
**Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.
(DGAUM)**

AWMF-Leitlinien-Register	Nr. 002/013	Entwicklungsstufe:	1
--------------------------	-------------	--------------------	---

Lungenfunktionsprüfung in der Arbeitsmedizin

Vorbemerkung

**Beachten Sie bitte auch
die für das arbeitsmedizinische [Leitlinienprinzip](#) geltenden Besonderheiten
sowie die sonstigen fachgebietsrelevanten [Handlungsempfehlungen](#).**

Die in dieser Leitlinie vorgeschlagenen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen sind medizinisch notwendig und entsprechen dem allgemein anerkannten Stand der Wissenschaft. Sie sind abgestimmt mit den AWMF-Leitlinien 002/006 und 020/009 sowie mit den Nationalen Versorgungsleitlinien 002 und 003.

Einführung

Lungen- und Atemwegserkrankungen sind in der Allgemeinbevölkerung häufig. So leiden etwa 5 % der Bevölkerung an einem Asthma bronchiale und weitere etwa 5 % an einer chronischen Bronchitis. Da Anamnese- und Befunderhebung deren Schweregrad nicht ausreichend abschätzen lassen, sind objektive Lungenfunktionsprüfungen erforderlich. Die Spirometrie erlaubt in den meisten Fällen eine Differenzierung obstruktiver und restriktiver Ventilationsstörungen. Darüber hinaus erfasst die Ganzkörperplethysmografie das thorakale Gasvolumen und den speziellen Atemwegswiderstand. Spiroergometrie, Messungen der arteriellen Blutgase in Ruhe und unter Belastung sowie die Bestimmung der Diffusionskapazität ergänzen die pulmonale Funktionsdiagnostik. Mit Hilfe dieser Tests können die wichtigsten funktionellen Auswirkungen von Lungen- und Atemwegserkrankungen ermittelt werden. Unter den Aspekten des Allgemein- und Betriebsarztes steht die Spirometrie im Vordergrund.

Es ist logisch und richtig, dass Lungenfunktionsuntersuchungen bei einer Vielzahl arbeitsmedizinischer Vorsorgeuntersuchungen gefordert oder erwünscht werden, teilweise nur bei unklaren Fällen oder speziellen Gefährdungen. Es handelt sich um die berufsgenossenschaftlichen Grundsätze G 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 6, 11, 15, 16, 21, 23, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 39 und 43, außerdem bei den Vorsorge-Untersuchungen H 7, H 8, H 9, Gesundheitsschutz-Bergverordnung, Klima-Bergverordnung, Seediensttauglichkeitsverordnung, Strahlenschutzverordnung. Auch wenn bisher nicht vorgeschrieben, sollte zumindest bei älteren und kardiorespiratorisch auffälligen Personen, die in sauerstoffreduzierter Atmosphäre tätig sind, initial und in zwei- bis dreijährigen Intervallen eine Lungenfunktionsprüfung einschließlich Ergometrie mit Blutgasanalyse und Belastungs-EKG veranlasst werden.

Generell sollte von der Spirometrie wegen ihrer hohen Aussagekraft großzügig Gebrauch gemacht werden, nicht zuletzt, weil der individuelle Langzeitverlauf wesentlich für die Beurteilung ist. An dieser Stelle sei auch auf den Anhang "Leitfaden für die Lungenfunktionsprüfung..." der vom Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften herausgegebenen BG-Grundsätze verwiesen, ohne dass

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

die dort niedergelegten Ausführungen wiederholt werden.

1. Spirometrie

Die Spirometrie ist das klassische Verfahren der Lungenfunktionsprüfung, die in jeder betriebsärztlichen Einrichtung zur Verfügung stehen sollte und auch von vielen Allgemeinärzten und Internisten eingesetzt wird. Sie zeichnet sich durch den geringen methodischen Aufwand, die Einfachheit der Durchführung und einen großen Informationsgehalt aus.

Messvorgang

Bei der Durchführung einer spirometrischen Untersuchung atmet der Proband zunächst ruhig ein und aus. Der langsamen Ausatmung bis zum Residualvolumen folgt die langsame Einatmung bis zur Totalkapazität (Erfassung der inspiratorischen Vitalkapazität, IVK, IVC), der sich die forcierte Ausatmung anschließt. Mit den heute verwendeten Pneumotachografen und Ultraschallmessverfahren wird der Atemfluss (Flow) erfasst, die Volumina werden elektronisch berechnet. Die Aufzeichnung der Stromstärke über dem errechneten Volumen führt zum Fluss-Volumen-Diagramm. Das Fluss-Volumen-Diagramm und das Volumen-Zeit-Diagramm sind unterschiedliche Darstellungen desselben Atemmanövers, wobei ersteres im Vordergrund der Bewertung steht.

Qualitätskriterien

Im Folgenden wird das forcierte spirometrische Atemmanöver im Detail dargestellt. Von entscheidender Wichtigkeit ist dabei die Qualitätskontrolle. Die Kriterien, nach denen spirometrische Kurven zum einen als akzeptabel, zum anderen als reproduzierbar gelten können, werden ebenfalls aufgeführt. Beide Kriterien (Akzeptabilität und Reproduzierbarkeit) sind bei spirometrischen Manövern stets zu prüfen. Es ist ausnahmslos erforderlich, die spirometrischen Kurven optisch zu beurteilen. In Problemfällen (schwierige Kooperation) ist es ratsam, dass der Arzt die Spirometrie selbst durchführt. Man sollte sich nie auf die automatische Befundung, wie sie von manchen Geräten vorgenommen wird, verlassen. Eine etwaige antiobstruktive oder proobstruktive (z.B. β -Blocker) Medikation und die Uhrzeit der Untersuchung (zirkadiane Rhythmik) sind zu dokumentieren. Weiterhin sei bedacht, dass es - korrekte Kalibrierung und intaktes Gerät vorausgesetzt - keine falsch zu hohen spirometrischen Werte geben kann, nur falsch zu niedrige Werte. Deshalb sollen stets die besten Werte in die Beurteilung Eingang finden. Die intensive Motivation des Probanden und klare Anweisungen während der Atemmanöver durch die MTA sind dabei von höchster Bedeutung.

Moderne, von verschiedenen Herstellern angebotene Taschenspirometer erlauben es, dass die Probanden nach Instruktion zu vorgegebenen Uhrzeiten mehrmals täglich ihre Lungenfunktionsanalyse selbst durchführen können. Durch die elektronische Registrierung der Uhrzeit, der Zahl der durchgeführten Tests und der besten Fluss-Volumen-Kurven kann der Arzt entweder direkt am Gerät oder - üblicher - nach Übertragung der Daten auf einen Rechner den Verlauf der spirometrischen Kenngrößen während der Wachphasen, an Arbeitstagen und an arbeitsfreien Tagen vergleichen, und Rückschlüsse auf eine etwaige Arbeitsplatz- und Tätigkeitsbezogenheit von Lungenfunktionseinschränkungen gewinnen. Eine ausreichende Qualitätskontrolle setzt allerdings die Speicherung und Beurteilung vollständiger Fluss-Volumen-Kurven voraus. Da der intraindividuelle Lungenfunktionsverlauf über zwei oder drei Wochen bei diesem Vorgehen die entscheidende Zielgröße ist, sind kleinere Abweichungen mit anderen Geräten erhobenen Daten hinnehmbar. Stets ist jedoch zu dokumentieren, mit welchem Gerät die Daten erhoben wurden, da teilweise nicht unerhebliche Unterschiede zwischen Messergebnissen an den Geräten verschiedener Hersteller bestehen. Eine tägliche Kalibrierung des Spirometers ist notwendig.

Übersicht der einzelnen Schritte

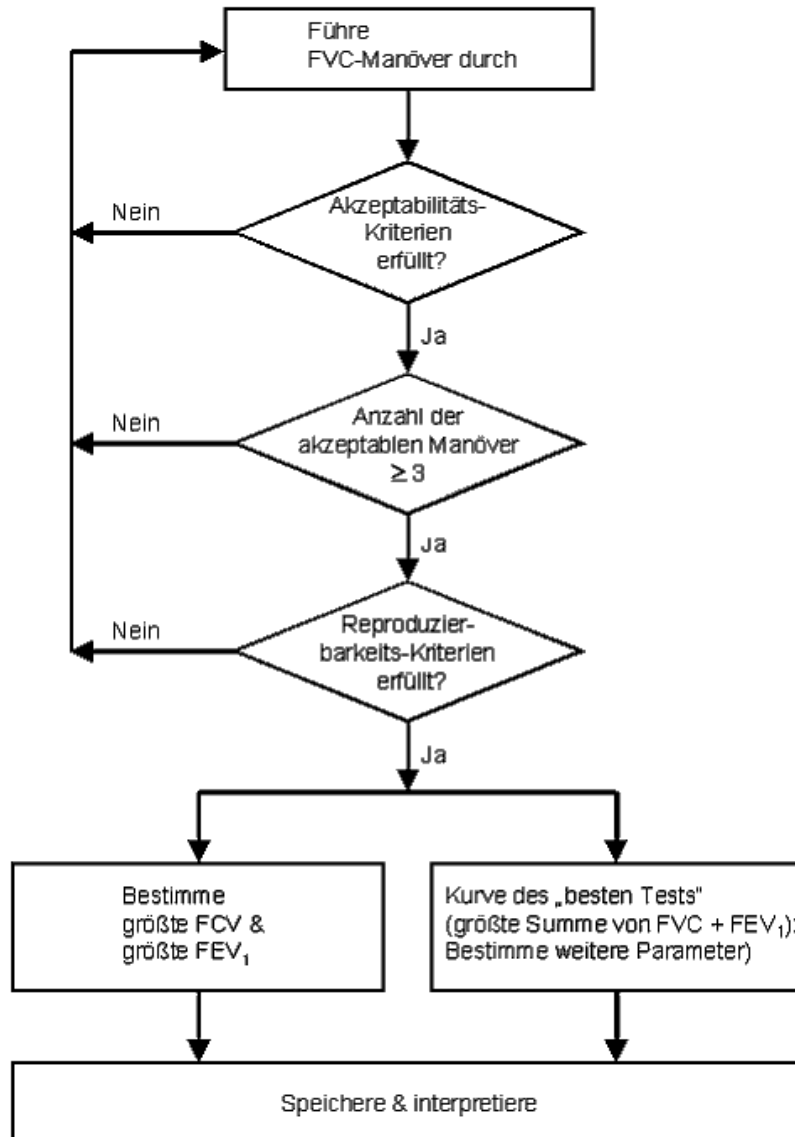
- Überprüfung der Kalibrierung des Spirometers, Erklärung des Tests
- Befragung des Probanden (Rauchverhalten, aktuelle und frühere Erkrankungen, Medikamenteneinnahme)
- Einführung und Demonstration des Tests für den Probanden:
 - Gerade Körperhaltung im Sitzen;
 - Positionierung des Mundstückes;
 - Vollständiges Einatmen;

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

- Ausatmen mit maximaler Kraft.
- Durchführung der Messung:
 - Überprüfung der Sitzposition des Probanden;
 - Aufsetzen der Nasenklemme;
 - Atemmanöver wie unter "Messvorgang" (s. o.) beschrieben
 - Überprüfung der Akzeptabilität (s. u.)
 - Instruktionen ggf. wiederholen, intensiv zur Mitarbeit anfeuern;
 - Messung mindestens 2 x wiederholen, mehr als 8 Messungen sind nicht sinnvoll;
- Überprüfung der Reproduzierbarkeit (s. u.)

Abbildung 1: Flußdiagramm zum forcierten Atemmanöver



Zusammenfassung der Akzeptabilitätskriterien

Individuelle Spirogramme sind "akzeptabel", wenn:

- a. sie frei von Artefakten sind (z. B. ohne Hustenstoß und ohne Glottisverschluss während der ersten Sekunde der Ausatmung, kein vorzeitiger Abbruch, keine variable Mitarbeit) und
- b. sie einen guten Expirationsbeginn besitzen (das extrapolierte Volumen < 5% FVC oder

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

- < 0,15 L oder die Zeit bis zum PEF < 120 ms ist und
- c. die Expiration zufriedenstellend erfolgt (mindestens 6 s Dauer und/oder ein Plateau im Volumen-Zeit-Diagramm, oder eine zumutbare Expirationsdauer von 15 s erreicht wurde, oder wenn der Proband nicht mehr ausatmen kann oder soll).

Zusammenfassung der Reproduzierbarkeitskriterien

Nach Erhalt von mindestens drei akzeptablen Spirogrammen werden folgende Reproduzierbarkeitskriterien angewendet:

- Weichen die beiden höchsten FVC-Werte weniger als 0,15 L voneinander ab?
- Weichen die beiden höchsten FEV₁-Werte weniger als 0,15 L voneinander ab?

Wenn sowohl die Akzeptabilität als auch die Reproduzierbarkeit von FVC und FEV₁ erfüllt sind, wird die Untersuchung beendet.

Wenn mindestens ein Kriterium nicht zutrifft, wiederholen Sie den Test, bis:

- beide Reproduzierbarkeitskriterien zutreffen unter akzeptablen Spirogrammen;

ODER:

- insgesamt 8 Tests durchgeführt wurden

ODER:

- der Proband nicht mehr weitermachen kann oder will.

Bewahren Sie mindestens die drei besten Spirogramme auf.

Von einigen Geräten oder Untersuchern wird die äußere Begrenzung mehrerer Flussvolumenkurven, die sog. "Hüllkurve", festgehalten und zur Ablesung der einzelnen Parameter herangezogen. Dies ist nicht empfehlenswert, da es sich um kein reelles Atemmanöver handelt.

Aus allen akzeptablen FVC-Manövern werden die größte FVC und das größte FEV₁ (können aus unterschiedlichen Kurven stammen) und die drei "besten Kurven" (Kurven mit den größten Summenwerten aus FVC und FEV₁) bestimmt und dokumentiert. Die Werte von PEF, FEF₂₅, FEF₅₀, FEF₇₅, FEF₂₅₋₇₅ werden aus der "besten Einzelkurve" genommen. Entsprechendes gilt für die Parameter der forcierten Inspiration PIF, FIF₅₀.

Befundinterpretation

1. Beurteilung der Mitarbeit

Die Interpretation der Messwerte eines Probanden/Patienten sollte sich primär an dessen Vorbefunden (intraindividuellem Sollwert) orientieren. Wegen der erheblichen Streuung der Lungenfunktionswerte in der gesunden Bevölkerung und der daraus resultierenden Breite des Normbereichs müssen bei Personen mit hohen Ausgangswerten erhebliche Funktionsverschlechterungen eintreten, ehe ein solcher Patient bei einmaliger Messung auffällig wird. Umgekehrt werden bei vergleichsweise niedrigen Ausgangswerten (z. B. asthenische Konstitution) schon geringfügige Abweichungen zur Einstufung "pathologisch" führen. Daher ist die sogenannte Individualnorm (Messwerte aus der Zeit vor der Erkrankung bzw. aus medizinischen Vorsorgeuntersuchungen) bei der Beurteilung der Funktionseinschränkung zu berücksichtigen. Fällt FEV₁ stärker als dem Altersgang (Faustregel: 30 mL/Jahr) entsprechend ab, ist eine medizinische Intervention (Expositionsunterbrechung, Aufgabe der Rauchgewohnheiten, medikamentöse Therapie usw.) indiziert. Je größer die Zahl der verfügbaren Messungen, umso genauer kann eine Beurteilung des Abfalls der Einsekundenkapazität erfolgen. Sofern der FEV₁-Abfall pro Jahr über 30 mL liegt, sollte man auch eine differenzierte Ursachendiagnostik durchführen. Damit kann die Manifestation einer obstruktiven Ventilationsstörung, d. h., das Unterschreiten der unteren Grenze des Referenzbereiches verhindert oder verzögert werden.

2. Obstruktive Ventilationsstörung

Die Bestimmung des in der ersten Sekunde der forcierten Ausatmung expirierten Volumens (FEV₁) ist der aussagekräftigste und am besten reproduzierbare Einzelwert der spirometrischen Analyse. Sein Bezug auf die Vitalkapazität führt zur relativen Sekundenkapazität (FEV₁/VC %;

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

Tiffeneau-Index). Mit Hilfe der drei Größen VC, FEV₁, und deren Verhältnis zueinander ist eine Unterscheidung der obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörung sowie die Angabe ihres Schweregrades in den meisten Fällen möglich.

Bei einer obstruktiven Ventilationsstörung ist typischerweise die inspiratorische Vitalkapazität regelrecht, während die absolute und relative Sekundenkapazität erniedrigt sind. Bei einer restriktiven Ventilationsstörung ist die Vitalkapazität ähnlich erniedrigt wie die absolute Sekundenkapazität, so dass die relative Sekundenkapazität normal ist. Bisweilen liegen Mischbilder vor, d. h., die Vitalkapazität und die absolute Sekundenkapazität sind erniedrigt, jedoch in unterschiedlichem Maß. Es sollte jedoch nicht vorschnell von einer kombinierten Ventilationsstörung gesprochen werden, da definitionsgemäß bei einer kombinierten Ventilationsstörung eine eigenständige obstruktive und eine separate restriktive Komponente vorliegen müssen. Auch eine schwere Obstruktion kann zu einer erniedrigten Vitalkapazität führen. In diesem Falle ist die verkleinerte Vitalkapazität nicht Folge einer restriktiven Ventilationsstörung, sondern einer Obstruktion mit Lungenblähung. Es ist dann zu prüfen, ob sich die Vitalkapazität im Rahmen eines Bronchodilatationstests mit einem beta2-Sympathomimetikum normalisiert (bei Nicht-Ansprechen zusätzlich auch mit einem Anticholinergikum), und ob dann auch die Vitalkapazität ansteigt. Die Diagnose einer kombinierten Ventilationsstörung sollte nicht nur auf der Durchführung einer spirometrischen Untersuchung beruhen, sondern stets auch ganzkörperplethysmografische Messungen berücksichtigen.

Eine erstmals erkannte obstruktive Ventilationsstörung sollte stets zu folgenden Maßnahmen Anlass geben:

- Prüfung der Reversibilität der obstruktiven Ventilationsstörung,
- Durchführung einer Ganzkörperplethysmografie.

Die Reversibilitätstestung kann in jeder ärztlichen Praxis durchgeführt werden.

3. Referenzwerte

Insbesondere für die Beurteilung der erstmalig erhobenen Lungenfunktionsdaten sind Referenzbereiche aus epidemiologischen Studien notwendig. Die interindividuelle Variabilität spirometrischer Messwerte von Gesunden ist jedoch groß und liegt in der Größenordnung von $\pm 10-20\%$. Dies und die damit zusammenhängenden großen Differenzen zwischen den von verschiedenen Autoren bzw. Gremien empfohlenen Referenzwerten führen dazu, dass die Ergebnisbewertung unter Bezug auf solche Referenzwerte von "Normalpopulationen" wenig sensitiv ist.

Gleichungen zur Berechnung von Referenzbereichen der Lungenvolumina und des Atemflusses von Erwachsenen im Alter von 18 bis 70 Jahren finden sich in den Anlagen 1 und 2 (Quanjer et al., 1993; Brändli et al., 1996 und 2000).

Die derzeit vorwiegend verwendeten FVC- und FEV₁-Sollwerte von Quanjer et al., 1993 sind um ca. 9% niedriger als jene der heutigen gesunden nicht-rauchenden Bevölkerung (Baur et al., 1999; Brändli et al., 1996; Kuster et al., 2008).

Um eine einheitliche Beurteilung der Befunde zu gewährleisten, wird zunächst die weitere Verwendung der Sollwerte von Quanjer et al. (1993) empfohlen (Anlage 1). In Fällen mit grenzwertigen Befunden (gilt v. a. für alte und kleine Menschen; Baur, 2000) sollten aktuelle bestmögliche Sollwerte zur Interpretation herangezogen werden, dies gilt vor allem für die Beurteilung einer Restriktion. Eine Task Force der ERS wird voraussichtlich in Kürze neue Referenzwert-Empfehlungen aussprechen.

Die Abgrenzung eines Probanden bzw. eines Kollektivs vom Normalen hat stets eine Zielrichtung: Veranlassung von Kontrolluntersuchungen, Einleitung vorbeugender Maßnahmen, Durchführung einer bestimmten Behandlung, Erkennung von Risikogruppen, u. a. m. Entsprechend müssen die Grenzl意思ien unter Annahme zweckgebundener Sensitivitäts-/Spezifitäts-Relationen gewählt werden. In der Arbeitsmedizin sind Messwerte in diesem Kontext als Indikation für kurzfristigere Kontrolluntersuchungen und Verbesserung von Präventionsmaßnahmen zu verstehen. Anlage 3 gibt eine Graduierung der Messwertabweichungen wieder.

2. Bodyplethysmographie

Die Bodyplethysmografie erlaubt weitgehend mitarbeitersunabhängig die direkte Bestimmung der spezifischen Resistance (sR_t, sR_{eff}) und deren Kehrwerts, der spezifischen Conductance (sG_t, sG_{eff}). Es wird außerdem das thorakale Gasvolumen (TGV) ermittelt. Für den Atemwegswiderstand R_t(eff) ergibt sich: $R_{t(eff)} = sR_{t(eff)} / TGV \cdot K_3 = \tan \alpha / \tan \beta \cdot K_3$ (Ulmer et al., 1991; Baur, 2008).

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

sR_{eff} und R_{eff} zeichnen sich dadurch aus, dass sie proportional dem Kehrwert von $\tan \beta$ durch das Druck-Strömungs-Diagramm, definiert über das Flächenintegral nach dV , sind (Matthys et al., 1995). Nach Matthys et al. (1995) dividiert man nicht durch das am Ende der normalen Ausatmung gemessene TGV, sondern durch TGV plus der Hälfte des Atemzugvolumens VT ; entsprechend ergibt sich:

$$R_t = sR_t / (TGV + V_T/2) \cdot K_3 \text{ bzw. } R_{\text{eff}} = sR_{\text{eff}} / (TGV + V_T/2) \cdot K_3.$$

Moderne Ganzkörperplethysmografen erlauben mit ihrem Pneumotachometer und der dazugehörigen Software ohne Anwendung von Fremdgas die Erfassung aller statischen und dynamischen Lungenfunktionsparameter einschließlich des Residualvolumens (RV) und der totalen Lungenkapazität (TLC). Dabei ist es sinnvoll, entsprechend dem Vorschlag von Matthys et al. (1995) standardisiert den Messablauf vorzunehmen (ist nicht mit allen Geräten möglich). Der wesentliche Vorteil dieses Vorgehens mit entsprechendem Befundausdruck ist die Erleichterung einer "Blickbeurteilung und -diagnose" infolge der Darstellung aller akzeptierten, grafisch wiedergegebenen Atemkurven in Abhängigkeit vom absoluten individuellen Lungenvolumen.

Qualitätssichernde Maßnahmen

Es werden initial Druckströmungsdiagramme so lange geschrieben und verworfen, bis der durch den Temperatúrausgleich bedingte Drift nicht mehr vorhanden ist. Es sollten dann mindestens drei akzeptable Druckströmungsdiagramme und Verschlussdruckkurven registriert und gespeichert werden, wobei weitgehende Deckungsgleichheit vorliegen muss. Die Verschlussdruckkurven dürfen keine Schleifen bilden. Anzustreben ist dabei eine Atemfrequenz von 0,5 bis 1 Hz und Druckänderungen im Druckströmungsdiagramm von maximal 2 kPa. Die Streuung des TGV soll nicht mehr als 5% des Mittelwertes, die Streuung der spezifischen Resistance nicht mehr als 10% des Mittelwertes betragen; es wird jeweils die Median-Kurve ausgewählt.

Zur Befundbeurteilung wird der Sollgrenzwert nach Matthys et al. (1995) empfohlen.

3. Diffusionskapazität und Transferkoeffizient

Die Bestimmung der Diffusionskapazität D_L erfolgt heute fast ausschließlich im Single breath-Verfahren, bei dem der Patient nach Einatmung eines ca. 0,25 % CO bzw. 50 ppm NO enthaltenden Gasgemisches 10 s (bei neueren Geräten 4 - 8 s) lang die Luft anhält.

Der Transferkoeffizient K leitet sich aus der Diffusionskapazität D_L ab, und zwar indem letztere durch das Alveolarvolumen V_A dividiert wird. So gilt für Kohlenmonoxid: $K_{\text{CO}} = D_{\text{L,CO}} \cdot V_A^{-1}$ [$\text{mmol} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$]

Sollwertformeln für $D_{\text{L,CO}}$ nach Cotes et al. (1993) und MacIntyre (2005), wobei H = Körpergröße [cm], A = Alter [Jahren], Altersbereich = 25 - 70 Jahre:

$D_{\text{L,CO}}$

a. Frauen:

Sollmittelwert: $0,0818 \times H - 0,049 \times A - 2,47$ [$\text{mmol} \times \text{min}^{-1} \times \text{kPa}^{-1}$]

Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 1,92

b. Männer:

Sollmittelwert: $0,1111 \times H - 0,066 \times A - 6,03$ [$\text{mmol} \times \text{min}^{-1} \times \text{kPa}^{-1}$]

Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 2,32

K_{CO} (= $D_{\text{L,CO}}/\text{TLC}$)

a. Frauen:

Sollmittelwert: $0,0818 \times H - 0,049 \times A - 2,47 / 6,60 \times H - 5,79$ [$\text{mmol} \times \text{min}^{-1} \times \text{kPa}^{-1} \times \text{L}^{-1}$]

Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 0,99

b. Männer:

Sollmittelwert: $0,1111 \times H - 0,066 \times A - 6,03 / 7,99 \times H - 7,08$ [$\text{mmol} \times \text{min}^{-1} \times \text{kPa}^{-1} \times \text{L}^{-1}$]

Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 1,15.

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

Neuerdings gibt es auch ein Verfahren mittels Stickstoffmonoxid, das eine ca. 300fach höhere Affinität zu Hämoglobin aufweist als CO, die Diffusionskapazität zu bestimmen. Die Messung wird kaum vom pulmonal-kapillaren Blutvolumen beeinflusst, so dass mit diesem Verfahren die tatsächliche Membran-Diffusionskapazität ermittelt werden kann. Es wurden folgende Sollwertformeln veröffentlicht (Lee van der et al., 2007):

$D_{L,NO}$

a. Frauen:

Sollmittelwert: $- 0,5947 \times H - 0,077 \times A - 48,28$ [mmol x min⁻¹ x kPa⁻¹]
Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 8,561

b. Männer:

Sollmittelwert: $- 0,5984 \times H - 0,25 \times A - 44,20$ [mmol x min⁻¹ x kPa⁻¹]
Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 10,480

K_{NO} (= $D_{L,CO}/VA$)

a. Frauen:

Sollmittelwert: $- 0,0203 \times H - 0,025 \times A + 11,52$ [mmol x kPa⁻¹ x kPa⁻¹ x L⁻¹]
Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 0,787

b. Männer:

Sollmittelwert: Sollmittelwert: $- 0,015 \times H - 0,045 \times A + 9,47$ [mmol x kPa⁻¹ x kPa⁻¹ x L⁻¹]
Sollgrenzwert: Sollmittelwert - 1,066

Qualitätssichernde Maßnahmen

Anhand des Spirogramms kann man die Akzeptabilität des Atemmanövers überprüfen. In der Single breath-Methode atmet der Proband bis zum Residualvolumen aus, dann unter Zumischung des Testgases bis zur Vitalkapazität ein und hält schließlich zehn (in neueren Geräten vier bis acht) Sekunden lang den Atem an, um anschließend wieder langsam auszuatmen. Die Einatmungszeit soll zwischen 2,5 und 4 s betragen. Die Dauer der Expiration soll 4 s unterschreiten, die IVC soll größer als 90% von VCmax sein. Während des Verschlusses sollte kein Munddruck auftreten, gegebenenfalls sind mit den Händen die aufgeblasenen Backen zu komprimieren. Das Spirogramm darf keine Stufen oder Leckagen aufweisen. Es werden zwei akzeptable Messungen im Abstand von mindestens 4 Minuten vorgenommen, deren Ergebnisse um nicht mehr als 10% von ihrem Mittelwert abweichen dürfen. Der Zeitraum zum letzten Tabakkonsum soll mindestens 24 Stunden betragen. Gegebenenfalls sind bei Abweichungen des Hb und erhöhtem Hb-CO rechnerisch Korrekturen des $D_{L,CO}$ -Messwertes vorzunehmen. Anzugeben ist der Mittelwert beider akzeptablen Versuche.

4. Blutgasanalyse

Die Blutgase werden heute routinemäßig im hyperämisierten Ohrläppchenblut nach einer mindestens 10minütigen Ruhephase (= Sitzen) bestimmt. Hierzu ist es erforderlich, das Ohrläppchen zehn Minuten zuvor mit Finalgon® zur Durchblutungsförderung einzureiben. Mit einer Lanzette wird dann die Haut perforiert und mit einer Mikrokapillare Blut aufgefangen.

Tabelle 1: Schema zur Differenzierung der Störung des Säure-Basen-Gleichgewichts

Diagnose	Messergebnisse	standard.			
		pH	P _{a,CO2}	Bikarb.	BE
respiratorische Azidose	- dekompensiert	↓	↑	n	n
	- kompensiert	n	↑	↑	+
respiratorische Alkalose	- dekompensiert	↑	↓	n	n
	- kompensiert	n	↓	↓	-
metabolische Azidose	- dekompensiert	↓	n(↓)	↓	-

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

	- kompensiert	n	↓	↓	-
metabolische Alkalose	- dekompensiert	↑	n	↑	+
	- kompensiert	n	↑	↑	+

↓: vermindert; ↑: gesteigert; n: im Normbereich; +: positiv; -: negativ (in Anlehnung an Schuster, 1994)

Zur Bewertung der Blutgase wird auf die "Empfehlungen zur Durchführung und Bewertung von Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie" verwiesen (Worth und Breuer, 1998).

Blutgasanalysen unter körperlicher Belastung

Anzustreben ist eine in mindestens drei Stufen über mindestens je 4 min Dauer erreichte individuelle **submaximale Belastung**, mindestens 80 % der maximalen Belastung sollten erreicht werden. Die maximale Belastung kann mit $HF_{max} = 220 - \text{Alter}$ abgeschätzt werden.

Wird eine Blutgasanalyse im arterialisierten Kapillarblut unter Stufen-Belastung durchgeführt, so ist auf das Erreichen des sogenannten steady state zu achten, d. h. die Abnahme darf frühestens am Ende der vierten Minute bei gleichbleibender Belastungsstufe erfolgen. In jedem Fall muss die Abnahme aber vor Abbruch der Belastung durchgeführt werden. Dabei sollten in Anlehnung an den Anhang 2 "Leitfaden für die Ergometrie bei arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen" die Probanden folgende Wattzahlen erreichen:

Frauen	Alter (Jahre)								
	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
Gewicht/kg	Watt								
40-45	110	105	100	95	90	90	85	75	75
46 - 49	115	110	105	100	100	95	90	85	80
50 - 53	120	115	110	105	100	100	95	90	85
54 - 57	125	120	120	115	110	105	100	100	95
58 - 61	130	125	125	120	115	115	105	100	100
62 - 65	135	135	130	125	120	120	110	110	105
66 - 69	140	140	135	130	130	125	120	115	110
70 - 73	150	145	140	135	130	130	125	120	115
74 - 77	155	150	145	140	135	135	130	125	120

Männer	Alter (Jahre)								
	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
Gewicht (kg)	Watt								
60-65	200	210	200	185	175	170	155	150	135
66 - 69	225	215	205	195	180	175	160	155	140
70 - 73	230	220	210	200	190	180	165	160	145
74 - 77	235	225	215	205	195	185	170	165	150
78 - 81	240	230	220	200	190	180	170	160	150
82 - 85	245	235	225	205	195	185	175	160	150
86 - 89	250	240	230	220	210	200	190	180	170

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

90 - 93	255	245	235	225	215	205	195	185	175
>94	260	250	240	230	220	210	200	190	180

Qualitätssichernde Maßnahmen

Das mittels Finalgon® über mindestens 10 Minuten hyperämisierte Ohrläppchen darf nicht gequetscht werden, auch darf die Kapillare keine Luftbläschen enthalten und sollte möglichst innerhalb weniger Minuten analysiert werden.

Die Doppelwerte der Blutgase sollten um nicht mehr als 5%, die des pH um nicht mehr als 0,02 voneinander abweichen (Bezugspunkt ist der höhere Wert), ansonsten ist die Analyse einer weiteren Probe erforderlich.

Befundinterpretation

Um eine einheitliche Beurteilung der Befunde zu gewährleisten, wird zunächst die weitere Verwendung der Sollwerte von Ulmer und Reichel (1983) empfohlen, obwohl diese etwas zu hoch erscheinen. Weitere Sollwertempfehlungen nach Untersuchungen an ehemaligen und aktiven männlichen und weiblichen Beschäftigten aus verschiedenen Industriebetrieben stammen u. a. von Voitowitz et al. (1969 a, b). Die definitive Interpretation von grenzwertigen Befunden sollte sich an den derzeit validesten Sollwerten orientieren. Entsprechend den "Empfehlungen zur Durchführung und Bewertung von Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie" ist ein belastungsbedingter Abfall des P_{a,O_2} um mehr als 5 mmHg in den pathologischen Bereich unterhalb der unteren Sollwertgrenze oder die Zunahme einer in Ruhe bereits vorhandenen Hypoxämie als auffällig zu werten. Sowohl in Ruhe als auch unter Belastung muss für die adäquate Einschätzung des P_{a,O_2} die Ventilationsarbeit, d. h. der P_{a,CO_2} berücksichtigt werden. Nicht selten findet sich bei obstruktiven Atemwegserkrankungen eine leichte Hyperventilation bereits in Ruhe. Die Berechnung auf einen sogenannten Standard- P_{a,O_2} in Ruhe wird bei Diffusionsstörungen empfohlen (Dieckmann und Smidt 1984): $Standard - P_{a,O_2} = P_{a,O_2} \text{ aktuell} - 1,66 \times (40 - P_{a,CO_2} \text{ aktuell})$. Bei Verteilungsstörungen ist der Grad der (habituellen) alveolären Ventilation in die Beurteilung einzubeziehen. Belastungen zwischen 80 % und 50 % der oben angegebenen alters- und geschlechtsstandardisierten Wattzahlen werden als mittelgradige körperliche Belastung bezeichnet, Belastungen < 50 % als leichte körperliche Belastung. Belastungsdauer, Intensität der Luftnot (gemäß Borg-Skala), erreichte Wattzahl und Abbruchgründe sind zu dokumentieren.

5. Spiroergometrie

Die Spiroergometrie sollte durchgeführt werden, wenn eine Leistungseinschränkung des kardiopulmonalen Systems insgesamt vermutet wird, insbesondere wenn nach den bisherigen Untersuchungen nicht zwischen kardialer und pulmonaler Funktionseinschränkung unterschieden werden kann. Weiterhin kann eine unzureichende Mitarbeit des Untersuchten mit Hilfe des respiratorischen Quotienten und der Lage der aerob anaeroben Schwelle aufgedeckt werden. Bedeutsam für die Differenzierung der Funktionsstörungen sind neben der EKG-Aufzeichnung die Bestimmung der alveolo-arteriellen Sauerstoffdruckdifferenz ($P_{(A-a),O_2}$), die maximale Sauerstoffaufnahme ($V_{O_{2max}}$), die anaerobe Schwelle ($V_{O_{2,AT}}$), der Verlauf des O_2 -Pulses (O_2/HR) und die Aufzeichnung der Flussvolumenkurve unter Belastung.

Bei den Belastungsprotokollen werden zwei Grundtypen unterschieden: Belastungen im Stufen-Verfahren und Belastungen im Rampenverfahren. Zur Beurteilung der Lungenfunktion über die Bestimmung der Blutgase unter Belastung empfiehlt sich eine stufenförmige Belastung. Steady-state heißt, dass sich ein Gleichgewicht des P_{a,O_2} und P_{a,CO_2} einstellt. Damit können die am Ende der 4minütigen Belastungsstufe entnommenen Blutgase als repräsentativ für die definierte Belastung angesehen werden. Stufenverfahren werden meist bei submaximalen, Rampenverfahren bei maximalen Belastungsverfahren und in der Regel in der Spiroergometrie verwendet, da hierdurch die Kurvenverläufe geglättet und die Auswertung erleichtert werden.

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

Bei der rampenförmigen Belastung wird die Belastung kontinuierlich gesteigert. In der Praxis lässt sich dieses erreichen durch sehr kleine Belastungssteigerungen alle 15 - 30 Sekunden (z.B. 5 Watt alle 20 Sekunden, entsprechend 15 W/min). Ein Steady-state wird hierbei nicht eingestellt.

6. Unspezifische bronchiale Hyperreagibilität

Die unspezifische bronchiale Überempfindlichkeit (Hyperreaktivität) ist definiert durch eine krankhaft gesteigerte konstriktorische Reaktion der Atemwege auf chemische, physikalische und pharmakologische Reize. Sie ist ein wesentliches Merkmal des Asthma bronchiale allergischer und nicht-allergischer Genese; sie ist dabei häufig schon im Frühstadium und auch im beschwerdefreien Intervall nachweisbar.

Die Erfassung und Bewertung der unspezifischen bronchialen Hyperreaktivität stützt sich auf die "Empfehlungen zur Durchführung bronchialer Provokationstests mit pharmakologischen Substanzen" (Arbeitskreis Bronchiale Provokationstests, Klein, 1997). Hier finden sich auch ausführliche Darstellungen der Untersuchungstechnik und der erforderlichen Medikamentenpausen. In den folgenden zwei Tabellen wird auf Indikationen und Kontraindikationen hingewiesen.

Tabelle 2: Indikationen für die Testung der unspezifischen bronchialen Hyperreagibilität (Klein, 1997)

1	anamnestisch Anfälle von Atemnot ohne klinisches oder lungenfunktionsanalytisches Korrelat
2	Husten unklarer Genese (nach Ausschluss anderer Ursachen)
3	"inadäquate" Atemnot unter Belastung (neben der Lungenfunktionsmessung vor und nach einer Ergometrie)
4	gutachterliche Fragestellungen
5	arbeitsmedizinische Fragestellungen
6	wissenschaftliche Fragestellungen
7	epidemiologische Fragestellungen

Tabelle 3: Kontraindikationen für die Testung der unspezifischen bronchialen Hyperreagibilität (Klein, 1997)

1	mittelschwere oder schwere Atemwegsobstruktion
2	schwere kardiale Erkrankungen, insbesondere bradykarde Rhythmusstörungen, Gebrauch von Parasympathomimetika
3	spirometrieinduzierte Obstruktion (gilt nicht für ganzkörperplethysmographische Messung)
4	Exazerbation eines Asthma bronchiale
5	schwere arterielle Hypertonie
6	Schwangerschaft

Besondere Vorsicht ist auch geboten, wenn in der Vorgeschichte ein Status asthmaticus eruiert ist. Der Arzt sollte in Notfallbereitschaft sein.

Empfohlen werden kann die Durchführung mittels der sog. Reservoirmethode mit dem PARI Provocation Test® II, wobei als Testsubstanz vorzugsweise Methacholin in fünf Stufen verabreicht wird (Tabelle).

Tabelle 4: Methacholin (MCH)

Stufe	Vernebler-Laufzeit	Aerosol-Volumen	Aerosol-Output	MCH-Konzentration	MCH-Einzeldosis	kumulative MCH-Dosis**
-------	--------------------	-----------------	----------------	-------------------	-----------------	------------------------

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

	[s]	im Beutel [L]	[mg]	im Vernebler [mg / mL ⁻¹]	im Beutel** [mg]	[mg]
I *	6	0,5	4,60	3,3	0,015	0,015
II	12	1,0	9,21	3,3	0,030	0,046
III	24	2,0	18,42	3,3	0,061	0,106
IV	48	4,0	36,84	3,3	0,122	0,228
V	96	8,0	73,68	3,3	0,243	0,471

* Kann entfallen, falls eine stärkere bronchiale Überempfindlichkeit unwahrscheinlich ist.

** Angegeben ist die am Mundstück ermittelte Dosis (Knoch et al.,1995).

Befundinterpretation

Der Befund ist auf der Basis einer Dosis-Wirkungs-Beziehung zu erheben. Ein positives Ergebnis ist in Form der Provokationsdosis (PD) oder als Provokationskonzentration (PK) anzugeben.

Ein positiver inhalativer Methacholin-Test liegt vor, wenn eine der folgenden Bedingungen bei einer Methacholin-Dosis von Σ 0,30 mg erfüllt ist:

- Anstieg des sR_t um mindestens 100 % auf mindestens 2,0 kPa * s
- Abfall des sG_t um mindestens 50 % auf mindestens 0,5 kPa * s
- Abfall des FEV_1 um mindestens 20 %

Tabelle 5: Graduierung der unspezifischen bronchialen Hyperreagibilität am Beispiel des Methacholin (MCH)-Provokationsschemas mit dem PARI Provocation Test® II (Baur, 2000; Klein, 1997).

PD [mg MCH]-Bereich	Grad der bronchialen Hyperreagibilität
< 0,05 mg MCH	hochgradige Hyperreagibilität
0,05 - 0,14 mg MCH	mittelgradige Hyperreagibilität
0,15 - 0,29 mg MCH	geringgradige Hyperreagibilität
≥ 0,30 mg MCH	keine Hyperreagibilität

7. Verlaufskontrollen und Cross-Shift-Untersuchungen

Mittels elektronischer Spirometer, orientierend auch mittels Peak-Flow-Meter, lässt sich bei Verdacht auf ein exogenes Asthma der Einfluss, z. B. von berufsbezogenen Belastungen auf die Lungenfunktion am Arbeitsplatz, objektivieren. Wichtig ist dabei eine gute Instruktion und Kooperationsbereitschaft des Probanden. Im Einzelnen s. 1. (Spirometrie). Das Verfahren liefert in der betriebsärztlichen Praxis wichtige Aussagen über Art und Ursache von Asthmaerkrankungen.

8. Die Compliance-Messung (Lungendehnbarkeits-Messung)

Lungenfibrosen weisen eine restriktive Ventilationsstörung auf, deren Ausmaß vom Ausprägungsgrad der Fibrose und dem zwischen den Fibrose-Herden entwickelten Emphysem abhängig ist. Eine verminderte Dehnbarkeit der Lunge kann auftreten, wenn das ventilierbare Lungengewebe in Folge einer Bindegewebsvermehrung reduziert ist. Dies ist bei fortgeschrittenen Fibrosen der Fall, ist aber auch bei einem Atemwegsverschluss im Rahmen einer Atemwegsobstruktion zu beobachten. Spirometrisch und bodyplethysmografisch durchgeführte Lungenfunktionsanalysen lassen Aussagen zum Vorliegen einer Restriktion zu. Allein die Compliance-Messung erlaubt jedoch eine Aussage zur Lungendehnbarkeit, der elastischen Beschaffenheit der Lunge.

Während der normalen Atemexkursion kommt es zu intrapleuralen Druckänderungen. Diese werden im Rahmen der Compliance-Messung nicht im Pleuraspalt gemessen, sondern mittels einer im

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

thorakalen Anteil des Oesophagus platzierten Sonde (30-40 cm aboral; Einzelheiten s. Baur 2008, Ulmer et al. 2003). Für diese Untersuchung gilt wegen der elastischen Eigenschaften der Lungen und des Thorax das sog. Hooke'sche Gesetz. Dieses besagt, dass eine Änderung des Volumens (wird gleichzeitig spirometrisch erfasst) der Änderung des darauf einwirkenden Druckes bis zum Erreichen der Elastizitätsgrenze direkt proportional ist. Diese Volumen-Druck-Beziehung hängt, falls sie unter statischen Bedingungen gemessen wird, nur von der Volumenänderung ab. Sie wird definiert als Volumenänderung pro Einheit der Druckänderung (Liter/kPa) und wird als Compliance bezeichnet. Für die unter sehr langsamer In- und Expiration gemessene statische Compliance gilt die Formel:

$$C_{\text{stat}} = \frac{\Delta V}{\Delta P}$$

Im Gegensatz zur statischen Compliance wird die dynamische Compliance (C_{dyn}) während der Spontanatmung, also nicht unter statischen Bedingungen bestimmt. Bei hoher Atemfrequenz, die z. B. Patienten mit Lungenkrankheiten aufweisen können, kann letztere niedriger ausfallen als die statische Compliance.

Um die sog. spezifische Compliance zu erhalten, wird der Quotient-Compliance zur funktionellen Residualkapazität gebildet:

$$C_{\text{stat spez}} = C_{\text{stat}}/\text{FRC} \text{ bzw. } C_{\text{dyn spez}} = C_{\text{dyn}}/\text{FRC}$$

Die Einheit der spezifischen Compliance ist 1/kPa. Die funktionelle Residualkapazität (FRC) entspricht dem in freier Verbindung mit den Atemwegen stehenden alveolären und bronchialen Ausgangsvolumen vor der Inspiration, das die Atem-Ruhelage kennzeichnet. Indikationen für die Compliance-Bestimmung stellen v. a. Lungenfibrosen, aber auch Pleurafibrosen und das Lungenemphysem dar.

Die in der Literatur publizierten Normwerte unterscheiden sich erheblich. Die Sollwertformeln enthalten Einflussfaktoren wie Körpergröße, Alter und Lungenfunktionsparameter wie das intrathorakale Gasvolumen.

Es werden die in einem größeren, gut definierten Kontrollkollektiv erhobenen Referenzwerte von Galetke et al. (2005) favorisiert:

Cstat (untere Grenze 5%): $(0,0267 * \text{Größe} - 1,4385) - 1,178$

Cstat (obere Grenze 95%): $(0,0267 * \text{Größe} - 1,4385) + 1,956$

Cstat spez (untere Grenze 5%): $(- 0,0042 * \text{Alter} + 1,0102) - 0,325$

Cstat spez (obere Grenze 95%): $(- 0,0042 * \text{Alter} + 1,0102) + 0,488$

Cdyn (untere Grenze 5%): $(- 0,0114 * \text{Alter} + 3,4149) - 1,274$

Cdyn (obere Grenze 95%): $(- 0,0114 * \text{Alter} + 3,4149) + 1,971$

Cdyn spez. (untere Grenze 5%): $(- 0,0048 * \text{Alter} + 0,9302) - 0,303$

Cdyn spez. (obere Grenze 95%): $(- 0,0048 * \text{Alter} + 0,9302) + 0,531$

Literatur

1. American Thoracic Society/American College of Chest Physicians: ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. Am J Respir Crit Care Med 2003;167:211-277
2. Ammon J, Marek W, Baur X. Erstellung eines Normalkollektivs für den Methacholin-Provokationstest. Atemw Lungenkrkh 1993;19;7:303-304
3. Angerer P, Nowak D. Working in permanent hypoxia for fire protection - impact on health. Int Arch Occup Environ Health 2003;76:87-102
4. Baur X. Lungenfunktionsprüfung und Allergiediagnostik. München-Deisenhofen: Dustri Verlag, 1998
5. Baur X. Crashkurs Lungenfunktion. München-Deisenhofen: Dustri Verlag, 2008
6. Baur X, Isringhausen-Bley S, Degens P. Comparison of lung function reference values. Int Arch Occup Environ Health 1999;72:69-83
7. Bölcskei P, Heitmann RH, Hoffarth HP, Islam MS, Krieger E, Kronenberger H, Matthys H, Mitfessel H,

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

- Morr H, Nowak D, Petro W, Pleger E, Rasche K, Rauls G, Rausch V, Rühle H, Schlegel J, Ulmer WT. Manual für die Lungenfunktionsdiagnostik (Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle). Stuttgart: Thieme Verlag, 1998
8. Brändli O, Schindler C, Kunzli N, Keller R, Perruchoud AP. Lung function in healthy never smoking adults: reference values and lower limits of normal of a Swiss population. *Thorax* 1996;51(3):277-283
 9. Brändli O, Leuenberger P, Schindler C, Baur X, Degens P, Kunzli N, Keller R, Perruchoud AP. Reestimated reference equations for the 5th percentiles of lung function variables in the adult population of Switzerland (SAPALDIA-study). *Thorax* 2000;55:173-174
 10. Burge PS, Moscato G. Physiological assessment: serial measurements of lung function. In: Bernstein LI, Chang-Yeung M, Malo JL, Bernstein DI, eds. *Asthma in the workplace*. 2d ed. New York: Deller. 1999:193-210
 11. Cotes JE, Chinn DJ, Quanjer PH, Roca J, Yernault JC. Standardization of the measurement of transfer factor (diffusing capacity). European Community for Steel and Coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1993;6:41-52
 12. Crapo RO. Pulmonary function testing. *N Engl J Med* 1994;331:25-30
 13. Deutsche Atemwegsliga. Durchführungen von Lungenfunktionsprüfungen in der Praxis. *Pneumologie* 1994;48:292-295
 14. Galetke W, Feier C, Muth T, Rühle K-H, Borsch-Galetke E, Randerath: Neue Referenzwerte für die dynamische und statistische Compliance der Lunge bei Männern. *Pneumologie* 2005;59:Suppl. 5,60
 15. Galetke W, Feier C, Muth T, Rühle KH, Borsch-Galetke E, Randerath W. Reference values for dynamic and static pulmonary compliance in men. *Respir Med* 2007;101:1783-1789
 16. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen. Stuttgart: Gentner Verlag 1998. Anhang 1 "Leitfaden Lungenfunktionsprüfung", Anhang 2 "Leitfaden Ergometrie", S. 625-650
 17. Klein G. Deutsche Gesellschaft für Pneumologie - Wissenschaftliche Arbeitsgruppe "Bronchiale Provokationstests": Empfehlungen zur Durchführung bronchialer Provokationstests mit pharmakologischen Substanzen. *Med Klinik* 1997;92:458-463
 18. Knoch M, Wunderlich E, Köhler D. Performance reproducibility of an aerosol delivery system for bronchial challenge tests. *Eur Respir J* 1995;8:19:104s
 19. Kroidl D, Nowak D, Seysen U. Bewertung und Begutachtung in der Pneumologie. Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga und der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme Verlag, 2000
 20. Kuster SP, Kuster D, Schindler D, Rochat MK, Braun J, Held L, Brändli O. Reference equations for lung function screening of healthy never-smoking adults aged 18-80 years. *Eur Respir J* 2008;31:860-868
 21. Lee van der I, Zanen P, Stigter N, Bosch van den JM, Lammers J-WJ. Diffusing capacity for nitric oxide: Reference values and dependence on alveolar volume. *Respir Med* 2007;101(7):1579-1584
 22. MacIntyre N, Crapo RO, Viegi G, Johnson DC, Grinten van der CPM, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Enright P, Gustafsson P, Hankinson J, Jensen R, McKay R, Miller MR, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino R, Wanger J. Standardisation of the single-breath determination of carbon monoxide uptake in the lung. *Eur Respir J* 2005;26:720-735
 23. Matthys H, Zaiss AW, Theissen JL, Virchow JC, Werner P. Definitionen, Soll- und Meßwerte zur Diagnose obstruktiver, restriktiver sowie gemischter Ventilationsstörungen für die klinische Lungenfunktionsdiagnostik. *Atemw-Lungenkrkh* 1995;21:130-138
 24. Miller MR, Hankinson J, Brusasco V, Burgos F, Casaburi R, Coates A, Crapo R, Enright P, Grinten van der CPM, Gustafsson P, Jensen R, Johnson DC, MacIntyre N, McKay R, Navajas D, Pedersen OF, Pellegrino R, Viegi G, Wanger J. Standardisation of spirometry. *Eur Respir J* 2005;26:319-338
 25. Neal AV, Demers RY. Significance of the inability to reproduce pulmonary function test results. *J Occup Med* 1994;36:660-666
 26. Quanjer P, Tammeling GJ, Cotes JE, Pederson OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests. European community for Steel and Coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 1993;6, suppl. 5-40
 27. Schuster HP. Störungen des Säure-Basen-Haushalts. In: Gross R, P Schölmerich, W. Gerold (eds.): *Die Innere Medizin*. Stuttgart: Schattauer Verlagsgesellschaft, 1994
 28. Ulmer WT, Reichel G. Untersuchungen über die Altersabhängigkeit der alveolären und arteriellen Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrücke. *Klin Wschr* 1983;41:1-6
 29. Ulmer WT, Nolte D, Lecheler J. Die Lungenfunktion. Methodik und klinische Anwendung. 7. Auflage Thieme Verlag Stuttgart 2003
 30. Wegner R, Winterfeld v H, Wedekind S, Nern E, Poschadel B, Szadkowski D. Zur Validität von Lungenfunktionsbefunden. Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e. V, 33. Jahrestagung 1993, Stuttgart: Gentner Verlag, 319-323
 31. Weitowitz H-J, Szadkowski D, Lehnert G. Feldstudie zum Normverhalten der arteriellen Blutgase und des pH berufstätiger Männer und Frauen vor und gegen Ende dosierter Belastung im Hinblick auf die Begutachtung. *Arch Kreislaufforschung* 1969a;58(1-2):35-53
 32. Weitowitz H-J, Schäcke G, Weitowitz RH. Arterielle Blutgase berufstätiger Männer und Frauen vor und

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

gegen Ende abgestufter dosierter Arbeitsbelastung. Int Arch Gewerbepathol Gewerbehyg 1969b;25:124-139

33. Worth H, Breuer HWM. Deutsche Gesellschaft für Pneumologie - Empfehlungen zur Durchführung und Bewertung von Belastungsuntersuchungen in der Pneumologie. Pneumologie 1998;52:225-231

Anlage 1

Sollmittel- und Sollgrenzwert-Gleichungen nach Quanjer et al. 1993 (18)

a) Frauen				
Variable	Einheit	Sollmittelwert	RSD	1,64 RSD
IVC	L	$4,66 \times L - 0,026 \times A - 3,28$	0,42	0,69
FVC	L	$4,43 \times L - 0,026 \times A - 2,89$	0,43	0,71
TLC	L	$6,60 \times L - 5,79$	0,60	0,99
RV	L	$1,81 \times L + 0,016 \times A - 2,00$	0,35	0,58
FRC	L	$2,24L \times L + 0,001 \times A - 1,00$	0,50	0,82
RV/TLC	%	$0,34 \times A + 18,96$	5,83	9,6
FRC/TLC	%	$0,16 \times A + 45,1$	5,93	9,8
FEV ₁	L	$3,95 \times L - 0,025 \times A - 2,60$	0,38	0,62
FEV ₁ /VC	%	$-0,19 \times A + 89,10$	6,51	10,7
FEF _{25-75%}	L/s	$1,25 \times L - 0,034 \times A + 2,92$	0,85	1,40
PEF	L/s	$5,50 \times L - 0,030 \times A - 1,11$	0,90	1,48
FEF ₂₅	L/s	$3,22 \times L - 0,025 \times A + 1,60$	1,35	2,22
FEF ₅₀	L/s	$2,45 \times L - 0,025 \times A + 1,16$	1,10	1,81
FEF ₇₅	L/s	$1,05 \times L - 0,025 \times A + 1,11$	0,69	1,13

b) Männer				
Variable	Einheit	Sollmittelwert	RSD	1,64 RSD
IVC	L	$6,10 \times L - 0,028 \times A - 4,65$	0,56	0,92
FVC	L	$5,76 \times L - 0,026 \times A - 4,34$	0,61	1,00
TLC	L	$7,99 \times L - 7,08$	0,70	1,15
RV	L	$1,31 \times L + 0,022 \times A - 1,23$	0,41	0,67
FRC	L	$2,34L \times L + 0,009 \times A - 1,09$	0,6	0,99
RV/TLC	%	$0,39 \times A + 13,96$	5,46	9,0
FRC/TLC	%	$0,21 \times A + 43,8$	6,74	11,1
FEV ₁	L	$4,30 \times L - 0,029 \times A - 2,49$	0,51	0,84
FEV ₁ /VC	%	$-0,18 \times A + 87,21$	7,17	11,8

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

FEF _{25-75%}	L/s	$1,94 \times L - 0,043 \times A + 2,70$	1,04	1,71
PEF	L/s	$6,14 \times L - 0,043 \times A - 0,15$	1,21	1,99
FEF ₂₅	L/s	$5,46 \times L - 0,029 \times A - 0,47$	1,71	2,81
FEF ₅₀	L/s	$3,79 \times L - 0,031 \times A - 0,35$	1,10	1,81
FEF ₇₅	L/s	$2,61 \times L - 0,026 \times A - 1,34$	0,78	1,23

L: Körperlänge (m);

A: Alter (Jahre);

RSD: residuelle Standardabweichung, d. h. hier, diejenige Standardabweichung, die nicht durch die Parameter "Größe", "Alter" und "Geschlecht" erklärt werden kann.

Der untere Grenzwert errechnet sich durch Abzug des 1,64fachen der residuellen Standardabweichung vom Sollmittelwert.

1) zwischen 18 und 25 Jahren sollen 25 Jahre in die Gleichungen eingesetzt werden

Anlage 2

Weitere Lungenfunktions-Sollwertempfehlungen (Brändli et al. 1996; 2000; Baur 2002; Matthys et al. 1995)

a) Frauen					
Parameter	Einheit	Sollmittelwert	Sollgrenzwert	Altersbereich [Jahre]	Autor
FVC	L	$\exp(-9,457 + 2,0966 \ln(H) + 0,0091 \times A - 0,000152 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,194 - 0,00112 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEV ₁	L	$\exp(-8,217 + 1,8475 \ln(H) + 0,0035 \times A - 0,000130 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,174 - 0,00137 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEV ₁ /FVC	%	$100 \exp(1,283 - 0,2640 \ln(H) - 0,0037 \times A)$	Sollmittelwert x exp (-0,103 - 0,00059 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
PEF	L x s ⁻¹	$\exp(-5,790 + 1,4902 \ln(H) + 0,0042 \times A - 0,000082 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,291 - 0,00349 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₂₅₋₇₅	L x s ⁻¹	$\exp(-3,247 + 0,9020 \ln(H) + 0,0044 \times A - 0,000240 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,235 - 0,00599 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₇₅	L x s ⁻¹	$\exp(-4,048 + 1,1453 \ln(H) + 0,0020 \times A - 0,000068 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,362 - 0,00696 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₅₀	L x s ⁻¹	$\exp(-2,332 + 0,7376 \ln(H) + 0,0045 \times A - 0,000166 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,200 - 0,00638 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₂₅	L x s ⁻¹	$\exp(-4,757 + 1,1220 \ln(H) - 0,0035 \times A - 0,000319 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,262 - 0,00402 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FRC	L	$0,0224 \times H + 0,001 A - 1,00$	Sollmittelwert ± 0,82	18 - 70	Quanjer et al. (1993)
TGV	L	$0,03456 \times H + 0,003 \times A - 1,404 \times BI$	Sollmittelwert ± 0,617		Ulmer et al. (1991)

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

R_t, R_{eff}	$kPa \times s \times L^{-1}$	0,20	Sollmittelwert + 0,0967	16 - 86	Matthys et al. (1995)
sR_t, sR_{eff}	$kPa \times s$	$0,0066 \times H - 0,44$	Sollmittelwert + 0,0952	16 - 86	Matthys et al. (1995)
$C_{L,stat}$	$L \times kPa^{-1}$	$0,0267 \times H - 1,4385$	Sollmittelwert - 1,178 bzw. + 1,956	20 - 70	Galetke et al. x (2007)
$C_{L,dyn}$	$L \times kPa^{-1}$	$0,0114 \times A + 3,4149$	Sollmittelwert - 1,274 bzw. + 1,971	20 - 70	Galetke et al. x (2007)
P_{a,O_2}	mm Hg	$108,9 - 0,26 \times A - 0,073 \times BI$	Sollmittelwert - 14	15 - 70	Ulmer et al. (1983)
P_{a,O_2}	mm Hg	$- 0,32 \times A + 98$	Sollmittelwert - 10	15 - 65	Woitowitz et al. (1969a)
$D_{L,CO, sb}$	$mmol \times min^{-1} \times kPa^{-1}$	$0,0818 \times H - 0,049 \times A - 2,74$	Sollmittelwert - 1,92	25 - 70	Cotes et al. (1993)

$\exp(x) = e^x$;

H = Körpergröße [cm];

A = Alter [Jahren];

BI = Broca-Index;

L = Luftdruck [mm Hg];

P = Leistung [W(att)];

X = bei Männern erhoben.

b) Männer					
Parameter	Einheit	Sollmittelwert	Sollgrenzwert	Altersbereich [Jahre]	Autor
FVC	L	$\exp(-10,321 + 2,1685 \ln(H) + 0,0655 \times A - 0,001325 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,140 - 0,00166 x age)	18 - 25	Brändli et al. (2000)
FVC	L	$\exp(-9,540 + 2,1685 \ln(H) + 0,0030 \times A - 0,000075 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,140 - 0,00166 x age)	26 - 60	Brändli et al. (2000)
FEV ₁	L	$\exp(-9,280 + 1,9095 \ln(H) + 0,0795 \times A - 0,001698 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,143 - 0,00158 x age)	18 - 25	Brändli et al. (2000)
FEV ₁	L	$\exp(-8,240 + 1,9095 \ln(H) + 0,0037 \times A - 0,000033 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,143 - 0,00158 x age)	26 - 60	Brändli et al. (2000)
FEV ₁ /FVC	%	$100 \exp(1,526 - 0,3144 \ln(H) - 0,0033 \times A)$	Sollmittelwert x exp (-0,132 - 0,00047 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)
PEF	$L \times s^{-1}$	$\exp(-6,189 + 1,2965 \ln(H) + 0,1379 \times A - 0,002731 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,313 - 0,00274 x age)	18 - 25	Brändli et al. (2000)
PEF	$L \times s^{-1}$	$\exp(-4,548 + 1,2965 \ln(H) + 0,0066 \times A - 0,000106 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,313 - 0,00274 x age)	26 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₂₅₋₇₅	$L \times s^{-1}$	$\exp(-3,205 + 0,9457 \ln(H) + 0,0066 \times A - 0,000106 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp (-0,313 - 0,00274 x age)	18 - 60	Brändli et al. (2000)

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

		$\ln(H) + 0,0025 \times A$ $0,000137 \times A^2$	$(-0,249 - 0,00676 \times$ $\text{age})$		al. (2000)
FEF ₂₅	L x s ⁻¹	$\exp(-4,440 + 0,9869$ $\ln(H) + 0,1188 \times A$ $0,002404 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp $(-0,341 - 0,00758 \times$ $\text{age})$	18 - 25	Brändli et al. (2000)
FEF ₂₅	L x s ⁻¹	$\exp(-2,968 + 0,9869$ $\ln(H) + 0,0011 \times A$ $0,000050 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp $(-0,341 - 0,00758 \times$ $\text{age})$	26 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₅₀	L x s ⁻¹	$\exp(-2,510 + 0,8156$ $\ln(H) + 0,0012 \times A$ $0,000119 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp $(-0,293 - 0,00491 \times$ $\text{age})$	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FEF ₇₅	L x s ⁻¹	$\exp(-4,474 + 1,1258$ $\ln(H) + 0,0165 \times A$ $0,000120 \times A^2)$	Sollmittelwert x exp $(-0,341 - 0,00269 \times$ $\text{age})$	18 - 60	Brändli et al. (2000)
FRC	L	$0,0234 \times H + 0,009$ $\max(25, A) - 1,09$	Sollmittelwert ± 0,99	18 - 70	Quanjer et al. (1993)
TGV	L	$-7,511 + 0,017 \times A +$ $0,06971 \times H - 1,733 \times$ BI	Sollmittelwert ± 0,617		Ulmer et al. (1991)
R _t , R _{eff}	kPa x s x L ⁻¹	0,19	Sollmittelwert + 0,0967	16 - 86	Matthys et al. (1995)
sR _t , sR _{eff}	kPa x s	$0,0088 \times H - 0,002 \times$ $A - 0,9$	Sollmittelwert + 0,369	16 - 86	Matthys et al. (1995)
C _{L,stat}	L x kPa ⁻¹	$0,0267 \times H - 1,4385$	Sollmittelwert - 1,78 bzw. + 1,956	20 - 70	Galetke et al. x (2007)
C _{L,dyn}	L x kPa ⁻¹	$0,014 \times A + 3,4149$	Sollmittelwert - 1,274 bzw. + 1,971	20 - 70	Galetke et al. x (2007)
C _{L,stat}	L x kPa ⁻¹	$3,0677 \times 0,0182 \times A$	Sollmittelwert - 0,2	20 - 70	Gillissen et al. x (1989)
P _{a,02}	mm Hg	$109,4 - 0,26 \times A -$ $0,980 \times BI$	Sollmittelwert - 15	15 - 70	Ulmer et al. (1983)
P _{a,02}	mm Hg	$0,33 \times A + 100$	Sollmittelwert - 10	15 - 65	Woitowitz et al. (1969a)
D _{L,CO,SB}	mmol x min ⁻¹ x kPa ⁻¹	$0,1111 \times H - 0,066 \times$ $A - 6,03$	Sollmittelwert - 2,32	25 - 70	Cotes et al. (1993)

$\exp(x) = e^x$;

H = Körpergröße [cm];

A = Alter [Jahren];

BI = Broca-Index;

L = Luftdruck [mm Hg];

P = Leistung [W(att)];

Verfahren zur Konsensbildung:

1. Fassung erarbeitet von D. Nowak, München, D. Szadkowski, Hamburg (1998)

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.

Erstmalige Aktualisierung von X. Baur, A. Preisser, M. Oldenburg, Hamburg; D. Nowak, München, G. Triebig, Heidelberg und J. Schneider, Giessen; August 2004
Letzmalige Aktualisierung von X. Baur, A. Preisser, M. Oldenburg, Hamburg; J. Schneider, Giessen; R. Merget, Bochum, August 2008
Diskutiert in der Arbeitsgruppe "Atemwege/Lunge" der DGAUM
Letztmalig aktualisierte Fassung verabschiedet vom Vorstand der DGAUM: November 2008 **Hinweise**

senden Sie bitte an:

Prof. Dr. med. Baur,
e-mail: baur@uke.uni-hamburg.de

oder an:

Geschäftsstelle der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin
Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin der RWTH Aachen,
Pauwelsstraße 30
52074 Aachen

Leitlinien-Betreuung:

PD Dr. Regina Stoll
Universität Rostock
Tel.: 0381 / 494-9958
Fax: 0381 / 494-9952
e-mail: Regina.Stoll@uni-rostock.de

Erstellungsdatum:

06/1998

Letzte Überarbeitung:

08/2008

Nächste Überprüfung geplant:

k.A.

Zurück zum [Index Leitlinien Arbeitsmedizin und Umweltmedizin](#)

Zurück zur [Liste der Leitlinien](#)

Zurück zur [AWMF-Leitseite](#)

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollen aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - **insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung** übernehmen.

Stand der letzten Aktualisierung: 08/2008
© 1998 Dt. Ges. f. Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.
Autorisiert für elektronische Publikation: [AWMF online](#)
HTML-Code aktualisiert: 03.03.2009; 15:29:23

Die "Leitlinien" der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften sind systematisch entwickelte Hilfen für Ärzte zur Entscheidungsfindung in spezifischen Situationen. Sie beruhen auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und in der Praxis bewährten Verfahren und sorgen für mehr Sicherheit in der Medizin, sollten aber auch ökonomische Aspekte berücksichtigen. Die "Leitlinien" sind für Ärzte rechtlich nicht bindend und haben daher weder haftungsbegründende noch haftungsbefreiende Wirkung.

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit - insbesondere von Dosierungsangaben - keine Verantwortung übernehmen.