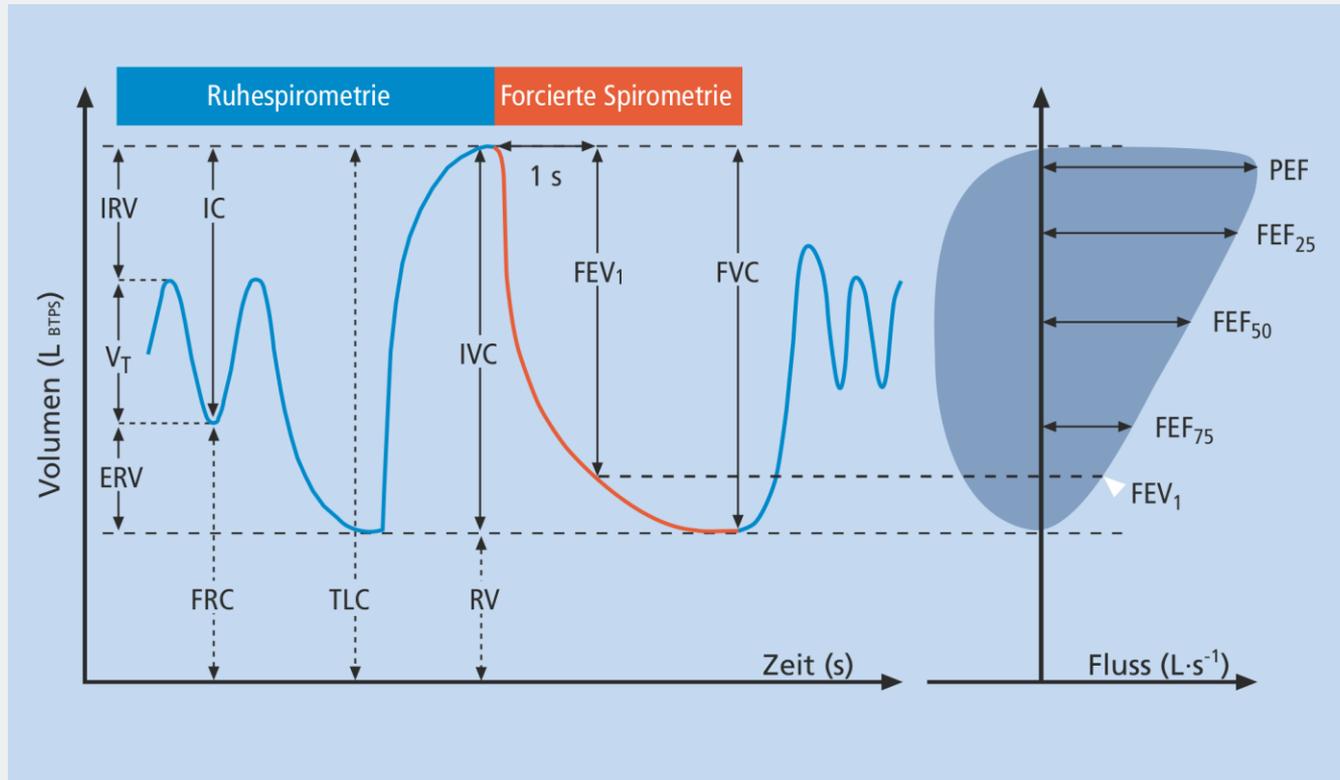


Abb. 1: Statische und dynamische Lungenfunktionsparameter und maximale expiratorische Flüsse.

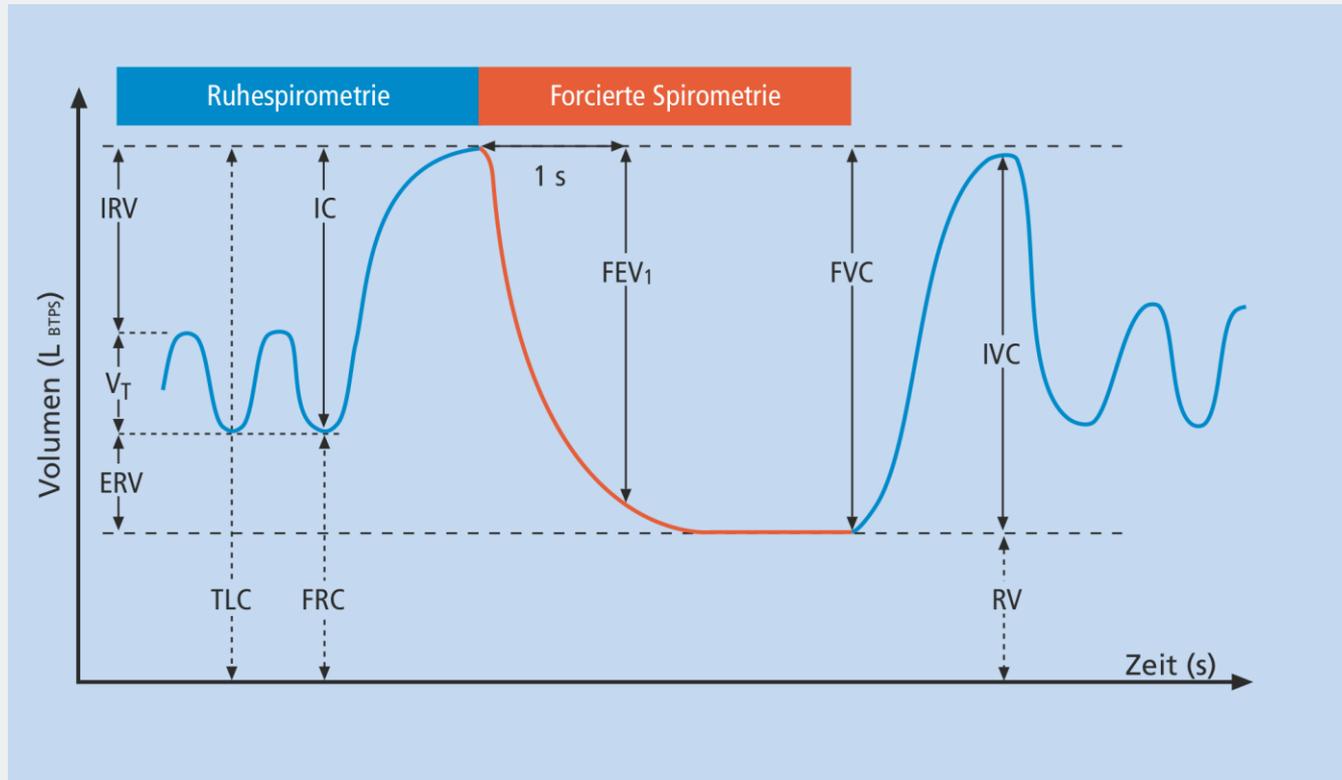
1 a: Standardabfolge mit Bestimmung der inspiratorischen Vitalkapazität (IVC) mit nachfolgender forcierter Spirometrie (siehe Text)

IRV = inspiratorisches Reservevolumen
ERV = expiratorisches Reservevolumen
VT = Atemzugvolumen
FRC = Funktionelle Residualkapazität
TLC = Totale Lungenkapazität
IC = Inspiratorische Kapazität
Übrige Parameter wie Abb. 2



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

IRV = inspiratorisches Reservevolumen
ERV = expiratorisches Reservevolumen
VT = Atemzugvolumen
FRC = Funktionelle Residualkapazität
TLC = Totale Lungkapazität
IC = Inspiratorische Kapazität
Übrige Parameter wie Abb. 2



SPIROMETRISCHE PARAMETER

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 / FVC	%
Maximaler expiratorischer Spitzenfluss, »Peak flow«	Spitzenfluss bei maximaler expiratorischer Anstrengung	PEF	L·s ⁻¹ *
Maximaler expiratorischer Fluss bei 25% der FVC	Maximale Atemstromstärke nach Ausatmung von 25% der FVC	FEF ₂₅	L·s ⁻¹
Maximaler expiratorischer Fluss bei 50% der FVC	Maximale Atemstromstärke nach Ausatmung von 50% der FVC	FEF ₅₀	L·s ⁻¹
Maximaler expiratorischer Fluss bei 75% der FVC	Maximale Atemstromstärke nach Ausatmung von 75% der FVC	FEF ₇₅	L·s ⁻¹
Mittlerer expiratorischer Fluss zwischen 25% u. 75% der FVC	Mittlerer Atemstromstärke nach Ausatmung von 25% –75% der FVC	FEF _{25–75}	L·s ⁻¹

*Im Peakflow-Meter Angabe in L·min⁻¹

KRITERIEN FÜR EINE REPRÄSENTATIVE FORCIERTE EXPIRATION (mit ATS/ERS Kriterien 2005*)

Reproduzierbarkeitskriterien:

- Mindestens 3 akzeptierte Versuche aufzeichnen

Die Differenz zwischen dem größten und zweitgrößten Wert:

- Für FEV₁ nicht mehr als 5% und weniger als 150 mL*
- Für FVC nicht mehr als 5% und weniger als 150 mL*

* Bei FEV₁ und FVC < 1 L darf die Differenz nicht mehr als 100 mL betragen.

Akzeptanzkriterien:

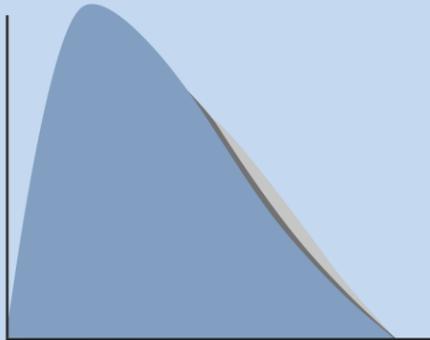
Der maximale expiratorische Spitzenfluss (>Peakflow< PEF) soll innerhalb von 120 ms erreicht werden (steiler Anstieg).

- Expirationzeit länger als 6 s; bei Kindern jünger als 10 Jahre länger als 3 s
- Keine Artefakte (Husten, Glottisschluss, Leckagen, vorzeitige Beendigung, unterschiedliche Anstrengung)
- Die Expiration ist erst beendet, wenn das ausgeatmete Volumen ein Plateau erreicht hat bzw. die Volumenänderung in der letzten Sekunde unterhalb von 25 mL bleibt.
- Das rückextrapolierte Volumen ist kleiner als 5 % der FEV₁ bzw. FVC und kleiner als 150 mL

* Miller et al.: Standardisation of spirometry; ATS/ERS task force; Eur Respir J 2005; 26: 319-338

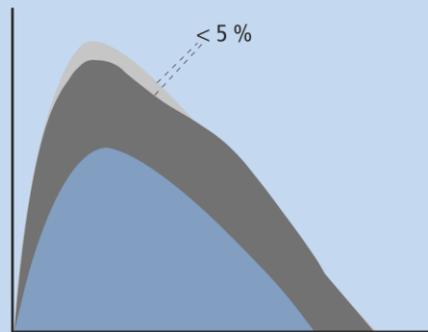
KRITERIEN FÜR DIE REPRODUZIERBARKEIT DER REGISTRIERTEN MESSUNGEN (VERSUCHE)

optimale Reproduzierbarkeit



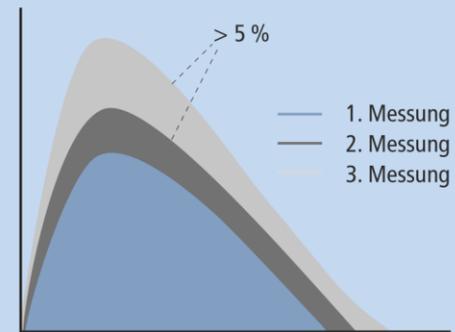
Die 3 Fluss-Volumen-Kurven sind nahezu deckungsgleich.

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

Einwandfrei

Gut

Eingeschränkt wegen
mangelndem Verständnis

Eingeschränkt wegen Hustenreiz

Eingeschränkt wegen
fehlender Koordination

Eingeschränkt wegen
mangelnder Kraft

Eingeschränkt wegen Schmerzen

Eingeschränkt wegen
mangelnder Bereitschaft

Technische Qualität

Messung fehlerhaft

Messung ohne relevante Fehler

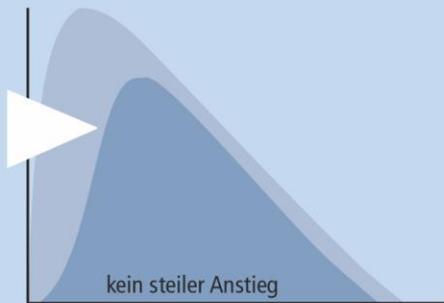
Messung noch brauchbar

Messung teilweise fehlerhaft

Messung mit großen Fehlern

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.

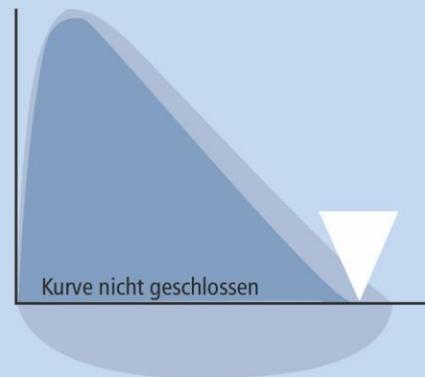
FEHLERZEICHEN grauer Kurvenbereich = optimale Mitarbeit

vorher nicht maximal eingeatmet



Maßnahme: Patienten bitten, vor dem forcierten Ausatmen länger und tiefer einzuatmen.

unvollständige Ausatmung



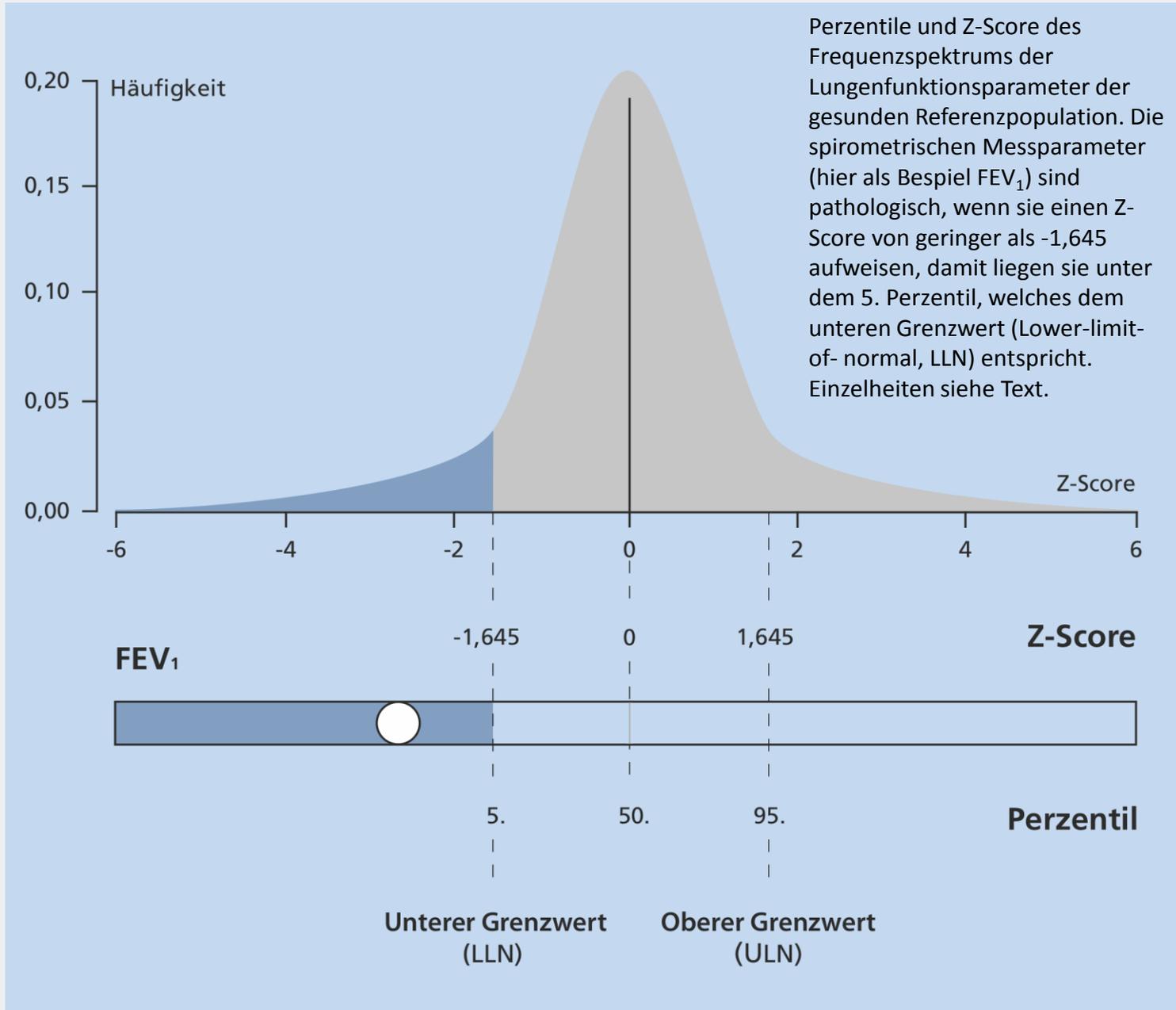
Maßnahme: Patienten bitten, so lange wie möglich auszuatmen.

frühzeitiger Abbruch der Ausatmung

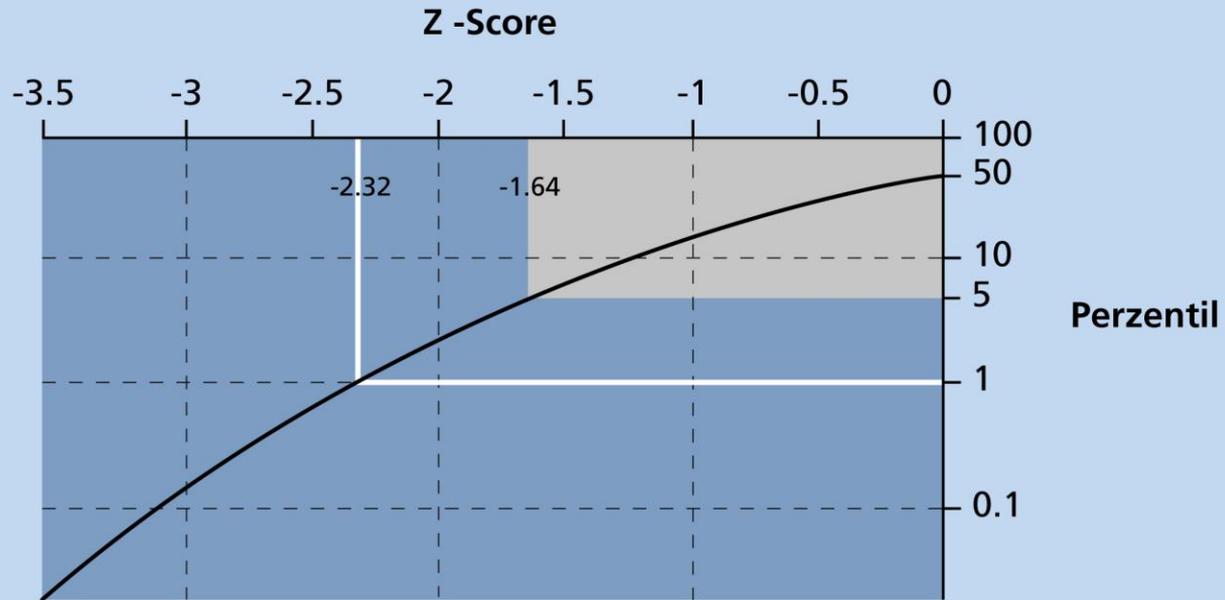


Maßnahme: Patienten bitten, so lange wie möglich auszuatmen.

Abb. 8



BEZIEHUNG ZWISCHEN Z-SCORE UND PERZENTILEN (-)

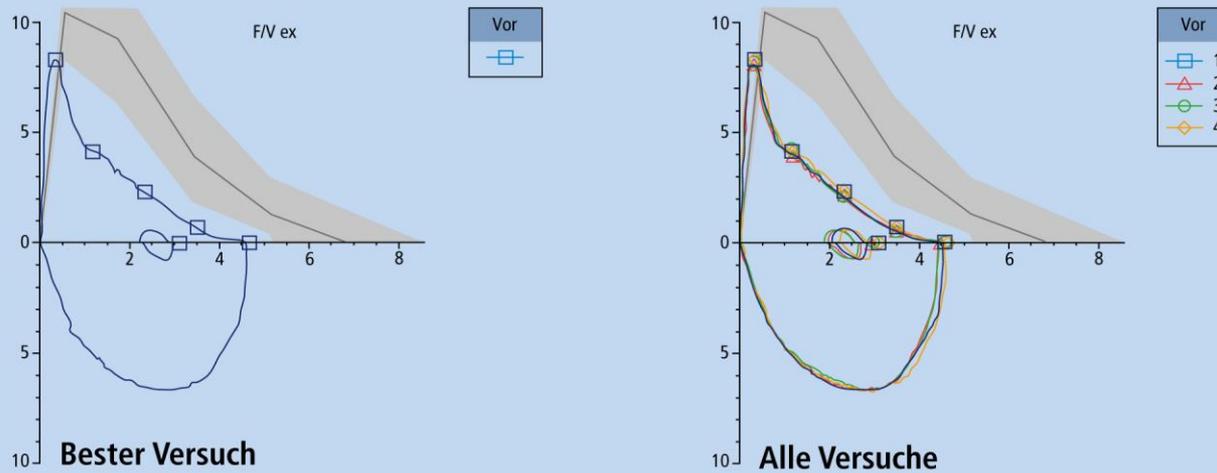


Z-Score = Abweichung vom Sollmittelwert in Einheiten der jeweiligen Standardabweichung

Normbereich

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

FORCIERTE SPIROMETRIE/FLUSS-VOLUMEN-KURVE



	Autor	Soll	Best	%(B/S)	Z (B)	Best					V1	V2	V3	V4	
						-3	-2	-1	1	2	3				
Sollwerte nach Qanjer GLI 2012															
FVC		6.87	4.66	68	-2.22	●						4.55	4.47	4.60	4.66
FEV ₁	Quanjer...	5.13	3.11	61	-2.54	●						2.97	2.96	3.00	3.11
FEV ₁ %F	Quanjer...	75.29	66.85	89	-1.20	●						65.29	66.15	65.12	66.85
MFEF	Quanjer...	3.88	1.90	49	-1.62	●						1.71	1.79	1.68	1.90
FEF ₇₅	Quanjer...	1.26	0.68	54	-1.12	●						0.60	0.67	0.55	0.68
Sollwerte nach EGKS 1993															
PEF	ECCS...	10.42	8.30	80	-1.75	●						8.02	8.09	8.17	8.30
IC	ECCS...	4.94	2.81	57								2.70	2.54	2.53	2.81
ERV	ECCS...	1.51	1.85	123								1.85	1.93	2.07	1.85

REGRESSIONSGLEICHUNGEN (EGKS-WERTE)

für Lungenvolumina und expiratorische Atemstromstärken für Erwachsene im Alter von 18 – 70 Jahren.

			Mittelwert-Gleichung	1,64 × RSD
Männer	IVC	(L)	6,10 KG - 0.028 A - 4.65	± 0.92
	FVC	(L)	5.76 KG - 0.026 A - 4.34	± 1.00
	FEV ₁	(L)	4.30 KG - 0.029 A - 2.49	± 0.84
	PEF	(L·s ⁻¹)	6.14 KG - 0.043 A + 0.15	± 1.99
	FEF ₅₀ = MEF ₅₀	(L·s ⁻¹)	3.79 KG - 0.031 A - 0.35	± 2.17
	FEF ₇₅ = MEF ₂₅	(L·s ⁻¹)	2.61 KG - 0.026 A - 1.34	± 1.28
	FEV ₁ / VC (%)		-0.18 A + 87.21	± 11.8
Frauen	IVC	(L)	4.66 KG - 0.024 A - 3.28	± 0.69
	FVC	(L)	4.43 KG - 0.026 A - 2.89	± 0.71
	FEV ₁	(L)	3.95 KG - 0.025 A - 2.60	± 0.62
	PEF	(L·s ⁻¹)	5.50 KG - 0.030 A - 1.11	± 1.48
	FEF ₅₀ = MEF ₅₀	(L·s ⁻¹)	2.45 KG - 0.025 A + 1.16	± 1.81
	FEF ₇₅ = MEF ₂₅	(L·s ⁻¹)	1.05 KG - 0.025 A + 1.11	± 1.13
	FEV ₁ / VC (%)		-0.19 A + 89.10	± 10.7

KG = Körperlänge in m, A = Alter in Jahren

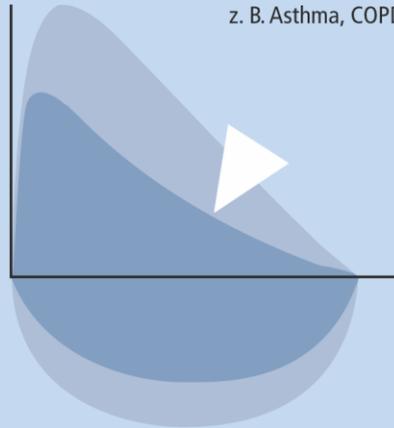
Zwischen 18 und 25 Jahren wird in die Sollwertgleichung das Alter 25 eingesetzt. Das 5. Perzentil errechnet sich durch Subtraktion von 1,64 × RSD (residuale Standardabweichung) vom errechneten Mittelwert (z. B. ist der untere Grenzwert für IVC bei Männern: Mittlere IVC - 0,92 L)

Sollwerte für Kinder in: Lindemann H., W. Leupold, Lungenfunktionsdiagnostik bei Kindern. Kohlhammer, Stuttgart 2003.

KRANKHEITSZEICHEN

leichte Obstruktion

z. B. Asthma, COPD

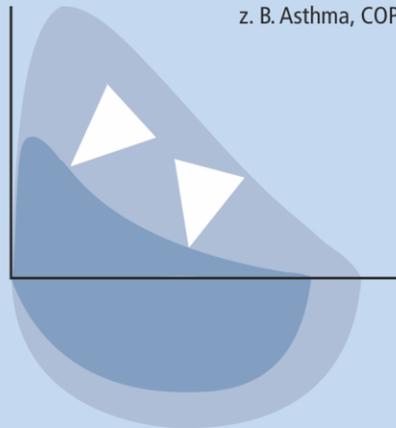


Typische Innenkrümmung der Ausatemskurve. PEF meist niedrig. FVC häufig normal.

KRANKHEITSZEICHEN

deutliche Obstruktion

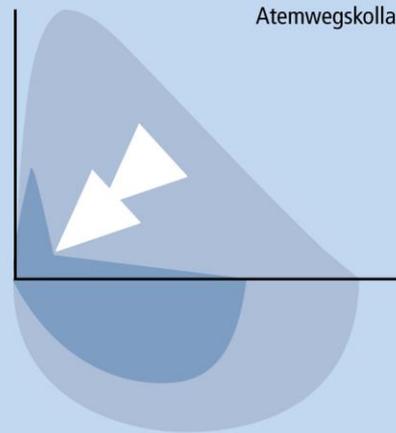
z. B. Asthma, COPD



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

KRANKHEITSZEICHEN

schwere Obstruktion

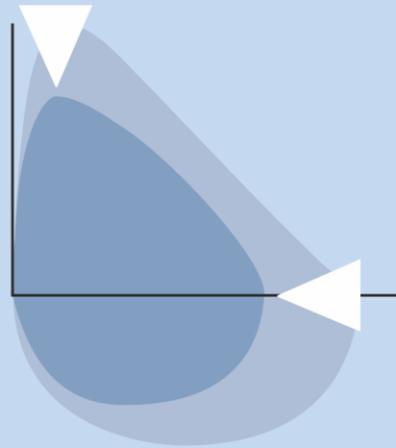


Atemwegskollaps

Knickbildung der Ausatemungskurve.
FVC und PEF deutlich erniedrigt.

KRANKHEITSZEICHEN

Restriktion

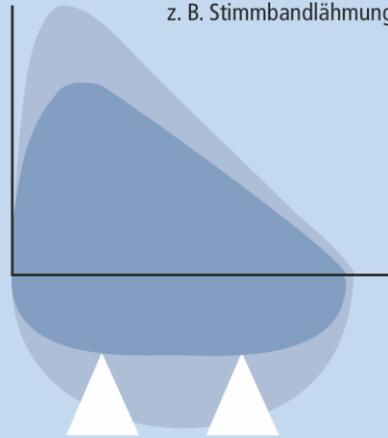


Form der Flussvolumenkurve weitgehend erhalten. FVC und PEF erniedrigt.

KRANKHEITSZEICHEN

variable extrathorakale Stenose

z. B. Stimmbandlähmung

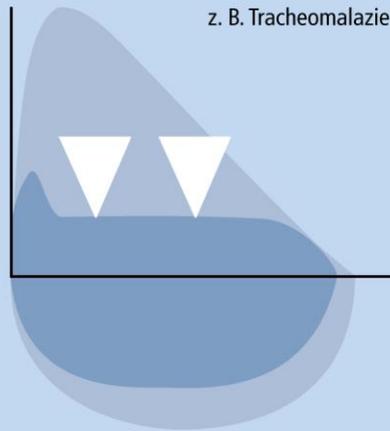


Plateau in der Einatemungskurve. Form der Ausatemungskurve oft erhalten.

KRANKHEITSZEICHEN

variable intrathorakale Stenose

z. B. Tracheomalazie

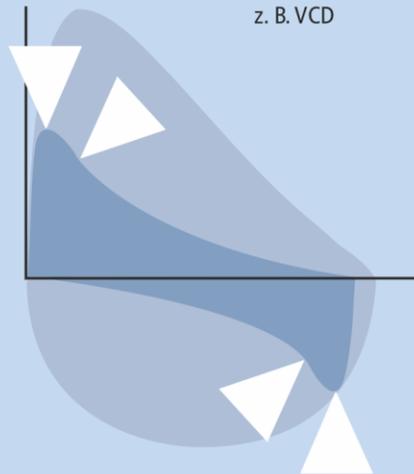


Plateau in der Ausatemskurve. Form der Einatemskurve oft erhalten.

KRANKHEITSZEICHEN

extrathorakale Stenose

z. B. VCD



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

VCD = Vocal cord dysfunction

OBSTRUKTIVE VENTILATIONSSTÖRUNG

Definition

$FEV_1 / FVC < LLN$

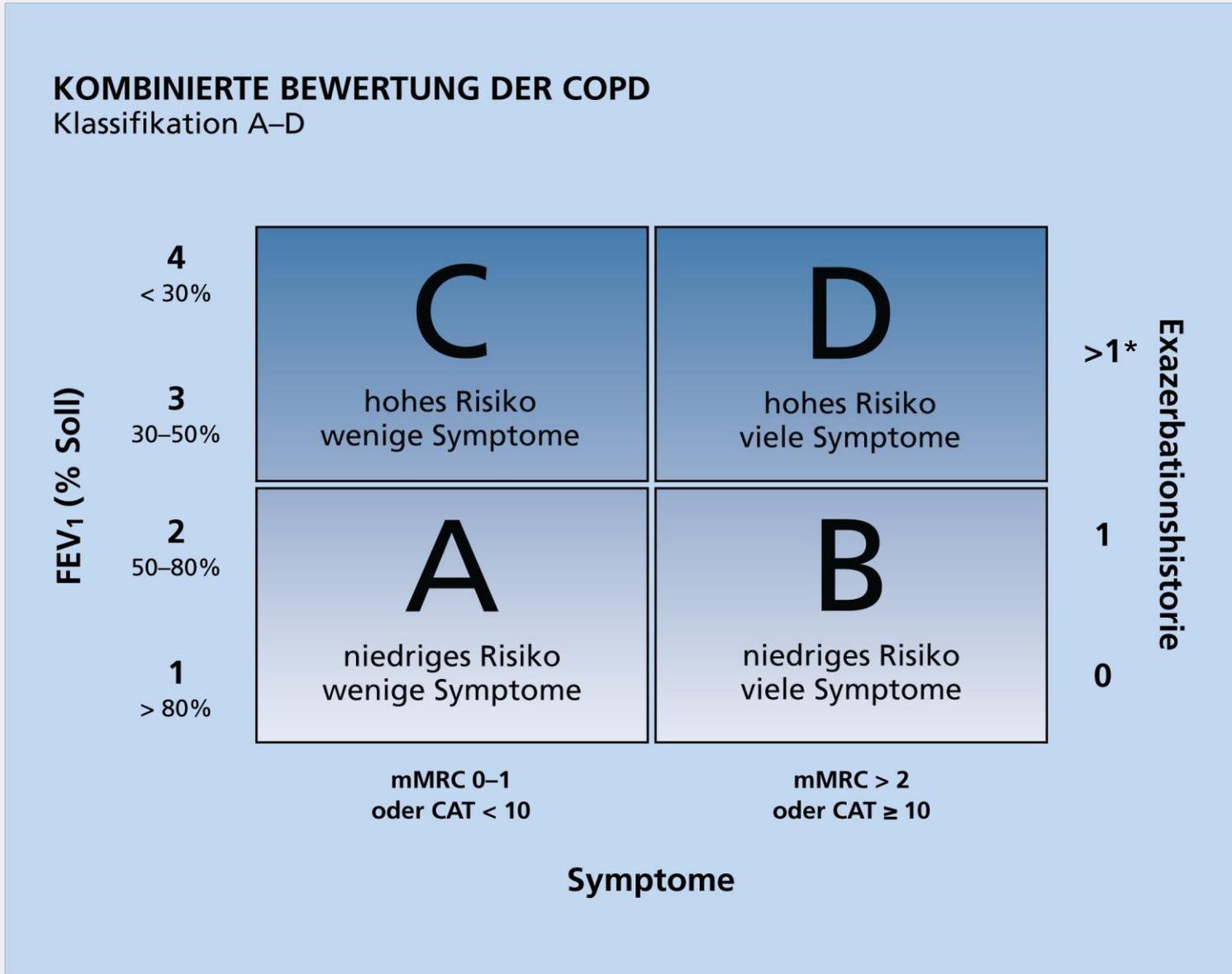
Schweregrade

I	leicht	$FEV_1 > 60\%$ Soll
II	mittelschwer	$FEV_1 40 - 60\%$ Soll
III	schwer	$FEV_1 < 40\%$ Soll

LLN = unterer Grenzwert (Z-Score $< -1,645$ bzw. $< 5.$ Perzentil)

DIE STUFEN DER ASTHMA KONTROLLE

Asthma Kontrolle	kontrolliert (Alle Kriterien erfüllt)	teilweise kontrolliert (1 Kriterium innerhalb 1 Woche)	unkontrolliert
Symptome	keine ($\leq 2x$ pro Woche)	$> 2x$ pro Woche	über 2 Kriterien des teilweise kontrollierten Asthmas innerhalb einer Woche
Einschränkung der Alltagsaktivität	keine	vorhanden	
Nächtliche Symptome	keine	vorhanden	
Einsatz einer Bedarfsmedikation	$\leq 2x$ pro Woche	$> 2x$ pro Woche	
Exazerbation	keine	$\geq 1x$ pro Jahr	



* mehr als eine Exazerbation pro Jahr oder auch nur eine einzige stationäre Behandlung wegen Exazerbation

DIFFERENTIALDIAGNOSEN BEI OBSTRUKTIVER VENTILATIONSSTÖRUNG

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

RESTRIKTIVE VENTILATIONSSTÖRUNG

Definition

TLC < LLN

Schweregrade

I	leicht	FVC (IVC) > 60 % Soll
II	mittelschwer	FVC (IVC) 40 – 60 % Soll
III	schwer	FVC (IVC) < 40 % Soll

LLN = unterer Grenzwert (Z-Score < -1,645 bzw. < 5. Perzentil)

DIFFERENTIALDIAGNOSEN BEI RESTRIKTIVER VENTILATIONSSTÖRUNG

Differentialdiagnosen

a) pulmonal

Diffuse Lungenparenchymerkrankungen
Silikose
Pneumonie
Pneumonitis
Cystische Fibrose (Mukoviszidose)
Bronchiektasie
Linksherzinsuffizienz (oft mit Obstruktion)

b) extrapulmonal

Pneumothorax
Atemmuskelschwäche (z. B. neuromuskuläre Erkrankungen,
Myopathien, Steroide, Hyper/Hypothyreose etc.)
Kyphoskoliose
instabiler Thorax
Pleuraerguß, -schwarte
Zwerchfellparese
Adipositas

c) Zustand nach Pneumektomie

Vereinfachter Lungenfunktionsalgorithmus für die klinische Praxis
(modifiziert nach 10)

