

Grenzen körperlicher Leistungsfähigkeit im Alpinsport

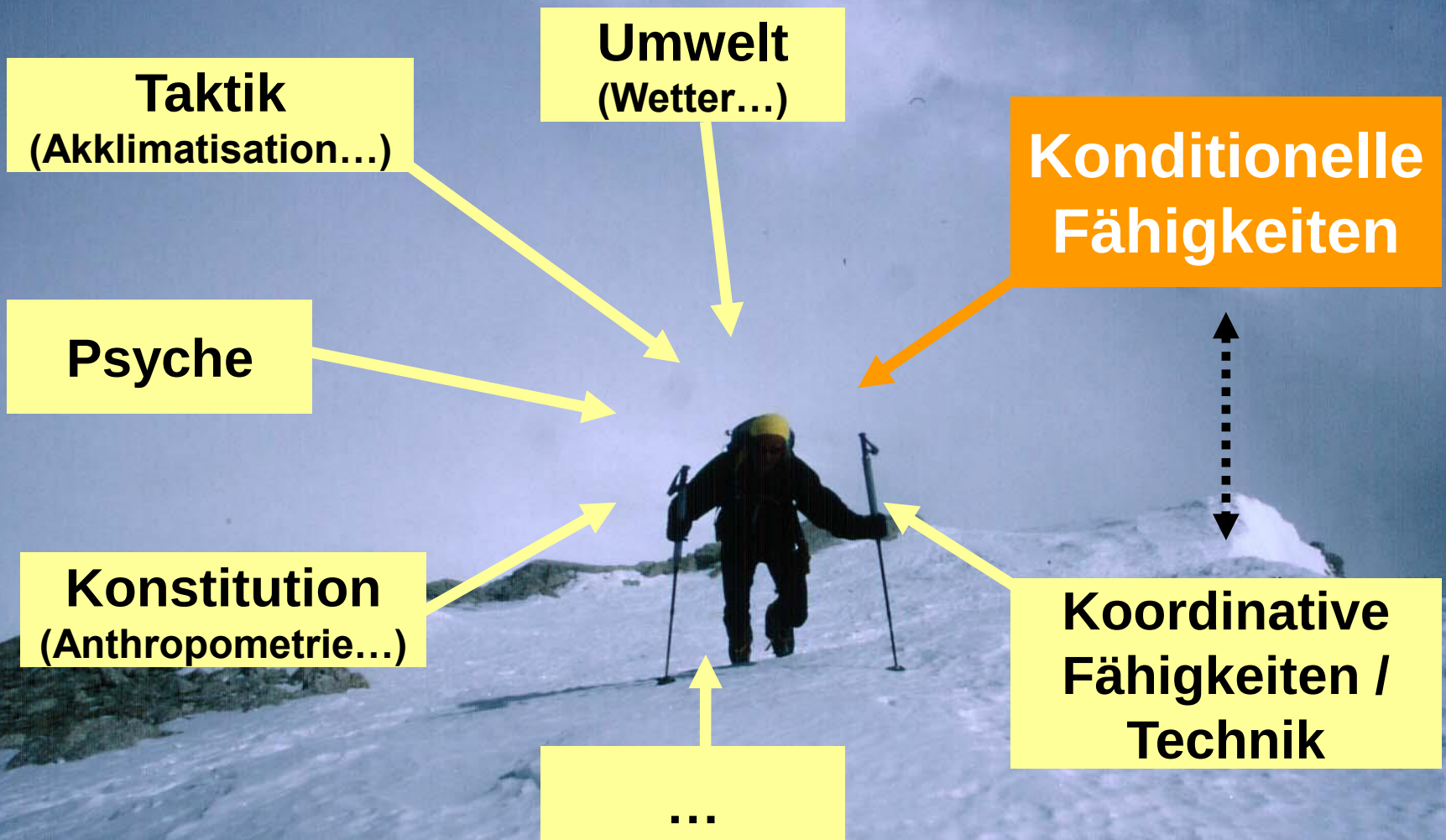
- **Physiologische Aspekte
körperlicher Leistungsfähigkeit
im Bergsport**
- **Körperliche Leistungsfähigkeit
bei Höhenexposition**

Alpinärztekurs 30.01.2024

Heidelberger Hütte

Martin Faulhaber

Einflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit im (Berg-)Sport



Koordinative und konditionelle Fähigkeiten

- **Koordinative Fähigkeiten:**
z.B. Reaktionsfähigkeit, Gleichgewichtsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit, Orientierungsfähigkeit



Interaktion



- **Konditionelle Fähigkeiten:**
Schnelligkeit, Kraft, Ausdauer, (Beweglichkeit)

Im vielen Bergsport-Disziplinen ist die Ausdauer in Form einer allgemeinen, aeroben Ausdauer von zentraler Bedeutung.

Einflussfaktoren auf die Ausdauerleistung

- **Maximale aerobe Leistung („Power“)**
→ Maximale Sauerstoffaufnahme ($\text{VO}_{2\text{max}}$)
(„Wie hoch ist die Maximalleistung meiner O_2 -Zufuhr und -Verwertung?“)
- **Dauerleistungsgrenze**
→ Maximales Laktat-Steady-State, anaerobe Schwelle,...
(„Welchen Anteil der $\text{VO}_{2\text{max}}$ kann ich über die nötige Dauer aufrechterhalten?“)
- **Bewegungsökonomie**
→ Laufökonomie, Steigökonomie
(„Wie viel O_2 verbrauche ich bei einer definierten Lauf-/Steiggeschwindigkeit?“)

**Auf Ski-, Berg-, oder Hochtouren
spielen alle 3 Faktoren eine Rolle!**

Maximale Sauerstoffaufnahme aus physiologischer Sicht

- Relativierung auf Körpergewicht → ml/min/kg
- Limitierung vorwiegend kardiovaskulär (Ausnahmen!)
- Zu einem großen Teil genetisch determiniert

- $VO_2 = HF \cdot SV \cdot Hb \cdot (SaO_2 - SvO_2)$

→ Anpassungen durch Training?

Maximale Sauerstoffaufnahme im Bergsport

- Untrainierte junge Personen: 35 – 40 ml/min/kg
- Ausdauersportler*innen: 60 – 80 ml/min/kg
- Erfolgreiche Expeditionsbergsteiger (8500 m ohne O₂):
ca. 60 (49 - 66) ml/min/kg (Ölz et al. 1986)
- Wettkampfskibergsteigen bzw. Speedbergsteigen:
bis deutlich über 70 ml/min/kg (- 92 ml/min/kg)

(Schenk et al. 2011; Faiss et al. 2014; Millet & Jornet 2019)

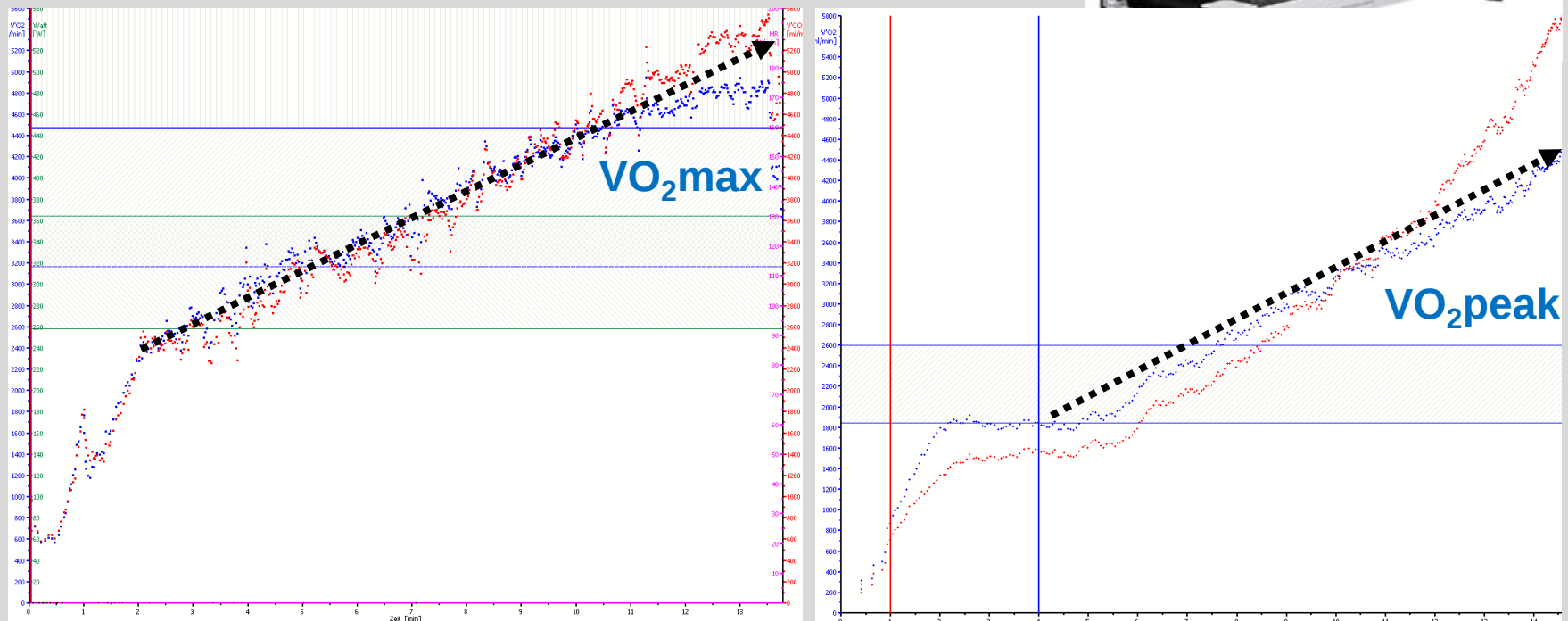
Maximale Sauerstoffaufnahme: Empfehlungen

(in Anlehnung an Berghold et al. Handbuch der Trekking- und Höhenmedizin 2015)

	VO₂max 
• Trekkingtourismus (bis 5000 m)	50 – 55 ml/min/kg
• Höhenbergsteigen (Gipfel ≥ 5000 m)	55 – 65 ml/min/kg
• Höhenbergsteigen (Gipfel ≥ 6500 m)	≥ 65 ml/min/kg

Ermittlung der VO_2max : Spiro-Ergometrie

Belastung
Sauerstoffaufnahme

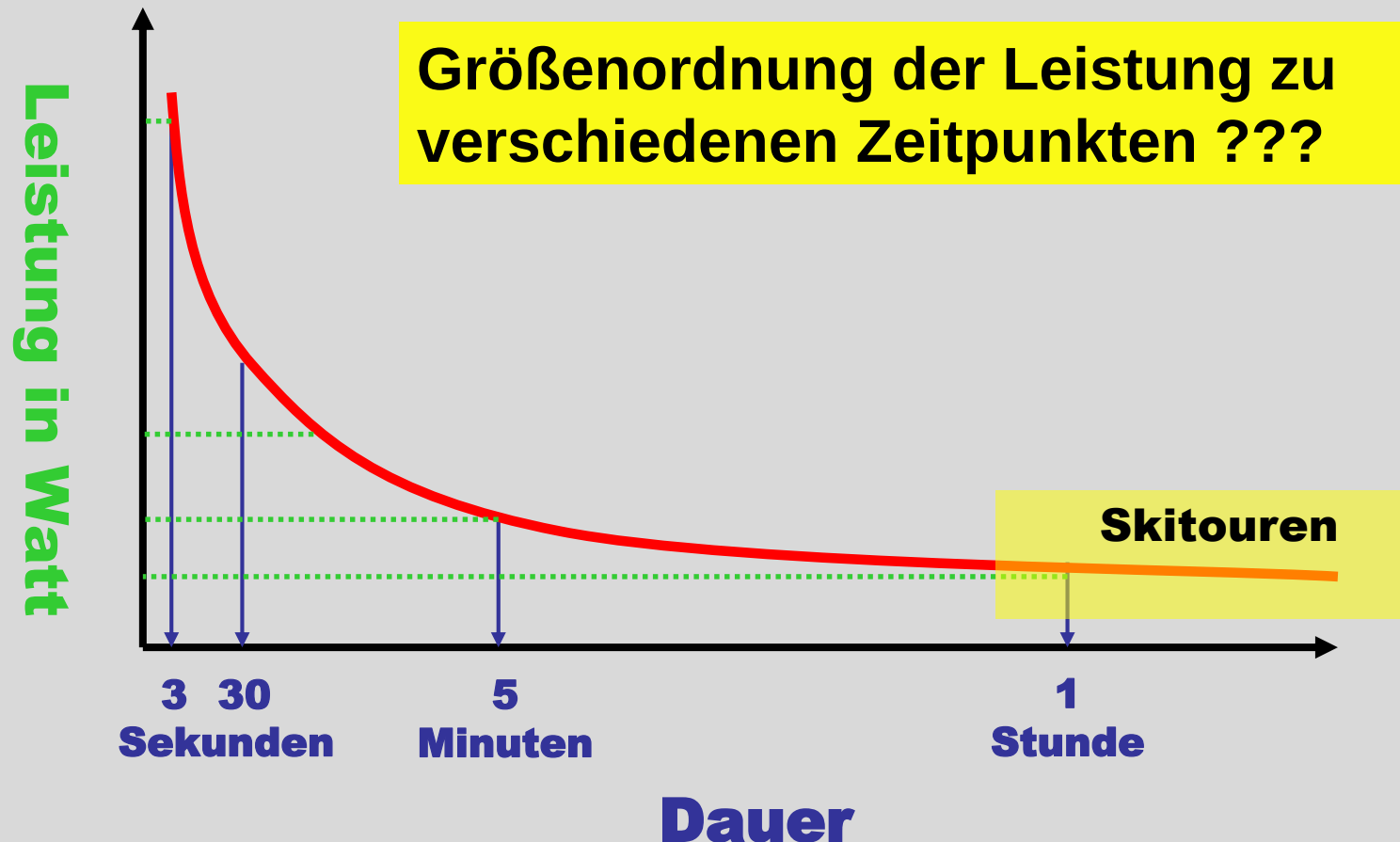


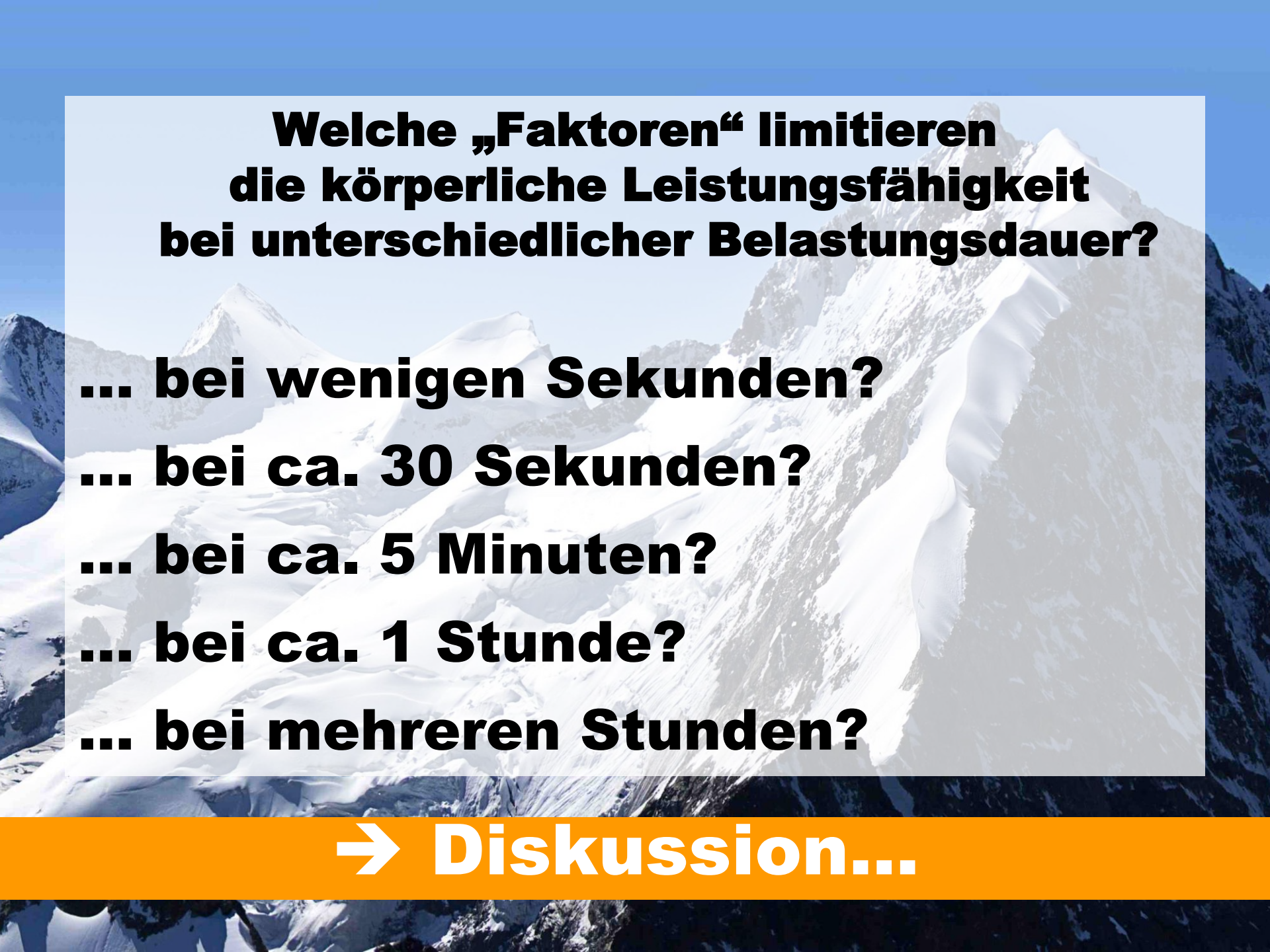
**Die VO_2max wird oft als Mittelwert
über 30 (oder 60) Sekunden angegeben**

Dauerleistungsgrenze

- Intra-individuell von der Belastungsdauer abhängig:
Bsp.: 30 Minuten → ca. 90 % $\text{VO}_{2\text{max}}$
 60 Minuten → 70 - 85 % $\text{VO}_{2\text{max}}$
 mehrere Stunden → 50 - 60 % $\text{VO}_{2\text{max}}$
- Inter-individuelle Unterschiede groß und multi-faktoriell (Stoffwechsel, Muskulatur, etc.)
- Verschiedene Konzepte zur Abschätzung
→ „Schwellenkonzepte“

Abhängigkeit der körperlichen Leistung von der Belastungsdauer





**Welche „Faktoren“ limitieren
die körperliche Leistungsfähigkeit
bei unterschiedlicher Belastungsdauer?**

... bei wenigen Sekunden?

... bei ca. 30 Sekunden?

... bei ca. 5 Minuten?

... bei ca. 1 Stunde?

... bei mehreren Stunden?

→ Diskussion...

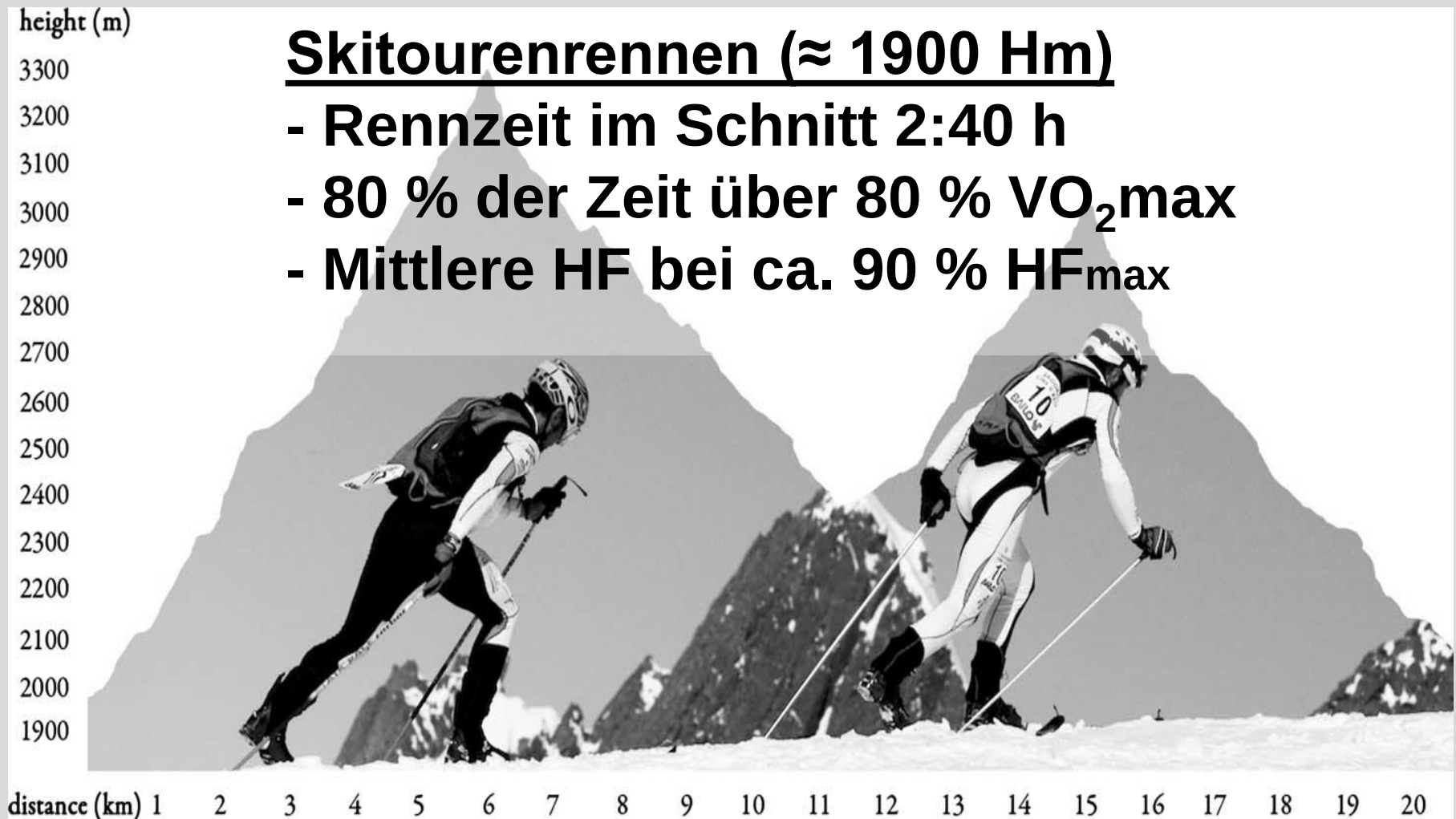
Dauerleistungsgrenze beim Bergsteigen

- Beim klassischen Bergsteigen liegt die Intensität normalerweise bei 50 – 70 % der VO_2max und somit deutlich unterhalb des MLSS (*Billat et al. 2010*)
- Beispiel: $\text{VO}_2\text{max} = 40 \text{ ml/min/kg}$
 ➔ VO_2 auf Bergtour $\approx 25 \text{ ml/min/kg}$
- Daten von Expeditionsbergsteigern (*Ölz et al. 1986*):
 - hoher Anteil Typ-I-Fasern ($< \text{Langstreckenläufer}$)
 - intramuskulärer Fettanteil hoch (= Langstreckenläufer)

Dauerleistungsgrenze beim Wettkampfbergsteigen

Skitourenrennen (≈ 1900 Hm)

- Rennzeit im Schnitt 2:40 h
- 80 % der Zeit über 80 % VO_2max
- Mittlere HF bei ca. 90 % HF_{max}



(Schenk et al. 2011)

Bewegungsökonomie: Einflussfaktoren

Die Bewegungsökonomie beim Bergsteigen bzw. Skitourengehen hängt u.a. ab von:

- **Umweltbedingungen**
(z.B. Forstweg vs. loses Blockwerk)
- **der individuellen Anthropometrie**
(z.B. lange vs. kurze Beine bei hohen Tritten)
- **der persönlichen Ausrüstung**
(z.B. Skitourenrenn- etc. vs. Freeride-Equipment)
- **der Bewegungstechnik**
(z.B. Bergführer vs. „Skitourenneuling“, eventuell Ermüdung)

Bewegungsökonomie: Abschätzung beim Bergaufgehen

$$\text{VO}_2 \text{ (ml/min/kg)} = (0,133 \times D_h + 2 D_v) / t + 3,5$$

(Burtscher 2004)

D_h = horizontale Distanz [m]

D_v = vertikale Distanz [m]

t = Zeit [min]

➔ für 300 Hm/h ➔ $\text{VO}_2 \approx 18 \text{ ml/min/kg}$

➔ für 600 Hm/h ➔ $\text{VO}_2 \approx 32 \text{ ml/min/kg}$

(gültig für optimale Neigung ($\approx 15\%$) und Wegbeschaffenheit, keine Zusatzlast)

**In der Praxis kann die Bewegungsökonomie
inter- und intra-individuell von dieser Formel abweichen!**

Bewegungsökonomie: Bergsportspezifische Daten

- Expeditionsbergsteiger = Untrainierte beim Bergauflaufen und -gehen am Laufband (Ölz et al. 1986)
- Ökonomie im Gelände (Fels/Eis) 10 – 20 % besser bei erfahrenen Bergsteigern*innen versus Neulingen (Billat et al. 2010)
 - ➔ höhere Geschwindigkeit bzw.
 - ➔ geringere Beanspruchung
 - ➔ geringerer Energieverbrauch
- Keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (Billat et al. 2010)

Bewegungsökonomie, Dauerleistungsgrenze und VO_2max : Rechenbeispiel

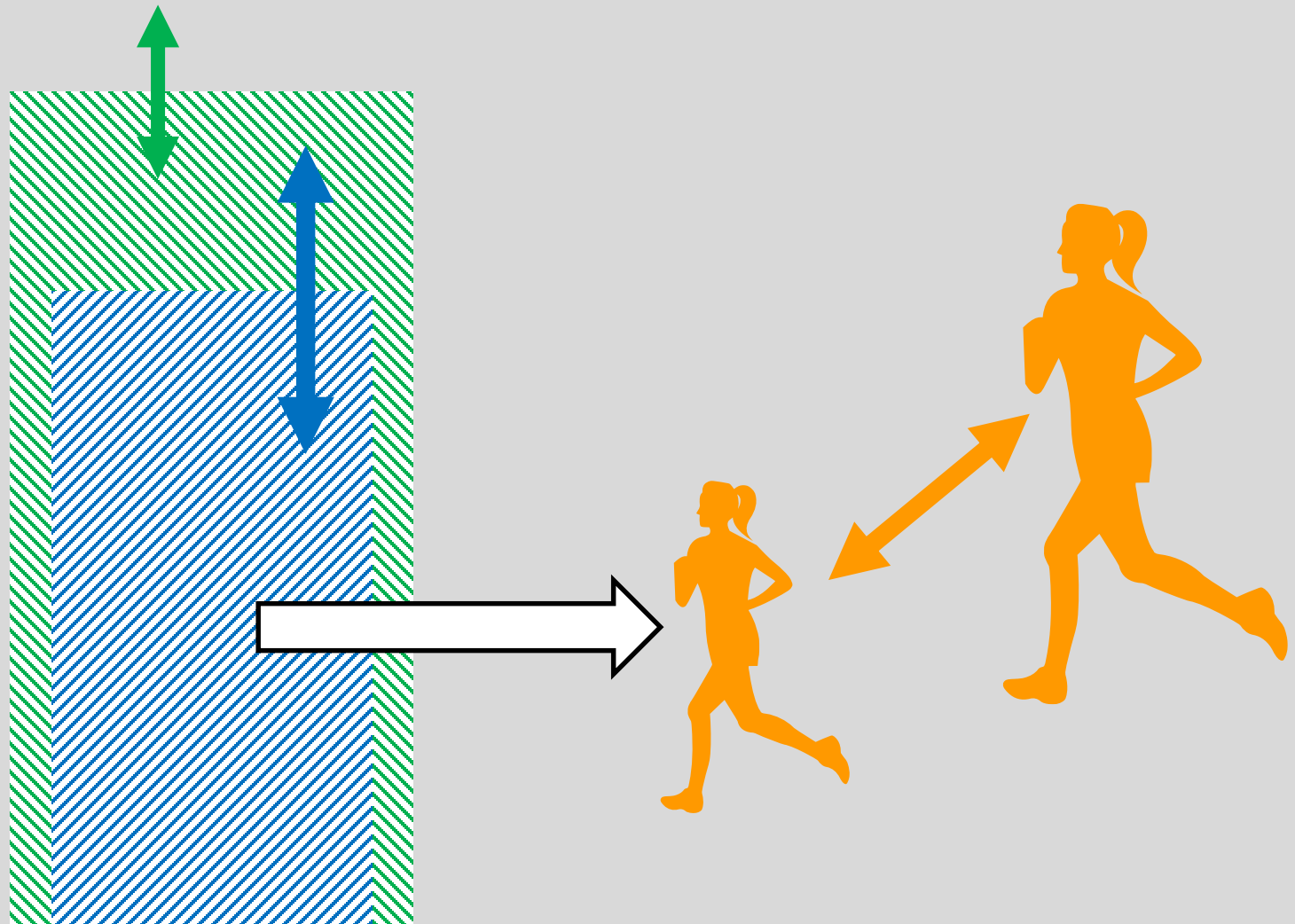
Voraussetzungen:

- „Normale“ Bewegungsökonomie auf Forstweg
- Dauerleistungsgrenze bei ca. 60% VO_2max

➔ VO_2max : ca. 30 ml/min/kg für 300 Hm/h
ca. 55 ml/min/kg für 600 Hm/h

...nötig, um diese Belastung über mehrere Stunden durchhalten zu können.

VO₂max, Dauerleistungsgrenze und Bewegungswirtschaft



Beispiele aus der Praxis: „Skitourenneuling“

- junger Mann, VO_2max 50 ml/min/kg
→ gut trainiert
 - steiler Hang mit glatter Spur + Spitzkehren
→ für ihn schwierigeres Gelände
 - schwere Ausrüstung („Freeride-Equipment“)
 - Aufstiegstempo ca. 400 Hm/h
→ O_2 -Verbrauch ca. 40 ml/min/kg
- Intensität ca. 80 % VO_2max → am Limit“**

Beispiele aus der Praxis: Bergführer*in

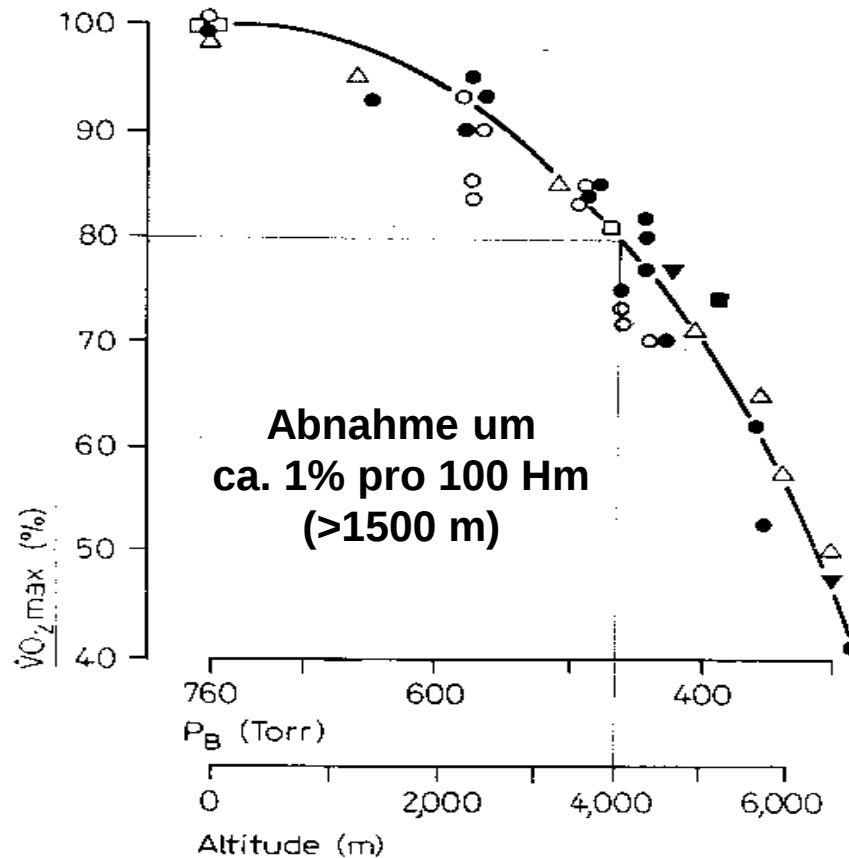
- Alter 45 Jahre, VO_2max 40 ml/min/kg
→ altersgemäß „gut trainiert“
 - steiler Hang mit glatter Spur + Spitzkehren
→ für ihn/sie problemloses Gelände
 - leichte Ausrüstung
 - Aufstiegstempo ca. 400 Hm/h
→ O_2 -Verbrauch ca. 26 ml/min/kg
- Intensität ca. 65 % VO_2max → „moderat“**

Beispiele aus der Praxis: Skitouren-Wettkampfathlet

- Mann, Alter 30 Jahre, VO_2max 75 ml/min/kg
→ hochtrainiert
- steiler Hang mit glatter Spur + Spitzkehren
→ für ihn problemloses Gelände
- extrem leichte Ausrüstung
- Dauerleistungsgrenze bei 90 % VO_2max
- O_2 -Verbrauch ca. 67 ml/min/kg
→ **Aufstiegstempo > 1200 Hm/h**

Maximale Sauerstoffaufnahme bei akuter Höhenexposition (1)

Cerretelli/di Prampero



Beispiel aus der Testpraxis:

Proband A

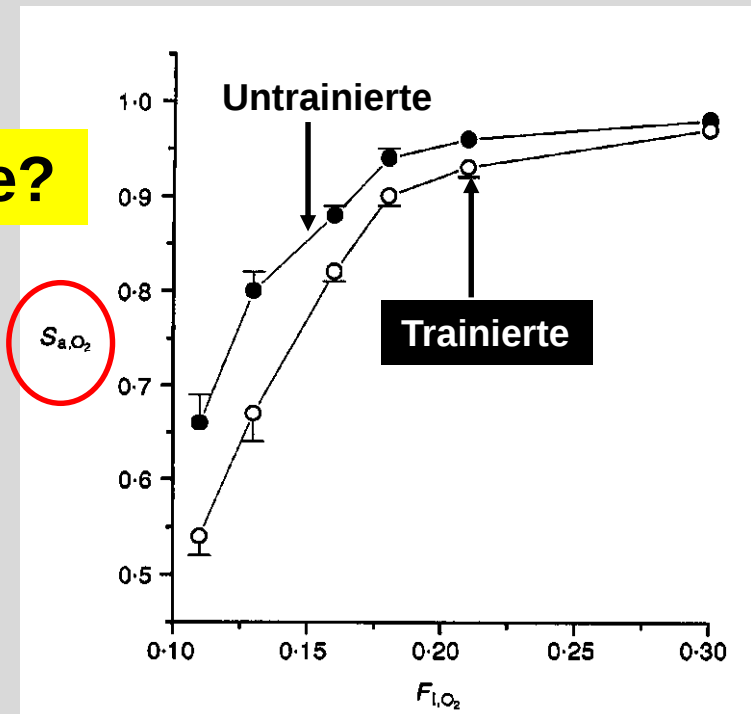
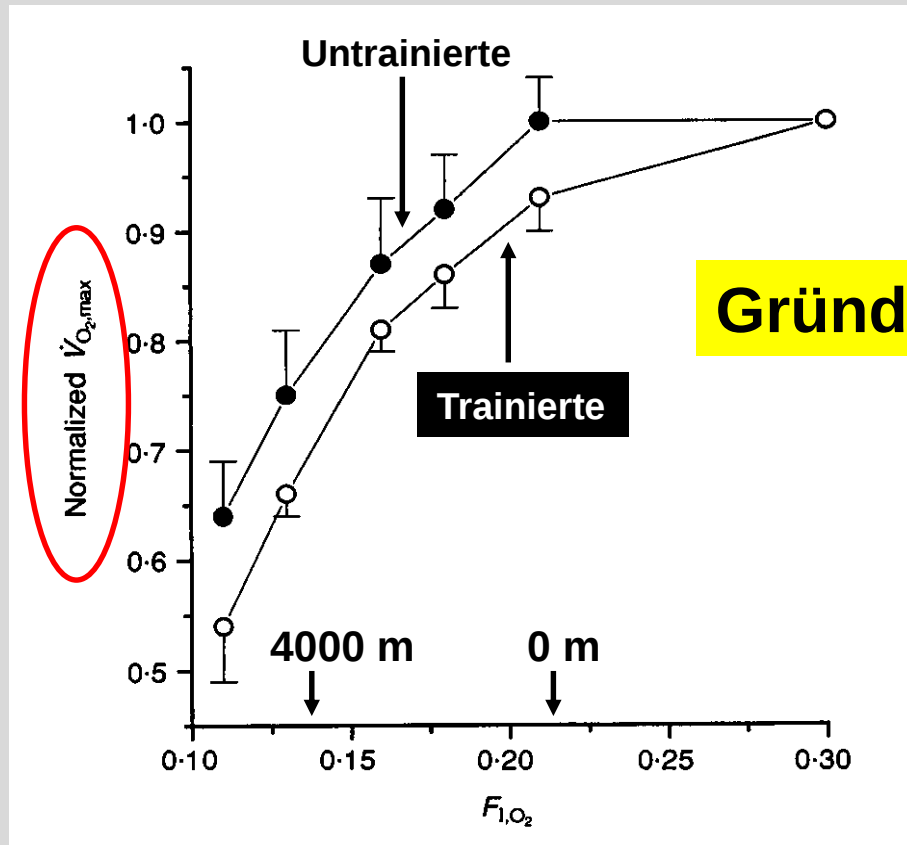
$\dot{V}O_2\text{max}$ ↓ 25% auf 4050 m

Proband B

$\dot{V}O_2\text{max}$ ↓ 16% auf 4250 m

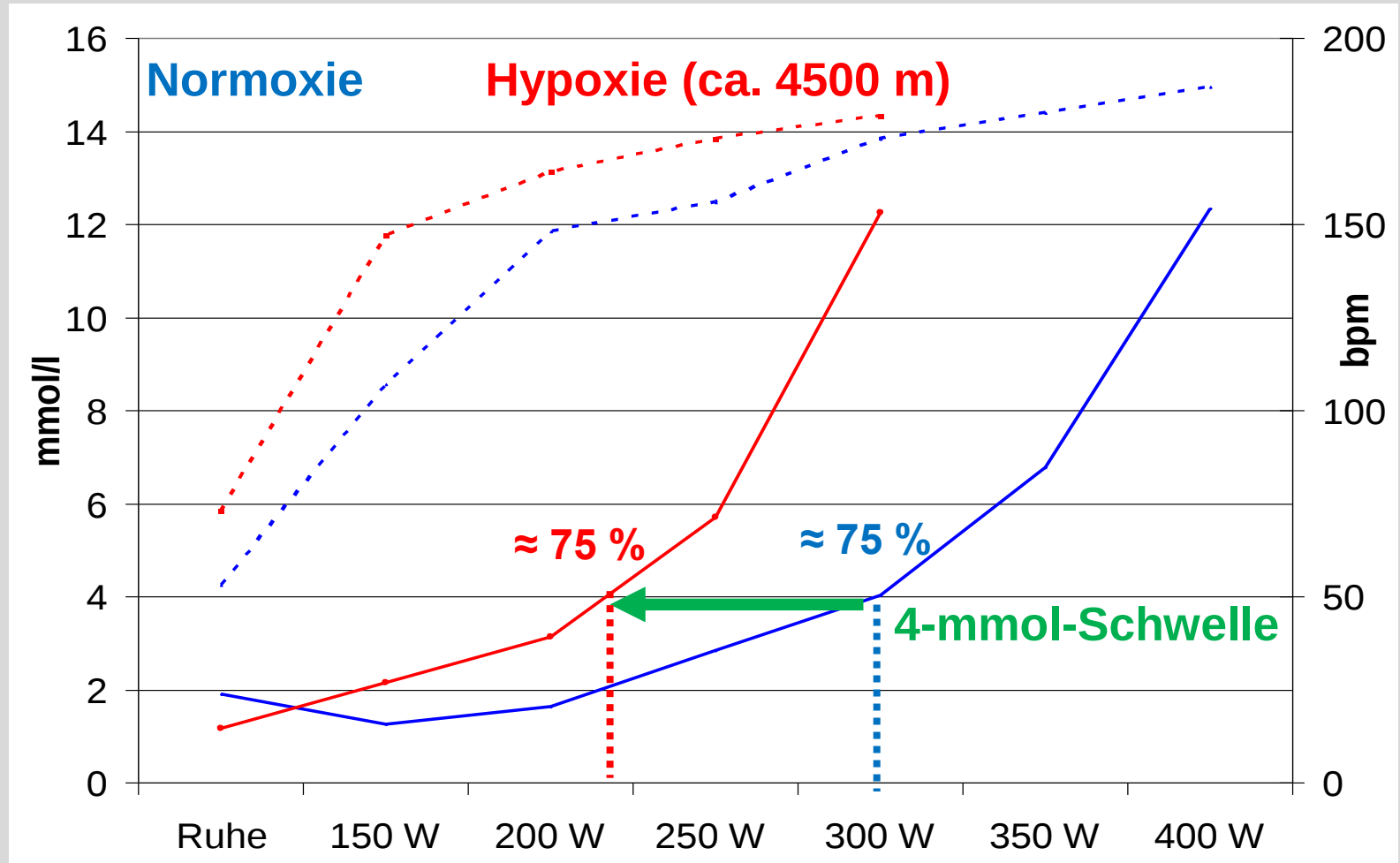
→ Individualität beachten!

Maximale Sauerstoffaufnahme bei akuter Höhenexposition (2)



(Ferretti et al. 1997)

Laktat-Leistungs-Kurve bei akuter Höhenexposition

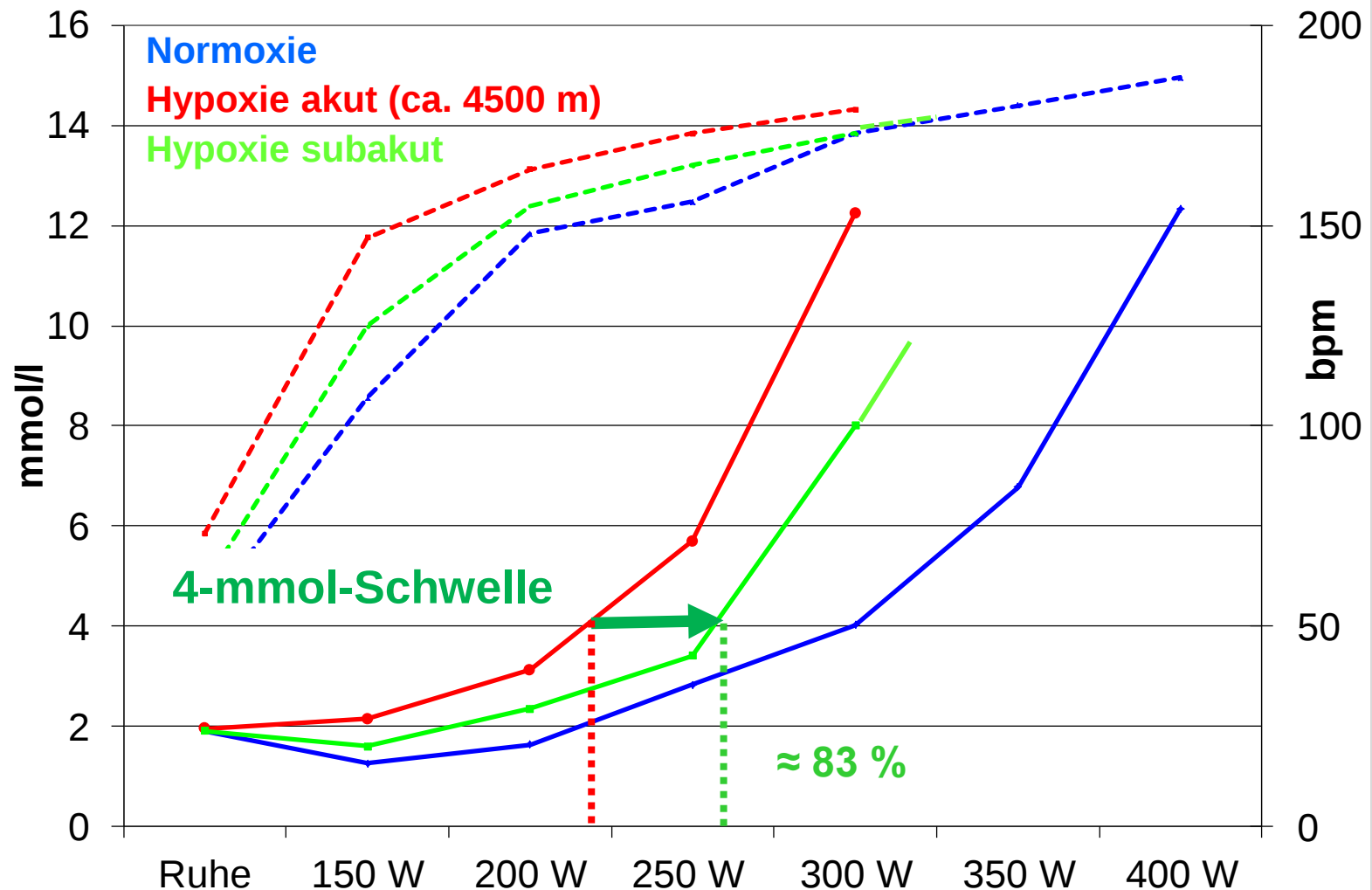


Belastungsreaktionen eines jungen Expeditionsbergsteigers

Leistungsfähigkeit bei akuter Höhenexposition (< 4000m)

- **Maximalkraft, anaerobe Kapazität ↔**
- **Koordinative Fähigkeiten ↔**
- **Maximale Sauerstoffaufnahme ↓**
- **Submaximale Ausdauerleistung ↓**
- **Submaximale Belastungsreaktionen ↑**
- **Subjektives Belastungsempfinden ↑**
- **Substrate: Kohlenhydrate ← Fette**

Laktat-Leistungs-Kurve bei subakuter Höhenexposition



Belastungsreaktionen eines jungen Expeditionsbergsteigers

Leistungsfähigkeit bei längerfristiger Höhenexposition (im Vergleich zu akuter Exposition)

- **Maximalkraft, anaerobe Kapazität ↓**
 - **Koordinative Fähigkeiten ?**
 - **Maximale Sauerstoffaufnahme ↔ (↑)**
 - **Submaximale Ausdauerleistung ↑**
-
- **Submaximale Belastungsreaktionen ↓**
 - **Subjektives Belastungsempfinden ↓**
 - **Substrate: Kohlenhydrate → Fette**

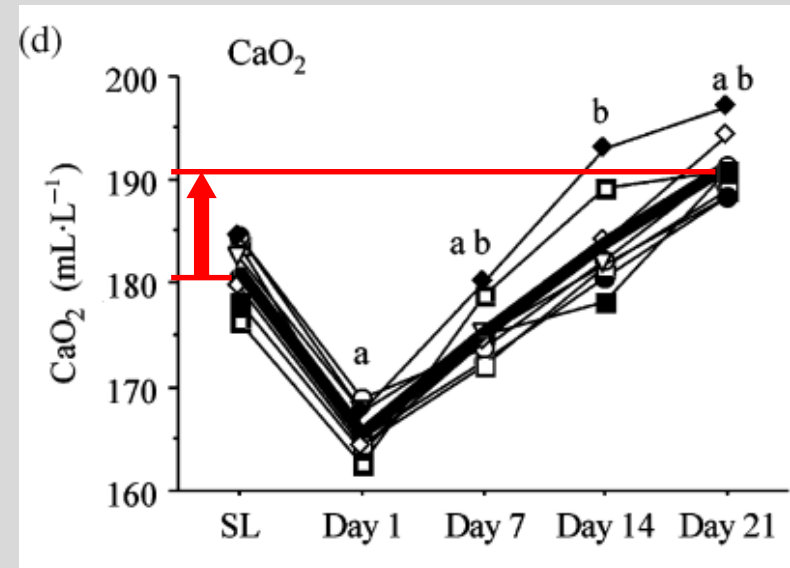
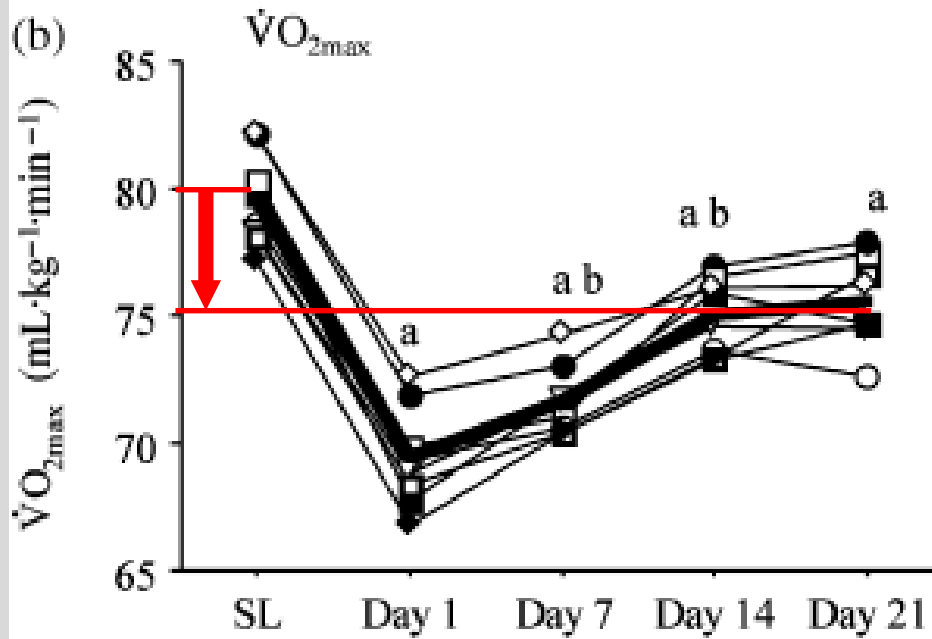
Die VO_2max nimmt im Rahmen der Höhenakklimatisation **nicht** (nur minimal) **zu!**

- + $\text{SaO}_2 \uparrow$, $[\text{Hb}] \uparrow$, ($\text{Hbmass} \uparrow$) $\rightarrow \text{CaO}_2 \uparrow \dots$
- $\text{Hfmax} \downarrow$, $\text{SVmax} \downarrow \rightarrow \text{HMVmax} \downarrow$
- Blutumverteilung zu Ungunsten der Arbeitsmuskulatur
- Muskuläre oxidative Kapazität $\downarrow$

ZENTRALE vs. PERIPHERE LIMITIERUNG???

$\dot{V}O_2\text{max}$ bei längerfristigem Aufenthalt in mittlerer Höhe

8 Radsportler (Leistungsniveau)
3-wöchiger Aufenthalt auf 2340 m,
Training in Tallage



(verändert nach: Schuler et al. 2007)

Die submaximale Dauerleistungsfähigkeit verbessert sich im Rahmen der Höhenakklimatisation deutlich!

HAUPTGRÜNDE:

- **Ventilation** $\uparrow$ (hypoxische Atemantwort $\uparrow$ + renale Kompensation)
 $\rightarrow$ $\text{SaO}_2 \uparrow$
- **Hämokonzentration** **$\rightarrow$ $[\text{Hb}] \uparrow$**
- **Glykolyseaktivität** $\downarrow$
- **Gewöhnung an veränderte Belastungsreaktionen!!!**
 $\rightarrow$ subjektives Belastungsempfinden $\downarrow$
- **Trainingseffekte!!!...**

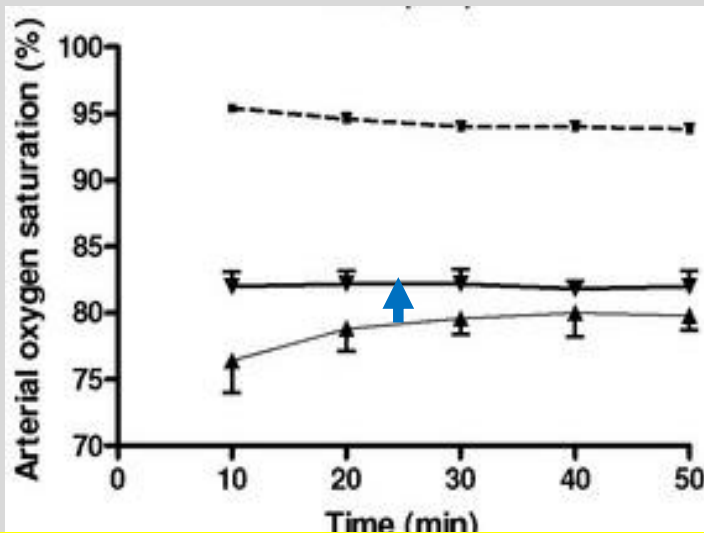
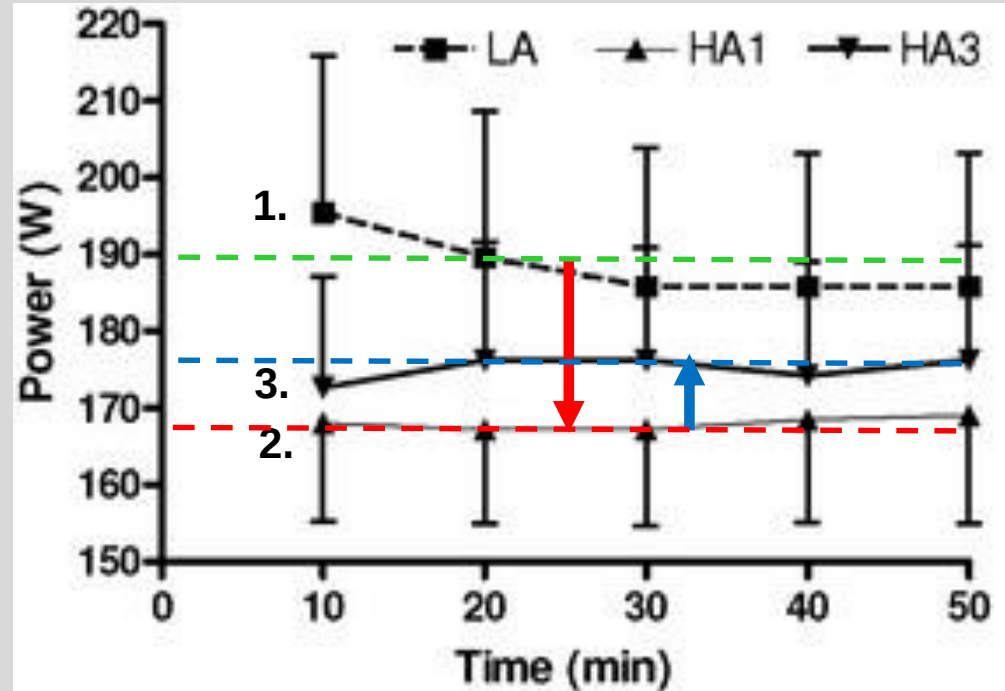
Effekte einer Kurzzeitakklimatisierung

Gut Trainierte (♂): 50-min-Dauertest → Durchschnittsleistung

1. Innsbruck 600 m

2. 3200 m akut (1.Tag)

3. 3200 m am 3. Tag



Der Anstieg der Sauerstoffsättigung vom 1. zum 3. Tag in der Höhe erklärt 97 % der Leistungsverbesserung!

Zusammenfassung

- 1. VO_2max , Dauerleistungsgrenze und Bewegungsökonomie sind in vielen Bergsportdisziplinen unabhängige leistungslimitierende Faktoren.**
- 2. Das Anforderungsprofil ist abhängig von der „Bergsportdisziplin“ (Bsp. Höhenbergsteigen vs. Wettkämpfe)**
- 3. Akute Höhenexpositionen beeinflussen die aerobe Energiebereitstellung mit individuellen Unterschieden.**
- 4. Akklimatisationseffekte verbessern vor allem die submaximale Ausdauerleistungsfähigkeit.**

HERZLICHEN DANK

FÜR EURE

AUFMERKSAMKEIT