

Beeinflusst die CV4 – Technik die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen?

Master Thesis zur Erlangung des Grades
Master of Science in Osteopathie

an der **Donau Universität Krems –
Zentrum für chin. Medizin & Komplementärmedizin**

niedergelegt
an der **Wiener Schule für Osteopathie**

von **Michael Pichler**
Lienz, November 2011

Betreut von Mag. Claudia Gamsjäger,
Mag. Ariane Rauch und Mag. Walter Würtl

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorgelegte Masterthese selbständig verfasst zu haben.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer übernommen wurden, wurden als solche gekennzeichnet. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit genutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt weder im In- noch im Ausland noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Diese Arbeit stimmt mit der von dem/der Gutachter/in beurteilten Arbeit überein.

Datum.....Unterschrift.....

Ein Dankeschön

an meine wissenschaftlichen Betreuer Mag. Walter Würtl, Mag. Claudia Gamsjäger und Mag. Ariane Rauch,

für die Hilfe bei der Statistik an Mag. Martin Schneider,

für die Hilfe beim Formatieren an Clemens Schleifer, Franz Holzer und Elisabeth Steuerer,

für die Haushaltsführung im Alleingang an meine Frau Martina und

für die Reduzierung des Lärmpegels an meine Kinder Anna und Christoph.

Abstract

Beeinflusst die CV4 – Technik die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen?

Masterthesis zur Erlangung des Grades Master of Science in Osteopathie von Michael Pichler

Forschungsfrage und Ziel

Das Ziel dieser Studie war es, im Rahmen einer Achttausenderexpedition herauszufinden, ob die CV4 – Technik die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Körpers für große und extreme Höhen beeinflusst.

Studiendesign

Empirische Pilotstudie

Methode

Eine sechsköpfige Gruppe, randomisiert in drei Test- und drei Kontrollpersonen, wurde auf die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen betreffende Parameter untersucht. Daten wurden über 42 Tage in Höhen zwischen 2200 und 6700 Metern erhoben. Die Untersuchung setzte sich aus zwei Teilbereichen zusammen:

1. Die Messwerte Puls in Ruhe, Sauerstoffsättigung und Herzfrequenzvariabilität wurden vor und nach der Intervention mit der CV4 – Technik bei der Testgruppe bzw. ohne Intervention bei der Kontrollgruppe erhoben.

2. Mit Hilfe eines Untersuchungsblattes wurden die Messwerte Ruhepuls und ebenfalls die Herzfrequenzvariabilität bzw. Sauerstoffsättigung sowie die zu einer Tagessumme zusammengefassten, den Allgemeinzustand betreffenden Parameter Pulspunkte, Schlaf, Kopfschmerz, Appetit/Übelkeit, Urin, Stuhl, Müdigkeit/Schwäche, Schwindel und Leistungsfähigkeit gewonnen. Der Score reichte von null Punkten (beschwerdefrei) bis zu drei Punkten (Alarmsignal).

Ausgewertet und verglichen wurden sowohl die Mittelwerte der Daten über den ge-

samten Verlauf des Höhengaufenthaltes (Tag eins bis 42) als auch die ersten (Tage 10 bis 12) und letzten Tage (Tage 40 bis 42) auf 4900 Metern (Basislager).

Ergebnisse

Das schlüssigste Ergebnis zeigte sich beim Vergleich von Test- und Kontrollgruppe vor und nach der Intervention bzw. zu Beginn und am Ende der Messungen, betrachtet über den gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes. Vor allem die Herzfrequenzvariabilität hat sich zugunsten der Testgruppe signifikant erhöht. Dies korreliert zumindest tendenziell auch mit der Tagessumme des Untersuchungsblattes für die längerfristige Entwicklung des Gesundheitszustandes.

Vielfach konnten positive Veränderungen jedoch sowohl bei der Test- als auch der Kontrollgruppe bzw. nur bei der unbehandelten Kontrollgruppe festgestellt werden. Teilweise zeigten sich auch Widersprüche zwischen Messwerten bzw. der Tagessumme, wo es theoretisch zu Analogien hätte kommen sollen.

Schlussfolgerung

Es kam beim Vergleich der Daten sowohl zu tendenziellen Verbesserungen bei der Testgruppe, als auch zu paradoxen Ergebnissen. Für weitere Studien wäre die Beschränkung auf einzelne, die Akklimatisationsfähigkeit betreffende Parameter vorteilhaft. Auch würde eine fixe Infrastruktur bzw. eine Untersuchung unter Laborbedingungen einige, das Outcome beeinflussende Faktoren ausschalten.

Schlüsselwörter: Puls in Ruhe, Ruhepuls, Sauerstoffsättigung, Herzfrequenzvariabilität, Akklimatisation

Abstract

Does the CV4 technique influence adaptability to great and extreme altitudes?

Master thesis submitted by Michael Pichler

in order to attain the Master of Science grade in osteopathy

The research question and objective

The objective of this study was to find out, in the course of an expedition to heights above 8,000 metres, whether the CV 4 technique influences the adaptability of the human body to great and extreme altitudes.

Study design

Empirical pilot study

Method

A group of six people, randomised into three test and three control persons, was investigated by examining parameters concerning their adaptability to great and extreme heights. Data was gathered covering 42 days spent at heights varying between 2,200 and 6,700 metres. The investigation was divided into two parts:

1. The figures relating to pulse at rest, oxygen saturation and heartrate variability were investigated before and after intervention with the CV4 technique in the case of the test group and without its intervention in the case of the control group.
2. Summarised into a daily figure with the aid of a fact-finding sheet were the figures relating to pulse at rest, heartrate variability, and oxygen saturation along with parameters concerning general state of health, consisting of pulse rates, sleep, headache, appetite/nausea, urine, stools, fatigue/weakness, dizziness and physical efficiency. The score ranged from zero points (fit and healthy) up to three points (alarm signal).

Analysed and compared were both the average values covering the entire time (day one to day 42) spent at the high altitudes and those covering just the first days (days 10 to 12) and last days (days 40 to 42) spent at 4,900 metres (the base camp).

Findings

The most conclusive finding came out when comparing the test and control groups before and after the intervention and at the start and the end of the measurements when considered across the whole course of the time spent at the high altitudes. Above all, the heartrate variability increased significantly in favour of the test group. This also correlates, at least slightly, with the daily total of the fact-finding sheet covering the longer-term development of the state of health.

In many respects, however, it proved possible to establish positive changes in the cases of both the test and the control group and/or just in the case of the (untreated) control group. In some cases contradictions also emerged between the figures and/or the daily total, where analogies should, in theory, have arisen.

Conclusion

When the data were compared, there were both slight improvements in the case of the test group and some paradoxical results. Further studies would benefit by being restricted to individual parameters affecting the ability to acclimatise. A fixed infrastructure and/or an investigation under laboratory conditions would also eliminate some of the factors influencing the outcome.

Key terms: pulse at rest, rest pulse, oxygen saturation, heartrate variability, acclimatisation.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 11 |
| 2 | Höhenmedizin..... | 16 |
| 2.1 | Zum Begriff Höhe..... | 16 |
| 2.1.1 | Höhenstufen | 18 |
| 2.2 | Physiologische Auswirkungen der Höhe | 19 |
| 2.3 | Höhenakklimatisation | 19 |
| 2.3.1 | Akutphase (bis sechs Stunden nach Ankunft auf einer höheren Lage) | 20 |
| 2.3.2 | Akklimatisationsphase (ab sechs Stunden bis sieben Tage) | 20 |
| 2.3.3 | Stabilisationsphase (je nach Höhe sieben bis ca. 21 Tage) | 21 |
| 2.3.4 | Deteriorationsphase (ab 21 Tagen, stark höhenabhängig)..... | 21 |
| 2.4 | Physiologische Auswirkungen durch Höhenexposition auf zellulärer Ebene | 23 |
| 2.4.1 | Der Transport des Sauerstoffs von der Außenluft in die Alveolen | 24 |
| 2.4.1.1 | Atemantwort auf Sauerstoffmangel | 24 |
| 2.4.2 | Der Weg des Sauerstoffs von den Alveolen in die Lungenkapillaren und in den arteriellen Kreislauf..... | 28 |
| 2.4.3 | Der Sauerstofftransport in die peripheren Gewebe mittels des Herz-Kreislaufsystems | 30 |
| 2.4.3.1 | Das Blut | 30 |
| 2.4.4 | Die Aufnahme des Sauerstoffs ins Gewebe | 31 |
| 2.5 | Anpassungsstörungen in der Höhe | 33 |
| 2.5.1 | Die akute Höhenkrankheit, Acute Mountain Sickness (AMS) | 34 |
| 2.5.2 | Das Höhenhirnödem, High Altitude Cerebral Edema (HACE)..... | 36 |
| 2.5.3 | Das Höhenlungenödem, High Altitude Pulmonal Edema (HAPE)..... | 37 |
| 2.5.4 | Sonstige Erkrankungen in der Höhe | 38 |
| 2.5.4.1 | Psychologische Probleme | 38 |
| 2.5.4.2 | Periphere Höhenödeme, High Altitude Localised Edema (HALE) | 40 |
| 2.5.4.3 | Thrombosen | 40 |
| 2.6 | Osteopathie..... | 41 |
| 2.6.1 | Mögliche Zusammenhänge der Effekte der CV4 - Technik mit der Höhenanpassung | 42 |
| 3 | Forschungsfrage | 44 |
| 3.1 | Hypothese | 44 |
| 4 | Methodik..... | 44 |
| 4.1 | Forschungsdesign..... | 44 |
| 4.2 | Stichprobenbeschreibung, demografische Angaben | 46 |
| 4.2.1 | Einschlusskriterien..... | 46 |
| 4.2.2 | Ausschlusskriterien | 46 |
| 4.3 | Erhebungsverfahren..... | 47 |
| 4.3.1 | Messgeräte | 47 |
| 4.3.2 | Die Kategorien des adaptierten Datenblattes, Selbstuntersuchung | 47 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.3.2.1 | Datum | 48 |
| 4.3.2.2 | Schlafhöhe | 48 |
| 4.3.2.3 | Tageshöhe | 48 |
| 4.3.2.4 | Gehzeit, Höhenmeter, Distanz | 49 |
| 4.3.2.5 | Ruhepuls | 49 |
| 4.3.2.6 | Herzfrequenzvariabilität, Heart rate variability (HRV) | 50 |
| 4.3.2.7 | Sauerstoffsättigung | 52 |
| 4.3.2.8 | Das Punktesystem | 53 |
| 4.3.2.9 | Puls | 53 |
| 4.3.2.10 | Schlaf..... | 54 |
| 4.3.2.11 | Kopfschmerz..... | 54 |
| 4.3.2.12 | Appetit, Übelkeit | 55 |
| 4.3.2.13 | Urin..... | 55 |
| 4.3.2.14 | Stuhl | 56 |
| 4.3.2.15 | Müdigkeit – Schwäche..... | 57 |
| 4.3.2.16 | Schwindel..... | 58 |
| 4.3.2.17 | Leistungsfähigkeit | 58 |
| 4.3.2.18 | Tagessumme | 59 |
| 4.3.2.19 | Eingenommene Medikamente | 59 |
| 4.4 | Die CV4 - Technik..... | 59 |
| 4.4.1 | Intervention mittels CV4 - Technik | 60 |
| 4.5 | Datenverarbeitung und Auswertung | 61 |
| 4.5.1 | Signifikanzniveau..... | 62 |
| 5 | Ergebnisse | 62 |
| 5.1 | Darstellung der Messungen | 62 |
| 5.1.1 | Daten des Untersuchungsblattes, Gegenüberstellung Testgruppe - Kontrollgruppe | 62 |
| 5.1.1.1 | Ruhepuls | 63 |
| 5.1.1.2 | Sauerstoffsättigung | 65 |
| 5.1.1.3 | Herzfrequenzvariabilität | 67 |
| 5.1.1.4 | Tagessumme | 69 |
| 5.1.2 | Darstellung und Beschreibung der Daten vor und nach der Intervention (Einzelpersonen)..... | 71 |
| 5.1.2.1 | Testperson 1 | 71 |
| 5.1.2.2 | Testperson 2 | 74 |
| 5.1.2.3 | Testperson 3 | 77 |
| 5.1.2.4 | Kontrollperson 1 | 80 |
| 5.1.2.5 | Kontrollperson 2 | 83 |
| 5.1.2.6 | Kontrollperson 3 | 86 |
| 5.1.3 | Darstellung und Beschreibung der Messdifferenzen vor und nach der Intervention zwischen Test- und Kontrollgruppe | 89 |
| 5.1.3.1 | Puls in Ruhe | 89 |
| 5.1.3.2 | Sauerstoffsättigung | 90 |
| 5.1.3.3 | Herzfrequenzvariabilität | 91 |
| 5.2 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 91 |
| 5.2.1 | Untersuchungsblatt | 91 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.2.2 | Vergleich vor und nach der Intervention, Einzelpersonen | 92 |
| 5.2.3 | Vergleich vor und nach der Intervention bzw. Messung, Test- und Kontrollgruppe | 93 |
| 6 | Diskussion..... | 93 |
| 7 | Konklusion | 97 |
| 8 | Abbildungsverzeichnis..... | 99 |
| 9 | Literaturverzeichnis | 101 |
| 10 | Anhang | 105 |
| 10.1 | Titelblatt..... | 105 |
| 10.2 | Eidesstattliche Erklärung..... | 106 |
| 10.3 | Lake – Louise – Score | 107 |
| 10.4 | Untersuchungsblatt | 110 |
| 10.5 | Messwerte..... | 111 |
| 11 | Kurzzusammenfassung Englisch..... | 1 |

1 Einleitung

Kann man mit Hilfe der Osteopathie die Anpassung des menschlichen Körpers an extreme Höhen positiv beeinflussen?



Abbildung 1: Mannschaft am Flughafen

Diese Frage stellte ich mir einige Monate vor dem Aufbruch zu einer Expedition zu den Karakorumriesen Broad Peak (8047 Meter) und K2 (8611 Meter). Ziel war die Besteigung dieser Gipfel "by fair means", d. h. ohne Verwendung von künstlichem Sauerstoff und ohne die Hilfe von Hochträgern.

Wir, ein Team bestehend aus 7 befreundeten Berufsbergführern, starteten am 27. Mai 2004 von München über Dubai nach Islamabad (1000 Meter), der Hauptstadt Pakistans.

Nach zweitägiger Überwindung der für eine 8000er-Expedition vorgeschriebenen bürokratischen Hürden ging es für uns über Skardu, der Hauptstadt Baltistans (2200 Meter) weiter ins ca. 800 Kilometer entfernte Askole (3050 Meter), der letzten mit einem Geländefahrzeug erreichbaren Siedlung.

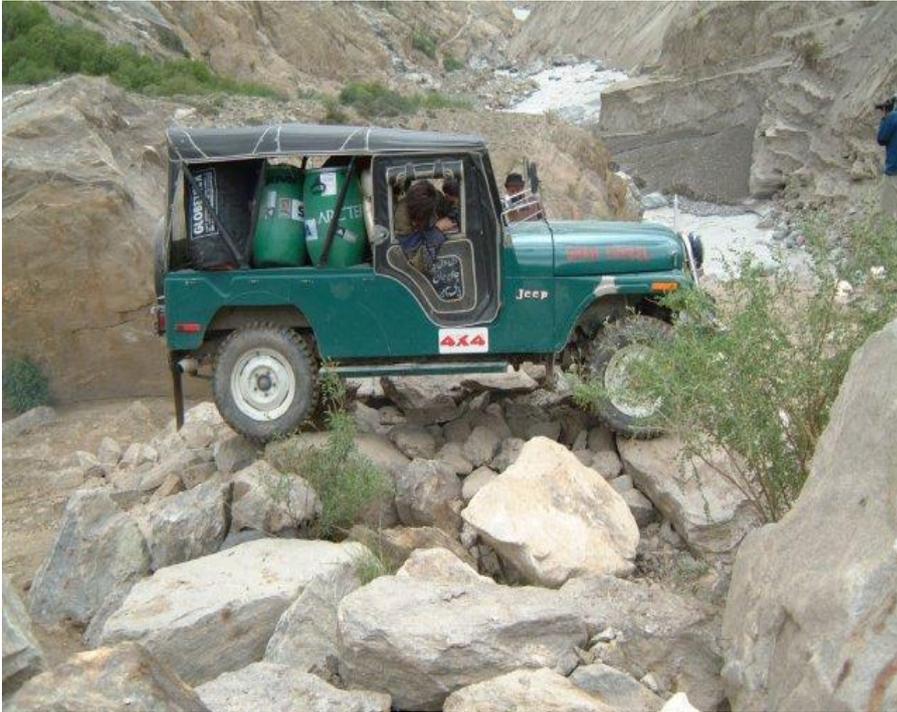


Abbildung 2: Auf dem Weg nach Askole

Nach der Verpflichtung der Balti-Träger, ohne die ein Erreichen des Bergfußes mit Ausrüstung und Verpflegung für zwei Monate unmöglich wäre, begannen wir am dritten Juni unseren zehntägigen Marsch Richtung Broad Peak Basislager auf 4900 Metern Höhe.



Abbildung 3: Träger auf dem Weg ins Basislager



Abbildung 4: Basislager, im Hintergrund der K2

Als staatlich geprüfter Berg- und Schiführer, Physiotherapeut und kurz vor dem Abschluss meiner Ausbildung zum Osteopathen übte diese höhenmedizinische Thematik einen großen Reiz aus. So hoffte ich, dass sich die Besteigung eines 8000ers mit dem Erstellen der Masterthesis zum Erwerb meines akademischen Titels „Master of Science in Osteopathie“ verbinden ließ.

Die Philosophie und Möglichkeiten der Osteopathie für ein gesteigertes Wohlbefinden von Höhenbergsteigern eventuell nutzen zu können, war mir ein wichtiger Antrieb um dieses Projekt zu verwirklichen.

Mit dem Bergführerkollegen und diplomierten Alpinwissenschaftler Walter Würtl an meiner Seite, konnte ich mein methodisches Vorgehen bereits zu Hause festlegen und im Verlauf der Expedition relativ problemlos durchziehen. Bei Voruntersuchungen, wofür mir die Unterdruckkammer des Instituts für Sportwissenschaften in Innsbruck zur Verfügung stand, bin ich schon auf einige Probleme bzw. am Berg kaum durchführbare Untersuchungen aufmerksam geworden. Beispielsweise wäre die Messung der Veränderungen des Flüssigkeitshaushaltes im Zusammenhang mit der Ödembildung (vgl. dazu Kap. 2.4) zu aufwändig und durch die Notwendigkeit das Körpergewicht nackt zu messen, nicht möglich gewesen.

Einzig die statistische Aussagekraft der Studie bereitete mir Kopfzerbrechen, da ich sowohl für die Test- als auch die Kontrollgruppe nur jeweils drei Personen zur Verfügung hatte. Dieses Problems waren wir uns von Anfang an bewusst, es war jedoch aufgrund der außergewöhnlichen Bedingungen und des bei derartigen Unternehmungen zur Verfügung stehenden kleinen Teams nicht zu lösen. Es wurde jedoch versucht, die Rahmenbedingungen, wie z.B. gemeinsames Agieren des gesamten Teams am Berg und dadurch annähernd gleiche körperliche Belastung der Test- und Kontrollgruppe vor den Selbstuntersuchungen bzw. Interventionen und Messungen, Tageszeit, Umgebungsbedingungen, Ernährung, Verzicht auf Medikamente usw., konstant zu halten.

Auch war eine Trennung zwischen dem Verfasser und dem Untersucher in dieser Pilotstudie nicht möglich.

Die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz (2011) definiert Pilotstudien als Studien, für deren Planung zu wenig Information vorliegt, so dass u. a. keine Fallzahlschätzung vorgenommen werden kann. Sie dienen in der Regel dazu, Daten als Planungsgrundlagen für eine folgende Studie zu erhalten.

Nach desig-n.de (2010) wird eine Pilotstudie auch als eine Vor-Studie bezeichnet, um erste Einblicke in ein unbekanntes Untersuchungsgebiet zu erhalten.

Bei der Frage nach der osteopathischen Intervention fanden sich bei der CV4 - Technik etliche Indikationen und Zusammenhänge, welche die Adaption des menschlichen Körpers für extreme Höhen beeinflussen könnten. In der Ausbildung an der internationalen Schule für Osteopathie in Wien wurde die CV4 – Technik als sehr universell einsetzbar und den Gesamtorganismus regulierend dargestellt. Nach Nusselein (2002) beeinflusst der CV4 den Strom des Liquor cerebrospinalis, die Kontinuität der Flüssigkeiten und den Flüssigkeitsaustausch im ganzen Körper bzw. die damit zusammenhängenden biochemischen Vorgänge. Durch die Kompression des vierten Ventrikels mit damit verbundener Stimulation der Nervenkerne, des lymphatischen Systems und des Ductus thoracicus bzw. des Diaphragmas über die Cisterna chyli, der verbesserten Versorgung der Körperzellen usw. hoffte ich meine drei Hauptparameter Sauerstoffsättigung, Herzfrequenzvariabilität und Ruheherzfrequenz (vgl. dazu Kap. 4.3.2) während und nach der Intervention messbar zum Positiven zu verändern.

Häufige höhenmedizinische Probleme wie Hirnödeme, Stauungskopfschmerz oder nervöse Spannungszustände usw. werden bei den Indikationen für Flüssigkeitstechniken in der Literatur erwähnt (Nusselein, 2002).



Abbildung 5: Intervention im Mannschaftszelt

Weitere Parameter wurden mittels eines Untersuchungsblattes (vgl. dazu Kap. 4.3.2) erhoben. Ich adaptierte dafür den von Mag. Würtl, aufbauend auf dem seit 1991 international verwendeten Lake-Louise-Score (Roach et al., 1993) erstellten Trex-Check (Würtl, 2005). Nach einer Unterweisung konnten die Probanden das Datenblatt selbst zur Feststellung ihres Akklimatisations- bzw. Gesundheitszustandes verwenden.

Außerdem erschien mir pragmatisch gesehen die Anwendung des CV4 auch unter den zu erwartenden schwierigen Bedingungen am Berg und zur Schonung meiner eigenen physischen Ressourcen gut geeignet. Durch bereits zu Hause nachgestellte Bedingungen, welche unterwegs zu erwarten waren (z. B. die räumliche Enge im Zelt), erschien mir das Einsetzen der CV4 - Technik gerade noch möglich. Es wurde einzig auf den Effekt der Technik in Bezug auf die erhobenen Werte den Akklimatisationsstand betreffend geachtet, auf weitere Behandlungsmaßnahmen wurde verzichtet.

Im folgendem Theorieteil werden Definitionen und Grundlagen des Höhenbergsteigens, relevante klimatische Veränderungen mit zunehmender Höhe (Sauerstoffpartialdruck, Luftdichte) und für meine Studie bedeutende physiologische Vorgänge und Veränderungen im Zusammenhang mit der Höhenanpassung dargestellt

Ebenso finden die durch den Aufstieg in große und extreme Höhen am häufigsten auftretenden Anpassungsstörungen ihre Erwähnung.

Da es meines Wissens noch keine osteopathische Studie in Zusammenhang mit der Höhenanpassung bzw. dem Höhenbergsteigen im Allgemeinen gibt, möchte ich diese Grundlagen auch etwas ausführlicher behandeln.

2 Höhenmedizin

Das Wort Höhe wird meist willkürlich verwendet. Geo Data Zone (2011) beschreibt verschiedene Definitionen vom Begriff Höhe, z. B. Tief- oder Hochland, landschaftsökologische Höhenstufen wie alpin oder nival usw.

In Bezug auf das Höhenbergsteigen wird Höhe aus medizinischer Sicht gesehen, d. h. aufgrund physiologischer Veränderungen im menschlichen Körper lassen sich die im folgenden Kapitel beschriebenen Höhenstufen unterscheiden.

2.1 Zum Begriff Höhe

Der Zusammenhang zwischen Höhe, Luftdruck und Sauerstoffpartialdruck und deren Auswirkungen auf den Menschen ist seit der Veröffentlichung von ``La Pression Barometrique`` des französischen Wissenschaftlers Paul Bert (1878) bekannt. Vor allem der abnehmende Sauerstoffpartialdruck, der in der medizinischen Fachliteratur oft als hypobare Hypoxie bezeichnet wird, und der dadurch auftretende Sauerstoffmangel mindern die menschliche Leistungsfähigkeit enorm.

Die Reduktion des Sauerstoffpartialdrucks in der Höhe bewirkt im menschlichen Organismus Anpassungsreaktionen. So beträgt der Sauerstoffpartialdruck auf 5000 Metern noch gut die Hälfte (540 Millibar), auf 8000 Metern nur noch gut ein Drittel (356 Millibar) des Drucks auf Meereshöhe (1013 Millibar).

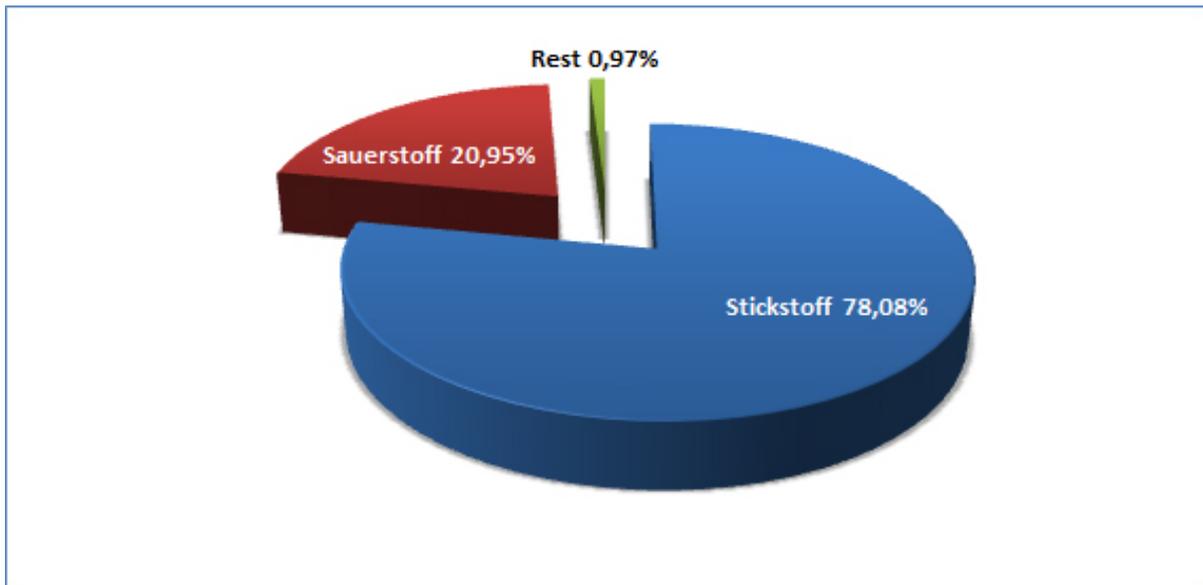


Abbildung 6: Gasmoleküle der Erdatmosphäre

Die Zusammensetzung der Luft ist bis weit über die höchsten Gipfel der Erde fast dieselbe. Die Atemluft setzt sich aus rund 78% Stickstoff (N₂), 21% Sauerstoff (O₂), 0,03% Kohlendioxid (CO₂) und 0,95% Edelgasen zusammen (siehe hierzu auch Abbildung 6).

Analog dazu verhält sich der Partialdruck der Gase (Daltonsches Gesetz), d. h. der Sauerstoffpartialdruck (PO₂) beträgt rund 21% des Gesamtluftdrucks. Der Sauerstoffpartialdruck in der Umgebungsluft ist zum Leidwesen der Höhenbergsteiger jedoch höher als der PO₂ in der Alveolarluft (vgl. dazu Kap.2.4.1).

Die Luftdichte bzw. der Luftwiderstand nehmen mit zunehmender Höhe ebenfalls ab. Luft in tiefen Lagen ist durch das Gewicht der auf ihr lastenden Luftsäule komprimierter als in großen Höhen. Da die Zusammensetzung in beiden Fällen jedoch dieselbe ist, enthält die Luft in tiefen Lagen bei gleichem Volumen mehr Gasmoleküle, d. h. sie ist dichter und auch visköser (vgl. dazu Kap.2.4.1).

Ward et al. (1975) beschreiben die Luftdruckabnahme mit zunehmender Höhe wie folgt:

“Barometric pressure decreases with altitude because the higher we go, the less atmosphere there is above us pressing down the virtue of it’s weight.”

2.1.1 Höhenstufen

Nach Berghold & Schaffert (2001) kann man folgende Höhenstufen unterscheiden:

- Mittlere Höhen von 1500 bis 2500 Meter

Hier führt die hypoxische Inspirationsluft bereits zu einem verminderten Sauerstoffdruck im Blut. Der Körper reagiert mit verstärkter Atmung um den Sauerstoffdruck im Blut zu erhöhen. Die arterielle Sauerstoffsättigung liegt in Ruhe noch immer über 90%. Die Versorgung der Gewebe mit Sauerstoff ist kaum eingeschränkt, eine Höhenakklimatisation ist nicht erforderlich. Die akute Höhenkrankheit ist in dieser Höhe noch kein Thema. Die Ausdauerleistungsfähigkeit sinkt um etwa 5% (vgl. dazu Kap. 4.3.2).

- Große Höhen von 2500 bis 5300 Meter

Ab ca. 2500 Metern muss sich der menschliche Körper gezielt akklimatisieren um keine Schäden davonzutragen. Diesen Bereich nennt man daher Schwellenhöhe. Die Sauerstoffsättigung im Blut liegt bereits deutlich unter 90%, Höhenanpassungsstörungen treten häufig auf. Die Ausdauerleistungsfähigkeit nimmt pro 1000 Höhenmeter Aufstieg um 10% ab.

- Extreme Höhen von 5300 bis 8850 Meter

Eine vollständige Anpassung des Körpers an diese Höhen ist nicht mehr möglich. Der Blutsauerstoffmangel bedingt massive Hyperventilation, alle physiologischen Funktionen sind massiv eingeschränkt. Zu langer Aufenthalt in diesen Höhen führt früher oder später zum Tod. Durch die Hyperventilation ist das Überleben über 7500 Metern jedoch noch kurzfristig möglich (sogenannte Todeszone). Berghold (1988, S. 139) erwähnt, dass der Begriff "Todeszone" kein fachlicher, sondern ein "dramatisierender Journalistenausdruck" sei.

Hochholzer (1996, S. 10 ff) unterscheidet zusätzlich die beiden folgenden Höhenstufen:

- Indifferenzzone von 0 bis 1200 Meter

Hier herrscht uneingeschränkte körperliche Leistungsfähigkeit, größere Reaktionen auf die Höhe sind nicht zu beobachten.

- Reizschwelle ab ca. 1200 Metern

Hier beginnt der menschliche Körper erstmals auf den Höhenreiz zu reagieren.

2.2 Physiologische Auswirkungen der Höhe

Wie stark sich der Sauerstoffmangel auf den menschlichen Organismus auswirkt, ist von der Höhe selbst (je höher, desto geringer sind sowohl Sauerstoffpartialdruck als auch Sauerstoffkonzentration in der Inspirationsluft) und der Geschwindigkeit der Exposition gegenüber sauerstoffarmer Luft abhängig.

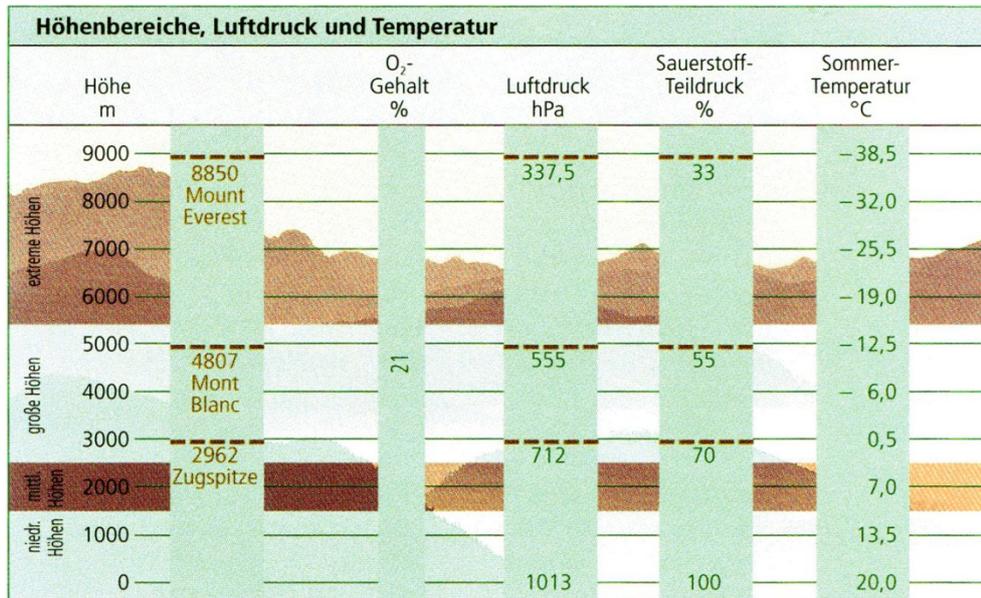


Abbildung 7: Höhenstufen, Mees (2005, S. 9)

Berghold & Schaffert (1997) beschreiben, dass ein plötzliches Aussetzen des Menschen auf eine Höhe von 1500 Metern bereits zu Einschränkungen des Nachtsehens sowie komplexer Hirnfunktionen führen kann. Akute Exposition auf 4000 Meter führt bereits zu Schwindel sowie Herz-Kreislauf- und Atemstörungen. Bewegungsstörungen, Krämpfe, Kollapsneigung sowie Bewusstlosigkeit treten ab 6000 Metern auf. Ab einer Höhe von 7000 Metern werden rund 80%, auf Höhe des Mount Everest 100% der Menschen innerhalb von höchstens drei Minuten bewusstlos und sterben kurz darauf.

2.3 Höhenakklimatisierung

Pollard & Murdoch (1998) beschreiben den Begriff der Höhenakklimatisierung mit dem Prozess der schrittweisen Anpassung des Organismus an die Hypoxämie in der Höhe. Dieser Vorgang ist bis heute noch nicht vollständig erforscht.

Innerhalb von Stunden bis mehreren Wochen laufen eine Reihe von

Anpassungsvorgängen ab, deren Ziel es ist, dem Körper eine zunehmende Sauerstoffaufnahme bzw. einen effizienteren Sauerstoffumsatz zu ermöglichen. Die Dauer des Akklimatisationsvorgangs hängt von der Aufstiegsgeschwindigkeit, der erreichten Höhe, dem zurückgelegten Höhenunterschied und auch dem Gesundheitszustand ab.

Akuter, starker Sauerstoffmangel (z. B. bei Druckabfall in der Kabine eines Flugzeugs) führt zu ganz anderen Effekten im Organismus als dies bei einem Bergsteiger der Fall ist, der dieselbe Höhe erst nach wochenlangem Anmarsch erreicht.

Richalet (1991) unterscheidet vier Phasen der Akklimatisation mit folgenden Hauptmerkmalen:

2.3.1 Akutphase (bis sechs Stunden nach Ankunft auf einer höheren Lage)

Erste Reaktion des Körpers auf eine neue Höhe bis zum Beginn der Akklimatisationsphase:

- Steigerung der Herzfrequenz (HF) und des Herzminutenvolumens (HMV) mit damit einhergehender Durchblutungssteigerung im Gewebe
- Steigerung der Atemfrequenz (AF), des Atemzugvolumens (AV) und des Atemminutenvolumens (AMV), d. h. Hyperventilation (Silbernagel & Despopoulos, 2007, S. 144)
- Erhöhung des pH-Wertes aufgrund verstärktem Abatmens von CO₂ (respiratorische Alkalose, vgl. dazu Kap. 2.3.6.1) und dadurch verbesserte O₂-Sättigung des Blutes in der Lunge
- Kein Auftreten der Höhenkrankheit

2.3.2 Akklimatisationsphase (ab sechs Stunden bis sieben Tage)

- Maximalwert von HF und HMV mit anschließendem langsamen Abfall
- AF, AV und AMV bleiben erhöht
- Senkung des erhöhten pH-Wertes durch die Ausscheidung von Bikarbonat über die Niere, d. h. Bikarbonaturie (Silbernagel & Despopoulos, 2007, S. 174)
- Verbesserte O₂ Abgabe vom Blut ins Gewebe

- Blutplasmavolumenverschiebung, d. h. Anstieg des Hämatokrits (vgl. dazu Kap. 2.3.8.1)
- Auftreten aller Formen der Höhenkrankheit

2.3.3 Stabilisationsphase (je nach Höhe sieben bis ca. 21 Tage)

Abgeschlossene Akklimation, der Organismus ist auf niedrigerem Niveau voll leistungsfähig:

- HF wie auf Talniveau
- AF, AV und AMV bleiben gesteigert
- pH-Wert auf Normalniveau
- O₂ Abgabe vom Blut ins Gewebe bleibt erhöht

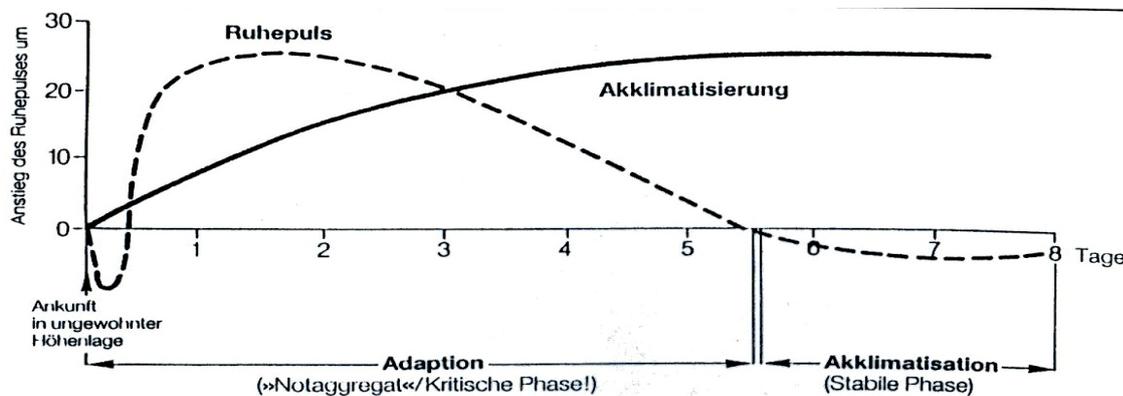


Abbildung 8: Entwicklung des Ruhepulses im Verlauf der Akklimation (Berghold & Schaffert, 2001, S.14)

2.3.4 Deteriorationsphase (ab 21 Tagen, stark höhenabhängig)

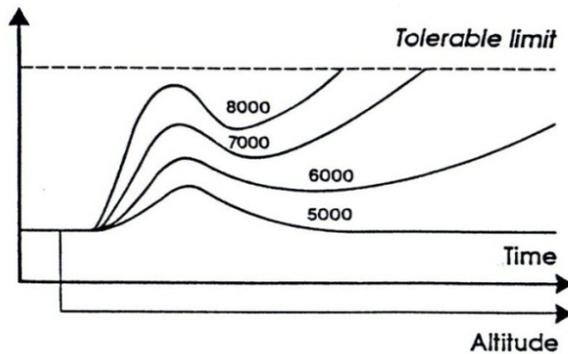
Langer Aufenthalt in extremer Höhe beginnt sich progredient negativ auf den Körper auszuwirken (Höhendeterioration):

- HF steigt wieder an
- Verlust von Muskelmasse
- Kachexie
- Dehydration
- Weiterer Anstieg des Hämatokrits, d. h. Gefahr von Thrombosen, Embolien und Erfrierungen
- Antriebslosigkeit

In extremen Höhen können diese Phasen nicht mehr vollständig durchlaufen werden, es kommt zu einer sog. Teilakklimation mit einem fließenden Übergang zur

Deteriorationsphase (vgl. dazu Kap.2.1.1).

Signs of maladaptation



Signs of maladaptation

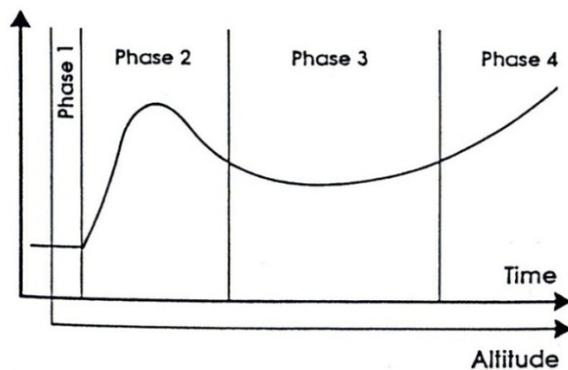


Abbildung 9: Höhendeterioration (Berghold & Schaffert, 1997, S. 25)

Laut Berghold & Schaffert (1997) weisen folgende, gut feststell- bzw. messbare Parameter auf einen günstigen Akklimatisationsverlauf hin:

- Hyperventilation, d. h. gesteigerte Atemantwort, hypoxic ventilatory response (HVR)
- Gesteigerte Tagesharnmenge bzw. gesteigerte Nykturie
- Auf anfänglich erhöhte Ruheherzfrequenz nach vollzogener Akklimatisation Rückkehr in den individuellen Normbereich.

Um eine gute Akklimatisation überhaupt erst zu ermöglichen sollte man sich an folgende, heute unter Höhenbergsteigern allgemein anerkannte höhentaktische Regeln halten:

- Nicht zu schnell aufsteigen:

Wenn möglich einige Nächte auf 2500-3000 Metern verbringen. Jenseits dieser Höhe die Schlafhöhe um nicht mehr als 300-600 Höhenmeter steigern. Bei höheren Tagesetappen einen zusätzlichen Ruhetag einlegen.

- Höher als die Schlafhöhe aufsteigen:

Nach Ankunft am Schlafplatz nach kurzer Rast ohne Gepäck noch 100 bis 200 Höhenmeter aufsteigen, anschließend Rückkehr zum Schlafplatz.

- Auf den Puls achten:

Während der Akklimatisation einen Belastungspuls von unter 140 Schlägen pro Minute anstreben. Der morgendliche Ruhepuls sollte um nicht mehr als 20% des Ausgangswertes (zu Hause) gesteigert sein, ansonsten nicht weiter aufsteigen.

- Nur gesund aufsteigen:

Insbesondere bei Infektionen der Atemwege und Durchfallerkrankungen nicht weiter aufsteigen, da sich das Risiko höhenkrank zu werden dadurch steigert.

- Viel trinken:

Täglich mehr als 2 Liter trinken (kein Alkohol), die tägliche Urinmenge sollte einen Liter übersteigen.

- Nicht zu lange in extremer Höhe bleiben:

Nur so kann man der Höhendeterioration entgehen.

2.4 Physiologische Auswirkungen durch Höhenexposition auf zellulärer Ebene

In diesem Abschnitt wird näher auf die zum Teil bereits in Kapitel 2.3. erwähnten Vorgänge eingegangen.

Zunehmende Höhe und die sich dadurch ergebende sinkende inspiratorische Sauerstoffkonzentration bzw. der verminderte Sauerstoffpartialdruck lösen eine Anpassung der Sauerstofftransportsysteme aus. Der Sauerstofftransport von der Außenluft bis zu den Mitochondrien geschieht nach Podolsky (1996) im Wesentlichen in 4 Bereichen:

- Von der Außenluft in die Alveolen
- Aus den Alveolen in die Lungenkapillaren (Gasaustausch)
- Durch das Herz-Kreislaufsystem und das Blut ins Gewebe
- Aufnahme des Sauerstoffs ins Gewebe

Laut Hochholzer (1996) können die Gewebe des Körpers längere Zeit ohne Sauerstoff nicht überleben. Die kürzesten Toleranzzeiten haben Gehirnzellen, hier treten bereits nach 4 bis 6 Minuten irreversible Schädigungen auf. Muskelzellen tolerieren fehlenden Sauerstoff wesentlich länger (30 Minuten und mehr), Hepatozyten können sich sogar nach über 2 Stunden totaler Ischämie noch

vollständig erholen.

2.4.1 Der Transport des Sauerstoffs von der Außenluft in die Alveolen

Eingeatmete Luft wird auf Körpertemperatur erwärmt und bis zur 100%igen Sättigung befeuchtet. Dieser Wasserdampf ersetzt einen Teil des Sauerstoffs und reduziert den Sauerstoffpartialdruck (PO_2) in der eingeatmeten Luft gegenüber der trockenen Außenluft. Außerdem kommt es durch die Vermischung der Einatemluft mit der Luft des anatomischen Totraums bzw. des in den Alveolen anfallenden Kohlendioxids zu einer weiteren Senkung des Sauerstoffdrucks in der Alveolarluft. Dieser Effekt wird mit zunehmender Höhe immer größer, wird jedoch aufgrund der höhenbedingten Hyperventilation (vgl. dazu Kap. 2.4.1.1), welche durch die geringere Luftdichte und die dadurch geringere Viskosität der Luft erleichtert wird, teilweise abgepuffert. Untersuchungen von Ward et al. (1995) haben ergeben, dass die Ventilation in großen Höhen bis zum Atemgrenzwert (maximal schnelle und tiefe Ein- und Ausatmung) ansteigen kann, was dem Höhenbergsteiger die Möglichkeit gibt, das kleinere Sauerstoffangebot durch den geringeren Sauerstoffpartialdruck zum Teil auszugleichen.

2.4.1.1 Atemantwort auf Sauerstoffmangel

Podolsky (1996) führt an, dass für den Anstieg der Ventilation unter hypoxischen Bedingungen vor allem die in der Carotisbifurkation lokalisierten Carotiskörperchen (Glomus caroticum) und die ober- und unterhalb des Aortenbogens gelegenen Aortenkörperchen (Glomus aorticum) verantwortlich sind. Es handelt sich um periphere Chemosensoren (vgl. dazu Abb. 10), die, in direktem Kontakt mit dem arteriellen Blut stehend, vor allem auf ein Absinken des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks reagieren.

Bei Senkung des arteriellen PO_2 kommt es unmittelbar zu einer Steigerung der Ventilation, was mit einem Abfall des arteriellen PCO_2 einhergeht. Im Tierversuch führte eine Entfernung der peripheren Chemosensoren zu einer Atemdepression.

Podolsky (1996) beschreibt, dass das Überleben auf 8000 Metern bei normaler Ventilation nicht möglich wäre. Durch massives hyperventilieren sinkt der Kohlendioxid-Partialdruck (PCO_2) in den Alveolen durch die Abatmung, was

wiederum Kapazitäten für eine Erhöhung des PO_2 schafft. Diese massive Atemantwort (HVR) auf den verminderten Sauerstoffpartialdruck ist jedoch nur akklimatisierten Bergsteigern möglich.

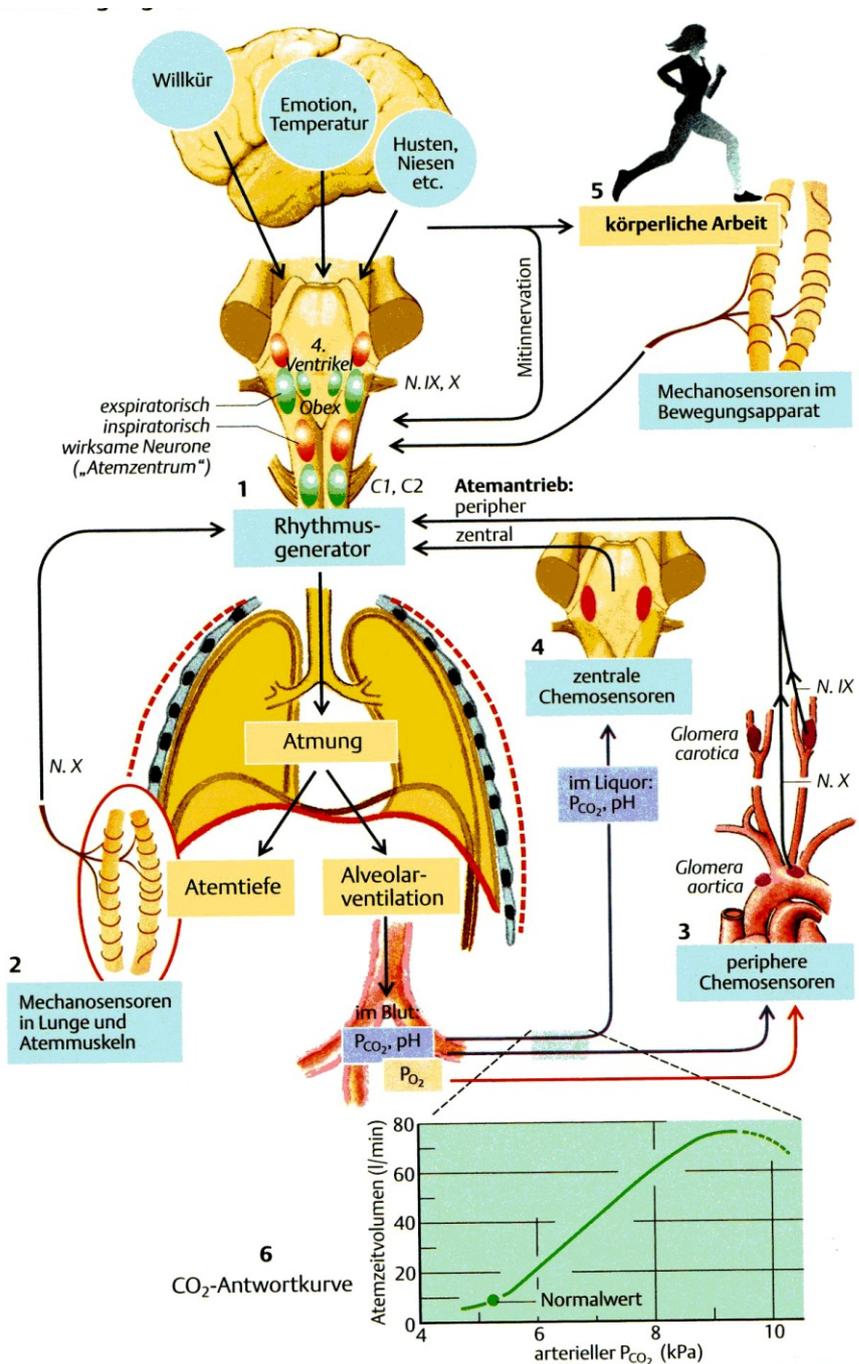


Abbildung 10: Periphere und zentrale Chemosensoren (Silbernagl & Despopoulos, 2007, S. 133)

Weiters liegen zentrale Chemosensoren im ventralen Anteil der Medulla oblongata. Sie reagieren auf H^+ -Konzentrationsänderungen der extrazellulären Flüssigkeit, deren Zusammensetzung v. a. durch den Liquor cerebrospinalis, aber auch durch die lokale Durchblutung und den lokalen Metabolismus bestimmt wird. Liquor

cerebrospinalis ist vom Blut durch die Blut-Hirnschranke getrennt. Diese ist relativ impermeabel, nur molekulares CO_2 diffundiert leicht. Bei einem Anstieg des arteriellen PCO_2 kommt es zu einer Diffusion von CO_2 in den Liquor. Dort verbindet er sich mit H_2O zu H_2CO_3 , was wiederum zu H^+ und HCO_3^- dissoziiert. Diese Steigerung der H^+ Ionen, ausgelöst durch den Anstieg der arteriellen PCO_2 löst die Hyperventilation über die zentralen Chemosensoren aus. Der Anstieg des arteriellen PCO_2 bringt eine Gefäßerweiterung im Gehirn, was zu einer Durchblutungssteigerung und Diffusion von molekularem CO_2 in den Liquor führt.

Interaktion der Rezeptoren bei akuter Hypoxie

Unter normoxischen Bedingungen ist der arterielle Kohlendioxidpartialdruck (P_aCO_2), überwacht durch die zentralen Chemosensoren, der wichtigste Faktor der Atemregulation.

Unter hypoxischen Bedingungen wird die Atmung durch den sinkenden Sauerstoffpartialdruck (P_aO_2) über die peripheren Chemosensoren stimuliert. Dies führt zu einer Senkung des P_aCO_2 , es kommt zur respiratorischen Alkalose, worauf die zentralen Chemosensoren mit einer Reduktion der Ventilation reagieren, eine cerebrale Vasokonstriktion ist die Folge. Die gegenläufigen Reizantworten der beiden Sensorentypen führen also zu einer Abschwächung der Atemantwort auf Hypoxie. Bei noch nicht erfolgter Akklimatisation befindet sich das Atemminutenvolumen innerhalb der ersten 7 bis 10 Tage daher noch auf niedrigem Niveau. Nach erfolgter Anpassung kommt es zu einer Änderung des "set points" der zentralen Chemosensoren, der P_aCO_2 wird auf ein niedriges Niveau eingestellt und die Atemantwort auf Impulse der peripheren Sensoren wird durch die zentralen Sensoren nicht mehr gehemmt, was zu einem Anstieg des P_aO_2 führt. Sowohl die peripheren als auch die zentralen Chemosensoren stehen unter Kontrolle des Hypothalamus, mit seinen dem vegetativem Nervensystem übergeordneten Zentren (u. a. für die Atmungsregulation).

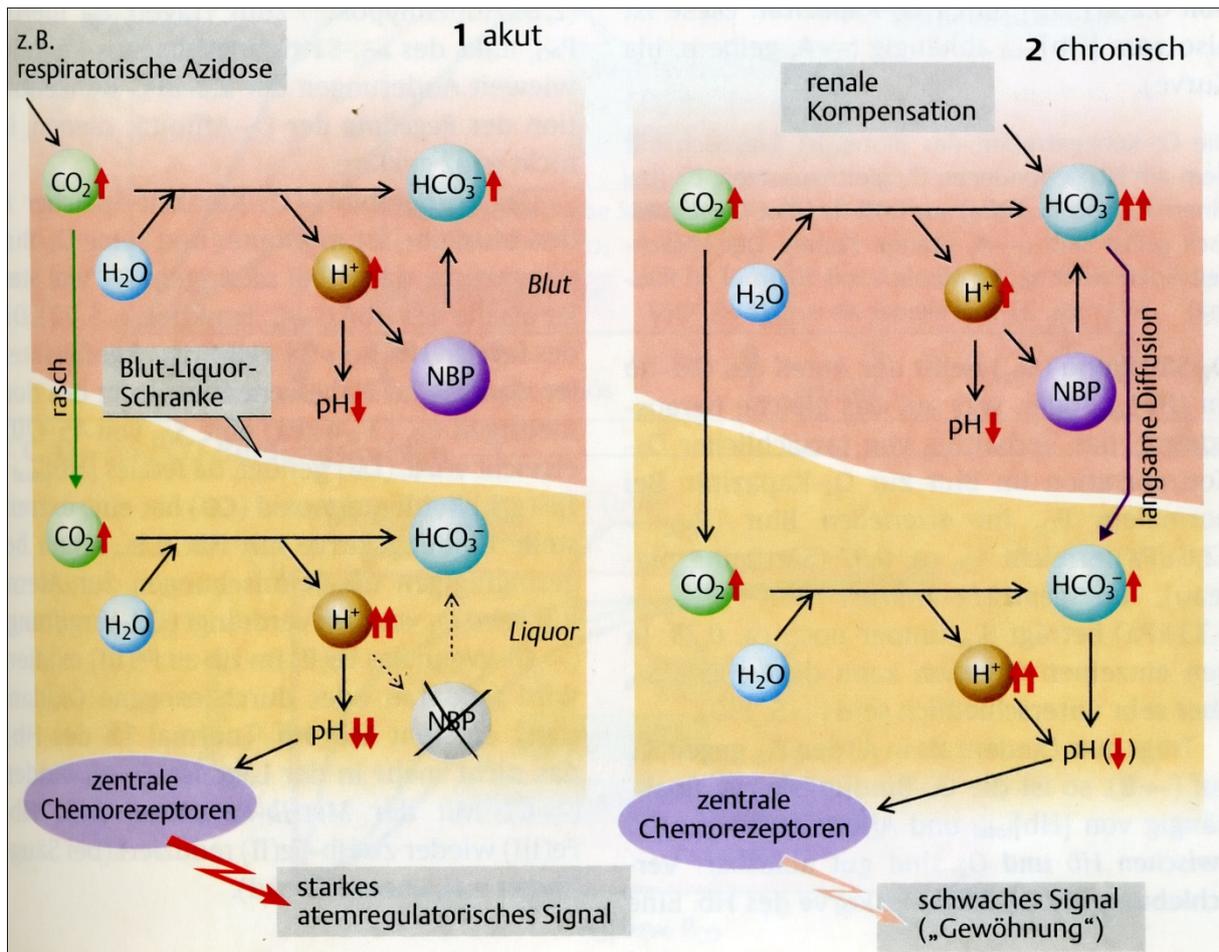


Abbildung 11: CO₂ im Liquor (Silbernagl & Despopoulos, 2007, S. 127)

Respiratorische Alkalose

Durch die gesteigerte Ventilation in großer Höhe wird vermehrt CO₂ abgeatmet, d.h. es kommt zu einem fallenden CO₂-Partialdruck im Blut. Das Verhältnis der Bikarbonat-Konzentration (HCO₃) zur Konzentration des gelösten Kohlendioxids im Blut verschiebt sich in Richtung alkalisch, d. h. der pH-Wert steigt. Diese Reaktion wird respiratorische Alkalose genannt. Durch das Bestreben des Körpers den pH-Wert auf 7,4 gleichbleibend zu halten, wird ein Teil des Bikarbonats über die Nieren und den Urin wieder ausgeschieden (Bikarbonaturie), es kommt zu einer renalen Kompensation.

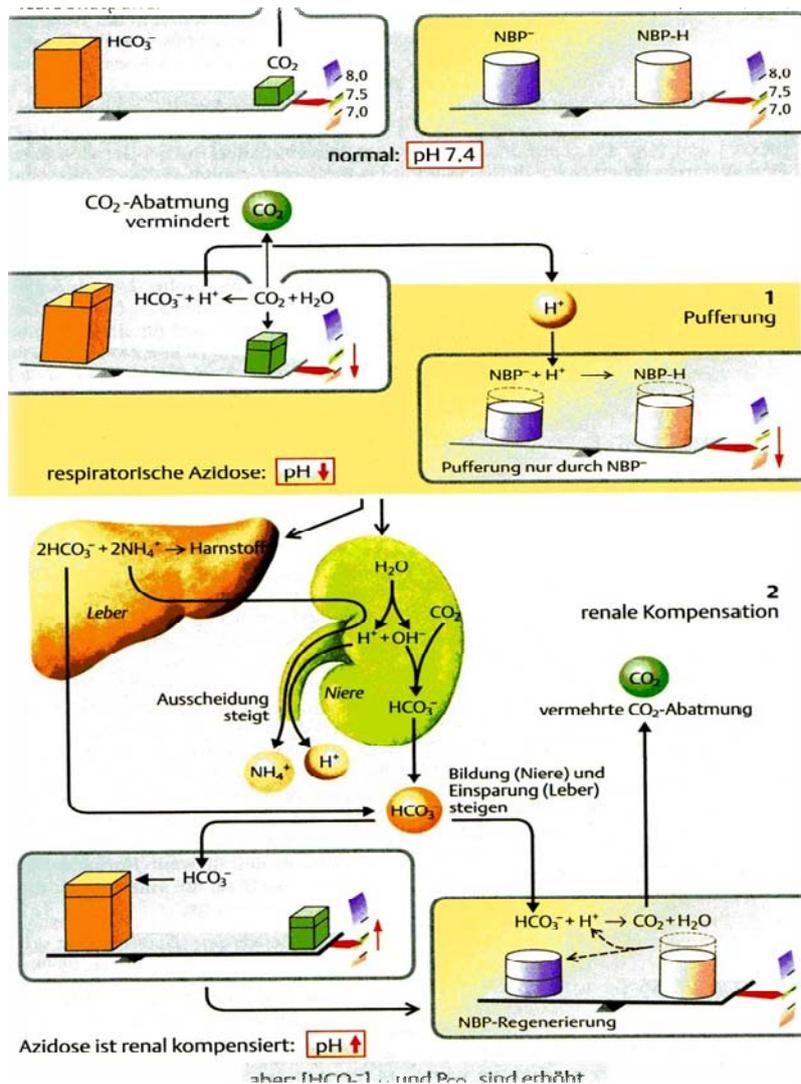


Abbildung 12: Respiratorische Azidose/Alkalose, Silbernagl & Despopoulos (2007, S 145)

2.4.2 Der Weg des Sauerstoffs von den Alveolen in die Lungenkapillaren und in den arteriellen Kreislauf

Bei diesem Vorgang gelangt Sauerstoff durch passive Diffusion in die Lungenkapillaren. An das Hämoglobin gebunden bzw. zu einem kleineren Teil gelöst im Blut, kommt der Sauerstoff von den Kapillaren über das Herz in den arteriellen Kreislauf. Der Gasaustausch erfolgt aufgrund des Druckgradienten an der alveolo-capillären Membran (alveolo-arterielle PO₂ Differenz = AaDO₂). Die alveolo-arterielle Sauerstoffdifferenz beträgt in Ruhe ca. 6 bis 10mm HG. Als Grund dafür beschreibt Hultgren (1997), dass Ventilation und Perfusion nicht immer in allen Lungenabschnitten ideal aufeinander abgestimmt sind. Außerdem gelangt ein kleiner Teil des venösen Blutes durch Kurzschlussverbindungen direkt in die

Lungenvenen, d. h. ins arterielle Blut, ohne am Gasaustausch beteiligt zu sein.

In der Höhe wird der Gasaustausch in die Lungenkapillaren durch den gesunkenen Sauerstoffpartialdruck beeinträchtigt. Der geringere Sauerstoffpartialdruck verringert auch den Druckgradienten zwischen Alveolen und Kapillaren. Als Ausgleich müsste sich die Kontaktzeit zwischen Alveolen und den Erythrozyten in den Kapillaren erhöhen, um einen vollständigen Konzentrationsausgleich zu ermöglichen. Unter körperlicher Belastung kommt es jedoch zu einer Erhöhung der Blutströmungsgeschwindigkeit und damit zu einer Verringerung der Kontaktzeit. Deshalb nimmt in großen und extremen Höhen die Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes unter körperlicher Belastung noch mehr ab.

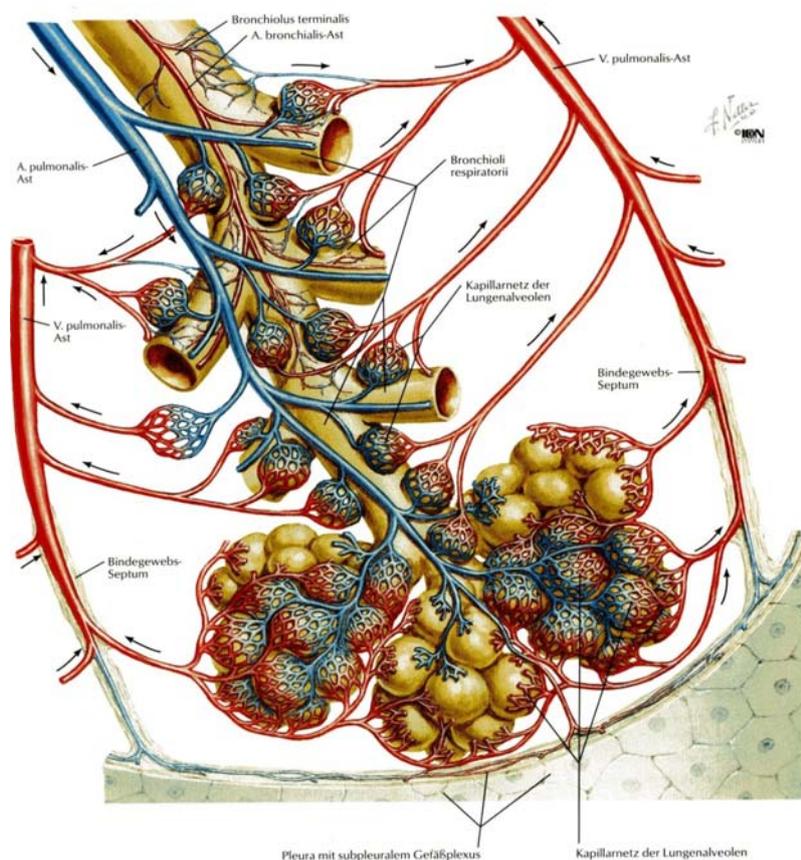


Abbildung 13: Der Weg des Sauerstoffes von den Alveolen in die Kapillaren (Netter 2000, Tafel 193)

Um dies etwas auszugleichen, d. h. den Sauerstoffdruck in den Kapillaren zu erhöhen, werden dem Bergsteiger vor allem zwei Maßnahmen empfohlen:

- Sehr guter Ausdauertrainingszustand

Die Herzfrequenz steigt bei Belastung nicht so stark an, die Kontaktzeit zwischen Alveolen und Erythrozyten wird verlängert.

- Hyperventilation

Der Sauerstoffdruck in den Alveolen erhöht sich, dies führt zu einer Verringerung der zum Konzentrationsausgleich nötigen Kontaktzeit.

Die apparativ und ohne invasiven Eingriff auch unter extremen Bedingungen leicht mögliche Messung der Sauerstoffsättigung stellt in dieser Studie einen wichtigen Parameter zur Beurteilung des Anpassungsverlaufs dar.

2.4.3 Der Sauerstofftransport in die peripheren Gewebe mittels des Herz-Kreislaufsystems

Das Herz-Kreislaufsystem verbindet Lunge (O_2 -Aufnahmesystem) und die peripheren Gewebe (O_2 -Verbraucher).

Vogel et al. (1967) erwähnen, dass akute Hypoxie das Herzminutenvolumen (HMV) sowohl in Ruhe als auch unter Belastung steigert. Die Erhöhung des HMV wird v. a. durch einen Anstieg der Herzfrequenz erreicht. Diese Reaktion bewirkt eine Verbesserung des Sauerstofftransports in die Peripherie. Im Rahmen der Akklimation nehmen das HMV und die Herzfrequenz wegen der Verbesserung der Sauerstofftransportkapazität wieder ab. Bis ca. 5000 Meter können die Ausgangswerte (in Tallage) sogar unterschritten werden.

Für die Beurteilung des Akklimationsverlaufs und für diese Studie nimmt die HF als einfach messbare Größe einen hohen Stellenwert ein. Eine Konsolidierung der Ruheherzfrequenz (RHF) in den Bereich des Ausgangswertes in Tallage wird als Zeichen abgeschlossener Akklimation betrachtet. Eine ständige Erhöhung der RHF unter 5500 Metern gilt jedoch als Zeichen für ein verringertes Blutplasmavolumen infolge einer Dehydration und somit als Warnsignal.

Wagner (1989) schreibt, dass Hypoxie den pulmonal-arteriellen Druck in Ruhe und bei Belastung erhöht. Dies geschieht aufgrund einer Vasokonstriktion im Lungengefäßbett und das erhöhte HMV. Dieser generalisierte Druckanstieg bringt keine Vorteile für den Gasaustausch. Bei chronischer Hypoxie spielt er jedoch vermutlich eine Rolle bei der Entstehung eines Höhenlungenödems (HAPE).

2.4.3.1 Das Blut

Das Blut besteht aus Blutplasma (Blutflüssigkeit) sowie Erythro-, Leuko- und Thrombozyten (Blutkörperchen). Die zweitgenannten festen Bestandteile des Blutes

machen beim Mann ca. 46% aus. Dieser Wert der Blutkörperchen wird Hämatokrit (Hb%) genannt. Laut Hultgren (1997) ist der Wert von Leuko- und Thrombozyten nur geringen Schwankungen unterworfen, deshalb kann durch eine Änderung des Hämatokrits direkt auf eine Änderung der Erythrozytenzahl geschlossen werden.

Sauerstoff wird im Blut v. a. an Hämoglobin gebunden. Der wohl wichtigste Akklimatisationseffekt ist die hypoxiebedingte Vermehrung der Erythrozyten mit damit einhergehender Verbesserung der Sauerstofftransportkapazität. Für den Anstieg des Hämatokrits sind v. a. zwei Vorgänge verantwortlich:

- Die Vermehrung der Erythrozyten

Bereits nach zwei Stunden Höhengedächtnis (Akutphase, vgl. dazu Kap. 2.3.1) kommt es zu einem Anstieg der Erythropoetin-Konzentration (EPO) im Plasma. Als Grund wird ein Sauerstoffmangel in der Niere angenommen. Erythropoetin ist ein Hormon, welches die Bildung von Erythrozyten im Knochenmark anregt. Die Neubildung von Erythrozyten beginnt nach etwa 2 Tagen Höhengedächtnis (Akklimatisationsphase, vgl. dazu Kap. 2.3.2) und führt bei längerem Aufenthalt in der Höhe zu einem erhöhten Erythrozytenvolumen über mehrere Monate.

- Absinken des Plasmavolumens

Zink (1984) konnte nachweisen, dass sowohl das Gesamtkörperwasser als auch das Plasmavolumen in der Höhe rasch abnehmen. Die erhöhten Hämatokritwerte bei Höhenbergsteigern (>50Hb%) werden oft auch durch die Abnahme des Plasmavolumens und nicht nur durch die Vermehrung der Erythrozyten hervorgerufen.

Bei guter Akklimatisation und nicht erfolgter Dehydration ist ein Hämatokritanstieg bis maximal 60Hb% jedoch mit einer Verbesserung der Sauerstoffversorgung gleichzusetzen. Höhere Hb%-Werte führen aber zu einer stark erhöhten Viskosität des Blutes mit negativen Begleiterscheinungen wie peripheren Durchblutungsstörungen mit erhöhtem Risiko für Erfrierungen, Bildung von Thrombosen bzw. Embolien usw.

Da es nicht möglich war, im Rahmen der Thesis invasive Messungen durchzuführen, blieb nur die Möglichkeit, eventuelle Veränderungen der Sauerstoffanreicherung des Blutes zwischen Test- und Kontrollgruppe mittels des Pulsoxymeters zu erheben.

2.4.4 Die Aufnahme des Sauerstoffs ins Gewebe

Der letzte Schritt des Sauerstofftransports ist der Übergang von O₂ vom Blut in die

Gewebe. Schuhmacker (1991) beschreibt, dass sich die lokale Gewebsdurchblutung normalerweise nach dem momentanen Sauerstoffbedarf eines Gewebes richtet. Ist die Sauerstoffversorgung für den aktuellen Sauerstoffbedarf zu gering, wird der microvasculäre Tonus vermindert. Dadurch können mehr Kapillaren durchblutet werden, die Kapillaroberfläche vergrößert sich und die Verweildauer des Blutes in den Kapillaren steigt. Die Extraktion von Sauerstoff aus dem Blut wird erhöht.

Auf zellulärer Ebene bewirkt Hypoxie eine nicht mehr ausreichende Versorgung der Mitochondrien mit Sauerstoff. Dadurch ist die Adenosintriphosphat (ATP)-Resynthese, welche für eine normale Zellfunktion notwendig ist, nicht mehr vollständig gewährleistet. ATP ist ein Stoffwechselprodukt, das seine Energie von den energiereichen Nahrungsstoffen übernimmt. Es entsteht vor allem bei der Oxidation biologischer Moleküle (z.B. Glucose). Oxidation bedeutet hier Entzug von Elektronen vom elektronenreichen Kohlenhydrat. Als Endprodukte entstehen CO₂ und H₂O.

Silbernagl & Despopoulos (2007, S. 41) führen an:

„Die Energie, die bei der ATP-Hydrolyse freigesetzt wird, treibt Hunderte von Reaktionen im Organismus an, z.B. den aktiven Stofftransport durch Membranen, die Synthese von Proteinen und die Kontraktion von Muskeln. Mit diesem Energieaufwand entsteht bei all diesen Reaktionen, thermodynamisch gesehen, Ordnung in den Zellen und somit im ganzen Körper. Leben ist also durch eine dauernde Entropieverminderung gekennzeichnet, deren Preis der Anstieg der Entropie (Maß für die Unordnung) der Umwelt und letztendlich der des Universums ist.“

Unter chronischem Sauerstoffmangel kommt es im Muskelgewebe zu Reaktionen, die es ermöglichen, weiterhin muskuläre Leistung zu erbringen. Die erste Reaktion der Zelle auf Hypoxie ist die Steigerung des Glucosemetabolismus. Er führt zu einem Umschalten der Zelle von Fettsäureoxidation auf vorwiegende Glucoseverbrennung. Dadurch können mehr ATP-Moleküle pro Sauerstoffmolekül produziert werden, d.h. unter Hypoxiebedingungen ist eine Glucoseoxidation effektiver als eine Fettverbrennung.

Eine weitere Reaktion ist die bereits zu Beginn des Kapitels beschriebene Vergrößerung der Kapillaroberfläche (Schuhmacker, 1991).

Die Verkleinerung des Muskelfaserquerschnitts ist ein zusätzlicher Effekt der sich auf das Muskelgewebe bei chronischem Sauerstoffmangel auswirkt. Die Versorgung der Muskelzellen mit Sauerstoff ist abhängig vom Verhältnis der durchbluteten Kapillaren zur Anzahl der Muskelzellen. Eine Untersuchung von Hoppeler (1992)

bestätigt, dass es unter Sauerstoffmangel zu einer Abnahme des Muskelfaserquerschnitts und damit der Anzahl der Muskelzellen kommt. Dadurch verkleinert sich das Versorgungsgebiet jeder Kapillare, was die Distanz für die Diffusion des Sauerstoffs vom Blut in die Zelle verringert. Durch die zusätzliche Vermehrung des Myoglobins (roter Muskelfarbstoff, Sauerstoffspeicher im Muskel) unter Höhenexposition entwickelt sich eine verbesserte Sauerstoffversorgung der verbleibenden Muskelzellen.

2.5 Anpassungsstörungen in der Höhe

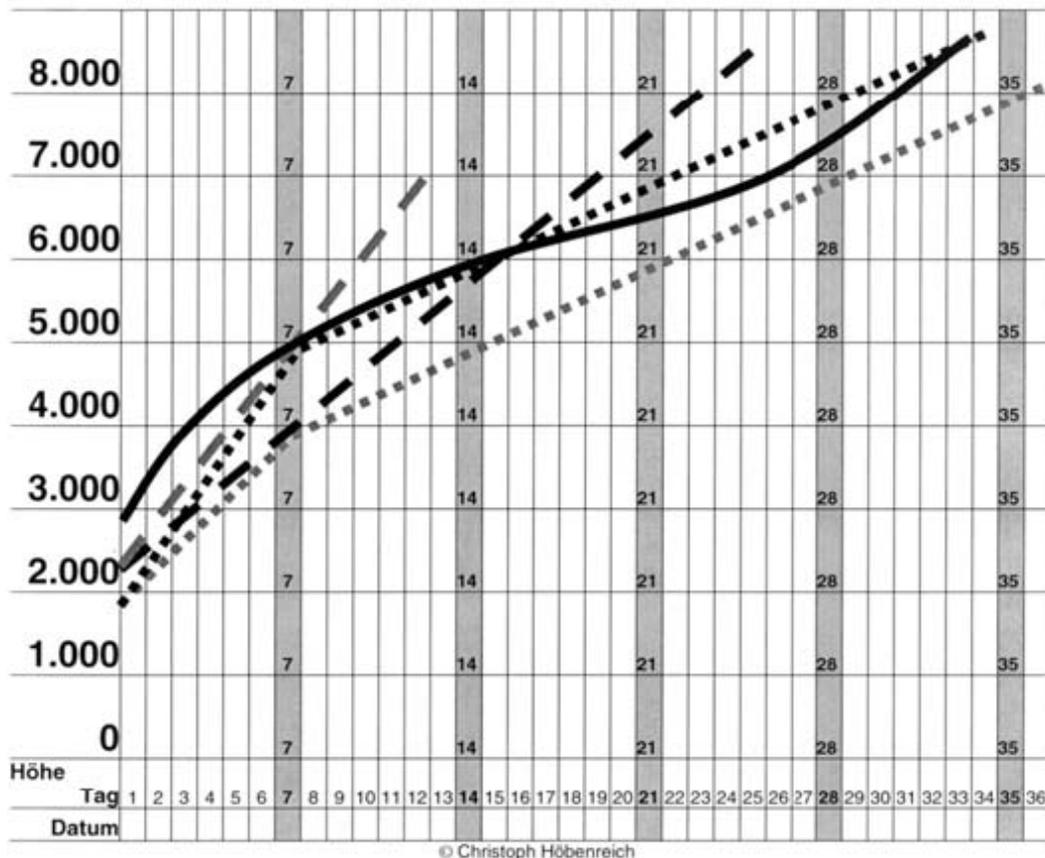
Die folgenden gesundheitlichen Störungen, die sich im Laufe des Anpassungsprozesses an ungewohnte Höhe (vgl. dazu Kap.2.3) ergeben können, sind aufgrund ihrer leider auch sehr hohen Letalität als Notfall zu betrachten und sicher keine Indikation für eine akute osteopathische Intervention. Trotzdem und zum besseren Verständnis der Zusammenhänge sind die wichtigsten Anpassungsstörungen in den folgenden Kapiteln beschrieben. Negative „Ausreißer“ sowohl bei den Messwerten als auch bei den zur Tagessumme zusammengefassten, durch die Probanden subjektiv zu beurteilenden Kategorien (vgl. dazu Kap. 4.3.2), mussten im Rahmen dieser Studie nicht nur in Bezug auf das Forschungsanliegen, sondern vor allem auf eventuell notwendige Notfallmaßnahmen betrachtet werden.

Die Behandlung bzw. die Notfallmaßnahmen für die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Erkrankungen bestehen aus taktischen Handlungen wie Unterbrechung des Aufstieges bzw. Abstieg, Sauerstoffgabe und Simulierung einer geringeren Höhe durch die hyperbare Kammer. Diese ist ein leichter, tragbarer Sack in dem der Patient gelagert wird. Mittels einer Pumpe wird durch den Druckanstieg ein Abstieg simuliert. Eine weitere oft lebensrettende Maßnahme besteht in der Gabe von Medikamenten wie Acetazolamid und Dexamethason im Falle der akuten Bergkrankheit und des Höhenhirnödems und Nifedipin zur Bekämpfung des Höhenlungenödems (vgl. dazu Kap.2.5.1 bis 2.5.3).

Für die in diesem Kapitel beschriebenen wichtigsten Erscheinungsformen der akuten Höhenkrankheit werden in den verschiedenen Quellen oft unterschiedliche Terminologien verwendet. In meinen Ausführungen stelle ich sowohl die deutschen als auch die englischen Bezeichnungen vor und verwende in weiterer Folge die englischsprachigen Abkürzungen.

Grundsätzlich wird zwischen einer zerebralen und einer pulmonalen

Erscheinungsform der akuten Höhenkrankheit unterschieden.



Empfehlungen zur Höhensteigerung

- ■ ■ ■ ■ Messner Tageshöhensteigerung: 1 Woche bis 5.000 m, dann 1.000 m/Woche
- □ □ □ □ Defensive Schlafhöhensteigerung: 1 Woche bis 4.000 m, dann 1.000 m/Woche
- · — · — Berghold/Schaffert Minimalsteigerung: 300 m/Tag + 1 Tag/1.000 m
- — — — — Berghold/Schaffert Maximalsteigerung: 600 m/Tag + 1 Tag/1.000 m
- — — — — Richalet: Durchschnittliches Akklimatisationsprofil

Abbildung 14: Empfehlungen zur Höhensteigerung (Höbenreich, 2002, S. 30)

2.5.1 Die akute Höhenkrankheit, Acute Mountain Sickness (AMS)

Berghold & Schaffert (2001) schreiben: "Jeder Mensch kann höhenkrank werden, wenn er nur schnell genug höher steigt".

Unter der AMS versteht man alle Erkrankungen die in Zusammenhang mit der hypobaren Hypoxämie stehen. Viele der pathophysiologischen Mechanismen, die zum Ausbruch der Erkrankung führen, sind bis heute nicht erforscht. Ebenso fehlen gegenwärtig viele Erkenntnisse über die individuelle Anfälligkeit zur Höhenkrankheit und Querverbindungen der einzelnen Krankheitsformen zueinander. Eigentlich leiden in großen Höhen alle an Hypoxie, jedoch sind von der AMS heimgesuchte

Personen hypoxämischer als nicht betroffene Menschen. Die Zeitverzögerung zwischen Hypoxieexposition und dem Eintreten der AMS ist im Gegensatz zum Syndrom der akuten Hypoxie (ein z. B. flugmedizinisches Thema) ebenfalls noch nicht gänzlich erklärt.

Berghold & Schaffert (1997) führen folgende Risikofaktoren für die AMS an:

- Verminderte hypoxische Atemantwort (Hypoxic Ventilatory Response = HVR)
- Vermehrter hypoxischer Pulmonalarteriendruck
- Individuell bekannte Höhenunverträglichkeit
- Übergewicht

Als auslösende Faktoren der AMS erwähnen sie:

- Nichtbeachtung höhentaktischer Regeln
- Überanstrengung mit Pressatmung
- Kälte
- Atemwegsinfekte
- Schlafmittel
- Alkohol
- Angst

Berghold & Schaffert (2001) bezeichnen die AMS als die milde Form der zerebralen Höhenkrankheit. Milledge (1983) schreibt: *“Nobody dies from mild AMS but many wish they could.”*

Die AMS wird häufig durch einen zu schnellen Aufstieg in Höhen über 3000 Meter ausgelöst. Die von Berghold & Schaffert (2001) genannten Symptome der AMS sind:

- Kopfschmerz (Leitsymptom) und mindestens eine der folgenden Beschwerden:
- Übelkeit, Erbrechen
- Müdigkeit
- Appetitlosigkeit
- RHF-Erhöhung über 20%
- Belastungsdyspnoe
- Verringerte 24 Stunden Urinmenge
- Schwindel und
- Schlafstörungen.

Diese Anzeichen treten meist schrittweise sechs bis zwölf Stunden nach Ankunft in der Höhe auf und verschwinden, wenn kein weiterer Aufstieg, bzw. der Abstieg erfolgt, nach ein bis drei Tagen. Selten tritt die AMS erst ein bis zwei Tage nach Erreichen der neuen Höhe auf.

Vermutlich ist für die AMS ein leichtgradiges Hirnödem verantwortlich. Beeinflussende Faktoren für die Gehirnschwellung sind wahrscheinlich:

- Das Raumangebot des Gehirns im Schädel, d. h. das Verhältnis der Gehirnmasse zu den cerebrospinalen Hohlräumen. Hier gibt es individuelle Unterschiede.
- Die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Höhenexposition. Nur eine schrittweise Exposition kann eine adäquate Sauerstoffversorgung und kompensatorische Absorption des Liquor cerebrospinalis gewährleisten.
- Eine zu schwache Atemantwort auf die Hypoxie (HVR) führt zu einer Hypoxämie. Diese kann zusammen mit einer Hyperkapnie (erhöhter CO₂-Gehalt im Blut) den Hirndruck erhöhen.
- Die Zurückhaltung von Flüssigkeit im Körper (Retention) durch die verringerte Urinmenge, wodurch es zu sogenannten peripheren Höhenödemen (HALE) aber auch Hirnödemen kommt.

Nach Berghold & Schaffert (2010) liegt die Inzidenz der AMS bis zu einer Höhe von 3500 Metern bei ca. 25%, oberhalb von 4000 Metern bei ca. 40%.

2.5.2 Das Höhenhirnödem, High Altitude Cerebral Edema (HACE)

Der Übergang zwischen der AMS und dem HACE ist meist fließend. Diese höhenbedingte Erkrankung ist relativ selten, jedoch immer akut lebensbedrohend. Patienten mit einem HACE zeigen zuerst dieselben Allgemeinsymptome wie bei der AMS, d. h. die Pathogenese sowohl der lebensbedrohenden als auch der milden Verlaufsform ist ident. Es kommt bei beiden Formen zu einer Zunahme der zerebralen Durchblutung sowie der extrazellulären Flüssigkeit im Gehirn. Durch die zunehmende Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke, der Zunahme des Liquor cerebrospinalis und dem steigenden Hirndruck kommt es zu einer Unterbrechung des Blutflusses und letzten Endes zum Tod.

Berghold & Schaffert (2001) nennen als Symptome der HACE:

- Ataxie (Leitsymptom), v. a. der unteren Extremitäten
- Analgetikaresistente, schwerste Kopfschmerzen
- Übelkeit, Erbrechen
- Schwindel
- Halluzinationen
- Lichtempfindlichkeit
- Sehstörungen

- Vernunftwidriges Verhalten
- Neurologische Veränderungen (Nystagmus, Pyramidenbahnzeichen, Hemiparesen, Nackensteifigkeit, Augenmuskelparesen)
- Subfebrile Temperaturen
- Bewusstseinsstörungen
- Koma
- 24-Stunden-Urinmenge unter 0,5 Liter

Vom Auftreten der ersten Symptome bis zum Koma können 12 Stunden vergehen.

Die Inzidenz des HACE bei Aufstieg über 4500 Meter liegt bei 1 bis 2 %. Nach Berghold & Schaffert (1997) liegt die Letalität des HACE bei ca. 40%.

2.5.3 Das Höhenlungenödem, High Altitude Pulmonal Edema (HAPE)

Beim HAPE handelt es sich um die pulmonale Form der Höhenkrankheit, der Entstehungsmechanismus unterscheidet sich klar von jenem der AMS und des HACE. Meist tritt es auch völlig unabhängig von der cerebralen Form der Höhenkrankheit auf. Kommt es dennoch zu kombinierten Höhenödemen ist die Letalitätsrate besonders hoch.

Es entwickelt sich meist zwei bis vier Tage nach Überschreitung der Schwellenhöhe (2500 Meter, vgl. dazu Kap. 2.1.1)), tritt jedoch meist in Höhen zwischen 3000 und 4500 Metern auf, insbesondere wenn zu schnell aufgestiegen wurde.

Pathophysiologisch ist das HAPE durch einen erhöhten Pulmonalarteriendruck sowie ein alveoläres Ödem gekennzeichnet. Eine Hypothese von West et al. (1995) geht davon aus, dass eine abnorm kraftvolle und ungleichmäßige pulmonale, durch die Hypoxie bedingte Vasokonstriktion zu einer hohen Gefäßwandbelastung und Kapillarschädigung im kleinen Lungenkreislauf führt und so zur Ödembildung beiträgt. Nach Berghold & Schaffert (1997) ist eine Erhöhung des Pulmonalarteriendrucks unter Hypoxie physiologisch, bei HAPE-Betroffenen jedoch mit einer zwei bis dreifachen Erhöhung deutlich stärker ausgeprägt. Es konnte auch nachgewiesen werden, dass HAPE-Patienten eine verminderte Empfindlichkeit der Chemosensoren (vgl. dazu Kap. 2.3.1.2) auf Hypoxie haben.

Nach neuesten Erkenntnissen ist der Transport von Flüssigkeit aus den Alveolen unter Sauerstoffmangel gestört. Interstitiumflüssigkeit und Blut gelangen durch

Lecks in die Lungenbläschen, was die Luftknappheit extrem verstärkt. Es kommt zum typischen Brodeln mit jedem Atemzug und in weiterer Folge zum Husten mit blutig-schaumigem Auswurf.

Wie bei der AMS und dem HACE gilt die Diagnose des HAPE bereits bei zwei bis drei der folgend erwähnten Symptome als gesichert:

- Akuter Leistungsabfall (Leitsymptom), sowie
- Ruhedyspnoe
- Tachypnoe
- Tachykardie
- Zyanose
- Trockener Husten bzw. Husten mit blutig-schaumigem Auswurf
- Frei hörbares Rasseln
- Brennender, retrosternaler Druck
- Erbrechen
- Fieber
- Flachlagerung wird nicht toleriert
- 24-Stunden-Urinmenge unter 0,5 Liter
- Sauerstoffsättigung für die jeweilige Höhenlage unverhältnismäßig niedrig

Nach Bärtsch et al. (1990) liegt die Inzidenz bei Personen, die rasch auf 4500 Meter aufsteigen bei 10%, bei üblicher Anstiegsgeschwindigkeit jedoch nur bei 1 bis 2%. Die Letalität ist nach Berghold & Schaffert (2010) ohne richtige Sofortmaßnahmen mit 44% sehr hoch, durch eine sofortige Sauerstofftherapie verringert sich die Todesrate auf 6%.

2.5.4 Sonstige Erkrankungen in der Höhe

Außer den in den Kapiteln 2.5.1 bis 2.5.3 beschriebenen Anpassungsstörungen in Zusammenhang mit hypobarer Hypoxie kann es noch zu einer Reihe weiterer Gesundheitsprobleme aufgrund psychologischer bzw. neuropsychischer Faktoren und klimatischer Bedingungen in der Höhe kommen.

2.5.4.1 Psychologische Probleme

Nach Pollard & Murdoch (1998) entwickeln viele Menschen während des Höhenanstiegs Angst vor z. B. dem Auftreten einer lebensbedrohenden

Höhenkrankheit. Durch das allgemein größere Wissen über die Risiken beim Aufstieg und Aufenthalt in extremen Höhen wächst auch die Furcht vor diesen Risiken. Klinisch zeigt sich diese Angst oft in Kurzatmigkeit, Hyperventilation und Verwirrtheit. Das objektive Merkmal einer für die gegebene Höhe verringerten arteriellen Sauerstoffsättigung tritt in diesem Fall jedoch nicht auf. Trotzdem muss bei diesen Symptomen immer auch an eine Höhenkrankheit gedacht werden bis das Gegenteil bewiesen ist und der Patient sich wieder wohl fühlt.



Abbildung 15: Spurarbeit in potenzieller Lawinenflanke

Potentielle exogene Gefahren wie z. B. Wettersturz, Steinschlag, Lawinen, Absturz oder Materialversagen führen ebenso zu emotionalem Stress. Der mentale Umgang mit all diesen Bedrohungen ist sicher sehr individuell von der Persönlichkeit bzw. der psychischen Konstellation des Bergsteigers abhängig.

Laut Waanders & Riedmann (1996) gibt es noch kaum Feldstudien über höhenbedingte neuropsychologische Phänomene wie Veränderungen im kognitiven, psychomotorischen oder affektiven Bereich.

Nach Ward et al. (1995) steht außer Zweifel, dass die Funktionen des zentralen Nervensystems in Höhen über 4500 Metern gestört sind. Ein (plötzlicher) Aufenthalt in dieser Höhe führt zu zerebraler Ischämie was zu Symptomen eines organischen Hirn- oder Psychosyndroms führt.

Die Frage, inwieweit sich die psychische Verfassung bzw. das Auftreten von psychischen Belastungsreaktionen auf physische Parameter des Untersuchungsblatts auswirkt, bleibt in meiner Studie unbeantwortet. Kategorien meiner Untersuchung wie die „Herzfrequenzvariabilität“ als Zeichen des sympathovagalen Gleichgewichts oder „Schlaf“ sind sicherlich direkt vom psychischen Zustand beeinflusst.

2.5.4.2 Periphere Höhenödeme, High Altitude Localised Edema (HALE)

Nach einer Studie von Hackett & Rennie (1979) kommt das HALE bei Frauen doppelt so häufig vor als bei Männern. Betroffen sind von diesen peripheren Unterhautödemem v. a. das Gesicht, insbesondere die Augenlider, die Hände, die Knöchelregionen und die Vorfüße.

Als Ursachen werden die abnorme hypoxiebedingte Flüssigkeitsverteilung bzw. die Retention von Wasser angenommen. HALE verschlechtert sich normalerweise in der Nacht. Physische Anstrengung, UV-Strahlung und Kälte gelten als auslösende Faktoren.

Nach Berghold & Schaffert (2001) sind AMS-Patienten viermal so häufig betroffen als beschwerdefreie Bergsteiger. Deshalb gelten HALE als Warnzeichen einer bevorstehenden ernsteren Höhenerkrankung. Die Inzidenz auf 4200 Metern beträgt durchschnittlich 18% (Frauen 28%, Männer 14%). Hannon et al. (1969) vertraten die Hypothese, dass für das Eintreten der AMS intra- und extravasale Flüssigkeitsumverteilungen ausschlaggebend sein könnten. Beim Höhengaufenthalt kommt dem Interstitium als Flüssigkeits- bzw. Volumenspeicher eine bedeutende Rolle zu.

2.5.4.3 Thrombosen

Nach Ward (1975) entwickeln sich thromboembolische Ereignisse v. a. in Höhen über 6000 Metern sehr häufig und in allen Erscheinungsformen. Periphere und zerebrale Thrombosen sowie Lungenembolien können v. a. bei großer Kälte,

Dehydration und verminderter körperlicher Aktivität auftreten. Der bei Höhenbergsteigern oft erhöhte Hämatokrit (55Hb% und mehr) führt zu einer stark gesteigerten Viskosität des Blutes und begünstigt die Entstehung von thromboembolischen Komplikationen sowie lokalen Erfrierungen.

Nach Berghold & Schaffert (2001) sind periphere Thrombosen, Lungen- und Hirninfarkte sehr häufige Probleme bei v. a. außereuropäischen Expeditionsbergfahrten. Sie treten sowohl bei der An- und Rückreise (Intercontinentalflüge, lange Busfahrten), als auch beim Höhenbergsteigen selbst auf. Wahrscheinlich ist die Lungenembolie überhaupt die häufigste nichttraumatische Todesursache in extremen Höhen.

Auf die Beschreibung weiterer höheninduzierter Gesundheitsprobleme wie Retinablutungen, Kälteschäden, Höhenhusten, Schädigungen durch ultraviolette Strahlung usw. möchte ich wegen der fehlenden Relevanz für diese Studie verzichten.

2.6 Osteopathie

Da das „Gesetz der Arterie“ (Still, 1902) an erster Stelle steht und sich unter dem „Kommando der cerebrospinalen Flüssigkeit“ befindet, könnte es in allen Körperregionen durch Beeinflussung des Liquor cerebrospinalis, des Lymphsystems und des Blutgefäß- bzw. Herz-Kreislaufsystems durch die Manipulation am Ventrikelsystem zu einer Verbesserung kommen.

Laut Still steht der arterielle Strom an der Spitze, sein ehemaliger Schüler Sutherland (1990) fügte jedoch hinzu, dass der Liquor cerebrospinalis das Kommando führt.

Für Still (1902) war die cerebrospinale Flüssigkeit das höchste Element im menschlichen Körper, der Fluss des Lebens, eine Flüssigkeit in der Flüssigkeit. Die Fluktuation des Liquors bezeichnete er als den Strom mit Intelligenz und Stärke bzw. Kraft. In der osteopathischen Lehre geht man davon aus, dass der „Breath of Life“, auch primärer respiratorischer Mechanismus genannt, für die Gesundheit des Menschen von essentieller Bedeutung ist. Dieser primäre Mechanismus ist unmittelbar mit der unwillkürlichen Motilität des zentralen Nervensystems verbunden. Diese unwillkürliche Bewegung des zentralen Nervensystems sollte neben der Lungenatmung die gesamten anderen Funktionen des Körpers regulieren. Dermaßen vom primären respiratorischen Mechanismus gesteuert wird die

Lungenatmung als sekundär respiratorisches System bezeichnet. Sutherland (1962) interpretierte dieses Phänomen mit einer Atembewegung, der Aufbau der Schuppennaht Sutura squamosa erinnerte ihn an die Kiemen eines Fisches, was ihn in seiner Theorie bestärkte. Diese nach außen drängende Bewegung, die auch beim CV4 gut spürbar ist, begründete er mit der Pulsation des Liquor cerebrospinalis.

Still (1902, S. 44-45) meinte: *„Der Liquor verhilft dem Gehirn zu Überfluss, da sonst unbrauchbare Bedingungen übrigbleiben. Er muss die ausgetrockneten Felder bewässern, sonst wird die Ernte der Gesundheit für immer verloren sein.“*

2.6.1 Mögliche Zusammenhänge der Effekte der CV4 - Technik mit der Höhenanpassung

- Laut Podolsky (1996) sind die Symptome der akuten Hypoxie v. a. durch die mangelnde Sauerstoffversorgung der gesamten Gewebe (v. a. ZNS und Myocard) bedingt. Liem (2001) beschreibt als Wirkung des CV4 die Tonussenkung des Bindegewebes. Als Indikation bei Tachycardie findet der CV4 in diesem Werk ebenfalls Erwähnung.
- Die Stimulation der Hirnnervenzentren im Bereich des vierten Ventrikels bietet weiters einen Ansatz für eine Beeinflussung der Ruheherzfrequenz. Nach Silbernagl & Despopoulos (2007) schickt das, wie das Atemzentrum ebenfalls in der Medulla oblongata gelegene Kreislaufzentrum sympathische, antreibende, sowie über N. vagus und N. glossopharyngeus parasymphatische, die Frequenz senkende Impulse ans Herz.
- Die Herzfrequenzvariabilität als leicht messbares Zeichen des sympathovagalen Gleichgewichts könnte durch die Intervention ebenfalls beeinflusst werden. In einer Studie von Rodriguez (2000) kommt es zu neuro-vegetativen Effekten durch die Anwendung der CV4 – Technik.
- Nach Ward et al. (1995) beginnt sich ein Höhengaufenthalt jenseits der Grenze, bis zu der eine Akklimatisation möglich ist, lebensbedrohlich auszuwirken. Flüssigkeits- und Glykogenverlust, Verlust von Muskelmasse, da der Körper beginnt seinen Energiebedarf aus Muskelproteinen zu decken, physischer- und psychischer Leistungsabbau und Unterkühlung tragen dazu bei. Auch völlige körperliche Inaktivität schützt nicht vor der sogenannten Höhendeterioration, die sich u.a. durch Lethargie, Gereiztheit, Verwirrtheit, Appetit- und Gewichtsverlust äußert. Der CV4 – Technik wird eine homöostatische Wirkung nachgesagt, d. h. sie trägt zu einer Aufrechterhaltung des inneren Milieus des Körpers mit dem Hypo-

thalamus als übergeordnetem Zentrum bei. Die Konstanz des Kreislaufs, der Atmung, des pH-Wertes, des Wasser- und Elektrolythaushaltes, des Hormonhaushaltes, des Vegetativums usw. könnte dadurch gefestigt werden. An den Wänden der Ventrikel und im Aquaeductus cerebri, der Verbindung zwischen drittem und viertem Ventrikel, befinden sich viele Morphinen gleichende Moleküle, die Endorphine. Nervenzellen in diesen Zonen stehen in direktem Kontakt mit dem Thalamus, der Hypophyse und dem Hypothalamus. Über diese Hirnzonen und den Liquor cerebrospinalis könnte es zu Einflüssen auf die neurovegetativen, hormonellen und vaskulären Systeme kommen. Liem (2001) erwähnt unter den Wirkungen und Indikationen des CV4 eine Tonussenkung des sympathischen Nervensystems mit positivem Einfluss bei Stresssymptomen, Angstzuständen und Schlaflosigkeit.

- Burtscher (1998) spricht von einer integrierten Anpassung der Kontrollsysteme von Atmung, Herz-Kreislaufsystem, Blut, Nieren und Hormonen. Vitalzentren des Körpers wie das Atemzentrum mit inspiratorisch und expiratorisch wirkenden Neuronen, gelegen am Grund des vierten Ventrikels, welche eine enge Verbindung zu den an der Vorderseite der Medulla oblongata gelegenen zentralen Chemorezeptoren (vgl. dazu Kap. 2.4.1.1) haben, könnten durch die Intervention mittels CV4 – Technik beeinflussbar sein. Ebenso liegen die Herz-Kreislaufzentren in der Formatio reticularis der Medulla oblongata. Diese werden durch übergeordnete Zentren im Zwischenhirn (diencephale und hypothalamische Kerne) und durch Impulse aus der motorischen Hirnrinde gesteuert.
- Durch die Beeinflussung der oben erwähnten zentralen und der peripheren Chemosensoren, die hauptverantwortlichen neuralen Strukturen der verstärkten Atemantwort auf hypoxische Bedingungen (Podolsky, 1996), ergeben sich die wichtigsten Verbindungen für eine eventuelle Verbesserung der arteriellen Sauerstoffsättigung durch die CV4 - Technik. Als bedeutendster Akklimatisationseffekt ist die hypoxiebedingte Zunahme der Erythrozyten mit damit verbundener Verbesserung der Sauerstofftransportkapazität zu betrachten (vgl. dazu Kap. 2.4.3.1). Es stellt sich die Frage, ob die Stimulation der v.a. zentralen Chemosensoren die Atemantwort auf Hypoxie zusätzlich verstärkt. Nach Liem (2001) entwickelte Sutherland diese Technik zur Lenkung der lebenswichtigen Nervenzentren.
- Die in Kapitel 2.4 im Rahmen der physiologischen Auswirkungen bei Höhenexposition auf zellulärer Ebene beschriebenen Austauschvorgänge, insbesondere die in Kap. 2.4.4 behandelte Aufnahme des Sauerstoffs ins Gewebe, sollten durch den CV4 angeregt werden. Nach Liem (2001) führt die Kompression des vierten

Ventrikels über die biodynamischen, bioelektrischen und biochemischen Eigenschaften des Liquors zu einer Verbesserung der gesamten Austauschvorgänge im Körper.

3 Forschungsfrage

Hat die CV4 – Technik Einfluss auf die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen?

3.1 Hypothese

H0: Die CV4 – Technik hat keinen Einfluss auf die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen.

H1: Die CV4 – Technik hat einen Einfluss auf die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen.

4 Methodik

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine empirische Untersuchung über die Akklimatisationsprozesse in großen und extremen Höhen unter Berücksichtigung der Anwendung der CV4 - Technik. Ausgehend von einer Voruntersuchung bei der das Forschungsdesign festgelegt werden konnte, wurden in zwei Gruppen während einer Expedition den Akklimatisationsstand betreffende Parameter erhoben und in Folge ausgewertet und interpretiert.

Methodisch ist diese Vorgehensweise als Induktion zu bezeichnen und dem wissenschaftstheoretischen Ansatz des Empirismus bzw. des Altpositivismus zuzuschreiben (Seiffert, 1991).

4.1 Forschungsdesign

Bereits in der Vorbereitungsphase der Expedition wurde versucht durch Voruntersuchungen die zu erwartenden Bedingungen nachzustellen, nicht zuletzt um vor Überraschungen im Rahmen der Studie gewappnet zu sein. Die Nutzung der Unterdruckkammer (normobare Hypoxie) am Institut für Sportwissenschaften in Innsbruck mit

einem Teil unseres Teams brachte bereits wichtige Erkenntnisse für die Auswahl der Untersuchungsparameter bzw. über nicht oder nur schwer erhebbare Daten (vgl. dazu Kap. 1). Andere zu erwartende Schwierigkeiten wie die räumliche Enge im Zelt oder die klimatischen Zustände konnten bei Bergtouren in den heimatlichen Bergen gut nachgestellt werden. Für die Interventionen an der Testgruppe stellte es sich beispielsweise als vorteilhaft heraus, sich einzig auf die Anwendung des CV4 zu beschränken. Die Messungen an der Kontrollgruppe fanden ohne Kompression des 4. Ventrikels statt, jedoch mit denselben Ruhezeiten. Auf eine volle muskuloskeletale-, viszerale- und craniosakrale Untersuchung vor den Interventionen wurde, obwohl beim Erstellen des Forschungsdesigns zuerst angedacht, aufgrund der unüberwindbaren Erschwernisse am Berg verzichtet.

Die Verwendung des Untersuchungsblattes (vgl. dazu Kap. 4.3.2) für die Selbstuntersuchung der Probanden erschien als ideal. Die Mitarbeit des Teams war hier besonders entscheidend, da es vor allem in den höheren Lagern nicht möglich gewesen wäre täglich die gesamten Parameter selbst aufzunehmen. Der auf die längerfristige Entwicklung zielende Untersuchungsbogen enthielt sowohl Messparameter als auch subjektiv zu beurteilende Kategorien, die mittels eines Gesamtpunktesystems ausgewertet wurden. Dazu kamen die kurzfristigen, vor und nach den Interventionen gemessenen Werte.

Die täglichen Untersuchungen mittels Datenblatt und die Tests begannen im 2200 Meter hoch gelegenen Skardu, der Hauptstadt Baltistans, während der Anreise ins Basislager. Sie wurden für die gesamte Gruppe immer am gleichen Ort durchgeführt, wobei die örtlichen Gegebenheiten vom Hotelzimmer über das Mannschaftszelt bis zum Zweimannzelt variierten. Die Messwerte Ruhepuls, Herzfrequenzvariabilität und Sauerstoffsättigung bei den Selbstuntersuchungen wurden von den Probanden immer frühmorgens vor dem Aufstehen mit bereits am Vorabend angelegtem Pulsgurt und neben der Schlafstätte platziertem Pulsoxymeter genommen. Die mit einem Punktesystem versehenen Parameter wurden aus logistischen Gründen, ebenso wie die Untersuchungen, wenn es das Programm am Berg zuließ, nachmittags und für die gesamte Gruppe fast zeitgleich durchgeführt. Durch die nachmittäglichen Interventionen konnten die Messungen bei meist angenehmen Temperaturen von statten gehen. Die Tests bei der Kontrollgruppe konnten, da an ihnen kein CV4 angewendet wurde, zeitgleich stattfinden, was eine Zeitersparnis brachte. Einer der Probanden aus der Kontrollgruppe stand während der Behandlung der Testgruppe zum aufzeichnen bzw. notieren der Daten zur Verfügung. Die Interventionen wurden vom Studienverfasser selbst durchgeführt (vgl. dazu Kap. 1 u. 6).

Die Untersuchten befanden sich sowohl bei den morgendlichen Messungen als auch

bei den Interventionen bzw. Messungen in Rückenlage, wobei vor den Datenerhebungen eine 15 minütige Ruhephase (auch kein Sprechen) einzuhalten war.

Die Höhen während der Studie reichten bis 6700 Meter, deckten also alle Stufen von mittleren bis extremen Höhen (vgl. dazu Kap. 2.1.1) ab. In Anbetracht der Tatsache, dass alle Probanden am Berg das gleiche Programm hatten, sollte daraus keine Verzerrung der Datengrundlage entstehen. Die Untersuchungen fanden, da ein anderes Vorgehen aufgrund des beschränkten Zeitrahmens gar nicht möglich gewesen wäre, in allen Phasen der Höhenakklimatisation (vgl. dazu Kap. 2.3) statt. Insgesamt konnte auf 42 Untersuchungstage vom 2. Juni bis 14. Juli zurückgegriffen werden.

4.2 Stichprobenbeschreibung, demografische Angaben

Die Stichprobe bestand aus 6 männlichen, österreichischen staatlich geprüften Berg- und Schiführern, die durch Ziehung von Losen in eine Test- und eine Kontrollgruppe geteilt wurden (randomisiert). Die Probanden hatten ein Alter von 32 bis 37 Jahren und boten ein annähernd gleiches und sehr hohes Leistungsniveau, was sich auch bei einigen gemeinsamen Touren im Vorfeld der Expedition zeigte. Die Gemeinsamkeit sowohl des beruflichen als auch des privaten Lebensschwerpunktes (Bergsteigen und Klettern) brachte den physischen Zustand der Probanden betreffend eine gewisse Homogenität.

4.2.1 Einschlusskriterien

Annähernd gleiches Leistungsniveau aller Gruppenmitglieder, fast dasselbe Alter (zwischen 32 und 37 Jahren).

4.2.2 Ausschlusskriterien

Keine Medikamente oder andere Behandlungen während der Studie. Keine Überschreitung der Tagessumme laut Untersuchungsblatt von 19 Punkten über mehr als einen Tag. Keine chronischen Erkrankungen der Probanden.

4.3 Erhebungsverfahren

In den folgenden Kapiteln werden sowohl die Geräte zur Erfassung der Messdaten, als auch der Hintergrund des Untersuchungsblattes zur Selbstuntersuchung der Probanden dargestellt.

4.3.1 Messgeräte

Zur Messung bzw. Aufzeichnung der Herzfrequenzvariabilität, des Ruhepulses und des Pulses in Ruhe (vorherige Ruhephase von 15 Minuten) bzw. der Aufzeichnungen von Datum, Schlafhöhe, Tageshöhe, Höhenmeter/Zeit wurde der Handgelenkcomputer Polar S810i mit dem Polar Sender Set T61 (Brustgurt) und das Polar USB Infrarot Interface zur Übertragung der Daten in den PC verwendet. Als Stromquelle dienten zwei faltbare Solarpaneele ICPGLOBAL FLEX 20.

Zum Feststellen der Sauerstoffsättigung und zur Kontrolle des Ruhepulses bzw. des Pulses in Ruhe kam das Pulsoxymeter Nonin Onyx 9500 zum Einsatz.

4.3.2 Die Kategorien des adaptierten Datenblattes, Selbstuntersuchung

Mit Hilfe der folgenden Parameter, welche die Rahmenbedingungen des Unternehmens bzw. das körperliche Befinden der Probanden betreffen, kann über Messwerte bzw. einen Score sowohl der aktuelle Gesundheitszustand (Tagessumme) als auch die Gesundheitsentwicklung (als Trend mehrerer Wochen) ermittelt und beurteilt werden. Die einzelnen Punktekategorien wurden bei der Auswertung als Tagessumme zusammengefasst und nicht einzeln bewertet. Der Score wurde ursprünglich als Lake Louise Score (Roach et al., 1993) zur Diagnose der akuten Bergkrankheit erstellt und spiegelt in seiner adaptierten Form den allgemeinen Gesundheitszustand des Höhenbergsteigers wider. Der ursprüngliche, zum Untersuchungsblatt für diese Studie adaptierte Fragebogen wird im Anhang (Dietz, 2000) dargestellt.

Es ist auch eine spezifische Zuordnung der einzelnen Problemfelder möglich, dadurch könnten gezielt Maßnahmen ergriffen werden. Bekommt man beispielsweise in einer Kategorie 3 Punkte sind in jedem Fall sofort entsprechende Maßnahmen zu treffen (3 Punkte = Alarmsignal). Glücklicherweise war im Rahmen

der Expedition eine z.B. notfallbedingte Gabe von Medikamenten nie notwendig. Dies hätte das Ergebnis der Studie verfälscht.

Ruhepuls, Herzfrequenzvariabilität und Sauerstoffsättigung waren unmittelbar nach dem Aufwachen am Morgen zu messen und einzutragen.

4.3.2.1 Datum

Die erhobenen Parameter können durch das Datum chronologisch zugeordnet werden und es ermöglicht die Erstellung von Zeitprofilen. Für die Planung der Akklimatisation und die Beobachtung des Verlaufs der gesundheitlichen Entwicklung sind diese unumgänglich.

4.3.2.2 Schlafhöhe

Die Schlafhöhe ist jener Wert, der für die Steigerung der Höhe maßgeblich ist. Im Akklimatisationsprofil, das bereits in der Reiseplanung erstellt wird, ist die Schlafhöhe der herangezogene Wert.

Mit einem oder mehreren zusätzlichen Ruhetagen auf gleicher Höhe bzw. mit einem Abstieg und damit verbundener Senkung der Schlafhöhe (vgl. dazu Kap. 2.3) legen sich viele höhenbedingte Erkrankungen ohne weitere Maßnahmen.

4.3.2.3 Tageshöhe

Sie ist die maximale am betreffenden Tag erreichte Höhe und kann deutlich über der Schlafhöhe liegen.

Viele erfahrene Höhenbergsteiger glauben fest daran, dass man den Akklimatisationsvorgang verbessern kann, indem man nach Erreichen des Lagerplatzes noch ca. 100-200 Höhenmeter ohne Gepäck höher steigt (vgl. dazu Kap. 2.3).

Dieser bislang unbewiesene Erfahrungswert mag deshalb sinnvoll sein, da ein weiterer Aufstieg einen zusätzlichen Akklimatisationsreiz darstellt, der den Atemantrieb verstärkt und so die Sauerstoffversorgung und das Wohlbefinden verbessert. Wie bereits erwähnt wurden derartige Maßnahmen im Rahmen dieser Studie immer für alle Teilnehmer getroffen.

Dass in der Praxis tatsächlich jene, die noch höher steigen, gesamt gesehen auch wirklich besser adaptiert sind, ist unstrittig – dies könnte jedoch auch umgekehrt gesehen werden, nämlich dass sie (noch) höher steigen können, eben weil sie in besserer Verfassung sind.

Nach Hochholzer (1996) beträgt die Latenzzeit der Ausprägung einer höhenbedingten Erkrankung jedenfalls mehrere Stunden (z.B. HAPE – 12 bis 36 Std.). Deshalb kann die Tageshöhe auch beträchtlich über der Schlafhöhe liegen, sofern völlig gesund gestartet wurde.

4.3.2.4 Gehzeit, Höhenmeter, Distanz

Mit diesen Parametern kann die erbrachte Tagesleistung beurteilt werden. Eventuelle gesundheitliche Probleme wie Müdigkeit, Schwäche oder Kopfschmerz usw. könnten auch durch eine zu anstrengende Tagesetappe verursacht sein. Um möglichst unverfälschte Ergebnisse zu bekommen war es besonders wichtig eine physische und psychische Erschöpfung der Probanden möglichst zu vermeiden.

Die jüngsten technischen Entwicklungen der „Handgelenkscomputer“ (Sportuhren) sind in diesem Zusammenhang besonders hervorzuheben. Während Expeditionen sind sie äußerst hilfreiche Instrumente zur Aufzeichnung verschiedener hochrelevanter Parameter. Ein Knopfdruck genügt und Gehzeit, verschiedene Höhenmeterangaben (Aufstieg, Abstieg, Gesamt) und die Distanz können einfach und genau abgelesen werden.

Besonders überraschend ist in diesem Zusammenhang die Aussagekraft der tatsächlich gemachten Höhenmeter – Tagesleistung. Dieser Wert kann sich vor allem bei flachen Etappen mit vielen kurzen Auf- und Abstiegen deutlich vom reinen Höhenunterschied zwischen den Lagerplätzen unterscheiden.

4.3.2.5 Ruhepuls

Ein erhöhter individueller Ruhepuls ist das am einfachsten messbare Kennzeichen dafür, dass man sich gerade in der Anpassungsphase befindet. Die AMS, das HAPE und das HACE treten immer in dieser kritischen Anpassungsphase auf (vgl. dazu Kap. 2.3).

Annähernd alle gesundheitlichen Probleme bringen eine Erhöhung des Ruhepulses mit sich. Den allgemeinen Gesundheitszustand betreffend ist er damit ein sehr

aussagekräftiger Wert.

Wichtig war, den Ruhepuls schon mehrere Wochen vor der Abfahrt zu erheben, um ihn auch als Referenzwert verwenden zu können.

Der Ruhepuls war morgens, unmittelbar nach dem Aufwachen (noch liegend) zu messen und in das Datenblatt einzutragen. Auch hier waren die modernen Pulsuhren sehr hilfreich. Bei den Messungen vor und nach den Interventionen musste allerdings auf den „Puls in Ruhe“, d. h. nach einer 15 minütigen im Liegen verbrachten Ruhephase, zurückgegriffen werden.

Bei gut trainierten Bergsteigern sind Werte unter 50 Schlägen pro Minute durchaus normal, doch auch höhere Werte sagen a priori nichts über die Höhenverträglichkeit aus. Dass der Ruhepuls auf Reisen höher ist als in vertrauter Umgebung ist durchaus selbstverständlich. Selbst ohne Höhenexposition sind u. a. folgende Faktoren Grund genug für eine Steigerung der Herzfrequenz:

- Zeitumstellung (Veränderung der circadianen Wach-Schlaf-Rhythmik)
- Klimaänderung (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung usw.)

Beim Wach-Schlaf-Rhythmus und der Temperaturregulation sei an die Funktion des Hypothalamus und des nachgeschalteten Vegetativums gedacht, die ich mittels des CV4 beeinflussen wollte.

- Ernährungsänderung
- Umstellung der allgemeinen Lebensbedingungen (Schlafsack/Zelt, Hygiene usw.)
- Gruppendynamische Vorgänge

Liegt der Ruhepuls über 25 Schläge/Min. höher als der Normalwert, so ist von einer allgemeinen Belastung des Organismus auszugehen, welcher Ausdruck einer nicht erfolgten (Höhen-) Anpassung ist.

Als erste Reaktion muss (bei einer Erhöhung von mehr als 25 Schlägen/Min.) ein Tag Ruhe eingelegt werden. Sollte sich die Situation nicht verbessern, sind wenigstens 500 Höhenmeter abzustiegen.

4.3.2.6 Herzfrequenzvariabilität, Heart rate variability (HRV)

Dieser Parameter wurde ebenfalls in den Score aufgenommen, sowohl bei den Selbstuntersuchungen als auch vor und nach den Interventionen. Nach Herfert et al. (2003) kommt dem autonomen Nervensystem im Verlauf der Adaptation an große Höhen eine wichtige Rolle zu. Durch die Messung der HRV bekommt man mit einer

nichtinvasiven Methode einen guten Einblick in die Regulations- und Anpassungsfähigkeit des Organismus. Nach Hughson et al. (1994) wird beim Aufstieg in sehr große Höhen die sympathische Aktivität erhöht und die parasympathische erniedrigt. Bei längeren Aufenthalten in derselben Höhe kommt es zu einer leichten Senkung des Sympathikotonus bei gleichzeitiger Erhöhung des Vagotonus. Nach Moser et al. (1999) ist eine gute sympathovagale Balance die Basis für die Anpassung an Höhe und Hypoxie und die Erhaltung der Leistungsfähigkeit.

Das Nervensystem des Menschen unterteilt sich in das somatische und das vegetative Nervensystem. Das somatische Nervensystem steuert z. B. die Erregung der Skelettmuskulatur und gilt so als wichtiger Bestandteil des Bewegungsablaufes. Diese Aktivitäten stehen unter willkürlicher Kontrolle und laufen vielfach bewusst ab.

Im Gegenzug regelt das vegetative Nervensystem die Organfunktionen und passt sie den jeweiligen Bedürfnissen an. Diese Funktionen laufen ohne willkürliche Kontrolle ab. Das vegetative- oder autonome Nervensystem besteht aus den anatomisch und funktionell getrennten Anteilen Sympathikus und Parasympathikus (Vagus). Beide haben Einfluss auf den Sinusknoten (Keith-Flack-Knoten, Nodus sinu-atrialis), dem Taktgeber des Herzes, gelegen im rechten Vorhof zwischen den beiden Vv. Cavae. Während der Parasympathikus vorwiegend zu einer Abnahme der Herzfrequenz führt, wirkt der Sympathikus genau gegenteilig. Das Zusammenspiel dieser beiden Gegenspieler bewirkt, dass der Abstand zweier Herzschläge nicht konstant ist und ständig variiert. Die Variationen liegen im Bereich von Millisekunden und konnten mit den Herzfrequenz-Messgeräten mit der „Beat to Beat“ Zusatzfunktion gut aufgezeichnet werden. Je höher die HRV, desto schneller kann sich der Organismus an veränderte körperliche- und psychische Belastungen anpassen. Nach Yamamoto et al. (1995) bedeutet eine große HRV ein gutes Zusammenspiel von Sympathikus und Vagus und weist auf einen ausgewogenen Zustand des Organismus hin, eine geringe HRV spiegelt dagegen eine chronische Stresssituation oder eine zugrundeliegende Erkrankung wider. Auch das Erholungsverhalten nach einer akuten Belastung kann mit der HRV gut beurteilt werden, was einen wichtigen Hinweis auf den aktuellen Leistungszustand gibt. Allgemein gesagt steht der Sympathikus im Dienste der Leistungssteigerung während der Parasympathikus für Erholungsprozesse zuständig ist.

Nach Hildebrandt et al. (1998) ist eine weitere wesentliche Aufgabe des Vegetativums die Steuerung des Schlafes, der für die Regeneration des Organismus von essentieller Bedeutung ist. Der Parameter Schlaf wurde im Untersuchungsblatt

ebenfalls aufgezeichnet (vgl. dazu Kap. 4.3.2.10).

4.3.2.7 Sauerstoffsättigung

Der inspiratorische Sauerstoffdruck, der arterielle Sauerstoffdruck und in weiterer Folge die arterielle Sauerstoffsättigung nehmen mit zunehmender Höhe ab. Es kommt zu einer durch die Hypoxie verursachte Ventilationssteigerung (vgl. dazu Kap. 2.4.1.1).

Die Beobachtung der arteriellen Sauerstoffsättigung hat deshalb eine hohe Aussagekraft bei der Beurteilung des Gesundheitszustandes. Der Messwert am Oxymeter zeigt den Anteil an Hämoglobin, das mit Sauerstoff beladen ist, im Verhältnis zur gesamten Bindungskapazität des Blutes an. Während man jedoch zu Beginn der Verfügbarkeit von kleinen (transportablen) Pulsoxymetern voll Euphorie über die Aussagekraft zur Akklimatisation bzw. Höhenanpassung war, ist dieser Wert in der Praxis mit besonderer Vorsicht zu interpretieren. Dies deshalb, da sich gezeigt hat, dass mitunter Personen trotz hoher Sauerstoffsättigung weniger leistungsfähig waren als jene, mit deutlich geringeren Werten. Ein weiteres Problem ist die leichte Manipulierbarkeit der Messung durch kurzfristig verstärkte Hyperventilation, wodurch es zu „Sauerstoffsättigungs- Wettkämpfen“ zwischen den Mitgliedern einer Gruppe kommen könnte. Es wurde versucht, dies durch den Untersuchungen vorausgehende Aufklärungsgespräche mit den Probanden auszuschließen.

Die Werte sind nur intra-individuell zu vergleichen. Daraus ergibt sich ein chronologischer Verlauf, der bezogen auf das Gesamtbild auch sehr aussagekräftig sein kann. Untereinander vergleichbar sind jedoch die Differenzen vor und nach den Interventionen bzw. Messungen an der Test- und Kontrollgruppe.

Auch ist die Sauerstoffsättigung in Bezug auf eventuelle Anpassungsstörungen ein gut verwendbarer Messwert, da man bei besonders niedrigen Werten einen handfesten Parameter zur Verfügung hat und mit Maßnahmen wie z.B. keinem weiteren Aufstieg sofort reagieren kann.

Die Messung erfolgte immer am gleichen Finger, in Ruhe, ohne Aktivität (auch nicht sprechen). Um den Finger zu wärmen bzw. zu säubern, wurde er vorher ca. 1 min. in den Mund gesteckt und dann gut abgetrocknet. In der „Zivilisation“ würde man dies natürlich hygienischer handhaben.

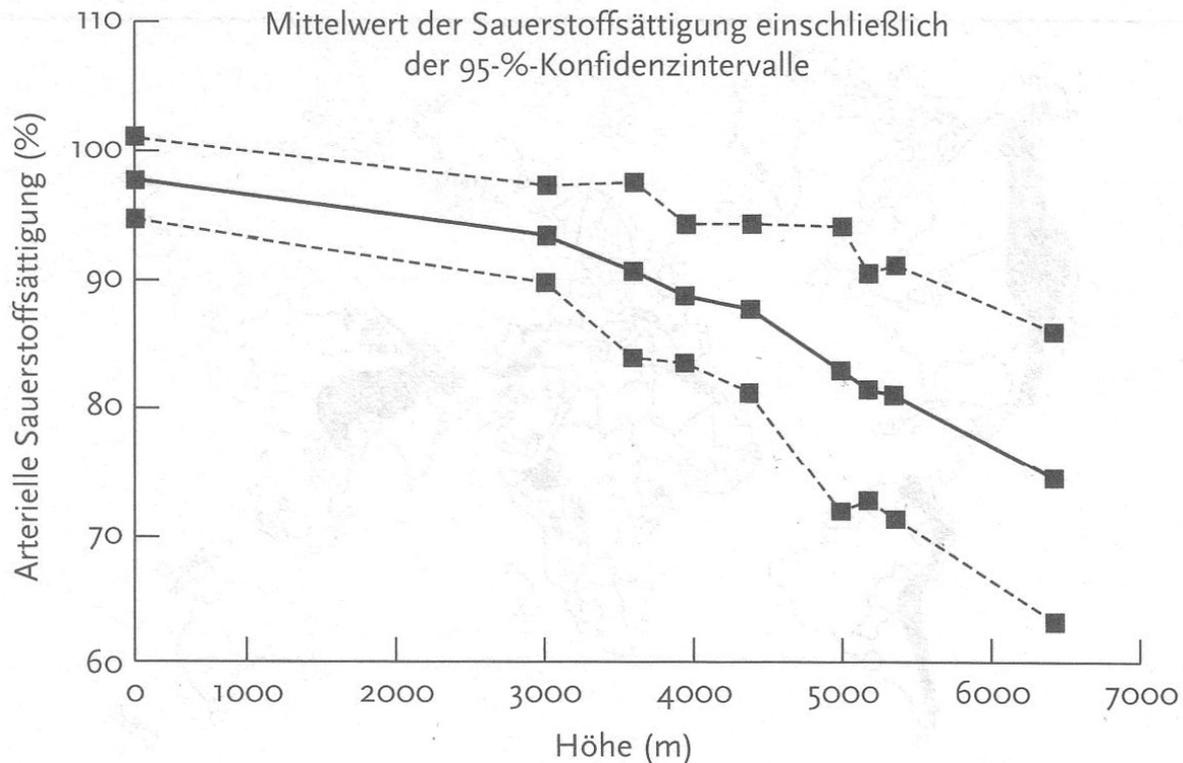


Abbildung 16: Arterielle Sauerstoffsättigung in verschiedenen Höhen (Pollard & Murdoch, 1998, S. 2)

4.3.2.8 Das Punktesystem

Ein Teil des Untersuchungsblattes besteht aus einer Punktbewertung die an den Lake-Louise -Score angelehnt ist (Roach et al., 1993). Er ist insgesamt so gestaltet, dass man nur dann Punkte bekam, wenn man außerhalb des physiologischen Normalzustands stand. Bei 3 Einzelpunkten bzw. einer Tagessumme von mehr als 19 Punkten über mehr als einen Tag wären jeweils zutreffende (Not-)Maßnahmen zu ergreifen gewesen, was zumindest in medikamentöser Form nie notwendig war. Gleichzeitig wäre als Ursache stets auch eine AMS an vorderster Stelle in Erwägung zu ziehen. Dies ist in der Praxis ein besonders heikler Punkt, da selbst für sehr erfahrene Bergsteiger die Ursache für Kopfschmerzen oft die starke Sonne ist, oder für Übelkeit und fehlenden Appetit die verdorbenen Lebensmittel oder schlecht abgekochtes Wasser verantwortlich gemacht werden.

4.3.2.9 Puls

Um die Pulspunkte feststellen zu können, mussten die Probanden ihren eigenen Ruhepuls kennen. Dieser wurde zu Hause am Morgen, noch im Bett liegend über

mehrere Tage gemessen. Bei gut trainierten Bergsteigern sind wie bereits erwähnt Werte von unter 50 Schlägen pro Minute keine Seltenheit.

Um vergleichbare Werte zu erhalten wurde der Puls täglich am Morgen (noch im Schlafsack liegend) gemessen. Hilfreich waren in diesem Zusammenhang die modernen Pulsuhren, der Messgurt wurde auch in der Nacht getragen. Würde der Gurt erst morgens angelegt werden, wären die Ergebnisse durch die Bewegung verfälscht.

0 Punkte = bis zu 5 Schlägen/Minute über dem gewohnten Ruhepuls

1 Punkt = 6 – 15 Schläge/Minute über dem gewohnten Ruhepuls

2 Punkte = 16 – 25 Schläge/Minute über dem gewohnten Ruhepuls

3 Punkte = mehr als 25 Schläge/Minute über dem gewohnten Ruhepuls

4.3.2.10 Schlaf

Da Schlafstörungen eines der Symptome der AMS darstellen, muss bei deren Auftreten immer eine hypoxiebedingte Erkrankung ausgeschlossen werden (vgl. dazu Kap. 2.5.1). Die außergewöhnliche Schlafsituation mit beengten Verhältnissen in Zelt und Schlafsack, fehlender Intimsphäre, psychischen Belastungssituationen vor allem vor anspruchsvollen Etappen usw. sind einer guten Schlafqualität nicht gerade zuträglich. Die Bewertung des Schlafes hatte immer ungeachtet der Ursache zu erfolgen. Zumindest im Basislager hatte jeder Proband daher sein eigenes Zelt, dies ließ sich in den Hochlagern jedoch nicht mehr bewerkstelligen

0 Punkte = normaler, gewohnter Schlaf

1 Punkt = ungewohnte Schlafstörungen (unruhiger Schlaf)

2 Punkte = schwere Schlafstörungen (häufiges Aufwachen)

3 Punkte = völlige Schlaflosigkeit

4.3.2.11 Kopfschmerz

Kopfschmerz ist das Leitsymptom der AMS (vgl. dazu Kap. 2.5.1). An das mit seiner hohen Letalität oft dramatisch verlaufende HACE ist immer zu denken, v. a. wenn der Kopfschmerz mit weiteren Symptomen wie z. B. Ataxie (vgl. dazu Kap. 2.5.2) einhergeht. Deshalb ist er immer in Zusammenhang mit einer höhenbedingten

Erkrankung zu sehen bis das Gegenteil bewiesen ist. Die intensive ultraviolette Strahlung, Flüssigkeitsmangel oder Hitze untertags können ebenfalls für den Kopfschmerz verantwortlich sein.

0 Punkte = kein Kopfschmerz

1 Punkt = leichter Kopfschmerz (Warnzeichen)

2 Punkte = mäßiger Kopfschmerz (Warnzeichen)

3 Punkte = massiver, starker Kopfschmerz (Alarmzeichen)

4.3.2.12 Appetit, Übelkeit

Gesundheitliche Probleme in Zusammenhang mit der Ernährung treten bei Reisen in exotische Länder sehr häufig auf. Grundsätzlich sollte der Leitgedanke „wasch` es, koch` es, schäl` es oder vergiss` es“ gelten. Bei Symptomen wie Appetitlosigkeit, Übelkeit oder Erbrechen ist jedoch zuerst auch wieder an eine AMS zu denken (vgl. dazu Kap. 2.5.1), vor allem wenn es trotz identer Ernährung nur einzelne betrifft.

Dem Wasser wurde im Rahmen der Expedition besonders viel Aufmerksamkeit geschenkt: Wo wird es entnommen (Verschmutzung durch Menschen oder Tiere)? Ist es lange genug abgekocht (was v.a. in der Höhe oft ein Problem ist)?

0 Punkte = normaler Appetit

1 Punkt = Appetitlosigkeit oder leichte Übelkeit

2 Punkte = mäßige Übelkeit oder Erbrechen

3 Punkte = schwere Übelkeit und Erbrechen

4.3.2.13 Urin

Bezogen auf die Anpassungsfähigkeit an die Höhe bzw. die Leistungsfähigkeit in der Höhe spielt ein ausgeglichener Flüssigkeitshaushalt eine entscheidende Rolle (vgl. dazu Kap. 2.3).

Beispielsweise wird in der Höhe durch die gesteigerte Ventilation mehr CO_2 abgeatmet. Mit sinkendem CO_2 - Druck verringert sich die H^+ - Ionenkonzentration, das Bikarbonat (HCO_3^-) überwiegt und es entsteht eine respiratorische Alkalose. Um einen ausgeglichenen Säure-Basen-Haushalt zu gewährleisten wird das Bikarbonat über die Nieren ausgeschieden (vgl. dazu Kap. 2.4.1.1). Dies ist jedoch nur möglich,

wenn der Flüssigkeitshaushalt dies auch zulässt.

Doch auch Erfrierungen sind häufiger dann anzutreffen, wenn das Blut „eindickt“ und die engen Kapillaren nicht mehr so gut versorgt werden. Damit verbunden ist ein höheres Risiko von Thrombosen bzw. Embolien, was besonders in der Höhe zu schweren Komplikationen führen kann. „Dickes Blut“ verursacht aber auch eine hohe Pumparbeit des Herzens und verringert so die Leistungsfähigkeit. Nicht zu vergessen sind auch die ungünstigen Auswirkungen eines unausgeglichene Flüssigkeitshaushaltes auf die Nieren.

Da der Flüssigkeitshaushalt im Rahmen der Studie nicht direkt messbar war, wurde die Beurteilung des Urins herangezogen. Es wurde eine Pinkelflasche mit einem Mindestvolumen von einem Liter, ausreichend großer Öffnung und sicherem Verschluss verwendet. Damit konnte leicht die Menge und die Farbe beurteilt werden. Gleichzeitig brachte dies den Vorteil, dass man in der Nacht, bei Kälte oder bei Sturm nicht aus dem Zelt ins Freie kriechen musste.

0 Punkte = hell und viel (über 2 Liter pro Tag)

1 Punkt = mittel (ca. 1 Liter pro Tag)

2 Punkte = dunkelgelb und wenig (weniger als 1 Liter pro Tag)

3 Punkte = kaum Urin

4.3.2.14 Stuhl

Eine der frequentesten gesundheitlichen Komplikationen beim Höhenbergsteigen ist die Diarrhoe. Da schwererer Durchfall innerhalb kürzester Zeit zur Austrocknung führt, ist diese Erkrankung vor allem in der Höhe sehr ernst zu nehmen. Nach Pollard & Murdoch (1998) kann man davon ausgehen, dass Durchfall das Auftreten einer Höhenkrankheit begünstigen kann.

In den meisten Fällen handelt es sich um eine Reisediarrhoe, die nach zwei bis vier Tagen Diät meist vorübergeht. Wesentlich schlimmer sind „echte“ Darminfektionen, die von unterschiedlichsten Erregern (Staphylokokken, Viren, Typhus, Parasiten usw.) verursacht werden.

0 Punkte = normaler Stuhlgang (formbar)

1 Punkt = weich

2 Punkte = sehr weich

3 Punkte = flüssiger Durchfall

4.3.2.15 Müdigkeit – Schwäche

Sie sind wichtige Symptome der AMS (vgl. dazu Kap. 2.5.1), besondere Vorsicht ist geboten wenn sie kombiniert mit anderen Symptomen der akuten Bergkrankheit auftreten. Fehlende Leistungsfähigkeit in der Höhe ist grundsätzlich ein Zeichen einer noch nicht abgeschlossenen Akklimatisation.

Auch wenn Müdigkeit und Schwäche auf „extreme Etappen“ zurückzuführen ist, müssen in dieser Kategorie Punkte vergeben werden, da der Körper in jedem Fall Zeit zur Regeneration benötigt.

Dieser Punkt dient auch insofern einer weiteren Differenzierung des Gesamtzustandes, da die Leistungsfähigkeit trotz Fehlen anderer Symptome deutlich eingeschränkt sein kann. Während man also in Ruhe keine oder keine wesentlichen Einschränkungen hat, ist unter Belastung kaum Leistung zu erbringen.

Jedenfalls ist ein Höhersteigen nicht anzuraten bzw. ohnedies schwer möglich. Bevor man allerdings mit Gewalt weitergeht und dann unter Umständen mehrere Tage verliert, sollte man einen zusätzlichen Rasttag zur Erholung einlegen.

Wichtig ist es jedoch schon in der Planung genügen Zeitreserven dafür einzubauen.

Was die Leistungsfähigkeit im Allgemeinen betrifft, so ist sie immer ein individuell einzuschätzender Parameter, der besonders auf die geänderten Umstände (Höhe, Klima usw.) anzupassen ist. Wer zu Hause 1000 Höhenmeter oder mehr pro Stunde schafft, darf diesen Wert klarerweise nicht in 5000 Meter Meereshöhe erwarten, wo man mit der Hälfte dieser Leistung immer noch zufrieden sein kann.

Als Anhaltspunkt gilt laut Berghold & Schaffert (1997):

- In ca. 3500 m - Beeinträchtigung des Leistungsvermögens auf 85 %
- In ca. 5500 m - Beeinträchtigung des Leistungsvermögens auf 65 %
- In ca. 6500 m - Beeinträchtigung des Leistungsvermögens auf 55 %
- In ca. 7500 m - Beeinträchtigung des Leistungsvermögens auf 45 %

Kommt es zu einem plötzlichen Leistungsabfall ist dies ein Alarmzeichen!

0 Punkte = keine Müdigkeit – Schwäche

1 Punkt = geringe Müdigkeit – Schwäche

2 Punkte = mäßige Müdigkeit – Schwäche

3 Punkte = schwere Müdigkeit – Schwäche

4.3.2.16 Schwindel

Schwindel und Gleichgewichtsstörungen sind nicht nur typische Zeichen der akuten Bergkrankheit (vgl. dazu Kap. 2.5.1), sie stellen auch eine große Gefahrenquelle im ausgesetzten Gelände dar. Nicht wenige durchaus erfahrene Höhenbergsteiger sind im vermeintlich leichten Gelände gestolpert oder aus dem Gleichgewicht gekommen und dabei abgestürzt. Bereits bei der benignen Form der AMS stellt der Schwindel eines der Symptome dar und wurde deshalb in das Untersuchungsblatt aufgenommen.

0 Punkte = kein Schwindel - Gleichgewichtsstörung

1 Punkt = leichter Schwindel - Gleichgewichtsstörung

2 Punkte = mäßiger Schwindel - Gleichgewichtsstörung

3 Punkte = schwerer Schwindel - Gleichgewichtsstörung

Bei Vorliegen von schweren Gleichgewichtsstörungen und starkem Schwindelgefühl ist unbedingt auch an ein HACE zu denken.

4.3.2.17 Leistungsfähigkeit

Besonders bei plötzlichem, schwerem Leistungsabfall ist an eine höhenbedingte Erkrankung zu denken bis das Gegenteil bewiesen ist. Sofortmaßnahmen wie kein weiterer Aufstieg bzw. begleiteter Abstieg sind zu treffen. Dringt man in neue Höhen vor, folgt nach einer Akutreaktion (vgl. dazu Kap. 2.3.1) die dauerhafte Anpassung (vgl. dazu Kap. 2.3.3). Erst dann ist man auf niedrigerem Leistungsniveau wieder voll belastbar. Dies gilt jedoch nur für Höhen bis ca. 5300 Metern (vgl. dazu Kap. 2.1.1). Nach Berghold & Schaffert (2010) stellt die Atmung in der Höhe den hauptsächlich leistungslimitierenden Faktor dar.

0 Punkte = keine Leistungseinschränkung

1 Punkt = geringe Leistungseinschränkung

2 Punkte = mäßiger, plötzlicher Leistungsabfall

3 Punkte = schwerer, plötzlicher Leistungsabfall

Für ein bevorstehendes oder beginnendes HAPE ist ein plötzlicher Leistungsabfall

das Leitsymptom (vgl. dazu Kap. 2.4.3).

4.3.2.18 Tagessumme

Die einzelnen Parameter wurden von den Probanden jeden Tag gemessen bzw. bewertet, in den Untersuchungsbogen eingetragen und addiert. Die Messwerte Ruhepuls, Herzfrequenzvariabilität und Sauerstoffsättigung waren frühmorgens zu erheben und einzutragen. Für die Kategorie Ruhepuls waren ebenfalls Punkte zu vergeben. Ein niedriger Gesamtwert lässt auf einen guten Allgemeinzustand schließen. Drei Punkte in einer Kategorie oder eine Tagessumme über 19 Punkte über mehr als einen Tag sind nicht nur ein Ausschlusskriterium für diese Studie, sondern auch ein mögliches Zeichen für eine ernsthafte höhenbedingte Erkrankung.

0 Punkte: Sehr gute Verfassung

1 – 5 Punkte: Gute Verfassung

6 – 10 Punkte: Die weitere Entwicklung des Gesundheitszustandes genau beobachten. In den hoch bewerteten Kategorien evtl. bereits therapeutische Maßnahmen treffen, da bereits eine leichte Form der akuten Höhenkrankheit vorliegen kann.

11 – 18 Punkte: Eine akute Bergkrankheit könnte vorliegen. Sofortige Therapie der vorhandenen Probleme, kein weiterer Aufstieg bzw. Abstieg.

19 – 27 Punkte: Maßnahmen wie Abstieg, vor allem beim Aufenthalt in extremem Höhen und medizinische Behandlung müssen sofort ergriffen werden. Es ist davon auszugehen, dass möglicherweise eine schwere Form der AMS oder eine andere hypoxiebedingte Erkrankung vorliegt.

4.3.2.19 Eingenommene Medikamente

Zur Dokumentation des Verbrauchs bzw. der Wirksamkeit von Medikamenten. Im Rahmen dieser Studie sehr wichtig um Verfälschungen des Ergebnisses durch die Einnahme von Medikamenten zu verhindern.

4.4 Die CV4 - Technik

Der Proband befand sich in möglichst entspannter Rückenlage, der Behandler saß

am Kopfende des Patienten. Dies gestaltete sich während der Interventionen im Hotel und im Mannschaftszelt noch wie aus der Praxis gewohnt. Interessanter wurde das Einnehmen der Behandlungsposition jedoch in den Zweimannzelten der Hochlager wo mir die, vor allem durch das Sportklettern erworbene Beweglichkeit zu Gute kam. Außerdem wurde die Testgruppe auf allen zur Verfügung stehenden Isoliermatten und Daunenschlafsäcken höher gelagert, um überhaupt ein Fulcrum für ein gefühlvolles Ausführen der Technik zu bekommen.

Liem (2001) beschreibt die ausgeführte Technik wie folgt:

- Die Hände liegen muschelförmig ineinander, die Daumenspitzen berühren sich und die Daumen bilden ein V, wobei die Daumenspitzen auf Höhe des zweiten bis dritten cervikalen Proc. spinosus liegen und nach distal zeigen.
- Die Daumenballen liegen an der Hinterhauptsschuppe, möglichst medial.
- Der Expirationsphase wird gefolgt, d. h. die Daumenballen folgen der Verschmälerung der Squama.
- Die Inspiration wird inhibiert, d. h. die Daumenballen verhindern die Aussenrotation bzw. das Ausbreiten der Hinterhauptsschuppe.
- Diese Verstärkung der Expiration bzw. Verhinderung der Inspiration wird mehrmals wiederholt bzw. verstärkt.
- Wenn der Druck gegen die Daumenballen in der Inspirationsphase geringer wird und die Flexions- und Extensionsbewegung nachlässt ist der Stillpunkt erreicht.
- Während des Stillpunktes bleiben die Thenaren am Occiput und folgen eventuellen Mikrobewegungen der Nackenmuskulatur.
- Nach Ende des Stillpunktes ist wieder ein gleichmäßiger Druck des Hinterhauptes in Richtung Aussenrotation spürbar.

Zu diesem Zeitpunkt war die Behandlung beendet und die Messwerte nach Intervention wurden notiert.

4.4.1 Intervention mittels CV4 - Technik

Die Intervention mittels der CV4 - Technik an der Testgruppe erfolgte meist am Nachmittag. Die Probanden befanden sich in Rückenlage, wobei auf eine bequeme Lagerung und ausreichenden Kälteschutz besonders geachtet wurde. Diese Untersuchung stets morgens durchzuführen wäre durch die Kälte oftmals schwierig geworden. Der Zeitpunkt der Intervention war jedoch auf das jeweilige Tagesprogramm am Berg abzustimmen. Nach erfolgter Lagerung folgte eine 15 minütige Ruhephase, wobei die Probanden teilweise sogar einschliefen.

Anschließend wurde mit der Anwendung des CV4 bei der Testgruppe und den Datenaufzeichnungen mittels der bereits angelegten Messinstrumente begonnen, wobei dafür immer einen Helfer aus der bereits getesteten Kontrollgruppe zur Verfügung stand.

Aufgezeichnet wurde vor und nach der Intervention der Parameter „Puls in Ruhe“, welcher sich, wie bereits in den Voruntersuchungen zu Hause festgestellt wurde, nach spätestens 15 Minuten absoluter Ruhe konsolidierte.

Der Messwert „Sauerstoffsättigung“ konnte wie der Puls mit Hilfe des Oxymeters bequem auf einer Anzeige abgelesen werden. Wichtig war die Aufklärung der Probanden, die Sauerstoffsättigung nicht mittels verstärkter Hyperventilation nach oben zu verfälschen.

Die „Herzfrequenzvariabilität“ wurde mittels des Herzfrequenzmessgerätes ermittelt, wobei damit auch der Pulswert des Oxymeters nachkontrolliert werden konnte.

An der Kontrollgruppe wurden dieselben Vorbereitungen und Messungen vollzogen, sie wurden jedoch nicht behandelt. Die Liegezeit vom Beginn bis zum Abschluss der Messungen betrug 6 bis 10 Minuten. Dies war der ungefähre Durchschnittswert vom Beginn des CV4 bis zum Ende des Stillpunktes, was sich bereits in den Vortests zu Hause zeigte.

4.5 Datenverarbeitung und Auswertung

Die Bearbeitung der Daten erfolgte mittels des Statistikprogramms SPSS 15.0. Als Konfidenzintervall wurde 95% festgelegt, womit sich ein α – Fehler von 5% bei zweiseitiger Hypothesenformulierung ergibt.

Die Grundüberlegung war herauszufinden, ob zwischen Vor- und Nachtest ein Unterschied besteht. Dazu wurde für die intervallskalierten Daten (Sauerstoffsättigung, Herzfrequenzvariabilität, Ruhepuls) der T-Test für abhängige Stichproben gewählt. Weiters wurden die Daten zwischen Test- und Kontrollgruppe mittels T-Test für unabhängige Stichproben analysiert. Die Rohdaten wurden anhand des Kolmogorov – Smirnov – Tests auf Normalverteilung geprüft. Zur graphischen Darstellung kam das Programm MS EXCEL zur Anwendung.

Unter Signifikanz versteht man die zahlenmäßig ausgedrückte Wahrscheinlichkeit, ob sich ein Ergebnis einer statistischen Analyse substantiell vom tatsächlichen Ergebnis der Grundpopulation unterscheidet. Beispielsweise bedeutet $\alpha = 0,05$, dass die maximal zulässige Wahrscheinlichkeit für irrtümliches Ablehnen einer eigentlich richtigen Nullhypothese 5% beträgt. Umgekehrt beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass

eine richtige Nullhypothese vom Test korrekt bestätigt wird mindestens $1-\alpha$.

4.5.1 Signifikanzniveau

$\alpha = 0.1$ (10%) schwach signifikant

$\alpha = 0.05$ (5%) signifikant

$\alpha = 0.01$ (1%) hoch signifikant

$\alpha = 0.001$ (0.1%) höchst signifikant

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden mit MS EXCEL und SPSS 17 bearbeitet und dargestellt.

5.1 Darstellung der Messungen

Im nachfolgenden Teil werden die Messdaten graphisch, sowie anhand von Mittelwerten dargestellt. Die Werte wurden auch mittels SPSS geprüft, woraus die Schlussfolgerungen gezogen wurden. Überprüft wurden die Daten auf Normalverteilung und anschließend mittels T-Test für abhängige Stichproben analysiert.

5.1.1 Daten des Untersuchungsblattes, Gegenüberstellung Testgruppe - Kontrollgruppe

In diesem Kapitel werden die selbst aufgezeichneten Daten dargestellt, welche täglich von Probanden aufgenommen wurden.

Herangezogen wurden sowohl die Mittelwerte für den gesamten Höhengedächtnis, als auch die Dreitagesmittelwerte auf 4900 Metern Höhe zu Beginn (Tag 10 bis 12) und am Ende (Tag 40 bis 42) der Expedition.

5.1.1.1 Ruhepuls

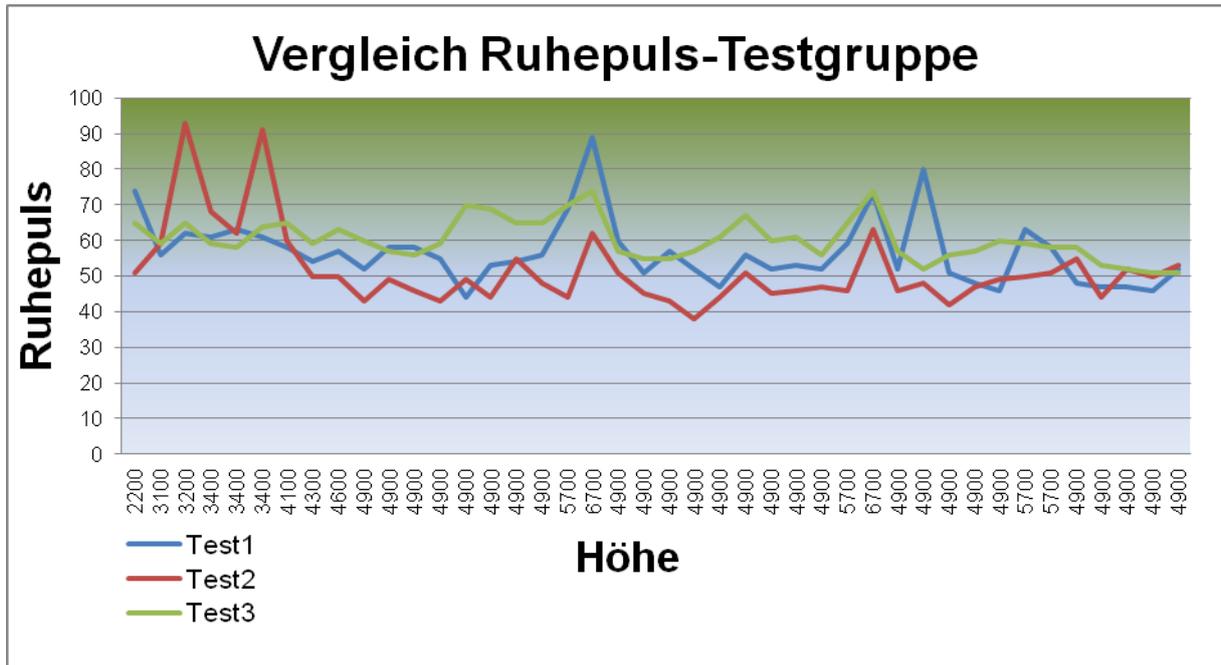


Abbildung 17: Vergleich Ruhepuls-Testgruppe

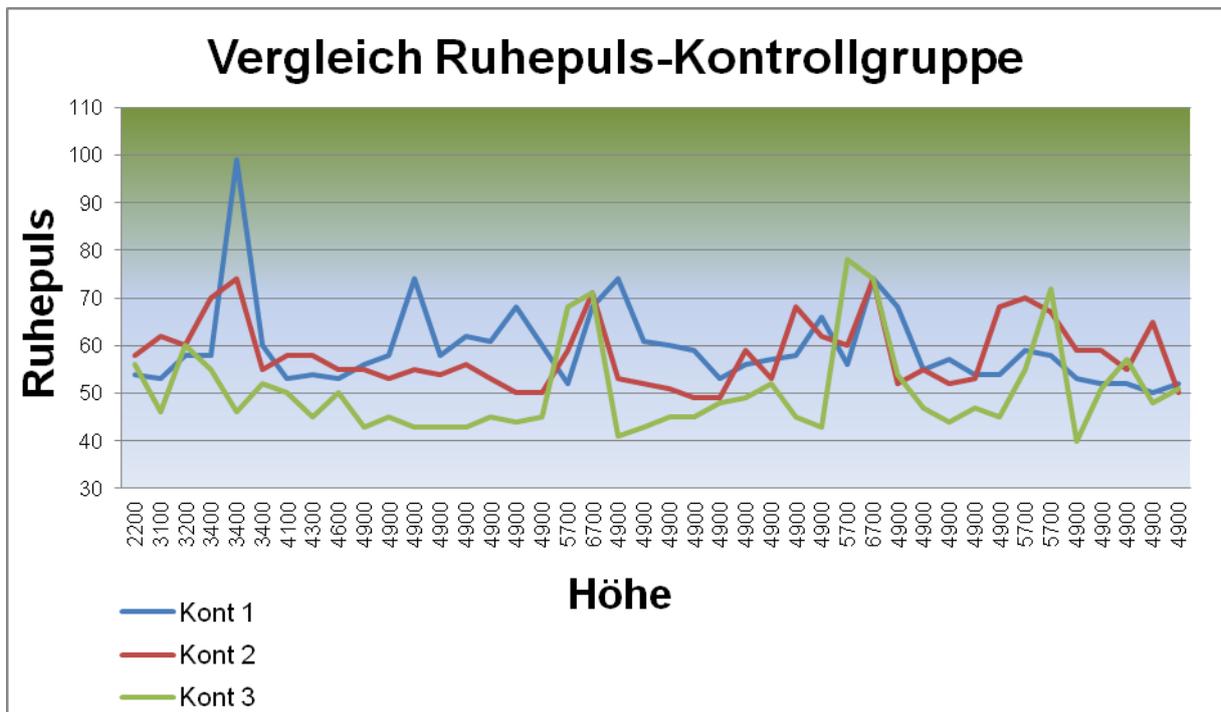


Abbildung 18: Vergleich Ruhepuls – Kontrollgruppe

Im gesamten Verlauf des Höhengenaufenthaltes beträgt der Mittelwert des Ruhepulses bei der Testgruppe 56,28 bpm, bei der Kontrollgruppe 56,05 bpm. Es ergibt sich somit auf den gesamten Verlauf der Expedition kein signifikanter Unterschied zwi-

schen Test- und Kontrollgruppe ($p=0,21$).

Jedoch ist der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn und gegen Ende der Expedition bei der Testgruppe um 2,78 bpm ($p=0,027$), bei der Kontrollgruppe um nur 0,45 bpm ($p=0,34$) gesunken.

des Höhengaufenthaltes, so beträgt der Wert der Testgruppe 86,36 %, der Wert der Kontrollgruppe 86,96 %. Dieser Unterschied weist mit einem p-Wert von 0,43 keine statistische Signifikanz auf.

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn und gegen Ende der Expedition ist bei Testgruppe jedoch um 4,89 % ($p=0,017$), bei der Kontrollgruppe um nur 3,33 % ($p=0,033$) gestiegen.

5.1.1.3 Herzfrequenzvariabilität

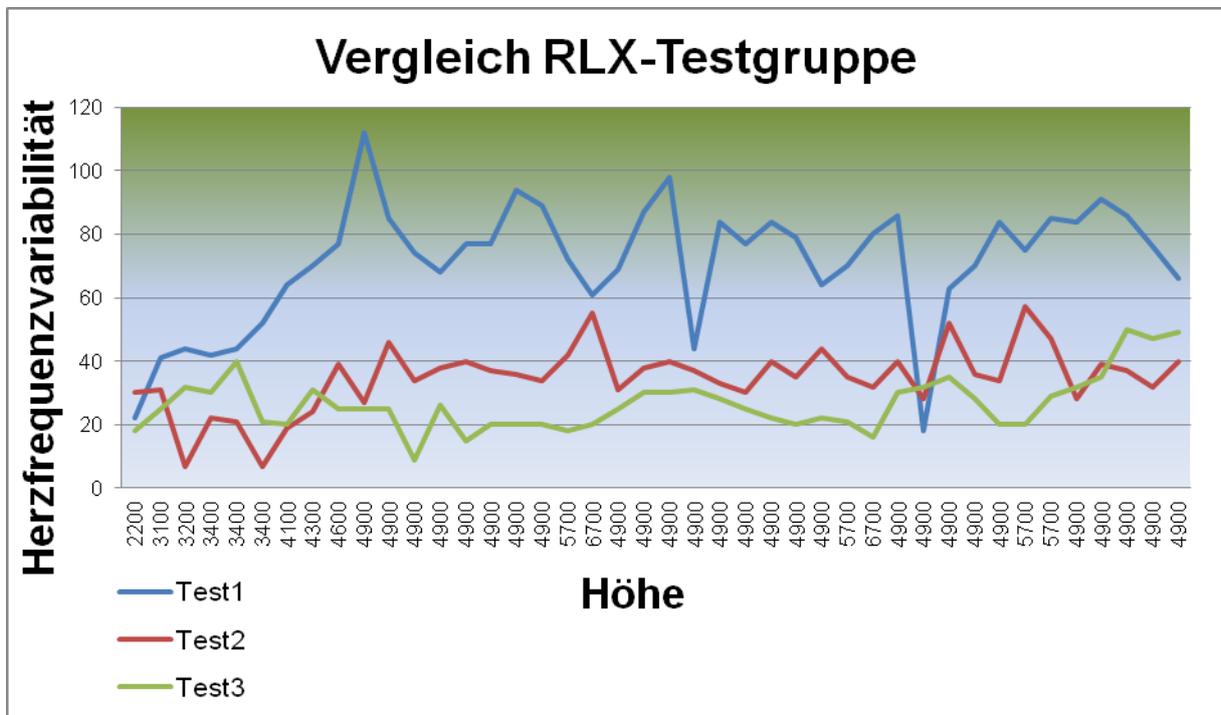


Abbildung 21: Vergleich Herzfrequenzvariabilität – Testgruppe

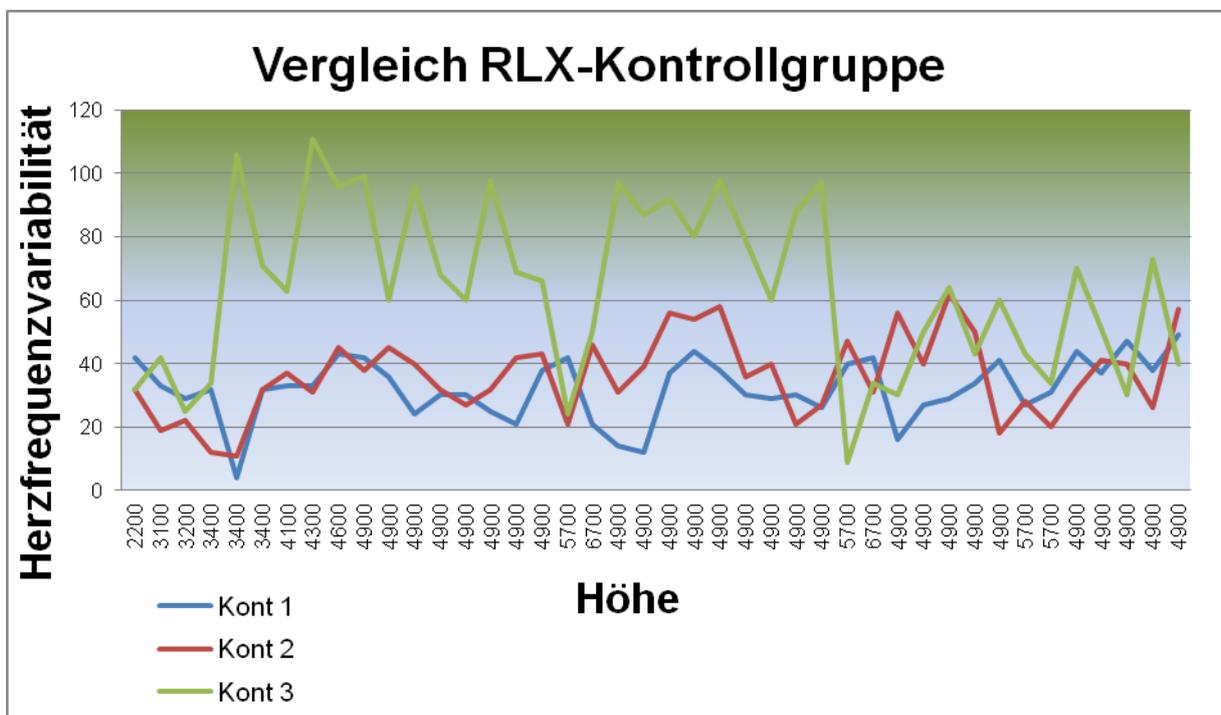


Abbildung 22: Vergleich Herzfrequenzvariabilität – Kontrollgruppe

Der Mittelwert der Herzfrequenzvariabilität über den gesamten Verlauf des Höhen-

aufenthaltes beträgt bei der Testgruppe 44,10 ms, unwesentlich niedriger ist der Mittelwert bei der Kontrollgruppe mit 44,03 ms. Statistisch betrachtet gibt es hier keinen signifikanten Unterschied ($p=0,37$).

Beim Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn und am Ende der Expedition gibt es bei der Testgruppe eine Steigerung von 5,11 ms ($p=0,002$), bei der Kontrollgruppe sogar eine Steigerung von 8,89 ms ($p=0,001$).

2,21 Punkte, bei der Kontrollgruppe liegt er bei 2,59 Punkten.

Der Dreitagesmittelwert zwischen Beginn und Ende der Expedition auf 4900 Metern Höhe ist bei der Testgruppe um 1,89 Punkte gestiegen ($p=0,39$), bei der Kontrollgruppe aber um 0,89 Punkte gesunken ($p=0,45$).

5.1.2 Darstellung und Beschreibung der Daten vor und nach der Intervention (Einzelpersonen)

Herangezogen wurden die Mittelwerte für den gesamten Höhengaufenthalt vor und nach der Intervention mittels der CV4 - Technik bei der Testgruppe bzw. zu Beginn und am Ende der Messungen ohne Intervention bei der Kontrollgruppe.

Weiters wurden die ersten- (Tag 10 bis 12) und letzten Dreitagesmittelwerte (Tag 40 bis 42) auf 4900 Metern Höhe für die Test- und Kontrollgruppe zu Beginn und am Ende der Intervention bzw. Messungen verwendet.

5.1.2.1 Testperson 1

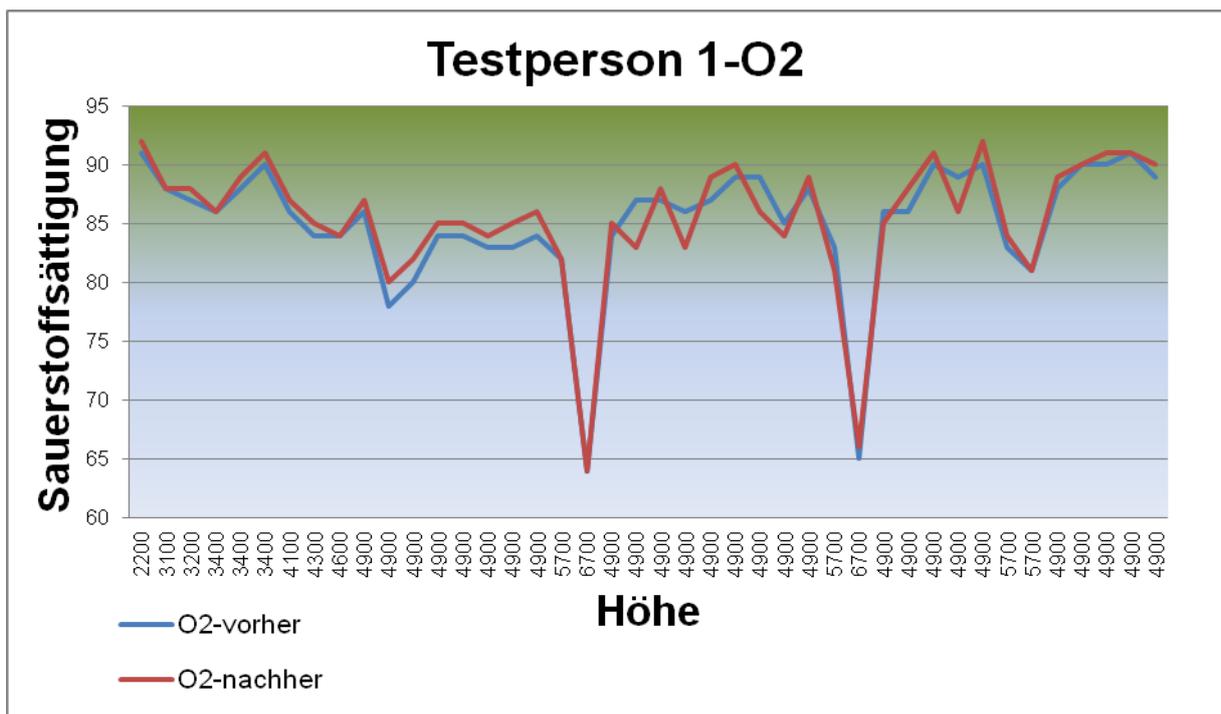


Abbildung 25: Testperson 1 - Sauerstoffsättigung

Bei Testperson 1 beträgt der Mittelwert der Sauerstoffsättigung im gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes vor der Intervention mittels CV4 85,12 %, nach der Intervention 85,52 % (+0,4 %). Die Intervention führte zu keinem signifikanten Unterschied ($p=0,29$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition beträgt vor der Intervention 81,33 %, nach der Intervention 83 % (+1,67 %), was keinen signifi-

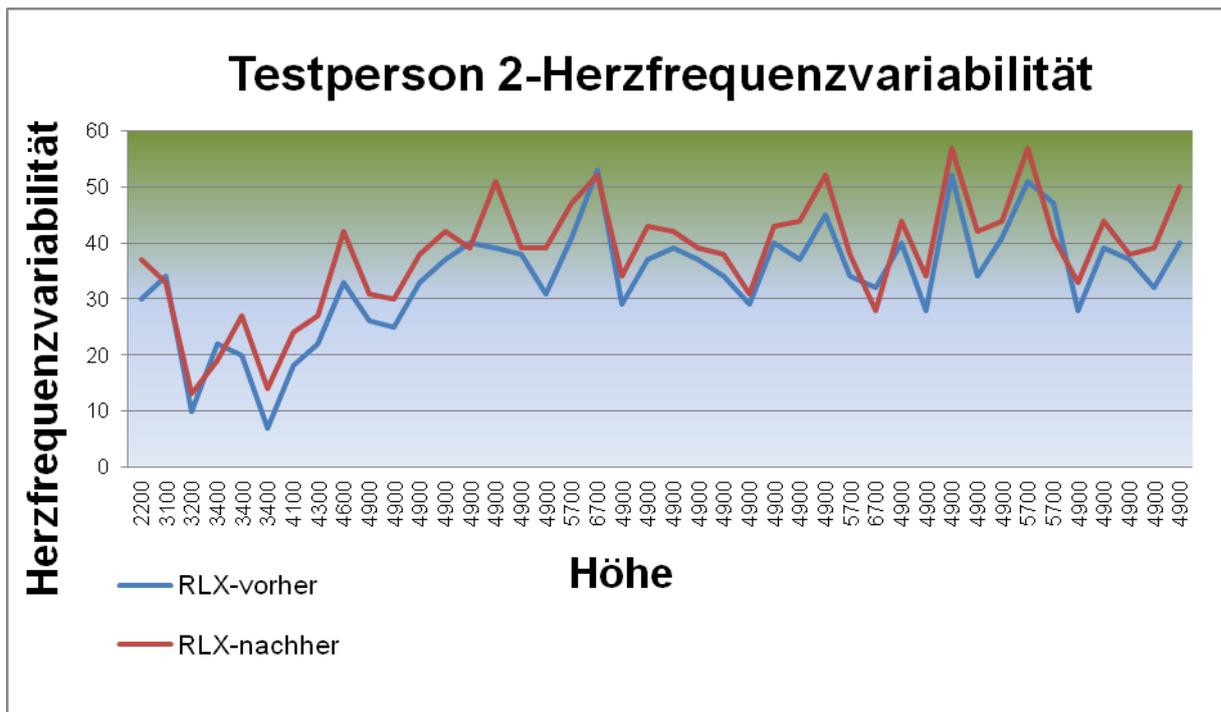


Abbildung 30: Testperson 2-Herzfrequenzvariabilität

Über den gesamten Verlauf des Aufenthaltes in mittleren bis extremen Höhen nahm der Mittelwert der Herzfrequenzvariabilität bei Testperson 2 von 33,83 ms vor der Intervention auf 38,07 ms nach der Intervention zu (+4,24 ms), d. h. es kam zu einer hoch signifikanten Erhöhung der Herzfrequenzvariabilität ($p=0,003$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition nahm von 28 ms vor der Intervention auf 33 ms nach der Intervention um 5 ms zu, es kam zu einer hoch signifikanten Erhöhung ($p=0,002$).

Am Ende der Expedition auf 4900 Metern nahm der Mittelwert der Herzfrequenzvariabilität über drei Tage von 36,33 ms auf 42,33 ms sogar um 6 ms zu. Auch hier kann man eine hoch signifikante Erhöhung beobachten ($p=0,002$).

5.1.2.3 Testperson 3

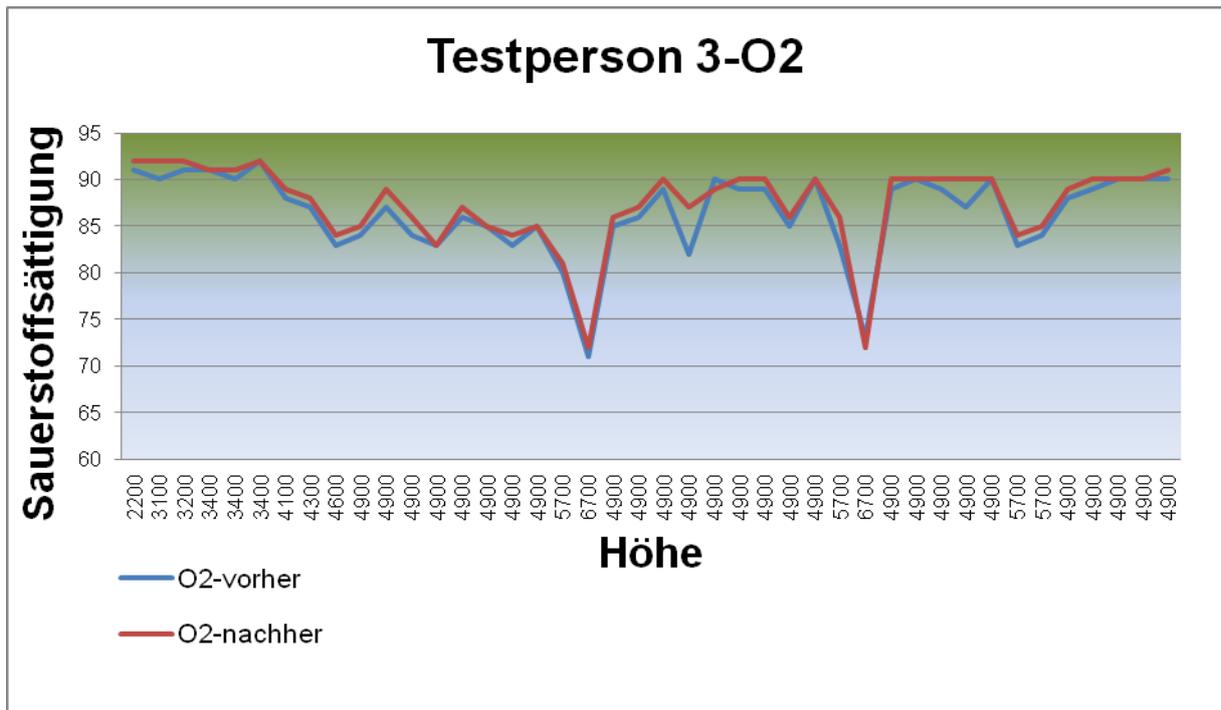


Abbildung 31: Testperson 3- Sauerstoffsättigung

Bei Testperson 3, gesehen über den gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes, beträgt der Mittelwert der Sauerstoffsättigung vor der Intervention mittels CV4 86,45 %, nach der Intervention 87,38 % (+0,93 %), d. h. es kam zu keinem signifikanten Unterschied ($p=0,15$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition nahm von 85 % vor der Intervention auf 86,67 % nach der Intervention zu (+1,67 %). Diese Steigerung ist nicht signifikant ($p=0,33$).

Am Ende der Expedition beträgt der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern vor der Intervention 90 %, nach der Intervention 90,33 %, es kam lediglich zu einer Steigerung von 0,33 % ($p=0,52$).

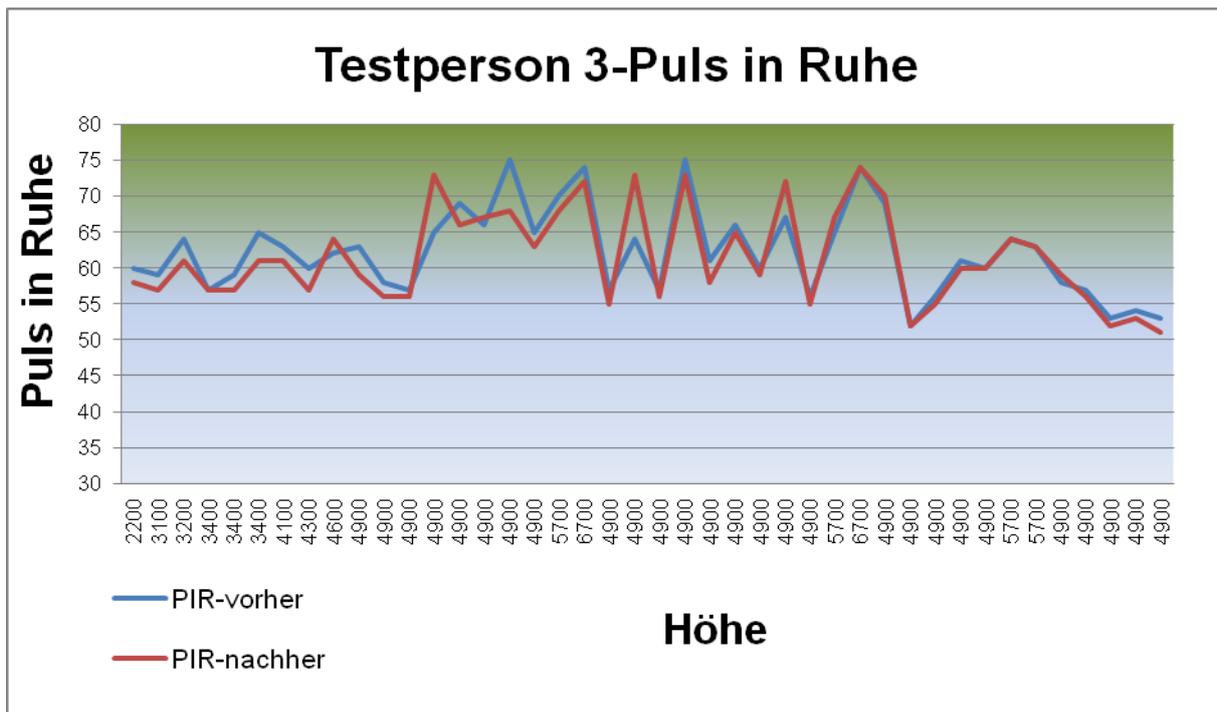


Abbildung 32: Testperson 3-Puls in Ruhe

Der Puls in Ruhe nahm bei Testperson 3 über den gesamten Expeditionsverlauf gesehen von 62,21 bpm vor der Intervention mittels CV4 auf 61,5 bpm nach der Intervention ab (-0,71 bpm). Es kam zu keiner signifikanten Reduktion des Pulses in Ruhe ($p=0,29$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition nahm von 59,33 bpm auf 57 bpm ab (-2,33 bpm), d. h. signifikante Reduktion ($p=0,037$).

Am Ende des Höhengaufenthaltes beträgt der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern vor der Intervention 53,33 bpm, nach der Intervention 52 bpm (-1,33 bpm), d. h. keine Signifikanz ($p=0,22$).

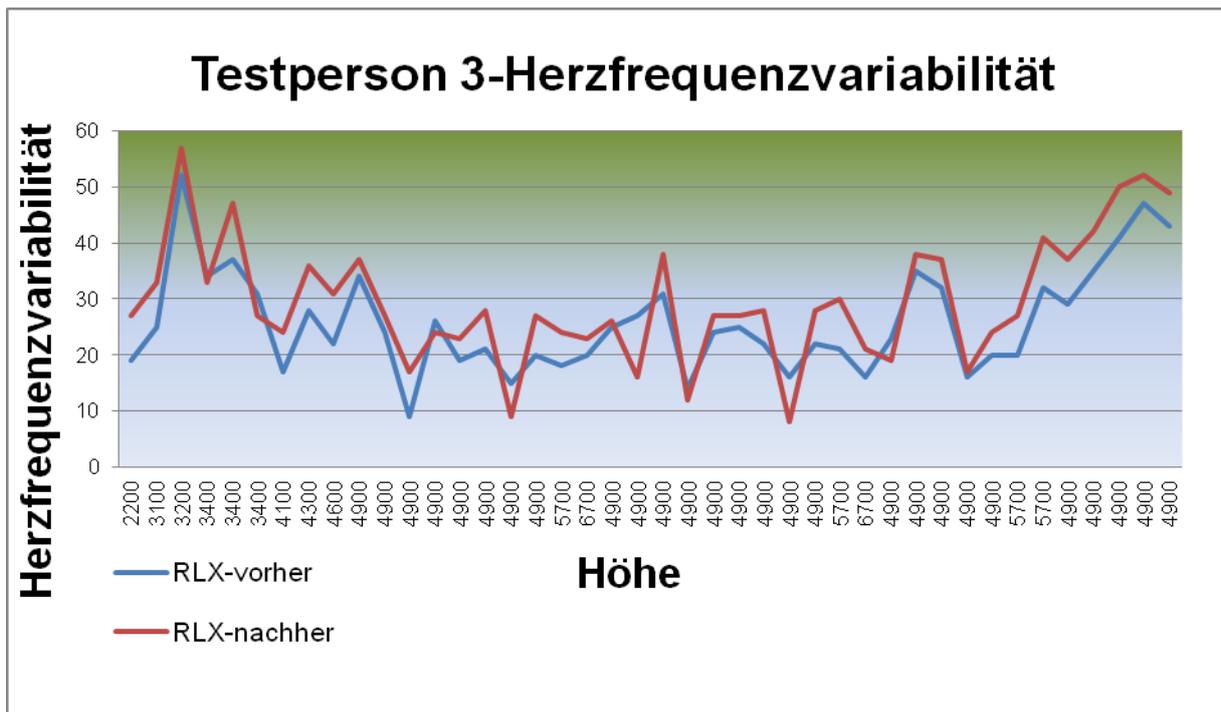


Abbildung 33: Testperson 3-Herzfrequenzvariabilität

Die Herzfrequenzvariabilität nahm bei Testperson 3 während des gesamten Höhengaufenthaltes von 25,88 ms vor der Intervention auf 29,71 ms nach der Intervention zu (+3,83 ms). Es kam zu einer statistisch signifikanten Steigerung ($p=0,026$).

Der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern nahm am Beginn der Expedition von 22,33 ms vor der Intervention auf 27 ms nach der Intervention um 4,67 ms zu – hoch signifikante Zunahme ($p=0,0037$).

Am Ende des Höhengaufenthaltes nahm der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern von 43,67 ms vor der Intervention auf 50,33 ms nach der Intervention sogar um 6,66 ms zu, es kam zu einer höchst signifikanten Zunahme ($p= 0,001$).

5.1.2.4 Kontrollperson 1

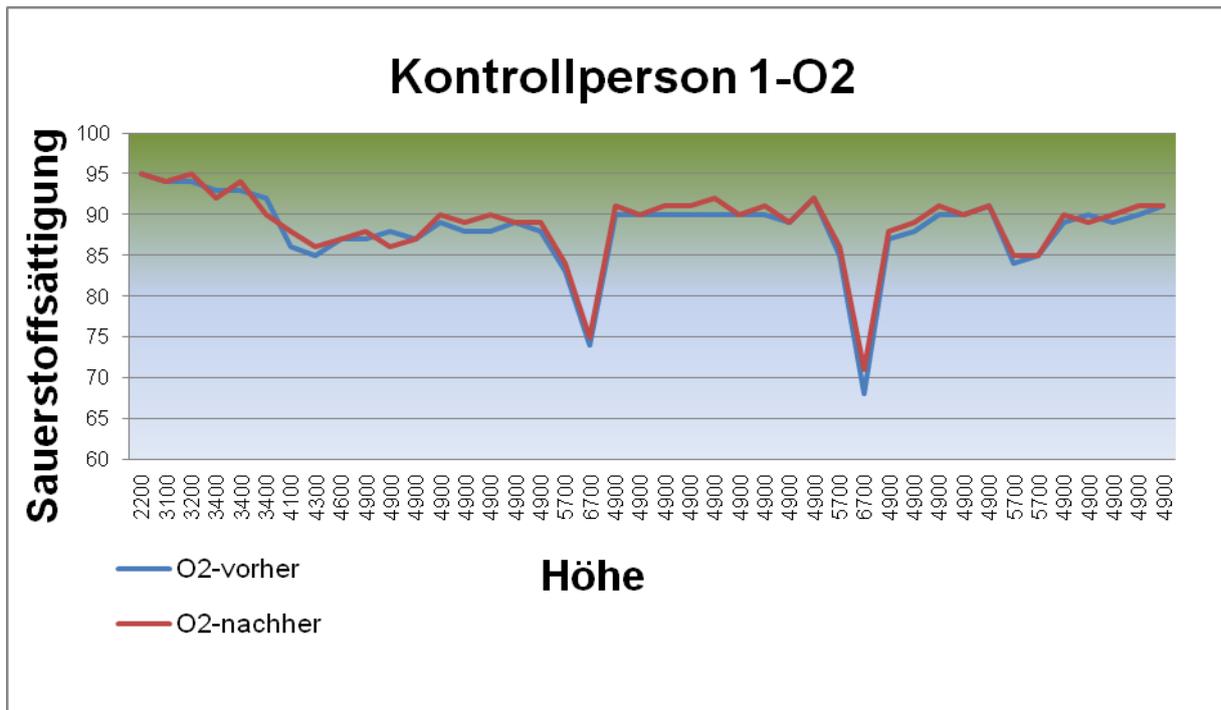


Abbildung 34: Kontrollperson1- Sauerstoffsättigung

Bei Kontrollperson 1 nahm der Mittelwert der Sauerstoffsättigung im gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes von 88,29 % zu Beginn der Messungen auf 88,86 % am Ende der Messungen um 0,57 % zu. Es kam zu keinem signifikanten Unterschied ($p=0,57$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition nahm von 87,33 % vor den Tests auf 87 % am Ende der Messungen sogar um 0,33 % ab ($p=0,51$).

Am Ende der Expedition nahm der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern von 90 % vor der Ruhephase auf 90,67 % nach den Tests wieder leicht zu (+0,67 %), was jedoch ebenfalls keine statistische Signifikanz hat ($p=0,44$).

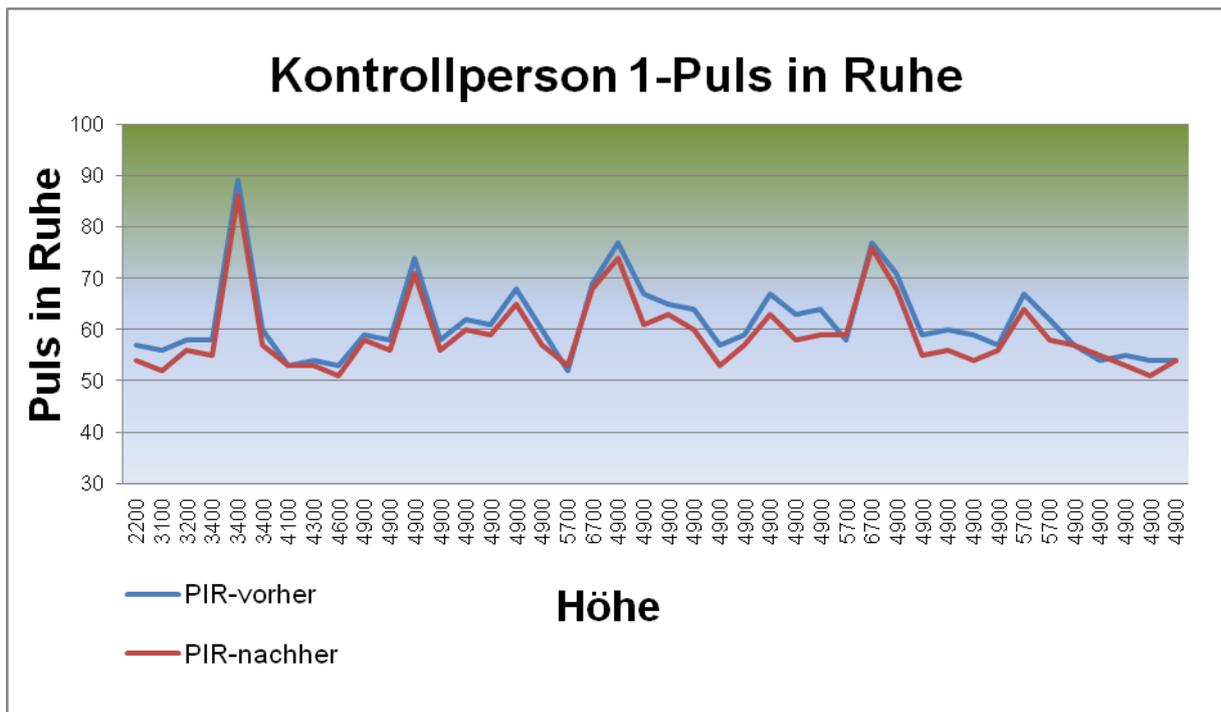


Abbildung 35: Kontrollperson 1-Puls in Ruhe

Im gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes beträgt der Mittelwert des Pulses in Ruhe bei Kontrollperson 1 vor den Messungen 61,57 bpm, nachher 59,14 bpm (-2,43 bpm), was eine signifikante Senkung ($p=0,034$) ergibt.

Der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern Höhe am Beginn der Expedition senkte sich von 63,67 bpm vor den Tests auf 61,67 bpm nach den Messungen (-2 bpm), statistisch ist diese Senkung signifikant ($p=0,044$).

Am Ende der Expedition senkte sich der Dreitagesmittelwert des Pulses in Ruhe auf 4900 Metern von 54,33 bpm auf 52,67 bpm (-1,66 bpm), eine statistische Signifikanz ist nicht gegeben ($p=0,29$).

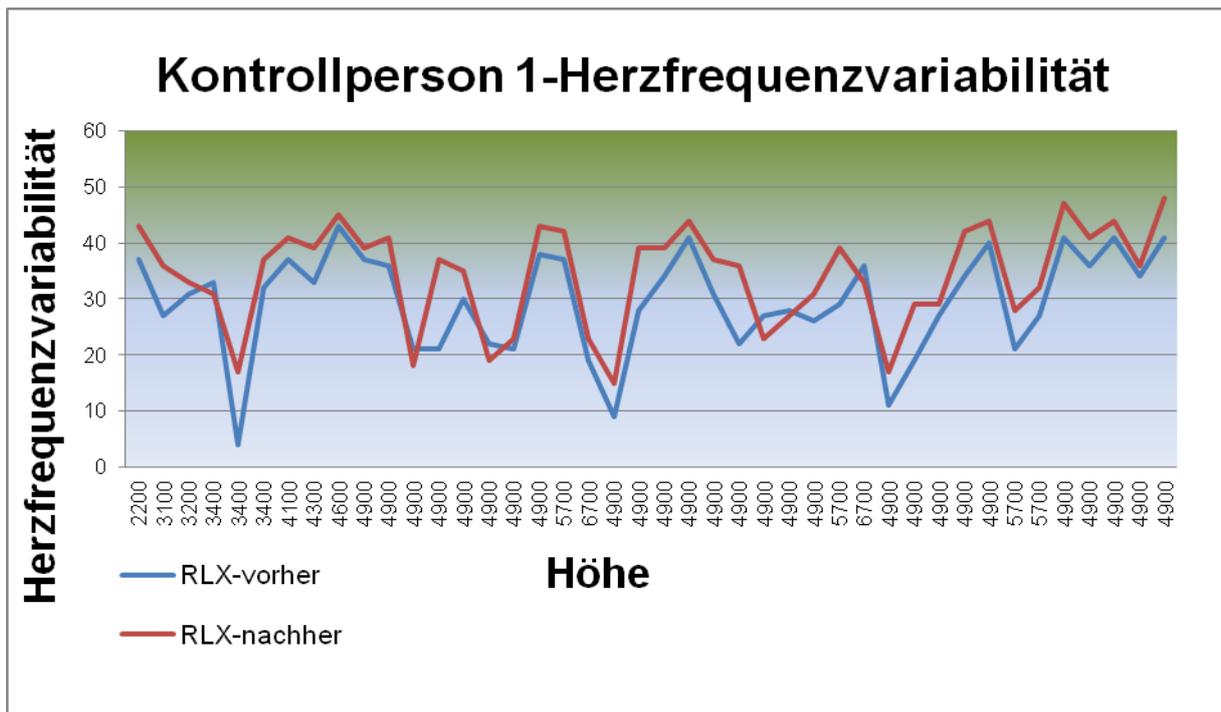


Abbildung 36: Kontrollperson 1-Herzfrequenzvariabilität

Der Mittelwert der Herzfrequenzvariabilität bei Kontrollperson 1 während des gesamten Aufenthaltes in mittleren bis extremen Höhen beträgt vor den Messungen 29,57 ms, nach den Messungen 34,33 ms (+4,76 ms). Diese Änderung ist statistisch als hoch signifikant anzusehen ($p=0,002$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe nahm am Beginn der Expedition von 31,33 ms am Anfang der Messungen auf 32,67 ms am Ende der Messungen um 1,34 ms zu (nicht signifikant, $p=0,29$).

Gegen Ende der Expedition nahm der Dreitagesmittelwert der Herzfrequenzvariabilität vom Beginn bis zum Abschluss der Messungen jedoch von 38,67 ms auf 42,67 ms um 4 ms zu, was als statistisch signifikant anzusehen ist ($p=0,012$).

5.1.2.5 Kontrollperson 2

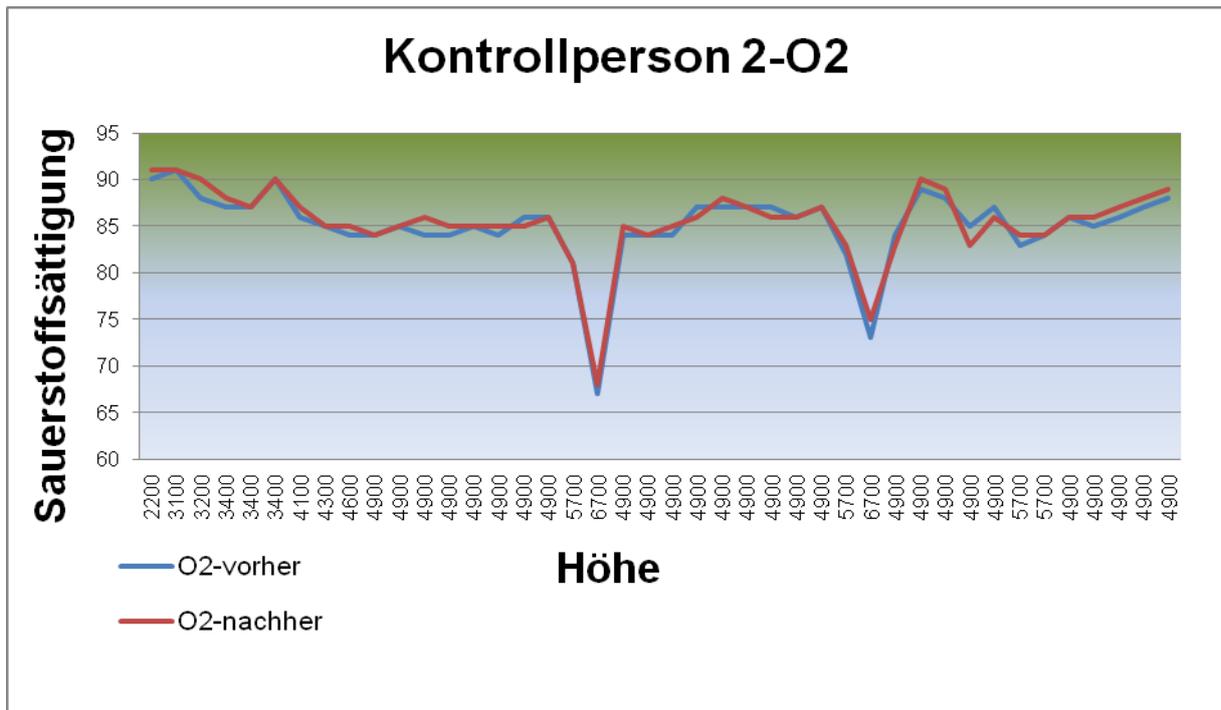


Abbildung 37: Kontrollperson 2- Sauerstoffsättigung

Bei Kontrollperson 2 beträgt der Mittelwert der Sauerstoffsättigung gesehen auf den gesamten Verlauf des Aufenthaltes in mittleren bis extremen Höhen am Beginn der Messungen 85,10 %, am Ende der Messungen 85,50 % (+0,4 %), die Steigerung ist statistisch nicht signifikant ($p=0,49$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe am Anfang der Expedition beträgt zu Beginn der Tests 84,33 %, am Ende der Messungen 85 % (+0,67 %), es ist keine Signifikanz gegeben ($p=0,41$).

Am Ende der Expedition beträgt der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern zu Beginn der Messungen 87 %, bei Abschluss der Messungen 88 % (+1 %), es ist ebenfalls keine Signifikanz gegeben ($p=0,40$).

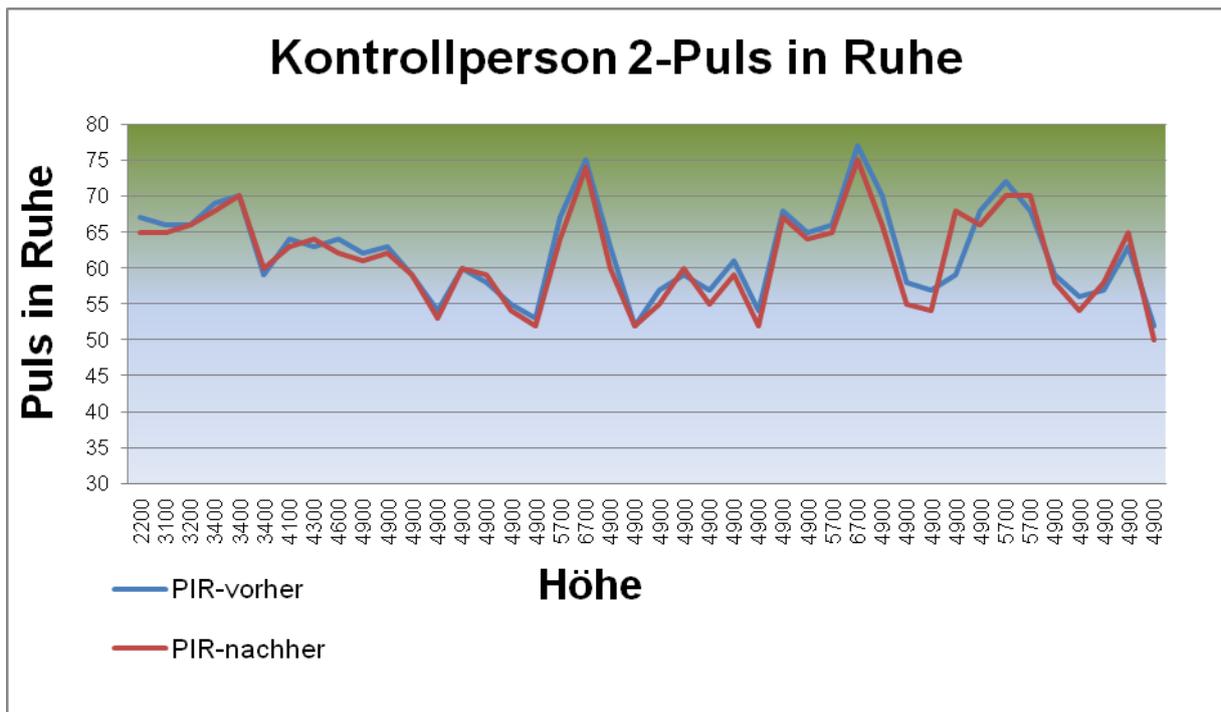


Abbildung 38: Kontrollperson 2-Puls in Ruhe

Der Mittelwert des Pulses in Ruhe beträgt bei Kontrollperson 2, gesehen über den gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes zu Beginn der Tests 62,19 bpm und nimmt bis zum Ende der Messungen nur auf 61,40 bpm ab (-0,79 bpm). Es kam zu keiner signifikanten Reduktion ($p=0,21$).

Zu Beginn der Expedition auf 4900 Metern Höhe nahm der Dreitagesmittelwert von 61,33 bpm am Anfang der Messungen auf 60,67 bpm am Ende der Messungen ab (-0,66 bpm), d. h. keine statistische Signifikanz ($p=0,37$).

Am Ende der Expedition nahm der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern, nicht signifikant ($p=0,41$) zu Beginn und zum Abschluss der Messungen sogar von 57,33 bpm auf 57,67 bpm zu (+0,34 bpm).

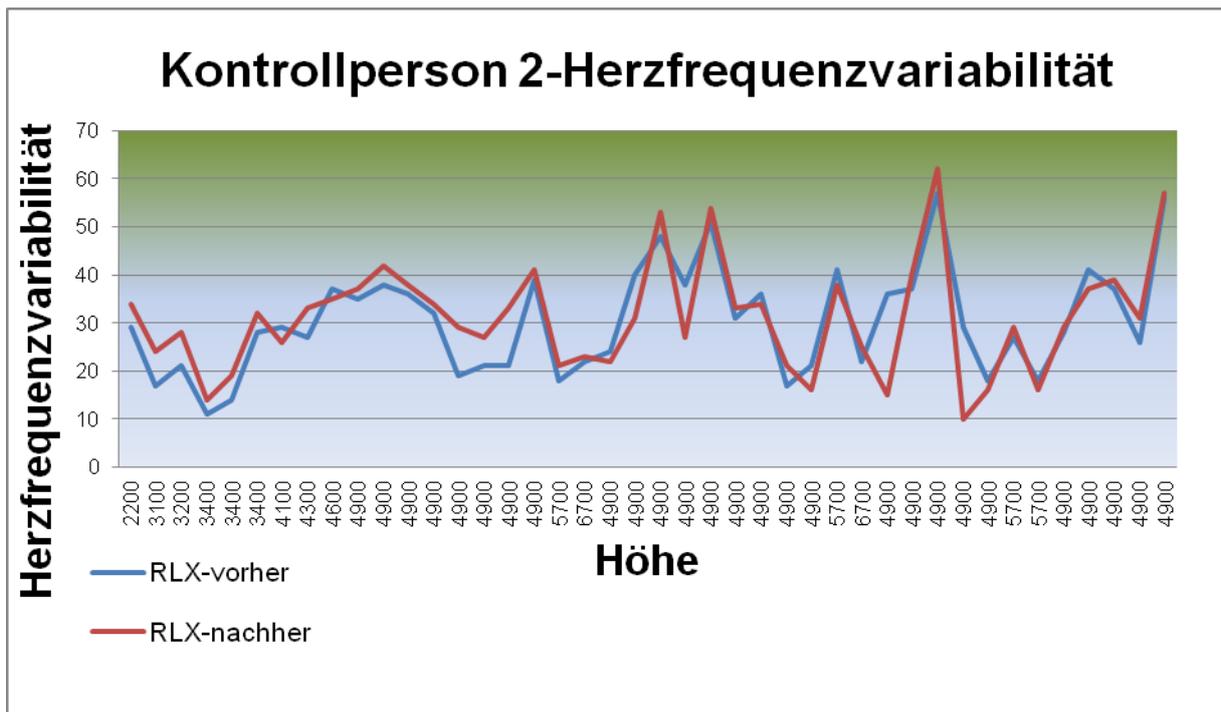


Abbildung 39: Kontrollperson 2 –Herzfrequenzvariabilität

Die Herzfrequenzvariabilität im Mittelwert betrachtet über den gesamten Höhengaufenthalt beträgt bei Kontrollperson 2 vor den Messungen 30,31 ms, am Ende der Messungen 31,07 ms (+0,76 ms). Diese Steigerung ist statistisch nicht signifikant ($p=0,38$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern zu Beginn der Expedition stieg von 36,33 ms beim Start der Messungen auf 39 ms zum Abschluss der Messungen (+2,67 ms), d. h. es kam zu einer signifikanten Steigerung ($p=0,031$).

Am Ende der Expedition stieg der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern von 39,67 ms zu Beginn der Tests auf 42,33 ms beim Ende der Messungen (+2,66 ms). Auch hier kam es zu einer signifikanten Erhöhung ($p=0,033$).

5.1.2.6 Kontrollperson 3

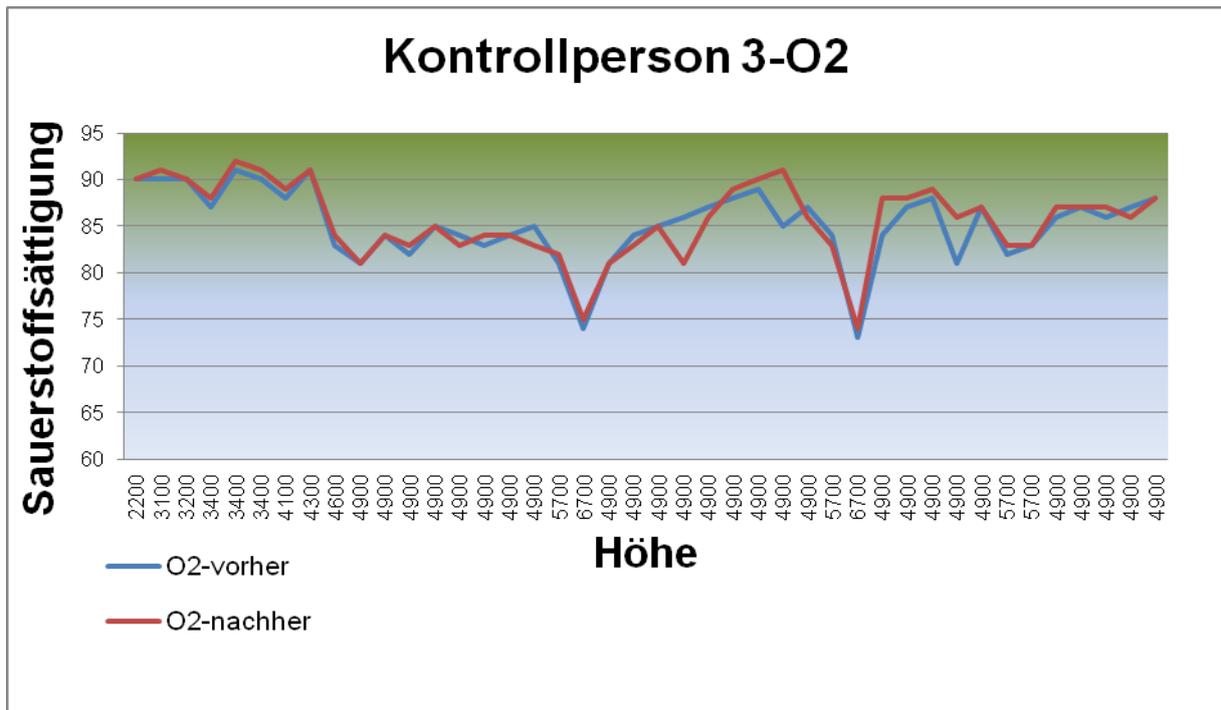


Abbildung 40:Kontrollperson 3 –Sauerstoffsättigung

Bei Kontrollperson 3 beträgt der Mittelwert der Sauerstoffsättigung im gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes zu Beginn der Messungen 85,19 %, am Ende der Messungen 85,67 % (+0,48 %). Es kam in der Messphase zu keiner signifikanten Erhöhung ($p=0,36$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition nahm von 82,33 % beim Start der Tests unwesentlich auf 82,67 % am Ende der Tests zu (+0,34 %), d. h. keine signifikante Erhöhung ($p=0,52$).

Am Ende der Expedition blieb der Mittelwert über drei Tage auf 4900 Metern zu Beginn und mit Abschluss der Messungen mit 87 % unverändert.

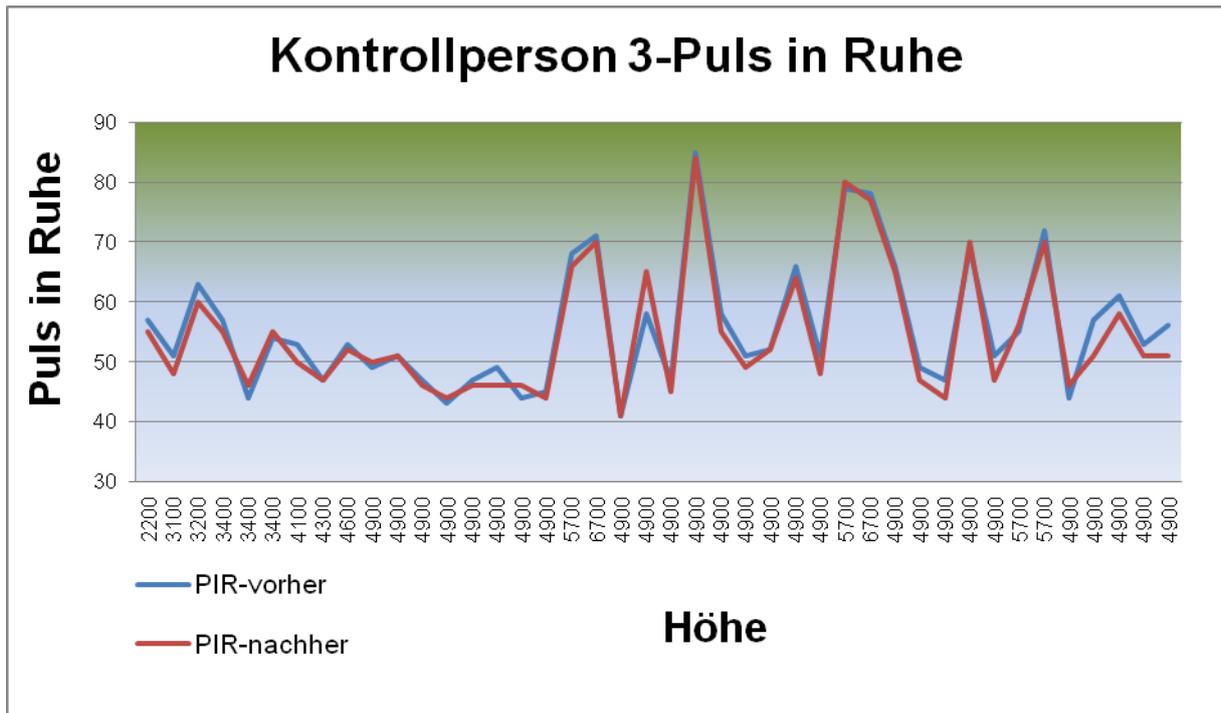


Abbildung 41: Kontrollperson 3- Puls in Ruhe

Bei Kontrollperson 3 nahm der Mittelwert des Pulses in Ruhe, betrachtet über den gesamten Verlauf der Messungen von 55,69 bpm vor den Tests auf 54,60 bpm am Ende der Tests ab (-1,09 bpm). Diese Abnahme ist statistisch nicht signifikant ($p=0,41$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition blieb mit 49 bpm am Anfang und Ende der Messungen unverändert.

Am Ende der Expedition auf 4900 Metern Höhe sank der Dreitagesmittelwert des Pulses in Ruhe von 56,67 bpm auf 53,33 bpm (-3,34 bpm), es kam zu einer signifikanten Senkung ($p=0,029$).

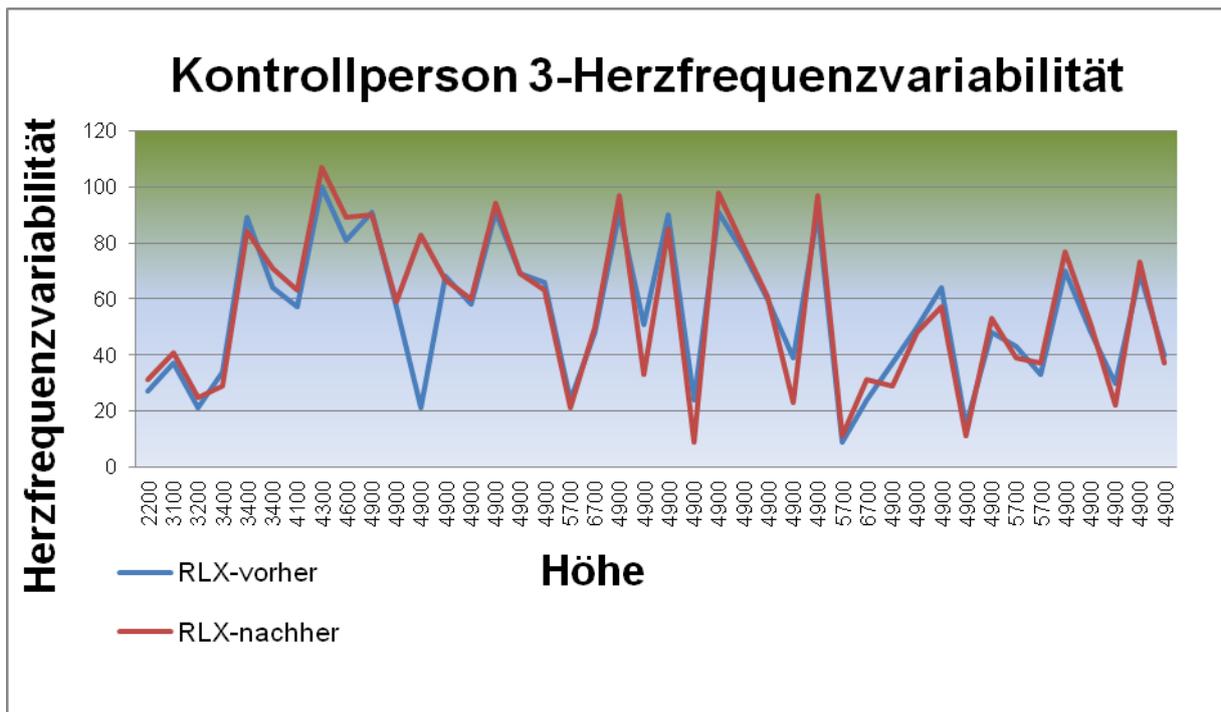


Abbildung 42: Kontrollperson 3 – Herzfrequenzvariabilität

Der Mittelwert der Herzfrequenzvariabilität bei Kontrollperson 3 stieg über den gesamten Höhengaufenthalt von 54,69 ms zu Beginn der Messungen auf 56,05 ms am Ende der Messungen (+1,36 ms), was sich nach statistischer Prüfung als signifikant herausstellte ($p=0,041$).

Der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern Höhe zu Beginn der Expedition stieg bei Kontrollperson 3 vom Beginn bis zum Ende der Messungen überdurchschnittlich von 56,33 ms auf 77,33 ms (+21 ms), d. h. höchst signifikant ($p=0,001$).

Am Ende der Expedition sank der Dreitagesmittelwert auf 4900 Metern von 46,33 ms zu Beginn der Messungen auf 44 ms zum Abschluss der Messungen (-2,33 ms). Es kam zu einer signifikanten Reduktion ($p=0,037$).

5.1.3 Darstellung und Beschreibung der Messdifferenzen vor und nach der Intervention zwischen Test- und Kontrollgruppe

In diesem Kapitel werden die gemessenen Unterschiede zwischen Beginn und Abschluss der Intervention mittels CV4 - Technik bei der Testgruppe bzw. zwischen Beginn und Abschluss der Messungen ohne Anwendung des CV4 bei der Kontrollgruppe behandelt. Bei diesem Vergleich wurden die Mittelwerte über den gesamten Verlauf der Expedition herangezogen.

5.1.3.1 Puls in Ruhe

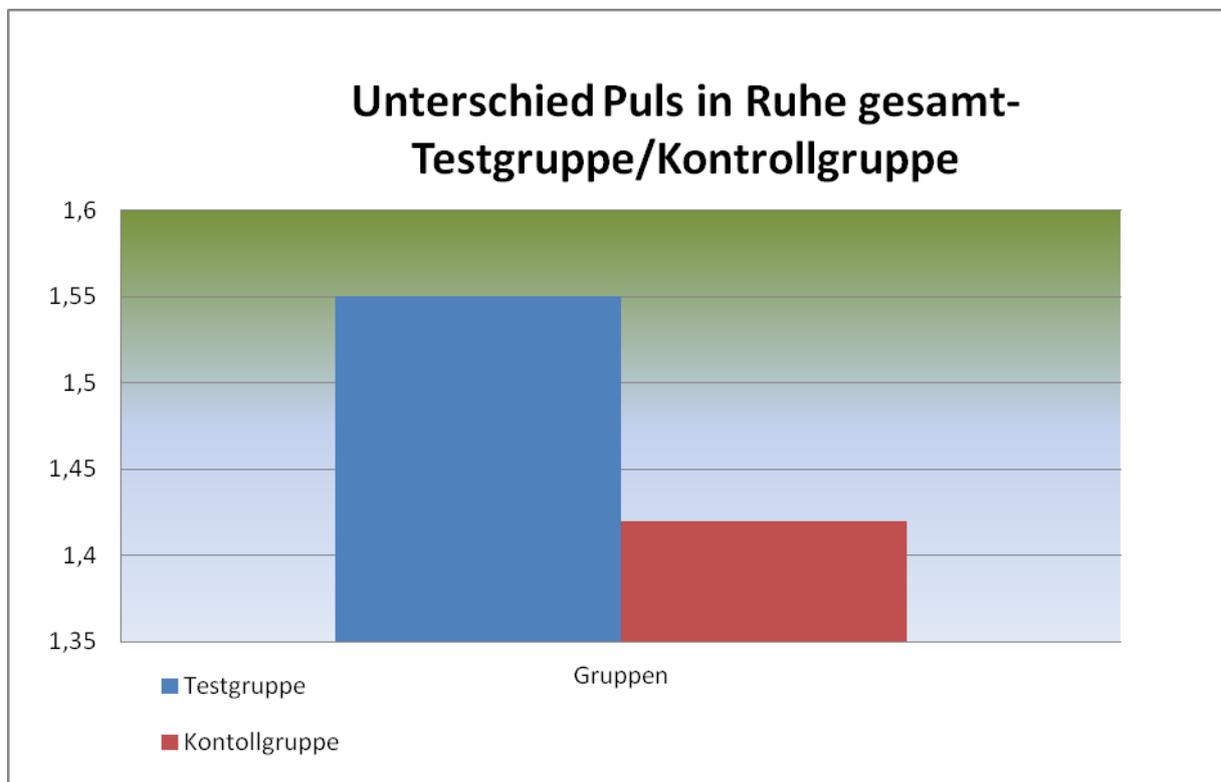


Abbildung 43: Differenz Puls in Ruhe gesamt

Der Puls in Ruhe nahm bei der Testgruppe zwischen Beginn und Abschluss der Intervention mittels CV4 – Technik um 1,55 bpm ab, bei der Kontrollgruppe ohne Intervention nahm der Ruhepuls um 1,42 bpm ab.

Statistisch gesehen ist die Differenz von 0,13 bpm zwischen Test- und Kontrollgruppe nicht signifikant ($p=0,37$).

5.1.3.2 Sauerstoffsättigung

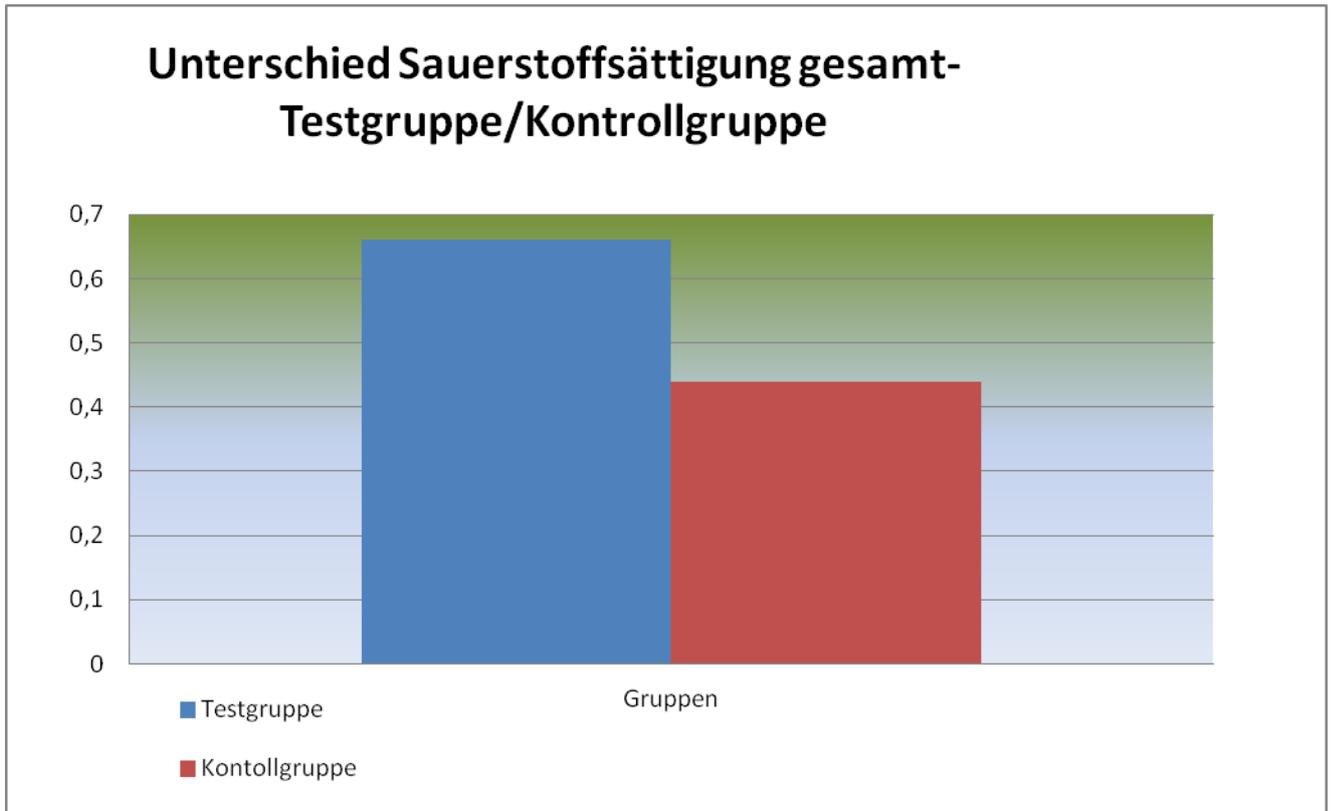


Abbildung 44: Differenz Sauerstoffsättigung gesamt

Bei der Testgruppe nahm die Sauerstoffsättigung zwischen Beginn und Abschluss der Intervention um 0,66 % zu, bei der Kontrollgruppe nahm die Sauerstoffsättigung ohne Intervention zwischen Beginn und Abschluss der Messungen um 0,44 % zu. Die Differenz von 0,22 % zwischen Test- und Kontrollgruppe ist statistisch nicht signifikant ($p=0,27$).

5.1.3.3 Herzfrequenzvariabilität

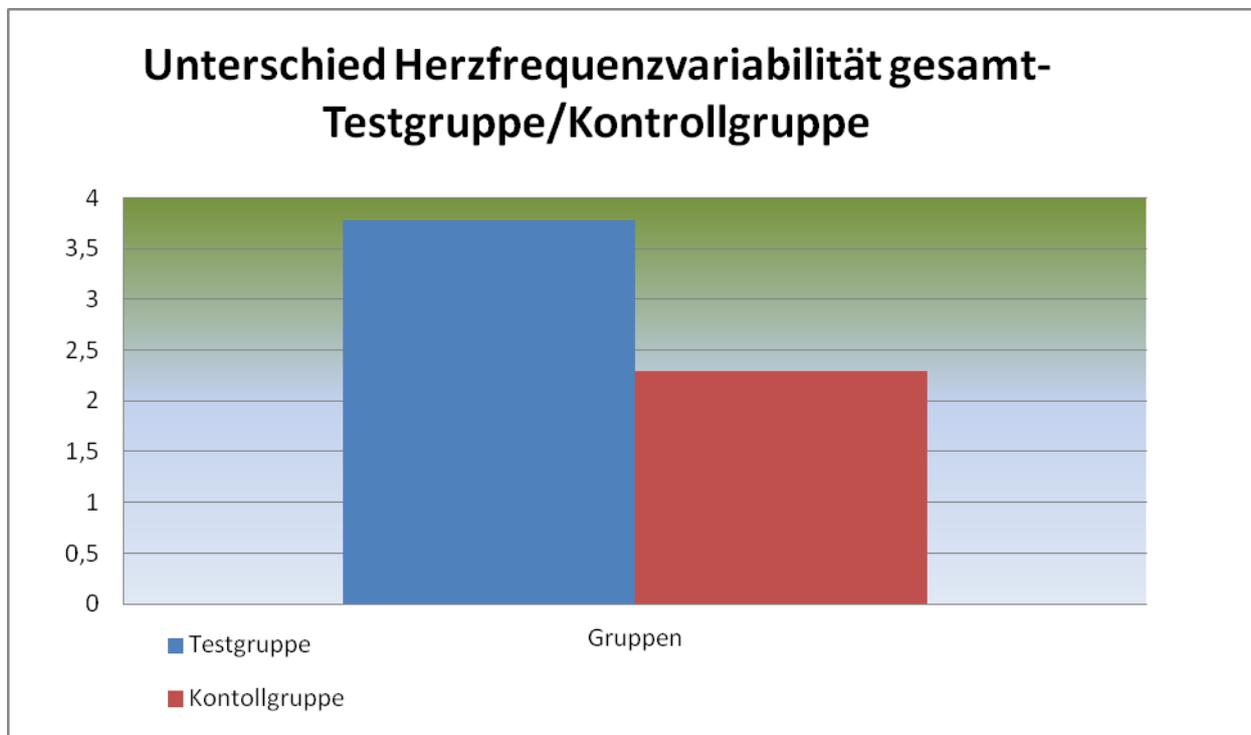


Abbildung 45: Differenz Herzfrequenzvariabilität gesamt

Die Differenz der Herzfrequenzvariabilität bei der Testgruppe zwischen dem Beginn und dem Abschluss der Intervention beträgt plus 3,78 ms, bei der Kontrollgruppe nahm die Herzfrequenzvariabilität zwischen Beginn und Abschluss der Messungen ohne Intervention jedoch um nur 2,29 ms zu.

Der Unterschied von 1,49 ms zwischen Test- und Kontrollgruppe ist als statistisch signifikant zu bezeichnen ($p=0,037$).

5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es werden ausschließlich Ergebnisse beschrieben die sich innerhalb des Signifikanzniveaus befinden.

5.2.1 Untersuchungsblatt

Bei den Daten des Untersuchungsblattes im Vergleich von Test- und Kontrollgruppe

(vgl. dazu Kap. 5.1.1.1 bis 5.1.1.4) konnten über den gesamten Verlauf der Expedition (Tag 40 bis 42) keine signifikanten Differenzen festgestellt werden.

Bei den Dreitagesmittelwerten auf 4900 Metern Höhe zu Beginn (Tag 10 bis 12) und am Ende (Tag 40 bis 42) des Höhengaufenthaltes wurden folgende signifikante Ergebnisse gefunden:

Beim Messparameter Ruhepuls ist der Mittelwert bei der Testgruppe im Vergleich der Tage 10 bis 12 mit den Tagen 40 bis 42 signifikant gesunken ($p=0,027$), bei der Kontrollgruppe gab es keine signifikante Senkung ($p=0,34$).

Die Sauerstoffsättigung ist sowohl bei der Test- als auch bei der Kontrollgruppe signifikant gestiegen, wobei die Steigerung bei der Testgruppe eine größere Signifikanz ($p=0,017$) als bei der Kontrollgruppe ($p=0,033$) aufwies.

Die Herzfrequenzvariabilität ist bei der Testgruppe hoch signifikant ($p=0,002$), jedoch bei der Kontrollgruppe sogar höchst signifikant ($p=0,001$) gestiegen.

5.2.2 Vergleich vor und nach der Intervention, Einzelpersonen

Bei Betrachtung der Messergebnisse der Testpersonen gab es beim Puls in Ruhe über den gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes bei Testperson 1 eine signifikante Senkung ($p=0,027$), bei Testperson 2 eine schwach signifikante Senkung ($p=0,082$).

Bei den Kontrollpersonen senkte sich der Puls in Ruhe bei Kontrollperson 1 signifikant ($p=0,034$).

Bei den Dreitagesmittelwerten auf 4900 Metern Höhe ist der Puls in Ruhe bei allen drei Testpersonen zu Beginn des Höhengaufenthaltes stärker gesunken als gegen Ende der Expedition, wobei es bei Testperson 2 ($p=0,035$) und bei Testperson 3 ($p=0,037$) zu einer signifikanten Verringerung an den Tagen 10 bis 12 kam.

Bei den Kontrollpersonen war bei Kontrollperson 1 an den Tagen 10 bis 12 eine signifikante Senkung ($p=0,044$) festzustellen, bei Kontrollperson 3 kam es an den Tagen 40 bis 42 zu einer signifikanten Senkung ($p=0,029$).

Bei der Herzfrequenzvariabilität der Testpersonen gesehen über den gesamten Verlauf des Höhengaufenthaltes kam es bei Testperson 1 ($p=0,034$) und bei Testperson 3 ($p=0,026$) zu einer signifikanten Zunahme, bei Testperson 2 zu einer hoch signifikanten Zunahme ($p=0,003$).

Bei den Kontrollpersonen nahm die Herzfrequenzvariabilität bei Kontrollperson 1 hoch signifikant ($p=0,002$), bei Kontrollperson 3 signifikant ($p=0,041$) zu.

Bei den Dreitagesmittelwerten ist die Herzfrequenzvariabilität aller 3 Testpersonen

am Ende der Expedition (Tag 40 bis 42) stärker gestiegen (Testperson 1 signifikant, Testperson 2 hoch signifikant, Testperson 3 höchst signifikant), wobei es zu Beginn des Aufenthaltes auf 4900 Metern (Tag 10 bis 12) ebenfalls bei allen 3 Testpersonen bereits zu starken Steigerungen kam (Testperson 1 signifikant, Testpersonen 2 und 3 hoch signifikant).

Bei den Kontrollpersonen nahm die Herzfrequenzvariabilität im Dreitagesmittelwert am Anfang des Aufenthaltes auf 4900 Metern bei Kontrollperson 2 signifikant ($p=0,031$), bei Kontrollperson 3 mit der größten Steigerung aller Messungen von 21 ms ($p=0,001$) höchst signifikant zu. Am Ende der Expedition kam es bei allen 3 Kontrollpersonen ebenfalls zu einer signifikanten Steigerung.

5.2.3 Vergleich vor und nach der Intervention bzw. Messung, Test- und Kontrollgruppe

Einen signifikanten Unterschied zwischen Test- und Kontrollgruppe gab es nur beim Messwert Herzfrequenzvariabilität zugunsten der Testgruppe ($p=0,037$).

6 Diskussion

Vorweg seien noch einmal die in der Einleitung bereits beschriebenen Probleme, wie z. B. die zu geringe Anzahl von Probanden, erwähnt. Die Aussagekraft der Ergebnisse ist dadurch schon methodisch bedingt limitiert. Trotzdem wurden die Daten statistisch ausgewertet um signifikante Unterschiede bzw. Veränderungen zu erhalten, die zumindest eine Tendenz ergeben könnten. Im Sinne des Outcome ist es als positiv anzusehen, dass die Untersuchten eine Personengruppe mit demographisch sehr ähnlichen Merkmalen darstellen. Es war auch unumgänglich, die Parameter bzw. Rahmenbedingungen des Unternehmens wie Datum, Schlafhöhe, Tageshöhe und Gehzeit/Höhenmeter/Distanz (vgl. dazu Kap. 4.3.2.1 bis 4.3.2.4) für alle Teilnehmer immer gleich zu halten. Die Ergebnisse können jedoch durch die zu kleine Kohorte auch nur zufällig sein. Auch sei die nicht erfolgte Trennung zwischen dem Verfasser der Studie und der behandelnden Person angeführt. Im Rahmen einer „ganz normalen Achttausenderexpedition“ war das, in dieser empirischen Pilotstudie praktizierte Forschungsdesign, bezogen auf Reliabilität, Validität und Objektivität, das äußerst Mögliche.

Gerade deshalb wurde bei der Auswertung versucht, Differenzen zwischen der ran-

domisierten Test- und Kontrollgruppe, sowohl über den gesamten Verlauf des Höhengenaufenthaltes als auch zu Beginn und am Ende des Aufenthaltes auf 4900 Metern Höhe (Basislager) herauszuarbeiten.

Verschiedene, nicht beeinflussbare, sehr subjektive und individuelle Beeinträchtigungen, die sich durch den Aufenthalt in extremen Höhen zwangsläufig ergeben, könnten sich in den Ergebnissen ebenso niederschlagen. Nach Berghold & Schaffert (2010) gibt es einige genetische bzw. auf anatomischen Gegebenheiten beruhende Prädispositionen, welche die Akklimatisationsfähigkeit bzw. das Entstehen einer Höhenkrankheit beeinflussen, wie z.B.:

- Unterschiedlicher Atemantrieb (vgl. dazu Kap.2.4.1.1)
- Individuelles cerebrales Raumangebot, d.h. je größer die Ventrikel bzw. je kleiner die Hirnmasse, desto größer ist die Toleranz gegenüber höhenbedingten Hirnschwellungen mit ihrem Einfluss auf die erhobenen Parameter dieser Studie
- Erhöhter hypoxischer Pulmonalarteriendruck unter Belastung

Faktoren wie cerebrale Erschöpfung durch den Sauerstoffmangel oder Angst treten ebenso sehr individuell auf.

Der oftmalige Aufenthalt im Basislager war keineswegs geplant, sondern von den herrschenden Wetterverhältnissen aufgezwungen, was einen weiteren, im Voraus nicht planbaren limitierenden Faktor darstellte. Bis ins Detail planbar würde eine derartige Studie nur, wenn man auf eine fixe Infrastruktur, wie z. B. im 2002 durchgeführten Großprojekt „Silberpyramide“ (Waanders, 2003) zurückgreifen könnte. Es handelte sich dabei um eine Akklimatisationsstudie an der elf Arbeitsgruppen mit 33 Testpersonen in einem im in Upper Lobuche (Nepal) auf 5050 Metern Höhe gelegenen, eigens erbauten Höhenlabor ihre Forschungsanliegen verfolgten. Unter anderem fanden alternativmedizinische Untersuchungen zum Thema Akupressur und Shiatsu statt. Natürlich würde gerade eine osteopathische Studie unter Laborbedingungen (Unterdruckkammer) am reibungslosesten funktionieren. Limitierende Faktoren wie eine eingeschränkte Perzeption des Untersuchers bzw. Behandlers, widrige Wetterverhältnisse, eine nicht repräsentative Anzahl von Probanden usw. kämen nicht zum Tragen.

Wegen der kleinen Gruppen wurde nicht nur auf eventuelle Unterschiede vor und nach der Intervention zwischen Test- und Kontrollgruppe, sondern (obwohl es sich um keine Einzelfallstudie handelt) auch auf Änderungen bei den einzelnen Probanden geachtet.

Die Analyse der Mittelwerte des Datenblattes über die gesamten 42 Tage der Untersuchung ergab keinerlei signifikante Unterschiede zwischen Test- und Kontrollgrup-

pe. Dies könnte für die Homogenität der Untersuchten bzw. für die für alle Probanden gleichgebliebenen Rahmenbedingungen sprechen. Fest steht, dass sich Parameter wie Ruhepuls, Sauerstoffsättigung und Herzfrequenzvariabilität mit fortschreitender Anpassung an die Höhe verbessern (vgl. dazu Kap. 2.3.1 bis 2.3.4), sofern man nicht in die Deteriorationsphase (vgl. dazu Kap. 2.3.4) „gerät“. Da sich längere Aufenthalte in extremen Höhen über 5300 Metern (vgl. dazu Kap. 2.1.1) in Grenzen hielten, war dies auch nicht zu erwarten. Die Ähnlichkeit der Tagessumme bei allen Probanden über den gesamten Höhenaufenthalt kann nur als das Ausbleiben längerfristiger Erkrankungen interpretiert werden. Eine Tagessumme von über 19 Punkten über mehr als einen Tag (vgl. dazu Kap. 4.2.2) hätte den Ausschluss dieses Zeitraumes zu Folge gehabt. Auch wurden die wichtigsten höhentaktischen Regeln (vgl. dazu Kap. 2.3) von allen Expeditionsteilnehmern weitestgehend eingehalten. Die subjektive Beurteilung des Gesundheitszustandes durch die Teammitglieder selbst, der sich in der Tagessumme ausdrückt, könnte die Objektivität der Ergebnisse beeinflussen. Das untermits, während des nicht immer ganz risikofreien Kletterns an einem Achttausender Erlebte, beeinflusst sicher einige der im Untersuchungsblatt zu bewertenden Parameter als auch Messwerte wie Ruhepuls oder die Herzfrequenzvariabilität als Zeichen des vegetativen Gleichgewichts. Ward et al. (1995) beschreiben, dass die Funktionen des zentralen Nervensystems in Höhen über 4500 Metern gestört sind. Ein Aufenthalt in dieser Höhe führt durch die zerebrale Ischämie zu Symptomen eines organischen Hirn- oder Psychosyndroms (vgl. dazu Kap. 2.4.4.1).

Bei den Dreitagesmittelwerten des Untersuchungsblattes ist der Ruhepuls bei der Testgruppe im Vergleich der ersten und letzten drei Tage auf 4900 Metern Höhe signifikant gesunken, was bei der Kontrollgruppe nicht der Fall war. Die Tagessumme, welche v. a. den allgemeinen Gesundheitszustand der Untersuchten widerspiegelt, zeigt jedoch ein anderes Bild. Sie ist bei der Kontrollgruppe, wenn auch nicht signifikant, am Ende der Expedition gesunken während sie bei der Testgruppe sogar gestiegen ist. Dieser allgemeine Gesundheitszustand beeinflusst normalerweise unmittelbar den Ruhepuls (vgl. dazu Kap. 4.3.2.5). Dieses Ergebnis zeigt somit einen unerwarteten Widerspruch. Eine Erklärung ist ein „Ausreißer“ in der Testgruppe bei der Tagessumme an den Tagen 40 und 41, was sich bei einer aus nur drei Personen bestehenden Untersuchungsgruppe sofort massiv auf den Mittelwert auswirkt. Unklar ist, warum der Ruhepuls in diesem Zeitraum nicht erhöht war. Es stellt sich die Frage, ob es durch die Kompression des vierten Ventrikels zu einer Senkung der Ruheherzfrequenz kam, ohne dass sich das subjektive Wohlbefinden bzw. der allgemeine Gesundheitszustand verbessert haben. Nach Silbernagl & Despopoulos

(2007) sendet das in der Medulla oblongata gelegene Kreislaufzentrum parasympathische, die Frequenz senkende Impulse ans Herz. Nusselein (2002) erwähnt als Effekt des CV4 eine Stimulation der Nervenkerne, was sich unmittelbar auf den Ruhepuls auswirken könnte. Liem (2001) erwähnt den CV4 als Indikation bei Tachycardie. Die Sauerstoffsättigung ist sowohl bei der Test- als auch der Kontrollgruppe am Ende des Aufenthaltes in großer Höhe signifikant gestiegen, dies ist durch die erfolgte Anpassung bei beiden Untersuchungsgruppen zu erklären. Die Steigerung ist bei der Testgruppe unwesentlich höher ausgefallen. Ob diese Differenz mit der Anwendung des CV4 in Zusammenhang steht ist fraglich. Ebenso kann der Grund für die Erhöhung der Sättigung (Zunahme des Hämatokrits oder Absinken des Plasmavolumens, vgl. dazu Kap. 2.4.3.1) in dieser Studie nicht geklärt werden. Die Herzfrequenzvariabilität ist bei der Kontrollgruppe sogar höchst signifikant gestiegen, bei der Testgruppe ist die Steigerung als hoch signifikant zu bezeichnen. Regelmäßigkeiten zugunsten der Testgruppe in Bezug auf eine bessere Anpassungsfähigkeit an große Höhen durch die Anwendung des CV4 sind jedenfalls kaum zu erkennen, vorherrschend ist ein bunter Wechsel an Veränderungen zwischen Test- und Kontrollgruppe. Für Folgestudien wäre eine Beschränkung auf einen einzigen, die Höhenanpassungsfähigkeit betreffenden Parameter sicher aussagekräftiger. Interessant wäre beispielsweise eine genauere Differenzierung des Messwertes Sauerstoffsättigung durch die Erhebung des Hämatokrits (vgl. dazu Kap. 2.4.3.1).

Bei genauerer Betrachtung der Einzelpersonen vor und nach der Intervention bzw. den Messungen konnten ebenfalls kaum klare Tendenzen festgestellt werden. Am auffälligsten war die bei allen drei Testpersonen am Ende des Höhenaufenthaltes (Tag 40 bis 42) signifikanter als bei den Kontrollpersonen gestiegene Herzfrequenzvariabilität nach der Intervention, was jedoch wieder nicht mit der Tagessumme des Untersuchungsblattes korrelierte, die bei den Kontrollpersonen im Schnitt auf einen etwas besseren Allgemeinzustand schließen ließ. Einen unerklärlichen „Ausreißer“ gab es in der Kontrollgruppe zu Beginn der Aufzeichnungen im Basislager bei den Dreitagesmittelwerten, wo ein Proband ohne Intervention innerhalb von Minuten eine Steigerung der Herzfrequenzvariabilität von 62 ms zeigte.

Ein etwas besseres Bild bot sich beim Vergleich von Test- und Kontrollgruppe vor und nach der Intervention über den gesamten Verlauf des Höhenaufenthaltes. Tendenziell hat die Testgruppe bei allen drei Messwerten bessere Ergebnisse, den größten Unterschied zugunsten der Testgruppe gab es bei der Herzfrequenzvariabilität. Auch ist die Tagessumme bei der Testgruppe über die gesamten 42 Tage gesehen etwas niedriger. Jedoch sind, wie bereits zu Beginn der Diskussion erwähnt, signifikante Differenzen zwischen Test- und Kontrollgruppe bei der Analyse des auf

die längerfristige Entwicklung zielenden Untersuchungsblatts sowohl bei den Messwerten als auch bei der Tagessumme ausgeblieben. Ob die CV4 – Technik das Zusammenspiel von Sympathikus und Parasympathikus, dargestellt im Messwert Herzfrequenzvariabilität, als Basis für die Anpassungsfähigkeit an die geänderten Bedingungen in der Höhe beeinflusst, wäre eine interessante Fragestellung für weitere Studien. Rodriguez (2000) beschreibt in ihrer Thesis über die neuro-vegetativen Effekte der CV4 – Technik Veränderungen der Vitalparameter Temperatur, Herz- und Atemfrequenz sowie des Blutdrucks. Erwähnt werden auch Einflüsse auf das limbische System mit emotionalen Auswirkungen.

7 Konklusion

Der Forschungsfrage ob die CV4 –Technik Einfluss auf die Anpassungsfähigkeit für große und extreme Höhen hat wurde im Rahmen einer Achttausenderexpedition nachgegangen. In dieser Pilotstudie wurden den Akklimatisationsstand betreffende, nicht invasiv messbare Parameter erhoben, ausgewertet und interpretiert.

Wirklich befriedigende Ergebnisse für eine Optimierung der Anpassungsfähigkeit an die Höhe durch die CV4-Technik konnte diese Studie nicht liefern, auch wenn tendenzielle Verbesserungen bei den Parametern Ruhepuls, Puls in Ruhe, Sauerstoffsättigung und vor allem der Herzfrequenzvariabilität bei den Testpersonen festgestellt werden konnten. Beim Vergleich mit anderen Erhebungswerten wie der Tagessumme, die sich theoretisch analog zu den verbesserten Werten verhalten sollte, kam es teilweise zu paradoxen Ergebnissen (vgl. dazu Kap. 6). Es wurde zwar versucht, die Rahmenbedingungen wie das Höhenprofil bzw. die Einhaltung höhentaktischer Regeln, die Ernährung usw. für alle Probanden über die gesamte Zeit gleich zu halten, dennoch spielen in Zusammenhang mit dem Bergsteigen viele subjektive Faktoren eine möglicherweise das Outcome stark beeinflussende Rolle. Es sollte versucht werden, den Einfluss der Psyche für weiterführende Forschungen zu diesem Thema stärker auszuschließen. Nicht nur einmal kam es im Verlauf der Expedition, immer bedingt durch den Schneefall und der daraus resultierenden Lawinengefahr, für einzelne Teammitglieder zu kritischen Situationen. Man könnte von subjektiven Beeinträchtigungen der Probanden aufgrund objektiver Gefahren sprechen. Eine Untersuchung unter Laborbedingungen wäre eine Möglichkeit Verfälschungen durch äußere Einflüsse weitestgehend zu vermeiden. Vorteilhaft wäre auch, sich auf wenige oder nur einzelne, die Höhenanpassung betreffende Parameter zu konzentrieren. Dies würde möglicherweise auch weniger Widersprüche in den Ergebnissen

bringen. Es hat sich wieder einmal gezeigt, dass Lebensvorgänge nicht deterministisch ablaufen müssen, sondern sich dynamisch je nach Situation und Umweltbedingungen verändern. Jedenfalls werden die Vorgänge im menschlichen Körper der Wissenschaft immer wieder eine harte Nuss zu knacken geben. Hochholzer & Burtcher (2011, S. 44) schreiben im derzeit aktuellsten Werk zum Thema Höhenmedizin: *„Es ist eine immense Arbeit, in großer Höhe Forschung zu organisieren. Gerade weil es so schwierig ist, im Hochgebirge gute Daten zu bekommen, ist auch die Herausforderung, professionell zu arbeiten, besonders groß.“* Es bleibt zu hoffen, dass dies in dieser Studie wenigstens ansatzweise gelungen ist.

8 **Abbildungsverzeichnis**

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Mannschaft am Flughafen | 11 |
| Abbildung 2: Auf dem Weg nach Askole..... | 12 |
| Abbildung 3: Träger auf dem Weg ins Basislager | 12 |
| Abbildung 4: Basislager, im Hintergrund der K2 | 13 |
| Abbildung 5: Intervention im Mannschaftszelt | 15 |
| Abbildung 6: Gasmoleküle der Erdatmosphäre | 17 |
| Abbildung 8: Entwicklung des Ruhepulses im Verlauf der Akklimatisation (Berghold & Schaffert, 2001, S.14) | 21 |
| Abbildung 9: Höhendeterioration (Berghold & Schaffert, 1997, S. 25) | 22 |
| Abbildung 10: Periphere und zentrale Chemosensoren (Silbernagl & Despopoulos, 2007, S. 133) | 25 |
| Abbildung 11: CO ₂ im Liquor (Silbernagl & Despopoulos, 2007, S. 127) | 27 |
| Abbildung 12: Respiratorische Azidose/Alkalose, Silbernagl & Despopoulos (2007, S 145)..... | 28 |
| Abbildung 13: Der Weg des Sauerstoffes von den Alveolen in die Kapillaren (Netter 2000, Tafel 193)..... | 29 |
| Abbildung 14: Empfehlungen zur Höhensteigerung (Höbenreich, 2002, S. 30) | 34 |
| Abbildung 15: Spurarbeit in potenzieller Lawinenflanke | 39 |
| Abbildung 16: Arterielle Sauerstoffsättigung in verschiedenen Höhen (Pollard & Murdoch, 1998, S. 2)..... | 53 |
| Abbildung 17: Vergleich Ruhepuls-Testgruppe | 63 |
| Abbildung 18: Vergleich Ruhepuls – Kontrollgruppe | 63 |
| Abbildung 19: Vergleich Sauerstoffsättigung – Testgruppe | 65 |
| Abbildung 20: Vergleich Sauerstoffsättigung – Kontrollgruppe | 65 |
| Abbildung 21: Vergleich Herzfrequenzvariabilität – Testgruppe | 67 |
| Abbildung 22: Vergleich Herzfrequenzvariabilität – Kontrollgruppe | 67 |
| Abbildung 23: Vergleich Tagessumme - Testgruppe | 69 |
| Abbildung 24: Vergleich Tagessumme – Kontrollgruppe | 69 |
| Abbildung 25: Testperson 1 - Sauerstoffsättigung | 71 |
| Abbildung 26: Testperson 1 – Puls in Ruhe..... | 72 |
| Abbildung 27: Testperson 1-Herzfrequenzvariabilität..... | 73 |
| Abbildung 28: Testperson 2- Sauerstoffsättigung | 74 |
| Abbildung 29: Testperson 2-Puls in Ruhe | 75 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 30: Testperson 2-Herzfrequenzvariabilität..... | 76 |
| Abbildung 31: Testperson 3- Sauerstoffsättigung | 77 |
| Abbildung 32: Testperson 3-Puls in Ruhe | 78 |
| Abbildung 33: Testperson 3-Herzfrequenzvariabilität..... | 79 |
| Abbildung 34: Kontrollperson1- Sauerstoffsättigung | 80 |
| Abbildung 35: Kontrollperson 1-Puls in Ruhe | 81 |
| Abbildung 36: Kontrollperson 1-Herzfrequenzvariabilität..... | 82 |
| Abbildung 37: Kontrollperson 2- Sauerstoffsättigung | 83 |
| Abbildung 38: Kontrollperson 2-Puls in Ruhe | 84 |
| Abbildung 39:Kontrollperson 2 –Herzfrequenzvariabilität..... | 85 |
| Abbildung 40:Kontrollperson 3 –Sauerstoffsättigung | 86 |
| Abbildung 41: Kontrollperson 3- Puls in Ruhe | 87 |
| Abbildung 42: Kontrollperson 3 – Herzfrequenzvariabilität..... | 88 |
| Abbildung 43: Differenz Puls in Ruhe gesamt..... | 89 |
| Abbildung 44: Differenz Sauerstoffsättigung gesamt | 90 |
| Abbildung 45: Differenz Herzfrequenzvariabilität gesamt..... | 91 |

9 Literaturverzeichnis

- Berghold, F. & Schaffert, W. (1997). Physiologie und Medizin des Höhenbergsteigens, Alpinistische Reisemedizin, Trekking- und expeditionsärztliche Tätigkeit. Alpin- und Höhenmedizin, Lehrskriptum der Österr. Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin. (1. Auflage) S. 9.
- Berghold, F. & Schaffert, W. (1997). Höhenakklimatisation und Höhenmedizin. Balingen: Demeter Verlag.
- Berghold, F. & Schaffert, W. (2001). Handbuch der Trekking- und Expeditionsmedizin. (5. Auflage). München: DAV Summit Club
- Berghold, F. & Schaffert, W. (2010). Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin. Physiologie und Medizin der großen und extremen Höhen. Verfügbar unter <http://www.alpinmedizin.org/pdf/PhysiologieGuEHoehen.pdf>
- Berghold, F. (1988). Sicheres Bergsteigen. Alpine Unfälle – und wie man sie vermeidet. München: Bergsteiger Praxis.
- Bert, P. (1878). La Pression Barometrique, Recherches de Physiologie Experimentale. Zitiert in Schober (1996).
- Burtscher, M. (1998). Die akute Bergkrankheit. In Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin, Jahrbuch 1998. (S. 157-160). Wien: Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin.
- Dietz, T. E., Emergency & Wilderness Medicine (2000), AMS Worksheet. Verfügbar unter: <http://www.high-altitude-medicine.com/AMS-worksheet.html>
- Geo Data Zone (2011). Höhenstufen. Verfügbar unter <http://www.geodz.com/deu/d/H%C3%B6henstufen>
- Hackett, P. H. & Rennie, D. (1979). Rales, peripheral edema, retinal hemorrhage and acute mountain sickness. American journal of medicine 67: S 214-218.
- Hannon, J.P., Chinn, K. S. K., Shields, J. L. (1969). Effects of acute high-altitude exposure on body fluids. In: Fed Proc 28 (S. 1178-1184).
- Hasibeder, W, Schobersberger, W., Klaunzer, S., Haisjackl, M., Sparr, H. (1990). Welche Möglichkeiten der Anpassung an hypoxische Hypoxie besitzt der menschliche Organismus? In Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin, Jahrbuch 1990. (S 13-14). Wien: Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin.
- Herfert, J., Moser, M., Muhry, F., Lackner, H., Puelacher, C., Schwabberger, G.

- (2003). Herzfrequenzvariabilität und autonome Regulation in sehr großen Höhen. In Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin, Jahrbuch 2003 (S. 143-158). Wien: Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin.
- Hildebrandt, G., Moser, M., Lehofer, M. (1998). Chronobiologie und Chronomedizin. Stuttgart: Hippokrates Verlag.
- Hochholzer, Th. & Burtscher, M. (2011). Trekking und Expeditionsbergsteigen. Ein medizinischer Ratgeber. Köngen: Panico Alpinverlag
- Hochholzer, Th. (1996). Trekking und Höhenbergsteigen. Ein medizinischer Ratgeber. München
- Hoppeler, H. (1992). Sind Veränderungen der Skelettmuskulatur in der Höhe entscheidend für die Leistungsfähigkeit? In Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin, Jahrbuch 1992 (S 25-32). Wien: Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin.
- Hughson, R. L., Yamamoto, R. E., McCullough, R. E., Sutton, J. R., Reeves, J. T. (1994). Sympathetic and parasympathetic indicators of heart rate control at altitude studied by spectral analysis. In Journal of Applied Physiology 77 (S. 2537-2542).
- Hultgren, H. (1997). High Altitude Medicine. Stanford, California: Hultgren Publications.
- Liem, T. (2001). Kraniosacrale Osteopathie. Ein praktisches Lehrbuch. Stuttgart: Hippokrates Verlag.
- Mailer, M. (2010). Definition Pilotstudie. Verfügbar unter http://www.design.de/werbung_p.htm
- Medizinische Universität Graz (2011). Definition Pilotstudie. Verfügbar unter http://www.meduni-graz.at/ethikkommission/Forum/Download/Files/RL_Pilot.pdf
- Milne, H. (1999). Aus der Mitte des Herzens lauschen. Eine visionäre Annäherung an die Craniosacralarbeit. Band 2. Petersberg: Verlag Via Nova.
- Moser, M., Frühwirth, M., von Bonin, D., Cysarz, D., Penter, R., Heckmann, C., Hildebrandt, G. (1995). Das autonome Bild als Methode zur Darstellung der Rhythmen des menschlichen Herzschlags. In P. Heuser (Hrsg.), Hygiogenese. (S. 207-223). Bern: Verlag Peter Lang
- Nusselein, H. (2002). Skript Cranialosteopathie. Internationale Schule für Osteopathie, S. 17
- Podolsky, A. (1996). Die Physiologie der akuten Hypoxie. In Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin, Jahrbuch 1996. (S 123-138).

- Wien: Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin.
- Pollard, A. J. & Murdoch, D. R. (1998). *Praktische Berg- und Trekkingmedizin*.
Wiesbaden: Ullstein Medical.
- Richalet, J.-P. (1991). Acute mountain sickness: risk factors. In Wolfe Publ. Ltd, A
coloured atlas of mountain medicine (S 54-56). London
- Roach, R. C., Bärtsch, P., Hackett, P. H. (1993). The Lake Louise acute mountain
sickness scoring system. In J. R. Sutton, G. Coates, C. S. Houston,
Hypoxia and molecular medicine. Burlington: Queen City Printers.
- Rodriguez, R. (2000). Neuro-vegetative Effects of the Sutherland CV4 Technique.
Verfügbar unter [http://www.osteopathic-
research.org/index.php?option=com_jresearch&view=publication&task=sho
w&id=14283&lang=en](http://www.osteopathic-research.org/index.php?option=com_jresearch&view=publication&task=show&id=14283&lang=en)
- Schumacker, P. T. (1991). Systemic effects of hypoxia. In Crystal, R. G. & West, J.
B., *The Lung: Scientific Foundations (1543-1551)*. New York: Raven
Press, Ltd.
- Seiffert, H. (1991). *Einführung in die Wissenschaftstheorie 1*. München: Beck.
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (2007). *Taschenatlas Physiologie*. Stuttgart: Thieme.
- Still, A. T. (1902). *The Philosophy and mechanical Principles of Osteopathy*.
Michigan: Hudson-Kimberly Pub. Co.
- Sutherland, W. G. (1962). With thinking fingers. In A. S. Sutherland (Hrsg.) (S. 13).
USA: The Cranial Academy.
- Vogel, J. A., Hansen, J. E. & Harris, C. W. (1967). Cardiovascular responses in man
during exhaustive work at sea level and high altitude. *Journal of Applied
Physiology* (23) (S. 531-539).
- Waanders, R. & Riedmann, G. (1996). *Neuropsychologie am Berg*. In
Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin, *Jahrbuch 1996*
(S. 21-28). Wien: Österreichische Gesellschaft für Alpin- und
Höhenmedizin.
- Waanders, R. (2003). *Projekt Silberpyramide: Organisation eines
höhenmedizinischen Großprojektes*. In Österreichische Gesellschaft für
Alpin- und Höhenmedizin, *Jahrbuch 2003* (S. 11-18). Wien:
Österreichische Gesellschaft für Alpin und Höhenmedizin.
- Wagner, P. D. (1989). Hypobaric effects on the pulmonary circulation and high
altitude pulmonary edema. In Weir, E. K. & Reeves, J. T., *Pulmonary
Vascular Physiology and Pathophysiology* (S 173-198). New York, Basel:
Marcel Dekker, Inc.
- Ward, M, Milledge, J. & West, J. (1995). *High Altitude Medicine and Physiology*. 2nd

Edition. London: Chapman and Hall

Ward, M. (1975). Mountain Medicine. London: Crosby, Lockwood and Staples.

West, J. B., Colice, G. L., Lee, Y. J. (1995). Pathogenesis of high-altitude pulmonary oedema: direct evidence of stress failure of pulmonary capillaries. European respiratory journal 8: S. 523.

Würtl, W. (2005). Führen in großen Höhen. Bergundsteigen, 14. Jahrgang, S. 20-27

Yamamoto, Y., Nakamura, Y., Sato, H., Yamamoto, M., Kato, K., Hughson, R. L.

(1995). On the fractal nature of heart rate variability in humans: effects of vagal blockade. In American Journal of Physiology 269 (S. 830-837).

Zink, R. A. (1984). Ärztlicher Rat für Bergsteiger. Stuttgart: Thieme Verlag

10 **Anhang**

10.1 **Titelblatt**

**Beeinflusst die CV4 – Technik
die Anpassungsfähigkeit
für große und extreme Höhen?**

Master Thesis zur Erlangung des Grades
Master of Science in Osteopathie

an der **Donau Universität Krems –
Zentrum für chin. Medizin & Komplementärmedizin**

niedergelegt
an der **Wiener Schule für Osteopathie**

von **Michael Pichler**
Lienz, November 2011

Betreut von Mag. Claudia Gamsjäger, Mag. Ariane
Rauch und Mag. Walter Würtl

10.2 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorgelegte Masterthese selbständig verfasst zu haben.

Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Arbeiten anderer übernommen wurden, wurden als solche gekennzeichnet. Sämtliche Quellen und Hilfsmittel, die ich für die Arbeit genutzt habe, sind angegeben. Die Arbeit hat mit gleichem Inhalt weder im In- noch im Ausland noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Diese Arbeit stimmt mit der von dem/der Gutachter/in beurteilten Arbeit überein.

Datum.....Unterschrift.....

10.3 Lake – Louise – Score

AMS Worksheet

Based on the Lake Louise AMS Questionnaire

Using the worksheet

Patients are assigned a single score for each numbered group. For visual ease, we have designed the worksheet so that this score is entered next to the corresponding symptom severity level.

For example, a person with moderate AMS might get 2 points for moderate headache, 1 point for poor appetite, and 1 point for mild fatigue, for a total symptom score of 4. In addition, this person might get 1 point for facial edema, for a clinical assessment score of 1 and a total AMS score of 5.

Serial evaluations several hours apart give a good measure of whether a patient is responding to treatment or deteriorating.

<http://www.high-altitude-medicine.com/AMS-worksheet.html> Last modified 8-May-2000

Name _____ Age ____ Sex ____ Date ____

Prev Hx AMS/HAPE/HACE?

Meds:

Ascent Profile:

Treatment:

| | | | | | |
|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| _____ | _____ | Time | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Altitude | _____ | _____ | _____ |

Symptoms:

1. Headache:

| | | | | | | |
|-------|-------|------------------------|---|-------|-------|-------|
| _____ | _____ | No headache | 0 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Mild headache | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Moderate headache | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Severe, incapacitating | 3 | _____ | _____ | _____ |

2. GI:

| | | | | | | |
|-------|-------|----------------|---|-------|-------|-------|
| _____ | _____ | No GI symptoms | 0 | _____ | _____ | _____ |
|-------|-------|----------------|---|-------|-------|-------|

| | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------------------------------------|---|-------|-------|-------|
| _____ | _____ | Poor appetite or nausea | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Moderate nausea or vomiting | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Severe N&V, incapacitating | 3 | _____ | _____ | _____ |
| 3.Fatigue/weak: | | | | | | |
| _____ | _____ | Not tired or weak | 0 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Mild fatigue/weakness | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Moderate fatigue/weakness | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Severe F/W, incapacitating | 3 | _____ | _____ | _____ |
| 4.Dizzy/lightheaded: | | | | | | |
| _____ | _____ | Not dizzy | 0 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Mild dizziness | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Moderate dizziness | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Severe, incapacitating | 3 | _____ | _____ | _____ |
| 5.Difficulty sleeping: | | | | | | |
| _____ | _____ | Slept well as usual | 0 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Did not sleep as well as usual | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Woke many times, poor night's sleep | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Could not sleep at all | 3 | _____ | _____ | _____ |
| Symptom Score: | | | | | | |
| _____ | _____ | | | _____ | _____ | _____ |
| Clinical Assessment: | | | | | | |
| 6.Change in mental status: | | | | | | |
| _____ | _____ | No change | 0 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Lethargy/lassitude | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Disoriented/confused | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Stupor/semiconsciousness | 3 | _____ | _____ | _____ |
| 7.Ataxia(heel to toe walking): | | | | | | |
| _____ | _____ | No ataxia | 0 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Maneuvers to maintain balance | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Steps off line | 2 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Falls down | 3 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Can't stand | 4 | _____ | _____ | _____ |
| 8.Peripheral edema: | | | | | | |
| _____ | _____ | No edema | 0 | _____ | _____ | _____ |

| | | | | | | |
|----------------------------|-------|-----------------------|---|-------|-------|-------|
| _____ | _____ | One location | 1 | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | Two or more locations | 2 | _____ | _____ | _____ |
| Clinical Assessment Score: | | | | _____ | _____ | _____ |
| Total Score: | | | | _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | <hr/> | | | | |

10.4 Untersuchungsblatt

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| DATUM | | | | | | | | | |
| Schlafhöhe | | | | | | | | | |
| Tageshöhe (Vortag) | | | | | | | | | |
| Höhenmeter / Zeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Ruhepuls | | | | | | | | | |
| HRV (rx) | | | | | | | | | |
| Pulspunkte | 0 bis 5 Schläge über normalem Ruhepuls 1 bis 15 Schläge darüber 2 bis 25 Schläge darüber 3 über 30 Schläge darüber | | | | | | | | |
| Schlaf | 0 Normaler, gewohnter Schlag 1 Ungewohnte Schlafstörungen 2 Schwere Schlafstörungen, häufiges Aufwachen 3 Völlige Schlaflosigkeit | | | | | | | | |
| Kopfschmerz | 0 Kein Kopfschmerz 1 Geringer Kopfschmerz 2 Mäßiger Kopfschmerz 3 Massiver Kopfschmerz | | | | | | | | |
| Appetit / Übelkeit | 0 Normaler Appetit 1 Appetitlosigkeit oder leichte Übelkeit 2 Mäßige Übelkeit oder Erbrechen 3 Schwerste Übelkeit oder Erbrechen | | | | | | | | |
| Urin | 0 hell und viel 1 mittel 2 dunkelgelb und wenig 3 kaum Urin | | | | | | | | |
| Stuhl | 0 normal 1 weich 2 sehr weich 3 Durchfall (flüssig) | | | | | | | | |
| Müdigkeit / Schwäche | 0 Keine Müdigkeit oder Schwäche 1 geringe Müdigkeit / Schwäche 2 Mäßige Müdigkeit / Schwäche 3 schwere Müdigkeit / Schwäche | | | | | | | | |
| Schwindel | 0 Kein Schwindel 1 Leichter Schwindel 2 Mäßiger Schwindel 3 Schwerer Schwindel | | | | | | | | |
| Leistungsfähigkeit (Vortag) | 0 Keine Leistungseinschränkung 1 Geringe Leistungseinschränkung 2 Mäßiger plötzlicher Leistungsabfall 3 Schwerer plötzlicher Leistungsabfall | | | | | | | | |
| Tagessumme | | | | | | | | | |
| O ² - Sättigung | | | | | | | | | |
| Medikamente | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| DATUM | | | | | | | | | |
| Schlafhöhe | | | | | | | | | |
| Tageshöhe (Vortag) | | | | | | | | | |
| Höhenmeter / Zeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Ruhepuls | | | | | | | | | |
| HRV (rx) | | | | | | | | | |
| Pulspunkte | | | | | | | | | |
| Schlaf | | | | | | | | | |
| Kopfschmerz | | | | | | | | | |
| Appetit / Übelkeit | | | | | | | | | |
| Urin | | | | | | | | | |
| Stuhl | | | | | | | | | |
| Müdigkeit / Schwäche | | | | | | | | | |
| Schwindel | | | | | | | | | |
| Leistungsfähigkeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Tagessumme | | | | | | | | | |
| O ² - Sättigung | | | | | | | | | |
| Medikamente | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| DATUM | | | | | | | | | |
| Schlafhöhe | | | | | | | | | |
| Tageshöhe (Vortag) | | | | | | | | | |
| Höhenmeter / Zeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Ruhepuls | | | | | | | | | |
| HRV (rx) | | | | | | | | | |
| Pulspunkte | | | | | | | | | |
| Schlaf | | | | | | | | | |
| Kopfschmerz | | | | | | | | | |
| Appetit / Übelkeit | | | | | | | | | |
| Urin | | | | | | | | | |
| Stuhl | | | | | | | | | |
| Müdigkeit / Schwäche | | | | | | | | | |
| Schwindel | | | | | | | | | |
| Leistungsfähigkeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Tagessumme | | | | | | | | | |
| O ² - Sättigung | | | | | | | | | |
| Medikamente | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| DATUM | | | | | | | | | |
| Schlafhöhe | | | | | | | | | |
| Tageshöhe (Vortag) | | | | | | | | | |
| Höhenmeter / Zeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Ruhepuls | | | | | | | | | |
| HRV (rx) | | | | | | | | | |
| Pulspunkte | | | | | | | | | |
| Schlaf | | | | | | | | | |
| Kopfschmerz | | | | | | | | | |
| Appetit / Übelkeit | | | | | | | | | |
| Urin | | | | | | | | | |
| Stuhl | | | | | | | | | |
| Müdigkeit / Schwäche | | | | | | | | | |
| Schwindel | | | | | | | | | |
| Leistungsfähigkeit (Vortag) | | | | | | | | | |
| Tagessumme | | | | | | | | | |
| O ² - Sättigung | | | | | | | | | |
| Medikamente | | | | | | | | | |

10.5 Messwerte

| Höhe | Datum | Test1 | Test2 | Test3 | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|--------------|----------------------|--------------|--|
| 2200 | 2.6. | 74 | 51 | 65 | | | |
| 3100 | 3.6. | 56 | 59 | 59 | | | |
| 3200 | 4.6. | 62 | 93 | 65 | | | |
| 3400 | 5.6. | 61 | 68 | 59 | | | |
| 3400 | 6.6. | 63 | 62 | 58 | | | |
| 3400 | 7.6. | 61 | 91 | 64 | | | |
| 4100 | 8.6. | 58 | 60 | 65 | | | |
| 4300 | 9.6. | 54 | 50 | 59 | | | |
| 4600 | 10.6. | 57 | 50 | 63 | | | |
| 4900 | 11.6. | 52 | 43 | 60 | | | |
| 4900 | 12.6. | 58 | 49 | 57 | Mittelwert Tag 10-12 | 53,22 | |
| 4900 | 13.6. | 58 | 46 | 56 | | | |
| 4900 | 14.6. | 55 | 43 | 59 | | | |
| 4900 | 15.6. | 44 | 49 | 70 | | | |
| 4900 | 16.6. | 53 | 44 | 69 | | | |
| 4900 | 17.6. | 54 | 55 | 65 | | | |
| 4900 | 18.6. | 56 | 48 | 65 | | | |
| 5700 | 19.6. | 69 | 44 | 70 | | | |
| 6700 | 20.6. | 89 | 62 | 74 | | | |
| 4900 | 21.6. | 60 | 51 | 57 | | | |
| 4900 | 22.6. | 51 | 45 | 55 | | | |
| 4900 | 23.6. | 57 | 43 | 55 | | | |
| 4900 | 24.6. | 52 | 38 | 57 | | | |
| 4900 | 25.6. | 47 | 44 | 61 | | | |
| 4900 | 26.6. | 56 | 51 | 67 | | | |
| 4900 | 27.6. | 52 | 45 | 60 | | | |
| 4900 | 28.6. | 53 | 46 | 61 | | | |
| 4900 | 29.6. | 52 | 47 | 56 | | | |
| 5700 | 30.6. | 59 | 46 | 65 | | | |
| 6700 | 1.7. | 73 | 63 | 74 | | | |
| 4900 | 3.7. | 52 | 46 | 57 | | | |
| 4900 | 4.7. | 80 | 48 | 52 | | | |
| 4900 | 5.7. | 51 | 42 | 56 | | | |
| 4900 | 6.7. | 48 | 47 | 57 | | | |
| 4900 | 7.7. | 46 | 49 | 60 | | | |
| 5700 | 8.7. | 63 | 50 | 59 | | | |
| 5700 | 9.7. | 58 | 51 | 58 | | | |
| 4900 | 10.7. | 48 | 55 | 58 | | | |
| 4900 | 11.7. | 47 | 44 | 53 | | | |
| 4900 | 12.7. | 47 | 52 | 52 | | | |
| 4900 | 13.7. | 46 | 50 | 51 | Mittelwert Tag 40-42 | 50,44 | |
| 4900 | 14.7. | 52 | 53 | 51 | | | |
| Ruhepuls | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | | 56,28 | | | |

| Höhe | Datum | Kont1 | Kont2 | Kont3 | | | |
|--------------------------|-------|-------|--------------|-------|-----------------------------|--|--------------|
| 2200 | 2.6. | 54 | 58 | 56 | | | |
| 3100 | 3.6. | 53 | 62 | 46 | | | |
| 3200 | 4.6. | 58 | 60 | 60 | | | |
| 3400 | 5.6. | 58 | 70 | 55 | | | |
| 3400 | 6.6. | 99 | 74 | 46 | | | |
| 3400 | 7.6. | 60 | 55 | 52 | | | |
| 4100 | 8.6. | 53 | 58 | 50 | | | |
| 4300 | 9.6. | 54 | 58 | 45 | | | |
| 4600 | 10.6. | 53 | 55 | 50 | | | |
| 4900 | 11.6. | 56 | 55 | 43 | | | |
| 4900 | 12.6. | 58 | 53 | 45 | Mittelwert Tag 10-12 | | 53,56 |
| 4900 | 13.6. | 74 | 55 | 43 | | | |
| 4900 | 14.6. | 58 | 54 | 43 | | | |
| 4900 | 15.6. | 62 | 56 | 43 | | | |
| 4900 | 16.6. | 61 | 53 | 45 | | | |
| 4900 | 17.6. | 68 | 50 | 44 | | | |
| 4900 | 18.6. | 60 | 50 | 45 | | | |
| 5700 | 19.6. | 52 | 59 | 68 | | | |
| 6700 | 20.6. | 68 | 71 | 71 | | | |
| 4900 | 21.6. | 74 | 53 | 41 | | | |
| 4900 | 22.6. | 61 | 52 | 43 | | | |
| 4900 | 23.6. | 60 | 51 | 45 | | | |
| 4900 | 24.6. | 59 | 49 | 45 | | | |
| 4900 | 25.6. | 53 | 49 | 48 | | | |
| 4900 | 26.6. | 56 | 59 | 49 | | | |
| 4900 | 27.6. | 57 | 53 | 52 | | | |
| 4900 | 28.6. | 58 | 68 | 45 | | | |
| 4900 | 29.6. | 66 | 62 | 43 | | | |
| 5700 | 30.6. | 56 | 60 | 78 | | | |
| 6700 | 1.7. | 74 | 74 | 74 | | | |
| 4900 | 3.7. | 68 | 52 | 54 | | | |
| 4900 | 4.7. | 55 | 55 | 47 | | | |
| 4900 | 5.7. | 57 | 52 | 44 | | | |
| 4900 | 6.7. | 54 | 53 | 47 | | | |
| 4900 | 7.7. | 54 | 68 | 45 | | | |
| 5700 | 8.7. | 59 | 70 | 55 | | | |
| 5700 | 9.7. | 58 | 67 | 72 | | | |
| 4900 | 10.7. | 53 | 59 | 40 | | | |
| 4900 | 11.7. | 52 | 59 | 51 | | | |
| 4900 | 12.7. | 52 | 55 | 57 | | | |
| 4900 | 13.7. | 50 | 65 | 48 | Mittelwert Tag 40-42 | | 53,11 |
| 4900 | 14.7. | 52 | 50 | 51 | | | |
| Ruhepuls | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | 56,05 | | | | |

| Höhe | Datum | Test1 | Test2 | Test3 | | | |
|----------------------------|-------|-------|--------------|-------|----------------------|--|--------------|
| 2200 | 2.6. | 91 | 91 | 92 | | | |
| 3100 | 3.6. | 88 | 92 | 92 | | | |
| 3200 | 4.6. | 87 | 92 | 93 | | | |
| 3400 | 5.6. | 86 | 92 | 91 | | | |
| 3400 | 6.6. | 89 | 91 | 92 | | | |
| 3400 | 7.6. | 91 | 91 | 92 | | | |
| 4100 | 8.6. | 86 | 88 | 89 | | | |
| 4300 | 9.6. | 84 | 87 | 89 | | | |
| 4600 | 10.6. | 84 | 86 | 84 | | | |
| 4900 | 11.6. | 86 | 84 | 85 | | | |
| 4900 | 12.6. | 78 | 86 | 88 | Mittelwert Tag 10-12 | | 84,22 |
| 4900 | 13.6. | 80 | 87 | 84 | | | |
| 4900 | 14.6. | 84 | 87 | 88 | | | |
| 4900 | 15.6. | 84 | 87 | 87 | | | |
| 4900 | 16.6. | 88 | 88 | 84 | | | |
| 4900 | 17.6. | 83 | 88 | 86 | | | |
| 4900 | 18.6. | 84 | 88 | 85 | | | |
| 5700 | 19.6. | 79 | 87 | 80 | | | |
| 6700 | 20.6. | 62 | 70 | 72 | | | |
| 4900 | 21.6. | 84 | 87 | 85 | | | |
| 4900 | 22.6. | 87 | 89 | 87 | | | |
| 4900 | 23.6. | 87 | 87 | 89 | | | |
| 4900 | 24.6. | 90 | 87 | 90 | | | |
| 4900 | 25.6. | 87 | 88 | 90 | | | |
| 4900 | 26.6. | 86 | 88 | 81 | | | |
| 4900 | 27.6. | 88 | 88 | 89 | | | |
| 4900 | 28.6. | 86 | 88 | 89 | | | |
| 4900 | 29.6. | 87 | 88 | 90 | | | |
| 5700 | 30.6. | 80 | 84 | 84 | | | |
| 6700 | 1.7. | 63 | 71 | 73 | | | |
| 4900 | 3.7. | 87 | 88 | 90 | | | |
| 4900 | 4.7. | 86 | 88 | 90 | | | |
| 4900 | 5.7. | 90 | 90 | 90 | | | |
| 4900 | 6.7. | 88 | 89 | 89 | | | |
| 4900 | 7.7. | 89 | 90 | 90 | | | |
| 5700 | 8.7. | 81 | 84 | 83 | | | |
| 5700 | 9.7. | 80 | 85 | 84 | | | |
| 4900 | 10.7. | 85 | 89 | 88 | | | |
| 4900 | 11.7. | 87 | 90 | 83 | | | |
| 4900 | 12.7. | 87 | 91 | 90 | | | |
| 4900 | 13.7. | 87 | 90 | 90 | Mittelwert Tag 40-42 | | 89,11 |
| 4900 | 14.7. | 86 | 90 | 91 | | | |
| Sauerstoffsättigung | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | 86,36 | | | | |

| Höhe | Datum | Kont1 | Kont2 | Kont3 | | | |
|----------------------------|-------|-------|--------------|-------|-----------------------------|--|--------------|
| 2200 | 2.6. | 95 | 91 | 90 | | | |
| 3100 | 3.6. | 96 | 92 | 91 | | | |
| 3200 | 4.6. | 98 | 89 | 90 | | | |
| 3400 | 5.6. | 94 | 87 | 88 | | | |
| 3400 | 6.6. | 93 | 91 | 92 | | | |
| 3400 | 7.6. | 92 | 91 | 92 | | | |
| 4100 | 8.6. | 87 | 87 | 89 | | | |
| 4300 | 9.6. | 86 | 87 | 92 | | | |
| 4600 | 10.6. | 87 | 85 | 84 | | | |
| 4900 | 11.6. | 87 | 85 | 81 | | | |
| 4900 | 12.6. | 88 | 85 | 85 | Mittelwert Tag 10-12 | | 85 |
| 4900 | 13.6. | 87 | 85 | 82 | | | |
| 4900 | 14.6. | 90 | 85 | 85 | | | |
| 4900 | 15.6. | 88 | 86 | 84 | | | |
| 4900 | 16.6. | 88 | 85 | 84 | | | |
| 4900 | 17.6. | 89 | 86 | 84 | | | |
| 4900 | 18.6. | 88 | 86 | 85 | | | |
| 5700 | 19.6. | 85 | 81 | 82 | | | |
| 6700 | 20.6. | 77 | 71 | 77 | | | |
| 4900 | 21.6. | 92 | 85 | 80 | | | |
| 4900 | 22.6. | 91 | 84 | 81 | | | |
| 4900 | 23.6. | 91 | 86 | 85 | | | |
| 4900 | 24.6. | 90 | 87 | 85 | | | |
| 4900 | 25.6. | 90 | 88 | 87 | | | |
| 4900 | 26.6. | 89 | 88 | 89 | | | |
| 4900 | 27.6. | 92 | 87 | 90 | | | |
| 4900 | 28.6. | 90 | 86 | 87 | | | |
| 4900 | 29.6. | 90 | 87 | 88 | | | |
| 5700 | 30.6. | 86 | 83 | 85 | | | |
| 6700 | 1.7. | 71 | 75 | 74 | | | |
| 4900 | 3.7. | 88 | 86 | 88 | | | |
| 4900 | 4.7. | 89 | 89 | 88 | | | |
| 4900 | 5.7. | 90 | 88 | 88 | | | |
| 4900 | 6.7. | 90 | 87 | 89 | | | |
| 4900 | 7.7. | 91 | 87 | 87 | | | |
| 5700 | 8.7. | 85 | 84 | 84 | | | |
| 5700 | 9.7. | 86 | 84 | 83 | | | |
| 4900 | 10.7. | 89 | 86 | 86 | | | |
| 4900 | 11.7. | 90 | 87 | 87 | | | |
| 4900 | 12.7. | 90 | 88 | 86 | | | |
| 4900 | 13.7. | 91 | 87 | 86 | Mittelwert Tag 40-42 | | 88,33 |
| 4900 | 14.7. | 91 | 88 | 88 | | | |
| Sauerstoffsättigung | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | 86,96 | | | | |

.....

| Höhe | Datum | Test1 | Test2 | Test3 | | | |
|---------------------------------|-------|-------|--------------|-------|----------------------|--------------|--|
| 2200 | 2.6. | 22 | 30 | 18 | | | |
| 3100 | 3.6. | 41 | 31 | 25 | | | |
| 3200 | 4.6. | 44 | 7 | 32 | | | |
| 3400 | 5.6. | 42 | 22 | 30 | | | |
| 3400 | 6.6. | 44 | 21 | 40 | | | |
| 3400 | 7.6. | 52 | 7 | 21 | | | |
| 4100 | 8.6. | 64 | 19 | 20 | | | |
| 4300 | 9.6. | 70 | 24 | 31 | | | |
| 4600 | 10.6. | 77 | 39 | 25 | | | |
| 4900 | 11.6. | 112 | 27 | 25 | | | |
| 4900 | 12.6. | 85 | 46 | 25 | Mittelwert Tag 10-12 | 48,56 | |
| 4900 | 13.6. | 74 | 34 | 9 | | | |
| 4900 | 14.6. | 68 | 38 | 26 | | | |
| 4900 | 15.6. | 77 | 40 | 15 | | | |
| 4900 | 16.6. | 77 | 37 | 20 | | | |
| 4900 | 17.6. | 94 | 36 | 20 | | | |
| 4900 | 18.6. | 89 | 34 | 20 | | | |
| 5700 | 19.6. | 72 | 42 | 18 | | | |
| 6700 | 20.6. | 61 | 55 | 20 | | | |
| 4900 | 21.6. | 69 | 31 | 25 | | | |
| 4900 | 22.6. | 87 | 38 | 30 | | | |
| 4900 | 23.6. | 98 | 40 | 30 | | | |
| 4900 | 24.6. | 44 | 37 | 31 | | | |
| 4900 | 25.6. | 84 | 33 | 28 | | | |
| 4900 | 26.6. | 77 | 30 | 25 | | | |
| 4900 | 27.6. | 84 | 40 | 22 | | | |
| 4900 | 28.6. | 79 | 35 | 20 | | | |
| 4900 | 29.6. | 64 | 44 | 22 | | | |
| 5700 | 30.6. | 70 | 35 | 21 | | | |
| 6700 | 1.7. | 80 | 32 | 16 | | | |
| 4900 | 3.7. | 86 | 40 | 30 | | | |
| 4900 | 4.7. | 18 | 28 | 32 | | | |
| 4900 | 5.7. | 63 | 52 | 35 | | | |
| 4900 | 6.7. | 70 | 36 | 28 | | | |
| 4900 | 7.7. | 84 | 34 | 20 | | | |
| 5700 | 8.7. | 75 | 57 | 20 | | | |
| 5700 | 9.7. | 85 | 47 | 29 | | | |
| 4900 | 10.7. | 84 | 28 | 32 | | | |
| 4900 | 11.7. | 91 | 39 | 35 | | | |
| 4900 | 12.7. | 86 | 37 | 50 | | | |
| 4900 | 13.7. | 76 | 32 | 47 | Mittelwert Tag 40-42 | 53,67 | |
| 4900 | 14.7. | 66 | 40 | 49 | | | |
| Herzfrequenzvariabilität | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | 44,10 | | | | |

| Höhe | Datum | Kont1 | Kont2 | Kont3 | | | |
|---------------------------------|-------|-------|--------------|-------|-----------------------------|--|--------------|
| 2200 | 2.6. | 42 | 32 | 32 | | | |
| 3100 | 3.6. | 33 | 19 | 42 | | | |
| 3200 | 4.6. | 29 | 22 | 25 | | | |
| 3400 | 5.6. | 32 | 12 | 34 | | | |
| 3400 | 6.6. | 4 | 11 | 106 | | | |
| 3400 | 7.6. | 32 | 32 | 71 | | | |
| 4100 | 8.6. | 33 | 37 | 63 | | | |
| 4300 | 9.6. | 33 | 31 | 111 | | | |
| 4600 | 10.6. | 43 | 45 | 96 | | | |
| 4900 | 11.6. | 42 | 38 | 99 | | | |
| 4900 | 12.6. | 36 | 45 | 60 | Mittelwert Tag 10-12 | | 53,33 |
| 4900 | 13.6. | 24 | 40 | 96 | | | |
| 4900 | 14.6. | 30 | 32 | 68 | | | |
| 4900 | 15.6. | 30 | 27 | 60 | | | |
| 4900 | 16.6. | 25 | 32 | 98 | | | |
| 4900 | 17.6. | 21 | 42 | 69 | | | |
| 4900 | 18.6. | 38 | 43 | 66 | | | |
| 5700 | 19.6. | 42 | 21 | 24 | | | |
| 6700 | 20.6. | 21 | 46 | 50 | | | |
| 4900 | 21.6. | 14 | 31 | 97 | | | |
| 4900 | 22.6. | 12 | 39 | 87 | | | |
| 4900 | 23.6. | 37 | 56 | 92 | | | |
| 4900 | 24.6. | 44 | 54 | 80 | | | |
| 4900 | 25.6. | 38 | 58 | 98 | | | |
| 4900 | 26.6. | 30 | 36 | 79 | | | |
| 4900 | 27.6. | 29 | 40 | 60 | | | |
| 4900 | 28.6. | 30 | 21 | 88 | | | |
| 4900 | 29.6. | 26 | 27 | 97 | | | |
| 5700 | 30.6. | 40 | 47 | 9 | | | |
| 6700 | 1.7. | 42 | 31 | 34 | | | |
| 4900 | 3.7. | 16 | 56 | 30 | | | |
| 4900 | 4.7. | 27 | 40 | 50 | | | |
| 4900 | 5.7. | 29 | 62 | 64 | | | |
| 4900 | 6.7. | 34 | 50 | 43 | | | |
| 4900 | 7.7. | 41 | 18 | 60 | | | |
| 5700 | 8.7. | 27 | 28 | 43 | | | |
| 5700 | 9.7. | 31 | 20 | 34 | | | |
| 4900 | 10.7. | 44 | 32 | 70 | | | |
| 4900 | 11.7. | 37 | 41 | 51 | | | |
| 4900 | 12.7. | 47 | 40 | 30 | | | |
| 4900 | 13.7. | 38 | 26 | 73 | Mittelwert Tag 40-42 | | 44,44 |
| 4900 | 14.7. | 49 | 57 | 40 | | | |
| Herzfrequenzvariabilität | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | 44,03 | | | | |

| Höhe | Datum | Test1 | Test2 | Test3 | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------------|-------|----------------------|--|-------------|
| 2200 | 2.6. | 10 | 2 | 1 | | | |
| 3100 | 3.6. | 5 | 7 | 1 | | | |
| 3200 | 4.6. | 5 | 13 | 1 | | | |
| 3400 | 5.6. | 3 | 12 | 1 | | | |
| 3400 | 6.6. | 1 | 11 | 0 | | | |
| 3400 | 7.6. | 1 | 13 | 0 | | | |
| 4100 | 8.6. | 1 | 9 | 1 | | | |
| 4300 | 9.6. | 1 | 4 | 2 | | | |
| 4600 | 10.6. | 1 | 5 | 2 | | | |
| 4900 | 11.6. | 1 | 1 | 2 | | | |
| 4900 | 12.6. | 2 | 2 | 1 | Mittelwert Tag 10-12 | | 1,22 |
| 4900 | 13.6. | 1 | 1 | 0 | | | |
| 4900 | 14.6. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 15.6. | 0 | 0 | 9 | | | |
| 4900 | 16.6. | 1 | 3 | 5 | | | |
| 4900 | 17.6. | 1 | 3 | 2 | | | |
| 4900 | 18.6. | 1 | 0 | 2 | | | |
| 5700 | 19.6. | 3 | 0 | 2 | | | |
| 6700 | 20.6. | 10 | 3 | 5 | | | |
| 4900 | 21.6. | 3 | 1 | 3 | | | |
| 4900 | 22.6. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 23.6. | 1 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 24.6. | 1 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 25.6. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 26.6. | 1 | 2 | 1 | | | |
| 4900 | 27.6. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 28.6. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 29.6. | 1 | 1 | 0 | | | |
| 5700 | 30.6. | 1 | 3 | 1 | | | |
| 6700 | 1.7. | 4 | 6 | 2 | | | |
| 4900 | 3.7. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 4.7. | 19 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 5.7. | 1 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 6.7. | 0 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 7.7. | 0 | 0 | 1 | | | |
| 5700 | 8.7. | 2 | 1 | 1 | | | |
| 5700 | 9.7. | 2 | 2 | 0 | | | |
| 4900 | 10.7. | 0 | 3 | 0 | | | |
| 4900 | 11.7. | 0 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 12.7. | 0 | 16 | 0 | | | |
| 4900 | 13.7. | 0 | 9 | 0 | Mittelwert Tag 40-42 | | 3,11 |
| 4900 | 14.7. | 1 | 2 | 0 | | | |
| Tagessumme | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | 2,21 | | | | |

| Höhe | Datum | Kont1 | Kont2 | Kont3 | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------------|----------------------|--|-------------|
| 2200 | 2.6. | 1 | 1 | 5 | | | |
| 3100 | 3.6. | 2 | 2 | 1 | | | |
| 3200 | 4.6. | 3 | 1 | 3 | | | |
| 3400 | 5.6. | 3 | 4 | 1 | | | |
| 3400 | 6.6. | 20 | 5 | 3 | | | |
| 3400 | 7.6. | 5 | 2 | 4 | | | |
| 4100 | 8.6. | 2 | 2 | 3 | | | |
| 4300 | 9.6. | 1 | 2 | 1 | | | |
| 4600 | 10.6. | 1 | 0 | 4 | | | |
| 4900 | 11.6. | 1 | 1 | 4 | | | |
| 4900 | 12.6. | 1 | 0 | 4 | Mittelwert Tag 10-12 | | 2,67 |
| 4900 | 13.6. | 9 | 1 | 3 | | | |
| 4900 | 14.6. | 1 | 1 | 1 | | | |
| 4900 | 15.6. | 2 | 1 | 0 | | | |
| 4900 | 16.6. | 2 | 1 | 1 | | | |
| 4900 | 17.6. | 3 | 5 | 0 | | | |
| 4900 | 18.6. | 2 | 3 | 0 | | | |
| 5700 | 19.6. | 1 | 6 | 5 | | | |
| 6700 | 20.6. | 2 | 3 | 3 | | | |
| 4900 | 21.6. | 14 | 2 | 1 | | | |
| 4900 | 22.6. | 6 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 23.6. | 1 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 24.6. | 2 | 0 | 0 | | | |
| 4900 | 25.6. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 26.6. | 1 | 1 | 1 | | | |
| 4900 | 27.6. | 1 | 0 | 5 | | | |
| 4900 | 28.6. | 1 | 7 | 0 | | | |
| 4900 | 29.6. | 2 | 3 | 0 | | | |
| 5700 | 30.6. | 1 | 1 | 16 | | | |
| 6700 | 1.7. | 8 | 2 | 7 | | | |
| 4900 | 3.7. | 7 | 0 | 5 | | | |
| 4900 | 4.7. | 2 | 0 | 3 | | | |
| 4900 | 5.7. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 6.7. | 1 | 0 | 1 | | | |
| 4900 | 7.7. | 1 | 12 | 2 | | | |
| 5700 | 8.7. | 2 | 10 | 1 | | | |
| 5700 | 9.7. | 2 | 9 | 4 | | | |
| 4900 | 10.7. | 1 | 5 | 1 | | | |
| 4900 | 11.7. | 1 | 3 | 1 | | | |
| 4900 | 12.7. | 1 | 3 | 3 | | | |
| 4900 | 13.7. | 1 | 4 | 1 | Mittelwert Tag 40-42 | | 1,78 |
| 4900 | 14.7. | 1 | 0 | 2 | | | |
| Tagessumme | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | | | 2,59 | | | |

| Höhe | Datum | O2-V | O2-N | PIR-V | PIR-N | RLX-V | RLX-N | TSTrex | O2Trex | RPTrex | RLXTrex |
|----------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| 2200 | 2.6. | 91 | 92 | 67 | 66 | 44 | 46 | 10 | 91 | 74 | 22 |
| 3100 | 3.6. | 88 | 88 | 58 | 56 | 49 | 53 | 5 | 88 | 56 | 41 |
| 3200 | 4.6. | 87 | 88 | 62 | 60 | 44 | 45 | 5 | 87 | 62 | 44 |
| 3400 | 5.6. | 86 | 86 | 61 | 59 | 42 | 44 | 3 | 86 | 61 | 42 |
| 3400 | 6.6. | 88 | 89 | 60 | 57 | 44 | 45 | 1 | 89 | 63 | 44 |
| 3400 | 7.6. | 90 | 91 | 62 | 63 | 51 | 51 | 1 | 91 | 61 | 52 |
| 4100 | 8.6. | 86 | 87 | 58 | 56 | 54 | 55 | 1 | 86 | 58 | 64 |
| 4300 | 9.6. | 84 | 85 | 54 | 54 | 68 | 71 | 1 | 84 | 54 | 70 |
| 4600 | 10.6. | 84 | 84 | 57 | 56 | 74 | 73 | 1 | 84 | 57 | 77 |
| 4900 | 11.6. | 86 | 87 | 55 | 53 | 101 | 105 | 1 | 86 | 52 | 112 |
| 4900 | 12.6. | 78 | 80 | 60 | 60 | 83 | 87 | 2 | 78 | 58 | 85 |
| 4900 | 13.6. | 80 | 82 | 58 | 55 | 74 | 74 | 1 | 80 | 58 | 74 |
| 4900 | 14.6. | 84 | 85 | 55 | 54 | 51 | 60 | 1 | 84 | 55 | 68 |
| 4900 | 15.6. | 84 | 85 | 47 | 44 | 77 | 79 | 0 | 84 | 44 | 77 |
| 4900 | 16.6. | 83 | 84 | 55 | 53 | 77 | 77 | 1 | 88 | 53 | 77 |
| 4900 | 17.6. | 83 | 85 | 71 | 63 | 45 | 35 | 1 | 83 | 54 | 94 |
| 4900 | 18.6. | 84 | 86 | 56 | 51 | 89 | 95 | 1 | 84 | 56 | 89 |
| 5700 | 19.6. | 82 | 82 | 69 | 61 | 68 | 77 | 3 | 79 | 69 | 72 |
| 6700 | 20.6. | 64 | 64 | 88 | 85 | 65 | 65 | 10 | 62 | 89 | 61 |
| 4900 | 21.6. | 84 | 85 | 60 | 54 | 78 | 74 | 3 | 84 | 60 | 69 |
| 4900 | 22.6. | 87 | 83 | 65 | 59 | 71 | 67 | 1 | 87 | 51 | 87 |
| 4900 | 23.6. | 87 | 88 | 57 | 52 | 90 | 97 | 1 | 87 | 57 | 98 |
| 4900 | 24.6. | 86 | 83 | 61 | 66 | 44 | 51 | 1 | 90 | 52 | 44 |
| 4900 | 25.6. | 87 | 89 | 51 | 47 | 84 | 91 | 1 | 87 | 47 | 84 |
| 4900 | 26.6. | 89 | 90 | 55 | 49 | 77 | 68 | 1 | 86 | 56 | 77 |
| 4900 | 27.6. | 89 | 86 | 52 | 48 | 81 | 84 | 1 | 88 | 52 | 84 |
| 4900 | 28.6. | 85 | 84 | 87 | 78 | 24 | 46 | 1 | 86 | 53 | 79 |
| 4900 | 29.6. | 88 | 89 | 52 | 52 | 64 | 69 | 1 | 87 | 52 | 64 |
| 5700 | 30.6. | 83 | 81 | 66 | 64 | 71 | 77 | 1 | 80 | 59 | 70 |
| 6700 | 1.7. | 65 | 66 | 74 | 72 | 84 | 79 | 4 | 63 | 73 | 80 |
| 4900 | 3.7. | 86 | 85 | 70 | 59 | 60 | 81 | 1 | 87 | 52 | 86 |
| 4900 | 4.7. | 86 | 88 | 80 | 76 | 18 | 22 | 19 | 86 | 80 | 18 |
| 4900 | 5.7. | 90 | 91 | 51 | 54 | 64 | 67 | 1 | 90 | 51 | 63 |
| 4900 | 6.7. | 89 | 86 | 62 | 59 | 61 | 61 | 0 | 88 | 48 | 70 |
| 4900 | 7.7. | 90 | 92 | 47 | 47 | 86 | 89 | 0 | 89 | 46 | 84 |
| 5700 | 8.7. | 83 | 84 | 64 | 66 | 79 | 84 | 2 | 81 | 63 | 75 |
| 5700 | 9.7. | 81 | 81 | 60 | 60 | 84 | 91 | 2 | 80 | 58 | 85 |
| 4900 | 10.7. | 88 | 89 | 49 | 47 | 86 | 90 | 0 | 85 | 48 | 84 |
| 4900 | 11.7. | 90 | 90 | 49 | 49 | 94 | 101 | 0 | 87 | 47 | 91 |
| 4900 | 12.7. | 90 | 91 | 47 | 46 | 84 | 87 | 0 | 87 | 47 | 86 |
| 4900 | 13.7. | 91 | 91 | 48 | 48 | 76 | 81 | 0 | 87 | 46 | 76 |
| 4900 | 14.7. | 89 | 90 | 53 | 51 | 63 | 67 | 1 | 86 | 52 | 66 |
| Testperson1 | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert Gesamt | | 85,12 | 85,52 | 59,83 | 57,36 | 67,21 | 70,5 | | | | |
| Mittelwert Tag 10-12 | | 81,33 | 83,00 | 57,67 | 56,00 | 86,00 | 88,67 | | | | |
| Mittelwert Tag 40-42 | | 90,00 | 90,67 | 49,33 | 48,33 | 74,33 | 78,33 | | | | |

| Höhe | Datum | O2-V | O2-N | PIR-V | PIR-N | RLX-V | RLX-N | TSTrex | O2Trex | RPTrex | RLXTrex |
|----------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| 2200 | 2.6. | 92 | 93 | 52 | 50 | 30 | 37 | 2 | 91 | 51 | 30 |
| 3100 | 3.6. | 91 | 91 | 57 | 54 | 34 | 33 | 7 | 92 | 59 | 31 |
| 3200 | 4.6. | 91 | 92 | 93 | 90 | 10 | 13 | 13 | 92 | 93 | 7 |
| 3400 | 5.6. | 90 | 91 | 68 | 66 | 22 | 19 | 12 | 92 | 68 | 22 |
| 3400 | 6.6. | 91 | 91 | 62 | 60 | 20 | 27 | 11 | 91 | 62 | 21 |
| 3400 | 7.6. | 91 | 92 | 91 | 89 | 7 | 14 | 13 | 91 | 91 | 7 |
| 4100 | 8.6. | 87 | 88 | 60 | 58 | 18 | 24 | 9 | 88 | 60 | 19 |
| 4300 | 9.6. | 86 | 86 | 52 | 51 | 22 | 27 | 4 | 87 | 50 | 24 |
| 4600 | 10.6. | 86 | 87 | 54 | 52 | 33 | 42 | 5 | 86 | 50 | 39 |
| 4900 | 11.6. | 84 | 85 | 47 | 44 | 26 | 31 | 1 | 84 | 43 | 27 |
| 4900 | 12.6. | 87 | 87 | 48 | 47 | 25 | 30 | 2 | 86 | 49 | 46 |
| 4900 | 13.6. | 87 | 88 | 48 | 46 | 33 | 38 | 1 | 87 | 46 | 34 |
| 4900 | 14.6. | 87 | 88 | 45 | 46 | 37 | 42 | 0 | 87 | 43 | 38 |
| 4900 | 15.6. | 88 | 88 | 48 | 47 | 40 | 39 | 0 | 87 | 49 | 40 |
| 4900 | 16.6. | 88 | 89 | 45 | 44 | 39 | 51 | 3 | 88 | 44 | 37 |
| 4900 | 17.6. | 88 | 90 | 56 | 54 | 38 | 39 | 3 | 88 | 55 | 36 |
| 4900 | 18.6. | 88 | 89 | 49 | 47 | 31 | 39 | 0 | 88 | 48 | 34 |
| 5700 | 19.6. | 87 | 87 | 47 | 47 | 41 | 47 | 0 | 87 | 44 | 42 |
| 6700 | 20.6. | 71 | 71 | 62 | 61 | 53 | 52 | 3 | 70 | 62 | 55 |
| 4900 | 21.6. | 88 | 89 | 52 | 50 | 29 | 34 | 1 | 87 | 51 | 31 |
| 4900 | 22.6. | 89 | 90 | 47 | 44 | 37 | 43 | 0 | 89 | 45 | 38 |
| 4900 | 23.6. | 87 | 87 | 45 | 45 | 39 | 42 | 0 | 87 | 43 | 40 |
| 4900 | 24.6. | 87 | 88 | 39 | 38 | 37 | 39 | 0 | 87 | 38 | 37 |
| 4900 | 25.6. | 88 | 89 | 45 | 42 | 34 | 38 | 0 | 88 | 44 | 33 |
| 4900 | 26.6. | 88 | 88 | 52 | 50 | 29 | 31 | 2 | 88 | 51 | 30 |
| 4900 | 27.6. | 88 | 89 | 46 | 44 | 40 | 43 | 0 | 88 | 45 | 40 |
| 4900 | 28.6. | 89 | 90 | 47 | 47 | 37 | 44 | 0 | 88 | 46 | 35 |
| 4900 | 29.6. | 89 | 89 | 48 | 46 | 45 | 52 | 1 | 88 | 47 | 44 |
| 5700 | 30.6. | 85 | 85 | 49 | 50 | 34 | 38 | 3 | 84 | 46 | 35 |
| 6700 | 1.7. | 71 | 71 | 64 | 63 | 32 | 28 | 6 | 71 | 63 | 32 |
| 4900 | 3.7. | 88 | 88 | 47 | 45 | 40 | 44 | 0 | 88 | 46 | 40 |
| 4900 | 4.7. | 89 | 89 | 48 | 46 | 28 | 34 | 0 | 88 | 48 | 28 |
| 4900 | 5.7. | 90 | 90 | 44 | 42 | 52 | 57 | 0 | 90 | 42 | 52 |
| 4900 | 6.7. | 89 | 91 | 47 | 45 | 34 | 42 | 0 | 89 | 47 | 36 |
| 4900 | 7.7. | 90 | 90 | 49 | 49 | 41 | 44 | 0 | 90 | 49 | 34 |
| 5700 | 8.7. | 85 | 86 | 52 | 51 | 51 | 57 | 1 | 84 | 50 | 57 |
| 5700 | 9.7. | 84 | 85 | 54 | 55 | 47 | 41 | 2 | 85 | 51 | 47 |
| 4900 | 10.7. | 89 | 90 | 49 | 47 | 28 | 33 | 3 | 89 | 55 | 28 |
| 4900 | 11.7. | 90 | 91 | 47 | 45 | 39 | 44 | 0 | 90 | 44 | 39 |
| 4900 | 12.7. | 89 | 90 | 52 | 52 | 37 | 38 | 16 | 91 | 52 | 37 |
| 4900 | 13.7. | 90 | 90 | 50 | 49 | 32 | 39 | 9 | 90 | 50 | 32 |
| 4900 | 14.7. | 91 | 92 | 49 | 47 | 40 | 50 | 2 | 90 | 53 | 40 |
| Testperson2 | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | 87,45 | 88,10 | 52,52 | 51,07 | 33,83 | 38,07 | | | | |
| Mittelwert Tag 10-12 | | 86,00 | 86,67 | 47,67 | 45,67 | 28,00 | 33,00 | | | | |
| Mittelwert Tag 40-42 | | 90,00 | 90,67 | 50,33 | 49,33 | 36,33 | 42,33 | | | | |

| Höhe | Datum | O2-V | O2-N | PIR-V | PIR-N | RLX-V | RLX-N | TSTrex | O2Trex | RPTrex | RLXTrex |
|----------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| 2200 | 2.6. | 91 | 92 | 60 | 58 | 19 | 27 | 1 | 92 | 65 | 18 |
| 3100 | 3.6. | 90 | 92 | 59 | 57 | 25 | 33 | 1 | 92 | 59 | 25 |
| 3200 | 4.6. | 91 | 92 | 64 | 61 | 52 | 57 | 1 | 93 | 65 | 32 |
| 3400 | 5.6. | 91 | 91 | 57 | 57 | 34 | 33 | 1 | 91 | 59 | 30 |
| 3400 | 6.6. | 90 | 91 | 59 | 57 | 37 | 47 | 0 | 92 | 58 | 40 |
| 3400 | 7.6. | 92 | 92 | 65 | 61 | 31 | 27 | 0 | 92 | 64 | 21 |
| 4100 | 8.6. | 88 | 89 | 63 | 61 | 17 | 24 | 1 | 89 | 65 | 20 |
| 4300 | 9.6. | 87 | 88 | 60 | 57 | 28 | 36 | 2 | 89 | 59 | 31 |
| 4600 | 10.6. | 83 | 84 | 62 | 64 | 22 | 31 | 2 | 84 | 63 | 25 |
| 4900 | 11.6. | 84 | 85 | 63 | 59 | 34 | 37 | 2 | 85 | 60 | 25 |
| 4900 | 12.6. | 87 | 89 | 58 | 56 | 24 | 27 | 1 | 88 | 57 | 25 |
| 4900 | 13.6. | 84 | 86 | 57 | 56 | 9 | 17 | 0 | 84 | 56 | 9 |
| 4900 | 14.6. | 83 | 83 | 65 | 73 | 26 | 24 | 1 | 88 | 59 | 26 |
| 4900 | 15.6. | 86 | 87 | 69 | 66 | 19 | 23 | 9 | 87 | 70 | 15 |
| 4900 | 16.6. | 85 | 85 | 66 | 67 | 21 | 28 | 5 | 84 | 69 | 20 |
| 4900 | 17.6. | 83 | 84 | 75 | 68 | 15 | 9 | 2 | 86 | 65 | 20 |
| 4900 | 18.6. | 85 | 85 | 65 | 63 | 20 | 27 | 2 | 85 | 65 | 20 |
| 5700 | 19.6. | 80 | 81 | 70 | 68 | 18 | 24 | 2 | 80 | 70 | 18 |
| 6700 | 20.6. | 71 | 72 | 74 | 72 | 20 | 23 | 5 | 72 | 74 | 20 |
| 4900 | 21.6. | 85 | 86 | 57 | 55 | 25 | 26 | 3 | 85 | 57 | 25 |
| 4900 | 22.6. | 86 | 87 | 64 | 73 | 27 | 16 | 1 | 87 | 55 | 30 |
| 4900 | 23.6. | 89 | 90 | 57 | 56 | 31 | 38 | 0 | 89 | 55 | 30 |
| 4900 | 24.6. | 82 | 87 | 75 | 73 | 14 | 12 | 0 | 90 | 57 | 31 |
| 4900 | 25.6. | 90 | 89 | 61 | 58 | 24 | 27 | 1 | 90 | 61 | 28 |
| 4900 | 26.6. | 89 | 90 | 66 | 65 | 25 | 27 | 1 | 81 | 67 | 25 |
| 4900 | 27.6. | 89 | 90 | 60 | 59 | 22 | 28 | 1 | 89 | 60 | 22 |
| 4900 | 28.6. | 85 | 86 | 67 | 72 | 16 | 8 | 1 | 89 | 61 | 20 |
| 4900 | 29.6. | 90 | 90 | 56 | 55 | 22 | 28 | 0 | 90 | 56 | 22 |
| 5700 | 30.6. | 83 | 86 | 65 | 67 | 21 | 30 | 1 | 84 | 65 | 21 |
| 6700 | 1.7. | 73 | 72 | 74 | 74 | 16 | 21 | 2 | 73 | 74 | 16 |
| 4900 | 3.7. | 89 | 90 | 69 | 70 | 23 | 19 | 1 | 90 | 57 | 30 |
| 4900 | 4.7. | 90 | 90 | 52 | 52 | 35 | 38 | 0 | 90 | 52 | 32 |
| 4900 | 5.7. | 89 | 90 | 56 | 55 | 32 | 37 | 0 | 90 | 56 | 35 |
| 4900 | 6.7. | 87 | 90 | 61 | 60 | 16 | 17 | 0 | 89 | 57 | 28 |
| 4900 | 7.7. | 90 | 90 | 60 | 60 | 20 | 24 | 1 | 90 | 60 | 20 |
| 5700 | 8.7. | 83 | 84 | 64 | 64 | 20 | 27 | 1 | 83 | 59 | 20 |
| 5700 | 9.7. | 84 | 85 | 63 | 63 | 32 | 41 | 0 | 84 | 58 | 29 |
| 4900 | 10.7. | 88 | 89 | 58 | 59 | 29 | 37 | 0 | 88 | 58 | 32 |
| 4900 | 11.7. | 89 | 90 | 57 | 56 | 35 | 42 | 0 | 83 | 53 | 35 |
| 4900 | 12.7. | 90 | 90 | 53 | 52 | 41 | 50 | 0 | 90 | 52 | 50 |
| 4900 | 13.7. | 90 | 90 | 54 | 53 | 47 | 52 | 0 | 90 | 51 | 47 |
| 4900 | 14.7. | 90 | 91 | 53 | 51 | 43 | 49 | 0 | 91 | 51 | 49 |
| Testperson3 | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | 86,45 | 87,38 | 62,21 | 61,5 | 25,88 | 29,71 | | | | |
| Mittelwert Tag 10-12 | | 85,00 | 86,67 | 59,33 | 57,00 | 22,33 | 27,00 | | | | |
| Mittelwert Tag 40-42 | | 90,00 | 90,33 | 53,33 | 52,00 | 43,67 | 50,33 | | | | |

| Höhe | Datum | O2-V | O2-N | PIR-V | PIR-N | RLX-V | RLX-N | TSTrex | O2Trex | RPTrex | RLXTrex |
|------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| 2200 | 2.6. | 95 | 95 | 57 | 54 | 37 | 43 | 1 | 95 | 54 | 42 |
| 3100 | 3.6. | 94 | 94 | 56 | 52 | 27 | 36 | 2 | 96 | 53 | 33 |
| 3400 | 4.6. | 94 | 95 | 58 | 56 | 31 | 33 | 3 | 98 | 58 | 29 |
| 3400 | 5.6. | 93 | 92 | 58 | 55 | 33 | 31 | 3 | 94 | 58 | 32 |
| 3400 | 6.6. | 93 | 94 | 89 | 86 | 4 | 17 | 20 | 93 | 99 | 4 |
| 3400 | 7.6. | 92 | 90 | 60 | 57 | 32 | 37 | 5 | 92 | 60 | 32 |
| 4100 | 8.6. | 86 | 88 | 53 | 53 | 37 | 41 | 2 | 87 | 53 | 33 |
| 4300 | 9.6. | 85 | 86 | 54 | 53 | 33 | 39 | 1 | 86 | 54 | 33 |
| 4600 | 10.6. | 87 | 87 | 53 | 51 | 43 | 45 | 1 | 87 | 53 | 43 |
| 4900 | 11.6. | 87 | 88 | 59 | 58 | 37 | 39 | 1 | 87 | 56 | 42 |
| 4900 | 12.6. | 88 | 86 | 58 | 56 | 36 | 41 | 1 | 88 | 58 | 36 |
| 4900 | 13.6. | 87 | 87 | 74 | 71 | 21 | 18 | 9 | 87 | 74 | 24 |
| 4900 | 14.6. | 89 | 90 | 58 | 56 | 21 | 37 | 1 | 90 | 58 | 30 |
| 4900 | 15.6. | 88 | 89 | 62 | 60 | 30 | 35 | 2 | 88 | 62 | 30 |
| 4900 | 16.6. | 88 | 90 | 61 | 59 | 22 | 19 | 2 | 88 | 61 | 25 |
| 4900 | 17.6. | 89 | 89 | 68 | 65 | 21 | 23 | 3 | 89 | 68 | 21 |
| 4900 | 18.6. | 88 | 89 | 60 | 57 | 38 | 43 | 2 | 88 | 60 | 38 |
| 5700 | 19.6. | 83 | 84 | 52 | 53 | 37 | 42 | 1 | 85 | 52 | 42 |
| 6700 | 20.6. | 74 | 75 | 69 | 68 | 19 | 23 | 2 | 77 | 68 | 21 |
| 4900 | 21.6. | 90 | 91 | 77 | 74 | 9 | 15 | 14 | 92 | 74 | 14 |
| 4900 | 22.6. | 90 | 90 | 67 | 61 | 28 | 39 | 6 | 91 | 61 | 12 |
| 4900 | 23.6. | 90 | 91 | 65 | 63 | 34 | 39 | 1 | 91 | 60 | 37 |
| 4900 | 24.6. | 90 | 91 | 64 | 60 | 41 | 44 | 2 | 90 | 59 | 44 |
| 4900 | 25.6. | 90 | 92 | 57 | 53 | 31 | 37 | 1 | 90 | 53 | 38 |
| 4900 | 26.6. | 90 | 90 | 59 | 57 | 22 | 36 | 1 | 89 | 56 | 30 |
| 4900 | 27.6. | 90 | 91 | 67 | 63 | 27 | 23 | 1 | 92 | 57 | 29 |
| 4900 | 28.6. | 89 | 89 | 63 | 58 | 28 | 27 | 1 | 90 | 58 | 30 |
| 4900 | 29.6. | 92 | 92 | 64 | 59 | 26 | 31 | 2 | 90 | 66 | 26 |
| 5700 | 30.6. | 85 | 86 | 58 | 59 | 29 | 39 | 1 | 86 | 56 | 40 |
| 6700 | 1.7. | 68 | 71 | 77 | 76 | 36 | 33 | 8 | 71 | 74 | 42 |
| 4900 | 3.7. | 87 | 88 | 71 | 68 | 11 | 17 | 7 | 88 | 68 | 16 |
| 4900 | 4.7. | 88 | 89 | 59 | 55 | 19 | 29 | 2 | 89 | 55 | 27 |
| 4900 | 5.7. | 90 | 91 | 60 | 56 | 27 | 29 | 1 | 90 | 57 | 29 |
| 4900 | 6.7. | 90 | 90 | 59 | 54 | 34 | 42 | 1 | 90 | 54 | 34 |
| 4900 | 7.7. | 91 | 91 | 57 | 56 | 40 | 44 | 1 | 91 | 54 | 41 |
| 5700 | 8.7. | 84 | 85 | 67 | 64 | 21 | 28 | 2 | 85 | 59 | 27 |
| 5700 | 9.7. | 85 | 85 | 62 | 58 | 27 | 32 | 2 | 86 | 58 | 31 |
| 4900 | 10.7. | 89 | 90 | 57 | 57 | 41 | 47 | 1 | 89 | 53 | 44 |
| 4900 | 11.7. | 90 | 89 | 54 | 55 | 36 | 41 | 1 | 90 | 52 | 37 |
| 4900 | 12.7. | 89 | 90 | 55 | 53 | 41 | 44 | 1 | 90 | 52 | 47 |
| 4900 | 13.7. | 90 | 91 | 54 | 51 | 34 | 36 | 1 | 91 | 50 | 38 |
| 4900 | 14.7. | 91 | 91 | 54 | 54 | 41 | 48 | 1 | 91 | 52 | 49 |
| Kontrollperson1 | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | 88,29 | 88,86 | 61,57 | 59,14 | 29,57 | 34,33 | | | | |
| Mittelwert Tag 10-12 | | 87,33 | 87,00 | 63,67 | 61,67 | 31,33 | 32,67 | | | | |
| Mittelwert Tag 40-42 | | 90,00 | 90,67 | 54,33 | 52,67 | 38,67 | 42,67 | | | | |

| Höhe | Datum | O2-V | O2-N | PIR-V | PIR-N | RLX-V | RLX-N | TSTrex | O2Trex | RPTrex | RLXTrex |
|------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| 2200 | 2.6. | 90 | 91 | 67 | 65 | 29 | 34 | 1 | 91 | 58 | 32 |
| 3100 | 3.6. | 91 | 91 | 66 | 65 | 17 | 24 | 2 | 92 | 62 | 19 |
| 3200 | 4.6. | 88 | 90 | 66 | 66 | 21 | 28 | 1 | 89 | 60 | 22 |
| 3400 | 5.6. | 87 | 88 | 69 | 68 | 11 | 14 | 4 | 87 | 70 | 12 |
| 3400 | 6.6. | 87 | 87 | 70 | 70 | 14 | 19 | 5 | 91 | 74 | 11 |
| 3400 | 7.6. | 90 | 90 | 59 | 60 | 28 | 32 | 2 | 91 | 55 | 32 |
| 4100 | 8.6. | 86 | 87 | 64 | 63 | 29 | 26 | 2 | 87 | 58 | 37 |
| 4300 | 9.6. | 85 | 85 | 63 | 64 | 27 | 33 | 2 | 87 | 58 | 31 |
| 4600 | 10.6. | 84 | 85 | 64 | 62 | 37 | 35 | 0 | 85 | 55 | 45 |
| 4900 | 11.6. | 84 | 84 | 62 | 61 | 35 | 37 | 1 | 85 | 55 | 38 |
| 4900 | 12.6. | 85 | 85 | 63 | 62 | 38 | 42 | 0 | 85 | 53 | 45 |
| 4900 | 13.6. | 84 | 86 | 59 | 59 | 36 | 38 | 1 | 85 | 55 | 40 |
| 4900 | 14.6. | 84 | 85 | 54 | 53 | 32 | 34 | 1 | 85 | 54 | 32 |
| 4900 | 15.6. | 85 | 85 | 60 | 60 | 19 | 29 | 1 | 86 | 56 | 27 |
| 4900 | 16.6. | 84 | 85 | 58 | 59 | 21 | 27 | 1 | 85 | 53 | 32 |
| 4900 | 17.6. | 86 | 85 | 55 | 54 | 21 | 33 | 5 | 86 | 50 | 42 |
| 4900 | 18.6. | 86 | 86 | 53 | 52 | 39 | 41 | 3 | 86 | 50 | 43 |
| 5700 | 19.6. | 81 | 81 | 67 | 64 | 18 | 21 | 6 | 81 | 59 | 21 |
| 6700 | 20.6. | 67 | 68 | 75 | 74 | 22 | 23 | 3 | 71 | 71 | 46 |
| 4900 | 21.6. | 84 | 85 | 63 | 60 | 24 | 22 | 2 | 85 | 53 | 31 |
| 4900 | 22.6. | 84 | 84 | 52 | 52 | 40 | 31 | 0 | 84 | 52 | 39 |
| 4900 | 23.6. | 84 | 85 | 57 | 55 | 48 | 53 | 0 | 86 | 51 | 56 |
| 4900 | 24.6. | 87 | 86 | 59 | 60 | 38 | 27 | 0 | 87 | 49 | 54 |
| 4900 | 25.6. | 87 | 88 | 57 | 55 | 51 | 54 | 0 | 88 | 49 | 58 |
| 4900 | 26.6. | 87 | 87 | 61 | 59 | 31 | 33 | 1 | 88 | 59 | 36 |
| 4900 | 27.6. | 87 | 86 | 54 | 52 | 36 | 34 | 0 | 87 | 53 | 40 |
| 4900 | 28.6. | 86 | 86 | 68 | 67 | 17 | 21 | 7 | 86 | 68 | 21 |
| 4900 | 29.6. | 87 | 87 | 65 | 64 | 21 | 16 | 3 | 87 | 62 | 27 |
| 5700 | 30.6. | 82 | 83 | 66 | 65 | 41 | 38 | 1 | 83 | 60 | 47 |
| 6700 | 1.7. | 73 | 75 | 77 | 75 | 22 | 25 | 2 | 75 | 74 | 31 |
| 4900 | 3.7. | 84 | 83 | 70 | 66 | 36 | 15 | 0 | 86 | 52 | 56 |
| 4900 | 4.7. | 89 | 90 | 58 | 55 | 37 | 40 | 0 | 89 | 55 | 40 |
| 4900 | 5.7. | 88 | 89 | 57 | 54 | 57 | 62 | 0 | 88 | 52 | 62 |
| 4900 | 6.7. | 85 | 83 | 59 | 68 | 29 | 10 | 0 | 87 | 53 | 50 |
| 4900 | 7.7. | 87 | 86 | 68 | 66 | 18 | 16 | 12 | 87 | 68 | 18 |
| 5700 | 8.7. | 83 | 84 | 72 | 70 | 27 | 29 | 10 | 84 | 70 | 28 |
| 5700 | 9.7. | 84 | 84 | 68 | 70 | 18 | 16 | 9 | 84 | 67 | 20 |
| 4900 | 10.7. | 86 | 86 | 59 | 58 | 28 | 29 | 5 | 86 | 59 | 32 |
| 4900 | 11.7. | 85 | 86 | 56 | 54 | 41 | 37 | 3 | 87 | 59 | 41 |
| 4900 | 12.7. | 86 | 87 | 57 | 58 | 37 | 39 | 3 | 88 | 55 | 40 |
| 4900 | 13.7. | 87 | 88 | 63 | 65 | 26 | 31 | 4 | 87 | 65 | 26 |
| 4900 | 14.7. | 88 | 89 | 52 | 50 | 56 | 57 | 0 | 88 | 50 | 57 |
| Kontrollperson2 | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | 85,10 | 85,5 | 62,19 | 61,40 | 30,31 | 31,07 | | | | |
| Mittelwert Tag 10-12 | | 84,33 | 85,00 | 61,33 | 60,67 | 36,33 | 39,00 | | | | |
| Mittelwert Tag 40-42 | | 87,00 | 88,00 | 57,33 | 57,67 | 39,67 | 42,33 | | | | |

| Höhe | Datum | O2-V | O2-N | PIR-V | PIR-N | RLX-V | RLX-N | TSTrex | O2Trex | RPTrex | RLXTrex |
|------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------|--------|--------|---------|
| 2200 | 2.6. | 90 | 90 | 57 | 55 | 27 | 31 | 5 | 90 | 56 | 32 |
| 3100 | 3.6. | 90 | 91 | 51 | 48 | 37 | 41 | 1 | 91 | 46 | 42 |
| 3200 | 4.6. | 90 | 90 | 63 | 60 | 21 | 25 | 3 | 90 | 60 | 25 |
| 3400 | 5.6. | 87 | 88 | 57 | 55 | 34 | 29 | 1 | 88 | 55 | 34 |
| 3400 | 6.6. | 91 | 92 | 44 | 46 | 89 | 84 | 3 | 92 | 46 | 106 |
| 3400 | 7.6. | 90 | 91 | 54 | 55 | 64 | 71 | 4 | 92 | 52 | 71 |
| 4100 | 8.6. | 88 | 89 | 53 | 50 | 57 | 63 | 3 | 89 | 50 | 63 |
| 4300 | 9.6. | 91 | 91 | 47 | 47 | 100 | 107 | 1 | 92 | 45 | 111 |
| 4600 | 10.6. | 83 | 84 | 53 | 52 | 81 | 89 | 4 | 84 | 50 | 96 |
| 4900 | 11.6. | 81 | 81 | 49 | 50 | 91 | 90 | 4 | 81 | 43 | 99 |
| 4900 | 12.6. | 84 | 84 | 51 | 51 | 57 | 59 | 4 | 85 | 45 | 60 |
| 4900 | 13.6. | 82 | 83 | 47 | 46 | 21 | 83 | 3 | 82 | 43 | 96 |
| 4900 | 14.6. | 85 | 85 | 43 | 44 | 68 | 67 | 1 | 85 | 43 | 68 |
| 4900 | 15.6. | 84 | 83 | 47 | 46 | 58 | 60 | 0 | 84 | 43 | 60 |
| 4900 | 16.6. | 83 | 84 | 49 | 46 | 91 | 94 | 1 | 84 | 45 | 98 |
| 4900 | 17.6. | 84 | 84 | 44 | 46 | 69 | 69 | 0 | 84 | 44 | 69 |
| 4900 | 18.6. | 85 | 83 | 45 | 44 | 66 | 63 | 0 | 85 | 45 | 66 |
| 5700 | 19.6. | 81 | 82 | 68 | 66 | 24 | 21 | 5 | 82 | 68 | 24 |
| 6700 | 20.6. | 74 | 75 | 71 | 70 | 48 | 50 | 3 | 77 | 71 | 50 |
| 4900 | 21.6. | 81 | 81 | 41 | 41 | 91 | 97 | 1 | 80 | 41 | 97 |
| 4900 | 22.6. | 84 | 83 | 58 | 65 | 51 | 33 | 0 | 81 | 43 | 87 |
| 4900 | 23.6. | 85 | 85 | 47 | 45 | 90 | 85 | 0 | 85 | 45 | 92 |
| 4900 | 24.6. | 86 | 81 | 85 | 84 | 24 | 9 | 0 | 85 | 45 | 80 |
| 4900 | 25.6. | 87 | 86 | 58 | 55 | 91 | 98 | 1 | 87 | 48 | 98 |
| 4900 | 26.6. | 88 | 89 | 51 | 49 | 77 | 79 | 1 | 89 | 49 | 79 |
| 4900 | 27.6. | 89 | 90 | 52 | 52 | 60 | 61 | 5 | 90 | 52 | 60 |
| 4900 | 28.6. | 85 | 91 | 66 | 64 | 39 | 23 | 0 | 87 | 45 | 88 |
| 4900 | 29.6. | 87 | 86 | 51 | 48 | 91 | 97 | 0 | 88 | 43 | 97 |
| 5700 | 30.6. | 84 | 83 | 79 | 80 | 9 | 11 | 16 | 85 | 78 | 9 |
| 6700 | 1.7. | 73 | 74 | 78 | 77 | 24 | 31 | 7 | 74 | 74 | 34 |
| 4900 | 3.7. | 84 | 88 | 66 | 65 | 37 | 29 | 5 | 88 | 54 | 30 |
| 4900 | 4.7. | 87 | 88 | 49 | 47 | 50 | 48 | 3 | 88 | 47 | 50 |
| 4900 | 5.7. | 88 | 89 | 47 | 44 | 64 | 57 | 1 | 88 | 44 | 64 |
| 4900 | 6.7. | 81 | 86 | 69 | 70 | 15 | 11 | 1 | 89 | 47 | 43 |
| 4900 | 7.7. | 87 | 87 | 51 | 47 | 48 | 53 | 2 | 87 | 45 | 60 |
| 5700 | 8.7. | 82 | 83 | 55 | 56 | 43 | 39 | 1 | 84 | 55 | 43 |
| 5700 | 9.7. | 83 | 83 | 72 | 70 | 33 | 37 | 4 | 83 | 72 | 34 |
| 4900 | 10.7. | 86 | 87 | 44 | 46 | 70 | 77 | 1 | 86 | 40 | 70 |
| 4900 | 11.7. | 87 | 87 | 57 | 51 | 48 | 51 | 1 | 87 | 51 | 51 |
| 4900 | 12.7. | 86 | 87 | 61 | 58 | 30 | 22 | 3 | 86 | 57 | 30 |
| 4900 | 13.7. | 87 | 86 | 53 | 51 | 69 | 73 | 1 | 86 | 48 | 73 |
| 4900 | 14.7. | 88 | 88 | 56 | 51 | 40 | 37 | 2 | 88 | 51 | 40 |
| Kontrollperson3 | | | | | | | | | | | |
| Mittelwert gesamt | | 85,19 | 85,67 | 55,69 | 54,60 | 54,69 | 56,05 | | | | |
| Mittelwert Tag 10-12 | | 82,33 | 82,67 | 49,00 | 49,00 | 56,33 | 77,33 | | | | |
| Mittelwert Tag 40-42 | | 87,00 | 87,00 | 56,67 | 53,33 | 46,33 | 44,00 | | | | |

11 Kurzzusammenfassung Englisch

Introduction, theory

Does the CV4 technique influence a person's adaptability to great and extreme heights? I raised this question a few months before an expedition set off to the Karakorum mountains Broad Peak and K2 (having heights of 8,047 and 8,611 metres respectively). The aim was to climb up them "by fair means", in other words without resorting to oxygen. When the human body is at unaccustomed altitudes, diverse adjustment mechanisms in various organ systems come into play. The reduced oxygen partial pressure (PO_2) in the ambient air is the decisive factor that triggers them off. The barometric pressure, which is one atmosphere (1013 millibars) at sea level, drops continuously with increasing altitude, but the proportion of oxygen in the outside air remains constant at about 21%, even at the highest altitude levels that human beings can reach on foot and without using bottled oxygen. Ward et al. (1975) describe the fall in atmospheric pressure at increasing altitude as follows: *"Barometric pressure decreases with altitude because the higher we go, the less atmosphere there is above us pressing down by virtue of its weight."*

Altitudes

Berghold & Schaffert (2001) delineate the following altitudes with their various physiological effects:

Medium altitudes from 1,500 to 2,500 metres

At such altitudes the hypoxic inhalation of air already leads to reduced oxygen pressure in the blood. The body reacts with intensified breathing in order to increase the oxygen pressure in the blood. The arterial oxygen saturation when the body is at rest is still above 90%. The oxygen supply to the body tissue is hardly at all restricted and no altitude acclimatisation is necessary. There is no question of acute altitude sickness arising at such altitudes.

Great altitudes from 2,500 to 5,300 metres

From about 2,500 metres the human body must be specifically acclimatised in order not to suffer damage. The altitudes in this range are therefore referred to as the threshold altitude. The oxygen saturation in the blood is now markedly below 90% and discomforts in adjusting to the altitude occur frequently.

Extreme altitudes from 5,300 to 8,850 metres

Complete adjustment of the body to such altitudes is no longer possible. Lack of oxygen in the blood occasions massive hyperventilation and all physiological functions are severely limited. Staying too long at such altitudes leads sooner or later to death. It is, however, still possible for the body to survive for a short time above 7,500 metres by hyperventilating.

From the first day, the investigations in the course of this study took place exclusively at great and extreme altitudes.

Pollard & Murdoch (1998) define the term "altitude acclimatisation" as the process under which organisms adjust, step-by-step, to altitude-induced hypoxaemia. This process has not yet been fully researched.

Altitude acclimatisation

Richalet (1991) distinguishes four acclimatisation phases with the following principal features:

Acute phase

The body's initial reaction to a new altitude until the acclimatisation phase starts:

Increase in the heartbeat (HF) and the cardiac output per minute (CMV) with their accompanying increase in the circulation of the blood to the body tissue.

Increase in breath frequency (AF), breath volume (AV) and respiratory minute volume (AMV), i.e. hyperventilation (Silbernagel & Despopoulos, 2007, p. 144)

Increase in the pH value because of intensified exhalation of CO₂ (respiratory alkalosis) and the consequently improved O₂ saturation of the blood in the lungs

No onset of altitude sickness

Acclimatisation phase

Maximum HF and H_{MV} figures are reached and then fall slowly back

AF, AV and AMV remained increased

Lowering of the increased pH value as a result of bicarbonate leaving via the kidneys, i.e. bicarbonaturia (Silbernagel & Despopoulos, 2007, p. 174)

Improved O₂ delivery by the blood to the body tissue

Blood plasma volume displacement, i.e. rise in the hematocrit

Appearance of all the forms of high altitude sickness

Stabilisation phase

When acclimatisation has taken place, the organism is fully efficient at a lower level:

- HF as at “valley” level
- AF, AV and AMV remain high
- PH value at normal level
- O₂ delivery by the blood to the body tissue remains increased

Deterioration phase

A long stay at extreme altitude starts to have a progressively negative effect on the body (Altitude deterioration):

- HF goes up again
- Loss of muscle mass
- Cachexia
- Dehydration
- Further rise in the hematocrit, i.e. danger of thrombosis, embolism and outbreaks of frostbite
- Avolition

At extreme altitudes these phases may no longer be run through completely, a condition referred to as partial acclimatisation occurs with a fluid transition to the deterioration phase.

Physiological effects as a result of altitude exposure at cellular level

Increasing altitude and the lowering inhaled oxygen concentration resulting from it and/or the reduced oxygen partial pressure trigger off an oxygen transport system

adjustment. The transport of oxygen from the outside air to the mitochondria happens – according to Podolsky (1996) - mainly in 4 areas:

From the outside air into the alveoli

Air breathed in is warmed up to body temperature and humidified up to 100%-saturation. This water vapour replaces a portion of the oxygen and reduces the oxygen partial pressure (PO_2) in the air breathed in against the dry outside air. In addition, as a result of the air breathed in mixing with the air in the anatomic dead space and/or the air of the carbon dioxide arising in the alveoli, a further lowering of the oxygen pressure takes place in the alveoli air. This effect becomes ever greater at higher altitude but is partially softened because of the hyperventilation occasioned by it (which is alleviated by the lower atmospheric density and the resulting lower viscosity of the air).

Podolsky (1996) offers the explanation that it is mainly the carotid bodies (glomus caroticum) located in the carotid bifurcation and the aorta bodies (glomus aorticum) that lie above and below the aortic arch that are chiefly responsible for the increase in ventilation under hypoxic conditions. What is involved are peripheral chemosensors which, being in direct contact with the arterial blood, react above all to a lowering of the arterial oxygen partial pressure.

Central chemosensors, furthermore, lie in the ventral portion of the medulla oblongata. They react to changes in the H^+ concentration of the extra-cellular fluidity, the composition of which is mainly determined by the cerebrospinal fluid but also by the local circulation and local metabolism. Cerebrospinal fluid is separated from the blood through the blood-brain barrier. This is relatively impermeable, only molecular CO_2 diffuses easily. A diffusion of the CO_2 in the fluid occurs when there is a rise in the arterial PCO_2 . There it combines with H_2O into H_2CO_3 , which in turn dissociates into H^+ and HCO_3^- . This increase in the H^+ ions, triggered off by the rise in the arterial PCO_2 triggers off the hyperventilation via the central chemosensors. The rise in the arterial PCO_2 brings about vasodilatation in the brain, which leads to an increase in circulation and the diffusion of molecular CO_2 in the fluid.

From the alveoli into the lung capillaries (gas exchange)

In the case of this occurrence, oxygen gets into the lung capillaries as a result of passive diffusion. Bound in with the haemoglobin and/or released into the blood to a small extent, the oxygen comes from the capillaries, via the heart, into the arterial

circulation. The gas exchange takes place because of the pressure gradients on the alveoli-capillary membrane (alveoli-arterial PO_2 difference = $AaDO_2$). The alveoli-arterial oxygen difference at rest amounts to about 6 to 10mm Hg.

The simple measurement of blood oxygen saturation with an oxymeter also working under extreme conditions is an important part of this study.

Through the heart circulation system and the blood in the body tissue

The heart circulation system connects the lungs (O_2 acceptance system) and the peripheral body tissue (O_2 consumers).

Vogel *et al.* (1967) mention that acute hypoxemia increases the cardiac output per minute (HMV) both at rest and when at work. The increase in the HMV is obtained, above all, by a rise in the heartbeat. This reaction brings about an improvement in the transport of oxygen to the periphery. In the course of acclimatisation, the HMV and the heartbeat come down

again owing to the improvement in the capacity to transport oxygen. Up at about 5,000 metres these may even be lower than the starting figures (in the valley location).

The HF, as an easily measurable figure, plays an important part in assessing the course of the acclimatisation and for this study. A consolidation of the resting heart rate (RHF) in the area of the starting figure in the valley location is considered to be a sign that acclimatisation has taken place.

Acceptance of the oxygen into the body tissue

Adjustment disorders at high altitudes

Acute mountain sickness (AMS), which is what occurs most frequently, may take both a mild or, indeed, a life-threatening form. Also possible is a fluid transition into the area of equally life-threatening illnesses that are brought on at high altitudes of high altitude cerebral edema (HACE) and high altitude pulmonary edema (HAPE).

Symptoms of AMS are

- Headache (principal symptom) and at least one of the following complaints:
- Nausea, vomiting
- Fatigue
- Loss of appetite

- Resting heart rate above 20%
- Exertional dyspnoea
- Reduced urine quantity over 24 hours
- Dizziness and
- Sleeplessness.

In addition, psychological problems are often observable as a result of time having been spent at high altitudes (Pollard & Murdoch, 1998).

Possible interconnections between the effects of the CV4 technique and adjustment to altitude

- According to Podolsky (1996) the symptoms of acute hypoxia are occasioned, above all, by defective oxygen supply to the body tissue as a whole (and above all to the central nervous system and the muscular tissue of the heart). Liem (2001) describes the effect of the CV4 technique as lowering the tonus of the connective tissue. Mention is also made in this study of the CV4 technique as an indication in cases of tachycardia.
- Stimulation of the brain nerve centres in the area of the fourth ventricle offers, moreover, an approach to influencing the resting heart rate. According to Silbernagl & Despopoulos (2007) such stimulation sends impulses that lower the rate to the heart, just as the breathing centre – and also the circulation centre located in the medulla oblongata – also sends sympathetic, propelling and parasympathetic impulses via the nervus vagus and the nervus glosso-pharyngeus to the heart.
- The intervention could, likewise, influence the variability of the heartbeat as an easily measurable sign of the sympathovagal balance. The neuro-vegetative effects of applying the CV4 technique are covered in a study by Rodriguez (2000). According to Ward et al. (1995) an extended period at high altitude will begin to bring about life-threatening effects once the threshold up to which acclimatisation is possible has been crossed. Loss of fluid and glycogen, loss of muscle mass, as the body begins to cover its energy need using muscle protein, deterioration in physical and psychological performance, and cooling down contribute to that. It is also the case that complete bodily inactivity does not protect a person from what is known as altitude deterioration, which is expressed through, among other symptoms, lethargy, irritability, and loss of appetite and weight. A homeostatic effect is at-

tributed to the CV4 technique, in other words it contributes to maintaining the inner milieu of the body with the hypothalamus acting as a superordinating centre. The constancy of the circulation, breathing, pH value, the water and electrolyte balances, the hormone balance, the vegetativum and so on could be stabilised by it. There are many morphines akin to molecules, namely endorphines on the walls of the ventricle and in the aquaeductus cerebri, the link between the third and fourth ventricle. Nerve cells in these zones are in direct contact with the thalamus, hypophysis and the hypothalamus. It could come to influence the neurovegetative, hormonal and vascular systems via these brain zones and the cerebrospinal fluid. Liem (2001) mentions under the effects and indications of the CV4 technique a tonus lowering of the sympathetic nerve system with positive influence when there are symptoms of stress, states of panic and sleeplessness.

- Burtscher (1998) speaks of an integrated adjustment of the control system of breathing, cardiovascular circulation system, blood, kidneys and hormones. By intervention using the CV4 technique it might be possible to influence vital centres of the body such as the respiratory centre with its inhalant- and exhalant-operating neurones, located at the base of the fourth ventricle, which have a close link to the central chemoreceptors located on the front of the medulla oblongata. The cardiovascular circulation centres also lie in the in the formatio reticularis of the medulla oblongata. These are controlled by the super-ordinated centres in the interbrain (diencephalon and hypothalamic cores) and by impulses emanating from the motor cerebral cortex.
- As a result of the influence of the central and peripheral chemo sensors mentioned above – the neural structures chiefly responsible for the intensified breathing response to hypoxic conditions (Podolsky, 1996) – I see connections of great importance for some possible improvement in arterial oxygen saturation using the CV4 technique. The question arises as to whether stimulation of (above all) the central chemo sensors does, additionally, strengthen the breathing response to hypoxia. According to Liem (2001), Sutherland developed this technique with a view to influencing the vital nerve centres.
- The exchange occurrences described within the framework of the physiological effects of exposure to high altitudes and especially the acceptance of oxygen into the body tissue should be stimulated by application of the CV4 technique. According to Liem (2001), the compression of the fourth ventricle via the bio-dynamic, bio-electric and bio-chemical properties of the fluid leads to an improvement in the body's overall exchange processes.

Method

This study involves an empirical pilot study covering the acclimatisation processes at great and extreme heights, taking the application of the CV4 technique into consideration. During an expedition, the parameters affecting the acclimatisation state were investigated in a group of six people, randomised into three test and three control persons, and then analysed and interpreted.

Methodologically, this procedure should be designated as an induction and ascribed to the theory-based scientific approach of empiricism and/or "Altpositivismus" (Seifert, 1991).

During the period when the expedition was being prepared, an effort was made to adjust to the conditions to be expected by means of pre-investigations, not least to be armed against surprises in the course of the study. Use of the altitude chamber (normobaric hypoxia) at the Innsbruck's Institute for Sports Science by part of our team produced, early on, important findings for the choice of the investigation parameters.

It proved possible, in the course of making high altitude tours in the mountains of the Tyrol, to make proper adjustments for other anticipated difficulties, such as the confined space in the tents or the climatic conditions. For the interventions on the test group it turned out to be advantageous, for instance, to restrict the application of the CV4 technique to them individually. The measurements on the control group took place without compression of the fourth ventricle but with the same rest periods. Although it had been thought of at first, when drawing up the design of the research, full muscular-skeletal, visceral and craniosacral investigation, prior to the interventions, was dispensed with owing to insuperable difficulties up in the mountains.

The use of the fact-finding sheet for the participants to fill in themselves turned out to be ideal. The team's co-operation in this respect was decisive as it would not have been possible for the author himself to record all the parameters, especially at the higher-level camps. The investigation sheet aimed at the longer-term development contained both the measurement parameters (rest pulse, oxygen saturation, heartrate variability) and categories that were to be assessed subjectively (sleep, headache, appetite/nausea, urine, stools, fatigue/weakness, dizziness and efficiency), all of which were analysed by means of an overall points system. On top of that came the short-term values measured before and after the interventions, namely pulse at rest, oxygen saturation and heartrate variability.

The daily investigations using the data sheet and the test began in Skardu, the capital of Baltistan (located at 2,200 metres above sea-level) during the journey up to the base camp. They were always undertaken for the whole group at the same place, whereby the local circumstances varied from hotel rooms to the team tent through to the two-man tent. The participants always noted their self-recorded figures for rest pulse, heartrate variability and oxygen saturation early in the morning, before getting up, using pulse belts prepared the evening before and pulsoxymeters located near their sleeping quarters. For logistical reasons, the parameters that were provided with a points system – as well as the investigations, when the programme on the mountain allowed – were carried out in the afternoon and for the whole group at almost the same time. By making the interventions in the afternoons, the measurements could be taken at the most pleasant temperatures. As no CV4 technique was applied to the control group, it proved possible for their tests to take place simultaneously, which led to timesavings. One of the participants in the control group made himself available while the test group was being treated to record the data and make notes. The author of the study carried out the interventions himself. Those investigated lay on their backs, both for the morning measurements and for the interventions and/or measurements, whereby a 15-minute rest interval (which included keeping silent) preceded the data collection.

The altitudes extended up to a maximum of 6,700 metres during the study, so they covered all stages up to well into extreme altitudes. In view of the fact that all the participants on the mountain had the same programme, no distortion of the basic data should have arisen on that account. As, owing to the restricted time span, any other way of proceeding would have been completely impossible, the investigations took place through all the acclimatisation phases. It proved possible to carry out the investigations on a total of 42 consecutive days from 2 June to 14 July.

Description of the sample, demographic details

The sample consisted of 6 male Austrian citizens, all qualified mountain and ski leaders, who were randomly divided into a test and a control group.

Inclusion criteria

All the group members had approximately the same physical output capacities and were of almost the same age (between 32 and 37).

Exclusion criteria

Not taking any medicines or being subject to other treatments during the study. No exceeding of 19 points at the overall points system for more than one day. The participants did not suffer from any chronic conditions.

Data collection procedures

A wrist-held Polar S810i computer was used to measure and record heartrate variability, rest pulse and pulse at rest (preceded by a 15-minute rest period) and for recording the date, altitude at which the participants slept, the day's altitude(s), the altitude meter and the time. This computer had a Polar Sender Set T61 (chest belt) and a Polar USB infrared interface was used to transmit the data into the PC. Two collapsible ICPGLOBAL FLEX 20 solar panels served as the source of electric current. The Nonin Onyx 9500 pulseoxymeter was used to establish the oxygen saturation and to check the rest pulse and pulse at rest.

A fact-finding sheet (see attachment) was handed out to the participants for recording their daily totals and their morning rest pulse, heartrate variability and oxygen saturation figures.

Data processing and analysis

The SPSS 15.0 statistics program was used for handling the data. A 95% confidence level was established from which an α – error of 5% results in the case of bilateral hypothesis formulation.

The principal consideration was to establish whether there was a difference between the pre-test and post-test situations. To that end, the T-Test for dependent samples was selected for the interval-scaled data (oxygen saturation, heartrate variability, rest pulse). The data between the test and control groups was, furthermore, analysed using the T-Test for independent samples. The raw data was checked for normal distribution using the Kolmogorov – Smirnov – Test. The MS EXCEL program was enlisted for graphic representation. By significance is meant the probability expressed in figures that any outcome of a statistical analysis differs substantially from the actual outcome of the basic population. For instance, if $\alpha = 0.05$, then the maximum admissible probability for the erroneous rejection of a zero_hypothesis that is actually correct is 5%. Vice-versa, the probability that a correct zero hypothesis is correctly confirmed by the test is at least $1-\alpha$.

Summary of the results, discussion

At the outset, attention must again be drawn to the problems described in the introduction, such as the number of the participants being too small. Methodologically, they already conditionally limit the significance of the results. The data was, nonetheless, analysed statistically in order to obtain significant differences and/or changes that, at least, could reveal a trend. Within the meaning of the outcome it must be regarded as positive that those investigated represent a group of persons with demographically very similar features. The results might, however, also be just be coincidental because of the small numbers. Criticism might also be directed at the separation between the study's author and the persons being treated that never happened. That was, of course, extremely likely in the context of a "completely normal expedition to altitudes of 8,000 metres" (!) in an empirical pilot study like this involving research design based on reliability, validity and objectivity.

For just that reason, therefore, the analysis sought to reveal differences between the randomised test group and the control group, both covering the entire course of the time spent at high altitude and also at the beginning and end of the time spent at 4,900 metres (base camp).

The frequent stays at the base camp were in no way planned but were necessitated by the prevailing weather conditions, which constituted a further limiting factor that could not have been planned in advance. Such a study could only have been planned in detail if one could have had recourse to a fixed infrastructure, such as the major "silver pyramid" project undertaken in 2002 (Waanders, 2003). That involved an acclimatisation study in which eleven working groups with 33 people underwent tests - pursuing their own research interests - in a specially built high altitude laboratory located in Upper Lobuche (Nepal) at 5,050 metres. Alternative medicine investigations took place covering, among other subjects, acupuncture and shiatsu. An osteopathic study would, of course, work with the fewest possible problems under laboratory conditions (altitude chamber). Limiting factors, such as the investigator's and/or the osteopath's restricted perception, adverse weather conditions, an unrepresentative number of participants and so on would not have come into play.

Owing to the groups being small, attention was paid not just to the possible differences between the test and control groups before and after the interventions but also (although it was not a study of individual cases) to changes within individual participants.

Analysis of the fact-finding sheet averages covering the entire period of 42 days did not reveal significant differences of any kind between the test and control groups.

This, at least, supports the homogeneity of those investigated and/or confirms that the underlying conditions were the same for all the participants. It is established that parameters such as rest pulse, oxygen saturation and heartrate variability improve with progressive adjustment to the altitude, providing one does not “slip” into the deterioration phase. This was not to be expected as some longer stays at extreme altitudes above 5,300 metres haven’t been very frequent. The similarity between the daily totals of all the participants over the entire stay at high altitudes can only be interpreted by the absence of longer-term illnesses. The most important high-altitude tactical rules were indeed, as far as possible, complied with by all participants in the expedition. The subjective assessment of their states of health by the team members themselves, which were expressed in the daily totals, could influence the objectivity of the results.

In the case of the three-day averages of the fact-finding sheet, the rest pulse of the test group dropped significantly in comparison with the first and last three days at 4,900 metres altitude, which was not the case for the control group. The daily total, which above all reflected the general states of health of those investigated, does though indicate another picture. In the case of the control group, it fell – though not significantly – at the end of the expedition, while it actually rose in the case of the test group. This general state of health normally influences the rest pulse directly. This result thus reveals an unexpected contradiction. The oxygen saturation rose significantly both for the test and for the control group at the end of the stay at great altitude, which has to be explained by the adjustment that took place. Striking differences between the test and control groups that allow conclusions to be drawn on some effect of the CV4 technique were not, however, discernible. The heartrate variability actually rose extremely significantly in the case of the control group while the increase in the case of the test group must be described as highly significant. In any case, no substantial regularly recurring features can be identified in relation to any better adaptability to great altitudes by application of the CV4 technique, there having been a varied exchange in changes between the test and control groups. For subsequent studies, restriction to one single parameter concerning adaptability to altitude would certainly be more meaningful.

Neither was it possible to establish almost any clear trends by examining the individuals more closely before and after the intervention and/or the measurements. The most striking point was that, at the end of the time spent at high altitude (days 40 to 42), the heartbeat variability of all three test persons after the intervention had risen more significantly than that of the control persons which, however, again does not correlate with the daily total of the fact-finding sheet, which allowed the conclusion

that the control persons, on average, were in a somewhat better general condition. A somewhat better picture emerges from comparing the test and control groups before and after the intervention over the entire course of the stay at high altitude. The test group had slightly better results on all three figures, with the greatest difference being the heartrate variability in favour of the test group. The daily total for the test group is also regarded as rather lower over the entire 42 days. As already mentioned at the start of the discussion, however, significant differences between the test and control groups failed to appear when analysing the fact-finding sheet that was aimed at longer-term development in the cases both of the figures and the daily totals. Whether the CV4 technique influences the interplay of sympathikus and parasympathikus, represented in the heartbeat variability figure, as a basis for the adaptability to changed conditions at altitude would be an interesting question to put for further studies. In her thesis on the neuro-vegetative effects of the CV4 technique, Rodriguez (2000) describes changes in the vital parameters of temperature, heartbeat and breath frequency as well as blood pressure. Influences on the limbic system with emotional effects are also mentioned.

Conclusion

This study was unable to deliver really satisfactory results for any optimisation of the adaptability to altitude by applying the CV4 technique, even though it was possible to determine slight improvements in the test persons in the rest pulse, pulse at rest, oxygen saturation and, particularly, in the heartrate variability. When comparing with other investigation figures that should, theoretically, have behaved in the same way as the improved figures, there were – in places – paradoxical results. While attempts were in fact made to keep the underlying conditions, such as the altitude profile and/or the compliance with high altitude rules, nutrition and so on the same for all participants over the entire period, nevertheless many subjective factors in connection with mountain climbing play a part that may possibly have a strong influence on the outcome. Greater effort should be made to exclude the influence of psychological factors for follow-up research projects on this subject. More than once in the course of the expedition, individual team members were faced with critical situations as a result of snowfalls and the ensuing danger of avalanches. One could speak of subjective impairments on the part of the participants based on objective dangers. An investigation under laboratory conditions would as far as possible avoid the possibility of distortions arising through outside influences. It would also be advantageous to concentrate on a few or even just one parameter concerning adjustment to

high altitudes. This would possibly bring about fewer contradictions in the results. It has once again been demonstrated that life processes are not obliged to proceed in a pre-ordained way but change dynamically according to the prevailing situation and environmental conditions. The human body's life processes will, at any rate, continue to present science with a hard nut to crack.

References

- Berghold, F. & Schaffert, W. (2001). *Manual of Trekking and Expedition Medicine*. (5th edition). Munich: DAV Summit Club
- Burtscher, M. (1998). *Acute Mountain Sickness*. The 1998 manual of the Austrian Association for Alpine and High Altitude Medicine (pages 157 – 160). Vienna: [Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin].
- Liem, T. (2001). *Craniosacral Osteopathy. A Practical Manual*. Stuttgart: [Hippokrates Verlag].
- Podolsky, A. (1996). *The Physiology of Acute Hypoxia*. The 1996 manual of the Austrian Association for Alpine and High Altitude Medicine (pages 123 – 138). Vienna: [Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin].
- Pollard, A. J. & Murdoch, D. R. (1998). *Practical Mountain and Trekking Medicine*. Wiesbaden: Ullstein Medical.
- Rodriguez, R. (2000). *Neuro-vegetative Effects of the Sutherland CV4 Technique*. Available from http://www.osteopathicresearch.org/index.php?option=com_jresearch&view=publication&task=show&id=14283&lang=en
- Seiffert, H. (1991). *Introduction to Science Theory 1*. Munich: Beck.
- Silbernagl, S. & Despopoulos, A. (2007). *Pocket Physiology Atlas*. Stuttgart: Thieme.
- Vogel, J. A., Hansen, J. E. & Harris, C. W. (1967). Cardiovascular responses in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *Journal of Applied Physiology* (23) (Pages 531-539).
- Waanders, R. (2003). *Silver pyramid project: Organisation of a Major Project on Altitude Medicine*. The 2003 manual of the Austrian Association for Alpine and High Altitude Medicine (pages 11-18). Vienna: [Österreichische Gesellschaft für Alpin- und Höhenmedizin].
- Ward, M, Milledge, J. & West, J. (1995). *High Altitude Medicine and Physiology*. 2nd Edition. London: Chapman and Hall

Ward, M. (1975). *Mountain Medicine*. London: Crosby, Lockwood and Staples.