



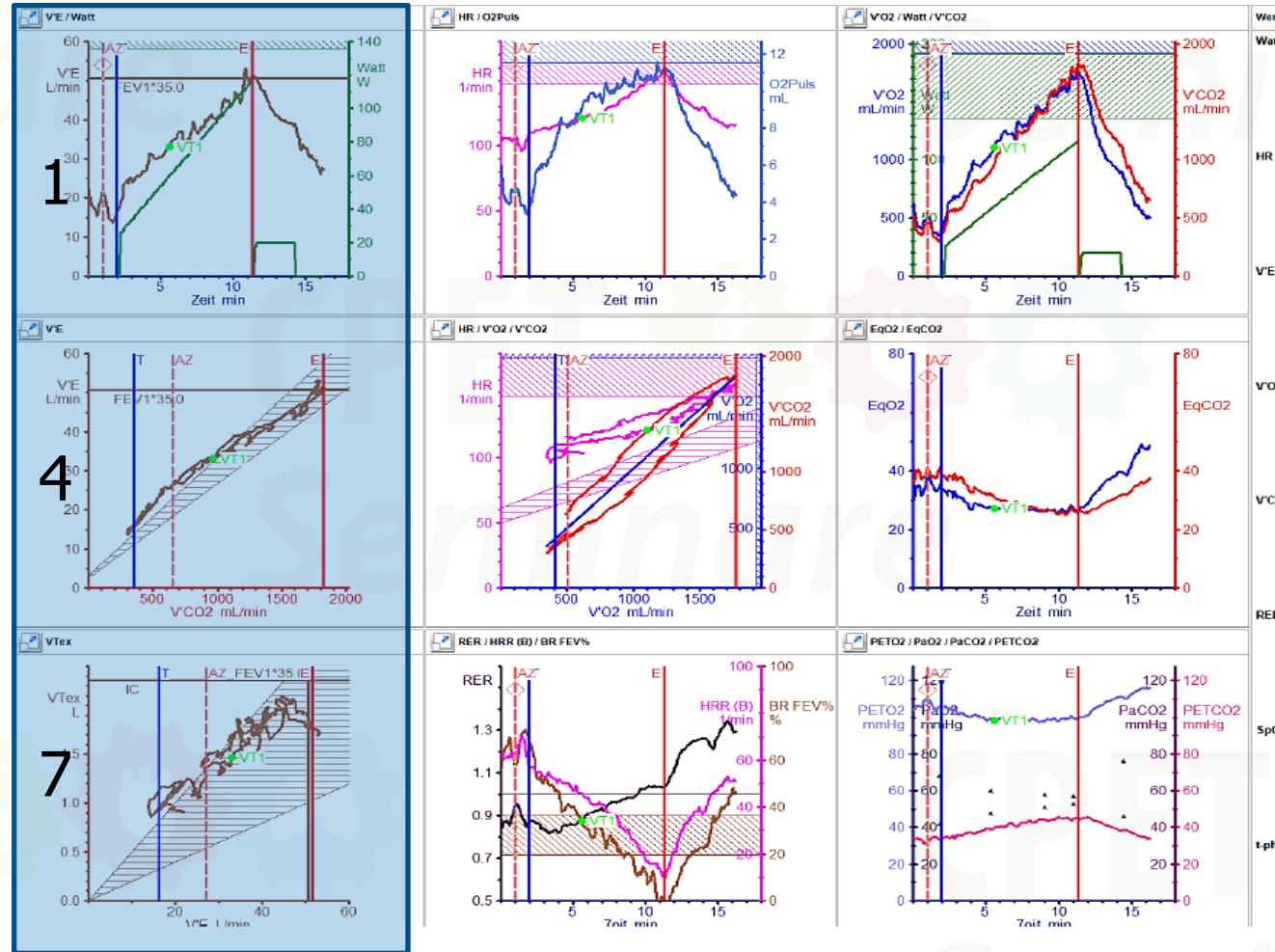
## Ventilation in der 9-Felder Graphik

---

nach Karlman Wasserman

mit Erweiterung „operating lung volume“

# Ventilatorische Felder in der 9-Felder Grafik



# Nomenklatur zu Ventilation

AZV	= <b>VT</b>	Atemzugvolumen, Tidalvolumen
AF	= <b>BF</b>	Atemfrequenz
AR	= <b>BR</b>	Atemreserve
Ventilation	= <b>V'E</b>	expiratorisch gemessene Ventilation
VD	= <b>V<sub>D</sub></b>	Totraum
IK	= <b>IC</b>	Inspiratorische Kapazität
EELV	= <b>EELV</b>	<b>E</b> ndexpiratorisches <b>L</b> ungenvolumen entspricht FRCpleth, bzw. ITGV
VD/VT	= <b>VD/VT</b>	Quotient Totraum/Tidalvolumen

# Nomenklatur Ventilation, AGW, MVV

---

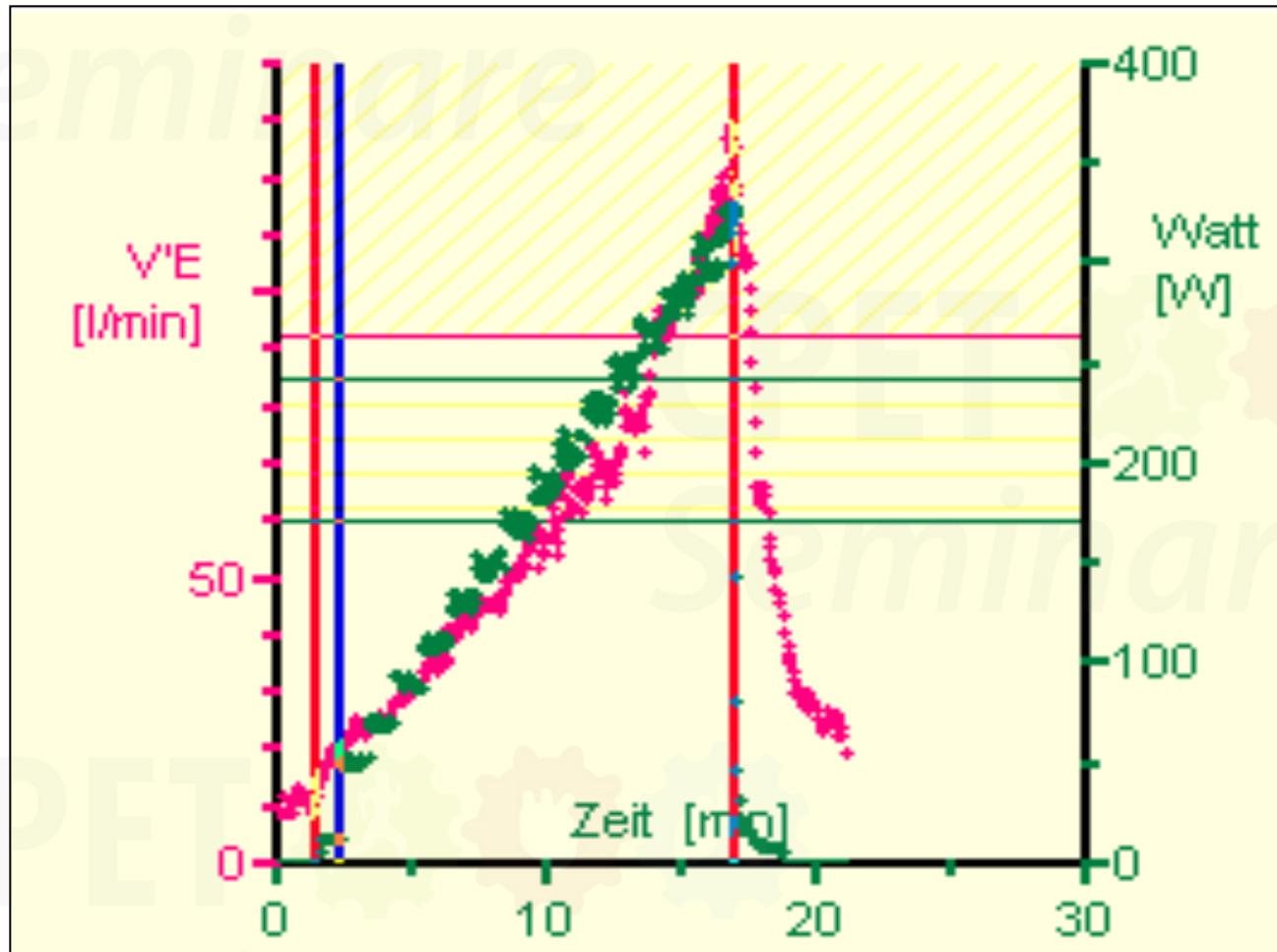
- **V'E max (peak)**
  - **V'E predicted\***
  - **AGW**
  - **MVV**
- gemessenes Volumen ( $V'E$ )  
maximaler Ventilationswert aus  
Normwertkollektiv
- Atemgrenzwert (12 Sek. x 5)  
Maximal Voluntary Ventilation (gemessen)  
oder abgeschätzt aus  $FEV_1 \times 35$

1	2	3
4	5	6
7	8	9

---

**Feld 1**

# Feld 1 - Ventilation und Leistung



Dargestellt wird:

Ventilation ( $V'E$ ) und Leistung über Zeit

Skalierung:

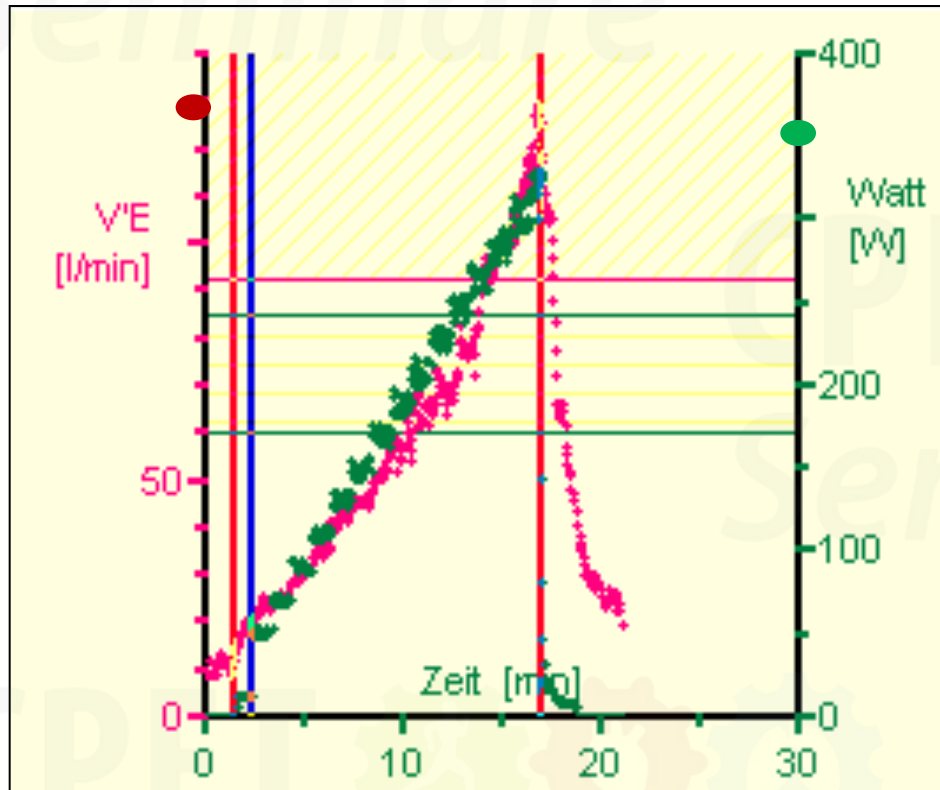
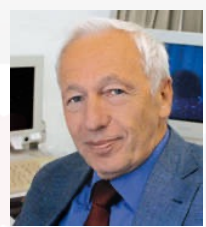
100 Watt ~ 40 L  $V'E$

250 Watt ~ 100 L  $V'E$

Beurteilung von:

1. Ausschöpfung des ventilatorischen Spielraumes
2. Verhältnis Ventilation zu Leistung
3. VT2 – (Respiratorischer Kompensationspunkt, RCP)

# Ventilation und Leistung – 9er Regel nach Rühle



25 Watt „benötigen“ 9 Liter Ventilation  
Neuner Regel nach K.H. Rühle  
zur Plausibilitätskontrolle der Messung

Beispiel: **Proband leistet Arbeit von 350 Watt**

Belastung 350 Watt = 14 x 25 Watt → 14 x 9 Liter V'E  
+ Ruheventilation → 1 x 9 Liter V'E

V'E → 15 x 9 = 135 L

orientierender Richtwert

## Begriff Atemreserve – BR

---

Atemreserve (BR, **B**reathing **R**eserve) =  
Differenz [L oder %] zwischen MVV und VE

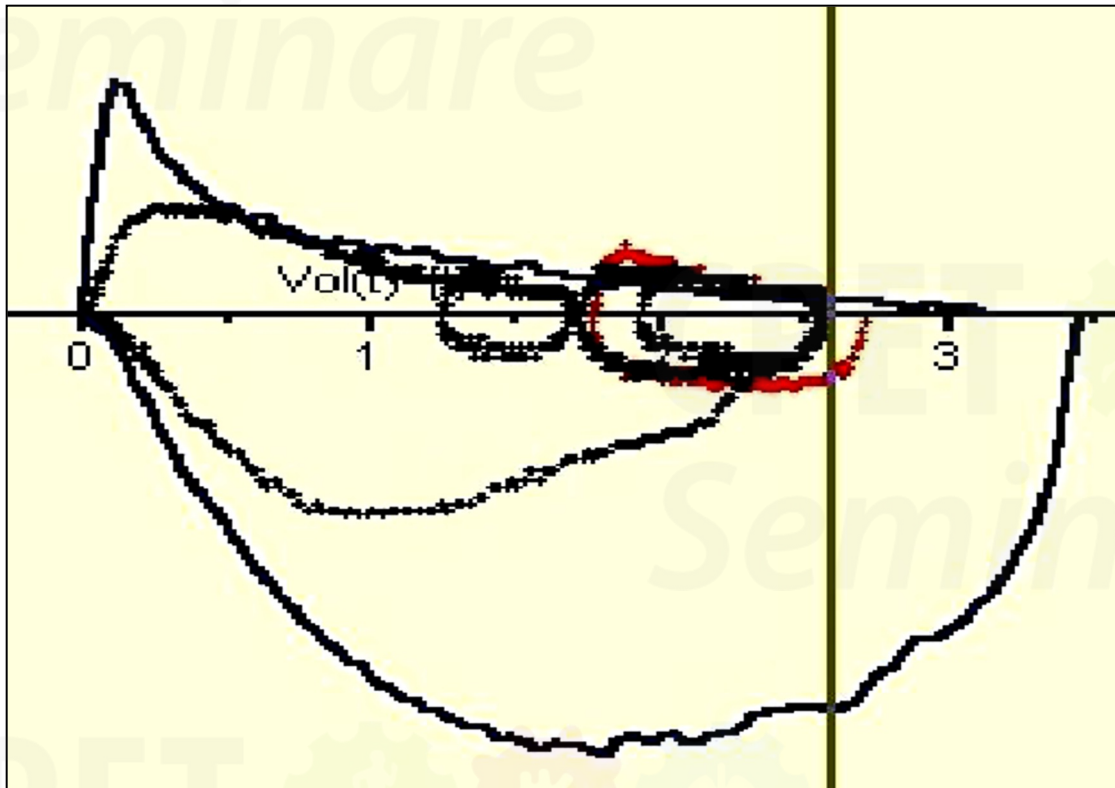
$$BR = (FEV_1 \times 35 = MVV) - VE$$

Normbereich :

- > 15 Liter/min und / oder
- > 20% von VE max



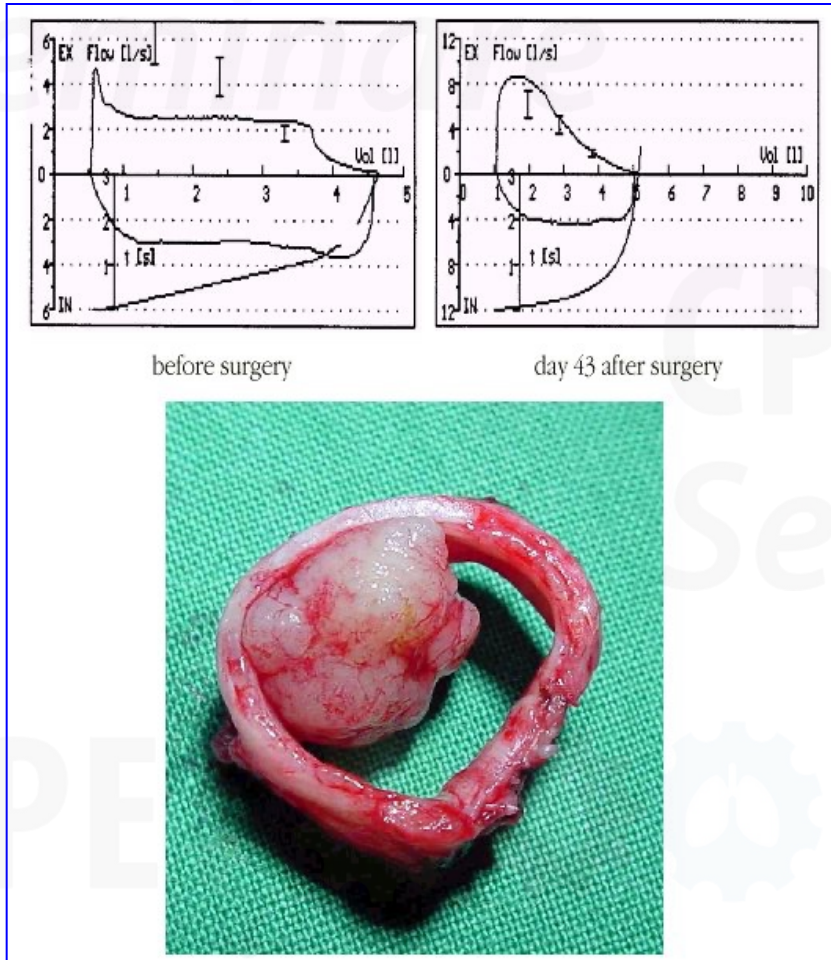
# Fehlerquelle bei Berechnung von BR und MVV



Bei Emphysepatienten ist der FEV<sub>1</sub> Wert wegen Atemwegs-kollaps niedriger als bei Atmung unter Belastung wegen moderaterer Strömung

1. Dadurch wird **MVV** „zu klein“ berechnet.
2. Daraus kann sich eine „negative“ **BR** ergeben

# Fehlerquelle bei Berechnung von BR und MVV



Bei extrathorakalen Stenosen, ist

$$FIV_1 < FEV_1$$

hier:  $FIV_1 = 1,3 \text{ L} < FEV_1 = 1,8 \text{ L}$

1. Bei Berechnung von MVV über  $FEV_1 \times 35$  wird MVV überschätzt.
2. Daraus kann sich eine „falsch hohe“ **BR** ergeben

# Ventilation: $\dot{V}_E = BF \times VT$

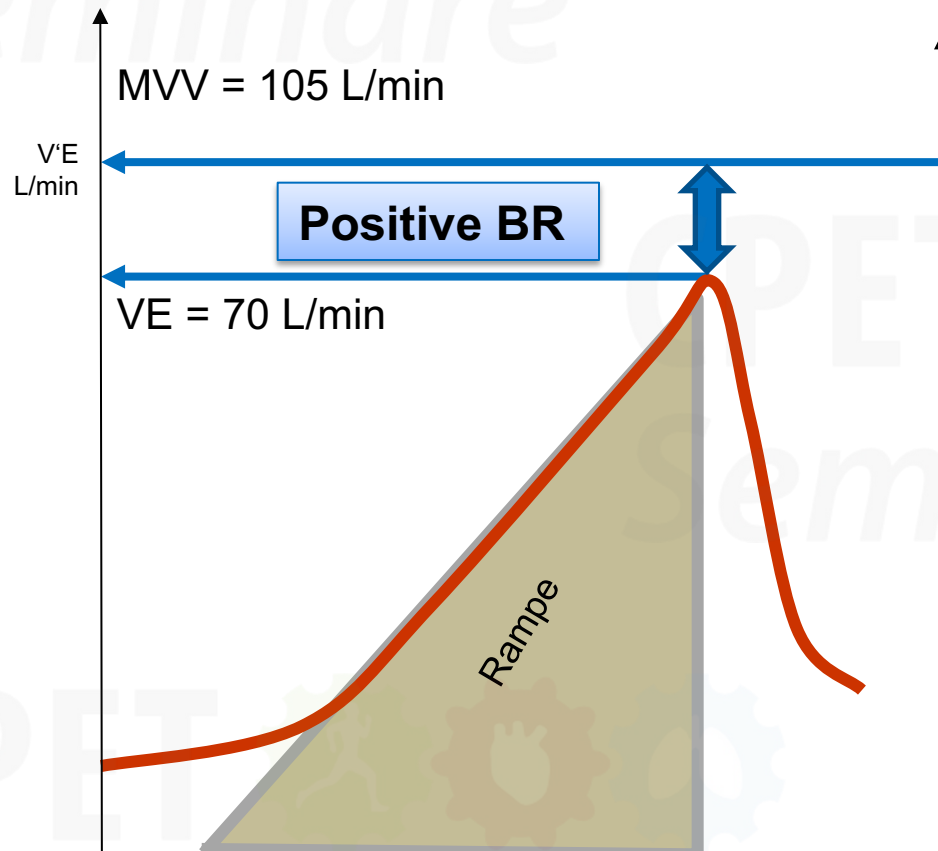
BF = Atemfrequenz =  
Zahl der Atemzüge/Minute

- In Ruhe 10 – 15/min
- Bei Belastung ~ 40/min
- Bei **Obstruktion** unter Belastung ~30/min
- Bei **Restriktion** unter Belastung bis ~ 50/min

VT = Tidal volume =  
AZV (Atemzugvolumen [L])

- In Ruhe 500 – 600 ml
- Bei Belastung bis 60 % der VC oder 90% von IC
- Bei **Obstruktion** unter Belastung hoch, am Ende abfallend
- Bei **Restriktion** unter Belastung klein (Ceiling Effekt)

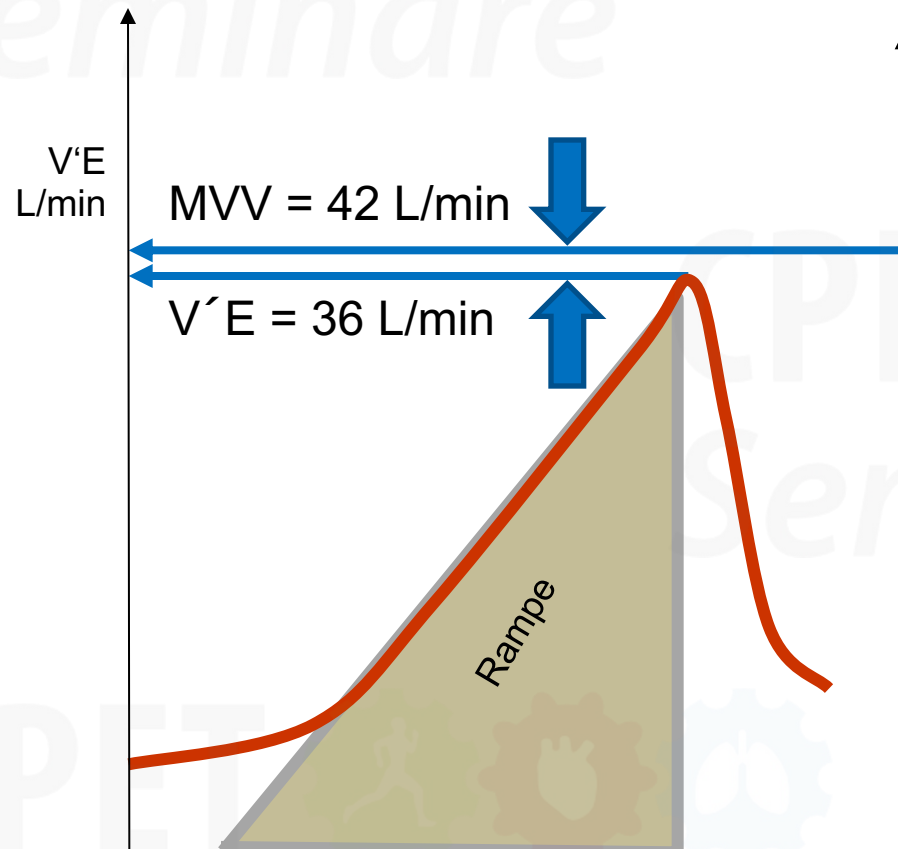
# Feld 1 – V'E - Gesunder Proband



Differenz von  
MVV = 105 L/Min zu  
VE = 70 L/Min = 35 Liter/Min

Atemreserve BR nicht aufgebraucht

# Feld 1 – $\dot{V}'E$ - Lungenfibrose



$MVV = FEV_1 = 1,2 \text{ L} * 35 = 42 \text{ L/min}$   
Bei Belastungsende  $\dot{V}'E = 36 \text{ L/min}$

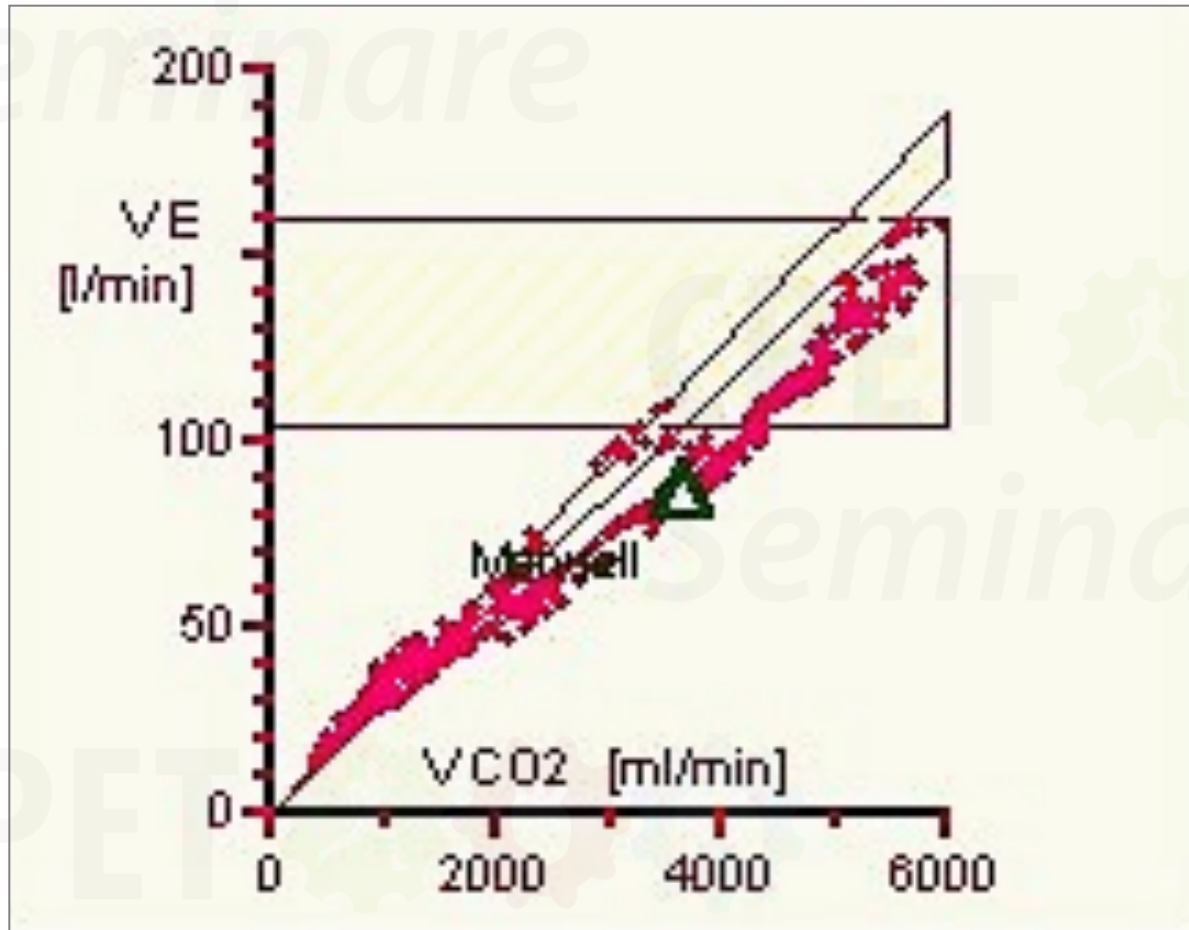
$BR = 6 \text{ L/min}$   
ausgeschöpft, ventilatorische Limitation

1	2	3
4	5	6
7	8	9

---

**Feld 4**

## Feld 4 – $\dot{V}E$ vs. $\dot{V}CO_2$ - Atemsteuerung, Slope



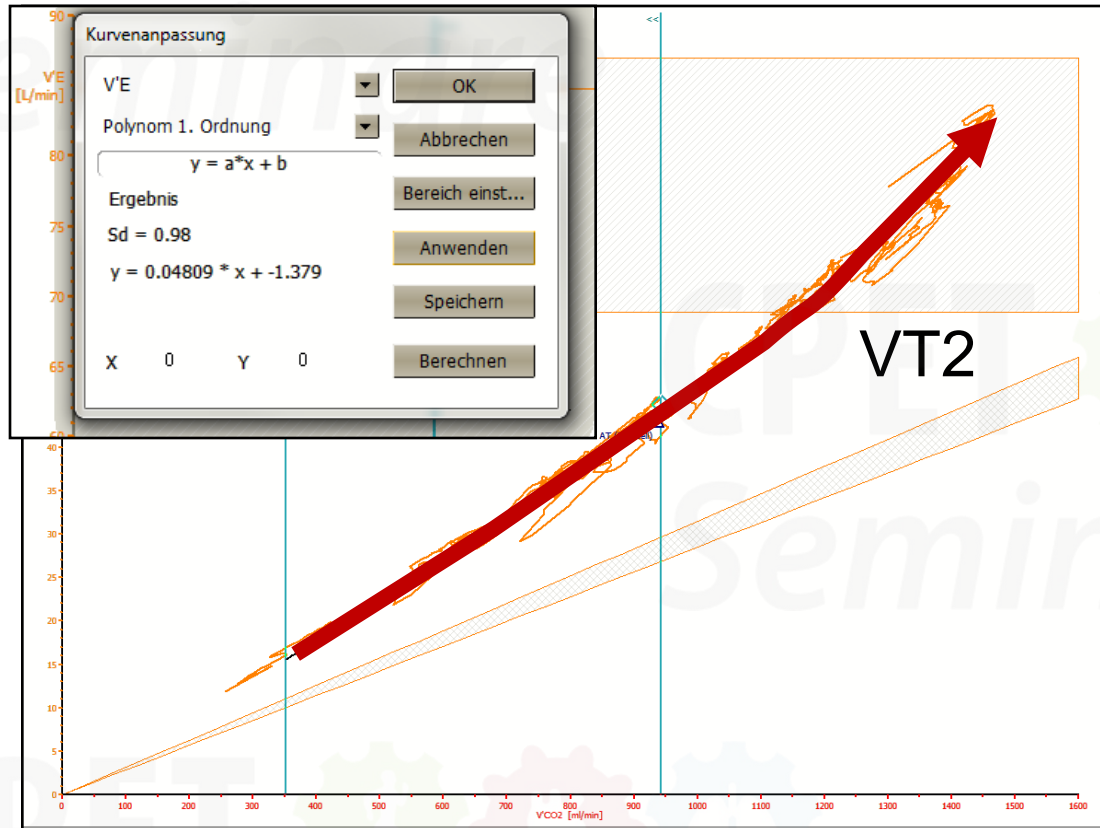
Dargestellt wird:

- $\dot{V}E$  vs.  $\dot{V}CO_2$
- Erwartungskorridor
- Sollwert  $\dot{V}E$

Beurteilung von:

1. Totraumventilation (Parallelverschiebung, Intercept)
2. Anstiegssteilheit
3. Atemsteuerung (Hypo-, Hyperventilation)

# Feld 4 - Berechnung der Steigung (Slope)



Ventilation ( $V'E$ ) zu  $V'CO_2$

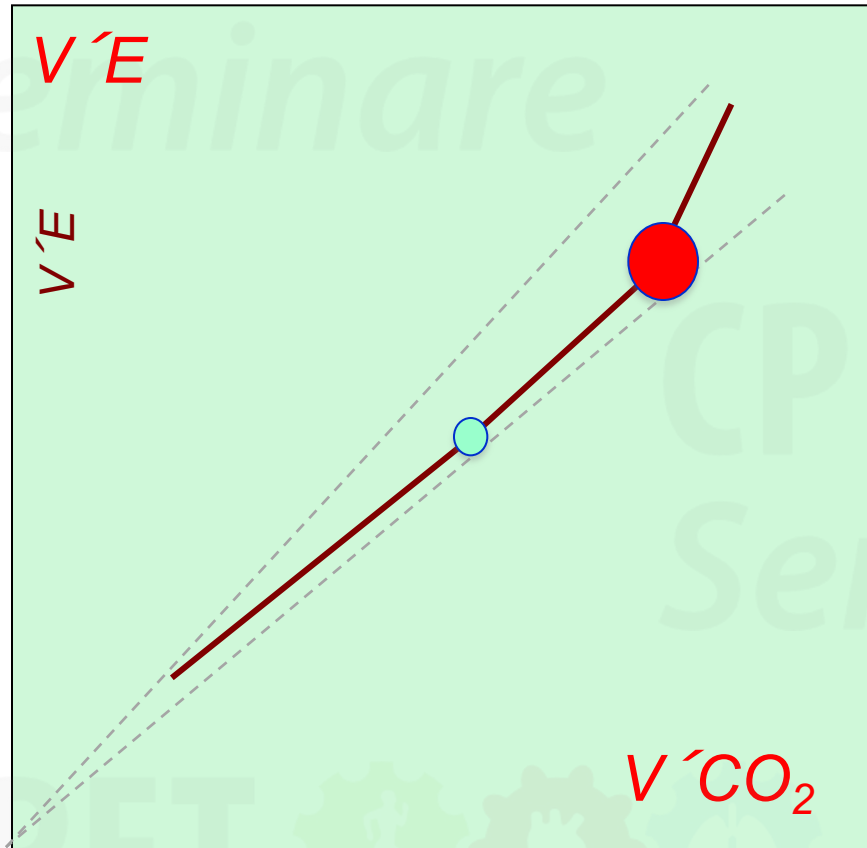
$$Y = a * X + b$$

**b = Intercept**

Bei Herzerkrankungen ist die Höhe des Slope prognostisch bedeutsam.



## Feld 4 - CO<sub>2</sub> -Atemantwort

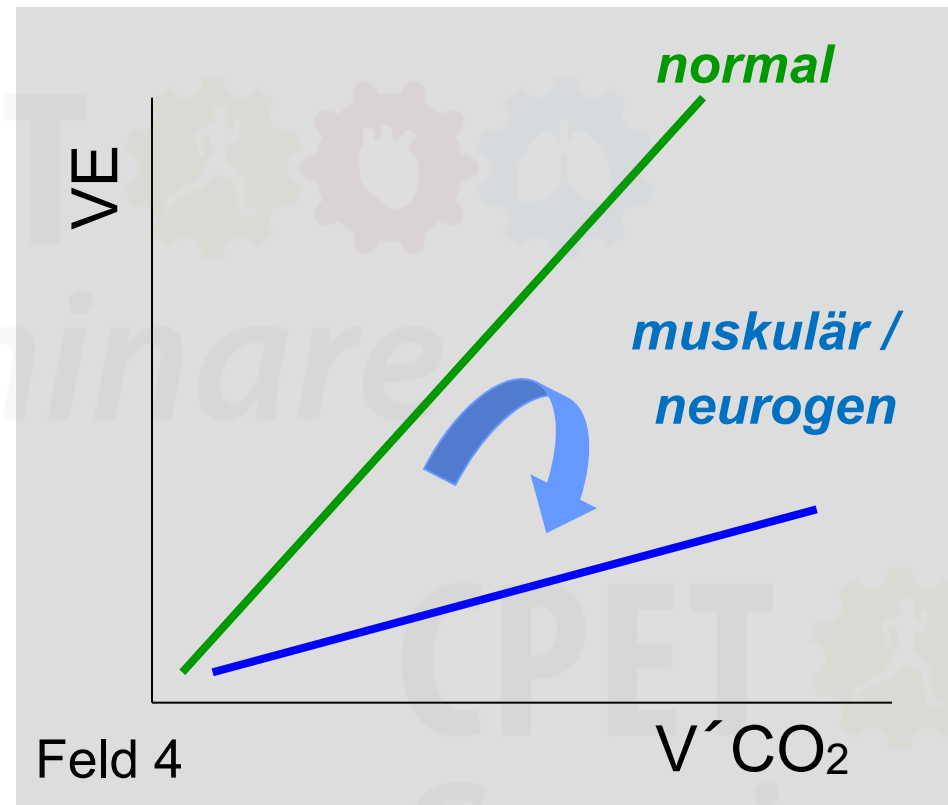


- Steigung bleibt linear, bis VT2, da der Anstieg von CO<sub>2</sub> zu einem proportionalen Anstieg von  $V'E$  führt
- Erst nach Erreichen von VT2 erscheint ein überproportionaler Anstieg von  $V'E$  zum Ausgleich der Azidose

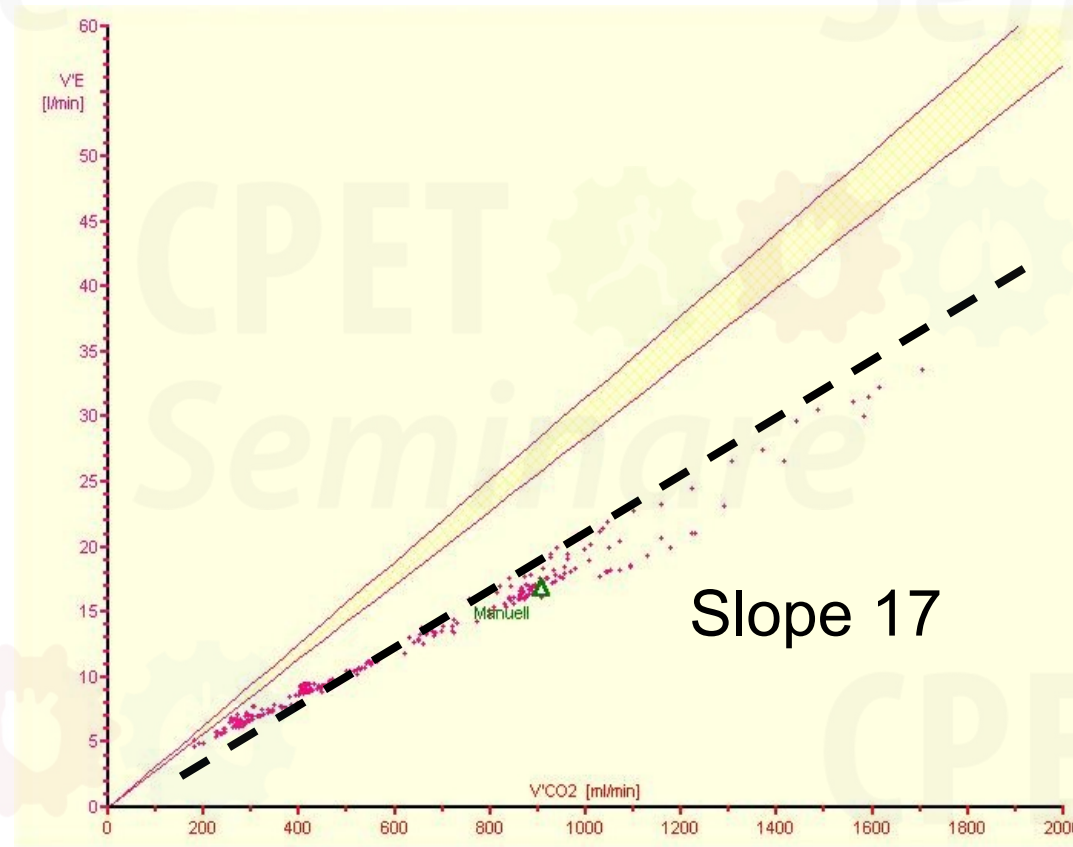
**CO<sub>2</sub> (Stoffwechsel und Pufferung) steuert die Ventilation  $V'E$**

# Feld 4 - Hypoventilation

*Ursache: muskuläre oder neurogene Störung*



# Feld 4 - Beispiel zentrale Atemantriebsstörung



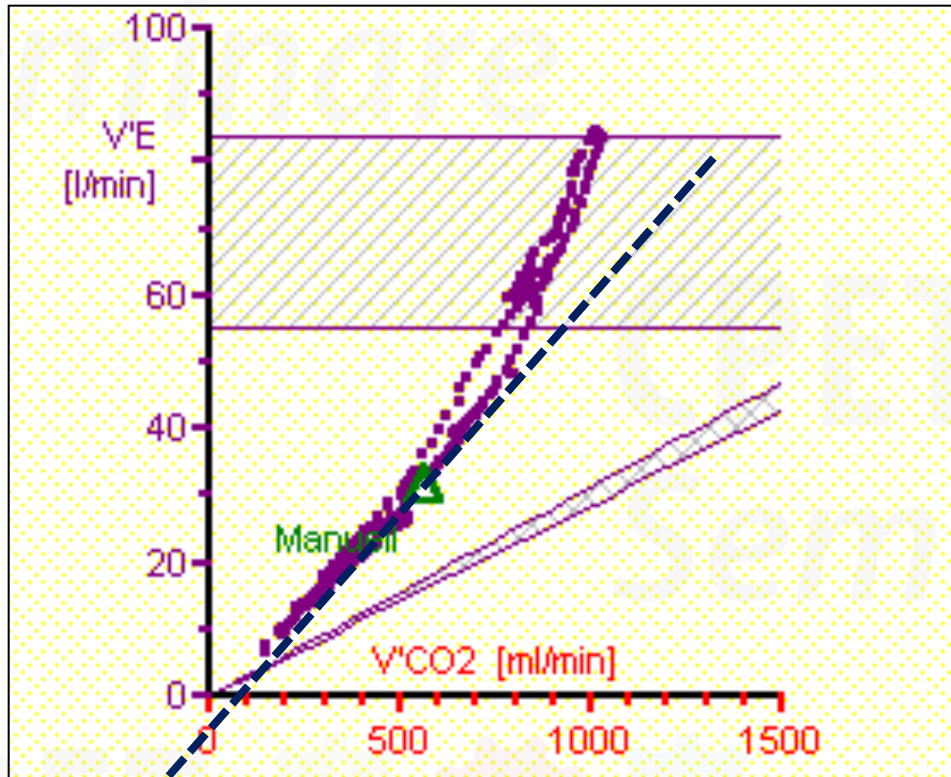
## Feld 4 - Ursachen einer Hyperventilation

**$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ -Slope erhöht (> 30) z. B. bei :**

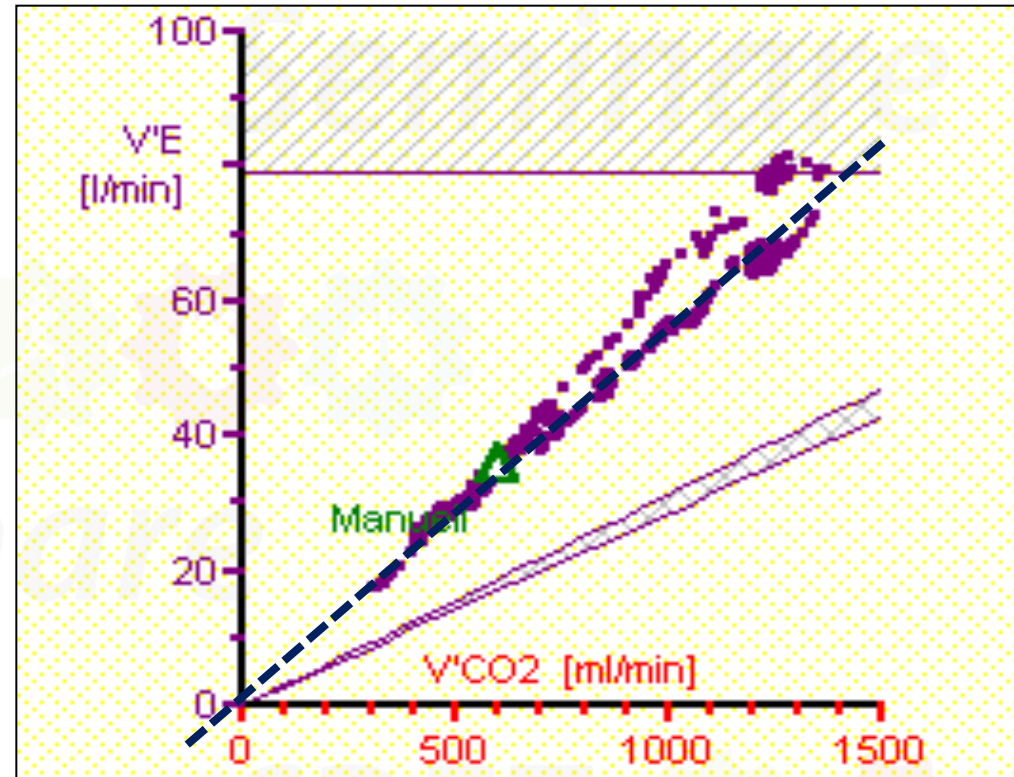
- *Pulmonaler Hypertonie (PH)*
- *Shuntvitien*
- *Herzinsuffizienz*
- *Lungengerüsterkrankungen*
- *Psychogen*

$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ -Slope ist krankheitsunspezifisch

# Beispiele erhöhter $\dot{V}'E/\dot{V}'CO_2$ -Slope

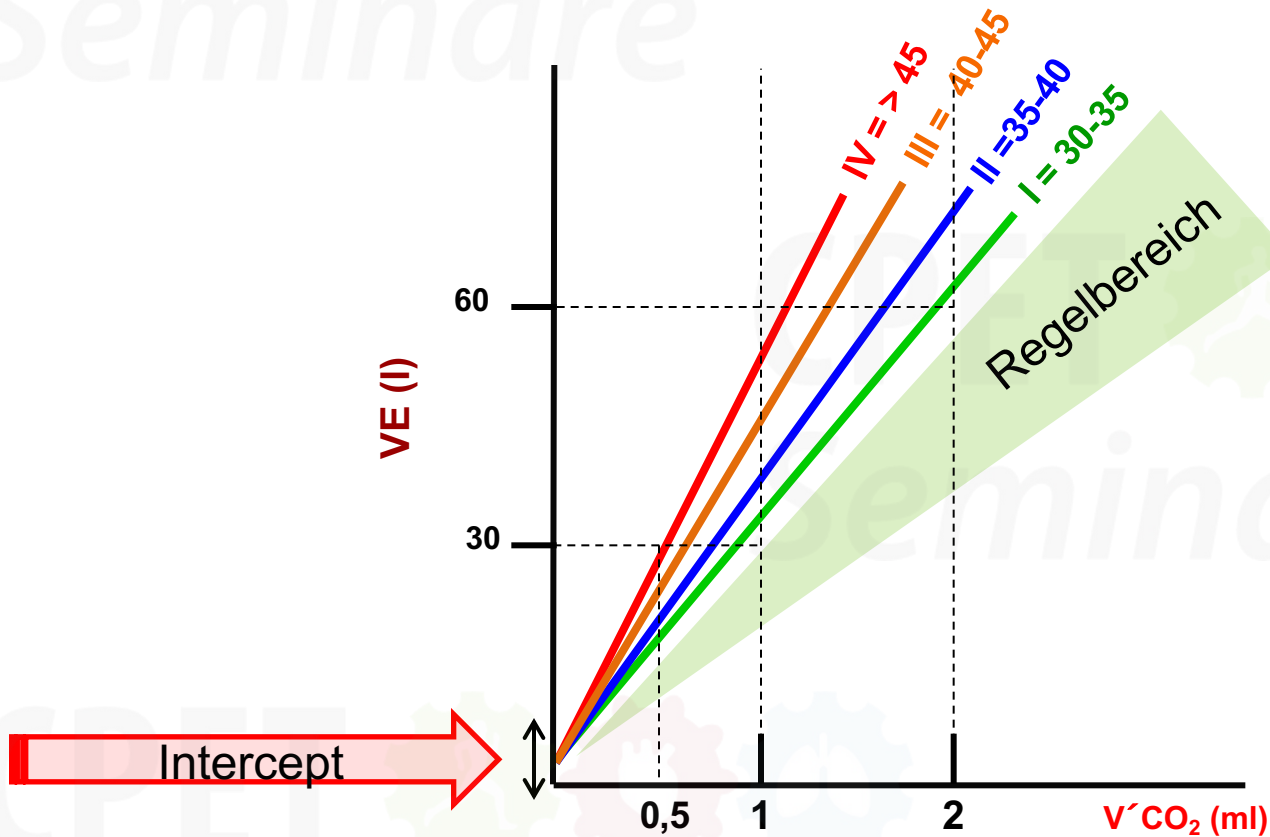


Pulmonale Hypertonie  
(CTEPH)



Lungenfibrose  
(UIP)

# Ventilatorische Klassen VC I-IV - Herzinsuffizienz



Bewertung:

Die Prognose ist mit einem  $V'E / V'CO_2$  -Slope in Feld 4

bei:

< 30 (VC I) mit 97% „event free survival“ **gut**



bei:

≥ 45 (VC IV) mit 44% „event free survival“ **eher schlecht**

# Ventilatorische Klassen (VC) I – IV nach AHA

## Appendix 6. Prognostic and Diagnostic Stratification for Patients With COPD or ILD

$\overline{VE}/V_{CO_2}$ slope	Peak $\dot{V}_{O_2}$	$P_{ET}CO_2$
<u>Ventilatory class I</u> $\overline{VE}/V_{CO_2}$ slope <30.0	<u>Weber class A</u> Peak $\dot{V}_{O_2}$ >20.0 mL $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	Resting $P_{ET}CO_2 \geq 33.0$ mmHg 3–8 mmHg increase during ET
<u>Ventilatory class II</u> $\overline{VE}/V_{CO_2}$ slope 30.0–35.9	<u>Weber class B</u> Peak $\dot{V}_{O_2}$ = 16.0–20.0 mL $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	
<u>Ventilatory class III</u> $\overline{VE}/V_{CO_2}$ slope 36.0–44.9	<u>Weber class C</u> Peak $\dot{V}_{O_2}$ = 10.0–15.9 mL $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	Resting $P_{ET}CO_2 < 33.0$ mmHg 3–8 mmHg increase during ET
<u>Ventilatory class IV</u> $\overline{VE}/V_{CO_2}$ slope $\geq 45.0$	<u>Weber class D</u> Peak $\dot{V}_{O_2}$ <10.0 mL $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$	



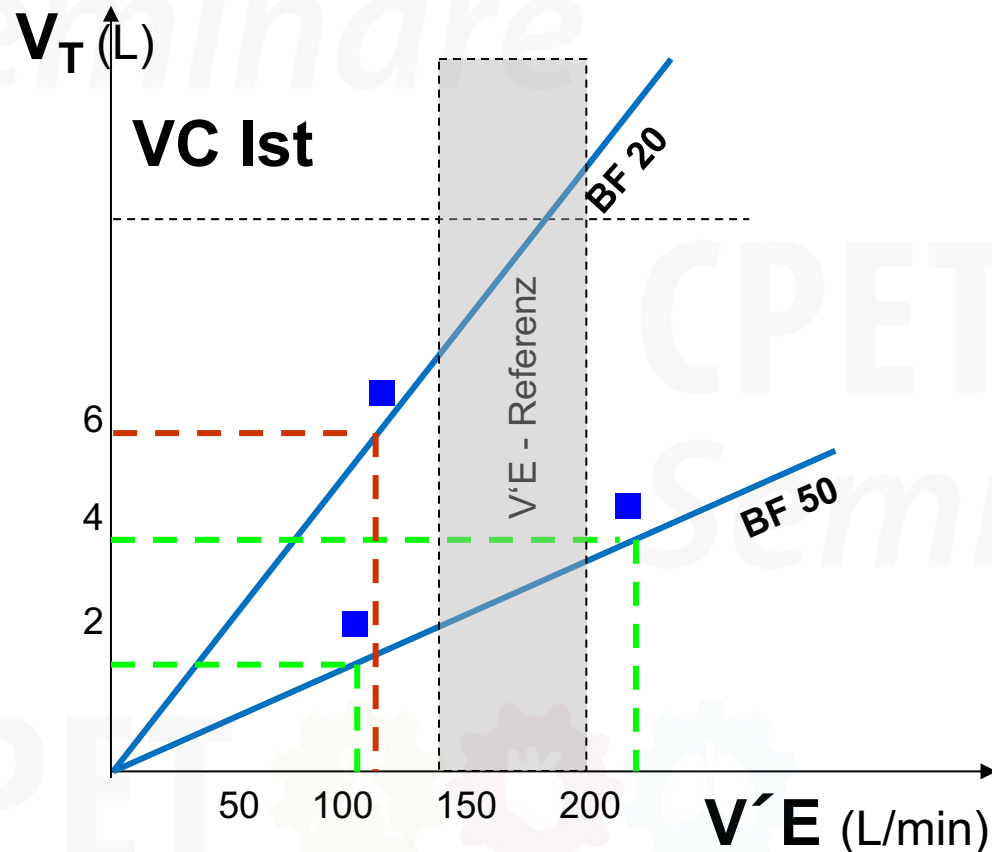
1	2	3
4	5	6
7	8	9

---

**Feld 7**



# Feld 7 - Isoplethen - BF (Atemfrequenz)



Dargestellt wird:

V'E (Minutenvolumen)

V<sub>T</sub> (Atemzugvolumen)

Normbereich V'E

Indirekt BF (Atemfrequenz) über Isoplethen für BF20 und BF50 ( $BF = V'E / V_T$ )

VC<sub>Ist</sub> = gemessene (od. Sollwert) Vitalkapazität  
(Isoplethe = „Line of Identity“ = Linie gleicher Werte)

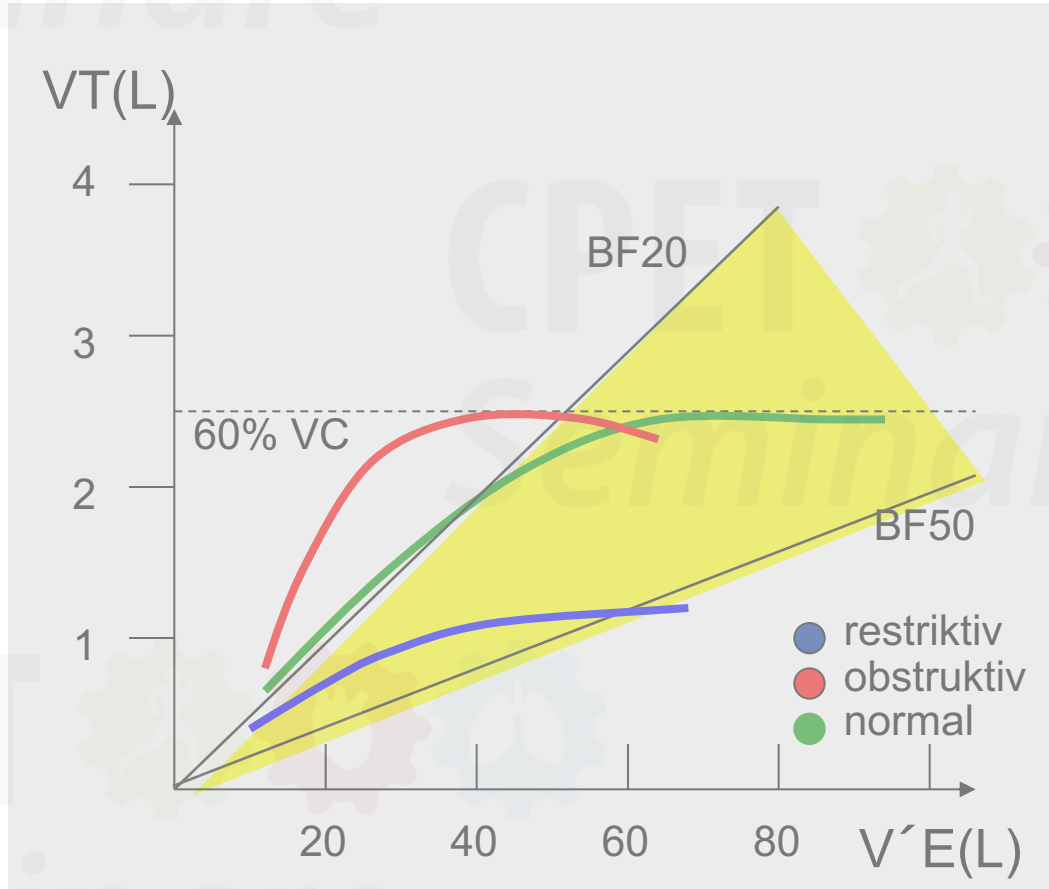
Bewertung:

Atemmuster

Atemmechanische Ausschöpfung

# Feld 7 - Ventilatorische Anpassung

## $\dot{V}E$ Anstieg unter Belastung: $V_T$ und $BF$

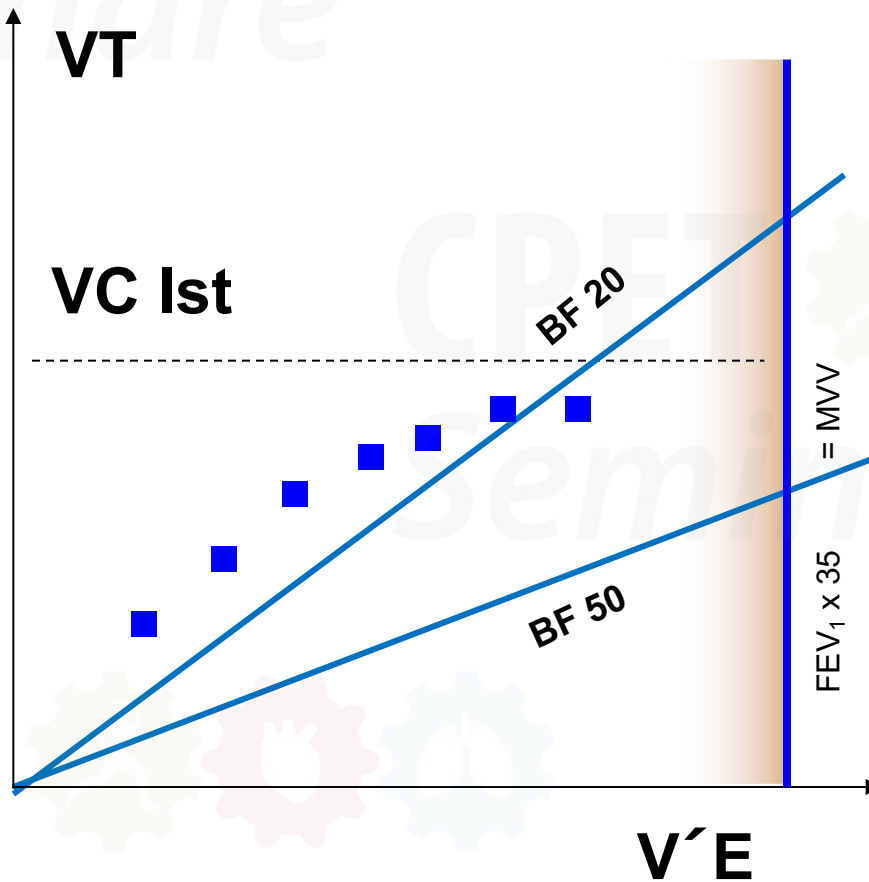


**normal:** vorrangige Steigerung der Ventilation über Zunahme  $V_T$  bis ca. 60% der VC

**obstruktiv:** Steigerung über  $V_T$  möglichst bei BF 20, bei höherer BF kommt es zu  $V_T$  Abnahme

**restriktiv:** Steigerung über BF, nur geringer  $V_T$  Anstieg

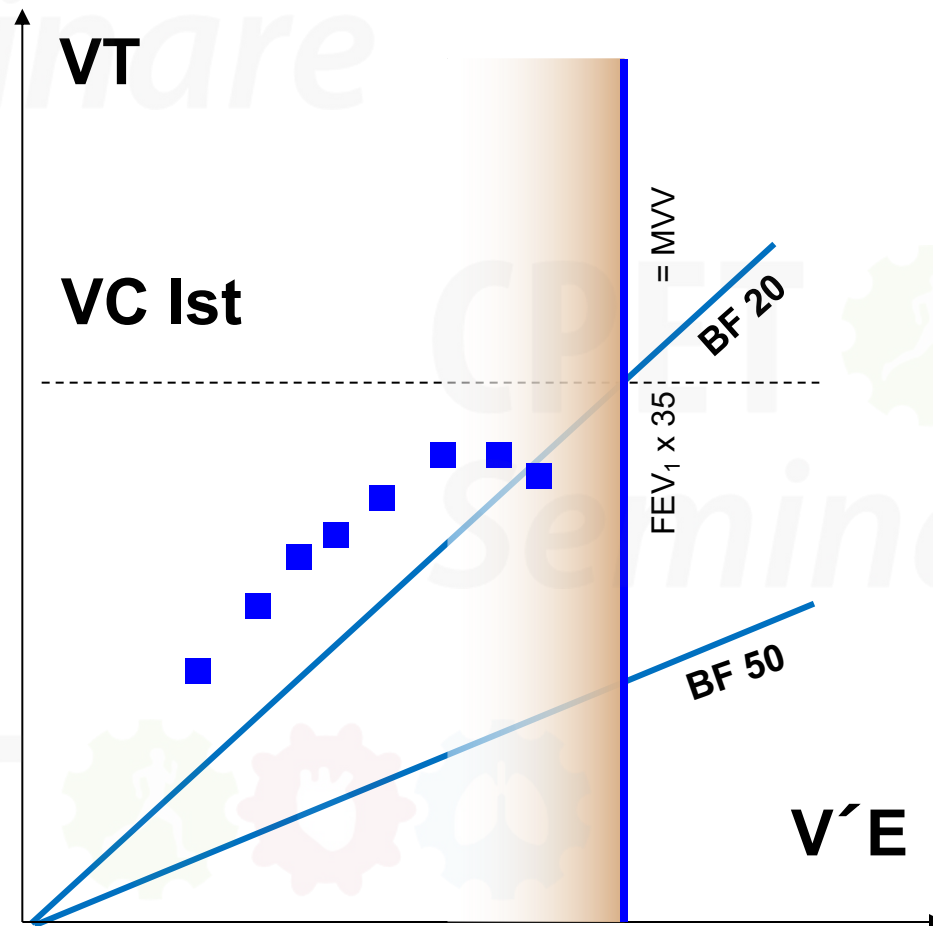
## Feld 7 - Normalbefund



### Charakteristika Normalbefund:

1. Harmonischer Anstieg
2. zunächst VT bis ca. 60% VC
3. dann BF bis ca. 40 /Min
4. BR nicht aufgebraucht

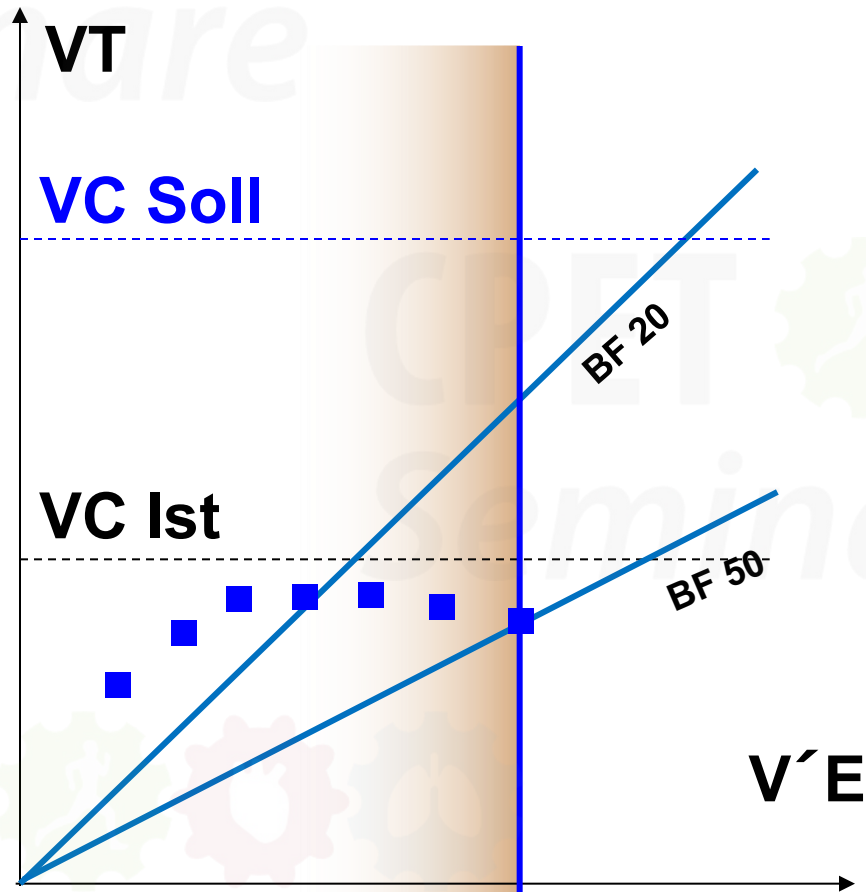
# Feld 7 - Obstruktion



## Charakteristika Obstruktion:

1. VT groß
2. BF gering
3. BR erniedrigt (<15 l/min; <20%)
4. Die BF läuft auf der Isoplethe 20
5. VT kann gegen Ende abfallen

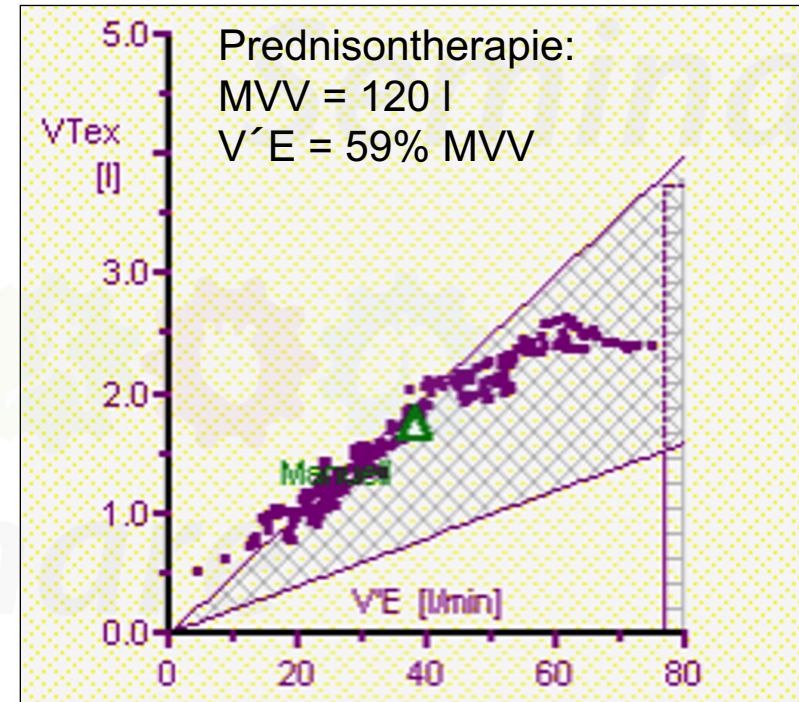
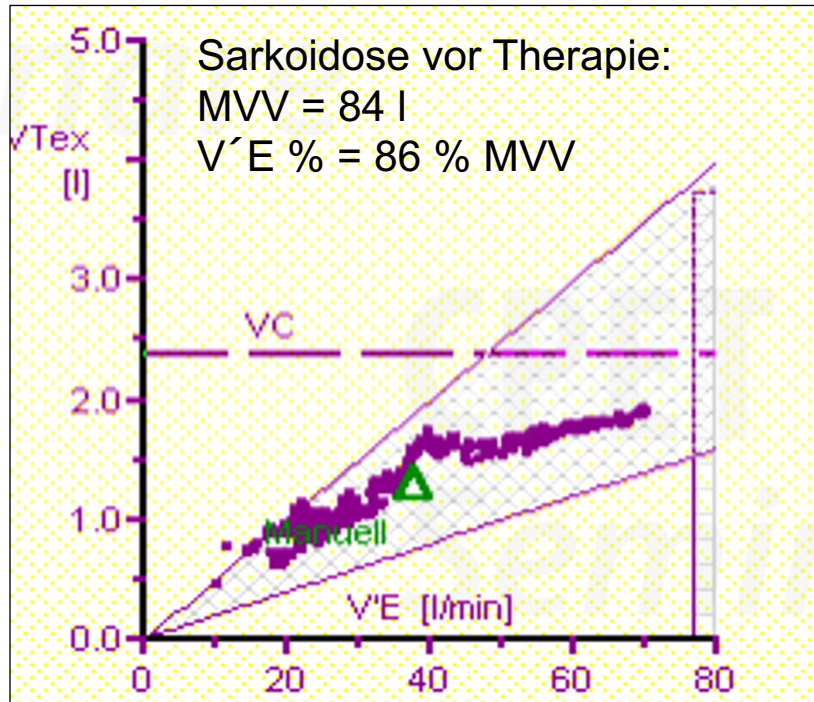
# Feld 7 - Restriktion



## Charakteristika Restriktion:

1. VT klein, geringer Anstieg
2. BF früh sehr hoch, vor Abbruch ca.  $50 \text{ min}^{-1}$
3. BR erniedrigt  
<15 l/min; <20%  
„Ceiling“ (Decke) Effekt !!

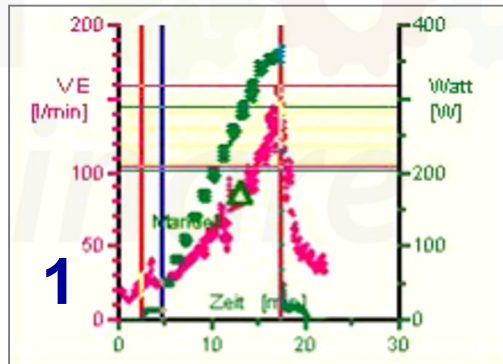
# Feld 7 – Beispiel Atemmechanik



Charakteristika „steife Lunge“:

1. VT niedrig, hohe BF, BR erniedrigt,
2. „Kurve“ läuft flach BF 20-50/min
3. meist im Therapieverlauf verbessert

# Zusammenfassung (Panels 1, 4 und 7)



**Fragen und**

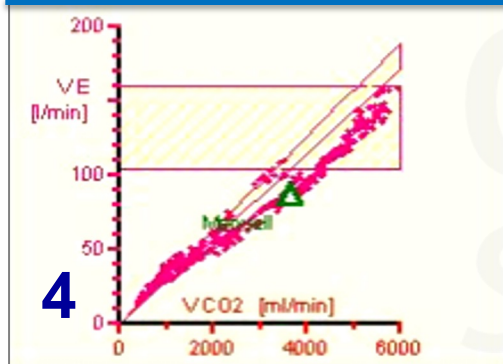
**Antworten**

Ventilatorischer Bedarf?

Panel 1 + 7

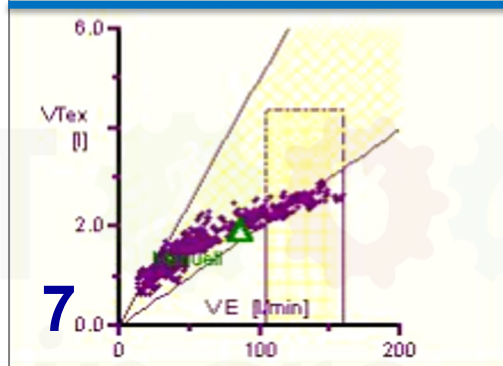
Verteilungsstörung (Totraum)?

Panel 1 + 4



Atemsteuerung, Atemkraft,  
Atemeffizienz

Panel 4



Atemmechanik, Strategie?  
Atemmuster?  
Dehnbarkeit der Lunge

Panel 7 + FVK

Panel 7

Panel 7

# Beispiel COPD 2

M, 61 J,  
174 cm, 71 kg  
BMI 23

Spirometrie  
FVC = 4,18 L  
(4,1 = 102%)

FEV1 = 2,0 L  
(3,2 = 62%)

Tiffeneau = 48%

MVV = 2x35 =  
70 L/Min

## Belastungsergebnisse

Zusammenfassung	Ruhe (B)	Ref (B)	VT1 [Manuell]	VT2 [Manuell]	MaxBel. [Watt]	Soll	Max W [%Soll]
Zeit [min]	02:58	06:07	08:47	11:04	13:10	-	-
Watt [W]	0	0	45	75	105	146	72
V'E [L/min]	16	20	30	47	83	93	88
V'O2 [mL/min]	297	443	769	1046	1381	2071	66
V'O2/kg [(mL/min)/kg]	4.2	6.2	10.8	14.7	19.2	29.2	66
RER	0.89	0.82	0.87	1.06	1.20	-	-

## Kardiale Parameter

Zusammenfassung	Ruhe (B)	Ref (B)	VT1 [Manuell]	VT2 [Manuell]	MaxBel. [Watt]	Soll	Max W [%Soll]
HR [1/min]	85	91	109	120	142	159	89
HRR (B) [1/min]	0	0	50	39	0	-	-
O2Puls [mL]	3.5	4.9	7.1	8.7	9.6	13.0	75
Psys [mmHg]	146	158	176	190	233	-	-
Pdia [mmHg]	77	83	78	81	82	-	-

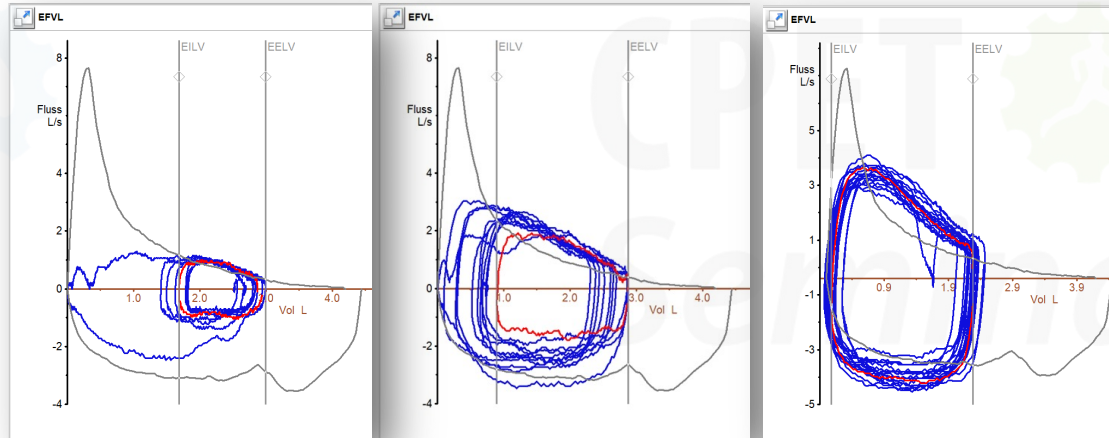
## Ventilation / Atemreserve

Zusammenfassung	MaxBel. [Watt]
BR FEV% [%]	-18

## Aerob / anaerober Übergang

Zusammenfassung	VT1 [%MaxSoll]	VT1 [%MaxVO2]	VT2 [%MaxSoll]	VT2 [%MaxVO2]
V'O2 [mL/min]	37	55	51	75





Zusammenfassung		Marker [EFVL]	Marker [EFVL]	Marker [EFVL]	Marker [EFVL]
Zeit	[min]	01:41	07:03	11:07	13:45
EELV	[L]	3.80	3.84	3.96	4.55
EILV	[L]	4.76	5.15	5.93	6.75
ICdyn	[L]	3.03	2.99	2.87	2.28
VT <sub>e</sub> %IC	[%]	33	41	69	77
EIV%TC	[%]	70	75	87	99
IRV <sub>dyn</sub>	[L]	2.07	1.68	0.90	0.08
VT <sub>ex</sub>	[L]	0.979	1.194	2.093	2.100
V'E	[L/min]	16	22	51	86

# Atemmechanik und Lungenvolumina

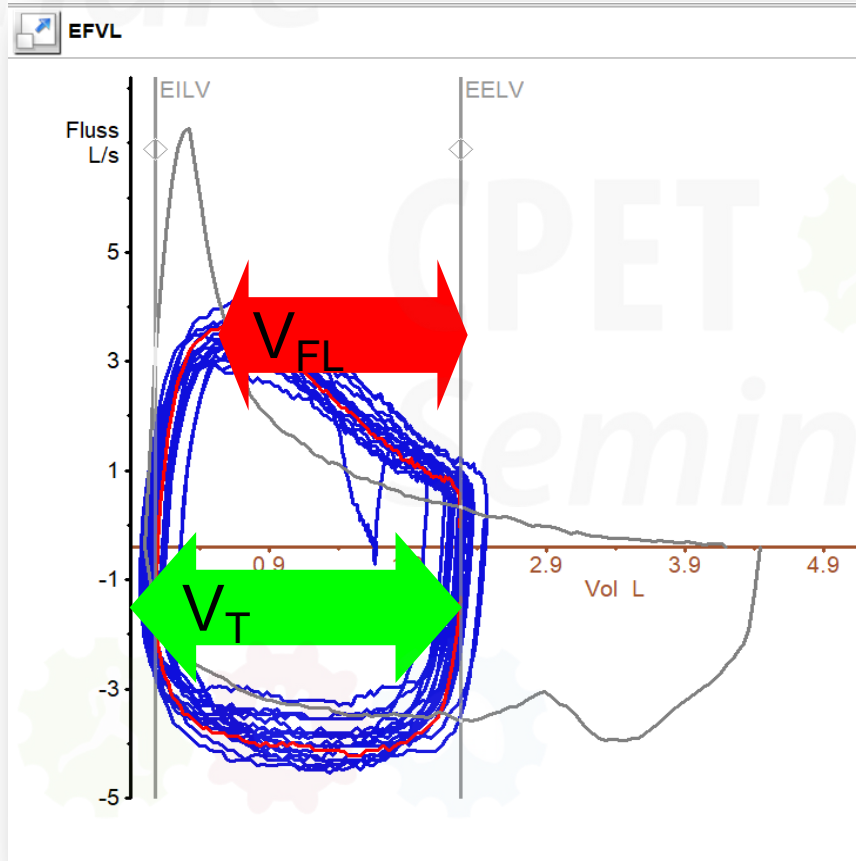
## *Atemmechanische Begrenzung:*

### *4 Kriterien nach O'Donnell 2018*

- EFL >25% overlap at peak (<25% in health)
- EILV >90 %TLC – high elastic work
- VT/IC >70% at peak
- Tidal inspiratory flow typically only reaches 50-70% maximal inspiratory flow in health

# Atemmechanik und Lungenvolumina

## 1. Strömungsbegrenzung ( $V_T$ in Relation zur FVK $V_{FL}$ )



$V_{FL}$  % von  $V_T$

normal

0 %

leicht

< 30 %

mittel

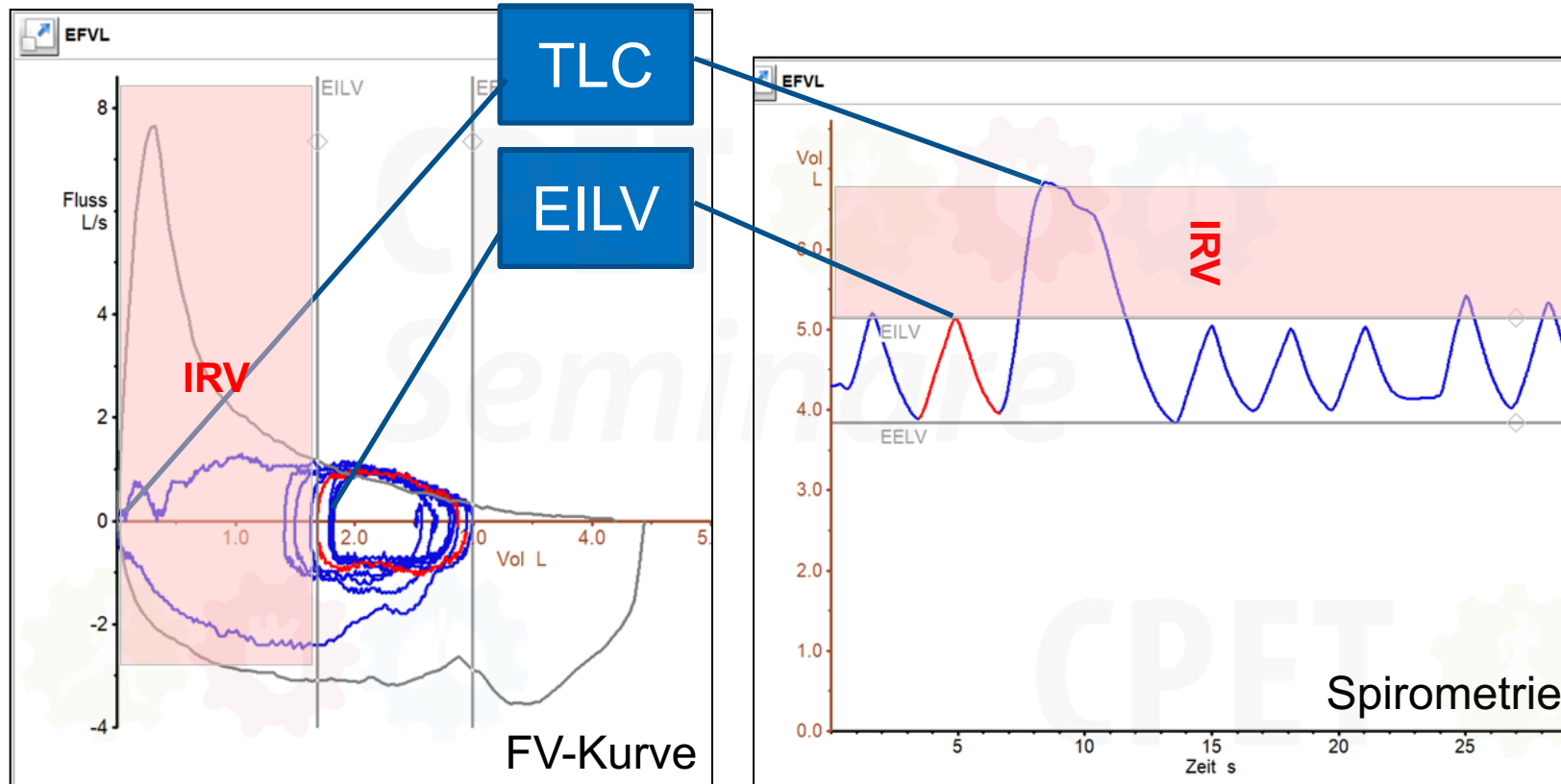
30-50 %

schwer

> 50 %

# Atemmechanik und Lungenvolumina

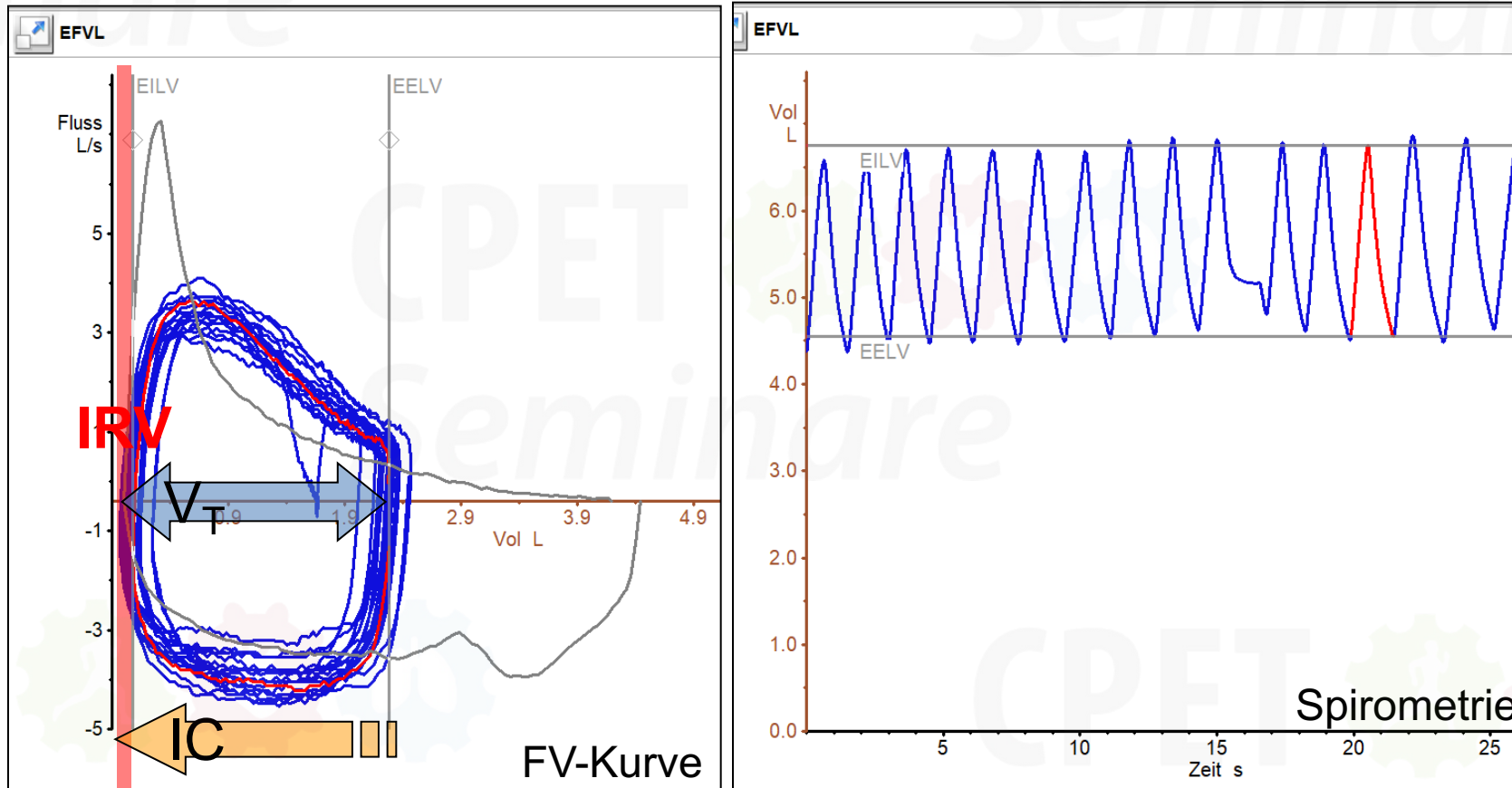
2.  $EILV < 90\%$  von  $TLC$  oder  $IRV < 250-300$  ml



Normalfall: EILV = Endinspiratorisches Volumen, IRV = insp. Reservevolumen

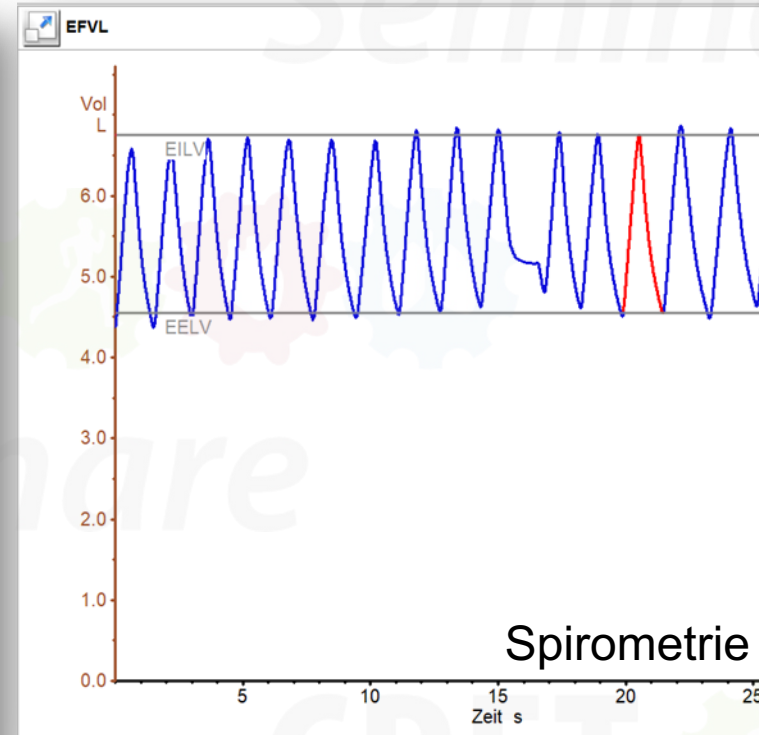
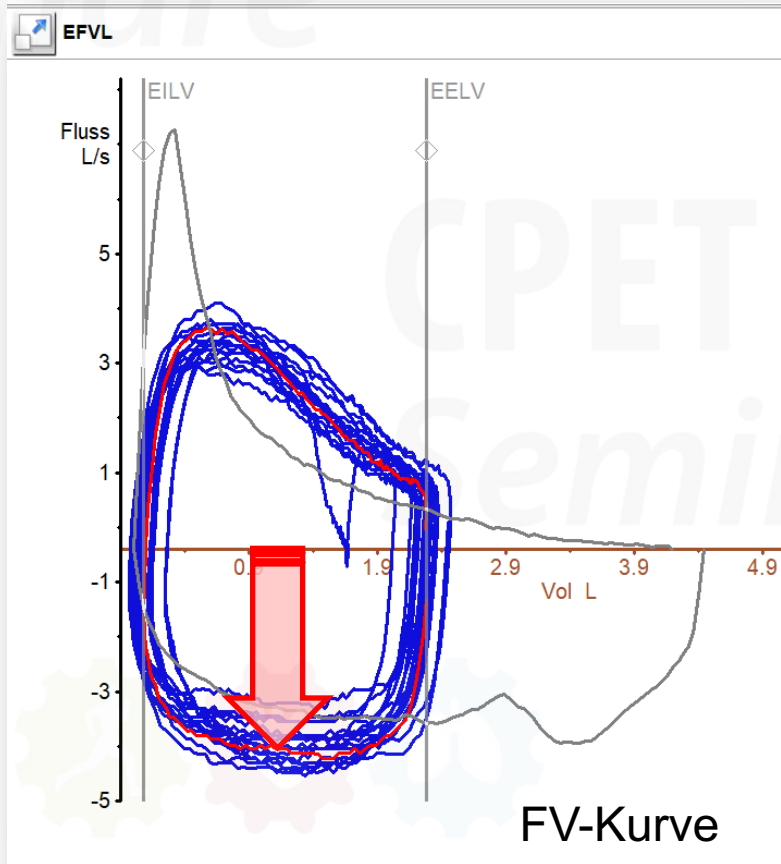
# Atemmechanik und Lungenvolumina

## 3. Atemzug/Inspiratorische Kapazität: $VT/IC > 0,8$



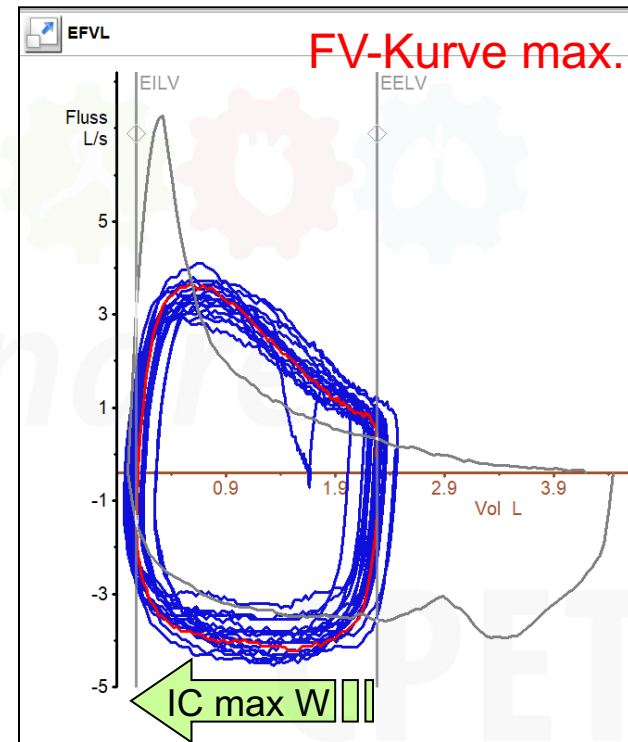
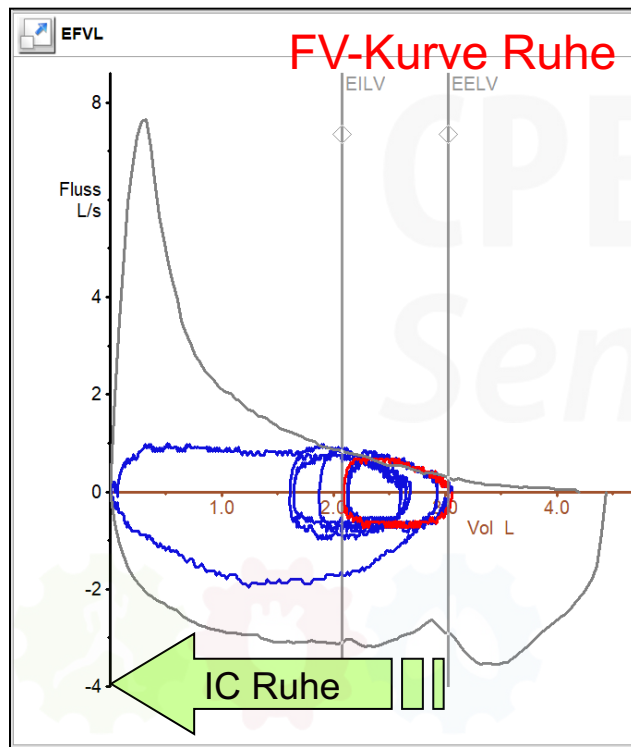
# Atemmechanik und Lungenvolumina

## 4. Tidal inspiratory flow = maximal inspiratory flow MIF

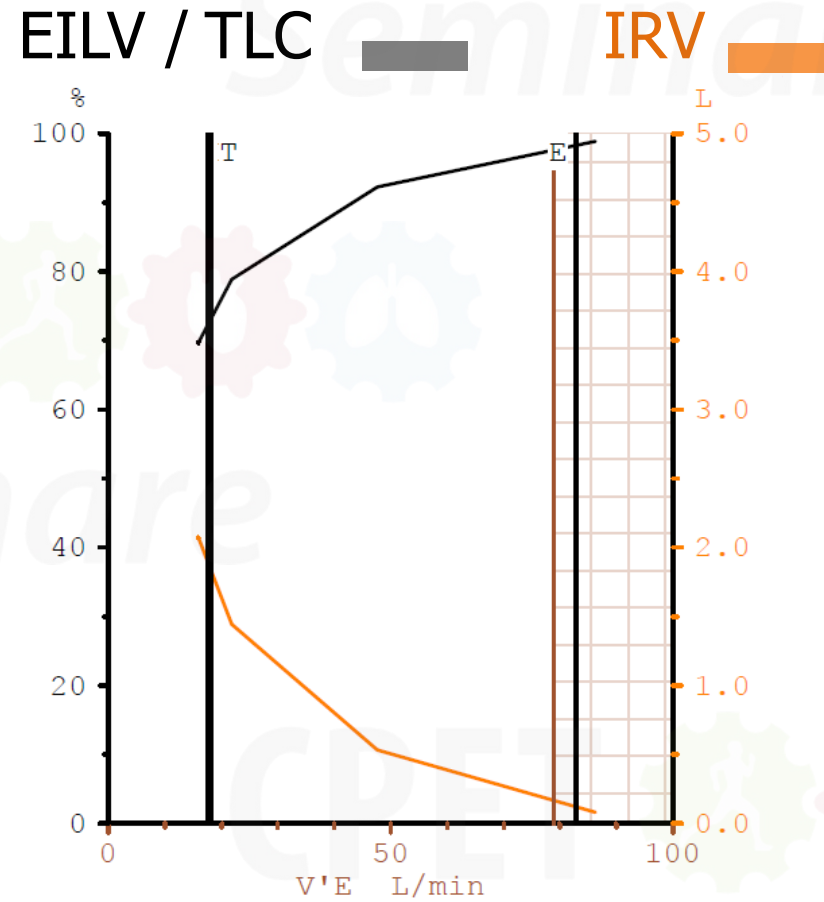
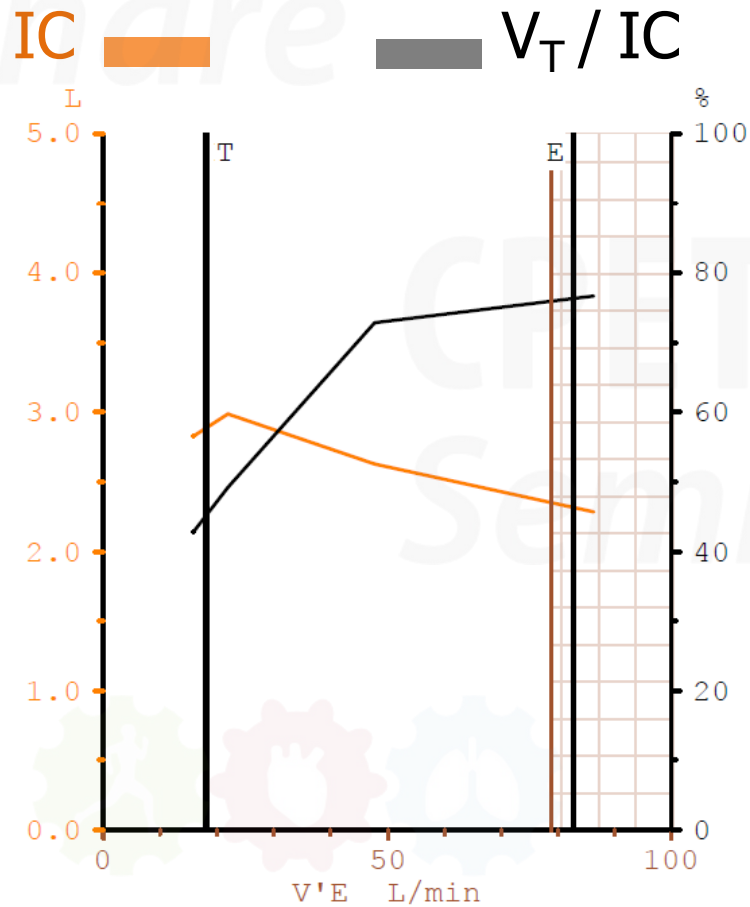


# Dynamische Überblähung (DH)

Dynamische Überblähung = Abnahme von IC respektive Zunahme von EELV bei steigender Belastung



# ERS-Graphiken zu Operating Lung Volume (O'Donnell 2018)





# ERS Basic Rome Italy



Search



[The Society](#)

[Congress and events](#)

[Guidelines](#)

[Science and research](#)

[Education](#)

[Publications](#)

[Home](#) | [Events](#) | [Clinical Exercise Testing: Basic principles and practice](#)

COURSES

## Clinical Exercise Testing: Basic principles and practice

27–28 October, 2022 | Rome, Italy

Organisers: P. Palange, P. Laveneziana

Faculty: P. Agostoni, R. Casaburi, P. Onorati, S. Singh, S. Ward, M. Schaeffer



Register

