute Maß des RV (in Liter oder auch in % eines Referenzwertes) ohne Kenntnis der TLC ist für die Beurteilung von untergeordneter Bedeutung.

Erhöhung des
Residualvolumens

Lungenfunktion und Spiroergometrie
Interpretation und Befunderstellung unter Einschluss
der arteriellen Blutgasanalyse

Haber, P.

2013, XII, 212 S. 34 Abb., Hardcover

ISBN: 978-3-7091-1276-2