

Empfehlungen zur Spirometrie

Quelle: Criée C.-P. et al.

Aktuelle Empfehlungen zur Lungenfunktionsdiagnostik
Atemwegs- und Lungenkrankheiten 2024; 50: 111-184
DOI 10.5414/ATX02776

Ein Service der Deutschen Atemwegsliga e.V.



Deutsche Atemwegsliga e.V.



Autoren:innen

C.P. Criée, H.J. Smith, A.M. Preisser, D. Bösch, U. Butt, M.M. Borst, N. Hämäläinen, K. Husemann, R.A. Jörres, P. Kardos, C. Lex, F.J. Meyer, D. Nachtigall†, D. Nowak, U. Ochmann, W. Randerath, A. Schütz, B. Schucher, J. Spiesshoefer, C. Taube, S. Walterspacher, M. Wollsching-Strobel, H. Worth, M. Gappa und W. Windisch



Messung von (relativen) statischen und dynamischen Lungenfunktionsparametern sowie Atemflüssen am Mund.

- kontinuierlich zur Messung der Ventilation
oder
- willkürliche und maximale Atmungsmanöver zur Bestimmung definierter Volumina und Atemstromstärken



Fragen, die die Spirometrie beantworten kann

- Liegt eine Atemwegsobstruktion vor?
- Ist eine nachgewiesene Atemwegsobstruktion nicht, teilweise oder vollständig reversibel?
(Bronchodilatator-test bzw. Reversibilitätstest)
- Besteht eine gesteigerte Reagibilität des Bronchialsystems?
(Provokation)
- Liegt eine Verringerung der spirometrischen Volumina vor?
(Restriktion, Überblähung)
- Wie verhalten sich die Funktionswerte unter Therapie?
(Trend)



Spirometrie: Indikationen

- Diagnostik von Atemwegserkrankungen (z.B. COPD, Asthma bronchiale)
- Dyspnoe, Husten und/oder Auswurf
- Screening (Gesundheitsuntersuchung)
- Früherkennung von Schäden durch inhalative Noxen
- Verdacht auf Erkrankungen von Atemwegen, Lunge oder Herz sowie muskuloskelettale Erkrankungen mit Auswirkungen auf die Atmung
- Verdacht auf Erkrankungen der Atempumpe (Atemzentrum, zugehörige Nerven und Muskeln)
- Verlaufsbeobachtung und Therapiekontrolle bronchopulmonaler Erkrankungen
- arbeitsmedizinische Überwachung und Vorsorge
- präoperative Diagnostik



absolute Kontraindikationen für forcierte Manöver

- akute lebensbedrohliche Krankheitsbilder jeglicher Art, z.B.
 - akuter Myokardinfarkt
 - akute fulminante Lungenembolie
 - großes ascendierendes Aortenaneurysma
 - Spannungspneumothorax



relative Kontraindikationen für forcierte Manöver

- Anstieg des Sauerstoffbedarfs des Herzmuskels oder Blutdruckveränderungen (z.B. eine Woche nach akutem Myokardinfarkt; schwerer, arterieller Hypertonus)
- Erhöhungen des intrakraniellen/intraokularen Drucks (z.B. Aneurysma, nach Augenoperation, Gehirnerschütterung)
- Erhöhung des Drucks in Nasennebenhöhle und Mittelohr (z.B. Nasennebenhöhlen- oder Mittelohroperationen, Infektionen)
- Anstiegs des intrathorakalen und/oder intraabdominellen Drucks (z.B. Pneumothorax, Schwangerschaft)
- Probleme bei der Infektionskontrolle (z.B. Tbc, Hämoptysen)



Messprinzip

- Messung des Atemflusses und Integration des Atemstroms über die Zeit

$$Volumen = \int \text{Atemfluss} dt$$

oder

- Messung des Volumenstrom und Bestimmung der Strömung durch Differentiation des registrierten Volumenverlaufs (Turbine)

$$\text{Atemfluss} = \frac{d \text{Volumen}}{dt}$$

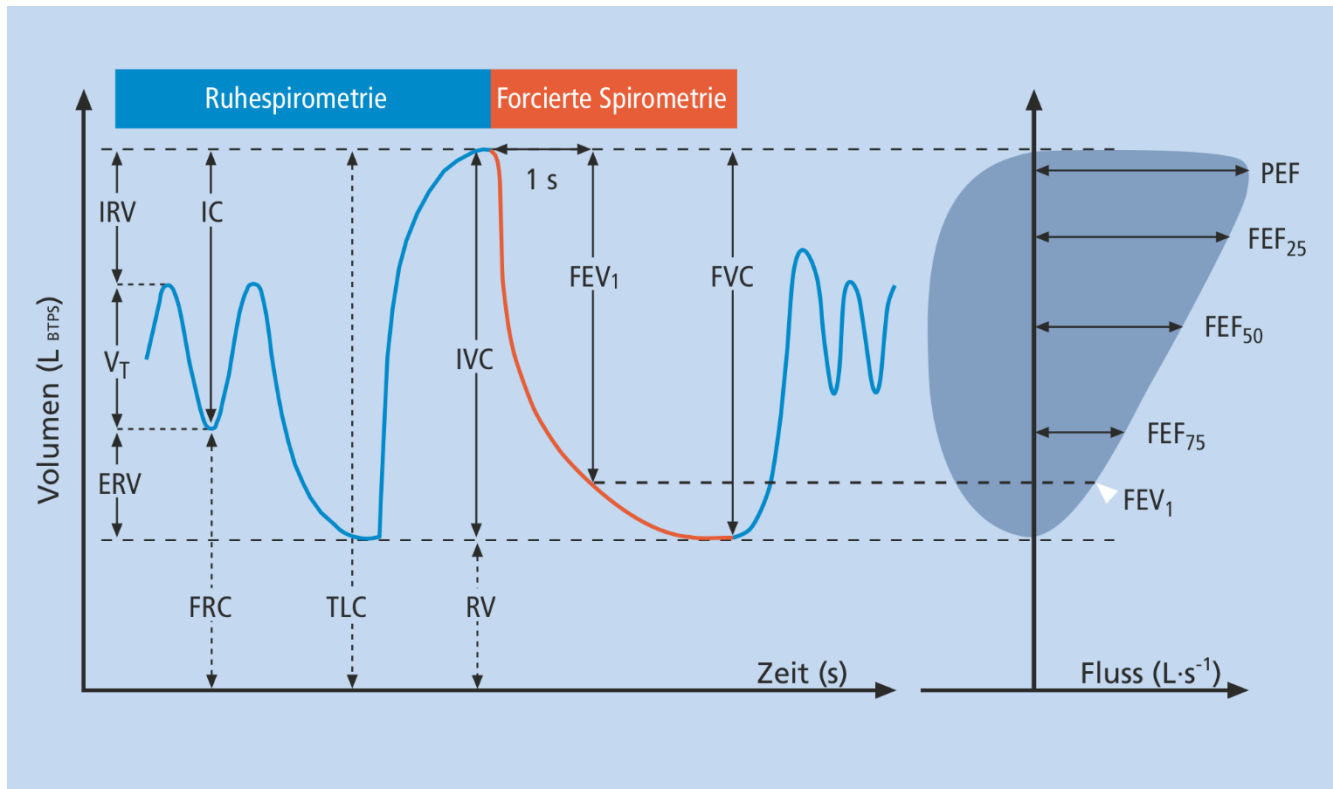


Kalibrierung/Verifizierung

- mindestens einmal täglich, vor der ersten Untersuchung
- im wöchentlichen Abstand:
 - Überprüfung der Linearität des Messsystems
 - Überprüfung der Kalibrierung anhand der bekannten und konstanten Lungenvolumina von gesunden Mitarbeitern (Bioverifizierung)
- Kalibrierung, wenn trotz guter Mitarbeit der untersuchten Person und nach Überprüfung der persönlichen Daten ein Ergebnis nicht plausibel erscheint.



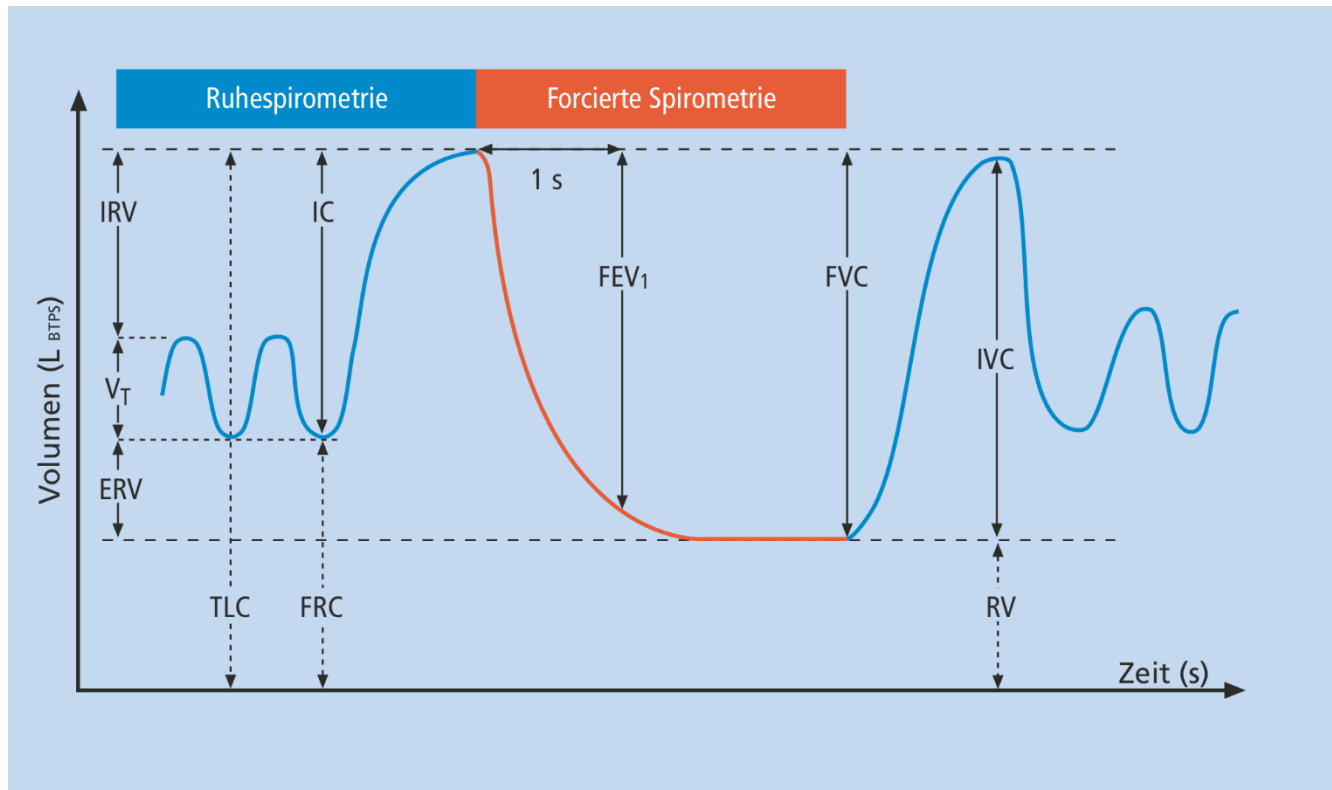
Statische und dynamische Lungenfunktionsparameter und maximale expiratorische Flüsse (Standardabfolge)



IRV = inspiratorisches Reservevolumen, ERV = expiratorisches Reservevolumen,
VT = Atemzugvolumen, FRC = Funktionelle Residualkapazität, TLC = Totale Lungenkapazität,
IC = Inspiratorische Kapazität



Ablauf bei eingeschränkter Kooperationsfähigkeit (Kinder, Schwerkranke) mit Bestimmung der IVC nach der forcierten Spirometrie





Spirometrische Parameter (1)

Parameter	Definition	Symbol	Einheit
inspiratorische Vitalkapazität	Atemvolumen, welches nach kompletter Expiration maximal eingeatmet werden kann	IVC (Synonym: VC_{IN})	l
forcierte Vitalkapazität	Atemvolumen, welches nach kompletter Inspiration forciert maximal ausgeatmet werden kann	FVC	l
forciertes expiratorisches Volumen in 1 Sekunde, Einsekundenkapazität	Atemvolumen, welches nach maximaler Inspiration forciert in der ersten Sekunde ausgeatmet werden kann	FEV_1	l
relative Einsekundenkapazität, Tiffeneau-Index	forciertes expiratorisches Volumen in 1 Sekunde, ausgedrückt in % der forcierten Vitalkapazität	FEV_1/VC	%
maximaler expiratorischer Spitzenfluss, „Peak flow“	Spitzenfluss bei maximaler expiratorischer Anstrengung	PEF	$l \times s^{-1}$



Spirometrische Parameter (2)

Parameter	Definition	Symbol	Einheit
maximaler expiratorischer Fluss bei 25% der FVC	Maximale Atemstromstärke nach Ausatmung von 25% der FVC	FEV ₂₅	l x s ⁻¹
maximaler expiratorischer Fluss bei 50% der FVC	Maximale Atemstromstärke nach Ausatmung von 50% der FVC	FEF ₅₀	l x s ⁻¹
maximaler expiratorischer Fluss bei 75% der FVC	Maximale Atemstromstärke nach Ausatmung von 75% der FVC	FEF ₇₅	l x s ⁻¹
mittlerer expiratorischer Fluss zwischen 25% und 75% der FVC	Mittlere Atemstromstärke nach Ausatmung von 25% – 75% der FVC	FEF ₂₅₋₇₅	l x s ⁻¹



Kriterien für eine repräsentative forcierte Expiration nach ATS/ERS

Akzeptanzkriterien:

- keine Artefakte (Husten, Glottisschluss, Leckagen, vorzeitige Beendigung, unterschiedliche Anstrengung).
- Rückextrapolationsvolumen $\leq 5\%$ der FVC oder ≤ 100 ml.
Der größere Wert gilt.
- PEF soll innerhalb von 150 ms erreicht werden (steiler Anstieg).
- Kriterien für eine gültige forcierte Expiration (ein Kriterium muss erfüllt sein):
 1. Volumenänderung in letzter Sekunde ≤ 25 ml (Plateau).
 2. Expirationszeit von ≥ 15 s wurde erreicht.
 3. Innerhalb der Expirationszeit ist zwar kein Plateau sichtbar (Kinder, restriktive Erkrankungen), trotzdem wird eine gültige forcierte Expiration bestätigt, wenn FVC bei wiederholten Versuchen im Toleranzbereich bleibt.



Reproduzierbarkeitskriterien

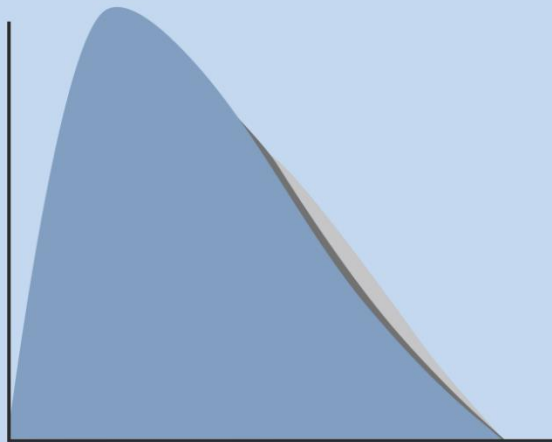
- Aufzeichnung von mindestens drei akzeptierten FEV_1 und drei akzeptierten FVC-Messungen (nicht unbedingt aus demselben Versuch).
- Reproduzierbarkeit für FVC und FEV_1 ist erreicht wenn:
 - für Personen > 6 Jahre die Differenz zwischen dem größten und dem zweitgrößten Wert ≤ 150 ml ist
 - für Kinder ≤ 6 Jahre die Differenz zwischen dem größten und dem zweitgrößten Wert ≤ 100 ml oder $\leq 10\%$ ist (der größere Wert gilt).



Reproduzierbarkeitskriterien

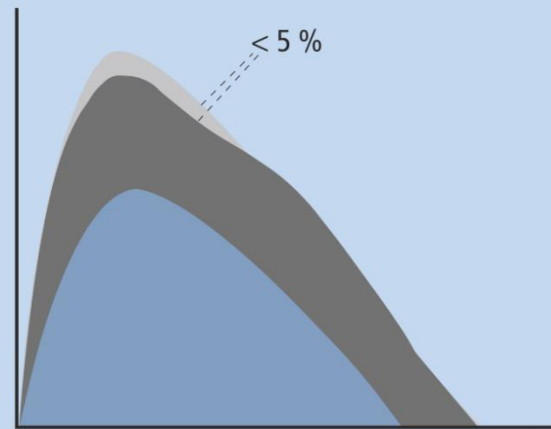
KRITERIEN FÜR DIE REPRODUZIERBARKEIT DER REGISTRIERTEN MESSUNGEN (VERSUCHE)

optimale Reproduzierbarkeit



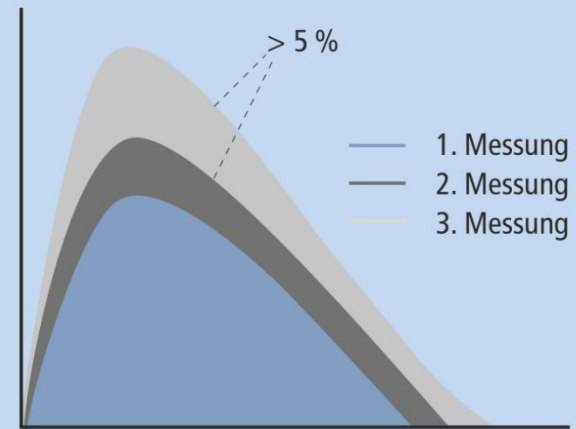
Die 3 Fluss-Volumen-Kurven sind nahezu deckungsgleich.

akzeptable Reproduzierbarkeit



Die größte und zweitgrößte Fluss-Volumen-Kurve sind nahezu deckungsgleich.

Reproduzierbarkeit unakzeptabel



Die beiden größten Fluss-Volumen-Kurven divergieren zu stark.



Dokumentation Mitarbeit und technische Qualität

Mitarbeit	technische Qualität
einwandfrei	Messung fehlerfrei
gut	Messung ohne relevante Fehler
eingeschränkt wegen mangelndem Verständnis	Messung noch brauchbar
eingeschränkt wegen Hustenreiz	Messung teilweise fehlerhaft
eingeschränkt wegen fehlender Koordination	Messung mit großen Fehlern
eingeschränkt wegen Kraft	
eingeschränkt wegen Schmerzen	
eingeschränkt wegen mangelnder Bereitschaft	



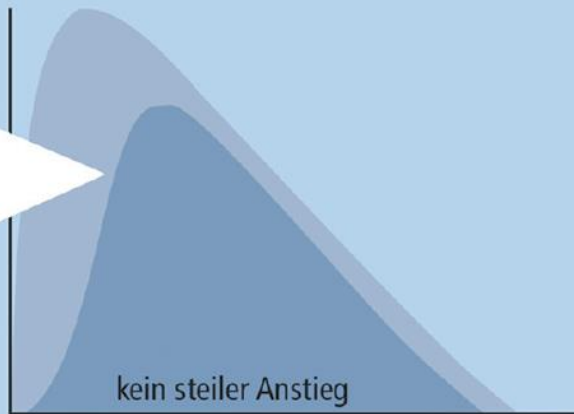
Deutsche Atemwegsliga e.V.

Fehlerzeichen I

grauer Kurvenbereich = optimale Mitarbeit

FEHLERZEICHEN grauer Kurvenbereich = optimale Mitarbeit

zögerlicher Start der Ausatmung



Maßnahme: Patienten bitten, schlagartig so schnell wie möglich ausatmen.

Husten während der Ausatmung



Maßnahme: Patienten evtl. vorher abhusten lassen.

geringe Anstrengung



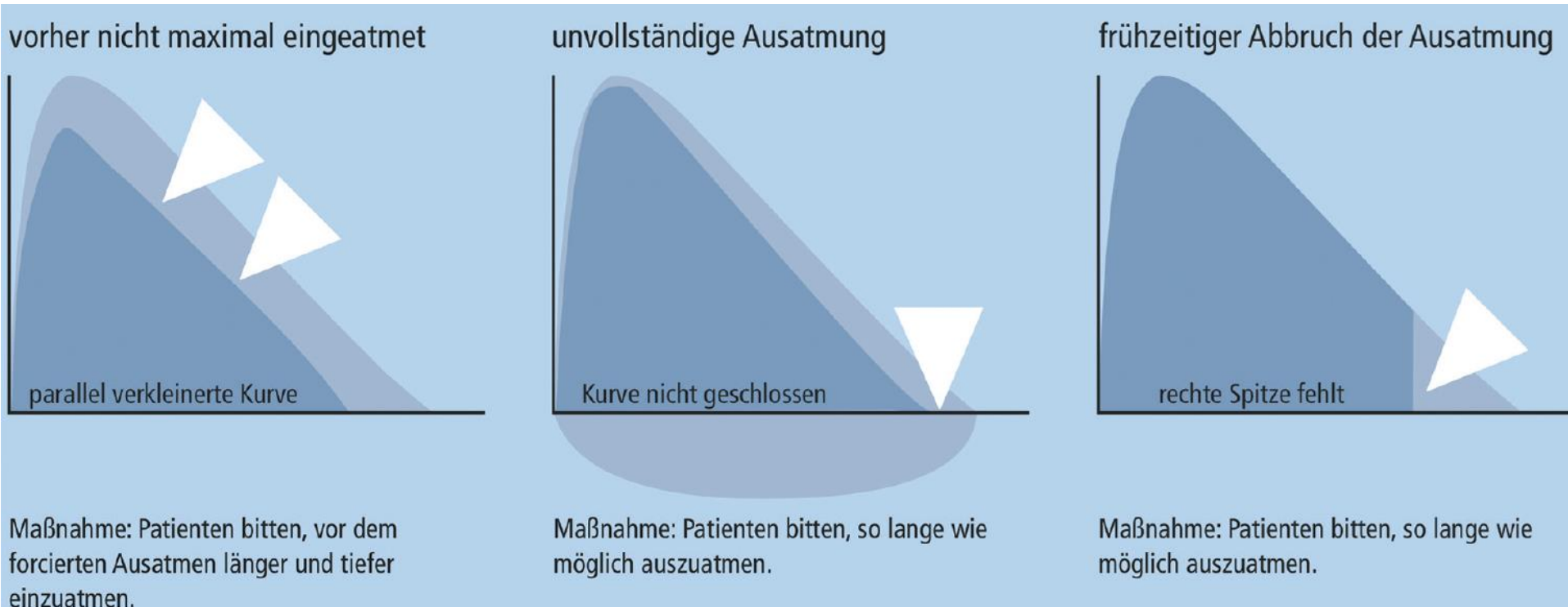
Maßnahme: Patienten bitten, mit aller Kraft auszuatmen.



Deutsche Atemwegsliga e.V.

Fehlerzeichen II

grauer Kurvenbereich = optimale Mitarbeit





Die Global Lung Initiative (GLI) publizierte 2012 spirometrische Referenzwerte, basierend auf qualitätskontrollierten Messungen aus verschiedenen Ländern (74.187 gesunde Probanden, Alter 3 – 95 Jahre).



GLI-Referenzgleichungen liegen vor für folgende Parameter:

- FEV_1 für Erwachsene (≤ 95 Jahre) und Kinder
- FVC für Erwachsene (≤ 95 Jahre) und Kinder
- FEV_1/FVC für Erwachsene (≤ 95 Jahre) und Kinder
- FEF_{25-75} für Erwachsene (≤ 90 Jahre) und Kinder
- FEF_{75} für Erwachsene (≤ 90 Jahre) und Kinder
- $FEV_{0.75}$ für Kinder (< 7 Jahre)
- $FEV_{0.75}/FVC$ für Kinder (≤ 7 Jahre)



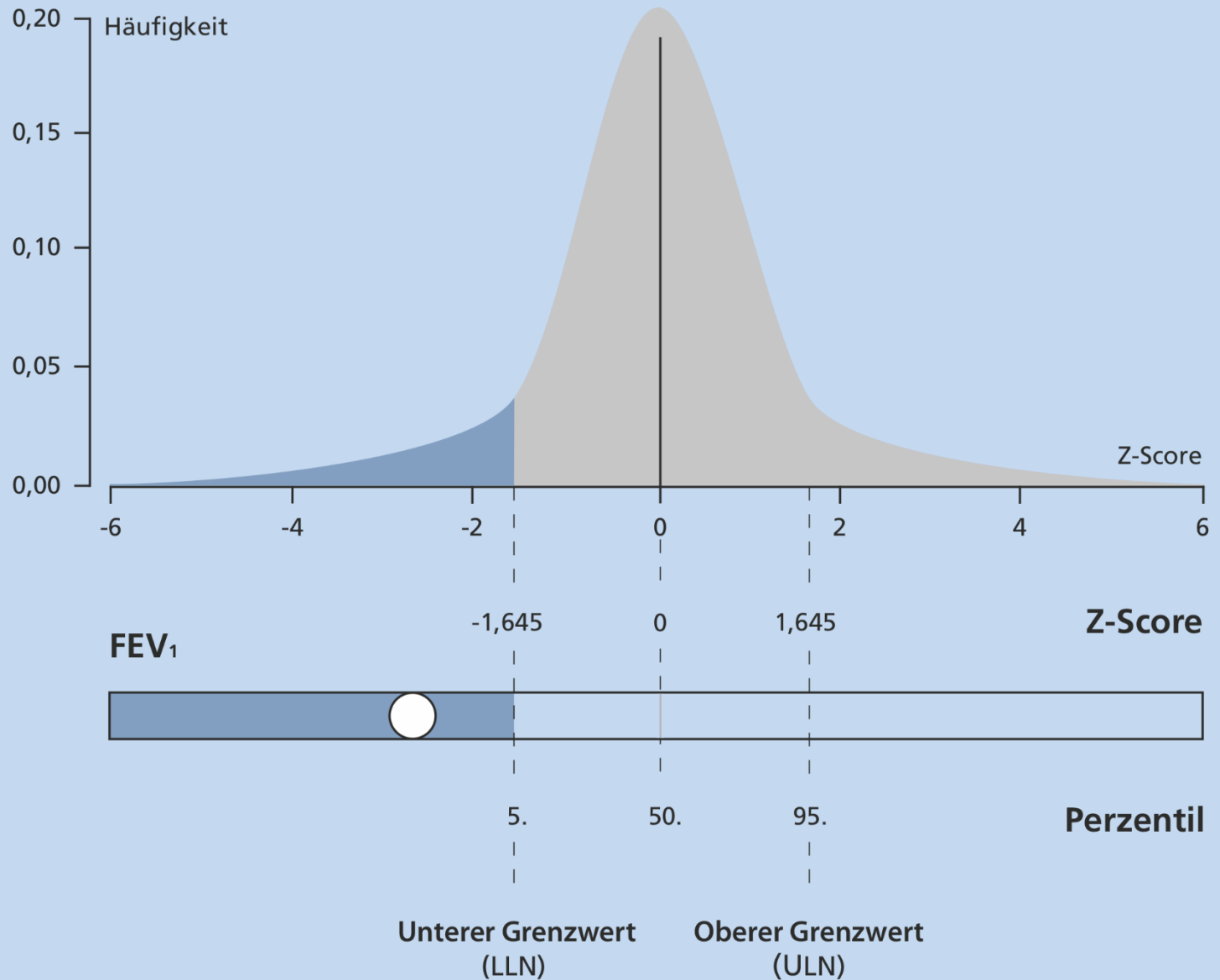
GLI: Unterschied zu früheren Normwerten

- bis zu 10% höhere Werte der FVC und FEV_1 im mittleren und höheren Lebensalter
- Zugehörigkeit zu einer ethnischen Gruppe beeinflusst die Lungenfunktion
- absolute Streuung der Messwerte variiert (niedrigste Streuung im Altersbereich von 15 – 45 Jahren)
- Notwendigkeit der separaten Errechnung der Normalwerte sowie des unteren Grenzwertes (engl. Lower Limit of Normal, LLN)
- Referenzgleichungen sind komplex und erfordern den Einsatz spezieller Software:
- kostenlos unter www.lungfunction.org bzw. <https://gli-calculator.ersnet.org/index.html>



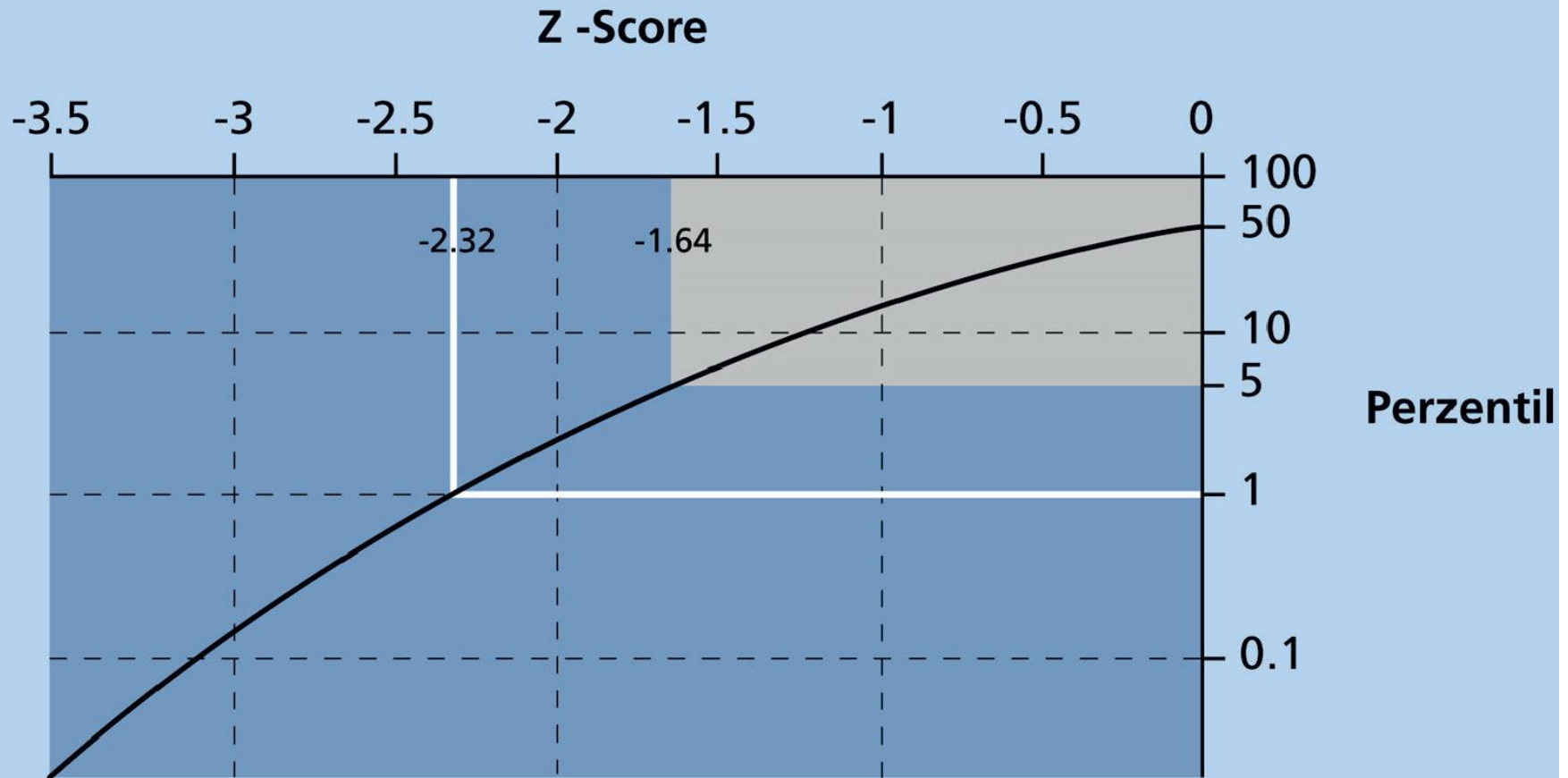
Deutsche Atemwegsliga e.V.

Perzentile und Z-Scores





Beziehung zwischen Z-Score und Perzentilen (-)



Z-Score = Abweichung vom Sollmittelwert in Einheiten der jeweiligen Standardabweichung

■ Normbereich

■ Unterhalb LLN, d.h. $< -1,645$ Z-Score bzw. $< 5.$ Perzentil



Deutsche Atemwegsliga e.V.

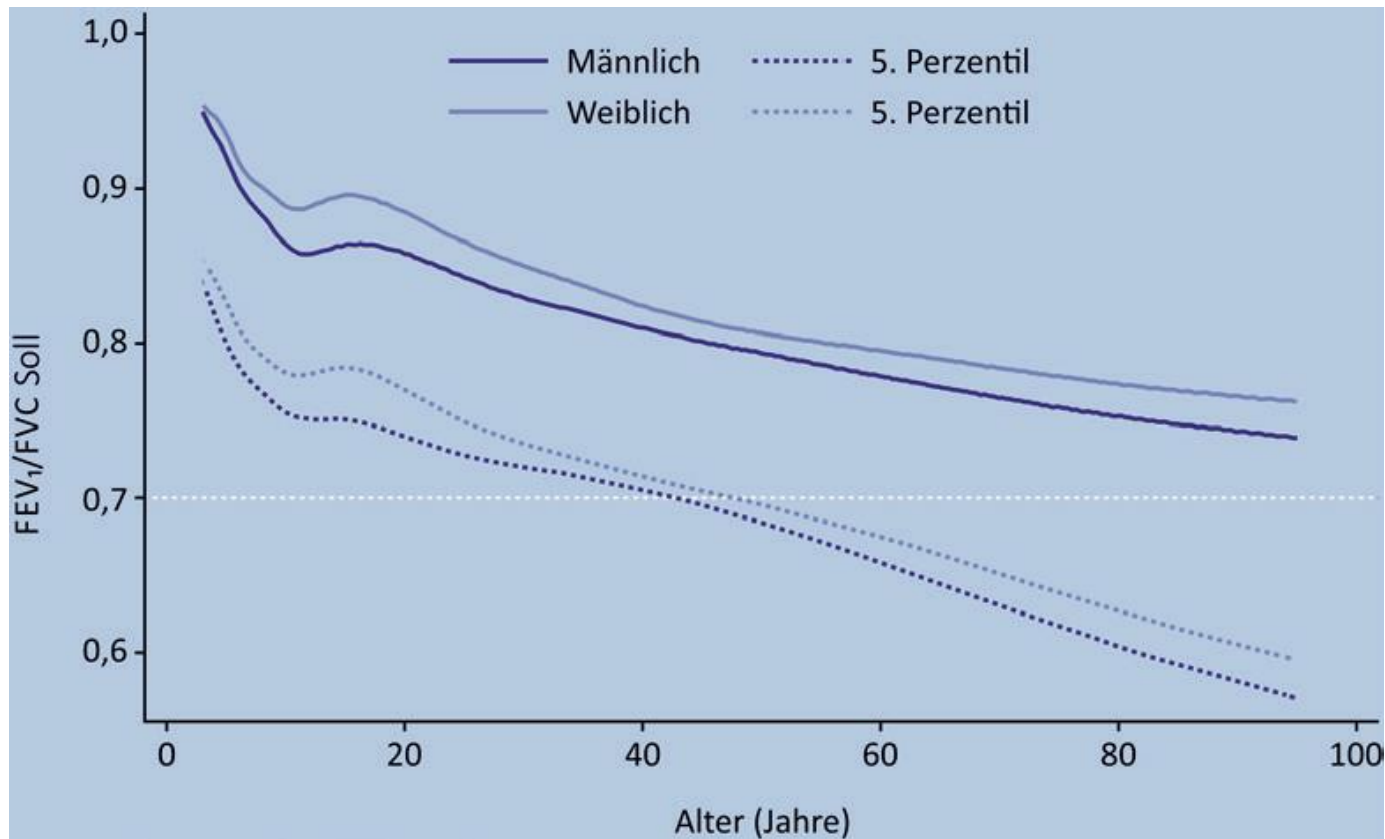
Referenzgleichungen der GLI: Anwendung in verschiedenen Populationen

GLI-Referenzpopulation	GLI-Datenquelle	Population/Herkunft	Anmerkungen
weiß	Europa, Israel, Australien, USA, Kanada, Brasilien, Chile, Mexiko, Uruguay, Venezuela, Algerien, Tunesien	weiß (europäisch); hispanisch (europäisch)	geeignet bei weißen europäischen Populationen
schwarz	Afroamerikaner	schwarz (Nordamerika)	
Südostasien	Thailand, Taiwan, China (inkl. Hong Kong)	asiatisch	
Nordasien	Japan, Korea		Nordostasiatische Gleichungen passen nicht gut, wenn sie auf heutige Populationen angewendet werden
multi-etnisch	Durchschnitt der vier anderen GLI-Gruppen	gemischt; schwarzes Südafrika; Indien; Unbekannt	Daten für Indien und Südafrika basieren auf nur einer prospektiven pädiatrischen Studie



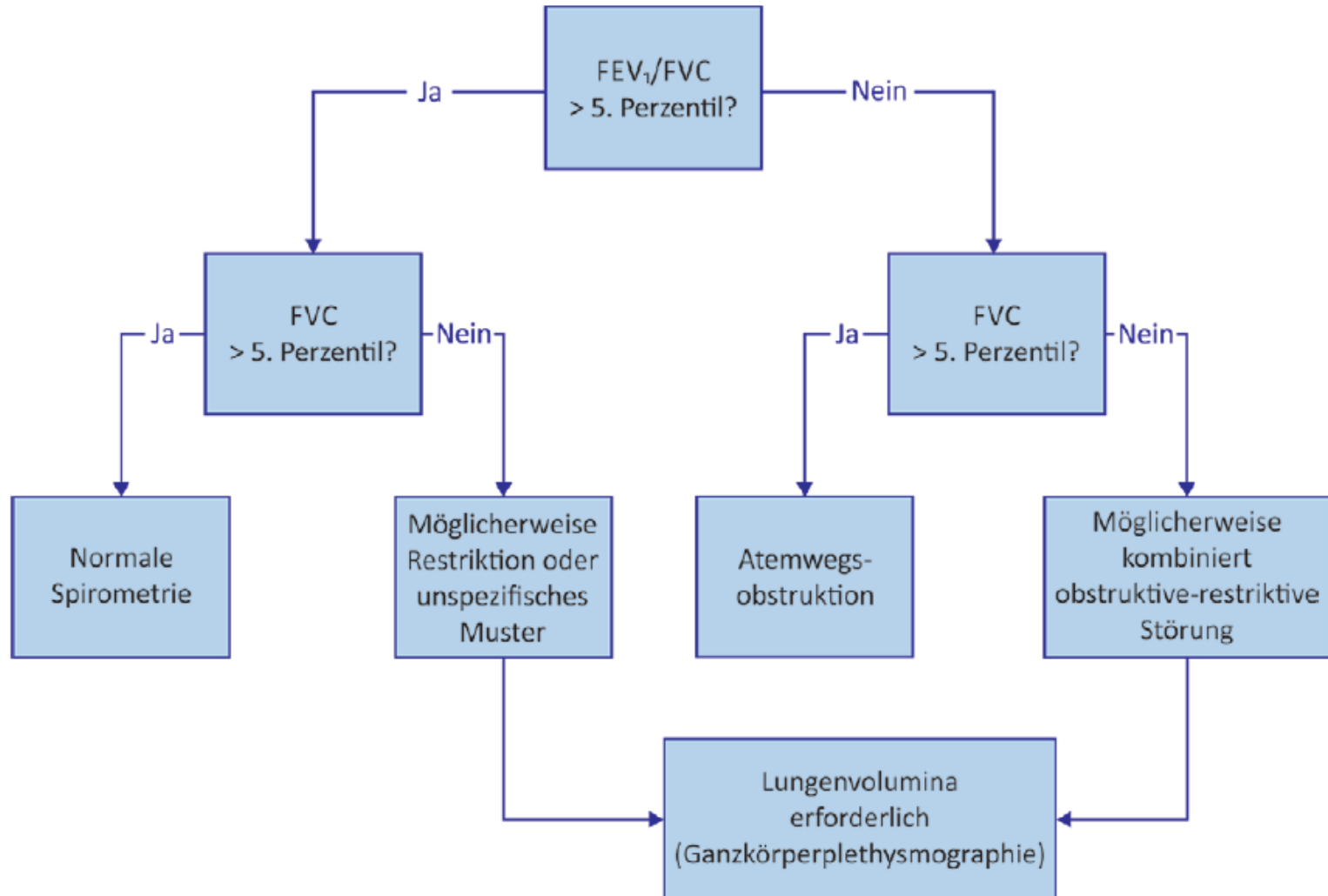
Verhältnis von forcierter Einsekundenkapazität (FEV₁) und forcierter Vitalkapazität (FVC)

Normgrenzen (5. Perzentil) im Vergleich zum festen Cut-Off-Wert von 0,7





Interpretation der Spirometrie

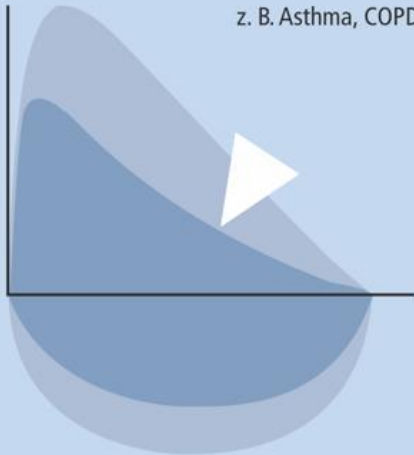




Krankheitszeichen - Obstruktion

leichte Obstruktion

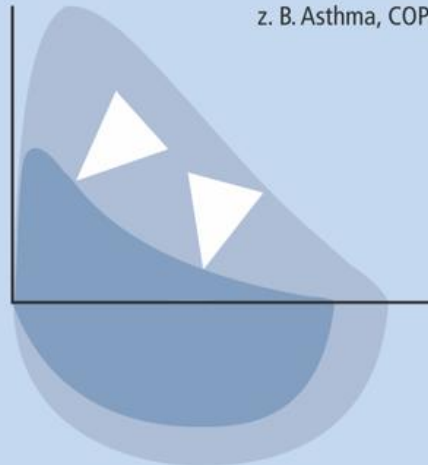
z. B. Asthma, COPD



Typische Innenkrümmung der Ausatemskurve. PEF meist niedrig. FVC häufig normal.

deutliche Obstruktion

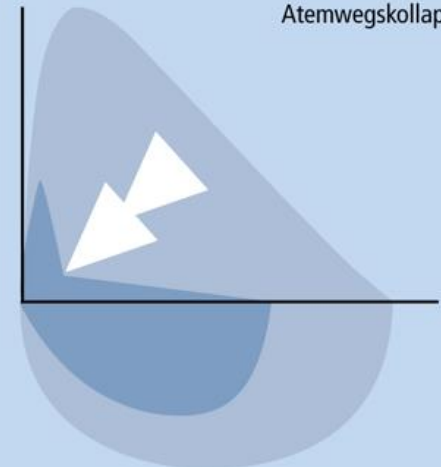
z. B. Asthma, COPD



Typische Innenkrümmung. PEF meist deutlich erniedrigt. Evtl. mit erniedrigter FVC.

schwere Obstruktion

Atemwegskollaps



Knickbildung der Ausatemskurve. FVC und PEF deutlich erniedrigt.



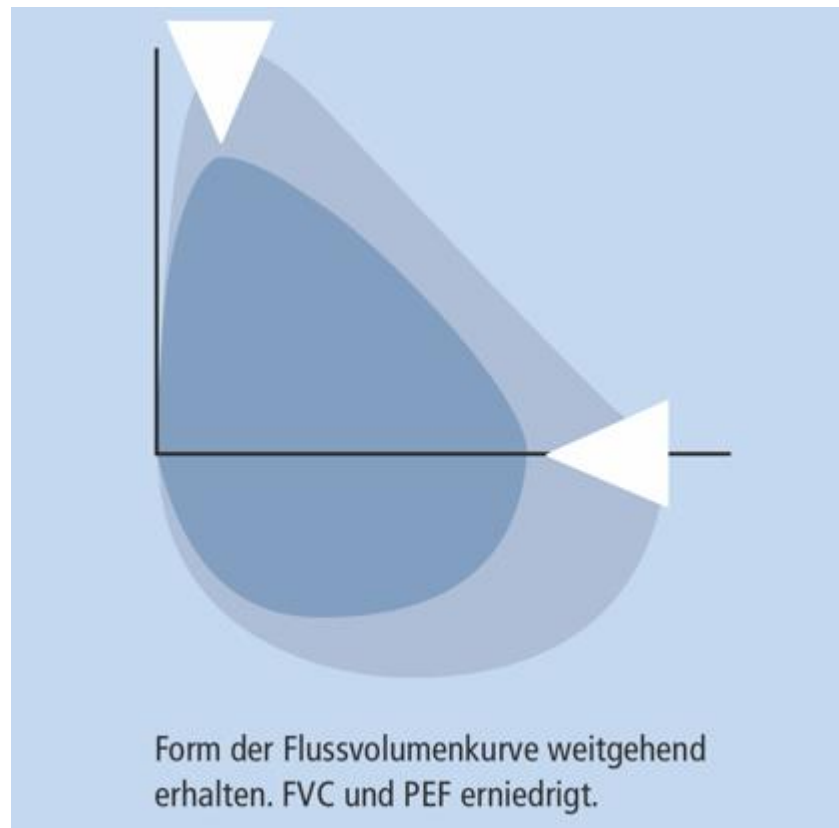
Differenzialdiagnosen bei obstruktiver Ventilationsstörung

- Asthma bronchiale
- COPD
- Bronchiektasie
- Cystische Fibrose (Mukoviszidose)
- Silikose
- Stenose im Bereich der großen Atemwege (cave:
Tumor)
- Lungenparenchymerkrankungen mit Obstruktion
(zum Beispiel Sarkoidose)



Deutsche Atemwegsliga e.V.

Krankheitszeichen - Restriktion





Differenzialdiagnosen bei restriktiver Ventilationsstörung

a) pulmonal

- diffuse Lungenparenchymerkrankungen
- Silikose
- Pneumonie
- Pneumonitis
- cystische Fibrose (Mukoviszidose)
- Bronchiektasie
- Linksherzinsuffizienz (oft mit Obstruktion)

b) extrapulmonal

- Pneumothorax
- Atemmuskelschwäche (zum Beispiel neuromuskuläre Erkrankungen, Myopathien, Steroide, Hyper/Hypothyreose etc.)
- Kyphoskoliose
- instabiler Thorax
- Pleuraerguss, -schwarte
- Zwerchfellparese
- Adipositas

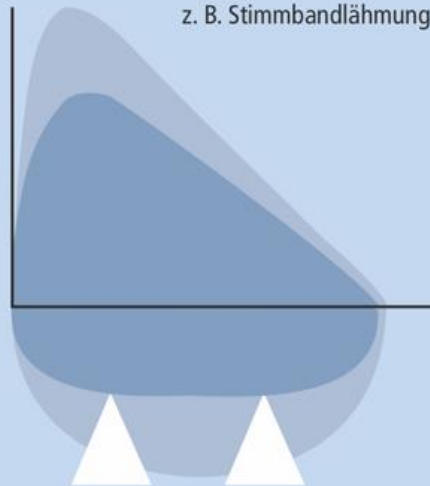
c) Zustand nach Pneumektomie



Krankheitszeichen - Stenosen

variable extrathorakale Stenose

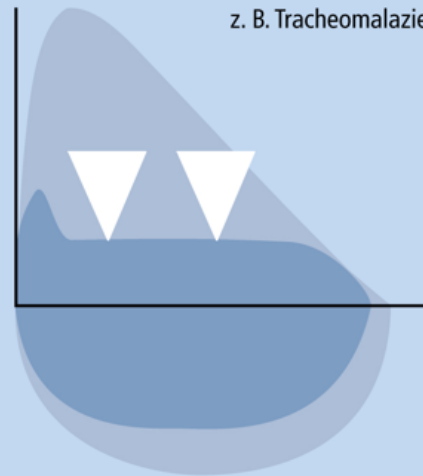
z. B. Stimmbandlähmung



Plateau in der Einatemungskurve. Form der Ausatemungskurve oft erhalten.

variable intrathorakale Stenose

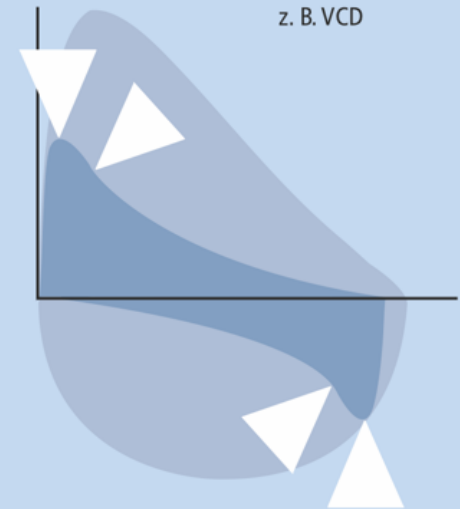
z. B. Tracheomalazie



Plateau in der Ausatemungskurve. Form der Einatemungskurve oft erhalten.

extrathorakale Stenose

z. B. VCD



Forcierte Aus- und Einatmung in Form eines Parallelogramms mit Innenkrümmung.



Graduierung der Messwerteinschränkung

obstruktive Ventilationsstörung: $FEV_1/FVC < LLN$

	Schweregrad der FEV_1 -Einschränkung	Z-Score	%Soll
I	leicht	< -1,645 bis -2,5	$\geq 60\%$
II	mittelschwer	< -2,5 bis -4,0	< 60-40%
III	schwer	< -4,0	< 40%

restriktive Ventilationsstörung: Definition: $TLC < LLN$.

	Schweregrad der FVC-Einschränkung	Z-Score	%Soll
I	leicht	< -1,645 bis -2,5	$\geq 60\%$
II	mittelschwer	< -2,5 bis -4,0	< 60-40%
III	schwer	< -4,0	< 40%



Spirometrie in der Arbeitsmedizin

- im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge
- bei Verdacht auf arbeitsplatzinduziertes Asthma bronchiale
- bei Gutachten von Berufserkrankungen
- Anwendung der GLI-Referenzwerte im Rahmen der pneumologischen Begutachtung ohne Übergangsfrist



Graduierung der spirometrischen Funktionseinschränkungen bei Begutachtungen

Obstruktive Ventilationsstörung. Wenn $FEV_1/FVC < LLN$ ($< 5.$ Perzentil).

FEV₁	Einschränkung
$\geq 85\%$ LLN	leichtgradig
$< 85\%$ LLN und $\geq 55\%$ LLN	mittelgradig
$< 55\%$ LLN	schwergradig

Restriktive Ventilationsstörung. Wenn $TLC < LLN$ ($< 5.$ Perzentile).

FVC	Einschränkung
$\geq 85\%$ LLN	leichtgradig
$< 85\%$ LLN und $\geq 55\%$ LLN	mittelgradig
$< 55\%$ LLN	schwergradig