

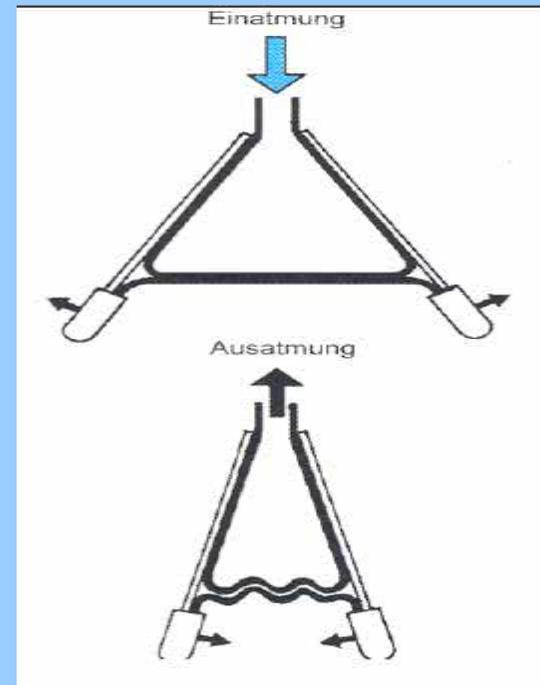
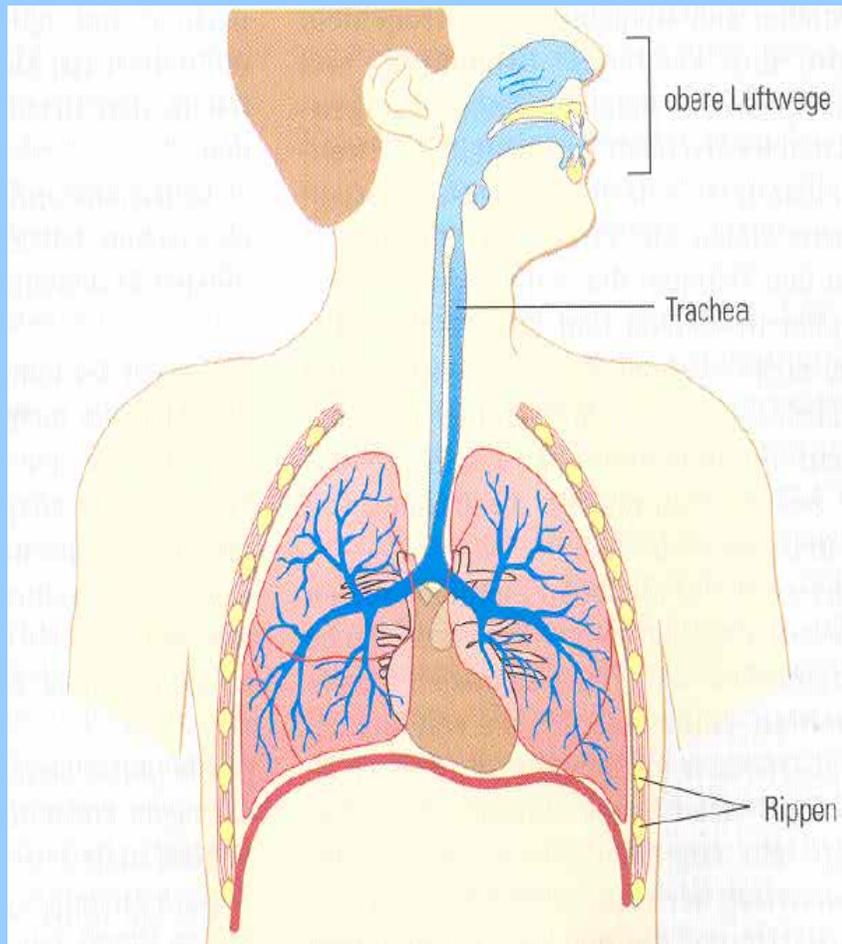
Lunge – Funktion

Andreas Schmid

Medizinische Universitätsklinik Freiburg

Abt. Präventive und Rehabilitative Sportmedizin

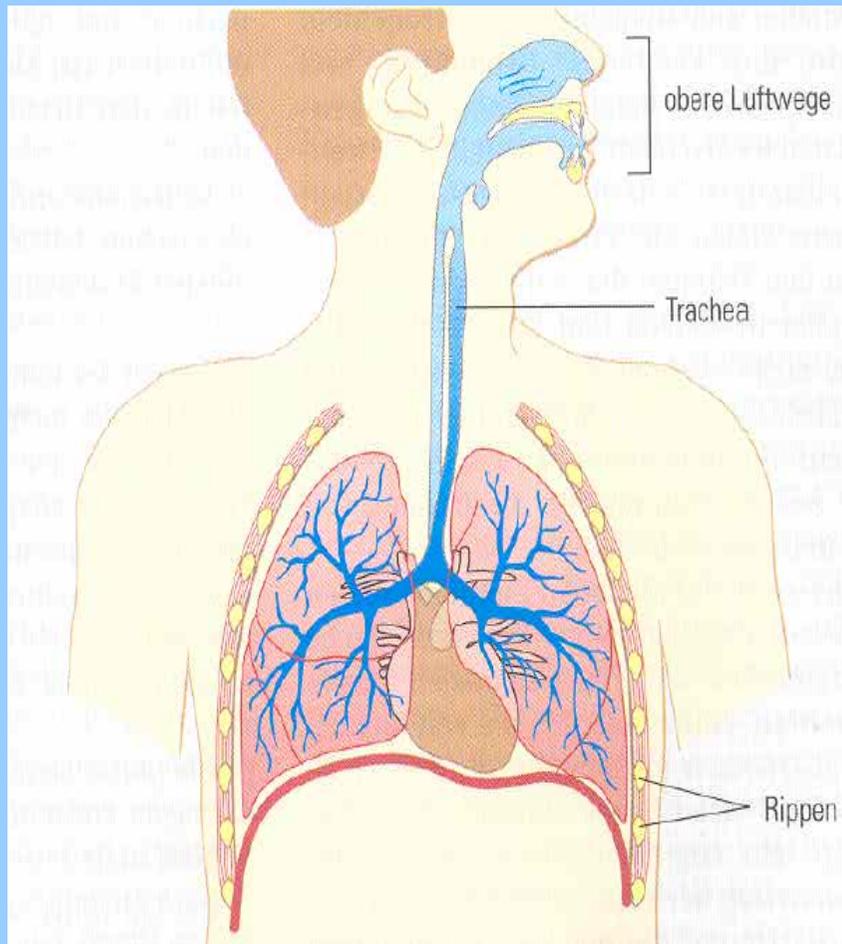
Lunge - Anatomie



Inspiration: aktiver Prozess

- Zwerchfellkontraktion und äußere Interkostalmuskulatur
- Atemhilfsmuskulatur

Lunge - Anatomie

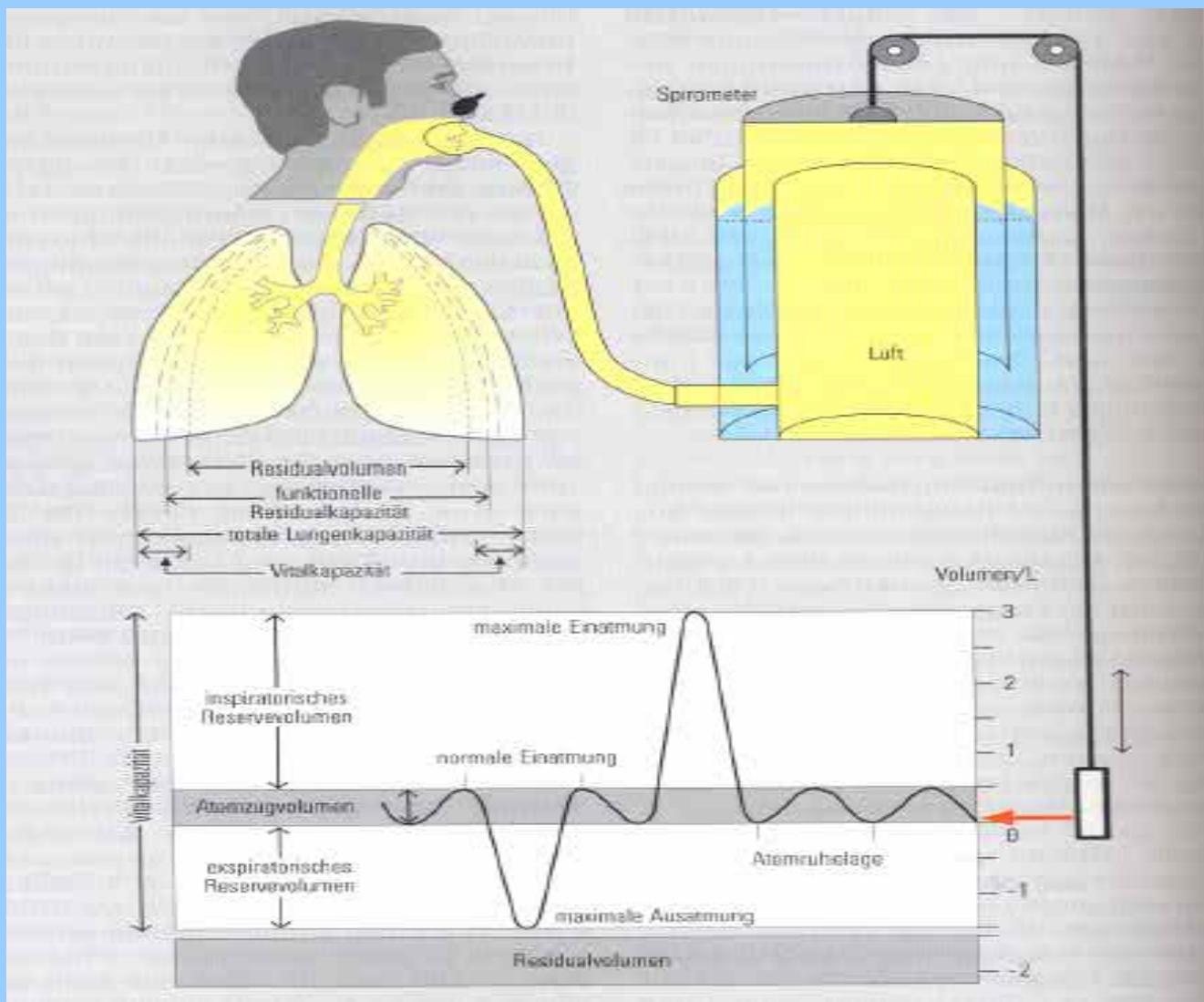


Expiration: passiver Prozess

- Elastizität des Brustkorbes
- Bauchmuskulatur

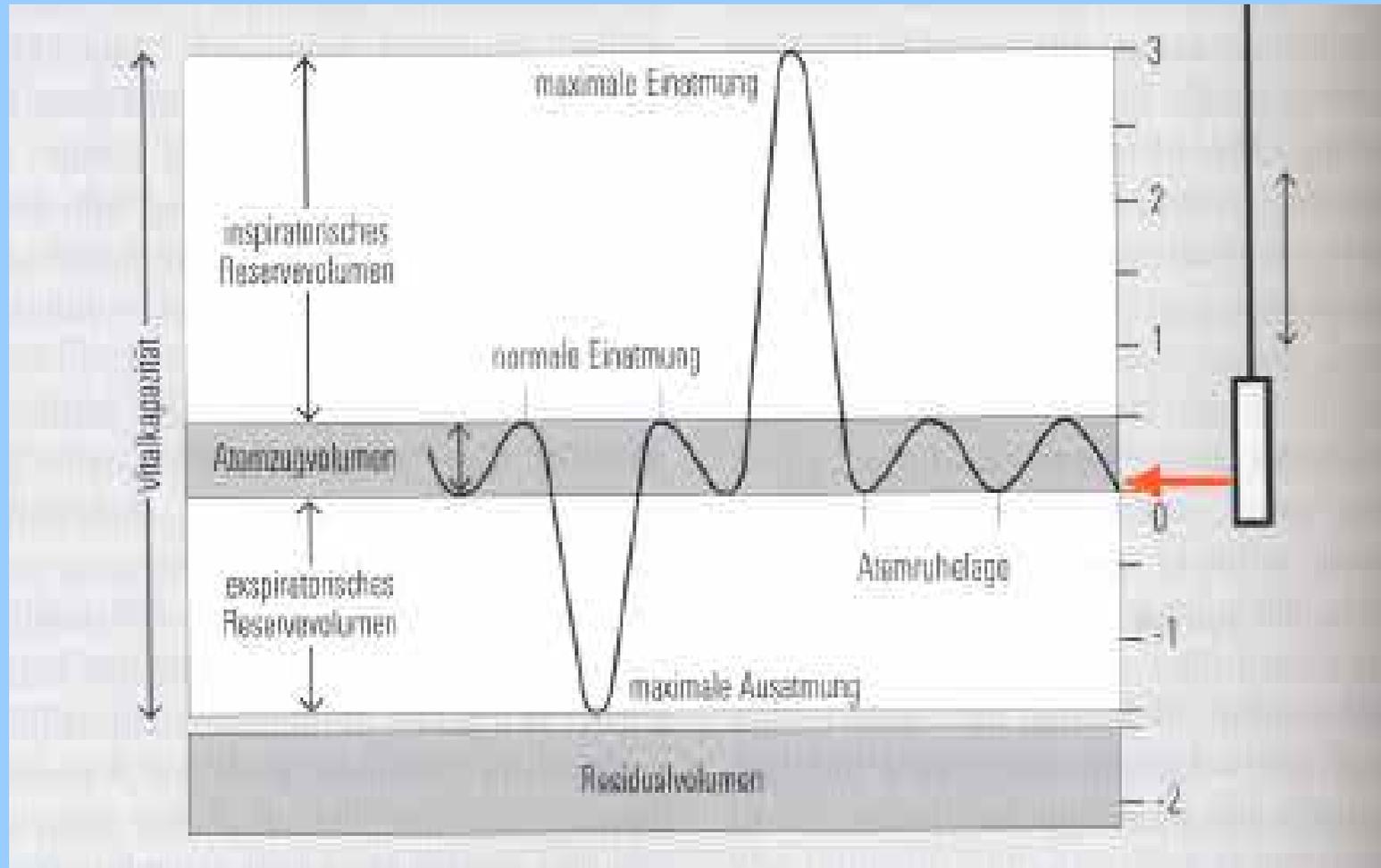
Lungenfunktion – Spirogramm

Statische Lungenvolumina



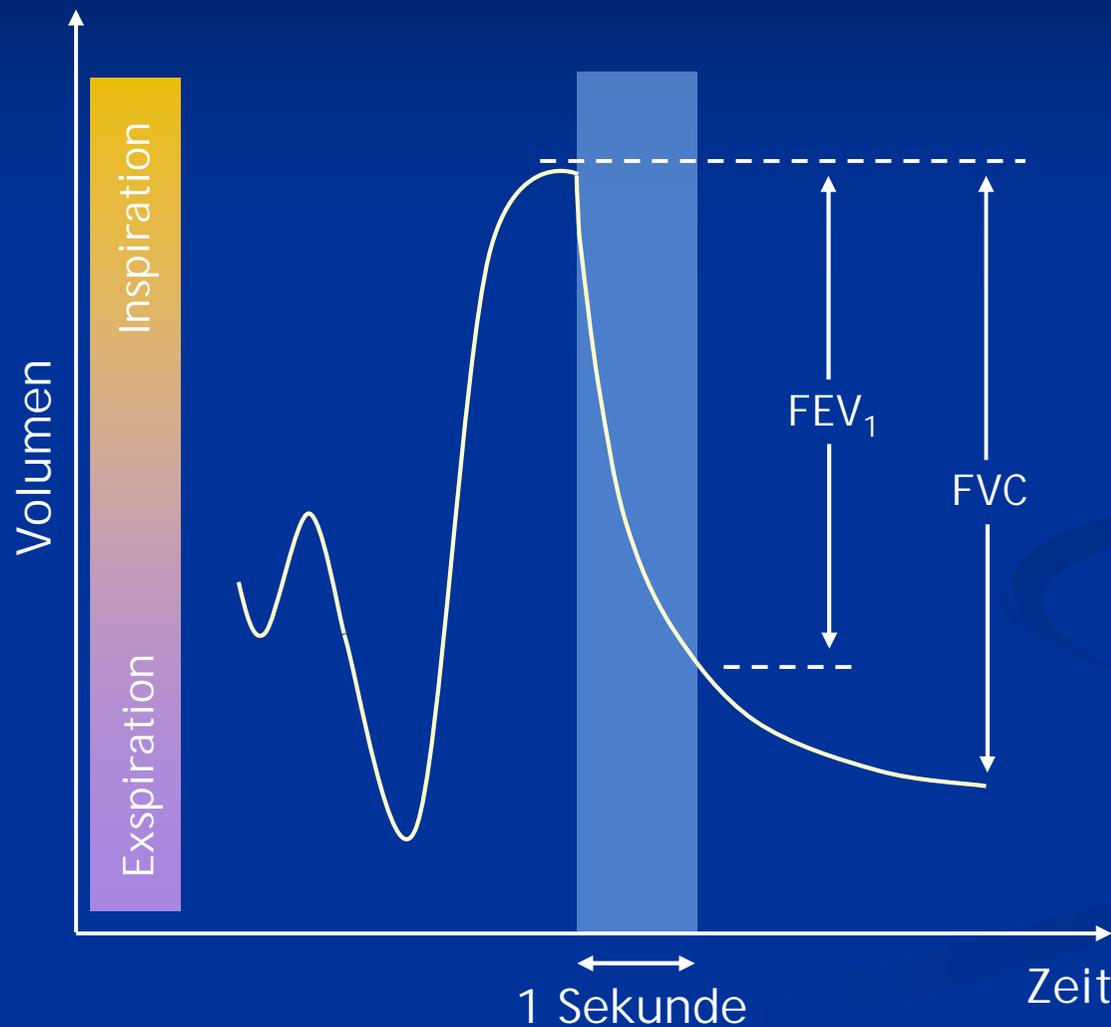
Lungenfunktion – Spirogramm

Statische Lungenvolumina



Lungenfunktion – Spirogramm

Dynamische Lungenvolumina



Ein-Sekunden-Kapazität:
Maximal ausgeatmetes
Volumen in der 1.
Sekunde aus maximaler
Inspiration

Lungenfunktion – Spirometrie

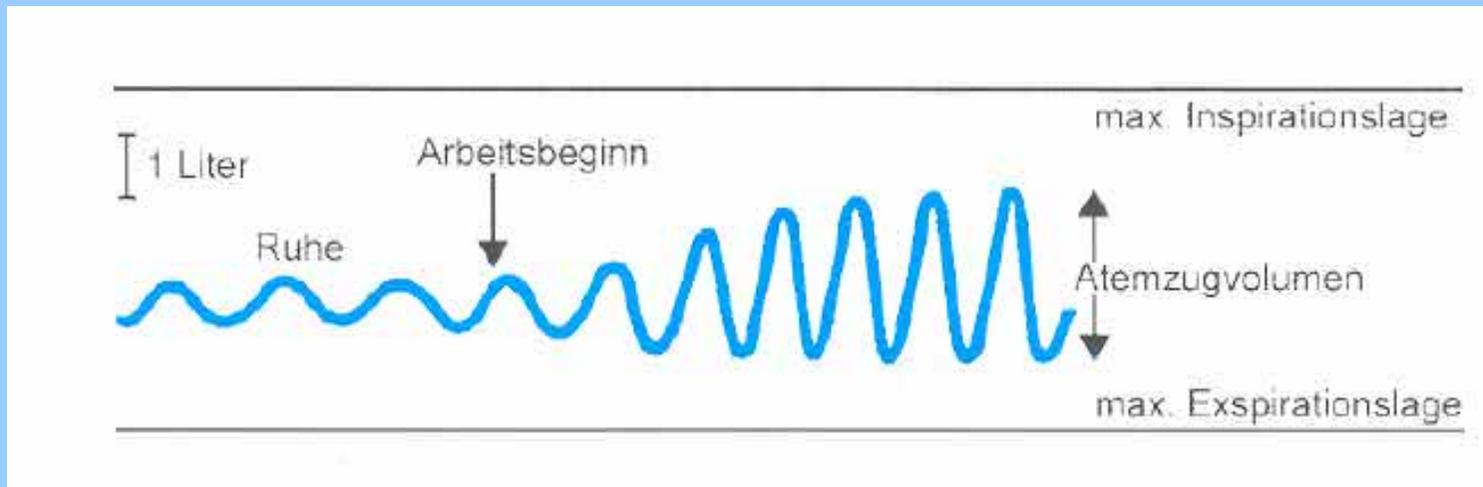
Vitalkapazität (VC):

- Alter
- Geschlecht
- Körperdimensionen
- Körperposition
- Ausdauerleistungsfähigkeit

$$VC = 5,2 \times \text{Größe} - 0,022 \times \text{Alter} - 3,6 \text{ (Männer)}$$

$$VC = 5,2 \times \text{Größe} - 0,018 \times \text{Alter} - 4,36 \text{ (Frauen)}$$

Lungenfunktion – Spiroergometrie

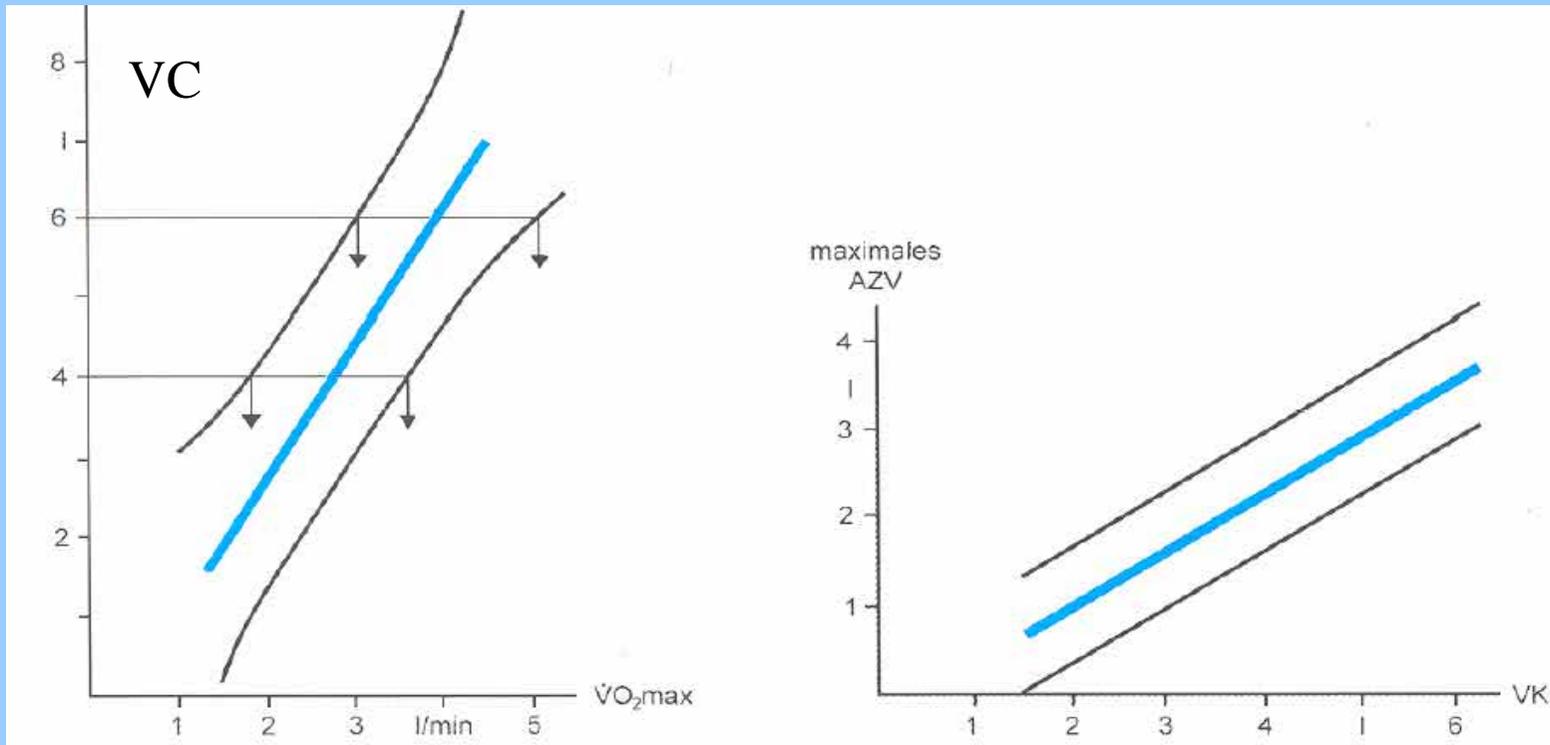


Atemminutenvolumen (AMV): $AZV \times Af$

Ruhe $0,5 \text{ l} \times 14/\text{min} = 7 \text{ l/min}$

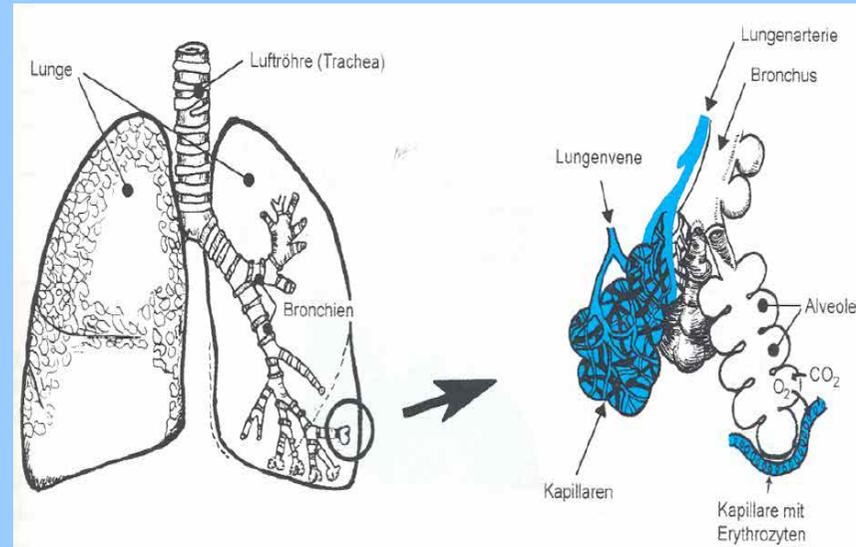
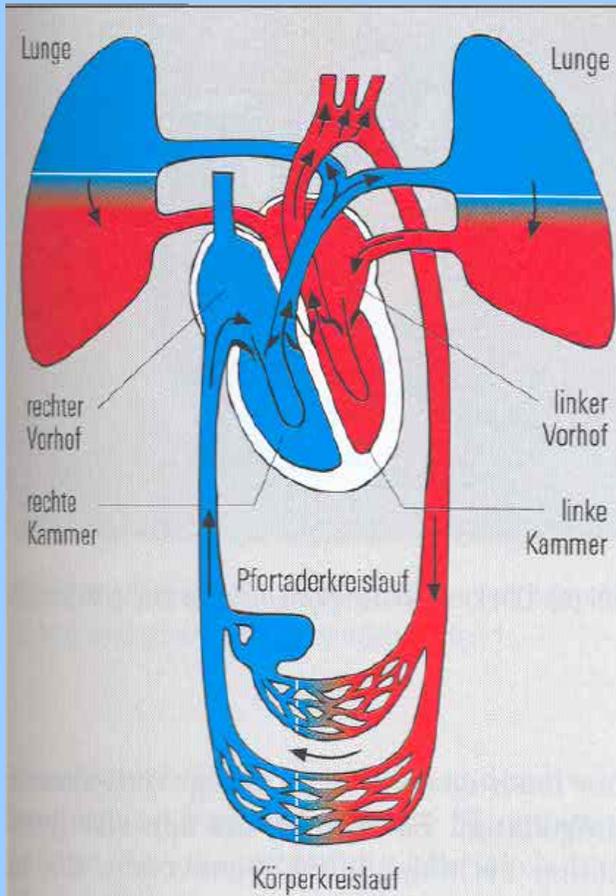
Belastung $2,5 \text{ l} \times 40/\text{min} = 100 \text{ l/min}$

Lungenfunktion – Adaptation an Ausdauersport



Vitalkapazität korreliert mit der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem maximalen Atemzugvolumen

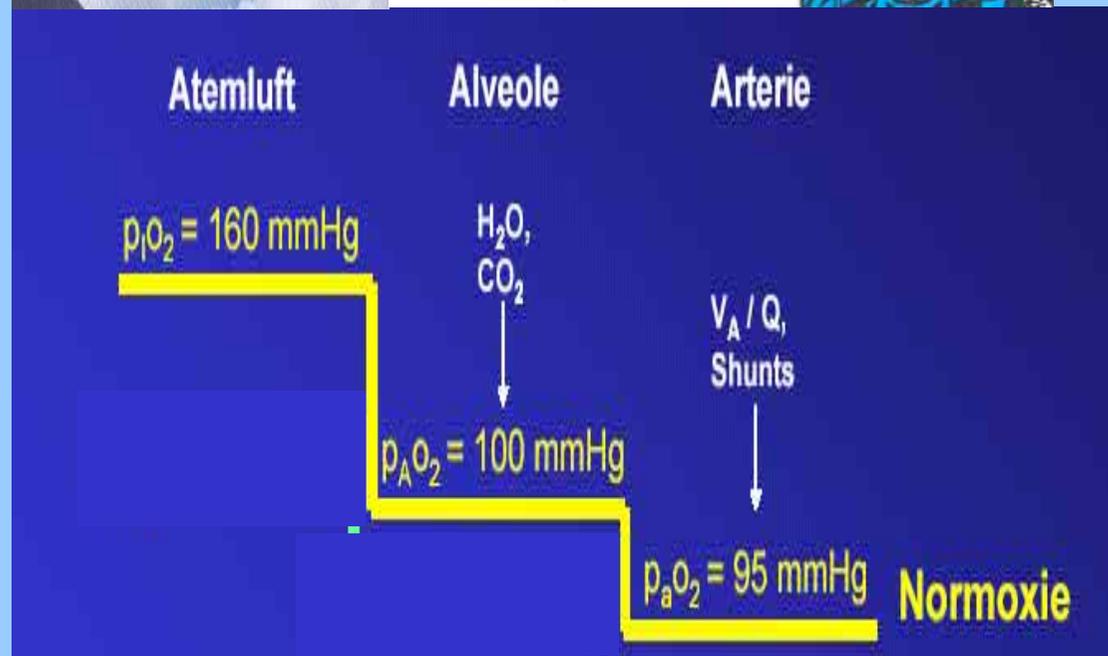
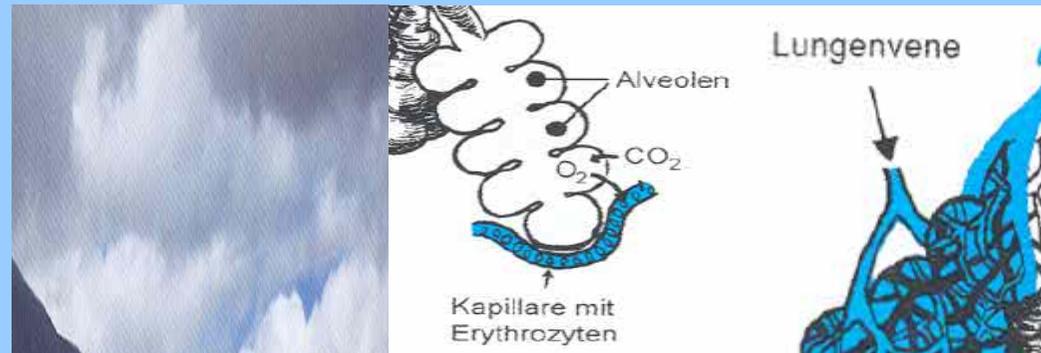
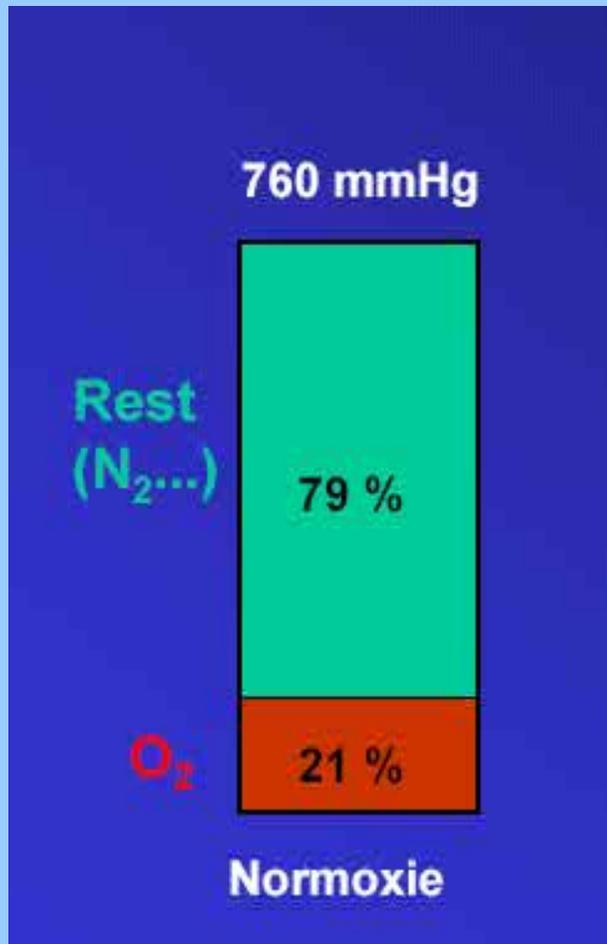
Lunge - Gasaustausch



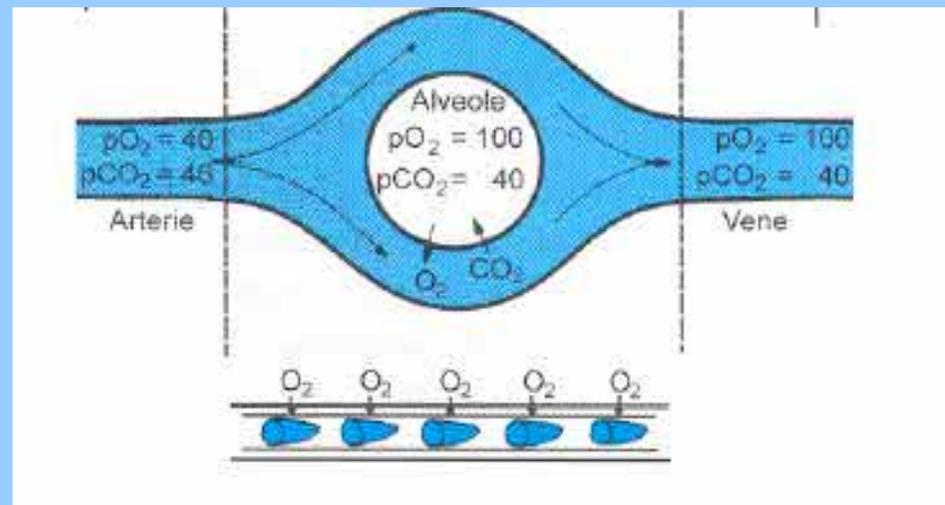
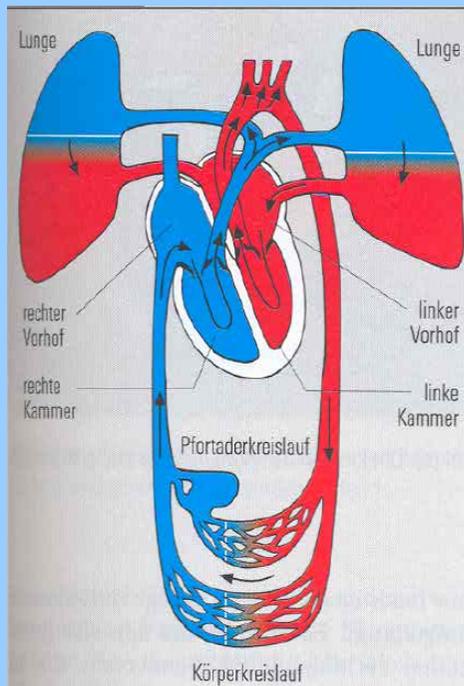
Der Gasaustausch findet in den **Alveolen** statt

Totraum: Raum der nicht am Gasaustausch beteiligt ist

Lunge - Gasaustausch



Lunge - Gasaustausch



Diffusion: Gastransport entsprechend dem Druckunterschied (Partialdruck) an einer Membran

Lunge - Gasaustausch

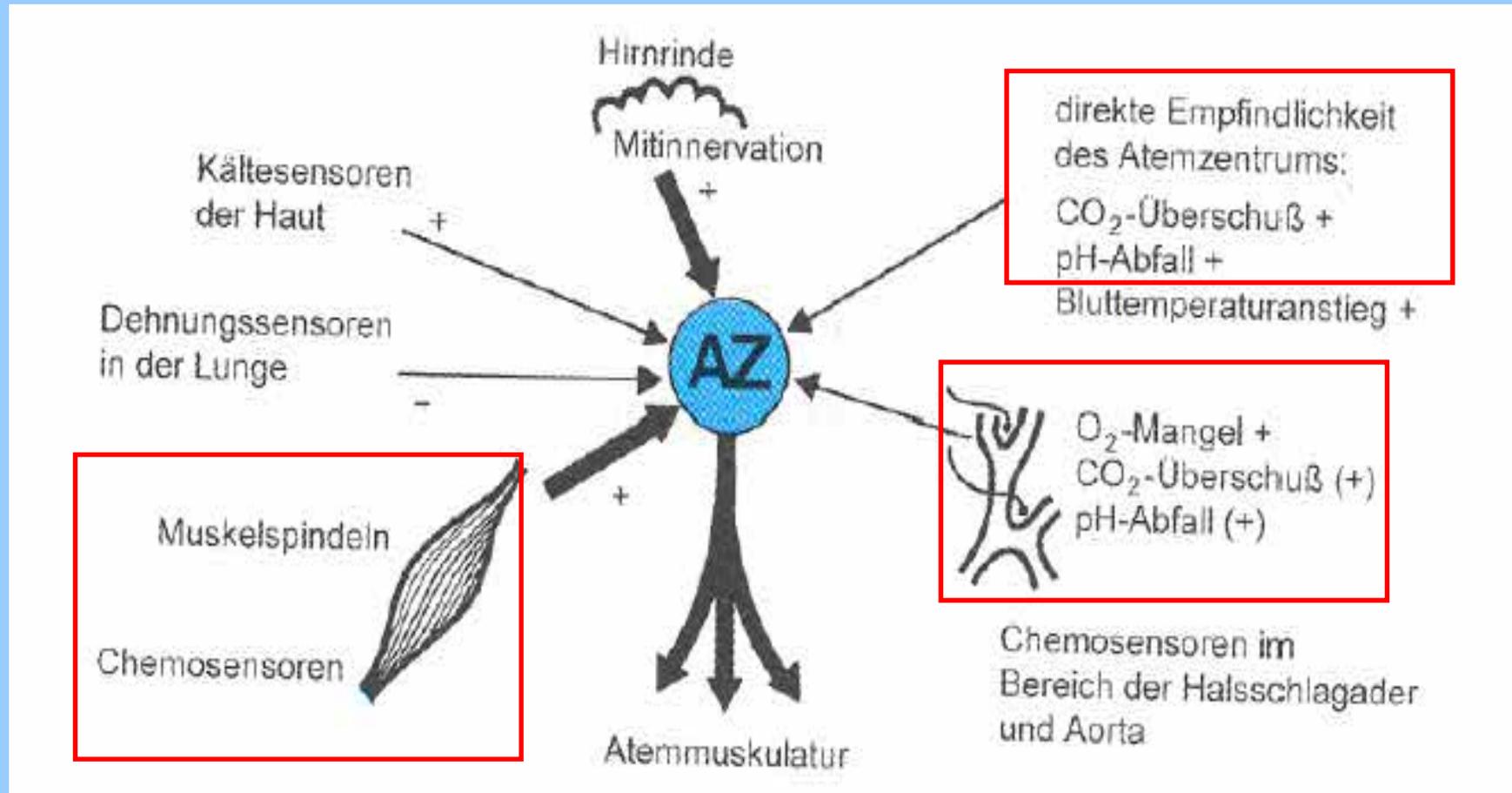
Diffusionskapazität (O₂ pro Minute von der Lunge in das Blut):

- Partialdruckdifferenz
- Löslichkeit des Gases
- Oberfläche der belüfteten Alveolen
- Dicke des Gewebes
- Lungendurchblutung

Lungenfunktion – Regulation Atemzentrum im Hirnstamm

Warum “atmet die Lunge” ???

Lungenfunktion – Regulation Atemzentrum im Hirnstamm



Lungenfunktion – Spiroergometrie



Messung von

- Atemvolumina
 - Atemminutenvolumen (VE)
 - Atemfrequenz (bf)
- Atemgasen
 - Sauerstoffaufnahme (VO₂)
 - Kohlendioxidabgabe (VCO₂)

Leistungsdiagnostik in der Praxis

Ausdauer: VO₂max-Test

VO₂max: Bruttokriterium der aeroben Leistungsfähigkeit

- Rampentest (zwischen 10/10/1min. und 150/10/10 sec)
- Parameter
 - Leistung
 - Herzfrequenz
 - Spirometrie
- Bereiche:
 - HTX < 12 ml/kg KG
 - NB um 45 ml/kg KG
 - Ausdauerathlet > 80 ml/kg KG

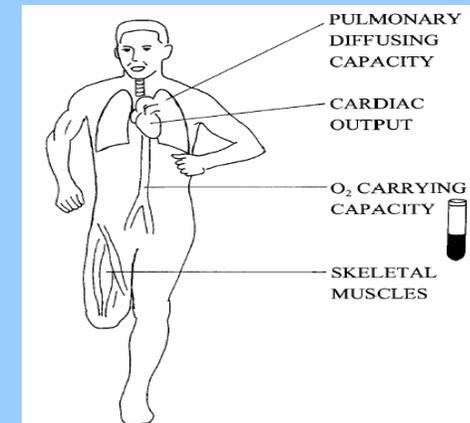
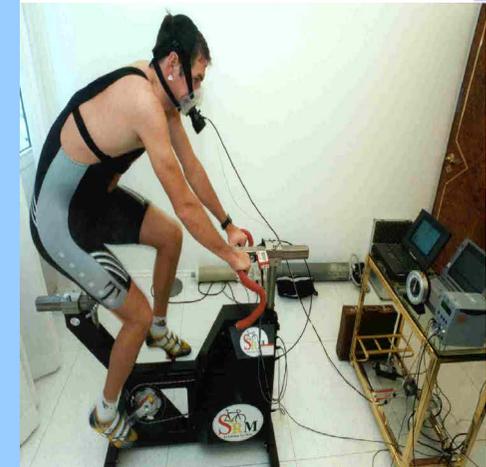


Figure 4—Physiological factors that potentially limit maximum oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$) in the exercising human.



Lungenfunktion – Spiroergometrie

Sauerstoffaufnahme: Menge an O₂/min, die vom Organismus zur Energiebereitstellung umgesetzt wird

Beispiel für die Messung der Sauerstoffaufnahme (VO₂)

Atemminutenvolumen = 100 l/min

Sauerstoffgehalt der eingeatmeten Luft = 21 %

Sauerstoffgehalt der ausgeatmeten Luft = 18 %

Wie hoch ist die Sauerstoffaufnahme ???

Lungenfunktion – Spiroergometrie

Beispiel für die Messung der Sauerstoffaufnahme (VO_2)

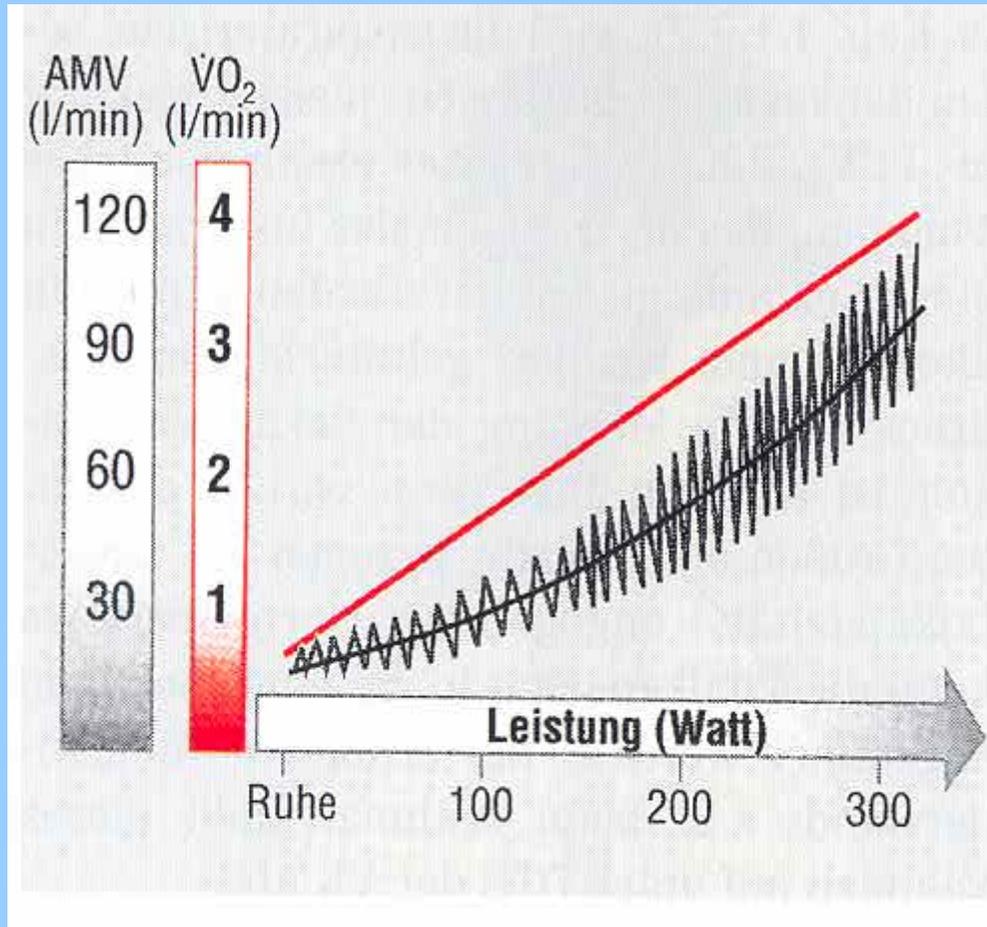
Atemminutenvolumen = 100 l/min

Sauerstoffgehalt der eingeatmeten Luft = 21 %

Sauerstoffgehalt der ausgeatmeten Luft = 18 %

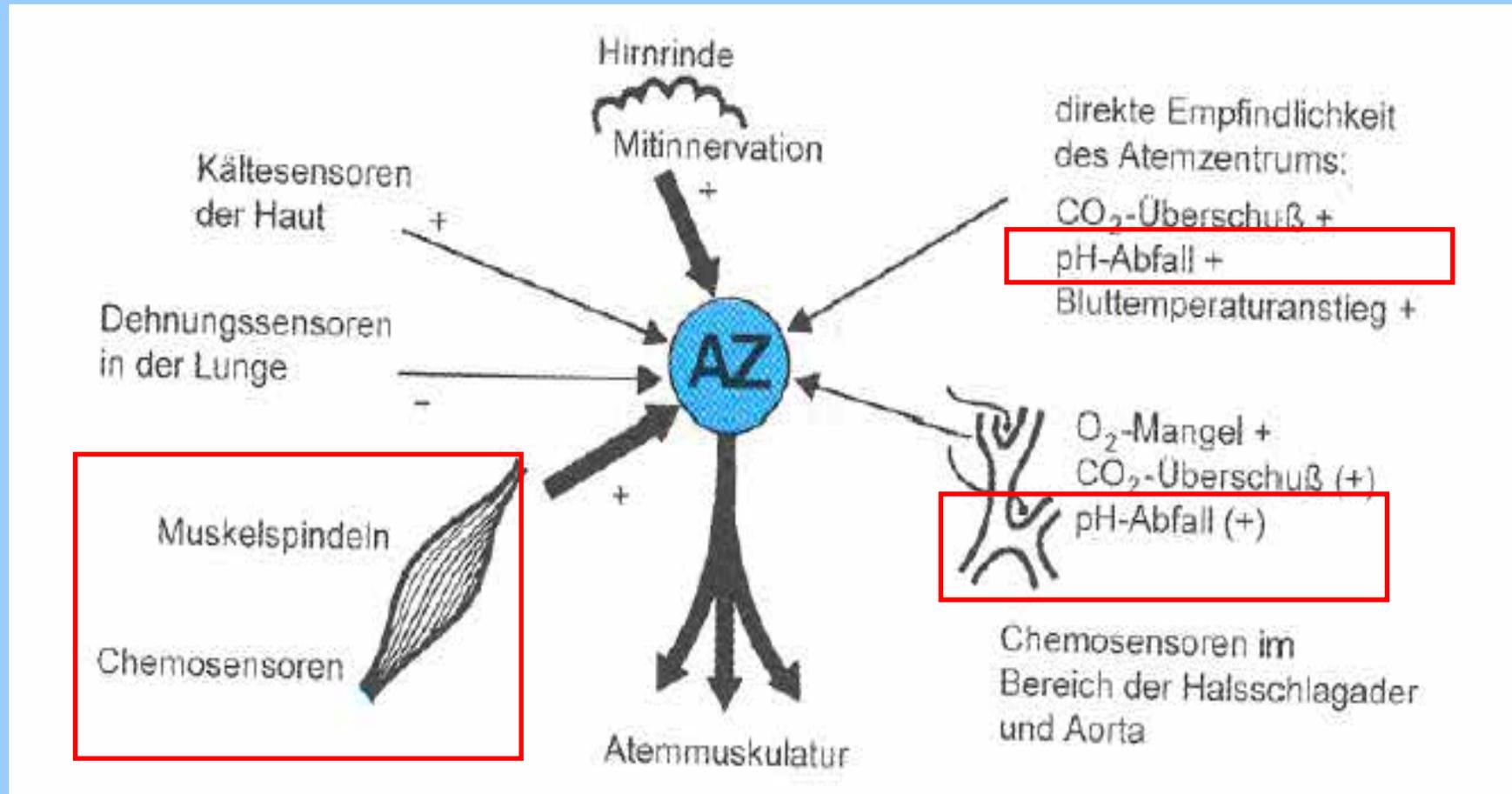
3 % von 100 l/min = **3 l/min**

Lungenfunktion – Spiroergometrie



Atemäquivalent =
Quotient aus
Atemminutenvolumen
und
Sauerstoffaufnahme

Lungenfunktion – Regulation Atemzentrum im Hirnstamm



Lungenfunktion – Spiroergometrie

Beispiel für die Messung der Atemäquivalents (AÄ)

Atemminutenvolumen = 100 l/min

Sauerstoffaufnahme = 3 l/min

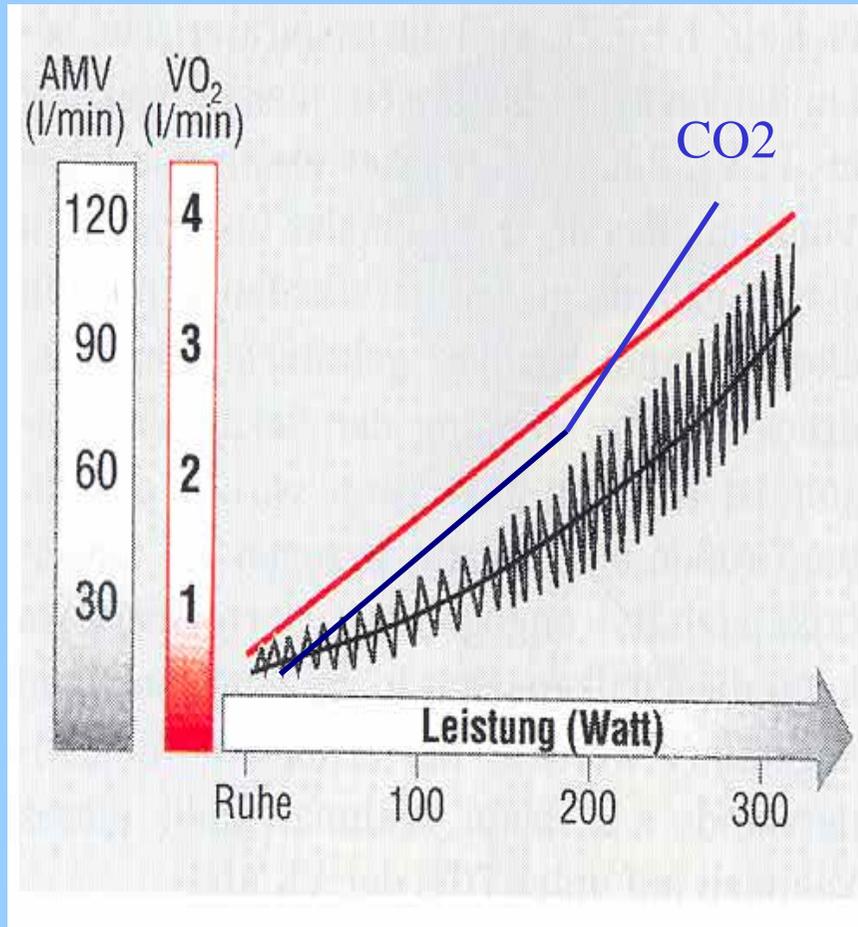
$$\text{Atemäquivalent } 100 \text{ l/min} / 3 \text{ l/min} = 33$$

Ruhe: AÄ ca. 25 (25 l/min für 1 l/min O₂)

Maximal Belastung: AÄ 30-35

Minum des AÄ: optimaler Wirkungsgrad der Atmung

Lungenfunktion – Spiroergometrie



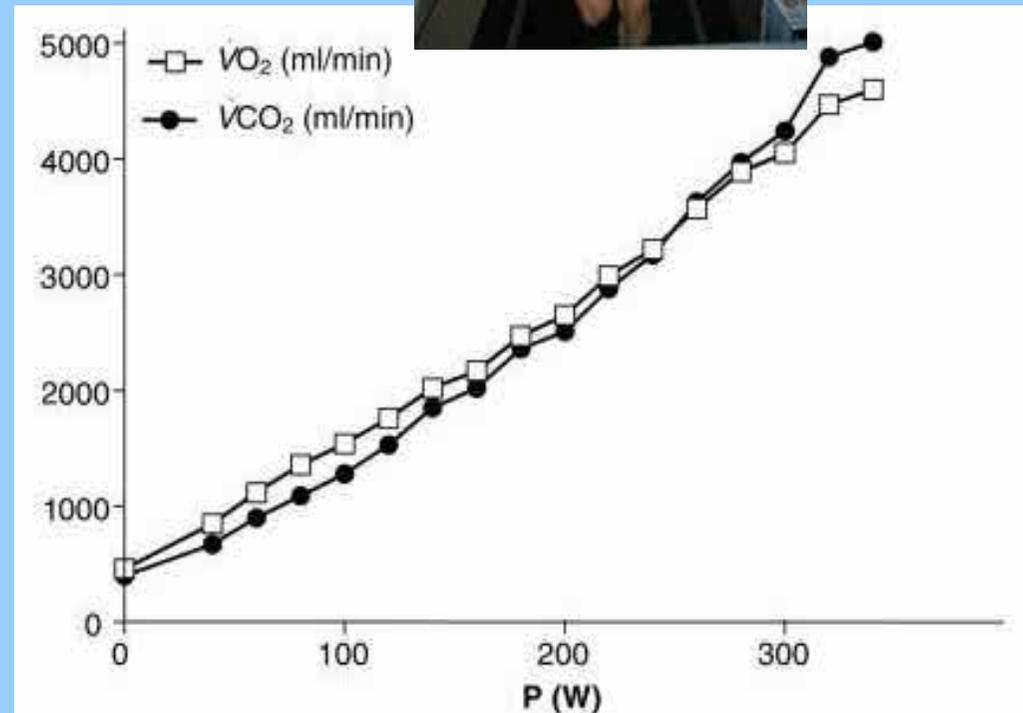
Respiratorischer Quotient (RQ) =

Quotient aus Kohlendioxidabgabe und Sauerstoffaufnahme

Hyperventilation =

gesteigerte alveoläre Ventilation bei normalem Sauerstoffpartialdruck und erniedrigtem CO_2 -Druck

Lungenfunktion – Spiroergometrie



Spiroergometrie – Indirekte Kalorimetrie

Entsprechend der chemischen Reaktion ergeben unterschiedliche Energielieferanten einen unterschiedlichen **Respiratorischen Quotient (RQ)**

- nur Kohlenhydrate $RQ = 1$
- nur Fette $RQ = 0,7$
- nur Eiweiße $RQ = 0,81$

Spiroergometrie – Indirekte Kalorimetrie

Kalorisches Äquivalent (KÄ): Diejenige Energiemenge, die bei der Reaktion des betreffenden Nährstoffes mit 1 l Sauerstoff freigesetzt wird.

- | | | |
|---------------------|-------------|--------------------------------|
| • nur Kohlenhydrate | $RQ = 1$ | $KÄ = 21,1 \text{ kJ/1 l O}_2$ |
| • nur Fette | $RQ = 0,7$ | $KÄ = 19,6 \text{ kJ/1 l O}_2$ |
| • im Mittel | $RQ = 0,85$ | $KÄ = 20,4 \text{ kJ/1 l O}_2$ |

Spiroergometrie – Respiratorischer Quotient

Respiratorischer Quotient (RQ) dient:

- der Differenzierung Stoffwechsel unterschiedlicher Nährstoffe
- der Indirekte Kalorimetrie
- der Beurteilung des Ausbelastungsgrades bei belastungsbedingte Hyperventilation
- als leistungsdiagnostische Kenngröße

Lungenfunktion – Spiroergometrie

Zeit min	Watt W	HR /min	V'E l/min	Bf /min	V'O2 ml/min	VO2/kg ml/ min/kg	V'CO2 ml/min	EqO2 -	RQ -
08:10	0	0	20.0	18	692	11.5	668	25.3	0.97
28:30	0	0	48.5	60	1605	26.7	1360	25.2	0.85
28:40	0	0	51.0	48	1713	28.6	1498	26.0	0.87
28:50	0	0	53.1	59	1773	29.6	1557	25.4	0.88
29:00	0	0	55.6	50	1749	29.1	1622	27.9	0.93
29:10	0	0	58.7	54	1840	30.7	1752	27.9	0.95
29:20	0	0	64.4	64	1905	31.7	1857	29.2	0.97
29:30	0	0	63.2	58	1822	30.4	1804	30.4	0.99
29:40	0	0	68.2	68	1780	29.7	1818	33.2	1.02
29:50	0	0	71.8	58	1931	32.2	1990	33.1	1.03
30:00	0	0	65.4	53	1698	28.3	1778	34.3	1.05
30:10	0	0	71.7	78	1800	30.0	1824	34.0	1.01
30:20	0	0	76.6	78	1736	28.9	1784	38.0	1.03
Bemerkung:									
30:30	0	0	67.6	62	1776	29.6	1791	33.4	1.01
30:40	0	0	80.5	48	2003	33.4	2083	36.6	1.04

Vorstart

Belastung

$VE = 76 \text{ l/min}, Bf = 76$

$VO_2 = 1,73 \text{ l/min}, CO_2 = 1,78 \text{ l/min}$

Lungenfunktion – Spiroergometrie

Protokoll:		LE_NORM_IB-2			Ergometer:			Laufband	
Zeit	Watt	HR	V'E	Bf	V'O2	VO2/kg	V'CO2	EqO2	RQ
min	W	/min	l/min	/min	ml/min	ml/ min/kg	ml/min	-	-
06:20	0	0	49.0	28	1729	26.0	1866	26.1	1.08
06:30	0	0	76.9	45	2322	34.9	2693	30.5	1.16
06:40	0	0	79.3	42	2181	32.8	2782	33.7	1.28
06:50	0	0	83.2	40	2753	41.4	2936	28.3	1.07
07:00	0	0	91.7	43	3346	50.3	3169	25.7	0.95
07:10	0	0	99.0	42	3709	55.8	3458	25.1	0.93
07:20	0	0	102.3	44	3918	58.9	3698	24.6	0.94
07:30	0	0	115.8	53	3957	59.5	3926	27.5	0.99

$VE = 115 \text{ l/min}$

$VO_2 = 3,9 \text{ l/min}$

$VCO_2 = 3,8 \text{ l/min}$

$Bf = 53/\text{min}$