

MACHBARKEITSSTUDIE: ERKENNUNG VON BEWEGUNGSPHASEN IM SKILANGLAUF MITTELS EINES BESCHLEUNIGUNGSSENSORS

E. Felsner¹, M. Jedelsky¹, J. Langer¹, L. Nestler¹, M. Postl¹, C. Schörg¹, P. Travnicek¹, L. Weißenböck

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 werden bei Bewegungsanalysen normalerweise mittels Videoanalyse bestimmt.

Ziel dieser Arbeit war es aufgrund der zyklisch wiederkehrenden Beschleunigungsverläufe im Skilanglauf Abdruck-, Schwung- und Gleitphase mit nur einem Beschleunigungssensor 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 Beschleunigungssensor wurde am Schuh appliziert um den ganzen Bewegungsradius des Fußes zu erfassen.

Die Daten wurden mittels Datalogger aufgezeichnet. Mit Hilfe eines Algorithmus wurde versucht im Beschleunigungsverlauf die einzelnen Schritte (Zyklen) zu erkennen. Erfasste Zyklen sind danach statistisch überprüft worden ob sie in die Auswertung einfließen können. Die gemittelten Zyklen sind danach auf Wendepunkte im Verlauf überprüft worden umso die Phasen zu detektieren.

In den Ergebnissen – soweit es möglich war – werden Zyklusdauer, Phasenlängen und Eliminationsverhältnis ausgegeben.

2 Einleitung

Die Forschungsfrage, die zu diesem Projekt gestellt wurde lautet:

Ist es möglich mit Hilfe der Daten eines 3D-Beschleunigungssensors die Bewegungsphasen bei verschiedenen Techniken 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. Dies findet zum Beispiel im Laufsport oder im Fußball Anwendung. Da dies im Langlauf bisher noch nicht angewendet wurde ist es das Ziel herauszufinden mit Hilfe welcher Messtechnik welche Bewegungen analysiert werden können.

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 Beschleunigungssensor 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 wurden vier verschiedene Langlauftechniken untersucht. In der klassischen Technik wurden der Diagonalschritt und die Doppelstocktechnik mit Zwischenschritt untersucht. In der Skating Technik wurden die Messungen bei der 1:1-Technik und bei der asymmetrischen 2:1-Technik durchgeführt. Die drei Bewegungsphasen beim Diagonalschritt lassen sich in Abbildung 1 erkennen. Im ersten Bild sieht man den Übergang zwischen Gleitphase und Abstoßphase im rechten Bein. In der Abstoßphase verlagert der Athlet den Körperschwerpunkt auf

den Ski, mit dem abgestoßen wird. Dann erfolgt eine kurze Flexion im Kniegelenk, die man im zweiten Bild sehen kann, gefolgt von einer explosionsartigen Extension im Kniegelenk und Sprunggelenk, die man im dritten Bild erkennen kann. Hat der Fuß den höchsten Punkt erreicht und somit kurzzeitig keine Geschwindigkeit in vertikaler Richtung auftritt, ist die Abstoßphase zu Ende und geht in die Schwungphase über. In dieser Phase, welche zwischen Bild drei und vier zu sehen ist, beschleunigt der Athlet den Ski aktiv nach vorne und versucht ihn möglichst flach und sanft in die Spur aufzusetzen. Dies ist gleichzeitig der Übergangspunkt zwischen Schwung- und Gleitphase. In der Gleitphase nutzt der Athlet den Vortrieb durch den Abstoß des anderen Beines um zu gleiten. Diese Phase ist im fünften Bild zu erkennen, welches gleichzeitig das erste Bild ist.



Abbildung 1: Bewegungsablauf beim klassischen Diagonalschritt (Bilodeau, Boulay, & Roy, 199)

Die Doppelstocktechnik mit Zwischenschritt ist eine Mischung aus der eben erklärten Diagonaltechnik und dem Doppelstockschub. Beim Doppelstockschub erfolgt der Vortrieb hauptsächlich aus den Armen. Mit den Beinen wird nur eine veränderte Gleitphase ausgeführt. Für die Bewegungsphasen der Beine bedeutet dies bei der Doppelstocktechnik mit Zwischenschritt, dass die Gleitphase durch den Doppelstockeinsatz länger wird und dadurch der gesamte Bewegungszyklus.

Die 1:1 Skating-Technik wird so ausgeführt, dass bei jedem Skating-Schritt ein Doppelstockeinsatz gemacht wird. Die Bewegungsphasen der Beine bleiben die gleichen und werden nur anders ausgeführt als beim klassischen Langlauf. Die Erklärung der Phasen erfolgt anhand der Abbildung 2. Die Gleitphase beginnt auch hier mit dem Aufsetzen des Skis wie im ersten Bild. 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 2: Bewegungsablauf beim 1:1 Skating-Schritt (Bilodeau, Boulay, & Roy, 199)

Bei der asymmetrischen 2:1 Technik wird bei jedem zweiten Schritt ein Doppelstockschub ausgeführt, der jedoch nicht wie sonst mit beiden Stöcken gleichzeitig und symmetrisch sondern sowohl zeitlich versetzt, als auch asymmetrisch ausgeführt wird. In Abbildung 3 ist der Bewegungsablauf abgebildet. Für das rechte Bein ist auch hier die Gleitphase auf dem ersten Bild zu erkennen. Vom zweiten auf das dritte Bild erfolgt die Abstoßphase, die im vierten Bild abgeschlossen wird und in die Schwungphase übergeht. Diese reicht wieder vom höchsten Punkt des Fußes bis zum Aufsetzen des Skis auf dem Untergrund.



Abbildung 3: Bewegungsablauf beim 2:1 Skating asymmetrisch (Bilodeau, Boulay, & Roy, 199)

Für die Messungen wurde entschieden nur einen Beschleunigungssensor auf einem Schuh zu applizieren, da die Bewegung der Beine im Langlauf stets symmetrisch sein sollte. Smith (1992) hat die Dauer der Bewegungsphasen für die vier Gliedmaßen optisch untersucht. In Abbildung 4 zeigt sich, dass bei seinen Untersuchungen der Unterschied zwischen beiden Beinen von 2,8% Dauer eines Zyklus beträgt.

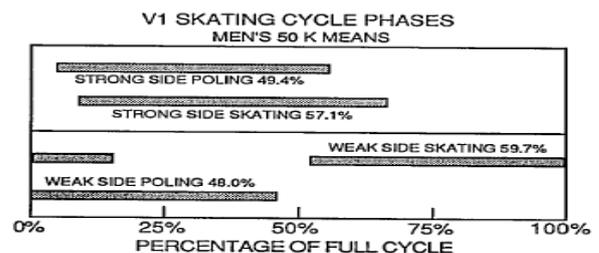


Abbildung 4: Prozentueller Anteil der Bewegungen der Arme und Beine an einem gesamten Zyklus (Smith, 1992)

3 Methoden

Für die Studie wurde folgendes Equipment verwendet:

- MMA7260Q (3D Beschleunigungssensor) (Freescale Semiconductor Inc. A1, Austin, Texas, USA)
- Datalogger Logomatic V2 (SparkFun Electronics, Boulder, Colorado, USA)
- 9V Batterie Duracell Ultra Power (Procter & Gamble, Cincinnati, Ohio, USA)
- Widerstände
- Canon Legria HF S21E Handycam (Canon, Tokyo, Japan)
- Fischer RCS classic 2,2 m, FA: 37 kg (Fischer, Ried im Innkreis, Österreich)
- Atomic Skate Worldcup 1,86m, FA: 34 kg (Atomic, Altenmarkt am Zauchensee, Österreich)
- Matlab, Version 7.11.0 R2010b (Natick, Massachusetts, USA)

Mit klassischer Technik und Skating-Technik wurden jeweils im flachen und im steilen Gelände Messungen durchgeführt. Die vom Proband ausgeführten Techniken beim klassischen Stil sind Diagonalschritt und Doppelstock mit Zwischenschritt. Beim Skating wurde vom Proband die 1:1 Technik und die 2:1 Technik (asymmetrisch). Die Messungen im flachen Gelände fanden auf einer Strecke von 50m Länge. Die Steigung des steilen Geländes betrug im Durchschnitt 12,5%, maximal 22% bei einer Länge von 35m.

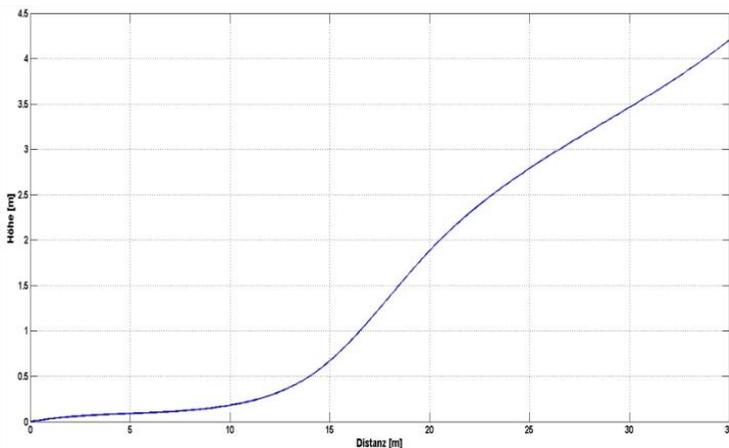


Abbildung 5: Höhenprofil der Teststrecke bergauf, kurzes Flachstück zu Beginn um bergauf eine gleichmäßige Bewegung zu gewährleisten

Die Loipe war sehr kompakt präpariert und da alle Messungen innerhalb von 2 Stunden durchgeführt wurden kann von keiner relevanten Veränderung des Schnees ausgegangen werden.

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.

Für jede Technik beziehungsweise Steigung wurden 10 Wiederholungen aufgezeichnet.

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

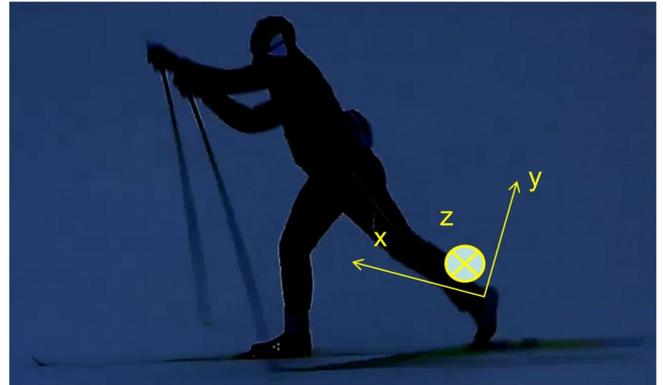


Abbildung 6: Positionierung des Beschleunigungssensors am Fuß, das Koordinatensystem dreht sich aufgrund der Rotation des Fußes mit

Die Synchronisierung der Daten des Beschleunigungssensors mit dem Video erfolgte durch ein Aufeinanderfolgendes Stampfen des Probanden mit dem rechten und dem linken Bein. Am Ende der Messung wurde das Stampfen vom Probanden wiederholt.

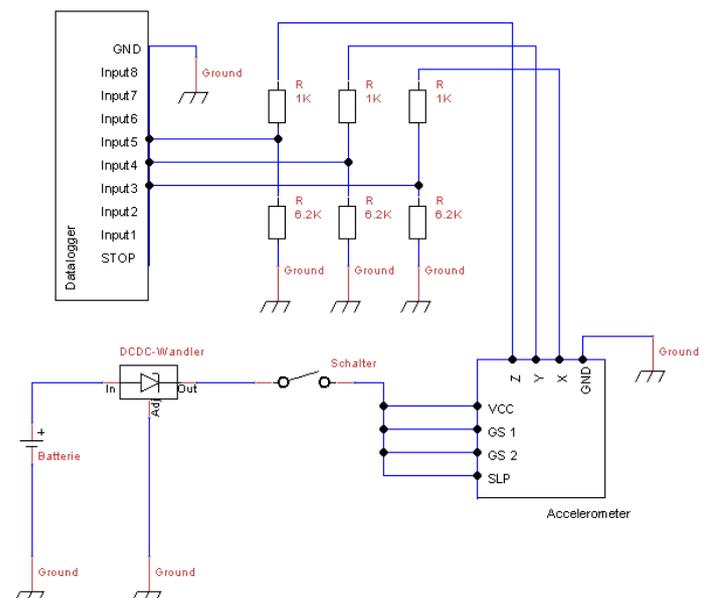


Abbildung 7: schematischer Schaltungsaufbau

Als Spannungsquelle wurde eine 9 V Blockbatterie genutzt. Zur Spannungsreglung wurde ein DCDC-

Wandler zwischengeschaltet, der eine maximale Eingangsspannung von 12V auf 3V reduziert. Um Spannungsspitzen beim Anstecken der Blockbatterie zu verhindern, wurde ein Schalter integriert. Zur Erfassung der Beschleunigungswerte wurde ein Accelerometer MMA7260Q (Freescale Semiconductor, Austin, TX, Vereinigte Staaten) verwendet.

Um die Daten aufzunehmen wurde jeweils ein Eingang des Dataloggers Logomatic v2 (Sparkfun electronics, Boulder, CO, Vereinigte Staaten) mit den x-, y- und z- Ausgängen des Beschleunigungssensors verbunden, wobei eine zusätzliche Spannungsreglung mittels Spannungsteiler geschaltet wurde. Die vom Sensor gelieferten Daten werden so lange aufgenommen bis der STOP – Pin des Dataloggers mit dem Ground verbunden wird, gleichzeitig wird dadurch eine neu angelegte Datei beschrieben.

Die Abtastfrequenz des Dataloggers 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 7 zu sehen ist, ist der Großteil der vorkommenden Frequenzen kleiner als 5Hz. Daher ist die gewählte Abtastfrequenz mehr als ausreichend.

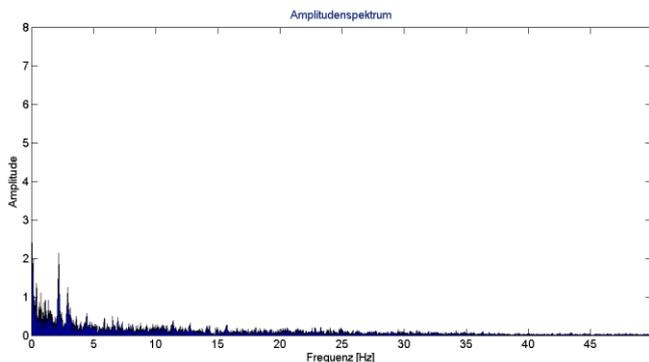


Abbildung 8: Amplitudenspektrum einer Testmessung, der Großteil der auftretenden Frequenzen des Signals ist kleiner als 5Hz

Die Daten aus dem Datalogger werden mit einem Moving Average Filter geglättet und auf die Einheit g umgerechnet. Danach werden die einzelnen Schritte erfasst. Hierfür wird von den Beschleunigungsdaten der x-Achse ein Plateau gesucht. Dies geschieht indem ein Puffer um eins erhöht wird, sobald die Steigung der Datenkurve einen Grenzwert unterschreitet. Sobald der Puffer die vorgegebene Größe erreicht, wird ein Plateau deklariert. Nun wird die nächste Steigung, die einen Grenzwert überschreitet, erkannt und sollte vorher ein Plateau deklariert worden sein, wird das Ende des Schrittes definiert. Danach wird die

Länge der einzelnen Schritte bestimmt. Aus der Länge von allen Schritten wird ein Mittelwert und eine Standardabweichung berechnet. Sämtliche Schritte, deren Länge außerhalb der Standardabweichung liegen, werden in den weiteren Berechnungen nicht inkludiert. Die Prozentzahl der für die weiteren Berechnungen herangezogenen Schritte wird als Eliminationsverhältnis am Anzeigefenster angeben. Dieser Wert ist ein statistischer Wert, der in der Langlaufanalyse als Maß der Schrittlängenregelmäßigkeit herangezogen werden kann. Nachdem alle, für die Berechnung herangezogenen, Schritte zeitnormalisiert wurden, wird der mittlere Verlauf der Beschleunigung in x- und y-Richtung mit der Standardabweichung berechnet und geplottet. Durch die Erkennung der Wendepunkt der Beschleunigungsdaten in y-Richtung werden die einzelnen Phasen innerhalb des gemittelten Schrittes detektiert. Der Anteil der einzelnen Phasen, sowie die durchschnittliche Schrittdauer werden berechnet und im Anzeigefenster dargestellt.

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse teilen sich in zwei Teile – erstens in einen Klassisch-Teil und einen Skating-Teil.

Ausgewertet wird die Erkennung der einzelnen Zyklen (Schritte), und aus den gemittelten Zyklen die Erkennung der einzelnen Bewegungsphasen.

Zusätzlich werden auch die einzelnen Phasenlängen und die durchschnittliche Zyklusdauer ausgegeben. Um die Qualität der Ergebnisse zu bewerten wird auch zusätzlich das Eliminationsverhältnis angegeben. Diese gibt an wie viele der Zyklen für die Auswertung herangezogen die laut Algorithmus nicht verworfen werden.

Die Beschleunigungswerte in x-Richtung sind immer rot und die in y-Richtung immer blau erkenntlich.

Auf der x-Achse wird immer Zeit in Frames ausgegeben und auf der y-Achse die Beschleunigung in der Erdbeschleunigung (g).

Vertikale Linien in den folgenden Diagrammen zeigen erkannte Zyklen beziehungsweise Phasen an.

Klassische Technik (flach):

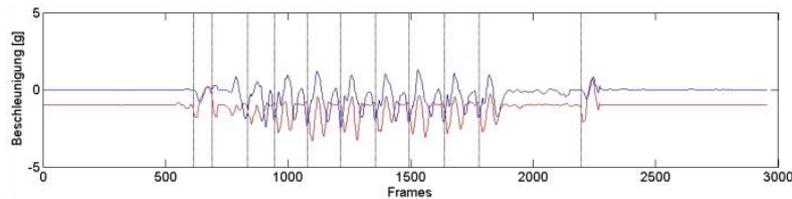


Abbildung 9: Beschleunigungsverläufe in x- und y-Richtung bei klassischer Technik (flach)

Die Graphen zeigen einen zyklischen Verlauf sobald sich der Proband gleichmäßig bewegt. Der Algorithmus erkennt die einzelnen Zyklen wie in Abbildung 9 ersichtlich.

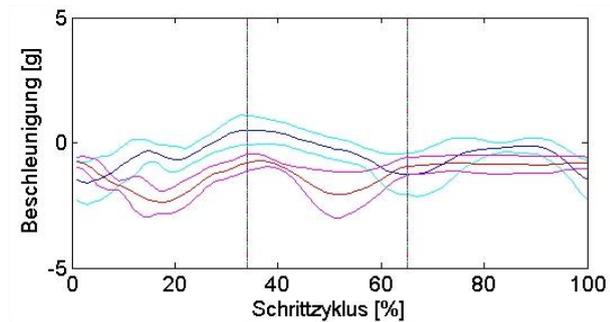


Abbildung 10: Gemittelte Beschleunigungsverläufe der zur Berechnung relevanten Zyklen.

Die gemittelten Zyklen zeigen Wendepunkte die den Algorithmus die einzelnen Phasen erkennen lassen.

Die durchschnittliche Schrittdauer beträgt 1,38s. Anteil der Abstoßphase ist 34%, Anteil der Schwungphase ist 31% und die Gleitphase hat einen Anteil von 35%.

Das Eliminationsverhältnis beträgt 50%.

Klassische Technik (bergauf)

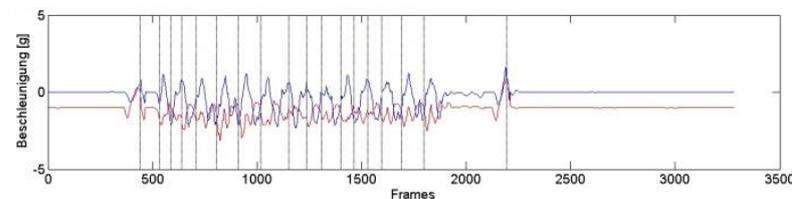


Abbildung 11: Beschleunigungsverläufe in x- und y-Richtung bei klassischer Technik (bergauf)

Die Graphen zeigen einen zyklischen Verlauf sobald sich der Proband gleichmäßig bewegt. Der Algorithmus erkennt die einzelnen Zyklen wie in Abbildung 11 ersichtlich.

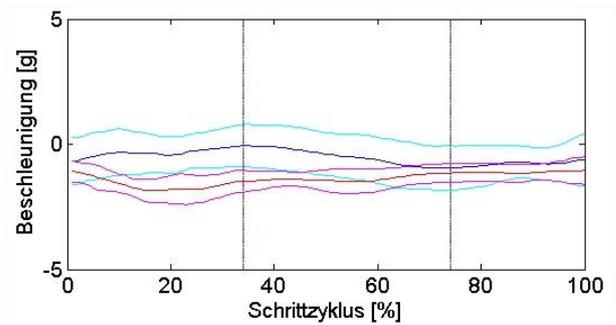


Abbildung 12: Gemittelte Beschleunigungsverläufe der zur Berechnung relevanten Zyklen.

Die gemittelten Zyklen zeigen ebenfalls Wendepunkte die den Algorithmus die einzelnen Phasen erkennen lassen. Diese sind allerdings geringer als in der Ebene.

Die durchschnittliche Schrittdauer beträgt 0,86s ist kürzer als im Flachen. Der Anteil der Abstoßphase ist 34%, Anteil der Schwungphase ist 40% und die Gleitphase hat einen Anteil von 26%.

Das Eliminationsverhältnis beträgt 59%.

Klassische Technik (Doppelstockschub mit Zwischenschritt)

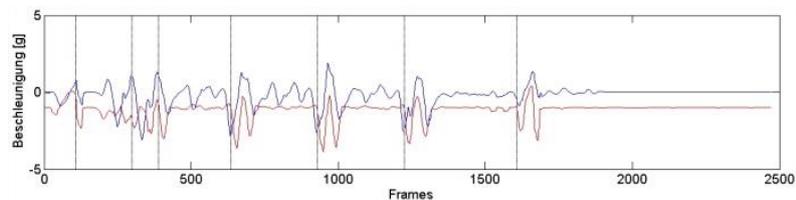


Abbildung 13: Beschleunigungsverläufe in x- und y-Richtung bei klassischer Technik mit Doppelstockschub mit Zwischenschritt.

Die Graphen zeigen einen zyklischen Verlauf sobald sich der Proband gleichmäßig bewegt. Durch die lange Gleitphase ist dieser deutlich besser sichtbar als bei anderen klassischen Techniken. Dies ist auch an der deutlich längeren Zykluszeit erkenntlich. Der Algorithmus erkennt die einzelnen Zyklen wie in Abbildung 13 ersichtlich.

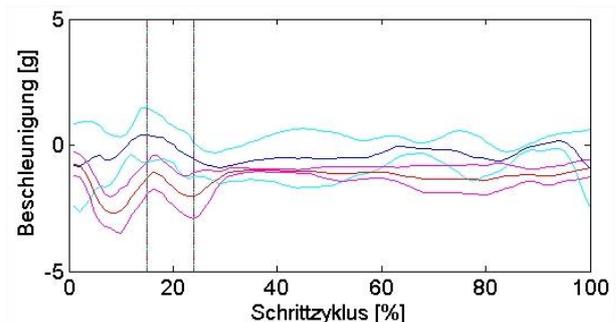


Abbildung 14: Gemittelte Beschleunigungsverläufe der zur Berechnung relevanten Zyklen.

Die gemittelten Zyklen zeigen deutliche Wendepunkte die den Algorithmus die einzelnen Phasen erkennen lassen.

Die durchschnittliche Schrittdauer ist durch die lange Gleitphase mehr als doppelt so lang wie bei diagonalen Techniken (2,71s). Dies zeigt sich auch in der Phasenaufteilung. Der Anteil der Abstoßphase ist 15%, Anteil der Schwungphase ist 9% und die Gleitphase hat einen Anteil von 76%.

Das Eliminationsverhältnis beträgt 33% was die gute Detektierbarkeit nochmal hervorhebt.

Skating Technik (flach)

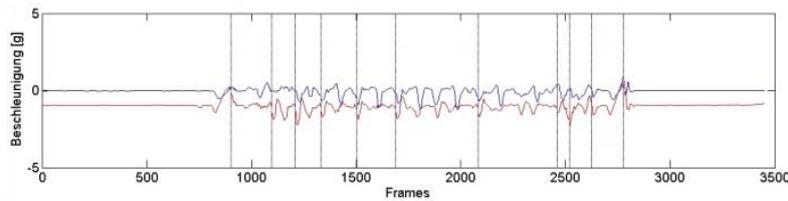


Abbildung 15: Beschleunigungsverläufe in x- und y-Richtung bei Skating Technik (flach)

Die Beschleunigungsverläufe zeigen einen zyklischen Verlauf, aber sie zeigen weder in x-Richtung noch in y-Richtung detektierbare Besonderheiten. Wie in Abbildung 15 zu erkennen, erkennt der Algorithmus nur sehr unregelmäßig die Zyklen.

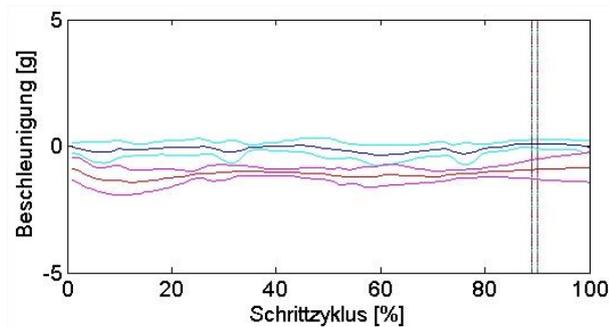


Abbildung 16: Gemittelte Beschleunigungsverläufe der zur Berechnung relevanten Zyklen.

Bei einem Eliminationsverhältnis von 50% und keinen besonderen Wendepunkten in den gemittelten Zyklen gibt der Algorithmus keine sinnvollen Bewegungsphasen aus.

Skating Technik (bergauf)

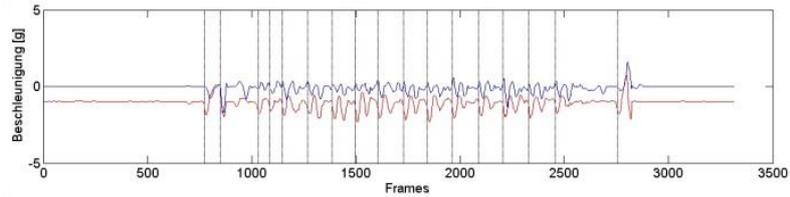


Abbildung 17: Beschleunigungsverläufe in x- und y-Richtung bei Skating Technik (bergauf)

Die Graphen zeigen einen zyklischen Verlauf sobald sich der Proband gleichmäßig bewegt. Sie zeigen in x-Richtung und in y-Richtung nur schwach detektierbare Besonderheiten. Wie in Abbildung 17 zu erkennen, erkennt der Algorithmus nur sehr unregelmäßig die Zyklen.

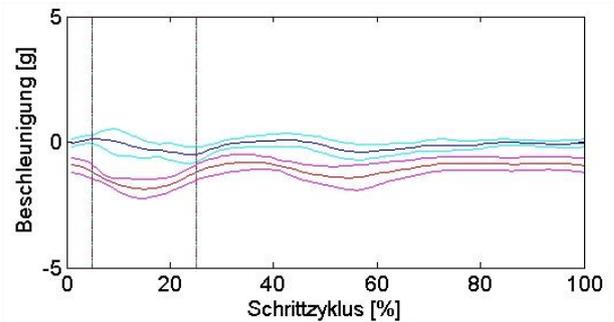


Abbildung 18: Gemittelte Beschleunigungsverläufe der zur Berechnung relevanten Zyklen.

Bei einem Eliminationsverhältnis von 69% und keinen besonderen Wendepunkten in den gemittelten Zyklen gibt der Algorithmus ebenfalls keine sinnvollen Bewegungsphasen aus.

5 Diskussion

Die Hypothese, dass aufgrund der zyklisch wiederkehrenden Beschleunigungsverläufe im Skilanglauf Abdruck-, Schwung- und Gleitphase mittels eines Algorithmus detektieren lassen, konnte nur teilweise verifiziert werden.

In der klassischen Technik lassen sich sehr gut Beschleunigungszyklen feststellen.

Allgemein kann man sagen, dass es umso leichter ist Zyklen zu detektieren umso länger die Gleitphase ist. Diese ist eine gute Möglichkeit das Ende beziehungsweise Beginn eines Zyklus zu erkennen, was für die weitere Phasenerkennung erforderlich ist. Problematisch wird es umso steiler die Loipe ist da sich die Gleitphase immer kürzer werden.

In der klassischen Technik war es möglich einen Algorithmus zu finden der die Bewegungsphasen

erkennt. Wichtig ist dabei, dass derselbe Algorithmus in jeder Variante der klassischen Technik anspricht, da man normalerweise seinen Stil permanent der Topographie der Loipe anpasst.

Aufgrund, dass die Bewegung in der klassischen Technik fast ausschließlich zweidimensional stattfindet, teilen sich die Beschleunigung nur in zwei Komponenten auf welche dadurch auch signifikantere Charakteristika mit sich bringen.

In der Skating Technik war es nicht möglich einen Algorithmus zu finden der sowohl in der 1:1 Technik als auch in der 2:1 Technik eindeutig die Bewegungszyklen erkennt. Da eine Zykluserkennung nicht gegeben war, war es auch nicht möglich einzelne Bewegungsphasen zu Erkennen. Bei einem Eliminationsverhältnis größer 50% kann nicht davon ausgegangen werden, dass die wenigen erkannten Zyklen tatsächlichen Zyklen entsprechen. Anhand der Grafik ist erkennbar, dass falsche Zykluseinteilungen zufällig dieselbe Länge haben und dadurch zur Auswertung herangezogen.

Zur Verbesserung der Sensorik könnte ein Gyroskop beitragen. Dadurch, dass sich beim bestehenden Messsetup das Koordinatensystem des Sensors andauernd mit dem Fuß mitdreht ist es schwer nachzuvollziehen was die Beschleunigungen bedeuten. Durch ein Gyroskop könnte dies kompensiert werden und so

Beschleunigungen in einem Koordinatensystem dargestellt werden welche man trivialer interpretieren kann.

Die gewonnen Daten wie Phasenlängen und Zyklusdauer könnten mit einem Höhenmesser und GPS Systemen kombiniert werden, um so Aussagen zu treffen über die Effizienz des Athleten in Abhängigkeit von Geschwindigkeit und Topographie.

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.
- Schwirtz, 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.