

Entwicklung eines energetisch orientierten Anforderungsprofils im Eiskunstlaufen (AZ 070706/10)

Mario Hermsdorf¹, Sabine Spiegel², Karin Knoll³, Andreas Ehrig³
& Ulrich Hartmann (Projektleiter)¹

¹ Universität Leipzig, Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der
Sportarten II, Sportwissenschaftliche Fakultät

²Olympiastützpunkt Berlin

³Institut für Angewandte Trainingswissenschaft e. V. Leipzig

Problem

Das im Jahr 2005 eingeführte neue Wertungssystem der International Skating Union (ISU) zieht erhebliche Konsequenzen für den Wettkampf und verschiedene Bereiche des Trainings im Eiskunstlaufen nach sich (Knoll & Kretschmer, 2009). Demnach ist die Bewertung der Kürpräsentation umso höher zu bewerten, je später im Verlauf der vierminütigen Kür der Schwierigkeitsgrad der jeweiligen Elemente präsentiert wird. Daher ist die Forderung zu erheben, auch in der zweiten Hälfte der Kürpräsentation eine möglichst stabile Technik auf hohem motorischem Niveau zu präsentieren. Für die physische Leistungsfähigkeit ergibt sich als Folge die Forderung eines möglichst hohen konditionellen Niveaus.

Im Hinblick auf die Leistungsstruktur im Eiskunstlaufen finden sich teilweise immer noch alte Zahlen über die Aufteilung der drei Energiebereitstellungswege (Dal Monte, 1983 in Bompa, 1999). In Anlehnung an Keul (1975) beziffern sich die Anteile der Energiebereitstellung für ein Zeitfenster im Bereich einer fünfminütigen Kür auf ca. 20 % aerob, ca. 10-30 % anaerob laktazid und ca. 60-80 % anaerob alaktazid.

Diese Fakten sind und waren der Deutschen Eiskunstlauf-Union (DEU) bekannt und sie sah zwischen den aktuellen Forderungen und dem vorhandenen Können und Wissen eine große Lücke. Aus diesem Grund wurde auf Bitten der DEU dieses Forschungsprojekt in enger Kooperation mit dem Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) und dem Olympiastützpunkt Berlin (OSP-Berlin) durchgeführt.

Die Ziele und Absichten des Forschungsprojekts waren

1. die Überarbeitung der physiologischen/stoffwechelorientierten Kenngrößen im Eiskunstlaufen,
2. die Erhebung des aktuellen physiologischen Status Quo bei Kaderathleten bzw. -athletinnen mittels Laborleistungsdiagnostik,
3. die Erhebung physischer Belastungskomponenten mittels Gasstoffwechsel, Nachbelastungslaktatkonzentration und Herzfrequenz bei tatsächlichen Eiskunstlaufbelastungen (Kürbelastungen),
4. die qualitative Bewertung der Sprünge und Sprungkombinationen mittels biomechanischer Parameter.

Methode

Die Bestimmung des Gasstoffwechsels bzw. der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_{2,max}$) im Labor erfolgte im Rahmen der Durchführung eines Vita Max Tests auf einem Laufband. Zur Ermittlung des Ausdauerleistungsniveaus wurde ein submaximaler Stufentest mit Spirometrie im Labor durchgeführt. Die maximale individuelle Laktatbildungsrate wurde mittels supramaximaler Leistung über einen 70-m-Sprint abgeschätzt. Die Bewegungsqualität der Sprünge und Sprungkombinationen als wettkampfrelevantes Außenkriterium wurde über eine 3D-Videoanalyse bestimmt und anhand von biomechanischen Parametern und Technikkriterien objektiviert. Bei einer Kür auf dem Eis als Wettkampfsimulation wurden der Gasstoffwechsel, das Laktat, die Herzfrequenz und die Laufwege und Geschwindigkeiten erfasst.

Messequipment & Datenerfassung

Letzteres erfolgte über einzelne Streckenabschnitte einer Eiskunstlaufkür mittels des Local Position Measurement (LPM) Systems der Firma InMotio (Niederlande), welches in der Eisschnelllaufhalle in Berlin installiert ist. Die Genauigkeit, mit der die Position der Sportlerinnen und Sportler bestimmt wird (± 5 cm), wird durch eine Erfassungsfrequenz von bis zu 1.000 Hz erreicht. Die Daten werden rechnergestützt gespeichert und dann für die weitere Analyse aufbereitet.

Zur Erfassung des Gasstoffwechsels während der gesamten Kürbelastung diente ein portables telemetrisches Spirometriesystem MetaMax 3B der Fa. Cortex Biophysik GmbH (Deutschland). Zudem erfolgte vor, während und nach den Kürbelastungen eine Aufzeichnung der jeweiligen Herzfrequenz; unmittelbar vor Beginn der jeweiligen Kür und im Anschluss an die jeweiligen Belastungen fand die Erhebung der Blutlaktatkonzentration nach bekanntem Schema (Mader et al., 1976) statt. Die Analyse der Flug- und Stützzeiten erfolgte mit einer Bild-Zeit-Analyse aus digitalisierten Videoaufnahmen (Knoll, 2007).

Die biomechanischen Analysen der Sprünge basieren auf 3D-Analysen mit zwei synchronisierten Kameras (DV-Camcorder Panasonic, Aufnahme Frequenz 50 Hz). Die Körperpunkterfassung mittels Software „Mess3D“ (Institut für Angewandte Trainingswissenschaft) gestattet zoom- und schwenkbare Aufnahmen, wie sie auf der 30 x 60 m Eisbahn in der Kür notwendig sind.

Probanden

Für die Untersuchungen standen fünf männliche und sechs weibliche Eiskunstläufer (B-, C- und D/C-Kader) zur Verfügung. Alter, Größe und Gewicht sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1. *Alter, Größe und Gewicht der Probanden (Mw. \pm SD)*

	Gesamt	weibliche Probanden	männliche Probanden
N	11	6	5
Alter [Jahre]	16,4 \pm 2,5	15,8 \pm 1,5	17,1 \pm 3,4
Größe [cm]	164,5 \pm 6,9	161,0 \pm 2,2	168,7 \pm 8,5
Gewicht [kg]	56,9 \pm 7,5	54,5 \pm 5,9	59,7 \pm 9,0

Kalkulation & Bestimmung des individuellen Stoffwechselumsatzes

Basierend auf den individuellen leistungsdiagnostischen Befunden bzw. metabolischen Gegebenheiten können in Anlehnung an Beneke et al. (2002), Ciba-Geigy (1985), di Prampero (1981), di Prampero und Ferretti (1999), Knuttgen, (1970), Margaria et al. (1933), Margaria und Edwards (1934), Roberts und Morton (1978) und Stegemann (1991) die drei Anteile der Energiebereitstellung berechnet werden.

Ergebnisse

In Folge werden exemplarisch die Ergebnisse eines Labortests und der Kür dargestellt. Dabei erreichte der Proband bei dem Vita-Max-Test auf dem Laufband und bei der Kür die aus Tab. 2 ersichtlichen Werte. In Abb. 1 sind der Verlauf der Parameter Herzfrequenz (HF), Geschwindigkeit (v), Atemminutenvolumen (VE) und Sauerstoffaufnahme (VO_2) während der Kür dargestellt.

Tab. 2. Maximal erreichte Werte für den Vita-Max-Test und für die Kür des Probanden 2

	Vita-Max-Test	Kür
Laktat [mmol/l]	11,5	11,4
t [min:s]	04:17	04:10
HF [1/min]	201	200
VE [l/min]	104,5	114,1
VO_2 [l/min]	3,61	3,73
rel. VO_2 [ml/min/kg]	62,3	64,3

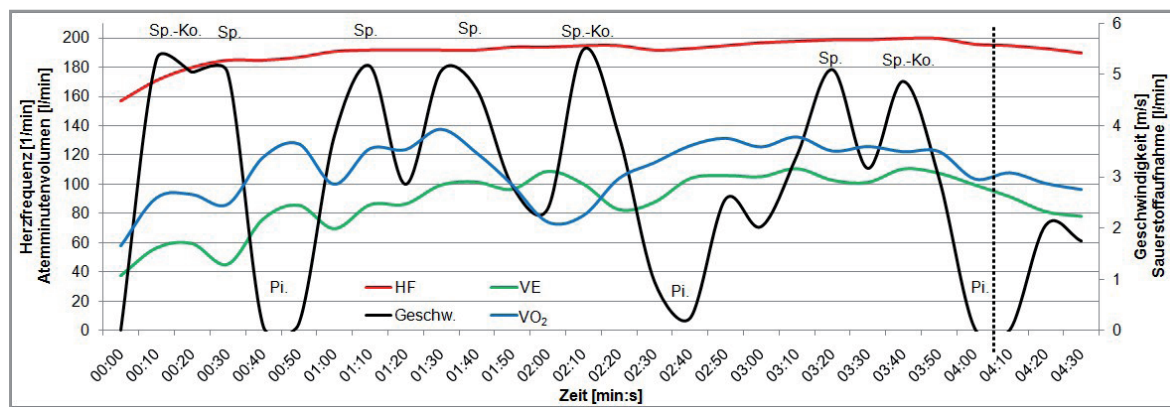


Abb. 1. Gemittelte Werte für die Herzfrequenz (HF), Geschwindigkeit (v), Atemminutenvolumen (VE) und Sauerstoffaufnahme (VO_2) während der Kür, Proband 2 (Sp.: Sprung; Sp.-Ko.: Sprungkombination; Pi.: Pirouette)

Die über die Videoanalyse generierten Ergebnisse für die Abfluggeschwindigkeit, Steighöhe, Flugzeit und Kniewinkelverlauf für diesen Probanden zeigen relativ konstante Werte beim Vergleich der ersten Hälfte der Kür zur zweiten.

In Tab. 3 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen einzelner Parameter im Vita-Max-Test im Vergleich zur Kürpräsentation aller Probandinnen und Probanden ersichtlich.

Tab. 3. *Maximal erreichte Werte (Mw. \pm SD) für den Vita-Max-Test und für die Kür im Vergleich (N = 5)*

	Vita-Max-Test			Kür		
Laktat [mmol/l]	10,1	\pm	3,1	9,7	\pm	2,5
t [min:s]	03:41	\pm	00:38	03:46	\pm	00:15
HF [1/min]	198,0	\pm	4,1	194,0	\pm	7,7
VE [l/min]	99,1	\pm	13,1	98,6	\pm	13,9
VO ₂ [l/min]	3,19	\pm	0,68	3,21	\pm	0,69
rel. VO ₂ [ml/min/kg]	58,3	\pm	6,1	59,0	\pm	7,4

Unter Zugrundelegung der unter 2.3 aufgeführten Berechnungsmodalitäten können die jeweiligen Anteile der Energiebereitstellungsmechanismen wie folgt quantifiziert werden:

aerobe Energieanteil: $W_{AER} = 180,4 \pm 58,4$ kJ 74,1 \pm 5,1 %

anaerob-laktazider Energieanteil: $W_{BLC} = 28,4 \pm 10,9$ kJ 11,6 \pm 2,9 %

anaerob-alaktazider Energieanteil: $W_{PCR} = 33,0 \pm 6,9$ kJ 14,3 \pm 3,6 %.

Dies ergibt einen Anteil von ca. 70-80 % für den aeroben Energieanteil, ca. 8-14 % für den anaerob-laktazider Anteil und ca. 11-18 % für den anaerob-alaktazider Teil.

Die biomechanische Auswertung über die 3D-Videoanalyse zeigt, dass sich die Sprünge der zweiten Kürhälfte tendenziell von der ersten unterscheiden, bspw. verringern sich die Abfluggeschwindigkeiten und Flugzeiten in der zweiten Kürhälfte.

Diskussion

Die Ergebnisse des Projektes zeigen zunächst deutlich, dass sich die Probandinnen bzw. Probanden während der Kür (Wettkampfsimulation) erheblich bis nahezu vollständig ausbelasten müssen. Dies wird anhand den erreichten Sauerstoffaufnahmen und Herzfrequenzen im Vergleich zu den Laboruntersuchungen ersichtlich. Bei fast allen Testpersonen weisen die entsprechenden Bezugsparameter bereits in der ersten Hälfte der Kür nahezu maximale Werte auf, eine Erholung im weiteren Verlauf der Kür ist – wie vielfach angenommen – nicht zu verzeichnen. Inwiefern dies am Küraufbau oder an den konditionellen Fähigkeiten der Athletinnen und Athleten lag, müsste durch weitere Untersuchungen versucht werden zu klären.

Auffällig sind die Mittelwerte der Sauerstoffaufnahme (absolute sowie relative) der Kür im Vergleich zum Vita-Max-Test. Diese sind in der Kür gering höher als die, die über einen spezifischen Test für die Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme gemessen wurden. An der Stelle kann nur vermutet werden, dass nicht alle Testper-

sonen bei dem Vita-Max-Test, welcher auf einem Laufband stattfand, ihre maximale Sauerstoffaufnahme erreichen konnten. Dies ist denkbar, z. B. bei einem Abbruch auf Grund von koordinativen Problemen mit der hohen Laufgeschwindigkeit. Des Weiteren könnte die Spezifik der Belastung beim Vita-Max-Test im Vergleich zur Kür ausschlaggebend sein. Es ist nicht unmittelbar dieselbe Bewegung wie die beim Eislaufen. Letzteres wurde bereits über Jahre intensiv trainiert und somit motorisch auf einem sehr hohen Niveau automatisiert.

In der Einzelauswertung ist nur eine Probandin mit den folgenden Werten für die Sauerstoffaufnahme auffällig: Vita-Max-Test 2,4 l/min; Kür 2,9 l/min. Auf Grund der geringen Probandenzahl beeinflussen diese Werte den Mittelwert umso stärker.

Weiter konnte deutlich gezeigt werden, dass während einer Kür der aerobe Energieanteil wesentlich größer ist als bisher angenommen (Dal Monte, 1983 in Bompa, 1999). Mit einem 70-80 %-Anteil nimmt er den größten Part der Energiebereitstellung ein. Die anaerobe Energiebereitstellung kommt auf ca. 20-30 %. Somit spielt der oxidative/aerobe Part der Energiebereitstellung (und somit die sog. Ausdauer) eine wesentlich bedeutsamere Rolle als bisher angenommen. Besonders unter Berücksichtigung des seit 2005 geltenden Bewertungssystems spielt dieses Faktum für die Bedeutung der aeroben Leistungsfähigkeit bzw. Ausdauer eine entscheidende Rolle mit weitreichenden Konsequenzen.

Weitere Untersuchungen bei Wettkampfsimulationen und im Training sind notwendig, um die energetischen Einflüsse von einzelnen Sprüngen und anderen Elementen zu untersuchen und eine entsprechende Einordnung vornehmen zu können. Denkbar ist auch, dann einen energetisch individuellen und optimalen Küraufbau zu erarbeiten bzw. Normtabellen für die jeweils physiologisch orientierten leistungsrelevanten Rahmenbedingungen von Eiskunstläuferinnen und -läufern zu entwickeln bzw. diese individuell zu modifizieren.

Literatur

- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithäuser, R. M. & Hütler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate anaerobic test for humans? *European journal of applied physiology*, 87, 388-392.
- Bompa, T. O. (1999). *Periodization: Theory and methodology of training*. 4th Ed. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ciba-Geigy (1985). *Wissenschaftliche Tabellen Geigy. Teilband Körperflüssigkeiten*. (Scientific tables Geigy, Volume body fluids). Ciba-Geigy, Basel, 225-228.
- Dal Monte (1983). *The functional values of sport*. Firenze: Sansoni.
- di Prampero, P. E. (1981). Energetics of muscular exercise. *Reviews of physiology, biochemistry and pharmacology*, 89, 143-222.
- di Prampero, P. E. & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration physiology*, 118, 103-115.
- Keul, J. (1975). Die Bedeutung des aeroben und anaeroben Leistungsvermögens für Mittel- und Langstreckenläufer(innen). *Lehre der Leichtathletik 17&18*, pp 593-632.
- Knoll, K. (2007). Stabilität von Dreifach-Dreifach-Sprungkombinationen im Eiskunstlaufen. *Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft*, 14 (2), 98-112.
- Knoll, K. & Kretschmer, A. (2009). *Weltmeisterschaften im Eiskunstlaufen*. Forschungsbericht. Leipzig: IAT.
- Knuttgen, H. G. (1970). Oxygen debt after submaximal exercise. *Journal of applied physiology*, 29, 651-657.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P. & Hollmann, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. *Sportarzt Sportmedizin*, 27, 80-88, 109-112.
- Margaria, R., Edwards, H. T. & Dill, D. B. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American journal of physiology*, 106, 689-715.
- Margaria, R. & Edwards, H. T. (1934). The removal of lactic acid from the body during recovery from muscular exercise. *American journal of physiology*, 107, 681-686.
- Roberts, A. D. & Morton, A. R. (1978). Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *European journal of applied physiology*, 38, 281-289.
- Stegemann, J. (1991). *Leistungsphysiologie. Physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports (Physiological basics of exercise)*. Stuttgart: Thieme.