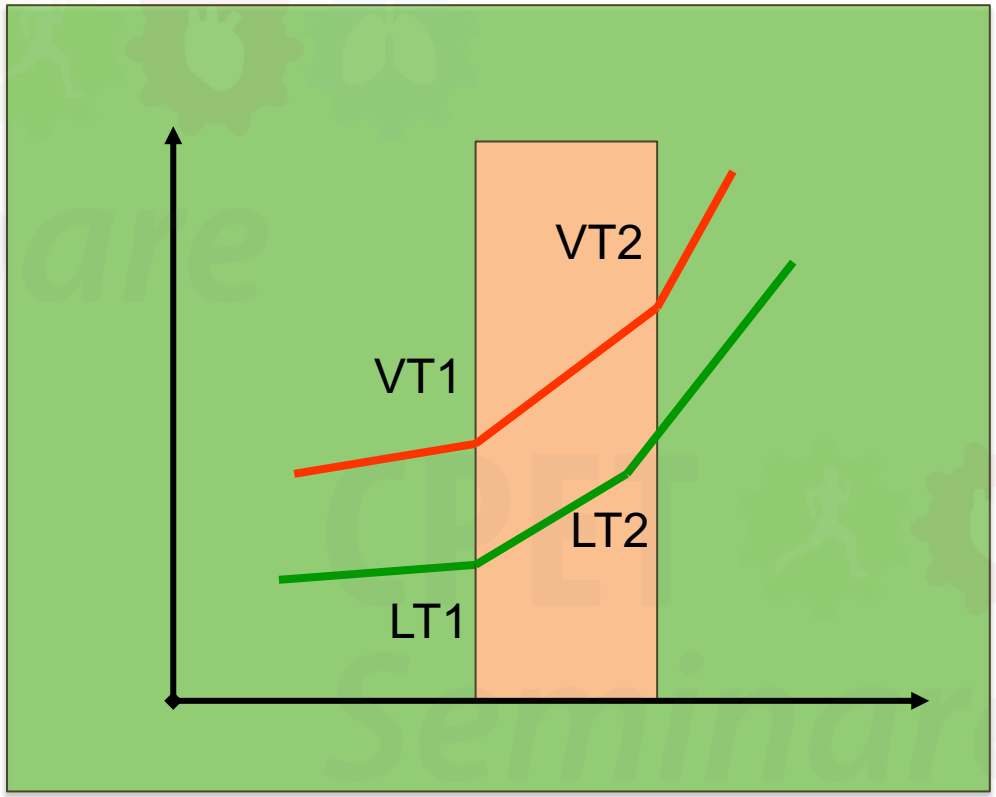
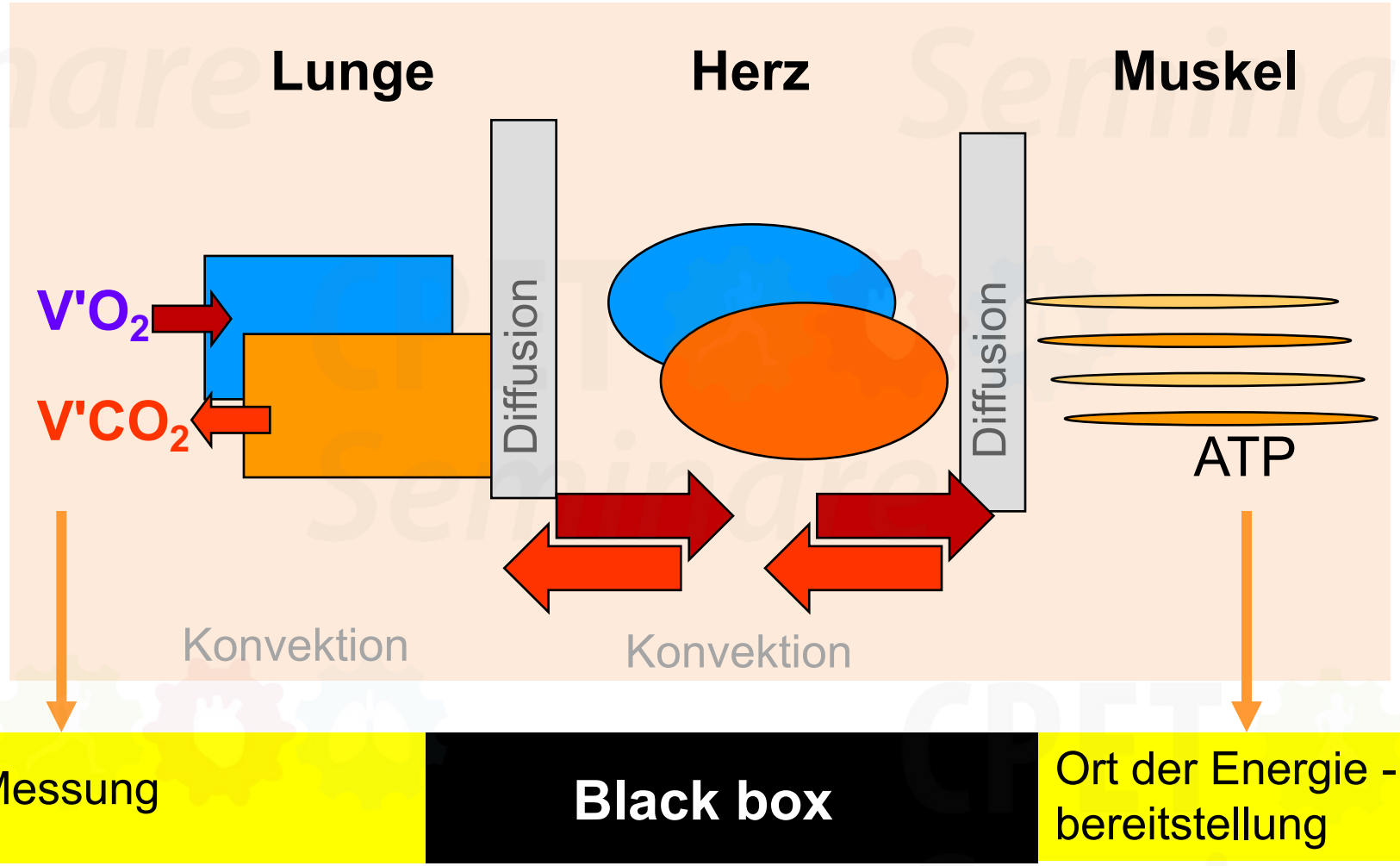


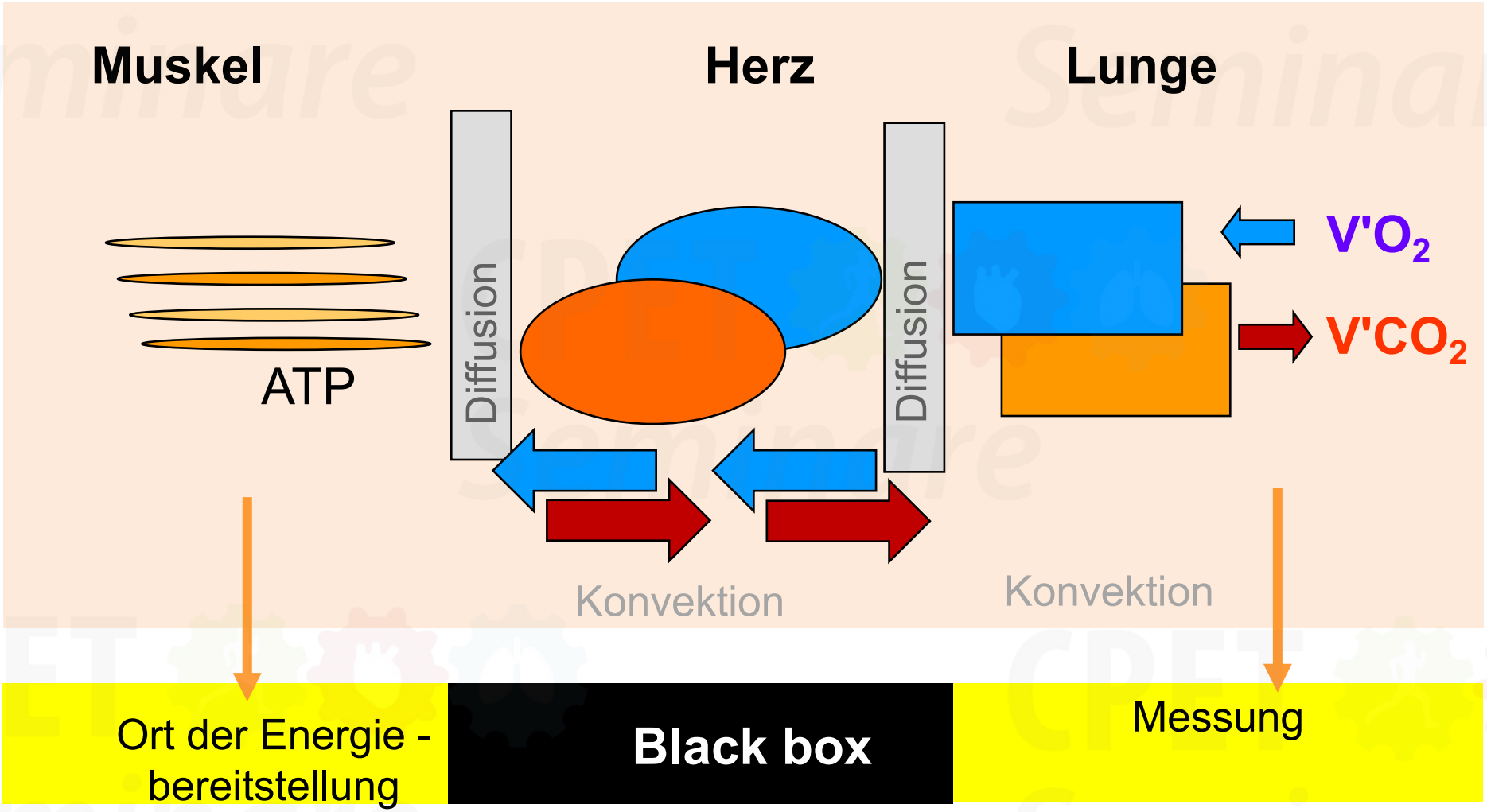
Stoffwechsel, "Anaerobe Schwelle"

CPET und Energiebereitstellung



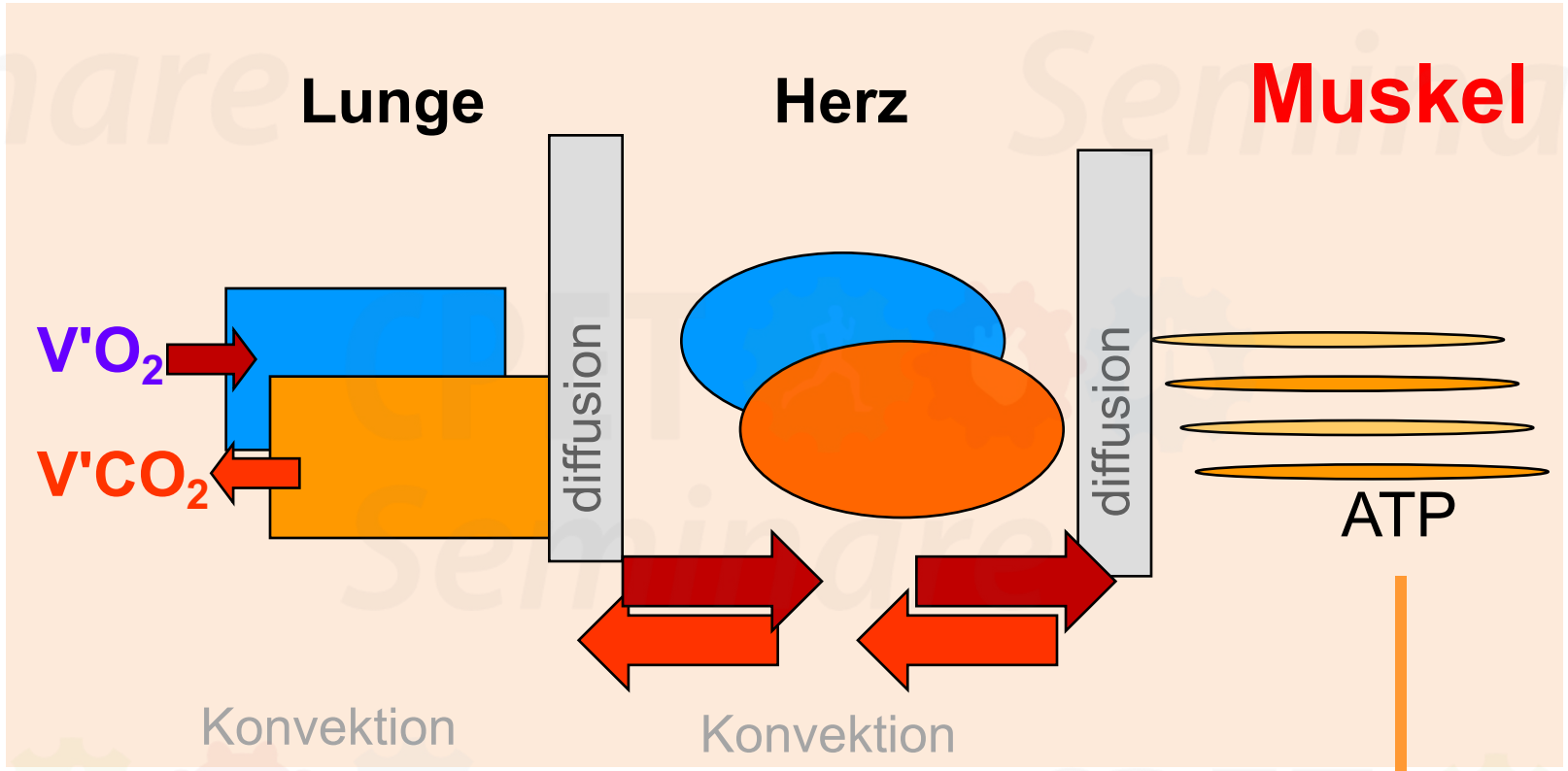
CPET Seminare

CPET und Energiebereitstellung



CPET Seminare

CPET und Energiebereitstellung

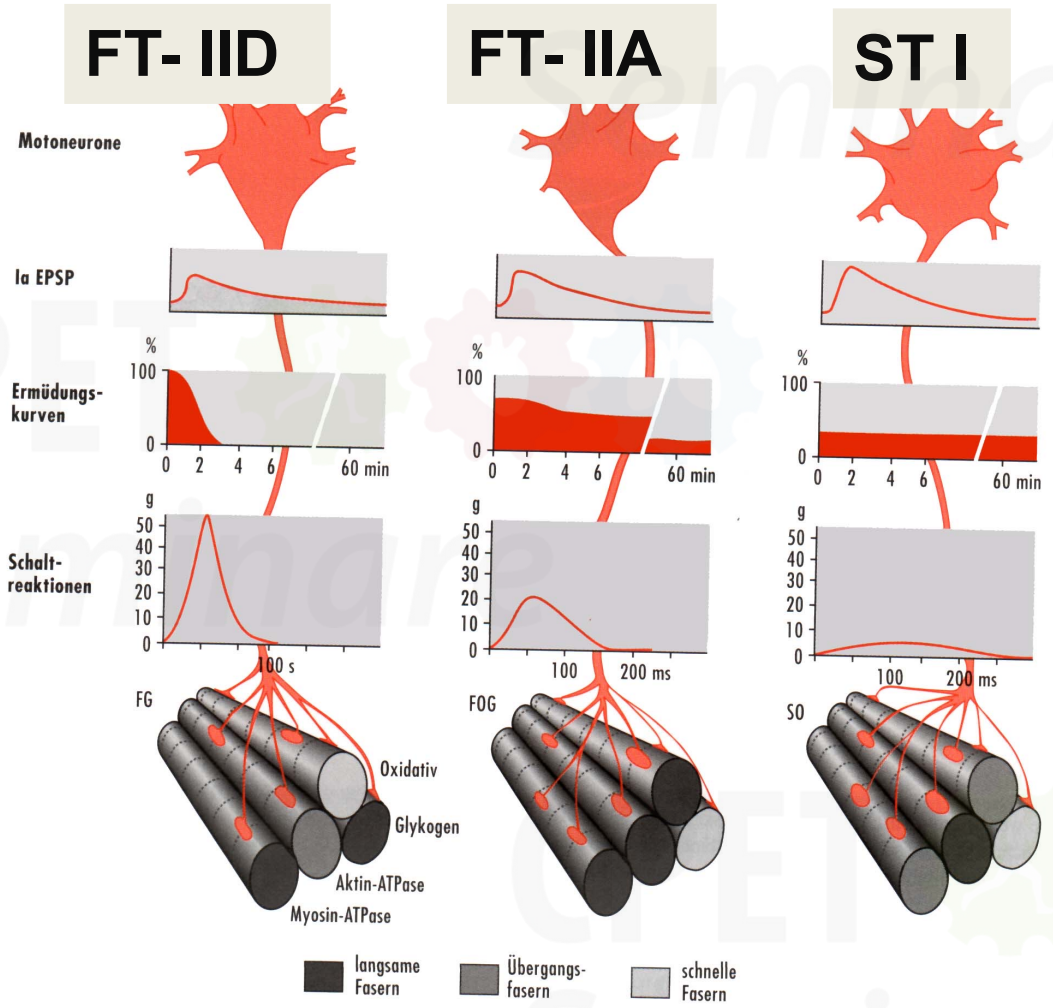


CPET Seminare

periphere Muskulatur

Ermüdungskurven

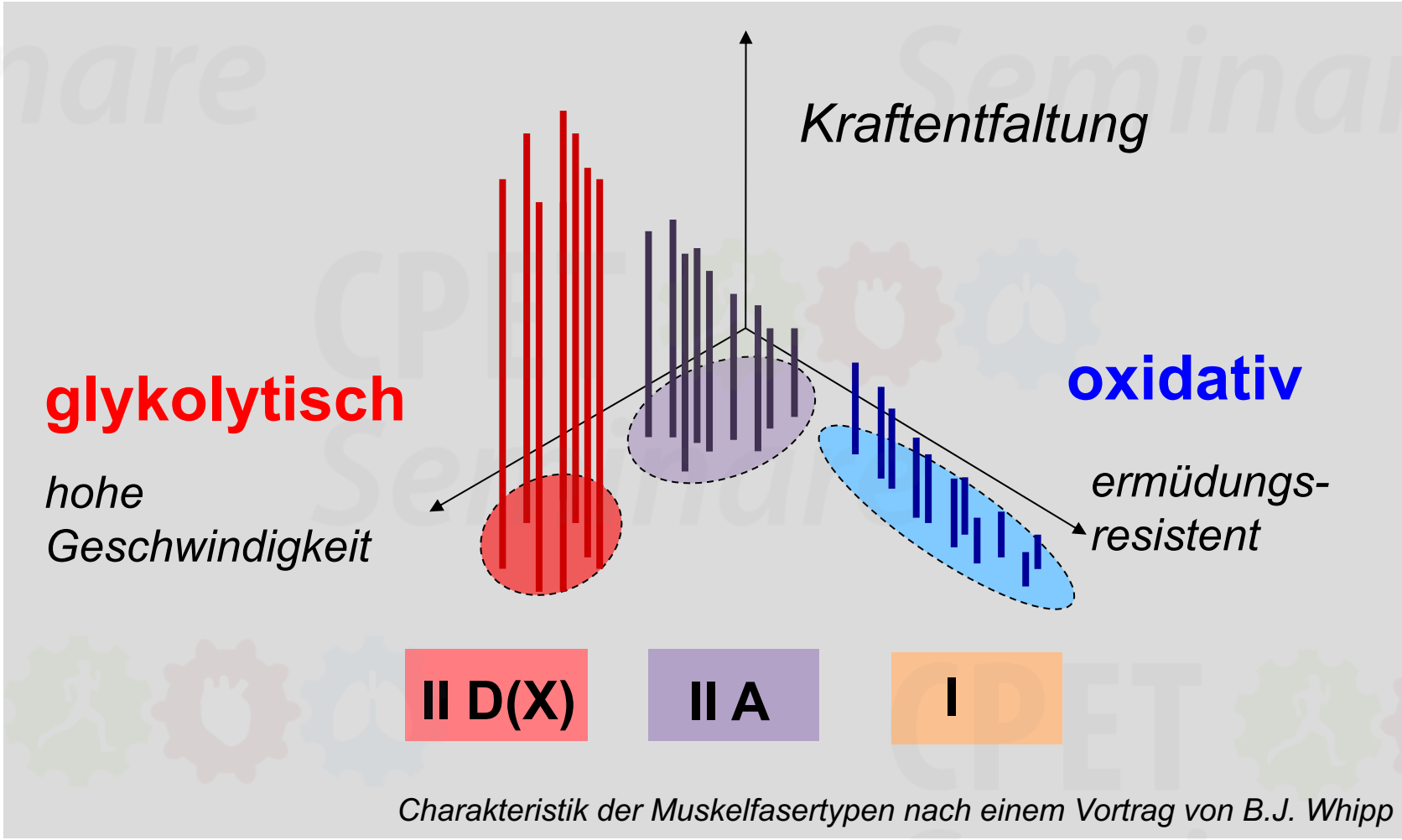
Reaktionszeit



aus Hollmann & Hettinger
Sportmedizin, Stuttgart 2000

CPET Seminare

periphere Muskulatur



Charakteristik der Muskelfasertypen nach einem Vortrag von B.J. Whipp

CPET Seminare

Energiebereitstellung

sekundäre			primäre
β-Ox. FS	Glykolyse	laktazid	alaktazid
Fettsäuren	aerobe Glykolyse	anaerobe Glykolyse	**ATP, CrP**
aerob		anaerob	

AT

CPET Seminare

Mechanismen der Energiebereitstellung

primäre Energiebereitstellung

alaktazid

- ATP Spaltung
  reicht für 0-2 Sekunden: Abbau der ATP-Speicher im Muskel

- CrP Spaltung
  reicht für 2-10 Sekunden: Spaltung von Kreatinphosphat (CrP)
  (Hochtrainierte bis 20s) im Muskel durch Kreatinkinase

CPET Seminare

Mechanismen der Energiebereitstellung

sekundäre Energiebereitstellung

***anaerobe* Glykolyse**

- Energiebereitstellung aus *Kohlenhydraten* ohne Verbrennung von Sauerstoff
- reicht für 2-3 Minuten
- Laktat fällt als Stoffwechselprodukt an, das
  1.) als Substrat wieder verwendet wird
  2.) vorrangig über das Bicarbonatsystem gepuffert wird, aus der Pufferung entstehen CO_2 und H_2O

Auch in Ruhe laufen aerobe und anaerobe Stoffwechselprozesse zur ATP-Regeneration im Körper parallel ab! (Laktat ca. 1 mmol)

CPET Seminare

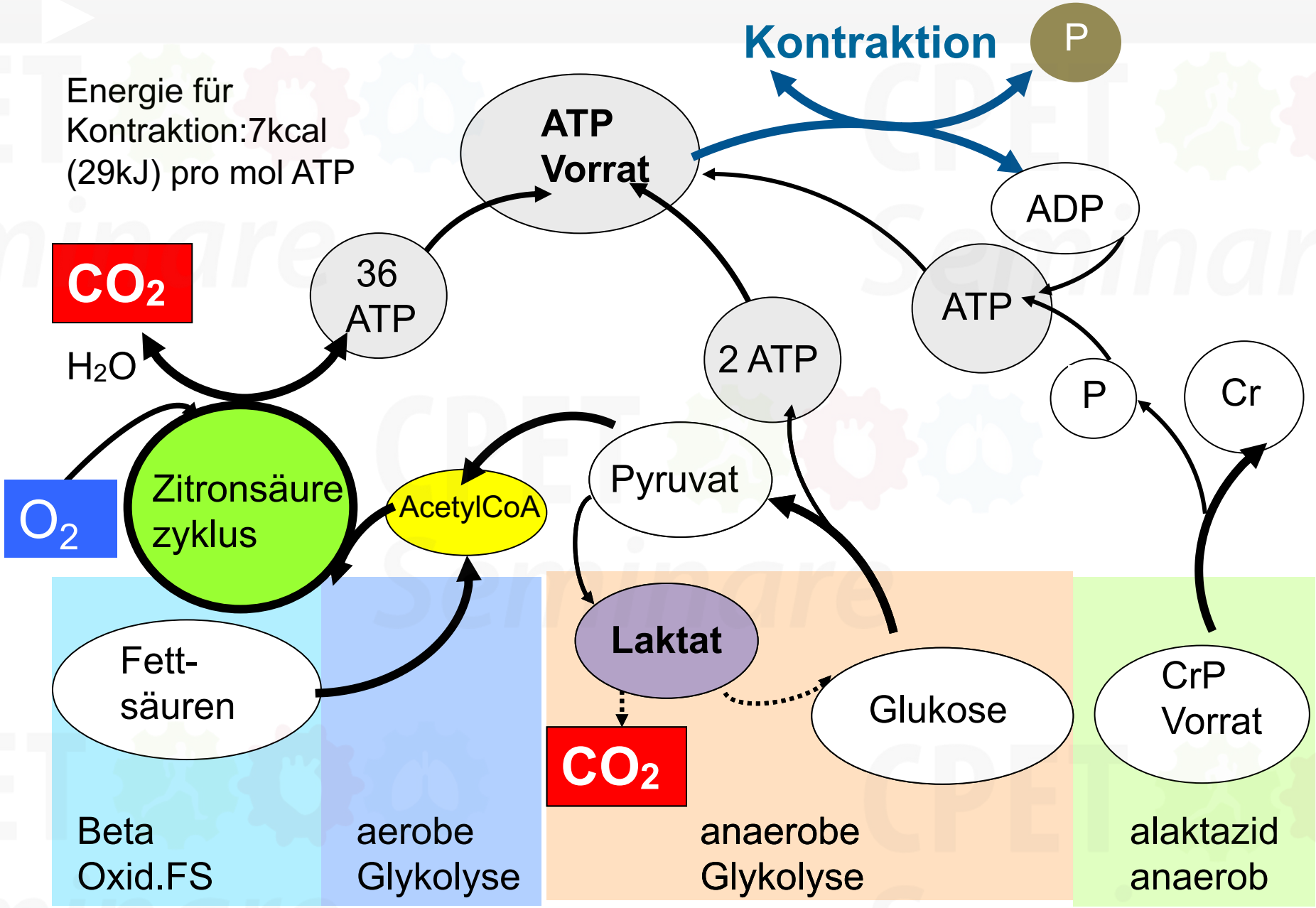
Mechanismen der Energiebereitstellung

sekundäre Energiebereitstellung

***aerobe* Glykolyse und Fettsäureoxidation**

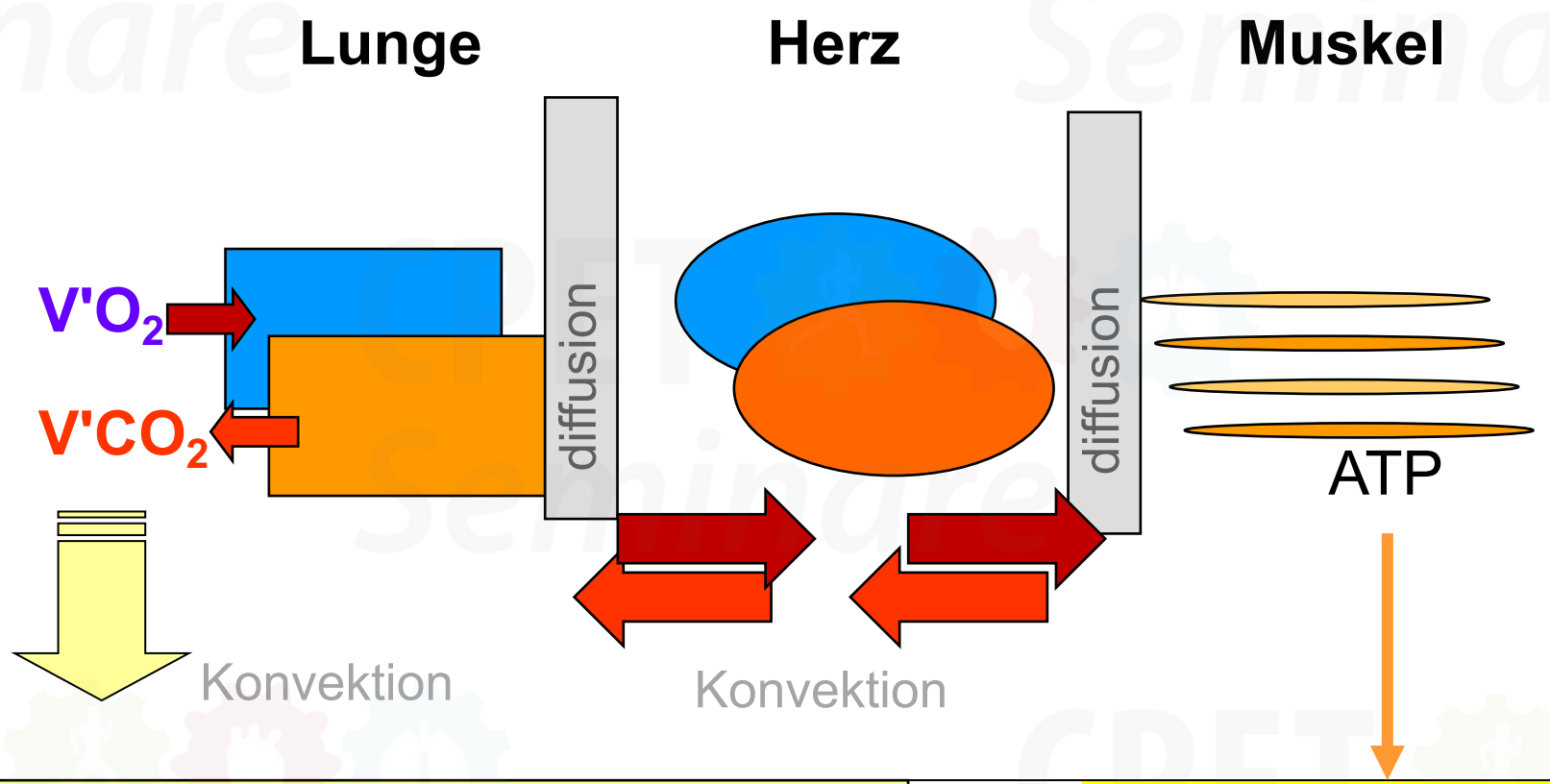
- Energiebereitstellung überwiegend aus ***Kohlenhydraten*** (Dauer 30 min., max.100 min.)

- Energiebereitstellung aus ***Beta Oxidation der Fettsäuren*** (Dauer praktisch unbegrenzt)



CPET Seminare

Respiratory Exchange Ratio - “RER”



V´CO$_2$ / V´O$_2$ = RER spiegelt die aktuelle Energiebereitstellung wider

Ort der Energie-bereitstellung

CPET Seminare

RER

RER wird beeinflusst durch:

- Ernährungssituation der vergangenen 48h
- zurückliegenden Belastungen der vergangenen 48h
- Zustand der Glykogendepots
- Speicherfähigkeit des Fettgewebes für CO_2
- Hyper- und Hypo-Ventilation

RER-Werte plausibel? z.B. RER < 0.7

- Gaskalibration korrekt?
- Kalibrationsgaskartusche (Flaschendruck > 5 bar)?
- O_2-Sensor intakt?
- Absaugstrecke feucht oder defekt?

CPET Seminare

RQ vs. RER

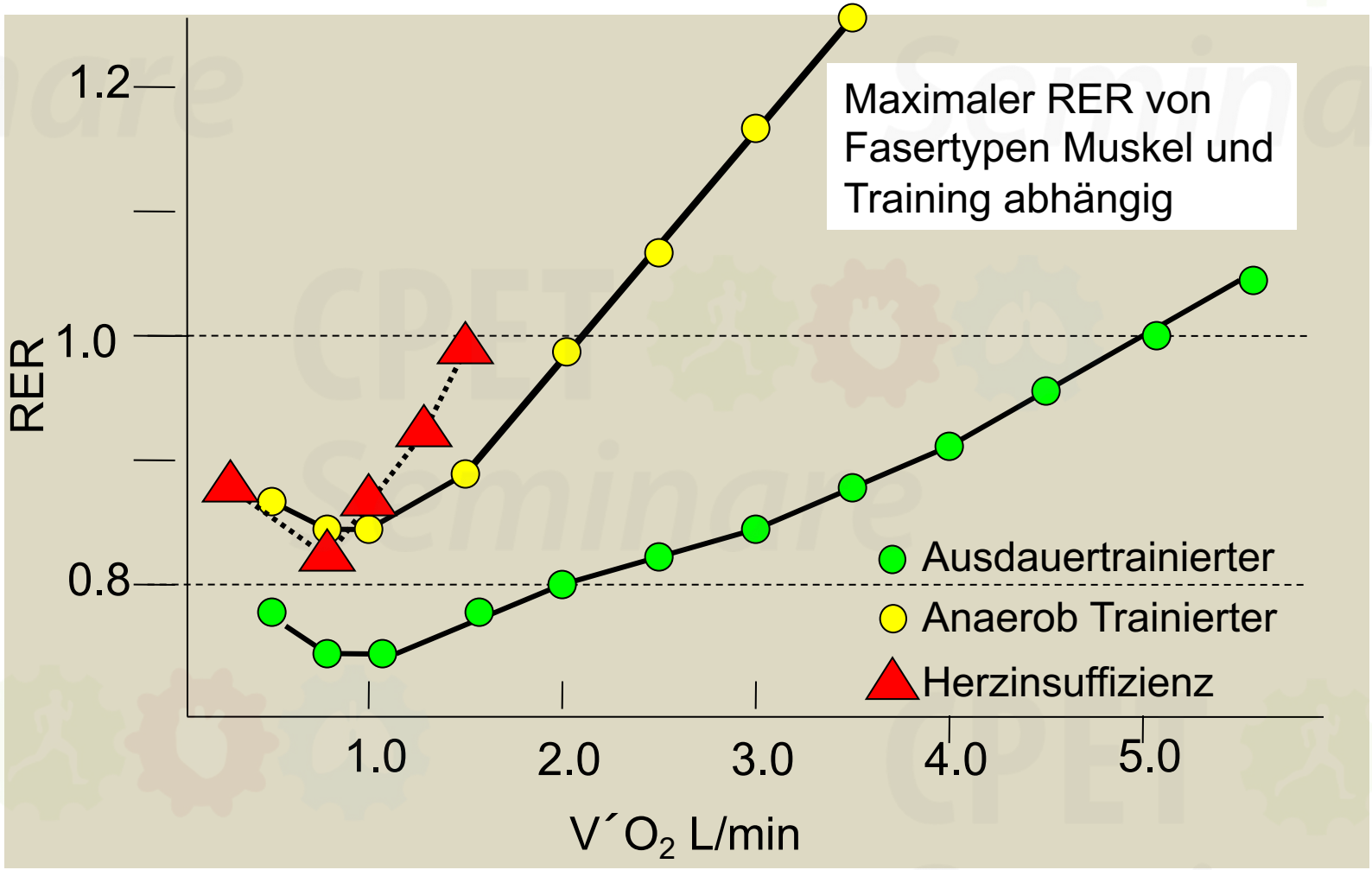
Der respiratorische Quotient RQ ist eine zelluläre mitochondriale Größe.

RQ = 6 CO_2 / 6 O_2 = 1,0 (Kohlehydratverbrennung)
RQ = 102 CO_2 / 145 O_2 = 0,7 (Fettverbrennung)

In der Spiroergometrie wird die RER (Respiratory Exchange Ratio) als Abbild des RQ in der Ausatemluft gemessen!

Im Fall einer idealen Atmung (im steady state) wäre RER gleich RQ.
Im Fall von Hyper- und Hypo-Ventilation wird RER von RQ entkoppelt.

RER: Einfluss von Muskelfasertyp und Training



Modifiziert nach Mayer, T., Z. Sportmed. 2003

CPET Seminare

R / RER / RQ …. Begrifflichkeiten

„R“ = Respiration = Atmung
bedeutet sowohl **innere** wie auch
äußere Atmung (Zelle vs Atemgase)

„RER“ = **R**espiratory **E**xchange **R**atio äußere Atmung
gemessen am Mund (Atemgase)

"RQ" = Respiratorischer Quotient beschreibt die
innere Atmung (Zelle)

R gebräuchlich in USA

RER gebräuchlich in D

Woher stammt das gemessene V´CO2?

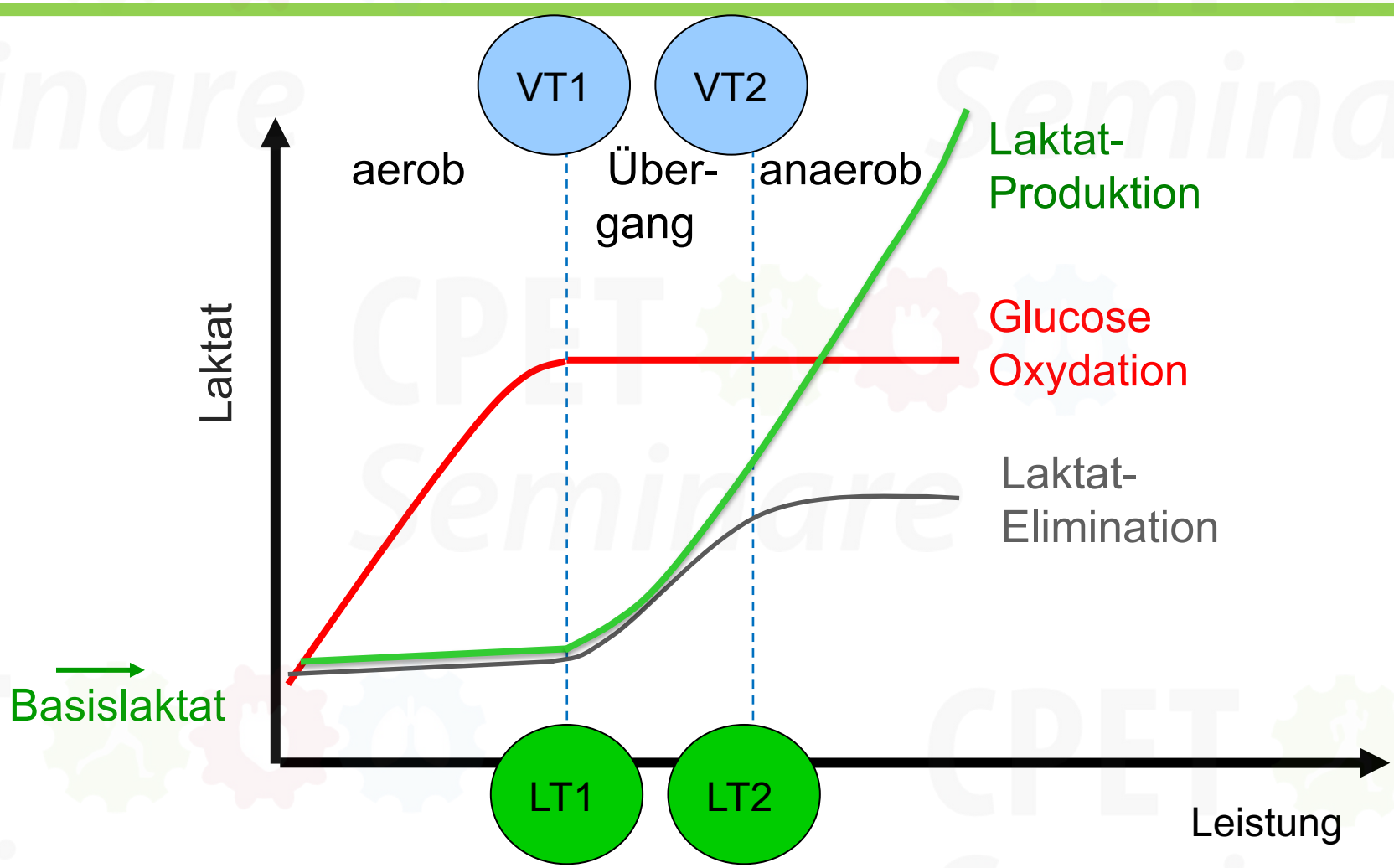
V´CO_2 entsteht aus:

1. Fettstoffwechsel
2. aerobem Kohlenhydratstoffwechsel

3. **zusätzlichem Excess-CO_2 aus Laktatpufferung**

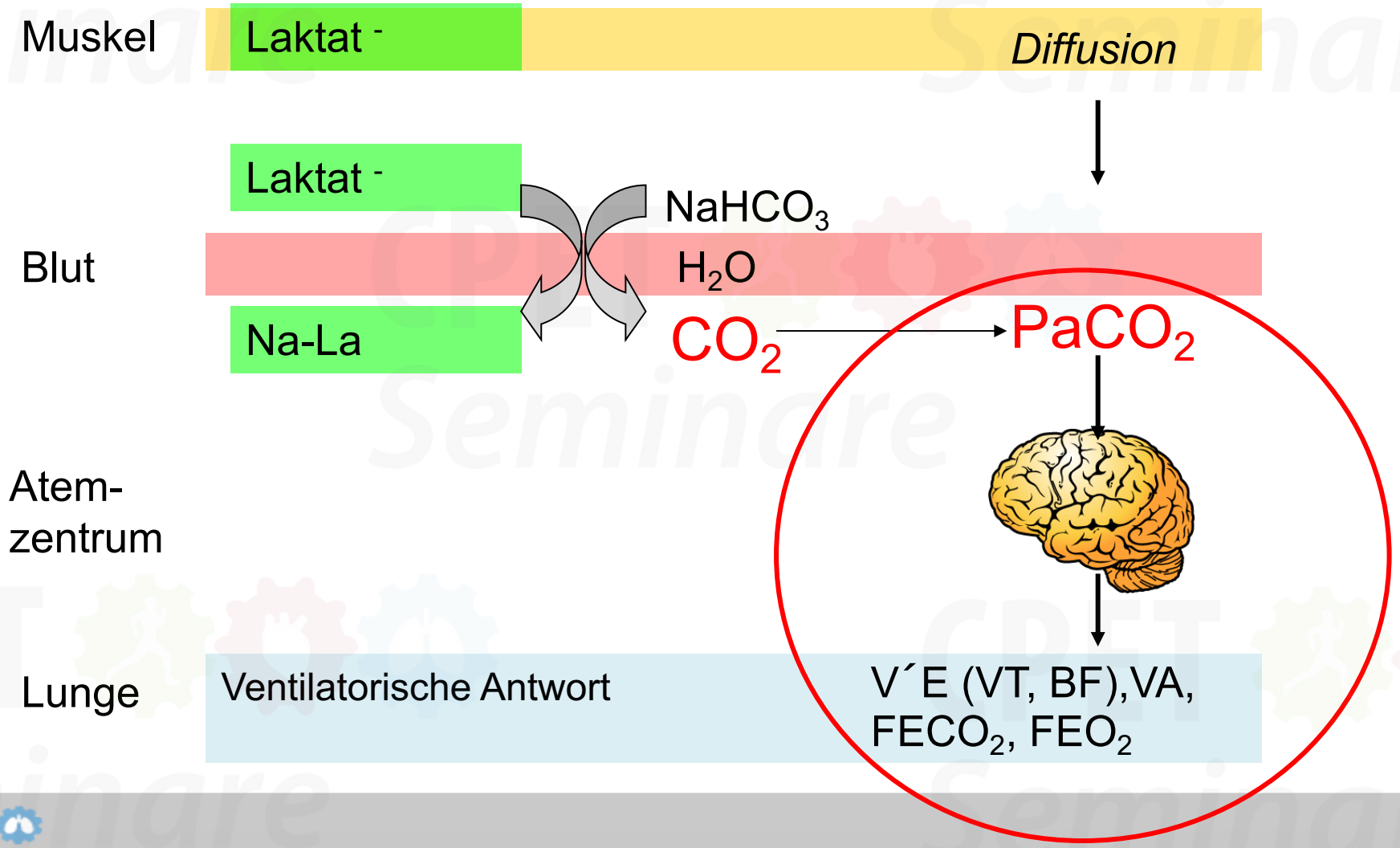
CPET Seminare

Laktat- u. ventilatorische Schwellen



Antonutto et al. J Sports Med Phys Fitness 1995

Laktat und ventilatorische Antwort



CPET Seminare

Leistung und Energiebereitstellung

Die Sauerstoffaufnahme wird durch den muskulären Bedarf determiniert (Fahrradbelastung ca. 10-11 ml $V´O_2$ / Watt).

Die Ventilation wird durch CO_2 gesteuert.

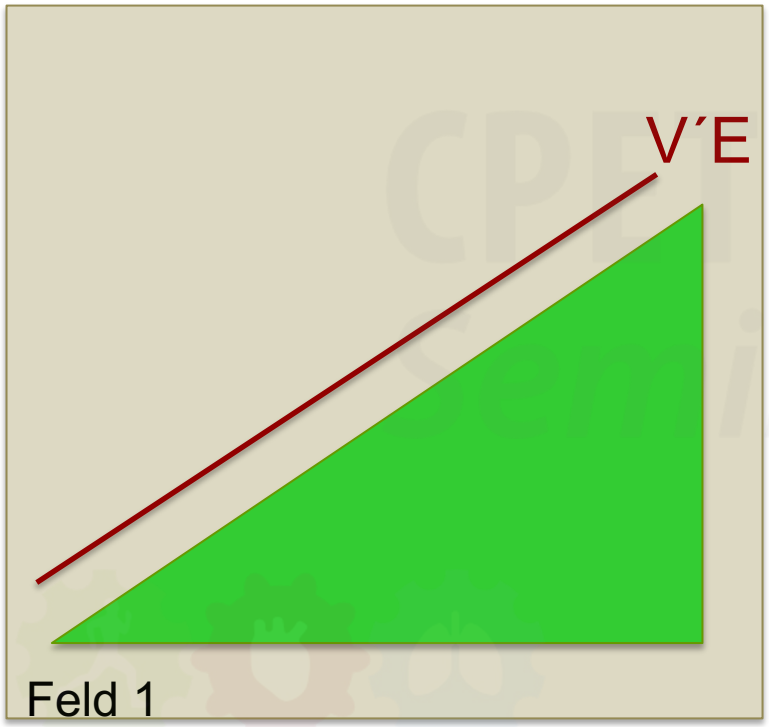
$$V´O_{2\,(STPD)} = V´E_{(BTPS)} \times (FIO_2 - FEO_2) \times k$$

CPET Seminare

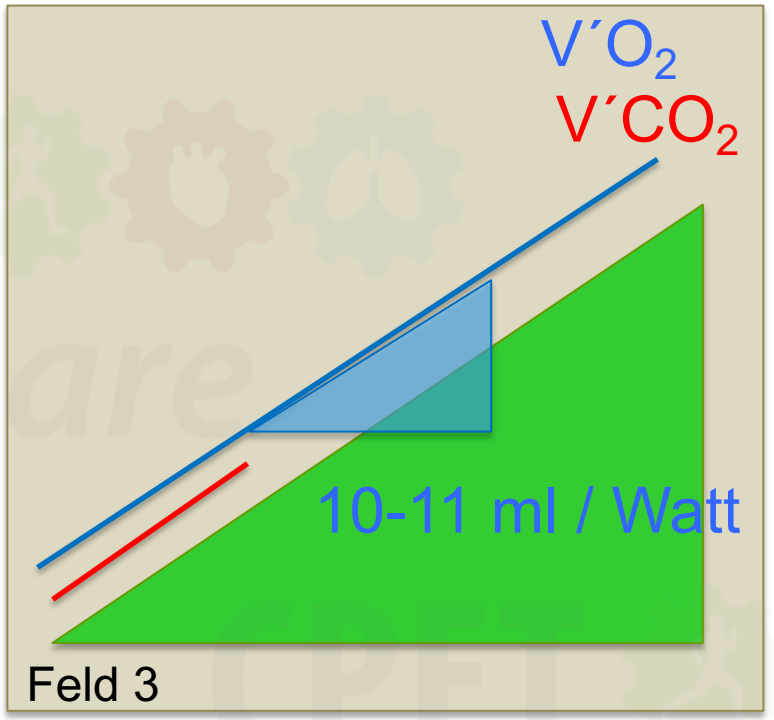
Leistung und Energiebereitstellung

a) aerobe Energiegewinnung

Ventilation, V´E



$V´O_2$, $V´CO_2$



$$V´O_{2\,(STPD)} = V´E_{(BTPS)} \times (FIO_2 - FEO_2) \times k$$

CPET Seminare

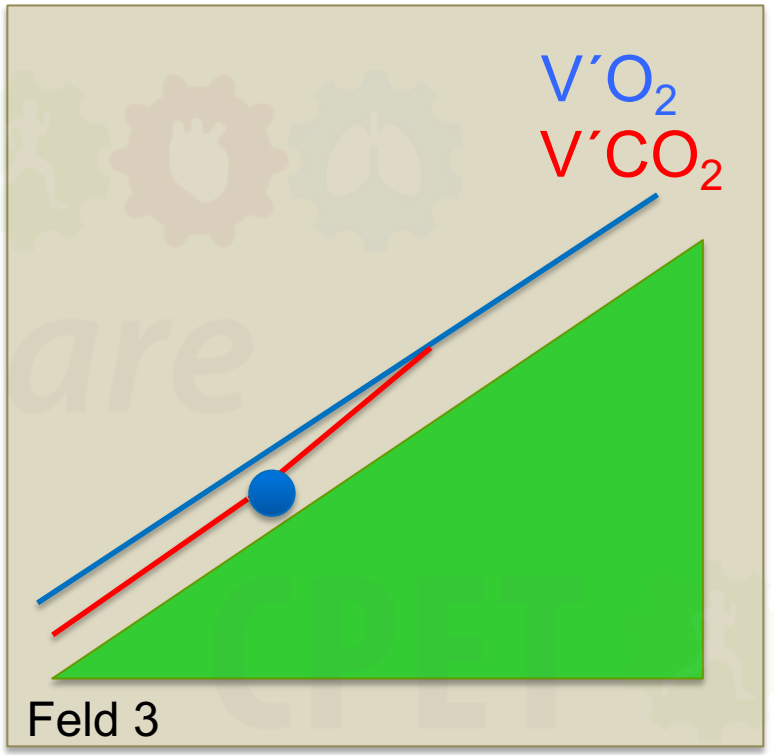
Leistung und Energiebereitstellung

b) Beginn der Laktatakkumulation (VT1)

Ventilation, V´E

Ventilation erhöht um das aus der Laktatpufferung entstehende CO_2 zu eliminieren

$V´O_2$, $V´CO_2$



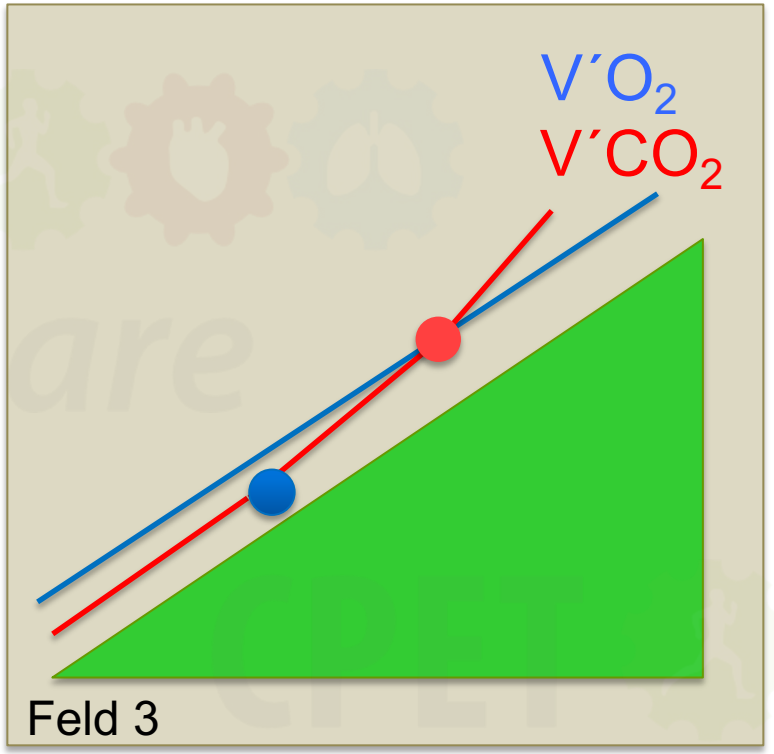
CPET Seminare

Leistung und Energiebereitstellung

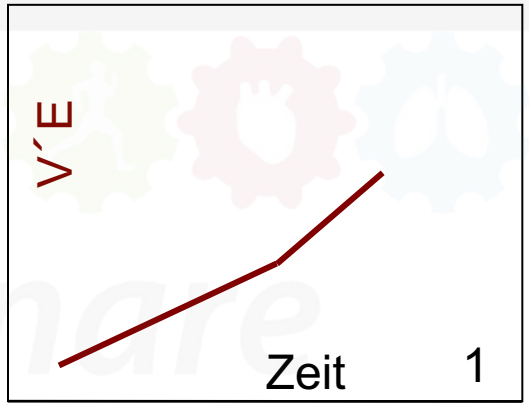
c) nicht kompensierte Laktatakkumulation (VT2)

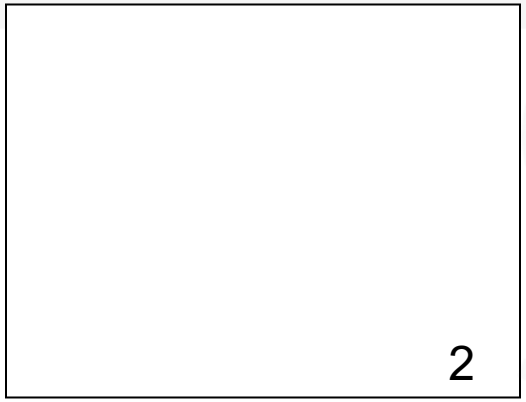
Ventilation, V´E

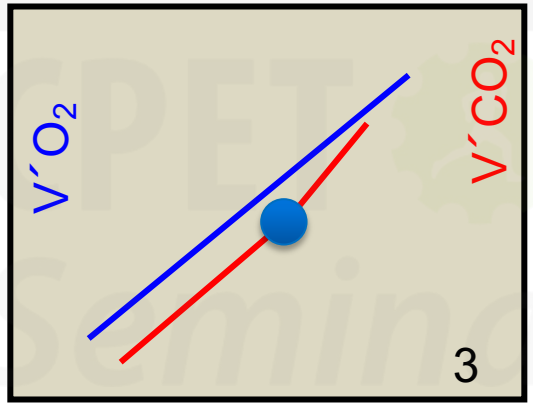
$V´O_2$, $V´CO_2$

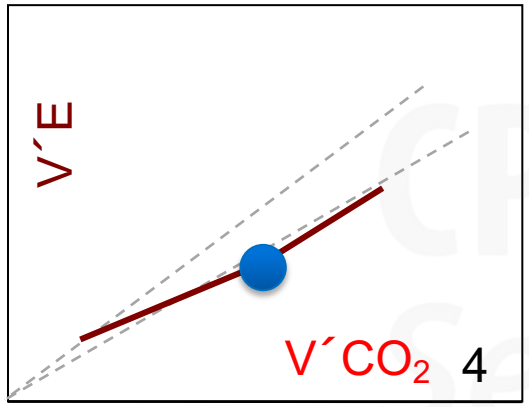


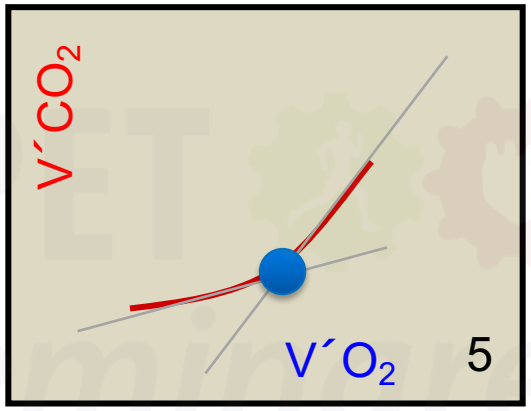
CPET Seminare

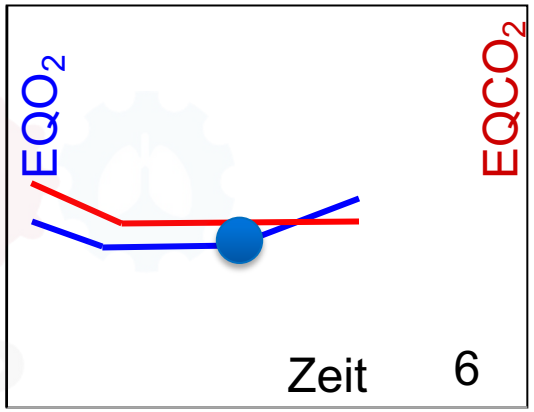


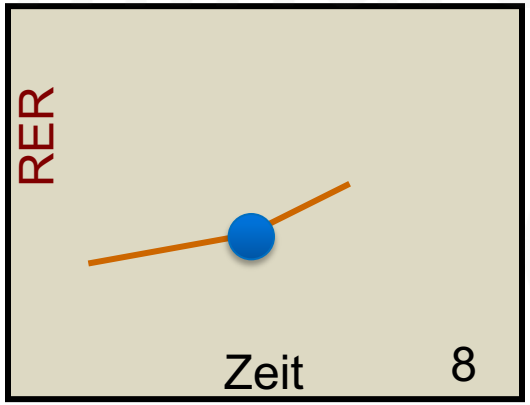


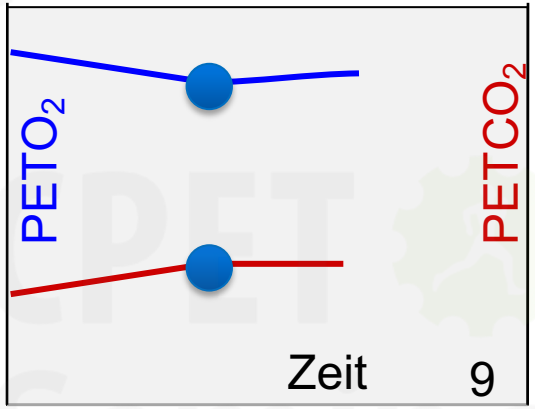






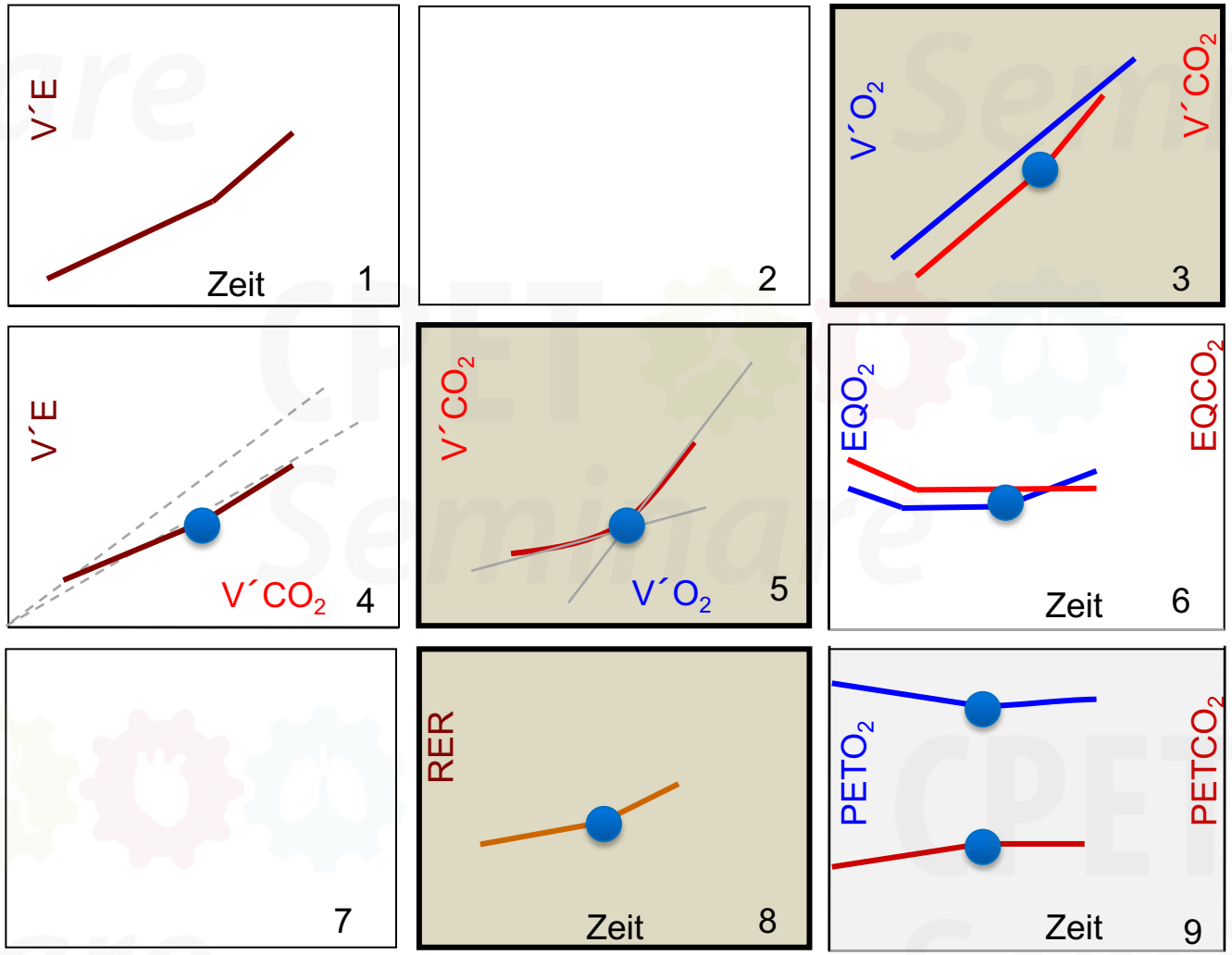






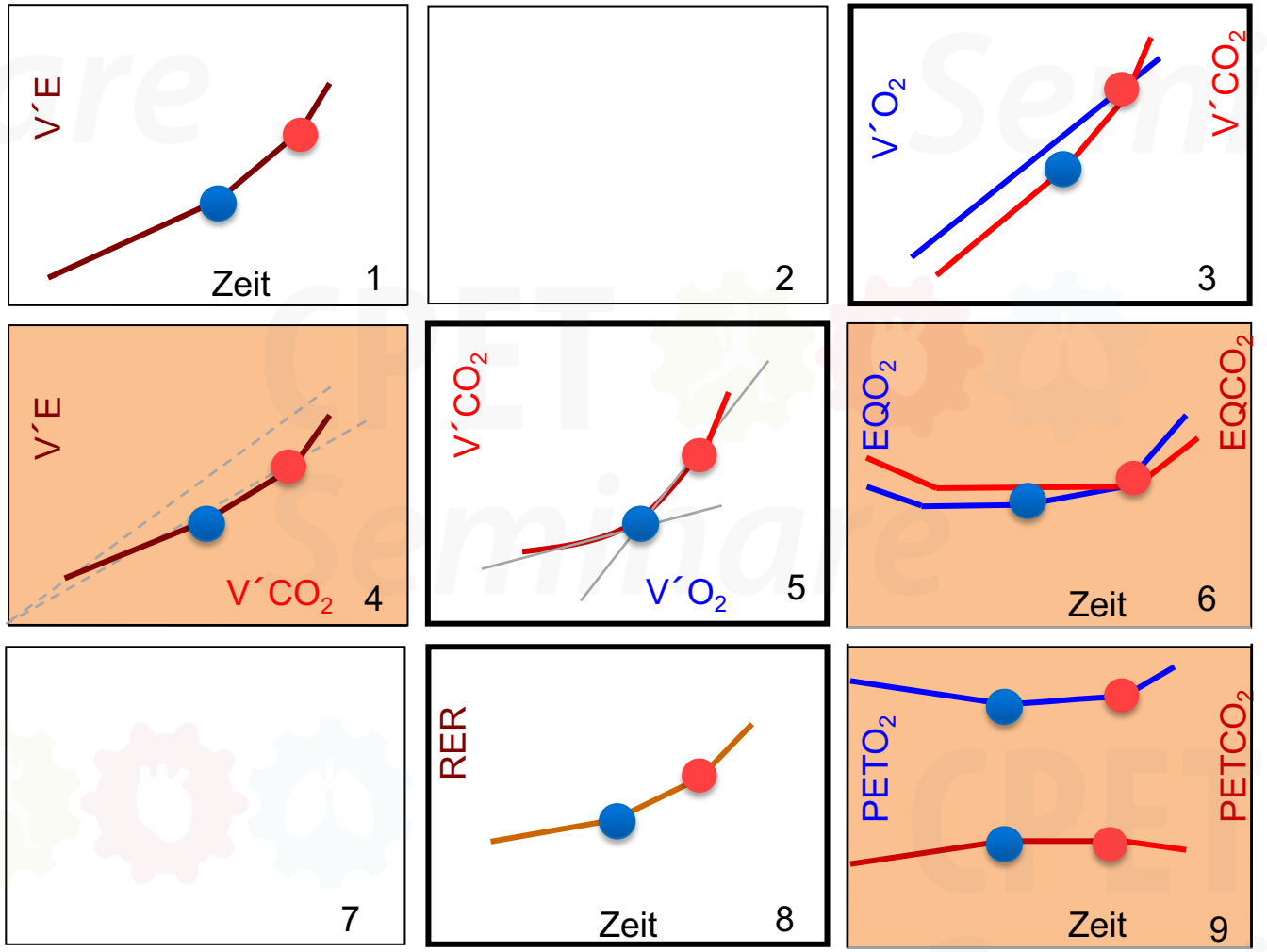
CPET Seminare

Detektion der VT1 in der 9-Felder-Grafik



CPET Seminare

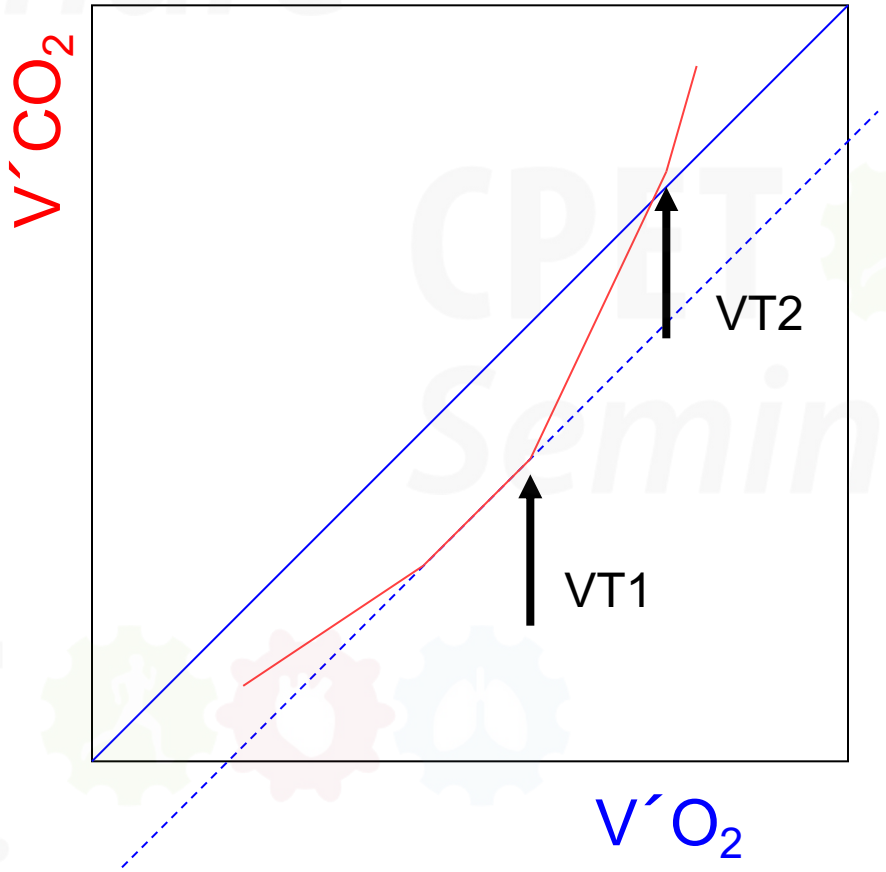
Detektion der VT2 in der 9-Felder-Grafik



CPET Seminare

V-Slope Methode

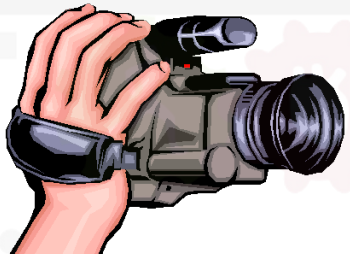
Welcher "Knick" ist VT1 ?



VT 1: die aktuelle $V´CO_2/V´O_2$ Relation ändert sich, Slope > 1, da in Ruhe RER aber < 1, ist der RER bei VT1 < 1

VT 2: Optional bei Gesunden Zeichen der überproportionalen Ventilation zum Ausgleich der Laktatazidose, $V´CO_2/V´O_2$ an dem Punkt > 1

CPET Seminare



Spiroergometrie

„Anaerobic threshold“, AT
VT1

RC Punkt
VT2

Fettsäureoxidation (obligat aerob)	Aerobe Glykolyse	Aerob-anaerobe Glykolyse (Übergangsbereich)	Anaerobe Glykolyse

LT (Wasserman)
LT1

Laktatschwelle z.B. 4 mmol
LT2

Laktatkinetik

CPET Seminare

Laktat- u. ventilatorische Schwellen

Dtsch med Wochenschr 2013; 138(06): 275-280
DOI: 10.1055/s-0032-1332843

Übersicht | Review article

Sportmedizin
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

Ventilatorische und metabolische (Laktat-)Schwellen

Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft Spiroergometrie

Positional paper of the German working group "cardiopulmonary exercise testing" to ventilatory and metabolic (lactate) thresholds

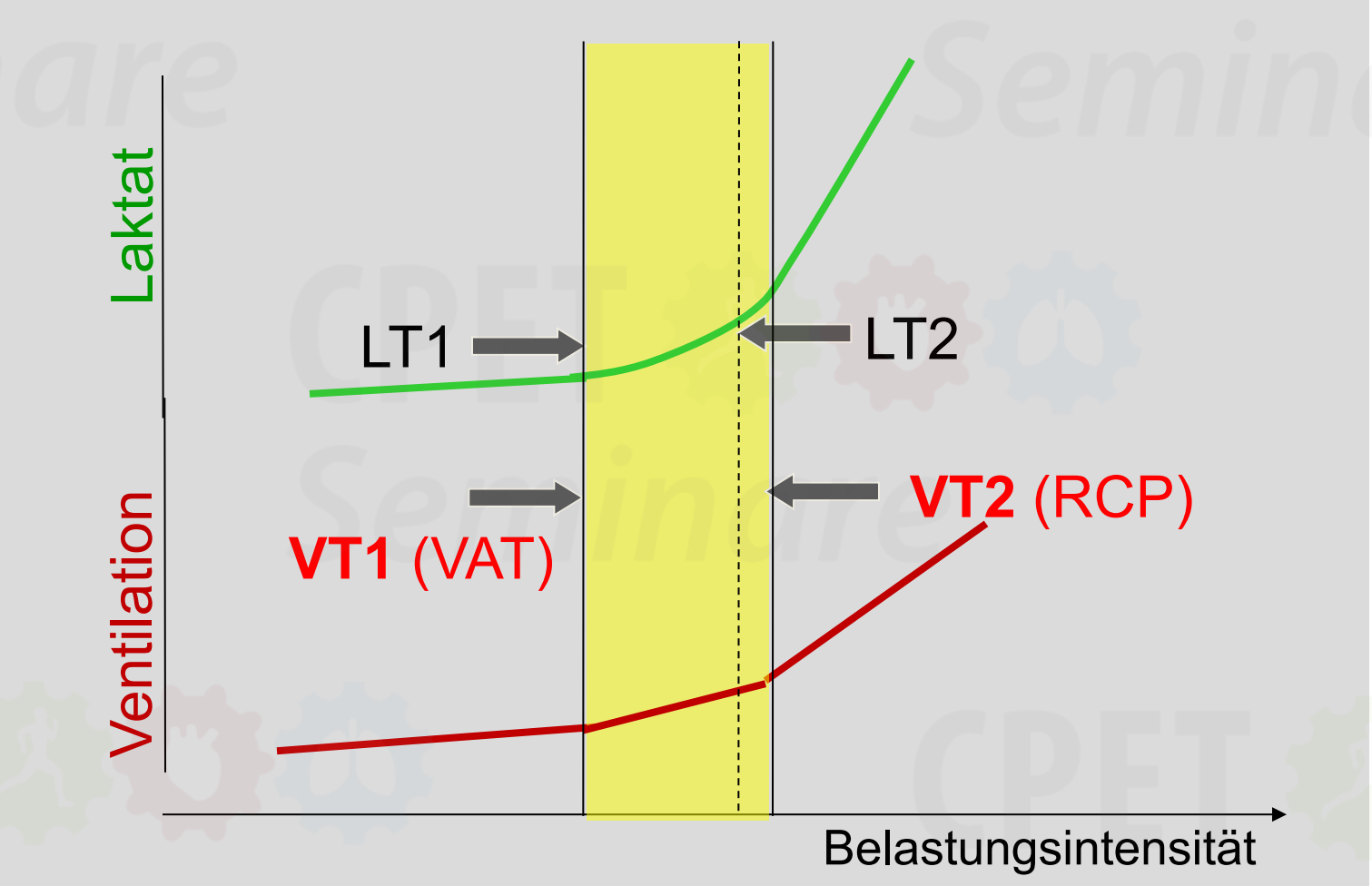
M. Westhoff[1], K.H. Rühle[2], A. Greiwing[3], R. Schomaker[3, 4], H. Eschenbacher[4], M. Siepmann[5], B. Lehnigk[6]

[1]Klinik für Pneumologie, Lungenklinik Hemer
[2]Helios Klinik Hagen-Ambrock, Hagen
[3]ZfS - Zentrum für Sportmedizin GmbH, Münster
[4]CareFusion GmbH, Höchberg
[5]CORTEX Biophysik GmbH, Leipzig
[6]Krankenhaus Großhansdorf, Zentrum für Pneumologie und Thoraxchirurgie

Weitere Informationen

CPET Seminare

Terminologie



Modifiziert nach Kindermann 2004

Zusammenfassung

- metabolische Veränderungen führen zu ventilatorischen Antworten

aber

- Koppelung sowohl bei Gesunden als auch bei Kranken von weiteren Faktoren abhängig
  - ungenügende ventilatorische Antwort bei Patienten mit obstruktiven Lungenerkrankungen (COPD, OHS)
  - spezielle Adaptation bei Sportlern, sportartspezifisch, permissive Hypoventilation
  - Einfluss von Pufferstatus, pH
  - Variabilität der Steuerung des CO_2 Reglersystems ($\Delta V'_A / \Delta PCO_2$)

CPET Seminare