

# Das Höhentrainingskonzept

## "Live high - train low"

Jon Wehrlin

Eidgenössische Hochschule für Sport, BASPO, 2532 Magglingen



### Zusammenfassung

Die Höhentrainingsvariante oben schlafen - unten trainieren ("Living high - training low"; LHTL) ist eine optimierte Variante des klassischen Höhentrainings oben schlafen - oben trainieren ("Living high - training high"; LHTH). LHTL versucht auf der einen Seite, den Vorteil der positiven Höhenakklimatisierungseffekte durch das „Live high“ beizubehalten (vor allem die Zunahme der roten Blutkörperchen), während auf der anderen Seite der Nachteil (hauptsächlich die reduzierte absolute Trainingsintensität in der Höhe) möglichst minimiert werden soll.

Dieses Höhentrainingskonzept hat sich in mehreren Untersuchungen bei Eliteausdauerathleten in der Vorbereitung für Wettkämpfe im Flachland als vorteilhaft gegenüber von LHTH und normalem Training im Flachland erwiesen und wird in den meisten Übersichtsarbeiten als die erfolgsversprechendste Variante des Höhentrainings gewertet.

Für den Erfolg eines LHTL Höhentrainings sind folgende Faktoren entscheidend: 1) eine genügende „Höhendosis“ des LHTL (empfohlen ist ein Aufenthalt von 3-4 Wochen mit mindestens 400 Std. auf einer Höhe von ca. 2300-2500m); 2) ein angepasstes Training (Qualität und Quantität) 3) Optimales „Timing“ des Wettkampfes und des Trainings nach dem Höhentherapieaufenthalt; 4) Vermeidung medizinischer Probleme (Atemwegserkrankungen, Infektionen etc.).

Wenn LHTL sorgfältig durchgeführt wird, bietet diese Höhentrainingsmethode für die Vorbereitung für Wettkämpfe im Flachland als auch für die Vorbereitung für Wettkämpfe in der Höhe ein zusätzliches Potential zur Leistungssteigerung bei Eliteausdauerathleten.

## 1. Einleitung

In den letzten 20-30 Jahren haben sich die Leistungen der Weltrekorde in Ausdauersportarten und -disziplinen verbessert und die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V} O_{2max}$ ) der Ausdauerathleten ist gestiegen. Viele der Rekorde sind durch Athleten aufgestellt worden, welche sich in Höhenlagen auf diese Wettkämpfe vorbereitet haben oder sogar in diesen Höhenlagen wie z.B. in Kenia oder Äthiopien leben.<sup>80</sup> Klassischerweise wurde Höhentherapie nach der Methode „oben schlafen – oben trainieren“ („Live high – train high“; LHTH) durchgeführt.

Es ist in der wissenschaftlichen Literatur praktisch unbestritten, dass sich diese Methode eignet, um den Sportler an die Wettkampfhöhe zu akklimatisieren und damit auf die Wettkämpfe welche in Höhenlagen stattfinden vorzubereiten.<sup>1, 12, 16, 20, 39, 73, 58, 60, 80</sup> Die Diskussion unter Athleten, Trainer und Wissenschaftlern wurde in den letzten 30 Jahren vielmehr über Risiken und Nutzen einer Höhentherapie Vorbereitung für Wettkämpfe im Flachland geführt. Die wissenschaftliche Literatur hierüber ist mehrdeutig, es gibt Studien mit erhöhter Leistungsfähigkeit nach dem LHTH im Flachland,<sup>9, 12, 16, 27, 51, 71</sup> aber auch Studien ohne verbesserte Leistungsfähigkeit.<sup>1, 4, 10, 19, 20, 37, 39, 45, 69, 70, 73</sup>

Im Versuch die Methode LHTH als Vorbereitung für Wettkämpfe im Flachland zu optimieren, haben Levine & Stray Gundersen<sup>46, 47</sup> 1991 die Höhentherapie Methode „oben schlafen – unten trainieren“ („Live high – train low“; LHTL) erstmals vorgestellt. Vereinfacht gesagt basiert das Konzept dieser Methode darauf, dass auf der einen Seite die Vorteile der Akklimatisierungseffekte an die Höhe durch das „Live high“ möglichst beibehalten werden (vor allem die Zunahme des Erythrozytenvolumens und der Hämoglobinmasse) und auf der anderen Seite die Nachteile des „Train high“ (vor allem die Reduktion der absoluten Trainingsintensität) möglichst minimiert werden.

In einer sorgfältig kontrollierten Studie zeigten Levine & Stray-Gundersen 1997 die Vorteile von LHTL bezüglich der Leistungsfähigkeit im Flachland gegenüber LHTH und normalem Training auf Meereshöhe auf.<sup>45</sup> In der Folge sind die Effekte von LHTL auf verschiedene physiologische Parameter und die Leistungsfähigkeit in vielen Studien mit unterschiedlichen Resultaten unter natürlichen als auch künstlichen Höhenbedingungen untersucht worden und LHTL wird in den meisten aktuellen Übersichtsarbeiten<sup>24, 43, 58, 60, 61, 80</sup> als die erfolgsversprechendste Variante des Höhentrainings für Eliteathleten in der Vorbereitung auf Wettkämpfe im Flachland gewertet.

Ziel dieses Übersichtsartikels ist es deshalb, in einem ersten Teil (2-6) die wissenschaftlichen Hintergründe für leistungsfördernde als auch leistungshemmende biologischen Effekte der Methode „Living high – training low“ (LHTL) bei Ausdauer Spitzenathleten aufzuzeigen. In einem zweiten Teil (7-8) werden praktische Empfehlungen für die Vorbereitung eines Wettkampfes in der Höhe und einer Vorbereitung für einen Wettkampf im Flachland gemacht.

## 2. Welche Effekte hat das „Live high“

### 2.1. Der Akklimatisationseffekt des „Live high“ auf das Blut

*Effekt auf das Erythrozytenvolumen und die Hämoglobinmasse.* In Ausdauerathleten übersteigt die Kapazität der Muskeln Sauerstoff zu verarbeiten die Kapazität des Herzkreislaufsystems Sauerstoff zu transportieren.<sup>74</sup> Der relevanteste Akklimatisationseffekt des „Live high“, ist die allgemein angenommene Zunahme der roten Blutkörperchen (Erythrozytenvolumen; EV) und der Hämoglobinmasse ( $Hb_{\text{masse}}$ ). Diese Zunahme führt durch den verbesserten Sauerstofftransport sowohl in der Höhe als auch im Flachland zu einer erhöhten maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V} O_{2\text{max}}$ ) und zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit.<sup>43</sup>

Die positiven Effekte einer alleinigen Zunahme der  $Hb_{\text{masse}}$  und des EV's auf die Ausdauerleistungsfähigkeit wurde in mehreren Studien mit Ausdauerathleten gezeigt.<sup>5, 6, 18, 42</sup> Die Wichtigkeit wird zudem durch die Tatsache verdeutlicht, dass die meisten Dopingfälle im Ausdauersport Blutdopingfälle sind.<sup>42</sup>

Bei einer Höhenexposition sinkt der Sauerstoffpartialdruck der Einatemluft ( $PIO_2$ ) aufgrund des reduzierten Luftdruckes. Dies führt umgehend zu einer Verminderung des  $O_2$  Partialdruckes im arteriellen Blut ( $PaO_2$ ) und, wenn der Abfall des  $PaO_2$  genug gross ist, auch zu einer Reduktion der Sauerstoffsättigung des arteriellen Blutes ( $SaO_2\%$ ). Diese Abnahme der  $SaO_2$  führt bereits nach wenigen Stunden<sup>17</sup> zu einer erhöhten Abgabe des körpereigenen Hormons Erythropoietin (EPO) durch die Nieren. Die unmittelbare Zunahme des EPO's im Blut ist dabei umso höher, je grösser die Abnahme der  $SaO_2$  ist.<sup>26</sup> Dabei scheint die „Reizschwelle“ für eine relevante Zunahme des EPO's bei ca. 2100 – 2500m zu liegen.<sup>26, 56</sup> Der Anstieg des EPO's führt daraufhin zu einer vermehrten Neubildung von Retikulozyten und in der Folge zu einem erhöhten EV und einer erhöhten  $Hb_{\text{masse}}$ . Nun, dies ist nicht einfach so der Fall und die Frage wird im Bezug auf Höhentrainings nach der Formel LHTH und LHTL mit Spitzenathleten kontrovers diskutiert.<sup>2, 43</sup> Zudem macht eine Serie von methodologischen Unterschieden (Messmethode des EV's und der  $Hb_{\text{masse}}$ ; Aufenthaltsdauer und -höhe; Trainingshöhe; Eisensreserven; Gebrauch normobarer oder hypobarer Hypoxie; unterschiedliches Leistungsniveau der Athleten) als auch anderen beeinflussenden Faktoren wie vor allem Krankheit und mögliche Übertrainingssymptome<sup>27</sup> Vergleiche schwierig.

Tatsache ist aber, dass es bei einem beträchtlichen Anteil der Studien nach LHTL oder LHTH zu keiner Zunahme des EV's oder der  $Hb_{\text{masse}}$  gekommen ist.<sup>2, 3, 13, 22, 29, 68, 70</sup> Der Vergleich mit Studien, bei welchen sich das EV und die  $Hb_{\text{masse}}$  nach LHTH oder LHTL erhöht war,<sup>21, 41, 45, 59, 78, 79</sup> lässt vermuten, dass die "Höhendosis" in diesen nicht „erfolgreichen“ Studien möglicherweise zu gering war. Entweder

war die Übernachtungshöhe zu wenig hoch,<sup>13, 22, 29, 68, 70</sup> und/oder die Aufenthaltsdauer zu kurz.<sup>2, 3</sup> Dies wird durch die Resultate der Studien in Abbildung 1 bestärkt, in welcher die Veränderung des EV's oder der  $Hb_{\text{masse}}$  in Studien mit Eliteathleten nach LHTL im Verhältnis zur Aufenthaltsdauer und Aufenthaltshöhe dargestellt ist. Diese Resultate deuten auf eine minimale Aufenthaltsdauer von 3-4 Wochen (ca. 400 Std.) auf ca. 2500m hin, um ungefähr von einer 5% Zunahme des EV's und der  $Hb_{\text{masse}}$  profitieren zu können. Es gibt nur eine einzige Untersuchung mit einer genügend grossen "Höhendosis" und einer unveränderten  $Hb_{\text{masse}}$ .<sup>27</sup> Bei einer Gruppe von Weltklasseradfahrern war die  $Hb_{\text{masse}}$  nach 4 Wochen LHTH auf 2690m unverändert. Da die meisten anderen erwähnten Studien zwar trainierte, aber nicht Weltklasseausdauerathleten testeten, wurde vermutet, dass diese Athleten möglicherweise bereits ihr physiologisches Limit der  $Hb_{\text{masse}}$  erreicht hätten und es deshalb zu keiner weiteren Zunahme gekommen sei. Die Gründe hierfür sind jedoch wohl eher darin zu suchen, dass alle Athleten in der Höhentrainingsperiode krank waren, was zu depressiven Effekten bei der Erythropoese führen kann.<sup>23</sup> Kürzlich konnten wir bei zwei Schweizer Weltklasseläufern mit einer ähnlich hohen  $Hb_{\text{masse}}$  beobachten, dass diese durch ein 26-tägiges LHTL (2500 und 1800m) um ca. 6% gesteigert wurde.<sup>79</sup> Weiter wurde auch in Querschnittstudien bei Ausdauerspitzenathleten von teilweise höheren Werten berichtet.<sup>35, 76</sup>

*Effekt auf das Plasmavolumen.* Nebst einer Zunahme des EV's und der  $Hb_{\text{masse}}$ , führt die Höhenexposition bereits nach 1-2 Tagen zu einer Reduktion des Plasmavolumens.<sup>34</sup> Die Gründe hierfür sind noch nicht geklärt, mögliche Ursachen sind Flüssigkeitsverluste durch eine Reduktion von Plasmaproteinen<sup>63</sup> und durch erhöhte harntreibende Prozesse.<sup>53, 64</sup> Dies hat zur Folge, dass sowohl der Hämatokritwert und der Hämoglobinwert bereits nach 1-2 Tagen in der Höhe erhöht sind, was zu Fehlinterpretationen bezüglich einer Zunahme des EV's führen kann. Nach unseren Beobachtungen (unveröffentlicht) normalisiert sich das Plasmavolumen erst nach dem Höhentrainingslager wieder, wobei jedoch individuell Unterschiede feststellbar sind.

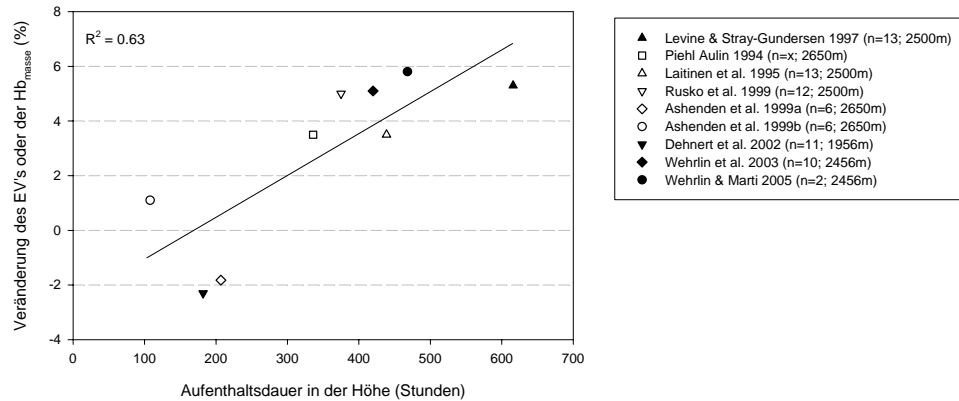


Abbildung 1. Veränderung des Erythrozytenvolumens (EV) oder der Hämoglobinmasse (Hb<sub>masse</sub>) in Relation zur Aufenthaltsdauer und Aufenthaltshöhe bei Studien mit Ausdauerathleten welche nach dem Höhentrainingskonzept „Live high – train low“ durchgeführt wurden.<sup>2, 3, 13, 41, 45, 55, 59, 78, 79</sup> Angegeben sind zudem die Regressionslinie sowie die Erklärungsvarianz (Grafik verändert nach Rusko<sup>60</sup>)

=> Um von einer 5% Zunahme der roten Blutkörperchen (Erythrozytenvolumen) profitieren zu können, muss sich der Athlet wahrscheinlich ca. 400 Std. auf einer Höhe von ca. 2300-2600m aufhalten

=> Beim einem Aufenthalt in der Höhe nimmt das Plasmavolumen ab, was zu einem Anstieg des Hämatokritwerts führt. Das Plasmavolumen normalisiert sich nach dem Höhenaufenthalt wieder

=> Weitere positive Akklimatisationseffekte sind:

- Ökonomisierung der Herzarbeit
- Zunahme der Pufferkapazität
- Verbesserte Sauerstoffaufnahme in der Muskulatur
- Erhöhte Atmung

## 2.2. Weitere Akklimatisationseffekte des „Live high“, welche die nachfolgende Leistungsfähigkeit im Flachland beeinflussen können

Wie bereits erwähnt, ist der primär wichtige Akklimatisationseffekt des „Live high“ die Zunahme des EV's und der Hb<sub>masse</sub>. Zusätzlich, beeinflussen wahrscheinlich eine Reihe eher sekundär wichtiger<sup>80</sup> Akklimatisationseffekte die nachfolgende Leistungsfähigkeit im Flachland. Da es nur sehr wenige Studien gibt, welche ein konsequentes LHTL Studiendesign und Ausdauerspitzenathleten verwendeten, ist es allerdings schwierig zu beurteilen, ob diese Effekte durch das „Live high“ und/oder ein allfälliges „Train high“ erreicht wurden.

Nun, Svedenhag<sup>68</sup> zeigte in einer Gruppe von Elitelangläufern nach einem 4-wöchigen LHTH Höhentrainingslager auf 1900m eine erhöhte Muskelmasse des linken Herzventrikels was zu einer Ökonomisierung der Herzarbeit führte. Weiter zeigte Gore<sup>28</sup> in einer kontrollierten Untersuchung mit Spitzenathleten nach 23 Tagen LHTL (3000m und 600m) eine um 18% verbesserte Pufferkapazität. Nach der LHTL Periode wurde zudem eine verbesserte mechanische Effizienz bei einem 4 x 4 min dauernden submaximalen Fahrradergometertest gemessen. Im gleichen Zusammenhang zeigte Mizuno<sup>51</sup> bei Elitelangläufern eine 6% Zunahme Pufferkapazität in der Wadenmuskulatur nach einem 14-tägigen „LHTH“ Höhentrainingslager (leben auf 2100m und trainieren auf 2700m), eine 29% Zunahme des akkumulierten Sauerstoffdefizits und eine um 17% verbesserte Laufzeit zur Erschöpfung auf dem Laufband.

Die genauen Mechanismen für die Zunahme der Pufferkapazität sind unklar. Mögliche Faktoren sind eine Zunahme des Kreatinphosphats, und/oder erhöhten Muskelproteinkonzentrationen.<sup>51</sup> Eine andere Möglichkeit stellen Erhöhungen des Bikarbonats<sup>52</sup> und oder der Hb<sub>masse</sub><sup>48</sup> im Blut dar. Eine weitere Adaptation an die Höhe ist die Zunahme des Atemminutenvolumens, welches sowohl in Ruhe als auch während der Belastung erhöht ist<sup>50, 72</sup> und auch nach dem Höhenaufenthalt eine gewisse Zeit erhalten bleibt.

Dieses erhöhte Atemminutenvolumen ist insofern eine potentiell positive Adaptation, da dies zu einer erhöhten PaO<sub>2</sub> und SaO<sub>2</sub> führen kann.<sup>60</sup> Mögliche Veränderungen in der Mikrostruktur der Muskulatur durch das LHTL Höhentrainings sind schwierig zu beantworten, da es wie erwähnt keine Studien mit Spitzenathleten und konsequentem LHTL-Design zu diesem Thema gibt.<sup>80</sup>

Ein weiterer potentieller Akklimatisationsfaktor, welcher die Leistungsfähigkeit nach dem LHTL Höhentrainings verbessern kann, ist eine Zunahme des 2,3-Diphospho-Glyzerats (2,3-DPG), was zu einer verbesserten Sauerstoffextraktion während des Trainings nach dem Höhenaufenthalt führt.<sup>48</sup>

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es nebst den positiven Effekten auf das Blut eine Reihe anderer potentieller Faktoren gibt, welche die Leistungsfähigkeit nach dem LHTL positiv beeinflussen k

### 3. Warum „Train low“

Ein wichtiger Nachteil der Höhe ist, dass bei länger dauernden Belastungen (> 2 Minuten) nicht mehr mit den gleichen Bewegungsgeschwindigkeiten und damit absoluten Belastungsintensitäten trainiert werden kann wie im Flachland.<sup>25</sup> Viele sehr gut trainierte Ausdauerathleten bewegen sich schon bei maximaler Belastung auf Meereshöhe physiologisch gesehen am „Limit“, was sich typischerweise durch eine bereits stark reduzierte Sauerstoffsättigung ( $\text{SaO}_2$ ;  $\text{SaO}_2 < 92\%$  = „Exercise-induced hypoxemia“) bemerkbar macht.<sup>14</sup>

Jede Reduktion des Sauerstoffpartialdruckes mit zunehmender Höhe ( $\text{PIO}_2$ ) führt deshalb bei Ausdauertrainierten trotz eines höhenbedingten Anstiegs der maximalen Atmung ( $\dot{V} E_{\text{max}}$ ) zu einer weiteren Reduktion der  $\text{SaO}_2$ . Diese Reduktion der  $\text{SaO}_2$  kann bei maximaler Belastungsintensität in der Höhe, anders als bei einer submaximalen Belastungsintensität, nicht durch einen Anstieg des Herzminutenvolumens kompensiert werden.<sup>75</sup> Die  $\dot{V} O_{2\text{max}}$  und die Leistungsfähigkeit nehmen mit zunehmender Höhe ab.<sup>77</sup>

Diese Effekte sind bei Ausdauertrainierten bereits in tiefen Lagen feststellbar, so wurde bereits auf einer Höhe von 746m (580m Höhenunterschied) eine Reduktion der  $\text{SaO}_2$  und  $\dot{V} O_{2\text{max}}$ <sup>30</sup> sowie der maximalen Leistungsfähigkeit<sup>31</sup> gemessen. Durchschnittlich reduziert sich die  $\dot{V} O_{2\text{max}}$  und die  $\text{SaO}_2$  bei Ausdauertrainierten in akuter Hypoxie, mit ca. 6-7 % pro 1000m zunehmender Höhe,<sup>77</sup> wobei die individuellen Unterschiede beträchtlich sein können.<sup>7</sup> Mit fortschreitender Akklimatisation an die Höhe verringert sich der Leistungsverlust in der Höhe.

Die Werte erreichen aber auch in moderaten Höhen die Meereshöhewerte nicht.<sup>61</sup> Da die  $\text{SaO}_2$  in der Höhe bei gleicher submaximaler Belastung reduziert ist und die gleiche absolute Belastung in der Höhe die gleiche Sauerstoffaufnahme wie im Flachland benötigt,<sup>25</sup> können die verschlechterten Sauerstofftransportbedingungen zumindest teilweise durch einen Anstieg der Herzfrequenz kompensiert werden.<sup>75</sup> So erhöht sich als Beispiel bei einer Gruppe von Läufern die Herzfrequenz für die gleiche absolute Belastung von 133 Schlägen pro Minute (300m) auf 150 Schläge pro Minute (2800m).<sup>75</sup> Die gleiche absolute Belastung stellt also in der Höhe relativ gesehen eine höhere Belastungsintensität dar.

Bei Training mit gleicher Herzfrequenz ist infolgedessen die absolute Bewegungsgeschwindigkeit in der Höhe bei Ausdauersportarten, welche nicht durch hohe Bewegungsgeschwindigkeiten vom geringeren Luftwiderstand in der Höhe profitieren können (z.B. Bahnradsfahrer), geringer.<sup>45</sup> Dies hat zur Folge, dass der mechanische und neuronale Stimulus der Muskulatur beim Training in der Höhe im Vergleich zum Training im Flachland reduziert ist.<sup>60</sup> Als Hinweis für einen reduzierten neuromuskulären Trainingsstimulus ist die Elektromyogram Aktivität (iEMG) im Vergleich mit normoxischer maximaler Belastung unter chronischer<sup>40</sup> und akuter<sup>54</sup> Höhenexposition reduziert.

Aufgrund der zum Teil langen Reisewege in tiefe Lagen bei der Durchführung von LH TL Höhentrainingslagern in Echthöhe, wird oft nur das Intervalltraining in Lagen um < 1000m absolviert. Die Trainingseinheiten mit tiefer und moderater Trainingsintensität hingegen wird in höher gelegenen (und damit weniger reiseintensiven Lagen) absolviert.

=> *Da die absolute Belastungsintensität in der Höhe reduziert ist, besteht die Gefahr, dass die mechanischen und neuronalen Reize auf die Muskulatur in der Höhe zu gering ist*

=> *Es empfiehlt sich deshalb, die intensiven Trainingseinheiten in tieferen Lagen (<1000m) zu absolvieren (LH TL)*

#### 4. Effekte von LHTL auf die Ausdauerleistungsfähigkeit

Mehrere Studien haben bisher gezeigt, dass LHTL die  $\dot{V} O_{2max}$  und die Ausdauerleistungsfähigkeit verbessern kann<sup>45, 46, 49, 50, 55, 57, 59, 66, 78, 79</sup> während es bei einigen Studien zu keiner Verbesserung des Dauerleistungsvermögens kam.<sup>33, 57</sup> In der klassischen Studie von Levine und Stray-Gundersen<sup>45</sup> lebte eine Gruppe Athleten während 4 Wochen auf 2500m, absolvierte das Grundlagentraining auf ebenfalls auf 2500m und das Intervalltraining auf 1250m (LHTL-Gruppe), eine zweite Gruppe Athleten wohnte ebenfalls während 4 Wochen auf 2500m und absolvierte alles Training auf dieser Höhe (LHTH-Gruppe), während die Kontrollgruppe (LLTL) in der selben Zeitperiode auf Meereshöhe wohnte und trainierte.

Im Gegensatz zur Kontrollgruppe, bei welcher  $\dot{V} O_{2max}$  nicht zunahm, war diese sowohl in der LHTH- als auch in der LHTL-Gruppe in direkter Proportion zur Zunahme des EV's erhöht. Zudem waren einzig in der LHTL-Gruppe die anaerobe Schwelle, die  $\dot{V} O_{2max}$ -Laufgeschwindigkeit und die 5000m Laufzeit verbessert. In einer weiteren Studie wurde das LHTL Höhenttraining mit einer Gruppe von Eliteathleten (US top 50) wiederholt.<sup>66</sup> Die  $\dot{V} O_{2max}$  wurde mit 3%, die 3000m Laufzeit mit 1.1% verbessert, wobei ein Drittel der Athleten persönliche Bestzeit lief. In einer Schweizer Studie verbesserte sich bei Mitgliedern der Orientierungslaufnationalmannschaft nach 24 Tagen „Live high“ auf 2500m und „Train low“ auf 1800m und 1000m die  $\dot{V} O_{2max}$  mit 4.5% und die 5000m Laufzeit mit 1.6%, wobei auch hier die Zunahme der  $\dot{V} O_{2max}$  im Zusammenhang mit der zur Zunahme der Hb<sub>masse</sub> stand.<sup>78</sup>

Diese positiven Resultate wurden auch in einer Fallstudie mit den zwei besten Schweizer Mittel- und Langstreckenläufern der Gegenwart, welche sich mit einem 26-tägigen LHTL Höhenttrainingslager auf die Leichtathletikweltmeisterschaften 2003 in Paris vorbereiteten, beobachtet (siehe 7. Praktisches Beispiel mit Spitzenathleten;<sup>79</sup>). Dabei verbesserte der 5000m Läufer seine Bestzeit am Tag 1 nach dem LHTL Höhenttrainingslager um über 20 Sekunden auf 13 Minuten und 12 Sekunden. Zudem liefen beide Athleten daraufhin an den Weltmeisterschaften ihre beste Rangierung an grossen Meisterschaften heraus. Das LHTL Konzept hat auch in Studien mit künstlicher Höhensimulation (Höhenhaus) zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit geführt. Finnische Studien zeigten eine erhöhte  $\dot{V} O_{2max}$  nach 21 bis 28 Tagen „Live high“ (2500m) und „Train low“ (Meereshöhe).<sup>59, 55</sup>

Im Gegensatz dazu, wurde bei verschiedenen anderen Studien keine Verbesserung der  $\dot{V} O_{2max}$  und Leistungsfähigkeit festgestellt.<sup>2, 32</sup> Diese Resultate sind speziell interessant, wenn man sie unter dem Gesichtspunkt der „Höhendosis“ der verschiedenen Studien betrachtet. In Abbildung 2 ist die Veränderung der  $\dot{V} O_{2max}$  durch LHTL in Studien<sup>13, 32, 45, 46, 55, 57, 59, 66, 78</sup> mit Eliteausdauerathleten in Relation zur Aufenthaltsdauer und -höhe aufgeführt. Wenn man von zwei Ausnahmen absieht (in der einen Studie<sup>13</sup> wurde von Problemen bei der  $\dot{V} O_{2max}$ -Messung sowohl am Prä- als auch am Posttest berichtet und das Resultat stammt deswegen nur von 6 anstelle von 11 Athleten, bei der anderen Studie,<sup>33</sup> ist möglicherweise Übertraining für die 5% Reduktion der  $\dot{V} O_{2max}$  verantwortlich) ergibt sich ein

Zusammenhang zwischen der "Höhendosis" und der  $\dot{V} O_{2max}$ . Bei den Studien, welche einen signifikanten Anstieg der Hb<sub>masse</sub> oder des EV's fanden, war auch die  $\dot{V} O_{2max}$  erhöht<sup>45, 55, 59, 78</sup> und die Veränderungen des EV's<sup>45</sup> oder der Hb<sub>masse</sub><sup>78</sup> hatten einen Zusammenhang mit der Veränderung der  $\dot{V} O_{2max}$ . Weiter zeigten australische Studien positive Effekte eines 3-wöchigen LHTL Höhenttrainingslagers auf die Arbeitsökonomie bei Eliteradfahrem<sup>28</sup> und Eliteläufern.<sup>62</sup> Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei richtiger Durchführung von positiven Effekten auf die aerobe Leistungsfähigkeit und die Wettkampfleistung ausgegangen werden kann.

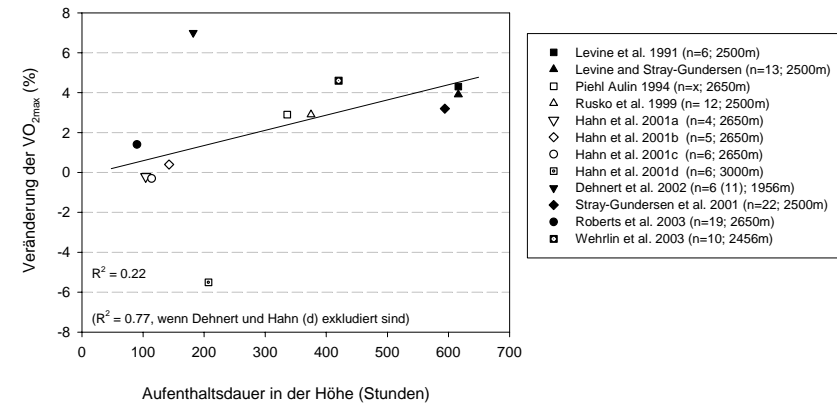


Abbildung 2. Veränderung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V} O_{2max}$ ) in Relation zur Aufenthaltsdauer und Aufenthaltshöhe bei Studien mit Ausdauerathleten welche nach dem Höhenttrainingskonzept „Live high – train low“ durchgeführt wurden.<sup>2, 3, 13, 41, 45, 55, 59, 78, 79</sup> Angegeben sind zudem die Regressionslinie sowie die Erklärungsvarianz (Grafik modifiziert nach Rusko<sup>60</sup>).

=> Die allermeisten LHTL Studien mit Ausdauer-spitzenathleten zeigen einen positiven Effekt auf die Leistungsfähigkeit

=> Bei richtiger Durchführung des LHTL Höhenttrainingslagers kann von positiven Effekten auf die Leistungsfähigkeit ausgegangen werden

## 5. Effekte von LHTL auf die anaerobe Leistungsfähigkeit

Es gibt nur wenige Studien welche den Effekt von LHTL Höhentraining auf die anaerobe Leistungsfähigkeit untersucht haben. Nummela und Rusko (52) zeigten in einer kontrollierten Studie in 400m Eliteläufern nach zwei Wochen "Live high" auf 2500m mit 14-18 Std. täglich in künstlicher Höhe und „Train low“ (Sprinttraining auf Meeresniveau) eine verbesserte 400m Laufzeit und reduzierte Laktatwerte bei submaximaler Belastung auf dem Laufband.

Wie bereits erwähnt, zeigte Gore<sup>28</sup> eine erhöhte Pufferkapazität nach 23 Nächten in einem Höhenhaus (3000m). In einer weiteren australischen Studie zeigte Roberts<sup>57</sup> zwar keine Veränderung des maximalen akkumulierten Sauerstoffdefizits (MAOD) und der maximal durchschnittlichen Leistungsfähigkeit während 4 Minuten auf dem Fahrradergometer (MMPO<sub>4min</sub>) nach 5, 10 oder 15 Tagen LHTL (8-10 Std. täglich auf 2650m). Wenn jedoch die Daten der drei Gruppen zusammengefasst wurden, waren sowohl MAOD und MMPO<sub>4min</sub> verbessert.

Obwohl Levine & Stray-Gundersen keine Veränderung der MAOD nach 4 Wochen LHTL zeigen konnten,<sup>45</sup> folgerte Rusko<sup>60</sup> in seinem Übersichtsartikel, dass LHTL mit sprintspezifischem Training die nachfolgende anaerobe Leistungsfähigkeit im Flachland verbessern kann.

Zusammenfassend muss aber festgehalten werden, dass die wissenschaftlichen Beweise für eine verbesserte anaerobe Leistungsfähigkeit nach LHTL noch eher unklar bleibt und weitere Studien wünschenswert wären.

=> *Es gibt erst wenige Untersuchungen über die Effekte von LHTL auf die anaerobe Leistungsfähigkeit.*

=> *Wahrscheinlich hat LHTL positive Effekte auf die anaerobe Leistungsfähigkeit*

## 6. "Responder" oder "Nonresponder"

Obschon das Höhentrainingsmodell LHTL im Vergleich zu LHTH oder LLTL klare Vorteile bezüglich der Vorbereitung für Ausdauerwettkämpfe im Flachland gezeigt hat, bleiben wahrscheinlich individuelle Unterschiede bestehen. Chapman, Stray-Gundersen und Levine haben ihre LHTL Daten<sup>45</sup> bezüglich der individuellen „Response“ der Athleten analysiert.<sup>11</sup> Anhand der 5000m Laufzeiten wurden eine Gruppe von „Respondern“, welche die 5000m Laufzeit um mehr als den Durchschnitt verbessert hatte, und eine Gruppe von „Non-Respondern“, welche eine Verschlechterung der 5000m Laufzeit aufwies, gebildet.

Obwohl bei beiden Gruppen ein EPO Anstieg nach 24 Std. auf 2500m gemessen wurde, war dieser bei den "Respondern" signifikant höher (+ 52 %) als bei der "Non-Respondern" (+ 34 %). Zudem war die EPO Konzentration bei den Respondern im Gegensatz zu den Non-Respondern nach 14 Tagen immer noch erhöht. Nach dem LHTL, war nur das EV der "Responder" erhöht (+ 8%; "Non-Responder" + 1%). Dies führte nach der Interpretation der Autoren (11) dazu, dass es nur bei den "Respondern" zu einer Zunahme der  $\dot{V} O_{2max}$  kam (+ 6%). Sie betonten, dass die Zunahme der  $\dot{V} O_{2max}$  dem berechneten Resultat einer entsprechenden Zunahme des EV's entspreche (44).

Ein weiterer Grund für die bessere „Response“ der "Responder" läge in den besseren Trainingsmöglichkeiten der "Responder" in der Höhe. Diese hätten eine geringere Reduktion der Laufgeschwindigkeit sowie der Sauerstoffaufnahme in der Höhe zu verzeichnen als die "Non-Responder".

Nach Chapman Stray-Gundersen und Levine ist vor allem die unterschiedliche Reaktion der Athleten auf eben diese individuellen Differenzen bezüglich der Erythropoese und der Trainingsqualität für das unterschiedliche Abschneiden beim 5000m-Lauf verantwortlich. Eine nachfolgende Studie, bestätigte die grosse individuelle EPO-Response auf verschiedenen Höhen,<sup>26</sup> doch die Suche nach genetischen Determinanten der individuellen "Erythropoietin-Response" brachte keinen Erfolg.<sup>38</sup>

Es gibt nur eine weitere Studie, welche sich dem Thema "Responder" vs "Non-Responder" widmet. Friedmann und andere<sup>21</sup> zeigten kürzlich bei Elite Juniorenschwimmern nach 3 Wochen Höhentraining (LHTH) ebenfalls beträchtliche interindividuelle Unterschiede der EPO-Response und der Veränderung der Hb<sub>masse</sub>, welche allerdings keinen Zusammenhang hatten.

Auch die mittels nachfolgendem Laktatstufentest im Flachland beurteilte Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit stand in keinem Zusammenhang mit der Zunahme der Hb<sub>masse</sub>. Leider wurde in der Studie die Reproduzierbarkeit der Hämoglobinmasse nicht gemessen und die individuellen Daten zeigten ungewöhnlich hohe Unterschiede. Es ist daher schwierig, die individuellen Unterschiede von allfälligen Messfehlern der Methode zu unterscheiden.

Eigene Beobachtungen (unveröffentlicht) zeigen, dass individuelle Unterschiede in der Ausprägung der Akklimatisationseffekte auf ein LHTL Höhentrainingslager bestehen. Wenn die Athleten gruppenweise ("Responder" vs "Nonresponder") betrachtet werden, können die von Funde von Chapman, Levine und Stray-Gundersen<sup>11</sup> teilweise bestätigt werden. Es ist jedoch sehr schwierig, individuelle Vorhersagen zu machen, da der individuelle "Output" bezüglich der Hämoglobinmasse und der Leistungsfähigkeit nach dem LHTL Höhentrainingslager durch verschiedene maskierende Faktoren wie technische und biologische Variabilität der Messungen oder z.B. Krankheit und Übertraining beeinflusst werden kann.

=> Es gibt individuelle Unterschiede wie stark die Akklimatisationseffekte an die Höhe sind

=> Diese können nicht vorhergesagt werden

=> Bei richtiger Durchführung und Betreuung profitieren die meisten Athleten von LHTL

## 7. Praktisches Beispiel mit Spitzenathleten

Als Vorbereitung für die Leichtathletik Weltmeisterschaften 2003 in Paris absolvierten die beiden Weltklasseläufer Viktor Röthlin (VR; Marathon) und Christian Belz (CB; 5000m) ein 26-tägiges LHTL Höhentrainingslager im Engadin. Sie wohnten während 26 Tagen (ca. 18 Std. pro Tag) auf einer natürlichen Höhe von 2456m ü.M. (Muottas Muragl). Zwei Mal täglich trainierten beide auf einer Höhe von 1800m ü.M. Vor und nach dem LHTL Höhentrainingslager wurden die relativen Blutwerte Hämatokrit (Hct; %), Hämoglobin (Hb; g/dl) sowie die absoluten Blutwerte (CO-Rückatmungsmethode): Hämoglobinmasse, Erythrozytenvolumen (Menge der roten Blutkörperchen), Plasmavolumen sowie das Blutvolumen bestimmt. Die Leistungsfähigkeit wurde mit Wettkampfergebnissen und einer subjektiven Einschätzung dokumentiert.

**Resultate Blutwerte.** Die relativen Blutwerte Hämatokrit- (Hct; %) und Hämoglobin (Hb; g/dl) waren bei CB (Werte vor vs nach dem HTL: Hct: 38.8 vs 38.6; Hb:13.2 vs 13.3) und VR (Hct: 42.7 vs 43.8; Hb:15.6 vs 15.7) praktisch unverändert. Die absolute Hämoglobinmasse, das Erythrozytenvolumen und das Blutvolumen war nach dem LHTL-HTL bei beiden Athleten in vermutet leistungsrelevantem Ausmass erhöht (Figur 1). Dies zeigt, dass der Effekt eines HTL's auf die Blutwerte nur mit einer „Blutvolumenmessung“ aussagekräftig dokumentiert werden kann und sich die traditionellen Konzentrationsmasse Hct (%) und Hb (g/dl) dafür nicht eignen. Der sehr tiefe Hct-Wert von CB ist dadurch zu erklären, dass er ein sehr hohes Plasmavolumen hat. Das Erythrozytenvolumen beider Athleten ist etwa gleich gross. Ein Ausdauerspitzenathlet kann also durchaus mit einem Hämatokritwert um die 40 % Weltklasseleistungen erbringen, wenn er ein genug hohes Erythrozytenvolumen hat.

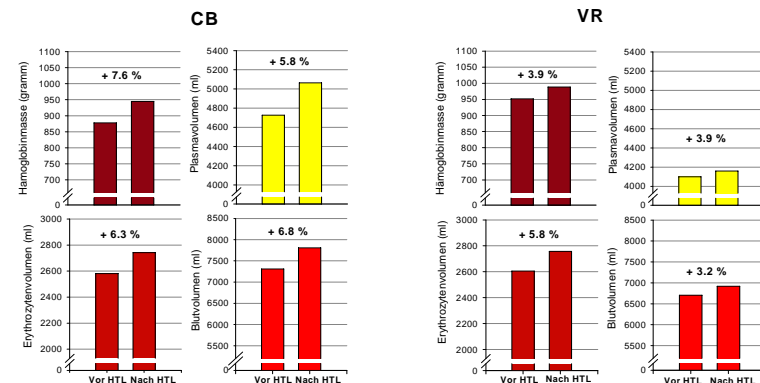


Abbildung 3. Effekt eines 26-tägigen „Living high-training low“ Höhentrainingslagers auf Hämoglobinmasse, Erythrozytenvolumen, Plasmavolumen und das Blutvolumen von Christian Belz (CB) und Viktor Röthlin (VR).

**Resultate Leistungsfähigkeit.** Die Wettkampfergebnisse (Laufzeiten, Platzierungen) sind aufgrund unterschiedlicher äusserer Bedingungen (Rennverlauf, Gegner, Wetter, Strecke etc.) nur bedingt miteinander vergleichbar. Trotzdem sind sie in der Figur 2 aufgeführt.

Beide Athleten erreichten an der WM in Paris eine Spitzenrangierung (CB: Rang 13; VR: Rang 14) und schätzten ihr Resultat als sehr positiv ein. Bei CB ist neben Läufen in Paris, das Qualifikationsrennen in Belgien mit einer gelaufenen 5000m Zeit von 13:12:16 speziell erwähnenswert. Bei den praktisch identischen Marathonzeiten von VR gilt es neben der Tatsache, dass beide Rennen mit LHTL vorbereitet wurden zu berücksichtigen, dass die selektive WM-Strecke mit diversen Steigungen und Richtungswechseln kaum Bestzeiten zuließ.

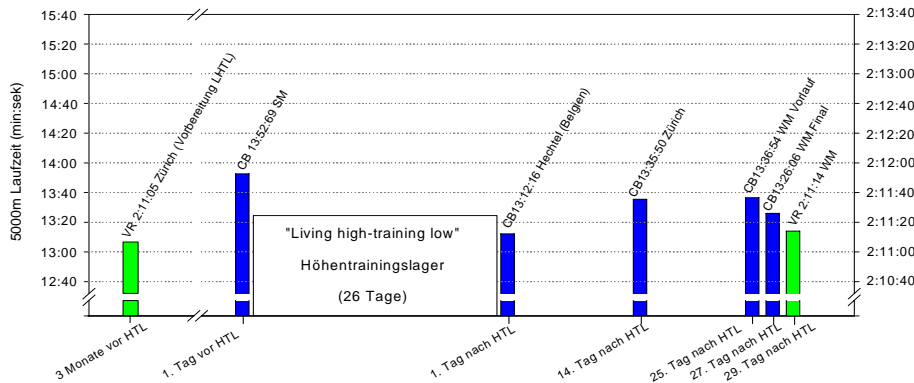


Abbildung 4. Wettkampfergebnisse vor und nach dem „Living high-training low“ Höhentrainingslager von Viktor Röthlin (VR) und Christian Belz (CB).

=> LHTL kann wahrscheinlich sogar noch die Leistungsfähigkeit von Weltklasseathleten steigern

## 8. Praktische Aspekte des LHTL Höhentrainings

### 8.1. Phasen des LHTL Höhentrainings

Bei einem Höhentaining ist es wichtig, zum richtigen Zeitpunkt das individuell Richtige zu tun. Es gibt dafür verschiedene unterschiedliche Modelle welche im praxisnahen Höhentrainingsbuch von R. Wilber detailliert erläutert werden.<sup>80</sup> Zusammengefasst, ergeben sich folgende Gemeinsamkeiten:

#### Vor dem Höhentrainingslager.

**Vorbereitungsphase.** Der Athlet sollte das Höhentrainingslager gut erholt, gesund, sowie bereits gut austrainiert beginnen. Es macht deshalb Sinn, vor dem Höhentrainingslager 1-2 Tage zur Erholung einzuplanen. Müdigkeit und Krankheit bereits zu Beginn des Höhentrainingslagers gefährden nicht nur den Erfolg des ganzen Höhentrainingslagers, sondern können negative Auswirkungen auf den ganzen Saisonverlauf haben. Höhentaining als Kompensator für einen schlechten Formzustand ist ebenfalls völlig deplaziert.<sup>36</sup>

#### Während dem Höhentrainingslager.

**Ruhephase.** In den ersten paar Tagen in der Höhe (z.B. 2-3 Tage; die Zahl variiert jedoch individuell und nach der Aufenthaltshöhe) sollte dem Körper Zeit gegeben werden, sich den neuen Bedingungen anzupassen. In dieser Phase sollte, nur mit tiefer Intensität trainiert werden. Es folgt die Haupttrainingsphase. Diese besteht aus einem ersten Teil, in welchem nur mit moderater Intensität trainiert wird (ca. 5-7 Tage), sowie einem zweiten Teil (ca. 14 Tage, in welchem die Trainingsbelastung erhöht wird und auch aus intensiven Trainingseinheiten mit erhöht anaeroben Anteil bestehen. Als generelle Regel kann gesagt werden, dass in der ersten Höhentrainingswoche in der Höhe das Trainingsvolumen verglichen mit dem Trainingsvolumen im Flachland ca. um 20% und in der 3. Woche etwa um 10% reduziert ist.

Ein ähnliches Trainingsvolumen wie im Flachland ist meist erst nach 5 Wochen in der Höhe sinnvoll.<sup>80</sup> Die Intervalltrainingsintensität ist zu Beginn in der Höhe um ca. 5-7% und in der 3. Woche um 3-5% reduziert. Die Intervallerholungszeit ist in der ersten Höhentrainingswoche ungefähr verdoppelt und in der 3. Woche noch ca. um 50% erhöht. Regenerationsphase. Es ist wichtig, dass der Athlet die Rückreise ins Flachland erholt antreten kann. Es wird deshalb empfohlen, am Ende des Höhentrainingslagers 1-2 Tage zur Regeneration einzuplanen.

#### Nach dem Höhentrainingslager.

Die Zeit und das richtige Verhalten nach dem Höhentrainingslager ist ebenso wichtig, wie das richtige Verhalten während des Höhentrainingslager selber. Als Grundmuster sei nachfolgend das „Norwegische Modell“ aufgeführt.<sup>80</sup> Es muss aber betont werden, dass dieses nur beschränkt Gültigkeit hat, da jeder

Athlet ein anderes optimales Muster zur Wettkampfvorbereitung nach dem Höhentrainingslager hat. Die ersten zwei Tage nach dem HTL sind eine Ruhephase. Es folgt eine ca. 8-tägige Trainingsphase in welcher die Trainingsmenge und –intensität erhöht wird. Diese Phase wird in der Literatur oft als instabil oder als „period of poor performance“<sup>15</sup> bezeichnet. In dieser Zeitperiode sollten keine Wettkämpfe durchgeführt werden. In der nachfolgenden Vorwettkampfsphase (5-11 Tage) sollte der Athlet eine stabile Leistungsphase mit erhöhter Leistungsfähigkeit aufweisen. In dieser Periode kann auf hohem Niveau trainiert, oder bereits erste kurze Testwettkämpfe durchgeführt werden. Schliesslich folgt die 4-7 Tage dauernde Wettkampfphase, in welcher Höchstleistungen möglich sind. Das norwegische Modell sieht den Zeitpunkt der besten Leistungsfähigkeit ca. 16 – 24 Tage nach dem Höhentrainingslager. Oft werden auch die ersten 1 - 2 Tage nach dem Höhentrainingslager als Zeitperiode einer sehr guten Leistungsfähigkeit genannt.<sup>79</sup> Diese Zeit eignet sich allerdings nur, wenn lediglich ein Wettkampf durchgeführt wird. Werden an mehreren Tagen Wettkämpfe durchgeführt, fallen die darauf folgenden in die „instabile Phase“ nach dem Höhentaining. Aufgrund der individuellen Unterschiede (wahrscheinlich sind sie aber auch vom richtigen Verhalten während und nach dem Höhentaininglager abhängig) wird empfohlen, vor wichtigen Wettkämpfen ein oder mehrere Höhentrainingslager durchzuführen, um das individuell richtige „Timing“ herauszufinden.

=> *Es ist für den Erfolg eines LHTL Höhentrainingslagers entscheidend, die verschiedenen Trainingsphasen vor-, während und nach dem Höhentrainingslager einzuplanen und gegebenenfalls anzupassen*

## 8.2. Weitere trainingspezifische Herausforderungen

Der Umgang mit den veränderten Umgebungsbedingungen in der Höhe stellt für das Training eine spezielle Herausforderung dar. Es ist deshalb wichtig, dass die Trainingsbelastung und die Erholung im Einklang stehen. Mögliche Hilfen sind: Messung des Ruhepulses; Durchführung eines submaximalen Tests mit Messung der Herzfrequenz, Blutlaktat und des subjektiven Empfindens; Durchführung von Orthostatetests etc.<sup>60, 80</sup> Wertvolle Hilfen können auch psychologische Instrumente liefern<sup>8</sup> Sehr wichtig ist die sorgfältige Dokumentation der Messungen und des subjektiven Empfindens in einem Trainingstagebuch, damit in der Folge von den gemachten Erfahrungen profitiert werden kann.

### Medizinische Aspekte

*Eisenhaushalt.* Ferritin als Speicherform des Eisens, ist ein notwendiger Baustein des Hämoglobins. Stray-Gundersen<sup>65</sup> berichtet, dass es bei Ausdauerathleten mit Serum Ferritin Werten < als 20 ng/ml bei Frauen und 30 ng/ml bei Männern im Gegensatz zu Athleten mit normalen Ferritin Werten zu keiner Zunahme des Erythrozytenvolumens nach einem 4-wöchigen Höhentrainingslager auf 2500m kam. Es ist deshalb ratsam es ratsam, die Ferritinwerte (allenfalls auch Vitamin B12 sowie die Folsäurewerte) vor dem Höhenaufenthalt zu kontrollieren.

*Flüssigkeitshaushalt.* Die Aufrechterhaltung des Flüssigkeitshaushaltes ist in der Höhe für die Athleten speziell wichtig. In den ersten Tagen in der Höhe, besteht, aufgrund des erhöhten Flüssigkeitsverlustes durch die Atmung (trockenere Luft, sowie erhöhte Atmung in der Höhe), und die erhöhte Urinausscheidung durch verschiedene Mechanismen die Gefahr zu dehydrieren. Eine Faustregel sagt, dass die Trinkmenge um mindestens 1 L per 1000m zusätzlicher Höhe erhöht werden sollte.<sup>67</sup> Da es jedoch, nicht zuletzt durch die unterschiedliche Schweißrate, grosse individuelle Unterschiede gibt, ist es ratsam, täglich das Körpergewicht und die Urinkonsistenz (Farbe) zu kontrollieren. Koffeinhaltige oder andere harntreibende Getränke sollten möglichst minimiert werden.

*Infektionen.* Durch den Aufenthalt in der Höhe, wird der Athlet einem erhöhten Stress ausgesetzt und speziell die Atemwege sind durch die trockene Luft in der Höhe vermehrt beansprucht. Dies führt zu einer erhöhten Infektanfälligkeit während und nach der Höhentrainingsperiode.<sup>4</sup>

Schlafstörungen. Athleten können durch den Aufenthalt in der Höhe im Schlaf gestört sein. Dies ist vor allem bei Athleten der Fall, welche sich zum ersten Mal in der Höhe aufhalten. Zunehmende Wachphasen und reduzierte Tiefschlafphasen während der Nacht treten vor allem zu Beginn des Höhenaufenthaltes auf und werden mit zunehmender Akklimatisation an die Höhe reduziert.<sup>60</sup> Sollten die Schlafstörungen zu stark beeinträchtigen, kann versucht werden, sich zuerst an eine tiefere Höhe zu akklimatisieren, bevor das Schlafen auf der Zielhöhe angestrebt wird.

*Höhenkrankheit.* Wenn Athleten Höhen über 2000-3000m ausgesetzt sind, können vereinzelt abgeschwächte Symptome der akuten Höhenkrankheit auftreten. Die Häufigkeit und der Schweregrad sind abhängig von der Höhe, der Aufstiegs geschwindigkeit und der individuellen Empfindlichkeit.

- => *Die Gefahr des Übertrainings ist in der Höhe steht's zu berücksichtigen*
- => *Es empfiehlt sich das Training und die Erholung sorgfältig zu dokumentieren und anzupassen*
- => *Es empfiehlt sich vorgängig zum Höhentrainingslagers die Eisenspeicher zu messen und allenfalls zu supplementieren*
- => *In der Höhe besteht ein erhöhter Flüssigkeitsbedarf*
- => *Vorbeugung von Atemwegserkrankungen*

### 8.3. **Vorschlag für die Vorbereitung eines Wettkampfes in der Höhe (OS06)**

Die Wichtigkeit einer genügend langen Akklimation an die Wettkampfhöhe in der Vorbereitung auf Wettkämpfe in der Höhe ist wissenschaftlich gesehen unbestritten. Wahrscheinlich genügen 4 Wochen auf der Zielhöhe von 1500-1800m. Will man zusätzlich von einer Zunahme der Hämoglobinmasse und anderen Akklimationseffekten profitieren, sollten 3-4 Wochen "Live high" auf ca. 2500m vorgeschaltet werden (z.B. Wohnen auf Muottas Muragl im Engadin und trainieren im Tal auf 1700-1800m). Der Start der Olympiade erfolgt dann ca. 3 Wochen später, so hat man genügend Zeit, sich wieder an die Zielhöhe zu akklimatisieren. Ein schematischer Ablauf ist in nachfolgend abgebildet.

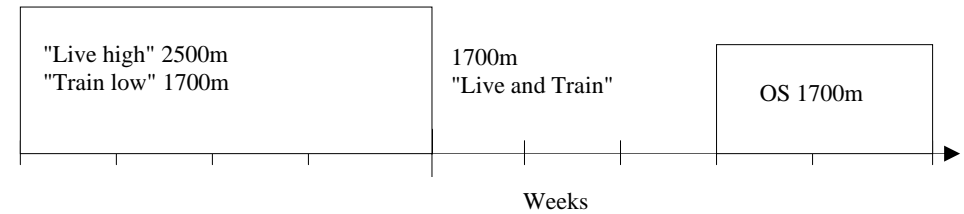


Abbildung 5. Vorschlag für die unmittelbare Höhenvorbereitung vor den Olympischen Spielen 2006 in Torino

#### 8.4. Vorschlag für die Vorbereitung eines Wettkampfes im Flachland (OS08)

Auf die Vorbereitung für Wettkämpfe im Flachland wird in dieser Arbeit ausführlich eingegangen, nachfolgend eine schematische Abbildung. Eine zusätzliche Herausforderung für Beijing 2008 ist die Hitze (siehe Arbeiten der Fachgruppe "Heat and Exercise" von Swiss Olympic).

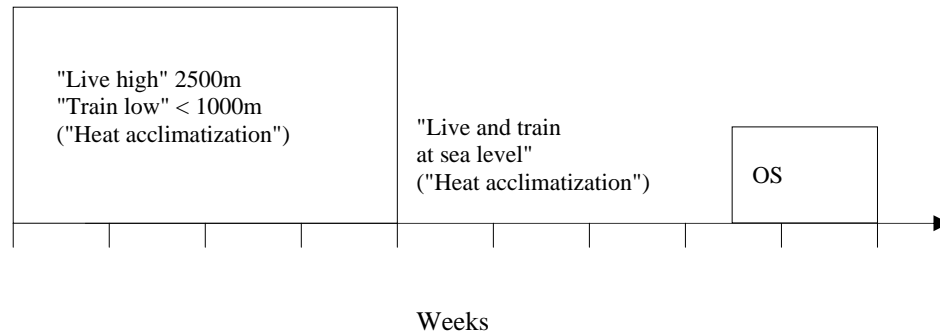


Abbildung 6. Vorschlag für die unmittelbare Höhenvorbereitung vor den Olympischen Spielen 2008 in Beijing.

#### 9. Schlussfolgerungen

Der Nutzen einer Höhenakklimatisation (LHTH und/oder LH TL) für die Vorbereitung auf Wettkämpfe in der Höhe ist wissenschaftlich gesehen unbestritten, während die Vorteile einer Vorbereitung mittels LHTH für Wettkämpfe im Flachland kontrovers diskutiert werden.

Als Wettkampfvorbereitung für einen Wettkampf im Flachland empfiehlt es sich die Methode LH TL zu wählen, da, bei richtiger Durchführung, vom Vorteil einer erhöhten Hämoglobinmasse und wahrscheinlich auch von weiteren leistungssteigernden physiologischen Effekten in Kombination mit einem ähnlich hohen absoluten Trainingsreiz wie im Flachland und der daraus resultierenden verbesserten Leistungsfähigkeit profitiert werden kann. Die verbesserte Leistungsfähigkeit im Flachland nach LH TL ist in mehreren kontrollierten Studien mit Eliteausdauerathleten nachgewiesen worden.

Folgende Faktoren sollten beachtet werden: 1) eine genügend grosse "Höhendosis" (die ideale Aufenthaltshöhe beträgt dabei ca. 2300 bis 2500m, kombiniert mit einer minimalen Aufenthaltsdauer von wahrscheinlich ca. 400h, was in einer LH TL-Dauer von 3-4 Wochen entspricht); 2) angepasster Trainingsstimulus während des LH TL (Unter- oder Übertrainingssymptome); 3) das „Timing“ des Wettkampfes und das Training nach dem LH TL; 4) Vermeidung medizinischer Probleme (Atemwegserkrankungen, Infekte, Höhenkrankheitssymptome etc).

Zusammenfassend kann jedoch gesagt werden, dass die Chancen gut stehen, mit einer LH TL – Vorbereitung auf Wettkämpfe im Flachland bei Spitzenathleten erfolgreicher zu sein als mit einer Vorbereitung im Flachland. Bei einer Vorbereitung für einen Wettkampf in der Höhe, kann das "Train low" der Zielhöhe angepasst werden und bietet so eine viel versprechende Variante des LH TL.

Nebst einer guten Beratung, empfiehlt es sich, das LH TL nicht zum ersten Mal vor einem wichtigen Wettkampf durchzuführen, sondern bereits vorher erste Erfahrungen im Umgang mit der Höhe zu sammeln.

## 10. Literaturverzeichnis

1. Adams, W. C., E. M. Bernauer, D. B. Dill, and J. B. Bomar. Effects of equivalent sea-level and altitude training on VO<sub>2</sub>max and running performance. *J Appl Physiol*:262-266, 1975.
2. Ashenden, M. J., C. J. Gore, G. P. Dobson, and A. G. Hahn. "Live high, train low" does not change the total haemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3000 m for 23 nights. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 80:479-484, 1999.
3. Ashenden, M. J., C. J. Gore, D. T. Martin, G. P. Dobson, and A. G. Hahn. Effects of a 12-day "live high, train low" camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 80:472-478, 1999.
4. Bailey, D. M., B. Davies, L. Romer, L. Castell, E. Newsholme, and G. Gandy. Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 78:360-368, 1998.
5. Berglund, B., G. Birgegard, L. Wide, and P. Pihlstedt. Effects of blood transfusions on some hematological variables in endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 21:637-642, 1989.
6. Berglund, B., P. Hemmingsson, and G. Birgegard. Detection of autologous blood transfusions in cross-country skiers. *Int J Sports Med*. 8:66-70, 1987.
7. Billat, V. L., P. M. Lepretre, R. P. Heubert, J. P. Koralsztein, and F. P. Gazeau. Influence of acute moderate hypoxia on time to exhaustion at vVO<sub>2</sub>max in unacclimatized runners. *Int J Sports Med*. 24:9-14, 2003.
8. Birrer, D. Einsatz psychomotorischer Instrumente in der Uebertrainingsdiagnostik. *Schweiz Z Sportmed Sporttraumatol*. 2:57-61, 2004.
9. Burtcher, M., W. Nachbauer, P. Baumgartl, and M. Philadelph. Benefits of training at moderate altitude versus sea level training in amateur runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 74:558-563, 1996.
10. Buskirk, E. R., J. Kollias, R. F. Akers, E. K. Prokop, and E. P. Reategui. Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. *J Appl Physiol*. 23:259-266, 1967.
11. Chapman, R. F., J. Stray-Gundersen, and B. D. Levine. Individual variation in response to altitude training. *J Appl Physiol*. 85:1448-1456, 1998.
12. Daniels, J. and N. Oldridge. The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. *Med Sci Sports*. 2:107-112, 1970.
13. Dehnert, C., M. Hutler, Y. Liu, E. Menold, C. Netzer, R. Schick, B. Kubanek, M. Lehmann, D. Boning, and J. M. Steinacker. Erythropoiesis and performance after two weeks of living high and training low in well trained triathletes. *Int J Sports Med*. 23:561-566, 2002.
14. Dempsey, J. A. and P. D. Wagner. Exercise-induced arterial hypoxemia. *J Appl Physiol*. 87:1997-2006, 1999.
15. Dick, F. W. Training at altitude in practice. *Int J Sports Med*. 13 Suppl 1:S203-206, 1992.
16. Dill, D. B. and W. C. Adams. Maximal oxygen uptake at sea level and at 3,090-m altitude in high school champion runners. *J Appl Physiol*. 30:854-859, 1971.
17. Eckardt, K. U., U. Boutellier, A. Kurtz, M. Schopen, E. A. Koller, and C. Bauer. Rate of erythropoietin formation in humans in response to acute hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol*. 66:1785-1788, 1989.
18. Ekblom, B. T. Blood boosting and sport. *Baillieres Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*. 14:89-98, 2000.
19. Faulkner, J. A., J. T. Daniels, and B. Balke. Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity. *J Appl Physiol*. 23:85-89, 1967.
20. Faulkner, J. A., J. Kollias, C. B. Favour, E. R. Buskirk, and B. Balke. Maximum aerobic capacity and running performance at altitude. *J Appl Physiol*. 24:685-691, 1968.
21. Friedmann, B., F. Frese, E. Menold, F. Kauper, J. Jost, and P. Bartsch. Individual variation in the erythropoietic response to altitude training in elite junior swimmers. *Br J Sports Med*. 39:148-153, 2005.
22. Friedmann, B., J. Jost, T. Rating, H. Mairbaurl, and P. Bartsch. No increase of total red blood cell volume during three weeks of training at an altitude of 1800m. *Med Sci Sports Exerc*. 28:S67, 1996.
23. Fry, R. W., A. R. Morton, and D. Keast. Overtraining in athletes. An update. *Sports Med*. 12:32-65, 1991.
24. Fulco, C. S., P. B. Rock, and A. Cymerman. Improving athletic performance: is altitude residence or altitude training helpful? *Aviat Space Environ Med*. 71:162-171, 2000.
25. Fulco, C. S., P. B. Rock, and A. Cymerman. Maximal and submaximal exercise performance at altitude. *Aviat Space Environ Med*. 69:793-801, 1998.
26. Ge, R. L., S. Witkowski, Y. Zhang, C. Alfrey, M. Sivieri, T. Karlsen, G. K. Resaland, M. Harber, J. Stray-Gundersen, and B. D. Levine. Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol*. 92:2361-2367, 2002.
27. Gore, C. J., A. Hahn, A. Rice, P. Bourdon, S. Lawrence, C. Walsh, T. Stanef, P. Barnes, R. Parisotto, D. Martin, D. Pyne, and C. Gore. Altitude training at 2690m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO<sub>2</sub>max in world champion track cyclists. *J Sci Med Sport*. 1:156-170, 1998.
28. Gore, C. J., A. G. Hahn, R. J. Aughey, D. T. Martin, M. J. Ashenden, S. A. Clark, A. P. Garnham, A. D. Roberts, G. J. Slater, and M. J. McKenna. Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand*. 173:275-286, 2001.
29. Gore, C. J., A. G. Hahn, C. M. Burge, and R. D. Telford. VO<sub>2</sub>max and haemoglobin mass of trained athletes during high intensity training. *Int J Sports Med*. 18:477-482, 1997.
30. Gore, C. J., A. G. Hahn, G. C. Scroop, D. B. Watson, K. I. Norton, R. J. Wood, D. P. Campbell, and D. L. Emonson. Increased arterial desaturation in trained cyclists during maximal exercise at 580 m altitude. *J Appl Physiol*. 80:2204-2210, 1996.
31. Gore, C. J., S. C. Little, A. G. Hahn, G. C. Scroop, K. I. Norton, P. C. Bourdon, S. M. Woolford, J. D. Buckley, T. Stanef, D. P. Campbell, D. B. Watson, and D. L. Emonson. Reduced performance of male and female athletes at 580 m altitude. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 75:136-143, 1997.
32. Hahn, A. G. and C. J. Gore. The effect of altitude on cycling performance: a challenge to traditional concepts. *Sports Med*. 31:533-557, 2001.
33. Hahn, A. G., C. J. Gore, D. T. Martin, M. J. Ashenden, A. D. Roberts, and P. A. Logan. An evaluation of the concept of living at moderate altitude and training at sea level. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 128:777-789, 2001.
34. Heinicke, K., N. Prommer, J. Cajigal, T. Viola, C. Behn, and W. Schmidt. Long-term exposure to intermittent hypoxia results in increased hemoglobin mass, reduced plasma volume, and elevated erythropoietin plasma levels in man. *Eur J Appl Physiol*. 88:535-543, 2003.
35. Heinicke, K., B. Wolfarth, P. Winchenbach, B. Biermann, A. Schmid, G. Huber, B. Friedmann, and W. Schmidt. Blood volume and hemoglobin mass in elite athletes of different disciplines. *Int J Sports Med*. 22:504-512, 2001.
36. Hirsch, L. and W. Klein. In der Höhe richtig trainieren. *Leichtathletiktraining*:22-27, 2002.
37. Ingjer, F. and K. Myhre. Physiological effects of altitude training on elite male cross country skiers. *J Sport Sci*:37-47, 1992.
38. Jedlickova, K., D. W. Stockton, H. Chen, J. Stray-Gundersen, S. Witkowski, R. L. Ge, J. Jelinek, B. D. Levine, and J. T. Prchal. Search for genetic determinants of individual variability of the erythropoietin response to high altitude. *Blood Cells Mol Dis*. 31:175-182, 2003.
39. Jensen, K., T. S. Nielsen, J. O. Fiskestrand, J. O. Lund, N. J. Christensen, and N. H. Secher. High-altitude training does not increase maximal oxygen uptake or work capacity at sea level in rowers. *Scand J Med Sci Sports*:256-262, 1993.
40. Kayser, B. Nutrition and energetics of exercise at altitude. Theory and possible practical implications. *Sports Med*. 17:309-323, 1994.
41. Laitinen, H., K. Alopaeus, R. Heikkinen, H. Hietanen, L. Mikkelsen, H. O. Tikkanen, and H. Rusko. Acclimatization to living in normobaric hypoxia and training in normoxia at sea level in runners. *Med.Sci Sports Exerc*. 27:S109, 1995.
42. Leigh-Smith, S. Blood boosting. *Br J Sports Med*. 38:99-101, 2004.
43. Levine, B. D. and J. Stray-Gundersen. The effects of altitude training are mediated primarily by acclimatization, rather than by hypoxic exercise. *Adv Exp Med Biol*. 502:75-88, 2001.
44. Levine, B. D. and J. Stray-Gundersen. The effects of altitude training are mediated primarily by acclimatization, rather than by hypoxic exercise. In: *Hypoxia: From Genes to the Bedside*. R. Roach (Ed.) New York: Kluwer Academic /Plenum Publishers, 2001, pp. 75-88.
45. Levine, B. D. and J. Stray-Gundersen. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol*. 83:102-112, 1997.
46. Levine, B. D. and J. Stray-Gundersen. "Living high-training low": the effect of altitude acclimatization/normoxic training in trained runners. *Med Sci Sports Exerc*:S25, 1991.
47. Levine, B. D. and J. Stray-Gundersen. A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med*. 13 Suppl 1:S209-212, 1992.
48. Mairbaurl, H. Red blood cell function in hypoxia at altitude and exercise. *Int J Sports Med*. 15:51-63, 1994.
49. Matlina, E. Effects of physical activity and other types of stress on catecholamine metabolism in various animal species. *J Neural Transm*. 60:11-18, 1984.
50. Mattila, V. and H. Rusko. Effect of living high and training low on sea level performance in cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 28:S156, 1996.
51. Mizuno, M., C. Juel, T. Bro-Rasmussen, E. Mygind, B. Schibye, B. Rasmussen, and B. Saltin. Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J Appl Physiol*. 68:496-502, 1990.
52. Nummela, A. and H. Rusko. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci*. 18:411-419, 2000.
53. Olsen, N. V., I. L. Kanstrup, J. P. Richalet, J. M. Hansen, G. Plazen, and F. X. Galen. Effects of acute hypoxia on renal and endocrine function at rest and during graded exercise in hydrated subjects. *J Appl Physiol*. 73:2036-2043, 1992.
54. Peltonen, J. E., H. K. Rusko, J. Rantamaki, K. Sweins, S. Niittymaki, and J. T. Viitasalo. Effects of oxygen fraction in inspired air on force production and electromyogram activity during ergometer rowing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 76:495-503, 1997.
55. Piehl Aulin, K. Normobaric hypoxia: physical performance. *J Sport Sci*. 1122, 1999.
56. Piehl Aulin, K., J. Svendehag, L. Wide, B. Berglund, and B. Saltin. Short-term intermittent normobaric hypoxia-haematological, physiological and mental effects. *Scand J Med Sci Sports*. 8:132-137, 1998.

57. Roberts, A. D., S. A. Clark, N. E. Townsend, M. E. Anderson, C. J. Gore, and A. G. Hahn. Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high:train low altitude exposure. *Eur J Appl Physiol.* 88:390-395, 2003.
58. Ronsen, O. and H. Rusko. Special and practical issues in cross country skiing. In: *Handbook of Sports Medicine and Science - Cross country skiing*. H. Rusko (Ed.) Massachusetts, Oxford, Victoria, Berlin: Blackwell Science Ltd, 2003.
59. Rusko, H., H. O. Tikkanen, L. Pavolainen, K. Hämäläinen, A. Kalliokoski, and A. Puranen. Effect of living in hypoxia and training in normoxia on sea level VO<sub>2</sub>max and red cell mass. *Med Sci Sports Exerc.* 31:S86, 1999.
60. Rusko, H. K., H. O. Tikkanen, and J. E. Peltonen. Altitude and endurance training. *J Sport Sci.* 22:928-945, 2004.
61. Rusko, H. K., H. O. Tikkanen, and J. E. Peltonen. Oxygen manipulation as an ergogenic aid. *Curr Sports Med Rep.* 2:233-238, 2003.
62. Saunders, P. U., R. D. Telford, D. B. Pyne, R. B. Cunningham, C. J. Gore, A. G. Hahn, and J. A. Hawley. Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol.* 96:931-937, 2004.
63. Sawka, M. N., V. A. Convertino, E. R. Eichner, S. M. Schnieder, and A. J. Young. Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma/sickness. *Med Sci Sports Exerc.* 32:332-348, 2000.
64. Schmidt, W., J. Rojas, D. Boning, H. Bernal, S. Garcia, and O. Garcia. Plasma-electrolytes in natives to hypoxia after marathon races at different altitudes. *Med Sci Sports Exerc.* 31:1406-1413, 1999.
65. Stray-Gundersen, J., C. Alexander, A. Hochstein, D. deLemos, and B. D. Levine. Failure of red cell volume to increase to altitude exposure in iron deficient runners. *Med Sci Sports Exerc.* 24:S90, 1992.
66. Stray-Gundersen, J., R. F. Chapman, and B. D. Levine. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol.* 91:1113-1120, 2001.
67. Stromme, S. B. and F. Ingjer. [High altitude training]. *Nord Med.* 109:19-22, 1994.
68. Svedenhag, J., K. Piehl-Aulin, C. Skog, and B. Saltin. Increased left ventricular muscle mass after long-term altitude training in athletes. *Acta Physiol Scand.* 161:63-70, 1997.
69. Svedenhag, J., B. Saltin, C. Johansson, and L. Kaijser. Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. *Scand J Med Sci Sports:*205-214, 1991.
70. Telford, R. D., D. Graham, J. R. Sutton, A. Hahn, and D. A. Campbell. Medium altitude training and sea-level performance. *Med Sci Sports.* 28:S91, 1996.
71. Terrados, N., J. Melichna, C. Sylven, E. Jansson, and L. Kaijser. Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 57:203-209, 1988.
72. Townsend, N. E., C. Gore, A. G. Hahn, and e. al. Living high - training low increases hypoxic ventilatory response of well-trained endurance athletes. *J Appl Physiol.* 93:1498-1505, 2002.
73. Vallier, J. M., P. Chateau, and C. Y. Guezennec. Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 73:471-478, 1996.
74. Wagner, P. D. New ideas on limitations to VO<sub>2</sub>max. *Exerc Sport Sci Rev:*10-14, 2000.
75. Wehrlin, J. Linear reduction of VO<sub>2</sub>max from 300 to 2800m above sea level in men with a VO<sub>2</sub>max above 60 ml/kg/min. *Master Thesis.* Norwegian University of Sport and Physical Education, Department of Sport Biology, Oslo, 2000.
76. Wehrlin, J., G. E. Clénin, and B. Marti. Erste Referenzwerte für Hämoglobinmasse und Blutvolumen bei Schweizer Spitzensportlerinnen und Spitzensportlern. *Trainerherbsttagung Swiss Olympic Association.* Magglingen, 2004.
77. Wehrlin, J. and J. Hallén. Linear reduction of maximal oxygen uptake in acute hypoxia at simulated altitudes between 300 and 2800m above sea level in endurance trained athletes. *6th Annual Congress of the European College of Sport Sciences.* Cologne, 2001.
78. Wehrlin, J., P. Zuest, G. E. Clénin, J. Hallén, and B. Marti. 24 days live high:train low increases red cell volume, running performance and VO<sub>2</sub>max in swiss national team orienteers. *8th Annual Congress of the European College of Sport Science.* Salzburg, 2003.
79. Wehrlin, J. P. and B. Marti. Live high-train low associated with increased haemoglobin mass as preparation for 2003 world championships in two native european world-class runners. *Br J Sports Med.* (in press).
80. Wilber, R. L. *Altitude Training and athletic performance.* Campaign, IL: Human Kinetics, 2004