

**Th. Kupper**  
**Arbeit in Hypoxie**  
 Der internationale Standard der Medizinischen Kommission des Weltdachverbandes UIAA  
 Dresden, 21.7.2010





Aktuelle Höhe: 2600m

**Nicht wirklich neu, dieses Thema...**





N. Zuntz, 1906  
 A. Mosso, 1899  
 P. Bert, 1878

- Kellas A. (1920). A consideration of the possibility of ascending Mt. Everest. London Alpine Club
- Savoiey, G et al. (2003). Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences? Eur J Appl Physiol 89(2): 122-6.
- Kupper, T (2006). Körperliche und fachliche Anforderungen bei Rettung aus alpinen Notlagen. Habilitation RWTH Aachen.

**Wenn die Rechte Hand nicht weiß, was die Linke tut...**



Ballonflug von Tissandier, Sievel, Crocé und Spinelli  
 -5.9.1862, ca. 8.790m –  
 -nur Tissandier hat überlebt!

Abbildung aus:  
 P. Bert: La pression barométrique.  
 Paris, 1878

Publikation der Daten in:  
 Glaisher, J (1862). Notes of effects experienced during recent balloon ascents. Lancet 2: 559-560

**Kollektive mit Hypoxieexposition**

Hypoxie / Höhe

- Keine / teilw. Akklimationisation
  - Extrem kurze Expos.
    - Flüge
    - Barfahren von Polstraten
    - Arbeit in isolierter Hypoxie
    - Skifahren
  - Kurze Exposition
    - Geschäftsreisen
    - Urlaubsreise
    - Spezielle militärische Missionen
- vollständige Akklimationisation
  - Lange Exposition
    - Expatriates
    - Immigranten
  - Höhenvölker
    - Tibeter
    - Sherpas
    - Quetschuans
    - ...

**Hauptprobleme**

- Druckwechsel
- Kälte
- Schwere kardiopulmonale Erkrankungen (NYHA III-IV)
- Schwere Anämie (Hb<10)
- Akute Hypoxie
- AMS
- (Hohe) Belastung
- Vorsicht, wenn NYHA-II oder Hb<10
- CMS
- Genetische Adaptation
- Re-entry pulmonary edema

**Aktuelle „Regelungen“**  
 - Beispiele -

- D, A, CH:
  - „<16% tödliche Zwischenfälle möglich“ --!???
  - Arbeitsmedizinische Untersuchung erforderlich bei <17% (18%)

Konsequenz: Seilbahnfahren und Urlaubsflüge wären tödlich; die British Library darf nur mit schwerem Atemschutz betreten werden (zzgl. Rettungsteam)

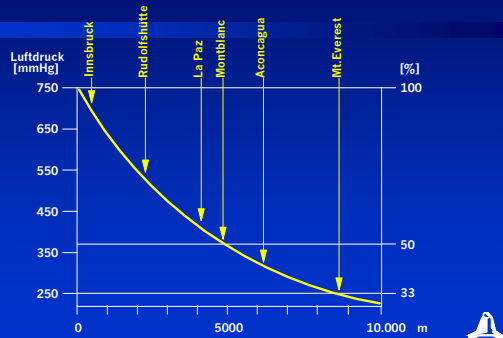
- USA:
  - Any exposure <21% is concluded as „risk“
  - Extensive medical checkup mandantory

Konsequenz: Amerikaner könnten Europa nur per Schiff besuchen und die Rocky Mountains wären unbewohnt!

**Typische Arbeitshöhen**

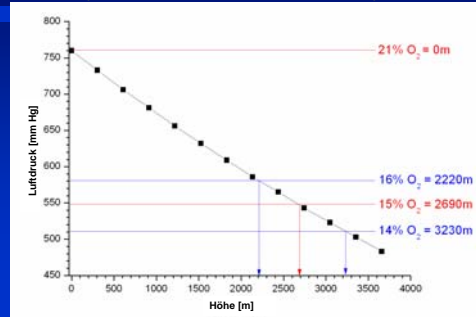
- Höhentraining: 1800-2400m
- Vor-Akklimationisation: bis >6000m
- Geschäftsreisen: 3000-4500m (5500m)
- Brandschutz: ~15% O<sub>2</sub>
- Flugzeugkabine: 2400m (ICAO)
  - Korrespondiert zu 16% O<sub>2</sub>

## Höhe – Luftdruck – O<sub>2</sub>-Partialdruck



## Isobare Hypoxie zum Höhenttraining oder Brandschutz

- Äquivalenzhöhe nach ICAO Standard Atmosphere -



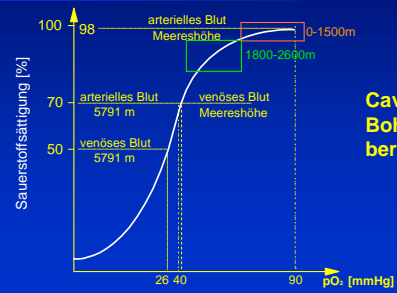
## Kurzzeitadaptationen

- Bei Wechsel von 0m auf 3.000m resp. isobar 20,9% auf 14,3%
  - Pulsfrequenz: Anstieg um 10-12%
  - Atemfrequenz: Anstieg um 6-10%
  - Atemzugvolumen: Anstieg um 6-10%
  - Atemminutenvolumen: Anstieg um 10-12%

**Aber: SaO<sub>2</sub> fällt nur um ~6% ab!**

Glaisher J: Notes of effects experienced during recent balloon ascents. Lancet 2: 559-560 (1862)

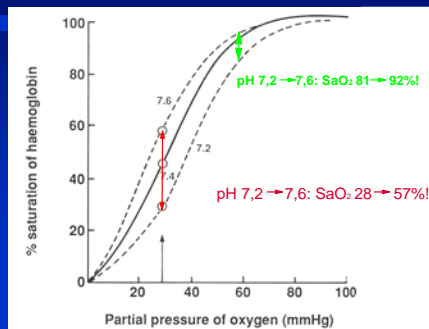
## Nutzbarer O<sub>2</sub>-Partialdruck in Hypoxie



**Cave!**  
**Bohr-Effekt nicht berücksichtigen!**

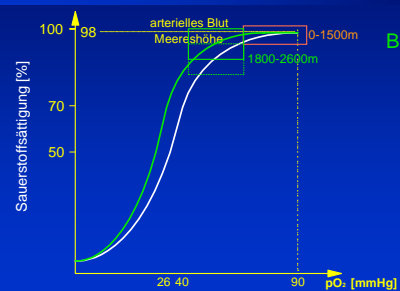
nach: H.Hultgren: High Altitude Medicine, Stanford 1997

## Nutzbarer O<sub>2</sub>-Partialdruck in Hypoxie



nach: H.Hultgren: High Altitude Medicine, Stanford 1997

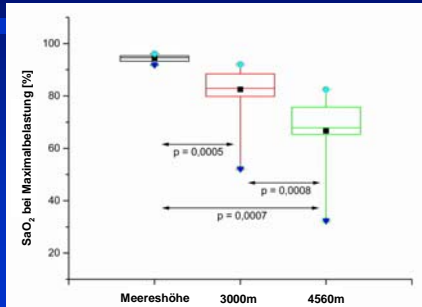
## Nutzbarer O<sub>2</sub>-Partialdruck in Hypoxie



**Bohr-Effekt**

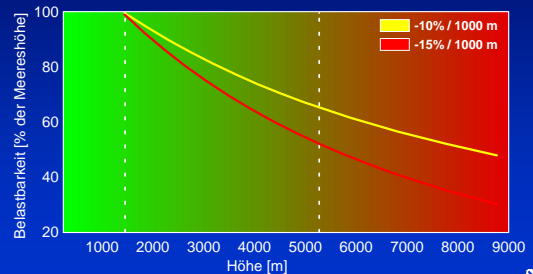
nach: H.Hultgren: High Altitude Medicine, Stanford 1997

## Maximalbelastung und SaO<sub>2</sub> in großer Höhe (4560m)



Köper T. Körperliche und fachliche Anforderungen bei Rettungseinsätzen in großer Höhe. Habilitationsschrift an der RWTH Aachen, 2006

## Aerobe Belastbarkeit in Höhe bzw. Hypoxie



## Potentielle Risiken milder Hypoxie - <3.800m bzw. >14% O<sub>2</sub> -

- Kurze Exposition (Minuten bis mehrere Stunden)
  - Kein Risiko für AMS, HAPE (HACE)
  - Gravierende Vorerkrankungen: Man achte auf die Minimalvoraussetzungen (siehe unten)
- Lange Exposition (1 Tag bis Wochen)
  - Achte auf Akklimatisation!
  - Unterweise die MA im Umgang mit AMS
  - Vorerkrankungen: Minimalvoraussetzungen erfüllt?
  - Kinder: medizinische Überwachung organisieren

## Potentielle Risiken milder Hypoxie - <3.800m bzw. >14% O<sub>2</sub> -

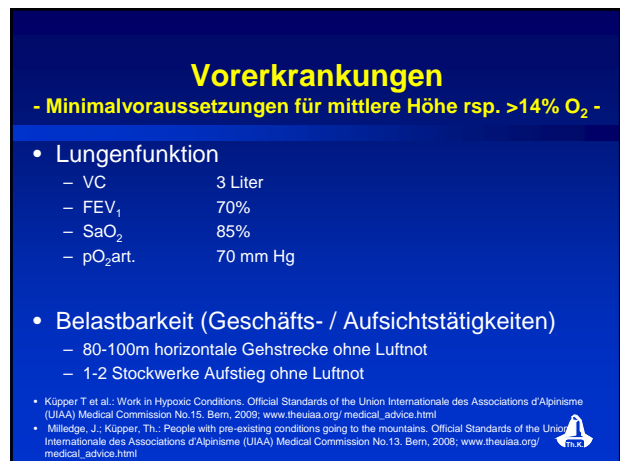
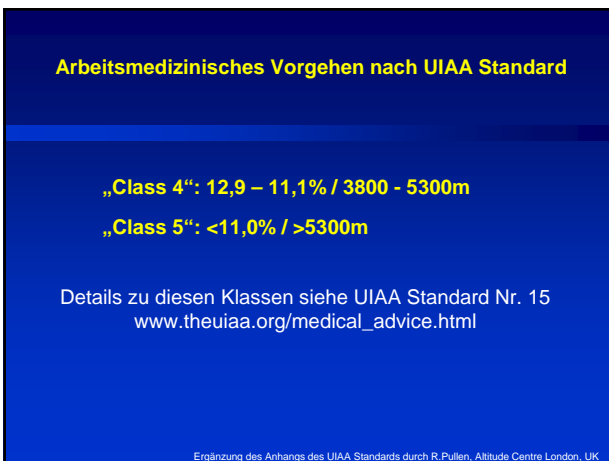
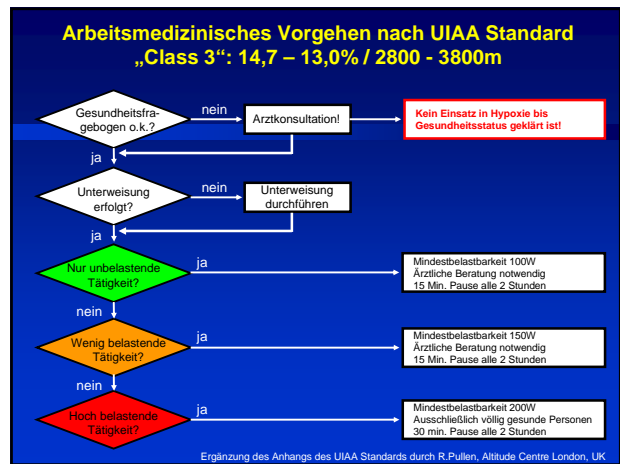
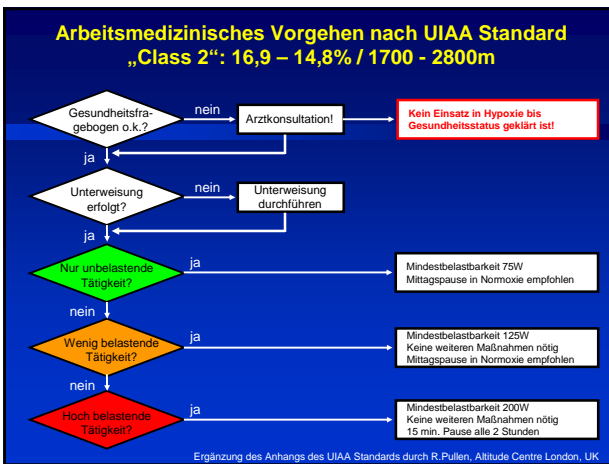
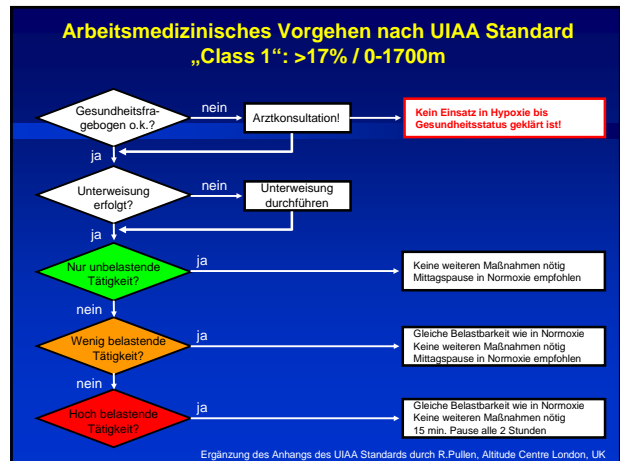
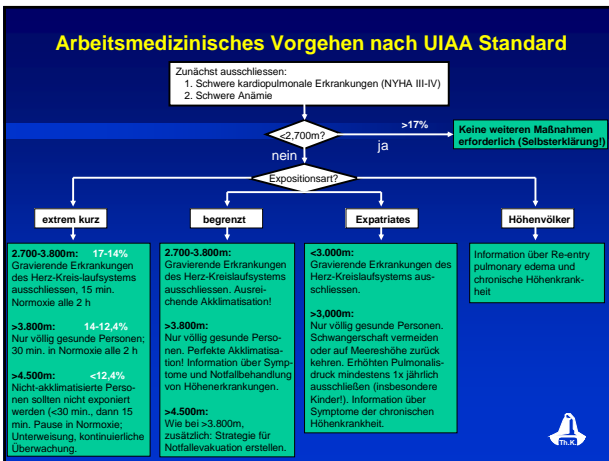
Höhe [m]	%O <sub>2</sub> (isobare Bedingungen)	Luftdruck (hypobare Bedingungen)		pO <sub>2</sub>		Time of useful consciousness
		[mmHg]	[hPa]	[mmHg]	[hPa]	
0	20.9	760.0	1013.2	158.8	211.7	
500	19.7	716.0	954.6	149.6	199.5	
1000	18.5	673.8	898.3	140.8	187.7	
1500	17.4	634.0	845.3	132.5	176.7	
2000	16.4	596.0	794.6	124.6	166.1	
2500	15.4	560.0	746.6	117.0	156.0	
3000	14.5	525.8	701.0	109.9	146.5	
3500	13.6	493.0	657.3	103.0	137.3	
4000	12.7	462.0	616.0	96.6	128.8	
4500	11.9	432.0	576.8	90.4	120.5	
5000	11.1	404.8	539.7	84.6	112.8	
5500	10.4	378.6	504.8	79.1	105.5	>30 min.
6000	9.7	353.6	471.4	73.9	98.5	
6500	9.1	330.0	440.0	69.0	92.0	
7000	8.5	307.8	410.4	64.3	87.7	3-5 min.
10500	5.0	183.0	244.0	38.2	50.9	ca. 1 min.
12900	3.4	123.5	164.7	25.8	34.4	15-30 sec.

## Wer hat möglicherweise ein erhöhtes Risiko?

- Herzkrankte, wenn NYHA / CCS III-IV
- Lungenkrankte, wenn Dyspnoe bereits bei geringen Belastungen auftritt
  - Besondere Vorsicht bei restriktiven Lungenerkrankungen!
- Schwere Anaemie
  - Hb <10 mg/dl (außer bei perfekter Adaptation)
  - Sichelzellanämie
- Pulmonale Hypertonie
- Schlafapnoesyndrom
  - Wenn die Person „oben“ schlafen soll (Geschäftsreisende!)

## Risikoklassifikation und arbeits- bzw. reisemedizinische Konsequenzen

Kollektiv	Typische Höhe	Typische Aufenthaltsdauer	Risiko
<b>Brandschutzbereiche</b> gesunde Personen <NYHA/CCS III NYHA III+	2700m	1-4 Std.	Keins gering untauglich
<b>Höhentraining</b> Betreuung (gesund) Sportler (gesund)	1800 - 3000m	1-3 Std. (sleep low + train high-Schema)	Keins Keins
<b>Expeditionsvorbereitung</b> Betreuung (gesund) Sportler (gesund)	4500 - >6300m	Stunden - Tage	Trotz gutem Höhenprofil nicht auszuschließen, daher Arztbetreuung!
<b>Geschäftsreisen</b>	2500 - 4000m (bis >5400m!)	Tage - Wochen	AMS-Gefahr Komplikationsgefahr bei NYHA III+ u.a.



## Vorerkrankungen - Minimalvoraussetzungen -

- Verdacht auf pulmonale Hypertonie:
  - Echokardiographie!
  - Echokardiographie unter Testexposition wünschenswert
- Optimierte die Exposition!
  - z.B. Pausen (Mittagessen...)
  - Sorgt für schnelle Rückbildung eventueller Symptome (Müdigkeit, leichter Druck im Kopf)



## Literatur

- [www.theuiaa.org/medical\\_advice.html](http://www.theuiaa.org/medical_advice.html)
  - No. 15: "Work in Hypoxic Conditions"
  - No. 13: "People with Pre-Existing Conditions,"
  - No. 16: "Travel to Altitude with Neurological Disorders"
  - No. 12: „Women at altitude“
  - No. 2: "Emergency Field Management of Acute Mountain Sickness, High Altitude Pulmonary Oedema, and High Altitude Cerebral Oedema"
- ... (und viele andere!)

