



# Befundung Spiroergometrie

1. Auflage 2024

## Befundung Spiroergometrie kompakt

= Analyse der Anpassungen von Lunge-Herz-Kreislauf-Stoffwechsel an die Belastung

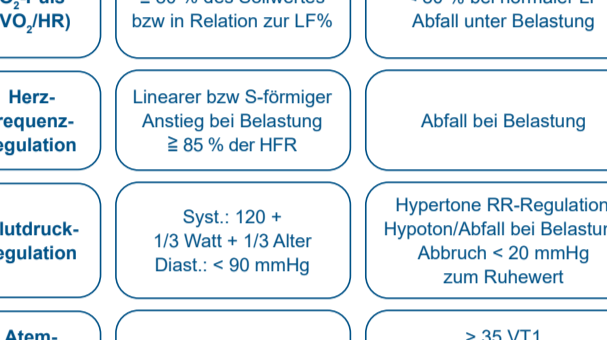
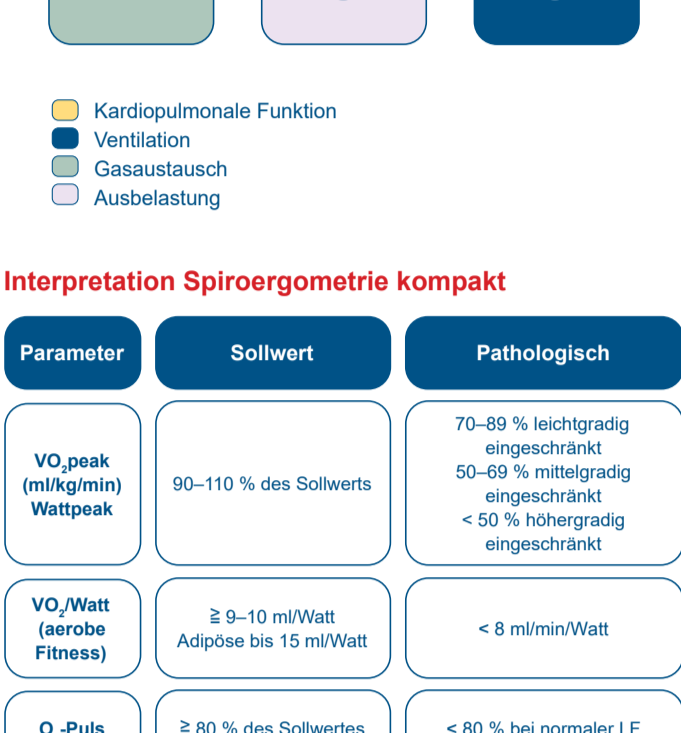
### Indikationen – Parameter

<b>Leistungsfähigkeit</b>	VO <sub>2</sub> peak, Wattpeak, VT1, VT2, HFmax
<b>Abklärung Dyspnoe</b>	Limitierung: <ul style="list-style-type: none"> <li>kardial (VO<sub>2</sub>peak, VO<sub>2</sub>/Watt, O<sub>2</sub>-Puls, HF)</li> <li>pulmonal (VE, VE/VCO<sub>2</sub>, VE/VO<sub>2</sub>, PetCO<sub>2</sub>, PetO<sub>2</sub>, BR)</li> <li>metabolisch (RER, VT1, VT2, HFR, BR)</li> </ul>
<b>Präoperativ</b>	VO <sub>2</sub> peak, VE/VCO <sub>2</sub> : Indiziert bei: <ul style="list-style-type: none"> <li>präop FEV1 postdilatorisch &lt; 80 %</li> <li>DLCO &lt; 80 %</li> <li>errechneter Wert postop FEV1/DLCO &lt; 30 %</li> </ul>
<b>Prognose/Verlauf/Med</b>	VO <sub>2</sub> peak, VO <sub>2</sub> /Watt, VE/VCO <sub>2</sub> , VT1
<b>Training</b>	VO <sub>2</sub> peak, Wattpeak, VT1, VT2, HFmax

**Durchführung**  
**Ruhephase:** Lungenfunktion: FEV1, Berechnung MVV=FEV1 x 35, Blutgasanalyse, Blutdruck, EKG, ggf Laktat 1–3 min  
**Leerlaufphase:** EKG, Blutdruck alle 2 min, BGA submaximal und maximal, IC-Manöver alle 1–2 min, ggf Laktat  
**Belastungsphase:** EKG 5 min, Blutdruck 1., 3. und 5. min, RPE (BORG-Skala) ggf Laktat  
**Erholungsphase:** EKG 5 min, Blutdruck 1., 3. und 5. min, RPE (BORG-Skala) ggf Laktat

## Interpretation Spiroergometrie

### 9-Felder Graphik



## Interpretation Spiroergometrie kompakt

Parameter	Sollwert	Pathologisch
<b>VO<sub>2</sub>peak (ml/kg/min) Wattpeak</b>	90–110 % des Sollwerts	70–89 % leichtgradig eingeschränkt 50–69 % mittelgradig eingeschränkt < 50 % höhergradig eingeschränkt
<b>VO<sub>2</sub>/Watt (aerobe Fitness)</b>	≥ 9–10 ml/Watt Adipöse bis 15 ml/Watt	< 8 ml/min/Watt
<b>O<sub>2</sub>-Puls (VO<sub>2</sub>/HR)</b>	≥ 80 % des Sollwertes bzw in Relation zur LF%	< 80 % bei normaler LF Abfall unter Belastung
<b>Herzfrequenz-regulation</b>	Linearer bzw S-förmiger Anstieg bei Belastung ≥ 85 % der HFR	Abfall bei Belastung
<b>Blutdruck-regulation</b>	Syst.: 120 + 1/3 Watt + 1/3 Alter Diast.: < 90 mmHg	Hypertone RR-Regulation Hypoton/Abfall bei Belastung Abbruch < 20 mmHg zum Ruhewert
<b>Atem-äquivalent VE/VO<sub>2</sub></b>	Ruhe: 25–30 VT1: < 20–25	> 35 VT1 steiler Anstieg bei Belastung fehlende Wannbildung
<b>Atem-äquivalent VE/VO<sub>2</sub></b>	Ruhe: 25–35 VT1: < 25–30	< 35 VT1 fehlende Wannbildung
<b>RER Respiratory exchange ratio</b>	Ruhe: 0,7–0,8 Ausbelastung: ≥ 1,05 ≥ 1,1	> 1,05 in Ruhe < 1,0 bei Ausbelastung
<b>PetCO<sub>2</sub></b>	Ruhe > 35 mmHg, unter Belastung > 40 mmHg	Ruhe < 33 mmHg, unter Belastung ≥ 50 mmHg
<b>PetO<sub>2</sub></b>	Ruhe > 90 mmHg, Anstieg unter Belastung	Kein Anstieg unter Belastung
<b>AaDO<sub>2</sub></b>	Ruhe < 30 mmHg, Belastung < 35 mmHg	Ruhe > 30 mmHg, Belastung > 35 mmHg
<b>P(a-ET)CO<sub>2</sub></b>	0-positiv in Ruhe, negativ bei Belastung	positiv bei Belastung

## Kardiozirkulatorische Felder

**Feld 1 neu/ 3 alt: Darstellung von O<sub>2</sub>-Aufnahme (VO<sub>2</sub>) und CO<sub>2</sub>-Abgabe (VCO<sub>2</sub>)**  
 • T- Testbeginn, E- Testende  
 • In Ruhe VO<sub>2</sub> (blaue Linie) über VCO<sub>2</sub> (rote Linie)  
 • Schnittpunkt VO<sub>2</sub>/VCO<sub>2</sub> = Respiratory exchange ratio  
 • VO<sub>2</sub>peak = max. Sauerstoffaufnahme

**Auswertung (Sollwerte/Verlauf)**  
 • VO<sub>2</sub>peak (% Sollwert erreicht)? – max. Leistungsfähigkeit  
 • ΔVO<sub>2</sub>/ΔWatt = aerobe Fitness – linearer Verlauf der VO<sub>2</sub> zur Wattsteigerung – falls Abflachung/Plateau verminderte aerobe Fitness  
 • Vorzeitige Abflachung, Plateau oder Abfall VO<sub>2</sub> unterhalb Sollwert im Vergleich zur Wattleistung = Hinweis auf kardiale Limitierung  
 • Oszillation (wellenartiger Verlauf der VO<sub>2</sub>) – Hinweis auf Cheyne Stokes Atmung

**Feld 2 neu/ 2 alt: Darstellung von Herzfrequenz (HF) und Sauerstoff-puls (O<sub>2</sub>-Puls = VO<sub>2</sub>/HF)**  
 • max. Herzfrequenz erreicht  
 • Anstiegsverlauf Herzfrequenz bei Belastung (physiologisch linear oder s-förmiger Anstieg)  
 • O<sub>2</sub>-Puls = Sauerstoffmenge, die pro Herzschlag aufgenommen wird – indirekt Maß für das Schlagvolumen des Herzens

**Auswertung (Sollwerte/Verlauf)**  
 • Herzfrequenzreserve nicht erreicht (vorzeitiger Abbruch, Beta-blockertherapie ...)  
 • Frühzeitiges Plateau/Abfall des O<sub>2</sub>-Pulses unterhalb des Sollwertes mit HF-Knick nach oben als möglicher Hinweis auf kardiale Limitierung

**Feld 3 neu/ 5 alt: Darstellung von Herzfrequenzverlauf zur VO<sub>2</sub> (rosa Linienverlauf) sowie VCO<sub>2</sub> im Verhältnis zu VO<sub>2</sub> (rot Linienverlauf)**  
 • Herzfrequenzverlauf im Sollbereich (rosa Schraffierung)  
 • Verhältnis VO<sub>2</sub> (x-Achse) zu VCO<sub>2</sub> (y-Achse) zur Bestimmung der 1. ventilatorischen Schwelle – V-slope (Knickpunkt)

**Auswertung (Sollwerte/Verlauf)**  
 • Frühe VT1 als Ausdruck verringert aerober Kapazität  
 • Steiler Anstieg der Herzfrequenz (Trainingsmangel, Funktionsstörung Schilddrüse, Anämie, hyperkinetischer Anstieg ...)

• Flacher Anstieg der Herzfrequenz-regulation (guter Trainingszustand, medikamentös z.B. Betablockertherapie, chronotrope Inkompetenz)

## Ventilatorische Felder

**Feld 5 neu/ 1 alt: Darstellung von Atemminutenvolumen (VE) über die Zeit und im Verhältnis zur Wattleistung**  
 • MVV (maximal voluntary ventilation): FEV1 x 35  
 • Verhältnis VEmax zur MVV – normalerweise Atemreserve > 20 %  
 • wird Sollwert des maximalen Atemminutenvolumens erreicht (braun schraffiert)  
 • 2 Knickpunkte bei Anstieg des Atemminutenvolumens (VT1 und VT2 – ventilatorische Schwellen)

**Feld 6 neu/ 4 alt: Darstellung von Verhältnis Ventilation zur CO<sub>2</sub>-Abgabe (VE/VO<sub>2</sub>)**  
 • VE/VO<sub>2</sub> – wieviel Liter Luft müssen ventiliert werden, um 1 L CO<sub>2</sub> abzuatmen – Maß für die Atemökonomie  
 • VE/VO<sub>2</sub>-slope im Range-Bereich - unterhalb: Hypoventilation  
 • V-slope: Anstiegssteilheit; > 25 prognostisch schlecht

**Feld 9 neu/ 7 alt: Darstellung von Verhältnis Atemzugvolumen (Vt) x-Achse und Atemfrequenz zum Atemminutenvolumen (VE)**  
 • Vt – zu Beginn Anstieg des Atemzugvolumens, bei Intensität 60 % der VC, Plateau des Atemzugvolumens, VE – Steigerung nur mehr über die Steigerung der Atemfrequenz  
 • Obere Isoplethe: Atemfrequenz 20/min  
 • Untere Isoplethe: Atemfrequenz 50/min

## Gasausstausch Felder + Ausbelastung

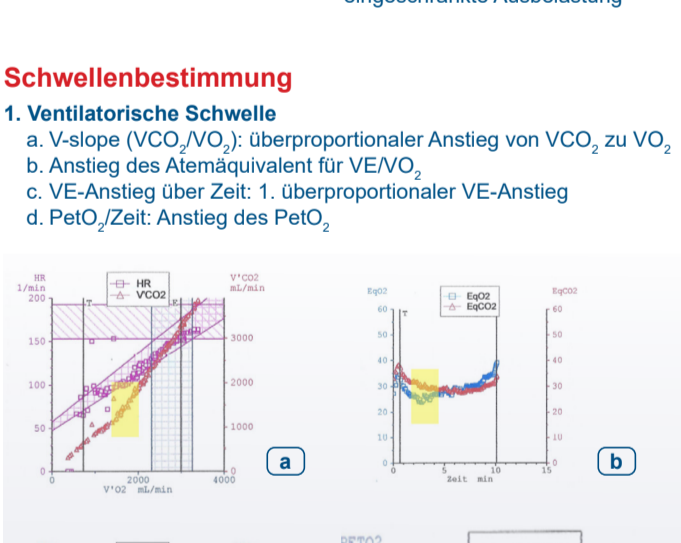
**Feld 4 neu/ 6 alt: Darstellung von Verhältnis von Atemminutenvolumen zur O<sub>2</sub>-Aufgabe (VE/VO<sub>2</sub>) bzw. zur CO<sub>2</sub>-Abgabe (VE/VCO<sub>2</sub>)**  
 • Maß für die Atemökonomie – je niedriger desto effektiver ist die Atemarbeit  
 • Wannenförmiger Verlauf bei Belastung mit Anstieg des VE/VO<sub>2</sub> (1. Schwelle) sowie Anstieg des VE/VCO<sub>2</sub> (2. Schwelle)

**Feld 7 neu/ 9 alt: Darstellung der endexpiratorischen Partialdrücke von O<sub>2</sub> (PetO<sub>2</sub>) sowie CO<sub>2</sub> (PetCO<sub>2</sub>)**  
 • Indirektes Maß für den Gasausstausch  
 • Hyperventilation: PetCO<sub>2</sub> erniedrigt, PetO<sub>2</sub> erhöht  
 • Alveoläre Hypoventilation: PetCO<sub>2</sub> erhöht  
 • Bestimmung der kapillären Blutgase:  
 - P(A-a)DO<sub>2</sub>: normal < 35 bei Belastung  
 - P(A-A)CO<sub>2</sub>: normal: in Ruhe 0–2, bei Belastung < 0

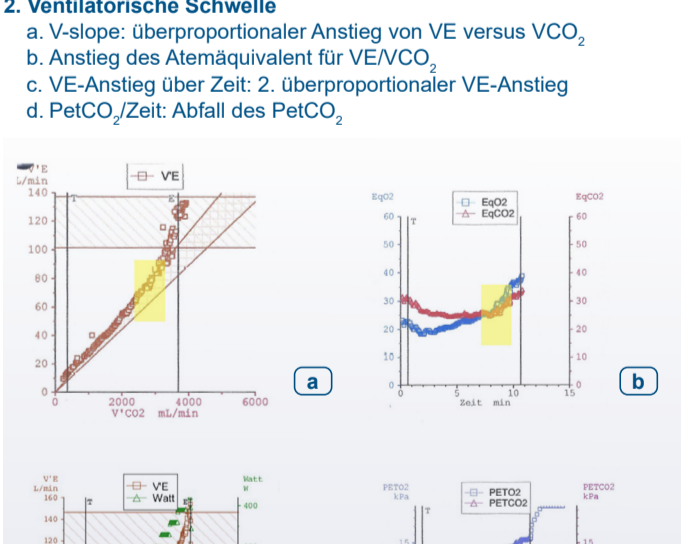
**Feld 8 neu/alt: Darstellung der respiratorischen Exchange ratio (RER) über die Zeit**  
 • RER: Verhältnis aus CO<sub>2</sub>-Abgabe (VCO<sub>2</sub>) zu O<sub>2</sub>-Aufnahme (VO<sub>2</sub>) – Maß für die metabolische Ausbelastung  
 • RER in Ruhe: 0,7–0,85  
 • RER > 1 bereits in Ruhe: Hyperventilation  
 • RER = 1: Schnittpunkt VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>  
 • RER < 1,1 bei Abbruch: Hinweis auf eingeschränkte Ausbelastung

## Schwellenbestimmung

**1. Ventilatorische Schwelle**  
 a. V-slope (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>): überproportionaler Anstieg von VCO<sub>2</sub> zu VO<sub>2</sub>  
 b. Anstieg des Atemäquivalent für VE/VO<sub>2</sub>  
 c. VE-Anstieg über Zeit: 1. überproportionaler VE-Anstieg  
 d. PetO<sub>2</sub>/Zeit: Anstieg des PetO<sub>2</sub>



**2. Ventilatorische Schwelle**  
 a. V-slope: überproportionaler Anstieg von VE (Schraffierung LLN/ULN)  
 b. Anstieg des Atemäquivalent für VE/VO<sub>2</sub>  
 c. VE-Anstieg über Zeit: 2. überproportionaler VE-Anstieg  
 d. PetCO<sub>2</sub>/Zeit: Abfall des PetCO<sub>2</sub>



## Auswertung

**1. Leistungsfähigkeit**  
 • Wattmax/VO<sub>2</sub>peak ml/kg % des Sollwertes:  
 - normal = 90–110 %  
 - unterdurchschnittlich = 70–90 %  
 - deutlich eingeschränkt = 50–70 %  
 - hochgradig eingeschränkt = < 50 %

**2. Ausbelastungszeichen**  
 • Kardial: Erreichen der HFR (Schraffierung LLN/ULN)  
 • Ventilatorisch: Erreichen der VE-Sollwerte (Schraffierung LLN/ULN)  
 • Metabolisch: Laktatanstieg > 5 mmol/L, BE-base excess > -5 mmol/L, RER > 1.1

**3. Beurteilung Kardiozirkulation**  
 • Aerobe Kapazität: paralleler Anstieg von VO<sub>2</sub> zu Wattanstieg.  
 Normal/erniedrigt  
 • Herzfrequenzanstieg: normal: linear/S-förmig  
 • Sauerstoffpuls (VO<sub>2</sub>/HF):  
 - Erreichen des Sollwertes in Relation zur erbrachten Wattleistung  
 - Abfall/frühes Plateau als Hinweis auf mögliche kardiale Limitierung

**4. Beurteilung Ventilation**  
 • VE/VO<sub>2</sub>:  
 - oberhalb des Ranges: Hyperventilation/Ventilation-Perfusions mismatch  
 - unterhalb des Ranges: Hypoventilation  
 • Anstieg VT/VE: normal-Anstieg zu Beginn mit Plateau bei höherer Intensität  
 • Atemmuster:  
 - obstruktives Atemmuster: Hyperventilation/erhöhtes Atemzugvolumen  
 - restriktives Atemmuster: Hyperventilation/erniedrigtes Atemzugvolumen  
 • Ventilatorische Limitierung: BR% < 20

**5. Beurteilung Gasausstausch**  
 • Hyperventilation: PetO<sub>2</sub> erhöht, PetCO<sub>2</sub> erniedrigt  
 • Hypoventilation: PetCO<sub>2</sub> erhöht  
 • AaDO<sub>2</sub> Anstieg bei zunehmender Belastung: Diffusionsstörung > 35 mmHg  
 • P(A-A)CO<sub>2</sub>: positiv > 5 bei Belastung, V/Q mismatch, pH

## Beispiele

### Restriktives Atemmuster

- Hyperventilation
- Niedriges Atemmuster (hohe Atemfrequenz mit niedrigem Atemzugvolumen-Vt)



### Obstruktives Atemmuster

- Hyperventilation
- Erhöhtes Atemmuster (erhöhtes Atemzugvolumen-Vt)



## Abkürzungen

AaDO<sub>2</sub>=(alveolar-arterieller) Sauerstoffpartialdruck, BR=breathing reserve (Atemreserve, 1-VEmax/MVV), DLCO=Diffusionskapazität, HF=Herzfrequenz, HFR=Herzfrequenzreserve (maximale Herzfrequenz – Ruheherzfrequenz), LLN=lower limit of normal, MVV= maximal voluntary ventilation (Atemkapazität), O<sub>2</sub>-Puls=Sauerstoffpuls (VO<sub>2</sub>/HF), P(a-ET)CO<sub>2</sub>=Differenz arteriell-end-tidaler Kohlendioxidpartialdruck, PetCO<sub>2</sub>=end-tidaler CO<sub>2</sub>-Partialdruck, PetO<sub>2</sub>=end-tidaler O<sub>2</sub>-Partialdruck, RER=respiratory exchange ratio (VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>), ULN=upper limit of normal, VE=Atemminutenvolumen, VE/VO<sub>2</sub>=Atemäquivalent für VCO<sub>2</sub>, VE/VO<sub>2</sub>=Atemäquivalent für VO<sub>2</sub>, VO<sub>2</sub>peak=maximale Sauerstoffaufnahme, VT1=1. ventilatorische Schwelle, VT2=2. ventilatorische Schwelle, Wattpeak= maximale Wattleistung

## Impressum

Medieninhaber: Österreichische Gesellschaft für Pneumologie (ÖGP)  
 Autor\*innen: Karin Vonbank, Martin Burtcher  
 Druck: Friedrich Druck

Mit freundlicher Unterstützung:

