

## Bestimmung der totalen Hämoglobinmenge während Höhen- und Flachlandtrainingslagern

Walter Schmidt<sup>1</sup> (Projektleiter), Christian Völzke<sup>1</sup>, Nicole Prommer<sup>1</sup>,  
Arno Schmidt-Trucksäss<sup>2</sup>, Annette Eastwood<sup>3</sup>, Falko Freese<sup>4</sup>,  
Örjan Madsen<sup>5</sup>, Olav Spahl<sup>5</sup>, Jim Stray-Gunderson<sup>6</sup>, Anneliese Berbalk<sup>7</sup> &  
Nadine Wachsmuth<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Bayreuth, Abteilung Sportmedizin, <sup>2</sup>TU München,

<sup>3</sup>SASI, Adelaide/ Australien, <sup>4</sup>Universität Heidelberg,

<sup>5</sup>Deutscher Schwimmverband, <sup>6</sup>IAT Leipzig

### Einleitung

Die Leistungsfähigkeit eines Ausdauersportlers wird in hohem Ausmaß von seiner totalen Hämoglobinmenge (tHb-Menge) bestimmt. Die Erhöhung dieses Parameters um 1 g geht mit einer Erhöhung der  $VO_{2max}$  um 3 ml/min einher (Schmidt & Prommer, 2008). Insbesondere bei Ausdauersportlern im Spitzenbereich ist die tHb sehr konstant und unterliegt im Jahresverlauf nur sehr geringen Schwankungen. Deshalb nutzen Leistungssportler immer häufiger ein Höhentrainingslager (HTL), um ihre tHb und somit ihre Leistungsfähigkeit zu steigern. Die Effektivität von Höhentrainingslagern wird bis heute noch kontrovers diskutiert, da bisherige Untersuchungen in diesem Bereich keine einheitlichen Ergebnisse aufzeigen. Nach wie vor gibt es noch viele Aspekte des Höhentrainings, die bislang nicht ausreichend untersucht wurden und Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind. Ein Problem von bisherigen Studien bestand häufig darin, dass die Probanden keine Eliteathleten waren oder es an adäquaten Kontrollgruppen der gleichen Disziplin mangelte.

In dem Gesamtprojekt sollte zunächst das Verhalten der Hämoglobinmenge von Topathleten der Disziplin Schwimmen über einen Zeitraum von zwei Jahren mit und ohne Höheneinfluss aufgezeigt werden. Weiterhin sollten folgende konkrete Fragen im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung von mehreren Höhentrainingslagern (HTL) geklärt werden:

1. Welches ist der generelle Effekt von Höhentrainingslagern auf die Hämoglobinbildung und gibt es individuelle Unterschiede?
2. Welchen Einfluss haben Erkrankungen und Verletzungen während des Höhentrainingslagers?
3. Welches ist der Zeitverlauf der Hämoglobinneubildung?
4. Wie lang hält der Höheneffekt an?

Bezogen auf ein Höhentrainingslager in moderater Höhe (Pretoria/Südafrika) sollten insbesondere folgende Fragestellungen beantwortet werden:

1. Welchen Einfluss haben unterschiedliche Höhenlagen (2300 m und 1500 m) auf die Hämoglobinbildung?
2. Gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede?

## Methodik

Insgesamt nahmen 58 Schwimmer und Schwimmerinnen des Top- und Perspektivteams des Deutschen Schwimmverbandes (DSV) an der Studie teil. Von ihnen absolvierten 21 Frauen und 24 Männer mehr als eine Messung (Tab. 1), deren Ergebnisse in die Auswertung eingehen.

Tab. 1: *Anthropometrische Probandencharakterisierung sowie Angaben über die Teilnahme an HTL*

	n >1 Mes- sung	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	BMI	Messungen Ø	Perso- nen im HTL	Anzahl HTL
Frauen	21	23,8	177,8	66,2	20,9	6,1	14,0	1,4
		± 4,5	± 6,6	± 6,7	± 1,1	± 2,8		± 0,7
Männer	24	23,4	190,3	85,5	23,5	5,8	17,0	1,7
		± 3,2	± 6,0	± 9,2	± 1,4	± 3,1		± 0,8

Mittelwerte ± SD

Die gesamte Studie umfasste einen Zeitraum von fast 2 Jahren. In der Zeit von September 2006 bis Juli 2008 führte der DSV sechs Höhentrainingsmaßnahmen in Vorbereitung auf die Olympischen Spiele 2008 durch; bei vier von ihnen wurde vor und nach bzw. einmal auch während des Trainingslagers die Hämoglobinmenge bestimmt. Drei der Höhentrainingslager fanden in der Sierra Nevada (Spanien) auf einer Höhe von 2300 m und eines in Pretoria (Südafrika) auf ca. 1500 m statt.

Tab. 2: *Trainingslager im Überblick*

Trainingslager	Dauer (Tage)	Teilnehmer (n)		krank / verletzt (n)	Alter (Jahre)
		W	M		
SN-1	27 ± 1,8	6	13	4	23,3 ± 3,7
SN-2	26 ± 2,6	4	6	2	25,0 ± 3,2
SN-3	21 ± 0,0	2	5	1	20,7 ± 3,0
Pretoria	23 ± 0,0	7	4	1	22,2 ± 5,2
Las Palmas	18 ± 0,0	6	5	0	24,0 ± 3,1

Zur Absicherung des Höheneffekts gegenüber einem möglichen Trainingseffekt wurden Messungen der tHb-Menge bei einer Kontrollgruppe während eines Trainingslagers auf Gran Canaria durchgeführt. Bei fast allen Athleten wurden im Jahresverlauf mehrmalig die tHb-Menge ohne Höheneinfluss bestimmt. Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg genehmigt.

Die Hämoglobinmasse wurde mittels der optimierten CO-Rückatmungsmethode nach Schmidt und Prommer (Schmidt & Prommer, 2005) bestimmt. Es wurde für die Methode ein typischer Fehler von 1,4 % errechnet (Hopkins, 2003).

## Ergebnisse

Die tHb-Menge blieb unter Flachlandbedingungen während der 2 Jahre sehr stabil und die Ergebnisse bilden somit eine gute Basis, um den Höheneffekt zu quantifizieren. Die Hämoglobinbildung stieg während aller drei Höhen-trainingslager in der Sierra Nevada in gleichem Ausmaß im Mittel um  $+7,2 \pm 3,3$  % (HTL1:  $+7,0 \pm 2,8$  %; HTL2:  $+6,5 \pm 4,5$  %; HTL3:  $+9,0 \pm 2,6$  %) an, wobei sich eine stark individuelle Reaktion bei den einzelnen Athleten, im Bereich von  $-2,5$  % bis  $+13,1$  %, zeigte. Der Vergleich der tHb-Menge des 2. HTL (2300 m) mit der Kontrollgruppe auf Gran Canaria (HTL2:  $+6,5 \pm 4,5$ ; FL:  $-0,4 \pm 2,9$ ) zeigt den eindeutigen Höheneffekt. Es ergeben sich bei den prozentualen Anstiegen in der Sierra Nevada keine Unterschiede zwischen gesunden Männern und Frauen (Männer:  $+7,1 \pm 2,1$  % / Frauen:  $+8,5 \pm 3,9$  %). Nach dem HTL in Pretoria zeigte sich ein signifikant geringerer Anstieg der Hämoglobinmenge ( $+3,8 \pm 3,4$  %) als während der Trainingslager in der Sierra Nevada ( $+7,2 \pm 3,3$  %), der zudem bei den weiblichen Schwimmern ( $+2,3 \pm 2,9$  %) noch schwächer ausgeprägt war als bei den männlichen ( $+6,0 \pm 3,2$  %) (Abb. 1).

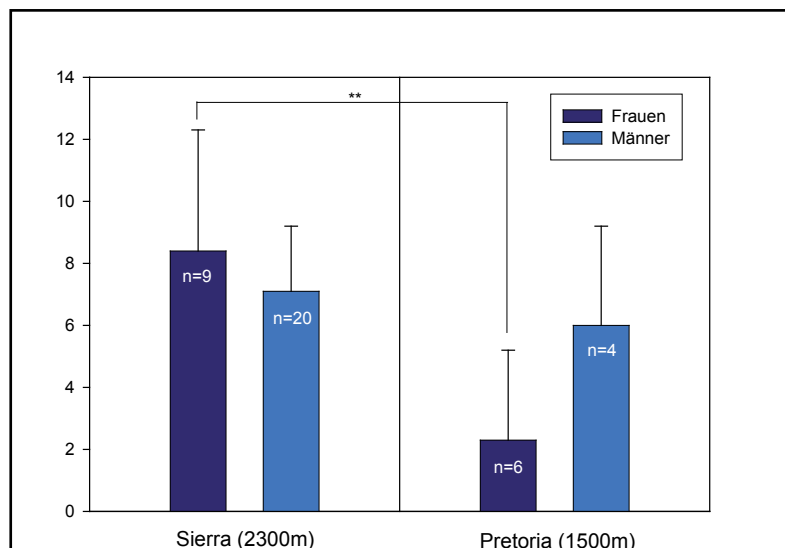


Abb. 1: Geschlechtsspezifischer Vergleich der Veränderung der tHb-Menge in verschiedenen Höhenlagen. Dargestellt ist der mittlere Anstieg der tHb-Menge in Prozent vom Ausgangswert nach den 3 Höhen-trainingslagern in der Sierra Nevada im Vergleich zu Pretoria. Differenz zwischen dem tHb-Anstieg in der Sierra Nevada und Pretoria bei den Frauen:  $**p < 0,01$

Bei den kranken und verletzten Athleten zeigte sich keine bzw. nur eine geringe Steigerung der tHb-Menge, obwohl sie in der Regel die gleiche Zeit in der Höhe verbrachten wie die gesunden Sportler (Gesund:  $+ 6,3 \pm 3,6 \%$ , Krank:  $+ 1,4 \pm 3,1 \%$ ). Im Verlauf des HTL 3 in der Sierra Nevada wurde die tHb-Menge vor, an Tag 6, Tag 13, Tag 19 und nach Beendigung des HTL bestimmt. Es zeigte sich keine Veränderung innerhalb der ersten 6 Tage. Danach stieg die tHb-Menge jedoch im Mittel um  $0,5 \%$  pro Tag bis zum Ende des Trainingslagers an. Aber auch hier waren individuell unterschiedliche Reaktionen bei den einzelnen Athleten zu beobachten. 19 bzw. 26 Tage nach dem 2. HTL in der Sierra Nevada, sowie 33 Tage nach dem 3. HTL ( $24 \pm 6,2$  Tage) war der höhenbedingte Anstieg der tHb-Menge schon um ca.  $50 \%$  reduziert, der Zuwachs gegenüber dem normalen Flachlandwert betrug aber immer noch  $+ 4,1 \pm 2,9$ . Es kann somit geschlossen werden, dass 3 - 4 Wochen nach Beendigung eines HTL eine im Mittel noch um ca.  $4 \%$  erhöhte tHb-Menge vorliegt.

## Diskussion

Mit den vorliegenden Ergebnissen konnte bestätigt werden, dass klassisches Höhen-training eine Steigerung der tHb-Menge hervorruft. Der mittlere tHb-Anstieg der ersten drei Höhentrainingslager ( $+ 7,2 \pm 3,3 \%$ ) ist vergleichbar mit anderen Ergebnissen konventioneller Höhen- bzw. LH-TL-Trainingslager, die unter den Bedingungen,  $> 14$ h/Tag Hypoxie, ab ca. 2100 m Höhe und mind. 3 Wochen Aufenthalt, durchgeführt wurden (Schmidt and Prommer, 2008). Zwischen Männern und Frauen zeigten sich auf 2300 m Höhe keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Anstiege der tHb-Menge (Männer:  $+ 7,1 \pm 2,1 \%$  / Frauen:  $+ 8,5 \pm 3,9 \%$ ). Allerdings fällt die Steigerung der tHb-Menge in 1500 m Höhe bei den Frauen deutlich niedriger aus als bei den Männern. Ursache hierfür ist möglicherweise, dass aufgrund der weiblichen Hormone Östrogen und Progesteron die Ventilation stimuliert (Schoene et al., 1981) und deshalb die Sauerstoffsättigung nicht so stark abgesenkt wird wie bei Männern (Böning et al., 2004). Frauen reagieren deshalb nur in höheren Lagen mit einem Ansteigen der tHb-Masse (Böning et al., 2001). Es ist aber bemerkenswert, dass in 1500 m Höhe überhaupt eine messbare Steigerung der tHb-Menge stattfand, da in der Literatur erst in Höhen ab 2100 m von Anstiegen berichtet wird. Allerdings muss angemerkt werden, dass die Probandenzahl, vor allem bei den Männer ( $N = 4$ ), zu klein war, um aussagekräftige Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Kranke und Verletzte zeigten im Vergleich zu den Gesunden einen sehr geringen bis gar keinen Anstieg der tHb-Menge (Gesund:  $+ 6,3 \pm 3,6 \%$ , Krank:  $+ 1,4 \pm 3,1 \%$ ). Ausschlaggebend hierfür könnte das Immunsystem sein. Generell werden, ausgelöst durch einen Infekt oder eine Verletzung, proinflammatorische Zytokine (IL-1 $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , TNF $\alpha$ ) vermehrt ausgeschüttet, die die Erythropoese unterdrücken und langfristig sogar zu einer Anämie führen können (Sawka et al., 2000). Das würde bedeuten, dass die Sportler, die sich in der Höhe verletzt haben oder erkrankten, auf Grund des Zytokineinflusses weniger rote Blutkörperchen bilden konnten. Es wird auch ein Trend ( $p = 0,75$ ) deutlich, dass die EPO-Konzentration der erkrankten und verletzten Sportler gegenüber den gesunden verringert war. Allerdings zeigen die in der Höhe verletzten oder erkrankten Athleten keine Verringerung der tHb-Menge

( $1,4 \pm 3,1$  %) unter ihren Ausgangswert. Demzufolge könnte dieses Ergebnis trotzdem auf einen positiven Höheneffekt hinweisen, da eine gleiche Erkrankung oder Verletzung auf Meereshöhe wahrscheinlich zu einer negativen Veränderung der tHb-Menge geführt hätte.

Bei der vorliegenden Untersuchung konnte nach 6 Tagen noch kein Anstieg der tHb-Menge festgestellt werden. In der Regel dauert es aber auch 5 - 7 Tage bis ein neugebildeter Erythrozyt in den Blutkreislauf gelangt (Lewis, 1989). Nach der ersten Woche stieg die tHb-Menge um 0,5 % pro Tag bis zum Ende des Trainingslagers an. Am Ende des 3-wöchigen HTL konnte noch kein Plateau der Hämoglobineubildung festgestellt werden, was darauf hindeutet, dass die tHb-Menge bei längerer Höhendauer noch weiter angestiegen wäre. Aus diesen Daten kann geschlussfolgert werden, dass vom hämatologischen Standpunkt aus ein HTL mindestens 3 Wochen dauern sollte. Fraglich bleibt weiterhin, wie lang es dauert, bis der Organismus völlig an die Höhe angepasst ist und die tHb-Menge nicht mehr ansteigt.

Bei den Schwimmern konnten auch noch nach 3 Wochen 50 % des Höheneffekts festgestellt werden. Dieses Ergebnis könnte hilfreich für die Planung des zeitlichen Abstandes zwischen einem HTL und einem Wettkampf sein.

## Literatur

- Böning, D., Cristancho, E., Serrato, M., Reyes, O., Mora, M., Coy, L., & Rojas, J. (2004) Hemoglobin mass and peak oxygen uptakes in untrained and trained female altitude residents. *International journal of sports medicine*, 25, 561-568.
- Böning, D., Rojas, J., Serrato, M., Ulloa, C., Coy, L., Mora, M. & Hütler, M. (2001). Hemoglobin mass and peak oxygen uptake in untrained and trained residents of moderate altitude. *International journal of sports medicine*, 22, 1-7.
- Friedmann, B., Frese, F., Menold, E., Kauper, F., Jost, J. & Bärtsch, P. (2005). Individual variation in the erythropoietic response to altitude training in elite junior swimmers. *British journal of sports medicine*, 39, 148-153.
- Hopkins, W. A spreadsheet for analysis of straightforward controlled trials. A new view of statistics. [newstats.org/otherrems.html](http://newstats.org/otherrems.html) . 2003.
- Lewis, S.M. (1989). Erythropoiesis. In A.V. Hoffbrand & S.M. Lewis (Ed.), *Postgraduate Haematology* (pp. 7-8). London: Heinemann.
- Sawka, M.N., Convertino, V.A., Eichner, E.R., Schnieder, S.M. & Young, A.J. (2000). Blood volume: importance and adaptations to exercise training, environmental stresses, and trauma /sickness. *Medicine and science in sports and exercise*, 32, 332-348.
- Schmidt, W. & Prommer, N. (2008). Effects of various training modalities on blood volume. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18, 57-69.
- Schmidt, W. & Prommer, N. (2005). The optimised CO-rebreathing method: a new tool to determine total haemoglobin mass routinely. *European journal of applied physiology*, 95, 486-495.
- Schoene, R.B., Robertson, H.T., Pierson, D.J. & Peterson, A.P. (1981). Respiratory drives and exercise in menstrual cycles of athletic and nonathletic women. *Journal of applied physiology*, 50, 1300-1305.

