

V. Lungenfunktion - Atmung

Einführung

Zur Bereitstellung von Energie für den Stoffwechsel benötigt jede Körperzelle Sauerstoff und bildet CO_2 . Die Verbindung zwischen dem Gasaustausch in der Lunge (äußere Atmung) und dem Gasaustausch in den Körpergeweben (innere Atmung) wird durch den Kreislauf garantiert.

Mechanismen des Gasaustausches

Definition

Unter Gasaustausch versteht man den Austausch von CO_2 und Sauerstoff zwischen dem Organismus und unserer Umwelt, dieser Vorgang wird Atmung genannt.

Die Atmung ist ein lebenswichtiger Vorgang, bei dem das Blut mit der notwendigen Menge Sauerstoff versorgt wird. Der Sauerstoffaustausch findet in der Lunge an ca. 300 Millionen Alveolen (Lungenbläschen) statt.

Die eingeatmete Atemluft hat einen Gehalt von 21 % Sauerstoff und 0,04 % CO_2 , die ausgeatmete Luft einen Gehalt von 17 % Sauerstoff und 4 % CO_2 .

Sauerstoffkonzentrationen unter 15 % bedingen erhebliche Leistungsminderungen mit großen Gefahren - Bewusstlosigkeit bis hin zum Tod.

Die Atemfrequenz wird über die CO_2 - Konzentration im Blut geregelt; ein Anstieg der CO_2 - Konzentration im Blut um 0,2% verdoppelt sie. Der ruhende Mensch atmet 16 Mal in der Minute und hat dabei einen Luftverbrauch von ca. 10 l / min. Die Atemfrequenz erhöht sich mit zunehmender Arbeitsleistung. Bei Schwerstarbeit kann der Atemluftverbrauch bis auf 100 l / min ansteigen.

Der Weg der Atemluft

Die Atemluft wird von Mund oder Nase über die Trachea (Luftröhre) in die zwei Hauptbronchien geleitet.

Die Trachea beginnt im Larynx (Kehlkopf) und endet in Höhe des vierten Brustwirbels, wo sie in sich zwei Hauptbronchien aufteilt. Zuerst wird die Luft durch die Bronchien, dann durch die Bronchiole geleitet und am Ende der Bronchiole strömt die Luft in die Lobuli. Am Ende befinden sich die Alveolen mit einer Gesamtoberfläche aller Alveolen von 80 – 100 Quadratmetern.

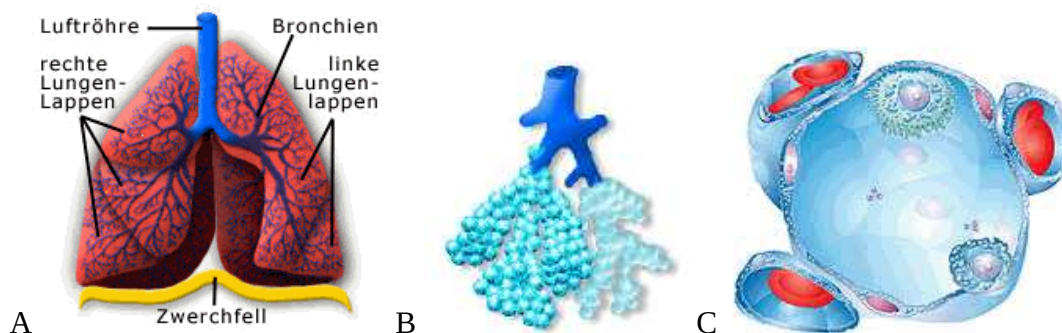


Abb. 1: Aufbau (A) der Lunge, (B) der Bronchien, (C) einer Alveole

Ventilation

Unter Ventilation versteht man die Atmungsmechanik, die treibende Kraft für den Gasaustausch zwischen Alveolen und Umwelt ist.

Beim Einatmen (Inspiration) muss der Druck in den Alveolen (Intrapulmonaler Druck) niedriger sein als der (atmosphärische) Druck der Umweltluft.

Bei der Ausatmung (Expiration) muss die umgekehrte Druckdifferenz vorliegen.

Um diese Drücke herstellen zu können, muss das Lungenvolumen bei der Inspiration vergrößert werden und bei der Expiration verkleinert werden.

Dies wird zum einen direkt durch die Bewegung des Zwerchfells (Diaphragma), zum anderen mit Hilfe des Brustkorbes (Thorax) erreicht. Um die Bewegungen von Thorax und Zwerchfell für die Ventilation nutzbar zu machen, muss die Lunge ihren Bewegungen folgen können, ohne an ihnen ganz fixiert zu sein. Dies wird dadurch erreicht, dass sich zwischen den beiden Blättern der Pleura (Brustfell), die einerseits die Lunge (Pleura pulmonalis (Lungenfell)), andererseits das Innere des Brustkorbes überzieht (Pleura parietalis (Rippenfell)), eine dünne Flüssigkeitsschicht befindet.

Die Lunge hat durch ihre natürliche Lage und durch ihre Elastizität das Bestreben, sich zu verkleinern. Durch die Flüssigkeit im Pleuraspalt, die nicht ausdehnbar ist, bleibt die Lunge am Thorax haften.

Folgende Faktoren sind entscheidend für die normale Funktion der Atmung und können bei folgenden Erkrankungen verändert sein:

1. die Weite des Tracheobronchialbaumes
(Lumen, Wandbeschaffenheit, Strömungsgeschwindigkeit)
→ **obstruktive Ventilationsstörung**
2. die statischen Eigenschaften von Lunge und Brustwand
→ **restriktive Ventilationsstörung**
3. die Leistungsfähigkeit des „Motors“ Atemmuskulatur
→ **neuromuskuläre Ventilationsstörung**

Funktionsprinzip der Messgeräte:

Physiologische Grundlagen des Spirometers

Mit Hilfe der Spirometrie lassen sich diejenigen Volumina messen, die vom Probanden geatmet werden. Hierzu wird der Proband an einen Pneumotachographen angeschlossen.

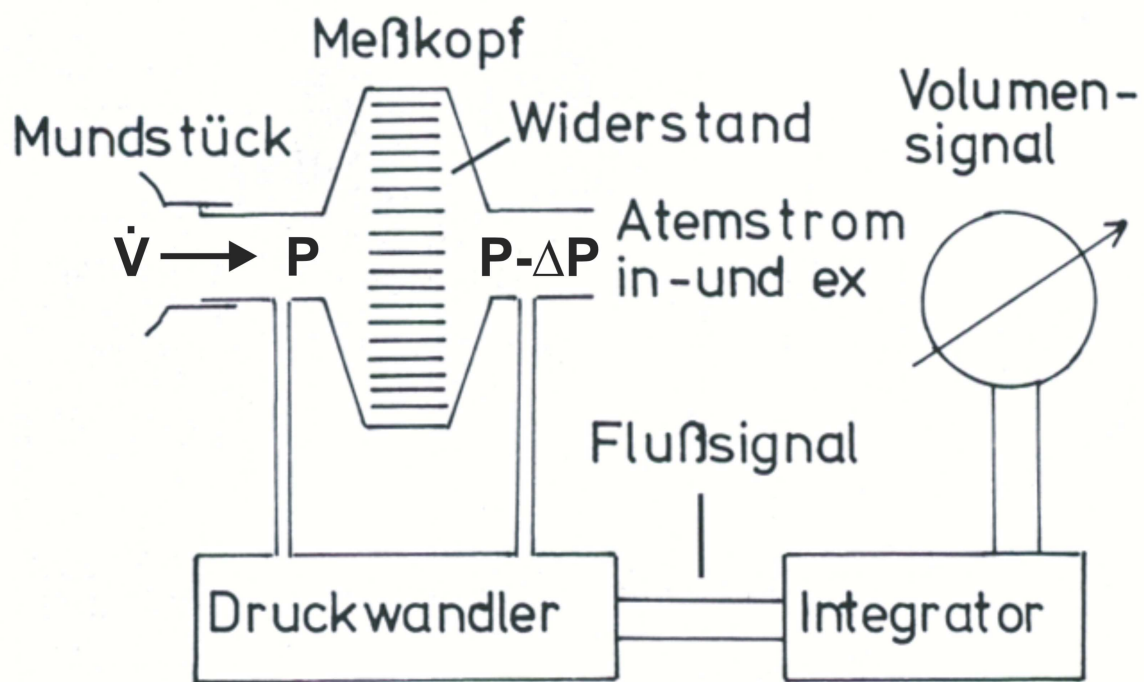


Abb. 2: Pneumotachograph.

Im Pneumotachographen werden anstelle der Atemvolumina zunächst die Atemstromstärken $\dot{V}$ (Volumenänderung pro Zeit) gemessen. Dies geschieht mit einem relativ kleinen Meßkopf, der im wesentlichen aus einem breitlumigen Rohr mit einem eingebauten kleinen Strömungswiderstand (R) besteht. Wenn die Atemluft durch das Rohr strömt, entsteht zwischen dem Anfang und dem Ende eine kleine Druckdifferenz (ΔP), die mit Hilfe von 2 Druckaufnehmern gemessen wird. Bei bekanntem R kann nach dem Ohm'schen Gesetz die Atemstromstärke berechnet ($\dot{V} = \Delta P / R$). Durch Integration über die Zeit werden anschließend die statischen Atemvolumina (Atemzugvolumen, inspiratorisches und expiratorisches Reservevolumen, Vitalkapazität, inspiratorische Kapazität) errechnet werden.

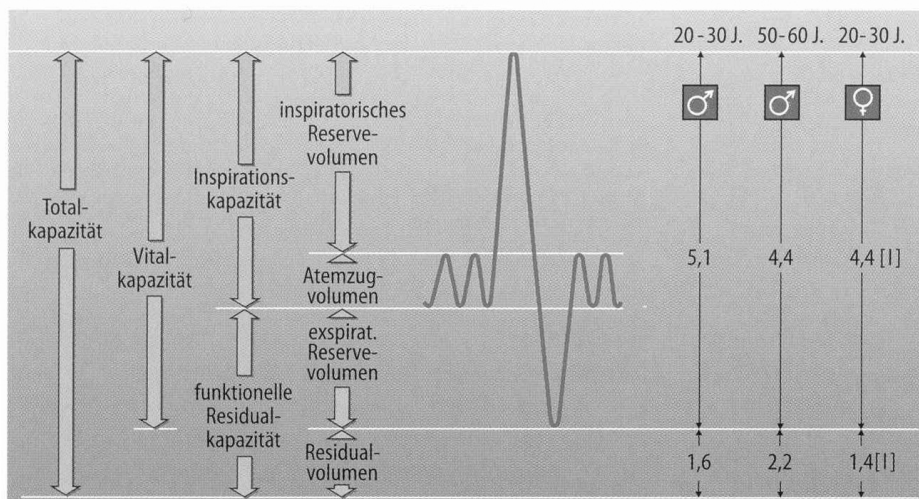


Abb. 3: Lungenvolumina.

a) Ruheatmung

entspanntes Ein- und Ausatmen (=Atemzugvolumen)

b) VK-Manöver (VK = Vitalkapazität)

Im VK-Manöver wird maximal eingeatmet, dann maximal ausgeatmet, dann ruhig weitergeatmet.

c) Tiffeneau-Test

Der Tiffeneau-Test gibt Aufschluss über das in der ersten Sekunde ausgeatmete Volumen maximale expiratorische Atemvolumen in einer Sekunde (Forciertes Expirationsvolumen in 1 sec = FEV₁). Diese Volumen wird entweder als Absolutwert oder als Prozent von VK berechnet. Als dritten Parameter kann die bei maximaler Atemanstrengung erzielbare expiratorische Atemstromstärke berechnet werden.

Die Atemstromstärke kann als Steigung der Volumen-Zeitkurve ($\Delta V_s / \Delta t$) berechnet werden., abgelesen werden (siehe Abb. 4).

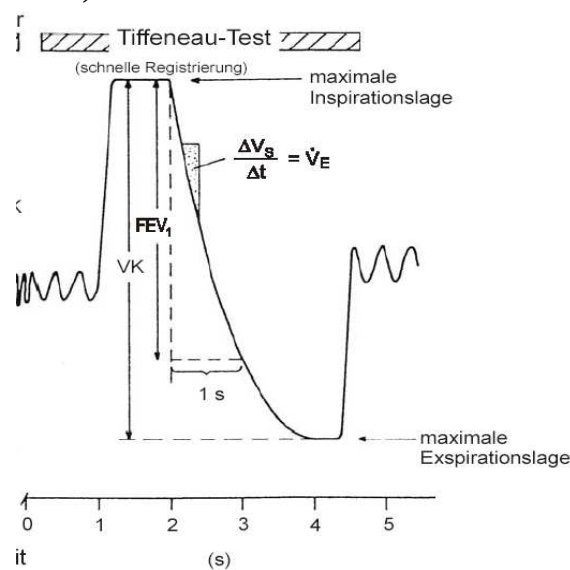


Abb. 4: Tiffenau-Test.

Fluß-Volumen-Kurve

Man kann die Information des Tiffeneau-Tests auch ohne Spirometer erhalten, indem man mit einem Pneumotachographen die Atemstromstärke direkt misst und dann gegen das Volumen aufträgt (s. Abb.).

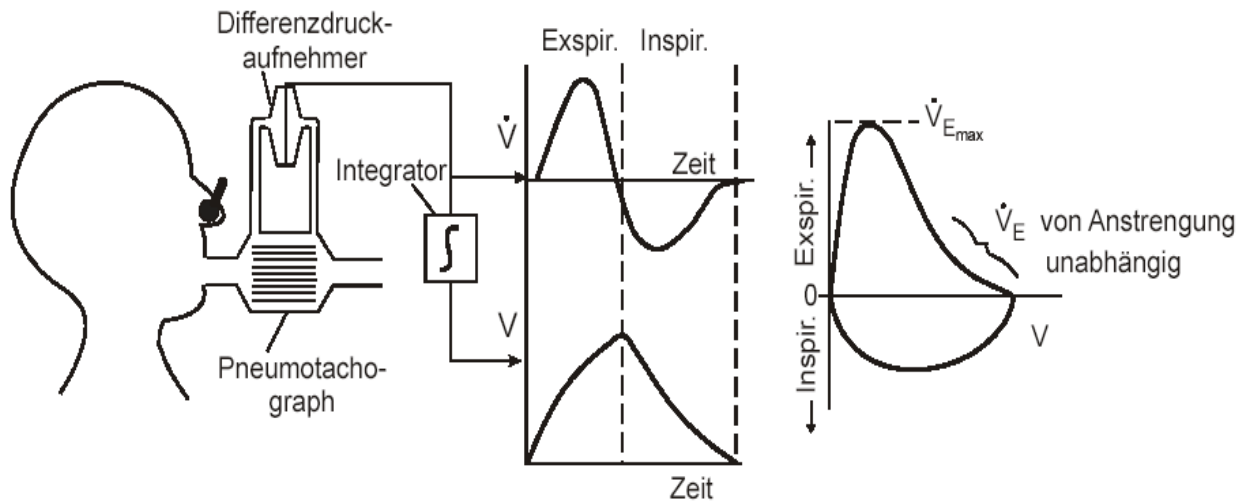


Abb. 5: Registrierung einer Fluß-Volumenkurve.

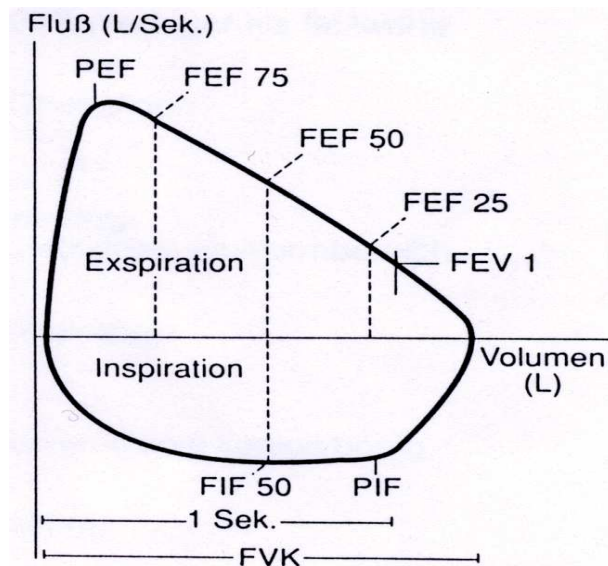


Abb. 6: Fluß-Volumenkurve.

Einteilung der Ventilationsstörungen

1. Obstruktive Ventilationsstörungen

Def.: Obstruktion = Verengung oder Verlegung der Atemwege, 90% aller Lungenfunktionsstörungen. Jeder 2. Raucher ≥ 40 Jahre hat eine obstruktive Ventilationsstörung.

1.1. Obstruktion der oberen (extrathorakalen) Atemwege (von Mund/Nase bis Larynx)

Leitsymptom: bes. inspiratorische Atembehinderung ; inspiratorischer Stridor= pfeifendes Geräusch bei der Inspiration. **Ursachen:** Zurückgefallene Zunge, Glottis-/Larynxödem, Epiglottitis, Pseudokrupp, Aspiration, Tumoren.

1.2. Obstruktion der unteren (intrathorakalen) Atemwege

(von Larynx bis zu den Bronchioli terminales)

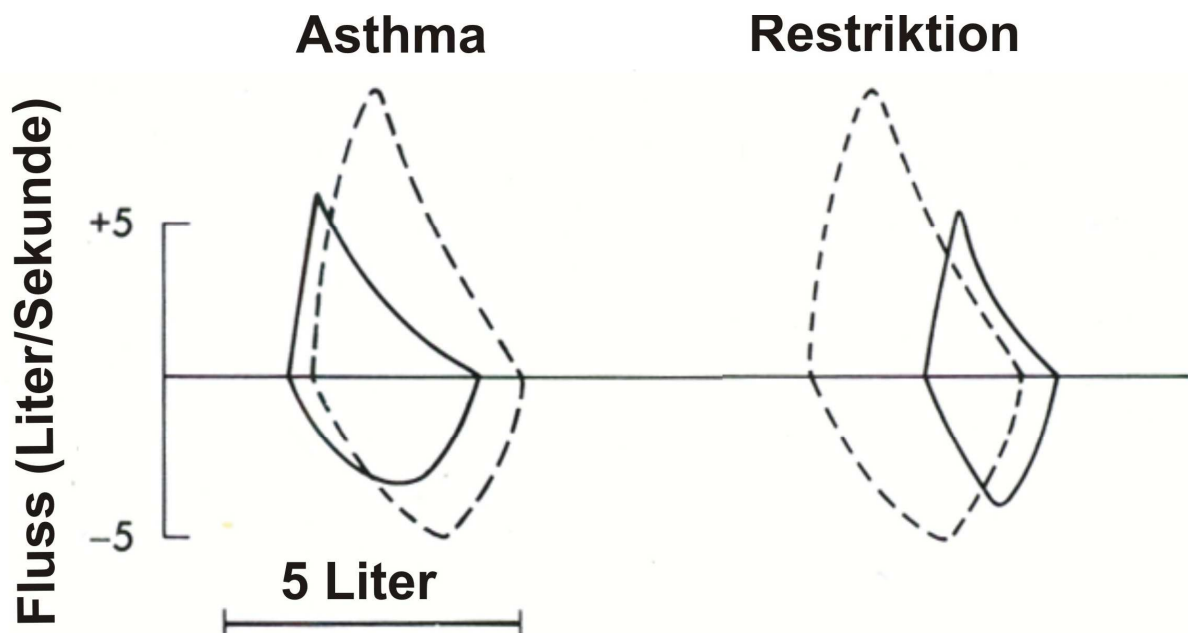
Leitsymptom: Exspiratorische Atembehinderung mit verlängerter Ausatemphase. **Ursachen:** Asthma, Emphysem.

Lungenfunktion: Asthma bronchiale: VK normal oder vermindert, erhöhtes Residualvolumen PEF, FEV₁, FEF25%, FEF 50% vermindert.

2. Restriktive Ventilationsstörungen

Verkleinerung des maximalen mobilisierbaren Lungenvolumens durch verminderte Ausdehnungsfähigkeit des Lunge-Thorax-Zwerchfellsystems. **Ursachen:** Lungenresektion, Lungenfibrosen, Lungenstauung, Adipositas.

Lungenfunktion: Verkleinerung aller Lungenvolumina (Vitalkapazität, totale Lungkapazität, FEV1, PEV normal, Volumina auf der x-Achse der Fluss Volumenkurve vermindert.



Praktikumsaufgaben – (V) Lunge

Verwendete Abkürzungen

VT Atemvolumen (Atemzugvolumen)

Das Luftvolumen, das während der Atmung pro Atemzug ein- bzw. ausgeatmet wird.

ERV Expiratorisches Reservevolumen

Das max. Gasvolumen, das nach einer normalen Expiration ausgeatmet werden kann.

VC Vitalkapazität

Das max. Luftvolumen, das nach einer maximalen Inspiration ausgeatmet werden kann.

IRV Inspiratorisches Reservevolumen

Das max. Gasvolumen, das zusätzlich zum Atemvolumen bis zum Erreichen der TLC eingeatmet werden kann.

IK Inspirationskapazität

Das Gasvolumen, das sich aus dem Atemzugvolumen (VT) und dem inspiratorischen Reservevolumen (IRV) zusammensetzt.

RV Residualvolumen

Das Gasvolumen, das sich nach einer max. Expiration noch in der Lunge befindet.

FRC Funktionale Residualkapazität

Das Gasvolumen, das sich nach einer normalen Expiration (Ruheatmung) in der Lunge befindet.

TLC Totalkapazität der Lunge

Die Summe aller Lungenvolumina oder das Gasvolumen, das sich nach max. Inspiration in der Lunge befindet.

FVC Forcierte expiratorische Vitalkapazität

Wie VC, allerdings forciert ausgeatmet

FEV1 Forciertes Expirationsvolumen in 1 Sekunde

Das Luftvolumen, das nach maximaler Inspiration (TLC) bei einer forcierten Expiration in der ersten Sekunde ausgeatmet wird.

PEF Maximale expiratorische Atemstromstärke (peak expiratory flow)

Die größte Atemstromstärke, die bei einer forcierten Expiration (nach maximaler Inspiration) erreicht wird.

MEF 75 (50, 25) Forcierte expiratorische Atemstromstärke

Forcierte expiratorische Atemstromstärke bei 75 % (50%, 25%) der verbleibenden VC

MIF Forcierte inspiratorische Atemstromstärke

Versuchsaufbau

Die Studenten werden in zwei Gruppen eingeteilt.

Das Gerät wird aus Handgriff, Winkelstück und einem Mundstück zusammengebaut. Das Mundstück wird nach jedem Benutzer ausgetauscht.

Der Handgriff sollte so gehalten werden, dass das Mundstück waagrecht ist.

Eine Nasenklemme unterbindet Nebenluft. Die Versuchsperson soll so sitzen, dass sie die Registriereinrichtungen nicht sieht und entspannt ist, im Raum sollte Ruhe herrschen.

Die Mundstücke dürfen nur einmal benutzt werden und müssen zwischen den einzelnen Probanden ausgewechselt werden!!!!!!!

1. Aufgabe: Aufnahme eines Spirogramms

Wenn der Versuch gestartet wird, muss der Handgriff erst ruhig gehalten werden (noch nicht in den Mund nehmen!), dann nimmt die Versuchsperson das Mundstück zwischen die Zähne und atmet normal ein paar Mal ein und aus. Auf Anweisung des Betreuers atmet die Versuchsperson einmal maximal aus, anschließend maximal ein und dann wieder normal weiter.

Aus der aufgezeichneten Kurve lassen sich folgende Werte bestimmen:

	Sollwert	Istwert	% (Ist/Soll)
Atemzugvolumen VT (ml)			
Inspiratorisches Reservevolumen IRV (ml)			
Expiratorisches Reservevolumen ERV (ml)			
Vitalkapazität VC (ml)			
Inspirationskapazität IK (ml)			

(Der Sollwert wird von dem Programm aus der Körpergröße, dem Alter und dem Geschlecht für die jeweilige Versuchsperson errechnet und kann hier von dem Ausdruck übertragen werden.)

Aufnahme einer Fluß-Volumen-Kurve

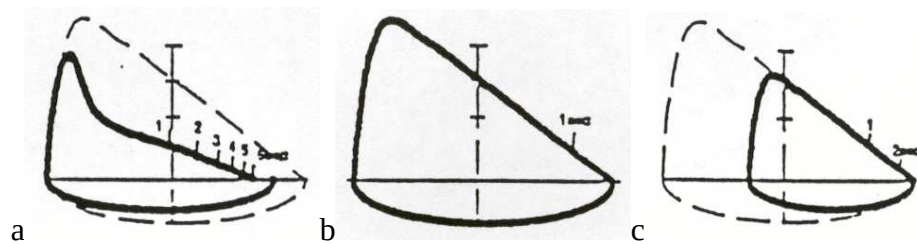
Nachdem das Programm gestartet wurde, nimmt die Versuchsperson das Mundstück zwischen die Zähne und atmet ein paar Mal normal ein und aus. Auf Anweisung des Betreuers folgen mehrere Zyklen maximaler Ein- und Ausatmung aufeinander, von denen das Programm nach Beendigung des Versuchs nur die maximalen Werte in einer Fluß-Volumen-Kurve anzeigt. Wichtig ist, dass nach der letzten maximalen Expiration noch einmal kurz eingeatmet wird, bevor der Versuch beendet ist.

Aus der aufgezeichneten Kurve lassen sich folgende Werte bestimmen:

	Sollwert	Istwert	% (Ist/Soll)
Forciertes expiratorisches Volumen in der 1. Sekunde FEV 1			
Expiratorischer Spitzenfluß PEF			
Forcierte expiratorische Atemstromstärke bei 75 % VC MEF 75			
Forcierte expiratorische Atemstromstärke bei 50 % VC MEF 50			
Forcierte expiratorische Atemstromstärke bei 25 % VC MEF 25			
Forcierte Vitalkapazität (expiratorisch) FVC			

Aufgabe:

1. Ordnen Sie den jeweiligen Fluß-Volumen-Kurven die zugrunde liegende Ventilationsstörung zu:



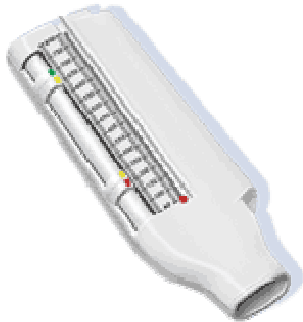
1) Normalbefund 2) Obstruktion 3) Restriktion

Lösung: a= b= c=

Peak Flow Meter

Mit einem einfachen Gerät, dem Peak-flow-Meter, lässt sich problemlos die Lungenfunktion auch zu Hause bestimmen. Es eignet sich vor allem für eine Langzeitkontrolle.

Das Peak-Flow-Meter ist ein relativ einfach gebautes Gerät. Es besteht aus einer Röhre, in der sich ein Scheibchen mit einer Feder befindet. Das Scheibchen ist mit einem Zeiger verbunden. Dieser Zeiger muss auf der Position Null stehen und sich ungehindert bewegen können.



Allerdings ist diese Messmethode nicht ganz so genau wie die Lungenfunktionsmessung in der Arztpraxis. Die Peak-flow-Messung zeichnet den maximalen Luftstrom, den Atemstoss, auf. Der Patient muss tief einatmen und dann mit voller Kraft in das Peak-flow-Meter hineinpusten - so, als wolle er eine Kerze ausblasen. Der jeweilige Wert kann auf einer Skala abgelesen werden und gibt einen Hinweis auf die aktuelle Lungenfunktion.

Tabellen geben Auskunft darüber, welchen Wert ein Patient erreichen muss, wenn die Atemwege offen sind und normal reagieren. Der Wert hängt vom Alter, der Größe und dem Geschlecht ab. So sind z. B. die Peak-flow-Werte von Männern generell etwas höher als die von Frauen. Erreicht man hohe Werte, bedeutet das, dass die Atemwege frei und offen sind. Niedrige Werte zeigen eine Verengung der Bronchien an.

Fallen die Werte ab, so ist das ein Zeichen dafür, dass sich das Asthma verschlechtert hat. Als Ursachen dafür können z. B. eine beginnende Infektion oder unregelmäßige Medikamenteneinnahme in Frage kommen.

Der Peak-Flow wird durch drei Faktoren beeinflusst: Dem Durchmesser der Atemwege, der Kraft der für die Ausatmung zuständigen Muskulatur und der Anstrengung und Koordination, die für ein kräftiges Ausatmen erforderlich ist. Da sowohl die Kraft der Muskulatur als auch die Anstrengung und Koordination des Ausatmens bei ausreichender Übung konstant bleiben, weist ein veränderter Peak-Flow auf eine Veränderung des Durchmessers der Atemwege hin. Entsprechend kann eine einzige Messung mit dem Peak-Flow-Meter nichts über den allgemeinen Zustand der Atemwege aussagen.