

Orthopädische und Sportorthopädische Klinik und Poliklinik
der Technischen Universität München
Klinikum rechts der Isar
(Direktor: Univ.-Prof Dr. R Gradinger)

Abteilung für Sportorthopädie
(Leiter: Univ.-Prof. Dr A. Imhoff)

Risiken und Gefahren des Höhentrekking

Früherkennung der Höhenkrankheit mit objektiven Methoden

Michael Urbas

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines **Doktors der Medizin** genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. K.-A. Riel
2. Univ.-Prof. Dr. Jeschke

Die Dissertation wurde am 2.5.2000 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 8.11.2000 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	1
1 EINLEITUNG	4
2 THEMA UND LITERATURÜBERBLICK	7
2.1 <i>Akklimatisation</i>	7
2.2 <i>Die Formen der akuten Höhenkrankheit</i>	7
2.3 <i>Ätiologie der Höhenkrankheit</i>	9
2.4 <i>Vorsorgeuntersuchung und Eignungstests</i>	12
2.5 <i>Therapie</i>	12
2.6 <i>Prävention</i>	14
2.7 <i>Apparative Messmethoden</i>	16
2.8 <i>Erfahrungswerte, Taktik der Höhenanpassung</i>	17
2.9 <i>Untersuchungen zur Früherkennung der Höhenkrankheit</i>	18
3 MATERIAL UND METHODE : BESCHREIBUNG DER GERÄTE UND DES FRAGEBOGENS	22
3.1 Methode	22
3.2 Material : Geräte und Fragebogen	24
3.2.1 <i>Pulsoximeter</i>	24
3.2.2 <i>Capnometer</i>	24
3.2.3 <i>Spirometer (elektronisches Peakflowmeter)</i>	25
3.2.4 <i>RR-Meßgerät</i>	25
3.2.5 <i>Wartung der Geräte, Eichung, Hygiene</i>	25
3.2.6 <i>Fragebögen</i>	25
3.2.7 <i>AMS-Score (Selbsteinschätzungsscore zur Höhenkrankheit)</i>	26
4 UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE	30
4.1 <i>Untersuchte Trekinggruppen</i>	30
4.2 <i>Profil der gesamten Trekkinggruppen</i>	30
4.2.1 <i>Geschlechtsverteilung</i>	30
4.2.2 <i>Altersverteilung</i>	31
4.2.3 <i>Gewichtsverteilung, Körpergröße und Body Mass Index (BMI)</i>	31
4.2.4 <i>Höhenerfahrung und frühere höhenbedingte Beschwerden</i>	31
4.2.5 <i>Vorbereitung durch Ausdauertraining</i>	32
4.2.6 <i>Voruntersuchung</i>	32
4.2.7 <i>Vorerkrankungen</i>	32
4.2.8 <i>Medikamenteneinnahme während der Tour</i>	33
4.3 <i>Von der Höhenkrankheit unabhängige Beschwerden</i>	33
4.3.1 <i>Unfälle</i>	33

4.3.2	Krankheit	33
4.4	<i>Akute Höhenkrankheit: Ergebnisse der Auswertungen des AMS-Scores</i>	34
4.4.1	Verteilung der einzelnen Symptome des Scores	35
4.4.2	Anzahl der aufgetretenen Fälle von Höhenkrankheit	35
4.4.3	Zeitlicher Verlauf der Scorewerte während des Trekkings	36
4.4.4	Vergleich der vier verschiedenen Routen	37
4.4.5	Höhenanpassung bei der Solu Khumbu Tour: Profil der mittleren Scorewerte bei bestimmten Höhen	46
4.5	<i>Parameter und deren Verlauf</i>	48
4.6	<i>Korrelationen</i>	51
4.7	<i>Tageszeitliche Abweichungen der einzelnen Parameter</i>	54
4.8	<i>Kasuistische Befunde</i>	57
4.8.1	Höhenkrankheit in ihrer Entwicklung bei Proband 7	57
4.8.2	Die Werte von Proband 3 als Beispiel eines beschwerdefreien Probanden	61
4.8.3	Gründe für den Abbruch von Proband 4 und 5	62
4.8.4	Proband 1 der Solu-Khumbu Tour 2	63
5	DISKUSSION	65
5.1	<i>Diskussion der Ergebnisse des Fragebogens (exclusive Score)</i>	65
5.1.1	Anamnese früherer höhenbedingter Beschwerden / Problematik der subjektiven Einschätzung	65
5.1.2	Ärztliche Voruntersuchung und Betreuung	65
5.1.3	Medikamenteneinnahme	66
5.2	<i>Beurteilung der einzelnen Touren hinsichtlich ihres Höhenprofils und des zeitlichen Organisationsrahmens unter Berücksichtigung der AMS-Scorewerte</i>	67
5.3	<i>Bewertung der Geräte auf Ihre Messgenauigkeit in der Höhe und im Outdoorbereich</i>	69
5.3.1	<i>Pulsoximeter</i>	70
5.3.2	<i>Capnometer</i>	70
5.3.3	<i>Spirometer (elektronisches Peakflowmeter)</i>	70
5.4	<i>Bewertung des Nutzens der einzelnen Geräte für die Prophylaxe der Höhenkrankheit</i>	71
5.4.1	<i>Pulsoximeter</i>	71
5.4.2	<i>Capnometer</i>	72
5.4.3	<i>Spirometer (elektronisches Peakflowmeter)</i>	74
5.4.4	<i>RR-Messgerät</i>	74
5.4.5	<i>Tauglichkeit als Ausrüstungsgegenstand für den Trekkingführer</i>	75
5.5	<i>Diskussion tageszeitlich bedingter Unterschiede</i>	75
5.6	<i>Diskussion der Kasuistik von Proband 3 (Bergführer)</i>	75
5.7	<i>Empfehlenswerte Vorsorgemaßnahmen</i>	76
5.8	<i>Taktisches Handeln zur Vermeidung und Therapie der Höhenkrankheit</i>	76
6	ZUSAMMENFASSUNG	78
7	LITERATURVERZEICHNIS	79

8	ANHANG	86
8.1	<i>Karten und Routen</i>	86
8.1.1	Solu Khumbu	86
8.1.2	Everest Basecamp	87
8.1.3	Kantschendzonga Basecamp	88
8.1.4	Dhaulaghiri I	88
8.2	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	88
8.2	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	89
8.3	<i>Tabellenverzeichnis</i>	91
8.4	<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	93
9	LEBENS LAUF	95
10	DANKSAGUNG	96

1 Einleitung

Höhenbergsteigen hat sich in den letzten Jahren unter den alpinen Trendsportarten etabliert. Durch ein steigendes Angebot kommerziell organisierter Trekkingtouren und Expeditionen nach Nepal, Tibet, Pakistan oder Südamerika wurde Bergsteigen in großen Höhen zu einem realisierbaren Urlaubsvergnügen für eine breite Bevölkerungsschicht in Europa. Diese verlockende Reiseangebote können natürlich auch mit gesundheitlichen Gefahren verbunden sein, die der wenig informierte und unvorbereitete Pauschaltourist nicht überblicken kann. Deshalb lastet ein großer Teil der Verantwortung auf dem Reiseunternehmer, der seine Kunden im voraus fachkundig beraten, informieren und im Idealfall auch von der Teilnahme ausschließen sollte, falls das Risiko für den Betroffenen zu hoch ist. Dabei stellen sich natürlich sofort die Fragen: Mit welchen Risiken hat der Einzelne, aber auch der Veranstalter zu rechnen? Mit welchen Methoden lassen sich Gefahren abschätzen und gleichzeitig möglichst gering halten? Wie lässt sich der Gesundheitszustand eines Bergsteigers abschätzen fernab von jeglicher medizinischer Versorgung und den technischen Möglichkeiten eines europäischen Krankenhauses? Gibt es Methoden und medizinische Hilfsmittel, die im Zweifelsfall Aufschluss über den Gesundheitszustand eines Bergsteigers geben können. Um diese Fragen beantworten zu können, war und ist es nötig, Forschungen anzustellen.

Untersuchungen haben ergeben, dass tödliche Verletzungen beim Höhentrekking viermal häufiger sind als der Tod durch die direkten Folgen der Höhenkrankheit [11]. Beides ist jedoch nicht völlig getrennt voneinander zu beurteilen. Ein kausaler Zusammenhang zwischen Höhenkrankheit und erhöhter Verletzungsgefahr existiert zweifellos, z.B. über eine Verminderung des Reaktionsvermögens [69], Konzentrationsvermögens und der Koordination. Deshalb ist ein Teil der tödlichen Verletzungen als eine indirekte Folge der Höhenkrankheit zu werten. Infektionskrankheiten sind mit Abstand die häufigsten Erkrankungen. 87% der über 300 Teilnehmer einer Studie [44] hatten Symptome einer Infektion, hauptsächlich des Respirations- und des Magen-Darmtraktes (v.a. Durchfall). Infektionen sind jedoch heute, im Antibiotikazeitalter, keine lebensbedrohliche Gefahr mehr für den körperlich gesunden Bergsteiger, der Impfeempfehlungen berücksichtigt.

Diese Arbeit beschäftigt sich in erster Linie mit der Abschätzung und Minimierung des Risikos für den einzelnen Bergsteiger. Ein gesundheitliches Risiko durch die Höhenexposition und die physische und psychische Belastung lässt sich im Vorfeld nur durch eine sportmedizinische (bzw. bergmedizinische) Voruntersuchung feststellen und hängt zunächst vom Gesundheitszustand des Untersuchten ab. Eine Liste von Vorerkrankungen als absolute und relative Kontraindikationen für die Teilnahme an Trekkingtouren ist in Tabelle 1 dargestellt (s. auch[4][10][11]). Aus den dort aufgeführten Krankheitsbildern könnte man schließen, dass vor allem der ältere, kranke Mensch gefährdet ist, aber dies ist nicht der Fall. Schenkt man der Meinung erfahrener Bergmediziner und

Bergführer Glauben, so trifft die Höhenkrankheit viel eher den jungen, gesunden, sportlichen Bergsteiger. Ein guter gesundheitlicher Zustand verleitet den Unerfahrenen leicht zu Übermut; Akklimatisierungsregeln^a werden nicht beachtet und dadurch werden zu viele Höhenmeter in zu kurzer Zeit zurückgelegt. Der weniger Gesunde wird im allgemeinen vorsichtiger sein, und sich dadurch besser, weil langsamer an die Höhe anpassen. Gefährlich wird es vor allem dann, wenn beide der eben genannten Typen in einer Gruppe aufeinandertreffen und sich der ungeduldige, besser konstituierte, in der Routenplanung durchsetzt. Dann besteht ein weitaus größeres Risiko für den gesundheitlich labilen Bergsteiger. Die Charakterisierung des letzteren impliziert zwei der von Riel [54] beschriebenen „Gefahrenmomente des Trekkingtourismus aus ärztlicher Sicht“: erstens den gesundheitlich vorgeschädigten, zweitens den verplanten Trekkingtouristen.

Diese eben aufgeführte Typisierung reicht verständlicherweise nicht aus, um die Gefährdung des Einzelnen durch die Höhenkrankheit festzustellen. Auch die Liste der Kontraindikationen bezieht sich nicht auf das Risiko der Höhenkrankheit. Es wäre also sinnvoll, einen Test zu entwickeln, der Risikopersonen herausfiltert. Mehrere Tests stehen bereits zur Verfügung, von der einfachen klinischen Untersuchung bis zum Hypoxiebelastungstest oder den nur zu Versuchszwecken durchgeführten aufwendigen Tests in der Unterdruckkammer (ausführlichere Beschreibungen s. unter 2.5.)

Grund zur Diskussion gibt auch die berechtigte Frage nach der Reproduzierbarkeit des Aufenthalts in der Höhe. Auch aufwendige Versuche in einer solchen, eben angesprochenen, Unterdruckkammer können nur zum Teil die dort vorherrschenden Verhältnisse simulieren. Physikalische Klimaparameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und vor allem der atmosphärische Druck, der für die Ätiologie der Höhenkrankheit wohl wichtigste Faktor, sind zwar genauestens variierbar. Sie umfassen allerdings längst nicht die gesamte Komplexität der tatsächlichen Situation mit ihren zahlreichen Einflussgrößen, in der sich ein Bergsteiger in Nepal befindet. Deshalb ist es nach wie vor notwendig, Untersuchungen vor Ort anzustellen, zum einen, um genügend Erfahrungen zu sammeln und zum anderen, um eine Methode zu finden, die auch einem speziell geschulten Bergführer unmittelbare objektive Aussagen über den Zustand der Bergsteiger erlaubt. Ideal dafür geeignet sind kleine, transportable Geräte, die aussagekräftige Werte liefern. Subjektive Symptome sind zwar sehr wertvolle diagnostische Parameter, müssen aber nicht immer früh auftreten und werden auch gerne verdrängt bzw. durch die Einnahme von Medikamenten maskiert. Deshalb haben wir eine Reihe von medizinisch-diagnostischen Geräten im täglichen Einsatz im Himalaya-Gebirge getestet, die im Kapitel 3 aufgeführt sind.

^a Akklimatisierung: dynamischer, physiologischer Vorgang der Anpassung an die Höhe und den damit verbundenen niedrigerem Sauerstoffangebot durch den reduzierten atmosphärischen Druck

Tabelle 1: Kontraindikationen für Höhentrekkingtouren (>3000m) aus Jenny [30]. Es existieren viele verschiedene Tabellen und Meinungen. Die abgebildete Tabelle entspricht größtenteils dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Im Einzelfall muss jedoch individuell entschieden werden. Diese Tabellen dienen lediglich als Hilfsmittel für den beratenden Arzt sowie als Orientierungshilfe für den Bergsteiger.

KONTRAINDIKATIONEN	
ABSOLUT	RELATIV
<ul style="list-style-type: none"> • schlecht eingestellte arterielle Hypertonie • koronare Herzerkrankung mit instabiler AP • frischer Myokardinfarkt • Z. n. Koronarer-Bypass-OP • latente Linksherzinsuffizienz • kardiale Dekompensation • (restriktive) respiratorische Insuffizienz • rezidivierender Spontanpneumothorax • pulmonale Hypertonie • Thrombocytose • Hyperthyreose • Schlecht eingestellter Diabetes mell. • periphere Arterielle Verschlusskrankheit • frische Phlebothrombose • Epilepsie (häufige Anfälle) • Florides ulcus pepticum • Entzündliche Darmerkrankungen • Innenohrschädigung (Vestibularorgan) • manifeste Niereninsuffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> • arterielle Hypertonie • koronare Herzerkrankung • fixfrequenter Herzschrittmacher • Asthma bronchiale • Vorausgegangenes Höhenlungenödem • Marcumartherapie • Gut eingestellter Diabetes mell. • massive Varikosis • Z.n. Phlebothrombose • schwere Migräne • Depressionen • Einäugigkeit
KONTRAINDIKATIONEN MIT ZEITLICHER BEGRENZUNG	
<ul style="list-style-type: none"> • Thrombophlebitis • Cortisontherapie • Hernie mit Inkarzerationsgefahr 	<ul style="list-style-type: none"> • rheumatisches Fieber • akuter fieberhafter Infekt

2 Thema und Literaturüberblick

Ziel der Untersuchungen war, Möglichkeiten und Wege zu finden, die zu einer frühen und sicheren Erkennung der Höhenkrankheit beim Trekking führen.

2.1 Akklimation

Unterschiedliche Höhenprofile und die zeitliche Organisation sind vor allem in der Anfangsphase einer Trekkingreise von Bedeutung, diese Akklimationssphase stellt die sensibelste Phase eines Höhengaufenthalts dar. Innerhalb dieser ersten sechs bis zehn Tage kann sich der menschliche Organismus an die durchschnittlichen Höhenunterschiede von 4000 Metern adaptieren. Dieser Prozess wird Akklimation genannt, der Status, der dabei optimaler Weise erreicht wird, ist eine gute Akklimation.

2.2 Die Formen der akuten Höhenkrankheit

Die akute Höhenkrankheit äußert sich in unterschiedlichen Ausprägungsgraden und mit unterschiedlichen Symptomen. Grob lassen sich drei verschiedene Formen der akuten Höhenkrankheit und eine Übergangsphase voneinander unterscheiden: Die milde, unspezifische Form der akuten Höhenkrankheit (milde AMS), das Höhenlungenödem (HAPE = High Altitude Pulmonary Edema) und das Höhenhirnödem (HACE = High Altitude Cerebral Edema) sind die 3 klassischen Typen. Die erste Form kann in eine der beiden schwereren Formen oder auch in beide gleichzeitig übergehen. Diese Übergangsphase, die sich durch Alarm- und Warnsignale, wie sie Berghold beschreibt [12], ausdrückt, wird hier Zwischenstufe genannt. Tabelle 2 fasst die Symptome dieser Stadien zusammen. Die AMS äußert sich durch Symptome wie Kopfschmerzen, Übelkeit und Schlafstörungen und tritt bei 43-75% aller Bergsteiger, die eine Reizhöhe von 3000m überschreiten, in unterschiedlicher Kombination und Ausprägung auf.

Die Höhenkrankheit kann, hat sie ein ausgeprägtes Stadium erreicht, tödlich enden. Ein solches äußert sich immer durch eine alarmierende Symptomatik, wie schwere Atemnot mit blutigem Auswurf oder schwere Bewußtseinsstörungen bis zum Koma [28]. Diese Fälle treten aber bei Trekkingreisen sehr selten auf. Die Häufigkeit des Auftretens des HAPE liegt bei 0,7-3 %, die Letalität bei ca. 24 %. Das HACE tritt bei 0,3-1 % auf, seine Letalität beträgt 40 % [12]. Beim Höhentrekking liegt die Todesrate bei 0,014%. Die Höhenkrankheit macht davon etwa ein Viertel aus (0,004%) [78]. Das bedeutet, dass etwa 5 von 100 000 Trekkingreisenden an den unmittelbaren Folgen der Höhenkrankheit sterben. Hierzu sind die durch Höhenkrankheit verursachten Unfälle zu addie-

ren. Dies ist sicherlich keine erschreckende Statistik. Wenn man aber weiß, dass jeder einzelne dieser Fälle vermeidbar wäre, besteht hier durchaus Handlungsbedarf. Bei Expeditionen liegt die Letalität um den Faktor 200 höher [68]. Die absolute Zahl der Todesfälle beim Höhentrekking steigt jedoch von Jahr zu Jahr aufgrund des zunehmenden Trekkingtourismus. Ferner gibt es die chronische Höhenkrankheit, die in dieser Arbeit nicht behandelt, sondern nur zur Vollständigkeit erwähnt werden soll. Sie tritt nur bei Höhengaufenthalten auf, die länger als 3 Monate dauern, und spielt im Zusammenhang mit Trekkingtouren keine Rolle. Sie wurde hauptsächlich im Zusammenhang mit den Beschwerden der einheimischen, in höheren Lagen lebenden Bevölkerung untersucht; z.B. bei Sherpas [40].

Tabelle 2: Die Formen der akuten Höhenkrankheit und deren Symptome

milde AMS	Zwischenstufe	HAPE (Höhenlungenödem)
<ul style="list-style-type: none"> • Übelkeit • Appetitlosigkeit • Schlafstörungen • kurze nächtliche Apnoephasen • ungewohnter Leistungsverlust • Ruhepulsanstieg > 20% • periphere Ödeme • Netzhautblutungen • Kopfschmerzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Belastungs- und nächtliche Dyspnoe • feinblasige Rasselgeräusche • trockener Husten • Atemfrequenzanstieg • Tachykardie • rapider Leistungsabfall • nächtliche Angstzustände mit Beklemmungsgefühl • Schlaflosigkeit • schwere Kopfschmerzen • schwere Übelkeit, Erbrechen • Gleichgewichtsstörungen • Schwindel • Benommenheit • Lichtempfindlichkeit • Gangunsicherheit • 24h-Urin < 0,5 l 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruhedyspnoe • Zyanose • „Distanzraseln“ • schwerer Husten • Tachypnoe • schaumiger Auswurf • retrosternales Brennen • kritischer Allgemeinzustand
		HACE (Höhenhirnödem)
		<ul style="list-style-type: none"> • Ataxie • Orientierungsstörungen • Verhaltensveränderungen • Sehstörungen • Bewusstseinsstörungen • Pyramidenzeichen • Augenmuskellähmungen • Nystagmus • andere neurologische Symptome

2.3 Ätiologie der Höhenkrankheit

Die Ätiologie der Höhenkrankheit ist mit Sicherheit ein multifaktorieller Prozess. Einige dieser Faktoren sind bereits aufgeklärt, andere noch unbekannt. Die wichtigsten davon werden im folgenden Abschnitt aufgezählt und kurz erläutert.

Sauerstoffmangel ist unumstritten der wichtigste ätiologische Faktor der Höhenkrankheit. Der Sauerstoffpartialdruck sinkt mit dem in der Höhe abnehmenden atmosphärischen Druck. Bei einer erreichten Höhe von ca. 5500m beträgt der Luftdruck nur noch 50% dessen auf Meereshöhe. Dies führt zu Sauerstoffmangel, der vor allem in der An-

fangsphase der Höhenexposition, der Akklimatisierungsphase, auftritt und dem Organismus auf unterschiedlichste Weise schaden kann.

Da das Höhenlungenödem relativ häufig auftritt und aufgrund seiner meist eindeutigen Klinik (s. Tabelle 2: Die Formen der akuten Höhenkrankheit und deren Symptome) gut abzugrenzen ist, befassen sich die meisten Erklärungsmodelle der Höhenkrankheit vorwiegend mit seiner Entstehung. Diese Theorien erlauben aber zum Teil auch den Vergleich mit der Ätiologie anderen Formen der Höhenkrankheit. Am deutlichsten manifestiert sich die hypoxische Schädigung des Gewebes in der Lunge. Die Folge ist eine Verlagerung von Flüssigkeit in den extrazellulären Raum, das Höhenlungenödem (s. 2.1). Die Ansammlung von Flüssigkeit im interzellulären Raum erhöht den intrapulmonalen Druck, gegen den das rechte Herz ankämpfen muss. Dadurch entsteht pulmonale Hypertonie [86], die wiederum das Auspressen von Flüssigkeit durch die geschädigten Endothelien fördert. Durch das resultierende Ödem entsteht ein *circulus vitiosus*, wodurch die Sauerstoffaufnahme des Lungengewebes immer schlechter wird. Es entsteht ein lebensbedrohlicher Zustand, der sofortiges Handeln verlangt (s.2.4).

Die Entstehung der Höhenkrankheit kann jedoch nicht allein durch die Änderung des Sauerstoffpartialdruckes bedingt sein, sonst würde jeder gleichermaßen und reproduzierbar daran erkranken. Da dies nicht der Fall ist, werden viele praedisponierende Faktoren wie Infektionen, konstitutionelle Vorraussetzungen körperlicher wie auch psychischer Art, Klimaverhältnisse und genetische Faktoren diskutiert. Menschen, die schon einmal unter Höhenkrankheit litten, erkranken mit einer größeren Wahrscheinlichkeit bei ihrem nächsten Höhengaufenthalt wieder [28]. Dies gibt Grund zur Annahme, dass es genetische Faktoren gibt, die das Entstehen der Höhenkrankheit [UM1][UM2] begünstigen. Unter vielen in den letzten Jahrzehnten aufgestellten Theorien (u.a. auch Linksherzversagen und Pneumonie) sind letztendlich drei Theorien nach wie vor aktuell. Ihre experimentelle Untersuchungen lieferten größtenteils valide Ergebnisse^a:

- unzureichender hypoxischer Atemantrieb (=Hypoxic Ventilatory Response) [25][66].
- hypoxische Schädigung der Kappillaren (stress failure of pulmonary capillaries [80][82])
- pulmonale Hypertonie [31], [32], [86]

^a Ein großes Problem bei der Beurteilung der Ergebnisse stellten jedoch meist die geringen Fallzahlen dar. Die Möglichkeiten für Untersuchungen vor Ort sind eben begrenzt. Auf einem Berg fernab jeder Zivilisation, bei schwersten Klimaverhältnissen sind die Vorraussetzungen eben andere, als in einem Labor mitten in der Stadt. Und selbst dort treten Schwierigkeiten auf, falls man eine große Zahl von Probanden z.B. in einer Unterdruckkammer untersuchen will. Erstens mangelt es an Probanden, die sich einer solchen nicht ganz unbedenklichen Prozedur unterziehen wollen, zweitens existieren sehr wenige solcher Druckkammern und der Zugang dazu ist schwierig.[0]

Hypoxic Ventilatory Response (HVR)

Einer der Faktoren der Genese der Höhenkrankheit ist die verminderte Reaktion des Organismus auf Sauerstoffmangel über einen unzureichenden Atemantrieb. In einer der eben erwähnten Theorien wird die verminderte oder verzögerte Atemantwort mit der Entstehung der Höhenkrankheit und speziell der des Höhenlungenödems in Zusammenhang gebracht[25][66].

Hypoxische Schädigung der Kapillaren

Die unzureichende Anpassung an das geringere Sauerstoffangebot könnte über ein vermindertes Atemminutenvolumen eine verstärkte Hypoxie zur Folge haben. Mit der Schädigung der Gefäße durch Sauerstoffmangel beschäftigte sich vor allem West. Der Pathomechanismus seiner Hypothese, die er aufgrund von Untersuchungen an Kaninchenlungen aufstellte, ist die hypoxische Schädigung der Kapillarendothelien [80][82].

Pulmonale Hypertonie

Der letzte und wahrscheinlich bedeutendste Faktor ist die Beschaffenheit der Pulmonalarterie und die Höhe des pulmonalarteriellen Druckes. Kälte, als einer der prädisponierenden Faktoren der Höhenkrankheit bekannt, erhöht gleichzeitig den pulmonalarteriellen Druck [31].

Radiologische Thoraxuntersuchungen zeigten, dass bei Höhenlungenödem-Risikopatienten unter Hypoxie mit einer Steigerung des intrapulmonalen Druckes und höheren intraluminalen Drücken der Pulmonalarterie reagieren [32]. Dopplersonographische Untersuchungen zeigten einen Zusammenhang zwischen pulmonaler Hypertonie und dem Höhenlungenödem [86]. Menschen und Tiere, die gut in Höhenlagen leben können, haben dünnere Pulmonalarterien als andere und eine geringere vaso-konstriktorische Reaktion auf Hypoxie. Des Weiteren erreicht man mit vasodilatativen Substanzen wie Nifedipin [6] und EDRF^a [64] eine deutliche Besserung der Symptome des Höhenlungenödems und einer Verbesserung des Gasaustausches in der Lunge durch ANP^b [77]. Dies geschieht in allen drei Fällen vor allem über die Senkung des pulmonalarteriellen Druckes.

Andere Organe werden ebenfalls durch hypoxische Schädigung beeinflusst. Im Gehirn können ähnliche Mechanismen das Höhenhirnödem (HAPE = high altitude pulmonary edema) auslösen, eine weitere lebensbedrohliche Form der Höhenkrankheit. Die Entstehung peripherer Ödeme an den Beinen, Händen und im Gesicht werden zum einen durch die Hypoxie zum anderen durch den verminderten Luftdruck, der den venösen Rückfluß beeinflusst, begünstigt.

^a endothelium derived relaxing faktor, NO (Stickstoffmonoxyd)

^b atrial natriuretic peptide

2.4 Vorsorgeuntersuchung und Eignungstests

Es wäre sinnvoll, einen Test zu entwickeln, der Risikopersonen herausfiltert. Ein Hypoxiebelastungstest [49] scheint von den bisher realisierbaren Tests dafür am aussagekräftigsten zu sein, ist aber mit relativ hohem Aufwand verbunden. Größere prospektive Studien sind noch nötig um seinen Nutzen zu prüfen. Tests in einer Unterdruckkammer [63], wie sie vor allem in der "Operation Everest II" ([75],[79]) vorgenommen wurden, sind zwar genauer und sicherlich sehr aufschlussreich, aber viel zu aufwendig und teuer, um sie im Rahmen einer Voruntersuchung durchzuführen.

Es gibt viele verschiedene Meinungen praktischer Mediziner, welcher Gesundheitszustand notwendig ist, um für einen Aufenthalt in großen Höhen mit der beim Bergsteigen üblichen körperlichen Beanspruchung geeignet zu sein. Diese Meinungen beruhen im Großen und Ganzen auf empirischen Erfahrungen und pathophysiologischen Überlegungen; groß angelegte Studien wurden diesbezüglich nicht unternommen. Prinzipiell gibt es nach oben hin keine Altersgrenze für den Höhengaufenthalt, im Gegenteil, oft tolerieren ältere Menschen die Höhe besser als junge, wie schon in der Einleitung erwähnt. Woran es liegt, dass oft gerade die Jungen und Gesunden erkranken, lässt sich physiologisch bis jetzt nicht begründen. Taktische Aspekte und Komponenten der Persönlichkeitsstruktur wie die Vernunft und nicht zuletzt auch die Psyche spielen wahrscheinlich eine nicht unbedeutende Rolle. In der Fachliteratur werden Listen von Krankheitsbildern ,die als Ausschlusskriterien für Höhengaufenthalte und -wanderungen gelten sollen, veröffentlicht. Eine dem aktuellen Stand entsprechende, repräsentative Liste absoluter und relativer Kontraindikationen aus Jenny [30] wurde bereits aufgeführt (s. Tabelle 1).

2.5 Therapie

Ein Höhenlungenödem oder auch ein Höhenhirnödem kann sich plötzlich, über Nacht, aus einer zunächst harmlosen Form der AMS entwickeln. Die Frühzeichen bis hin zu den alarmierenden Symptomen der Höhenkrankheit werden leider oft nicht ernst genug genommen. Zum Teil werden sie jedoch auch durch unkontrollierte Medikamenteneinnahme maskiert. Deshalb sollte der meist bestens ausgerüstete Trekking-Tourist möglichst auf die mitgeführten Medikamente aus der Trekkingapotheke, deren Ausstattung in jedem gängigen Fachbuch zu finden ist, verzichten. Weder zur Prophylaxe (z.B. Diamox) noch zur symptomatischen Behandlung gängiger Höhenbeschwerden wie Kopfschmerzen oder Übelkeit ist eine Selbstmedikation ratsam.

Bei alarmierender Symptomatik, einem manifesten Höhenlungenödem oder einem Höhenhirnödem ist die Therapie erster Wahl der sofortige Abstieg bzw. Abtransport in tiefere Lagen (mindestens 500, optimalerweise 1000 Höhenmeter) unter allen verantwortbaren Umständen, auch nachts. Falls dies absolut nicht möglich ist, kann die Zeit bis zum Abtransport durch die Behandlung mit einer transportablen Überdruckkammer, in der der Betroffene dann auch transportiert werden kann, überbrückt werden. Mit un-

terschiedlichen Druckkammern dieser Art sind ausführliche Untersuchungen vorgenommen worden ([7],[33],[34],[67]). Sie haben sich als Standard-Equipment bei größeren Unternehmen bewährt. Die zusätzliche Gabe von Sauerstoff ist indiziert.

Die medikamentösen Therapiemöglichkeiten der Höhenkrankheit sind sehr begrenzt und stellen lediglich eine adjuvante Therapie dar. Sie sollten nur dann vor Ort eingesetzt und ausgereizt werden, wenn der sofortige Abtransport nicht möglich ist oder der Gesundheitszustand des Erkrankten es erfordert. Dann können sie die Progression der Symptomatik etwas hinauszögern. Besser als das Höhenhirnödem spricht das Höhenlungenödem auf Therapie an, zum Beispiel über die Senkung der pulmonalarteriellen Hypertonie (s. 2.1) durch Vasodilatoren und das Ausschwemmen des Ödems durch die kontrollierte intravenöse Gabe von Schleifendiuretika^a. Ihre Wirksamkeit ist jedoch geringer und kürzer sind als bei kardialen Ödemen, die durch unterschiedliche Druckverhältnisse entstehen, nicht durch ein Membranleck wie bei der Höhenkrankheit. Die akute medikamentöse Therapie der Höhenkrankheit setzt in jedem Falle eine fachliche medizinische Betreuung und die nötige Erfahrung voraus und darf nicht von Laien durchgeführt werden. An dieser Stelle soll nicht genauer auf die einzelnen Medikamente, die in der Höhenmedizin eingesetzt werden, eingegangen werden. Wer sich näher mit diesem Thema befassen will, kann in der Literatur Genaueres erfahren (Tabelle 3).

Tabelle 3: Medikamente in der Höhenmedizin

Literaturstelle	Nr.
Bärtsch P, Maggiorini M, Ritter M, Noti C, Vock P, Oelz O: Prevention of high-altitude pulmonary edema by nifedipine. N Engl J Med. 1991, 325(18): 1284-9	[6]
Berghold F, Pallasmann K, Schaffert W, Schobensberger W: Praxis der Höhenanpassung, Therapie der Höhenkrankheit, Österr J f Sportmed. 1991, 1: 4-27	[11]
Berghold F, Schobersberger W: Ätiologie, Klinik und Therapie der Höhenkrankheit: Wien Med Wochenschr. 1994, 144(7): 125-9	[12]
Ellsworth AJ, Larson EB, Strickland D: A randomized trial of dexamethasone and acetazolamide for acute mountain sickness prophylaxis. Am J Med. 1987, 83(6): 1024-30	[18]
Hackett PH, Roach RC, Wood RA, Foutch RG, Meehan RT, Rennie D, Mills WJ Jr: Dexamethasone for prevention and treatment of acute mountain sickness. Aviat Space Environ Med. 1988, 59(10): 950-4	[24]
Keller HR, Maggiorini M, Bartsch P, Oelz O: Simulated descent v dexamethasone in treatment of acute mountain sickness - a randomised trial. BMJ. 1995, 310(6989): 1232-5	[34]
Mirrahimov M, Brimkulov N, Cieslicki J, Tobiasz M, Kudaiberdiev Z, Moldotashev I, Schmidt G, Zielinski J: Effects of acetazolamide on overnight oxygenation and acute mountain sickness in patients with asthma. Eur Respir J 1993 Apr;6(4):536-40	[43]
Wilson MD, Hart LL: Prophylaxis and treatment of altitude sickness with dexamethasone. Ann Pharmacother. 1993, 27(6): 733-5	[83]

^a Medikamente, die an der Henle'schen Schleife der Nierenkanälchen ansetzen und dort zu einer vermehrten Salz- und Wasserausscheidung führen: Furosemid (Lasix), Etsacrynsäure (Hydromedin), Piretanid

Abschließend soll zu diesem Thema noch einmal betont werden, dass die frühzeitige Erkennung von Symptomen und ein rechtzeitiges Handeln absolut im Vordergrund stehen. Im Zweifelsfall ist es grundsätzlich ratsam abzusteigen, statt um jeden Preis zu versuchen, das doch oft hochgesteckte Gipfelziel zu erreichen. Der Preis für einen Gipfel kann sehr hoch sein. Viele, wenn nicht sogar alle tödlichen Zwischenfälle, die durch die Höhenkrankheit bedingt sind, hätten vermieden werden können. Dies zeigen nahezu alle Kasuistiken.

2.6 Prävention

Wenn die meisten schweren Fälle von Höhenkrankheit und die daraus resultierenden Todesfälle vermeidbar wären, liegt die Frage nahe, warum es nach wie vor zu tödlichen Zwischenfällen kommt. Welche Möglichkeit hat der Einzelne sich zu schützen und welche Verantwortung lastet auf dem Veranstalter, repräsentiert durch den Trekkingführer? In den meisten Fällen bleibt dem Einzelnen nur die Selbstbeobachtung und das Vertrauen in den Trekkingführer und dessen Erfahrung. Die Mitreisenden sind in Extremsituationen, und ein Höhentrekking in der Wildnis ist für den Europäer an sich schon eine Extremsituation, meist zu sehr mit sich selbst beschäftigt, um die Beschwerden anderer wahrzunehmen.

Die Selbstbeobachtung oder Introspektion ist eine Fähigkeit, die nicht bei jedem gleich ausgeprägt ist. So gibt es zum Beispiel Menschen die extrem unempfindlich sind und nicht einmal einen ausgedehnten Myokardinfarkt ernstnehmen. Ein weitere relevante Störgröße der Qualität der Selbsteinschätzung ist der enorme psychische Druck, unter dem ein Teilnehmer einer komplett organisierten, zeitlich meist sehr knapp bemessenen und vor allem sehr teuren Trekkingtour steht. Vernunft und die Sicherheit stehen oft im Hintergrund, wenn man unbedingt ein hoch gestecktes Ziel erreichen will. Einige werden allein schon aus diesem Grund erste Symptome verdrängen oder im Sinne der Gruppendynamik zu deren Bagatellisierung neigen.

In großen Höhen nehmen die kognitiven Leistungen durch cerebrale Hypoxie mitunter deutlich ab. Bei einem sich entwickelnden Hirnödem können sie drastisch eingeschränkt sein. Man kann vom Betroffenen in dieser Situation keine objektive Beurteilung seiner Verfassung erwarten.

Es gibt natürlich auch eine Vielzahl von erfahrenen, besonnenen Bergsteigern, die sich bewusst mit ihrer Situation auseinandersetzen und vorsichtig genug sind um die Gruppe rechtzeitig über ihren Zustand zu informieren. Doch selbst sie sind durch die gruppendynamische Problematik gefährdet, wenn sie nicht genügend Durchsetzungsvermögen haben.



Abbildung 1: italienisch-nepalesische Höhenforschungsstation EV-K2-CNR in der Nähe des Everest-Basecamps (Höhe 5050m); die gewaltige Anzahl von Solarzellen ermöglicht unter anderem das

Als Beispiel möchte ich an dieser Stelle eine Situation einflechten, die sich während unseres Trekkings in Namche Basar ereignet hat. Eine französische Teilnehmerin einer privat organisierten Trekkingtour, die am Fuße des Gokyo Peaks ein Lungenödem entwickelt hatte, wurde von Ihren Kollegen allein zurückgelassen, weil sie unmöglich weitergehen konnte. Sie blieb zunächst in der Lodge, wo sich Ihr Zustand verschlechterte. Ein italienischer Bergführer, der in einem Forschungszentrum tätig war (Abbildung 1), brachte die geschwächte Frau sofort in eine transportable Druckkammer und anschließend nach Namche Basar. Ich wurde dazugerufen, um sie mit meinen Geräten zu untersuchen. Ihr körperlicher Zustand war schon wieder deutlich gebessert, ihre Werte (Sauerstoffsättigung, Puls, expiratorische CO₂-Konzentration) bereits normal. Psychisch war sie allerdings verständlicherweise noch nicht auf der Höhe. Die Frau hatte Glück, unter andern Umständen hätte dieser Vorfall wesentlich ernstere Folgen haben können.

In der Theorie gilt zwar der die Regel, der Schwächste bestimmt das Tempo, in der Praxis wird dies jedoch meist nicht eingehalten. Oft sind es der Ehrgeiz Einzelner und der zeitlich eng gesteckte Rahmen, die einer individuellen Akklimatisierung im Wege stehen.

Die einzige Möglichkeit seinen eigenen Zustand objektiv zu beurteilen sind morgendliche Pulskontrollen und die Kontrolle der Urinproduktion, die sich abschätzen läßt, indem man ausgehend von einem einigermaßen konstanten Strahl die Sekunden zählt und

somit einen relativen Vergleichswert erhält. Eine absolute Meßmethode wäre zwar denkbar, z.B. durch das Mitführen eines Messbechers, jedoch kaum durchführbar, da zu aufwendig und hygienisch problematisch. Reagieren sollte man bei einer morgendlichen Ruhepulserhöhung über 20% des Wertes vom Vortag und bei einer deutlichen Verminderung der Urinproduktion.

Ein erfahrener Bergführer spielt bei Trekkingtouren eine zentrale Rolle. Auf ihm lastet ein Großteil der Verantwortung. Er muss jeden Einzelnen seiner Gruppe gut beobachten und im Notfall Präventivmaßnahmen ergreifen, um die Gesundheit der Bergsteiger zu schützen. Der Betroffene ist oft überfordert oder im Extremfall zu krank, um dies für sich selbst zu tun. Bisher hatte der Bergführer nur seine Erfahrung und Beobachtungsgabe und die Angaben der Betroffenen für seine Entscheidungsfindung zur Verfügung. Unter Umständen wären ihm zuverlässige, einfach bedienbare Messgeräte, die eine Aussage über den Gesundheitszustand eines Erkrankten erlauben, hilfreich. Der Trekkingführer hätte einen objektiven Wert, der ihm bei einem Verdacht auf die Gefährdung eines seiner Gruppenmitglieder unterstützt, Maßnahmen zu ergreifen, die für die Gesundheit des Betroffenen essentiell sind.

Beispiel: Dem Bergführer fällt auf, dass ein Teilnehmer schwach oder krank ist. Er nimmt sich dessen an, redet mit ihm, untersucht ihn und stellt fest, dass er an Höhenkrankheit leiden könnte. Er ist sich jedoch nicht sicher wie schwerwiegend der Fall ist, und legt das Pulsoximeter an. Er stellt auf einer Höhe von 4.500m eine Sauerstoffsättigung von 55 % und einen Ruhepuls von 120 fest. Damit ist für ihn und alle Beteiligten endgültig klar, dass der Teilnehmer schnellstmöglich absteigen muss, falls er dies noch kann.

Es ist unumstritten, dass eine genaue, fachkundige Beobachtung der klinischen Symptome allein im Normalfall für eine frühzeitige Erkennung der Höhenkrankheit genügen würde. In der Praxis werden diese Symptome leider oft genug subjektiv falsch eingeschätzt. Deshalb ist durch jedes objektive Messverfahren ein Plus an Sicherheit im Rahmen einer primären Prävention im Höhentrekking zu erreichen.

2.7 Apparative Messmethoden

Welche Möglichkeiten gibt es, außer den unter 2.6 genannten noch, um sich Klarheit über den Zustand eines Menschen in der Höhe zu verschaffen?

In den Alpen gibt es gut ausgestattete Forschungslaboratorien, z.B. auf der Cappanna Regina Margherita an der schweizerisch-italienischen Grenze. Dort ist es möglich, die klinische Verdachtsdiagnose Höhenlungenödem unter anderem durch die Anfertigung eines Thorax-Röntgenbildes zu verifizieren. Selbst Bluttests im Labor sind durchführbar. Auch in Nepal gibt es eine ähnliche Einrichtung (Abbildung 1_[UM3]), die unter italienischer Leitung steht.

Ein Röntgengerät oder gar ein ganzes Labor läßt sich nicht mit auf ein Trekking nehmen. Es gibt jedoch heute schon einige kleine portable Geräte, wie z.B. das Pulsoximeter, die ohne weiteres Platz in einem Rucksack finden und es ermöglichen, ohne großen Aufwand Messungen vor Ort vorzunehmen. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der in Frage

kommenden Geräte. Diese erlauben es ein genaueres, objektives Bild des Gesundheitszustandes eines Höhenkranken zu erhalten. Sie messen unter anderem kardiopulmonale Funktionen wie die Herzfrequenz und den Blutdruck oder den Gasgehalt des Blutes und der Atemluft. Vier dieser Geräte – zum Teil noch Prototypen - wurden im Rahmen des Experiments getestet (Abbildung 2).

Tabelle 4: Übersicht portabler Geräte zur Anwendung in der Diagnostik der Höhenkrankheit

Gerät	Messwerte
Pulsoximeter	Sauerstoffsättigung (SaO ₂) Puls
Blutdruckmessgeräte	Systolischer und diastolischer Blutdruck, Puls
Herzfrequenzmessgeräte (z.B. Uhren mit Brustgurt)	Herzfrequenz
mechanische Peakflowmeter	Peakflow (maximale expiratorische Flußgeschwindigkeit)
elektronische Peakflowmeter	Peakflow Fluß-Volumen-Kurve FEV ₁
chemische Capnometer	ECO ₂
Elektronische Capnometer	ETCO ₂

2.8 Erfahrungswerte, Taktik der Höhenanpassung

Eine höhen- und bergerfahrene Person spielt meist eine zentrale Rolle innerhalb einer Trekkinggruppe. Meist ist dies ein europäischer Bergführer, der in der Regel durch einen lokalen Bergführer - in Nepal: Sherpa - unterstützt wird.

Auf ihm lastet eine große Verantwortung. Er muss erfahren sein, um im Zweifelsfall richtig und vor allem rechtzeitig zu entscheiden. Zusätzlich ist seine Autorität und die nötige Souveränität gefragt, um die oft sehr anspruchsvollen Touristen – sie haben schließlich viel Geld investiert – zu führen.

Wichtig ist dabei nicht nur die Beobachtung der Gruppe und die Erkennung von Krankheiten, sondern auch eine richtige Organisation der Marschroute. Dabei ist besonders auf eine richtige Akklimatisierungstaktik zu achten. Hierfür gibt es einige Grundregeln, die in erster Linie auf Erfahrungswerten basieren. Im allgemeinen gilt, dass man möglichst langsam und allmählich die Schlafhöhe steigert. Dabei kann man zwischendurch kleinere Gipfel besteigen, sollte, um sich dadurch schneller an die Höhe zu gewöhnen, aber dann wieder in tieferen Lagen schlafen, nach dem Motto „climb high, sleep low“. Im Abschnitt 4.4.4 wird am Beispiel der untersuchten Routen näher auf diese Thematik eingegangen.

2.9 Untersuchungen zur Früherkennung der Höhenkrankheit

In den meisten Experimenten wurden Versuche über die Überwachung einzelner physiologischer Parameter über einen längeren Zeitraum in Unterdruckkammern vorgenommen (z.B. Operation Everest II, s. Tabelle 5, unter Laborversuche). Trekkingtouren wurden bisher nur anhand von Fragebögen und AMS-Scores über einen längeren Zeitraum untersucht (s. Tabelle 5, unter kontinuierlich). Apparativ-diagnostisch wurden lediglich Momentanaufnahmen verschiedener unabhängiger Bergwanderer an bestimmten Stützpunkten, z.B. mit Hilfe eines kleinen Laborzeltes vorgenommen (s. Tabelle 5, unter punktuell). Ferner wurden einzelne Expeditionen unter medizinischer Begleitung betreut und untersucht. Jedoch ist eine Expedition nicht mit einer Trekkingtour zu vergleichen, weder im Teilnehmerprofil noch in der Zielhöhe, der Ausrüstung und der Betreuung durch medizinisches Fachpersonal.

Tabelle 5: Repräsentative Übersicht über die meisten höhenmedizinischen Untersuchungen geordnet nach Labor-, Expeditions- und Trekkinguntersuchungen. Der Anteil der Untersuchten Trekkings ist verschwindend gering. Es gibt keine kontinuierlichen Untersuchungen von Trekkinggruppen im Sinne von begleitenden Messungen während der Tour. Lediglich stationäre Messungen (z.B. auf Meereshöhe und im Basecamp).

	Titel/Kurzbeschreibung	Autor	Jahr	Verz
L a b o r v e r s u c h e	<u>Hypoxic ventilatory response during rest and exercise after a Himalayan expedition</u> : Messungen der HVR vor und nach einer Expedition	Steinacker JM	1996	[70]
	<u>Pre-adaptation, adaptation and de-adaptation to high altitude in humans: cardio-ventilatory and haematological changes</u> : Messungen cardiopulmonaler und hämatologischer Parameter (paCO ₂ , paO ₂ , alveoloarteriales pO ₂ , Reticulozyten, EPO), vor und nach simulierter Höhenexposition in einer Druckkammer	Savoirey G	1996	[63]
	<u>Treatment of acute mountain sickness by simulated descent a randomised controlled trial</u> : Testung einer transportablen Überdruckkammer in der Unterdruckkammer	Bärtsch P	1993	[7]
	<u>Changes in lung volume, lung density, and distribution of ventilation during hyperbaric decompression</u> : Messungen pulmonaler Parameter in einer Unterdruckkammer	Coates G	1979	[14]
	Operation Everest II : verschiedenste umfangreiche Untersuchungen an mehreren Testgruppen in Druckkammern, die den Aufstieg auf den M. Everest simulieren sollten	Reeves JT	1989	[50]
	<u>Resistance and susceptibility to chronic hypoxia in man</u>			
	<u>Altitude decompression sickness during repeated altitude exposure</u>	Malconian MK	1987	[38]
	<u>Gas Tensions in Expired Air and Arterial Blood at extreme Altitude</u>	Malconian MK	1993	[39]
	<u>Man at extreme altitude</u>	Houston CS	1987	[26]
	<u>Neuromuscular performance under conditions of extreme simulated altitude</u>	Garner SH	1990	[21]
	<u>Pulmonary gas exchange during a simulated ascent of Mt. Everest</u>	Wagner PD	1987	[75]
	<u>Spirometric and radiographic changes in simulated high altitudes</u>	Welsh CH	1993	[79]
	<u>Pulmonary function and hypoxic ventilatory response in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema</u> :	Selland MA	1993	[66]
	<u>Ventilatory and pulmonary vascular response to hypoxia and susceptibility to high altitude pulmonary edema</u>	Hohenhaus E	1995	[25]
<u>Atrial Natriuretic Peptide Improves Pulmonary Gas Exchange in subjects Exposed to Hypoxia</u>	Weatendorp RG	1993	[77]	
<u>Doppler assessment of pulmonary hypertension induced by hypoxic breathing in subjects susceptible to high altitude pulmonary edema</u>	Yagi H	1990	[86]	

	Titel/Kurzbeschreibung	Autor	Jahr	Verz
P u n k t u e ll	<u>Acclimatization to altitude: effects on arterial oxygen saturation and pulse rate during prolonged exercise at altitude</u>	Stoneham MD	1993	[71]
	<u>Hypoxia, hypocapnia and spirometry at altitude: Messungen der ETCO₂, Sauerstoffsättigung, FEV₁, FVC, Peak flow, am Everest-Base-Camp</u>	Pollard AJ	1997	[48]
	<u>Effect of temazepam on oxygen saturation and sleep quality at high altitude: randomised placebo controlled crossover trial: Messungen der Sauerstoffsättigung während des Schlafes unter Gabe eines Benzodiazepins</u>	Dubowitz G	1998	[16]
	<u>Peak Expiratory Flow Rate At High Altitude:</u>	Forster P	1983	[19]
	<u>Pulse oximetry reference values at high-altitude:</u>	Lozano JM	1992	[36]
	<u>Pulmonary gas exchange on the summit of Mt. Everest:</u>	West JB	1983	[81]
	<u>Peak expiratory flow at altitude:</u>	Thomas PS	1990	[72]
K o n t i n u i e r li c h	<u>Estimation of the degree of acclimatization to high altitude by a rapid and simple physiological examination: Messungen der Sauerstoffsättigung an Trekkingtouristen auf einer Höhe vom 4000m vor und nach körperlicher Belastung</u>	Saito S	1995	[59]
	<u>Acute mountain sickness and the edemas of high altitude: a common pathogenesis?: Untersuchungen mit einem AMS-Symptom-Fragebogen, Gewichtsmessungen, Kontrolle des Flüssigkeitshaushaltes</u>	Hackett PH	1981	[24]
	<u>Detection of High-Risk Subjects for Altitude Diseases: retrospektive Auswertung eines Hypoxiebelastungstestes</u>	Rathat C	1993	[49]

3 Material und Methode : Beschreibung der Geräte und des Fragebogens

3.1 Methode

Untersucht wurden die Teilnehmer sechs verschiedener Trekkingreisen nach Nepal. Die einzelnen Routen sind in Tabelle 10 aufgeführt. Eine dieser Gruppen wurde persönlich begleitet und mit den unten beschriebenen Geräten (s. Tabelle 6) und den Fra-



Abbildung 2: Durchführung der Messungen auf dem Gipfel des Chuckung Ri; links unten: Proband mit dem Capnometer, links oben: Probandin mit dem Fingersensor des Pulsoximeter, das von mir selbst gehalten wird; der Sherpa rechts oben bedient das Peakflowmeter; der Höhenmesser des Herrn in der Mitte zeigt 5560 m an.

gebögen (s. 3.2.5) ausgestattet und bemessen. Die Daten der übrigen fünf Gruppen wurden allein mit Hilfe der Fragebögen erhoben.

Mit den Fragebögen sollten zum einen allgemeine und spezielle persönliche Daten wie zum Beispiel die Höhenerfahrung, zum anderen ein selbsterhobener Höhenkrankheits-Symptom-Score erhoben werden. Des Weiteren sollten spezielle Ereignisse wie Erkrankungen und Unfälle festgehalten werden. Die Fragebögen sollten uns einen Überblick über das Klientel der Trekkingreisenden, die Vorkommnisse und Risiken verschaffen, die mit einer Trekkingreise verbunden sind. Die Scorewerte sollten uns eine Beurteilung der Entstehung, des Verlaufes und der Häufigkeit des Auftretens der Höhenkrankheit ermöglichen. Vor allem aber sollte der Score Referenzwerte zu den apparativ gemessenen Werten liefern.

Um für einen reibungslosen Ablauf der Messungen und eine entsprechende Hygiene zu sorgen, wurden an jeden Teilnehmer ein eigenes Peak-flow-meter, ein eigenes Blutdruckmessgerät und ein eigenes Mundstück für das Capnometer verteilt. Zu drei definierten Zeitpunkten (vor dem Frühstück, vor dem Mittagessen und vor dem Abendessen) wurden die selbstgemessenen Werte dokumentiert und die übrigen Werte wurden in der Gruppe der Reihe nach gemessen und ebenfalls dokumentiert. Messungen zu drei verschiedenen Tageszeiten wurden zum einen vorgenommen um eine engmaschigere Dokumentation zu gewährleisten, zum anderen, weil untersucht werden sollte, ob eine signifikante circadiane Abweichung der einzelnen Messwerte festzuhalten ist. Statistisch sind vor allem die morgendlichen und abendlichen Messungen gut zu vergleichen, da sie jeweils in Ruhe und bei gleichen Höhen (auf der jeweiligen Schlafhöhe) gemessen wurden.

Tabelle 6: Material: Verwendete Geräte zur Dokumentation der physiologischen Parameter zur Überwachung der Testpersonen

Gerät	Messwerte	Gewicht	Maße
transportables Pulsoximeter (Fabrikat: Andos)	Sauerstoffsättigung (SaO ₂), Kapillar-Puls der Finger	160 g	65x128x 27 mm
elektronische Blutdruckmessmanschette (Naiss)	Systolischer und diastolischer Blutdruck, Radialis-Puls	ca. 200g	ca.100x5 0x25mm
elektronisches Peakflowmeter (AM1 von Jaeger)	Peakflow , FEV ₁ Fluß-Volumen-Kurve	260 g	112x82x 34 mm
elektronisches Capnometer (Capnodig von Lifecare)	ETCO ₂ , Atemfrequenz	570 g	200x85x 40 mm

3.2 Material : Geräte und Fragebogen

3.2.1 Pulsoximeter

Mit Pulsoximetern^a, wurde 2-3-mal täglich die Sauerstoffsättigung des Blutes und der Puls gemessen. Die Sauerstoffsättigung gibt Aufschluss über den Sauerstoffgehalt des Blutes, er liegt normalerweise zwischen 95 und 99% der maximal möglichen „Beladung“ des Blutes mit Sauerstoff. Durch die höhenbedingt dünnere Luft, also den geringeren atmosphärischen Druck und den damit verbundenen erniedrigten Sauerstoffpartialdruck sinkt die Sauerstoffsättigung des Blutes. Eine verminderte HVR^b oder ein beginnendes Höhenlungenödem lassen sich durch dieses Gerät früher erkennen, als durch die alleinige Beobachtung klinischer Symptome. Außerdem lässt sich ein einfacher Akklimatisationstest^c durch Messung vor und nach Belastung durchführen [59]. Eine Erhöhung der morgendlichen Ruhepulsfrequenz um über 20% gegenüber dem Vorabend ist ein diagnostisch wertvoller Parameter für die Früherkennung der Höhenkrankheit.

3.2.2 Capnometer

Ein Capnometer^d misst den CO₂-Partialdruck der Ausatemluft. Der höchste Wert am Ende eines Atemzuges ergibt den endexpiratorische CO₂-Partialdruck (ETCO₂^e), ein genaues Maß für den CO₂-Austausch in der Lunge und somit auch für den CO₂-Partialdruck des Blutes. Ein niedriges ETCO₂ ist im Zusammenhang mit der Atemfrequenz ein weiterer, sehr sensibler Wert zur Kontrolle der Höhenanpassung über die Atmung (HVR). Ein schneller Abfall dieses Wertes während der Akklimatisierung lässt auf eine gute Anpassung durch Hyperventilation schließen. Es kann auch zu einem Überschießen dieser Reaktion kommen, die sich eher ungünstig für den Organismus auswirkt und zu überdurchschnittlich niedrigen ETCO₂-Werten führt. Eine Forschergruppe [39] machte vergleichbare Untersuchungen bei der Operation Everest II. Der niedrigste ETCO₂-Wert eines Expeditionsteilnehmers wurde auf dem Gipfel des Mt. Everest gemessen und betrug 9,5 mmHg. Der Normbereich auf Meereshöhe liegt zwischen 35 und 45 mmHg. Die Forscher erhielten allerdings nur eine Momentaufnahme (jeweils vier Messungen an sechs Teilnehmern), während in dieser Arbeit zum ersten Mal kontinuierliche Messungen mit Hilfe eines transportablen Prototyps eines Capnometers vorgenommen werden konnten.

^a Oxicoount mini, ANDOS

^b Hypoxic Ventilatory Response

^c Akklimatisation: Höhenadaptierter physiologischer Status nach erfolgter Akklimatisierung

^d Capnodig, LIFECARE

^e Endtidal CO₂

3.2.3 Spirometer (elektronisches Peakflowmeter)

Des Weiteren wurden elektronische Peakflowmeter^a verwendet, die die maximale Flußgeschwindigkeit (peak flow), das Einsekundenvolumen der Ausatemluft bei forcierter Ausatmung (FEV1) und die Fluß-Volumen-Kurve (FVC) messen. Diese Messungen könnten eventuell schon sehr früh eine beginnende, höhenbedingte Lungenschädigung anzeigen.

3.2.4 RR-Meßgerät

Ferner prüften wir zweimal täglich den Blutdruck (RR) mit einer elektronischen Handgelenkmanschette^b, um die Auswirkungen der Belastung des Herz-Kreislaufsystems zu beurteilen. Diese Werte stellten sich zudem als wichtig bei der Überwachung der Flüssigkeitszufuhr bei Magen-Darmerkrankungen, die teilweise einen Flüssigkeitsverlust von bis zu 3l (geschätzt) verursachten, heraus. So konnten sich die Teilnehmer gegebenenfalls über eine einfache Berechnung des Schockindex (systolischer RR / P > 1) selbst ein grobes Bild über ihren Flüssigkeitsbedarf machen.

3.2.5 Wartung der Geräte, Eichung, Hygiene

Alle verwendeten Gräte waren bis auf die Stromversorgung vollkommen wartungs- und eichungsfrei. Das einzige Problem stellte die Stromversorgung des Capnometers dar. Es hat einen integrierten, nicht austauschbaren Akku und ein ebenfalls integriertes Ladegerät mit externem Netzteil. Die Akkukapazität hätte voraussichtlich nicht die ganzen 25 Tage gereicht und es war nicht vorraussehbar, ob es während der Reise Lademöglichkeiten mit 220V Netzstrom geben würde. Im Verlauf der Reise konnte das Gerät jedoch einmal an einem Dieselaggregat, und ein zweites Mal in einer solarbetriebenen Forschungsstation (Abbildung 1) aufgeladen werden und war während des gesamten Verlaufes funktionstüchtig. Alle anderen Geräte konnten mit handelsüblichen Batterien betrieben werden.

Einwandfreie Hygiene war dadurch gewährleistet, dass jeder Proband während des Trekking sein eigenes Capnometer-Mundstück mit Schlauch und Filter und sein eigenes Peakflowmeter besaß.

Die empfindlichen Geräte wurden in einem wasserdichten, stoßfesten, gepolsterten und isolierten Koffer (Pelicase) transportiert.

3.2.6 Fragebögen

Der entworfene Fragebogen für den Trekkingteilnehmer (s. Tabelle 7) setzt sich aus einem allgemeinen Teil und einem speziellen Teil zusammen. Ersterer behandelt die persönlichen Daten des Probanden, der zweite behandelt Daten, die sich speziell auf

^a AM1, JAEGER

^b Blood Pressure Watch EW273 CD, NAISS

das Höhentrekking beziehen, und besteht aus einem Fragebogen und einem Symptom-Score.

Außerdem erhielten die Bergführer der übrigen fünf Trekkinggruppen einen Fragebogen, in dem allgemeine Daten zur Route sowie spezielle Vorkommnisse einzutragen waren (Tabelle 9).

3.2.7 AMS-Score (Selbsteinschätzungsscore zur Höhenkrankheit)

Um die Messwerte mit den subjektiven Symptomen korrelieren zu können, wurde ein Fragebogen (AMS-score), in Anlehnung an den 1992 „Lake Louise Consensus on the Definition and Quantification of Altitude Illness“ [3], angefertigt (s. Tabelle 8). In diesem waren täglich vier Ausprägungsgrade der Symptome der AMS (Kopfschmerzen, gastrointestinale Symptome, Schwindel, Schlafstörungen, periphere Ödeme und Müdigkeit) auf einer nominellen Skala (keine = 0 Punkte, leichte = 1 Punkt, mittelgradige = 2 Punkte, starke = 3 Punkte) anzukreuzen. Definitionsgemäß besteht bei einem Scorewert von 4 Punkten und höher AMS.

4 Untersuchungen und Ergebnisse

4.1 *Untersuchte Trekinggruppen*

Untersucht wurden die Teilnehmer sechs verschiedener Trekkingreisen nach Nepal, die im Frühjahr und Herbst des Jahres 1996 vom DAV-Summit-Club veranstaltet wurden. Die einzelnen Routen sind in Tabelle 10 aufgeführt. Eine dieser Gruppen, die „Solu-Khumbu Tour Nr.1“ (Kurz: Solu-Khumbu 1) wurde vom Autor persönlich begleitet und mit den unter Punkt 3.2 beschriebenen Geräten und Fragebögen (S. 24) ausgestattet und bemessen. Die Daten der übrigen fünf Gruppen wurden allein mit Hilfe der Fragebögen (s. 3.2.5) erhoben. Zwei dieser Gruppen gingen exakt die gleiche, eine weitere größtenteils die gleiche Route (Everest BC).

Tabelle 10: Liste der 6 Untersuchten Trekkinggruppen (insgesamt 62 Teilnehmer)

Trekkingtour/-gruppe	Kurzform	Anzahl	mittl. Höhe	Tage	Route
Solu-Khumbu-Tour Nr.1	Solu-Khumbu1	7	4160	25	(s. 8.1.1)
Solu-Khumbu-Tour Nr.2	Solu-Khumbu 2	15	4160	24	(s. 8.1.1)
Solu-Khumbu-Tour Nr.3	Solu-Khumbu 3	9	4160	24	(s. 8.1.1)
Panoramawege zum Everest Basecamp	Everest-BC	9	3860	16	(s. 8.1.2)
Kantschenzönga-Basecamp	Kantsch	8	3170	22	(s. 8.1.3)
Rund um den Dhaulagiri I	Dhaulagiri	14	2790	18	(s. 8.1.4)

4.2 *Profil der gesamten Trekkinggruppen*

Die Auswertung der Daten des ersten Teils des Fragebogens ergab folgende Ergebnisse.

4.2.1 Geschlechtsverteilung

Die Geschlechtsverteilung der durch unseren Fragebogen erfassten Teilnehmer lag mit 69% deutlich auf der Seite der Männer (41/18).

Tabelle 11: Geschlechtsverteilung der Einzelnen Touren

Trekkinggruppe	Frauen	Männer
Solu-Khumbu 1	1	6
Solu-Khumbu 2	6	9
Solu-Khumbu 3	1	8
Everest-BC	4	5
Kantsch	2	6
Dhaulagiri	4	10
Gesamt	18	41

4.2.2 Altersverteilung

Das Mittlere Alter der Teilnehmer war 46,81 Jahre. Der jüngste Teilnehmer war 23, der älteste 64 Jahre alt (Standardabweichung: $\pm 11,52$).

4.2.3 Gewichtsverteilung, Körpergröße und Body Mass Index (BMI)

Das durchschnittliche Gewicht der Personen lag bei 70,3 kg ($\pm 11,0$ kg Standardabweichung). Der Maximalwert war 100 kg und der Minimalwert 45 kg. Die Durchschnittsgröße bei 176 cm ($\pm 17,1$ cm Standardabweichung). Der Maximalwert war 195 cm, der Minimalwert 152 cm.

Der aus Gewicht und Größe errechnete durchschnittliche BMI (Body Mass Index = $\text{Gewicht}/\text{Größe}^2$) lag bei 22,72 kg/m² ($\pm 5,31$ kg/m² Standardabweichung) im Optimalbereich. Der Maximalwert betrug 27,7 kg/m², der Minimalwert 16,5 kg/m².

4.2.4 Höhenerfahrung und frühere höhenbedingte Beschwerden

36 der Untersuchten hatten bereits Erfahrungen mit Höhen über 5000m, 17 weitere hielten sich bereits höher als 3000m auf und lediglich 6 waren "Höhenneulinge", die sich bis Dato nicht über 3000m aufhielten.

16 der 53 höhenerfahrenen (> 3000m) hatten nach subjektiver Einschätzung bereits höhenbedingte Beschwerden.

Tabelle 12: Verteilung der Höhenerfahrung unter den 59 Probanden: 28 % der Höhenerfahrenen hatten bereits höhenbedingte Beschwerden

Höhenerfahrung	< 3000 m	> 3000 m	> 5000 m
Anzahl der Probanden	6	17 (+36)	36
subjektive höhenbedingte Beschwerden bei früheren Höhenaufenthalten	0	16 (28%)	

4.2.5 Vorbereitung durch Ausdauertraining

46 der Befragten trieben regelmäßig Ausdauersport, 51 bereiteten sich durch Ausdauertraining gezielt auf das Trekking vor.

4.2.6 Voruntersuchung

In der Literatur (u.a.[12],[17] und [87]) wird grundsätzlich zu einer allgemein- bzw. sportmedizinischen Voruntersuchung (s. 2.4) geraten. Trotzdem hielten sich lediglich 22 der Probanden an diese Ratschläge und besuchten vor Beginn des Trekkings einen Arzt, um sich speziell für die Feststellung der Tauglichkeit untersuchen zu lassen.

4.2.7 Vorerkrankungen

13 der Befragten hatten Vorerkrankungen unterschiedlicher Art (s. Tabelle 13), jedoch gab keiner Erkrankungen an, die zu den absoluten Kontraindikationen zählen.

Tabelle 13: Vorerkrankungen der 59 Probanden erfasst durch den Fragebogen: Keine absoluten oder rel. Kontraindikationen bis auf die Herzrhythmusstörung). Insgesamt ein sehr gesundes Kollektiv.

Vorerkrankung	Anzahl
arterielle Hypertonie	2
Herzrhythmusstörung	1
Gicht	1
Asthma bronchiale	2
chron. Bronchitis	1
Z.n. Tuberkulose	1
M. Meulengracht	1
Bandscheibenprolaps	1
Meniskus-Läsion (Knie)	2

4.2.8 Medikamenteneinnahme während der Tour

Bei der Medikamenteneinnahme waren die Bergsteiger sehr zurückhaltend. Die prophylaktische Einnahme von Medikamenten wie Diamox, zur Vermeidung der Höhenkrankheit, wie sie immer wieder von einigen Höhenmedizinern propagiert wurde, war nur von einem Teilnehmer angegeben. Aspirin (von 14 Teilnehmern eingenommen) wurde bei weitem am häufigsten angegeben, in erster Linie zur Kopfschmerztherapie. Weiterhin wurden häufig Durchfallmedikamente wie Kohlekompressen und Loperamid angegeben. Auch Antibiotika (Gyrasehemmer und Aminopenicilline) wurden mehrmals, vor allem zur Behandlung von Durchfallerkrankungen sowie Infektionen des Respirationstraktes angegeben.

4.3 Von der Höhenkrankheit unabhängige Beschwerden

4.3.1 Unfälle

Während der sechs untersuchten Trekkingreisen haben sich keine ernsten Unfälle ereignet. Es kam lediglich zu drei leichten Verletzungen durch Stürze: eine Knieprellung, eine Muskelzerrung und eine Bänderdehnung des äußeren Sprunggelenks.

4.3.2 Krankheit

Es gab drei Krankenhausbesuche, einmal in Khumde und zweimal in Pheriche. Zwei Teilnehmer mussten die Tour abbrechen, diese litten nicht an Höhenkrankheit, sondern

der eine an einem starken fieberhaften Infekt und der andere an massiven therapieresistenten Durchfällen.

Am häufigsten wurden Durchfallerkrankungen angegeben, 22 der Befragten litten darunter. An zweiter Stelle, mit 15, lagen Erkältungen beziehungsweise grippale Infekte, gefolgt von deren Symptomen: Schnupfen (14), Husten (14), Halsschmerzen (7), Bronchitis (5), Fieber (4) und Nasennebenhöhlenentzündung (3). Des Weiteren traten auf: nächtliches Beklemmungsgefühl (4), Sehstörungen (3), Augenentzündungen (2), Sodbrennen (2), Nasenbluten (2), Kreislaufbeschwerden (2) und ein Fall von Migräne.

Tabelle 14: Neu aufgetretene Krankheiten und Beschwerden (59 Probanden)

Krankheit / Beschwerden	Anzahl
Durchfallerkrankungen	21
Erkältungen / grippale Infekte	15
Schnupfen	2
Halsschmerzen	2
Bronchitis	2
Fieber	2
Nasennebenhöhlenentzündung	2
Nächtliches Beklemmungsgefühl	4
Sehstörungen	3
Augenentzündungen	2
Sodbrennen	2
Nasenbluten	2
Kreislaufbeschwerden	2
Migräne	1

4.4 Akute Höhenkrankheit: Ergebnisse der Auswertungen des AMS-Scores

In zwei Fällen kam es zu ausgeprägter Höhenkrankheit mit alarmierenden Symptomen., die jedoch jeweils durch den rechtzeitigen Abstieg deutlich rückläufig waren und somit erfolgreich therapiert werden konnten. Der erste entwickelte ein leichtes Lungenödem, mit Atemnot, Tachykardie, starkem Schwächegefühl, Müdigkeit, Kopfschmerzen und Übelkeit. Er musste in der transportablen Druckkammer behandelt werden, konnte dann absteigen und die Wanderung nach einigen Tagen wieder fortsetzen. Er war nicht in der

betreuten Testgruppe. Der zweite Fall wird unter 4.8.1 genauer betrachtet. Diese beiden Vorfälle ereigneten sich bei der Solu-Khumbu Tour, der anspruchsvollsten Route.

4.4.1 Verteilung der einzelnen Symptome des Scores

Die im Fragebogen enthaltenen Symptome erhoben an 59 Probanden jeweils an 16-25 Tagen verteilten sich wie in Abbildung 3 dargestellt: Anteilig traten zu 37,7 % Schlafstörungen, Müdigkeit zu 21,7 %, Kopfschmerzen zu 17,4%, gastrointestinale Symptome zu 14,4%, Schwindel zu 6,7% und periphere Ödeme zu 2,3 %, auf.

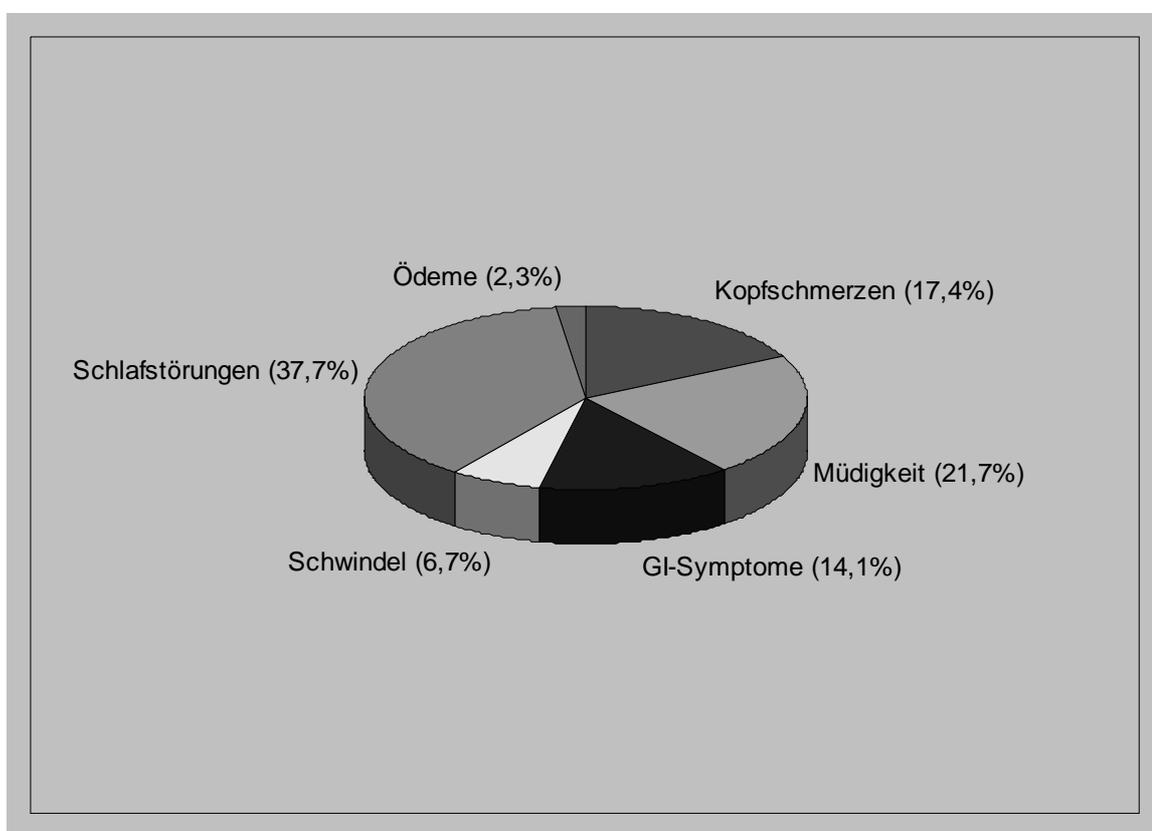


Abbildung 3: Graphische Darstellung des Verteilungsmusters der Symptome des AMS-Score, der täglich von 59 Teilnehmern von 6 Trekkinggruppen erhoben wurde: Am häufigsten traten Schlafstörungen (grau) auf, gefolgt von Müdigkeit (grün), Kopfschmerzen (rot), gastro-intestinalen (GI)-Symptomen (blau), Schwindel (gelb) und Ödemen (lila)

4.4.2 Anzahl der aufgetretenen Fälle von Höhenkrankheit

Bei den Probanden gab es insgesamt an 80 von 1256 Tagen bei einem Scorewert größer/gleich 4 deutliche Anzeichen der Höhenkrankheit. Dies entspricht nur 6,37% der gesamten Zeit.

28 der 59 (48%) Teilnehmer litten zumindest an einem Tag an den Symptomen der milden Höhenkrankheit. Sie hatten an diesen Tagen vier oder mehr Punkte im AMS-score (definiertes Kriterium der Höhenkrankheit, s. 3.2.7).

Zusammenfassend kann man daraus schließen, dass die Wahrscheinlichkeit, während einer vergleichbaren Trekkingreise an einer milden Höhenkrankheit zu erkranken, bei etwa 48% liegt.

4.4.3 Zeitlicher Verlauf der Scorewerte während des Trekkings

Die mittleren Scorewerte aller sechs Gruppen zeigten einen deutlichen zweigipfligen Verlauf während des Trekkings. Beide Gipfel fallen in die Akklimatisierungsphase. Der erste liegt um den zweiten bis dritten Tag und tritt mit dem Überschreiten der Dreitausend-Meter-Grenze auf, der zweite gegen Ende der Akklimatisierung um den 10. Tag und fällt damit in das zeitliche Fenster, in dem die ersten Fünftausender bestiegen wurden. Danach treten trotz vergleichbar großer Höhen wesentlich geringere Scorewerte auf (s. Abbildung 4).

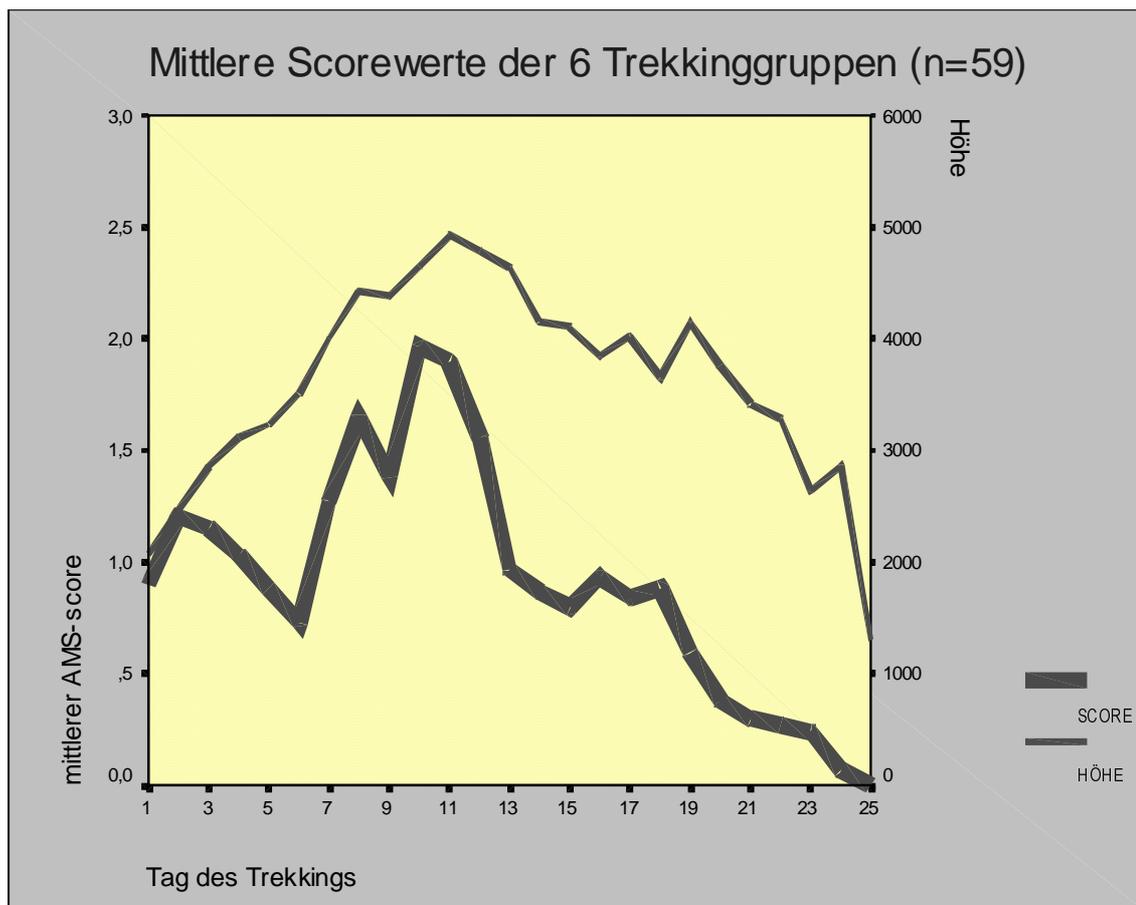


Abbildung 4: Mittlerer AMS-Score (rote Linie) und mittleres Höhenprofil (grüne Linie) von 6 Trekkinggruppen mit 59 Teilnehmern. Während der Akklimationierung in den ersten 10 Tagen waren die Zeichen der Höhenkrankheit am häufigsten.

4.4.4 Vergleich der vier verschiedenen Routen

4.4.4.1 Allgemeines

Die verschiedenen Routen unterscheiden sich vor allem durch ihre Höhenprofile (Abbildung 5). Ihr Schwierigkeitsgrad ist in etwa vergleichbar. Der einzige wesentliche Unterschied ist, dass die Solu-Khumbu-Tour einen Sechstausender aufweist. Dies fällt jedoch statistisch gesehen nicht ins Gewicht, da die eintägige Besteigung des Berges nur von ca. 50% der Teilnehmer dieser Tour vorgenommen wurde. Die Übrigen blieben aus gesundheitlichen (milde Höhenkrankheit, körperliche Erschöpfung durch Durchfälle etc.) beziehungsweise aus technischen Gründen (keine ausreichende alpinistische Erfahrung) im Basecamp zurück.

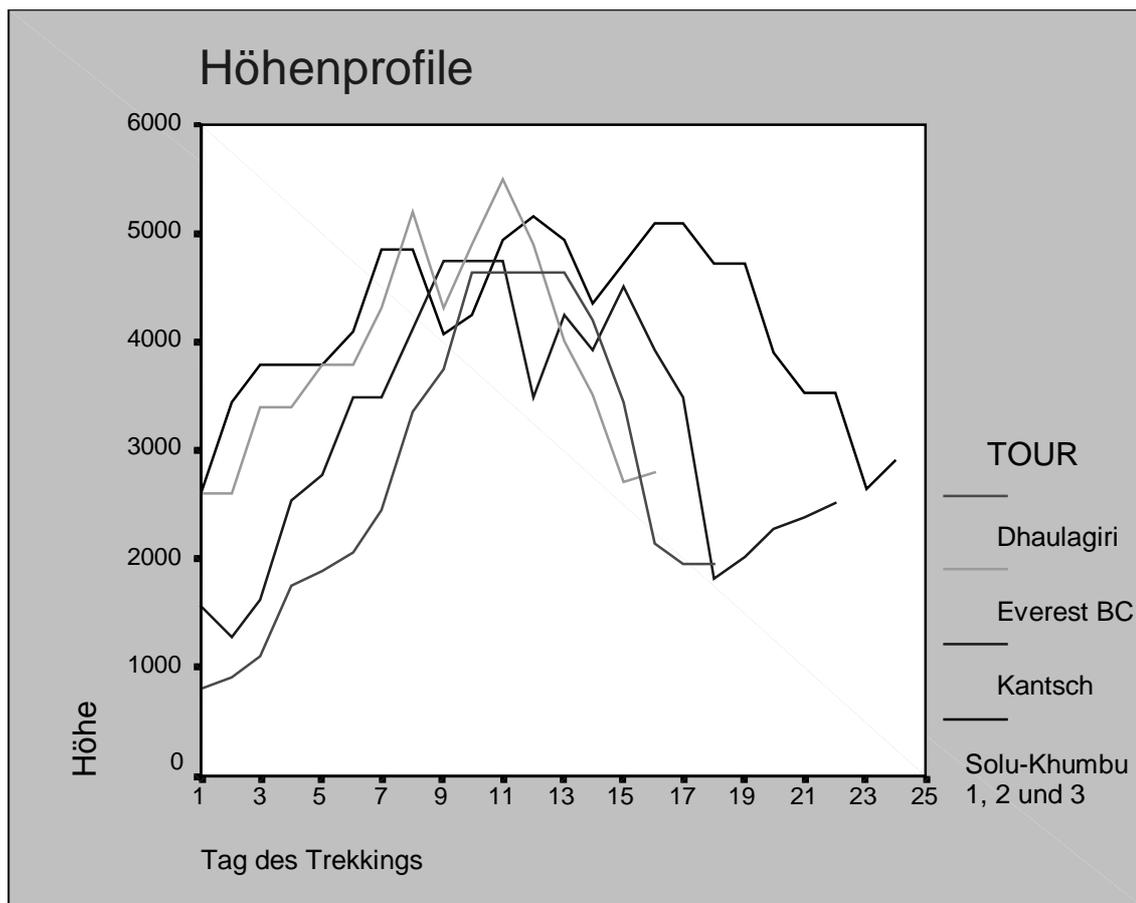


Abbildung 5: Vergleich der mittleren Höhenprofile der 6 Trekkingtouren (Solu-Khumbu 1-3 haben die gleiche Route). Der wesentliche Unterschied besteht in den unterschiedlichen Starthöhen und somit den Anmarschprofilen der Dhaulagiri (rot) und Kantsch-Tour (blau) auf der einen mit einer jeweils sehr niedrigen Starthöhe (800 und 1500m) und der Solu-Khumbu (schwarz)- und Everest BC-Tour (grün) auf der anderen Seite mit einer relativ hohen Starthöhe von 2600m.

4.4.4.2 Mittlere Scorewerte

Die in Tabelle 16 aufgeführten über den gesamten Zeitraum erhobenen mittleren Scorewerte der einzelnen Touren zeigen insgesamt keine deutlichen Unterschiede. Die mittleren Scorewerte der einzelnen Probande (Tabelle 15) zeigen jedoch eine sehr deutliche Varianz. Während es Probanden mit einem Score von 0,0 gibt, liegen die maximalen durchschnittliche Scorewerte (über den gesamten Verlauf) bei 2,33 Scorepunkten, einmal bei einem Teilnehmer der Dhaulagiri-Tour und ein zweites Mal bei einem Probanden der Solu-Khumbu-Tour, der bereits oben erwähnte Proband mit der ausgeprägten Höhenkrankheit (Kasuistik: 4.8.1, S. 57).

Tabelle 15: Vergleich der sechs verschiedenen Touren anhand der Mittelwerte des AMS-Scores pro Tag nach Probanden und Touren aufgelistet: 4 Symptomlose Probanden (0,0) und 2 Probanden mit dem Maximalwerten von 2,33. Die Gesamtwerte der einzelnen Touren unterscheiden sich nicht und liegen bis auf einen Ausreißer (Solu-Khumbu 3, Mittelwert 0,67) zwischen 1,05 und 1,12.

Tour	Proband	Mittelwert	Tage	Standardabweichung
Dhaulagiri	1	1,00	18	0,91
	2	1,17	18	0,92
	3	1,22	18	1,06
	4	1,22	18	1,22
	5	2,33	18	2,38
	6	1,17	18	1,72
	7	0,00	18	0,00
	8	0,00	18	0,00
	9	1,67	18	1,81
	10	1,22	18	0,55
	11	0,61	18	1,20
	12	1,22	18	1,48
	13	1,39	18	1,46
	Insgesamt	1,09	234	1,41
Everest BC	1	0,37	16	0,62
	2	0,19	16	0,40
	3	2,25	16	2,65
	4	0,94	16	1,00
	5	1,06	16	0,93
	6	0,25	16	0,77
	7	1,38	16	1,75
	8	2,06	16	0,93
	9	,94	16	1,24
	Insgesamt	1,05	144	1,45
Kantsch	1	1,18	22	1,68
	2	,55	22	1,18
	3	1,05	22	1,94
	4	1,68	22	1,64
	5	1,14	22	1,70
	6	0,36	22	0,85
	7	1,55	22	1,79
	8	1,09	22	1,34
	Insgesamt	1,07	176	1,58
Solu-Khumbu 1	1	1,16	25	1,60
	2	1,44	25	1,26
	3	,00	25	0,00
	4	1,04	25	1,24
	5	1,92	25	1,93
	Insgesamt	1,11	125	1,49

Tour	Proband	Mittelwert	Tage	Standardabweichung
Solu-Khumbu 2	1	1,25	24	2,56
	2	1,00	24	0,83
	3	1,71	24	0,86
	4	0,46	24	1,22
	5	0,29	24	0,75
	6	2,33	24	2,43
	7	1,62	24	1,17
	8	0,71	24	0,95
	9	0,29	24	0,55
	10	2,00	24	1,74
	11	2,00	24	1,69
	12	0,83	24	0,48
	13	1,75	24	1,15
	14	0,46	24	0,88
	15	0,13	24	0,34
	Insgesamt	1,12	360	1,49
Solu-Khumbu 3	1	0,46	24	0,88
	2	0,79	24	1,22
	3	1,33	24	1,58
	4	0,00	24	0,00
	5	0,67	24	1,17
	6	0,58	24	0,65
	7	0,25	24	0,61
	8	0,21	24	0,66
	9	1,75	24	1,75
		Insgesamt	0,67	216

Bei der in drei Gruppen untersuchten Solu-Khumbu Tour traten im Durchschnitt die höchsten Scorewerte auf.

Tabelle 16: Mittlere Scorewerte der einzelnen Trekkinggruppen bis zum 10. Tag, während der Akklimatisationsphase, und danach. Es sind deutliche Unterschiede zu erkennen. Interessanterweise verhalten sich die Werte der Dhaulagiri Tour mit dem niedrigstem Anmarschprofil umgekehrt zu den 4 anderen Touren, bei denen die mittleren Scorewerte während der Akklimatisierung deutlich höher ausfallen.

Tour	Tag	Anzahl der Einzelwerte	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Dhaulagiri	≥ 10	117	1,53	1,56	0,14
Akklimatisierung	< 10	117	0,66	1,08	0,10
Everest BC	≥ 10	63	0,60	0,89	0,11
Akklimatisierung	< 10	81	1,40	1,70	0,19
Kantsch	≥ 10	104	0,98	1,67	0,16
Akklimatisierung	< 10	72	1,21	1,43	0,17
Solu-Khumbu1	≥ 10	80	0,66	1,14	0,13
Akklimatisierung	< 10	45	1,91	1,72	0,26
Solu-K.2	≥ 10	225	0,89	1,32	0,09
Akklimatisierung	< 10	135	1,50	1,68	0,14
Solu-K.3	≥ 10	135	0,81	1,33	0,11
Akklimatisierung	< 10	81	0,44	0,84	0,09
gesamt	≥ 10	724	,94	1,39	0,05
Akklimatisierung	< 10	531	1,13	1,50	0,07

4.4.4.3 Unterschiede in der Akklimatisierung

Um eine Aussage über die Qualität der Akklimatisierungsphase treffen zu können, müssen die mittleren Scorewerte während der ersten Phase der jeweiligen Tour unter Berücksichtigung des jeweiligen Höhenprofils genauer betrachtet werden. Stellt man nun diese zu den Werten der zweiten Phase in Relation erhält man einen Vergleichswert.

Die einzelnen Akklimatisierungsphasen (der Einfachheit halber: Tag 1-10) werden in Tabelle 16 mit den verbleibenden Tagen verglichen. Dort zeichnen sich deutliche Unterschiede im Durchschnitt der ersten zehn Tage zu den übrigen Tagen ab. Bei den Touren mit einem steilen Anmarschprofil (Solu-Khumbu 1-3, Everest BC) treten während der ersten 10 Tage deutlich höhere durchschnittliche Scorewerte auf, während sich bei der Dhaulagiri-Tour mit einem niedrigen Anmarschprofil die Scorewerte reziprok dazu verhalten :

Beispiel:

Dhaulagiri: $\text{mittl. Score Akklimatisierung} / \text{mittl. Score danach} = 0,66 / 1,53 = 0,43$

Everest BC: $\text{mittl. Score Akklimatisierung} / \text{mittl. Score danach} = 1,40 / 0,60 = 2,33$

Im Mittelwertsvergleich ist ein signifikanter Unterschied zwischen der Akklimatisierungsphase und der nachfolgenden Phase in allen Touren bis auf die Kantsch-Tour festzustellen.

Tabelle 17: Test bei unabhängigen Stichproben T-Test für die Mittelwertgleichheit der Scorewerte vor und nach Akklimatisierung: Signifikante Unterschiede sind für alle Touren bis auf die Kantsch-Tour festzustellen.

TOUR	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfeh- ler der Diffe- renz	95% Konfidenzin- tervall der Differenz	
						Untere	Obere
Dhaulagiri	4,97	232	0,000	0,87	0,18	0,53	1,22
Everest BC	-3,35	142	0,001	-0,79	0,24	-1,26	-0,33
Kantsch	-,940	174	0,349	-0,23	0,24	-0,71	0,25
Solu-K.1	-4,88	123	0,000	-1,25	0,26	-1,75	-0,74
Solu-K.2	-3,83	358	0,000	-0,61	0,16	-0,92	-0,30
Solu-K.3	2,20	214	0,028	0,36	0,16	0,04	0,69
gesamt	-2,331	1253	0,020	-0,19	0,08	-0,35	0,03

4.4.4.4 Vergleich der Höhen- und Scoreprofile

Es wurde bereits erwähnt, dass sich die Dhaulagiri-Tour durch die niedrigen Score-Werte in der Anfangsphase grundlegend von den übrigen unterscheidet. Vergleicht man die Höhenprofile der einzelnen Gruppen, wird deutlich, woher dieser Unterschied kommt (Abbildung 6-9). Der Grund ist das wegen der örtlichen Gegebenheiten sehr flache Anmarschprofil. Bei dieser Tour findet die eigentliche Akklimatisierung erst ab dem 6. Tag statt. Dann geht es rasant in die Höhe. Innerhalb von 3 Tagen (Tag 7-10) werden über 2000 Höhenmeter bewältigt. Dies erklärt den massiven Anstieg der Scorewerte am 10. und 11. Tag, die beide gerade nicht mehr in die definierte Akklimatisierungsphase fallen.

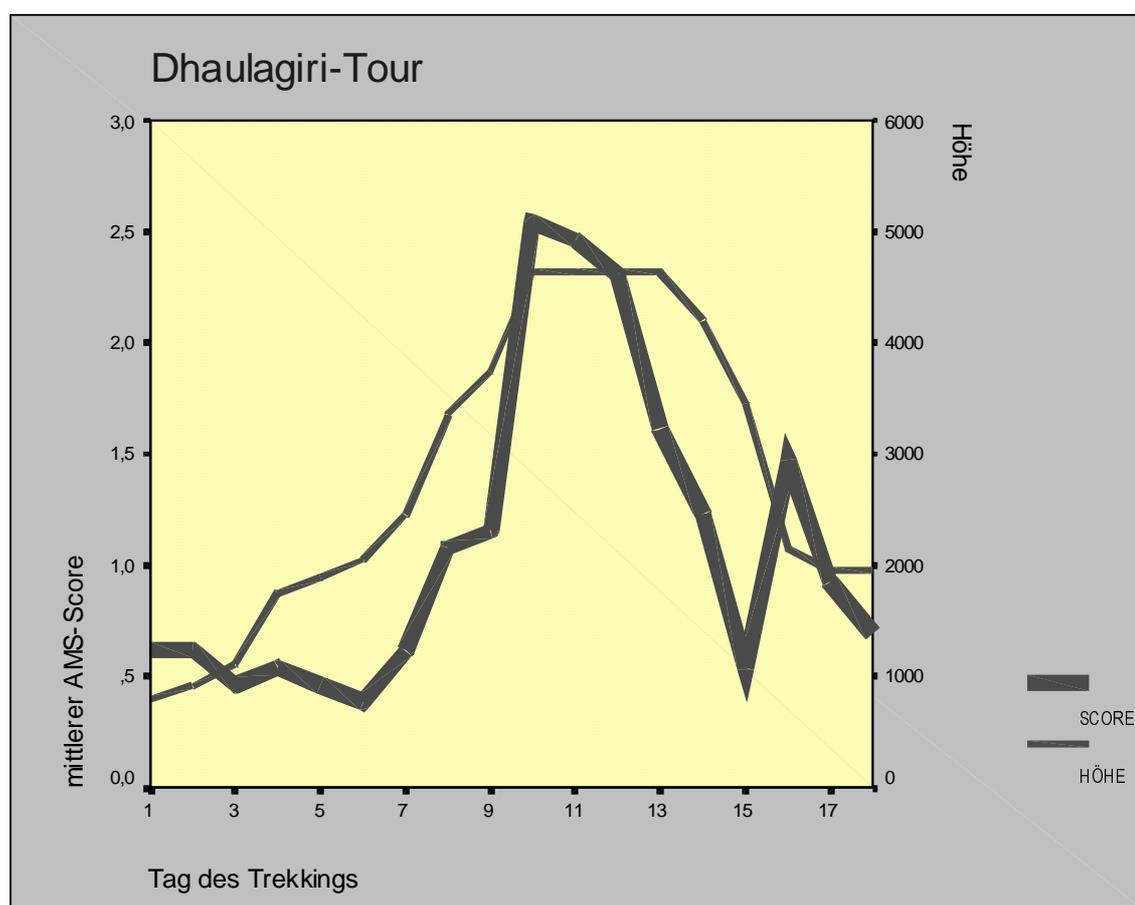


Abbildung 6: Profil der mittleren Score- und Höhenwerte der Dhaulagiri-Tour: Scoreprofil(rot), Höhenprofil(grün). Bei dieser Tour findet die eigentliche Akklimatisierung erst ab dem 6. Tag statt. Dann geht es rasant in die Höhe. Innerhalb von 3 Tagen (Tag 7-10) werden über 2000 Höhenmeter bewältigt. Dies erklärt den massiven Anstieg der Scorewerte am 10. und 11. Tag, die beide gerade nicht mehr in die definierte Akklimatisierungsphase fallen.

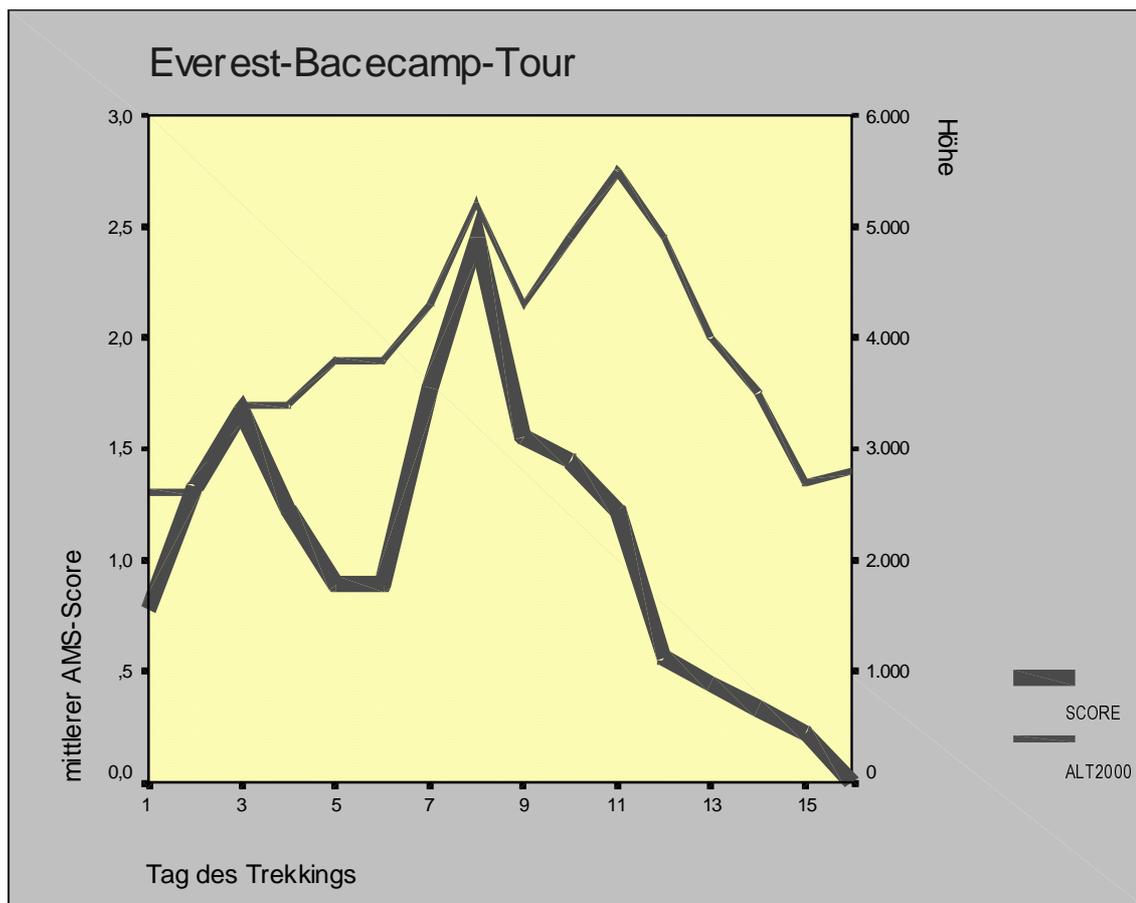


Abbildung 7: Profil der mittleren Score-(rot) und Höhenwerte(grün) der Everest BC-Tour: Hohe Anfangshöhe (2600m), zweigipfliger Verlauf der Scorekurve (erster Gipfel: Frühakklimatisierung; zweiter: erster Funftausender).

Fast parallel dazu verläuft die Kurve der Kantsch-Tour (Abbildung 8). Es ist ein deutlicher Peak der Kurve der durchschnittlichen Scorewerte am 11. Tag, der bei 3,5 Punkten und damit deutlich über den Gesamtdurchschnitt von 1,4 Scorepunkten liegt, festzustellen. Betrachtet man nun das Höhenprofil, ist der Grund für diesen Spitzenwert deutlich zu erkennen: Während des neunten und zehnten Tages sind insgesamt fast 1500 Höhenmeter zurückgelegt worden und eine durchschnittliche Höhe von knapp 5000m (inklusive der Schlafhöhe) wurde vom zehnten bis zum 12. Tag beibehalten.

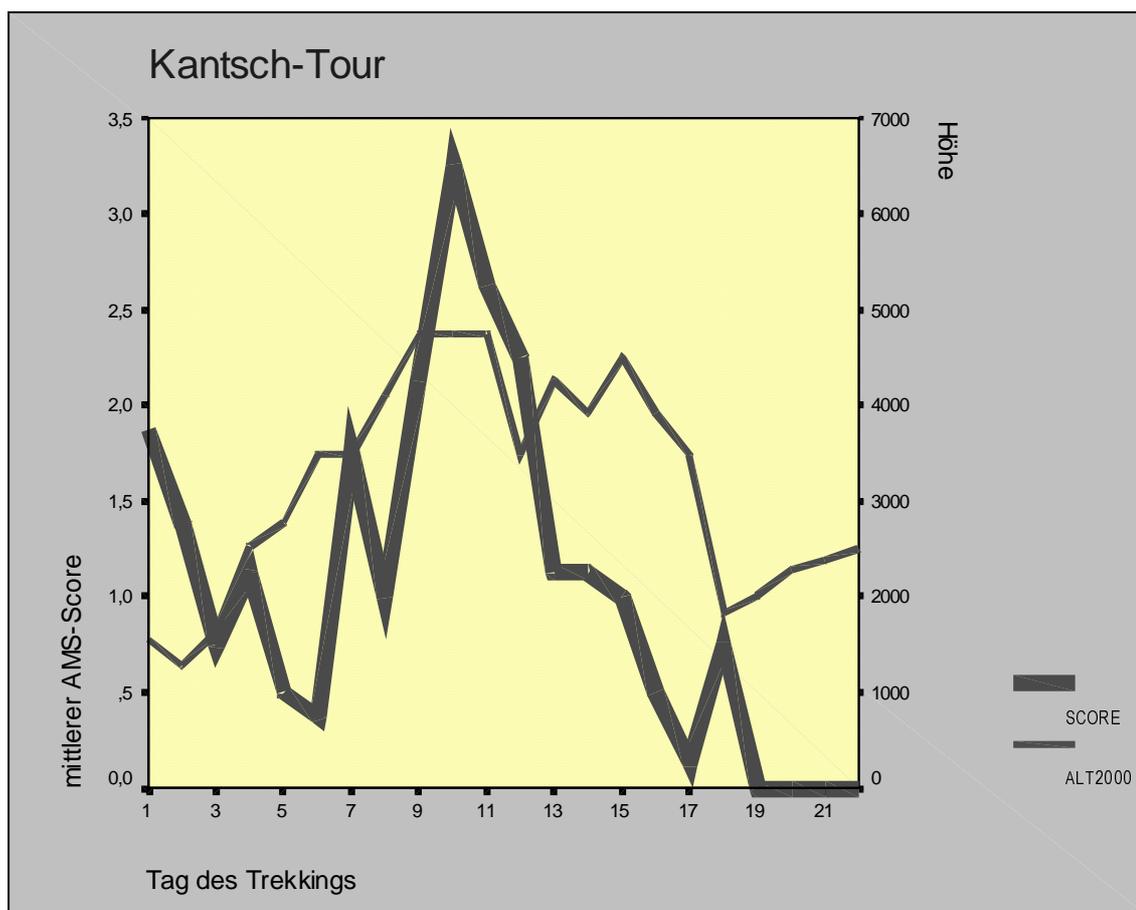


Abbildung 8: Profil der mittleren Score-(rot) und Höhenwerte(grün) der Kantsch-Tour: Der hohe Anfangswert lässt sich nur durch höhenunabhängige Beschwerden erklären (z.B. Darminfekt, Infekt der oberen Luftwege etc.) Am 10. Tag zeigt sich ein deutlicher Peak der Scorekurve nachdem 1500 Höhenmeter in 2 Tagen bewältigt wurden und eine große Schlafhöhe gewählt wurde (4800m).

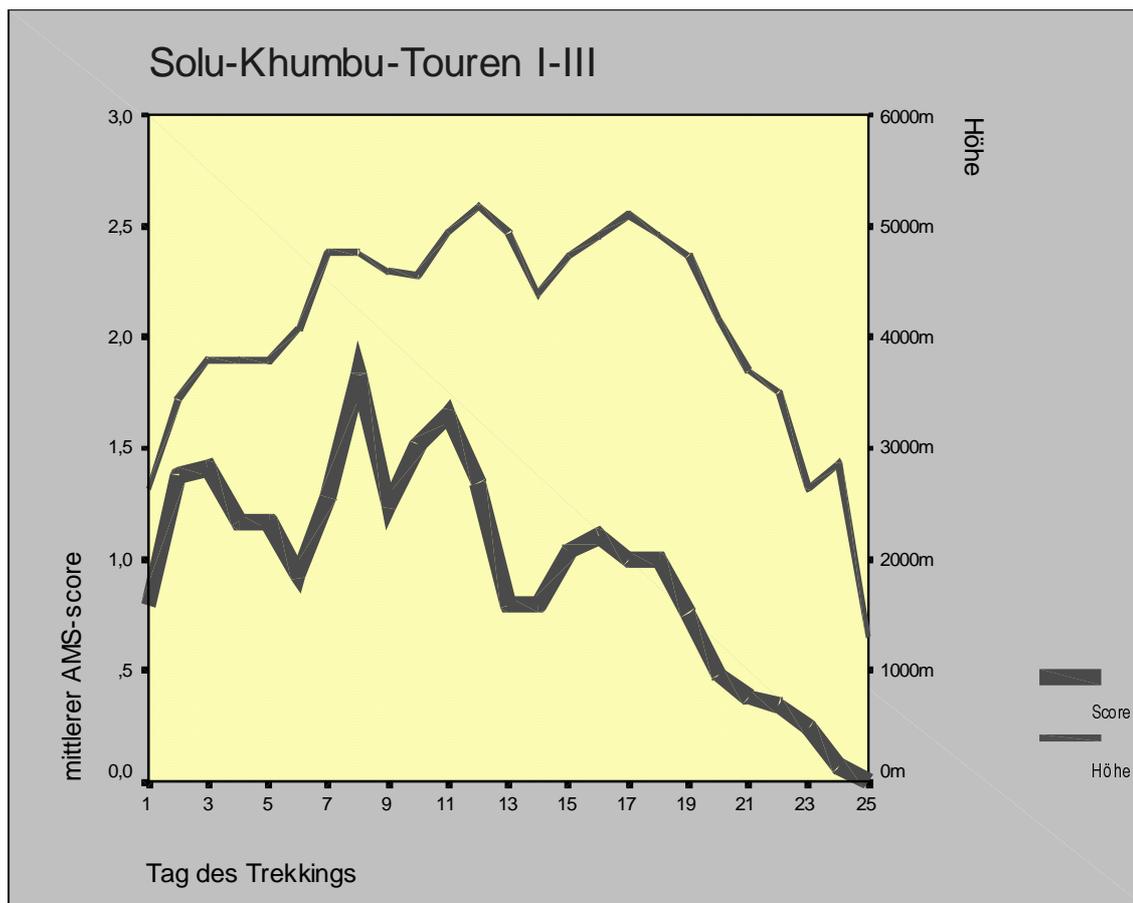


Abbildung 9: Profil der mittleren Score (rot) und Höhenwerte (grün) der 3 Solu-Khumbu-Touren. Deutlich erhöhte Scorewerte während der ersten 10 Tage (keine überdimensionalen peaks). Trotz durchschnittlich größerer Höhen sind in der 2. Hälfte die Scorewerte deutlich reduziert.

4.4.5 Höhenanpassung bei der Solu Khumbu Tour: Profil der mittleren Scorewerte bei bestimmten Höhen

In Abbildung 9 ist bereits anschaulich dargestellt wie deutlich sich die Akklimatisierungsphase von der darauffolgenden Phase unterscheiden kann. Obwohl vom 10. bis zum letzten Tag der Solu-Khumbu-Touren wesentlich höhere durchschnittliche Höhen erreicht werden sind die durchschnittlichen Scorewerte bei Akklimatisation wesentlich niedriger. Abbildung 10 zeigt diese Unterschiede sehr deutlich am Beispiel einzelner Orte, die sowohl während der Akklimatisierung als auch danach durchwandert wurden. Zusätzlich sind die Werte am Island Peak Basecamp, der höchsten Schlafhöhe (5200m), aufgeführt, die interessanterweise niedriger ausfielen als die ersten Werte in Namche Bazar und Pakding, obwohl sich diese Orte unter 4000m befinden.

Am Beispiel Namche Bazar, einem Ort, der auf 3400m Höhe liegt, lässt sich der Unterschied zwischen einem nicht akklimatisierten und einem gut akklimatisierten Kollektiv demonstrieren. Der Durchschnittlichen Scorewert beim Aufstieg am 3. und 4. Tag betrug 2.07, beim Abstieg 0,00 Punkte.

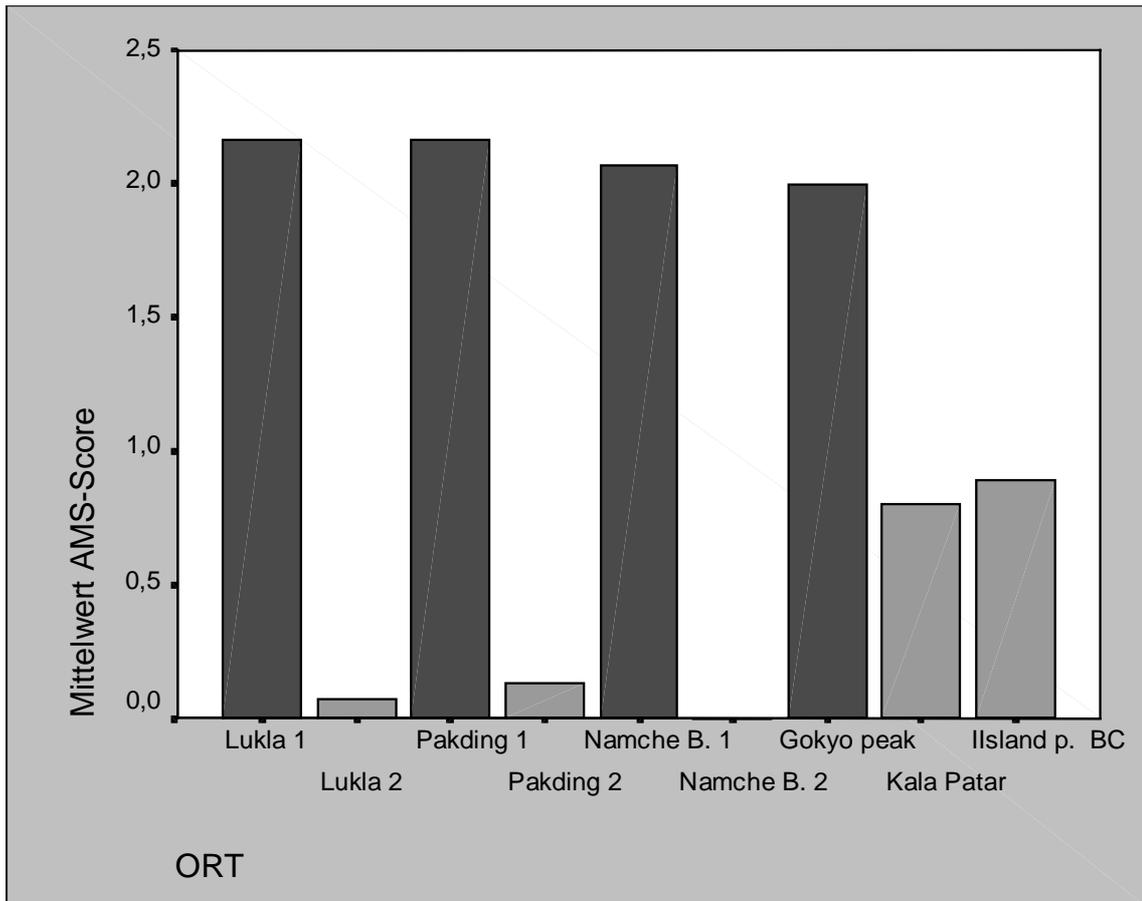


Abbildung 10: Mittlere Score-Werte bei der Solu Khumbu Tour 1: Während der Akklimationsphase (rot) und nach der Akklimatisierungsphase (grün), Kathmandu (1300m), Lukla (Hubschrauberlandeplatz: 2850m), Pakding (erster Schlafplatz, 2600 m), Namche Basar (3440m), höchste Schlafhöhe im Basecamp des Island Peak (5200m).

4.5 Parameter und deren Verlauf

Die gemessenen Parameter waren der Puls, die Sauerstoffsättigung des Blutes (SaO₂), der systolische und der diastolische Blutdruck (RRS, RRD), die endexpiratorische Kohlendioxid-Konzentration (ETCO₂), die Atemfrequenz (AF), die expiratorische Einsekunden-Kapazität (FEV1) und die expiratorische Fluß-Volumen-Kurve, deren Spitzenwert, der peak-flow (PEF), von besonderem Interesse war.

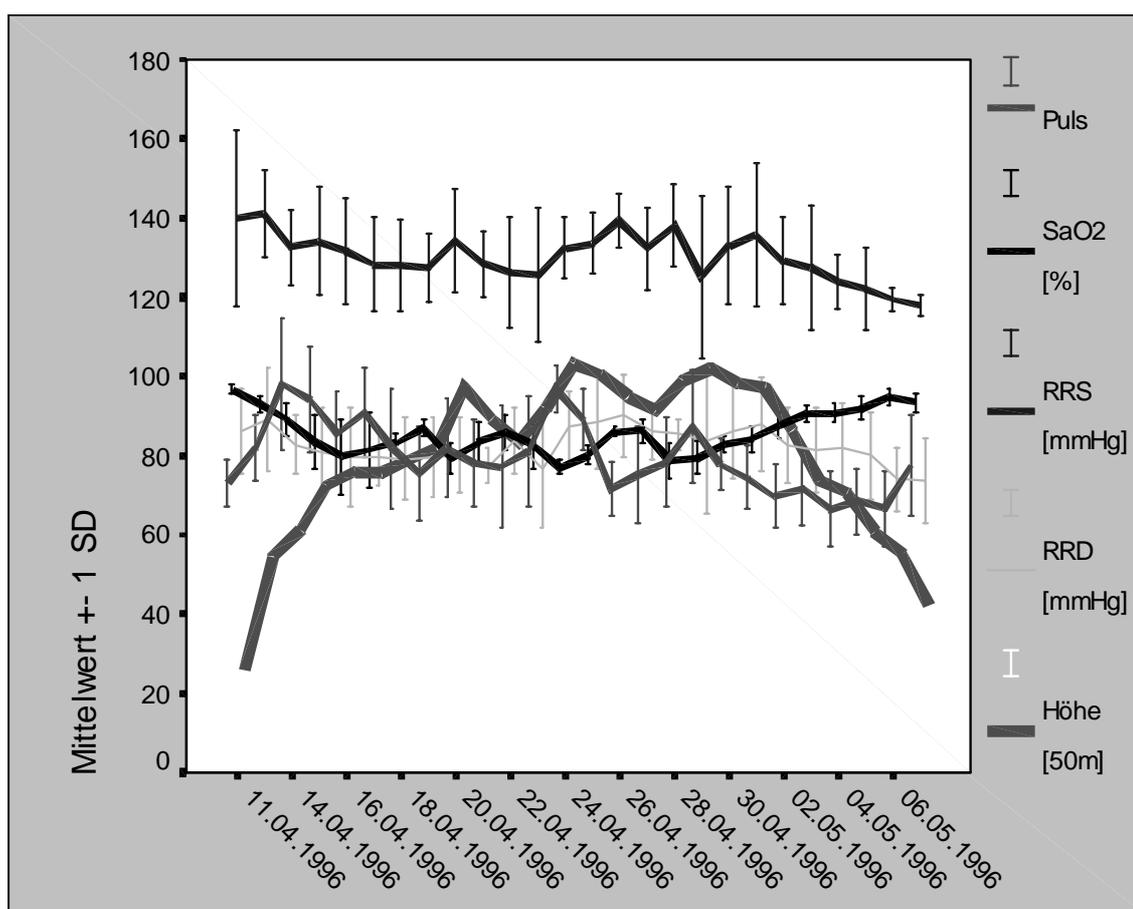


Abbildung 11: Profil der täglichen Mittelwerte der Parameter Puls (rot), Sauerstoffsättigung (schwarz), und des Blutdruckes (blau) und deren Standardabweichungen. Höhenprofil (1:50, grün). Man sieht einen deutlichen Anstieg der Pulskurve während der anfänglichen Akklimatisierungsphase, und zwei weitere Spitzenwerte im Bereich der zwei höchsten Schlafhöhen bzw. Gipfelbesteigungen. Reziprok dazu verhalten sich die Sauerstoffsättigungswerte. In den Blutdruckkurven lässt sich kein eindeutiger Trend ablesen. Auffällig ist nur, dass die niedrigsten Werte am Schluss der Reise erreicht werden (Erleichterung?).

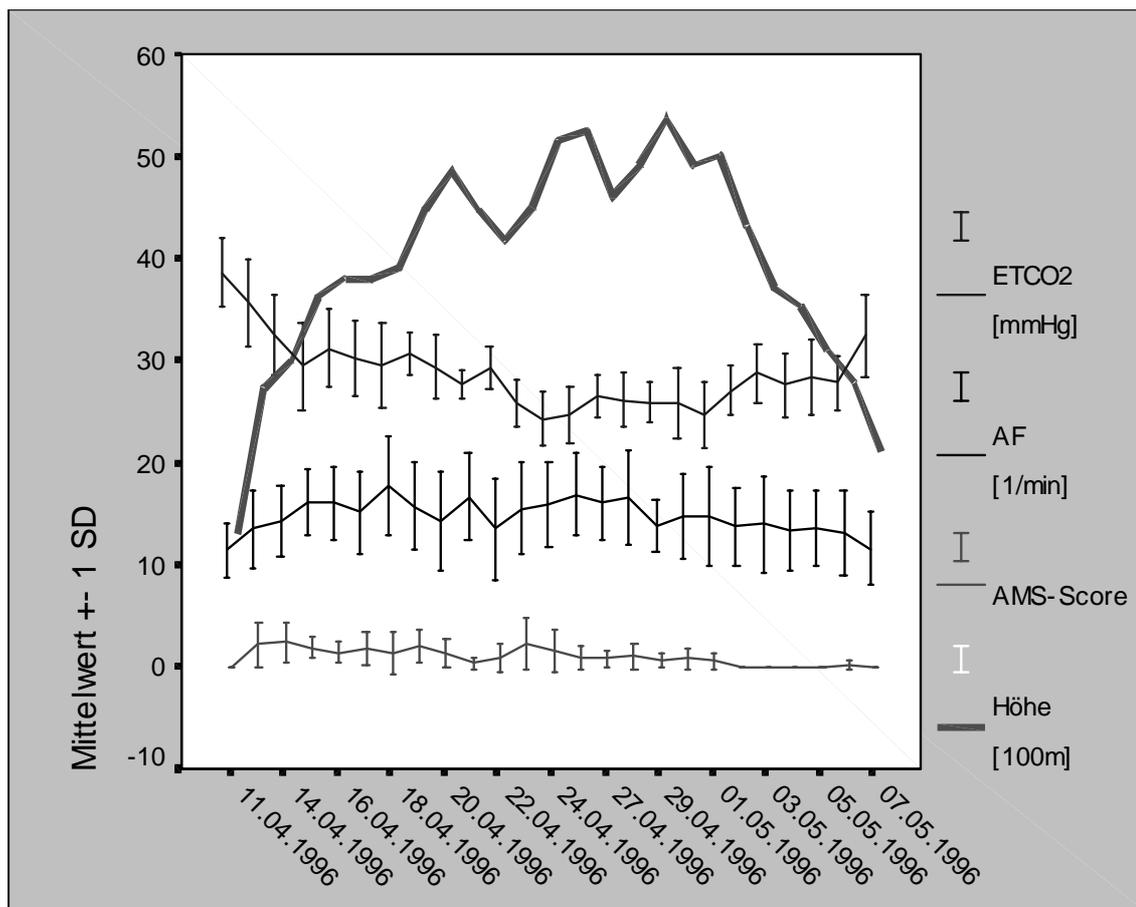


Abbildung 12: Profil der täglichen Mittelwerte der Parameter ETCO₂ (blau), AF (schwarz) und des AMS-Scores (rot). ETCO₂ sinkt deutlich bei größeren Höhen und nimmt bei Akklimation niedrigere Werte an (Kompensation durch Hyperventilation). AF verhält sich erwartungsgemäß reziprok dazu.

In Abbildung 11-Abbildung 13 werden diese Parameter im Gruppendurchschnitt über den gesamten Verlauf des Experiments dargestellt. Alle genannten Parameter, bis auf Blutdruck und PEF verändern sich bei einem Wechsel der Höhenlage signifikant (s. Tabelle 18). Besonders deutlich ist dies bei der Pulskurve nachzuvollziehen. Man sieht einen deutlichen Anstieg während der anfänglichen Akklimationphase und zwei

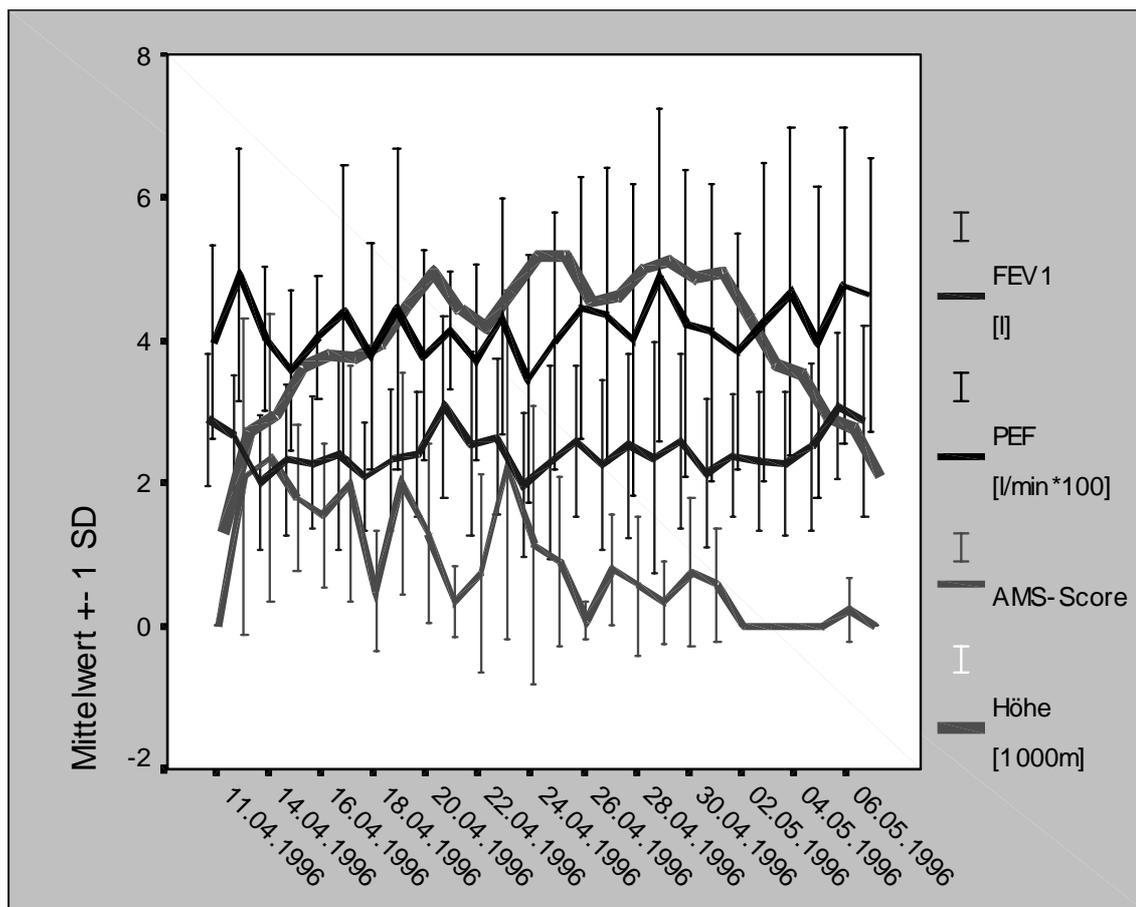


Abbildung 13: Profil der täglichen Mittelwerte der Parameter FEV1(blau) und PEF(schwarz).Keine eindeutige Aussage möglich.

weitere Spitzenwerte im Bereich der zwei höchsten Schlafhöhen bzw. Gipfelbesteigungen. Ähnlich verhalten sich Sauerstoffsättigungswerte und die endexpiratorische Kohlendioxid-Konzentration; beide Werte nehmen bei größeren Höhen deutlich ab und kehren am Ende wieder auf ihre Ausgangswerte zurück. Der AMS-Score korreliert nicht mit der Höhe, da er in erster Linie von dem Akklimatisationsstatus abhängig ist.

4.6 Korrelationen

Als unspezifisches Kriterium für die Veränderung der physiologischen Parameter in Abhängigkeit von der Höhe ohne Berücksichtigung der Akklimatisation ist die Korrelation der Messwerte mit der Höhe anzusehen, die in Tabelle 18 mit den jeweiligen Signifikanzkriterien (2-seitig nach Pearson) dargestellt ist. Alle Parameter bis auf den Blutdruck und den Peakflow sind höhensignifikant. Dies sagt noch nichts über ihren prädiktiven Wert für die Erkennung der Höhenkrankheit aus, da diese nicht von der absoluten Höhe Abhängig ist. Es lässt sich aber insofern eine klare Aussage treffen, dass alle signifikanten Parameter durch die Höhe beeinflussbar sind.

Um die einzelnen gemessenen Parameter auf ihre Potenz zur Erkennung beziehungsweise Früherkennung der Höhenkrankheit zu beurteilen, wurden diese mit den jeweiligen Werten des AMS-Scores korreliert. Das Ergebnis ist in Tabelle 19 dargestellt. Dort ist abzulesen, dass von den höhensignifikanten Parametern wiederum nur ein Teil mit dem AMS-Score korreliert. Diese sind der Puls ($p=0,000$), die Atemfrequenz ($p=0,001$) und die Sauerstoffsättigung ($p=0,003$). Interessanterweise korreliert der Peakflow, der sich als nicht höhensignifikant herausstellte, mit dem AMS-Score und wäre somit also ein Wert der sich bei der Entwicklung der Höhenkrankheit spezifisch, unabhängig von der Höhe verändert.

Tabelle 18: Höhengnifikanz der Parameter. Alle gemessenen Parameter bis auf PEF und RR korrelieren signifikant mit der Höhe. Der AMS-Score korreliert nicht mit der Höhe, da er in erster Linie von dem Akklimatisationsstatus abhängig ist.

Parameter	Korrelationen	Höhe
	N	429
AMS-Score	Korrelation nach Pearson	0.030
	P (2-seitige Signifikanz)	0.558
	N	385
Puls	Korrelation nach Pearson	0.149
	P (2-seitige Signifikanz)	0.006
	N	342
ETCO2	Korrelation nach Pearson	-0.624
	P (2-seitige Signifikanz)	0.000
	N	287
AF	Korrelation nach Pearson	0.188
	P (2-seitige Signifikanz)	0.001
	N	287
SaO2	Korrelation nach Pearson	-0.639
	P (2-seitige Signifikanz)	0.000
	N	333
RRS	Korrelation nach Pearson	0.031
	P (2-seitige Signifikanz)	0.663
	N	202
RRD	Korrelation nach Pearson	0.082
	P (2-seitige Signifikanz)	0.242
	N	204
PEF	Korrelation nach Pearson	-0.087
	P (2-seitige Signifikanz)	0.166
	N	255
FEV1	Korrelation nach Pearson	-0.141
	P (2-seitige Signifikanz)	0.028
	N	242

Tabelle 19: Korrelationen der einzelnen gemessenen Parametern mit den AMS-Scorewerten.
 ** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

Parameter	Korrelationen	AMS-Score
Puls	Korrelation nach Pearson	0,408**
	P (2-seitige Signifikanz)	0,000
	N	303
ETCO2	Korrelation nach Pearson	0,026
	P (2-seitige Signifikanz)	0,677
	N	259
AF	Korrelation nach Pearson	0,197**
	P (2-seitige Signifikanz)	0,001
	N	259
SaO2	Korrelation nach Pearson	-0,174**
	P (2-seitige Signifikanz)	0,003
	N	296
RRS	Korrelation nach Pearson	0,026
	P (2-seitige Signifikanz)	0,737
	N	174
RRD	Korrelation nach Pearson	-0,024
	P (2-seitige Signifikanz)	0,755
	N	176
PEF	Korrelation nach Pearson	0,178**
	P (2-seitige Signifikanz)	0,006
	N	238
FVC	Korrelation nach Pearson	0,095
	P (2-seitige Signifikanz)	0,148
	N	236
FEV1	Korrelation nach Pearson	0,080
	P (2-seitige Signifikanz)	0,231
	N	225

4.7 Tageszeitliche Abweichungen der einzelnen Parameter

In unseren Messungen zeichneten sich signifikante Unterschiede der zu drei verschiedenen Tageszeiten, früh, mittags und abends, gemessenen Werte fast aller Parameter ab. In Tabelle 20 sind die sechs wichtigsten Parameter und deren Mittelwerte zu den drei Tageszeiten aufgeführt. Als Beispiel für diese Unterschiede ist in *Abbildung 14* der Unterschied der Mittelwerte der forcierten Einsekundenkapazität graphisch dargestellt. Die Mittagswerte sind in ihren Ausgangsparametern nicht immer mit den anderen beiden Werten vergleichbar. Einige Gipfelmessungen wurden mittags vorgenommen und nicht alle Messungen fanden in Ruhe statt.

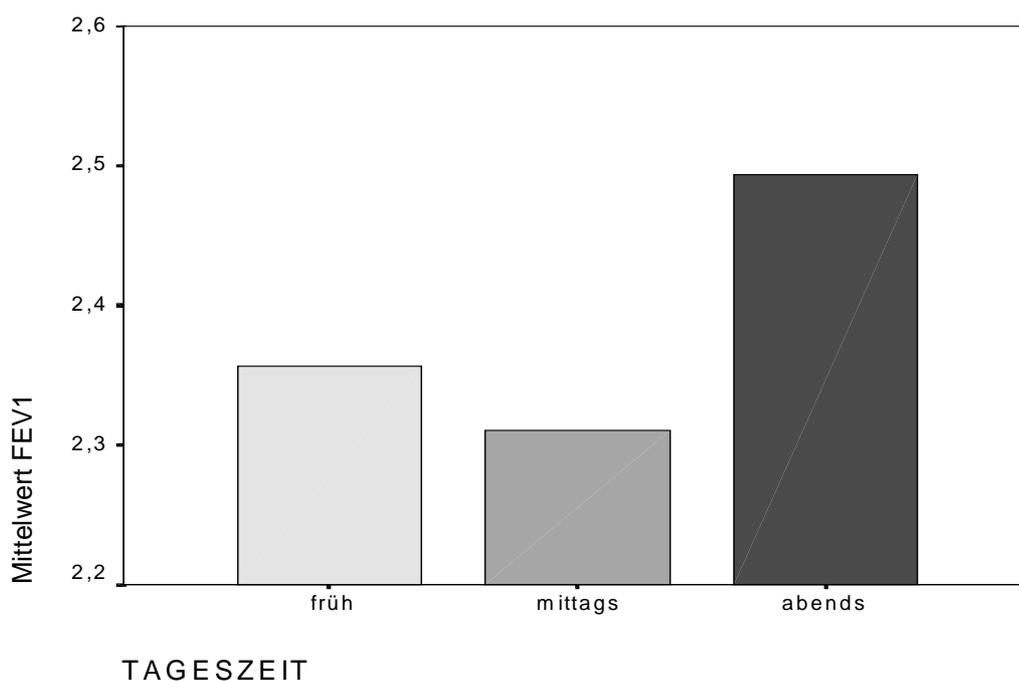


Abbildung 14: Graphische Darstellung der Mittelwerte der FEV1 zu den drei verschiedenen Tageszeiten. Abends wurden deutlich höhere Durchschnittswerte gemessen als früh und mittags. Hypothese: Sowohl Nachtruhe als auch körperliche Anstrengung wirken sich negativ auf das expiratorische Einsekundenvolumen aus.

Wie in der Darstellung der Ergebnisse eines T-Tests für unabhängige Stichproben, abzulesen ist, zeigen die Parameter bis auf den Puls und die endexpiratorische Kohlendioxid-Konzentration signifikante Unterschiede. Die Sauerstoffsättigung war morgens (Mittelwert: 85,15) deutlich höher als abends (Mittelwert: 83,80). Die Atemfrequenz war morgens im Mittel 14,70 und somit signifikant höher als der mittlere Abendwert von 14,34. Der Peak flow war morgens mit einem Mittelwert von 407,27 deutlich niedriger als abends bei einem Mittelwert von 425,21. Das expiratorische Einsekundenvolumen (FEV1) betrug am Morgen im Durchschnitt 2,36 l und am Abend 2,49 l. Somit sind die beiden zuletzt genannten Werte des Atemstoßtests die beiden einzigen, die morgens pathologischer ausfielen.

Tabelle 20: Vergleich der Mittelwerte verschiedener Parameter zu unterschiedlichen Tageszeiten (früh, mittags und abends); vor allem morgendliche Abweichungen der respiratorischen Parameter sind zu erkennen, während die erhöhte Pulsrate und Atemfrequenz um die Mittagszeit für einen höheren Aktivierungsgrad sprechen.

TAGESZEIT		PULS	PEF	FEV1	ETCO2	AF	SaO2
früh	Mittelwert	79,51	407,27	2,36	27,95	14,70	85,15
	Messungen	123	97	94	124	124	120
	St.abw.	15,41	162,80	1,02	3,84	4,12	7,19
mittags	Mittelwert	89,79	464,00	2,31	28,36	17,43	84,34
	Messungen	77	36	29	28	28	71
	St.abw.	13,34	193,17	1,07	6,31	11,52	6,17
abends	Mittelwert	84,36	425,21	2,49	29,12	14,34	83,80
	Messungen	135	115	112	128	128	135
	St.abw.	13,16	178,92	1,08	4,01	4,23	7,53
Insgesamt	Mittelwert	83,61	423,60	2,44	28,75	14,71	84,67
	Messungen	335	248	235	280	280	326
	St.abw.	14,51	173,85	1,06	4,46	5,38	7,28

Tabelle 21: Mittelwertsvergleich bei unabhängigen Stichproben (T-Test): Vergleich der morgendlichen Parameter mit den abends gemessenen

	Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
	F	Sig.	T	df	Signifikanz (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall	
								Untere	Obere
SaO2	0,51	0,48	1,46	253	0,15	1,35	0,92	-0,47	3,17
PULSE	3,64	0,06	-2,73	256	0,01	-4,85	1,78	-8,35	-1,35
PEF	1,40	0,24	-0,76	210	0,45	-17,94	23,68	-64,61	28,73
FEV1	0,43	0,51	-0,93	204	0,35	-0,14	0,15	-0,43	0,15
ETCO2	0,70	0,40	-2,35	250	0,02	-1,17	0,50	-2,14	-0,19
AF	0,56	0,45	0,70	250	0,49	0,37	0,53	-0,67	1,40

4.8 Kasuistische Befunde

4.8.1 Höhenkrankheit in ihrer Entwicklung bei Proband 7

Während der Tour sind bei den meist gut trainierten Bergsteigern keine ernsthaften Verletzungen oder Überlastungserscheinungen des Bewegungsapparates aufgetreten. Ein Großteil der Teilnehmer verspürte die fast unvermeidlichen Frühsymptome einer Höhenanpassungsstörung: Kopfschmerzen, Schwäche, leichte Atemnot, vor allem nachts, Schlaflosigkeit oder Übelkeit. Die Symptome traten meist nur einzeln und selten in starker Ausprägung auf, mit Ausnahme eines Falles.

Eine Teilnehmerin erkrankte deutlich an einer mittelgradig bis schwer ausgeprägten Form der Höhenkrankheit. Die 34-Jährige war alpinistisch erfahren und hatte bereits einmalig Erfahrungen in Höhen von knapp unter 4000m (Schweizer Alpen) gesammelt. Damals war sie beschwerdefrei. Die Bergsteigerin war zuvor körperlich in bester Verfassung, in einem mittelgradig trainierten Zustand und hatte anamnestisch keine

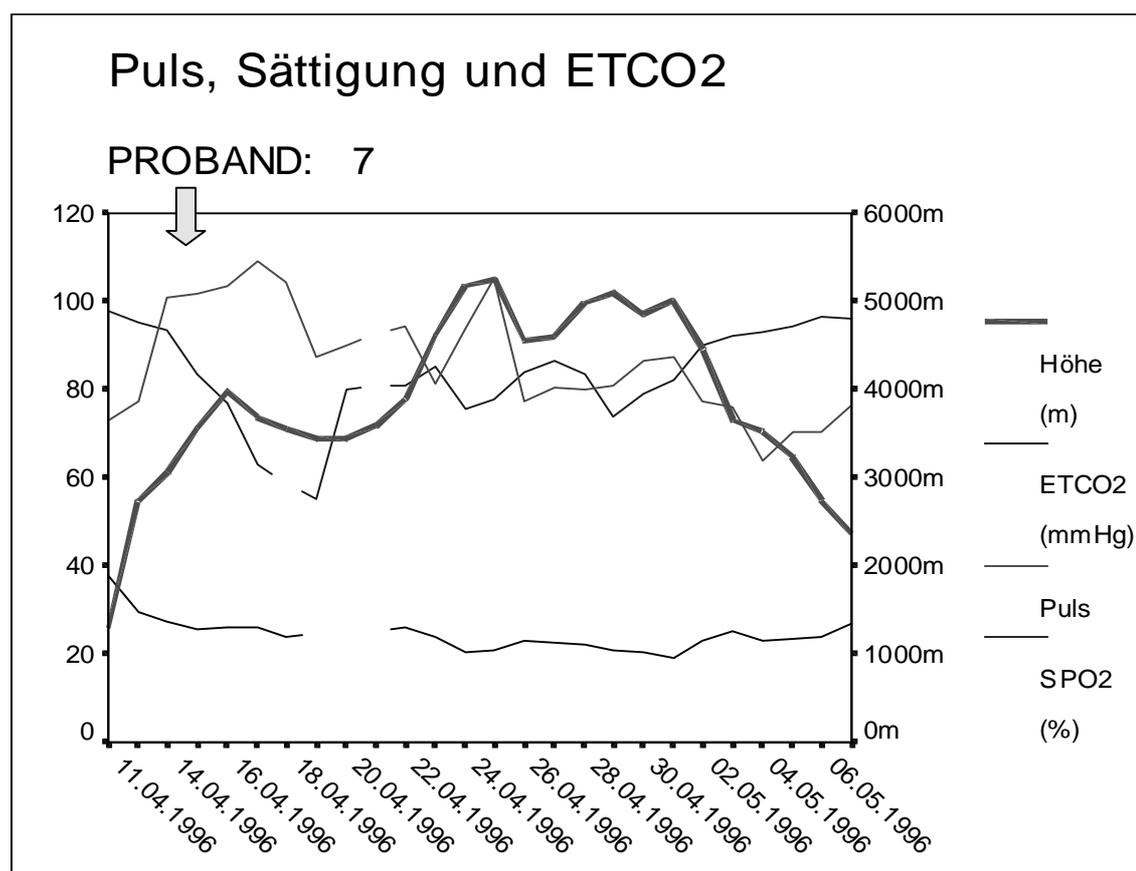


Abbildung 15: Durchschnittliche Tageswerte der Parameter von Proband 7 der Solukhumbu-Tour I, Teil 1: ETCO₂(schwarz), Puls(rot), Sauerstoffsättigung(blau) und das Höhenprofil(grün); der gelbe Pfeil stellt den Beginn der Symptome dar: ab diesem Zeitpunkt steigt der Puls und sinkt die Sauerstoffsättigung drastisch

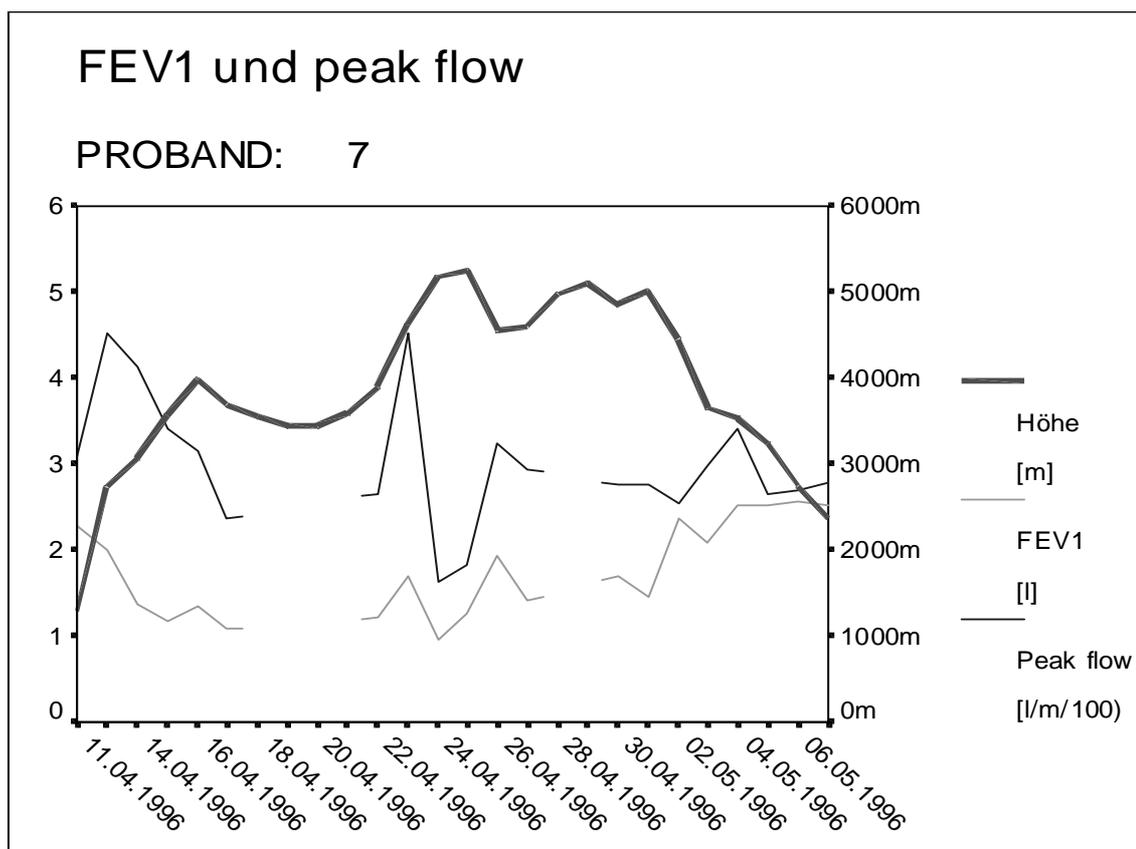


Abbildung 16 : : Durchschnittliche Tageswerte der Parameter von Proband 7 der Solu-Khumbu-Tour I, Teil 2: FEV1 (hellgrün), Peak flow (blau) und das Höhenprofil (grün); das forcierte expiratorische Sekundenvolumen nimmt während der Höhenexposition deutlich ab.

wesentlichen Vorerkrankungen. Sie ließ sich nicht medizinisch voruntersuchen und absolvierte außer gelegentlichen Berg-/Wanderungen und einem alpinistischen Kurs kein spezielles Trainingsprogramm. Bei ihr traten in der Nacht des vierten Tages nach einer leichten Gipfelbesteigung (4260 m) zur Akklimatisierung nahe des Klosters Thame, und am Morgen des fünften Tages auf einer Schlafhöhe von 3800m zum ersten Mal schwerere Symptome auf: Husten, Verwirrtheit, Schwindel, Schwäche und erhöhter Puls, allerdings keine Atemnot oder pulmonale Rasselgeräusche. Die Beschwerden klangen jedoch im Laufe des Vormittags größtenteils ab. Aus diesem Grund und weil das nächste Nachtlager nicht höher lag, entschlossen wir uns, nicht mit ihr abzusteigen. Am Nachmittag traten kurzzeitig leichte Gleichgewichtsstörungen im Sinne einer Gangunsicherheit auf. Als sich aber am nächsten Tag die gleiche Symptomatik erneut und diesmal schwerer bemerkbar machte - hinzu kamen Symptome, die Anlass gaben zum Verdacht auf eine cerebrale Hypoxie bzw. ein beginnendes Hirnödem: Schwindel, Ataxie, periphere Ödeme, eine stark eingeschränkte Belastbarkeit und Müdigkeit - musste sie, natürlich in Begleitung, absteigen. Sie sollte erst einmal in Namche Bazar (3440m), in der Nähe eines Flughafens, bleiben und sich unter Beobachtung und Pulsoximeterkontrolle ausruhen. Sie erholte sich gut von ihrer Höhenkrankheit und

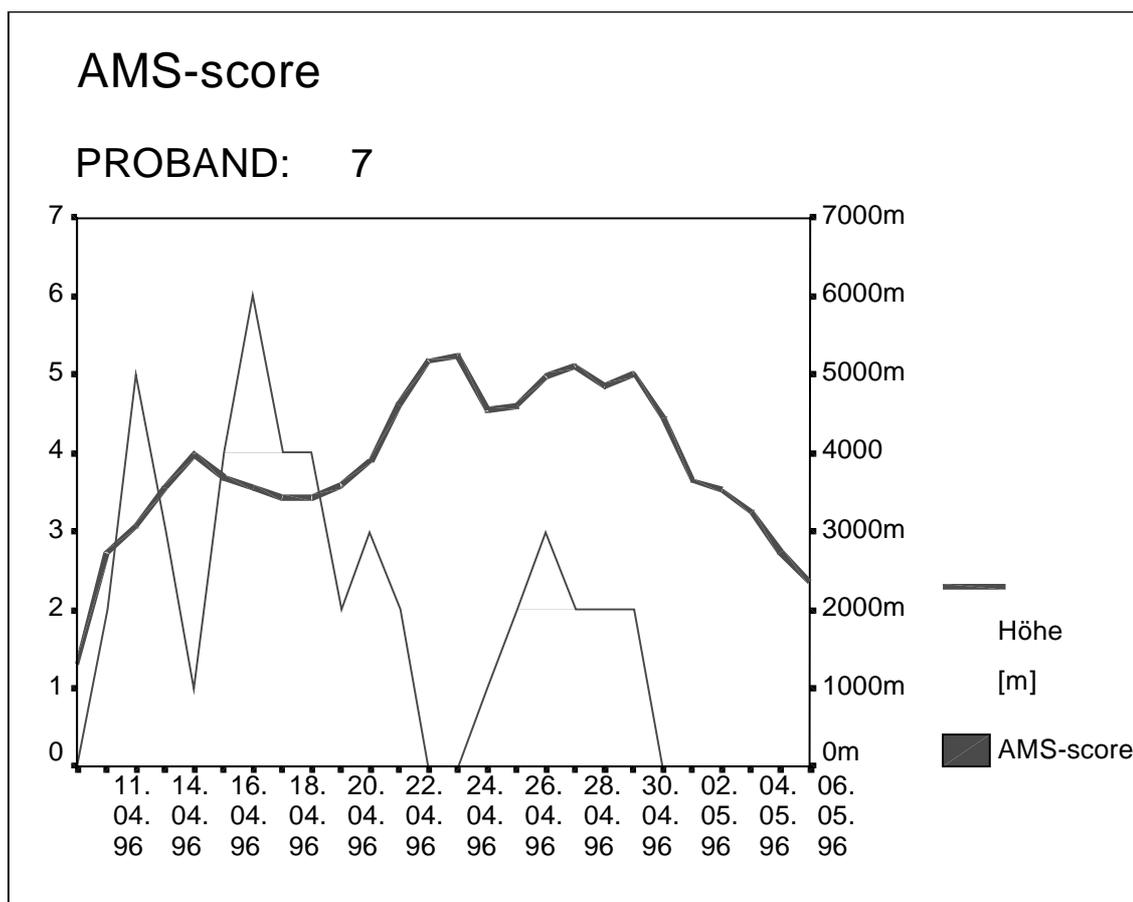


Abbildung 17 Scoreprofil von Proband 7: Bereits in den ersten Tagen deutlich erhöhte Scorewerte. Der höchste Wert deckt sich mit dem Zeitpunkt des Abstiegs. Nach einer Erholungsphase von drei Tagen ist eine deutliche Besserung und im weiteren Verlauf sind keine dramatisch hohen Werte mehr festzustellen.

konnte sich einige Tage später wieder der Gruppe anschließen, indem sie, begleitet von Sherpas und einem Mitreisenden, eine Abkürzung nahm. Im weiteren Verlauf traten selbst in Höhen über 5000m nur noch mäßige Symptome auf (geringgradig eingeschränkte Belastbarkeit, periphere Ödeme).

In Abbildung 15 bis Abbildung 17 kann man die einzelnen Parameter des eben beschriebenen Falles in ihrem Verlauf beurteilen. Abbildung 15 zeigt die durchschnittliche Sauerstoffsättigung, den Puls und die forcierte expiratorische Einsekundenkapazität (FEV1) des Probanden und die durchschnittliche Höhe für jeden einzelnen Tag des Trekkings. In den dort beschriebenen Kurven kann man deutlich die drastischen Veränderungen der Sauerstoffsättigung und der Pulsrate erkennen, die sich ab dem vierten Tag abzeichneten und sich nach zwei bis drei Tagen wieder normalisierten. Beides sind deutliche Zeichen für eine beginnende Höhenkrankheit. Abbildung 16 zeigt die Veränderungen der beiden im Atemstoßtest gemessenen Werte, der Einsekundenkapazität (FEV1) und des Peak flow. Auch hier waren deutliche Veränderungen der Werte zu

beobachten. Abbildung 17 zeigt nun die Scorewerte des Probanden. Die Werte steigen deutlich in der oben erwähnten symptomatischen Phase und nehmen auch im weiteren Verlauf höhere Werte an. Im Vergleich mit den durchschnittlichen Scorewerten der Gruppe (Abbildung 4) zeigt die Probandin deutlich höhere Werte.

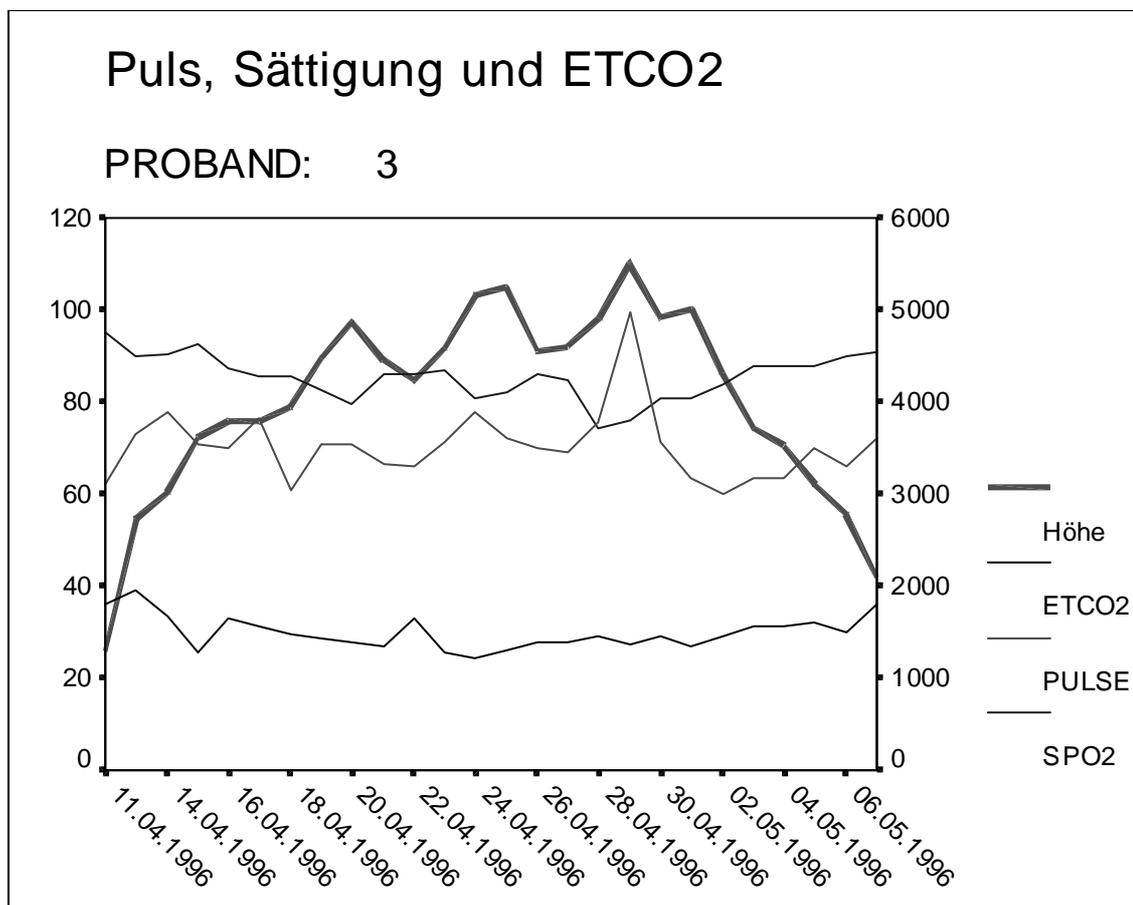


Abbildung 18: Durchschnittliche Tageswerte der Parameter von Proband 3 der Solu-Khumbu-Tour I, Teil I: Pulskurve (rot), Sauerstoffsättigung (blau), endexpiratorischer Sauerstoffpartialdruck (schwarz) und Höhenprofil (grün)

4.8.2 Die Werte von Proband 3 als Beispiel eines beschwerdefreien Probanden

Der einzige beschwerdefreie Proband war der Bergführer, 58 Jahre alt, sehr berg- und auch höhererfahren und in einer guten körperlichen Verfassung sowie in einem gutem Trainingszustand. Die einzige wesentliche Vorerkrankung des Probanden war Asthma bronchiale. Der Proband hatte sich nicht speziell durch körperliches Training vorbereitet und hatte auch keinen Arzt zur Voruntersuchung aufgesucht.

Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die Messwerte des Bergführers. Tatsächlich zeigen die Kurven keinerlei Auffälligkeiten, die auf Höhen Anpassungsstörungen hinweisen. Allein auffällig sind die niedrigen Peak Flow- und FEV₁-Werte. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Proband unter Asthma bronchiale „leidet“.

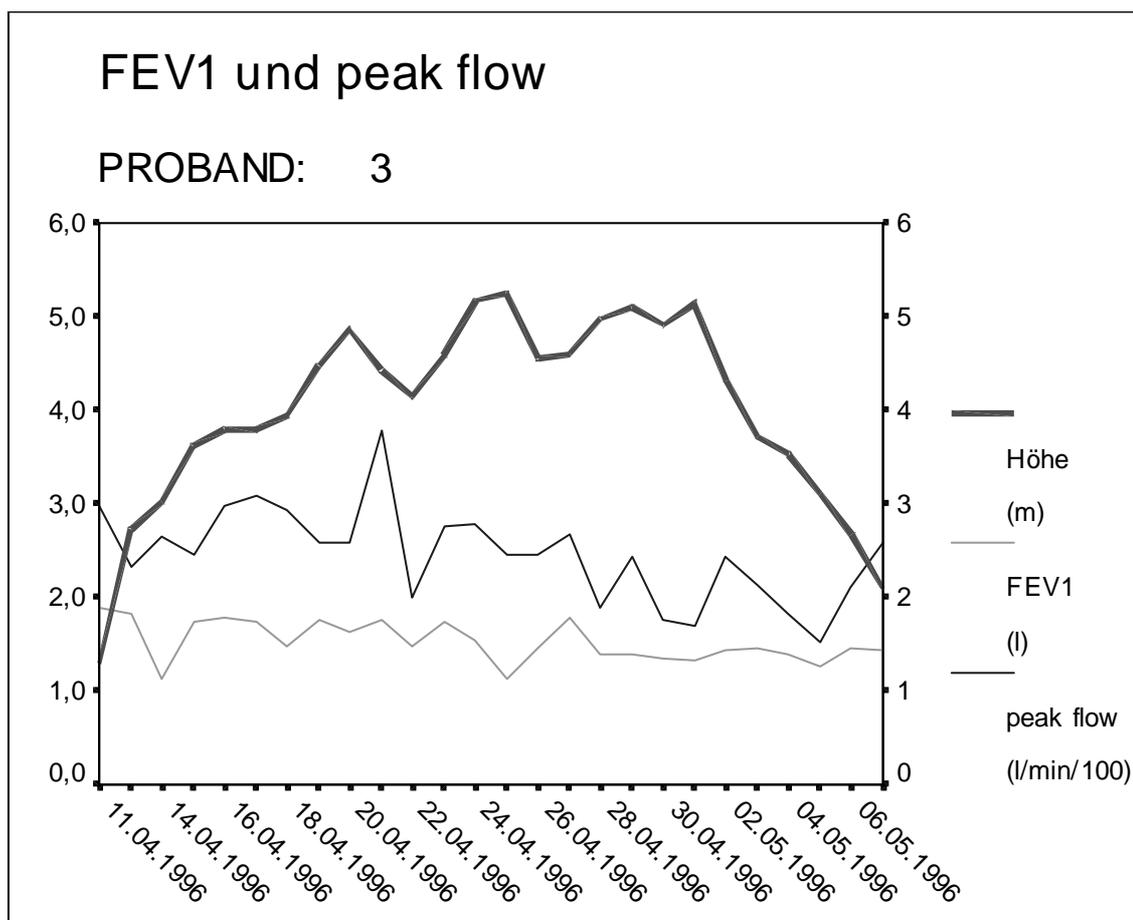


Abbildung 19: : Durchschnittliche Tageswerte der Parameter von Proband 3 der Solu-Khumbu-Tour I, Teil 2: FEV1 (hellgrün), peak flow (blau) und das Höhenprofil (grün); erwartungsgemäß niedrige FEV1- und Peak flow-Werte bei Asthma bronchiale, kein Beeinflussung durch die Höhe erkennbar.

4.8.3 Gründe für den Abbruch von Proband 4 und 5

Zwei der sieben Teilnehmer mussten die Wanderung vorzeitig beenden. Bei beiden waren Infektionskrankheiten der ausschlaggebende Faktor für die Aufgabe und den folgenden Abtransport bzw. Abstieg. Proband 4 musste bereits am vierten Tag (17.4.) seine Reise beenden. Er hatte hohes Fieber (bis 40 Grad) Durchfall und Übelkeit, seine Symptome wiesen auf einen viralen oder durch pathogene Coli-Bakterien verursachten Infekt hin. Er zeigte keine oder nur leichte Symptome der Höhenkrankheit. Der Proband war sehr geschwächt und konnte zu diesem Zeitpunkt unmöglich die Wanderung fortsetzen. Er wurde mit einem Sherpa und einem Küchenboy bei der Lodge unterhalb des Klosters Thame zurückgelassen, mit der Option, später wieder zur Gruppe zu stoßen. Über Boten und Mundpost war die Gruppe täglich über seinen Zustand informiert. Unglücklicherweise war die Kommunikation des Betroffenen mit dem Sherpa und den Ortsansässigen nicht sehr gut und so musste er mit dem Helikopter nach Kathmandu geflogen werden, da sich die Verantwortlichen vor Ort nicht im Klaren über seinen Gesundheitszustand waren. In Kathmandu angekommen, war der Proband

angeblich wieder gesund. Leider hatten wir keinen persönlichen Kontakt, um die genaueren Umstände seines plötzlichen Abtransports zu klären, da er bereits vor unserer Ankunft abgereist war.

Proband 5 musste am 23.4.96, am 10. Trekkings-Tag, die Reise abbrechen und begann von diesem Tag an mit dem Abstieg. Er war zwar geschwächt, konnte jedoch noch selbständig in Begleitung eines Sherpas den Weg zum Hubschrauberlandeplatz in Lukla bestreiten. Er hatte fünf Tage lang massive wässrige Durchfälle (5-10mal täglich, ohne Blutbeimengung) und wurde von Tag zu Tag schwächer. Als selbst die Therapie mit Elektrolyt-Konzentraten, Kohletabletten, Loperamid, die er ab dem siebten Tag des Trekkings einnahm, keine Besserung der Beschwerden bewirken konnten, entschied er sich vernünftigerweise für die Aufgabe. Bei der Intensität seiner Durchfälle war es schwer, ausreichend Flüssigkeit zu sich zu nehmen und einen optimalen Elektrolyt-Haushalt zu gewährleisten. Dies äußerte sich in einem niedrigen systolischen Blutdruckwerten zwischen 90 bis 110 mm Hg, hohem Puls (Durchschnittlich 100) und einem geringgradigen Benommenheitsgefühl. In seinem Fall war ein seinen Kräften angepasster, langsamer Abstieg mit Sicherheit die beste Entscheidung. Die bevorstehenden Märsche und Gipfelbesteigungen wären in seiner Verfassung sicher nicht zu bewältigen gewesen. Ab dem 8. Trekkings-Tag hat der Proband bei Verdacht auf eine enteropathogene bakterielle Infektion mit der Einnahme von Ofloxacin (zweimal/d 200mg) begonnen. Zum Ende des Abstieges, der 3 Tage dauerte, also nach 4 Therapietagen besserten sich seine Beschwerden deutlich. In Kathmandu angekommen fühlte er sich bereits wieder gesund genug um noch einige Tage zur Stadtbesichtigung zu bleiben und reiste 2 Tage vor unserer Ankunft ab.

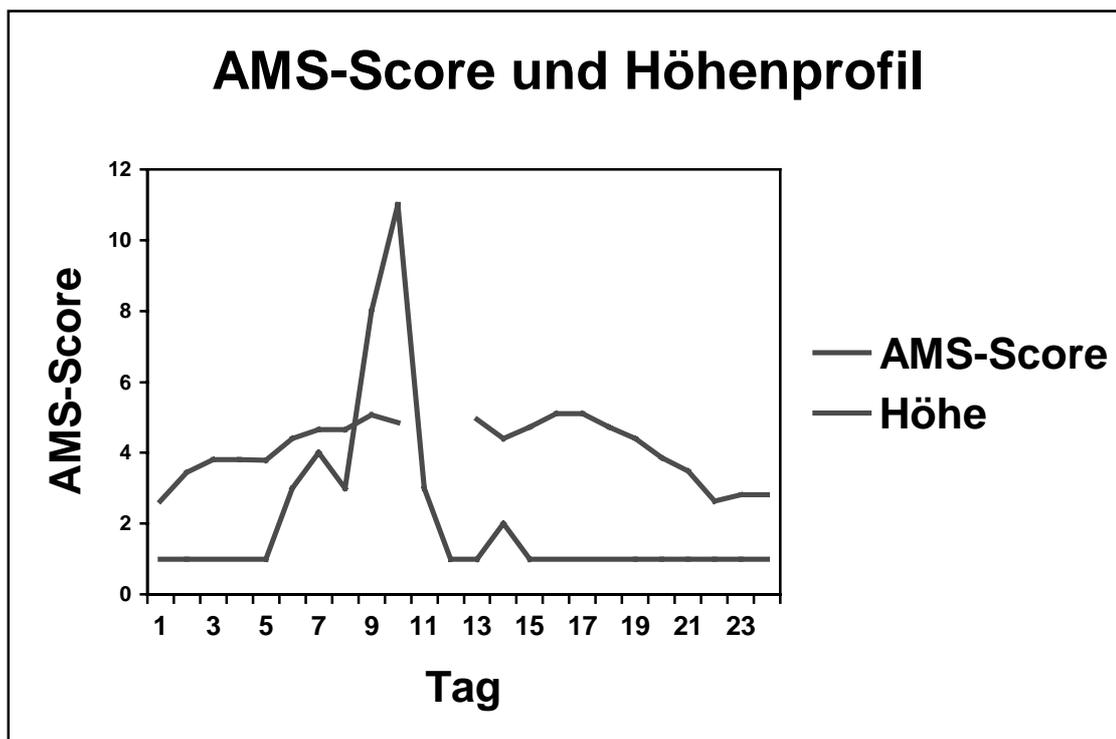
Die Gründe, warum ausgerechnet diese beiden Probanden mit so hartnäckigen Infektionen zu kämpfen hatten, sind sicher vielschichtig. Psychische Faktoren wie Stress durch das Mißverhältnis zwischen übermäßiger Motivation und falscher Selbsteinschätzung auf der einen Seite und mangelnder Erfahrung in Kombination mit einem unzureichenden Leistungszustand auf der anderen Seite spielen sicherlich eine bedeutende Rolle. Aber auch die Klimaumstellung, die Zeitumstellung und die Auseinandersetzung mit einer für den Organismus unbekanntem bakteriellen Flora, die durch die Umwelt, vor allem durch die Nahrungsaufnahme in den Körper gelangten, sind nicht außer Acht zu lassen.

4.8.4 Proband 1 der Solu-Khumbu Tour 2

Ein weiterer Fall von schwerer Höhenkrankheit ereignete sich während der Solu-Khumbu-Tour Nr. 2. Ein Proband entwickelte innerhalb eines Tages auf einer Höhe von ca. 5000m (Lobuche) deutliche Gleichgewichtsstörungen, ausgeprägte Ödeme an Gesicht, Händen und Füßen, ausgeprägte Schwäche, Schwindel, Kopfschmerzen und Übelkeit. Bei der Ausprägung der Symptome lag hier aller Wahrscheinlichkeit nach ein beginnendes HACE vor. Der Patient wurde kurzzeitig, bis der Abstieg möglich war, in einer transportablen Druckkammer behandelt und konnte dann mit Hilfe langsam bis

nach Phortse (ca. 3900m) absteigen. Zwei Tage später konnte er sich wieder weitgehend beschwerdefrei der Gruppe anschließen.

Tabelle 22: AMS-Score und Höhenprofil von Proband 1 der Solu-Khumbu Tour 2: massiver Fall von Höhenkrankheit (Gleichgewichtsstörungen, ausgeprägte Schwäche, Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit; HACE; ausgeprägte Ödeme an Gesicht, Händen und Füßen) am 10. Tag des Trekkings. Der Patient wurde mit Unterstützung von Sherpas und Mitreisenden in tiefere Lagen gebracht und konnte die Wanderung nach knapp 3 Tagen wieder fortsetzen



5 Diskussion

5.1 *Diskussion der Ergebnisse des Fragebogens (exclusive Score)*

5.1.1 Anamnese früherer höhenbedingter Beschwerden / Problematik der subjektiven Einschätzung

Wie bereits unter 4.2.4 (S. 31) erwähnt, hatten insgesamt 16 der 53 (30 %) höhenerfahrenen Probanden nach subjektiver Einschätzung höhenbedingte Beschwerden bei früheren Höhengaufenthalten. Dies sind deutlich weniger als die in der Literatur beschriebenen, objektiv erhobenen Inzidenzen der Höhenkrankheit mit 75% ([11], [17]). Diese Diskrepanz spiegelt die Problematik der subjektiven Einschätzung im gesundheitlichen Bereich wieder. Diese äußert sich vor allem im sportlichen Bereich, wenn der Einzelne sich und anderen allein schon aus sozialpsychologischen Gründen keine Schwächen zugestehen will. Dies ist eine Störgröße, die in der Erhebung subjektiver Daten berücksichtigt werden muss.

5.1.2 Ärztliche Voruntersuchung und Betreuung

Akute oder chronische Erkrankungen können die Teilnahme an Höhentrekkingtouren völlig ausschließen, zum Abbruch führen oder die Belastbarkeit einschränken. Deshalb ist es wichtig, rechtzeitig seinen gesundheitlichen Zustand überprüfen zu lassen.

In der Literatur ([4],[11],[87]) wird grundsätzlich zu einer allgemein- bzw. sportmedizinischen Voruntersuchung geraten. Trotzdem hielten sich lediglich 37% der Probanden an diese Ratschläge und besuchten vor Beginn des Trekkings einen Arzt, um sich speziell für eine Tauglichkeit untersuchen zu lassen. Um diese Zahl zu optimieren, ist der verpflichtende Nachweis eines Attests zu diskutieren, wie das bei Tauchkursen gängige Praxis ist.

Eine medizinische Betreuung, wie sie bei Expeditionen Standard ist, wurde bei keiner der sechs Gruppen dringend benötigt, wäre aber das eine oder andere Mal vermutlich von Vorteil gewesen. Zwei der Teilnehmer, welche die Reise aufgrund von Infektionskrankheiten abbrechen mussten, hätten von ärztlicher Betreuung unter Umständen profitieren können. Die zwei Fälle von Höhenkrankheit benötigten retrospektiv nicht unbedingt ärztliche Betreuung, da es in beiden Fällen möglich war, den Kranken in tiefere Lagen zu befördern. Wären diese Probanden gezwungen gewesen, an Ort und Stelle zu bleiben, ist davon auszugehen, dass sie medizinische Betreuung benötigt hätten.

Es ist bisher nicht Standard vom Reiseunternehmer bezahlte Mediziner auf normale Trekkingreisen mitzunehmen. Eine semiprivat Teilnahme unter ermäßigten Reisekosten wird aber zum Teil von den Veranstaltern sehr begrüßt und gegebenenfalls sogar vertraglich verankert. Hierbei ist jedoch auf eine Legitimation zur ärztlichen Behandlung außerhalb des Notfalles zu achten (z.B. eine allgemeinmedizinische Ausbildung), da sonst im Schadensfall mit juristischen Problemen zu rechnen ist.

Zusammenfassend kann man aus den Daten schließen, dass eine medizinische Betreuung bei Trekkingreisen nicht zwingend erforderlich ist, in Einzelfällen aber von Vorteil ist. Dies sollte dann aber von einem speziell ausgebildeten Arzt, zum Beispiel einem bergmedizinisch erfahrenen Allgemeinmediziner, vorgenommen werden. Derzeit ist die Einführung einer bergmedizinischen Ausbildung in Deutschland im Gespräch. Bis sich aus diesen Anfängen der Organisation einer strukturierten Ausbildung, wie sie derzeit von der Deutschen Gesellschaft für Berg- und Höhenmedizin angestrebt wird, jedoch eine anerkannte medizinische Zusatzbezeichnung, z.B. zum Arzt für Höhen- und Bergmedizin, ergibt, werden wohl noch einige Jahre vergehen. Derzeit existieren einzelne Seminare und Fortbildungen, auf die aufgebaut werden soll.

5.1.3 Medikamenteneinnahme

Bei der Medikamenteneinnahme waren die meisten Bergsteiger sehr zurückhaltend. Die prophylaktische Einnahme von Medikamenten wie Diamox, zur Vermeidung der Höhenkrankheit, wie sie noch vor einigen Jahren von einigen Höhenmedizinern propagiert wurde, war nur noch bei einem Teilnehmer (1,6%) zu beobachten. Hierzu ist allerdings anzumerken, dass mit einer gewissen Dunkelziffer gerechnet werden kann. In naturverbundenen Bergsteigerkreisen ist es generell verpönt Medikamente einzunehmen, vor allem solche, die als leistungssteigernd gelten. Hier sind durchaus Vergleiche mit der schlechten gesellschaftlichen Akzeptanz des Dopings zu ziehen. Trotzdem gibt es auch hier unter den ehrgeizigen Sportlern genügend schwarze Schafe.

5.2 und des zeitlichen Organisationsrahmens unter Berücksichtigung der AMS-Scorewerte

Unterschiedliche Höhenprofile und die zeitliche Organisation der verschiedenen Trekkingtouren waren für die Qualität der Akklimatisierungsphase, welche die sensibelste Phase eines Höhengaufenthalts darstellt, von entscheidender Bedeutung. Innerhalb dieser ersten sechs bis zehn Tage zeigte sich, wie sich die Probanden an die durchschnittlichen Höhenunterschiede von jeweils fast 4000 Metern adaptierten. Die in Tabelle 15 aufgeführten, über den gesamten Zeitraum erhobenen, mittleren Scorewerte der einzelnen Touren zeigen insgesamt keine deutlichen Unterschiede. Dies liegt im Bereich der Erwartungen, bei vergleichbaren Schwierigkeitsgraden aller sechs Touren. Betrachtet man allerdings einzelne Phasen der Touren im graphischen Überblick stößt man auf erhebliche Unterschiede, die in erster Linie mit dem Höhenprofil in Verbindung stehen.

Bei der Kurve der durchschnittlichen Scorewerte der Kantsch-Tour (Abbildung 8) ist ein deutlicher Peak am 11. Tag, der bei 3,5 Punkten und damit deutlich über den Gesamtdurchschnitt von 1,4 Scorepunkten liegt, festzustellen. Dies spricht für eine ungünstige Akklimatisierungstaktik, also für einen zu schnellen Aufstieg innerhalb zu kurzer Zeit. Betrachtet man nun das Höhenprofil ist der Grund für diesen Spitzenwert deutlich zu erkennen: Während des neunten und zehnten Tages sind insgesamt fast 1500 Höhenmeter zurückgelegt worden und eine durchschnittliche Höhe von knapp 5000m (inklusive der Schlafhöhe) wurde vom zehnten bis zum 12. Tag beibehalten. Wir haben es hier also mit einer „falschen“ Akklimatisierungstaktik zu tun. Falsch ist hier in Anführungszeichen gestellt, da man sich die Route aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht immer aussuchen kann. In diesem Fall war unter anderem ein langgezogener Höhenpass für das Profil dieser Route verantwortlich.

Ähnlich wie bei der Kantsch Tour verhielten sich auch die Scorewerte der Dhaulagiri-Tour um den 10. Tag (4.4.4.4, S. 37). Allerdings lag hier der Spitzenwert nur bei 2,6. Außerdem wies die vorgegebene Route das flachste Höhenprofil in der Anfangsphase (Abbildung 6) auf. Bei dieser Tour fand die eigentliche Akklimatisierung erst ab dem 6. Tag statt. Dann ging es jedoch ebenfalls etwas zu schnell in die Höhe. Innerhalb von 3 Tagen (Tag 7-10) wurden über 2000 Höhenmeter bewältigt. Dies erklärt den massiven Anstieg der Scorewerte am 10. und 11. Tag, die beide gerade nicht mehr in die definierte Akklimatisierungsphase fallen.

Am günstigsten waren die Anmarschprofile der drei Solu-Khumbu-Touren und der Everest-Basecamp-Tour gewählt, die weitgehend identisch sind. Jedoch sind auch hier aufgrund des schnellen Aufstieges problematische Abschnitte zu erkennen. Zum einen der Aufstieg bis nach Khumde, von 1300m auf 3800m Schlafhöhe innerhalb von 3 Tagen, der schon einen deutlichen Peak in der Scorekurve (2,0) verursachte und bei einer Teilnehmerin (s. Kasuistik Proband 7) bereits deutliche Warnsymptome der Höhenkrankheit

auslöste (Schlaflosigkeit, Desorientiertheit, deutliche periphere Ödeme, nächtliche Dyspnoe), zum anderen der Aufstieg zum Gokyo Peak (5400m), nach bereits 7 Tagen, der bei allen Beteiligten deutliche Beschwerden verursachte und in einem Fall sogar eine schwere Höhenkrankheit (Gleichgewichtsstörungen, ausgeprägte Schwäche, Schwindel, Kopfschmerzen, Übelkeit: HACE; ausgeprägte Ödeme an Gesicht, Händen und Füßen) einleitete, der sich 2 Tage später erst in seiner maximalen Ausprägung manifestierte.

Insgesamt lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Eine optimale Akklimatisationsstrategie ist oft aufgrund der örtlichen Verhältnisse nicht zu realisieren.
2. Die kritischen Anstiege werden meist etwas zu schnell absolviert.
3. Bei einer Verlängerung der Aufstiegstage könnten durch ein flacheres Höhenprofil Spitzenwerte hinsichtlich des Scores und somit mittelgradige bis schwere Symptome vermieden werden.

5.3 Bewertung der Geräte auf Ihre Messgenauigkeit in der Höhe und im Outdoorbereich

Die verwendeten Geräte zeigten auch unter den erschwerten Klimabedingungen eine zuverlässige Funktion. Der wesentliche Klimafaktor war jedoch die Höhe und der dadurch verminderte atmosphärische Druck. Die meisten portablen Geräte können Änderungen des Luftdrucks durch interne Berechnungen ausgleichen. Dies ist auch im Alltag von Bedeutung, sonst würde ein Gerät, das zum Beispiel auf Meereshöhe in Japan hergestellt wird, in Mexico City keine validen Werte messen.

Tabelle 23 : Messwerte zur Prüfung der Validität des Pulsoximeters bei unterschiedlicher Durchblutung und Temperatur der Finger an größtenteils nicht am Trekking beteiligten Testpersonen (nicht randomisiert). Es zeigen sich keine temperaturabhängigen relevanten Unterschiede.

Proband	kalter Mittelfinger (30 s Eiswasserbad)	nach 10 Min. Aufwärmzeit
1	97 %	97 %
2	99 %	98 %
3	98 %	98 %
4	96 %	97 %
5	95 %	95 %
6	96 %	96 %
7	99 %	98 %
8	95 %	95 %
9	98 %	99 %
10	95 %	94 %
11	99 %	98 %
Durchschnitt (N: 11)	97,00 %	96,73 %

5.3.1 *Pulsoximeter*

Selbst bei kalten und somit schlecht durchbluteten Fingern funktionierten die Pulsoximeter aufgrund ihrer hohen Sensibilität gut (s. Tabelle 23), es zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede zu Nachmessungen an erwärmten Fingern.

Wie die Arbeit von Lozano zeigt, liefern ein Großteil der handelsüblichen portablen Geräte, eingeschlossen das verwendete, auch in der Höhe durch Bluttests reproduzierbare Werte [36].

5.3.2 *Capnometer*

In Tests, die bei der Lufttrettung mit Hubschraubern durchgeführt wurden zeigte sich, dass interne CPU-gesteuerte Angleichmechanismen durch Eichkurven valide Ergebnisse im Vergleich mit anderen Testverfahren (chemisch) garantieren [51]. Dies ist auch bei dem verwendeten Capnometer der Fall.

5.3.3 *Spirometer (elektronisches Peakflowmeter)*

Bei Messungen im Freien mit den Peakflowmeter ergaben sich Schwierigkeiten bei windigen Wetterverhältnissen, da beim Einschalten der Funktionsbereitschaft ein Windstoß die Messfunktion auslösen konnte. Diesem Problem war allerdings durch mehrere Wiederholungen beizukommen, da das Gerät automatisch nur die beste Funktion eines Messvorganges speicherte. Ein weiteres Problem war die vom Hersteller empfohlene Betriebstemperatur von 10-50° Celsius, die vor allem morgens des öfteren unterschritten wurde. Ob dies tatsächlich Auswirkungen auf die Messgenauigkeit hatte, konnte nicht näher geklärt werden.

Auch bei dem Peakflowmeter spielt die Dichte der Luft eine entscheidende Rolle. Pollard hat einige gängige Spirometer in der Höhe getestet und kam zu guten Ergebnissen, was deren Höhentauglichkeit betrifft [47].

5.4 *Bewertung des Nutzens der einzelnen Geräte für die Prophylaxe der Höhenkrankheit*

Im Zeitalter der fortschreitenden Technisierung der Medizin sind technische Hilfsmittel nicht mehr wegzudenken und können im Einzelfall klinischen Untersuchungsmethoden überlegen sein. Sie bewirken eine Objektivierung der klinischen Untersuchungsergebnisse, erhärten klinische Verdachtsdiagnosen und können dadurch ausschlaggebend sein für die weitere Therapie und Organisation in einem Fall von Höhenkrankheit. Für einen Mediziner, der eine Trekkingtour begleitet, sind einige der in der Arbeit verwendeten Geräte unter Umständen von Nutzen, um die klinische Verdachtsdiagnose der Höhenkrankheit zu verifizieren. Ferner könnten sie zu einer erhöhten Akzeptanz durch bessere Transparenz der Untersuchungsergebnisse führen. Weitreichende Entscheidungen werden dem Arzt dadurch zwar nicht abgenommen, jedoch durch belegbare und dokumentierbare Fakten erleichtert. Engmaschige Kontrollen der Sauerstoffsättigung, der ETCO_2 und der Lungenfunktion durch die jeweiligen Geräte könnten von erheblichem Nutzen für die Objektivierung der Diagnose Höhenkrankheit sein. Die Werte könnten eine genauere Graduierung der Krankheit, die bisher noch sehr ungenau anhand von klinischen Symptomen eingeteilt wird (s. Tabelle 2), erlauben.

Welche Geräte jeweils von Nutzen für die Frühdiagnostik und somit Prophylaxe der Höhenkrankheit sind oder sein könnten wird in diesem Abschnitt diskutiert. Im Einzelnen kann man die Geräte in ihrer Wertigkeit nach folgender Reihenfolge einordnen:

5.4.1 *Pulsoximeter*

An erster Stelle steht das Pulsoximeter, mit dessen Hilfe man nicht nur schnell und zuverlässig einen Sauerstoffmangel feststellen kann, sondern auch frühzeitig eine Höhenanpassungsstörung beziehungsweise milde Höhenkrankheit erkennt. Es misst die beiden Parameter, die sich als am aussagekräftigsten erwiesen haben. In den Werten von Probandin 7, die an Höhenkrankheit litt, zeigt sich dies am deutlichsten: Die Sauerstoffsättigungskurve erreichte in der Phase der maximalen klinischen Symptomatik (Scorewert: 6, s. Abbildung 17), am 6. Tag, ihren Tiefpunkt von 55% im Tagesdurchschnitt. Der maximale durchschnittliche Puls von 110/Min. wurde bereits 2 Tage zuvor erreicht. (Abbildung 15). Ein deutlicher Trend zu pathologischen Werten zeichnet sich jedoch bei der Probandin bereits ab dem zweiten Tag ab: Der durchschnittliche Puls liegt an diesem Tag bei 100/Min. und bleibt auf beziehungsweise oberhalb dieser Grenze. Reziprok dazu verläuft die Sättigungskurve, deren Werte ab diesem Tag sturzartig sinken. Diese Werte weichen deutlich von den Gesamtwerten ab (Tabelle 24). Diese pathologischen Werte bei Proband 7 lassen ein HAPE vermuten. Ein Höhenlungenödem, das klinisch noch kein ausgeprägtes Stadium erreicht hat, kann also durch ein einfaches Messen der Sauerstoffsättigung frühzeitig erkannt werden.

Ein weiterer Punkt, der für die hohe Wertigkeit der Pulsoximeter spricht, ist die signifikante Korrelation ihrer Werte mit dem AMS-Score (Puls: $p = 0,000$; Sauerstoffsättigung: $p = 0,003$).

Tabelle 24: Sauerstoffsättigungs- und Pulswerte von Proband 7 im Vergleich mit der Gesamtheit der Probanden (N: 7). Es sind eindeutige Abweichungen im Sinne von pathologischen Werten von Proband 7 festzustellen, die eine Entstehung der Höhenkrankheit unter Umständen vorhersehen hätten lassen können

Tag Nr.	1	2	3	4	5	6
Puls P 7	78	101	102	105	110	100
Puls gesamt	88	92	93	89	90	80
Sättigung P7	97 %	95 %	82 %	75 %	60 %	55 % ^a
Sättigung gesamt	93 %	91 %	90 %	79 %	81 %	82 %

5.4.2 Capnometer

Die Messwerte der $ETCO_2$ ($p=0,000$) und der Atemfrequenz ($p=0,001$) korrelieren ebenfalls hochsignifikant mit dem AMS-Score. Vergleicht man wiederum die $ETCO_2$ -Werte von Proband 7 mit den übrigen Werten lässt sich hier ebenfalls eine Auffälligkeit feststellen. Sie sind kontinuierlich deutlich niedriger als die Durchschnittswerte der gesamten Gruppe. Insgesamt liegt der Durchschnittswert von Proband 7 bei 23 mmHg während der Gesamtdurchschnitt aller Patienten mit 28 mmHg deutlich höher ist. Anhand dieser Werte kann man von einer Hyperadaption (erhöhte hypoxischer Atemantrieb) durch zu starke Hyperventilation ausgehen. Ob dies ein neuer Aspekt in der Entstehung der Höhenkrankheit ist, sei in Frage gestellt, bietet jedoch einen durchaus interessanten hypothetischen Ansatz. In der Literatur ([25][66]) wird vor allem die niedrige HVR als eines der ausschlaggebenden ätiologischen Kriterien der Höhenkrankheit diskutiert.

Capnometer sind nützliche Geräte zur kontinuierlichen Überwachung der respiratorischen Funktion über Nasensonden. Sie bieten außerdem interessante Ansatzpunkte für weitere Experimente, zum Beispiel die Überwachung der Atmung während des Schlafes in der Höhe. Dadurch könnten zum einen Aussagen über die Atemperiodik zum anderen über die HVR gemacht werden.

^a trotz Transport in tiefere Lage (3440m)

Tabelle 25: Vergleich der ETCO₂-Werte: deutlich niedrigere Durchschnittswerte bei Proband 7 im Vergleich zum Gesamtdurchschnitt (gelbe Markierung)

Proband Nr.	7	1	2	3	4	5	6	gesamt	Tag
ETCO ₂ [mmHg]	27	37	38	40	40	40	37	37	1
	32	40	32	38	36	39	31	35	1
	30	40	33	35	31	40	29	34	2
	25	36	32	32		32	35	32	2
	25	35	27	25	28	33	32	29	3
	26	35	34	26	30	24	29	29	3
	26	37	32	32	34	34	29	32	4
	26	36	32	34	34	30	28	31	4
	25	35	30	33	33	32	27	31	5
	27	36	31	30		34	28	31	5
	24	34	26	26		33	28	29	6
		35	30	33		30		32	6
		33	30	28		32		31	7
		33	31	29		30		31	7
		33	28	25		30		29	8
		32	27	31		30		30	8
		29	26	28		28		28	9
		28	29	26		32		29	9
		28	29	29		30		29	10
	26	30	29	33		31	31	30	10
	24	28	28	27		30	23	27	11
		29	24	24				26	11
	21	25	26	24			21	23	12
	20	28	27	25			26	25	12
	22	26	25	25			26	25	13
	19	24	25	25			22	23	13
	21	28	29	28			25	26	13
	21	27	26	28			27	26	14
	25	29	31	31			29	29	14
	23	28	29	24			27	26	14
	23	27	27	29			28	27	15
	24	27	28	27			27	27	15
	21	27	27	27			28	26	15
	22	28	26	29			26	26	16
	22	27	28	29			24	26	16
			26	27			25	26	17
	21	27	26	28			27	26	17
	18	24	26	27			26	24	18
	23	28	28	31			27	27	18
	20	25	26	28			26	25	19
16	24	26	25			25	23	19	
22	26	27	28			26	26	19	
22	26	27	28			27	26	20	
24	29	29	30			28	28	20	

	25	28	28	30			28	28	21
	25	34	28	33			28	30	21
	22	29	27	32			26	27	22
	24	29	29	31			27	28	22
	23	29	27	30			27	27	23
	24	33	31	34			26	30	23
	23	30	27	29			27	27	24
	25	30	30	31			26	28	24
	24	32	31	33			31	30	25
	30	36	34	39			34	35	25
Gesamt	23	30	29	29	33	32	27	28	

5.4.3 Spirometer (elektronisches Peakflowmeter)

Die verwendeten Peak-Flow-Meter liefern in temperierten Räumen, bei ausreichender Übung und Konzentration, valide Werte. Waren diese Bedingungen nicht erfüllt, wie in unserem Falle sehr oft, konnten Schwierigkeiten auftreten. Die Störanfälligkeit durch den Wind wurde bereits erwähnt.

Spirometer sind weder zur Überwachung im Notfall noch zur Diagnostik bei bereits höhenkranken Personen geeignet. Ob sie eine Relevanz bei der Früherkennung der Höhenkrankheit haben, lässt sich aufgrund der zweifelhaften Validität der Werte nicht mit letzter Sicherheit sagen. Den Ergebnissen zufolge geht eine klinisch manifeste Höhenkrankheit signifikant ($p=0,006$) mit einer Verminderung des Peakflows einher.

Die Geräte sind sehr klein, leicht und relativ preiswert, messen und speichern eine Vielzahl aufschlussreicher Daten, die mit eigener Software bestens ausgewertet werden können. Wegen ihrer mangelhaften Messstabilität im Outdoorbereich waren sie jedoch für unseren Verwendungszweck nicht geeignet.

5.4.4 RR-Messgerät

Blutdruckmessgeräte sind nützliche und hilfreiche Instrumente zur Überwachung cardiovaskulärer Parameter bei Vorerkrankungen, die unabhängig von der Höhenkrankheit einer Überwachung bedürfen. Des weiteren sind sie ein wichtiges Überwachungsmittel bei Erkrankungen, die sich auf die Kreislaufsituation auswirken können, wie zum Beispiel der Flüssigkeitsverlust durch massive Diarrhoen, wie dies in der Kasuistik von Proband 4 geschildert wurde.

Im Bezug auf die Früherkennung der Höhenkrankheit haben Blutdruckmessgeräte keine unmittelbare Aussagekraft. Es lässt sich weder eine Korrelation zwischen Blutdruckveränderungen und Höhenexposition noch zwischen Blutdruckveränderungen und AMS-Score feststellen.

5.4.5 *Tauglichkeit als Ausrüstungsgegenstand für den Trekkingführer*

Auch ein Trekkingführer kann durch eine unkomplizierte Einweisung einfach bedienbare Geräte benutzen. Deshalb sollte in Erwägung gezogen werden, dass die ohnehin meist aufwendige Ausrüstung organisierter Trekkingreisen durch Geräte wie Pulsoximeter ergänzt werden. Krankheitsfälle, in denen der Trekkingführer Entscheidungen für das gesundheitliche Wohl seines Schützlings treffen muss, sind, wie die Auswertungen ergeben haben keine Seltenheit. Da diese Entscheidungen oft weitreichende Konsequenzen, unter Umständen bis zum Abbruch der Tour, für den Betroffenen oder sogar die ganze Gruppe haben, muss sich der Trekkingführer in seiner Entscheidung sicher sein. Objektive Werte geben ihm diese Sicherheit und helfen ihm durch anschauliche Methoden auch unpopuläre Entscheidungen vor der Gruppe durchzusetzen.

5.5 *Diskussion tageszeitlich bedingter Unterschiede*

Die Einflussfaktoren auf die Höhenkrankheit und die Ausprägung ihrer Symptome sind vielfältig. So treten zum Beispiel tageszeitliche Unterschiede in den Werten einiger Parameter auf. Diese Unterschiede werden unter anderem mit der circadianen Rhythmik des Atemantriebs in Verbindung gebracht.

Eigentlich wäre aufgrund des im Schlaf verringerten Atemantriebs morgens mit pathologischen Gaswerten, das heißt mit einer erhöhten Endexpiratorischen CO_2 -Konzentration (ETCO_2) und einer verminderten Sauerstoffsättigung (SaO_2), zu rechnen. Ein Grund, warum diese erwarteten Ergebnisse nicht eingetreten sind, könnte die organisatorische Schwierigkeit gewesen sein, sämtliche Probanden morgens unmittelbar nach dem Aufwachen zu untersuchen. Wartet man zu lange mit der Abnahme der Messwerte, kann das nächtliche Defizit bereits kompensiert sein. Beide Parameter sind durch vermehrte Atemarbeit kompensierbar. In der Tat ist die morgendliche Atemfrequenz im Mittel um fast einen halben Atemzug höher.

Zwei der gemessenen Parameter fielen allerdings im Durchschnitt der morgendlichen Messungen signifikant pathologischer aus als abends: der Peak flow und die FEV1. Dies könnte ein Anzeichen für eine morgendlich vermehrte pulmonale Wasseransammlung, ein diskretes Lungenödem, sein.

5.6 **Diskussion der Kasuistik von Proband 3 (Bergführer)**

Im Allgemeinen unterscheiden sich Bergführer im Vergleich zu den Touristen beziehungsweise Hobby-Bergsteigern durch ihre weitaus höhere Erfahrung, ihren besseren Trainingszustand und ihre gute, auf Erfahrungswerten basierende Selbsteinschätzung. Aber auch sie sind nicht unfehlbar und nicht vor den Gefahren der Höhenkrankheit gefeit, wie uns der schockierende Fall eines Münchner Bergführers zeigte, der zur gleichen Zeit in der selben Region durch die Höhenkrankheit ums Leben kam. Im Hotel

konnten wir noch mit Teilnehmern der Expedition sprechen, bei der sich der Vorfall ereignete. Die Erkrankung begann nicht etwa am Gipfel des Berges, sondern auf einer eher mittleren Höhe um die 5000m. Fatal war die fulminante Entwicklung der Krankheit und die Unmöglichkeit eines Abtransportes von der Stelle, an der er sich befand. Allen Anzeichen nach lag eine schwere Form der Höhenkrankheit vor, das Höhenlungenödem.

Der Bergführer der Solu-Khumbu-Tour 1 schien aber tatsächlich keinerlei Beschwerden während der gesamte Tour zu haben. Der Proband leidet unter Asthma, hat aber scheinbar keinerlei Nachteile durch diese Erkrankung. Es gibt sogar Theorien, die einen protektiven Effekt des Asthmas auf die Entstehung der Höhenkrankheit beinhalten [43].

5.7 Empfehlenswerte Vorsorgemaßnahmen

Nur ein geringer Anteil der Probanden (37%) wurde ärztlich voruntersucht. Betrachtet man den organisatorischen und finanziellen Aufwand einer Trekkingreise, sollte gerade bei einer solchen Vorsorgemaßnahme nicht verzichtet werden. Stellt man erst vor Ort fest, dass man nicht geeignet ist, wie es nicht allzu selten vorkommt, ist die Enttäuschung groß. Allem voran steht natürlich das gesundheitliche Risiko, das man unnötigerweise eingeht. Die Voruntersuchung ist zwar auch keine hundertprozentige Versicherung gesund zu bleiben, trägt jedoch deutlich zur Risikominimierung bei.

5.8 Taktisches Handeln zur Vermeidung und Therapie der Höhenkrankheit

Einzelne leichte Symptome einer AHK, wie leichte Kopfschmerzen oder Übelkeit, zwingen im Allgemeinen nicht zum Absteigen, aber zur Vorsicht und genauerer Beobachtung des Verlaufs. Gespräche mit dem Bergführer, den anderen Bergsteigern und eine Dokumentation der Symptome sind sicherlich sinnvoll. Ob eine apparative Diagnostik in solchen Fällen tatsächlich Vorteile bringt, müsste noch untersucht werden.

Man sollte in einem Fall von Höhenkrankheit, wie er oben in zwei Fällen geschildert wurde, in der Programmgestaltung vernünftig und flexibel genug sein, das nächste Nachtlager nicht höher zu wählen. Akklimatisationsanstiege mit anschließender Rückkehr zum Lager sind in so einem Fall möglich und sogar empfehlenswert. Werden die Symptome mehr und somit die AHK manifest, ist keine Zeit zu verlieren und möglichst 1000 Höhenmeter (mind. 500) abzustiegen, wie in unserem Fall beschrieben. Wie in solchen Fällen zu handeln ist, sollte möglichst bereits vor Antritt der Tour festgelegt sein.

In der Planung von Trekkingrouten sollten z.B. mit Hilfe eines AMS-Scores Schwachstellen herausgefiltert werden und es sollten im Voraus Alternativrouten geplant und im zeitlichen Rahmen berücksichtigt werden, um auf mögliche Akklimatisierungsstörungen möglichst flexibel zu reagieren, ohne auf das Ziel der Route (z.B. Gipfelbesteigung) verzichten zu müssen.

6 Zusammenfassung

Der erste Teil der Fragestellung war, ob mit Hilfe handlicher, transportabler Geräte objektive Daten gesammelt werden können, die zur Früherkennung der Höhenkrankheit im Trekking dienen. Der zweite Teil war, ob anhand der Score- und Höhenprofile verschiedener Trekkinggruppen Schwächen in der Akklimatisierungstaktik aufgedeckt werden können.

In dieser Arbeit wurden die Teilnehmer sechs verschiedener Trekkingreisen in Nepal mit Hilfe eines allgemeinen Fragebogens und eines selbst erhobenen Scores zur Erfassung der Höhenkrankheit untersucht. Eine dieser Gruppen, sie bestand aus sieben Teilnehmern, wurde begleitet und während des gesamten Verlaufs der Reise dreimal täglich mit Hilfe von folgenden portablen Messgeräten untersucht: mit einem Pulsoximeter, einem Capnometer, einem Peakflowmeter, und einem Blutdruckmessgerät. Die Daten sollten unter anderem mit subjektiven AMS-Symptom-Score korreliert werden.

Von den einzelnen Messgeräten lieferten vor allem das Pulsoximeter und das Capnometer aussagekräftige Werte in der Beurteilung der Höhenanpassung und der Höhenkrankheit. Dies konnte sowohl anhand eines schweren Falles von Höhenkrankheit unter den Probanden als auch anhand der durchschnittlichen Score- und Messwerte gezeigt werden. Die Auswertung ergab eine signifikante Korrelation der Sauerstoffsättigungswerte ($p=0,003$), der Pulswerte ($p=0,000$), der Atemfrequenz ($p=0,001$) und des PEF ($p=0,006$) mit den AMS-Scorewerten.

In der Beurteilung der Kasuistiken zweier Probanden mit schwerer Höhenkrankheit und eines durchgehend beschwerdefreien Probanden ließen sich deutliche Unterschiede in den Scorewerten und nahezu allen anderen gemessenen Parametern abgrenzen.

48% der Probanden litten zumindest an einem Tag an zumeist milder Höhenkrankheit. Durch den Score allein konnten eindeutig Akklimatisierungsvorgänge der einzelnen Routen beurteilt und verglichen werden.

In Zukunft sollte vor allem die Mitnahme eines Pulsoximeters als zusätzlicher Ausrüstungsgegenstand bei jeder Höhentrekkingtour empfohlen werden. Dieses Gerät kann vor allem bei medizinischer Begleitung von entscheidendem Nutzen zur Früherkennung und Überwachung der Höhenkrankheit sein. Eine Mitnahme bei jeder Tour wäre durchaus realisierbar. Die Bergführer müssten in die Bedienung der Geräte eingewiesen werden. Dann könnte in einem größeren Versuch in Kombination mit der Erfassung der Scorewerte, die statistische Auswertung des Einsatzes von Pulsoximetern ermöglicht werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Allegera L, Cogo A, Legnani, Diano PL, Fasano V, Negretto GG: High-altitude reduces bronchial responsiveness to hypo-osmolar aerosol in lowland asthmatics. *Eur Resp J*. 1995, 8: 1842-46
- [2] Anand IS, Chandrashekhar Y: Subacute mountain sickness syndromes: Role of pulmonary hypertension.
- [3] Anonym: The Lake Louise Consensus on the Definition and Quantification of Altitude Illness. In: Sutton JR, Coates G, Houston CS, Hypoxia and Mountain Medicine. Burlington, VT: Quen City Press, 1992: 327-30
- [4] Auer F: Höhenmedizin. München 1973.
- [5] Austin D, Sleight J: Prediction of acute mountain sickness. *BMJ*. 1995, 311(7011): 989-90
- [6] Bärtsch P, Maggiorini M, Ritter M, Noti C, Vock P, Oelz O: Prevention of high-altitude pulmonary edema by nifedipine. *N Engl J Med*. 1991, 325(18): 1284-9
- [7] Bärtsch P, Merki B, Hofstetter D, Maggiorini M, Kayser B, Oelz O: Treatment of acute mountain sickness by simulated descent a randomised controlled trial. *BMJ*. 1993, 306(6885): 1098-101
- [8] Bärtsch P: Das Höhenlungenödem – Epidemiologie, Klinik, Pathogenese und Therapie. *Ther. Umschau*. 1988, 45: 339-345
- [9] Bärtsch P: Treatment of high-altitude diseases without drugs. *Int J Sports Med*. 1992, 13 Suppl 1: 71-4
- [10] Berghold F: Bergmedizin heute - Ratgeber für gesundes Wandern und Bergsteigen. Bruckmann Verlag, München 1988.
- [11] Berghold F, Pallasmann K, Schaffert W, Schobensberger W: Praxis der Höhenanpassung, Therapie der Höhenkrankheit, *Österr J f Sportmed*. 1991, 1: 4-27
- [12] Berghold F, Schobersberger W: Ätiologie, Klinik und Therapie der Höhenkrankheit: *Wien Med Wochenschr*. 1994, 144(7): 125-9
- [13] Cavaletti G, Moroni R, Garavaglia P, Tredici G: Brain damage after high-altitude climbs without oxygen [letter]. *Lancet*. 1987, 1(8524): 101

- [14] Coates G, Gray G, Mansell A, Nahmiac C, Powels A, Sutton J, Webber C: Changes in lung volume, lung density, and distribution of ventilation during hyperbaric decompression. *J Appl Physiol.* 1979, 46: 752-755
- [15] Dickinson JG: Terminology and classification of acute mountain sickness. *Br Med J Clin Res Ed.* 1982 , 285(6343): 720-1
- [16] Dubowitz G: Effect of temazepam on oxygen saturation and sleep quality at high altitude: randomised placebo controlled crossover trial. *BMJ* 1998 Feb 21;316(7131):587-9
- [17] Eder S : Trekking. *Deutsche Zeitschrift f. Sportmedizin.* 1994,10: 399-402
- [18] Ellsworth AJ, Larson EB, Strickland D: A randomized trial of dexamethasone and acetazolamide for acute mountain sickness prophylaxis. *Am J Med.* 1987, 83(6): 1024-30
- [19] Forster P, Parker RW: Peak Expiratory Flow Rate At High Altitude. *Lancet.* 1983, 2(8341): 100
- [20] Forster PJ: Effect of different ascent profiles on performance at 4,200 m elevation. *Aviat Space Environ Med.* 1985, 56(8): 758-64
- [21] Garner SH, Sutton JR, Burse RL, McComas AJ, Cymerman A, Houston CS: Operation Everest II neuromuscular performance under conditions of extreme simulated altitude. *J Appl Physiol.* 1990, 68(3): 1167-72
- [22] Gosney J, Heath D, Williams D, Rios Dalenz J: Morphological changes in the pituitary-adrenocortical axis in natives of La Paz. *Int J Biometeorol.* 1991, 35(1): 1-5
- [23] Hackett PH, Rennie D, Grover RF, Reeves JT: Acute mountain sickness and the edemas of high altitude: a common pathogenesis? *Respir Physiol* 1981 Dec;46(3):383-90
- [24] Hackett PH, Roach RC, Wood RA, Foutch RG, Meehan RT, Rennie D, Mills WJ Jr: Dexamethasone for prevention and treatment of acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1988, 59(10): 950-4
- [25] Hohenhaus E, Paul A, Mc Cullough RE, Kucherer A, Bärtsch P: Ventilatory and pulmonary vascular response to hypoxia and susceptibility to high altitude pulmonary edema. *Eur Resp J.* 1995, 8: 1825-33
- [26] Houston CS, Sutton JR, Cymerman A, Reeves JT: Operation Everest II: man at extreme altitude. *J Appl Physiol.* 1987,63: 877-882
- [27] Huber CJ: Preventive medicine for high-altitude trekking. *Can Med Assoc J.* 1986, 134(4): 404-7

- [28] Hultgren HN: High-Altitude Pulmonary Edema: Current concepts. *Annu Rev Med.* 1996, 47: 267-84
- [29] Jenny E: *Bergsteigen und Gesundheit.* Innsbruck 1981.
- [30] Jenny E: Versagen am Berg durch Nichtbeachtung krankheitsbedingter Kontraindikationen gegen die Ausübung des Alpensports. *Jahrbuch der Österreichischen Gesellschaft für Höhenmedizin.* 1991, 41-62
- [31] Kashimura O: Affects of acute exposure to cold on the pulmonary artery blood pressure in rat. *J Nippon Eisseigaku Zasshi.* 1993, 48: 659-63
- [32] Kawashima A, Kubo K, Kobayashi T, Sekiguchi M: Hemodynamic responses to acute hypoxia, hypobaria, and exercise in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *J Appl Physiol.* 1989, 67(5): 1982-9
- [33] Kayser B, Jean D, Herry JP, Bartsch P: Pressurization and acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1993, 64(10): 928-31
- [34] Keller HR, Maggiorini M, Bartsch P, Oelz O: Simulated descent v dexamethasone in treatment of acute mountain sickness - a randomised trial. *BMJ.* 1995, 310(6989): 1232-5
- [35] Lindberg LG, Lennmarken C, Vegfors M: Pulse oximetry – clinical Implications and recent developments. *Acta Anaest Scand.* 1995, 39: 279-87
- [36] Lozano JM, Duque OR, Buitrago T, Behaine S: Pulse oximetry reference values at high-altitude. *Arch Dis Child.* 1992, 67: 299-301
- [37] Lyons TP, Muza SR, Rock PB, Cymerman A: The effect of Altitude Pre-Acclimatisation on acute mountain sickness during reexposure. *Aviat Space Environ Med.* 1995, 66(10): 957-62
- [38] Malconian MK, Rock P, Devine J, Cymerman A, Sutton JR, Houston CS: Operation Everest II Altitude decompression sickness during repeated altitude exposure. *Aviat Space Environ Med.* 1987, 58(7): 679-82
- [39] Malconian MK, Rock PB, Reeves JT, Cymerman A, Houston CS: Operation Everest II : Gas Tensions in Expired Air and Arterial Blood at extreme Altitude. *Aviat. Space Environ. Med.* 1993, 64: 37-42
- [40] Maresh CM, Deschenes MR, Seip RL, Armstrong LE, Robertson KL, Noble BJ: Perceived exertion during hypobaric hypoxia in low- and moderate-altitude natives. *Med Sci Sports Exerc.* 1993, 25(8): 945-51
- [41] Milledge JS: Salt and water control at altitude. *Int J Sports Med.* 1992, 13 Suppl 1: 61-3

- [42] Miller MR, Dickinson SA, Hitchings DJ: The accuracy of portable peak flow meters. *Thorax*. 1992; 904-909
- [43] Mirrakhlmov M, Brimkulov N, Cieslicki J, Tobiasz M, Kudaiberdiev Z, Moldotashev I, Schmidt G, Zielinski J: Effects of acetazolamide on overnight oxygenation and acute mountain sickness in patients with asthma. *Eur Respir J* 1993 Apr;6(4):536-40
- [44] Murdoch DR: Symptoms of Infection and Altitude Illness among Hikers in the Mount Everest Region of Nepal. *Aviat. Space Environ. Med.* 1995: 148-51
- [45] Peacock AJ: High altitude pulmonary edema: who gets it and why ?. *Eur Resp J*. 1995, 8: 1819-21
- [46] Pedersen OF, Miller MR, Sigsgaard T, Tidley M, Harding RM: Portable peak flow meters: physical characteristics, influence of temperature, altitude, and humidity. *Eur Respir J*. 1994, 7: 991-997
- [47] Pollard AJ, Mason NP, Barry PW, Pollard RC, Collier DJ, Fraser RS, Miller MS, Milledge JS: Effect of altitude on spirometric parameters and the performance of peak flow meters. *Thorax*. 1996, 51: 175-78
- [48] Pollard AJ; Barry PW; Mason NP; Collier DJ, Pollard RC; Pollard PF; Martin I; Fraser RS; Miller MR, Milledge JS: Hypoxia, hypocapnia and spirometry at altitude. *Clin Sci (Colch)* 1997 Jun;92(6):593-8
- [49] Rathat C, Richalet JP, Herry JP, Larmignat P: Detection of High-Risk Subjects for Altitude Diseases. *Int J Sports Med*. 1992, 13 Suppl 1: 76-8
- [50] Reeves JT, Houston CS, Sutton JR: Operation Everest II: resistance and susceptibility to chronic hypoxia in man [editorial]. *J R Soc Med*. 1989, 82(9): 513-4
- [51] Reichle H, Pinter W, Oettele E, Amendt R: Kapnometrie im Luftrettungsdienst – Experimentelle Untersuchungen zur Genauigkeit von drei CO₂-Analysatoren in der Unterdruckkammer. *Anaesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 1994, 29:487-91
- [52] Richalet JP, Rathat C, Keromes A, Herry JP, Larmignat P, Garnier M, Pilardeau P: Plasma volume, body weight, and acute mountain sickness. *Lancet*. 1983, 1(8323): 525
- [53] Richalet JP: High-altitude pulmonary oedema still a place for controversy? [editorial]. *Thorax*. 1995, 50(9): 923-9
- [54] Riel K-A, Bernett, P: Gefahren des Trekkingtourismus aus ärztlicher Sicht. In: Jenny E: *Bergsteigen und Gesundheit, Wissenschaftliche Alpenvereinshefte*, Innsbruck 1981, 27: 69-75
- [55] Riel K-A, Schubert P: Epidemiologie von Bergunfällen. *Sportorthopädie – Sporttraumatologie*. 1997, 89-91

- [56] Roeggla G, Roeggla M, Podolsky A, Wagner A, Laggner A: How can acute mountain sickness be quantified at moderate altitude?. *J R Soc Med.* 1996, 89: 141-43
- [57] Roeggla G, Roeggla M, Wagner A : Das Höhenlungenödem in mittlerer Höhe: *Anaesthesist.* 1995, 44(1): 80
- [58] Rose MS, Houston CS, Fulco CS, Coates G, Sutton JR, Cymerman A: Operation Everest. II Nutrition and body composition. *J Appl Physiol.* 1988, 65(6): 2545-51
- [59] Saito S, Shimada H, Imai T, Futamata Y, Yamamori K: Estimation of the degree of acclimatization to high altitude by a rapid and simple physiological examination. *Int Arch Occup Environ Health* 1995;67(5):347-51
- [60] Sampson JB, Cymerman A, Burse RL, Maher JT, Rock PB: Procedures for the measurement of acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1983, 54(12 Pt 1): 1063-73
- [61] Sampson JB, Kobrick JL: The environmental symptoms questionnaire revisions and new field data. *Aviat Space Environ Med.* 1980 Sep, 51(9 Pt 1): 872-7
- [62] Sanders MH, Kern NB, Costantino JP, Stiller RA, Strollo PJ Jr., Studnicki KA, Coates JA, Richards TJ: Accuracy of End Tidal and Transcutaneous PCO₂ Monitoring During Sleep. *Chest* 1994 Aug;106(2):472-83
- [63] Savourey G, Guinet A, Besnard Y, Garcia N, Hanniquet AM, Bittel J: Evaluation of the Lake Louise acute mountain sickness scoring system in a hypobaric chamber. *Aviat Space Environ Med.* 1995, 66(10): 963-7
- [64] Scherrer U, Vollenweider L, Delabays A, Savcic M, Eichenberger U, Kleger G-R, Firkle A, Balmer PE, Nicod P, Bärtsch P: Inhalation of nitric oxide for high-altitude pulmonary edema. *New Engl J Med.* 1996, 334 (10): 624-29
- [65] Schoene RB, Goldberg S: The quest for an animal model of high-altitude pulmonary edema. *Int J Sports Med.* 1992, 13 Suppl 1: 59-61
- [66] Selland MA, Stelzner TJ, Stevens T, Mazzeo RS, McCullough RE, Reeves JT: Pulmonary function and hypoxic ventilatory response in subjects susceptible to high-altitude pulmonary edema. *Chest.* 1993, 103(1): 111-6
- [67] Shimada H, Morita T, Kunimoto F, Saito S: Immediate Application of Hyperbaric Oxygen Therapy Using a Newly Devised Transportable Chamber. *Am J Emerg Med.* 1996.14(4): 412-15
- [68] Shlim DR, Gallie J: The causes of death among trekkers in Nepal. *Int J Sports Med.* 1992, 13 Suppl 1, 74-6

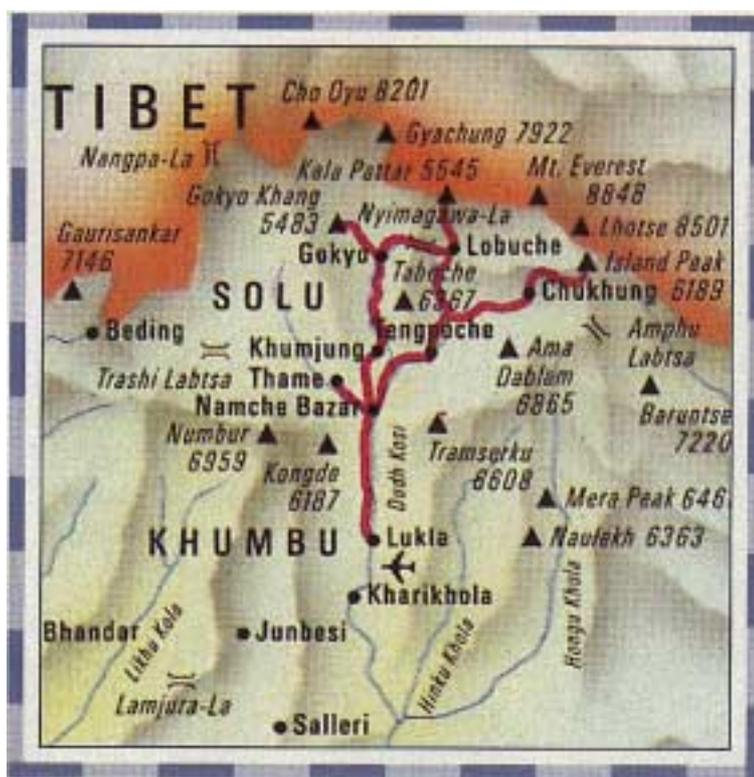
- [69] Spies V: Zum Einfluß der Höhenanpassung auf das Reaktionsvermögen des alpinen Skiläufers. Dissertation. TU München 1994.
- [70] Steinacker JM; Halder A; Liu Y; Thomas A; Stauch M: Hypoxic ventilatory response during rest and exercise after a Himalayan expedition. *Eur J Appl Physiol* 1996;73(3-4):202-9
- [71] Stoneham MD; Pethybridge RJ: Acclimatization to altitude: effects on arterial oxygen saturation and pulse rate during prolonged exercise at altitude. *J R Nav Med Serv* 1993 Spring;79(1):3-9
- [72] Thomas PS, Harding RM, Milledge JS: Peak expiratory flow at altitude. *Thorax*. 1990, 45: 620-622
- [73] Ueda G, Takeoka M, Sakai A, Kobayashi T: Microcirculation and high-altitude edema. *Int J Sports Med*. 1992, 13 Suppl 1: 52-4
- [74] Vachieri JL; McDonagh T; Moraine JJ; Berre J, Naeije R; Dargie H; Peacock AJ: Doppler assessment of hypoxic pulmonary vasoconstriction and susceptibility to high altitude pulmonary oedema. *Thorax* 1995 Jan;50(1):22-7
- [75] Wagner PD, Sutton JR, Reeves JT, Cymerman A, Groves BM, Malconian MK: Operation Everest II: pulmonary gas exchange during a simulated ascent of Mt. Everest. *J Appl Physiol*.1987, 63: 2348-59
- [76] Ward MP, Milledge JS, West JB: High Altitude Medicine and Physiologie, Chapman & Hall Medical,1995
- [77] Weatendorp RG, Roos AN, vd Hoeven HG, Tjong MY, Simons R, Fröhlich M, Souverijn JH, Meinders AE: Atrial Natriuretic Peptide Improves Pulmonary Gas Exchange in subjects Exposed to Hypoxia. *Am Rev Resp Dis*. 1993, 148: 304-309
- [78] Weingart HR: Erkrankungen und Unfälle bei Hochgebirgsexpeditionen. Inauguraldissertation, München 1981.
- [79] Welsh CH, Wagner PD, Reeves JT, Lynch D, Cink TM, Amstrong J, Malconian MK, Rock PB, Houston CS: Operation Everest II: Spirometric and radiographic changes in acclimatized at simulatet high altitudes. *Am Rev Resp Dis*. 1993, 147: 1239-44
- [80] West JB, Colice GL, LeeYJ, Namba Y, Kurdak SS, Fu Z, Ou LC,Mathieu Costello O: Pathogenesis of high altitude pulmonary oedema direct evidence of stress failure of pulmonary capillaries. *Eur Respir J*. 1995, 8(4): 5239
- [81] West JB, Hackett H, Maret HM, Milledge JS, Peters RM, Pizzo CJ, Winslow RM: Pulmonary gas exchange on the summit of Mt. Everest. *J Appl Physiol*.1983, 55: 633-687

- [82] West JB, Mathieu Costello O: High altitude pulmonary edema is caused by stress failure of pulmonary capillaries. *Int J Sports Med.* 1992, 13 Suppl 1: 54-8
- [83] Wilson MD, Hart LL: Prophylaxis and treatment of altitude sickness with dexamethasone. *Ann Pharmacother.* 1993, 27(6): 733-5
- [84] Wright AD, Jones GT, Fletcher RF, Mackintosh JH, Bradwell AR: The Environmental Symptoms Questionnaire in acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med.* 1985, 56(6): 572-5
- [85] Würtemberger G, Müller S, Matthys H, Sokolov I: Accuracy of nine commercially available pulse oximeters in monitoring patients with chronic respiratory insufficiency. *Monaldi Arch Chest Dis.* 1994, 49: 348-53
- [86] Yagi H, Yamada H, Kobayashi T, Sekiguchi M : Doppler assessment of pulmonary hypertension induced by hypoxic breathing in subjects susceptible to high altitude pulmonary edema. *Am Rev Respir Dis.* 1990, 142(4): 796-801
- [87] Zink R A: *Ärztlicher Rat für Bergsteiger.* Georg Thieme Verlag Stuttgart, 2. Aufl. 1984.1

8 Anhang

8.1 Karten und Routen

8.1.1 Solu Khumbu

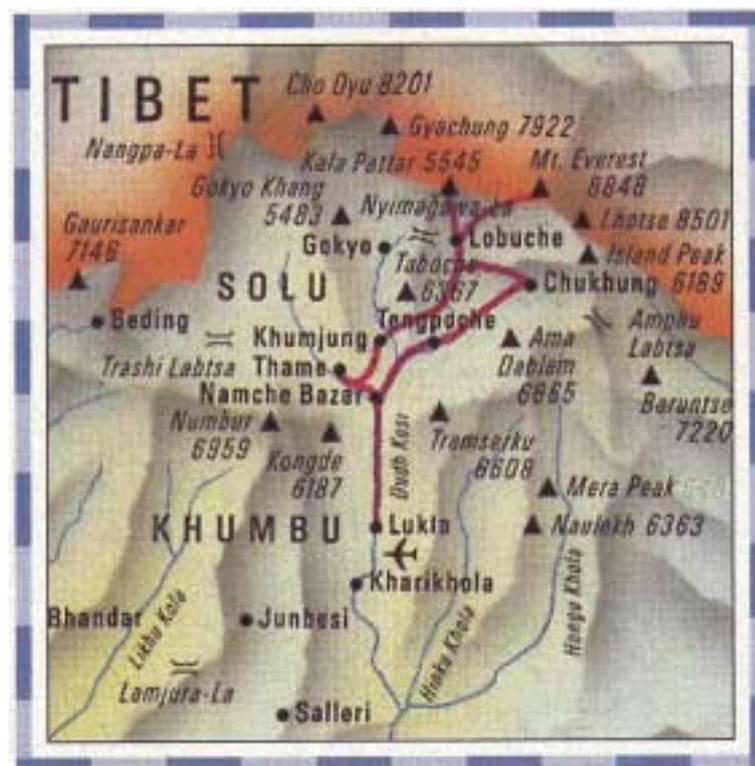


1. Tag: Flug mit dem Hubschrauber nach Lukla (2850m), 3-stündiger Marsch nach Phakding (2610m)
2. Tag: anstrengender Tagesmarsch (6 ½ h) nach Namche Basar (3440m); 830 Höhenmeter
3. Tag: 4-stündiger einfache Wanderung nach Thame (3800m)
4. Tag: Akklimatisierungsaufstieg zum Kloster und Gipfelbesteigung (4260m); Rückkehr zum Lager
5. Tag: 5-stündige Wanderung nach Kumjung (3790m); Besuch des Krankenhauses in Khunde
6. Tag: 5 ½-stündige mittelschwere Wanderung nach Dole (4100m)
7. Tag: 7-stündige relativ schwere Etappe über Matchermo(4440) nach Gokyo (4860); 750 Höhenmeter
8. Tag: erste richtige Gipfelbesteigung zum Gokyo Peak (5420m); kräfteraubend
9. Tag: 5 ½-stündige Wanderung nach Kona (4070m)^a
10. Tag: von Kona nach Pheriche (4240m)
11. Tag: 4 ½-stündige Etappe von Pheriche nach Lobuche (4930m)

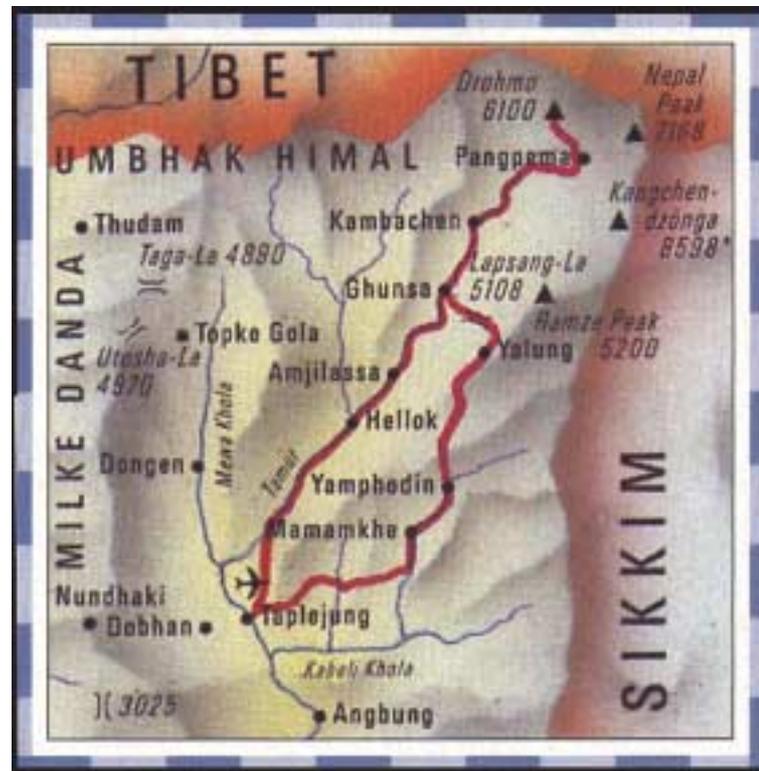
^a ab dieser stelle Gab es von Tour zu Tour kleine Abweichung durch die Unterschiedliche Begehbarkeit des Nyimaga-La-Passes. In der Beschriebenen Version mußte der Pass umgangen werden

12. Tag: 6-stündiger Aufstieg zum Everest Basecamp (5300m) und 3 ½ stündiger Rückweg nach Gorak Shep (5200m); sehr anstrengend
13. Tag: Leichte Gipfelbesteigung am Kala Patar (5550m), Rückweg nach Lobuche
14. Tag: Abstieg nach Dingpoche (4360m)
15. Tag: 3-stündiger Aufstieg nach Chukung (4730m)
16. Tag: 4-stündiger Aufstieg zum Island Peak Basecamp (5100m)
17. Tag: Besteigung des Island Peaks 6189m (Dauer des Aufstiegs ca. 6h)
18. Tag: 3-stündiger abstieg nach Chukung
19. Tag: Besteigung des Chukung Ri (5560m) (Dauer ca. 4h)
20. Tag: 5-stündiger Abstieg nach Tengpoche (3900m)
21. Tag: Abstieg über Kumjung nach Namche Bazar
22. Tag: Aufenthalt in Namche Bazar
23. Tag: Abstieg nach Pakding
24. Tag: Wanderung nach Lukla
25. Tag: Abflug nach Kathmandu

8.1.2 Everest Basecamp

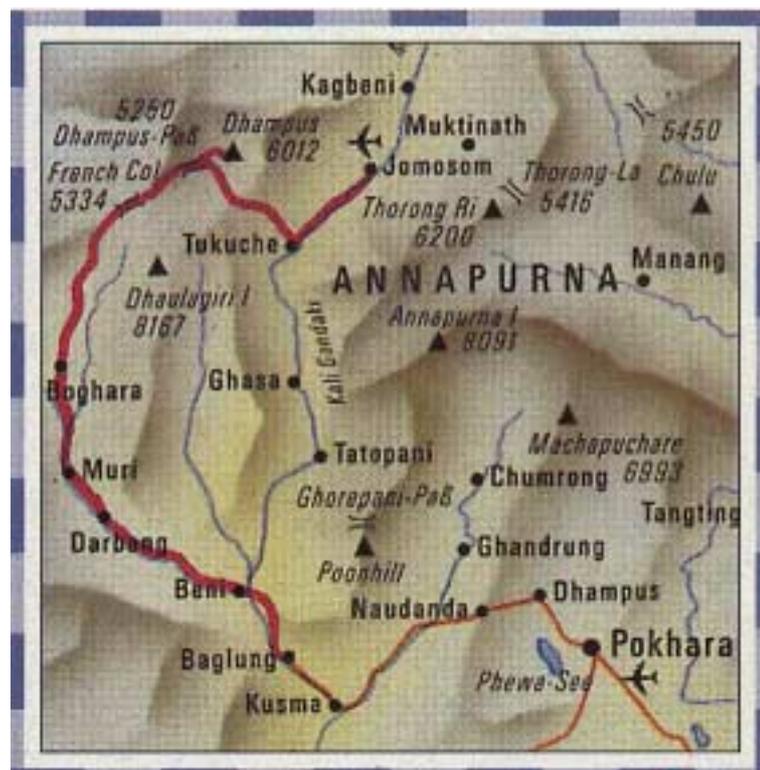


8.1.3 Kantschendzonga Basecamp



8.1.4 Dhaulagiri I

8.2



Abbildungsverzeichnis

<u>ABBILDUNG 3: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DES VERTEILUNGSMUSTERS DER SYMPTOME DES AMS-SCORE DER TÄGLICH VON 59 TEILNEHMERN VON 6 TREKKINGGRUPPEN ERHOBEN WURDE: AM HÄUFIGSTEN TRATEN SCHLAFSTÖRUNGEN (GRAU) AUF, GEFOLGT VON MÜDIGKEIT (GRÜN), KOPFSCHMERZEN(ROT), GASTRO-INTESTINALEN(GI)- SYMPTOMEN (BLAU), SCHWINDEL (GELB) UND ÖDEMEN (LILA).....</u>	35
<u>ABBILDUNG 4: MITTLERER AMS-SCORE (ROTE LINIE) UND MITLERES HÖHENPROFIL(GRÜNE LINIE) VON 6 TREKKINGGRUPPEN MIT 59 TEILNEHMERN. WÄHREND DER AKKLIMATISIERUNG IN DEN ERSTEN 10 TAGEN WAREN DIE ZEICHEN DER HÖHENKRANKHEIT AM HÄUFIGSTEN.</u>	37
<u>ABBILDUNG 5: VERGLEICH DER MITTLEREN HÖHENPROFILE DER 6 TREKKINGTOUREN (SULU-KHUMBU 1-3 HABEN DIE GLEICHE ROUTE). DER WESENTLICHE UNTERSCHIED BESTEHT IN DEN UNTERSCHIEDLICHEN STARTHÖHEN UND SOMIT DEN ANMARSCHPROFILIEN DER DHAULAGIRI(ROT) UND KANTSCH-TOUR(BLAU) AUF DER EINEN MIT EINER JEWEILS SEHR NIEDRIGEN STARTHÖHE(800 UND 1500M) UND DER SOLU-KHUMBU(SCHWARZ)- UND EVEREST BC-TOUR(GRÜN) AUF DER ANDEREN SEITE MIT EINER RELATIV HOHEN STARTHÖHE VON 2600M.</u>	38
<u>ABBILDUNG 6: PROFIL DER MITTLEREN SCORE- UND HÖHENWERTE DER DHAULAGIRI-TOUR: SCOREPROFIL(ROT), HÖHENPROFIL(GRÜN). BEI DIESER TOUR FINDET DIE EIGENTLICHE AKKLIMATISIERUNG ERST AB DEM 6. TAG STATT. DANN GEHT ES RASANT IN DIE HÖHE. INNERHALB VON 3 TAGEN (TAG 7-10) WERDEN ÜBER 2000 HÖHENMETER BEWÄLTIGT. DIES ERKLÄRT DEN MASSIVEN ANSTIEG DER SCOREWERTE AM 10. UND 11. TAG, DIE BEIDE GERADE NICHT MEHR IN DIE DEFINIERTE AKKLIMATISIERUNGSPHASE FALLEN.....</u>	43
<u>ABBILDUNG 7: PROFIL DER MITTLEREN SCORE-(ROT) UND HÖHENWERTE(GRÜN) DER EVEREST BC-TOUR.: HOHE ANFANGSHÖHE (2600M), ZWEIFIPFLIGER VERLAUF DER SCOREKURVE (ERSTER GIPFEL: FRÜHAKKLIMATISIERUNG; ZWEITER: ERSTER FUNFTAUSENDER).</u>	44
<u>ABBILDUNG 8: PROFIL DER MITTLEREN SCORE-(ROT) UND HÖHENWERTE(GRÜN) DER KANTSCH-TOUR: DER HOHE ANFANGSWERT LÄSST SICH NUR DURCH HÖHENUNABHÄNGIGE BESCHWERDEN ERKLÄREN (Z.B. DARMINFEKT, INFEKT DER OBEREN LUFTWEGE ETC.)AM 10. TAG ZEIGT SICH EIN DEUTLICHER PEAK DER SCOREKURVE NACHDEM 1500 HÖHENMETER IN 2 TAGEN BEWÄLTIGT WURDEN UND EINE HOHE SCHLAFHÖHE GEWÄHLT WURDE (4800M)</u>	45
<u>ABBILDUNG 9: PROFIL DER MITTLEREN SCORE-(ROT) UND HÖHENWERTE(GRÜN) DER 3 SOLU-KHUMBU-TOUREN. DEUTLICH ERHÖHTE SCOREWERTE WÄHREND DER ERSTEN 10 TAGE (KEINE ÜBERDIMENSIONALEN PEAKS). TROTZ DURCHSCHNITTLICH GRÖßERER HÖHEN SIND IN DER 2. HÄLFTE DIE SCOREWERTE DEUTLICH REDUZIERT.</u>	46
<u>ABBILDUNG 10: MITTLERE SCORE-WERTE BEI DER SOLU KHUMBU TOUR 1: WÄHREND DER AKKLIMATIONSPHASE(ROT) UND NACH DER</u>	

<u>AKKLIMATISIERUNGSPHASE(GRÜN), KATHMANDU(1300M),</u>	
<u>LUKLA(HUBSCHRAUBERLANDEPLATZ: 2850M),PAKDING (ERSTER SCHLAFPLATZ,</u>	
<u>2600 M), NAMCHE BASAR(3440M), HÖCHSTE SCHLAFHÖHE IM BASECAMP DES</u>	
<u>ISLAND PEAK(5200M)</u>	47
<u>ABBILDUNG 11: PROFIL DER TÄGLICHEN MITTELWERTE DER PARAMETER PULS(ROT),</u>	
<u>SAUERSTOFFSÄTTIGUNG(SCHWARZ), UND DES BLUTDRUCKES(BLAU) UND DEREN</u>	
<u>STANDARDABWEICHUNGEN. HÖHENPROFIL (1:50, GRÜN). MAN SIEHT EINEN</u>	
<u>DEUTLICHEN ANSTIEG DER PULSKURVE WÄHREND DER ANFÄNGLICHEN</u>	
<u>AKKLIMATISIERUNGSPHASE, UND ZWEI WEITERE SPITZENWERTE IM BEREICH DER</u>	
<u>ZWEI HÖCHSTEN SCHLAFHÖHEN BZW. GIPFELBESTEIGUNGEN. REZIPROK DAZU</u>	
<u>VERHALTEN SICH DIE SAUERSTOFFSÄTTIGUNGSWERTE. IN DEN</u>	
<u>BLUTDRUCKKURVEN LÄSST SICH KEIN EINDEUTIGER TREND ABLESEN. AUFFÄLLIG</u>	
<u>IST NUR, DASS DIE NIEDRIGSTEN WERTE AM SCHLUSS DER REISE ERREICHT</u>	
<u>WERDEN (ERLEICHTERUNG?).....</u>	48
<u>ABBILDUNG 12: PROFIL DER TÄGLICHEN MITTELWERTE DER PARAMETER ETCO2 (BLAU),</u>	
<u>AF(SCHWARZ) UND DES AMS-SCORES(ROT). ETCO2 SINKT DEUTLICH BEI GRÖßEREN</u>	
<u>HÖHEN UND NIMMT BEI AKKLIMATISATION NIEDRIGERE WERTE AN</u>	
<u>(KOMPENSATION DURCH HYPERVENTILLATION). AF VERHÄLT SICH</u>	
<u>ERWARTUNGSGEMÄß REZIPROK DAZU.....</u>	49
<u>ABBILDUNG 13: PROFIL DER TÄGLICHEN MITTELWERTE DER PARAMETER FEV1(BLAU)</u>	
<u>UND PEF(SCHWARZ),KEINE EINDEUTIGE AUSSAGE MÖGLICH.</u>	50
<u>ABBILDUNG 14: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DER FEV1 ZU DEN DREI</u>	
<u>VERSCHIEDENEN TAGESZEITEN. ABENDS WURDEN DEUTLICH HÖHERE</u>	
<u>DURCHSCHNITTSWERTE GEMESSEN ALS FRÜH UND MITTAGS. HYPOTHESE: SOWOHL</u>	
<u>NACHTRUHE ALS AUCH KÖRPERLICHE ANSTRENGUNG WIRKEN SICH NEGATIV AUF</u>	
<u>DAS EXPIRATORISCHE EINSEKUNDENVOLUMEN AUS.</u>	54
<u>ABBILDUNG 15: DURCHSCHNITTliche TAGESWERTE DER PARAMETER VON PROBAND 7</u>	
<u>DER SOLU-KHUMBU-TOUR I, TEIL 1: ETCO2(SCHWARZ), PULS(ROT),</u>	
<u>SAUERSTOFFSÄTTIGUNG(BLAU) UND DAS HÖHENPROFIL(GRÜN); DER GELBE PFEIL</u>	
<u>STELLT DEN BEGINN DER SYMPTOME DAR: AB DIESEM ZEITPUNKT STEIGT DER</u>	
<u>PULS UND SINKT DIE SAUERSTOFFSÄTTIGUNG DRASTISCH.....</u>	57
<u>ABBILDUNG 16 : : DURCHSCHNITTliche TAGESWERTE DER PARAMETER VON PROBAND</u>	
<u>7 DER SOLU-KHUMBU-TOUR I, TEIL 2: FEV 1(HELLGRÜN), PEAK FLOW(BLAU) UND</u>	
<u>DAS HÖHENPROFIL(GRÜN); DAS FORCIERTE EXPIRATORISCHE</u>	
<u>SEKUNDENVOLUMEN NIMMT WÄHREND DER HÖHENEXPOSITION DEUTLICH AB...58</u>	
<u>ABBILDUNG 17 SCOREPROFIL VON PROBAND 7: BEREITS IN DEN ERSTEN TAGEN</u>	
<u>DEUTLICH ERHÖHTE SCOREWERTE. DER HÖCHSTE WERT DECKT SICH MIT DEM</u>	
<u>ZEITPUNKT DES ABSTIEGS. NACH EINER ERHOLUNGSPHASE VON DREI TAGEN IST</u>	
<u>EINE DEUTLICHE BESSERUNG UND IM WEITEREN VERLAUF SIND KEINE</u>	
<u>DRAMATISCH HOHEN WERTE MEHR FESTZUSTELLEN.</u>	59
<u>ABBILDUNG 18: DURCHSCHNITTliche TAGESWERTE DER PARAMETER VON PROBAND 3</u>	
<u>DER SOLU-KHUMBU-TOUR I, TEIL 1: PULSKURVE(ROT),</u>	

<u>SAUERSTOFFSÄTTIGUNG(BLAU), ENDEXPIRATORISCHER SAUERSTOFFPARTIALDRUCK (SCHWARZ) UND HÖHENPROFIL (GRÜN).....</u>	<u>61</u>
<u>ABBILDUNG 19: : DURCHSCHNITTLLICHE TAGESWERTE DER PARAMETER VON PROBAND 3 DER SOLU-KHUMBU-TOUR I, TEIL 2: FEV 1(HELLGRÜN), PEAK FLOW(BLAU) UND DAS HÖHENPROFIL(GRÜN); ERWARTUNGSGEMÄß NIEDRIGE FEV1- UND PEAK FLOW-WERTE BEI ASTHMA BRONCHIALE, KEIN BEEINFLUSSUNG DURCH DIE HÖHE ERKENNBAR.</u>	<u>62</u>

8.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: KONTRAINDIKATIONEN FÜR HÖHENTREKKINGTOUREN (>3000M) AUS JENNY [30]. ES EXISTIEREN VIELE VERSCHIEDENE TABELLEN UND MEINUNGEN. DIE ABGEBILDETE TABELLE ENTSPRICHT GRÖBTEILS DEM AKTUELLEN STAND DER WISSENSCHAFT. IM EINZELFALL MUSS JEDOCH INDIVIDUELL ENTSCHIEDEN WERDEN. DIESE TABELLEN DIENEN LEDIGLICH ALS HILFSMITTEL FÜR DEN BERATENDEN ARZT, SOWIE ALS ORIENTIERUNGSHILFE FÜR DEN BERGSTEIGER.	6
TABELLE 2: DIE 4 FORMEN DER AKUTEN HÖHENKRANKHEIT UND DEREN SYMPTOME	9
TABELLE 3: MEDIKAMENTE IN DER HÖHENMEDIZIN	13
TABELLE 4: ÜBERSICHT PORTABLER GERÄTE ZUR ANWENDUNG IN DER DIAGNOSTIK DER HÖHENKRANKHEIT	17
TABELLE 5: REPRÄSENTATIVE ÜBERSICHT ÜBER DIE MEISTEN HÖHENMEDIZINISCHEN UNTERSUCHUNGEN GEORDET NACH LABOR-, EXPEDITIONS- UND TREKKINGUNTERSUCHUNGEN. DER ANTEIL DER UNTERSUCHTEN TREKKINGS IST VERSCHWINDEND GERING. ES GIBT KEINE KONTINUIERLICHEN UNTERSUCHUNGEN VON TREKKINGGRUPPEN IM SINNE VON BEGLEITENDEN MESSUNGEN WÄHREND DER TOUR. LEDIGLICH STATIONÄRE MESSUNGEN (Z.B. AUF MEERESHÖHE UND IM BASECAMP).	19
TABELLE 6: MATERIAL: VERWENDETE GERÄTE ZUR DOKUMENTATION DER PHYSIOLOGISCHEN PARAMETER ZUR ÜBERWACHUNG DER TESTPERSONEN	23
TABELLE 7: TEIL 1 DES FRAGEBOGENS (VORDERSEITE), ORIGINAL: DIN A5-FORMAT AUF KARTON	27
TABELLE 8: TEIL 2 DES FRAGEBOGENS (RÜCKSEITE), DER AMS-SCORE-ERHEBUNGSBOGEN. JEDER TEILNEHMER ERHIELT EIN EXEMPLAR ZUR TÄGLICHEN DOKUMENTATION DER KLINISCHEN SYMPTOME DER HÖHENKRANKHEIT, DIE FÜR EINE SELBSTERHEBUNG GEIGNET SIND. GESTALTUNG IN ANLEHNUNG AN DEN IM LAKE LOUISE CONSENSUS ENTWORFENEN SCORE (1992, [3]).	28
TABELLE 9: DOKUMENTATIONSBOGEN FÜR DEN TREKKINGFÜHRER: HIER SOLLTEN HÖHENKRANKHEITSSPEZIFISCHE SYMPTOME DOKUMENTIERT WERDEN, DIE NUR DURCH FREMDBEOBACHTUNG FESTSTELLBAR SIND, DES WEITEREN SPEZIELLE VORKOMMNISSE, DEREN URSACHEN, FOLGEN UND ORGANISATION (FORMAT: DIN A4)	29

TABELLE 10: LISTE DER 6 UNTERSUCHTEN TREKKINGGRUPPEN (INSGESAMT 62 TEILNEHMER)	30
TABELLE 11: GESCHLECHTSVERTEILUNG DER EINZELNEN TOUREN	31
TABELLE 12: VERTEILUNG DER HÖHENERFAHRUNG UNTER DEN 59 PROBANDEN: 28 % DER HÖHENERFAHRENDEN HATTEN BEREITS HÖHENBEDINGTE BESCHWERDEN	32
TABELLE 13: VORERKRANKUNGEN DER 59 PROBANDEN ERFASST DURCH DEN FRAGEBOGEN: KEINE ABSOLUTEN ODER REL. KONTRAINDIKATIONEN BIS AUF DIE HERZRYTHMUSSTÖRUNG).INSGESAMT EIN SEHR GESUNDES KOLLEKTIV.	33
TABELLE 14: NEU AUFGETRETENE KRANKHEITEN UND BESCHWERDEN (59 PROBANDEN)	34
TABELLE 15: VERGLEICH DER SECHS VERSCHIEDENEN TOUREN ANHAND DER MITTELWERTE DES AMS-SCORES PRO TAG NACH PROBANDEN UND TOUREN AUFGELESTET: 4 SYMPTOMLOSE PROBANDEN (0,0) UND 2 PROBANDEN MIT DEM MAXIMALWERTEN VON 2.33. DIE GESAMTWERTE DER EINZELNEN TOUREN UNTERSCHIEDEN SICH NICHT UND LIEGEN BIS AUF EINEN AUSREIßER (SOLU-KHUMBU 3, MITTELWERT 0,67) ZWISCHEN 1,05 UND 1,12.	39
TABELLE 16: MITTLERE SCOREWERTE DER EINZELNEN TREKKINGGRUPPEN BIS ZU 10. TAG, WÄHREND DER AKKLIMATISATIONSPHASE, UND DANACH. ES SIND DEUTLICHE UNTERSCHIEDE ZU ERKENNEN. INTERESSANTERWEISE VERHALTEN SICH DIE WERTE DER DHAULAGIRI TOUR MIT DEM NIEDRIGSTEM ANMARSCHPROFIL UMGEKEHRT ZU DEN 4 ANDEREN TOUREN, BEI DENEN DIE MITTLEREN SCOREWERTE WÄHREND DER AKKLIMATISIERUNG DEUTLICH HÖHER AUSFALLEN.	41
TABELLE 18: TEST BEI UNABHÄNGIGEN STICHPROBEN T-TEST FÜR DIE MITTELWERTGLEICHHEIT DER SCOREWERTE VOR UND NACH AKKLIMATISIERUNG: SIGNIFIKANTE UNTERSCHIEDE SIND FÜR ALLE TOUREN BIS AUF DIE KANTSCH-TOUR FESTZUSTELLEN.	42
TABELLE 19: HÖHENSIGNIFIKANZ DER PARAMETER. ALLE GEMESSENEN PARAMETER BIS AUF PEF UND RR KORRELIEREN SIGNIFIKANT MIT DER HÖHE. DER AMS-SCORE KORRELIERT NICHT MIT DER HÖHE, DA ER IN ERSTER LINIE VON DEM AKKLIMATISATIONSSTATUS ABHÄNGIG IST.	52
TABELLE 21: KORRELATIONEN DER EINZELNEN GEMESSENEN PARAMETERN MIT DEN AMS-SCOREWERTEN. ** DIE KORRELATION IST AUF DEM NIVEAU VON 0,01 (2-SEITIG) SIGNIFIKANT	53
TABELLE 22: VERGLEICH DER MITTELWERTE VERSCHIEDENER PARAMETER ZU UNTERSCHIEDLICHEN TAGESZEITEN (FRÜH, MITTAGS UND ABENDS); VOR ALLEM MORGENDLICHE ABWEICHUNGEN DER RESPIRATORISCHEN PARAMETER SIND ZU ERKENNEN, WÄHREND DIE ERHÖHTE PULSRATE UND ATEMFREQUENZ UM DIE MITTAGSZEIT FÜR EINEN HÖHEREN AKTIVIERUNGSGRAD SPRECHEN.	55
TABELLE 23: MITTELWERTSVERGLEICH BEI UNABHÄNGIGEN STICHPROBEN (T-TEST): VERGLEICH DER MORGENDLICHEN PARAMETER MIT DEN ABENDS GEMESSENEN	56
TABELLE 24: AMS-SCORE UND HÖHENPROFIL VON PROBAND 1 DER SOLU-KHUMBU TOUR 2: MASSIVER FALL VON HÖHENKRANKHEIT(GLEICHGEWICHTSSTÖRUNGEN,	

AUSGEPRÄGTE SCHWÄCHE, SCHWINDEL, KOPFSCHMERZEN, ÜBELKEIT: HACE; AUSGEPRÄGTE ÖDEME AN GESICHT, HÄNDEN UND FÜßEN) AM 10. TAG DES TREKKINGS. DER PATIENT WURDE MIT UNTERSTÜTZUNG VON SHERPAS UND MITREISENDEN IN TIEFERE LAGEN GEBRACHT UND KONNTE DIE WANDERUNG NACH KNAPP 3 TAGEN WIEDER FORTSETZEN	64
TABELLE 25 : MESSWERTE ZUR PRÜFUNG DER VALIDITÄT DES PULSOXIMETERS BEI UNTERSCHIEDLICHER DURCHBLUTUNG UND TEMPERATUR DER FINGER AN GRÖßTENTEILS NICHT AM TREKKING BETEILIGTEN TESTPERSONEN (NICHT RANDOMISIERT). ES ZEIGEN SICH KEINE TEMPERATURABHÄNGIGEN RELEVANTEN UNTERSCHIEDE.	69
TABELLE 26: SAUERSTOFFSÄTTIGUNGS- UND PULSWERTE VON PROBAND 7 IM VEGLEICH MIT DER GESAMTHEIT DER PROBANDEN (N: 7). ES SIND EINDEUTIGE ABWEICHUNGEN IM SINNE VON PATHOLOGISCHEN WERTEN VON PROBAND 7 FESTZUSTELLEN, DIE EINE ENTSTEHUNG DER HÖHENKRANKHEIT UNTER UMSTÄNDEN VORHERSEHEN HÄTTEN LASSEN KÖNNEN	72
TABELLE 27: VERGLEICH DER ETCO ₂ -WERTE: DEUTLICH NIEDRIGERE DURCHSCHNITTSWERTE BEI PROBAND 7 IM VERGLEICH ZUM GESAMTDURCHNITT (GELBE MARKIERUNG)	73

8.4 Abkürzungsverzeichnis

AMS	akute Höhenkrankheit (<u>a</u> cute <u>m</u> ountain <u>s</u> ickness)
FEV1	forcierte Vitalkapazität in einer Sekunde
FVC	forcierte Vitalkapazität (<u>f</u> orced <u>v</u> ital <u>c</u> apacity), Atemstoßvolumen
HACE	Höhenhirnödem (<u>h</u> igh <u>a</u> ltitude <u>c</u> erebral <u>e</u> dema)
HAPE	Höhenlungenödem (<u>h</u> igh <u>a</u> ltitude <u>p</u> ulmonary <u>e</u> dema)
PEF	expiratorischer Spitzenflußwert (<u>p</u> eak <u>e</u> xpiratory <u>f</u> low)
SaO ₂	Sauerstoffsättigung
ETCO ₂	endexpiratorischer CO ₂ -Partialdruck (<u>e</u> nd <u>t</u> idal CO ₂)
HVR	hypoxische Atemantwort (<u>h</u> ypoxic <u>v</u> entilatoty <u>r</u> esponse)
P	Puls
RRS	stolischer Blutdruck gemessen nach Riva-Rocci
RRD	diastolischer Blutdruck gemessen nach Riva-Rocci
HF	Herzfrequenz
AMS-S	<u>A</u> cute <u>M</u> ountain <u>S</u> ickness <u>S</u> core

BMI Body Mass Index

9 Lebenslauf

Name	Michael Urbas	
Geburt	12.03.1971 in Rosenheim	
Familienstand	verheiratet mit Marion Urbas, 2 Kinder namens Lucy und Sheila	
Eltern	Eugen Urbas, Gymnasiallehrer Elfriede Urbas, Realschullehrerin	
Schulbildung	1977-1981	Volksschule Wasserburg
	1981-1990	Luitpold Gymnasium Wasserburg
	1990	Allgemeine Hochschulreife
Zivildienst:	1990-1991	Betreuungszentrum Steinhöring
Studium der Humanmedizin	1992-1998	Ludwig Maximilian Universität München
Brufsausbildung (AiP)	seit 1999	Chirurgie im KKH Traunstein, Lehrkrankenhaus der LMU München

10 Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie meinem Doktorvater, Herrn Professor Riel, der mir mit Rat und Tat zur Seite stand und mir diese Arbeit durch seinen Einsatz und seine Erfahrungen als langjähriges Mitglied im Deutschen Alpenverein ermöglichte. Des weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. Fischer bedanken, der mir ebenfalls wesentliche Hilfeleistung leisten konnte, durch seine Erfahrungen in der Höhenmedizin und die Vermittlung mit den Herstellern der in meiner Arbeit verwendeten Geräte. Bedanken möchte ich mich auch bei Professor Bernett, der so viel für die Bergmedizin in Deutschland getan hat, und dessen Lebenswerk die Grundlage für meine Arbeit darstellt.

Danken möchte Ich dem Deutschen Alpenverein, repräsentiert durch Herrn Professor Finsterwalder, für die finanzielle Unterstützung, dem DAV-Summit-Club für die hervorragende Mitarbeit und Unterstützung.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Firmen Andos, Lifecare, Naiss und Jäger für das freundliche überlassen der Geräte.

Mein letzter und zugleich herzlichster Dank geht an meine Familie, meine Frau Marion, meine Töchter Lucy und Sheila und meine Eltern Eugen und Elfriede Urbas, die mir alle mit sehr viel Verständnis und moralischer Unterstützung meine Arbeit erleichterten.