

Alexandra Eberhardt

(2. Preisträgerin Referate Studierende)

Einfluss von Frequenzerhöhung und Ermüdung auf die phasenzeitliche Struktur der 1-1 Skatingtechnik¹

Summary

In cross-country skiing the final sprint is getting more and more important for the outcome of the race. For reaching high speeds the arm and leg thrust has to be timed optimally. In the current study V2 skating technique of 13 national cross-country skiers (German Ski Association) were recorded by inertial sensors before and after exhaustion of upper body. Fatigue and changes in frequency of movement lead to variations in timing of arm and leg thrust during V2 skating. Athletes use individual strategies to compensate fatigue state of the upper body.

Zusammenfassung

Aktuelle Entwicklungstendenzen der Sportart Skilanglauf deuten darauf hin, dass Zielsprints vermehrt zu einem rennentscheidenden Faktor werden. Zur Realisierung maximaler Bewegungsgeschwindigkeiten auf der Zielgeraden gilt es, die einzelnen Körperteilbewegungen zeitlich optimal aufeinander abzustimmen. Mit Hilfe eines Inertialmesssystems wurde die zeitliche Struktur der Bewegungstechnik 1-1 Skating von 13 C-Kader-Athleten² (Skilanglauf, Deut-

¹ Betreuerin der Arbeit ist Frau Prof. Dr. Maren Witt, Institut für Allgemeine Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig.

² Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

scher Skiverband) vor und nach einer Ausbelastung erfasst. Die Ergebnisse zeigen sowohl frequenzabhängige als auch ermüdungsbedingte Veränderungen der phasenzeitlichen Struktur. Die Einzelfallanalyse weist auf individuelle Kompensationsmechanismen unter Ermüdung hin.

Schlagworte: 1-1 Skating, zeitliche Struktur, Bewegungsfrequenz, Ermüdung

1. Einleitung

Der zunehmende Popularitätsgewinn von Wettkampfformaten, wie Massensstarts und Verfolgungsrennen, im Skilanglauf hat zur Konsequenz, dass Rennen zunehmend auf der Zielgeraden entschieden werden. Der Leistungsfaktor *sportliche Technik* rückt damit mehr und mehr in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen (Lindinger, 2006). Es gilt, den Bewegungsablauf auf der Zielgeraden trotz Ermüdung und maximaler Bewegungsfrequenz effizient zu gestalten. Da die Vortriebsleistung im Skilanglauf in Kombination von Arm- und Beinarbeit erzeugt wird, spielt die zeitliche Koordination von Körperteilbewegungen eine entscheidende Rolle. Nur bei optimaler Aneinanderreihung der einzelnen Körperteilimpulse können hohe mittlere Systemgeschwindigkeiten erzeugt werden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Einfluss von Frequenzerhöhung und Ermüdung auf die zeitliche Struktur der 1-1 Skatingtechnik zu untersuchen, um Aussagen über die zeitliche Stabilität der technikspezifischen Zyklusstruktur treffen zu können.

2. Theoretische Vorbetrachtungen

Die 1-1 Skatingtechnik wird durch vier verschiedene Körperteilbewegungen (Funktionsphasen) charakterisiert (Lindinger, 2006). Zu den Funktionsphasen gehören die *Gleitbeinextension (GBE)*, *Beinabstoßflexion (BAF)*, *Beinabstoßextension (BAE)* und der *Doppelstockschub (DSS)*. Ein 1-1 Skatingzyklus wird definiert vom Zeitpunkt des Aufsetzens beider Stöcke (Beginn des DSS) bis zum übernächsten Stocksetzen. Ein Zyklus beinhaltet somit zwei Doppelstockschübe sowie einen Beinabdruck von jeder Seite (Abb. 1). Kurz vor Beginn des DSS beginnt die BAF als Vorbereitung des Beinabdrucks. Dabei werden Hüft-, Knie- und Sprunggelenk gebeugt. Mit Erreichen der tiefsten Beugeposition beginnt noch vor Beendigung des Doppelstockschubs der Beinabdruck (BAE). Die BAE ist gekennzeichnet durch ein aktives Strecken des Hüft-, Knie- und Sprunggelenks. Es kommt zu einer zeitweiligen Überlappung des DSS und der BAE im Zyklus. Ungefähr zeitgleich mit Beendigung des DSS wird der Ski der anderen Seite gesetzt. Dies markiert den Beginn der GBE. In dieser Phase kommt es zur Gewichtsverlagerung. Durch das Aufrichten des Oberkörpers und das Rückführen der Stöcke wird die Ausgangsposition für den

nächsten DSS geschaffen. Dieser leitet die zweite Zyklushälfte ein (Lindinger, 2006).

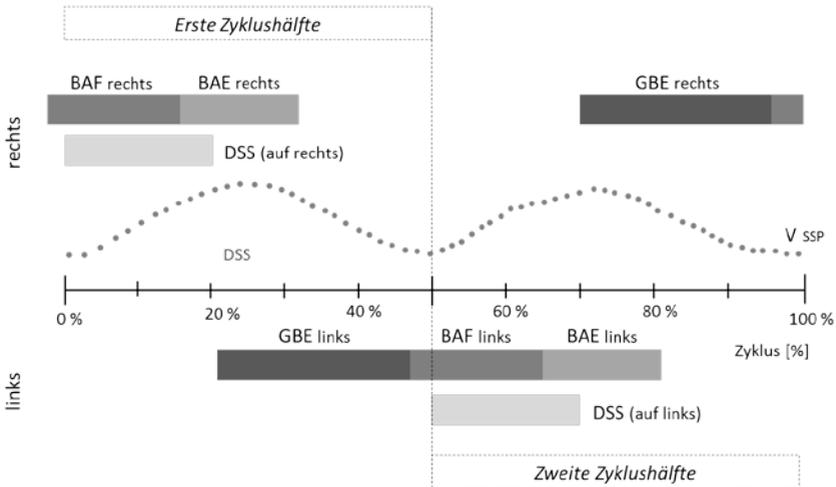


Abb. 1. Zyklusstruktur eines einzelnen 1-1 Skatingzyklus (in Anlehnung an Lindinger, 2006, S. 211)

Der 1-1 Skatingzyklus weist eine zweigipflige Geschwindigkeitscharakteristik auf. Der DSS und die BAE führen zum Anstieg der Systemgeschwindigkeit und gelten damit als Antriebsphasen der 1-1 Skatingtechnik. Während der GBE fällt die Geschwindigkeit des Systemschwerpunktes (SSP) ab. Die GBE und die BAF sind als antriebslose Phasen im Zyklus zu betrachten.

3. Problemstellung

Für die Gestaltung eines zweckmäßigen Antriebs in der 1-1 Skatingtechnik müssen die Antriebsphasen zeitlich optimal aufeinander abgestimmt werden. Im Hinblick auf Frequenzveränderungen im Wettkampf (z. B. bei Zwischenstarts) und auftretende Ermüdungserscheinungen stellt sich die Frage, welchen Einfluss diese veränderten Bedingungen auf die zeitliche Struktur des Bewegungsablaufs im Einzelzyklus haben. Die Mehrheit der Untersuchungen zur Bewegungstechnik im Skilanglauf konzentriert sich auf Zyklusparameter, wie Zyklusfrequenz oder Zyklusgeschwindigkeit (u. a. Hegge, Ettema, De Koning, Rognstad, Hoset, Sandbakk, 2014; Åsan Grasaas, Ettema, Hegge, Skovereng & Sandbakk, 2014; Leirdal, Sandbakk & Ettema, 2013). Welche Auswirkungen eine Frequenzerhöhung und Ermüdung auf die zeitliche Struktur der Antriebsphasen hat, findet hingegen bisher keine Berücksichtigung

oder wird nur unvollständig behandelt. Zudem liegen zum Teil konträre Untersuchungsergebnisse vor (Sandbakk, Etema & Holmberg, 2012; Stöggl & Müller, 2009). Daraus ergibt sich der Forschungsbedarf für die vorliegende Untersuchung.

4. Methodisches Vorgehen

Im Rahmen einer Interventionsstudie (Feldtest) mit Prä-Post-Design wurde die Bewegungstechnik *1-1 Skating* von 13 Sportlern (7 m, 6 w; 18,5 Jahre) des C-Kaders Skilanglauf auf Skirollern erfasst. Zur Initiierung einer Ermüdungssituation der oberen Extremitäten diente ein standardisiertes Testverfahren des Deutschen Skiverbandes. Dazu absolvierten die Sportler einen Armschubtest auf einem kippbaren Laufband. Die Ausbelastung der oberen Extremitäten erfolgte unmittelbar vor dem Post-Test. Zur Erfassung der zeitlichen Struktur der Bewegungstechnik kam ein Inertialsensorsystem der Firma *Xsens*, bestehend aus 17 Einzelsensoren, zum Einsatz (Abb. 2).

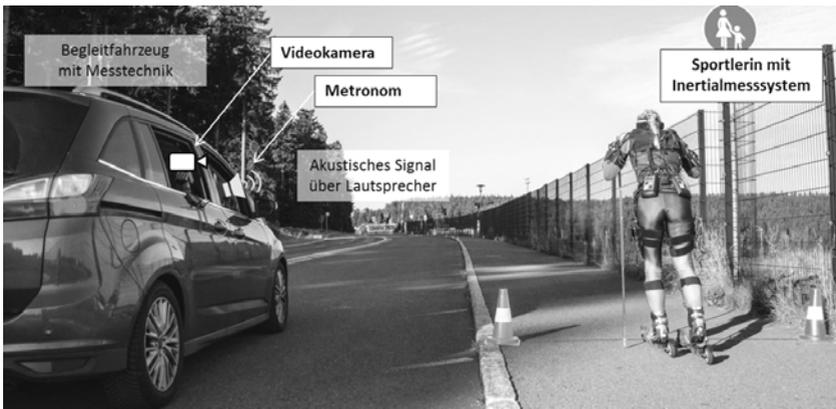


Abb. 2. Sportlerin mit Inertialmesssystem auf der Messstrecke begleitet von einem Fahrzeug

Mit Hilfe einer automatischen Auswertroutine wurden im Nachgang die Funktionsphasen der *1-1 Skating*technik erfasst. Die Standardisierung erfolgte über eine akustische Frequenzvorgabe (50 bpm, 60 bpm, 70 bpm). Einen Versuch absolvierten die Sportler in der von ihnen maximal realisierbaren Bewegungsfrequenz (max). Die Messdaten wurden in einem Begleitzeug am Laptop (Software: MVN Studio 3.3) erfasst. Die Prüfung der Mittelwertunterschiede bei Frequenzerhöhung erfolgte mit Hilfe einer ANOVA mit Messwiederholung. Die Mittelwertunterschiede zwischen Prä- und Post-Test wurden mittels gepaarter T-Tests geprüft.

5. Hauptergebnisse

5.1 Frequenzerhöhung

Bei Erhöhung der Bewegungsfrequenz kommt es zu einer Veränderung des relativen Anteils der Funktionsphasen am 1-1 Skatingzyklus (Abb. 3). Der prozentuale Anteil der GBE nimmt mit Zunahme der Bewegungsfrequenz signifikant ab ($p = .002$; $p = .003$). Die prozentualen Anteile der BAF ($p = .018$; $p = .015$) und BAE ($p = .000$) nehmen hingegen bei Frequenzerhöhung signifikant zu. Der DSS weist keinen frequenzabhängigen Trend auf.

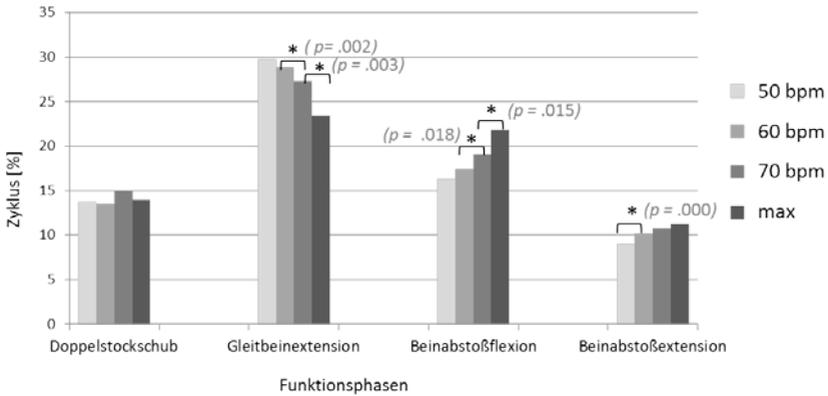


Abb. 3. Veränderung des relativen Anteils der Funktionsphasen am 1-1 Skatingzyklus bei Erhöhung der Bewegungsfrequenz (* weist auf ein signifikantes Ergebnis im Mittelwertvergleich hin)

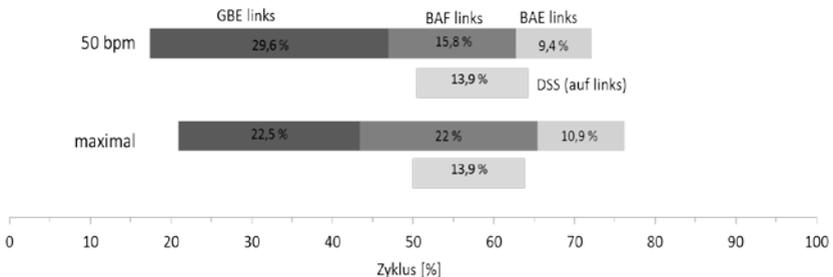


Abb. 4. Zyklusstruktur der 1-1 Skatingtechnik bei langsamer und maximaler Bewegungsfrequenz exemplarisch dargestellt für die linke Seite

Neben der Veränderung der prozentualen Phasenanteile sind auch Veränderungen in den relativen Positionen der jeweiligen Funktionsphase im Zyklus zu

beobachten (Abb. 4). In der niedrigsten Frequenz (50 bpm) ist eine Überlap-
 pung des DSS und der BAE zu erkennen. Mit zunehmender Bewegungsfre-
 quenz verringert sich diese Überlappung. In der maximalen Frequenz ist keine
 Überlappung mehr vorhanden. Die beiden Funktionsphasen rücken im Zyklus
 auseinander und es entsteht eine zeitliche Lücke.

5.2 Ermüdung

Beim Vergleich der Zyklusstrukturen der 1-1 Skatingtechnik im Prä- und im
 Post-Test wird deutlich, dass die auftretenden Veränderungen individuell sehr
 unterschiedlich sind und keinem Gruppentrend folgen. Einige Sportler zeigen
 im maximalen Versuch eine Erhöhung der Bewegungsfrequenz, während ande-
 re ihre Frequenz verringern. Ebenso zeigen sich individuelle Veränderungen in
 der zeitlichen Struktur der Funktionsphasen. Abb. 5 stellt exemplarisch die
 Zyklusstruktur einer Sportlerin im Prä- und im Post-Test dar. Die Sportlerin
 realisiert im Post-Test eine geringere Bewegungsfrequenz als im Prä-Test.

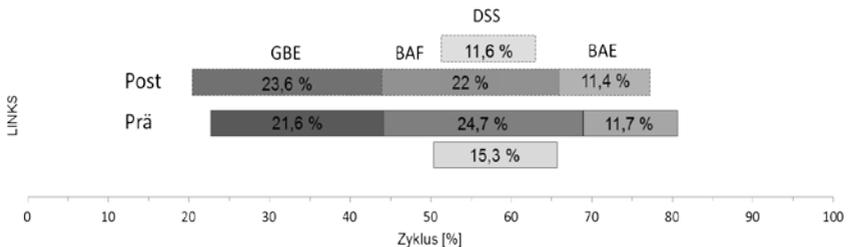


Abb. 5. Zyklusstruktur von Sportlerin 1 bei maximaler Bewegungsfrequenz im Prä-
 und im Post-Test; zur Vereinfachung ist exemplarisch die linke Seite darge-
 stellt

Es ist zu erkennen, dass die prozentualen Anteile der BAF, BAE und des DSS
 im Post-Test tendenziell abnehmen. Der relative Anteil der GBE wächst im
 Post-Test an.

6. Diskussion & Schlussfolgerungen

6.1 Frequenzerhöhung

Die relativen Anteile der Funktionsphasen GBE, BAF und BAE am Bewe-
 gungszyklus verändern sich mit zunehmender Bewegungsfrequenz. Es kommt
 zu einer Abnahme des prozentualen Anteils der antriebslosen Gleitphase
 (GBE) bei gleichzeitiger prozentualer Zunahme des Anteils der Antriebsphase

der unteren Extremitäten (BAE). Die Anteile der GBE und BAF verändern sich bereits bei geringen Frequenzerhöhungen (um 10 bpm) signifikant. Die Phase der BAE zeigt hingegen erst bei größeren Frequenzänderungen einen signifikanten Zuwachs. Der Doppelstockschub weist als einzige Funktionsphase keine Frequenzabhängigkeit auf. Dies lässt darauf schließen, dass der DSS ein stabiles Element in der 1-1 Skatingtechnik zu sein scheint, dessen relativer Anteil am Zyklus nicht von der Bewegungsfrequenz abhängt.

Die Verschiebung der Antriebsphasen bei zunehmender Bewegungsfrequenz weist auf eine veränderte Antriebsgestaltung im Einzelzyklus hin. Die Überlappung des DSS und der BAE bei langsamer Bewegungsfrequenz deckt sich mit den Ergebnissen von Lindinger (2006). Bei maximaler Bewegungsfrequenz hebt sich die Überlappung auf. Die Antriebsphasen werden zeitlich nacheinander ausgeführt und der Antriebsweg somit insgesamt verlängert. Zugleich entsteht jedoch eine Unterbrechung in der Antriebsgenerierung. Erhöhte Geschwindigkeitsschwankungen im Einzelzyklus können die Folge sein. Zum Erzielen hoher Systemgeschwindigkeiten sind jedoch möglichst geringe innerzyklische Geschwindigkeitsschwankungen anzustreben (Clauß & Hermann, 2006). Welche Auswirkungen die veränderte Antriebsgestaltung auf die innerzyklische Geschwindigkeitscharakteristik hat, kann anhand der Untersuchungsergebnisse nicht abschließend beurteilt werden.

6.2 Ermüdung

Unter ermüdeten Bedingungen zeigen sich vorrangig individuelle Veränderungen in der phasenzeitlichen Struktur der 1-1 Skatingtechnik. Der Gruppenmittelwert ist daher zur Betrachtung der phasenzeitlichen Veränderungen eher ungeeignet. Gemäß den Erwartungen verkürzt sich bei der oben beispielhaft dargestellten Sportlerin der prozentuale Anteil des DSS am Zyklus. Es ist anzunehmen, dass die Arme aufgrund der Ermüdung nicht mehr vollkommen durchgeschoben werden können. Der Doppelstockschub wird früher beendet als im Prä-Test. Dies trifft jedoch nicht auf alle Probanden zu. Ermüdung scheint daher individuelle Kompensationsmechanismen hervorzurufen.

Die ermüdungsbedingten Veränderungen in der phasenzeitlichen Struktur der Probanden lassen Parallelen zu den frequenzabhängigen Veränderungen erkennen. Die Einzelfallbetrachtung zeigt im Post-Test bei allen Sportlern eine veränderte Bewegungsfrequenz im maximalen Versuch. Zudem verändern sich die prozentualen Anteile der Funktionsphasen am Zyklus. Eine Abnahme der Bewegungsfrequenz (vgl. Sportlerin 1) resultiert in einer prozentualen Zunahme der antriebslosen Gleitphase (GBE) und einer Abnahme der vortriebswirksamen Beinstreckung (BAE). Ermüdung scheint somit primär einen Einfluss auf die Bewegungsfrequenz zu haben. In Folge dessen kommt es zu Veränderungen in der Zyklusstruktur der 1-1 Skatingtechnik.

In unserer Untersuchung konnten wir erstmalig zeigen, dass sich unter maximalen Bewegungsfrequenzen auch in der 1-1 Skatingtechnik Abweichungen vom Technikmodell ergeben. Ob die auftretende zeitliche Trennung der beiden Hauptantriebsphasen eine Optimierungsstrategie darstellt oder der Tatsache geschuldet ist, dass die zeitliche Koordination von DSS und BAE nicht mehr optimal gelingt, gilt es in weiterführenden Untersuchungen zu klären.

Literatur

Asan Grasaas, C., Ettema, G., Hegge, A. M., Skovereng, K. & Sandbakk, Ø. (2014). Changes in technique and efficiency after high-intensity exercise during roller ski skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9 (1), 19–24.

Clauß, M. & Herrmann, H. (2006). Die Skatingtechniken 2006. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch – Forschungsförderung 2007/08* (161–166). Bonn.

Hegge, A. M., Ettema, G., De Koning, J. J., Rogstad, A. B., Hoset, M. & Sandbakk, Ø. (2014). The effects of the arm swing on biomechanical and physiological aspects of roller ski skating. *Human Movement Science*, 36, 1–11.

Leirdal, S., Sandbakk, Ø. & Ettema, G. (2013). Effects of frequency on gross efficiency and performance in roller ski skating. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 23 (3), 295–302.

Lindinger, S. (2006). *Biomechanische Analysen von Skatingtechniken im Skilanglauf*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.

Sandbakk, Ø., Ettema, G. & Holmberg, H.-C. (2012). The influence of incline and speed on work rate, gross efficiency and kinematics of roller ski skating. *European Journal of Applied Physiology*, 112 (8), 2829–2838.

Stöggli, T. L. & Müller, E. (2009). Kinematic determinants and physiological response of cross-country skiing at maximal speed. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (7), 1476–1487.

Verfasser

Eberhardt, Alexandra, FB Nachwuchsleistungssport, Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig