

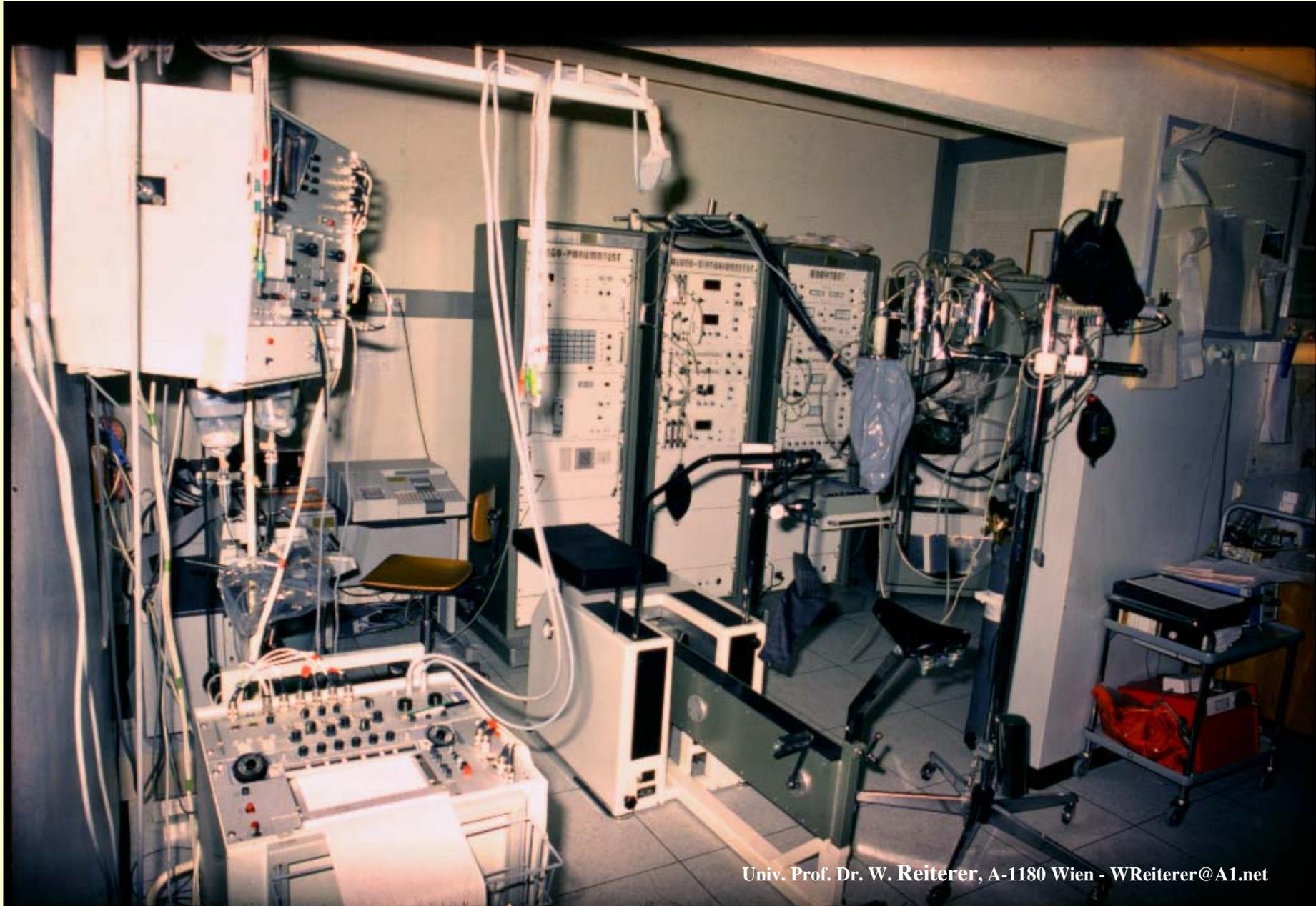
# **Diagnostik der Leistungslimitierung Ergometrie - Ergospirometrie Belastungs-Hämodynamik**

**Univ. Prof. Dr. W. Reiterer, A-1180 Wien**

**[www.prof-reiterer.at](http://www.prof-reiterer.at)**



# Herz-Lungen-Funktionslabor - Allgem. Poliklinik 1974-1990





## Ordination mit klinisch-physiologischem Schwerpunkt

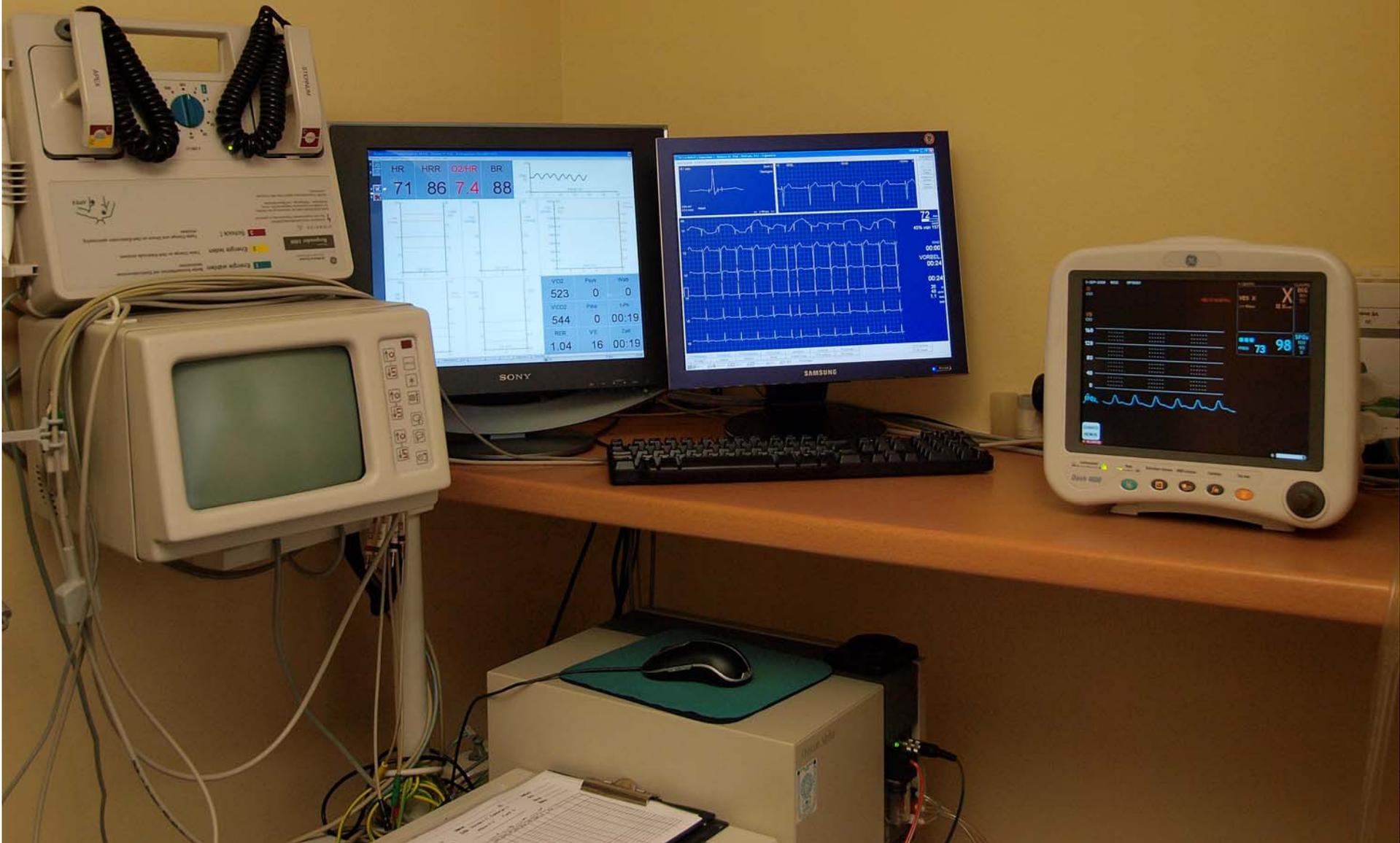


# Herzkatheter unter Belastung, zentrale Hämodynamik



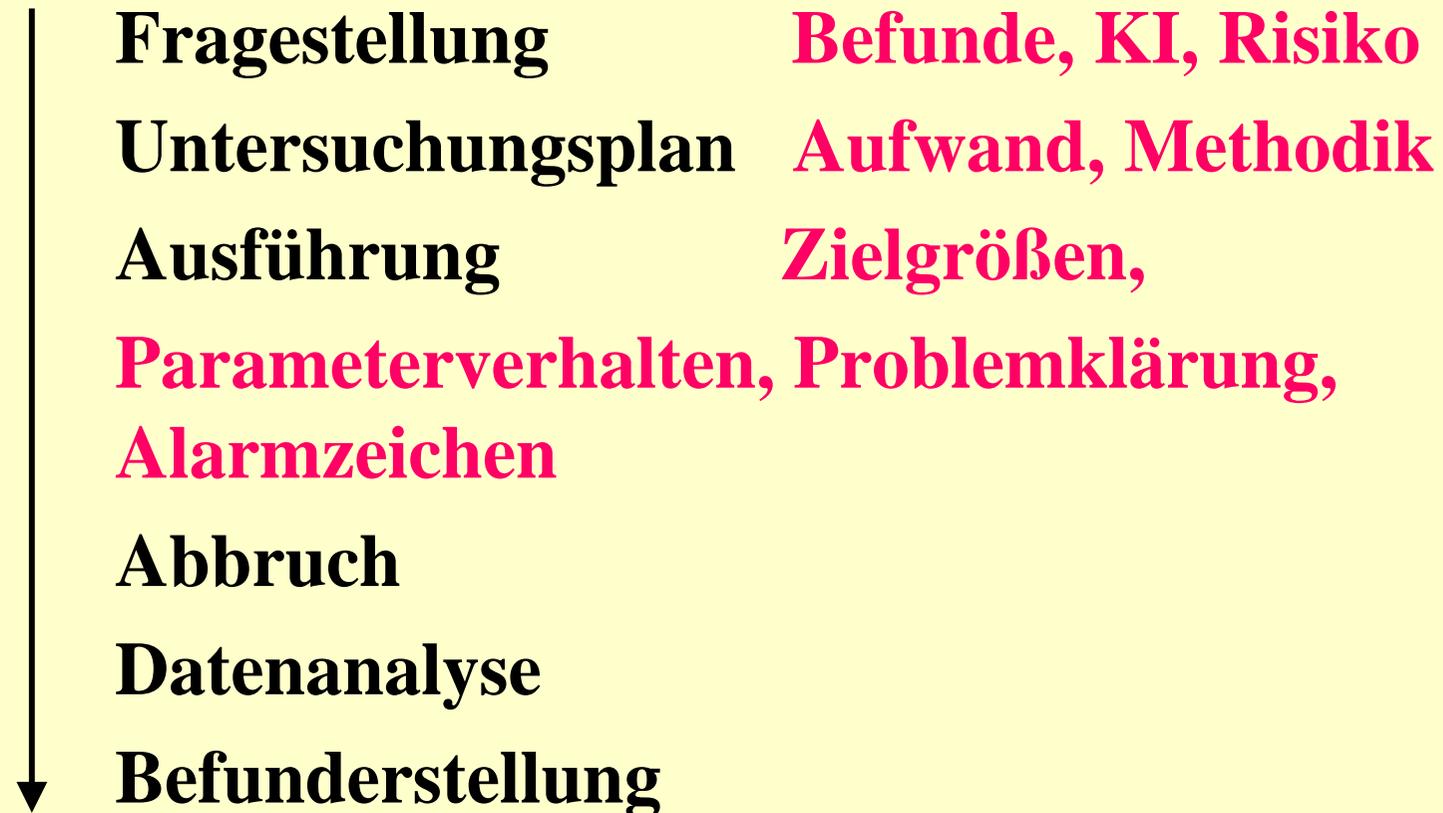








# Flußdiagramm Ergometrie



**2-min Stufen-Test (RT-X), WR, Herz/Kreislauf 7 (1975), 457.**

# Meßwerte Ergometrie

## Subjektiv:

Befinden, Symptome, PER, Mitarbeit

## Objektiv:

Belastung	Watt u. Zeit, FAI, Watt/kg
EKG	fh, Arrhythmie, Ischämie (ST), PQ, QRS fh-Variabilität, Pulsregulation
Blutdruck	am OA auskultatorisch, Blutdruckregulation
SaO <sub>2</sub>	peripher kontinuierlich
Laktat	im steady-state, Maximalwert
Blutgasanalyse	pO <sub>2</sub> , pCO <sub>2</sub> , pH, BE

**2-min Stufen-Test (RT-X), WR, Herz/Kreislauf 7 (1975), 457.**

# Meßwerte Ergospirometrie

**Beschwerden, PER**

**Belastung, EKG (fh, ES, ST, ect.), Blutdruck, SaO<sub>2</sub>**

**Laktat (im steady-state, Maximalwert), Blutgasanalyse**

**breath-to-breath Atemgasanalyse, flow**

**VE, V<sub>t</sub>, flow, flow-volume-relation, Totraum V<sub>d</sub>/V<sub>t</sub>**

**VO<sub>2</sub>, VCO<sub>2</sub>, RQ, Atemäquivalente, petCO<sub>2</sub>, petO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>-Puls**

**Hämodynamik durch Rückatmung (CO)**

**anaerobe Schwelle (VE/VO<sub>2</sub>-Diagramm, petCO<sub>2</sub>),**

**Dauerleistungsgrenze, relativ zu VO<sub>2</sub>max und fh**

**Belastungsmodell je nach Fragestellung**

**W.R., Basic Res. Cardiol. 71, 482 (1976)**



**Funktionsreserven und  
limitierende Faktoren der  
körperlichen Leistungsfähigkeit  
Transportkapazitäten unter  
körperlicher Belastung**



## Interaktion Lunge/Lungenkreislauf

$$\text{VO}_2 = \text{VE} * (\text{FIO}_2 - \text{FEO}_2)$$

$$\text{VA}/Q; \text{VA} = \text{VE} - \text{VD}$$

Lungenfunktion (Atemmechanik, Gastransfer)

Blutgasanalyse, Ergospirometrie, Hämodynamik



## Herz-Kreislaufsystem

**O<sub>2</sub>-Transport:  $[\text{HbO}_2] * \text{Q}$ ,  $\text{VO}_2\text{-1.min}$**

$$\text{VO}_2 = \text{Qt} * (\text{CaO}_2 - \text{CvO}_2)$$

$$\text{Q} = \text{SV} * \text{fh}; \quad \text{SV} = \text{LVEDV} - \text{LVESV}; \quad \text{HbO}_2, \text{Pb}$$

$$\text{Q} = \text{VO}_2 / \text{Dav}; \quad \text{SV} * \text{Dav} = \text{VO}_2 / \text{fh} \quad (\text{O}_2\text{-Puls})$$

**Funktionsdiagramm (Druck/Volumen,  $\text{V}_{\text{max}}$ ),  
Kreislaufwiderstände, Distribution**



## Interaktion Kreislauf/Muskulatur

$$\text{VO}_2 = \text{DO}_2 * (\text{PcO}_2 - \text{PmitO}_2)$$

Lactate, Blutgase, Lactate-steady-state

Lactat-Elimination, anaerobe Schwelle an TH

Wirkungsgrad, Substrate; Energiefluß,  
Belastungsform (dynamisch-statisch)



**Atemmechanik (Druck → Flow)**

**Gastransfer, Lungenperfusion**

**Atemsteuerung; Immunologie**

**X-induced  $pO_2$ -Abfall, excessive  
respiratory muscle work, trapped air**



**VC, Fluß-Volumen-Kurve (in/ex), Ri-FVC,**

**FRC, RV % TLC, Vdf/Vt**

**VA/Q, pO<sub>2</sub>, re/li Shunt, AaDO<sub>2</sub>, PApm**

**Diaphragmafunktion**

**zentrale Atemsteuerung (Schlaf-Apnoe)**



**Herzminutenvolumen (Q), Distribution  
 fh-Regulation (HRV), SV, Myokardfunktion  
 Druckbelastung (Vor-, Nachlast)  
 peripherer Widerstand (vascular stiffness)  
 Gefäßsystem (Intimaschäden, Stenosen)  
 Endorgan (Hypoxie, Microembolie)**



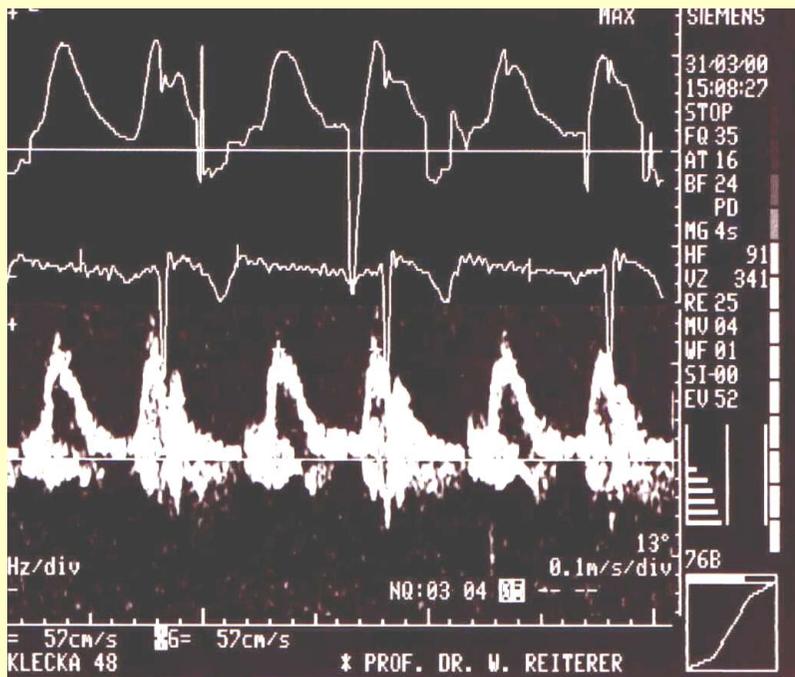
## **HRV Pulsvariabilität**

time-domain: SD **vagaler Tonus**

frequency-domain: Spektralanalyse

VLF, LF, HF

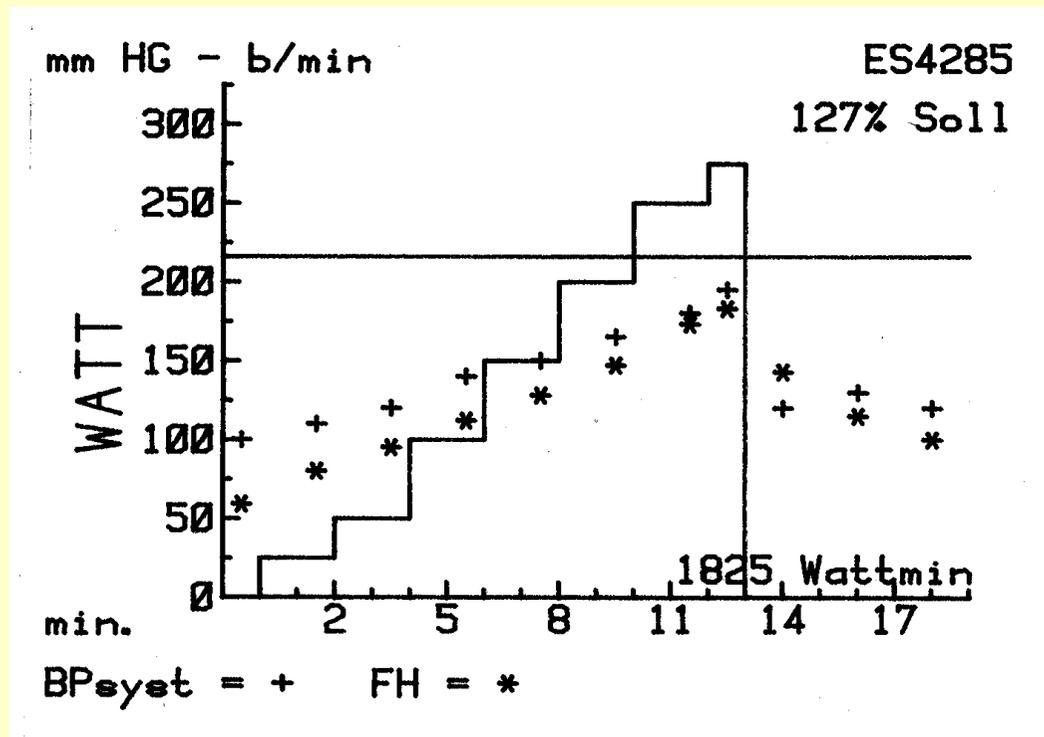
**LF/HF ~ symp/vag Balance**



## Echokardiographie

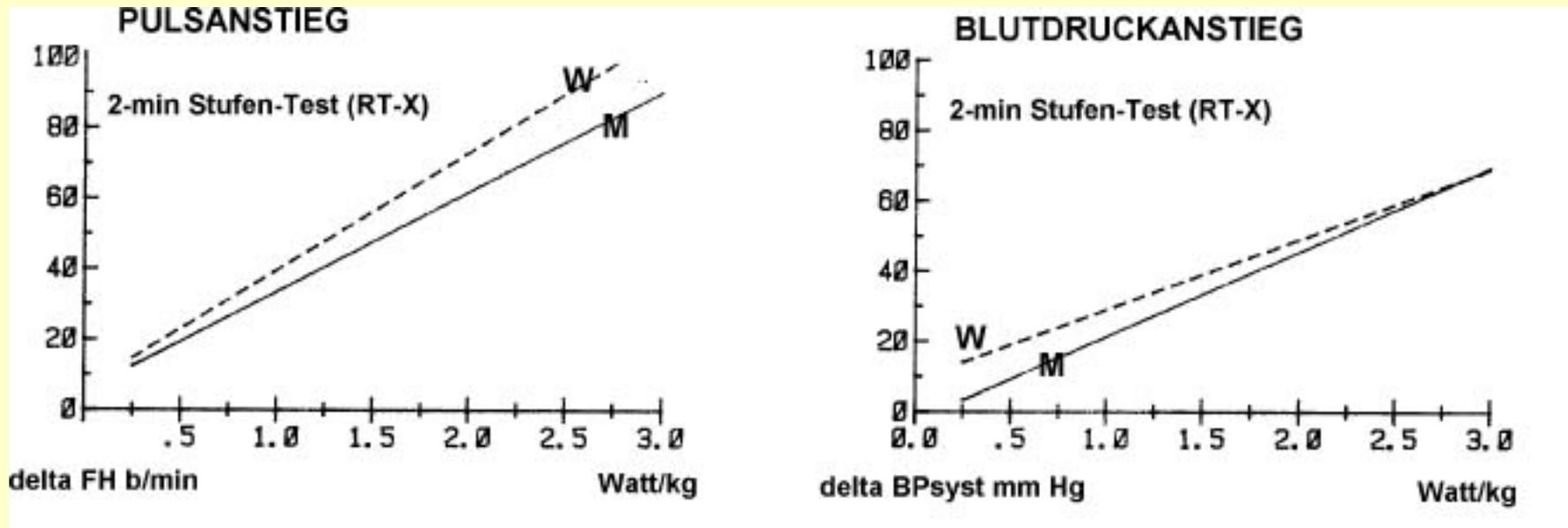
**Dimensionen:** ED/ES,  
 LVEDV, Wandstärke, LA  
**Mitralfluß:** left ventricular  
 filling, Compliance  
**Klappenfunktion, TI**

**Mitralflow 57/57 cm/sec**



2-min-Stufen-Test, RT-X (1975), WHO-Test, österr. Standardtest

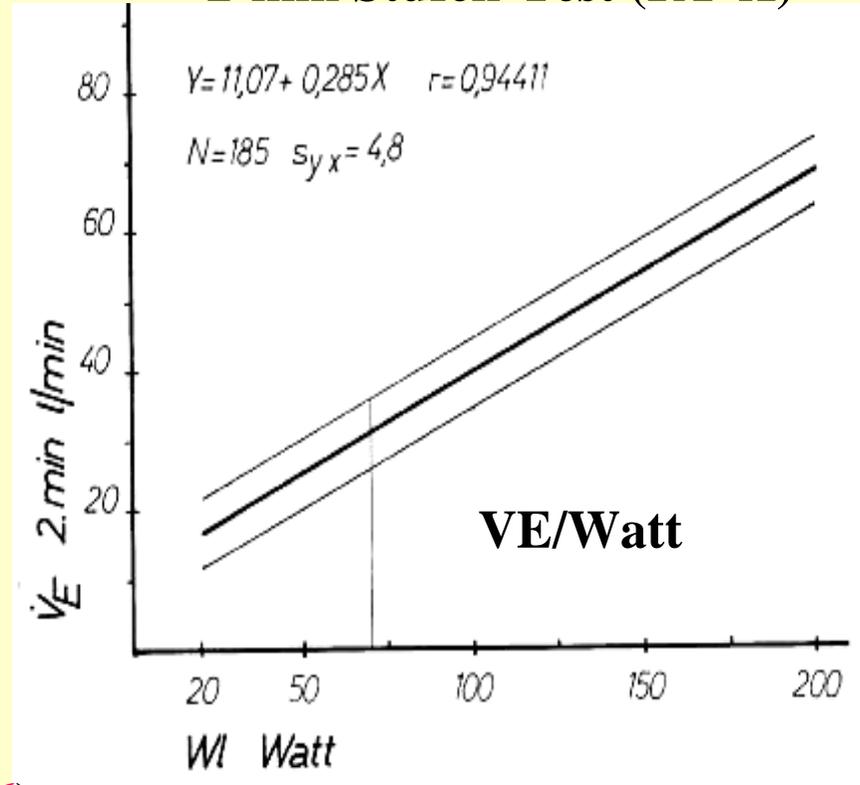
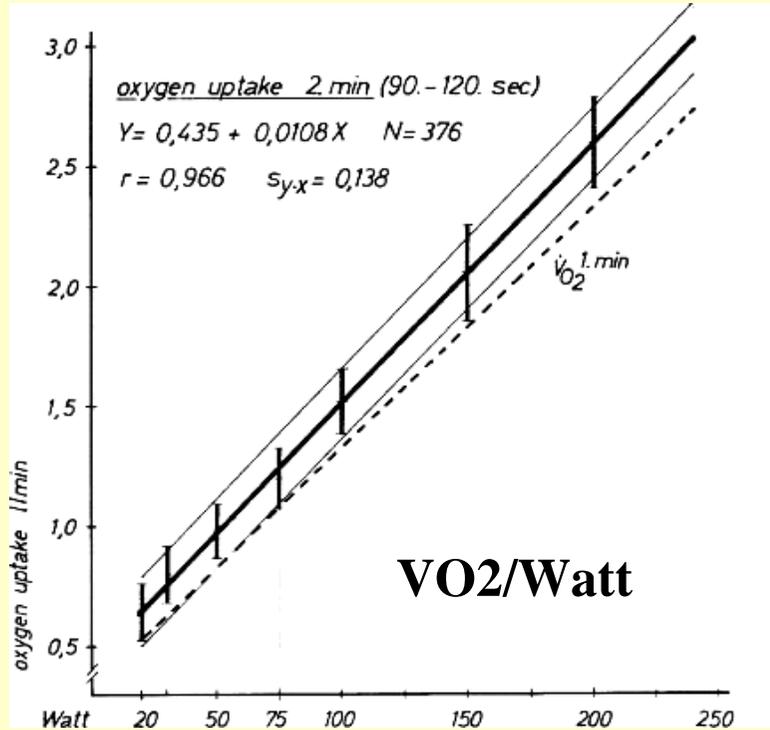
W.R., WMW, 136(1986), 572-580  
graphische Umsetzung von Meßdaten



**W.R., Herz/Kreislauf 7, 457 (1975)**



**2-min Stufen-Test (RT-X)**



**W.R., Basic Res. Cardiol. 71, 482 (1976)**



**Flow-Reserve**

**2-min Stufen-Test (RT-X)**

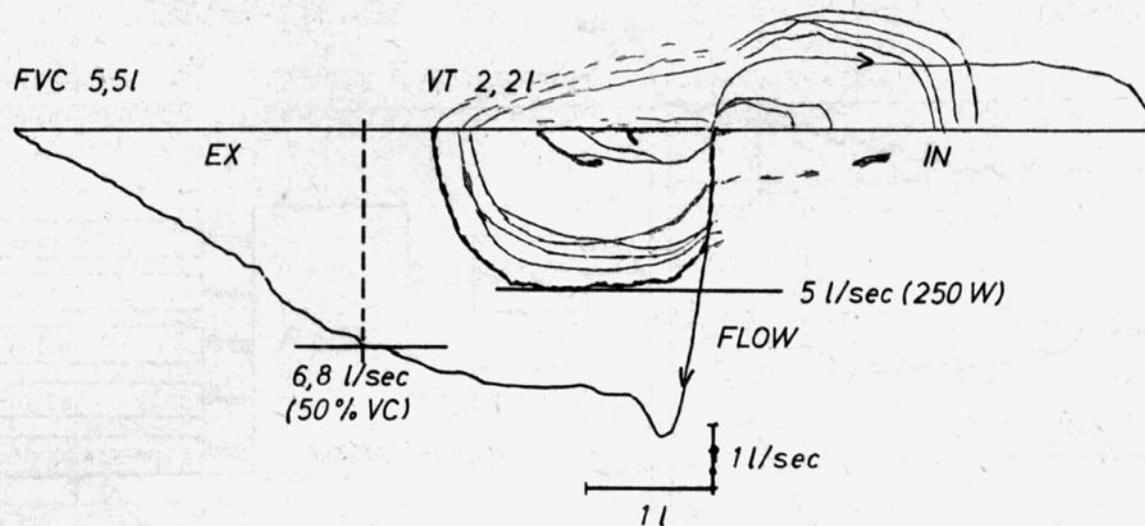
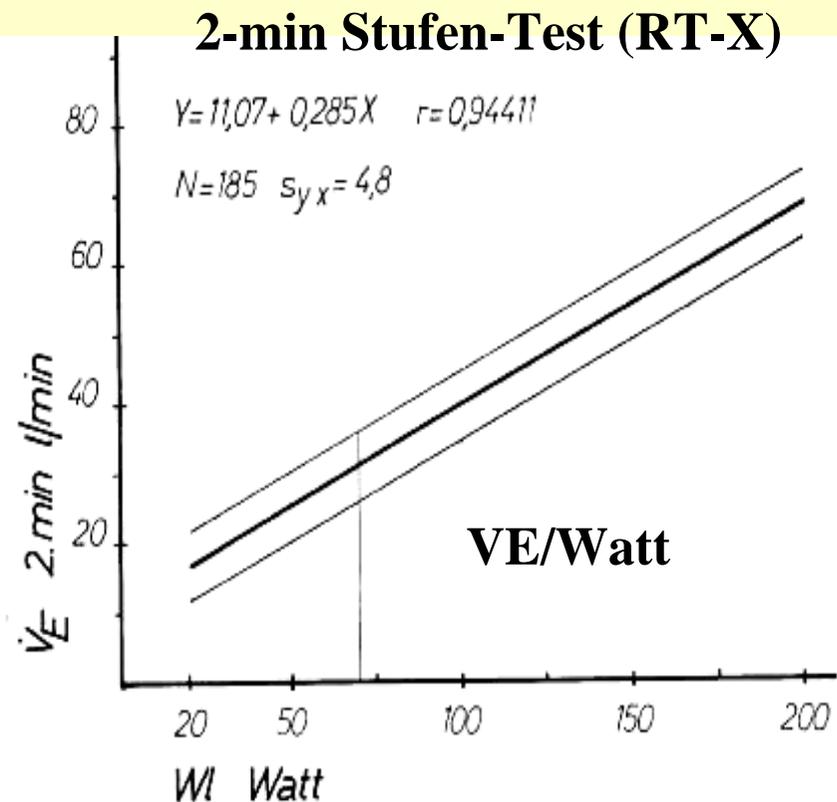
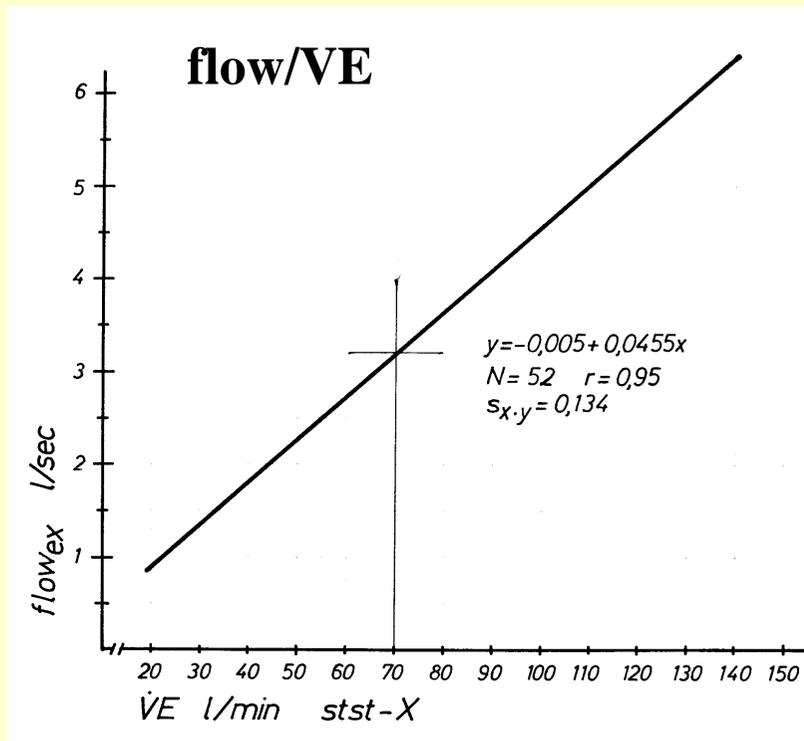
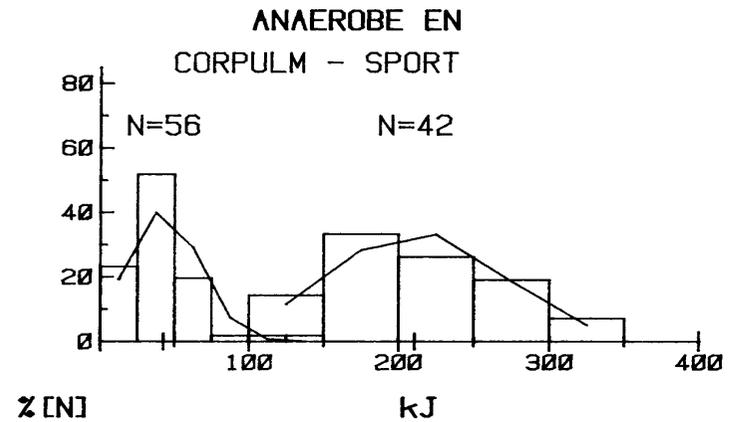
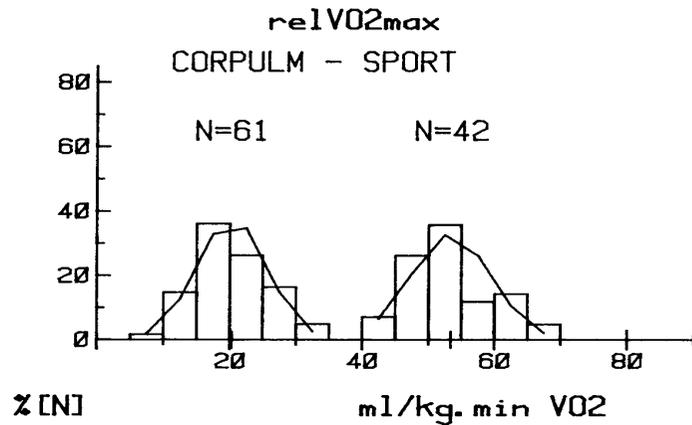
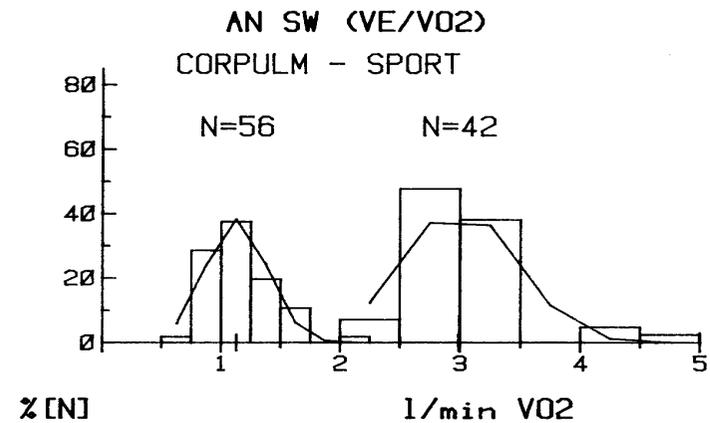
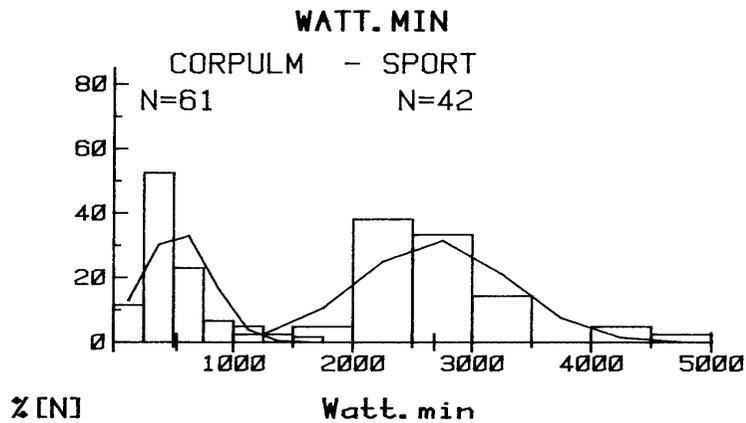


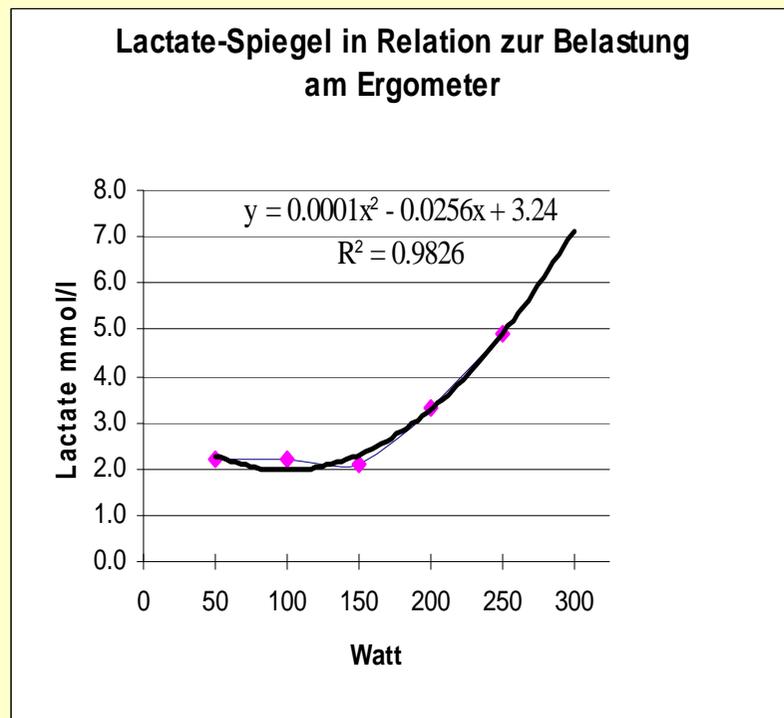
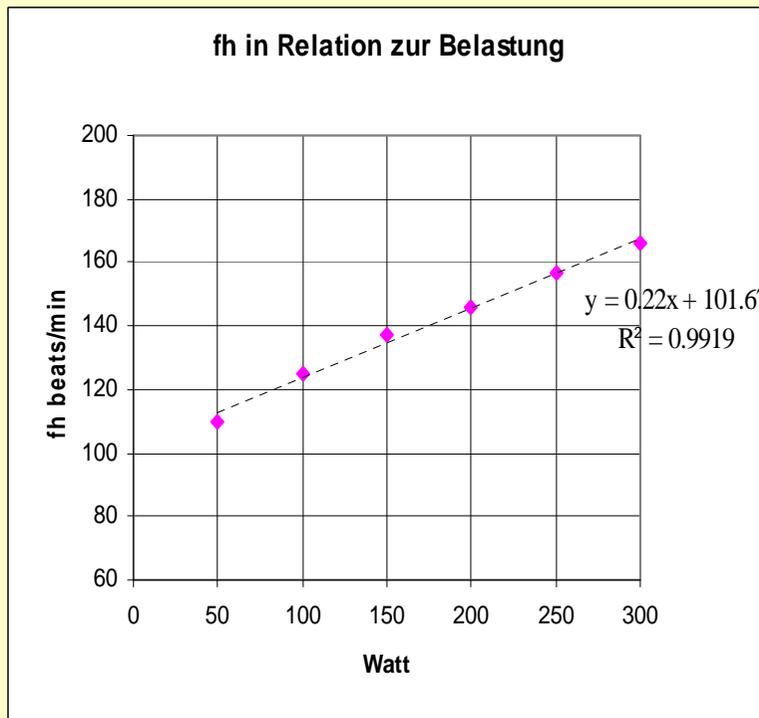
Abb. 7. Flow-Volumen-Diagramm während eines FVC-Manövers (= forcierte Vitalkapazitätsbestimmung) zur Illustration der Flow-Reserve unter körperlicher Belastung (250 Watt) bei einer Normalperson. Simultane Registrierung von Ausatemvolumen und Strömungsgeschwindigkeit durch einen XY-Schreiber; In- und Expiration getrennt.



W.R., Basic Res. Cardiol. 71, 482 (1976)

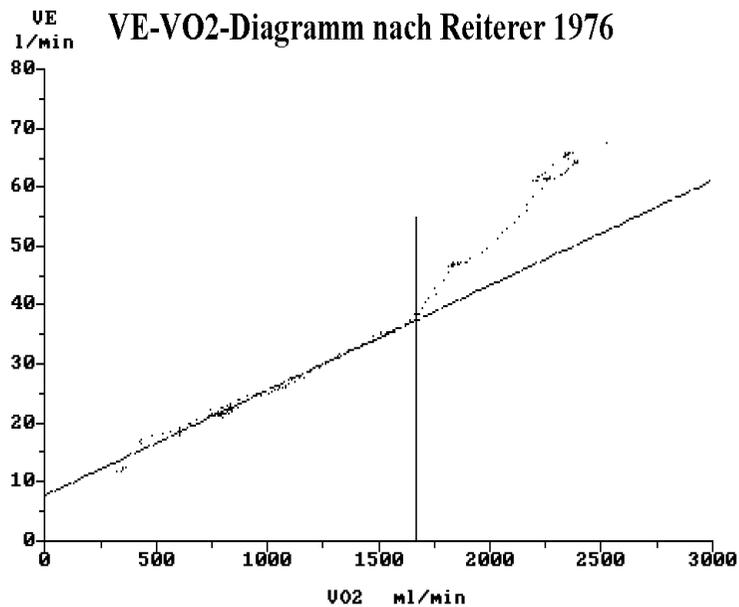
Univ. Prof. Dr. W. Reiterer, A-1180 Wien - WReiterer@A1.net



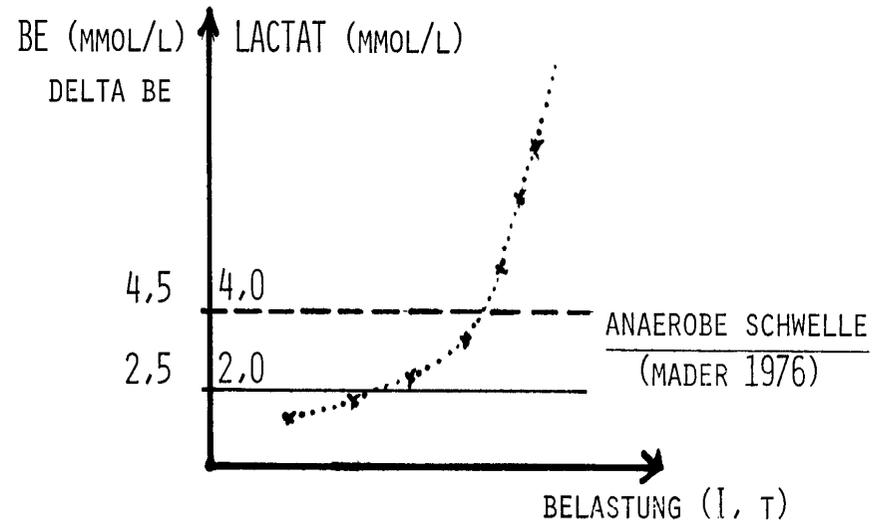




individuelle DAUERLEISTUNGSGRENZE

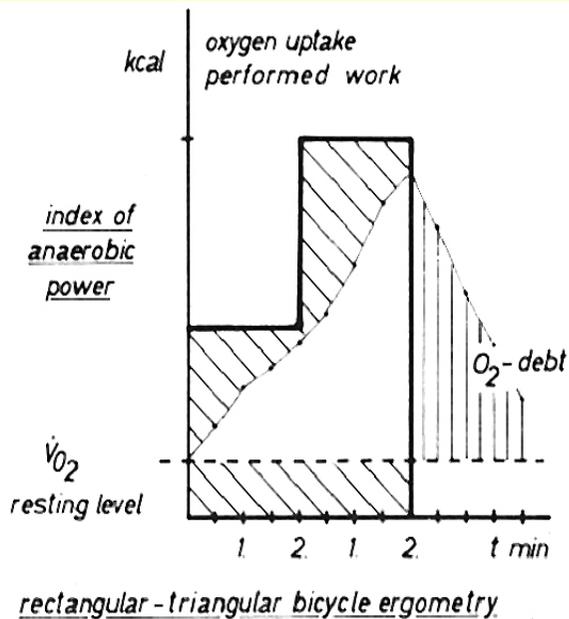


HR	VO <sub>2</sub>	VD/VT	METS	VO <sub>2</sub> /kg	VT
126	1680	13	6.8	23.7	2129



KURVENSTEIGUNG 51° (KEUL 1979)

BE = F (LA) (KINDERMANN 1977, MADER 1979)

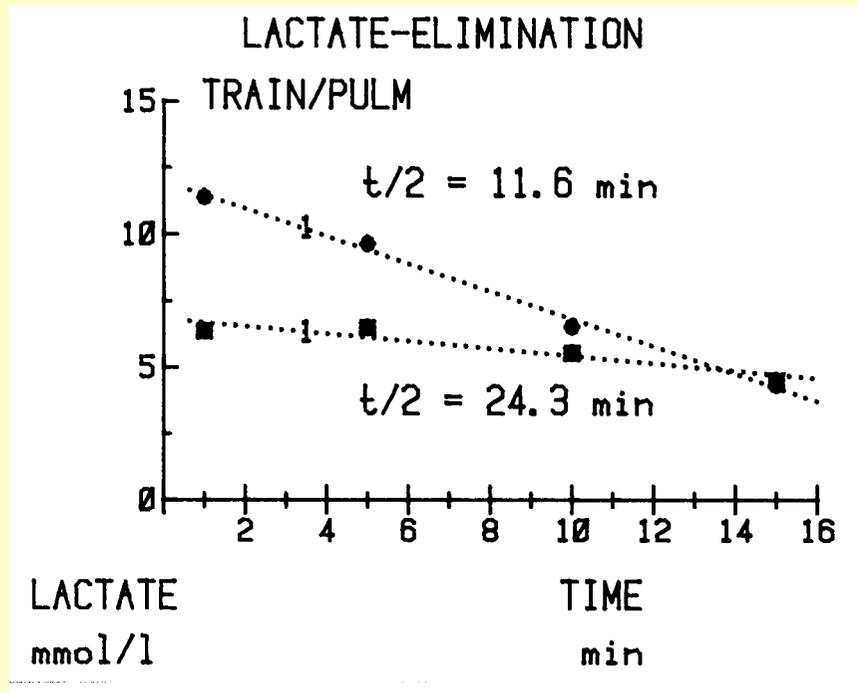


Tab. 8. Komponenten des on-line errechneten Index für anaerobe Energiebereitstellung unter stufenweise ansteigender Belastung (Reiterer, 1976).

5	10	15	20	25	30	35	40	45	50 kcal
I	II	III							

- I An Myo- und Hämoglobin gebundener Sauerstoff: ca 5 kcal
- II Abbau von ATP und CP: ca 5 - 7,5 kcal
- III Glykogen- und Glukoseabbau bis zur Milchsäure:  
ca 40 - 50 kcal  
(mögliche Maximalwerte beim Trainierten)

## anaerobic power, anaerobe Energie



**Laktat** steady-state niedrig,  
hoch, maximal - an TH,  
anaerobe Schwelle  
**Laktatelimination**  
Pufferkapazität -  
Säuretoleranz



**Arbeitsform: dynamisch/statisch**

**Belastungsintensität: aerob/anaerobe**  
**Energiegewinnung, humorale Interaktion**

**Vaskularisation**

**Balance in der Muskelschleife,**  
**neuromuskuläre Koordination**



**Energiegewinnung: aerob/anaerob**

**Energiefluß bestimmt die Art des break down**

**CP, Laktatbildung, Endoxydation**

	<b>Gehalt</b>	<b>Flußrate</b>	<b>Zeit</b>
	mMol/g	mMol/g.s	
<b>ATP, CP</b>	20 - 25	1.6 - 3.0	< 10 sec
<b>Glykogen</b> anaerob	300	1.0	< 1.0 min
aerob	3600	0.5	< 1.0 h
<b>Fettsäuren</b>	1200	0.24	> 1.0 h



**Energiegewinnung: aerob/anaerob**

**Energiefluß bestimmt die Art des break down**

**CP, Laktatbildung, Endoxydation**

**ATP, CP**

**Glykogen    anaerob  
                  aerob**

**Fettsäuren**

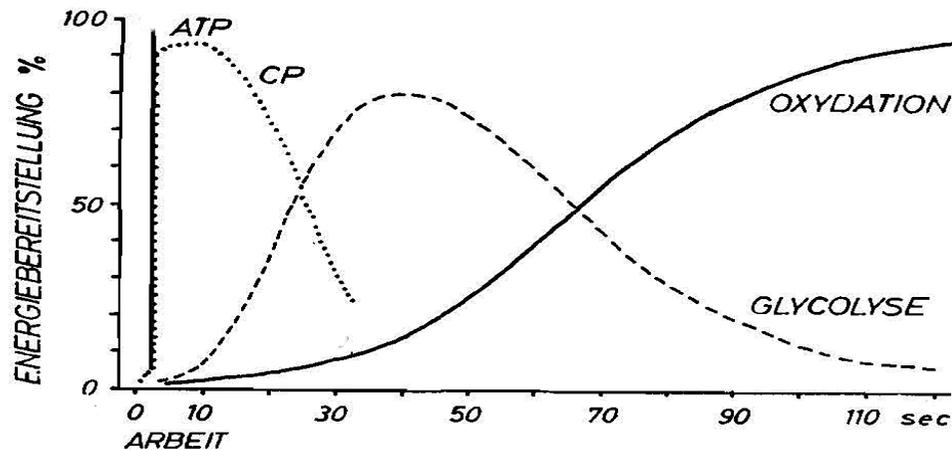


Abb. 2. Anteile energieliefernder Prozesse zu Beginn der Muskelarbeit (nach J. Keul u. Ma. [26]).



**Steady-state für Laktat** (niedrig, hoch), anaerobe Schwelle,  
 Laktatelimination, Pufferkapazität - Säuretoleranz  
**Energiespeicher** (Glykogen)  
 Thermoregulation,  
**Flüssigkeits- und Elektrolythaushalt**  
 Stimulation des **Hormonhaushaltes**  
 Katecholamine, Cortison, STH, Insulininhibition  
 Kontrolle der **Regeneration**  
 Marker der **Muskelläsion** (CPK), **Gefäßläsion** (NO, O<sub>2</sub><sup>-</sup>)

# Ergometrie – Befundung

**Patientencharakteristika**

**Testmodell, Medikation**

**Wlmax, FAI%, Watt/kg**

**Beschwerden, Symptome, Abbruchgrund,**

**Mitarbeit, PER (Ermüdungsgrad)**

**EKG (Arrhythmie, Ischämie; P, PQ; Var, QT)**

**Puls- u. Blutdruckregulation**

**SaO<sub>2</sub>-Verlauf, Laktat**

**Toleranz für alltägliche Belastung, abnorme Reaktionen**

**Medikamenten-Wirkung**

**Trainingsvorgaben (Watt, fh-Zonen,)**



# Ergospirometrie – Befundung

**Patientencharakteristika**

**Testmodell, Medikation**

**Wlmax, FAI%, Watt/kg**

**VO<sub>2</sub>max l/min, ml/kg.min, METS, O<sub>2</sub>-Puls**

**VE, VT, fr, VD/VT, flow-Reserve, pO<sub>2</sub>et, pCO<sub>2</sub>et**

**anaerobe Schwelle VO<sub>2</sub> l/min, % VO<sub>2</sub>max, fh-Bezug**

**Laktatverhalten, Blutgase mit BE, SaO<sub>2</sub>**

**EKG, Puls-/Blutdruckregulation**

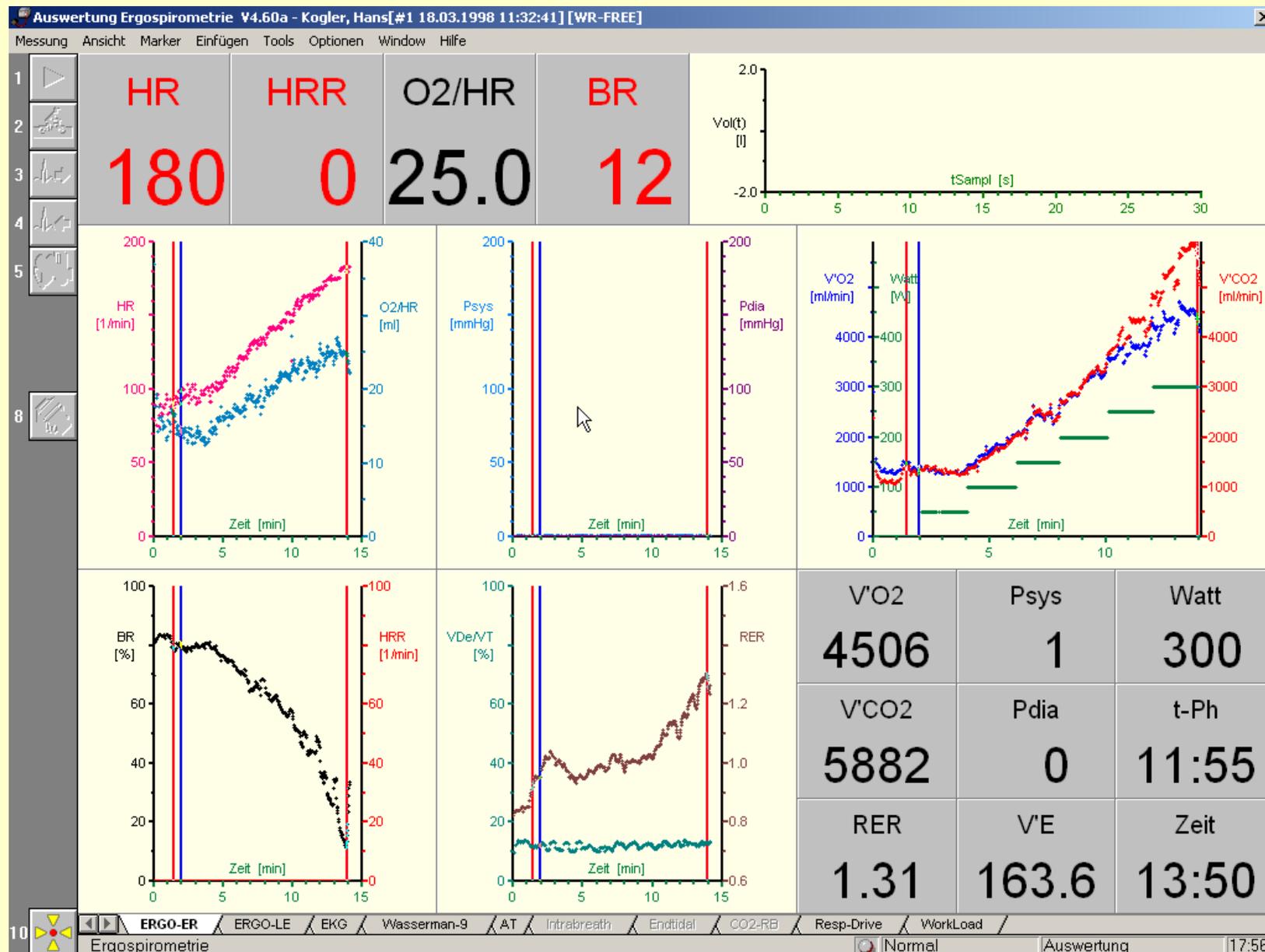
**PER (Ermüdungsgrad), Symptome**

**Ursache der Limitierung - kardio-pulmonale Faktoren**

**Trainingsvorgaben (Watt, fh-Zonen)**

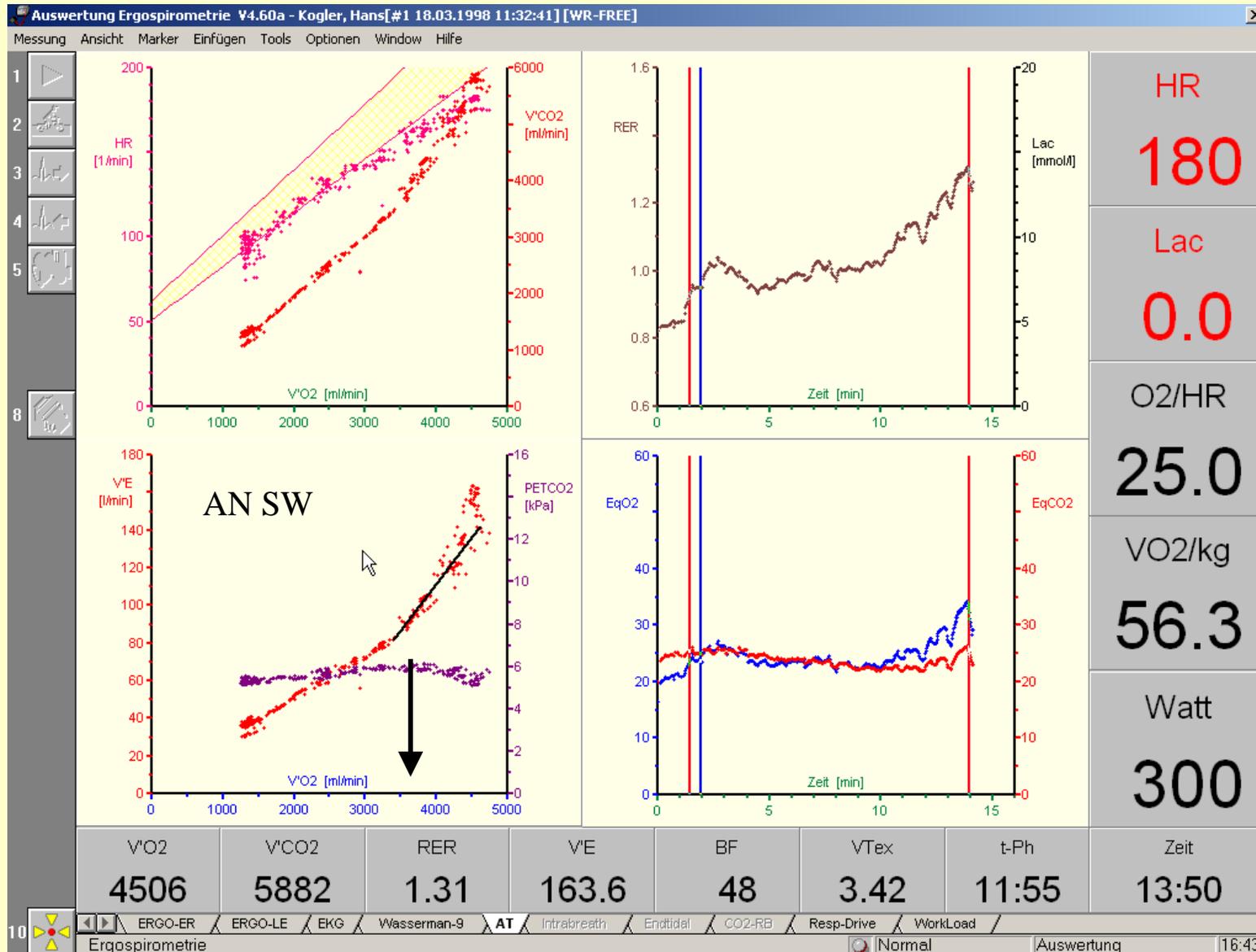


# Ergospirometrie breath-by-breath, 2-min-Stufen-Test



Fußballer, 29 a

# Ergospirometrie breath-by-breath, 2-min-Stufen-Test



**Fußballer, 29 a – an SW 3.7 l/min VO2, fh 156 b/min**



## **Ergospirometrie kombiniert mit Rechtsherzkatheter**

Ruhewerte, ergometrische Belastung im steady-state,  
pharmakologische Belastung (Nitro, beta-Mimetica u.a.)

**Berechnung von Q, SV nach Fick'schen Prinzip**

**VO<sub>2</sub> aus Daten der Ergospirometrie (gemittelt)**

**Blutgasanalyse von Blutproben aus Pulmonalkreislauf**

**Druckwerte im kleinen Kreislauf (PA<sub>pm</sub>, PAEDP),**

**Druckmessung am Arm (nicht-invasiv), SaO<sub>2</sub>**

## **Haemodynamische Daten**



## NORMALWERTE für die ZENTRALE HAEMODYNAMIK (Prof. Reiterer)

Parameter	Dimension	Ro	LV	20 W	50 W	100 W
<b>fh Herzfrequenz</b>	b/min	76.0	77.0	92.0	100.0	136.0
<b>BP pm arterieller Mitteldruck</b>	mm Hg	103.0	104.0	106.0	117.0	126.0
<b>PA syst Lungenschlagader</b>	mm Hg	23.0	29.0	33.0	36.0	39.0
<b>PAEDP, PA dia (Index für LVEDP)</b>	mm Hg	9.0	11.0	12.0	13.0	16.0
<b>PA pm</b>	mm Hg	15.0	19.0	22.0	24.0	26.0
<b>Q Herzminutenvolumen</b>	l/min	7.3	8.0	10.6	13.0	15.4
<b>CI Herzindex</b>	l/min/m <sup>2</sup>	3.8	4.2	5.5	6.7	7.9
<b>SV Schlagvolumen</b>	ml/beat	98.0	103.0	113.0	121.0	114.0
<b>avDO2 Sauerstoffgehaltsdifferenz</b>	Vol%	4.7	4.5	6.7	8.5	11.2
<b>SWI Schlagarbeitsindex</b>	g.m/m <sup>2</sup>	75.0	81.0	88.0	105.0	104.0
<b>PVR peripherer Gefaesswiderstand</b>	dyn.sec.cm <sup>-5</sup>	1179.0	1104.0	833.0	732.0	659.0
<b>PulmVR pulm-vaskulaer. Widerstand</b>	dyn.sec.cm <sup>-5</sup>	175.0	202.0	177.0	161.0	179.0
<b>VO2 Sauerstoffaufnahme</b>	l/min	0.3	0.3	0.7	1.1	1.7
<b>VE Atemminutenvolumen</b>	l/min	8.8	8.5	15.0	25.0	42.0

(Ro = in Ruhe, liegend; LV = Volumenbelastung durch Hochlagerung der Beine;  
W = dynamische Arbeit im Liegen, Fahrradergometrie - das Herzminutenvolumen bezieht sich auf steady-state Bedingungen; N=14; a=47; KO=1.95 m<sup>2</sup>. Normalpersonen mit einer Dauerleistungsfähigkeit von mehr als 100 Watt).

## Haemodynamische Daten



# Aspekte zur Trainingsplanung

- **Funktionsreserven**
- **pathologische Reaktion**
- **Pharmakologische Intervention**
- **Training im „sicheren Bereich“  
anatomisch - physiologisch -  
funktionell**
- **Anamnese, Status, Laborchemie**
- **kardio-pulmonal-vaskuläre  
Diagnostik**

