

AUTOMATISCHE ERKENNUNG VON BEWEGUNGSPHASEN BEIM SKIROLLER LAUFEN MITTELS EINER INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU)

M. Jedelsky¹, J. Langer¹

¹ Fachhochschule Technikum Wien, Wien, AUT

1 Kurzfassung

Es gibt im Skilanglauf – sowohl in klassischer, als auch in der Skating Technik – laut sportwissenschaftlicher Literatur drei Bewegungsphasen: Abstoß-, Schwung- und Gleitphase.

Diese Bewegungsphasen finden sich auch beim Laufen mit Skiroller – der Alternative in der schneefreien Zeit.

Für biomechanische Untersuchungen oder Analysen der sportlichen Technik werden diese Bewegungsphasen normalerweise mittels Videoanalyse bestimmt.

Ziel dieser Arbeit war es aufgrund der zyklisch wiederkehrenden Beschleunigungsverläufe im Skilanglauf Abdruck-, Schwung- und Gleitphase mit einer Inertial Measurement Unit (IMU) zu detektieren, wenn sich der Langläufer gleichmäßig fortbewegt. Durch diese elektronische Erfassung könnten andere messtechnisch unterstützte Biomechanikanalysen synchronisiert werden. Weiters könnte die Effizienz des Athleten über einen längeren Zeitraum erfasst und analysiert werden.

Der IMU-Sensor wurde lateral am Schuh appliziert um den ganzen Bewegungsradius des Fußes zu erfassen.

Mit Hilfe eines Algorithmus wurden die gewonnenen Daten – Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten – zuerst gefiltert und die Erdbeschleunigung entfernt. Danach wurden die Daten in Abschnitte eingeteilt. Diese Abschnitte wurden anhand von Eigenschaften (Steigungen) den Phasen zugeteilt. Die Übergänge zwischen den Abschnitten wurden ermittelt und so den Phasenübergängen zugeordnet. Anhand der Phasenübergängen wurden die Schrittdauer, die Schrittzahl, sowie die zeitlichen Anteile der Phasen ermittelt.

2 Einleitung

Die Forschungsfrage, die zu diesem Projekt gestellt wurde lautet:

Ist es möglich mit Hilfe der Daten eines IMU-Sensors verschiedene Bewegungsphasen im Skilanglauf automatisiert zu erkennen?

Die Hypothese zu dieser Frage lautet:

Aufgrund der zyklisch wiederkehrenden Beschleunigungsverläufe im Skilanglauf lassen sich die Abdruck-, Schwung- und Gleitphase mittels eines Algorithmus detektieren, wenn sich der Langläufer gleichmäßig fortbewegt.

Die Motivation für das Projekt liegt darin, dass es für immer mehr Sportarten die Möglichkeit gibt, mit Hilfe von Messtechnik die Bewegung zu messen, aufzuzeichnen und anschließend zu analysieren. Diese Bewegung kann durch die ermittelten Daten in trainingsrelevante Kennwerte überführt werden und kann somit das Training verbessern.

Skilanglauf ist ein Ausdauersport bei dem sich ein Athlet durch Rückstoß von Ski und Stöcken fortbewegt. Die Gesamtbewegung lässt sich dabei nach Schwirtz (2006) in fünf einzelne Bewegungsphasen einteilen. Mit den Beinen erfolgt eine Abstoßphase gefolgt von einer Schwungphase und eine Gleitphase. Zusätzlich gibt es eine Armabstoßphase und eine Schwungphase mit dem Arm. Da bei diesem Projekt ein IMU-Sensor am Schuh appliziert wurde und somit keine Bewegung in den Armen gemessen wurde werden im weiteren Verlauf die Bewegungsphasen der Arme nicht mehr berücksichtigt und das Modell reduziert sich somit auf drei Bewegungsphasen.

In diesem Projekt wurde die Skating Technik 1:1 untersucht. Die 1:1 Skating-Technik wird so ausgeführt, dass bei jedem Skating-Schritt ein Doppelstockeinsatz gemacht wird. Die Erklärung der Phasen erfolgt anhand der Abbildung Die

Gleitphase beginnt hier mit dem Aufsetzen des Skis. Das Hüft-, Knie- und Sprunggelenk sind hierbei leicht flexiert. Nach dem Aufsetzen verlagert der Athlet seinen Körperschwerpunkt zentral auf den Gleitski, was im zweiten Bild zu sehen ist. Dabei versucht der Athlet zusätzlich seinen Körperschwerpunkt zu erhöhen und dies gelingt durch eine Extension in Hüft-, Knie- und Sprunggelenk. Die Abstoßphase beginnt damit, dass die Gelenke wieder flexiert werden und der Schwerpunkt nach vorne verlagert wird. Dann erfolgt wieder die explosionsartige Extension der Gelenke mit gleichzeitigem Verlagern des Körperschwerpunkts auf den anderen Ski, der sich zu diesem Zeitpunkt in der Gleitphase befindet. Diese Bewegung sieht man im vierten Bild. Die Schwungphase findet zwischen den Bildern vier und fünf statt. Dabei beschleunigt der Athlet den Ski wieder aktiv nach vorne bis er ihn flach und möglichst sanft aufsetzt um die Gleitphase einzuleiten.



Abbildung 1: Bewegungsablauf beim 1:1 Skating-Schritt (Bilodeau, Boulay, & Roy, 199)

Da die Beine im Langlauf stets symmetrisch sein sollte. Smith (1992) hat die Dauer der Bewegungsphasen für die vier Gliedmaßen optisch untersucht. In Abbildung zeigt sich, dass bei seinen Untersuchungen der Unterschied zwischen beiden Beinen von 2,8% Dauer eines Zyklus beträgt.

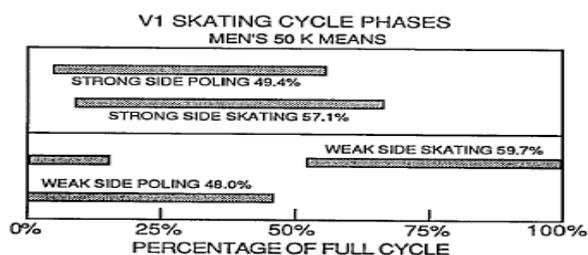


Abbildung 2: Prozentueller Anteil der Bewegungen der Arme und Beine an einem gesamten Zyklus (Smith, 1992)

3 Methoden

Für die Studie wurde folgendes Equipment verwendet:

- Samsung Galaxy S4 GT-19505(Daegu, Süd Korea)
- K330 3-axis (3D Beschleunigungssensor) (STMicroelectronics, Genf, Schweiz)
- K330 3-axis (3D Gyroskop) (STMicroelectronics, Genf, Schweiz)
- Start Skating 80 Skiroller (Västervik, Schweden)
- Matlab, Version 7.11.0 R2010b (Natick, Massachusetts, USA)

Die Messungen wurden im flachen Gelände durchgeführt. Die Streckenlänge betrug 60m. Die Messung wurde 10x wiederholt.

Der Proband ist männlich, 24 Jahre alt und hat jahrelange Erfahrung im Skilanglauf. Es kann davon ausgegangen werden, dass der Proband alle Techniken sehr gut beherrscht und reproduzierbare Messungen ermöglicht.

Der Beschleunigungssensor wurde am Schuh auf Höhe des malleolus lateralis des rechten Fußes angebracht.



Abbildung 3: Positionierung des Beschleunigungssensors am Fuß

Die Synchronisierung Stampfen des Probanden mit dem rechten Bein. Am Ende der Messung wurde das Stampfen vom Probanden wiederholt.

Der benutzte IMU setzt sich aus einem 3D-Beschleunigungssensor und einem 3D-Gyroskop zusammen welche standardmäßig in einem Samsung Galaxy S4 Handy eingebaut sind. Mittels Open Source App GPS+IMU Stream können diese abgefragt und auf den internen Speicher gespeichert werden.

Die Abtastfrequenz wurde mit 100Hz gewählt. Um sicher zu stellen, dass diese Abtastfrequenz ausreicht würde nach einer Testmessung, mittels Fast Fourier Transformation ein Amplitudenspektrum erstellt. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, ist der Großteil der vorkommenden Frequenzen kleiner als 5Hz. Daher ist die gewählte Abtastfrequenz mehr als ausreichend.

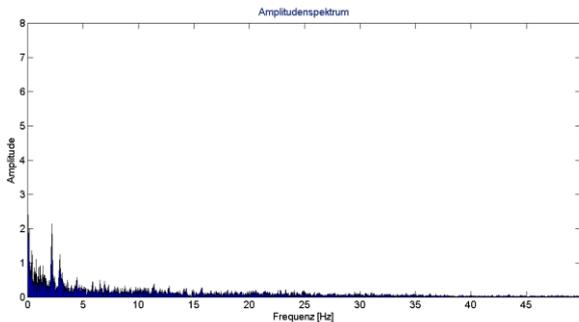


Abbildung 4: Amplitudenspektrum einer Testmessung, der Großteil der auftretenden Frequenzen des Signals ist kleiner als 5Hz

Die Rohdaten wurden mit einem Butterworth-Lowpassfilter 2. Ordnung gefiltert. Die Grenzfrequenz liegt bei 25Hz.

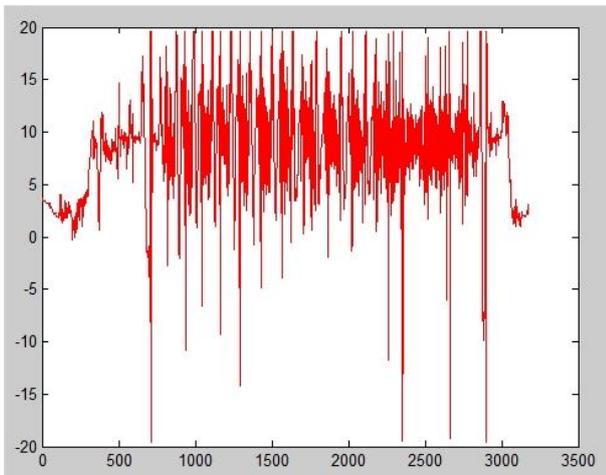


Abbildung 5: Rohdaten: Beschleunigungswerte in y-Richtung

Die gefilterten Winkelgeschwindigkeiten sind über die Zeit integriert worden umso den Winkelverlauf zu schließen.

Anhand von diesem könnte auf ein globales Koordinatensystem geschlossen werden.

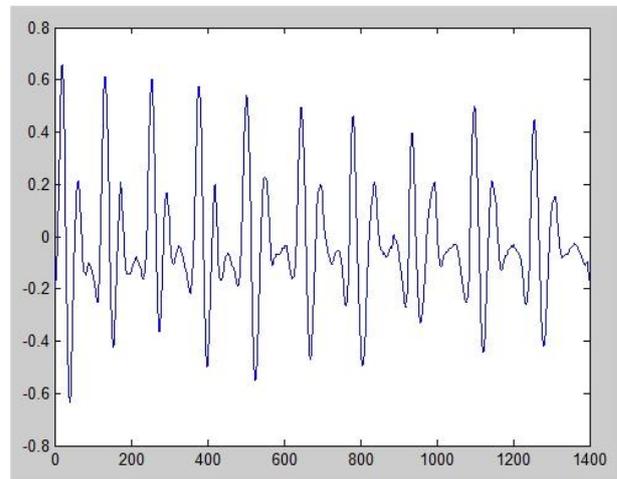


Abbildung 6: Beschleunigungsverlauf in y-Richtung: gefiltert und in ein globales Koordinatensystem gebracht.

Die Beschleunigungsdaten in Y-Richtung wurden den drei Phasen zugeordnet, diese Zuordnung erfolgte mit einer Videoanalyse der Bewegung. Zur besseren Einteilung der Phasen wurden diese drei Phasen anhand von Charakteristiken des Beschleunigungsverlaufs in je 2 Unterphasen eingeteilt. Diese Einteilung ist in Abbildung 7 zu sehen.

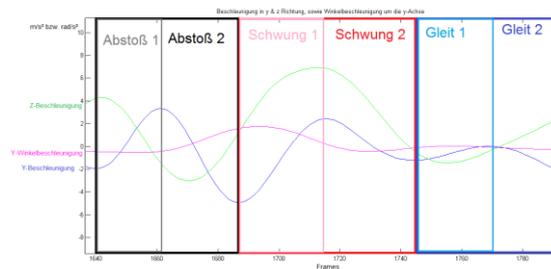


Abbildung 7: Einteilung des Beschleunigungsverlauf in y-Richtung (blau) in die drei Bewegungsphasen, mit je zwei Unterphasen. Der Beschleunigungsverlauf in Z-Richtung (grün), sowie die Winkelbeschleunigung um die y-Achse (rosa) werden zur genaueren Bestimmung der Phasen verwendet.

Je 8 Beschleunigungswerte in y-Richtung und in z-Richtung, sowie 8 Winkelbeschleunigungswerte um die y-Achse werden in einem Abschnitt zusammengefasst. Der folgende Abschnitt hat jeweils die Hälfte des vorhergegangenen Abschnittes und die 4 nächsten Werte. Danach wird ausgerechnet ob die Steigung der Beschleunigungswerte (a_y & a_z) im diesem Abschnitt positiv (Zuordnung = 1) oder negativ (Zuordnung = -1) ist. Bei den Winkelbeschleunigungsdaten (ω_y) wird berechnet ob der größte Wert des Abschnittes positiv oder negativ ist. Je nach Kombination der drei Zuordnungen wird festgestellt zu welcher Phase dieser Abschnitt gehört. In Tabelle 1 sind die Zuordnungen zu sehen.

	A1	A2	S1	S2	G1	G2
ay	1	-1	1	-1	1	-1
az	-1	1	1	-1	1	1
ωy	-	+	+	-	-	-

Tabelle 1: Zuordnungen der Eigenschaften zu der jeweiligen Phase

Sobald die einzelnen Abschnitte zu den Phasen zugeordnet wurden, wird der Übergangspunkt zwischen den Phasen ermittelt und abgespeichert. Durch die einzelnen Zeitpunkte der Phasenübergänge können so die Phasenlängen, die Schrittlängen, sowie die gesamte Schrittzahl berechnet werden.

4 Ergebnisse

Das Ausgabefenster beinhaltet die gefilterten Daten aller 9 Freiheitsgrade (Beschleunigungsdaten, Gyroskopdaten sowie Magnetfelddaten). Die Ergebnisse der Berechnung werden in einem gelben Fenster ausgegeben. Es zeigt die durchschnittliche Schrittdauer, die Anzahl der Schritte, und den Anteil an den drei Phasen (Anstoßphase, Schwungphase und Gleitphase).

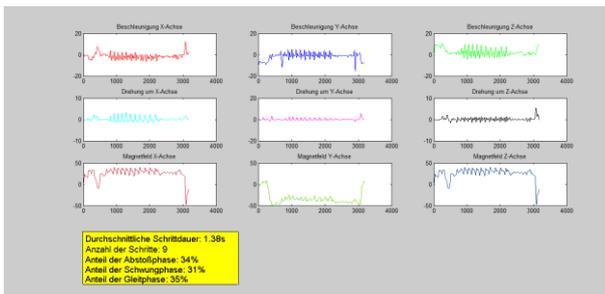


Abbildung 8: Ausgabe der gefilterten Daten in allen 9 Freiheitsgraden, sowie die Ergebnisse: Durchschnittliche

Schrittdauer, Anzahl der Schritte, sowie Anteile der einzelnen Phasen.

5 Diskussion

Die Phasenerkennung kann im Trainingsbetrieb, sowie als Grundpfeiler für Forschungsarbeiten verwendet werden. Auch im Breitensport kann diese Phasenerkennung in einer App Anwendung finden. Zusätzlich ist es möglich mit genaueren Filtermöglichkeiten auf mehrere Information zuzugreifen. Beispielsweise könnte in einer zukünftigen Anwendung Geschwindigkeit und zurückgelegter Weg angezeigt werden.

6 Literatur

- Bilodeau, B., Boulay, M. R., & Roy, B. (Dezember 1999). Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, S. 917-925.
- Doczekal, K., Kiefl, M., Kolbinger, K., & Kühnhauser, M. (Jänner 2012). Druckverteilung in verschiedenen Langlaufschuhen bei unterschiedlichen Techniken. (I. f. Fachhochschule Technikum Wien, Hrsg.) Wien.
- Schwartz, A. (2006). *DSV Lehrplan Skilanglauf, Technik-Methodik-Training*. Planegg: Deutscher Skiverband.
- Smith, G. A. (April 1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, S. 1015-1022.