

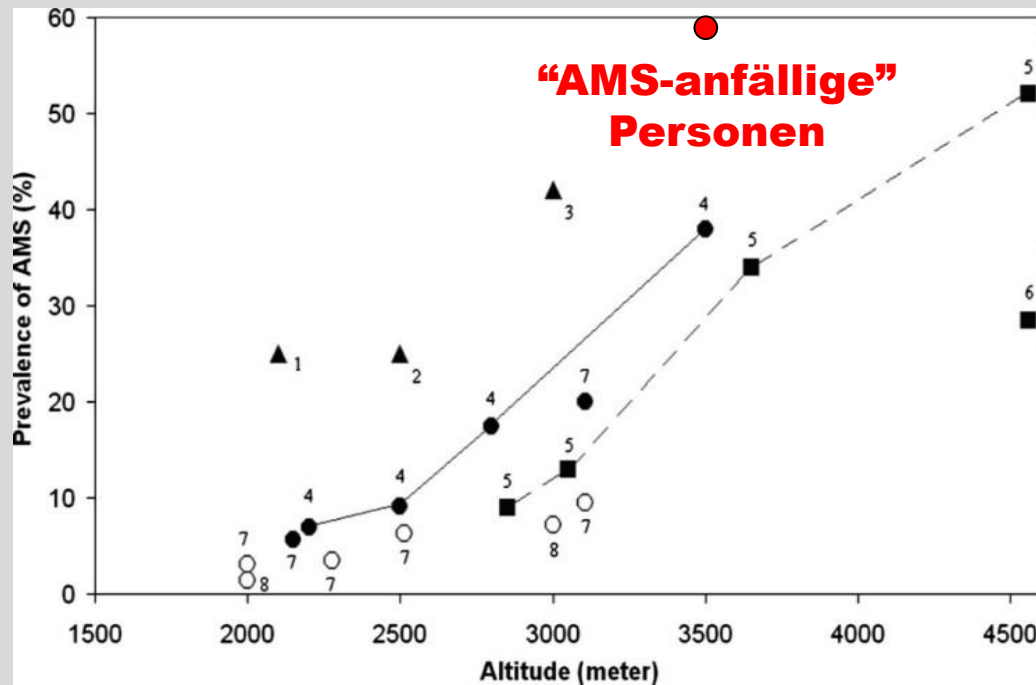
Vorakklimatisierung

- ...in natürlicher Höhe
- ...in künstlicher Höhe

Alpinärztekurs 30.01.2024

Heidelberger Hütte

Martin Faulhaber



AMS → Risiken:

- → HAPE / HACE (*Netzer 2013*)
- Chance auf Gipfelerfolg ↓
- Freude, Spaß ↓ ↓
- Motorische + kognitive Fähigkeiten ↓

(*Hamilton et al. 1991*)

→ Unfallrisiko ↑

“Klassische” Höhenakklimatisation in natürlicher Höhe: Generelle Empfehlungen

- Oberhalb von 2500 bis 3000 m sollte man die Schlafhöhe möglichst nicht um mehr als 300 bis 500 Höhenmeter pro Tag vergrößern.
- Jeden dritten Tag eine Nacht auf gleicher Höhe bleiben.
- Wenn möglich, sollte man nicht auf der höchsten am jeweiligen Tag erreichten Höhe übernachten.
- ...

“Klassische” Höhenakklimatisation

Kontinuierliche Höhenexpositionen nach klassischen Akklimatisationsregeln...

→ Risiko für „Höhenerkrankungen“ ↓

Aber...

- kosten Zeit, Urlaubstage und Geld
- sind oft verbunden mit negativen Effekten
(Leistung in Tallage ↓, schlechte Trainingsbedingungen,...)
- sind oft in der Praxis nicht möglich
(geografische Aspekte, Militär, Rettungseinsätze, Geschäftsleute)
- **reichen für anfällige Personen oft nicht aus!**

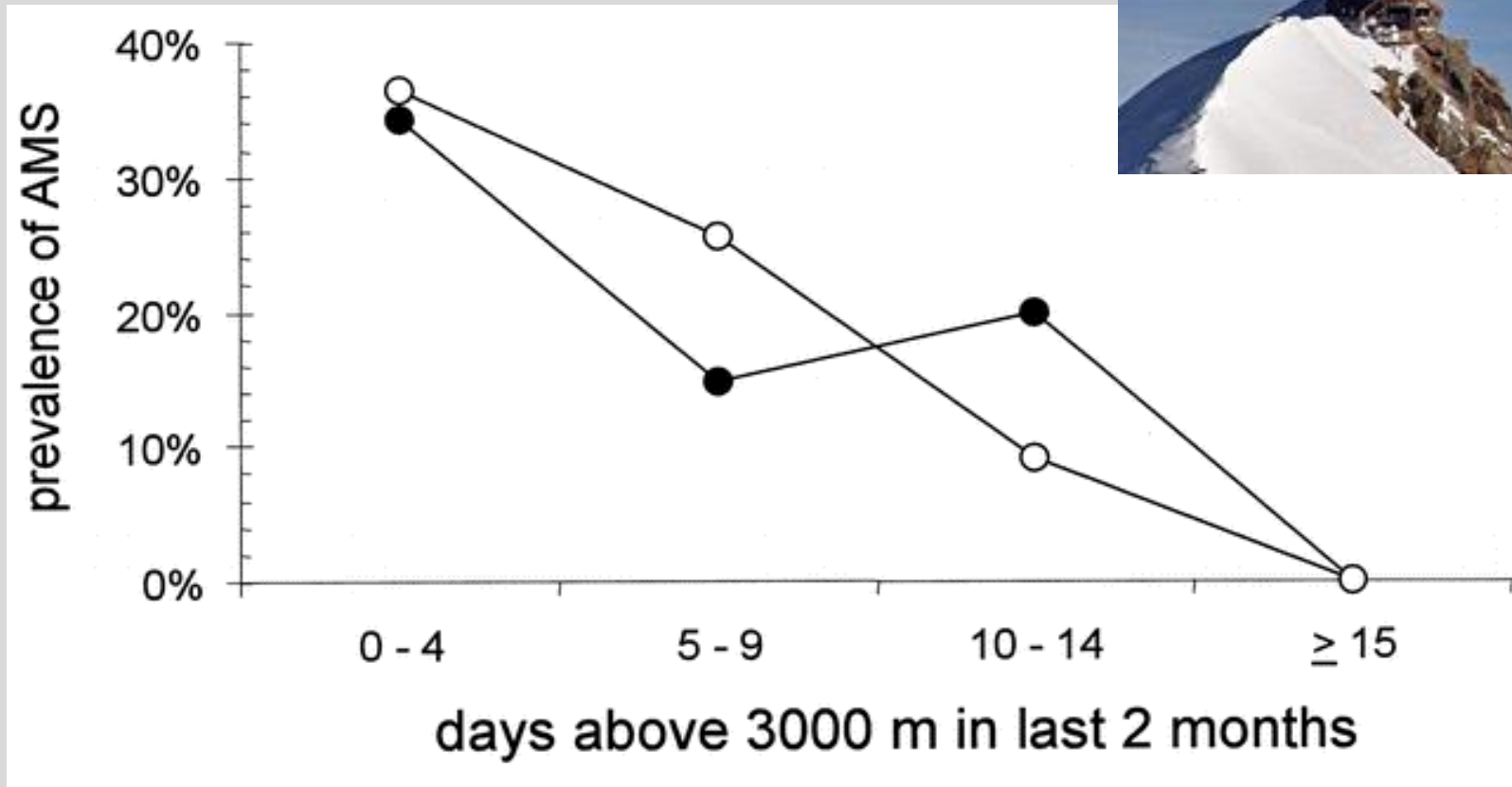
Effekte einer (zusätzlichen) Vorakklimatisation ?

A wide-angle photograph of a snowy mountain landscape. In the upper left, a dark, rectangular building sits on a rocky ridge. Below it, a steep, snow-covered slope descends. Several small figures of people are visible on the slope, some standing and some moving. The foreground is a vast, flat expanse of snow with some tracks and small mounds. The sky is overcast and grey.

Vorakklimatisation in natürlicher Höhe

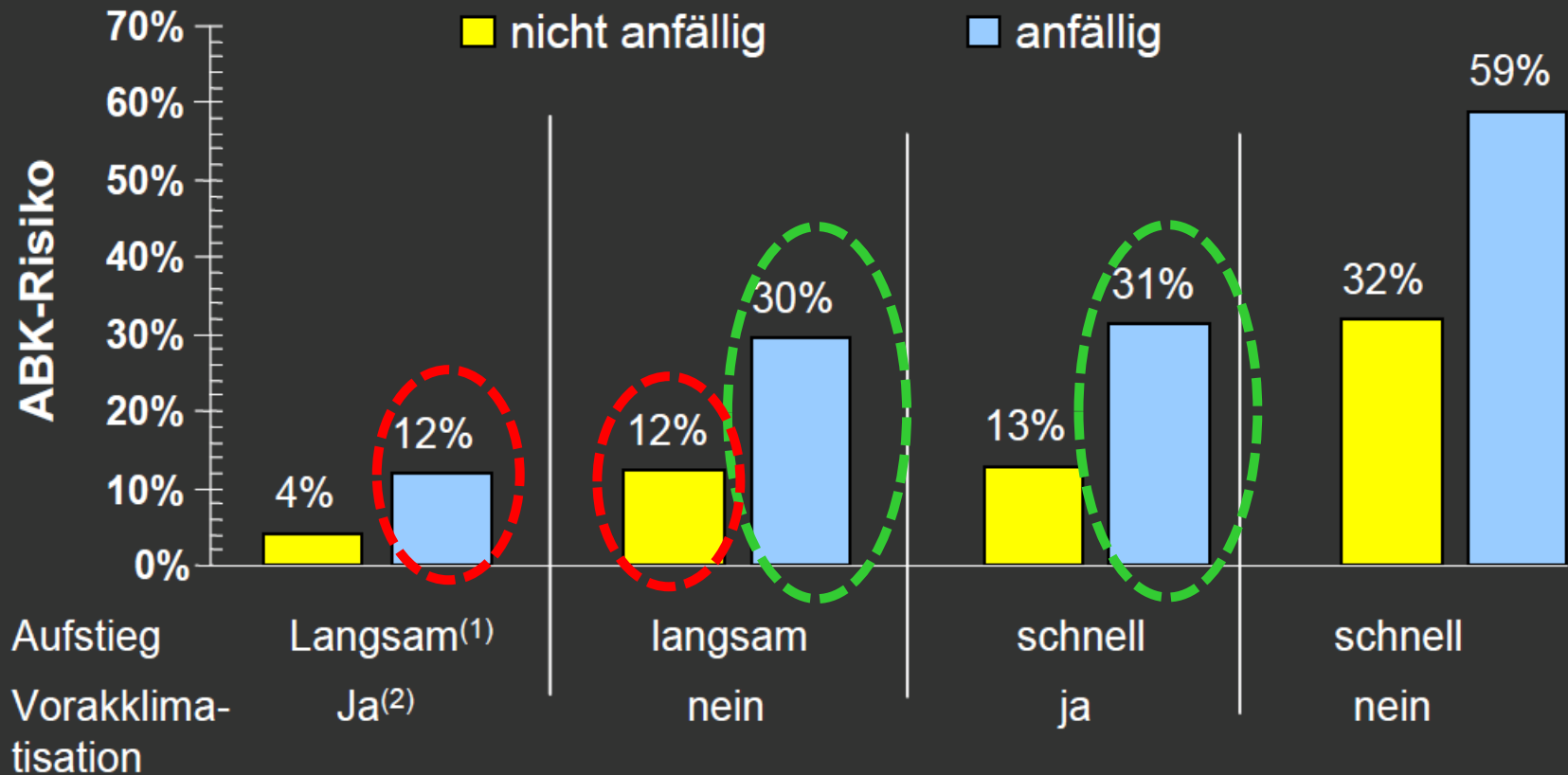
Was ist „Vorakklimatisation“?

Wiederholte Tagesexpositionen in natürlicher Höhe



(Schneider et al. 2002)

Risiko für Akute Bergkrankheit auf 4559 m

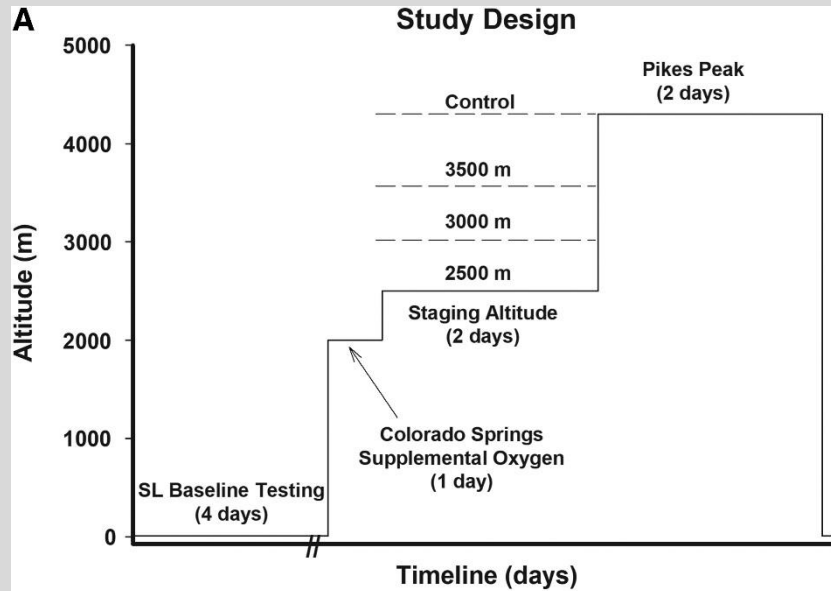


(1) ≥ 4 Tage

(2) ≥ 5 Tage über 3000 m in den letzten 2 Monaten

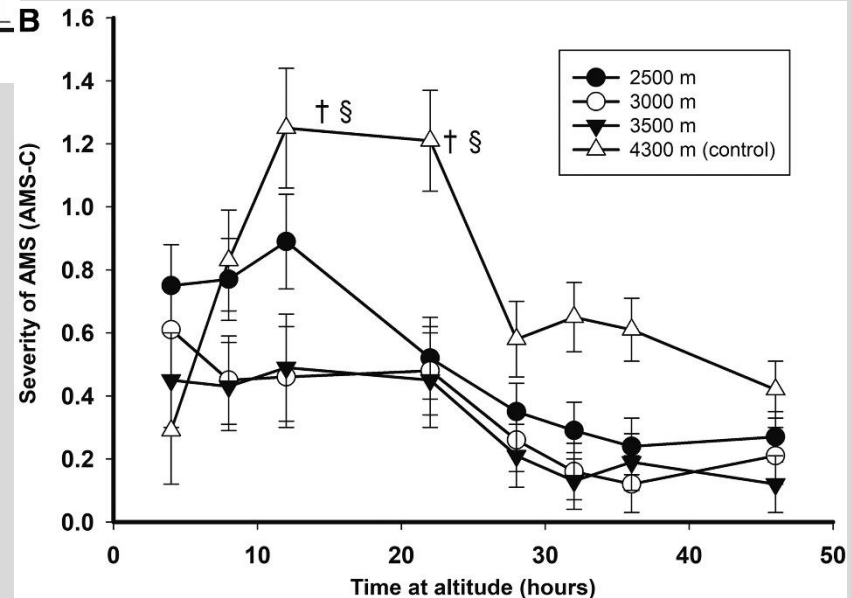
(Grafik mit freundlicher Genehmigung von M.M. Berger. Daten aus: Schneider et al. Med Sci Sports Exerc 2002)

2 Tage in natürlicher Höhe



Gesamtinzidenz AMS:

- Controls: 83 %
- 2500 m: 67 %
- 3000 m: 43 %
- 3500 m: 40 %



„Langzeit- / Dauerakklimatisation“

- 128 Heeresbergführer → „akklimatisiert“
- Spiroergometrie 600 m und 2000 m
- VO_2max – 3 %
- ALLERDINGS:
Subgruppe $< 51 \text{ ml/min/kg } \text{VO}_2\text{max}$ ↔
Subgruppe $\geq 51 \text{ ml/min/kg } \text{VO}_2\text{max}$ – 5 %
- Submaximale Reaktionen ↔ bis ↓

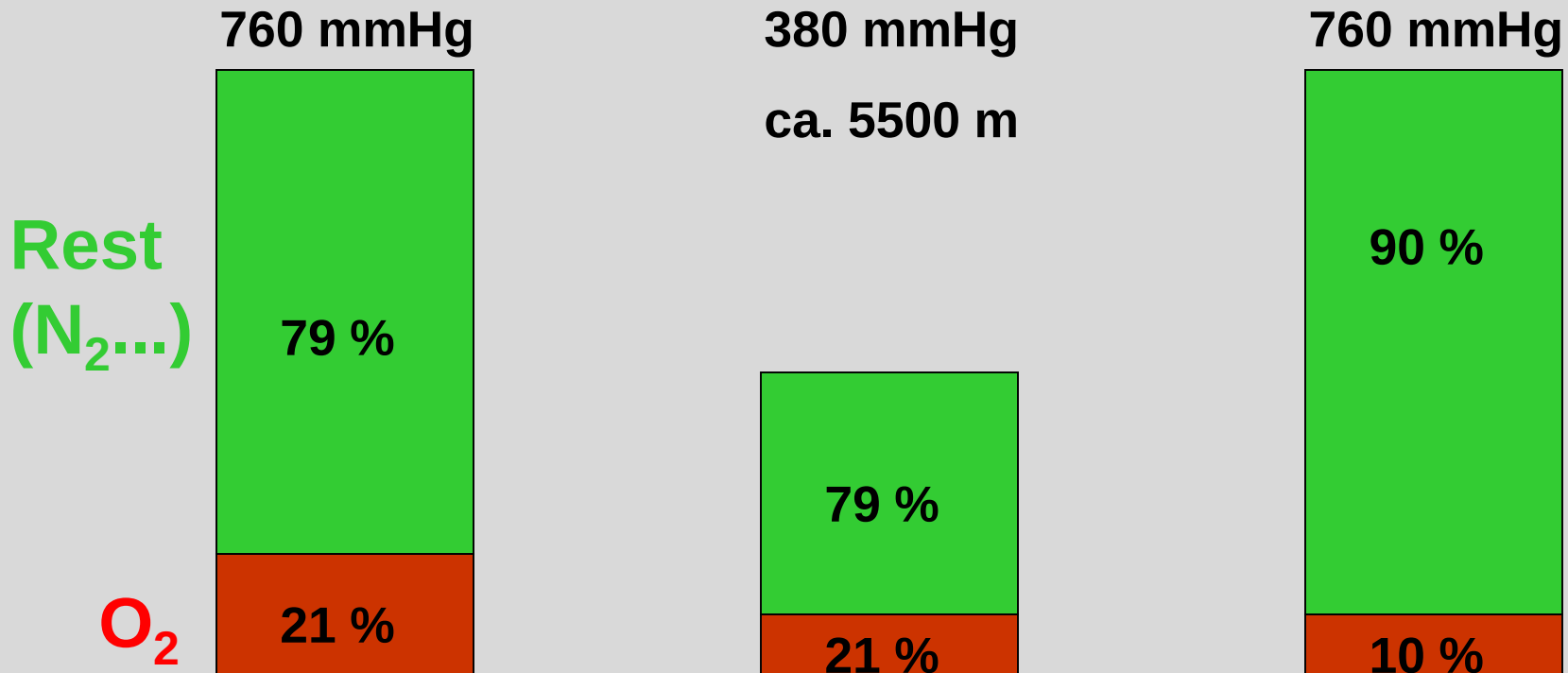
Regelmäßige Höhenexpositionen über Monate / Jahre als „Vorakklimatisation“ wirksam

A tall, silver, cross-shaped weather station stands on a snowy mountain peak. The structure has a central vertical pole with several horizontal arms. At the top of the vertical pole is a wooden cross-shaped marker. The background shows a vast, snow-covered mountain range under a clear blue sky.

Vorakklimatisation in künstlicher Höhe

Hypobare vs. normobare Hypoxie

Gesamtluftdruck



Was ist hypobare Hypoxie, normobare Hypoxie, Normoxie ???



Normobare Hypoxie in der Praxis



Vorakklimatisation in natürlicher und simulierter Höhe

Richalet und Mitarbeiter „Everest-Turbo“ (1992):

- 1 Woche in natürlicher Höhe (4350 – 4808 m)
 - + 4 x ca. 10 Std. in einer Unterdruckkammer (5000 – 8500 m)
- ➔ Benötigte Akklimationszeit bei nachfolgender Expedition ↓ (ca. 2 Wochen)

(Richalet et al. 1992)

- ➔ Praktikabel für „normale“ Höhenbergsteiger*innen?
- ➔ Wirksamkeit kürzerer Hypoxie-Expositionen?

EVEREST NORD FLASH™

[STARTSEITE](#) → [REISEN](#) → EVEREST NORD FLASH™

Der Berg aller Berge. In nur 3 Wochen.

**8 Wochen „klassisch“
➔ 6 – 8 Wochen + 3 Wochen „Flash“**

Während eine normale Everest Expedition knapp zwei Monate in Anspruch nimmt, kommt unsere **Flash™ Expedition mit drei Wochen** aus. Und erhöht dabei [Sicherheit und Erfolgschancen](#).

Zeit ist unser wertvollstes Gut. Wir verändern das Expeditionsbergsteigen an hohen Bergen grundlegend. Einen Hauptgrund für missglückte Besteigungen eines 8.000ers macht die lange Akklimatisationszeit am Berg aus. Die mehrfachen Auf- und Abstiege und die Gefahr von Infektionen im Basislager, wo sich viele Menschen auf engem Raum aufhalten, raubt vielen Bergsteigern die Kraft, bevor der eigentliche Aufstieg überhaupt begonnen hat. Um die Erfolgschancen zu erhöhen, beginnen wir mit der **Akklimatisation mittels Hypoxiezelt**, in dem der Sauerstoffgehalt von großen Höhen simuliert werden kann, bereits 6-8 Wochen vor Reiseantritt bei Ihnen zu Hause. Alle Teilnehmer schlafen in

(<https://www.furtenbachadventures.com/reisen/everest-flash/>, 10.01.2023)

Review

Rapid ascents of Mt Everest: normobaric hypoxic preacclimatization

Markus Tannheimer  Assoc Prof. Dr med^{1,*} and Raimund Lechner Dr med²

¹University of Ulm, Department of Sport and Rehabilitation Medicine, Leimgrubenweg 14, 89089075 Ulm/75 Ulm, Germany and ²Department of Anaesthesiology and Intensive Care, Bundeswehr Hospital Ulm, Oberer Eselsberg 40, 89081 Ulm, Germany

8000 m peaks using NHT. These plans were cancelled due to the COVID-19 pandemic.

These rapid ascents were based on two main elements, preacclimatization in NH at home prior to the expedition, with simulated sleeping altitudes comparable to 7100 m, and the use of HFSO₂ on the ascent, with the option of an increased O₂ flow rate up to 8 l O₂/min.¹³ The magnitude of the beneficial effect of an increased O₂ flow rate at extreme altitudes is unclear.¹⁴ We attempted to assess the relative importance of these two elements.

Methods

To study to what extent rapid ascent expeditions have already been scientifically evaluated we searched PubMed with the search terms ‘Flash / expedition’, ‘rapid ascent / expedition’ and ‘preacclimatization / expedition’. In addition we directly contacted the company (Furtenbach Adventures) that claimed 100% summit success in 2018 and 2019 for further information. We checked the claims regarding successful summits using the Himalayan Database [<https://www.himalayandatabase.com>] and other publicly available data of those two expeditions to Mt Everest in 2018 and 2019.^{13, 15}

Results

The PubMed search produced no relevant references. The company was unwilling to share any information concerning the preacclimatization profile as well as the altitude profile of the ascent to Mt Everest, claiming that all information was proprietary. In the popular press and blog posts, we found reports of two rapid ascent expeditions to Mt. Everest in which the participants carried out at least 300 h in NH during 8 weeks of NHT, until just before departure, during which they reached simulated sleeping altitudes equivalent to 7100 m.^{13,19}

Physiologic effect of various oxygen flow rates

Depending on the O₂ flow rate the elevation of the summit of Mt Everest can be reduced physiologically to a equivalent altitude between 7400 and 8400 m.¹⁴ For a reduction to 7400 m this requires 2.3 l O₂/min at rest and 6.1 l O₂/min for strenuous activity. For a reduction to 8400 m 0.6 l O₂/min at rest and 1.5 l O₂/min for strenuous activity are sufficient.

A

(Tannheimer & Lechner 2020)

14 Nächte Schlafen in NH

> 100 h Hypoxie

- Design: RCT, doppelblind, $n = 21 + 21$ (Subgruppenanalyse!)
 - Schlafhöhe ca. 2200 - 3000 m (mittlere Höhe)
 - anschließend 4 Tage ohne Hypoxie („Anreise“)
-
- ➔ AMS bei 20 h (inkl. Nacht) in normobarer Hypoxiekammer auf 4500 m
 - ➔ **AMS-Symptomatik** ↓ bzw. (↓)
 - ➔ **AMS-Inzidenz** (↓)

(Dehnert et al. 2014)

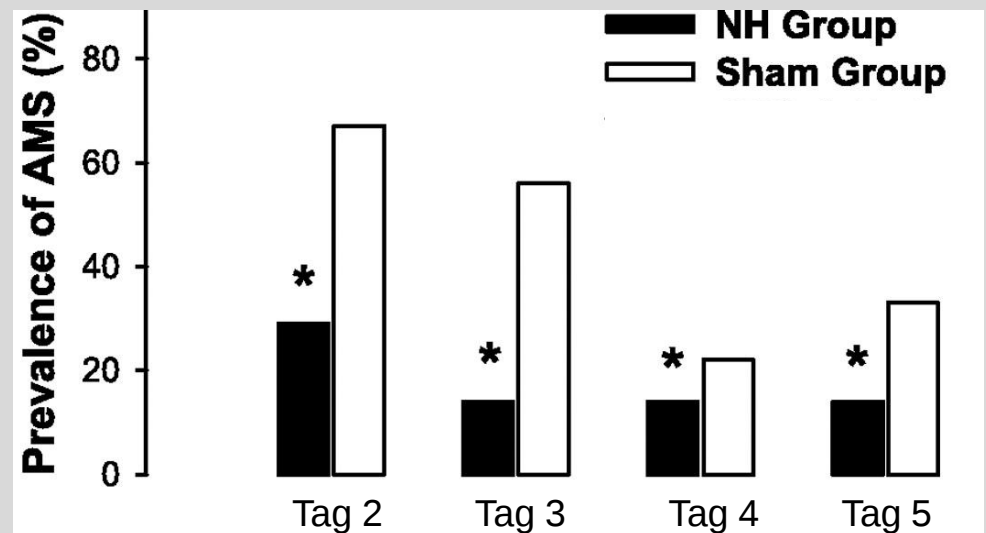
7 Nächte Schlafen in NH

ca. 50 h Hypoxie

- Design: doppelblind, $n = 14 + 9$
- Schlafhöhe ca. 2200 - 3000 m (mittlere Höhe)
- ca. 1 Tag ohne Hypoxie (Anreise)
- ➔ AMS bei mehrtägiger Exposition 4300 m natürliche Höhe (!)

Aber:
abends keine Unterschiede!

Morgens nach dem Aufwachen ➔

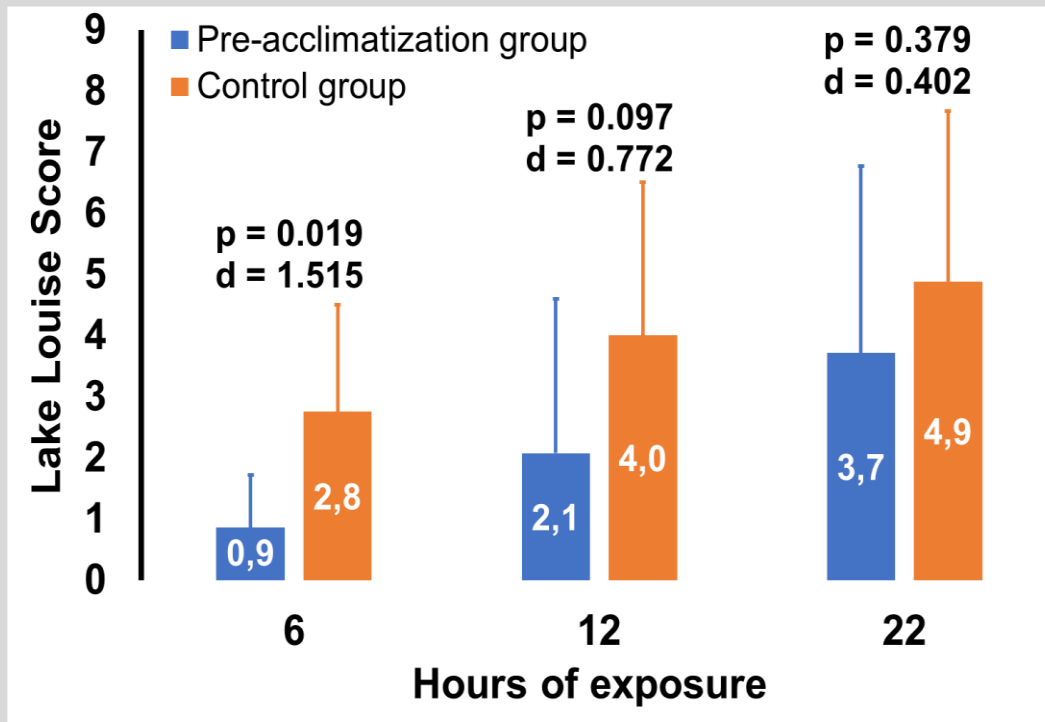


(Fulco et al. 2011)

2 Nächte Schlafen in NH

ca. 18 h Hypoxie

- Design: kontrolliert, Pilotprojekt, $n = 14 + 8$
 - Schlafhöhe: 3000 + 3500 m
- ➔ AMS bei 22-stündiger Höhenkammer-Exposition (4300 m)



(Faulhaber et al. 2021)

AMS-Inzidenz:

57 % versus 88 %

Vergleich zu
Beidleman et al. 2018
in natürlicher Höhe:
Gesamtinzidenz AMS

- Controls: 83 %
- 2500 m: 67 %
- 3000 m: 43 %
- 3500 m: 40 %

Wiederholte 3- bis 4-stündige Expositionen

- Design: „within subject“, n = 6(!)

ca. 60 h Hypoxie

➔ AMS bei 3 x 30-stündigen Expositionen in hypobarer Kammer

1. auf 0 m

2. auf 4300 m

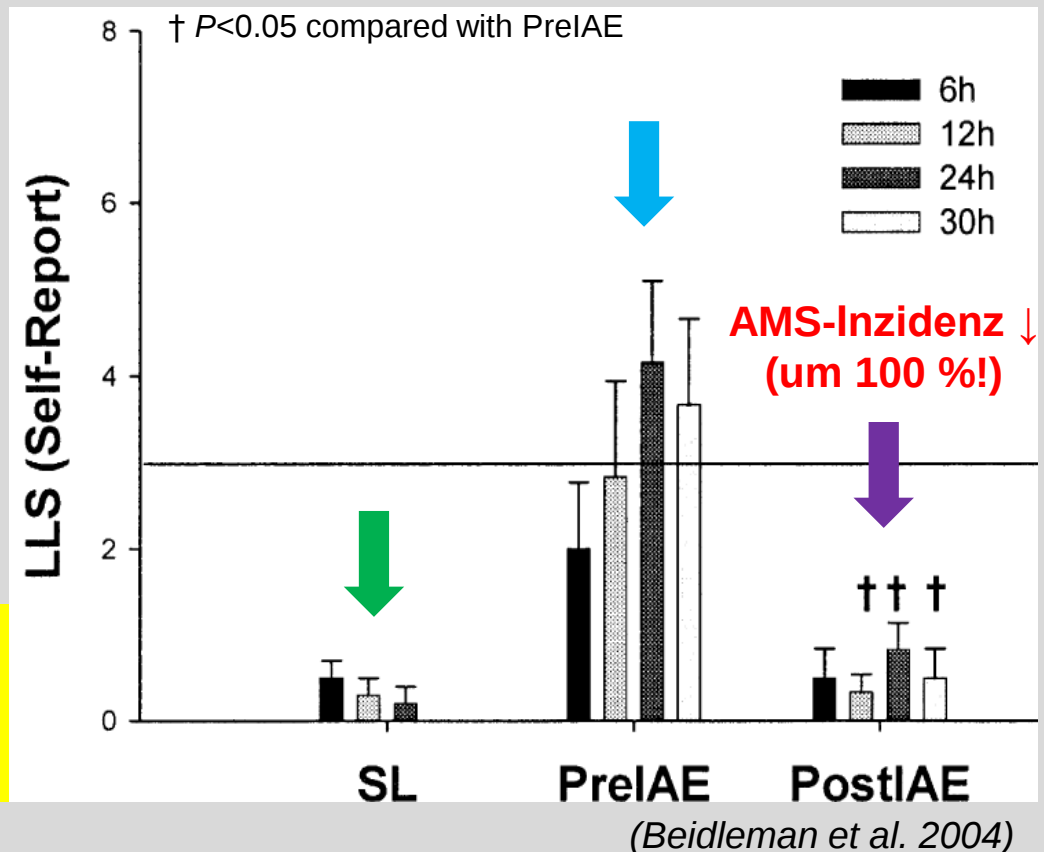
Vorakklimatisation:
15 x 4 Std. auf 4300 m

3. auf 4300 m

Signifikante Effekte
bereits bei 6 - 7 x 3 Std.

ca. 20 h Hypoxie

(Muza et al. 2006)



Wiederholte 1- bis 2-stündige Expositionen

- Design: RCT, doppelblind, n = 40
- 4-wöchiges Vorakklimatisationsprogramm:
Woche 1 - 3: je 3 x 70 min. Training in 2500 bis 3500 m
Woche 4 : 4 x 90 min. passiv in 4500 m
- 5 Tage ohne Hypoxie (Anreise)

ca. 16 h Hypoxie

➔ AMS bei Anstieg auf 4559 m (natürliche Höhe)

2. Nacht auf 4559 m:

AMS-Inzidenz 44 bzw. 50 % vs. 55 % (n.s.)



1. Nacht auf 3611 m:

AMS-Inzidenz 11 bzw. 6 % vs. 47 %
(p<0,05)



(Schommer et al. 2010)

Wiederholte 1- bis 2-stündige Expositionen: Beobachtungen aus unserem Labor

ca. 8 h Hypoxie

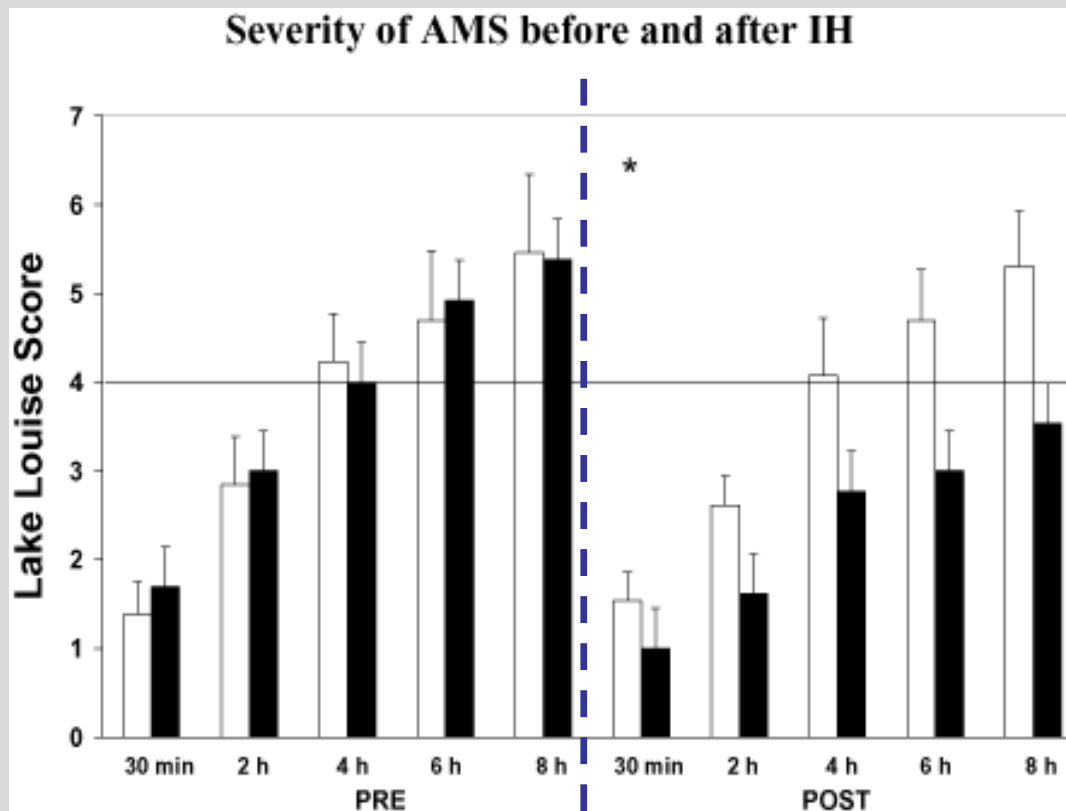
- 141 Trekker*innen + Expeditionsbergsteiger*innen
- 67 mit Vorakklimatisation
(5 x 1-2 Stunden auf 3000 bis 5000 m simulierter Höhe)
- 74 ohne Vorakklimatisation
- Fragebogen zu AMS-Symptomen während der nachfolgenden Höhenunternehmung
- AMS-Symptome: 10 % bei Vorakklimatisation
vs. 30 % ohne Vorakklimatisation
- Limitierungen: Placeboeffekt, Selektion...!!!

(Burtscher et al. 2008)

Wiederholte 1-stündige Expositionen

- Design: RCT, doppelblind, n = 13 + 13
- Vorakklimatisierung 7 x 1 Std. (4500 m, normobar)
- ➔ AMS bei 8-stündiger Höhenkammerexposition (≈ 5000 m):

ca. 7 h Hypoxie



■ Hypoxiegruppe vs.
□ Placebogruppe:

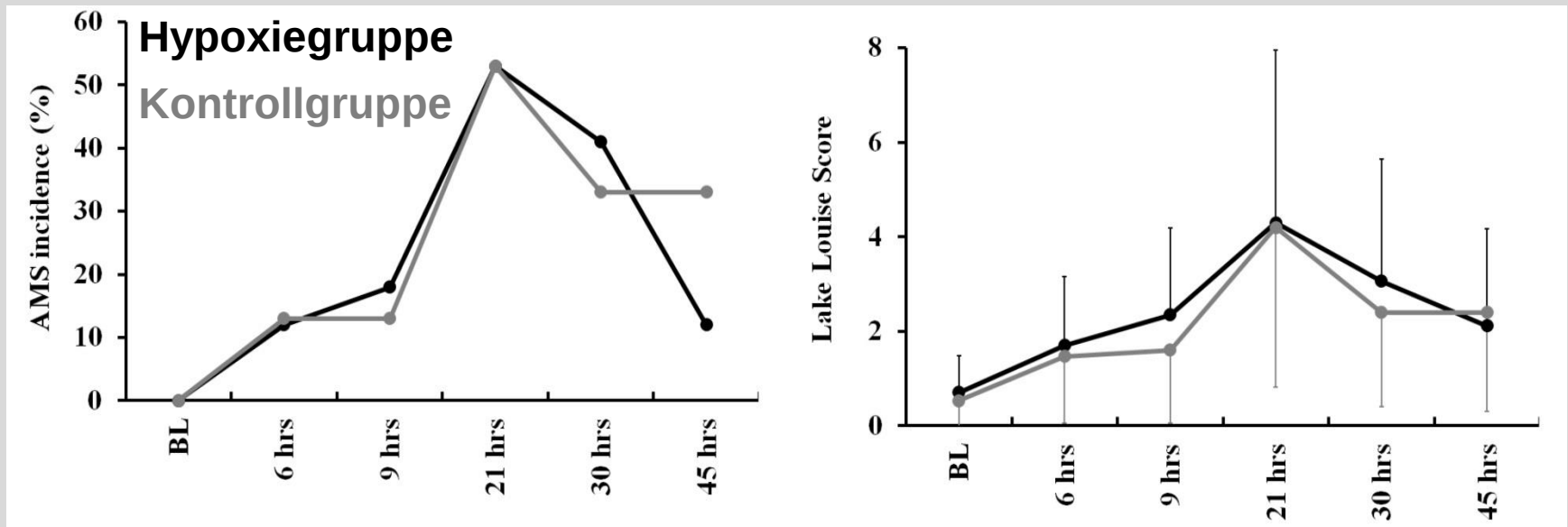
- AMS-Symptomatik ↓
- AMS-Inzidenz (↓)
(39%, $p=0,06$)

(Wille et al. 2012)

Wiederholte 1-stündige Expositionen

ca. 7 h Hypoxie

- Design: RCT, doppelblind, n = 17 + 15
 - **AMS-anfällige Personen!**
 - Vorakklimatisation 7 x 1 Std. (4500 m, normobar)
- ➔ AMS bei 45-stündiger Exposition in natürlicher Höhe (Mönchsjochhütte, 3650 m):



(Faulhaber et al. 2016)

Zusammenfassung

- + Wiederholte Tagesexpositionen (>>5) in natürlicher Höhe
- + Wiederholte Nächtigungen in natürlicher oder künstlicher Höhe
- (+) Wiederholte 3- bis 4-stündige Expositionen, mind. 20 h (*nicht doppelblind!*)
- ? Wiederholte 1- bis 2-stündige Expositionen

Mechanismen?

Normobar versus hypobar?

Labor- versus Feld?

Spezielle Personengruppen?

Wiederholte 1-stündige Expositionen: Fallstudie

- Frau (64 a) mit bekannter “Höhenunverträglichkeit”:
2 x Höhenlungenödem (HAPE) auf ca. 3500 m
- Vorakklimatisation in unserem Labor (5 x 1 Stunde)
gemeinsam mit ihrem Partner (gut „höhenverträglich“)

	Simulierte Höhe	SaO ₂ HAPE	SaO ₂ NON-HAPE
Tag 1	(ca. 4300 m)	59-73	85
Tag 2	(ca. 4300 m)	77	85
Tag 3	(ca. 4800 m)	79	80
Tag 4	(ca. 4800 m)	80	81
Tag 5	(ca. 3500 m)	89	92

➔ tolerierte Höhen bis 5000 m beim nachfolgenden
Trekking ohne Probleme bzw. AMS-/HAPE-Symptome!

➔ HAPE-anfällige Personen (mit geringem HVR)
als Zielgruppe (dieser Art) von Vorakklimatisation ?...

HERZLICHEN DANK FÜR EURE AUFMERKSAMKEIT

Journal of Science in Sport and Exercise (2022) 4:331–345
<https://doi.org/10.1007/s42978-021-00150-0>

REVIEW ARTICLE

Hypoxia Conditioning for High-Altitude Pre-acclimatization

Martin Burtscher^{1,2}  · Grégoire P. Millet^{3,4} · Johannes Burtscher^{3,4}

Received: 1 August 2021 / Accepted: 15 October 2021 / Published online: 9 January 2022
© The Author(s) 2022