



Lungenfunktionsmessung

Grundlagen der Spirometrie

© Victor Kaldunov – stock.adobe.com

Die Durchführung einer Lungenfunktionsmessung in der Allgemeinarztpraxis ermöglicht eine frühzeitige Diagnose von häufigen Lungenerkrankungen wie Asthma und COPD. Im folgenden Artikel wird erläutert, welche Parameter dabei beachtet werden müssen, welche Fallstricke es gibt und wie die Ergebnisse korrekt interpretiert werden.



Dr. med. Milos Petrovic

© Privat

Der kleine Lungenfunktionstest, die Spirometrie, ist eine einfache, schnelle, nicht invasive und preisgünstige Untersuchung zur Messung von definierten Lungenvolumina und Atemstromstärken. Damit kann der Funktionszustand der Atemwege unkompliziert ermittelt und die möglichst frühzeitige Therapie einer Lungenerkrankung sichergestellt werden. Vor allem bei Asthma und bei COPD ist damit eine schnelle Verdachtsdiagnose möglich. Die Spirometrie ist für die Diagnose von diesen Lungenerkrankungen so wichtig wie die Blutdruckmessung für die Diagnose einer Hypertonie.

Eine schwedische Studie konnte zeigen, dass der Zeitraum bis zur Diagnose einer COPD wesentlich verkürzt werden kann, wenn nicht nur Lungenfachärzte, sondern auch Allgemeinärzte Lungenfunktionstests durchführen.

Aussagekraft und Indikationen der Spirometrie

Ein Lungenfunktionstest kann nicht nur den Verdacht auf eine Atemwegsobstruktion bestätigen, wie sie unter anderem bei COPD-Patienten vorliegt, sondern in der Folge auch deren teilweise oder vollständige Reversibilität, die

dann die Verdachtsdiagnose Asthma untermauert. Außerdem kann evaluiert werden, ob eine relevante Verringerung der Lungenvolumina im Sinne einer Restriktion vorliegt.

Indikationen zur Spirometrie sind:

- Dyspnoe
- Husten und/oder Auswurf
- chronischer Nikotinabusus
- Screening (Gesundheitsuntersuchung)
- Verdacht auf Krankheiten von Atemwegen, Lunge, Herz, Wirbelsäule, Skelettmuskulatur
- Verlaufsbeobachtung und Therapiekontrolle bronchopulmonaler Erkrankungen
- präoperative Diagnostik

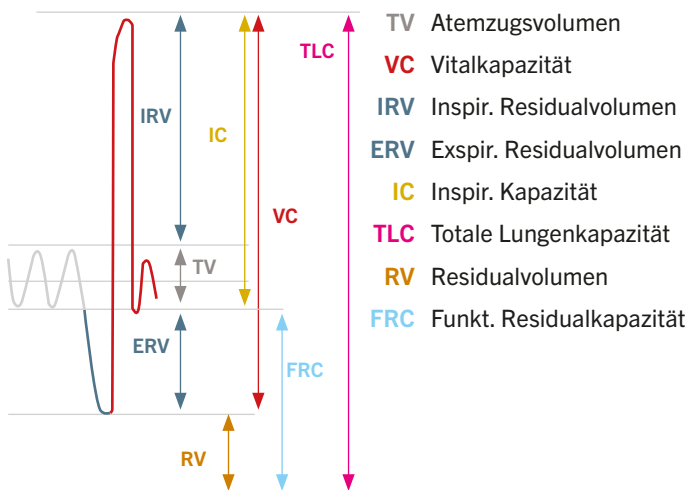
Abb. 1: Lungenvolumina und Fluss-Volumen-Kurve

Statische und dynamische Messparameter

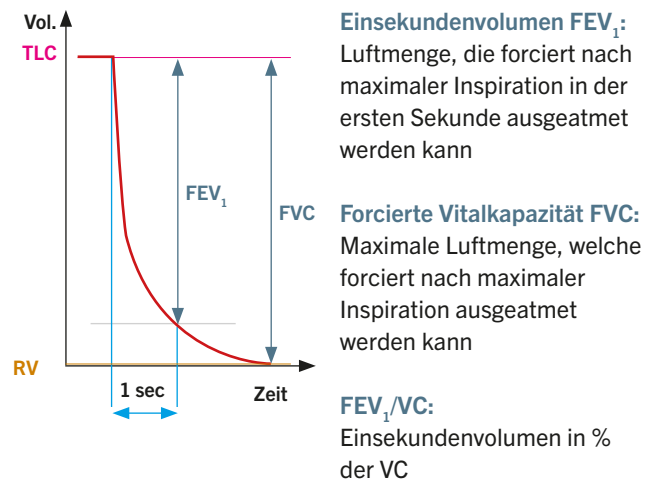
Mittels Lungenfunktion können die Lungenvolumina und die Atmungsynamik beurteilt werden. Man unterscheidet dabei statische und dynamische Größen (Abb. 1). Zu den statischen Größen gehören unter anderem die Vitalkapazität (VC), das Atemzugsvolumen (TV), das inspiratorische und das expiratorische Residualvolumen (IRV, ERV), die totale Lungkapazität (TLC) und das Residualvolumen (RV). Sie sind unabhängig vom zeitlichen Ablauf des Spirogramms.

Wichtigste Messgröße ist die Vitalkapazität: Sie bezeichnet die Volumendifferenz, die zwi-

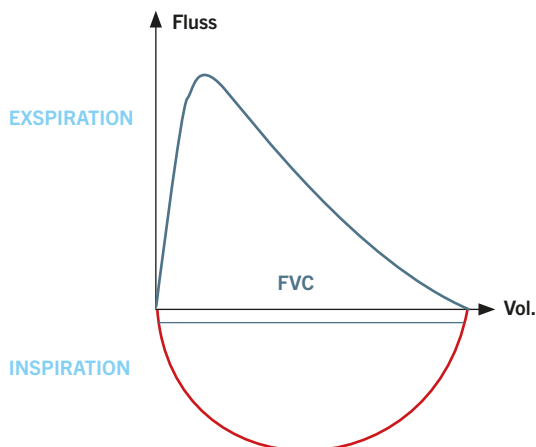
Statische Lungenvolumina



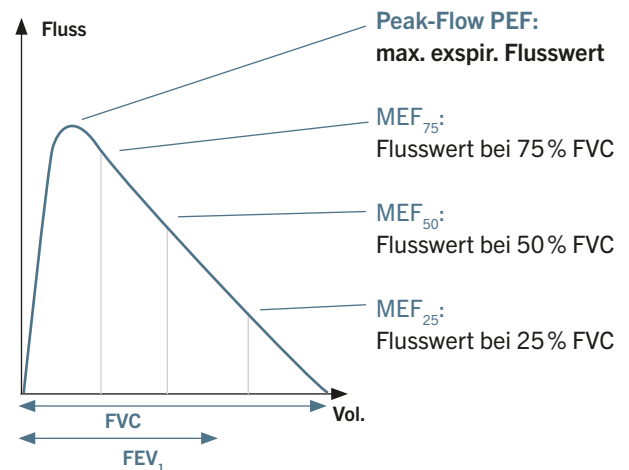
Dynamische Lungenvolumina



Fluss-Volumen-Kurve



Fluss-Volumen-Kurve



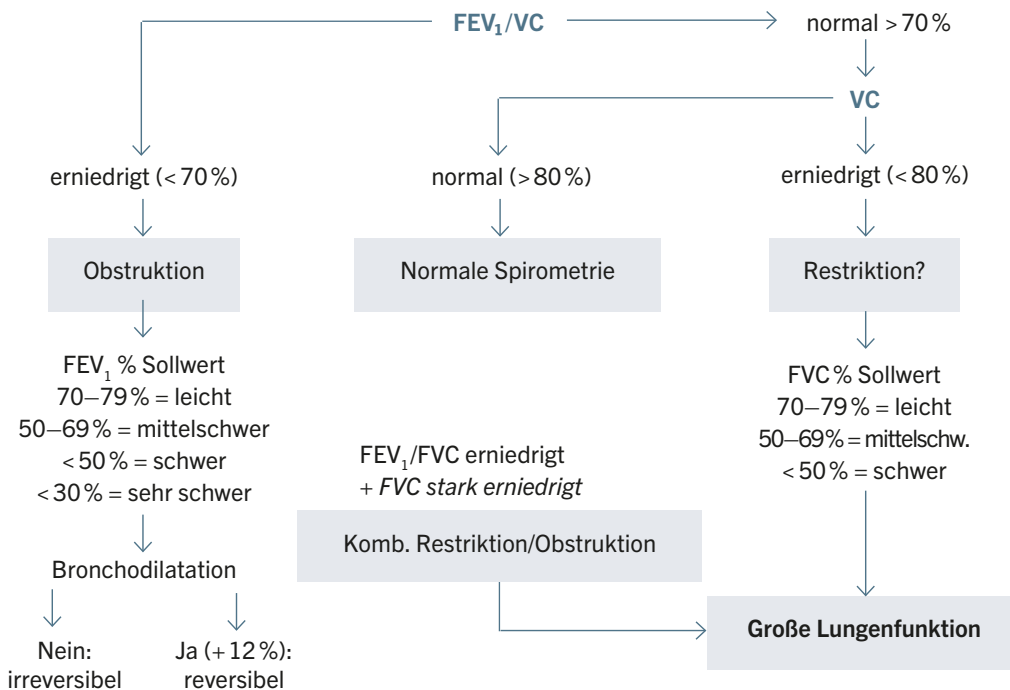


Abb. 2: Interpretation Spirometrie

schen maximaler Einatmung und maximaler Ausatmung gemessen werden kann. Die totale Lungenkapazität (TLC) beschreibt das Volumen, das sich nach maximaler Inspiration in der Lunge befindet. Sie setzt sich aus der Vitalkapazität und dem Residualvolumen zusammen. Sie bleibt konstant, es verändern sich nur die beiden Parameter VC und RV. Beispiel ist ein COPD-Patient mit Atemwegsobstruktion, der stark überbläht ist: In diesem Fall ist das Residualvolumen höher, auf Kosten der Vitalkapazität.

Die dynamischen Lungenvolumina werden während des Atmens gemessen und sind vom zeitlichen Verlauf wie auch von der Mitarbeit und Motivation des Patienten abhängig. Zu den dynamischen Lungenvolumina zählt unter anderem das Einsekundenvolumen (FEV₁): Das ist die Luftmenge, die forciert nach maximaler Inspiration in der ersten Sekunde ausgeatmet werden kann. Zudem die forcierte Vitalkapazität (FVC): Das ist die maximale Luftmenge, die forciert nach maximaler Inspiration ausgeatmet werden kann. Und schließlich das Einsekundenvolumen in Prozent der Vitalkapazität (Verhältnis FEV₁/VC). Ein Wert unter 70 % bestätigt die Diagnose einer Atemwegsobstruktion (Abb. 2). Wichtig ist, dass man nicht nur auf den FEV₁-Wert achtet, um eine Obstruktion zu diagnostizieren.

Die Fluss-Volumen-Kurve

Die Ergebnisse der Spirometrie können als Fluss-Volumen-Kurve dargestellt werden (Abb. 1). Sie ist charakterisiert durch den plötzlichen Anstieg der Atemströmung (Expiration) bis zum maximalen expiratorischen Flusswert (Peak-Flow, PEF), danach erfolgt ein nahezu linearer Flussabfall bis zum Erreichen der FVC (forcierte Vitalkapazität). Weitere Werte sind MEF₅₀ (Flusswert bei 50 % FVC) und MEF₂₅ (Flusswert bei 25 % FVC). Sie repräsentieren die kleinen Atemwege. Sind diese Werte eingeschränkt und die Lungenfunktion ist sonst normal, spricht man von einer Obstruktion in den kleinen Atemwegen, einer sogenannten Small Airways Disease. Das ist eine Vorstufe der COPD.

Vorbereitung und Durchführung der Untersuchung

Für eine exakte Messung muss das Gerät zuerst kalibriert werden. Voraussetzung für die Normwerte sind exakte Daten zu Körpergröße, Körpergewicht, Geschlecht und Alter des Patienten, die vorab überprüft werden. Beengende Kleidung, wie Jacke oder Pullover, wird vor der Messung abgelegt, die Messung selbst wird ausschließlich im Sitzen durchgeführt. Unverzichtbar sind die Nasenklemme und das korrekt sitzende Mundstück zwischen den Zähnen.

Die Spirometrie ist in der Diagnostik von Asthma und COPD so wichtig wie die Blutdruckmessung in der Diagnostik einer Hypertonie.

Messung

Die Messung erfolgt dreimal hintereinander, jede Messung besteht aus drei Phasen:

1. Man lässt den Patienten ein paar Mal ruhig ein- und ausatmen, damit er sich an das Mundstück gewöhnen kann. Nach einigen Malen ruhigen Atmens soll der Patient langsam pressend maximal ausatmen, bis es nicht mehr geht. In der Lunge bleibt dann das Residualvolumen übrig.
2. Danach folgt eine zügige und vollständige Inspiration zur Bestimmung der inspiratorischen Vitalkapazität (VC).
3. An diese Einatmung schließt sich nach einer möglichst kurzen Pause (< 1 sec) eine forcierte maximale Expiration an, solange es geht (> 6 sec).

Laut den Leitlinien sollte diese Ausatmung mindestens sechs Sekunden dauern. Das klappt allerdings sehr selten, bestenfalls bei COPD-Patienten, die sehr überbläht sind. Es genügen auch vier Sekunden, um ein verwertbares Messergebnis zu erhalten.

Fehlerquellen und Fehlerzeichen

Anhand der Kurve ist bereits gut zu erkennen, ob die Messung richtig durchgeführt wurde. Zu den häufigsten Fehlerquellen zählen:

- ungenügende Inspiration (parallel verkleinerte Kurve)
- Luftleckage (mangelnder Lippenschluss um das Mundstück)
- zu langsamer Start der Expiration (kein steiler Anstieg der Kurve)
- vorzeitiges Ende der Expiration (keine geschlossene Kurve bzw. Spitze fehlt)
- Husten (Zacken in der Kurve)
- ungünstige Körperhaltung (z. B. vorgebeugt)
- falsche Patientendaten (ergeben falsche Sollwerte)

Reproduzierbarkeits- und Akzeptanzkriterien

Um die Reproduzierbarkeit – welche auch die Qualität der Mitarbeit widerspiegelt – bestimmen zu können, müssen mindestens drei Versuche durchgeführt werden. Der maximale expiratorische Spitzenfluss (PEF) soll innerhalb von 120 ms erreicht werden (steiler Anstieg). Artefakte (z. B. durch Husten, Leckagen, vorzeitige Beendigung) sollten vermieden werden.

Die drei Kurven der Messungen sollten optimalerweise nahezu deckungsgleich sein (=

Der Schweregrad der Messwerteinschränkung ist repräsentativ für die Obstruktion, muss aber nicht unbedingt mit dem klinischen Schweregrad der Erkrankungen übereinstimmen.

Zeichen der Reproduzierbarkeit). Dabei dürfen sich die Ergebnisse des besten und des zweitbesten Versuches für FEV_1 und FVC um nicht mehr als 5 % unterscheiden, die Differenz zwischen dem größten und dem zweitgrößten Wert des Peak-Flow um nicht mehr als 10 %. Treffen diese Kriterien zu, dann kann man sagen, alle drei Versuche waren in Ordnung, und man analysiert den besten Versuch. Größere Differenzen sprechen für eine mangelnde Compliance des Patienten.

Deutung der Messgrößen

Anhand der Messgrößen können folgende Fragen beurteilt werden: Liegt eine Obstruktion der Atemwege vor (Volumen/Zeiteinheit) und/oder liegt eine Restriktion des Lungenparenchyms vor (Volumen, Vitalkapazität)?

Obstruktive Ventilationsstörung

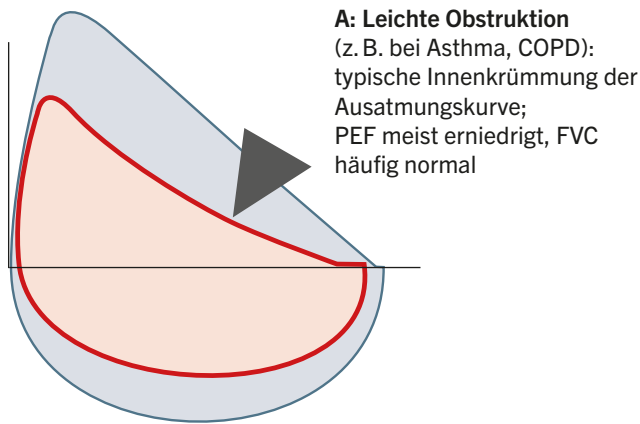
Ein FEV_1/VC -Wert von < 70 % weist auf eine Obstruktion hin (Abb. 2). In der klinischen Beurteilung ergibt sich der spirometrische Schweregrad der obstruktiven Ventilationsstörung aus der Einschränkung der FEV_1 (ausgedrückt in % des Sollwerts). Diese Prozentwerte ergeben auch die vierstufige Graduierung der Obstruktion in „leicht“ ($FEV_1 > 80$ %), „mittelschwer“ (50–80 %), „schwer“ (30–50 %) und „sehr schwer“ (< 30 %).

Zu den Differenzialdiagnosen der obstruktiven Ventilationsstörung zählen:

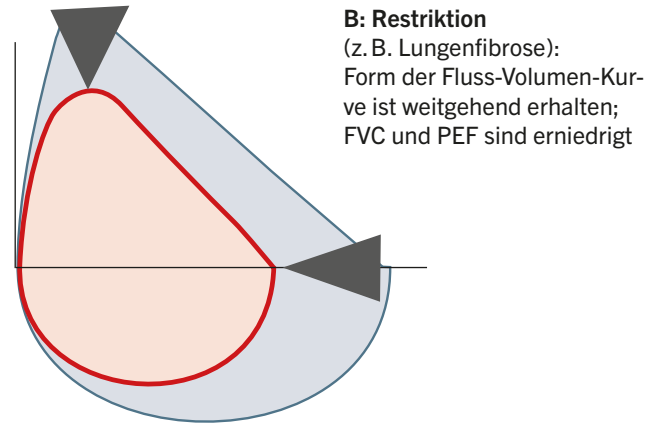
- Asthma bronchiale
- COPD
- Bronchiektasien
- zystische Fibrose (CF)
- Stenose im Bereich der großen Atemwege (z. B. Tumor)

Der Schweregrad der Messwerteinschränkung ist repräsentativ für die Obstruktion, muss aber nicht unbedingt mit dem klinischen Schweregrad der Erkrankungen übereinstimmen. Die Spirometriedaten sind nur ein Teil der Surrogatparameter zur Beurteilung des klinischen Schweregrads (von Asthma oder COPD).

Für den erfahrenen Mediziner ist die obstruktive Ventilationsstörung eine „Blickdiagnose“ anhand der Fluss-Volumen-Kurve (Abb. 3A): Je höhergradig die Obstruktion ist, desto mehr kommt es zu einer Innenkrümmung der Kurve bei der Ausatmung. Die Innenkrümmung spricht für einen erniedrigten PEF-Wert, der FVC kann auch erniedrigt sein.



A: Leichte Obstruktion
(z. B. bei Asthma, COPD):
typische Innenkrümmung der
Ausatemungskurve;
PEF meist erniedrigt, FVC
häufig normal



B: Restriktion
(z. B. Lungenfibrose):
Form der Fluss-Volumen-Kurve
ist weitgehend erhalten;
FVC und PEF sind erniedrigt

Eine Knickbildung ist das eindeutige Zeichen für ein Emphysem, zum Beispiel bei hochgradiger COPD: Die Werte von FVC und PEF sind dabei deutlich erniedrigt.

Bronchodilatationstest: Asthma oder COPD?

Wird eine obstruktive Ventilationsstörung vermutet, sollte in weiterer Folge ein Bronchodilatationstest durchgeführt werden. Damit ist eine Unterscheidung zwischen Asthma bronchiale und COPD möglich. Dazu wird die Spirometrie vor und nach Gabe eines kurz wirksamen β -2-Sympathomimetikums oder Anticholinergikums durchgeführt.

Abb. 3: Obstruktive und restriktive Ventilationsstörung

Abb. 4: Bronchodilatationstest

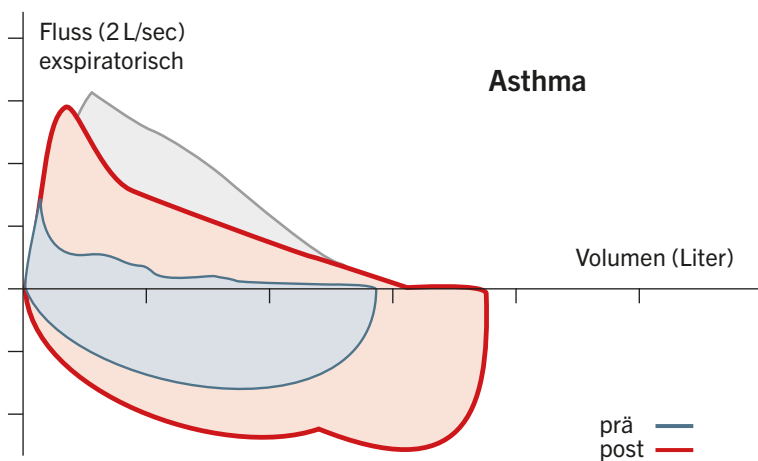
Der Bronchospasmodolysetest ist positiv bei einem Anstieg des FEV_1 um mehr als 200 ml bzw. um mindestens 12 % gegenüber dem Ausgangswert (Abb. 4). In diesem Fall liegt eine Reversibilität bzw. ein Hinweis auf Asthma vor. Ist die Lungenfunktion weiterhin eingeschränkt, ist die Reversibilität partiell. Ist die Lungenfunktion danach altersentsprechend, handelt es sich um eine komplette Reversibilität. Je höher die Reversibilität ausfällt, desto wahrscheinlicher ist die Diagnose von Asthma, vor allem bei entsprechenden Symptomen.

Restriktive Ventilationsstörung

Eine restriktive Ventilationsstörung ist durch eine Verringerung der Lungenvolumina charakterisiert, es liegt eine Behinderung der normalen Lungenausdehnung vor (Abb. 3B). Diese zeigt sich in der Verminderung der Vitalkapazität auf unter 80 % und durch einen FEV_1/VC -Wert über 70 %. Basierend auf dem Abfall der VC in Prozent wird die restriktive Ventilationsstörung von „leichtgradig“ (Grad I) bis „sehr schwer“ (Grad V) eingeteilt.

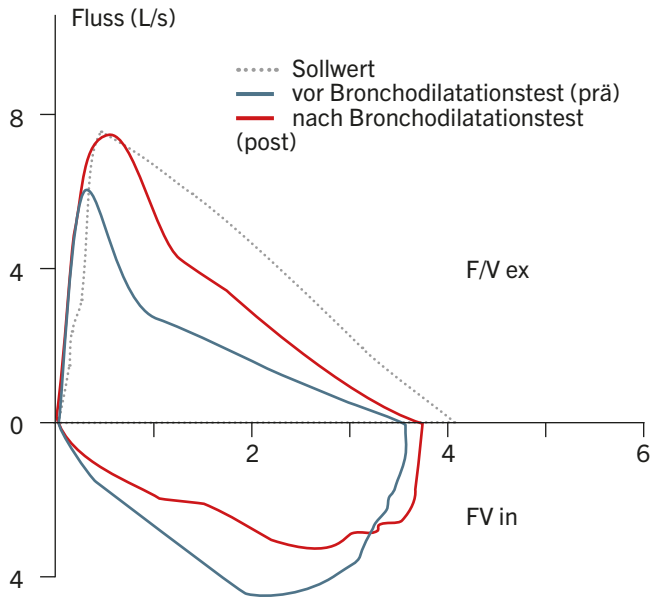
Differenzialdiagnosen der restriktiven Ventilationsstörung sind:

- Lungenfibrose
- Pneumonie, Pneumonitis
- Kyphoskoliose
- Pleuraerguss, -schwarte
- Zwerchfellparese
- Pneumonektomie
- Adipositas



Zunahme des FEV_1 : mindestens + 0,21 bzw. mindestens + 12 % **signifikantes Ansprechen**

Anhand der Fluss-Volumen-Kurve zeigt sich die restriktive Ventilationsstörung darin, dass die Form weitgehend erhalten bleibt, aber FVC und PEF erniedrigt sind (Abb. 3): Die Kurve als



Interpretation von Kurve und Messgrößen:

1. Akzeptables Manöver? Ja
2. Obstruktive Ventilationsstörung?
FEV₁/VC = 62 % (prä → < 70 %): ja
3. „Grading“ der Obstruktion: mittelschwer (FEV₁= 67 %)
4. Reversibilität? Bronchodilatationstest:
FEV₁/VC = 73 % (post) → altersentsprechend;
Verbesserung um 19 %
FEV₁: Verbesserung von 24 % (67 % → 82 %)
5. Restriktive Ventilationsstörung? VC → 94 % (> 80 %)
→ nein

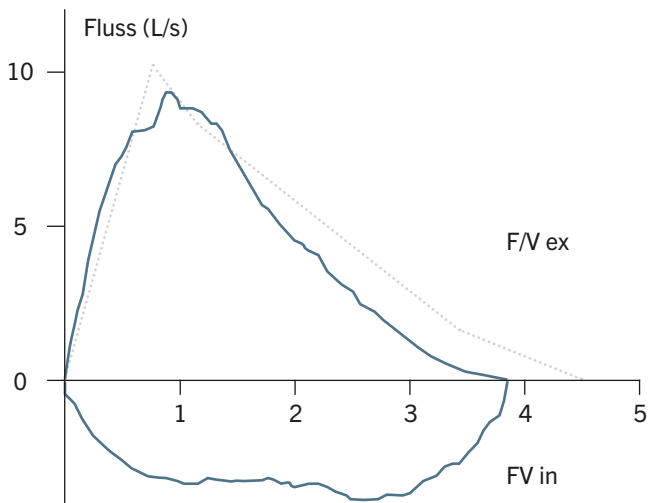
Befund: mittelschwere obstruktive Ventilationsstörung mit vollständiger Reversibilität (> + 12 %/200 ml), VD: Asthma

Messergebnisse

Parameter	Einheit	Soll	prä	%Soll	post	%Soll	post%prä
FVC _{ex}	l	4,18	3,93	94	4,07	97	4
FEV ₁	l	3,63	2,42	67	2,99	82	24
FEV ₁ / FVC _{ex}	%	82	62	76	73	90	19

Fallbeispiel 1: strukturiertes Befunden einer Spirometrie

Patient: Helmut, Ex-Raucher
 Alter: 51 Jahre
 Größe: 172 cm
 Gewicht: 84 kg



Interpretation von Kurve und Messgrößen:

1. Akzeptables Manöver? Ja
2. Obstruktive Ventilationsstörung? Nein
3. FEV₁ → 87 %

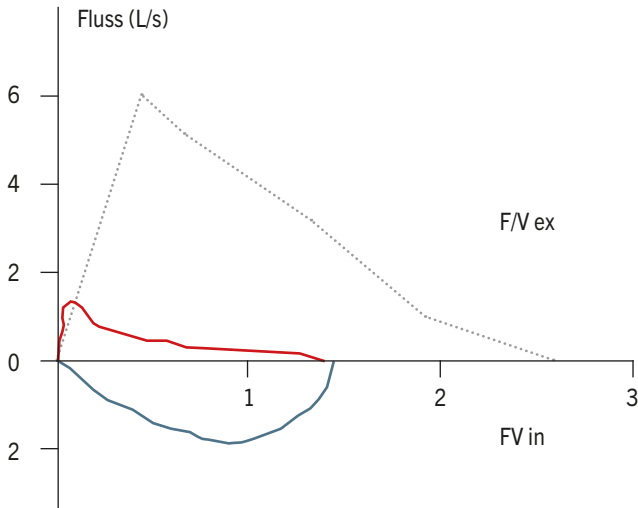
Befund: altersentsprechende Lungenfunktion

Messergebnisse

	Ist 1	%(I1/S)
VC _{max} (L)	3,9	86
FVC (L)	3,9	86
FEV ₁ (L)	3,29	87
FEV ₁ /VC _{max} %	84,40	102

Fallbeispiel 2: altersentsprechende Lungenfunktion

Patient: Dusanka, Ex-Raucherin
 Alter: 63 Jahre
 Größe: 153 cm
 Gewicht: 44 kg



Interpretation von Kurve und Messgrößen:

1. Akzeptables Manöver? Ja
2. Verminderte Lungenfunktion, Knickbildung der Ausatemungskurve, Innenkrümmung (Obstruktion)
3. FVC deutlich erniedrigt + niedriger PEF (1,39)
4. Obstruktive Ventilationsstörung? Ja
 $FEV_1/VC_{max} \% \rightarrow 41,71\%$
5. $FEV_1 \rightarrow 0,59$ (28%): sehr schwere Obstruktion

Befund: „Emphysemknick“; hochgradige obstruktive Ventilationsstörung (Grad 4) mit massiver Überblähung (das Residualvolumen ist auf Kosten der Vitalkapazität erhöht)

Messergebnisse

	Ist 1	% (I/S)
VC_{max} (L)	1,49	55
FVC (L)	1,32	51
FEV₁ (L)	0,59	28
FEV₁/VC_{max} %	41,71	50

Fallbeispiel 3: hochgradige Obstruktion mit Emphysem

ganze wird also „kleiner“. Eine Abflachung der Einatemungskurve spricht für eine extrathorakale Stenose, beispielsweise eine Stimmbandlähmung. Ein Plateau in der Ausatemungskurve ist ein Zeichen für eine intrathorakale Einengung, etwa eine Tracheomalazie.

ter 70 %, liegt eine Obstruktion vor. Um diese Obstruktion zu graduieren, zieht man den FEV₁-Wert (in % vom Sollwert) heran. Mittels Bronchodilatationstest kann eruiert werden, ob eine Reversibilität vorliegt oder nicht. Besteht keine Reversibilität, handelt es sich um eine irreversible Obstruktion (Differenzialdiagnose COPD).

Zusammenfassung der Ergebnisse

Strukturiertes Befunden einer Spirometrie

Anhand der Kurven wird zuerst das „akzeptable Manöver“ analysiert. Wurde die Lungenfunktionsmessung korrekt durchgeführt, wird anhand der Sollwerte überprüft, ob die Ergebnisse altersentsprechend sind oder eine obstruktive oder eine restriktive Ventilationsstörung vorliegt.

Liegt der FEV₁/VC-Wert über 70 %, kann eine Obstruktion ausgeschlossen werden. Ist die VC > 80 %, ist die Lungenfunktion altersentsprechend. Ist die VC erniedrigt (< 80 %), liegt eine Restriktion vor und man betrachtet den FVC-%-Sollwert. Ist der FEV₁/VC-Wert erniedrigt UND ist die FVC stark erniedrigt, liegt eine Kombination von Restriktion und Obstruktion vor. Beides sind Indikationen für einen großen Lungenfunktionstest (Bodyplethysmographie). ◆

Interpretation der Ergebnisse

Die Interpretation der Ergebnisse beginnt mit dem FEV₁/VC-Wert (Abb. 2). Ist der Wert un-



Die vollständige Literaturliste finden Sie unter www.allgemeinarzt.digital



Dr. med. Milos Petrovic
 Arzt für Allgemeinmedizin
 Facharzt der Lungenheilkunde
 Ambulante pneumologische Rehabilitation
 Therme Wien Med

Interessenkonflikte:
 Der Autor hat keine deklariert.

Fragen zur zertifizierten
Fortbildung:

„Lungenfunktionsmessung: Grundlagen der Spirometrie“

Sichern Sie sich Ihre CME-
Fortbildungspunkte!

Gültig bis 04.12.2024

Auf unserem
CME-Portal:
[www.allgemeinarzt.
digital/cme](http://www.allgemeinarzt.digital/cme)



Nach den Fortbildungsrichtli-
nien der Landesärztekammer
Rheinland-Pfalz erhalten Sie
nach Absolvieren dieser CME-
Fortbildung **zwei** Fortbildungs-
punkte, wenn Sie mindestens
70 % der Fragen korrekt beant-
worten.

Pro Frage ist jeweils nur eine
Antwortoption zutreffend.

In unserem Webportal
www.allgemeinarzt.digital/cme
können Sie Ihre Antworten di-
rekt eingeben.

Bei erfolgreicher Teilnahme
werden Ihnen die Punkte auto-
matisch auf Ihrem Fortbildungs-
konto der für Sie zuständigen
Ärztekammer gutgeschrieben.

Zudem steht Ihnen ein Zertifikat
zum Download bereit.

Diese CME-Fortbildung ist, wie
alle anderen CME-Kurse von
Der Allgemeinarzt, bis zu einem
Jahr nach Erscheinen gültig.

1. Bei welchen der folgenden Indikationen sollte keine Lun-
genfunktionsmessung (Spirometrie) durchgeführt werden?

- a) Dyspnoe
- b) Chronischer Nikotinabusus
- c) Kopfschmerzen**
- d) Präoperative Diagnostik
- e) Verdacht auf Erkrankungen von Herz, Wirbelsäule, Skelett-
muskulatur

2. Was ist keine Indikation für eine Spirometrie?

- a) Präoperative Diagnostik
- b) Husten und/oder Auswurf
- c) Verlaufsbeobachtung und Therapiekontrolle bronchopulmo-
naler Krankheiten
- d) Akuter grippaler Infekt**
- e) Chronischer Nikotinabusus

3. Welcher der folgenden Parameter ist für eine korrekte Durch-
führung des Lungenfunktionstests nicht obligat?

- a) Eichung des Gerätes
- b) Messung im Stehen**
- c) Messung im Sitzen
- d) Nasenklemme
- e) Ausziehen beengender Kleidungsstücke

4. Zu den häufigsten Fehlerquellen bei der Lungenfunktions-
messung zählt nicht:

- a) Luftleckage
- b) Zu langsamer Start der Expiration
- c) Ungünstige Körperhaltung
- d) Lachen während der Expiration**
- e) Falsche Patientendaten

5. Ein FEV_1/VC -Wert von $< 70\%$ ist ein Hinweis auf ...

- a) ... eine Obstruktion**
- b) ... eine Lungenfibrose
- c) ... eine Pneumonie
- d) ... eine Restriktion des Lungenparenchyms
- e) ... einen Pleuraerguss

6. Zu den Differenzialdiagnosen der obstruktiven Ventilations-
störung zählt nicht:

- a) zystische Fibrose
- b) Asthma bronchiale
- c) Pneumonie, Pneumonitis**
- d) Tumor im Bereich der großen Atemwege
- e) COPD

7. Zu den Differenzialdiagnosen der restriktiven Ventilations-
störung gehört nicht:

- a) Bronchiektasien**
- b) Pneumonektomie
- c) Kyphoskoliose
- d) Zwerchfellparese
- e) Pleuraerguss

8. Die „Knickbildung“ der Fluss-Volumen-Kurve bei der Aus-
atmung ist das eindeutige Zeichen für:

- a) eine Pneumonie
- b) Asthma bronchiale
- c) Bronchiektasien
- d) Lungentumoren
- e) ein Emphysem**

9. Eine restriktive Ventilationsstörung zeigt sich durch eine
Verminderung der Vitalkapazität auf:

- a) $< 70\%$ und einen FEV_1/VC -Wert $> 70\%$
- b) $< 70\%$ und einen FEV_1/VC -Wert $> 80\%$
- c) $< 70\%$ und einen FEV_1/VC -Wert $< 80\%$
- d) $< 80\%$ und einen FEV_1/VC -Wert $> 70\%$**
- e) $> 80\%$ und einen FEV_1/VC -Wert $> 70\%$

10. Welche der folgenden Werte charakterisieren eine schwe-
re Atemwegsobstruktion?

- a) $FEV_1/VC < 70\%$, $FEV_1 70\%$
- b) $FEV_1/VC < 80\%$, $FEV_1 70\%$
- c) $FEV_1/VC < 70\%$, $FEV_1 60\%$
- d) $FEV_1/VC < 80\%$, $FEV_1 60\%$
- e) $FEV_1/VC < 70\%$, $FEV_1 40\%$**