



THE INTERNATIONAL MOUNTAINEERING AND CLIMBING FEDERATION
UNION INTERNATIONALE DES ASSOCIATIONS D'ALPINISME

Office: Monbijoustrasse 61 • Postfach
CH-3000 Berne 23 • SWITZERLAND
Tel.: +41 (0)31 3701828 • Fax: +41 (0)31 3701838
e-mail: office@uiaa.ch

EMPFEHLUNGEN DER MEDIZINISCHEN KOMMISSION DER UIAA Nr. 15

Arbeit in Hypoxie Einschließlich der Arbeit in Einrichtungen mit vermindertem Sauerstoffgehalt und Arbeit in großer Höhe

Für Ärzte, Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz und interes-
sierte Nicht-Mediziner und Mitarbeiter

Th. Küpper, J.S. Milledge, D. Hillebrandt, J. Kubalova, U. Hefti, B.
Basnayt, U. Gieseler, R. Pullan, V. Schöffl

2009

Aktualisierung V2.15 vom Mai 2015

Inhalt

1	Präambel.....	2
2	Einleitung	3
3	Formen der beruflichen Exposition gegenüber Hypoxie	4
3.1	Extrem kurze Exposition.....	4
3.2	Begrenzte Exposition.....	10
3.3	Aus- und Einwanderer	11
3.4	Höhenvölker	12
4	Aspekte der Arbeitssicherheit und Gesundheit	12
4.1	Extrem kurze Exposition.....	13
4.2	Begrenzte Exposition.....	18
4.3	Aus- bzw. Einwanderer.....	19
4.4	Höhenvölker	19
4.5	Literatur	20

1 Präambel

Die vorliegende Aktualisierung V2.15 beinhaltet einige Formulierungsänderungen, die in früheren Versionen zu Mißverständnissen geführt haben. Abb.2 wird nun in einer übersichtlicheren, zusammenfassenden Form dargestellt. Aber der Hauptgrund für eine Aktualisierung war, daß in zahlreichen Ländern Personen, die keinerlei Erfahrung im Umgang mit Hypoxie hatten, aufgefordert wurden, Verfahrensanweisungen zur arbeitsmedizinischen Überwachung von Mitarbeitern in Hypoxie zu erstellen. Dabei wurden oft grundlegende physiologische Kenntnisse, von denen einige bereits seit Paul Bert 1878 gut bekannt sind, ignoriert und einige der Empfehlungen sind schlicht „politisch“ motiviert. Dadurch ist Irritation entstanden, lokal, national und international in einer globalisierten Industrie. Die Medizinische Kommission der UIAA als Weltdachorganisation für jegliche Form der Exposition in Hypoxie hat daher beschlossen, wissenschaftlich fundierte Verfahrensweisen zu erarbeiten, die auch die Mehrdimensionalität der Risikoanalyse von Arbeit in Hypoxie berücksichtigt. Es wird auch berücksichtigt, daß zahlreiche Mitarbeiter unter sehr unterschiedlichen Bedingungen in Hypoxie arbeiten und zahlreiche Arbeitsmediziner sie überwachen müssen. Es ist daher unrealistisch anzunehmen, daß jedem Mitarbeiter ein Spezialist für Hypoxie zur Verfügung steht. Daher stellen die Vorgehensweisen in Anhang 1 die Standardsituationen dar, nach denen in den meisten Alltagssituationen verfahren werden kann. Dadurch muß nur noch in besonderen Fällen oder wenn die angegebenen Kriterien nicht erfüllt werden ein Spezialist für Hypoxie zu Rate gezogen werden. Ein Mitarbeiter sollte grundsätzlich nicht dauerhaft von der Arbeit in Hypoxie ausgeschlossen werden, ohne daß ein solcher Spezialist kontaktiert worden ist!

2 Einleitung

Neben der "klassischen" Hypoxie (Sauerstoffmangel), die ein fast ausschließliches Problem für Bergsteiger und in geringerem Maße für Geschäftsreisende darstellt, wird die Hypoxie jetzt auch zum Brandschutz in Lagerräumen, für das Höhenttraining beim Sport und viele andere Zwecke eingesetzt. Folglich werden immer mehr Mitarbeiter und andere Personen der Hypoxie ausgesetzt. Bislang gab es noch keine Empfehlungen darüber, wie die arbeitsmedizinische Beratung und Prävention erfolgen sollte. Die meisten Regelungen berücksichtigen nicht die Spezifika der Exposition oder andere Rahmenbedingungen (z.B. ob Betroffene die Hypoxiebereiche zu jeder Zeit verlassen können). Die Regelungen definieren weder die Art noch das Ausmaß möglicher Gefährdungen - wenn überhaupt welche vorhanden sind. Daher ist eine spezifische Analyse der individuellen Exposition notwendig, um eine angemessene Gesundheits- und Sicherheitsberatung durchführen zu können. Als weltweite Dachorganisation für Aktivitäten in geringem Sauerstoffgehalt hat die medizinische Kommission der Union Internationale des Associations d'Alpinisme (UIAA) eine ganz besondere Verantwortung für die Koordinierung einer internationalen Empfehlung zu diesem Thema. Zur leichteren Handhabung ist dieses Dokument wie folgt strukturiert:

- Differenzierung der verschiedenen Formen der Hypoxie-Exposition und der sich jeweils daraus ergebenden Konsequenzen.
- Vorgehen hinsichtlich der präventiven arbeitsmedizinischen Vorsorge für Personen, die in den jeweiligen Hypoxie-Bedingungen tätig sind
- Anmerkungen zu der Differenzierung und dem jeweiligen Vorgehen

Wenngleich einige geringe physiologische Unterschiede zwischen simulierter (isobarer) und "echter" Höhe (hypobare Hypoxie, Aufenthalt in der Höhe) bestehen [1], [2], spielen diese für Fragen der Arbeitsmedizin und der Arbeitssicherheit keine Rolle. Aus diesem Grund schließt der Begriff „Höhe“ in diesem Dokument die „simulierte Höhe“ (die durch isobare Hypoxie erreicht wird) oder „äquivalente Höhe“ (ein Begriff, der oftmals für den Flugzeugkabinendruck verwendet wird) ein.

Da es jederzeit möglich ist, Räumlichkeiten mit isobarer Hypoxie in kürzester Zeit zu verlassen und Mitarbeiter dort wesentlich besser überwacht werden können, ist hier grundsätzlich von einem ganz wesentlich höheren Sicherheitsniveau auszugehen („kontrollierte Hypoxie“) als beim realen Höhenaufenthalt, bei dem weder das eine noch das andere realistisch ist („unkontrollierte Umgebungsbedingungen“).

Hinweis: Dieses Dokument konzentriert sich nur auf arbeitsmedizinische Aspekte im Zusammenhang mit der Höhe! Weitere Aspekte der Arbeitsmedizin sind hiervon ausgenommen und wurden für die einzelnen Tätigkeiten in Höhe nicht berücksichtigt.

Hinweis: Auf gesetzlicher Basis besteht ein Unterschied zwischen Sportlern, die zu Trainingszwecken freiwillig Hypoxiebereiche aufsuchen und Arbeitnehmern, die ihrer Tätigkeit in solchen Bereichen nachgehen. Für Letztere ist der Kontakt zu einem Facharzt für Arbeitsmedizin (vorzugsweise mit Spezialkenntnissen in der Höhenmedizin bzw. Hypoxie) Gold Standard und in vielen Staaten obligatorisch. Dessen ungeachtet sollten Sportler, auch wenn sie freiwillig in Hypoxiebereichen sind, eine Gesundheitsfürsorge erhalten. Zumindest sollten sie die Möglichkeit haben, im Falle von Problemen oder vor Exposition in Extremsituationen (Hochleistung, extreme Hypoxie) einen qualifizierten Arzt zu kontaktieren.

3 Formen der beruflichen Exposition gegenüber Hypoxie

Im Hinblick auf die derzeitige Debatte in verschiedenen Ländern (Österreich, GB, Finnland, Deutschland) ist hervorzuheben, dass eine (leichte) Hypoxie im Allgemeinen keine Gefahr darstellt. Für das Risikoprofil der Hypoxieexposition müssen fünf wichtige Faktoren berücksichtigt und unterschieden werden.

- Höhe bzw. äquivalente Höhe (%O₂)
- Dauer der Exposition
- Höhenprofil / Akklimatisation (einschließlich intermittierende Hypoxie)
- Arbeitsbelastung unter Hypoxie
- Hochlandbewohner vs. Flachlandbewohner.

Einzelgefahren aufgrund bereits vorbestehender Grunderkrankungen werden später besprochen (siehe auch [3]). Mit Hilfe der fünf Hauptpunkte oben können mindestens vier Arten der Exposition mit jeweils völlig unterschiedlichem Risikoprofil unterschieden werden (Abb. 1).

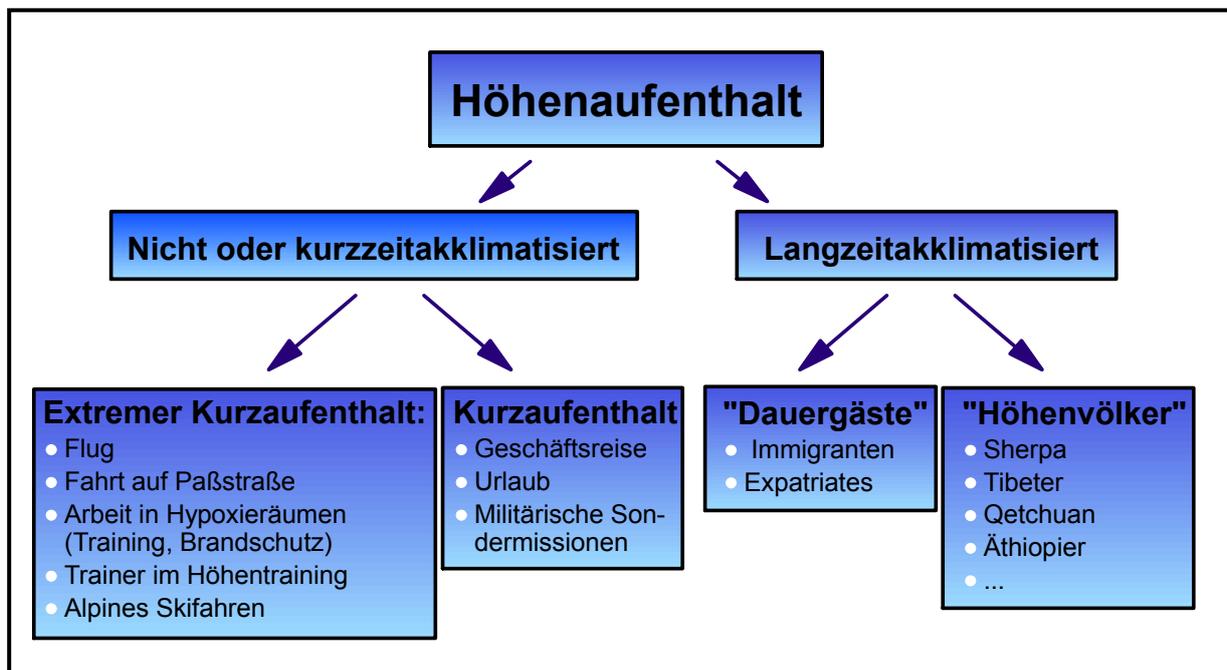


Abbildung 1: Verschiedene Formen der Hypoxieexposition unter besonderer Berücksichtigung beruflicher Exposition (siehe auch Tabelle 1)

3.1 Extrem kurze Exposition

Die **extrem kurze Exposition** findet im Allgemeinen bei Höhen zwischen **1800m und 2500m** und für einen Zeitraum von einigen **Minuten bis einigen Stunden** statt. Bei einer isobaren Hypoxie von 17,0 bis 14,8% Sauerstoffgehalt (+/-0,2) in mit Hypoxiesystemen ausgestatteten Brandschutzräumen werden die Angestellten einer äqui-

UIAA MedCom Empfehlung Nr.15: Arbeit in Hypoxie

valenten Höhe von 1700-2600m ausgesetzt (basierend auf der ICAO-Standardatmosphäre, Abb.2). Diese Höhe liegt im Bereich der so genannten "Schwellenhöhe", also der Höhe, in der der Körper eine erste Reaktion auf die Hypoxie zeigt. Je nach System variiert die Schwellenhöhe zwischen 1500 m (leichter Anstieg des Ruhepulses) und 2400m (Erhöhung der Erythropoietin-Serumkonzentration) [4], [5]. Folglich stellen Höhen um den Schwellenwert keine Hypoxiegefahr für gesunde Menschen dar. Auch stellt diese keine Gefahr für Menschen mit chronischen Erkrankungen mittlerer Schwere dar [3]. Auf eine mögliche Gefahr für schwer kranke Personen wird später eingegangen.

Gruppe	Typische (äquivalente) Höhe	Typische Expositionszeit	Typische Gefahr
Extrem kurze Exposition (Flugzeug, Seilbahn, Skifahren, Straßenverkehr, Brandschutzräume)	1.800 – 2.600 m	Minuten bis Stunden	Druckwechsel (besonders Menschen mit Infektion der oberen Atemwege) Keine Gefahr durch Hypoxie für Menschen, die an keiner Herz- oder Lungenkrankheit oder an schwerer Anämie leiden (Hb >10 g/dl)
	2.600 – 3.800 m		Keine Gefahr für gesunde Personen, wenn die Exposition 30 min. nicht überschreitet (s. Tab. 2)
Begrenzte Exposition	2.000 – 3.000 m	Tage bis Wochen	Akute Bergkrankheit, wenn unakklimatisierte Personen auf dieser Höhe schlafen Neben der akuten Höhenkrankheit besteht für Personen im Allgemeinen keine Gefahr, vorausgesetzt, sie leiden nicht an einer fortgeschrittenen Herz- oder Lungenkrankheit oder schwerer Anämie (Hb >10g/dl) leidet (Ein Lungenödem ist bei dieser Höhe höchst selten)
Auswanderer	3.000 – 4.500 m	Jahre	Höhenbedingte pulmonale Hypertonie Rechtsventrikuläre Insuffizienz Chronische Bergkrankheit („Monge's Disease“) Subacute Infantile Mountain Sickness (SIMS)
Höhenvölker	> 3.000 m	Mehrere Generationen	Chronische Bergkrankheit (s.o.) Lungenödem bei Rückkehr in die Höhe („Re-entry Pulmonary Oedema“)

Tabelle 1: Merkmale der Expositionsformen

Die längste Exposition dieser Art ("extreme kurze Exposition") sind Fernflüge, die zum Teil auch als "begrenzte Exposition" (s.u.) bezeichnet werden können. Es liegen Daten vor, dass einige Fluggesellschaften eine höhere Kabinenhöhe als den von der ICAO vorgegebenen Grenzwert von 2400m betreiben, insbesondere, wenn es sich um moderne Flugzeuge handelt [6]. Im Allgemeinen dauert die Zeit der Exposition nur wenige Stunden. 5 Milliarden Flugpassagiere beweisen jährlich, daß diese Bedingungen unproblematisch sind. Bis zu 3000m (oder sogar noch höher) besteht in diesem Zeitraum keine Gefahr, eine Höhenkrankheit zu entwickeln [7], [8], [9], [10]. Das Hauptproblem für diese Gruppe kann der akute Druckwechsel sein, insbesondere, wenn jemand erkältet ist. Im Allgemeinen fühlen sich alle – sogar Schwangere [11], [12] und Kinder [13] – in diesen Höhen gut. Ausnahmen sind Menschen mit schweren vorbestehenden (chronischen) Erkrankungen (s.u. und Tabelle 3).

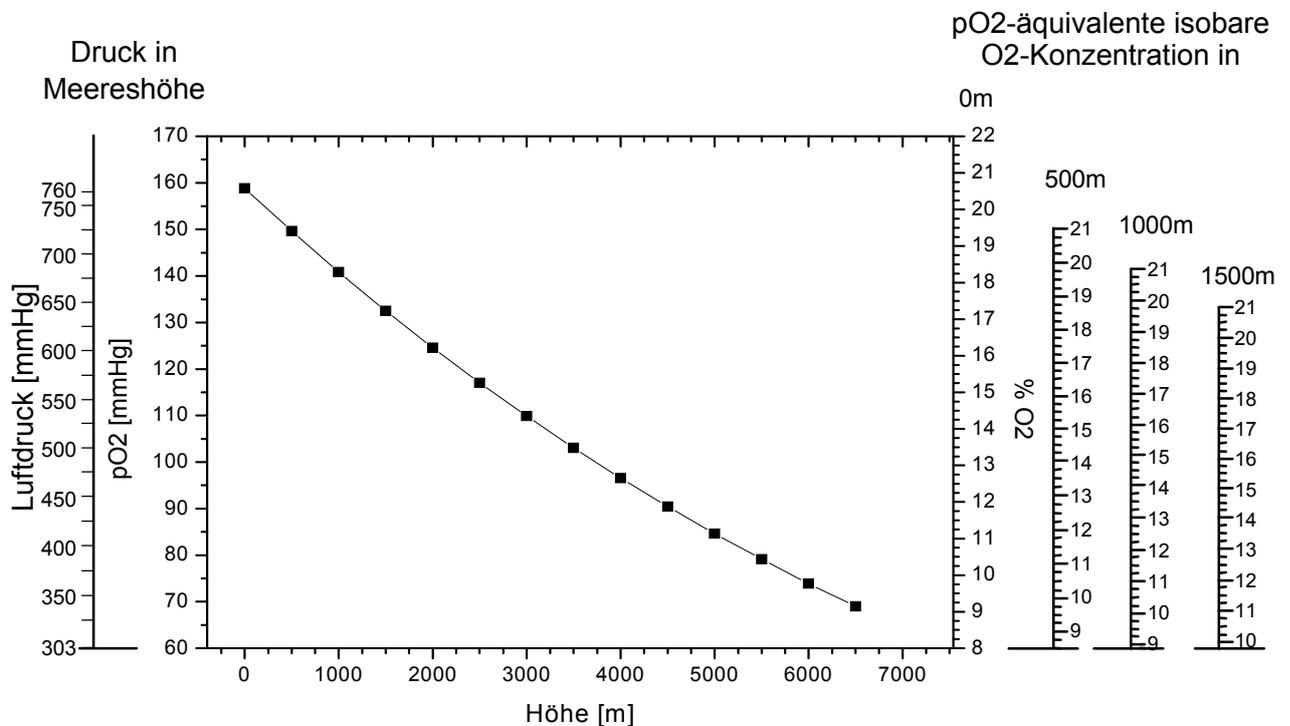


Abbildung 2: Luftdruck, pO₂ und isobarer Sauerstoffgehalt in Relation zur Höhe, Graph gemäß ICAO-Standardatmosphäre wie in [14] vorgegeben (siehe auch Tabelle 2). Für die Brandschutzbereiche liegt die Sauerstoffkonzentration in den meisten Fällen zwischen 14,8 und 17% [15], [16]. Die drei Y-Skalen rechts sollten benutzt werden, wenn eine Einrichtung zur isobaren Hypoxie wesentlich oberhalb der Meereshöhe betrieben wird (hichtlich details sei auf den folgenden Text verwiesen)

Für einige besondere Expositionsformen, die sich aus der zunehmenden Verbreitung neuerer Technologien ergeben haben, ist die Kommission gebeten worden, Empfehlungen für gesunde Personen zu geben, die eine begrenzte Zeit in Äquivalenzhöhen oberhalb von 2700m bzw. weniger als 14,8% O₂ mit oder ohne körperliche Belastung (Sport, Training) exponiert sind. Die umfangreiche Datenlage zeigt, daß derartige Expositionen in 2700-4000m kein erhöhtes Risiko für die Sportler darstellen. Die subjektive Belastungseinschätzung und das Empfinden von Erschöpfung funktioniert

unter diesen Bedingungen uneingeschränkt [17]. Die Exposition nicht-akklimatisierter Sportler sollte 3 Stunden nicht überschreiten. Wenn nicht-akklimatisierte Personen höher als 4000m zu Trainingszwecken exponiert werden sollten, sollte ein Arzt anwesend sein und die Exposition sollte 2 Stunden nicht überschreiten (ggf. kürzer auf Anweisung des Arztes). Eine rein „passive“ Exposition ohne körperliche Belastung bis in Äquivalenzhöhen von 5000m für maximal 2 Stunden wird als sicher angesehen. Aus Sicherheitsgründen sollte die SaO₂ kontrolliert werden.

Höhen oberhalb von 4000m können im Einzelfall von Interesse sein, beispielsweise zur Höhenakklimatisation. Wenn dabei ein Höhenprofil verfolgt wird, welches etablierten Empfehlungen entspricht (z.B. [18]), besteht für gesunde Personen bis 5000m Äquivalenzhöhe kein Risiko. Dabei sollte eine längere Exposition als im letzten Absatz für Trainingszwecke beschrieben erfolgen (z.B. Übernachtung). Aus Sicherheitsgründen (im Gegensatz zur kurzen Exposition beim Training) kann AMS nicht sicher ausgeschlossen werden) sollte ein Arzt mit höhenmedizinischer Qualifikation in Rufbereitschaft sein, wenn die Äquivalenzhöhe 4000m überschreitet und anwesend sein bei Höhen oberhalb von 5500m.

Hinweis: Wenn ein System mit isobarer Hypoxie gleich aus welchem Grund signifikant oberhalb der Meereshöhe eingesetzt werden sollte, muß diese zusätzliche Verringerung des pO₂ in Betracht gezogen werden. Dieses Problem kann durch die drei Y-Skalen auf der rechten Seite der Abbildung 2 gelöst werden. Aus praktischen Gründen (es ist unwahrscheinlich, daß solche Anlagen wesentlich oberhalb von 1500m über NN betrieben werden) beschränken sich diese Skalen auf maximal 1500m Höhe. Um eine Vorstellung zu bekommen, welcher pO₂ oder welche Äquivalenzhöhe des jeweiligen Systems hat, kann grundsätzlich auf zwei Wegen vorgegangen werden:

1. Man benutzt die %-Skala, um die Äquivalenzhöhe zu erhalten. Dann addiert man die Höhe, in der der Hypoxiebereich betrieben wird. Mit dieser Höhe auf der X-Achse erhält man dann mittels des Graphen die reale Äquivalenzhöhe bzw. den real anliegenden pO₂, der mit diesen Bedingungen korrespondieren würde, wenn man die Kammer auf Meereshöhe betreiben würde.
2. Man benutzt die mit „500m“, „1000m“ oder „1500m“ gekennzeichnete Y-Achse (diejenige, die der aktuellen Höhe, in der die Anlage betrieben wird, am Nächsten kommt) und liest die Äquivalenzhöhe am Graph wie üblich ab. Dieses Vorgehen ist weniger genau, gibt aber für den Routinebetrieb eine ausreichend exakte Vorstellung über die physiologischen Bedingungen im Hypoxiebereich.

Sowohl trainierende Sportler als auch Personen, die eine Höhenakklimatisation durchführen, sollten angewiesen werden, im Falle von Unwohlsein die Hypoxieexposition umgehend zu beenden. Sie können erneut die Hypoxie aufsuchen, wenn die Symptome vollständig verschwunden sind. Falls dann erneut Symptome auftreten, sollten sie den Bereich verlassen und vor Wiedereintritt einen höhenmedizinisch qualifizierten Arzt kontaktieren.

Innerhalb dieser Gruppe mit „extrem kurzer Exposition“ gibt es eine kleine Untergruppe mit besonderen Bedingungen: Personen, die andere Menschen trainieren, insbesondere Bergsteiger, die sich für extreme Höhenexpeditionen akklimatisieren oder Mitarbeiter, die eine solche Vorakklimatisation für die Arbeit in großer Höhe

durchführen. Diese Vorakklimatisation wird immer häufiger in Einrichtungen mit isobarer Hypoxie durchgeführt. Die Teilnehmer setzen sich einer Höhe von 5300 m oder mehr aus. In den meisten Fällen beschränkt sich die Exposition auf einige wenige Minuten bis zu einer halben Stunde. Der besondere Vorteil der isobaren Hypoxie liegt darin, dass diese Personen leicht und jederzeit in eine normale Atmosphäre zurückkehren können, falls sie sich unwohl fühlen.

Menschen mit einigen vorbestehenden Erkrankungen können ggf. schwerwiegende Probleme bei dieser Höhe entwickeln während gesunde Menschen diese Exposition in der Regel gut vertragen: Die Expositionsdauer ist zu kurz, um eine akute Höhenkrankheit zu entwickeln und auch zu kurz, um relevante neurologische Probleme zu verursachen. In der Flugmedizin wird dieser Zeitraum als "Time of Useful Consciousness" bezeichnet (Tabelle 2).

Bei steigender Höhe nimmt die maximale Arbeitsbelastbarkeit um 10 bis 15% pro 1000m Höhe ab (beginnend bei 1500m über NN), wobei gut trainierte Menschen proportional die größte Leistungseinbuße zeigen (Abbildung 3). Da die in der Höhe verrichtete Arbeit zumeist eine begrenzte Belastung darstellt (etwa 0,5 bis 1,0 W/kg Körpergewicht) stellt dieser Effekt normalerweise keine Limitierung dar. Bei sehr anstrengender Arbeit oberhalb von 3000m Höhe ist die O₂-Diffusion ein zunehmend limitierender Faktor und Menschen, die intensive Arbeiten verrichten, können ihre SaO₂ nicht auf einem Niveau stabilisieren, das für die entsprechende Höhe in Ruhe zu erwarten wäre. Aus diesem Grund sinkt die SaO₂. Derartige Arbeiten sollten ausschließlich von gesunden Personen durchgeführt werden und selbst für diese muss eine eingeschränkte (niedrigere) Belastbarkeit berücksichtigt werden, wenn die erforderliche Tätigkeit und die Ressourcen dafür geplant werden (Abbildung 3).

Höhe	%O ₂ , isobare Beding- ungen	Luftdruck		pO ₂		Time of useful con- sciousness
		[mmHg]	[hPa]	[mmHg]	[hPa]	
[m]						
0	20,9	760.0	1013.2	158.8	211.7	No limitation
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	432.6	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.

Tabelle 2: Die atmosphärischen Bedingungen (Höhe, Druck, pO₂ und entsprechender Sauerstoffgehalt bei der isobaren Hypoxie) gemäß ICAO-Standardatmosphäre [14] und der Zeitraum der Time of Useful Consciousness für nicht akklimatisierte Personen [16], [19]. Es gibt keine Zeitbegrenzung für das Useful Consciousness bis zu 5000 m bzw. 11,1 % O₂. Dies bedeutet, daß die Exponierten in jedem Falle den Hypoxiebereich verlassen können. Der entsprechende O₂-Gehalt findet sich im Hinweis zu Abbildung 2.

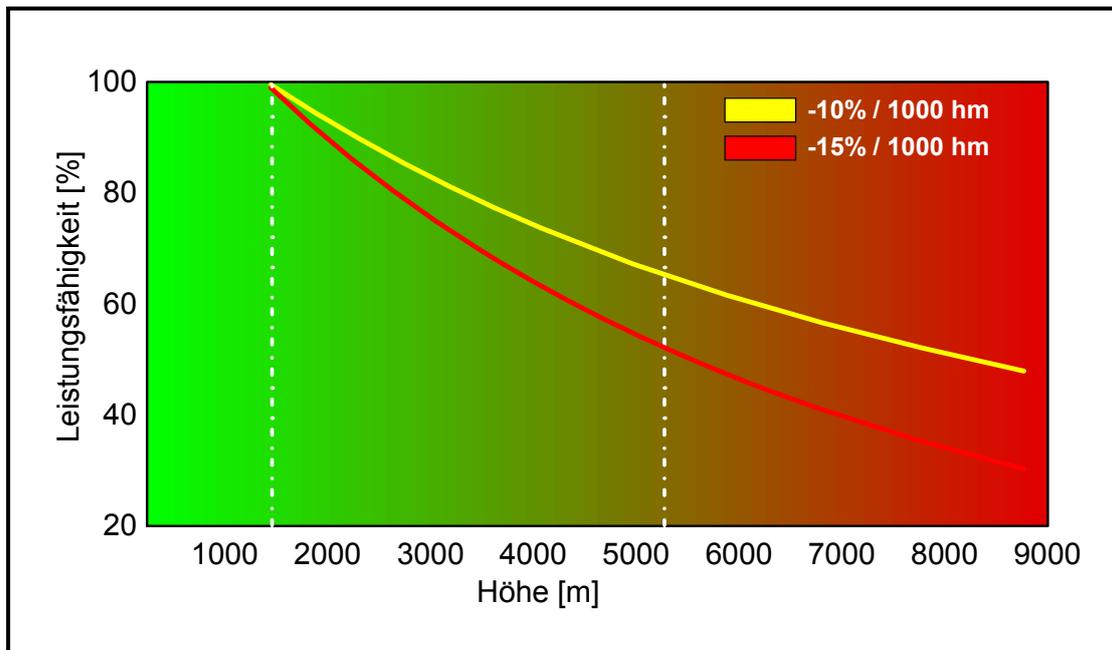


Abbildung 3: Abfall der maximalen Belastbarkeit mit zunehmender Höhe: -10% pro 1000m bei niedrigem Trainingszustand, bis zu -15% pro 1000m bei hohem Trainingszustand, beginnend ab 1500m Höhe [20], [21], [22], [23], [24]. 1500 m: "Schwellenhöhe"; 5300m: Grenze der vollständigen Akklimatisation / des langfristigen Aufenthaltes.

3.2 Begrenzte Exposition

Die typische Exposition der **Gruppe mit begrenzter Exposition** beträgt **2000 bis 3000m** mit einer Dauer von einigen **Tagen oder Wochen**. An manchen Orten werden diese Menschen sogar höheren Bedingungen zwischen 4000 und 5000m ausgesetzt, z.B. in Colorado oder in Südamerika. Beispiele für Orte für Geschäftsreisende oder normale Reisende (nicht: Bergsteiger!) sind in Abbildung 4 aufgeführt. Im Gegensatz zu der "Gruppe mit extrem kurzer Exposition" ist die Kombination aus Höhe und Dauer der Exposition möglicherweise dazu in der Lage, eine Höhenkrankheit bei nicht akklimatisierten Personen zu verursachen (akute Bergkrankheit, AMS). Eine Zunahme des Pulses um 12 bis 14% ist bei 2500 bis 3000m zu erwarten (z.B. [15], [25], [20]). Eine vergleichbare Zunahme des Atemminutenvolumens tritt außerdem ein [26], [20]. Die Sauerstoffsättigung fällt nur um ca. 6 bis 8% im Vergleich zu der auf Meereshöhe gemessenen Sättigung ab und ist mit 90 bis 94% stabil [27], [28], [20]. Ein leichter Abfall der aeroben Leistung (ohne bedeutende Auswirkung auf die Arbeitsleistung) ist bei 3000m (Abbildung 3) zu erwarten, allerdings keine wichtigen Auswirkungen auf die psychomotorischen Funktionen [29], [30]. Einige Daten weisen auf eine leichte Beeinträchtigung bei der Koordination von komplexen Bewegungsabläufen hin, insbesondere wenn diese sehr schnell ausgeführt werden.

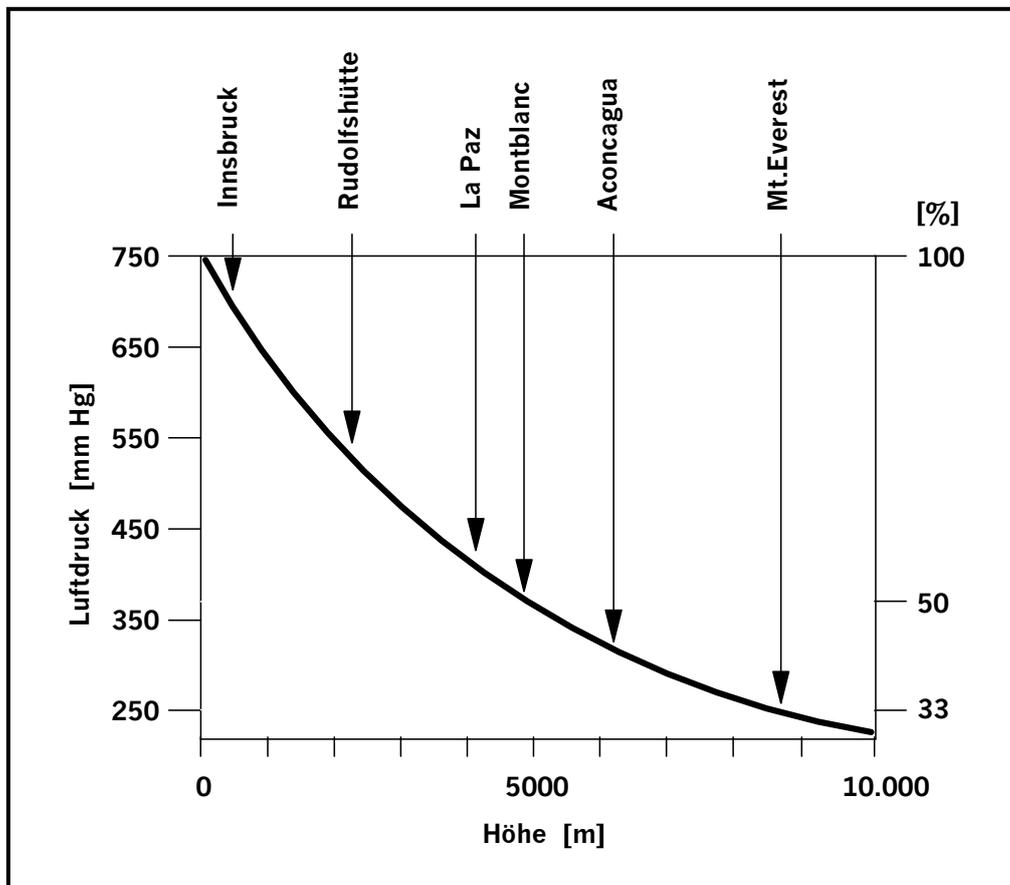


Abbildung 4: Beispiele für Ziele von Geschäftsreisenden und normalen Reisenden. Hinweis: Einige dieser Orte sind höher als die höchsten Berggipfel der europäischen Alpen.

Das Hauptrisiko bei der Gruppe mit begrenzter Exposition ist die Entwicklung von Höhenerkrankungen, in den meisten Fällen der akuten Bergsteigerkrankheit. Das Höhenlungenödem kommt bei dieser Höhe sehr selten vor (1:4000 Nächte für nicht akklimatisierte Personen in 3000m [31]) und tritt im Allgemeinen erst oberhalb von 4000m auf. Ein bedeutend höheres Risiko besteht bei Personen mit einem rapiden Aufstiegsprofil, z.B. bei Geschäftsleuten, die mit dem Flugzeug ankommen. Wenn der Ankunftsort auf einer Höhe von 4500m liegt, steigt die Gefahr eines Höhenlungenödems mit schwerwiegenden Symptomen auf 1:6000 [31] (Anzeichen eines Höhenlungensymptoms auf dem Röntgenbild bis zu 31,7 % [32]), 30 bis 57% erkranken dann an der akuten Höhenkrankheit [33], [30], [5], [31]. Andererseits weisen diese Daten darauf hin, dass einige Stunden oder gar eine Nacht bei 3000m relativ sicher sind, zumindest für gesunde Menschen. Bei einigen Menschen mit einer Vorerkrankung kann ein gewisses Risiko bestehen [3]. Dennoch muss sich jede Strategie für die arbeitsmedizinische Gesundheitsprävention für die „Gruppe mit begrenzter Exposition“ auf die akute Höhenkrankheit konzentrieren.

Hinweis: Im Gegensatz zu der Annahme der westlichen Welt sind viele Träger im Himalaya keine echten Sherpas mehr, sondern Einwanderer oder ausgewanderte Flachlandbewohner! Sie können die gleichen höhenbedingten Symptome erleiden, wie jeder andere Besucher auch [34].

Hinweis: Menschen, in deren Vorgeschichte ein Schlaganfall bekannt ist, die eine Strahlenbehandlung im Bereich des Nackens oder Kopfes erhalten haben, mit einem großen offenen Foramen ovale oder die nur eine einzige Lungenarterie aufweisen, können in großer Höhe einem erhöhten Risiko ausgesetzt sein, auch dann, wenn sie keine Symptome in niedriger Höhe erleiden (verschiedene Fallberichte in der einschlägigen Literatur, keine systematischen Daten). Es gibt keine Daten, die eine allgemeine Unfähigkeit dieser Menschen für die Hypoxie- oder Höhenexposition stützen, diese Menschen sollten jedoch während der ersten „Test“-Exposition gut überwacht werden und der Test sollte an einem Ort stattfinden, der leicht und schnell verlassen werden kann. Technisch und ärztlich überwachte Räume mit isobarer Hypoxie bieten hier ein besonders hohes Sicherheitsniveau.

3.3 Aus- und Einwanderer

Auswanderer werden in diesem Dokument definiert als Menschen, die als Flachlandbewohner ihren Wohnort in Regionen von **über 3000m** Höhe verlegen. Manche von ihnen leben in über 4500m Höhe. Die Dauer kann einige Monate betragen, zieht sich aber häufig über **Jahre**. Im Allgemeinen erleidet diese Gruppe keine akuten Höhenkrankheiten (nach den ersten paar Tagen in der Höhe) und akklimatisieren sich vollständig.

In vielen Fällen werden die Angestellten von ihren Familien begleitet. Demnach kann Schwangerschaft ein Problem darstellen [11] und noch öfter werden Kinder unterschiedlichen Alters großer Höhe ausgesetzt. Nach einiger Zeit können sie spezifische Erkrankungen von Herz oder Lungen erleiden: höhenbedingte pulmonale Hypertonie (high altitude pulmonary hypertension, HAPH, [35]) und höhenbedingte Rechtsherzinsuffizienz. Hinsichtlich Details siehe [13].

Nach einigen Monaten in großer Höhe können Erwachsene die Symptome der höhenbedingten pulmonalen Hypertonie (high altitude pulmonary hypertension, HAPH) aufgrund der chronischen Lungenhypertonie entwickeln. Diese Patienten erleiden Zeichen der rechtsventrikulären Insuffizienz (peripheres Ödem, Dyspnoe, Husten und Angina pectoris). Nach mehreren Jahren in der Höhe kann die chronische Höhenkrankheit (chronic mountain sickness, CMS, „Monge’s Disease“) auftreten (Kopfschmerzen, Konzentrationsverlust, Schwindel, geringere Arbeitsfähigkeit, Zyanose, Kolben- oder Trommelschlägelfinger, Polyzythämie und hohe Hämoglobinkonzentration) [36], [37], [38], [39], [40], [41], [42].

3.4 Höhengvölker

Höhenvölker sind Populationen, die bereits mehrere **Generationen** (einige davon seit über 30.000 Jahren) auf einer Höhe von **>3000m** leben. Diese Menschen zeigen eine Langzeit- und eine genetische Anpassung. Die meisten Gesundheitsprobleme sind nicht höhenbedingt, sondern sozioökonomisch (z.B. chronische Bronchitis, Kangri-Karzinom (eine narbige Hautkrebsart, die durch mehrfache Verbrennung entsteht, die entweder vom Tragen eines kleinen mit Kohle beheizten Ofens (Kang) unter dem Mantel stammt oder durch das Schlafen um ein Feuer und das damit einhergehende Verbrennen des Bauchs beim Umdrehen während des Schlafs) usw.). Während höhenbedingte Gesundheitsstörungen bei Tibetanern ungewöhnlich sind und die Arbeitsmedizin in Äthiopien noch nicht verbreitet ist, wurden südamerikanische Hochlandbewohner – von denen viele in Minen tätig sind, die höher als 5.000m liegen – untersucht und verdienen hier eine besondere Aufmerksamkeit. Einige von ihnen entwickeln eine chronische Höhenkrankheit (s.o.). Ein weiteres besonderes Problem stellt das Lungenödem bei Wiederaufstieg dar („Re-entry Pulmonary Oedema“), wobei Hochlandbewohner und Auswanderer oder Einwanderer, die Freunden oder Verwandten auf Meereshöhe einen Besuch abstatten, besonders gefährdet sind, wenn sie nach einem Aufenthalt von ein oder zwei Wochen auf geringer Höhe in ihre heimatliche Höhe zurückkehren. Die Symptome sind die gleichen wie beim Höhenlungenödem.

Hinweis: Gegenläufig zu der Annahme der westlichen Welt sind viele Träger im Himalaya keine echten Sherpas mehr, sondern Einwanderer oder ausgewanderte Flachlandbewohner! Sie können die gleichen höhenbedingten Risiken erleiden, wie jeder andere Besucher auch [34]. Kooperieren Sie also lieber mit Veranstaltern, die die Richtlinien der International Porters Protection Group (IPPG, siehe Anhang 4) erfüllen.

4 Aspekte der Arbeitssicherheit und Gesundheit

Mithilfe der oben dargestellten systematischen Struktur sollen hier nun Empfehlungen für die spezifische Beratung und das Vorgehen in der Arbeitsmedizin gegeben, um die Personalauswahl zu erleichtern und eine Gesundheits- und Sicherheitsbetreuung der Mitarbeiter zu gewährleisten, die sich in hohe Höhen begeben sollen. Das Flussdiagramm aus Anhang 1 liefert einen Überblick. Für standardisierte Situationen sollten die vereinfachten Flußdiagramme aus Anhang 2 benutzt werden. Die körperliche

Belastung kann entsprechend Tabelle 3 oder nach [43] abgeschätzt werden.

Im Gegensatz zu anderen beruflichen Expositionen, bei denen eine geringere bzw. seltenere Exposition im Allgemeinen auch ein geringeres Risiko darstellt, profitieren Mitarbeiter in der Höhe davon, wenn sie möglichst oft der Hypoxie ausgesetzt zu werden, da eine teilweise Anpassung zu erwarten ist (wenngleich wissenschaftliche Daten über diese sogenannte intermittierende Hypoxie nur eingeschränkt vorhanden sind).

Alle Menschen, die in Höhenlagen oder unter hypoxischen Bedingungen arbeiten müssen, sollten darauf hingewiesen werden, dass sie ausreichend trinken müssen, um ihren Flüssigkeitshaushalt stabil zu halten.

Hinweis: Im Gegensatz zu der geläufigen Annahme ist es nicht das Herz, das bei Menschen in hohen Höhen das höchste Risiko darstellt. Der Herzmuskel ist vielmehr dazu in der Lage, einen erstaunlichen Hypoxiegrad zu ertragen. Die Lunge ist im Falle einer bestehenden Vorerkrankung der primär einschränkende Faktor.

4.1 Extrem kurze Exposition

Wie oben bereits erwähnt, kann die Situation dieser Gruppe am besten mit der Situation in einer Flugzeugkabine wiedergegeben werden (diese schließt allerdings Menschen mit sehr starker Arbeitsbelastung und Trainer von Athleten aus, die sich für extreme Höhen akklimatisieren, s.u.). In dieser detailliert untersuchten Situation sollten die folgenden von der Flugmedizin empfohlenen Mindestanforderungen erfüllt sein (Werte für den Meeresspiegel bei Erwachsenen) [44]:

- Vitalkapazität 3 l
- FEV1 70%
- SaO₂ 85%
- pO₂art 70 mm Hg

Der Hämoglobinspiegel sollte > 10 g/dl und die Erythrozytenzahl >3 Millionen/ μ l [44] betragen. Bei beiden handelt es sich um eine relative Kontraindikation im Fall eines chronisch anämischen, voll kompensierten Patienten, der vollständig angepasst sein kann.

Bei einer Exposition bis zu 2700m (d.h. 15,0-14,8% O₂) sollte die Arbeitsmedizin die folgenden Punkte beachten:

- Anamnese des Mitarbeiters
 - Anzeichen von Herz- und Lungenerkrankungen oder andere wichtige Einschränkungen für die Arbeitsbelastung? (Sport?)
 - Irgendwelche relevanten Erkrankungen oder Operationen im letzten Jahr?
 - Probleme während Höhengaufenthalten in der Vergangenheit?
 - Wird eine hohe oder extreme Arbeitsbelastung in der Höhe erwartet?

Sollte der Mitarbeiter regelmäßig und ohne Probleme aeroben Ausdauersport betreiben, besteht – auch ohne weitergehende ärztliche Untersuchung – kein Zweifel daran, dass keine Gefahr für diese Person besteht, wenn sie den als "Gruppe mit extrem

kurzer Exposition" beschriebenen Bedingungen entspricht und bei einer Höhe von bis zu 2700m bzw. 15,0-14,8% O₂ arbeiten wird.

- Labor- bzw. technische Untersuchungen sind nur in Fällen erforderlich, bei denen die Patientenanamnese keine Klarheit schafft über:
 - Relevante Anämie: Blutbild
 - Hinweis: Sichelzellenanämie ausschließen, wenn die Person einer Gruppe angehört, in der diese endemisch ist
 - Pulmonale Hypertonie: Echokardiografie
 - Lungenerkrankung allgemein: Spirometrie oder Ergometrie
 - Herzerkrankung: Ergometrie, Belastungsechografie

Wenn die Mitarbeiter wie in Kapitel 2.1 beschriebenen Äquivalenzhöhen von 2700 bis 3800m ausgesetzt werden, muss die medizinische Untersuchung zusätzlich ein Blutbild, Ergometrie und Spirometrie (weil die VO₂max bei großen Höhen den einschränkenden Faktor darstellt, kann die Messung als Spiroergometrie kombiniert werden) umfassen.

Arbeitnehmer in über 3800m sind grundsätzlich genauso zu untersuchen wie Angestellte in 2700 bis 3800m. Da immer mehr Hypoxieräume verfügbar sind (z.B. Räume oder Trainingszentren für Hypoxietraining), sollten sie einmal vor ihrer ersten beruflichen Exposition dieser Höhe unter kontrollierten Bedingungen ausgesetzt werden, bzw. einer äquivalenten Höhe, bevor sie den Hypoxiebereich zum ersten Mal betreten. Die Exposition muss die Art, die zu erwartende Dauer und insbesondere die (äquivalente) Höhe (pO₂) der Exposition während der Arbeit berücksichtigen. Für eine in einer kontrollierten Umgebung durchgeführte Tätigkeit (Hypoxieräume) mit einer beschränkten Dauer sollte eine akute Exposition von 1 bis 2 Stunden in der (äquivalenten) Höhe ausreichen, in der die Arbeit zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden soll. Während der Exposition sind SaO₂, Pulsfrequenz und höhenbedingte Symptome von Ärzten mit der entsprechenden Qualifikation für Höhenmedizin zu überwachen.

Menschen mit Herz- oder Lungenerkrankungen >NYHA/CCS I, relevanter Anämie oder Schwangere sollten nicht für körperlich belastende Arbeit in grosser Höhe oder mit Hypoxie über einer Äquivalenzhöhe von 3800m ausgewählt werden (reine Aufsichtstätigkeiten oder ähnliche, nicht belastende Aufgaben sind bei leichter Anämie oder Herz- oder Lungenerkrankungen im Stadium NYHA/CCS II ggf. möglich) [3], [11], [45].

Bei einem normalen Arbeitstag brauchen keine zusätzlichen Pausen eingeplant zu werden, wenn die echte oder äquivalente Höhe 2700m nicht überschreitet (bzw. 14,8% Sauerstoffgehalt in isobarer Umgebung nicht unterschreitet), weil keine Gefahr höhenbedingter Erkrankungen besteht. Wenn möglich, und bei Arbeiten, die den ganzen Tag in hypoxischen Räumen stattfinden (z.B. Brandschutz) sollten die Arbeitnehmer angewiesen werden, den Hypoxiebereich zumindest während der Mittagspause zu verlassen. Wenn nicht akklimatisierte Menschen in derartigen Einrichtungen einer äquivalenten Höhe von 2700 bis 3800m ausgesetzt werden sollten sie darauf hingewiesen werden, eine normoxische Pause von mindestens 15 min pro 2 Stunden Exposition einzulegen. Bei Höhen von >3800m sollte diese Pause auf 30 min ausgedehnt werden. Nicht akklimatisierte Arbeiter sollten Expositionen von >4500m vermeiden, oder nur sehr kurz exponiert sein (<30 min.).

Mitarbeiter sollten Hypoxiebereiche sofort verlassen, sobald sie sich unwohl fühlen sollten. Die sofortige Rückkehr in einen normoxischen Bereich ist die beste Behandlungsart in einer solchen Situation. Höhenbedingte Beschwerden treten niemals plötzlich ein, daher hat jeder Arbeitnehmer im Bedarfsfall reichlich Zeit, den Hypoxiebereich zu verlassen (s.a. Tabelle 2). Es ist daher nicht nötig, ein „Rettungsteam“ für diese „Gruppe mit extrem kurzer Exposition“ bereitzuhalten.

Sollten die Symptome nach 15 bis 30 min vollständig verschwunden sein, kann sich die Person, wenn nötig, erneut der Höhe bzw. Hypoxie aussetzen. Sollte sie sich jedoch nicht innerhalb von 30 min erholt haben, muss sie einen Arzt aufsuchen, der eine spezielle Zusatzausbildung für Höhenmedizin hat, bevor sie sich erneut der Situation aussetzt.

Mitarbeitern ist die Verwendung eines abschwellenden Mittels bei der schnellen Auffahrt in die Höhe und Infektionen der oberen Atemwege zu raten (z.B. Xylometazolin spray) (hypobare Hypoxie). Besondere Rücksicht ist auf begleitende Kinder zu legen [13].

Die maximale Arbeitsbelastung braucht nicht für alle Mitarbeiter untersucht zu werden. Wenn die in der Höhe durchzuführende Arbeit nicht sehr anspruchsvoll ist (z.B. Büroarbeiten (Geschäftsleute), Überwachung, usw.) und die Höhe geringer als 2700m ist, genügt es, zu wissen, dass die Person dazu in der Lage ist, einen Treppensatz oder 80 bis 100m auf waagerechter Ebene zu laufen, ohne an Atemnot zu leiden [45]. Weitere Einzelheiten gemäß NYHA / CCS-Stufen [46], [47], [48] (die Stufen findet man in Anhang 2):

- NYHA / CCS I (keine Symptome): Keine Einschränkungen für die Höhenexposition
- NYHA / CCS II (Symptome bei mittlerer Arbeitsbelastung): Keine Einschränkungen für die Höhenexposition bei Tätigkeiten mit geringer Arbeitsbelastung
- NYHA III-IV (Symptome bei minimaler Arbeitsbelastung oder im Ruhezustand): Kontraindikation für Höhenexposition. Diagnosen und Umstände, die durchgehende oder vorübergehende Gegenanzeigen darstellen, sind in Tabelle 2 aufgeführt. Siehe auch Empfehlungen aus [3] und [49].

Diagnose	Zeitraum, in dem Höhengedien / Hypoxie gemieden werden sollte
Schlaganfall	Mindestens 3 Monate [50], hinsichtlich Details siehe [49]
Myokardinfarkt	6 Wochen bei unkompliziertem Verlauf 10 Wochen (oder mehr) bei kompliziertem Verlauf (z.B. komplexe Arrhythmien)
Aortokoronare Bypassoperatoion	2-3 Wochen
PTCA	3 Tage
Stent	3-10 Tage
Implantation eines Herzschrittmachers	Nach unauffälliger Funktionsprüfung keine Bedenken
Akute broncho-pulmonare Infektionen	Keine Exposition bis zur Abheilung
Belastungsasthma	Keine Exposition bis ausreichender Behandlungserfolg erreicht wurde

Tabelle 3: Permanente oder temporäre Kontraindikationen für den Höhengedien bzw. der Hypoxieexposition der Personen der Gruppe "extrem kurze Exposition" gemäß der obigen Definition (Angaben in Übereinstimmung mit internationalen Empfehlungen für Flugreisende) [44]

In Höhen, die normalerweise bei extrem kurzer Exposition erreicht werden (1.500-3.000m) ist die maximale Belastbarkeit nur marginal eingeschränkt (Abbildung 3). Daher können Richtlinien für Personen mit hoher körperlicher Belastung ohne Modifikation verwendet werden (z.B. Vorsorgeuntersuchung „Schwerer Atemschutz“), wenn derartig belastende Arbeiten in 2.000-3.000m Höhe durchgeführt werden sollen. Oberhalb davon muss ein Leistungsverlust von 10% pro 1000m Höhe ab 1500m als Zuschlag zu den Mindestanforderungen addiert werden, z.B. wie folgt:

Wenn die Minimalanforderungen für eine bestimmte Arbeit in Meereshöhe 2 W/kg Körpergewicht betragen und diese Arbeit nun in 4.000m Höhe anfallen, so erfolgt die Abschätzung der Mindestanforderungen folgendermaßen: $(4000-1500)/1000=2.5$; $2.5 \cdot 10\%=25\%$; $2W/kg+25\% = 2.5 W/kg$. In Meereshöhe muss dieser Mitarbeiter also mindestens 2,5 W/kg KG leisten, um die entsprechende Arbeit in 4.000m Höhe durchführen zu können.

Daten über die körperliche Belastung einer Vielzahl von Tätigkeiten sind der Literatur zu entnehmen, beispielsweise [43]. Die Tabellen 4 und 5 geben zusammenfassende Informationen über dieses Thema. Unabhängig von diesen Faktoren sollten die Mitarbeiter darauf hingewiesen werden, daß sie die körperliche Belastung soweit wie möglich reduzieren und insbesondere, daß sie Preßatmung vermeiden sollten.

Personen mit einer Exposition in extremer Höhe, beispielsweise bei der Betreuung von Expeditionsmitgliedern, müssen eine kardiopulmonale Kapazität haben (insbesondere pulmonale!), die deutlich über der der Normalbevölkerung liegt. Dies kann durchaus Asthmapatienten einschließen, wenn diese gut therapiert sind. Oberhalb von 4.500m sollten die Mitarbeiter überwacht werden und sich eine „Rettungsperson“ außerhalb des Hypoxiebereiches bereit halten. Zur optimalen Beobachtung sollten Hypoxieräume mit einem großen Fenster zum Nachbarräum konstruiert werden. Oberhalb von 4.500m sollte die Sicherheit weiter erhöht werden, indem eine Sauerstoffflasche mit passender Maske parat steht. Ab 4.500m sollte ein Arzt mit höhenmedizinischer Ausbildung in ständiger Rufbereitschaft stehen, ab 5.000m sollte dieser anwesend sein.

UIAA MedCom Empfehlung Nr.15: Arbeit in Hypoxie

Im Gegensatz zu anderen Expositionsformen sollte die Gruppe der extrem kurz Exponierten in der Akutbehandlung von Symptomen der akuten Hypoxie unterrichtet werden. Und noch einmal: Wenn die Personen regelmäßig in derartigen Bedingungen arbeiten (z.B. täglich 2-3x für 15-60 min. oder mehr) werden sie durch partielle Akklimation eher profitieren als ihr Risiko erhöhen (auch wenn die Datenlage hinsichtlich der Akklimation bei intermittierender Hypoxie noch lückenhaft ist).

Risiko-kategorie	Sauerstoff in der Inspira-tionsluft			Spezifische Risiken	Vorsichtsmaßnahmen
	%O ₂ [%]	korresp. Höhe [m]	pO ₂ [mmHg]		
Klasse 1	≥17	0 – 1.600	159-130	Kein Risiko	Unterweisung der Mitarbeiter
Klasse 2	16,9 – 14,8	1.600 – 2.700	130-110	Kein Risiko für vollschichtige Arbeiten, wenn schwere Herz- oder Lungenerkrankungen sowie schwere Anämie ausgeschlossen sind.	Schwere Erkrankungen ausschließen (Eigenreport bei Unterweisung, Mindestbelastbarkeit: 2 Etagen ohne Luftnot steigen, s.a. Tab.5) Unterweisung der Mitarbeiter
Klasse 3	14,7 – 13,0	2.700 – 3.800	110-99	Kein Risiko, wenn schwere Erkrankungen wie für Klasse 2 beschrieben ausgeschlossen sind, die körperliche Belastung begrenzt ist (Tabelle 3) und die Expositionsdauer 4 Std. / Tag oder 2x2 Std. bei hoher Belastung nicht überschreitet.	Schwere Erkrankungen ausschließen (Arzt für Arbeitsmedizin, Eigenreport nicht ausreichend!) Arbeitsbelastung abschätzen (siehe Kommentar weiter unten und Tab.5). Unterweisung der Mitarbeiter
Klasse 4	13,0 - 10,4	3.800 – 5.500	99-79	Bei nicht akklimatisierten Personen Risiko für AMS oder andere Symptome (z.B. Beeinträchtigung der Koordination komplexer Bewegungen)	Besondere Vorsichtsmaßnahme erforderlich, s.a. Kommentare weiter unten
Klasse 5	<10,4	>5.500	<79	Risiko der akuten Hypoxie, Schwindel, mentaler und weiterer Beeinträchtigung (z.B. Bewegungskoordination) können bei nicht akklimatisierten Personen innerhalb von 30 min. auftreten	Besondere Vorsichtsmaßnahme erforderlich, s.a. Kommentare weiter unten

Tabelle 4: Risikoklassifikation der Hypoxieexposition und Sicherheitsmaßnahmen

Arbeitsbedingungen	Minimale Belastbarkeit
Klasse 1: Alle Formen von Arbeit	Wie auf Meereshöhe
Klasse 2: Inspektion, Aufsicht (oder analoge)	75 W
Klasse 2: Mäßige Belastung	125 W
Klasse 2: Schwere Arbeit	>200 W
Klasse 3: Inspektion, Aufsicht (oder analoge)	100 W
Klasse 3 Mäßige Belastung	150 W
Klasse 3: Schwere Arbeit	>200 W
Klasse 4: Inspektion, Aufsicht (oder analoge)	125 W
Klasse 4: Mäßige Belastung	>200 W
Klasse 4: Schwere Arbeit	Nur perfekt trainierte und gut akklimatisierte Personen!

Tabelle 5: Mindestbelastbarkeit für verschiedene Belastungsformen in Hypoxie (Watt über mindestens 3 Minuten in der Ergometrie; Daten nach [51]; die Angaben beinhalten eine Sicherheitsreserve)

4.2 Begrenzte Exposition

Da diese Gruppe zumeist die gleichen Höhen aufsucht wie die eben beschriebene, können die gleichen Mindestanforderungen für das kardio-pulmonale System und die gleichen Ausschlusskriterien zugrunde gelegt werden (Tabelle 2). Besondere Aufmerksamkeit sollte Patienten mit obstruktivem Schlafapnoesyndrom gewidmet werden, da dieses oft mit pulmonaler Hypertonie kombiniert ist. Letztere wird sich bei Hypoxie deutlich verschlechtern. Wie in Kapitel 2 erwähnt besteht potentiell ein weiteres Risiko für die Gruppe mit begrenzter Exposition: AMS. Diese kann bislang noch durch keinen Untersuchungsparameter befriedigend vorhergesagt werden. Alle Präventionsmaßnahmen sollten also detaillierte Hinweise einschließen, wie man AMS erkennt und behandelt [18]. Wenn möglich, sollten die Verantwortlichen des Unternehmens hinsichtlich eines sinnvollen Höhenprofils beraten werden, bevor die Mitarbeiter entsendet werden. Dies kann einen Akklimatisationstag bei der Ankunft und eine Übernachtung auf mittlerer Höhe auf dem Weg zum Einsatzort einschließen. Wenn ein sofortiges Erreichen eines Einsatzortes oberhalb von 2500m Höhe nicht vermieden werden kann, kann eine medikamentöse Prophylaxe der AMS-Symptome in Erwägung gezogen werden (Azetazolamid, 2x 125 mg/d [18]).

Es sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass es Einrichtungen gibt, in denen Personen in Räumen mit erhöhter Sauerstoffkonzentration arbeiten, beispielsweise in einigen Minen und Sternwarten in den Anden). Jedes gesteigerte % an Sauerstoff entspricht dabei einer „Reduktion“ der Höhe um 300m, ohne dass die Brandgefahr erhöht würde. Mit dieser Technologie gewährleisten einige Einrichtungen in Höhen oberhalb von 5.000m ein Innenklima, das komfortablen 3.000m entspricht.

Wenn Personen gegenüber Hypoxie exponiert werden, ohne dass sie dieser in kurzer Zeit entgehen können (z.B. Geschäftsreisen in die Andenregion (Südamerika)), sollte in jedem Fall ein Höhenprofil eingeplant werden, das internationalen Empfehlungen entspricht (z.B. in [18]). Falls der Einsatzort höher als 3.800m liegt, sollte die Person mindestens eine Nacht in kontrollierter Umgebung (Raum mit isobarer Hypoxie in einem höhenmedizinisch betreuten Zentrum) in entsprechender Äquivalenzhöhe übernachten, bevor das erste Mal zu derartigen Arbeitsorten aufgebrochen wird. Das kann mehrere Nächte erforderlich machen, um den Anforderungen des Gold Standards zur Akklimatisation [18] gerecht zu werden.

Jeder Mitarbeiter sollte angewiesen werden, im Falle, dass er / sie umgehend einen höhenmedizinisch ausgebildeten Arzt kontaktieren soll, falls man sich in der Höhe / Hypoxie nicht wohl fühlen sollte und man nicht umgehend aus der Höhe zurückkehren kann. Schmerzmittel, Nifedipin, Dexamethason und Acetazolamid sollten einschließlich Unterweisung in der Anwendung sowie einer Kontaktmöglichkeit des Arztes für den Notfall für jedes Ziel oberhalb von 3.800m mitgeführt werden. Unterhalb von 3.800m ist ein Standardschmerzmittel (kein Aspirin!) ausreichend.

4.3 Aus- bzw. Einwanderer

Diese Personen sollten hinsichtlich der AMS aufgeklärt werden, wie in 2.2 beschrieben. Vor der Abreise sollte eine detailliertere medizinische Untersuchung erfolgen, insbesondere unter Einschluss von EKG und Echokardiographie. Dies hat zwei Ziele: 1. den Ausschluss einer pulmonalen Hypertonie und 2. um diesbezüglich Ausgangswerte für eine spätere Kontrolle zu erhalten. HAPH stellt das Hauptrisiko für diese Gruppe dar. Diese verursacht eine Hypertrophie und Dilatation des rechten Ventrikels, pulmonale Hypertonie und manchmal Perikardergüsse. An zahlreichen Orten, die die Auswanderer aufsuchen werden, gibt es nicht die Möglichkeit entsprechender Untersuchungen, insbesondere nicht der Echokardiographie. Daher sollten bei Heimatbesuchen diese Kontrolluntersuchungen durchgeführt werden, mindestens 1x jährlich. Es sollte beachtet werden, dass eventuell mitreisende Kinder besonders überwacht werden müssen [13]. Falls bei den Untersuchungen irgendwelche Auffälligkeiten wie beispielsweise erhöhten Pulmonaldruck, rechtsventrikuläre Hypertrophie oder Dilatation gefunden werden, sollte den Betroffenen geraten werden, den Wohnort in der Höhe sobald wie möglich zugunsten eines im Tal zu wechseln.

4.4 Höhengvölker

Wie oben erwähnt sind höhenbedingte Probleme in dieser Gruppe eher selten. Allerdings sollten Mitarbeiter, die aus der Höhe kommend Tieflandgebiete beispielsweise für Ferien oder aus anderen Gründen für mehr als einer Woche aufsuchen, sollte wie in 2.2 beschrieben angewiesen werden, ein Re-entry Pulmonary Edema zu vermeiden. Außerdem sollten diese Personen in den Erstmassnahmen unterwiesen werden, falls trotzdem ein derartiges Ödem auftreten sollte.

Angehörige der Hochlandvölker Südamerikas sollten hinsichtlich der chronischen Höhenkrankheit (CMS) arbeitsmedizinisch überwacht werden. Im Minimalfall bedeutet dies, dass neben einer allgemeinen klinischen Untersuchung Hämatokrit, Hämoglobin und Erythrozytenzahl jährlich gemessen werden. Falls Symptome der CMS auftreten sollten, sollte zusätzlich eine Echokardiographie durchgeführt werden, falls dies überhaupt möglich ist.

4.5 Literatur

1. Barcroft, J., *Respiratory function of the blood. Part I.* 1925, New York: Cambridge University Press.
2. Savourey, G., et al., *Normo- and hypobaric hypoxia: are there any physiological differences?* Eur J Appl Physiol, 2003. **89**(2): p. 122-6.
3. Milledge, J. and T. Kupper. *Consensus Statement of the UIAA Medical Commission Vol.13: People with Pre-Existing Conditions Going to the Mountains.* 2008 [cited 2008; Available from: www.theuiaa.org/medical_advice.html].
4. Gunga, H.C., et al., *Time course of erythropoietin, triiodothyronine, thyroxine, and thyroid-stimulating hormone at 2,315 m.* J Appl Physiol, 1994. **76**(3): p. 1068-72.
5. Sakata, S., et al., *Correlation between erythropoietin and lactate in humans during altitude exposure.* Jpn J Physiol, 2000. **50**(2): p. 285-8.
6. Cottrell, J.J., *Altitude exposures during aircraft flight. Flying higher.* Chest, 1988. **93**(1): p. 81-4.
7. Basnyat, B., *Acute mountain sickness in local pilgrims to a high altitude lake (4154 m) in Nepal.* J Wild Med, 1993. **4**: p. 286-292.
8. Basnyat, B. and D.R. Murdoch, *High-altitude illness.* Lancet, 2003. **361**(9373): p. 1967-74.
9. Rabold, M.B., *Dexamethasone for prophylaxis and treatment of acute mountain sickness.* J Wilderness Med, 1992. **3**(1): p. 54-60.
10. Hackett, P.H. and R.C. Roach, *High-altitude illness.* N Engl J Med, 2001. **345**(2): p. 107-114.
11. Jean, D., C. Leal, and H. Meijer. *Consensus Statement of the UIAA Medical Commission Vol.12: Women Going to Altitude.* 2008 [cited 2008 11.1.09]; Available from: www.theuiaa.org/medical_advice.html.
12. Jean, D., et al., *Medical recommendations for women going to altitude.* High Alt Med Biol, 2005. **6**(1): p. 22-31.
13. Meijer, H.J. and D. Jean. *Consensus Statement of the UIAA Medical Commission Vol.9: Children at Altitude.* 2008 [cited 2008 11.1.09]; Available from: www.theuiaa.org/medical_advice.html.
14. Ruff, S. and H. Strughold, *Grundriss der Luftfahrtmedizin.* 2. Aufl. ed. 1944, Leipzig: Johann Ambrosius Barth. 249.
15. Muller, B., *Die gesamte Luftfahrt- und Raumflugmedizin.* 1967, Düsseldorf: Droste Verlag.
16. Ernsting, J. and P. King, *Aviation Medicine.* 2nd ed. ed. 1994, Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
17. Gronimus, B., *Validierung der Borg Skala zur subjektiven Belastungseinschätzung in mittlerer und großer Höhe,* in *Inst. f. Arbeits- & Sozialmedizin.* 2011, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH): Aachen.
18. Kupper, T., et al. *Consensus Statement of the UIAA Medical Commission Vol.2: Emergency Field Management of Acute Mountain Sickness, High Altitude Pulmonary Oedema, and High Altitude Cerebral Oedema.* 2008 [cited 2008; Available from: www.theuiaa.org/medical_advice.html].
19. Amsler, H.A., *Flugmedizin für zivile Besatzungen.* 1971, Bern: Verlag Eidgenössisches Luftamt. 135.
20. Kupper, T., *Körperliche und fachliche Anforderungen bei Rettung aus alpinen Notlagen - Analyse der Belastungen und Beanspruchungen der Ersthelfer und*

- der Angehörigen der Rettungsdienste und ihre Konsequenzen für präventive und rehabilitative Ansätze in Flugmedizin, Arbeitsmedizin und alpiner Sportmedizin*, in *Institut für Flugmedizin*. 2006, Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH): Aachen. p. 377.
21. West, J.B., *Limiting factors for exercise at extreme altitudes*. Clin Physiol, 1990. **10**(3): p. 265-72.
 22. Buskirk, E.R., J. Kollias, and E. Picon Reategui, *Physiology and performance of track athletes at various altitudes in the United States and Peru*, in *The international symposium on the effects of altitude on physical performance*, R.F. Goddard, Editor. 1966, The Athletic Institute: Chicago.
 23. Jackson, C.G. and B.J. Sharkey, *Altitude, training and human performance*. Sports Med, 1988. **6**(5): p. 279-84.
 24. Buskirk, E.R., et al., *Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners*. J Appl Physiol, 1967. **23**: p. 259-267.
 25. Glaisher, J., *Notes of effects experienced during recent balloon ascents*. Lancet, 1862. **2**: p. 559-560.
 26. Rupwate, R.U., M. Chitaley, and S.R. Kamat, *Cardiopulmonary functional changes in acute acclimatisation to high altitude in mountaineers*. Eur J Epidemiol, 1990. **6**(3): p. 266-72.
 27. Horii, M., et al., *Physiological characteristics of middle-aged high-altitude climbers of a mountain over 8000m in height*. J.Wild.Med., 1994. **5**(4): p. 447-450.
 28. Cottrell, J.J., et al., *Inflight arterial saturation: continuous monitoring by pulse oximetry*. Aviat Space Environ Med, 1995. **66**(2): p. 126-30.
 29. Waanders, R. and G. Riedmann, *Short term impairment in cognitive functioning after a rapid ascent to altitude of 4,559 meters (Abstract)*. Eur J Neurisci (Suppl), 1994. **7**: p. 217.
 30. Tune, G.S., *Psychological effects of hypoxia: Review of certain literature from the period 1950 to 1963*. Percept Mot Skills, 1964. **19**: p. 551-562.
 31. Hochstrasser, J., A. Nanzer, and O. Oelz, *[Altitude edema in the Swiss Alps. Observations on the incidence and clinical course in 50 patients 1980-1984]*. Schweiz Med Wochenschr, 1986. **116**(26): p. 866-73.
 32. Bircher, H.P., et al., *Relationship of mountain sickness to physical fitness and exercise intensity during ascent*. J Wild Med, 1994. **5**(4): p. 302-311.
 33. Basnyat, B., J. Lemaster, and J.A. Litch, *Everest or bust: a cross sectional, epidemiological study of acute mountain sickness at 4243 meters in the Himalayas*. Aviat Space Environ Med, 1999. **70**(9): p. 867-73.
 34. Basnyat, B. and J.A. Litch, *Medical problems of porters and trekkers in the Nepal Himalaya*. Wilderness Environ Med, 1997. **8**(2): p. 78-81.
 35. Sui, G.J., et al., *Subacute infantile mountain sickness*. J Pathol, 1988. **155**(2): p. 161-70.
 36. Arregui, A., et al., *Migraine, polycythemia and chronic mountain sickness. Cephalalgia*, 1994. **14**(5): p. 339-41.
 37. Bernardi, L., et al., *Ventilation, autonomic function, sleep and erythropoietin. Chronic mountain sickness of Andean natives*. Adv Exp Med Biol, 2003. **543**: p. 161-75.
 38. Curran, L.S., et al., *Ventilation and hypoxic ventilatory responsiveness in Chinese-Tibetan residents at 3,658 m*. J Appl Physiol, 1997. **83**(6): p. 2098-104.
-

39. Ge, R.L. and G. Helun, *Current concept of chronic mountain sickness: pulmonary hypertension-related high-altitude heart disease*. Wilderness Environ Med, 2001. **12**(3): p. 190-4.
40. Leon-Velarde, F. and J.T. Reeves, *International consensus group on chronic mountain sickness*. Adv Exp Med Biol, 1999. **474**: p. 351-3.
41. Monge, C.C., A. Arregui, and F. Leon-Velarde, *Pathophysiology and epidemiology of chronic mountain sickness*. Int J Sports Med, 1992. **13 Suppl 1**: p. S79-81.
42. Moore, L.G., S. Niermeyer, and S. Zamudio, *Human adaptation to high altitude: regional and life-cycle perspectives*. Am J Phys Anthropol, 1998. **Suppl 27**(107): p. 25-64.
43. Spitzer, H., T. Hettinger, and G. Kaminski, *Tafeln für den Energieumsatz bei körperlicher Arbeit*. 1982, Berlin, Köln: Beuth Verlag.
44. Siedenburg, J., *Kompendium Reisemedizin und Flugmedizin*. 6. Aufl. ed. 2009, Norderstedt: BoD - Books on Demand.
45. Kupper, T., *[Non-traumatic aspects of sport climbing]*. Wien Med Wochenschr, 2005. **155**(7-8): p. 163-70.
46. N.N., *The Criteria Committee of the New York Heart Association. Diseases of the Heart and Blood Vessels: Nomenclature and Criteria for Diagnosis*, in *The Criteria Committee of the New York Heart Association. Diseases of the Heart and Blood Vessels: Nomenclature and Criteria for Diagnosis*, N.N., Editor. 1928, Little Brown: Boston, Mass.
47. N.N., *The Criteria Committee of the New York Heart Association. Nomenclature and Criteria for Diagnosis of Diseases of the Heart and Great Vessels*, in *The Criteria Committee of the New York Heart Association. Nomenclature and Criteria for Diagnosis of Diseases of the Heart and Great Vessels*, N.N., Editor. 1994, Little, Brown & Co: Boston, Mass. p. 253-256.
48. Miller-Davis, C., S. Marden, and N.K. Leidy, *The New York Heart Association Classes and functional status: what are we really measuring?* Heart Lung, 2006. **35**(4): p. 217-24.
49. Angelini, C. and G. Giardini. *Consensus Statement of the UIAA Medical Commission Vol.16: Travel to Altitude with Neurological Disorders*. 2009 [cited 2009].
50. Siedenburg, J., *Kompendium Reisemedizin und Flugmedizin*. 7. Aufl. ed. 2010, Norderstedt: BoD - Books on Demand.
51. Kupper, T., *[Workload and professional requirements for alpine rescue]*, in *Dept. of Aerospace Medicine*. 2006, RWTH Aachen Technical University: Aachen.

Mitglieder der Medizinischen Kommission der UIAA (in alphabetischer Reihenfolge)

C. Angelini (Italien), B. Basnyat (Nepal, Präsident der Kommission), J. Bogg (Schweden), A.R. Chioconi (Argentinien), S. Ferrandis (Spanien), U. Gieseler (Deutschland), U. Hefti (Schweiz), D. Hillebrandt (Großbritannien), J. Holmgren (Schweden), M. Horii (Japan), D. Jean (Frankreich), A. Koukoutsis (Griechenland), J. Kubalova (Tschechische Republik), T. Küpper (Deutschland), H. Meijer (Niederlande), J. Milledge (Großbritannien), A. Morrison (Großbritannien), H. Mosaedian (Iran), S. Omori (Japan), I. Rotman (Tschechische Republik), V. Schöffl (Deutschland), J. Shahbazi (Iran), J. Windsor (Großbritannien)

Gast Author

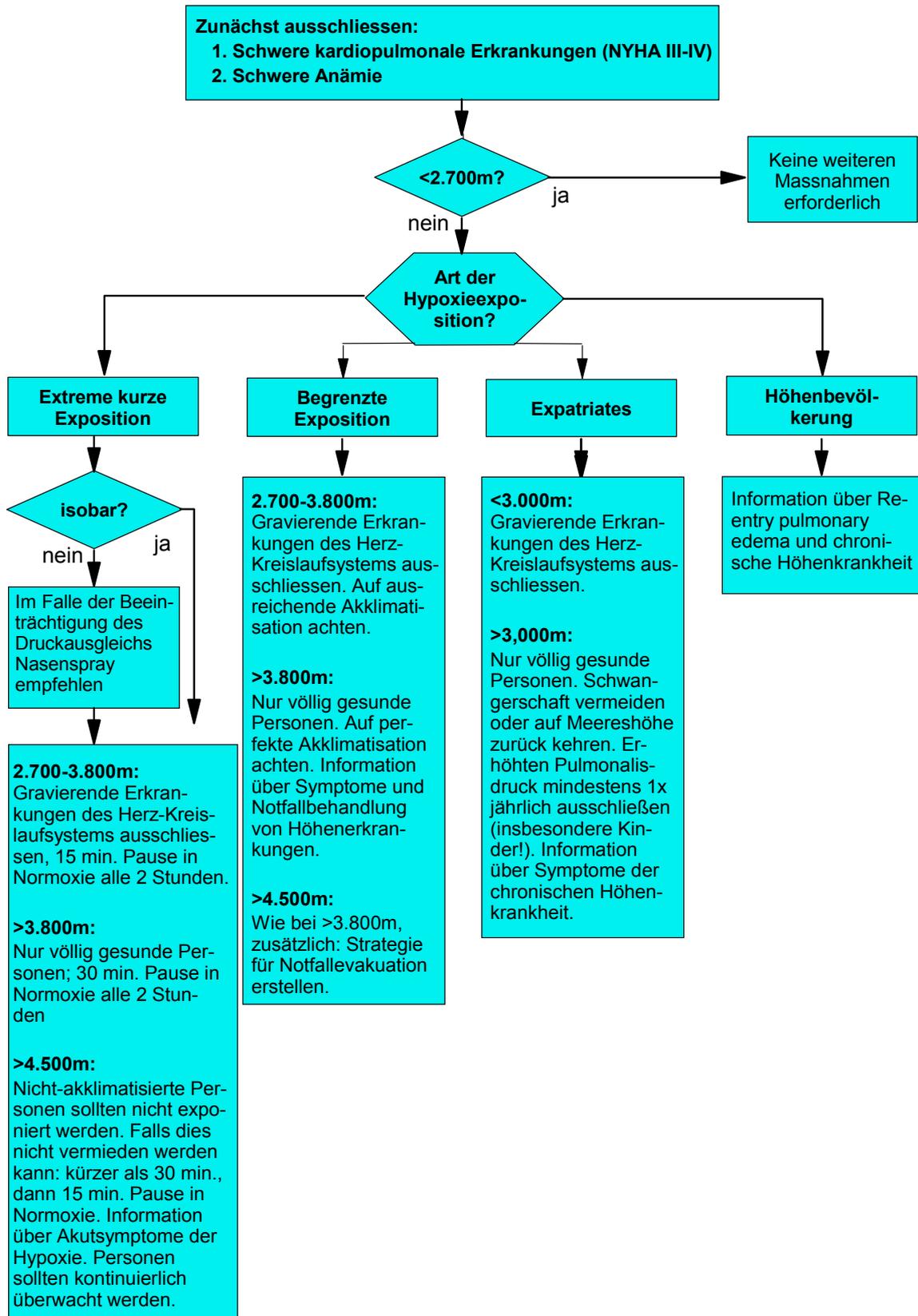
R. Pullan (Altitude Centre, London, U.K.)

Historie der vorliegenden Empfehlung

Die ursprüngliche Version wurde im Umlaufverfahren im August 2009 publiziert, aktualisiert und im Umlaufverfahren im April 2010 angenommen.

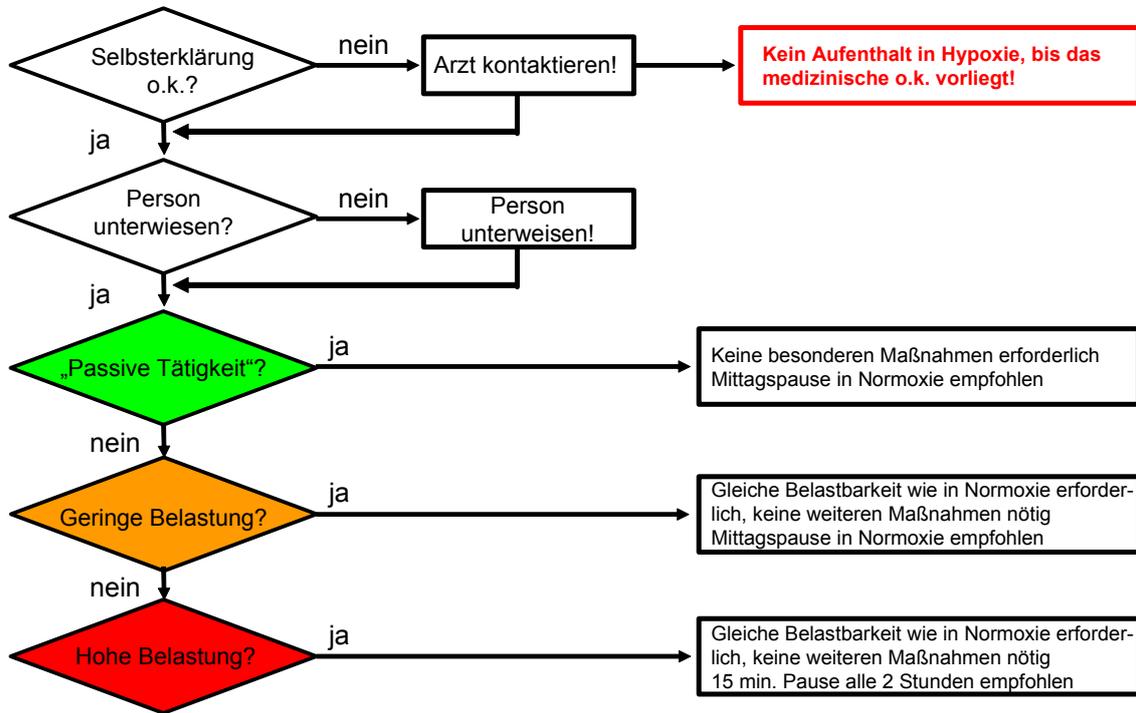
Eine Aktualisierung wurde beim Jahrestreffen der Kommission in Whistler / Canada im Juli 2012 und eine weitere im Umlaufverfahren im Februar 2014 angenommen. Die aktuelle Version 2.15 wurde auf dem Jahrestreffen im Mai 2015 auf Kalymnos verabschiedet.

Anhang 1: Flussdiagramm zur Durchführung der Arbeitsmedizin und –sicherheit bei Arbeiten in Hypoxie

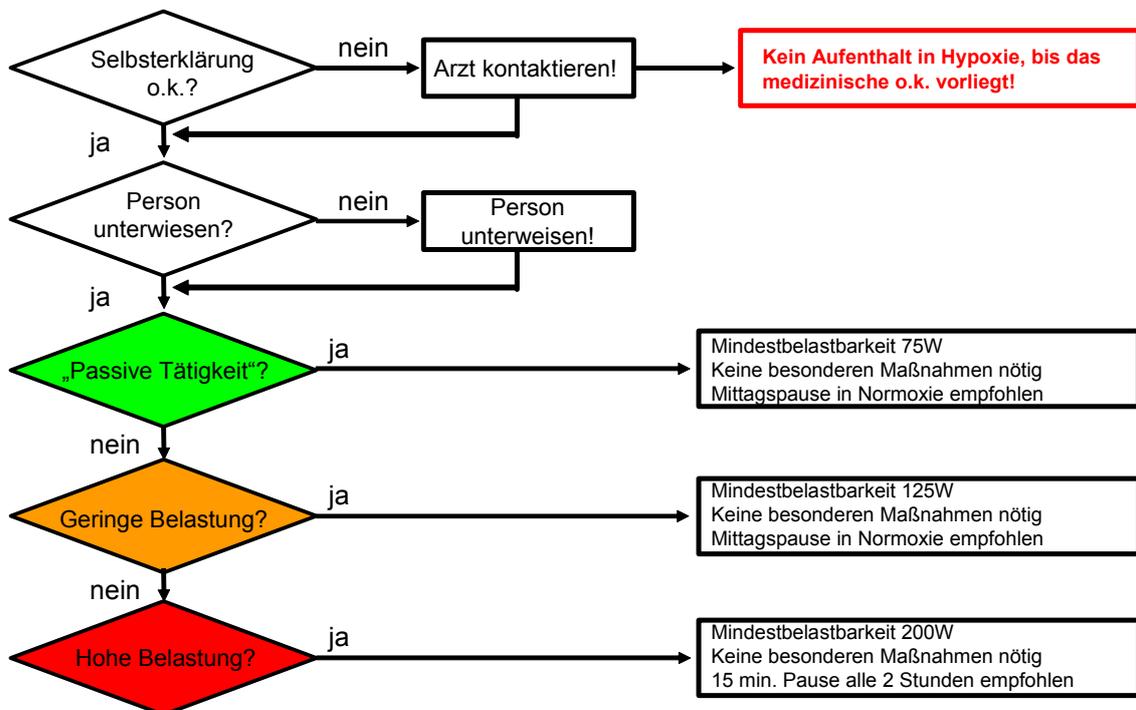


Anhang 2: Vereinfachte Flußdiagramme für Arbeitsmedizin und Arbeitsschutz, differenziert nach Risikoklassen

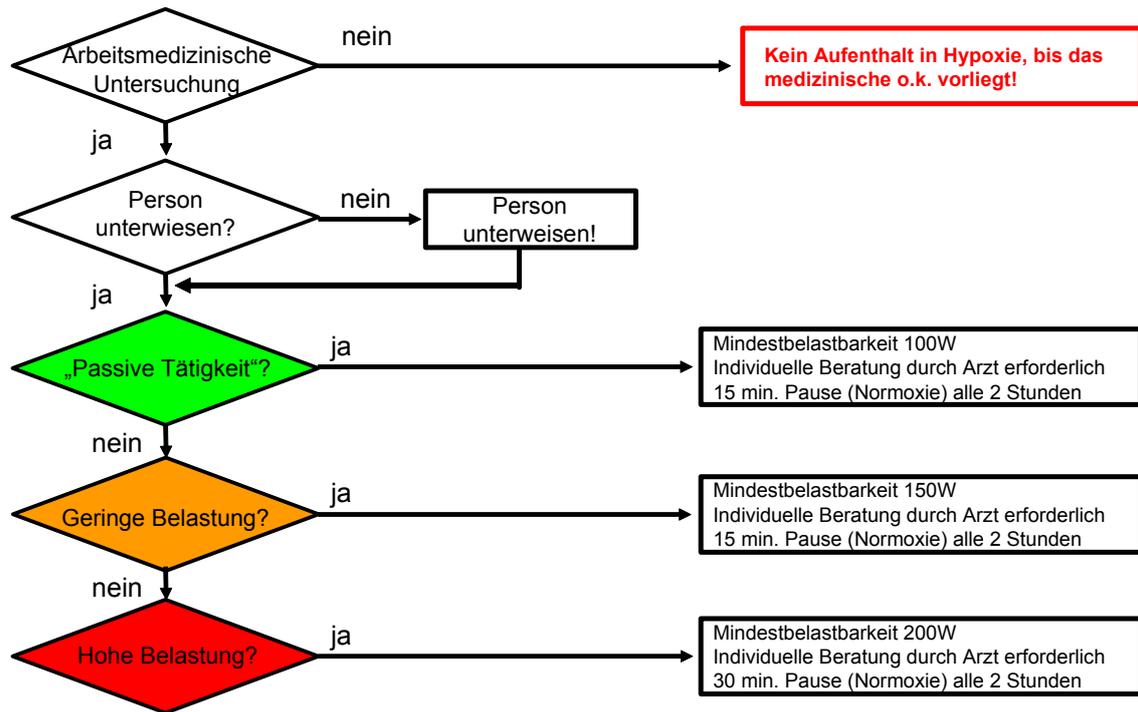
Anhang 2.1: Klasse 1 (>17%; 0-1700m)



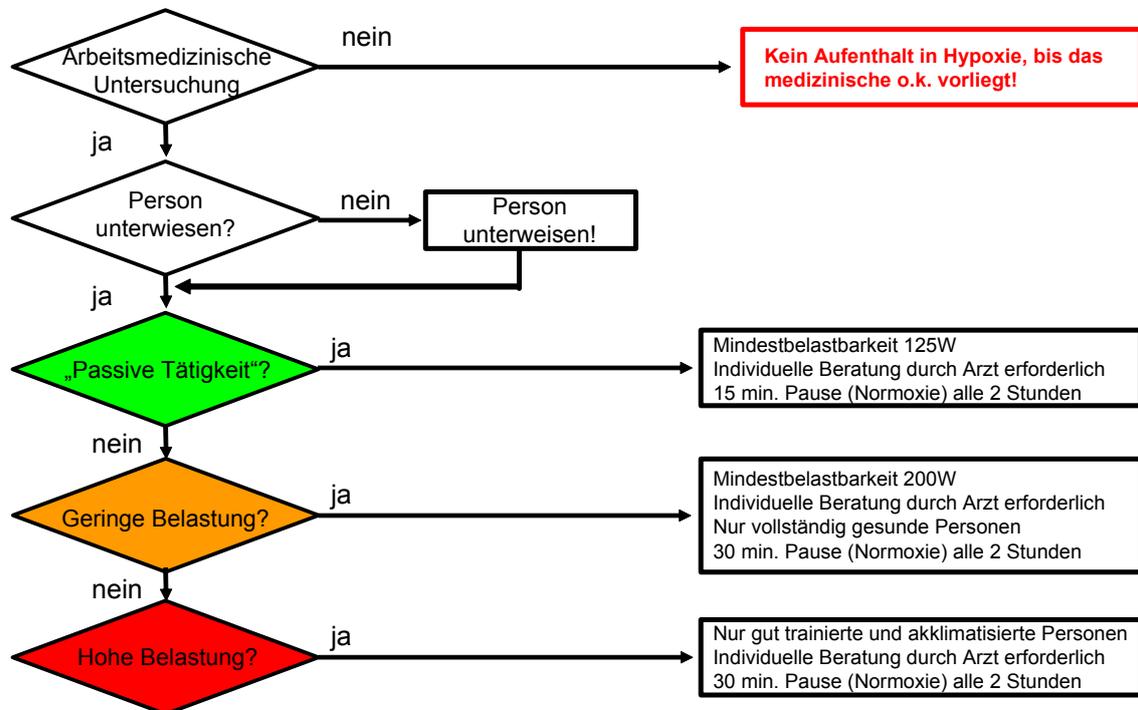
Anhang 2.2: Klasse 2 (>16,9 – 14,8%; 1700 – 2800m)



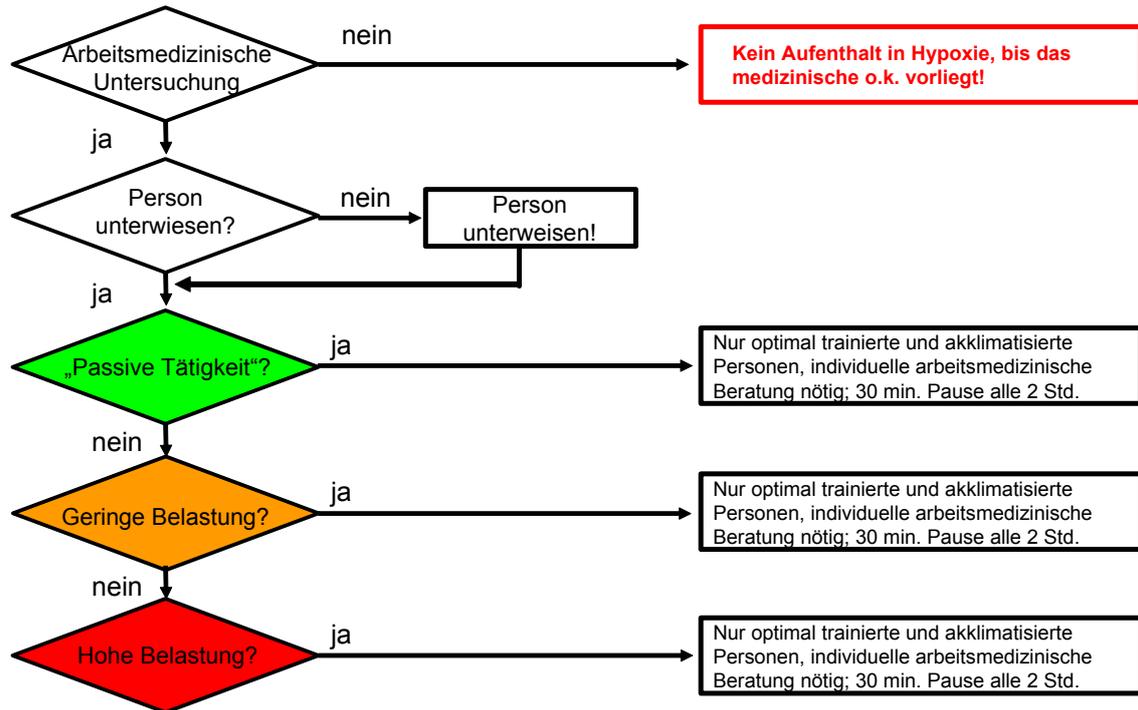
Anhang 2.3: Klasse 3 (>14,7 – 13,0; 2800 – 3800m)



Anhang 2.4: Klasse 4 (12,9 – 10,7%; 3800 – 5300m)



Anhang 2.5: Klasse 5 (<10,7%; >5300m)



Anhang 3: Klassifizierung der New York Heart Association (NYHA, aktualisierte Version von 1994) [47]

Belastbarkeit / klinische Symptome	Objektive Beurteilung
Klasse I. Patienten mit Herzerkrankung aber ohne Einschränkung der physischen Aktivität. Gewöhnliche physische Tätigkeiten verursachen keine Ermüdung, Herzklopfen, Luftnot oder pektanginöse Schmerzen.	A. Kein objektiver Nachweis einer kardiovaskulären Erkrankung.
Klasse II. Patienten mit Herzerkrankung und leichter Einschränkung der physischen Aktivität. Keine Beschwerden in Ruhe. Gewöhnlich verursacht die physische Aktivität keine Ermüdung, Herzklopfen, Luftnot oder pektanginöse Beschwerden.	B. Objektiver Nachweis einer minimalen kardiovaskulären Erkrankung.
Klasse III. Patienten mit Herzerkrankung, die zu einer deutlichen Einschränkung der physischen Aktivität führt. Keine Beschwerden in Ruhe. Gewöhnlich führt die physische Aktivität zu geringer Ermüdung, Herzklopfen, Luftnot oder pektanginöse Beschwerden.	C. Objektiver Nachweis einer moderaten bis schweren kardiovaskulären Erkrankung.
Klasse IV. Patienten mit Herzerkrankung, die zu starken Beschwerden und Unvermögen führt. Jegliche physische Aktivität verursacht Beschwerden. Keine körperliche Aktivität ohne Beschwerden. Symptome von Herzversagen oder pektanginöse Syndrom werden auch in Ruhe wahrgenommen. Jede körperliche Aktivität führt zu einer Steigerung der Beschwerden.	D. Objektiver Nachweis einer schweren kardiovaskulären Erkrankung.

Anhang 4: Richtlinien der International Porter Protection Group (IPPG)

1. Trekking-Ethik

1. Es muss dafür gesorgt werden, dass die Träger ausreichende Kleidung zur Verfügung haben, um sich vor Kälte, Regen und Schnee zu schützen. Dies schließt ein: winddichte Jacke und Hose, Fleece-Jacke, Überhose, Schuhe (Lederstiefel für Schnee), Socken, Hut, Handschuhe und Sonnenbrille.
2. Oberhalb der Baumgrenze sollten die Träger eine Unterkunft haben, entweder einen Raum in einer Lodge oder ein Zelt (das Küchenzelt der Trekkinggruppe ist nicht angemessen, denn es bietet keine Schlafmöglichkeit vor dem späten Abend), eine Liegematte und eine Decke oder einen Schlafsack. Sie sollten ausreichend Nahrung und warme Getränke oder aber eine Kochmöglichkeit und Brennstoff zur Verfügung haben.
3. Träger sollten auf dem gleichen medizinischen Standard versorgt werden, wie die Trekker, auch sollte eine Unfallversicherung abgeschlossen sein.
4. Träger sollten im Falle einer Erkrankung nicht entlassen und ausgezahlt werden, ohne dass die Trekking-/ Expeditionsleitung sich sorgfältig ein genaues Bild vom Zustand des Patienten macht. Der Leiter der Trägergruppe (Sirdar) muss die Trekking-/ Expeditionsleitung informieren, falls ein Träger erkrankt. Diesbezügliche Unterlassungen haben zu zahlreichen Todesfällen geführt. Kranke oder verletzte Träger sollten niemals alleine ins Tal geschickt werden, sondern von jemandem begleitet werden, der ihre Sprache spricht und ihr Problem versteht. Ein Schreiben mit Informationen zu Beschwerden und bislang erfolgter Behandlung sollte mitgegeben werden. Es sollten ausreichend Geldmittel zur Verfügung stehen, um Rettung und Behandlung bezahlen zu können.
5. Träger dürfen keine Lasten tragen, die ihre physische Kapazität übersteigt (max. 20 kg am Kilimandscharo, 25 kg in Peru und Pakistan und 30 kg in Nepal). Gewichtseinschränkungen müssen ggf. der Höhe, der Strecke und den Wetterbedingungen angepasst werden, bei der Entschlussfassung ist Erfahrung vonnöten.

2. Fragen an die Trekking-Veranstalter:

1. Befolgt das Unternehmen die oben genannten 5 Richtlinien der IPPG zur Sicherheit des Trägers?
2. Wie ist das Vorgehen hinsichtlich der Ausrüstung und Gesundheitsfürsorge der Träger?
3. Wie haben sie geregelt, dass die Mitarbeiter ausreichend ausgebildet sind und sich um das Wohlergehen der Träger kümmern?
4. Wie haben sie geregelt, dass der örtlich Verantwortliche (in Nepal) ausreichend hinsichtlich der Überwachung der Gesundheit der Träger ausgebildet ist?
5. Fragen Sie die Teilnehmer nach dem Trek nach ihrem Eindruck, wie die Träger behandelt worden sind?

Quelle: www.ippg.net, Download am 03.08.2008