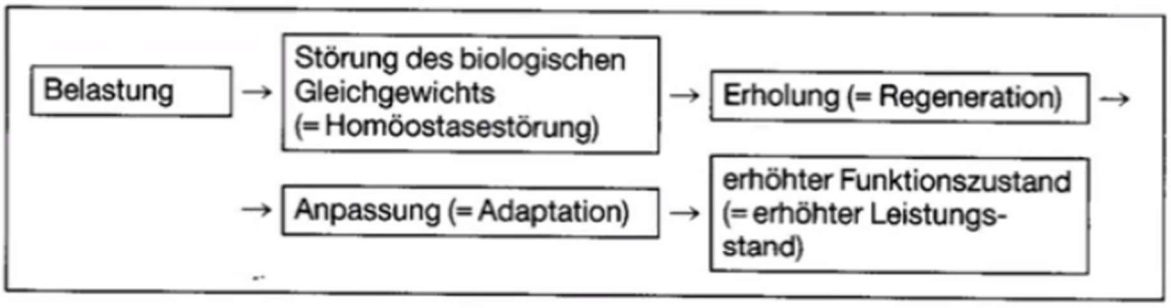
Einführung in die Terminologie der Trainingslehre

Grundbegriffe der Trainingslehre – Trainingsprinzipien



Training als biologische Ursache-Wirkungs-Kette

Zintl (1997)

Sportbiologische Grundlagen zum Komplex Ausdauer

	Substrat	Menge in Phosphat-resten (-P) pro kg Muskel	maximale Einsatz-dauer
1. Speicher	ATP Adenosintriphosphat	ca. 6 mmol	(theoretisch) 2–3 s
2. Speicher	KrP Kreatinphosphat	ca. 20–25 mmol	–
	Phosphatspeicher insgesamt (Phosphagen)	ca. 30 mmol	7 s–10 s (20 s)
3. Speicher	Glykogen (Glucose)	ca. 270 mmol	(anaerober Abbau) 45 s–90 s
		ca. 3000 mmol	(aerober Abbau) 45–90 min
4. Speicher	Triglyzeride (Fette)	ca. 50 000 mmol	mehrere Stunden

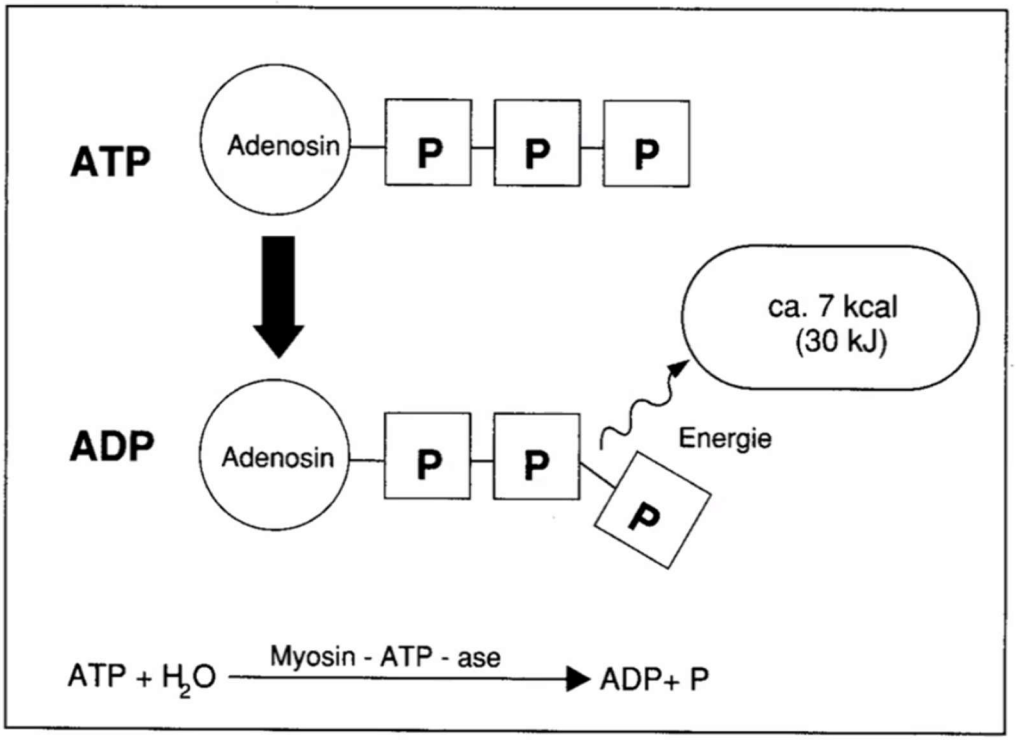
Energiespeicher der Muskelzelle

Zintl (1997)

Energiereiche Phosphate (ATP, KP)	ca.	5 kcal (	21 kJ)
Kohlenhydrate (Glykogen)	ca.	1 200 kcal (	5 000 kJ)
Fett	ca.	50 000 kcal (	210 000 kJ)

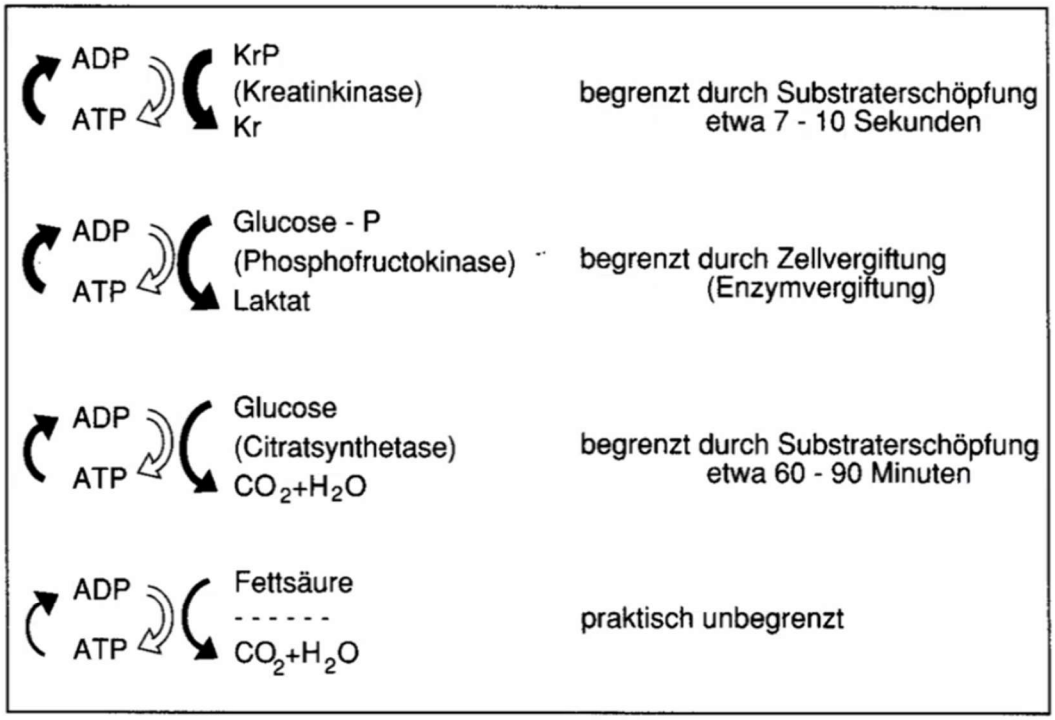
Kaloriengehalt der verschiedenen Energiespeicher im Menschen (ca.75 kg)

Zintl (1997)



Energiebereitstellung beim Abbau von Adenosintriphosphat (ATP) in Adenosindiphosphat (ADP) mit dem zugehörigen Enzym (hydrolytische Spaltung des ATP)

Zintl (1997)



Schematische Darstellung der Wahl des geeigneten Stoffwechselwegs nach dem ATP-Verbrauch/Zeiteinheit. Die Pfeilstärke zeigt die Höhe des Energieflusses an. Die für die Reaktionen zuständigen Schlüsselenzyme sind in Klammer genannt.

Zintl (1997)

1. Anaerob - alaktazider Prozeß:

Kreatinphosphat + Adenosindiphosphat ⟶ Kreatin + Adenosintriphosphat

(KrP) (ADP) (Kr) (ATP)

2. Anaerob - laktazider Prozeß (= anaerobe Glykolyse):

Glucose (Glykogen) ⟶ Laktat + ATP

(Lac)

3. Aerober Prozeß (= aerobe **Glykolyse,** oxidativer Glykogenabbau):

Glucose (Glykogen) + O_2 ⟶ CO_2+ H_2O + ATP

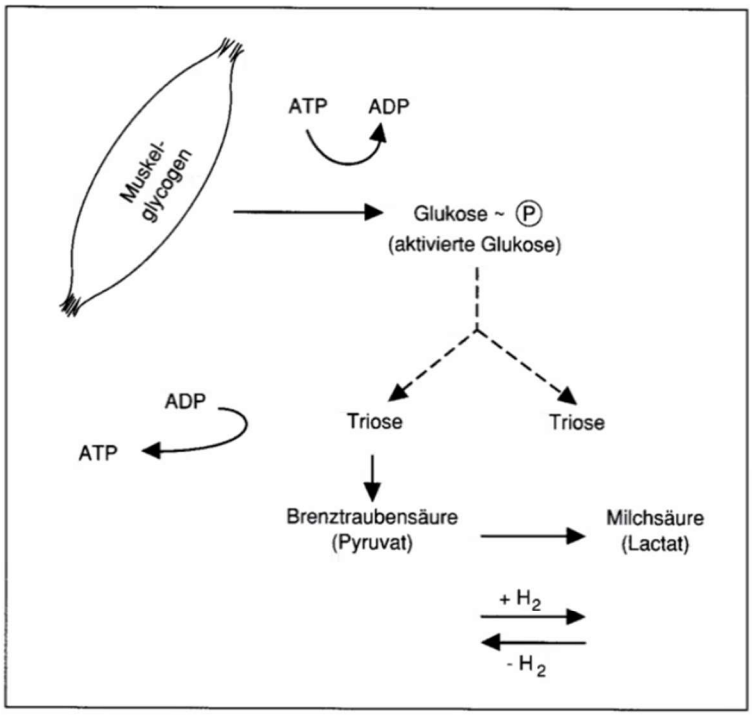
4. Aerober Prozeß (= Lipolyse, oxidativer Fettabbau):

freie Fettsäuren + O_2 ⟶ CO_2+ H_2O + ATP

(FFS)

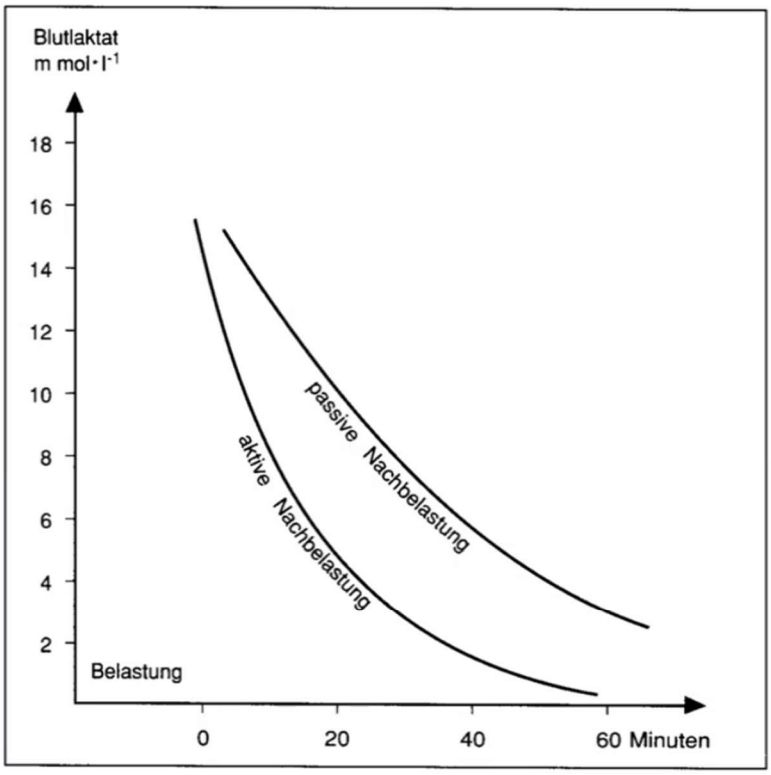
Vereinfachte Darstellung der Energienachschub-Reaktionen für die ATP-Resynthese

Zintl (1997)



Glykolyse. Aus der Speicherform Glykogen wird Glycose (= Traubenzucker, Verbindung mit 6 C-Atomen) abgespalten, aktiviert (= phosphoryliert), in 2 Triosen (=Verbindung mit 3 C-Atomen) gespalten und zu Brenztraubensäure (=Pyruvat) abgebaut. Das Pyruvat wird zu Michsäure (=Laktat) hydriert.

Zintl (1997)



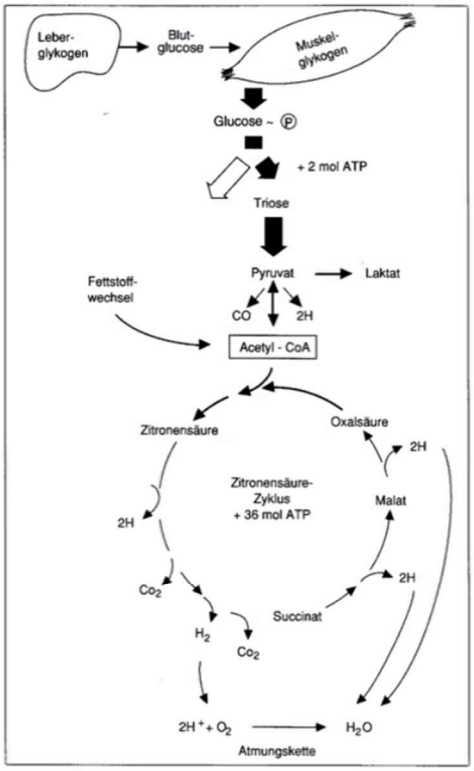
Beschleunigung der Laktatbeseitigung aus dem Blut durch aktive Gestaltung

Zintl (1997)

Substrat + Abbauart	Max. Flußrate Mikromol/g/s	Durchsatz in % des Maximums (Verfügbarkeit)	Max. Einsatzdauer
ATP, KrP anaerob-alaktazid	1,6–3,0	100	7–10 s
Glykogen anaerob-laktazid	1,0	30	40–90 s
Glykogen aerob	0,5	15	60–90 min
Fettsäuren aerob	0,25	7,5	Stunden

Energetische Flussraten (maximale Geschwindigkeit derEnergiefreisetzung) bei verschiedenen Formen der Energiebereitstellung (in Mikromol/Gramm Substrat/Sek.).

Zintl (1997)



Aerober Abbau von Glykogen über den Zitronesäurezyklus und die Atmungskette. (Die Pfeilstärke soll den möglihen Energiefluß veranschaulichen)

Zintl (1997)

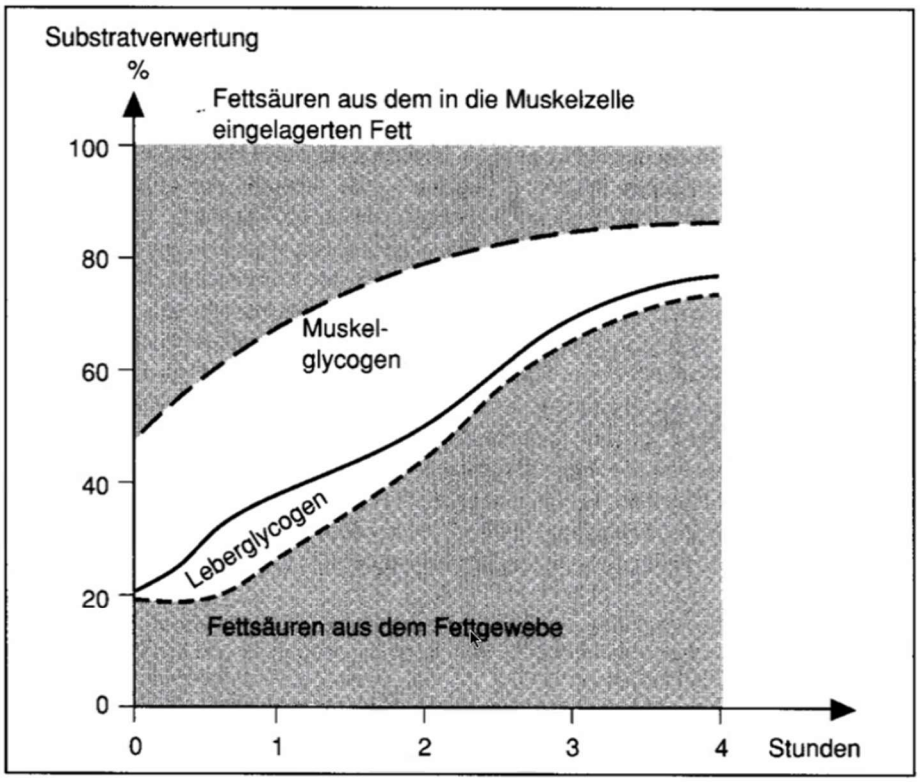
Der *physiologische Brennwert* (= Kalorienwert) der Nährstoffe gibt den Energiegehalt von jeweils 1 g des Nährstoffes an. Aus dieser Sicht rangiert Fett weit vor Kohlenhydraten und Eiweiß.
Das *kalorische Äquivalent* (= energetisches Sauerstoffäquivalent) gibt an, wieviel Energie aus den Nährstoffen zu gewinnen ist, wenn 1 Liter Sauerstoff für ihre Verbrennung aufgewendet wird. Hier liegen die Verhältnisse bei den Kohlenhydraten am günstigsten.

Zintl (1997)

Nährstoff	physiologischer Brennwert	kalorisches Äquivalent
Fette	9,3 kcal/1 g	4,65 kcal/1 l O_2
Kohlenhydrate	4,1 kcal/1 g	5,05 kcal/1 l O_2
Eiweiß	4,1 kcal/1 g	4,48 kcal/1 l O_2

Physiologischer Brennwert und kalorisches Äquivalent von Fetten, Kohlenhydraten und Eiweißen (in kcal)

Zintl (1997)



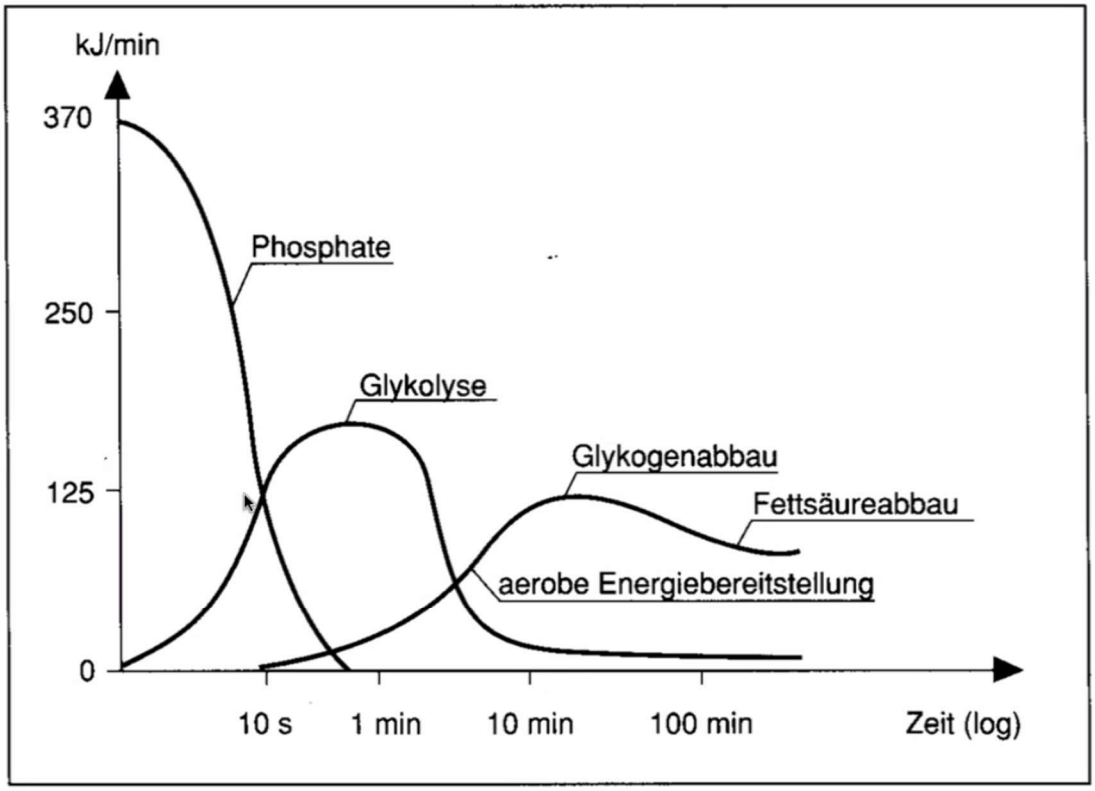
Der Verlauf der Fettverwertung aus Muskelzelle und Fettgewebe bei Ausdauerbelastungen mit geringer Intensität und langer Dauer

Zintl (1997)

Aerobe Oxidation	Anaerobe Glykolyse
– Energiebereitstellung erfolgt relativ langsam. – Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ klein. + Die bereitgestellte Gesamtenergiemenge ist relativ groß. 36 mol ATP/mol Glucose 130 mol ATP/mol Fettsäure + Keine Laktatbildung – in den Mitochondrien: Pyruvat und der Sauerstoff müssen in die Mitochondrien, das gebildete ATP, H_2O, CO_2 verlassen die Mitochondrien wieder.	+ Energiebereitstellung erfolgt relativ schnell. + Die pro Zeiteinheit freigesetzte Energiemenge ist relativ groß. – Die Gesamtenergiemenge ist relativ klein. 2 mol ATP/mol Glucose – Laktatbildung + im Zellplasma: Kein Transport der Stoffwechselprodukte.

Vor- und Nachteile der aeroben und anaeroben Energiebereitstellung

Zintl (1997)



Möglichkeiten der Energiebereitstellung bei maximaler Beanspruchung in Abhängigkeit von der Zeit

Zintl (1997)

Interne Faktoren

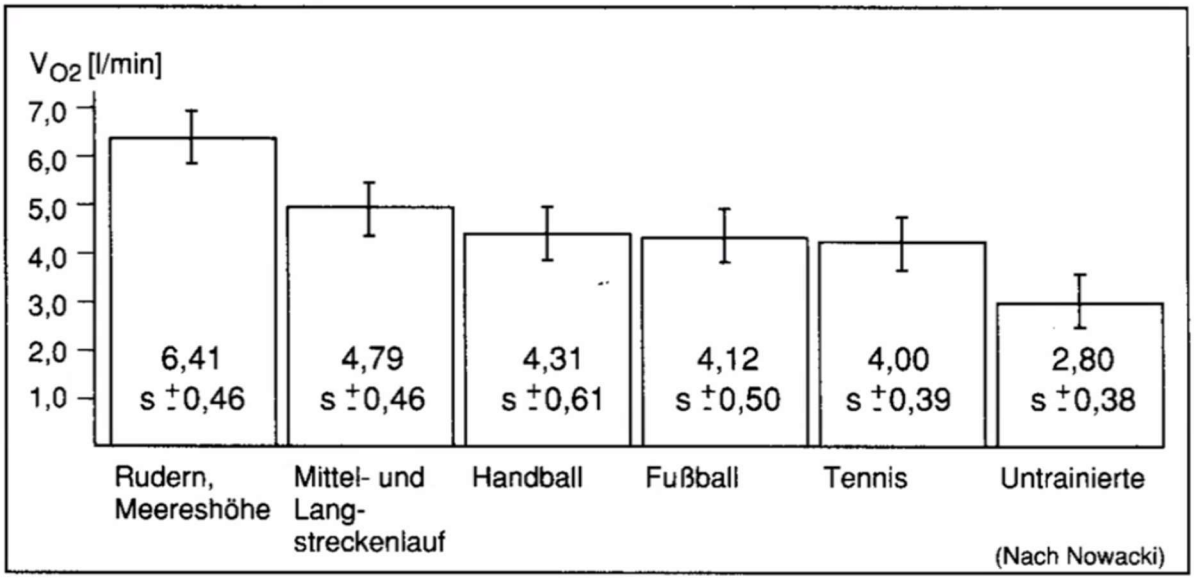
- Lungenventilation
- Diffussionskapazität der Lunge
- Herzminutenvolumen
- Sauerstofftransportkapazität des Blutes
- Periphere Sauerstoffverwertung
- Muskelfaserzusammensetzung

Externe Faktoren

- Belastungsmodus
- Größe der eingesetzten Muskelmasse
- Körperposition
- Sauerstoffpartialdruck
- Klima

Leistungsbegrenzende Faktoren der maximalen Sauerstoffaufnahme

Zintl (1997)



Maximale Sauerstoffaufnahme bei Sportlern verschiedener Sportarten. Deutliche Unterschiede bestehen zwischen den Athleten verschiedener Sportarten. Bei Ruderern liegen die Werte der max. Sauerstoffaufnahme am höchsten. Das ist darauf zurückzuführen, dass hier relativ große Muskelgruppen mit maximaler Kraftausdauer eingesetzt werden müssen.

Zintl (1997)

max. Sauerstoffaufnahme =

$\underbrace{\text{max. Schlagvolumen x max. Herzfrequenz}}_{\text{max. Herzminutenvolumen}}$ x max. arteriovenöse Sauerstoffdifferenz

VO_2 max. (l O_2/min) = $\underbrace{\text{SV max. x HF max.}}_{\text{HMV max. (l Blut/min)}}$ x $AVDO_2$ max. (ml O_2/ l Blut)

Untrainierte					
Männer	ca. 3,3 l	=	22 l	x	150 ml/l
Frauen	ca. 2,2 l				
Trainierte					
Männer	ca. 6,0 l	=	35 l	x	180 ml/l
Frauen	ca. 4,5 l				

Maximale Sauerstoffaufnahme bei untrainierten und ausdauertrainierten Hochleistungssportler

Zintl (1997)

	Schlagvolumen SV (ml Blut)	x	Herzfrequenz HF / min	=	Herzminutenvolumen HMV (l Blut/min)
Untrainierter					
in Ruhe:	70 ml	x	70	=	ca. 5l
in Belastung:	120 ml	x	170-180	=	ca. 20-22 l
Steigerung auf das 4- bis 5 fache					
Trainierter					
in Ruhe:	105 ml	x	45	=	ca. 5l
in Belastung:	200 ml	x	180-190	=	ca 36-38 l
Steigerung auf das 7- bis 8 fache					
Die HMV-Werte untrainierter Frauen liegen um ca. 25% niedriger.					

Herzminutenvolumen HMV Untrainierter und ausdauertrainierter Hochleistungssportler in Ruhe und maximaler Auslastung

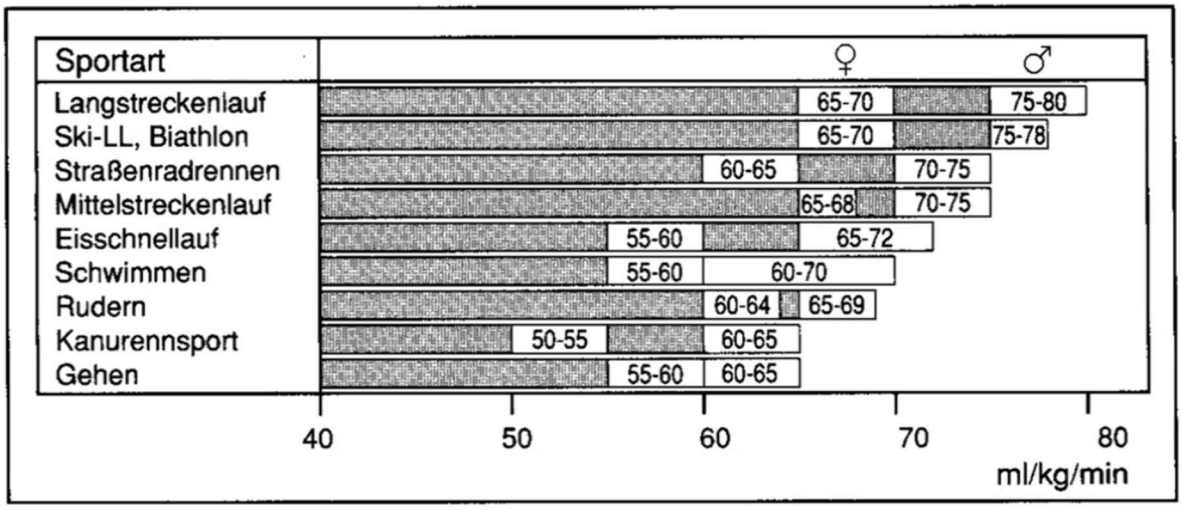
Zintl (1997)

	rel. VO_2max.
Untrainierte	
Frauen (20–30 LJ.)	32–38 ml/kg/min*
Männer (20–30 LJ.)	40–55 ml/kg/min**
Hochtrainierte Ausdauersportler	
Frauen	60–70 ml/kg/min
Männer	80–90 ml/kg/min
Normwerte für Fitnesszustand	
Frauen	35–38 ml/kg/min
Männer	45–50 ml/kg/min
Ausdauertrainierte	55–65 ml/kg/min
Ausdauerleister (internationales Niveau)	65–80 ml/kg/min
Ausdauerleister (internationales Spitzenniveau)	85–90 ml/kg/min

* bezogen auf fettfreie Muskelmasse 44–48 ml
** bezogen auf fettfreie Muskelmasse 46–49 ml

Werte der rel. $VO_{2max.}$ als gemessene Durchschnittswerte und als Normwerte für unterschiedliches Leistungsniveau

Zintl (1997)



Relative max. Sauerstofufnahme in Ausdauerdisziplinen;
Referenzwerte für Frauen und Männer

Zintl (1997)

	Männer ml/kg/min	Frauen ml/kg/min		Männer ml/kg/min	Frauen ml/kg/min
Sportspielarten			*Technisch-kompositorische Sportarten*		
Fußball	50–57	–	Alpine Disziplinen	60–65	48–52
Handball	55–60	48–52	Eiskunstlauf	50–55	45–50
Eishockey	55–60	–	Gerätturnen	45–50	40–45
Volleyball	55–60	48–52	Rhythmische Sport-gymnastik	–	40–45
Basketball	50–55	40–45	Segeln	50–55	40–45
Tennis	48–52	40–45	Schießen	40–45	35–40
Tischtennis	40–45	38–42			
Zweikampfsportarten			*Schnellkraftsportarten*		
Boxen	60–65	–	Sprint – Leichtathl.	48–52	43–47
Ringen	60–65	–	Weitsprung	50–55	45–50
Judo	55–60	45–50	Mehrkampf Leichtathl.	60–65	50–55
Fechten	45–50	45–50	Diskus, Kugel	40–45	35–40
			Speerwurf	45–50	42–47
			Skisprung	40–45	–
			Gewichtheben	40–50	–

Festgestellte Werte der rel. $VO_{2max.}$ aus Nichtausdauer-Disziplinen

Zintl (1997)

Lungenbereich:
- Vergrößerung der Respirationsfläche (= Fläche der gasaustauschenden Alveolen)
- Verbesserung der alveolokapillaren Diffusionskapazität für Sauerstoff (Durchlässigkeit wird größer)
- Ausweitung des Lungenkapillarnetzes (= erweiterte Gasaustauschfläche seitens des Bluts)
- Weitung von Lungenvenen und -arterien (zur Bewältigung des vergrößerten Herzminutenvolumens im Lungenkreislauf)
- Verbesserung der Atmungsökonomie (= des Atemäquivalents*), d. h. mehr Sauerstoffübernahme ins Blut aus einer bestimmten Menge eingeatmeter Luft.

Herz:
- Senkung von Ruhe- und Arbeitspuls (bei gleicher Leistung) } = Ökonomisierung
- Verringerung des Sauerstoffbedarfs des Herzmuskels } der Herzarbeit
- Steigerung von Schlagvolumen und Herzminutenvolumen (= höhere Leistungsfähigkeit des Herzens)
- Sportherz** (= Leistungsherz)-ausbildung: Herzmuskelhypertrophie, Volumenvergrößerung, Verbesserung der Koronardurchblutung (= vergrößerte Koronararterien, Kapillarneubildung, erweiterte Kollateralen) über die schon o. g. Herzfrequenz- und Herzminutenvolumenveränderungen hinaus.

Blut:
- Blutvolumenzunahme (ca. 1–2 l)
- Hämatokritsenkung (von 45% auf 42%) = Viskositätserniedrigung wegen stärkerer Zunahme der Flüssigkeit (Plasma) gegenüber den festen Bestandteilen (Zellvolumen) (Tab. 20)
- Erhöhung der Pufferkapazität
- Zunahme der Kalium- und Calciumkonzentration

Peripherer Kreislauf:
- Verbesserte Kapillarisierung im Skelettmuskel (Öffnen von Ruhekapillaren, Vergrößerung des Kapillarquerschnitts, Kapillarneubildung)
- Neubildung von Kollateralen (= Umgehungsgefäße neben den Hauptgefäßen)
- Verbesserte intramuskuläre Blutverteilung (= gezieltere belastungsangepaßte Durchblutungsrate)

* Atemäquivalent (AÄ) $\frac{\text{Atemminutenvolumen (AMV)}}{\text{Sauerstoffaufnahme/min. } (VO_2)}$. Es hat bei ca. 60% der VO_2max. seinen günstigsten Wert. Bei Untrainierten AÄ = 35, bei Trainierten 25.

** Sportherz als relativer Herzgröße von 14–15 ml/kg
Normalherz 11–12 ml/kg, Frauen 9–10 ml/kg
Extremwerte bei Straßenradfahrern 18 ml/kg (Frauen 16–16,5 ml/kg)

Anpassungsreaktionen im Bereich des Atemungs- und Herz-Kreislauf-Systems auf Langzeitausdauerbelastungen

Zintl (1997)

	Untrainierte	Ausdauertrainierte
Blutvolumen	76 ml/kg	95 ml/kg (+ 25%)
Plasmavolumen	43 ml/kg	55 ml/kg (+ 28%)
Zellvolumen	34 ml/kg	40 ml/kg (+ 18%)

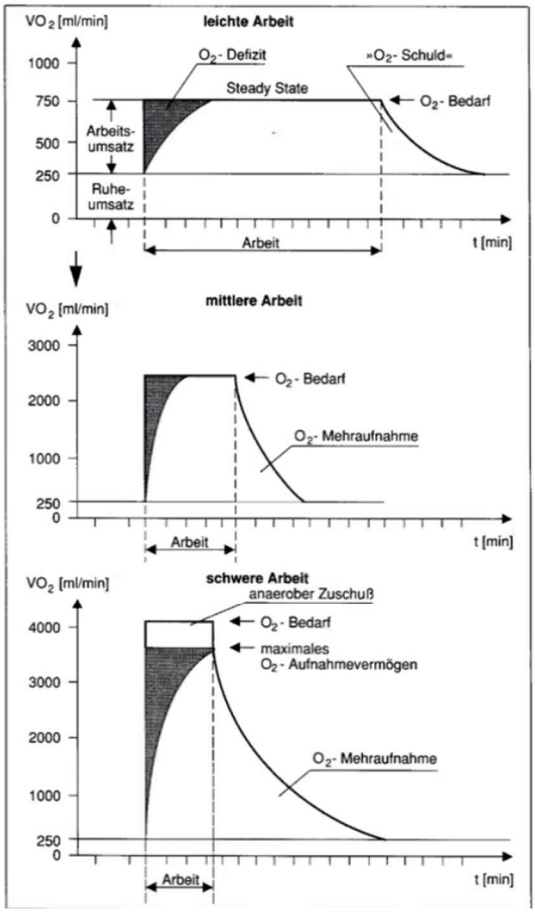
Blut-, Plasma- und Zellvolumen bei Untrainierten und Ausdauertrainierten

Zintl (1997)

- Ausbildung eines motorischen stereotypen Bewegungsprogramms, welches sich dominant auf die Rekrutierung von langsam kontrahierenden Muskelfasern (ST-Fasern) stützt.
- Erhöhung der aeroben Glucoseverwertung und Zunahme des Anteils der freien Fettsäuren am Energieumsatz.
- Vergrößerung der Energiespeicher (Muskel- und Leberglycogen, Triglyceride in der Muskulatur).
- Abnahme des Körperdepotfetts auf etwa die Häfte (Ausdauersportler haben nur 6 bis 13% Fett).
- Erhöhte Nutzung gluconeogenetischer Stoffwechselwege bei Belastung.
- Abnahme der Lactatmobilisationsfähigkeit.
- Zunahme der Aktivität oxidativer Schlüsselenzyme in den ST-Fasern.
- Erhöhung der Durchblutung von Skelett- und Herzmuskulatur sowie Gehirn bei Belastung.
- Vergrößerung der Kapazität in den O_2-aufnehmenden, O_2-transportierenden und O_2-verwertenden Systemen.
- Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme.
- Zunahme der Herzgröße (Volumen und Stärke der Herzmuskulatur).
- Verminderung der Ermüdbarkeit der trainierten Muskulatur.
- Anstieg der Muskelkraft (Kraftausdauer) und Ausprägung weiterer Anpassungen.

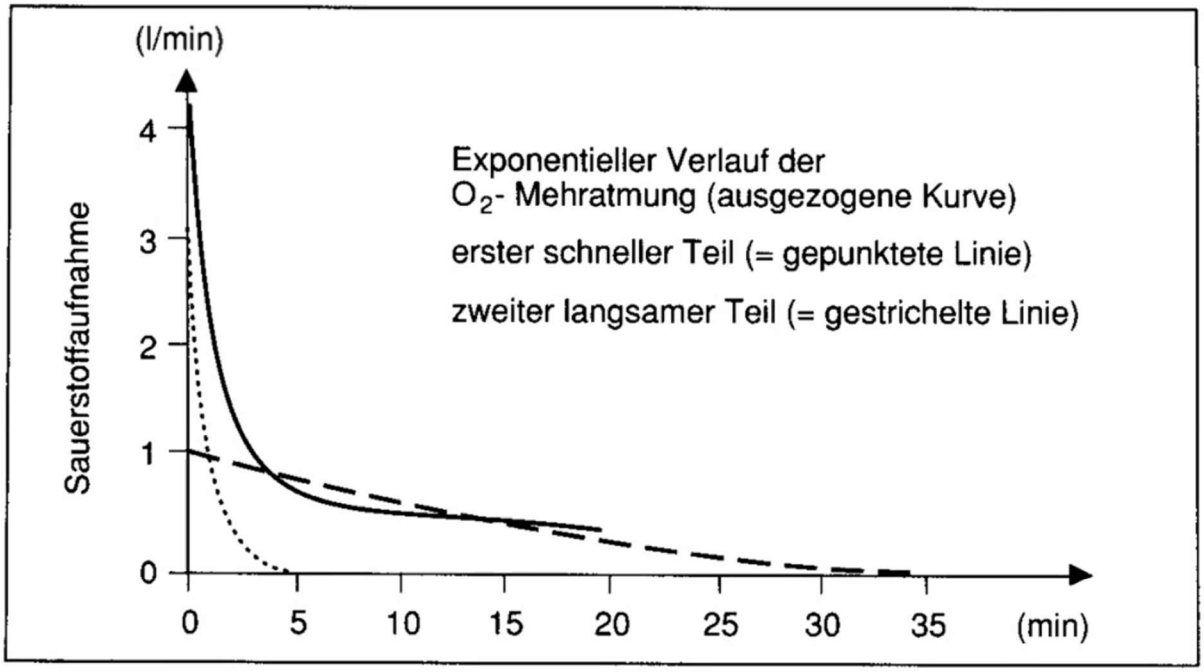
Prinzipielle Anpassungen an ein Ausdauertraining

Zintl (1997)



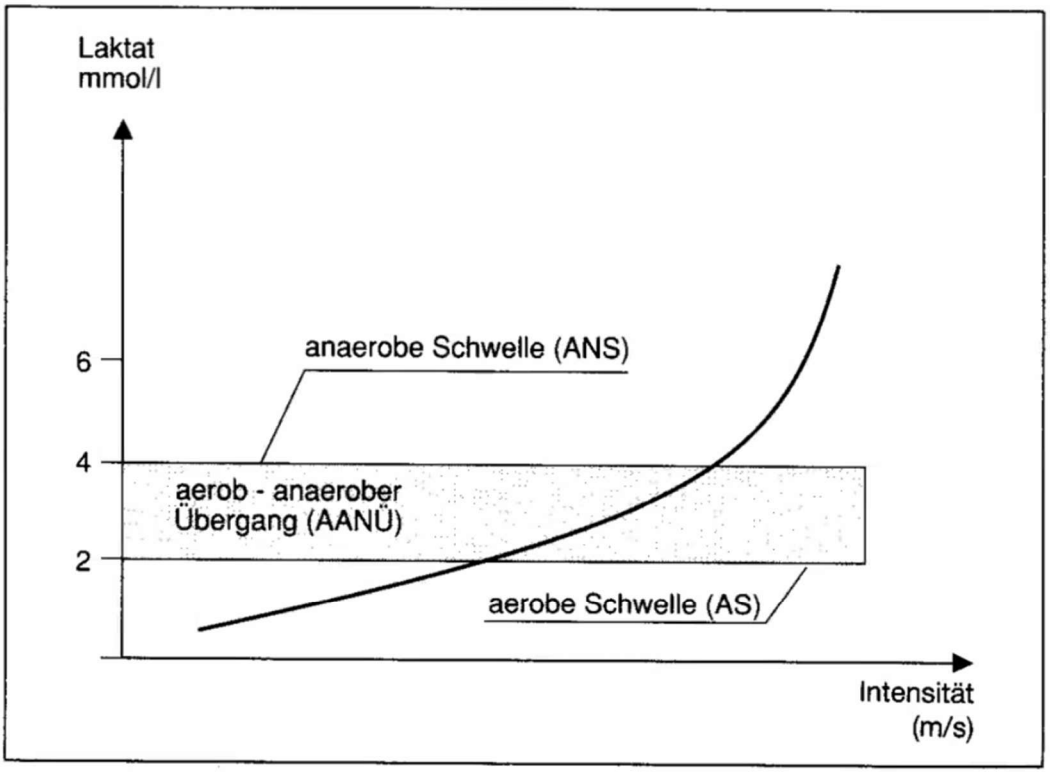
Sauerstoff (O_2)-Defizit, O_2-Schuld und O_2-Steady-State bei unterschiedlich schwerer Belastung

Zintl (1997)



Abtragung der „Sauerstoffschuld" in exponeentieller Form: Schnell verlaufende Phase der alaktziden und langsam verlaufenden Phase der laktaziden O_2-Schuld

Zintl (1997)



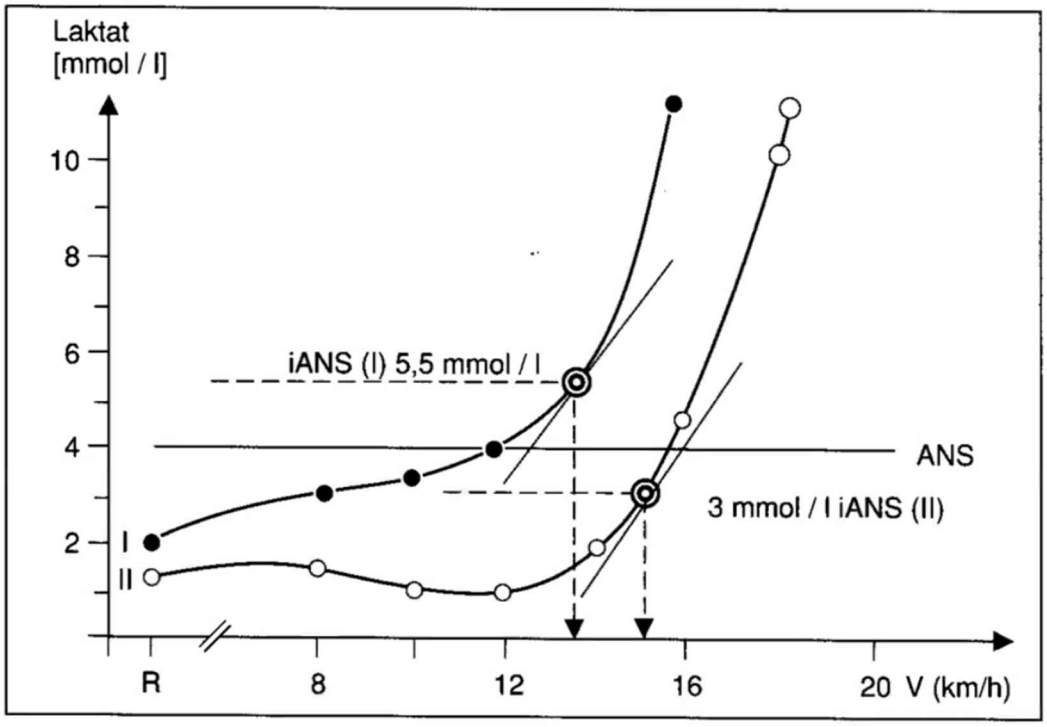
Laktatleistungskurve mit Laktat-Schwellenbereichen

Zintl (1997)

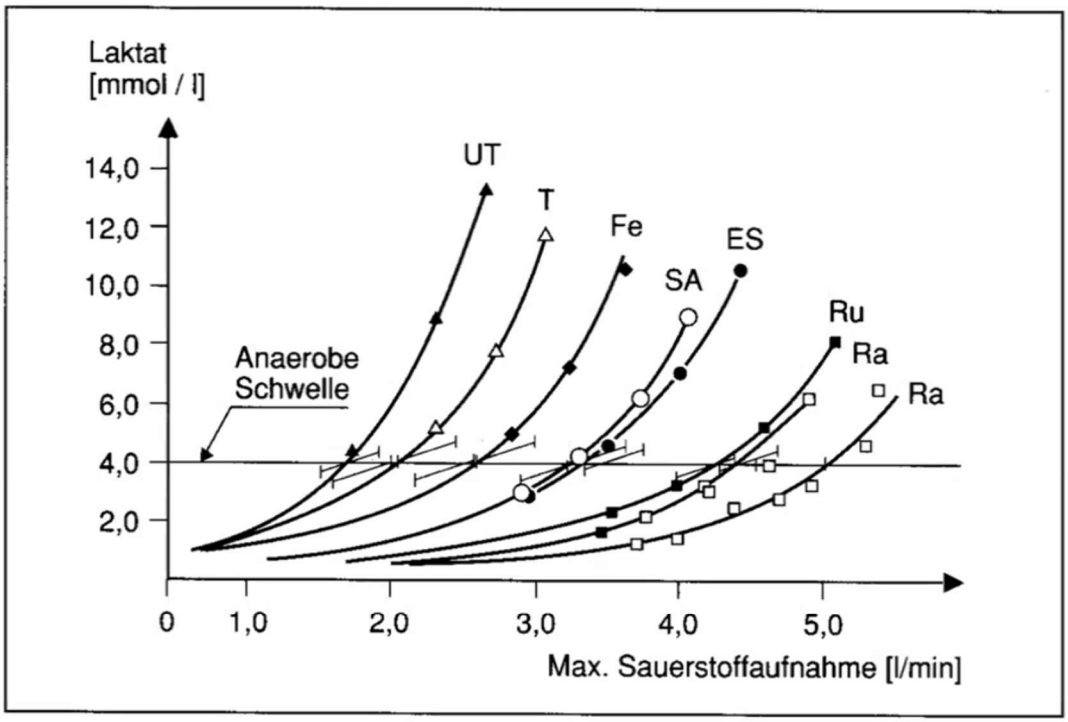
	Aerobe Schwelle
Untrainierte:	45–50% VO_2max.; 125–130 Hf
Trainierte:	60–65% VO_2max.; 150–160 Hf
	Anaerobe Schwelle
Untrainierte:	50–70% VO_2max.; 140–150 Hf
Durchschnittlich Trainierte:	70–80% VO_2max.; 170–175 Hf
Hochtrainierte:	85–95% VO_2max.; 180–190 Hf

Werte für die aeobe und anaerobe Schwelle; ausgedrückt in Prozent der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_{2max.}$) und der dazugehörigen Herzfrequenz (Hf)

Zintl (1997)

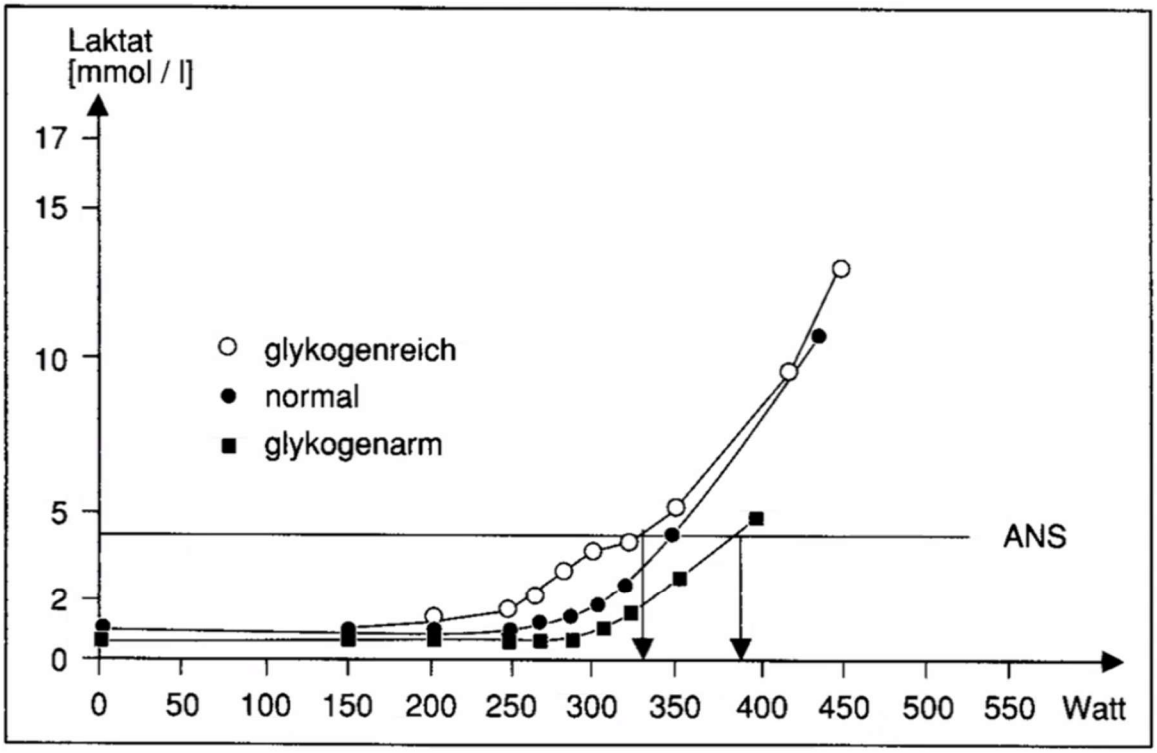


Laktatleistungskurven Untrainierter (I) und Hochtrainierter (II) mit den individuellen anaeroben Schwellen (IANS). Der kritische Anstieg der Laktatkurve wurde hier mittels einer Tangentenmethode festgelegt (vgl. Heck et al. 1985) Zintl (1997)



Das Verhalten der Laktatkonzentration in Abhängigkeit von der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit bei Untrainierten (UT) und ausgewählten sportrepräsentativen Leistungsgruppen verschiedener Sportarten: (T) = Touristik, (Fe) = Fechten, (ES) = Eisschnelllauf, (SA) = Spielsportarten, (Ru) = Rudern, (Ra) = Radsport.

Zintl (1997)



Der Einfluß unterschiedlicher Ernährungssitutionen auf Form und Lage der Laktatleistungskurve, dargestellt an einem Einzelfall

Zintl (1997)

Rot	Weiß	
tonisch	phasisch	
langsam kontrahierend »slow twitch« (ST)	schnell kontrahierend »fast twitch« (FT) oxidativ (aerob) FTO	 glykolytisch (anaerob) FTG
Typ I	Typ II_A	Typ II_B

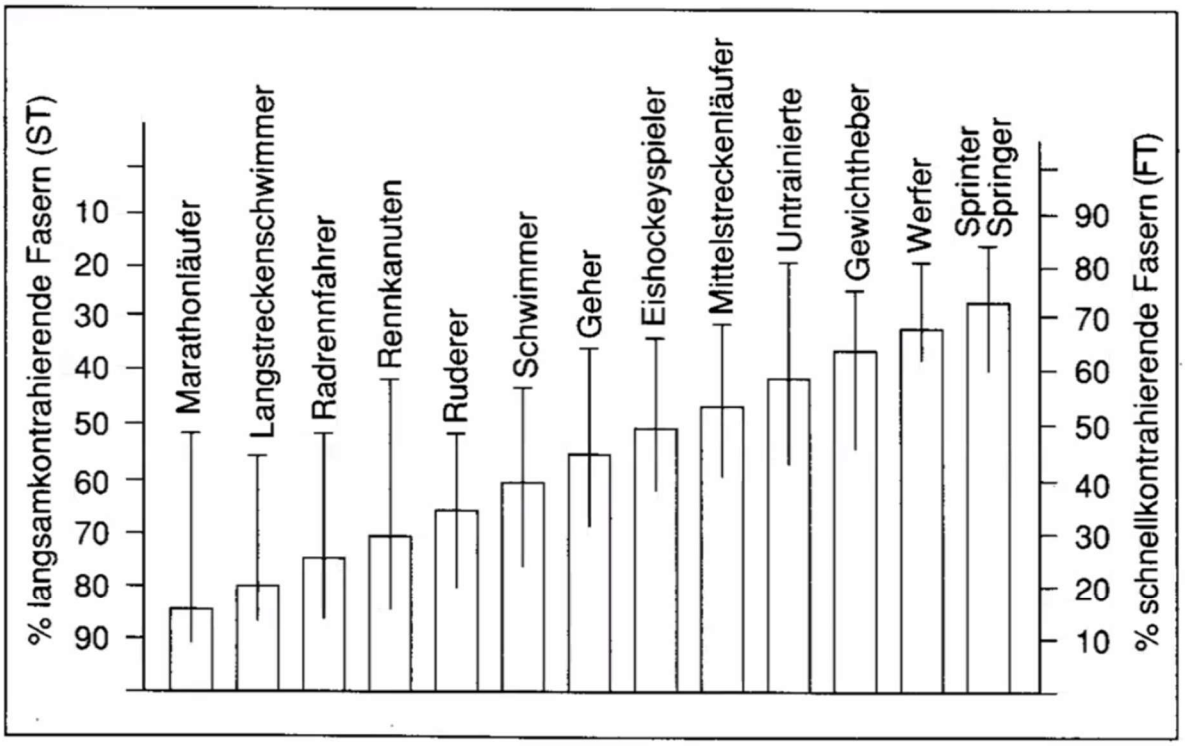
Muskelfasertypen mit Ihren verschiedenen Bezeichnungen

Zintl (1997)

ST-Fasern	FT-Fasern	
	FTO	FTG
Langsam kontrahierend Kontraktionsdauer 75 ms	schnell 30 ms	sehr schnell kontrahierend 20 ms
wenig Kraft pro Kontraktion Zugspannungsfaktor 1	kräftige Kontraktion Faktor 4	sehr große Kraft pro Kontraktion Faktor 12
ermüdungsresistent	ermüdbar	schnell ermüdet
kleine Motoneurone kleine mot. Endplatten Reizschwellen niedrig	große Motoneurone größere höher	 große mot. Endplatten hoch
sehr viele Mitochondrien sehr viel Myoglobin sehr viele Kapillaren	viele mäßig viel viele	wenig wenig wenig
wenig Phosphagene	viele	sehr viele
Myosin-ATP-ase Aktivität gering	hoch	sehr hoch
viel Fett und KH	viel KH	sehr viel KH gespeichert
mit hochaktiven Enzymen des aeroben Fett- und KH-Stoffwechsels ausgestattet	mit Enzymen des aeroben und anaeroben Stoffwechsels versehen	Dominanz von Enzymen des anaeroben Stoffwechsels
Querschnitt 3100 bis 5000 μ^2	4400 bis 5900 μ^2	3500 bis 5300 μ^2

Die wesentlichen Merkmale der einzelnen Muskelfasertypen

Zintl (1997)



Schematische Darstellung des Zusammenhangs Faserverteilung und Sportart

Zintl (1997)

Training von Schnelligkeit, Schnellkraft, Maximalkraft	Training von Kraftausdauer, Ausdauer
■ Flächenvergrößerung der FT-Fasern wegen Vermehrung der kontraktilen Elemente ■ Vermehrung der anaeroben Enzyme im Zellplasma ■ Glykogenvermehrung in den FT-Fasern ■ metabolische Differenzierung der FT-Fasern in Richtung FTG-Fasern ■ Abnahme der Mitochondrien ■ Rückgang der Kapillarisierung (Kapillarenzahl pro Faser) ■ Zunahme der Diffusionsstrecke für Sauerstoff durch die Hypertrophie	■ Flächenvergrößerung der ST-Fasern wegen Vermehrung und Vergrößerung der Mitochondrien ■ Vermehrung der aeroben Enzyme in den Mitochondrien ■ Myoglobinvermehrung ■ Glykogenvermehrung in den ST-Fasern ■ metabolische Differenzierung der FT-Fasern in Richtung FTO-Faser ■ Zunahme der Kapillarisierung (Kapillarenzahl pro Faser, erhöhte Durchlässigkeit der Kapillarwand, Schlängelung) ■ Abnahme der Diffusionsstrecke für Sauerstoff
Führt bei hohem Leistungsniveau zu einem Rückgang der aeroben Ausdauerfähigkeiten	Führt bei hohem Leistungsniveau zu einem Rückgang der Schnelligkeit, Schnellkraft und Maximalkraft

Anpassungsreaktionen der Muskelfasertypen auf spezifische Belastungsreize

Zintl (1997)

Sportart	Gewichtsverlust	Sportart	Gewichtsverlust
100-m-Lauf	ca. 0,15 kg	Basketball	ca. 1,7 kg
10 000-m-Lauf	1,5 kg	Fußball	3,0 kg
Marathonlauf	4,0 kg	Ringen (Mittelgewicht)	1,8 kg
Skilauf 10 km	1,0 kg	Boxen (Mittelgewicht)	1,6 kg
Rudern 2000 m	0,8 kg	Eishockey	1,8 kg
Fechten	1,0 kg		

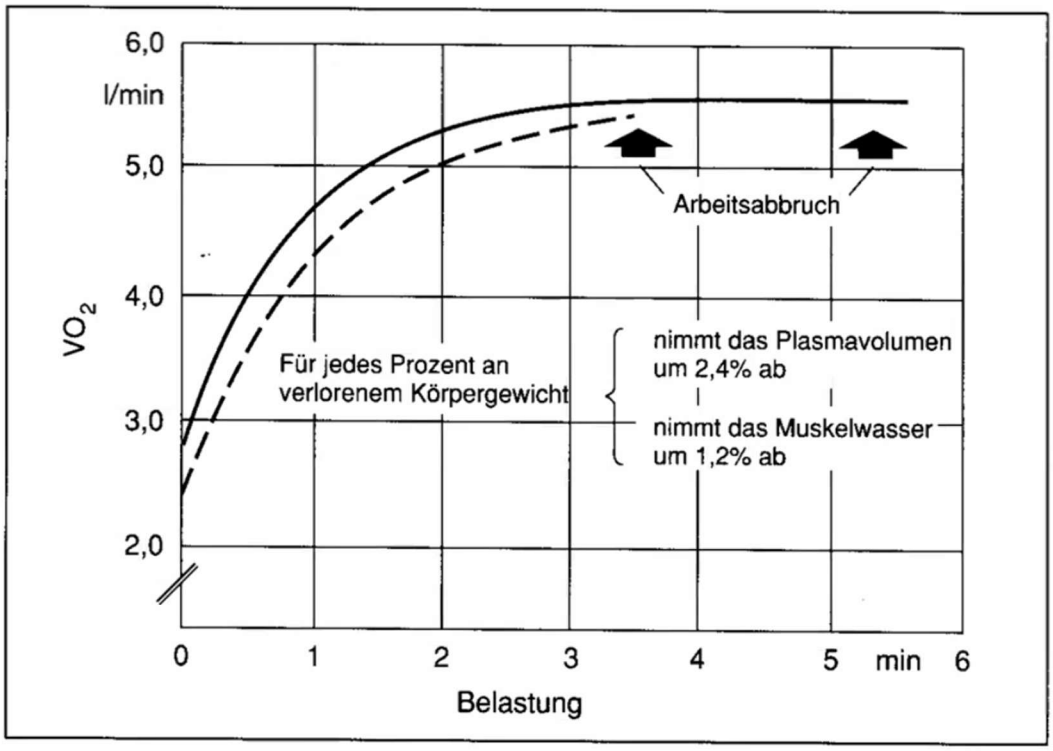
Gewichtsverluste in verschiedenen sportlichen Disziplinen

Zintl (1997)

Verlustmenge in % Körpergewicht	Symptome
2–5%	Durstgefühl, hoher Puls, Appetitlosigkeit, Müdigkeit, Muskelkrämpfe, Schwächegefühl, Aggressivität
6% u. mehr	Übelkeit, Schwindelgefühl, Kopfschmerzen, ausbleibende Speichelbildung, starke Krämpfe, verschleiertes Sehen, Koordinationsstörungen, Kreislaufversagen, psychische Störungen

Anzeichen von Wasserverlust im Körper

Zintl (1997)



Sauerstoffverbrauch bei Wassermangel. Unter Normalbedingungen kann die Belastung während 5½ Minuten durchgehalten werden. Bei Wassermangel (leichte Dehydratation) kann die gleich Leistung dagegen nur während 3½ Minuten erbracht werden. Die Pfeile zeigen jeweils die maximale Arbeitsdauer an. Zintl (1997)

	Natrium	Chlor	Kalium	Magnesium	total
Plasma	140	100	4	1,5	245,5
Schweiß	40–60	30–50	4–5	1,5–5	75,5–120

Konzentration der Elektrolyte (mÄq/l) im Blutplasma und im Schweiß

Zintl (1997)

Für die Flüssigkeitszufuhr während langer Ausdauerbelastungen gilt die Regel:

- 1 Liter/Stunde eines Getränks, das die Schweißelektrolyte ersetzt,
- verteilt auf ca. ¼ Liter pro 15 Min.,
- Beginn der Aufnahme vor einem ausgeprägten Durstgefühl (meist nach ca. 45–60 Min.).

Zintl (1997)