

MASTER THESIS

zur Erlangung des akademischen Grades
„Master of Science in Engineering“
im Studiengang Sports Equipment Technology

Biomechanische Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf in der Skating-Technik

Ausgeführt von: Julian Langer, BSc
Personenkennzeichen: 1310328024

1. Begutachter: DI(FH) Stefan Litzenberger, Msc
2. Begutachter: FH-Prof. Ing. MMag. Dr. Anton Sabo

Wien, 19.05.2015

Eidesstattliche Erklärung

„Ich, als Autor und Urheber der vorliegenden Arbeit, bestätige mit meiner Unterschrift die Kenntnisnahme der einschlägigen urheber- und hochschulrechtlichen Bestimmungen (vgl. etwa §§ 21, 46 und 57 UrhG idgF sowie § 11 Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien).

Ich erkläre insbesondere korrekt fremde Inhalte, gleich welcher Form, übernommen zu haben und bin mir bei Nachweis fehlender Eigen- und Selbstständigkeit sowie dem Nachweis eines Vorsatzes zur Erschleichung einer positiven Beurteilung dieser Arbeit der Konsequenzen bewusst, die von der Studiengangsleitung ausgesprochen werden können (vgl. § 11 Abs. 1 Satzungsteil Studienrechtliche Bestimmungen / Prüfungsordnung der FH Technikum Wien).

Weiters bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit bis dato nicht veröffentlicht und weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt habe. Ich versichere, dass die abgegebene Version jener im Uploadtool entspricht.“

Wien, 19.05.2015

Ort, Datum



Unterschrift

Kurzfassung

Der Skirollerlauf ist eine semispezifische Trainingsform des Skilanglaufs, welche vor allem für die Sommermonate entwickelt wurde. Das Ziel dieser Thesis ist es, biomechanische Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf in der Skating-Technik zu analysieren. Zu den untersuchten Skating-Techniken gehören die Eintakter-Technik und die symmetrische beziehungsweise asymmetrische Zweitakter-Technik. Die biomechanischen Unterschiede wurden unter drei verschiedenen Aspekten quantifiziert. Erstens durch die Bewegungszyklusraten, zweitens durch die Bewegungsphasenverteilungen und drittens durch die Muskelaktivitätsmuster. Für die Untersuchungen standen fünf ProbandInnen zur Verfügung, drei männliche und zwei weibliche. Um reproduzierbare Ergebnisse zu ermöglichen beherrschten alle ProbandInnen die untersuchten Skating-Techniken einwandfrei. Die Messungen im Skilanglauf und im Skirollerlauf fanden unmittelbar hintereinander statt. Bewegungszyklusraten und Bewegungsphasenverteilungen wurden mit einer, am malleolus lateralis befestigten, Inertial Measurement Unit (IMU) gemessen. Als IMU dienten die in einem Smartphone verbauten Sensoren. Die ermittelten kinematischen Parameter konnten anschließend mit einem Algorithmus den einzelnen Bewegungszyklen und Bewegungsphasen zugeordnet werden. Muskelaktivitäten wurden mittels Oberflächen-Elektromyografie (sEMG) ermittelt. Untersucht wurden zehn relevante Muskeln. Nach einer Bewertung der Muskelaktivitäten in drei Stufen, konnte ein Muskelaktivitätsmuster grafisch dargestellt werden. Dieses gab Auskunft über die zeitliche Zuordnung der Aktivitäten innerhalb eines Bewegungszyklus. Bei der Auswertung konnten in allen drei untersuchten Aspekten Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf festgestellt werden. Die Bewegungszyklusraten waren im Skilanglauf, in allen Techniken, signifikant größer. In der Bewegungsphasenverteilung wurde im Skirollerlauf, in allen Techniken, eine verlängerte Schwungphase ermittelt. Die Muskelaktivitätsmuster zeigten Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf. Diese waren allerdings in den drei jeweiligen Skating-Techniken unterschiedlich.

Schlagwörter: Skilanglauf, Skirollerlauf, Zyklusrate, Bewegungsphasen, Muskelaktivitätsmuster

Abstract

Roller skiing is a semi-specific training for cross-country skiing which was developed especially for training during summer months. The aim of this thesis is to analyze biomechanical differences between cross-country skiing and roller skiing in skating techniques. Analyzed skating techniques included the V1, V2 and V2 alternate techniques. The biomechanical differences were quantified in three different aspects. First, by cycle rates, second, by the distribution of motion phases and third, by muscle activity patterns. Five subjects (3 male, 2 female) were recruited for the study. All subjects were highly skilled in the investigated skating techniques to ensure reproducible results. Roller skiing measurements were done immediately after cross-country skiing measurements. Cycle rates and the distributions of motion phases were measured with an Inertial Measurement Unit (IMU), attached to the lateral malleolus. Built-in sensors of a smartphone served as an IMU. Measured kinematic parameters were assigned by an algorithm to each motion cycle and phase of motion. Muscle activities were determined using surface electromyography (sEMG). Ten relevant muscles were analyzed. After an assignment of muscle activities to three levels, a muscle activity pattern could be visualized. This muscle activity pattern allowed to analyze the temporal allocation of activity within a motion cycle. After evaluation, differences between cross-country skiing and roller skiing were detected in all of the three investigated aspects. Cycle rates in cross-country skiing were significantly higher. The distributions of motions phases indicate longer swing phases in roller skiing. Muscle activity patterns show differences between cross-country skiing and roller skiing. However, those differences varied in all skating techniques.

Keywords: cross-country skiing, roller skiing, cycle rate, motion phase, muscle activity pattern

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
1.1 Stand der Forschung.....	8
1.2 Forschungsfrage und Hypothesen.....	14
2 Theoretische Grundlagen.....	15
2.1 Sportliche Techniken im Skilanglauf - Skating.....	15
2.2 Kinematische und mechanische Unterschiede.....	22
2.2.1 Gleiten – Rollen.....	22
2.2.2 Aufkanten.....	23
2.2.3 Umsetzen der Ski / Skiroller.....	24
2.2.4 Stockschieben.....	25
2.2.5 Biegeeigenschaften.....	25
2.3 Kinetische Kette und Muskelaktivitätsmuster.....	25
3 Methoden.....	27
3.1 ProbandInnenauswahl.....	27
3.2 Verwendetes Ski- und Skirollerequipment.....	27
3.3 Bestimmung der Bewegungszyklen mit einer Inertial Measurement Unit.....	27
3.3.1 Bestimmung der Bewegungsphasen.....	31
3.4 sEMG Messung.....	33
3.4.1 Messsystem.....	33
3.4.2 Untersuchte Muskeln.....	33
3.4.3 Datenverarbeitung der sEMG-Daten.....	34
3.4.4 Bewertung der Muskelaktivität.....	34
3.5 Messablauf.....	37
3.6 Messstrecke und Umweltparameter.....	37
4 Ergebnisse.....	39
4.1 Bewegungszyklusraten.....	40
4.2 Verteilung der Bewegungsphasen.....	41
4.3 Muskelaktivitätsverläufe.....	42
4.4 Muskelaktivitätsmuster.....	74

5 Diskussion.....	77
6 Fazit und Ausblick.....	80
Literaturverzeichnis.....	81
Abbildungsverzeichnis.....	84
Tabellenverzeichnis.....	89
Abkürzungsverzeichnis.....	90

1 Einleitung

Den Skirollerlauf gibt es bereits seit mehreren Jahrzehnten. Er hat sich als semispezifische Trainingsform für Skilangläufer während der schneefreien Monate entwickelt. Anfang der 1990er Jahre entwickelte sich der Skiroller-Sport vom reinen Alternativtraining zur Wettkampfsportart. Wie der Skilanglauf ist heute auch der Skiroller-Sport im Internationalen Skiverband (FIS) organisiert.

Skiroller sind in zwei Varianten erhältlich: Skating-Skiroller und Klassik-Skiroller. Bindungen und Schuhe unterscheiden sich nicht von den im Skilanglauf verwendeten Produkten. Bei den Stöcken werden die herkömmlichen Spitzen gegen solche aus Hartmetall getauscht. Diese halten dem Abrieb beim Laufen auf Asphalt besser stand und haben den Vorteil der besseren Bodenhaftung.



Abbildung 1: Skating-Skiroller: Bindung und Schuhe ident mit Skilanglaufequipment, Stöcke mit Hartmetallspitzen ohne Teller. Quelle: <http://www.thueringer-wald.com/tw/bilder/ski-roller.jpg>

Beim Laufen mit Skiroller werden die Techniken des Skilanglaufs angewendet. Lediglich beim Bergabfahren gibt es Einschränkungen, da kein Bremsen im Pflug oder durch paralleles Abschwingen möglich ist. Beim Laufen in klassischer Technik gibt es außerdem Unterschiede im Setzen des Abdrucks und der Gleitphasenlänge. Weiters fehlt in der klassischen Technik die Führung durch die Skispur. In den Skating-Techniken herrscht nahezu vollkommene Übereinstimmung, aufgrund dessen man hier die besten Transfereffekte erzielt (Hottenrott & Urban, 2004).

Die Motivation für diese Arbeit ergibt sich daraus, dass Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf von Hottenrott & Urban (2004) nicht näher quantifiziert

werden. Der Grund für die Spezialisierung dieser Arbeit auf die Skating-Technik ist, dass der klassische Skirollerlauf nur noch sehr selten als semispezifische Trainingsform praktiziert wird. Wettkämpfe werden ausschließlich in der Skating-Technik abgehalten, die Ausnahme bilden dabei Bergrennen in der klassischen Technik, bei denen nur bergauf gelaufen wird. Grund dafür ist einerseits das Fehlen einer Skispur, was in Verbindung mit der kurzen Bauweise der Skiroller bei hohen Geschwindigkeiten zu einem sehr unruhigen Fahrverhalten führt. Andererseits ist das typische Herausspringen beim Doppelstockschieben nur schwer möglich.

1.1 Stand der Forschung

Die große Anzahl von messbaren Parametern, die unterschiedlichen Skilanglauf-Techniken sowie der Umstand, dass Messungen auf Schnee nur im Feld durchgeführt werden können, stellen eine große Herausforderung für umfassende biomechanische Untersuchungen dar.

Eine Analyse von Lindinger (2007) aller 345 langlaufbezogenen Publikationen der U.S. National Library of Medicine (Stand 2006) ergab, dass die Anzahl von Studien mit physiologischem Schwerpunkt, jene Studien, welche auf Biomechanik spezialisiert sind, deutlich überwiegen. Ungefähr 85% der analysierten Studien behandelten physiologische Aspekte des Skilanglaufs und nur ca. 15% biomechanische Aspekte. Biomechanische Studien können weiters nach deren Methoden kategorisiert werden. Über 50% der Studien analysierten kinematische Parameter. Dem gegenüber stehen ungefähr 30% der Studien, welche kinetische bzw. eine Kombination aus kinetischen und kinematischen Parametern analysierten. Nur ca. 20% der Studien bezogen zusätzlich Elektromyographie in ihre Studien mit ein (Lindinger, 2007).

Ein wichtiger Aspekt der Bewertung von sportlichen Techniken im Skilanglauf ist die Bewegungszyklusdauer (BZD). Oft wird in der Literatur zusätzlich die Zyklusrate beschrieben, welche sich aus dem Kehrwert der BZD ergibt. Erste Untersuchungen diesbezüglich fanden während dem 4x10km Herren-Staffel Weltcuprennen in Oslo 1986 statt. Dabei wurde in der asymmetrischen Zweitakter Skating-Technik von 10 Läufern eine gemittelte Zyklusrate von 0,84Hz gemessen (Smith, 1992).

In weiteren Analysen der Zyklusraten bei Weltcuprennen konnte ein Zusammenhang von Zyklusrate und Wettkampfdistanz festgestellt werden. Bei einem Vergleich in der symmetrischen Zweitakter Skating-Technik, in ebenem Terrain, konnte eine gemittelte Abnahme der Zyklusrate von 0,83Hz bei 15km Rennen zu 0,81Hz bei 50km Rennen beobachtet werden (Bilodeau et al., 1992).

Der Zusammenhang von Geschwindigkeit und Zyklusrate wurde sowohl beim Skilanglauf als auch im Skirollerlauf analysiert. Es wurde festgestellt, dass auf ebener Strecke mit Ski, in der symmetrischen Zweitakter Skating-Technik, von 3,5m/s bis ungefähr 5m/s die

Zyklusrate nur leicht, von 0,6Hz auf 0,65Hz, anstieg. Um eine Geschwindigkeit von 6m/s zu halten, war allerdings eine Zyklusrate von 0,9Hz nötig (Hoffman et al., 1995). Im Skirollerlauf wurde ein ähnliches Verhältnis von Geschwindigkeit und Zyklusrate beobachtet, jedoch waren die gemessenen Geschwindigkeiten durchschnittlich höher und die Zyklusraten niedriger (Smith et al., 1989; Nilsson et al. 2004; Lindinger & Holmberg, 2010).

Zusätzlich zur Geschwindigkeit beeinflussen Gleiteigenschaften der Ski bzw. die Rolleigenschaften der Skiroller die Zyklusraten. Umso größer der Gleit- bzw. Rollwiderstand ist, umso höher wird die Zyklusrate. Im Gegenzug, umso leichter man gleitet, desto niedriger die Zyklusrate. Das Spektrum der Zyklusraten in allen Skating-Techniken geht von 0,6Hz bis 1,2Hz. Höhere bzw. niedrigere Frequenzen werden im Normalfall nicht gelaufen. (Ohtonen et al., 2013).

Durch die Unterteilung der Bewegungszyklen in ihre einzelnen Bewegungsphasen ergibt sich ein weiterer Aspekt um sportliche Techniken zu analysieren. Alle Skating-Techniken lassen sich in Abstoßphase, Schwungphase und Gleitphase unterteilen (vgl. 2.1). Eine Möglichkeit ist die Feststellung der prozentuale Verteilung der Bewegungsphasen innerhalb eines Zyklus, um so die sportliche Technik zu analysieren. Der zeitliche Anteil der Schwungphase kann dabei als Grad für die Effizienz der Bewegung dienen (Stöggl & Müller, 2009).

Die zeitliche Zuordnung von kinetischen Größen während eines Bewegungszyklus kann ebenfalls für biomechanische Untersuchungen genutzt werden. In Abbildung 2 sind die Zeiträume in drei verschiedenen Skating-Techniken, in denen vom Athleten Kräfte über Ski oder Stöcke übertragen werden, gekennzeichnet. Ähnlich der Analyse der Bewegungsphasenverteilung kann diese Zuordnung der Bewertung von Skating-Techniken dienen.

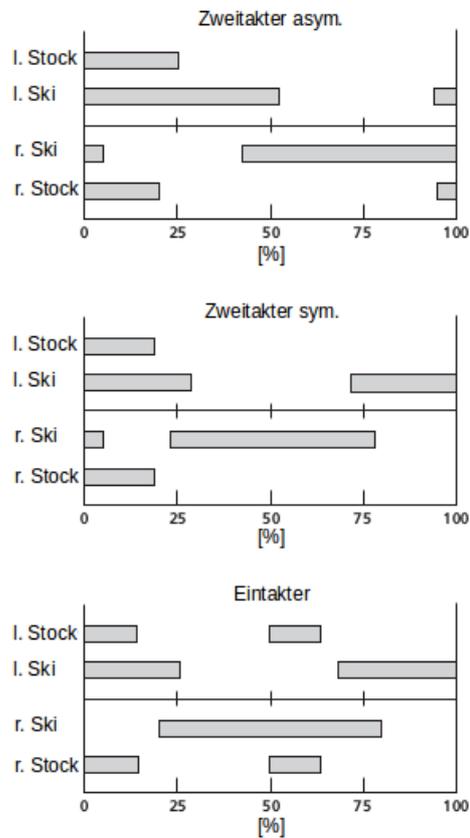


Abbildung 2: zeitliche Zuordnung von Phasen, in denen Kraft über Ski und Stöcke übertragen werden (Bilodeau et al., 1992).

In der Dissertation „Feldstudie zu biomechanischen Einflussgrößen in ausgewählten Skilanglauf-Techniken“ von Babel und Neumaier (2002), wurde ein Kapitel dem Vergleich der Trainingsmittel Langlaufski und Skiroller gewidmet. Dabei wurden in zwei Untersuchungen dynamographische Analysen mit den jeweils gleichen Probanden und Lauftechniken durchgeführt. Dabei sollte der Einfluss dieser unterschiedlichen Trainingsmittel auf biomechanische Größen geklärt werden.

In den Kraft-Zeit-Kurven von Ski und Skiroller bei der Technik Schlittschuhschritt (SSS) ohne Stockeinsatz ist zunächst für Bodenreaktionskraft kein gravierender Unterschied zu erkennen, wie in Abbildung 3 ersichtlich (Babel & Neumaier, 2002).

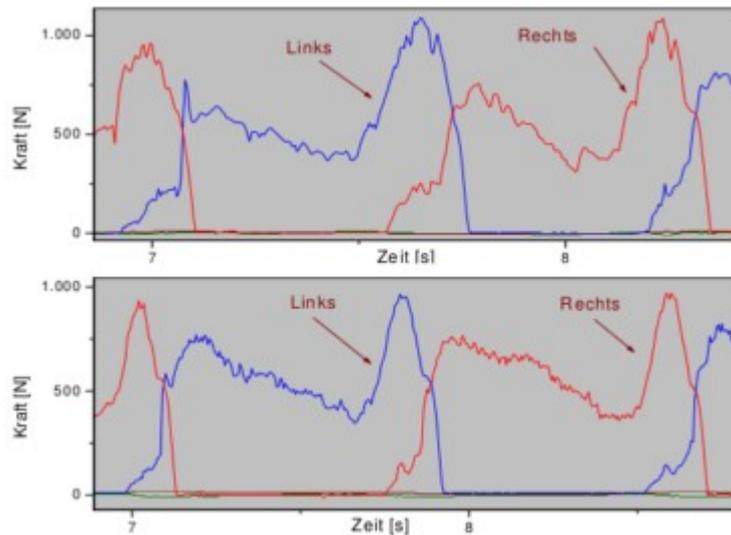


Abbildung 3: Vergleich Kraft-Zeit-Kurven (Summe der Vertikalkraft) von Ski (oben) und Skiroller (unten). Quelle: (Babel & Neumaier, 2002, S.108)

Unter Betrachtung der Belastungsverteilung der Vertikalkräfte bzgl. der Innen- und Außenkanten ist beim Skiroller (siehe Abbildung 4) eine erhöhte Außenkantenbelastung beim Abstoß im Vergleich zum Langlaufski zu erkennen (Babel & Neumaier, 2002).

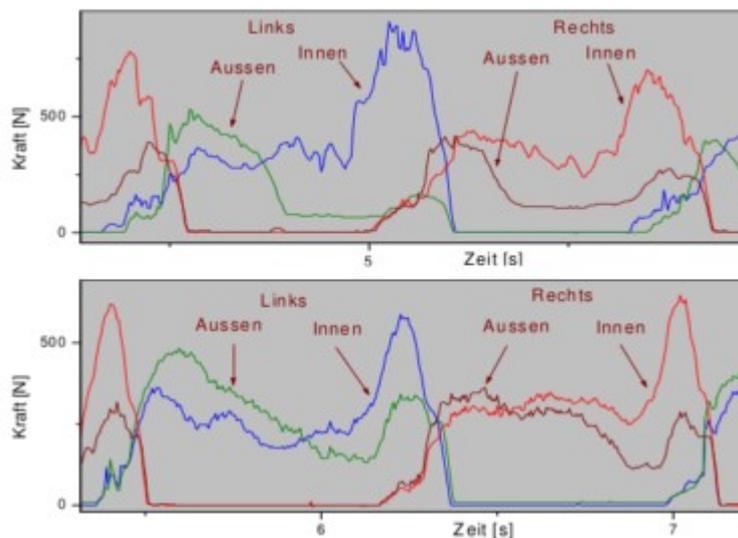


Abbildung 4: Vergleich Kraft-Zeit-Kurven von Ski (oben) und Skiroller (unten) bzgl. der Kantenbelastung. Quelle: (Babel & Neumaier, 2002, S.109)

Eine weitere Abweichung ergibt sich bei der Gegenüberstellung der Kraft-Zeit-Kurven bzgl. der Belastungsverteilung von Ballen und Ferse. In Abbildung 5 ist die Eintakter-Technik (ET) für den Ski (obere Kurve) und den Skiroller (unten) dargestellt.

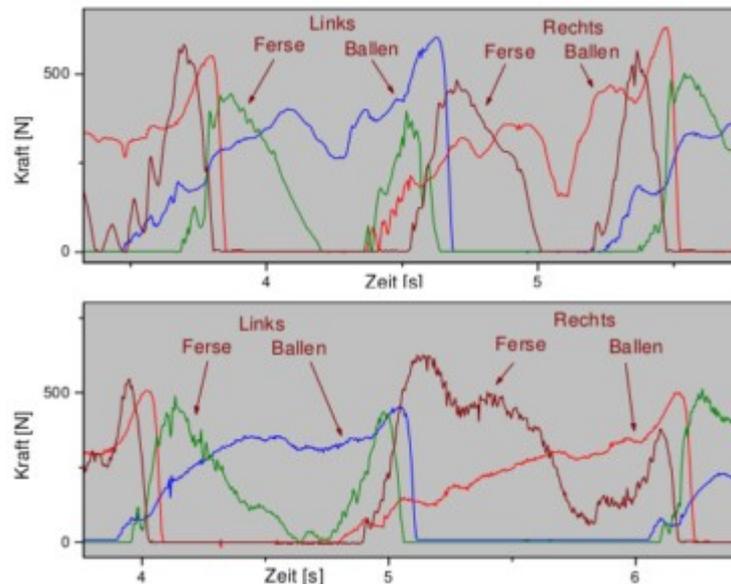


Abbildung 5: Vergleich Kraft-Zeit-Kurven von Ski (oben) und Skiroller (unten) für die Fersen- und Ballenbelastung. Quelle: (Babiel & Neumaier, 2002, S.110)

Beim Aufsetzen des Skis wird in der Regel erst der Ballen eingesetzt, wodurch die Kraftübertragung über den Ballen langsam ansteigt. Zeitlich etwas versetzt wird dann die Ferse belastet und die Kraft steigt schnell auf ein erstes Maximum an. Charakteristisch ist der Abfall der Fersenkraft bis zu einer Entlastung in der Mitte des Zyklus, um in der Abdruckphase wieder stark anzusteigen. Diese zwei charakteristischen Peaks sind für Skiroller nicht so deutlich zu erkennen. Noch stärker wird dieses abweichende Verhalten bei der Betrachtung der Ballenkraft. Im Gegensatz zum Ski steigt beim Skiroller die Ballenkraft langsam aber stetig an, ohne, dass ein Abfallen in der Zyklusmitte eintritt (Babiel & Neumaier, 2002).

Weitere Unterschiede zwischen Skiroller und Ski zeigen sich in der Überlappungszeit. Dies ist jene Zeit in der sich beide Ski bzw. Skiroller am Boden befinden. Abbildung 6 zeigt den Vergleich von normierten Überlappungszeiten dreier Probanden, von links nach rechts und umgekehrt. Die untersuchte Technik ist der SSS ohne Stockeinsatz.

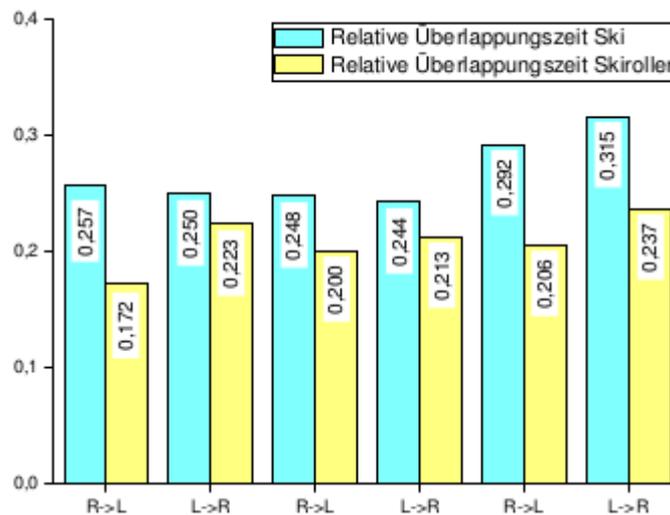


Abbildung 6: Vergleich der relativen Überlappungszeiten von Ski und Skiroller anhand von drei Probanden. Quelle: (Babel & Neumaier, 2002, S.114)

Bei allen Probanden ist eine verkürzte relative Überlappungszeit für den Skiroller zu verzeichnen. Für den Ski ergeben sich Überlappungszeiten von ca. 25% - 31% der gesamten Zykluszeit. Diese normierte Überlappungszeit reduziert sich bei Skiroller auf ca. 17% - 24% (Babel & Neumaier, 2002).

Zusammengefasst zeigen die dynamographischen Untersuchungen von Babel und Neumaier (2002), dass es Unterschiede hinsichtlich der Kraftverteilung im System Fuß-Skiroller-Asphalt gegenüber dem System Fuß-Ski-Schnee gibt. Weiters zeigen sie Unterschiede in der Überlappungszeit. Daraus kann geschlossen werden, dass beim Skirollerlauf die Bewegungsphasen eines Bewegungszyklus zeitlich anders verteilt sind. Da diesbezüglich nur Messungen mit einer Kraftmessplatte am Ski durchgeführt wurden, lässt sich diese Schlussfolgerung nicht bestätigen. Hierfür hätten zusätzlich kinematische Untersuchungen absolviert werden müssen. Darüber hinaus wurde der Einfluss des Stockschubs nicht beachtet. Babel und Neumaier (2002) beschreiben außerdem eine individuelle Variabilität zwischen den Probanden, aber eindeutige Tendenzen.

1.2 Forschungsfrage und Hypothesen

Forschungsfrage

Welche Unterschiede gibt es zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf in der Skating-Technik, im Bezug auf sportliche Technik und muskuläre Koordination?

Hypothese 1

Der verringerte Rollwiderstand eines Skirollers gegenüber dem Gleitwiderstand eines Skis bewirkt eine Abnahme der Zyklusrate.

Hypothese 2

Aufgrund veränderter kinematischer Bedingungen zwischen Fuß, Ski bzw. Skiroller und Boden kommt es zu einer zeitlichen Verschiebung der Bewegungsphasen innerhalb eines Bewegungszyklus. Die Abstoßphase wird verkürzt, die Schwungphase verlängert sich und die Gleitphase bleibt gleich.

Hypothese 3

Durch die zeitliche Verschiebung der Bewegungsphasen innerhalb eines Bewegungszyklus verändert sich die zeitliche Aktivierung der Muskulatur. Dies bedingt eine Veränderung der kinetischen Ketten, welche sich im Muskelaktivitätsmuster widerspiegeln.

Hypothese 4

Im Gegensatz zum Skilanglauf kann beim Stockschieben mit Skirollern ein spitzer werdender Einstichwinkel nicht so lange aufrechterhalten werden. Dadurch verkürzt sich die Muskelaktivität der Oberkörpermuskeln innerhalb eines Bewegungszyklus.

2 Theoretische Grundlagen

Zum besseren Verständnis der analysierten sportlichen Techniken werden diese im nachfolgenden Kapitel nach Definitionen der Sportwissenschaft beschrieben. Ebenfalls beschrieben werden die unterschiedlichen mechanischen Bedingungen zwischen den einzelnen Sportgeräten und dem Athleten. Der letzte Punkt dieses Kapitels erklärt den Begriff kinetische Kette, auf welcher die biomechanischen Vergleiche in dieser Arbeit basieren.

2.1 Sportliche Techniken im Skilanglauf - Skating

Allgemein wird unter dem Begriff „sportliche Technik“ der sportwissenschaftliche und sportpraktische Erkenntnisstand über zweckmäßiges Lösen sportlicher Bewegungsaufgaben verstanden, mit dem Zweck sportliche Bewegungsziele zu erfüllen (Marhold, 1976).

Auf Skirollern lassen sich fast alle Bewegungsformen der Skating-Technik umsetzen und kommen dem Skilanglauf recht nahe. Die für die Messungen relevanten Techniken werden im Anschluss näher erläutert um so die Ergebnisse interpretieren zu können. Die Wahl der analysierten Techniken fand unter zwei Aspekten statt. Erstens ob diese für das wettkampforientierte Skilanglaufen relevant sind und zweitens, ob der Vortrieb zum Großteil vom Athleten generiert wird. Darunter fällt zum Beispiel der Diagonal-Schlittschuhschritt, der so gut wie nicht in Wettkämpfen gelaufen wird, und diverse Abfahrtstechniken bei denen die Schwerkraft den Vortrieb generiert. Anzumerken ist, dass die folgenden Techniken so beschrieben sind, wie sie bei Distanzrennen eingesetzt werden. Bei Sprintrennen kann es zu Variationen in der Technik kommen, um kurzfristig die Geschwindigkeit stark zu erhöhen.

Eintakter

Der Eintakter (ET) ist eine sehr dynamische Technik und gehört zu den symmetrischen Bewegungsformen im Skilanglauf. Bei dieser Technik sind die Anforderungen an die linke und rechte Körperhälfte gleich groß. Jeder Beinschub beim ET wird durch einen Doppelstockschub (DSS) unterstützt, was eine hohe Vortriebsleistung ermöglicht. Allerdings verlangt die relativ hohe Bewegungsfrequenz gute konditionelle und auch koordinative Fähigkeiten (Kraft, Ausdauer, Gleichgewicht). Anwendung findet der ET im flachen bis leicht ansteigenden Gelände, bei Übergängen vom Flachen ins Steile, bei der schnellen Überwindung von Geländekuppen und als Sprintform im Start- und Zielbereich, sowie im Zwischenspur (Hottenrott & Urban, 2004).

Der Bewegungsablauf des Eintakters beginnt mit der sogenannten Grundstellung (Abbildung 7). Dabei liegt die Schulterachse parallel zur Hüftachse. Kopf, Knie und das Sprunggelenk befinden sich auf einer Linie, die in der Frontalansicht beinahe lotrecht

verläuft. Der Körperschwerpunkt (KSP) ist nach vorne gerichtet und es liegt mehr Körpergewicht auf dem Fußballen. Die Arme sind leicht gebeugt in Vorhalteposition, die Stöcke parallel und schräg nach hinten gerichtet (Lindinger, 2006).



Abbildung 7: Grundstellung des ET frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/22/>

Nun erfolgt die Abstoßphase (ASP). Dabei wird das Körpergewicht zum gleitenden Ski und auf die Stöcke verlagert, der Körperschwerpunkt senkt sich dabei ab (Abbildung 8). Die Achsen in Schulter und Hüfte bleiben dabei stabil und parallel zueinander. Am abstoßenden Ski muss Druck an der Skikante aufgebaut werden (Lindinger, 2006).



Abbildung 8: ASP im ET frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/22/>

Wie in Abbildung 9 ersichtlich befindet sich der Körper am Ende der ASP in einer zentralen Position. Die Vorlage des Oberkörpers ist in eine zentrale Position über dem gleitenden Fuß übergegangen. Der Oberkörper erreicht nun den tiefsten Punkt des Bewegungszyklus. Am abstoßenden Ski wird der ideale Druckpunkt gesucht bis der optimale Kantengriff entsteht (Lindinger, 2006).



Abbildung 9: Am Ende der ASP frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/22/>

Danach erfolgt der Übergang in die Schwungphase (SWP). Dabei wird ein seitlicher Abstoß von der gleitenden Skiinnenkante weg vollzogen (Abbildung 10) und das Körpergewicht auf den anderen Ski verlagert. Der DSS wird noch vor dem Beinabstoß beendet (Lindinger, 2006).



Abbildung 10: Übergang in die SWP frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/22/>

Nach Beendigung der ASP beginnt die Gleitphase (GLP). Das Gewicht wird weiter über den Gleitski verlagert und dort gehalten. Nach der Streckung des abstoßenden Beines erfolgt das Beiziehen und dann erneute Aufrichten – wie in Abbildung 11 zu sehen. Danach sollte die Grundstellung am anderen Bein erreicht werden. Arme und Stöcke werden dabei rasch nach vorne gebracht. Danach erfolgt derselbe Bewegungszyklus für die andere Körperhälfte (Lindinger, 2006).



Abbildung 11: GLP im ET frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/22/>

Zweitakter-Symmetrisch

Der Zweitakter-Symmetrisch (ZTS) gehört ebenfalls zu den symmetrischen Bewegungsformen im Langlauf. Der Verlauf des Spurbilds, welches durch den wechselseitigen Beinabdruck entsteht, und die Beinarbeit sind links und rechts ungefähr gleich. Im Gegensatz zum ET erfolgt der Armabstoß nur bei jedem zweiten Beinabstoß. Daher ist ein regelmäßiger Belastungswechsel beim Beinabstoß erforderlich, um einseitige Ermüdungen zu vermeiden. Anwendung findet der ZTS im flachen bis leicht abfallenden Gelände. Die Geschwindigkeit des ZTS ist im Allgemeinen höher als beim ET (Hottenrott & Urban 2004).

Der Bewegungsablauf beginnt mit derselben Grundstellung wie der ET (Abbildung 7). ASP und SWP verlaufen ebenfalls ident (Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 10,

Abbildung 11). Erst ab der ersten GLP unterscheidet sich der Bewegungsablauf. Wie in Abbildung 12 zu sehen wird das Körpergewicht kurz über dem gleitenden Ski gehalten, der Oberkörper richtet sich etwas auf und das Gleitbein führt eine leichte Streckung durch. Die Arme verharren hinter dem Körper in gestrecktem Zustand. Danach beginnt das Beiziehen des Beines und das Nach-Vor-Schwingen der Stöcke (Lindinger, 2006).



Abbildung 12: GLP im ZTS frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/20/>

Die ASP 2 wird vorbereitet. In Abbildung 13 ist zu erkennen, dass sich der Oberkörper senkt, dadurch kommt es zu einer Beinbeugung und Vorspannung der Beinmuskulatur. Der Körper verlagert sich in Richtung Zentralposition über dem Ski. Dabei wird wieder ein guter Kantengriff gesucht, Schulter- und Hüftachsen bleiben stabil (Lindinger, 2006).

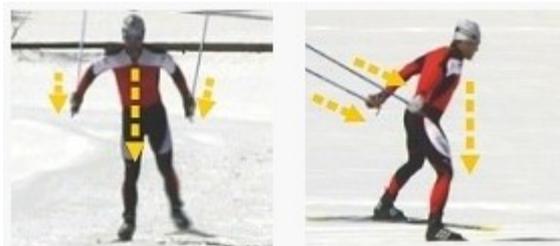


Abbildung 13: Vorbereitung auf ASP 2 frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/20/>

Wie in Abbildung 14 ersichtlich, befindet man sich zum zweiten Mal in einer zentralen Position. Das nach unten beschleunigte Körpergewicht wird aufgefangen, der Oberkörper ist in eine zentrale Position über dem gleitenden Ski übergegangen. Wenn am abstoßenden Ski der ideale Druckpunkt gefunden wurde entsteht optimaler Kantengriff. Die Arme werden aktiv nach vor beschleunigt (Lindinger, 2006).



Abbildung 14: ASP 2 im ZTS frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/20/>

Als nächstes erfolgt die SWP 2. Dabei wird ein seitlicher Abstoß von der gleitenden Skiinnenkante weg vollzogen und das Körpergewicht auf die andere Seite verlagert (Abbildung 15). Der zuvor begonnene Armschwung verstärkt den Abstoß massiv. Nach Beendigung der SWP 2 beginnt die GLP 2. Das Körpergewicht wird während des Gleitens voll über den Gleitski verlagert und dort gehalten (Lindinger, 2006).



Abbildung 15: SWP 2 im ZTS frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: <http://www.schilanglauf.net/content/view/20/>

Nach der Streckung des abstoßenden Beins erfolgt sein Beiziehen (Abbildung 16). Während der GLP 2 erfolgt langsam die Aufrichtung zur Grundstellung auf. Danach kann ein neuer Bewegungszyklus beginnen (Lindinger, 2006).



Abbildung 16: Ende GLP 2 frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: <http://www.schilanglauf.net/content/view/20/>

Zweitakter-Asymmetrisch

Der Zweitakter-Asymmetrisch (ZTA) gehört zu den asymmetrischen Bewegungsformen im Skilanglauf. Bei diesem sind die Bewegungen bzw. Belastungen der rechten und linken Körperhälfte unterschiedlich. Wie beim ZTS erfolgt der Armabstoß nur bei jedem zweiten Beinabstoß. Der so genannte Führarm wird stärker eingesetzt als der andere Arm. Ein regelmäßiger Belastungswechsel beim Stockeinsatz ist erforderlich, um einseitige muskuläre Ausprägungen und lokale Ermüdungen zu vermeiden. Der Unterschied der ZTA zu den symmetrischen Techniken, ergibt sich aus einer seitlichen Gewichtsverlagerung auf den Ski, aus einer aufrechten Körperhaltung heraus. Weiters ist der Einsatz der Arme und Beine zeitlich und räumlich versetzt. Anwendung findet der ZTA in steilen bis sehr steilen Anstiegen. Die Laufgeschwindigkeit des ZTA ist geringer als beim ET oder ZTS (Hottenrott & Urban 2004).

Der Bewegungszyklus beginnt wie schon zuvor beim ET und ZTS mit der Grundposition (Abbildung 7).

In der folgenden ASP wird der Ski, bei stark gebeugtem Bein, nach vor in den Schnee gesetzt, das Knie wird ebenfalls nach vorne geschoben. Der KSP ist zentral über dem Fuß. Wie in Abbildung 17 zu sehen sind Rumpf- und Unterschenkelachse parallel zueinander. Im Standbein wird eine muskuläre Vorspannung aufgebaut. Der Führarm-Stock setzt die Schubbewegung in Laufrichtung an, der andere Stock hat bereits begonnen (Lindinger, 2006).



Abbildung 17: ASP des ZTA frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/21/>

Nun erfolgt das Anfallen – ersichtlich in Abbildung 18: der KSP wird zur Seite verlagert, am Ski wird Druck aufgebaut und der Unterschenkel schiebt diesen in die Gleitrichtung. Die Streckmuskeln des Beines werden vorgespannt, die Hüfte bleibt dabei stabil. Der KSP wird über dem Standbein gehalten. Der Körper befindet sich dann in der Zentralposition (Lindinger, 2006).



Abbildung 18: Das Anfallen im ZTA frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/21/>

Danach kommt es zu einer SWP mit einer Gewichtsverlagerung (Abbildung 19). Ein seitlicher Abstoß wird von der Skiinnenkante weg vollzogen und das Körpergewicht auf die andere Seite verlagert. Der Ski liegt vollständig auf, die Hüft- und Schulterachsen sind parallel zueinander. Die Führarmschulter darf nicht dem Druck des Stocks nachgeben und muss in Vortriebsrichtung orientiert bleiben (Lindinger, 2006).



Abbildung 19: SWP mit Gewichtsverlagerung frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/21/>

Jetzt befindet man sich in einer kurzen GLP. Die Abstoßstreckung ist beendet, der Ski weit vorn aufgesetzt. Das Körpergewicht wird über dem Ski gehalten, das Gleitbein bleibt gestreckt und der Oberkörper aufgerichtet (Abbildung 20). Die Arme und das rechte Bein werden nach vor gebracht. Je steiler das Gelände, umso kürzer wird die Gleitphase (Lindinger, 2006).



Abbildung 20: kurze GLP im ZTA frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/21/>

Danach beginnt die ASP 2 mit einem erneuten Anfallen, wie in Abbildung 21 zu sehen. Es kommt zu einer vermehrten Beinbeugung und Vorspannung der Beinmuskulatur im Gleitbein. Die Vorbereitung auf die SWP beginnt. Es erfolgt ein aktives Einsetzen der Skiinnenkanten und das Einleiten der Gewichtsverlagerung. Arme, Stöcke und das zweite Bein werden immer noch nach vor gebracht (Lindinger, 2006).



Abbildung 21: ASP 2 mit erneutem Anfallen frontal (links), seitlich (rechts). Quelle:
<http://www.schilanglauf.net/content/view/21/>

Als Abschluss des Bewegungszyklus wird während der SWP 2 eine schnellkräftige, seitliche Abstoßstreckung (Abbildung 22) durchgeführt. Die Gewichtsverlagerung auf das

andere Bein wird vollendet und es erfolgt ein Vorschritt zur Grundstellung. Der Nicht-Führarm-Stock setzt als erstes ein und unterstützt Abstoß und Gewichtsverlagerung. Dieser Stock arbeitet in Gleitrichtung des Skis (Lindinger, 2006).

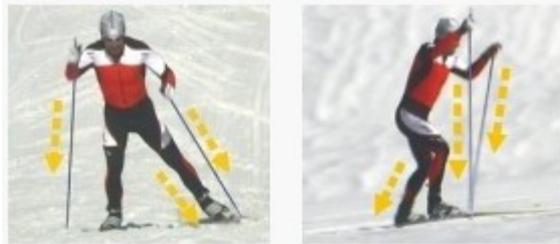


Abbildung 22: SWP 2 mit einer schnellkräftigen, seitlichen Abstoßstreckung frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: <http://www.schilanglauf.net/content/view/21/>

2.2 Kinematische und mechanische Unterschiede

Bei der Verwendung von Skilanglauf- bzw. Skirollerequipment treten kinematische und mechanische Unterschiede auf. Allgemein sind Bewegungen durch Zwangsbedingungen eingeschränkt. Diese, durch die Sportgeräte, definierten kinematischen Bedingungen beeinflussen die Freiheitsgrade des Körpers und damit verbundene Bewegungsabläufe. Weiters treten auch mechanische Unterschiede auf. Ursache dafür sind die beiden unterschiedlichen Wirkungsmechanismen auf denen der Skilanglauf bzw. der Skirollerlauf basiert.

2.2.1 Gleiten – Rollen

Ein wesentlicher mechanischer Unterschied ergibt sich daraus, dass die Rollreibung beim Skiroller nur etwa einem Viertel der Gleitreibung beim Ski entspricht. Deshalb sind die Geschwindigkeiten, bei identer Leistung, beim Skirollerlauf höher als beim Skilanglauf. Dies führt auf Skirollern zu einer Verlängerung der Bewegungszykluszeit und auch zu anderen Zeitanteilen der Bewegungsphasen, was eine veränderte Kinästhetik zur Folge hat (Schwartz, 1996).

Um dem entgegen zu wirken werden im semispezifischen Training Skiroller mit besonders „langsamen Rollen“ verwendet. Rollen mit dieser Eigenschaft zeichnen sich durch ihre Rollengeometrie aus. Der Rollendurchmesser ist verringert, die Breite erhöht und abgeflacht (Abbildung 23). Weitere Parameter, bei denen die Rolleigenschaften der Rollen reduziert werden können, sind die Rollenlagerung und das Rollenmaterial. Bei letzterem werden in der Regel zwei Materialien verwendet – Gummi und Polyurethan (PU). Der Rollwiderstand von PU-Rollen ist im Vergleich zu Gummi-Rollen um 10% geringer.



Abbildung 23: Wettkampffrollen (oben), langsame Trainingsrollen (unten). Quelle:
<http://http://ski-roller.de/srb-ski-roller/modell-skater.html>

Unterschiede zwischen Trainingsrollen und Wettkampffrollen in der ZTS-Technik wurden in der Bewegungszykluszeit, der übertragenen Stockkraft und der zur Bewegungszykluszeit relativen Stockschubdauer festgestellt. Die Bewegungszykluszeit ist bei Trainingsrollen niedriger, was eine höhere Zyklusrate bei identer Geschwindigkeit bedeutet. Durchschnittlich ist die übertragene Stockkraft bei Trainingsrollen höher. Die absolute Stockschubdauer unterscheidet sich kaum zwischen den beiden Rollenarten. Der relative Anteil des Stockschubs im Bewegungszyklus ist durch die kürzere Zykluszeit bei Trainingsrollen allerdings höher (Millet et al., 1998).

2.2.2 Aufkanten

Nach Babel und Neumaier (2002) kann im Skating, für die Kraftverteilung auf dem Ski, von einem stark erhöhten Vertikalimpuls der Innenkante im Vergleich zur Außenkante ausgegangen werden. Diese unterschiedliche Verteilung reduziert sich auf dem Skiroller, sodass es hier teilweise sogar zu einem verstärkten Abdruck von der Außenkante kommt. Der Grund für dieses geringere "Aufkanten" beim Skiroller liegt an dem Widerlager, das die Rollen mit dem Untergrund darstellen. Bei einem Aufkanten der Langlaufski entsteht ein einarmiger Hebel, dessen Drehpunkt die Skikante ist. Genauer betrachtet kann die Kante bei Ski zusätzlich in den Schnee eindringen. So gibt es im Gegensatz zu Rollen kein definiertes Widerlager sondern einen Widerlagerbereich (Abbildung 24). Davon ist abzuleiten, dass der tatsächliche Hebel auch vom Verdichtungsgrad des Schnees und der damit verbundenen Eindringtiefe der Kante abhängt.

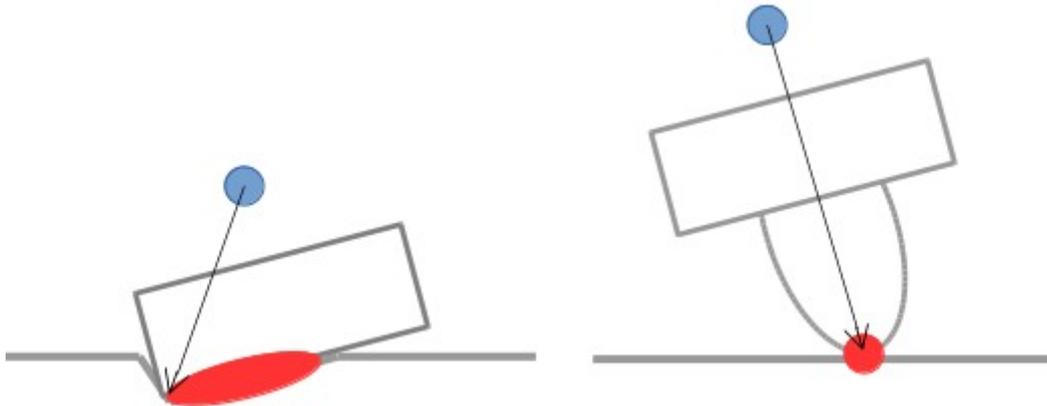


Abbildung 24: Schematische Darstellung der Hebelverhältnisse beim Aufkanten im Skilanglauf (links) und im Skrollerlauf (rechts). Fuß-Längsdrehachse (blau), Widerlagerbereich (rot)

Dadurch wird ein Drehmoment erzeugt, dessen Hebelarm von Skihöhe und Skibreite abhängt. Der Drehpunkt des Skrollers liegt dagegen relativ mittig und ist durch die Breite der Rollen gegeben. Bei der Verwendung von Wettkampf-Skrollern wird dieser Effekt noch verstärkt. Durch den größeren Rollendurchmesser, ca. 100mm statt 80mm, verlängert sich der einarmige Hebel.

2.2.3 Umsetzen der Ski / Skroller

Nach Babiell und Neumaier (2002) ergeben sich beim Umsetzen im Skrollerlauf kürzere Überlappungszeiten im Vergleich zum Skilanglauf. Das schnellere Umsetzen der Skroller könnte in der um bis zu 70% kürzeren Bauform begründet sein. Obwohl der Langlaufski leichter ist, besitzt er ein höheres Trägheitsmoment um die verlängerte Beinlängsachse als der Skroller. Das höhere Trägheitsmoment ergibt sich aus der bis zu 70% größeren Gesamtlänge, der geringen Massendifferenz und, dass der Abstand zur Drehachse quadratisch einfließt (1).

$$J = m * r^2 \quad (1)$$

Ein durchschnittlicher Skroller wiegt ungefähr 0,75kg bei einer Länge von 0,6m. Im Gegensatz dazu wiegt ein Skatingski im Schnitt 0,6kg bei einer Länge von 1,85m. Betrachtet man den Skroller vereinfacht, kann der Holm als homogener Stab betrachtet werden und die Rollen an den Enden als Punktmassen. Der Holm wiegt dabei 0,25kg und jede Rolle ebenfalls 0,25kg. Der Langlaufski kann dagegen nur als homogener Stab gesehen werden. Der Wabenkern bei modernen Ski besitzt kaum Masse und kann zur Vereinfachung vernachlässigt werden. Die Position der vertikalen Drehachse bei Skroller ist ungefähr bei 25% der Holmlänge, vom hinteren Skrollerende aus gesehen. Beim Skatingski bei ca. 33% der Skilänge, ebenfalls vom hinteren Skiende aus gesehen (Abbildung 25).

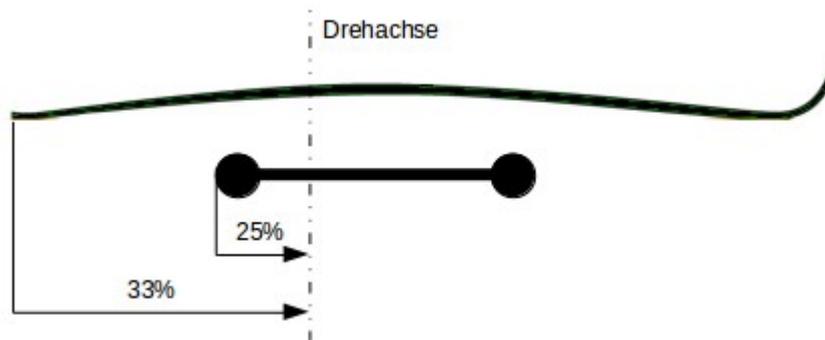


Abbildung 25: Position der Drehachse bei Skatingski (oben) und Skiroller (unten) in Abhängigkeit von der Gesamtlänge

Aus diesen Annahmen ergibt sich ein Trägheitsmoment für Skiroller von $0,05\text{kgm}^2$ und für Langlaufski $0,14\text{kgm}^2$. Das Trägheitsmoment ist daher beim Ski ungefähr drei Mal so hoch wie beim Skiroller.

Dadurch lässt sich der Skiroller leichter und schneller um die verlängerte Beinlängsachse bewegen und erlaubt so ein schnelleres Umsetzen bei einem Seitenwechsel. Dieser Umstand muss sowohl bei der Analyse als auch beim Einsatz des Trainingsgerätes „Skiroller“ berücksichtigt werden (Schwartz, 1994).

2.2.4 Stockschieb

Beim Stockschieb ist es insbesondere auf Asphalt oft nicht möglich, den Schub bei spitzer werdendem Einstichwinkel vergleichbar lang wie im Schnee aufrecht zu erhalten, da die Stöcke wegrutschen. Das hat vor allem Auswirkungen auf die Armarbeit, aber auch die gesamtheitliche Koordination wird dadurch beeinflusst. Darüber hinaus müssen die Stöcke im Skirollerlauf – sowohl in der klassischen Technik als auch im Skating – länger sein da die Bauhöhe von Skirollern ausgeglichen werden muss. Dies hat ein erhöhtes Trägheitsmoment der Stöcke um die radiale Drehachse im Griff zur Folge.

2.2.5 Biegeeigenschaften

Alle Langlaufski besitzen eine Vorspannung. Durch das Ein- und Ausfedern während dem Laufen gibt es eine Energierückführung, die den Athleten bei seiner Bewegung unterstützt. In der Skating-Technik ermöglicht diese außerdem eine optimale Druckverteilung bei Belastung des Skis.

2.3 Kinetische Kette und Muskelaktivitätsmuster

Eine kinetische Kette kann als eine Reihe von steifen, mit mehreren hintereinander angeordneten Gelenken verbundene, komplexe Motoreinheit gesehen werden (Steindler, 1955). Durch optimale zeitliche Kraftübertragung, von einer Ausgangsbewegung zur

Endbewegung, sollte es möglich sein, eine höchst effiziente Bewegung zu vollziehen. Idealerweise sollten sich Kraft- und Schwungimpulse dabei addieren.

Physiologisch gesehen ist eine kinetische Kette eine Kombination mehrerer hintereinander geschalteter Gelenke einschließlich der zugehörigen mehrgelenkigen Muskeln als motorische Funktionseinheit für komplexe Bewegungsabläufe, die durch ein koordiniertes Zusammenwirken von Funktionssystemen der Hirnrinde, des Kleinhirns und des Rückenmarks einschließlich der zugehörigen Leitungsbahnen ermöglicht werden (Benninghoff et al., 2008).

Für die Untersuchung einer kinetischen Kette mittels sEMG werden mindestens zwei involvierte Muskeln benötigt. Typischerweise werden alle wichtigen Muskeln um ein Gelenk (Agonist, Antagonist und Synergist) oder alle Muskeln innerhalb einer „Muskelkette“ gemessen.

Skating-Techniken im Skilanglauf setzen sich allerdings aus mehreren kinetische Ketten zusammen, da alle Extremitäten aktiv sind. Zusätzlich erfüllen einzelne Muskeln Stütz- und Stabilisationsfunktionen. Diese können kinetischen Ketten nicht zugeordnet werden, sind aber für die jeweilige sportliche Technik essentiell. Daher bietet sich an, für Vergleiche ein Muskelaktivitätsmuster für die untersuchten Techniken zu erstellen. Eine Analyse der Muskelaktivitätsmuster (Beispiel siehe Abbildung 26) erlaubt eine Beschreibung darüber, wieviel und wann bestimmte Muskeln innerhalb des untersuchten Bewegungsablaufs aktiv sind (Konrad, 2005).

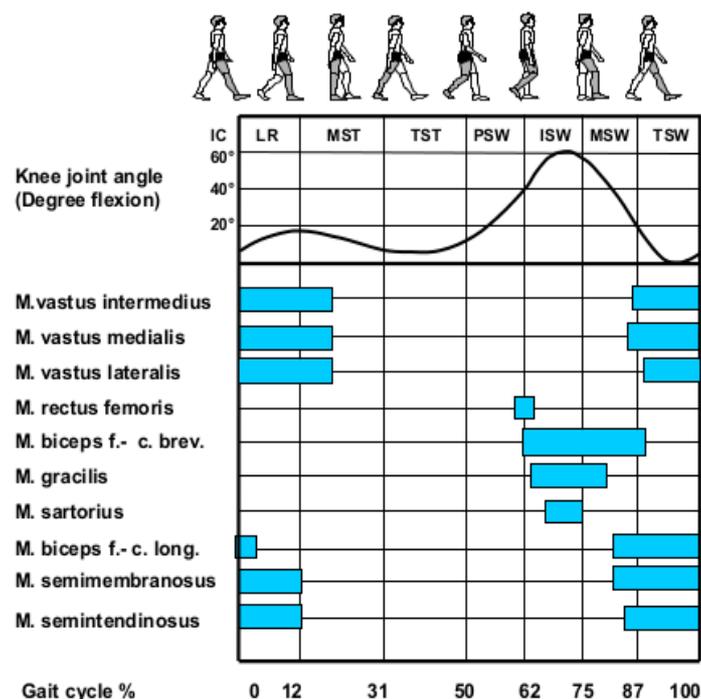


Abbildung 26: Beispiel einer Musteranalyse einer kinetischen Kette aus der Ganganalyse: gekennzeichnet sind die aktiven Muskeln während eines Bewegungszyklus. Quelle: (Basmajian & De Luca, 1985)

3 Methoden

Alle Untersuchungen fanden in Form von Feldtests statt. In diesem Kapitel werden die ProbandInnen, Messablauf, Umgebungsparameter, die Messtechnik und die Auswertung beschrieben.

3.1 ProbandInnenauswahl

Fünf ProbandInnen waren Teil der Untersuchung. Drei davon waren männlich, zwei davon weiblich. Das gemittelte Alter der ProbandInnen betrug 28 Jahre $\pm 7,7$. Die durchschnittliche Größe betrug 1,76m $\pm 0,06$. Bedingung war, dass alle ProbandInnen die untersuchten Skating-Techniken (vgl. 2.1) einwandfrei beherrschen um reproduzierbare Ergebnisse zu ermöglichen. Dies wurde sichergestellt, da alle ProbandInnen über mindestens zehn Jahre Erfahrung im Langlauf verfügen und regelmäßig an Wettkämpfen teilnehmen. Eine weitere Bedingung war der versierte Umgang mit Skirollern. Wie auf Ski mussten alle analysierten Techniken einwandfrei beherrscht werden. Zum Zeitpunkt der Messung waren alle ProbandInnen gesund und hatten auch sonst keinerlei pathologische Beeinträchtigungen in der Bewegungsausführung.

3.2 Verwendetes Ski- und Skirollerequipment

Der für die Messungen eingesetzte Skiroller war für alle ProbandInnen gleich. Dabei handelte es sich um einen Marwe Skating 590 A 6S6 (Marwe Oy, Jyväskylä, Finnland) Skiroller mit einer SNS Pilot Skate (Salomon Group, Annecy, Frankreich) Bindung. Die Wahl des Skirollers begründete sich dahingehend, dass es sich um einen Trainings-Skiroller handelt und der Hersteller angibt damit das Laufen auf Neuschnee zu simulieren. Die Rollen hatten einen Durchmesser von 80mm und das Rollenmaterial war Gummi. Schuhe und Stöcke waren das persönliche Equipment der ProbandInnen. Bei den Messungen auf Schnee verwendete jeder beziehungsweise jede ProbandIn seine eigene Langlaufausrüstung.

3.3 Bestimmung der Bewegungszyklen mit einer Inertial Measurement Unit

Die Bewegungen in allen untersuchten sportlichen Techniken erfolgen zyklisch. Eine automatisierte Bestimmung von Bewegungszyklen ist aufgrund der Aufnahmedauer nötig, da mehrere Zyklen aufeinander folgen. Die Parameter für die Bestimmung wurden mit einer Inertial Measurement Unit (IMU) gemessen. Datenverarbeitung und numerische Kalkulationen wurden mit MATLAB 2013a (Mathworks, Natick, MA, USA) durchgeführt. Eine IMU erfasst aktuelle Beschleunigungen mittels einem oder mehreren Beschleunigungssensoren. Zusätzlich wird die Veränderung des Rotationszustandes mit

einem Gyroskop, in Form der Winkelgeschwindigkeit erfasst. Diese Parameter können in bzw. um eine oder bis zu drei Achsen gemessen werden. Hierbei spricht man von Freiheitsgraden. Einige IMU besitzen auch ein Magnetometer, welches vor allem zur Unterstützung der Kalibrierung gegen Orientierungsdrift hilft.

Die für die Messungen verwendete IMU ist ein Samsung Galaxy S4 GT-19505 (Samsung Electronics Co., Ltd., Suwon, Süd Korea) Smartphone in dem ein Beschleunigungssensor und ein Gyroskop verbaut ist. Der verbaute Beschleunigungssensor K330 3-axis Accelerometer (STMicroelectronics, Genf, Schweiz) besitzt drei Freiheitsgrade, einen Messbereich von $\pm 19,613\text{m/s}^2$ und eine Auflösung von $0,001\text{m/s}^2$. Das verbaute Gyroskop K330 Gyroscope sensor (STMicroelectronics, Genf, Schweiz) besitzt einen Messbereich von $\pm 8,727\text{rad/s}$ und eine Auflösung von $0,001\text{rad/s}$.

Um die gemessenen Daten am internen Speicher eines Smartphones zu speichern, wurde die Open Source Application „GPS + IMU Stream“ (Axel Lorenz, Deutschland) verwendet. Die Abtastfrequenz wurde auf 100Hz eingestellt.

Smartphones in der Analyse von Langlauftechniken wurden bereits erfolgreich von (Stöggel et al., 2014) eingesetzt, um verschiedene Skating-Techniken automatisch zu klassifizieren. Das Abtasttheorem nach Nyquist besagt: „Die halbe Abtastfrequenz $f_0 / 2$ muss größer sein, als die höchste im Messsignal enthaltene (nicht gewünschte!) Frequenz f_m , damit der Verlauf eines Messsignals aus den Abtastwerten (im Idealfall vollständig) rekonstruiert werden kann. Für die Abtastfrequenz f_0 muss also gelten: $f_0 > 2f_m$.“ (Tränkler, 1990, S. 130f).

Eine Fast Fourier Transformation (FFT) der aufgezeichneten Rohdaten zeigt, dass ein Großteil der Frequenzen kleiner 5Hz ist und über 40Hz fast gar keine Frequenzen auftreten (Abbildung 27). Dies gilt sowohl für gemessene Beschleunigungen als auch für Winkelgeschwindigkeiten. Somit reicht die gewählte Abtastfrequenz aus.

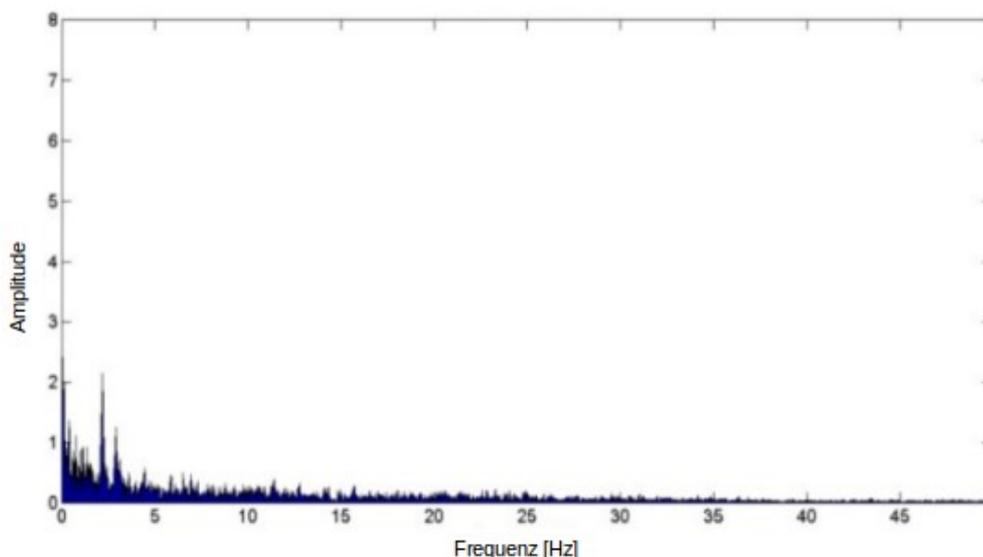


Abbildung 27: Amplitudenspektrum der gemessenen, vertikalen Beschleunigungen

Die IMU wurde über dem rechten malleolus lateralis positioniert (Abbildung 28). Da die Skating-Techniken als symmetrisch betrachtet werden können (Smith, 1992), war es ausreichend nur die rechte Seite zu betrachten.



Abbildung 28: Positionierung des Smartphones welches als IMU dient (grüne Halterung)

Die Rohdaten wurden mit einem Butterworth-Lowpassfilter 2. Ordnung gefiltert. Die Grenzfrequenz lag dabei bei 25Hz. Die gefilterten Winkelgeschwindigkeiten sind über die Zeit numerisch integriert worden um auf den Winkelverlauf schließen zu können. Anhand des errechneten Winkelverlaufs, konnte das körperfeste Koordinatensystem in ein raumfestes, globales Koordinatensystem (Abbildung 29) transformiert werden (Goldstein et al., 2006, S. 163). Da im raumfesten Koordinatensystem die Wirkrichtung der Gravitation bekannt war, war es möglich die Gravitation aus den Messdaten herauszurechnen (Abbildung 30).

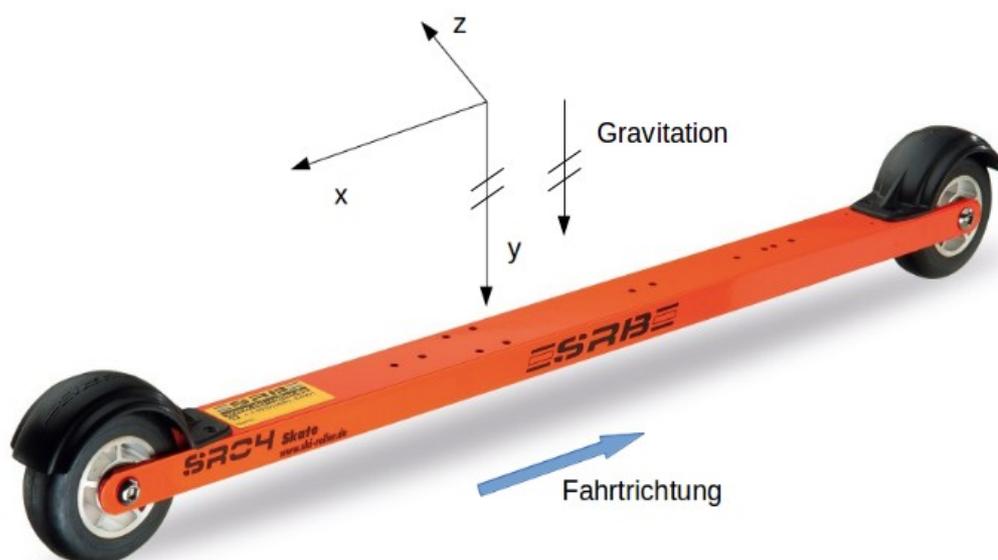


Abbildung 29: Raumfestes, globales Koordinatensystem. Körperfestes Koordinatensystem bewegt sich mit dem Skiroller mit. Verändert nach: <http://http://ski-roller.de/srb-ski-roller/modell-skater.html>

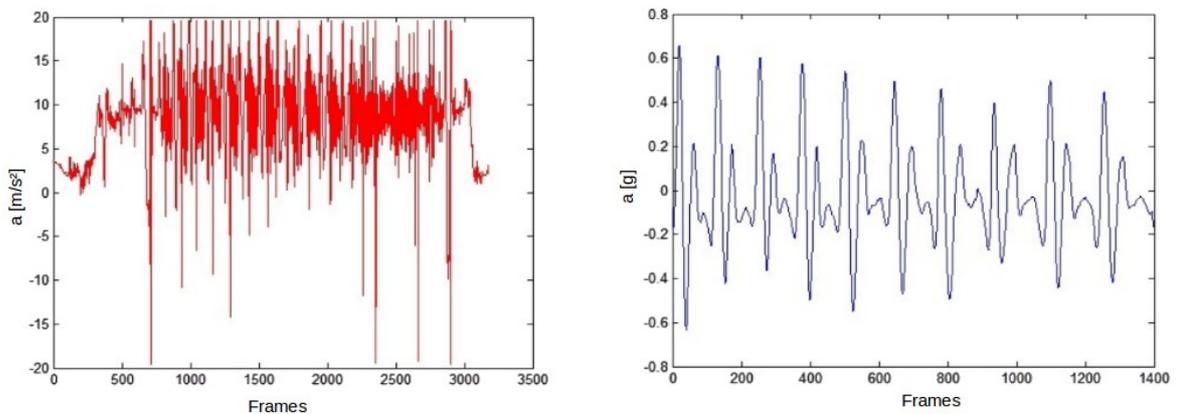


Abbildung 30: Vertikale Beschleunigungen bei der ET-Technik: Rohdaten (links), zugeschnittene, gefilterte und in ein globales Koordinatensystem transferierte Verläufe

Für die Detektion der einzelnen Bewegungszyklen wurden nur die vertikalen Beschleunigungsverläufe (y-Richtung) herangezogen. Parallel dazu wurden die Bewegungsabläufe auf einer Videoaufzeichnung festgehalten. Um Sensordaten und Videoaufnahmen zu synchronisieren gab es, am Anfang und Ende der Messungen, ein Synchronisationsevent in Form eines Aufstampfens. Mit beiden Messtechniken war dieses Event erfassbar. Danach war es möglich den Start und das Ende des Zeitraums festzustellen, der für die Messung relevant ist. Um einzelne Bewegungszyklen zu detektieren wurden die Videoaufnahmen und die vertikalen Beschleunigungsverläufe analysiert, um Zusammenhänge festzustellen. Dabei zeigte sich, dass die kleinen negativen Peaks, unmittelbar vor den größten positiven Peaks den Beginn eines neuen Bewegungszyklus indizieren (Abbildung 31). Der Anfang eines Bewegungszyklus wurde mit dem Beginn der ASP des rechten Beins definiert.

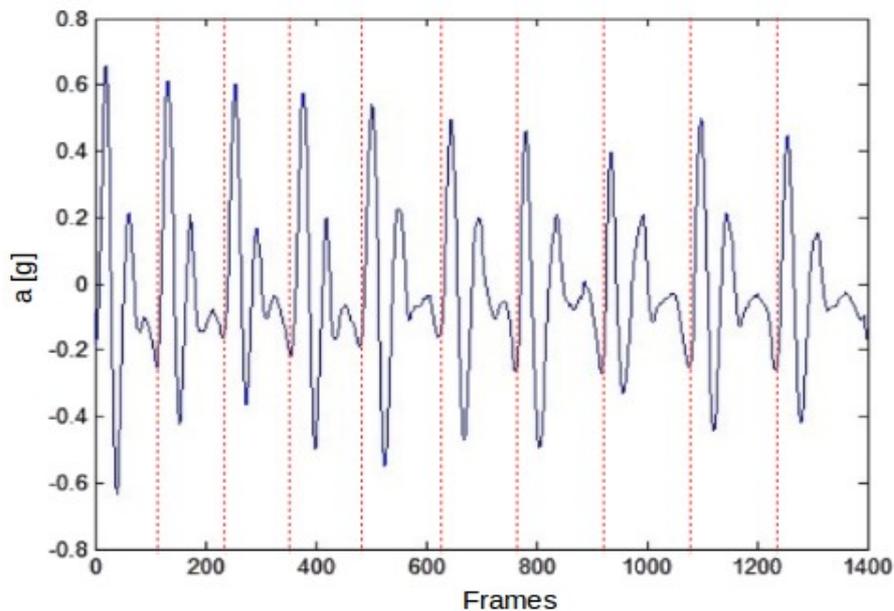


Abbildung 31: Vertikaler Beschleunigungsverlauf bei ET-Technik: rot-strichliert zeigt den Beginn eines neuen Bewegungszyklus

Eine Bewertung der Beschleunigungen hinsichtlich der ausgeführten Bewegungen wurde nicht vollzogen. Da der Schlittschuhschritt in allen Skating-Techniken vorkommt, konnte dieser Zusammenhang von Beschleunigungen und Bewegungszyklen für alle Techniken übernommen werden.

3.3.1 Bestimmung der Bewegungsphasen

Die Bestimmung der Bewegungsphasen innerhalb der Bewegungszyklen erfolgte nach einem ähnlichen Prinzip wie die Zyklusbestimmung. Mit der IMU gemessene Parameter wurden mit den dazugehörigen Videoaufnahmen verglichen, um Zusammenhänge mit den definierten Bewegungsphasen zu finden. Es stellte sich heraus, dass der Verlauf der vertikalen Beschleunigung, der lateralen Beschleunigung und der Winkelgeschwindigkeit um die Vertikalachse (y-Richtung, siehe Abbildung 29) den Bewegungsphasen zuordenbar war. Zur eindeutigen Einteilung mussten die drei Bewegungsphasen in je zwei Unterphasen eingeteilt werden (Abbildung 32). Der Grund dafür war, dass die Charakteristik der Verläufe während der Phasen nicht konstant und so eine eindeutige Zuordnung nicht möglich war. Die Einteilung in Unterphasen hat keine weitere Relevanz und diente nur der automatisierten Bestimmung der Bewegungsphasen.

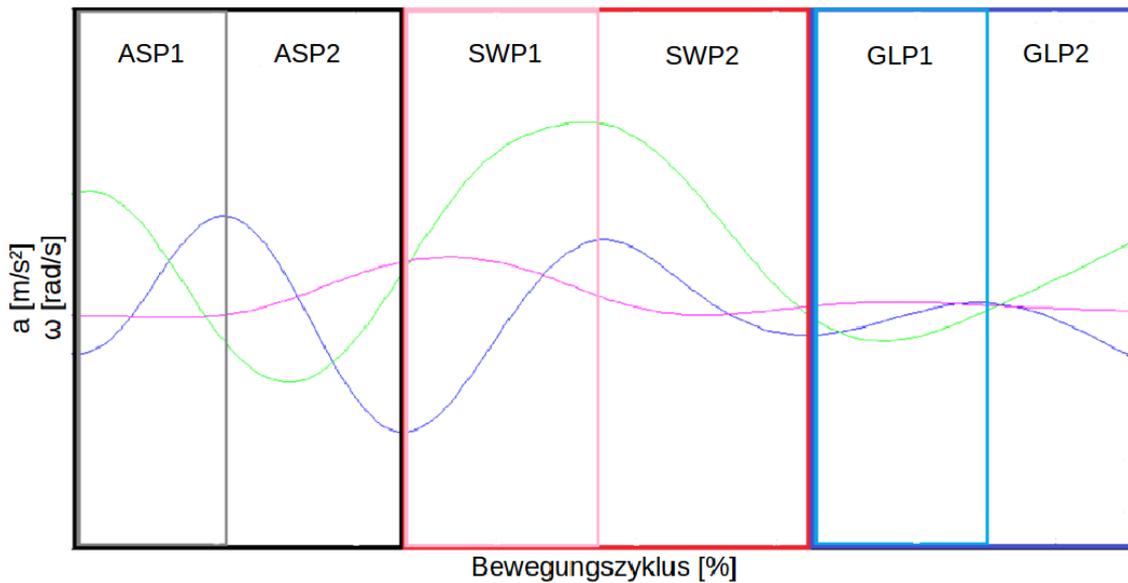


Abbildung 32: Beschleunigungsverlauf in y-Richtung (blau), Beschleunigungsverlauf in z-Richtung (grün), sowie die Winkelbeschleunigung um die y-Achse (rosa) werden zur genaueren Bestimmung der Phasen verwendet

Zur automatisierten Ermittlung der Bewegungsphasen wurden je acht aufeinander folgende Beschleunigungswerte in y-Richtung und in z-Richtung, sowie acht Winkelgeschwindigkeitswerte um die y-Achse zu einem Segment zusammengefasst. Das folgende Segment beinhaltet jeweils die Hälfte des vorhergegangenen Abschnittes und die nächsten vier Werte. Durch diese Überlappung konnten Fehlinterpretationen bei der automatisierten Bestimmung vermieden werden. Beschleunigungen (a_y , a_z) wurden innerhalb eines Segments aufgrund ihrer Steigung bewertet, (positiv = 1) oder (negativ = -1). Die Winkelbeschleunigung (ω_y) wurde anhand des Vorzeichens, des größten Werts innerhalb eines Segments bewertet. Je nach Kombination der drei Zuordnungen wurde festgestellt zu welcher Phase dieser Abschnitt gehört. In Tabelle 1 sind die Zuordnungen ersichtlich:

	ASP1	ASP2	SWP1	SWP2	GLP1	GLP2
a_y	+1	-1	1	-1	1	-1
a_z	-1	1	1	-1	1	1
ω_y	-	+	+	-	-	-

Tabelle 1: Zuordnungen der Eigenschaften zu jeweiliger Phase

Nachdem die einzelnen Abschnitte den Phasen zugeordnet wurden, wurde der Übergangspunkt zwischen den Phasen ermittelt und abgespeichert. Durch die einzelnen Zeitpunkte der Phasenübergänge konnten die Phasenlängen, in einem Bewegungszyklus berechnet werden.

Eine Bewertung der Zuordnungsparameter hinsichtlich der ausgeführten Bewegungen wurde wie bei der Zyklusbestimmung nicht vollzogen. Da die Phaseneinteilung über den

Schlittschuhschritt definiert wurde und dieser Grundlage jeder untersuchten Skating-Technik ist, konnte dieser Algorithmus für alle Techniken übernommen werden.

3.4 sEMG Messung

„Die EMG ist eine experimentelle Technik, die sich der Entstehung, Aufzeichnung und Analyse myoelektrischer Signale widmet. Myoelektrische Signale werden durch physiologische Zustandsvariationen der Muskelfasermembran generiert.“ (Basmajian & De Luca, 1985)

Zusammenhänge zwischen Muskelaktivität, Kraft und Bewegung können mit Hilfe elektrischer Signale eines Muskels untersucht werden. Bewegungen von Sportlern können damit biomechanisch analysiert bzw. optimiert werden (Konrad, 2005).

Um komplexe funktionelle Mechanismen im Skilanglauf – in verschiedensten Techniken – zu verstehen, sind mit Oberflächen-Elektromyographie (sEMG) gemessene Parameter wesentlich (Lindinger, 2007).

3.4.1 Messsystem

Zur sEMG-Messung wurde das Myomonitor-IV-System von Delsys Inc. (Boston, MA, USA) verwendet. Mittels bipolarer Elektroden konnte an zehn Muskeln die Aktivität gemessen werden. Die zusätzliche Referenzelektrode befand sich während der Messungen am siebten Halswirbel (C7). Die Abtastfrequenz des Delsys Systems wurde auf 1000Hz eingestellt. Ein integrierter Datalogger speicherte die gemessenen Daten. Im Anschluss an die Messungen wurden mit der proprietären Delsys-Software die aufgezeichneten Daten als csv-Dateien exportiert, um eine numerische Berechnung zu ermöglichen.

3.4.2 Untersuchte Muskeln

Die Bewegungsradien oberer und unterer Extremitäten sind im Skilanglauf bzw. im Skirollerlauf besonders hoch. Die Auswahl der untersuchten Muskeln fand unter zwei Aspekten statt. Erstens müssen sie in den sportlichen Techniken relevant sein und einen erheblichen Anteil an der Fortbewegung besitzen. Festzustellen ist dies durch die in 2.1 beschriebenen Techniken und damit verbundenen Gelenkbewegungen, die auf die relevanten Muskelaktivitäten zurückschließen lassen. Zweitens, der Auswahl ist die Möglichkeit die sEMG-Signale im Feld zu erfassen. Das ist einerseits durch die Lage des Muskels definiert – zu tief liegende Muskeln können nicht erfasst werden – andererseits durch die Möglichkeit der praktischen Anwendung im Feld. Wird die Hautoberfläche durch die Bewegung zu stark gedehnt oder zusammengeschoben, kann der permanente Elektrodenkontakt nicht garantiert werden. Außerdem dürfen die Elektroden nicht zu sehr von darüberliegender Kleidung beeinträchtigt werden. Muskeln, die untersucht wurden sind in Tabelle 2 ersichtlich.

m. trizeps brachii (TB)
m. pectoralis major (PM)
m. latissimus dorsi (LD)
m. rectus femoris (RF)
m. vastus lateralis (VL)
m. vastus medialis (VM)
m. biceps femoris (BF)
m. gastrocnemius lateral (GL)
m. gastrocnemius medial (GM)
m. tibialis anterior (TA)

Tabelle 2: Liste der untersuchten Muskeln

Elektrodenapplizierung erfolgte nur auf der rechten Körperhälfte (vgl. 3.3), nach Empfehlungen des SEMIAN Projekt (Hermens et al., 1999). Dort werden die optimalen Platzierungspositionen anhand von markanten anatomischen Stellen beschrieben.

3.4.3 Datenverarbeitung der sEMG-Daten

Die numerische Datenverarbeitung wurde mit MATLAB 2013a (Mathworks, Natick, MA, USA) durchgeführt. Die aufgezeichneten sEMG-Daten wurden, gleichgerichtet und mit Hilfe des Synchronisationsevent (vgl. 3.3) synchronisiert. Die Filterung erfolgte mittels eines Root-Mean-Square Filters mit einer Fensterbreite von 100ms. Anhand der bekannten Zeitpunkte (vgl. 3.5) wurde der sEMG-Signalverlauf in einzelne Bewegungszyklen unterteilt. Zur Auswertung wurden die Bewegungszyklen sechs Bewegungszyklen. Diese waren Zyklus vier bis neun um Abweichungen von Abbremsen oder Beschleunigen auszuschließen. Sechs Zyklen pro Messdurchlauf, 24 pro Messreihe und 120 pro untersuchter Technik (alle ProbandInnen). Im Anschluss wurden die sEMG-Verläufe aller 120 Bewegungszyklen, einer Skating-Technik, durch Interpolation zeitnormalisiert und gemittelt.

3.4.4 Bewertung der Muskelaktivität

In der Literatur gibt es viele verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Muskelaktivität aus sEMG-Signalen. Die Ermittlung und das Vertrauen der On- und Off-Set Zeiten in der Biomechanik bleiben umstritten (Morey-Klapsing et al., 2004).

Eine Bestimmung von On- und Off-Set Zeiten von Muskelaktivitäten im Skilanglauf ist problematisch. Die oberen und unteren Extremitäten sind während des gesamten Bewegungsablaufs hoch dynamisch beansprucht. Klare Perioden, in denen der Muskel entspannt ist und das sEMG-Signal gegen Null geht, gibt es kaum. Das erschwert eine Bewegungsmusteranalyse, wie in Abbildung 26.

Eine Darstellungsmöglichkeit für ein Muskelaktivitätsmuster zeigten Holmberg et al. (2005) anhand der Analyse eines Doppelstockschubs. Dabei wurden sEMG-Signalverläufe MVC-normalisiert und anschließend prozentual bewertet. Alle Werte unter 18% wurden als „low“ (wenig Aktiv), Werte von 18% - 57% als „medium“ (mittlere Aktivität) und über 57% als „high“ (hoch Aktiv) eingestuft. Visualisiert wurden die verschiedenen Aktivitätsstufen mittels unterschiedlicher horizontaler Balken (Abbildung 33).

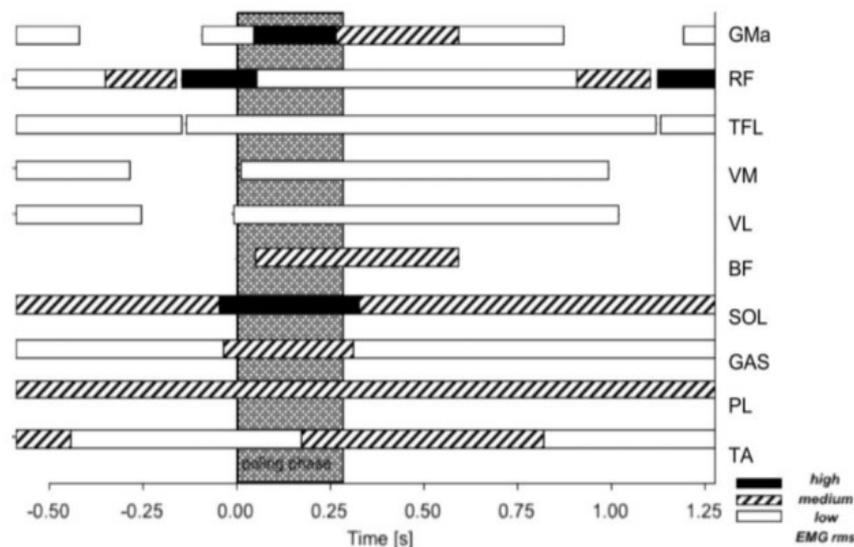


Abbildung 33: Muskelaktivitätsmuster anhand von prozentual bewerteter sEMG-Verläufe (Holmberg et al., 2005)

Die selbe grafische Darstellungsform für Muskelaktivitätsmuster nutzte (Holmberg & Lund, 2008) auch bei der biomechanischen Mehrkörper-Simulation eines Doppelstockschubs (Abbildung 34).

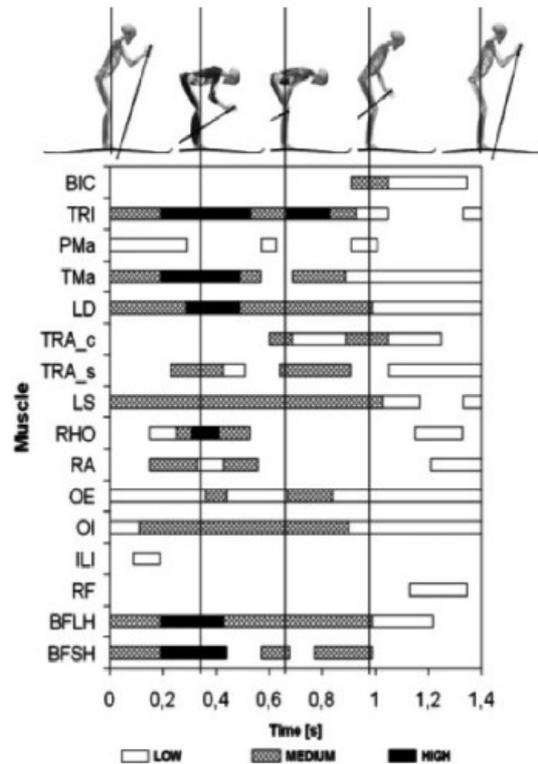


Abbildung 34: Muskelaktivitätsmuster des Doppelstockschubs anhand einer biomechanischen Mehrkörper-Simulation (Holmberg & Lund, 2008)

Zur besseren Übersicht wurden Muskelaktivitäten erst im Muskelaktivitätsmuster visualisiert wenn sie länger als 30ms in der jeweiligen Aktivitätsstufe aktiv waren.

Eine MVC-Normalisierung konnte im Feld nicht durchgeführt werden. Die prozentuale Einteilung des Aktivitätslevels wurde übernommen, aber auf den maximal vorkommenden Amplituden, innerhalb eines Bewegungszyklus bezogen. Dadurch sind quantitative Vergleiche von Muskelaktivitätsmustern nicht mehr möglich. Ein qualitativer Vergleich der Muskelaktivitätsmuster ist dennoch möglich.

Zu beachten galt es auch die Zeitdifferenz zwischen sEMG-Signal und der kinematischen Bewegung des Körpers zu berücksichtigen. Dabei wurden Werte aus der Literatur herangezogen. (Stallkamp, 1999) definierte für seine sEMG-Untersuchungen mit Roller-Skates eine Zeitdifferenz von 100ms für die Beinmuskulatur.

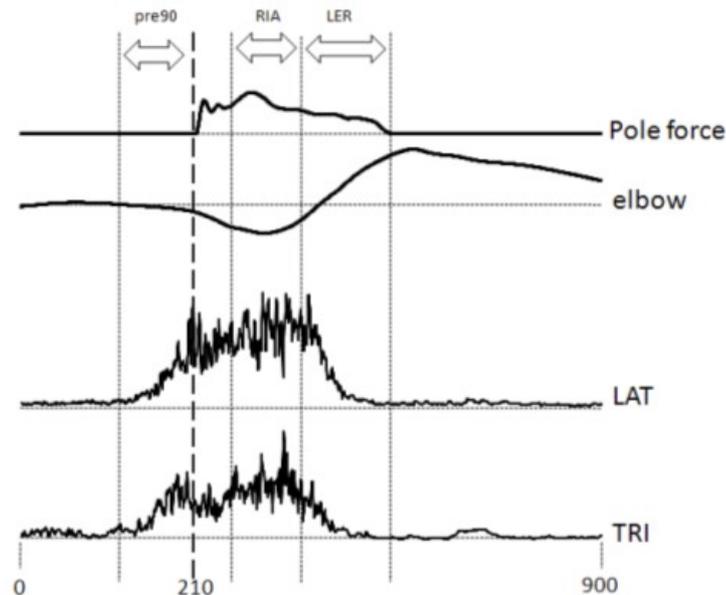


Abbildung 35: Zeitdifferenz zwischen dem gemessenen sEMG-Signal und kinematischen bzw. kinetischen Auswirkungen. Quelle: (Rapp et al., 2008)

Rapp et al. (2008) untersuchten im Rahmen ihrer Studie den Zusammenhang zwischen Stockkraft bzw. kinematischer Bewegung und dem sEMG-Signal (Abbildung 35). Die ermittelte Zeitdifferenz für Oberkörper- und Armmuskulatur betrug 90ms (Rapp et al., 2008).

3.5 Messablauf

In Vorbereitung auf die Messungen musste sich jeder beziehungsweise ProbandIn 15min selbstständig aufwärmen. Im Vordergrund stand dabei das Gewöhnen an das Material und die Umgebungsbedingungen. Danach wurden die sEMG-Messelektroden an den untersuchten Muskeln und das Smartphone am rechten Fuß aufgeklebt. Anschließend wurden Messungen, in der dafür vorgesehenen Technik, auf den drei Messstrecken durchgeführt. Eine Messreihe bestand aus vier gültigen Durchläufen in der jeweiligen Skating-Technik. Die Gültigkeit der Durchläufe wurde optisch, aufgrund von Gleichmäßigkeit der Bewegungsabläufe, bewertet. Eine höhere Anzahl Messungen war aufgrund der zunehmenden Transpiration der Haut nicht möglich. Die Belastungsintensität sollte an der individuellen 10km Wettkampf-Intensität liegen. Diese lag bei allen ProbandInnen ungefähr bei 90% der maximalen Herzfrequenz. Nach den Messungen auf Ski folgte der selbe Messablauf auf Skiroller.

3.6 Messstrecke und Umweltparameter

Die Messstrecken wurden unter Berücksichtigung der untersuchten Skating-Techniken ausgewählt, vor allem die Steigung betreffend (vgl. 2.1). Des weiteren wurde darauf

geachtet, dass die Steigungen möglichst konstant sind und die Messstrecken keine Kurven beinhalten. Ein weiterer Aspekt auf den es zu achten galt, war die Oberfläche auf der gelaufen wurde. Diese sollte während der Messungen konstant bleiben und eine korrekte Ausübung der Skating-Techniken ermöglichen. Um die geforderte Geschwindigkeit zu erzielen war ein gewisser Anlaufweg nötig. Steigung und Streckenlänge der Messstrecken auf denen gelaufen wurde kann in Tabelle 3 abgelesen werden.

Skating-Technik	Streckenlänge	Steigung
ZTA	60m	12%
ET	100m	3%
ZTS	100m	1%

Tabelle 3: Durchschnittliche Steigungen und Streckenlängen der gelaufenen Messstrecke

Zum Zeitpunkt der Messungen mit Langlaufski kann der Schnee als feinkörniger Altschnee beschrieben werden. Er war stark verdichtet und frisch maschinell präpariert. Die Schneetemperatur betrug -2°C und die Lufttemperatur 0°C . Das Wetter war bedeckt und die relative Luftfeuchtigkeit betrug 77%.

Die Messstrecke für Skiroller war mittelgrob asphaltiert und leicht feucht. Jedoch hat keiner der ProbandInnen dies als störend empfunden. Da die Messungen mit Skiroller unmittelbar im Anschluss an die Messungen mit Langlaufski stattgefunden haben, waren die äußeren Bedingungen ident.

4 Ergebnisse

Die aus den Messmethoden beschriebenen Ergebnisse teilen sich vier Abschnitte. Der erste Abschnitt zeigt die unterschiedlichen Zyklusraten zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf. Im zweiten Abschnitt werden die prozentualen Anteile der Bewegungsphasen in den Bewegungszyklen verglichen. Abschnitt drei beschreibt die Unterschiede der Muskelaktivitätsverläufe während eines Bewegungszyklus. Die dargestellten Muskelaktivitäten beziehen sich immer auf die rechte Körperhälfte (vgl. 3.4.2). Der vierte Teil basiert auf den Muskelaktivitätsverläufen. Alle Muskelaktivitäten wurden Aktivitätsstufen zugeordnet und in einem Muskelaktivitätsmuster zusammengefasst grafisch dargestellt. Dies ergibt einen besseren Überblick über die unterschiedlichen zeitlichen Zuordnungen der Muskelaktivitäten.

In den Grafiken sind die Daten bezogen auf den Skilanglauf blau und auf den Skirollerlauf in rot gehalten.

Beginn der beschriebenen Bewegungszyklen ist immer der Beginn der ASP des rechten Fußes, welche mit der GLP des rechten Fußes enden.

Zur statistischen Bewertung der Messdaten wurden diese im ersten Schritt mit MATLAB 2013a mit dem Anderson-Darling-Test auf ihre Normalverteilung überprüft. Ein Großteil der Messdaten wick signifikant ($p < 0.05$) von einer Normalverteilung ab. Aufgrund der Abweichungen von einer Normalverteilung wurde der Mann-Whitney-U-Test, ebenfalls mit MATLAB 2013a (Mathworks, Natick, MA, USA), als parameterfreier statistischer Test zur Überprüfung von signifikanten Unterschieden eingesetzt. Das Signifikanzniveau wurde zweiseitig auf $\alpha=0.05$ festgelegt.

4.1 Bewegungszyklusraten

Die gemessenen Bewegungszyklusraten aller ProbandInnen, in den jeweiligen Skating-Techniken, wurden arithmetisch gemittelt und statistisch überprüft. In allen untersuchten Skating-Techniken konnte im Skilanglauf, gegenüber dem Skirollerlauf, eine signifikant größere Bewegungszyklusrate festgestellt werden (Abbildung 36). Die Unterschiede betragen in der ZTA-Technik 7,1% ($p < 0,05$), in der ET-Technik 7,7% ($p < 0,05$) und in der ZTS-Technik 14,4% ($p < 0,05$).

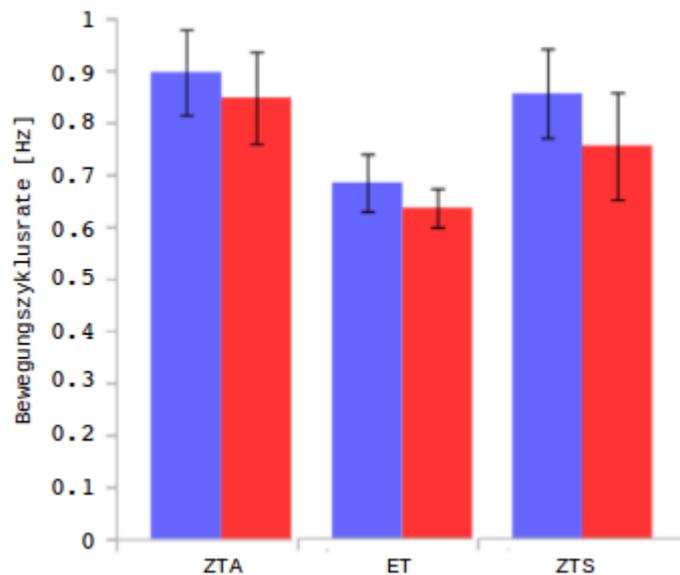


Abbildung 36: Durchschnittlich gemessene Bewegungszyklusraten in den jeweiligen Skatingtechniken. Skilanglauf (blau), Skirollerlauf (rot)

Tabelle 4 zeigt zusammengefasst alle ermittelten Bewegungszyklusraten und Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf.

Skatingtechnik	Bewegungszyklusrate		Differenz
	Skilanglauf	Skirollerlauf	
ZTA	0,89Hz ±0,08	0,83Hz ±0,09	7,1% ($p < 0,05$)
ET	0,64Hz ±0,05	0,60Hz ±0,04	7,7% ($p < 0,05$)
ZTS	0,80Hz ±0,08	0,70Hz ±0,10	14,4% ($p < 0,05$)

Tabelle 4: Zusammenfassung der gemessenen Bewegungszyklusraten und deren Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf

4.2 Verteilung der Bewegungsphasen

Die ermittelte prozentuale Bewegungsphasenverteilung eines Bewegungszyklus aller ProbandInnen, in den jeweiligen Skating-Techniken, wurden arithmetisch gemittelt und statistisch überprüft. Aufgrund der relativen Betrachtung ist die jeweilige BZD nicht relevant. In der ZTA-Technik war die ASP mit Skiroller um 27,45% ($p < 0,05$) signifikant kürzer als mit Langlaufski. Dagegen verlängerte sich die SWP im Skirollerlauf nicht signifikant gegenüber dem Langlauf um 6,90% ($p = 0,08$). Der GLP-Anteil war im Skilanglauf um 10,42% ($p < 0,05$) größer als mit Skiroller. In der ET-Technik wurde mit Skiroller eine um 33,05% ($p < 0,05$) signifikant kürzere ASP als mit Langlaufski festgestellt. Dagegen verlängerte sich die SWP im Skirollerlauf um 35,21% ($p < 0,05$). Der GLP-Anteil war im Skilanglauf um 30,56% ($p < 0,05$) signifikant größer als mit Skiroller. Die ASP in der ZTS-Technik war mit Skiroller um 6,40% ($p = 0,12$) nicht signifikant kürzer als mit Langlaufski. Dagegen verlängerte sich die SWP im Skirollerlauf um 27,75% ($p < 0,5$). Der GLP-Anteil war im Langlauf um 35,93% ($p < 0,05$) größer als mit Skiroller (Abbildung 37).

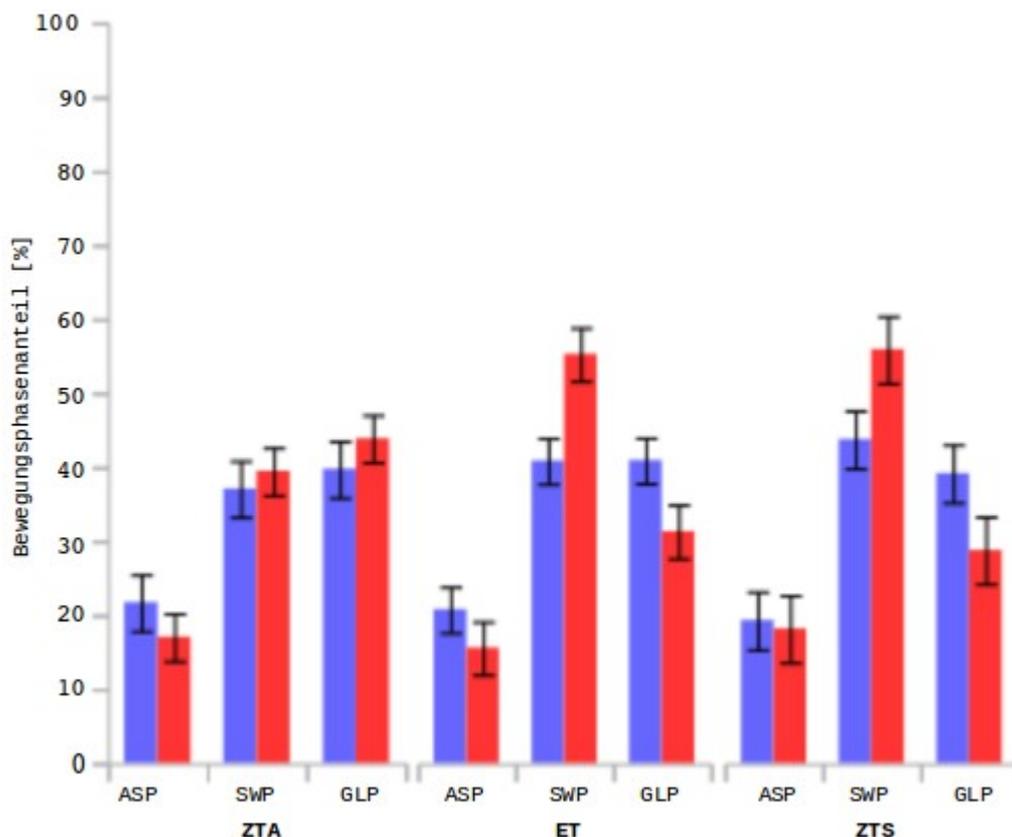


Abbildung 37: Durchschnittlich gemessene Bewegungsphasenverteilung in den jeweiligen Skatingtechniken. Skilanglauf (blau), Skirollerlauf (rot)

Tabelle 5 zeigt alle ermittelten prozentualen Bewegungsphasenverteilungen und die Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf.

Skatingtechnik	Bewegungsphase	Bewegungsphasenanteil		Differenz
		Skilanglauf	Skirollerlauf	
ZTA	ASP	21,73% ± 3,20	17,05% ± 1,99	27,45% ($p < 0,05$)
	SWP	37,08% ± 2,60	39,64% ± 3,75	-6,90% ($p = 0,08$)
	GLP	39,73% ± 4,86	43,87% ± 3,23	-10,42% ($p < 0,05$)
ET	ASP	20,17% ± 3,47	15,16% ± 3,14	33,05% ($p < 0,05$)
	SWP	39,67% ± 3,14	53,64% ± 4,32	-35,21% ($p < 0,05$)
	GLP	39,73% ± 3,67	30,43% ± 3,58	30,56% ($p < 0,05$)
ZTS	ASP	18,78% ± 3,02	17,65% ± 3,02	6,40% ($p = 0,12$)
	SWP	42,48% ± 3,75	54,27% ± 5,02	-27,75% ($p < 0,5$)
	GLP	38,02% ± 3,79	27,97% ± 3,22	35,93% ($p < 0,05$)

Tabelle 5: Zusammenfassung der prozentualen Bewegungsphasenanteile und deren Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf

4.3 Muskelaktivitätsverläufe

Die gemessenen Muskelaktivitätsverläufe eines Bewegungszyklus aller ProbandInnen, in den jeweiligen Skating-Techniken, wurden arithmetisch gemittelt. Aufgrund unterschiedlicher BZD sind die Verläufe zeitnormalisiert dargestellt. Die Muskelaktivitätsverläufe sind relativ zur jeweiligen maximalen Amplitude aufgetragen und gefiltert (vgl. 3.4.3 und 3.4.4). Vertikal strichlierte Linien indizieren, in den jeweiligen Farben, die einzelnen Bewegungsphasen. Horizontale Linien (bei 18% und 57%) geben die Schwellenwerte für die Bewertung der Aktivitätsstufen an.

Muskelaktivitätsverläufe Zweitakter asymmetrisch

Gastrocnemius Lateralis

Der Muskelaktivitätsverlauf des GL zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf einen starken Anstieg ab dem Beginn der ASP. Im Langlauf wird das Maximum im letzten Viertel der individuellen ASP, bei 18% des Bewegungszyklus erreicht. Der Maximalwert im Skirollerlauf befindet sich dagegen im letzten Drittel der individuellen ASP, bei 13% des Zyklus. Die relative zeitliche Differenz der beiden Peaks beträgt 5%. Nach dem Höchstwerten sinkt die Muskelaktivität in beiden Fällen auf ein mäßig aktives Niveau ab. Ab der Mitte der individuellen SWP im Langlauf steigt die Aktivität auf ein lokales Maximum

an, welches sich bei 52% des Gesamtzyklus befindet. Im Skirollerlauf steigt die Muskelaktivität erst am Ende der SWP an und erreicht seinen Maximalwert bei 65%. Die relative zeitliche Differenz zwischen den beiden lokalen Maxima beträgt 13%. In den weiteren individuellen GLP sinkt die Muskelaktivität wieder ab. Ab 84% des Bewegungszyklus steigt das Aktivitätslevel im Skirollerlauf auf ein mittleres Niveau wo es bis zum Ende verbleibt. Der Aktivitätsverlauf im Skilanglauf bleibt dagegen bis zum Ende nur schwach aktiv (Abbildung 38).

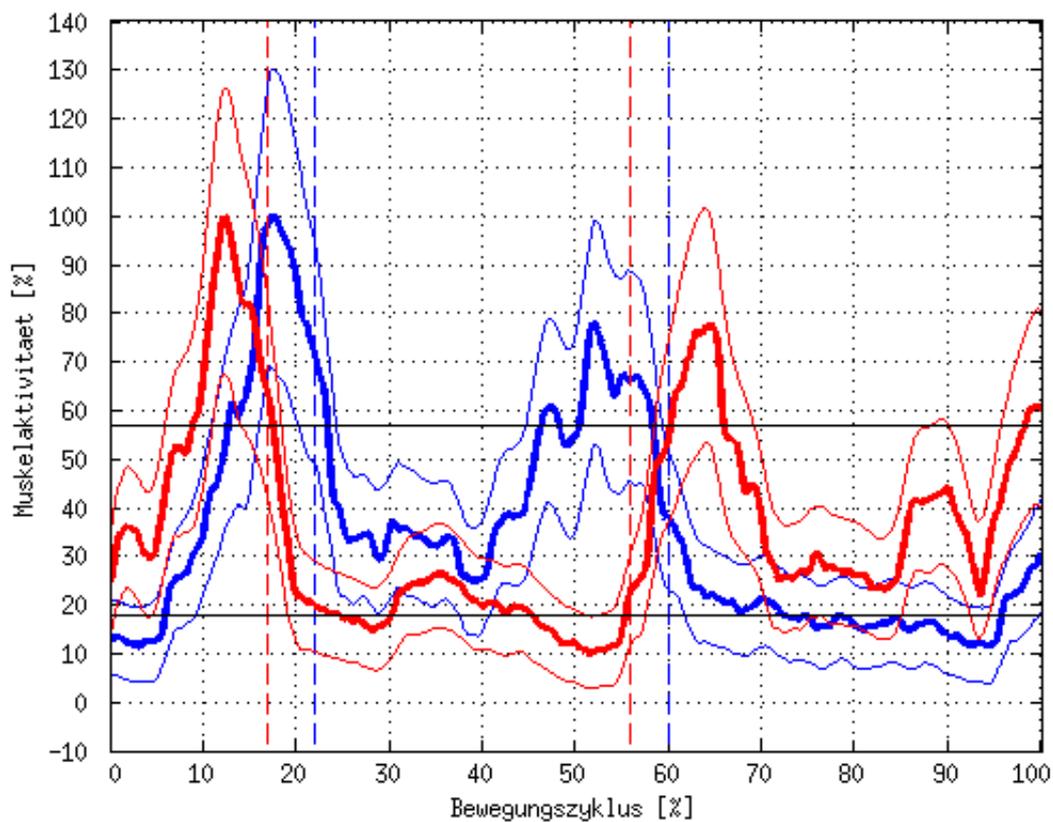


Abbildung 38: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GL in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Gastrocnemius Medialis

Der Muskelaktivitätsverlauf des GM zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Aktivitäten. Die Aktivitätsverläufe im Langlauf und im Skirollerlauf erreichen innerhalb der individuellen ASP ihre erste dominante Aktivität. Diese hat im Langlauf bereit nach 4% des Bewegungszyklus ihr lokales Maximum. Dagegen erreicht die Muskelaktivität im Skirollerlauf ihr Maximum erst nach 13%. Die relative zeitliche Differenz beträgt 9%. Danach nimmt die Muskelaktivität in beiden Fällen ab und bleibt wenig aktiv. Erst im letzten Drittel der individuellen GLP steigen die Muskelaktivitäten wieder. Im Langlauf erreicht die Aktivität nach 94% ihr Maximum, im Skirollerlauf erst nach 99% ein lokales Maximum (Abbildung 39).

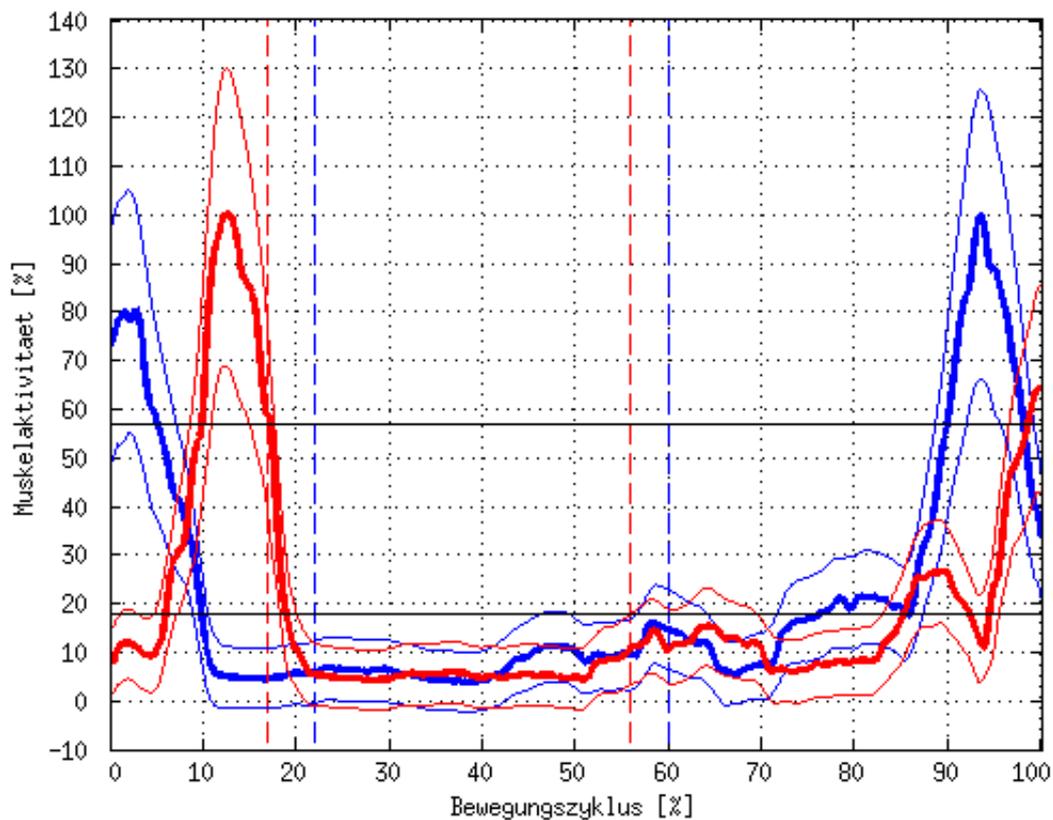


Abbildung 39: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GM in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Tibialis Anterior

Die Muskelaktivität des TB zeigt im Skilanglauf und im Skirollerlauf, während der ASP, konträre Verläufe. Im Langlauf steigt die die Muskelaktivität aus einer mittleren Aktivität zu einer hohen Aktivität an. Hingegen im Skirollerlauf fällt diese aus einer hohen Muskelaktivität in eine mittlere ab. Innerhalb der individuellen SWP erreichen die Muskelaktivitäten in beiden Fällen ein lokales Maximum. Im Skilanglauf wird dieses bei 39% des Bewegungszyklus erreicht, im Skirollerlauf schon bei 33%. Die relative zeitliche Differenz zwischen den beiden lokalen Maxima beträgt 6%. Im letzten Drittel der individuellen SWP fangen beide Muskelaktivitätsverläufe wieder an zu steigen. Sie Höhepunkte liegen sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf in deren GLP. Der Höhepunkt im Langlauf wird bei 75% des Gesamtzyklus erreicht. Dagegen im Skirollerlauf erst bei 86%. Die relative zeitliche Differenz zwischen den Peaks beträgt 11%. Anschließend sinken beide Muskelaktivitätsverläufe auf ein mittleres Niveau ab, indem sie bis zu Ende des Zyklus bleiben (Abbildung 40).

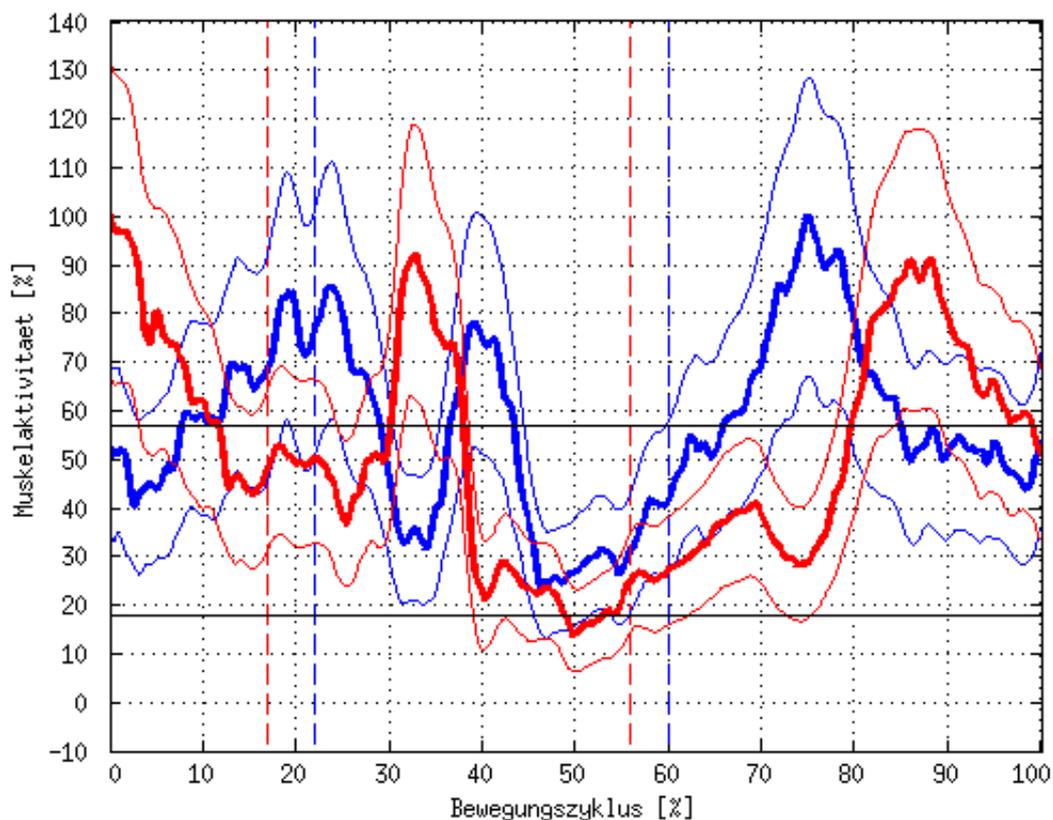


Abbildung 40: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TA in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Vastus Lateralis

Der Muskelaktivitätsverlauf des VL zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Aktivitäten. Die Aktivitätsverläufe im Langlauf und im Skirollerlauf erreichen innerhalb der individuellen ASP ihre erste dominante Aktivität. Nach einer kurzen Sinkphase zu Beginn, wird kurz vor jedem individuellen Ende der ASP die höchste Muskelaktivität erreicht. Diese liegt im Langlauf bei 21% des Bewegungszyklus und im Skirollerlauf schon bei 17%. Die relative zeitliche Differenz zwischen den beiden Peaks beträgt 4%. Mit Beginn der individuellen SWP sinken beide Aktivitätsverläufe auf ein wenig aktives Niveau ab. Erst im ersten Drittel der jeweiligen GLP steigt in beiden Fällen die Muskelaktivität auf ein lokales Maximum wieder an. Dies wird im Skilanglauf bei 78% des Zyklus erreicht, im Skirollerlauf schon bei 74%. Die relative zeitliche Differenz zwischen den lokalen Maximalwerten beträgt 4%. Anschließend fallen beide Verläufe auf ein mittleres Aktivitätsniveau ab, steigen aber gegen Ende der GLP wieder auf ein hoch aktives Niveau an (Abbildung 41).

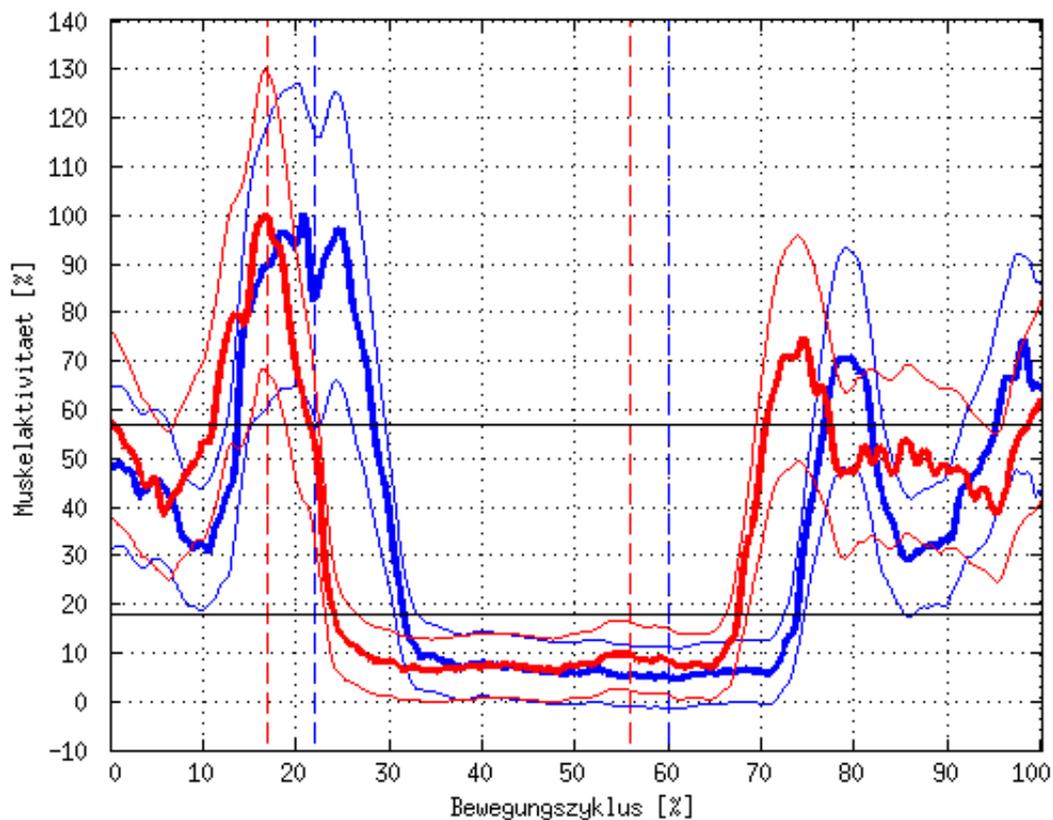


Abbildung 41: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VL in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Rectus Femoris

Die Muskelaktivität des RF steigt sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf, am Beginn des Bewegungszyklus stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 22%, im Skirollerlauf bereits nach 14% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet das am Ende, im Skirollerlauf letzten Viertel der individuellen ASP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 8%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen rasch ab. Im weiteren Verlauf bleibt die Muskelaktivität konstant mäßig. Mit dem Beginn der jeweiligen GLP kommt es erneut zu einer erhöhten Muskelaktivität. Im Langlauf steigt die Aktivität nach dem ersten Viertel der GLP leicht an und bleibt alternierend wenig bis mäßig aktiv. Nach dem Beginn der individuellen GLP im Skirollerlauf steigt die Muskelaktivität stark an und bleibt auf einem mäßigen Aktivitätslevel. Bei 95% des Bewegungszyklus steigt sie erneut an und ist für den Rest der GLP sogar hoch aktiv (Abbildung 42).

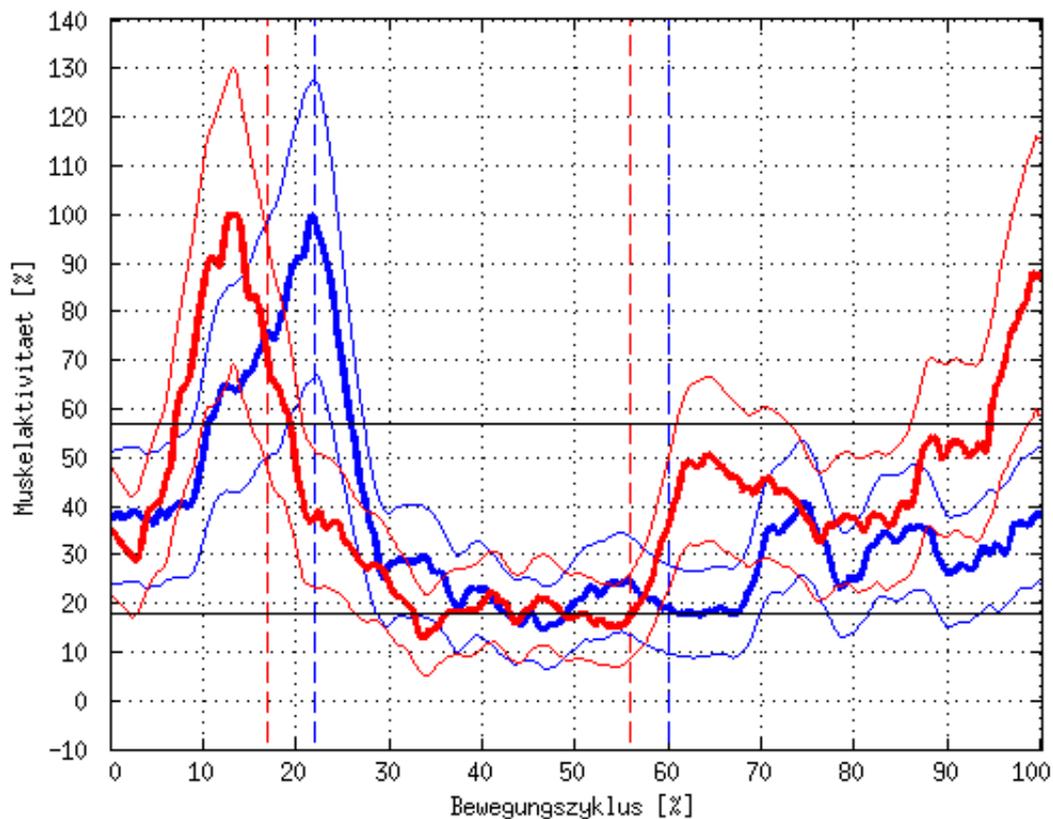


Abbildung 42: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des RF in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Vastus Medialis

Der Muskelaktivitätsverlauf des VM steigt sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf, am Beginn des Bewegungszyklus stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 13%, im Skirollerlauf bereits nach 12% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet und im Skirollerlauf bedeutet das im letzten Drittel der individuellen ASP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 1%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen rasch ab und verbleiben in den jeweiligen SWP auf wenig aktivem Niveau. Mit dem Beginn der individuellen GLP steigen beide Muskelaktivitäten wieder an. Im Skilanglauf verbleibt die Muskelaktivität dabei in einem mäßig Aktiven Bereich. Der Verlauf im Skirollerlauf zeigt in der GLP zwei lokale Maxima im hoch aktiven Bereich. Erstes bei 65% und zweites bei 96% des Bewegungszyklus (Abbildung 43).

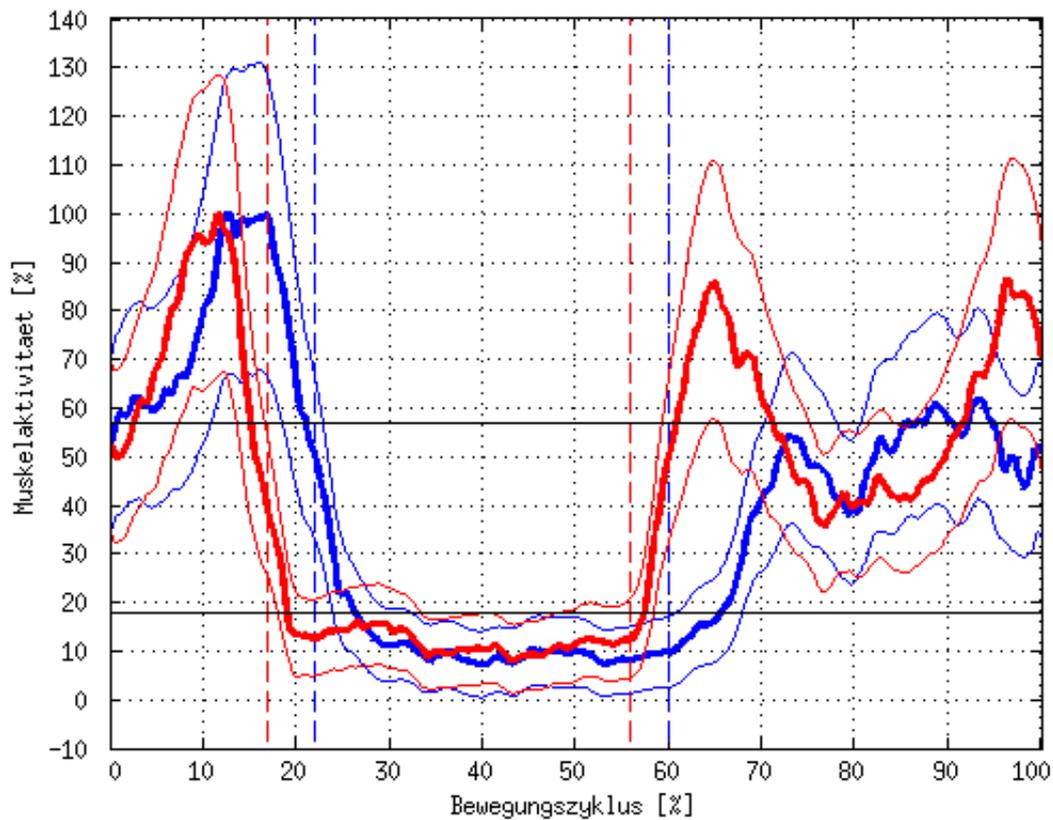


Abbildung 43: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VM in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Biceps Femoris

Die Muskelaktivität des BF ist am Beginn der ASP des Skilanglaufs, wie auch des Skirollerlaufs in einem mäßig aktiven Bereich. Ab der zweiten Hälfte der individuellen ASP steigt die Muskelaktivität in beiden Fällen an. Das lokale Maximum wird im Langlauf, als auch im Skirollerlauf im letzten Drittel der jeweiligen ASP erreicht. Im Skilanglauf nimmt die Muskelaktivität langsam bis zum letzten Drittel der individuellen SWP ab. Im Gegensatz dazu nimmt die Aktivität im Skirollerlauf unmittelbar nach dem Beginn der SWP ab, steigt im Anschluss aber auf eine mittlere Aktivitätsstufe in der sie die restliche SWP verbleibt. Die folgende GLP im Skilanglauf zeichnet sich durch drei Peaks mittlerer Aktivität aus. In der GLP des Skirollerlaufs steigt die Muskelaktivität nach dem ersten Drittel an und ist im letzten Viertel sogar hoch aktiv (Abbildung 44).

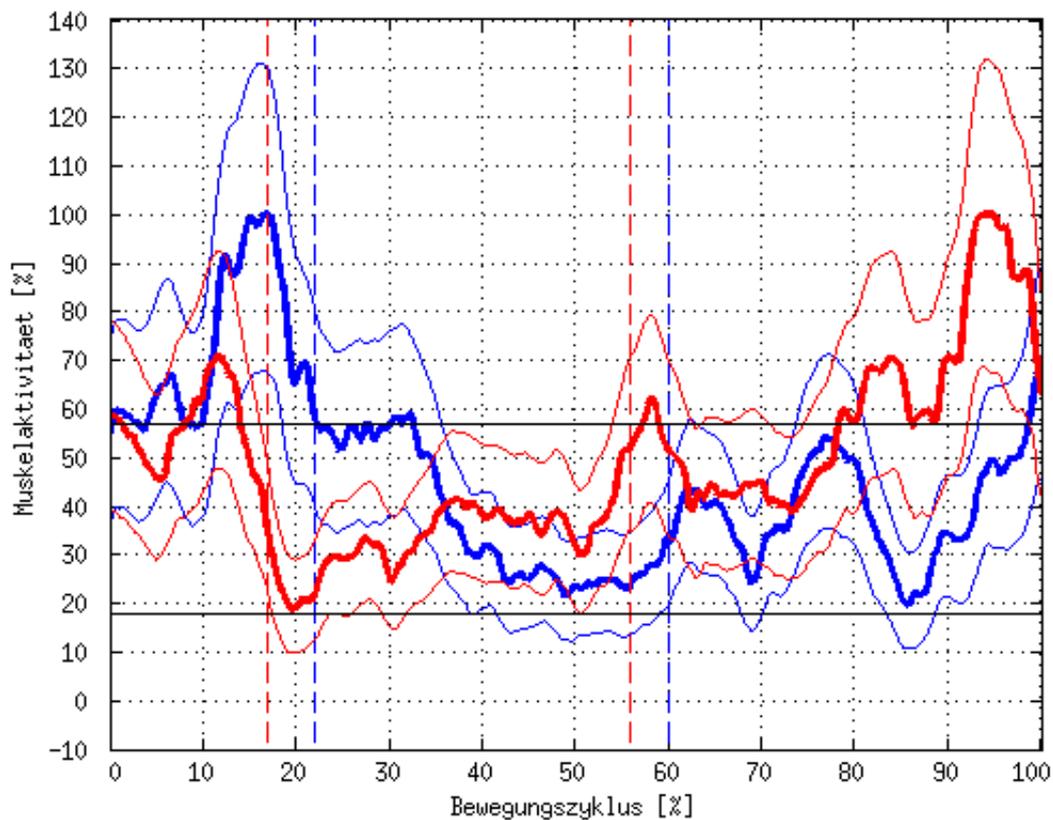


Abbildung 44: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des BF in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Latissimus Dorsi

Der Muskelaktivitätsverlauf des LD zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Aktivitäten. Die Aktivitätsverläufe im Langlauf und im Skirollerlauf erreichen während der individuellen ASP und darüber hinaus, am Anfang der SWP, ihre ersten dominanten Aktivitäten. Im Zeitraum von 4% bis 32%, im Bezug auf den Gesamtzyklus, ist der Muskel im Langlauf hoch aktiv. Im Gegensatz dazu ist der Muskel im Skirollerlauf schon von 0% bis 23% hoch aktiv. Danach nimmt die Muskelaktivität in beiden Fällen stark ab und verbleibt wenig aktiv. Im letzten Viertel der GLP im Langlauf steigt die Muskelaktivität auf ein lokales Maximum, welches am Ende des Bewegungszyklus erreicht wird. Im Skirollerlauf hingegen steigt die Muskelaktivität letzten Drittel der individuellen GLP und erreicht den Höchstwert erst schon bei 92%. Die relative Differenz zwischen den Peaks beträgt 8%. Nach dem maximalen Werten im Skirollerlauf sinkt der Muskelaktivitätsverlauf auf eine mittlere Aktivitätsstufe bis zum Ende der GLP (Abbildung 45).

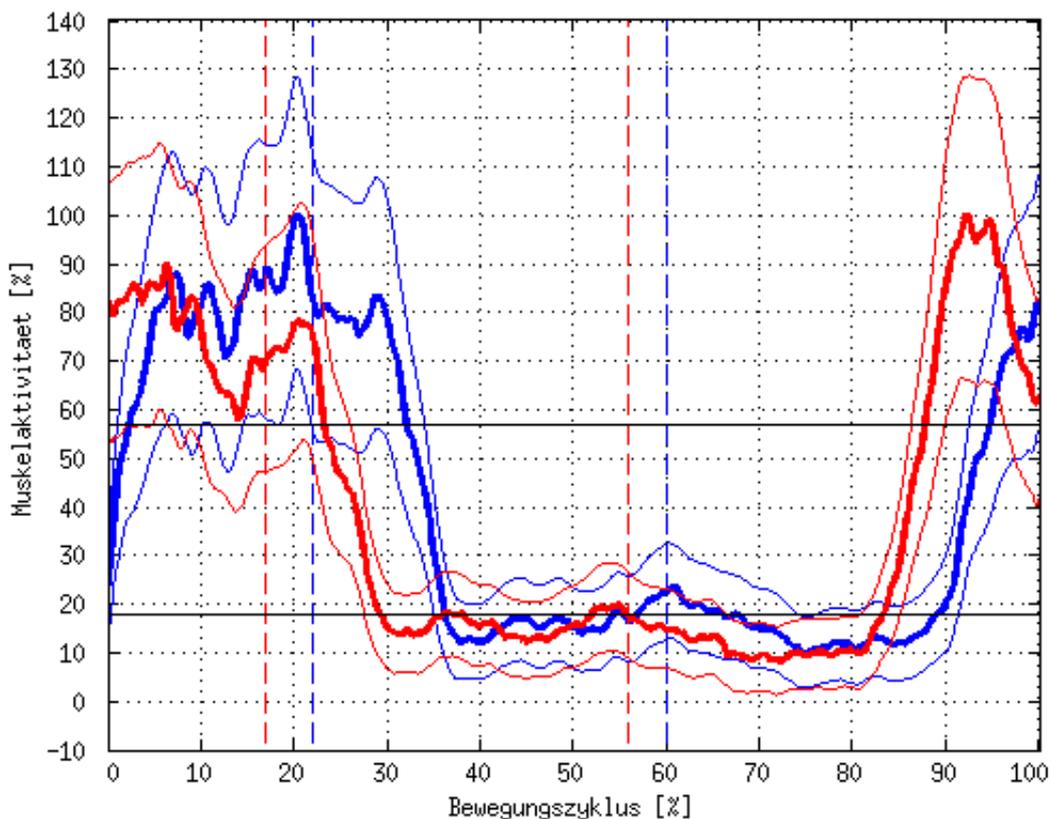


Abbildung 45: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des LD in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Pectoralis Major

Die Muskelaktivität des PM verläuft in der individuellen ASP mäßig Aktiv und nimmt gegen Ende der Phase leicht ab. In der SWP bleibt der Muskel wenig aktiv. Dagegen verläuft die Muskelaktivität im Skirollerlauf während der gesamten individuellen ASP und SWP wenig aktiv. Im ersten Drittel der GLP im Langlauf steigt die Muskelaktivität an. Im Gegensatz dazu fängt die Aktivität im Skirollerlauf schon kurz vor dem Ende der individuellen SWP an zu steigen. Die maximale Muskelaktivität im Langlauf wird in der GLP bei 85% des Gesamtzyklus erreicht. Im Skirollerlauf wird dieses schon bei 72% erreicht. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 13%. Nach der maximalen Muskelaktivität bleibt die hohe Aktivität im Langlauf noch 13% des Bewegungszyklus aufrecht. Die hohe Aktivität des Skirollerlauf nur 9% . Danach nimmt die Muskelaktivität in beiden Fällen konstant bis zum Ende des Zyklus ab (Abbildung 46).

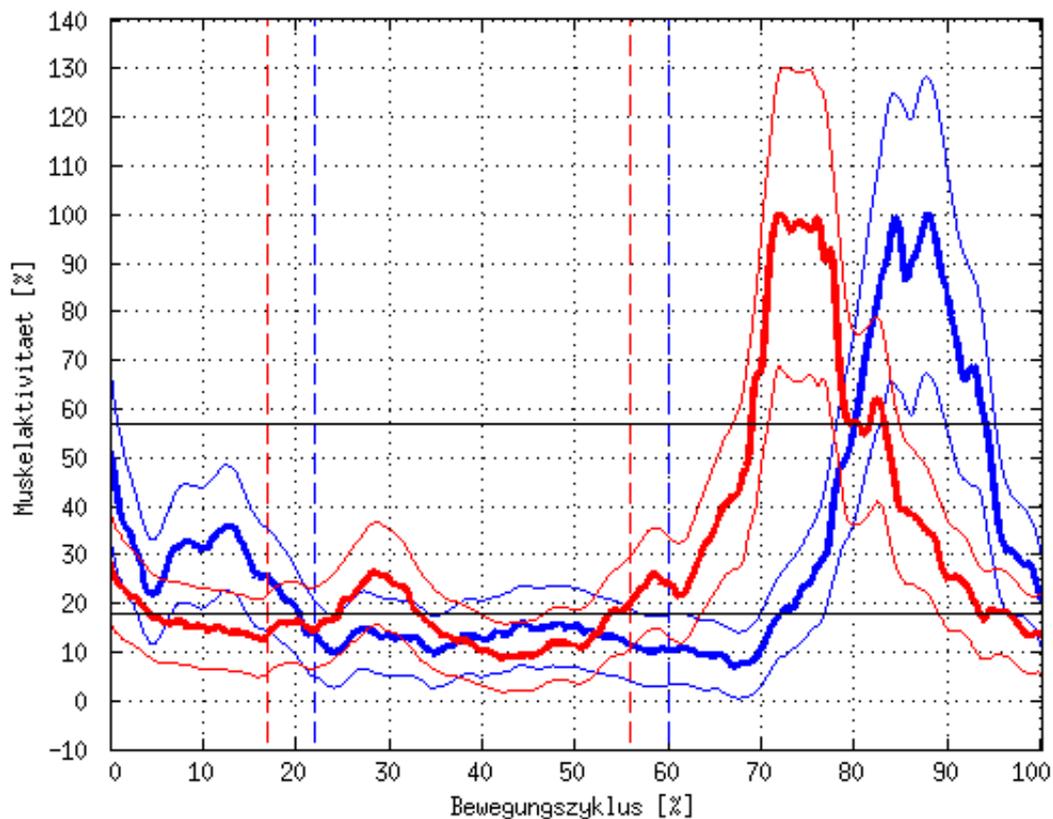


Abbildung 46: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des PM in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Triceps Brachii

Die Muskelaktivität des TB steigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf, kurz nach dem Beginn des Bewegungszyklus stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 22%, im Skirollerlauf bereits nach 17% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. In beiden Fällen bedeutet das genau am Übergang der individuellen ASP zur SWP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 5%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese im Skilanglauf und im Skirollerlauf innerhalb der SWP auf ein niedriges Niveau ab. Im weiteren Verlauf bleibt die Muskelaktivität konstant sehr niedrig, ehe sie in beiden Fällen am Ende der GLP auf ein mittleres Niveau ansteigt. Im Langlauf beginnt dieser bei 88% des Bewegungszyklus und im Skirollerlauf schon bei 83% (Abbildung 47).

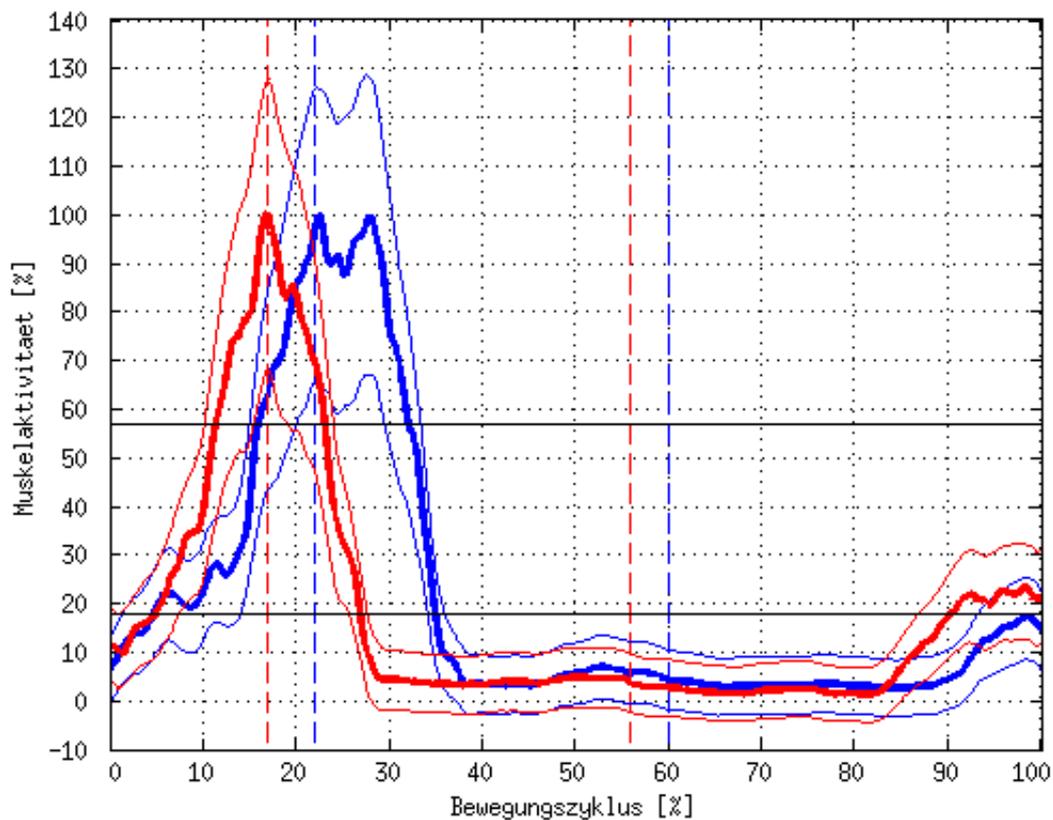


Abbildung 47: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TB in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Muskelaktivitätsverläufe Eintakter

Gastrocnemius Lateralis

Die Muskelaktivität des GL steigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf, kurz nach dem Beginn des Bewegungszyklus stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 24%, im Skirollerlauf bereits nach 16% im Bezug auf den gesamten Zyklus erreicht. Der Höhepunkt wird in beiden Fällen kurz nach dem Beginn der individuellen SWP erreicht. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 8%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese beim Skirollerlauf deutlich rascher ab als beim Skilanglauf. Im weiteren Verlauf bleibt die Muskelaktivität im Skirollerlauf konstant niedrig und im Langlauf mäßig. Am Ende des Zyklus steigt die Aktivität im Skilanglauf sehr stark an (Abbildung 48).

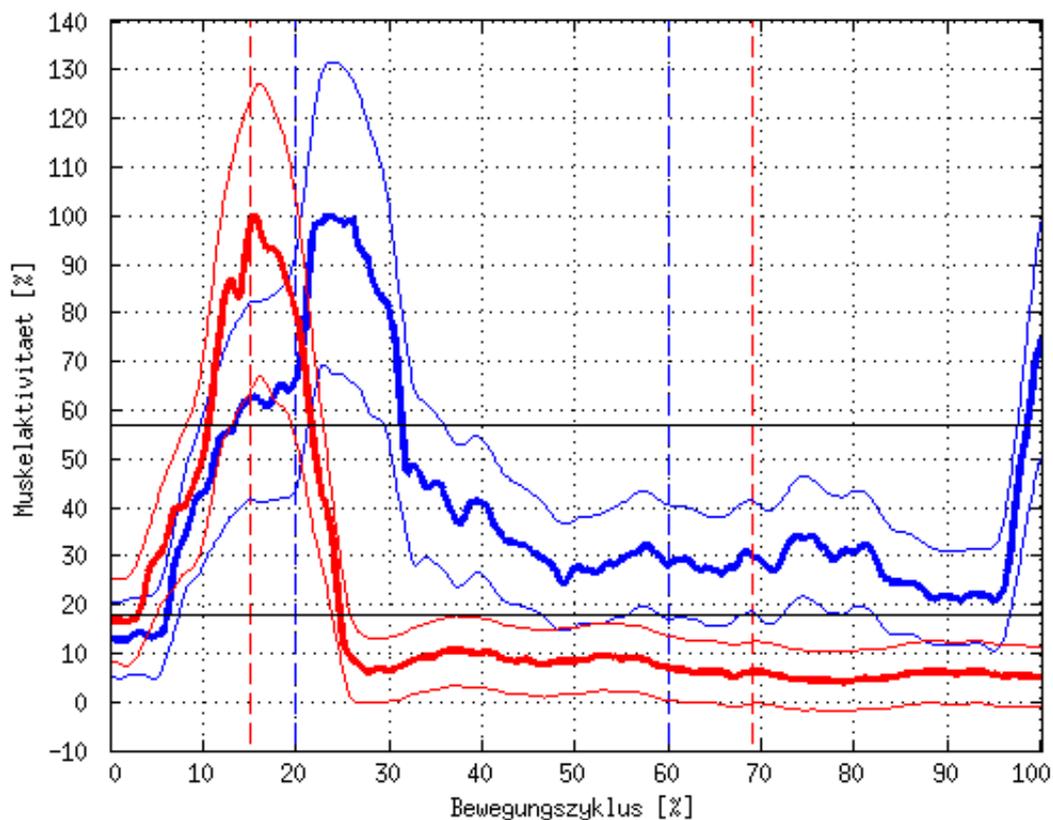


Abbildung 48: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GL in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Gastrocnemius Medialis

Der Muskelaktivitätsverlauf des GM steigt sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf, am Beginn des Bewegungszyklus stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 12%, im Skirollerlauf bereits nach 5% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet das kurz nach der Hälfte, im Skirollerlauf nach dem ersten Drittel der individuellen ASP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 7%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen rasch ab. Im weiteren Verlauf bleibt die Muskelaktivität konstant sehr niedrig (Abbildung 49).

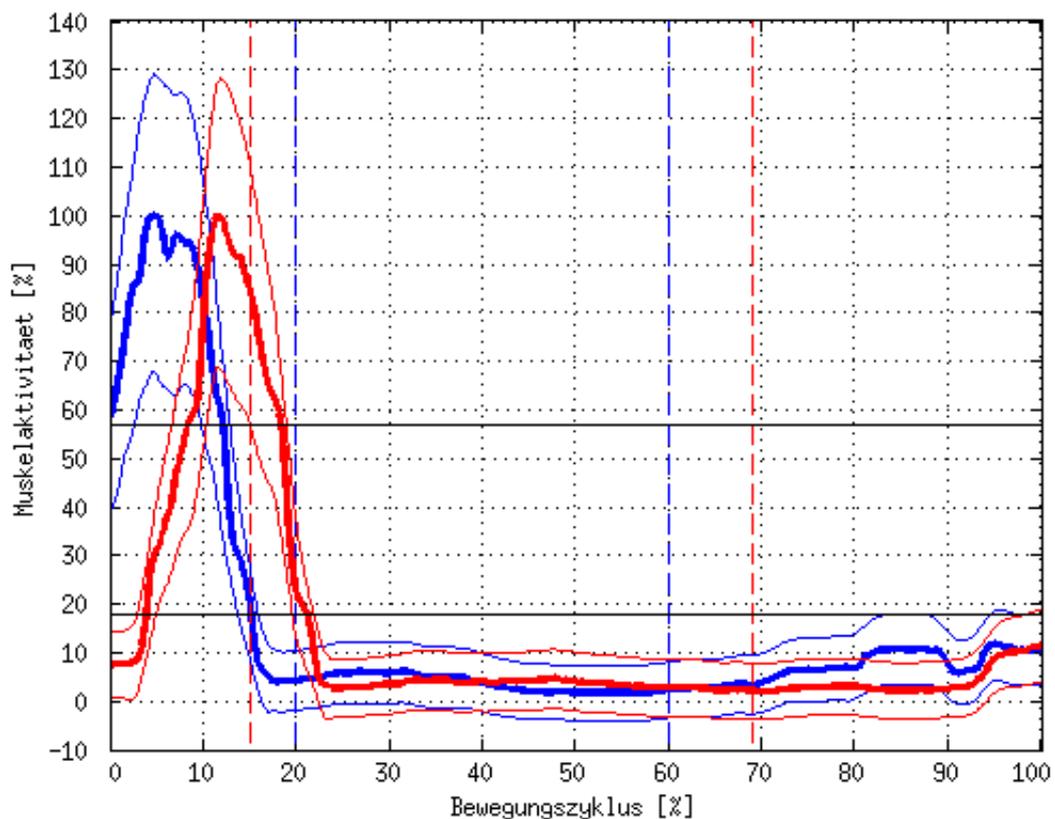


Abbildung 49: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GM in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Tibialis anterior

Die Muskelaktivität des TA zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei Bereiche in denen die Aktivität hoch ist. Die Aktivität des nimmt sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf, kurz nach der individuellen ASP stark zu. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 33%, im Skirollerlauf erst nach 40% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet das im ersten Drittel, im Skirollerlauf in der Mitte der individuellen SWP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 7%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen gleich stark, auf ein mittel aktives Niveau ab. Allerdings steigt im Skilanglauf, nach Erreichen der GLP, die Aktivität stark an und bleibt 22% des Bewegungszyklus hoch aktiv. Im Gegensatz dazu bleibt die Muskelaktivität im Skirollerlauf gleichmäßig niedrig, bis sie bei 89% ebenfalls ansteigt. Die hoch aktive Phase dauert allerdings 7%, im Bezug auf den Gesamtzyklus, an (Abbildung 50).

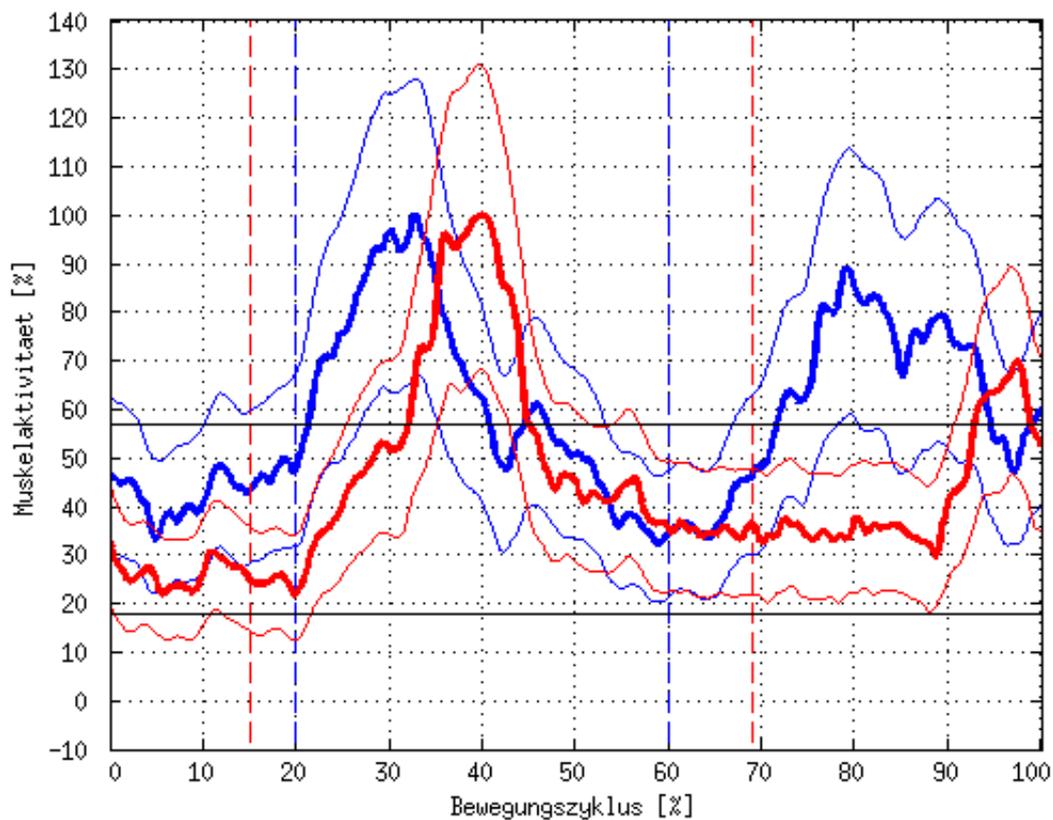


Abbildung 50: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TA in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Vastus Lateralis

Der Muskelaktivitätsverlauf des VL zeigt sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei Bereiche in denen die Aktivität hoch ist. Die Aktivität steigt im Langlauf, als auch im Skirollerlauf mit dem Beginn des Bewegungszyklus. Die maximale Aktivität im Langlauf wird nach 25%, im Skirollerlauf schon nach 14% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet das kurz nach dem Ende, im Skirollerlauf mit dem Ende der individuellen ASP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 11%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen gleich stark, auf ein Niveau mittlerer Aktivität, ab. Beim Erreichen der GLP steigt die Muskelaktivität im Skilanglauf als auch im Skirollerlauf gleichmäßig an. Während die Aktivität im Langlauf bis Zyklusende konstant ansteigt, erreicht die sie im Skirollerlauf einen Peak bei 90% und nimmt bis zum Ende des Zyklus stark ab (Abbildung 51).

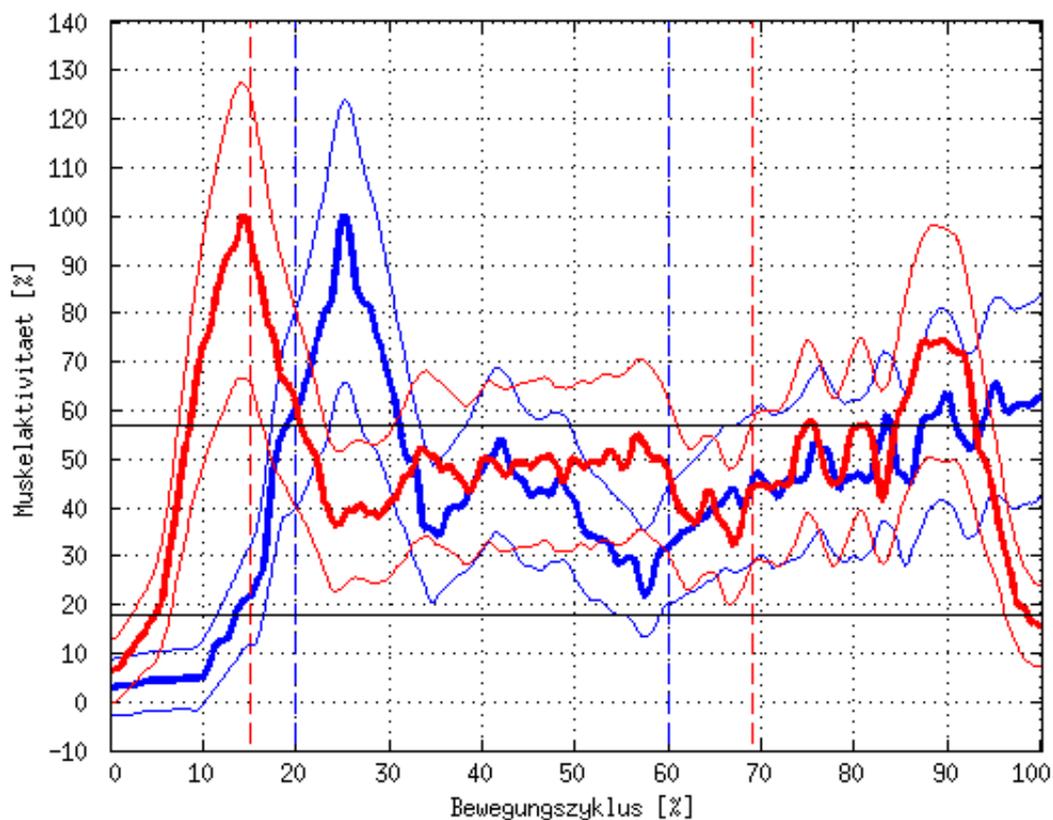


Abbildung 51: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VL in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Rectus Femoris

Die Muskelaktivität des RF steigt im Langlauf nach zwei Drittel der ASP stark an und erreicht sein Maximum nach 26%. Im Skirollerlauf steigt die Aktivität mit dem Beginn des Bewegungszyklus und erreicht den höchsten Punkt schon bei 13%. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 13%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen gleich stark. Im Langlauf verbleibt sie auf mäßiger, und im Skirollerlauf auf niedriges Niveau ab. Beim Erreichen der GLP steigt die Muskelaktivität im Skilanglauf konstant bis kurz vor Zyklusende an und ist die letzten 9% hoch aktiv. Der Verlauf im Skirollerlauf steigt kurz vor der GLP auf mittleres Niveau an, ehe er im Laufe der GLP leicht absinkt. Während der letzten 6% des Bewegungszyklus steigt die Aktivität wieder auf eine mittlere Aktivitätsstufe an (Abbildung 52).

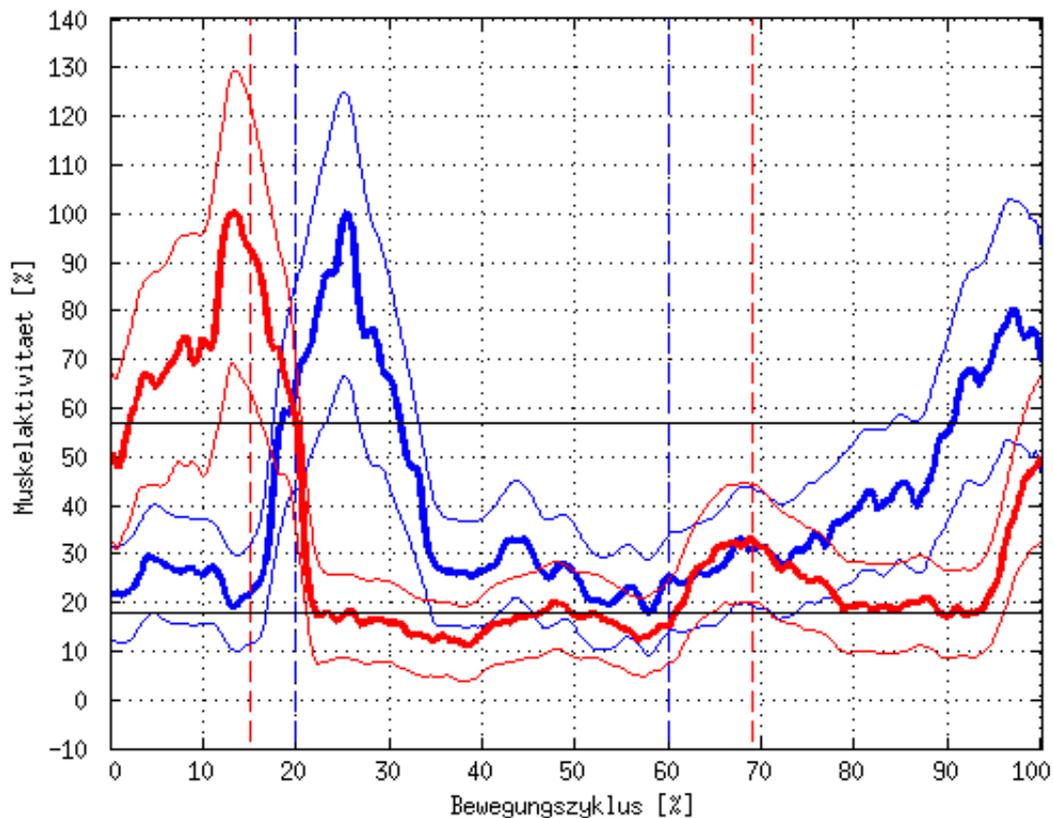


Abbildung 52: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des RF in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Vastus Medialis

Der Muskelaktivitätsverlauf des VM zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Peaks. Die Aktivitätsverläufe im Langlauf, als auch im Skirollerlauf erreichen kurz nach Beginn des Bewegungszyklus fast gleichzeitig ihr erstes Maximum. Mit dem Erreichen der individuellen SWP befindet sich die Muskelaktivität auf einem wenig aktiven Niveau. Ab dem ersten Drittel der SWP steigt die Muskelaktivität im Skilanglauf an, bis sie in der Mitte der GLP ihr zweites Maximum erreicht. Im Gegensatz dazu steigt die Aktivität im Skirollerlauf erst in ihrer individuellen GLP stark an. Das Maximum ist wie im Langlauf bei 85%. Danach fällt die Muskelaktivität in beiden Fällen stark ab. Während sie im Skilanglauf bis auf ein kaum aktives Niveau abfällt bleibt sie im Skirollerlauf mäßig aktiv (Abbildung 53).

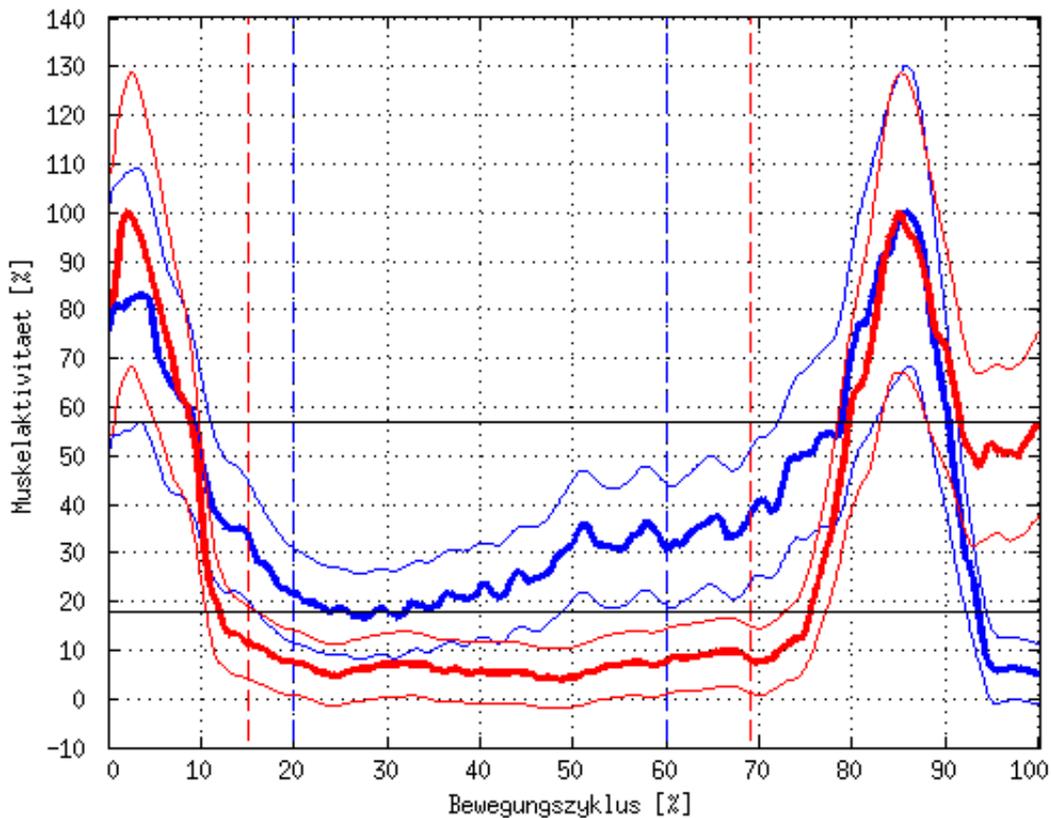


Abbildung 53: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VM in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Biceps Femoris

Die Muskelaktivität des BF steigt im Skilanglauf nach dem ersten Drittel der ASP an und erreicht seine maximale Aktivität bei 26% des Gesamtzyklus. Im Skirollerlauf steigt die Aktivität schon mit dem Beginn des Bewegungszyklus an. Anstatt ein Maximum zu erreichen, zeigt der Aktivitätsverlauf einen Bereich höher Aktivität von 10% bis 34%. In beiden Fällen bedeutet das kurz nach dem Beginn der individuellen SWP. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese im Langlauf, als auch im Skirollerlauf bis zu 50% des Bewegungszyklus ab. Danach zeigen die Muskelaktivitätsverläufe in beiden Fällen zwei Höcker, wobei der erste bei beiden niedriger ist. Diese lokalen Maxima befinden sich im Skilanglauf bei 57% und 83%, im Skirollerlauf schon bei 55% und 71%. Nach dem letzten Peak nimmt die Muskelaktivität bei beiden, bis zum Ende des Zyklus ab (Abbildung 54).

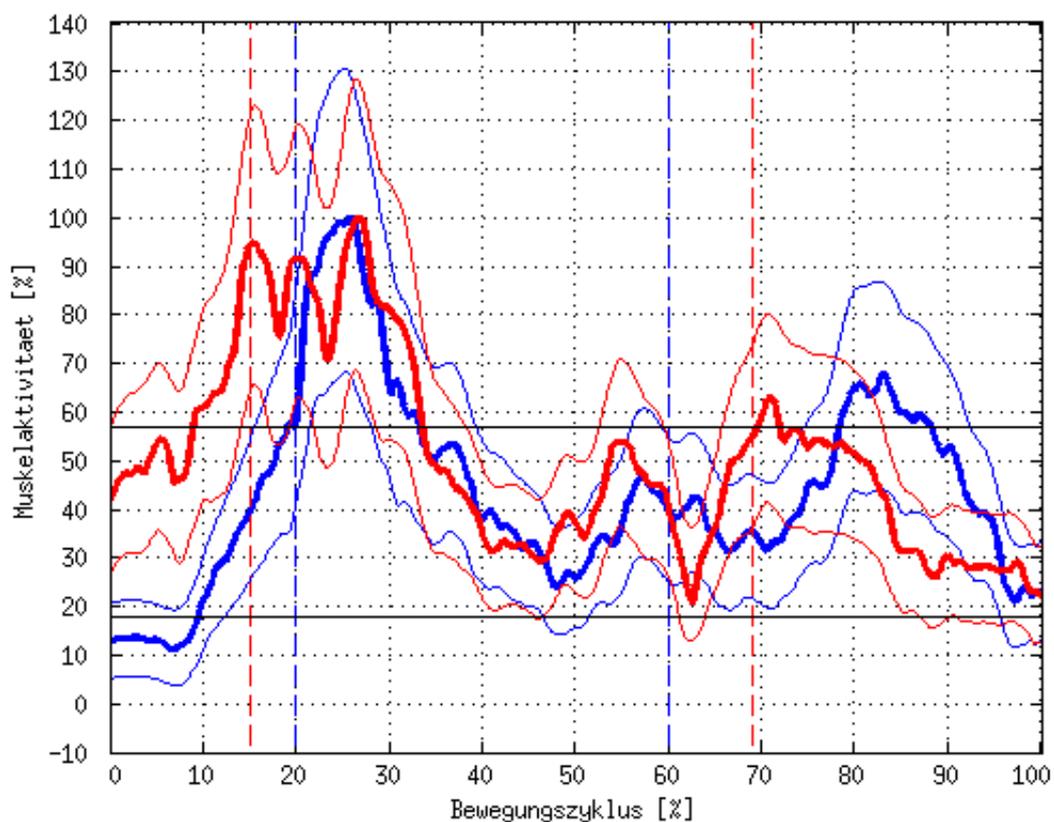


Abbildung 54: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des BF in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Latissimus Dorsi

Der Muskelaktivitätsverlauf des LD beginnt sowohl im Skilanglauf als auch im Skirollerlauf in dem, dass er von einem mittleren Niveau abnimmt. Bis kurz nach dem individuellen Beginn der SWP steigen beide Verläufe auf ein lokales Maximum, welches sich gleichzeitig bei 23% des Gesamtzyklus befindet. Nach einer Abnahme der Muskelaktivität bis 33% steigen beide zu ihrem Maximum bei 48%. Bis zum Ende der individuellen SWP sinkt die Aktivität in beiden Fällen auf ein mittel aktives Niveau. Von da an steigt die Muskelaktivität im Langlauf, als auch im Skirollerlauf auf eine mittlere Aktivitätsstufe bei 80%. Nachdem die Muskelaktivitäten beide wieder abgenommen haben, steigen sie am Ende der GLP wieder an (Abbildung 55).

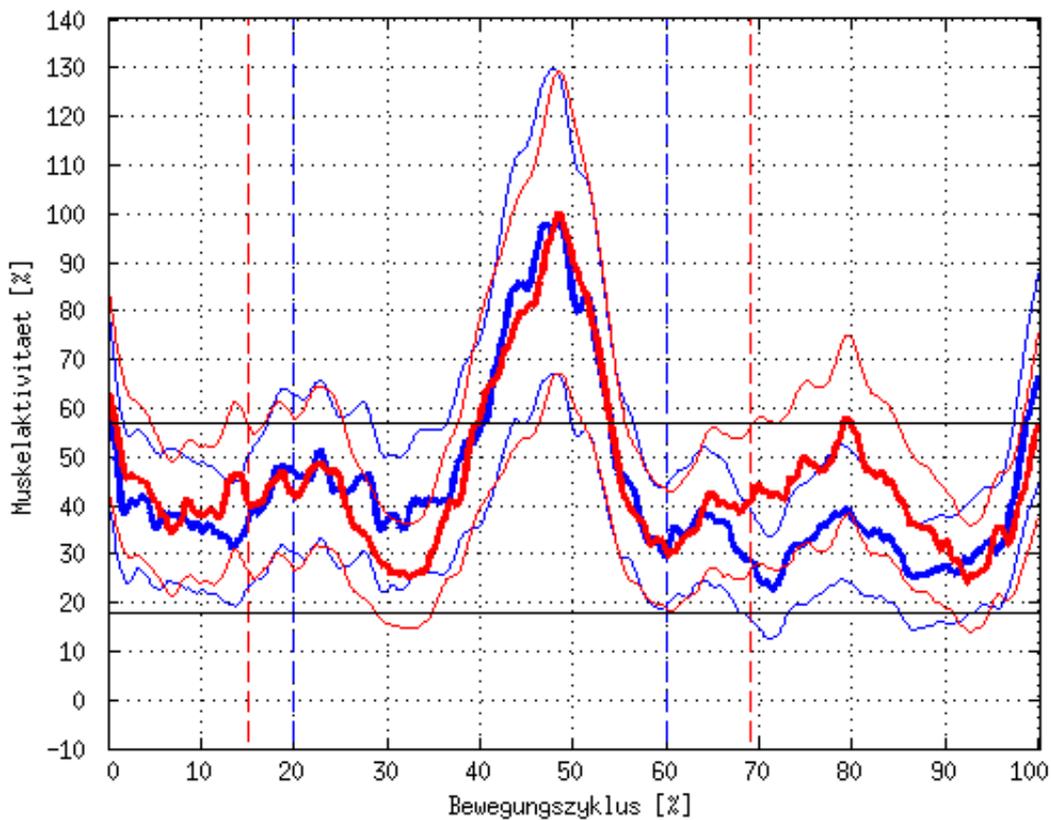


Abbildung 55: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des LD in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Pectoralis Major

Die Muskelaktivität des PM verläuft in der ASP und in der ersten Hälfte der SWP sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf konstant wenig Aktiv. In der Mitte der individuellen SWP steigen beide Muskelaktivitätsverläufe stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 61%, im Skirollerlauf nach 63% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet das am Ende, im Skirollerlauf kurz vor den Ende der individuellen SWP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 3%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen rasch ab. Im weiteren Verlauf bleibt die Muskelaktivität konstant sehr niedrig bis zum Ende des Bewegungszyklus (Abbildung 56).

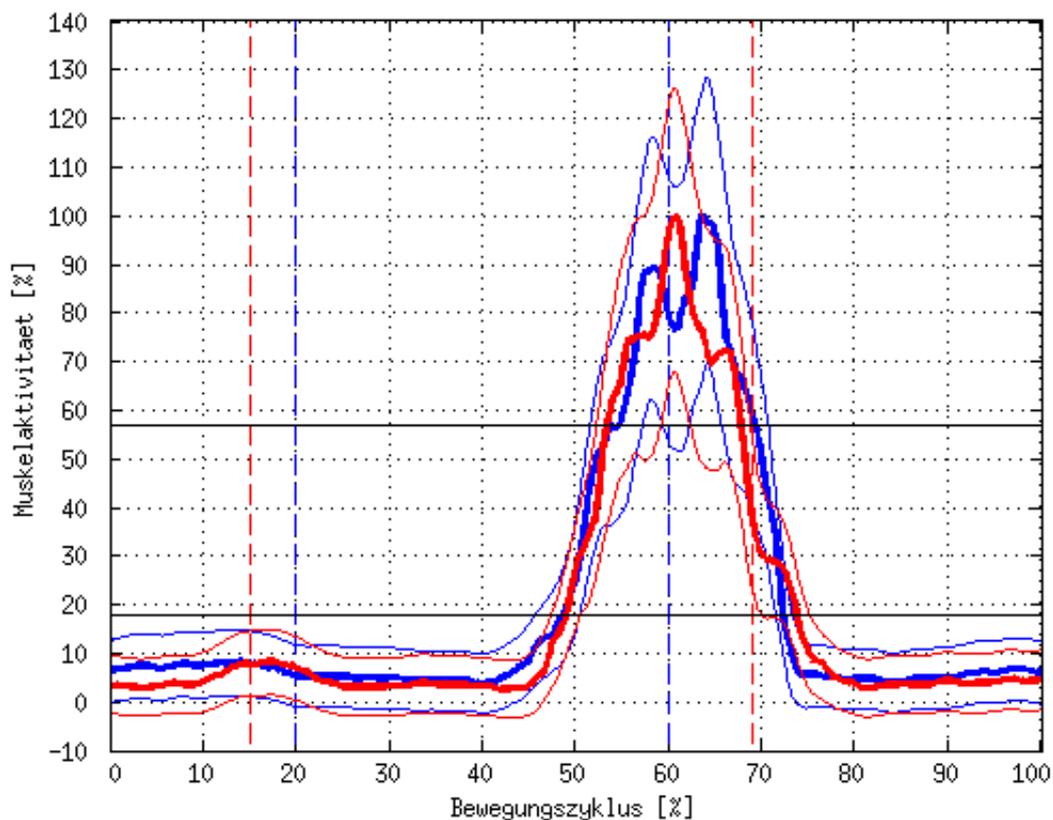


Abbildung 56: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des PM in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Triceps Brachii

Der Muskelaktivitätsverlauf des TB verläuft in der ASP und im ersten Drittel der SWP im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf gleichmäßig wenig Aktiv. Nach dem ersten Drittel der individuellen SWP steigen beide Muskelaktivitätsverläufe stark an. Der Höhepunkt im Langlauf wird nach 60%, im Skirollerlauf bereits nach 56% im Bezug auf den ganzen Zyklus erreicht. Im Langlauf bedeutet das am Ende, im Skirollerlauf nach zwei Drittel der individuellen SWP. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 4%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen stark ab. Im weiteren Verlauf bleibt die Muskelaktivität konstant sehr niedrig bis zum Ende des Bewegungszyklus (Abbildung 57).

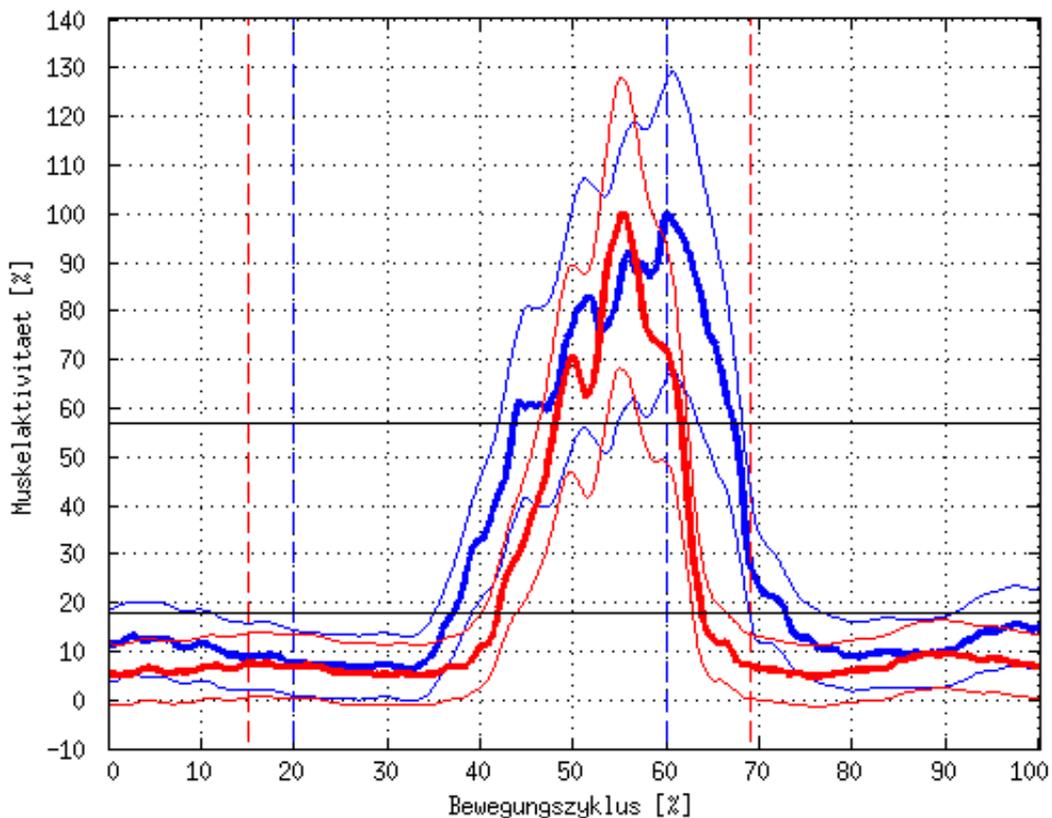


Abbildung 57: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TB in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Muskelaktivitätsverläufe Zweitakter symmetrisch

Gastrocnemius Lateralis

Der Muskelaktivitätsverlauf des GL zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Aktivitäten. Die Aktivitätsverläufe im Langlauf und im Skirollerlauf erreichen fast gleichzeitig kurz nach dem Beginn der individuellen SWP ihre erste dominante Aktivität. Im Zeitraum von 20% bis 30%, im Bezug auf den Gesamtzyklus, ist der Muskel hoch aktiv. Danach nimmt die Muskelaktivität in beiden Fällen ab. Ab dem Erreichen der GLP im Langlauf, steigt die Muskelaktivität auf ein Maximum, welches es bei 79% des Bewegungszyklus erreicht. Im Skirollerlauf hingegen steigt die Muskelaktivität erst im ersten Viertel der individuellen GLP und erreicht den Höchstwert erst bei 88%. Die relative Differenz zwischen den Peaks beträgt 9%. Nach ihren maximalen Werten sinken beide Muskelaktivitätsverläufe auf eine mittlere Aktivitätsstufe bis zum Ende der GLP (Abbildung 58).

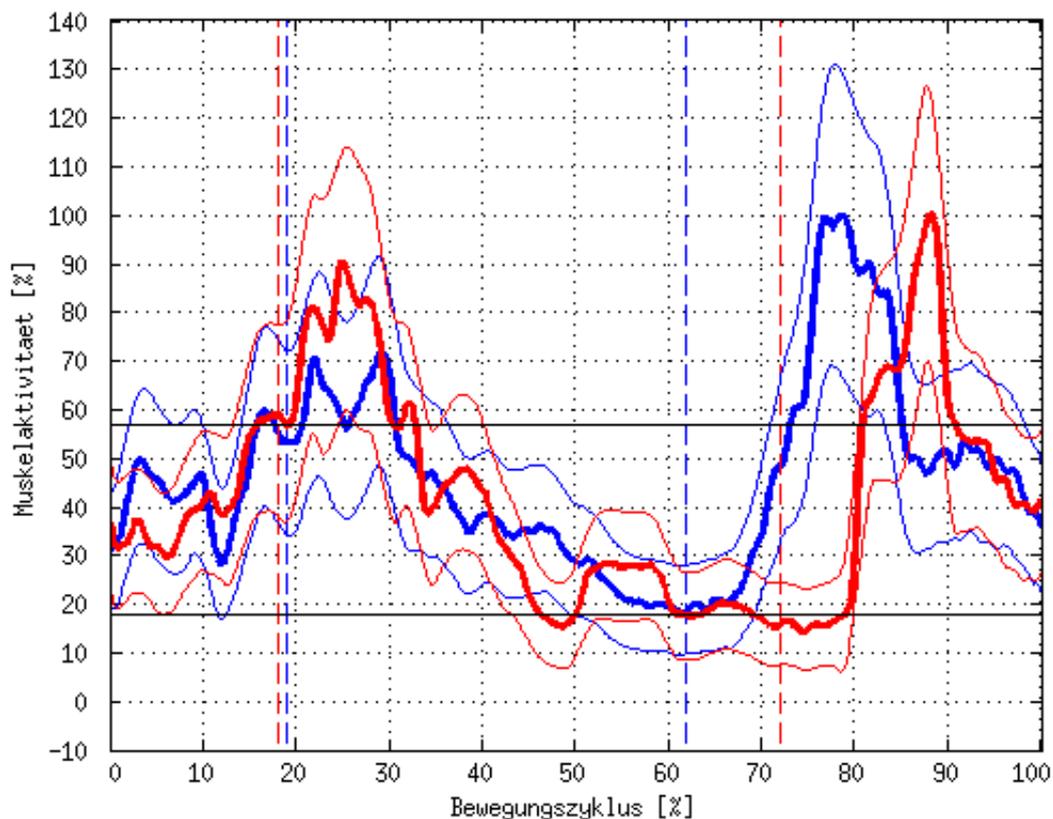


Abbildung 58: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GL in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Gastrocnemius Medialis

Die Muskelaktivität des GM steigt im Langlauf im ersten Drittel der ASP stark an und erreicht sein Maximum nach 16%. Im Skirollerlauf steigt die Aktivität ebenfalls im ersten Drittel stark an und erreicht den höchsten Punkt schon bei 17%. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 1%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen gleich stark, auf ein Niveau schwacher Aktivität ab. Vor dem Erreichen der individuellen GLP steigt die Muskelaktivität im Skilanglauf auf ein mittleres Niveau und verbleibt bis zum Ende des Bewegungszyklus. Der Verlauf im Skirollerlauf steigt ebenso vor der GLP auf mittleres Niveau an und verbleibt dort bis Zyklusende (Abbildung 59).

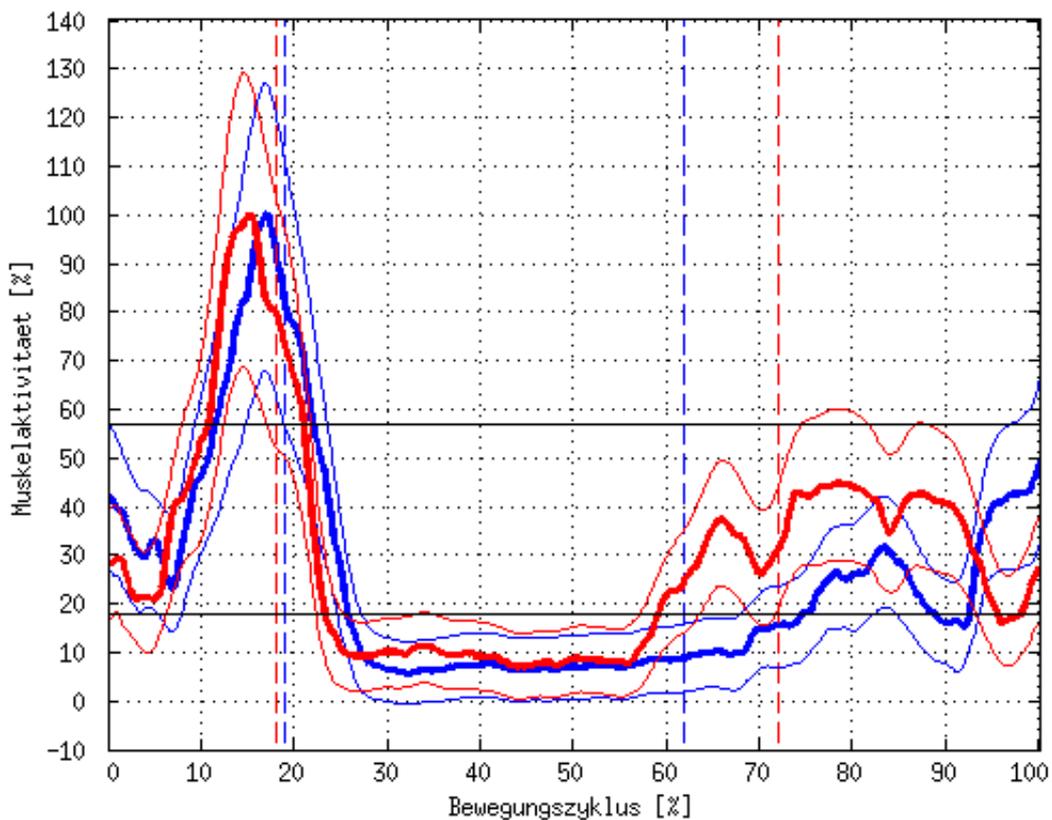


Abbildung 59: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GM in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Tibialis Anterior

Der Muskelaktivitätsverlauf des TA sinkt mit Beginn der ASP, sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf konstant aus hoher Aktivität in ein mäßiges Aktivitätslevel. Nach dem Beginn der individuellen SWP steigt die Muskelaktivität im Langlauf und im Skirollerlauf an. Die maximale Muskelaktivität im Langlauf wird in der individuellen SWP bei 39% des Gesamtzyklus erreicht. Im Skirollerlauf wird diese ebenfalls in der SWP, aber erst bei 46% erreicht. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 7%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen ab. Am Ende der individuellen SWP im Langlauf steigt die Aktivität erneut zu einem lokalen Maximum an, während sie im Skirollerlauf weiter sinkt. Einen letzten Peak der Muskelaktivität gibt es in beiden Fällen in der individuellen GLP. Die Muskelaktivität ist dabei im Skilanglauf in der Mitte der GLP hoch aktiv, dagegen im Skirollerlauf schon im ersten Drittel. (Abbildung 60).

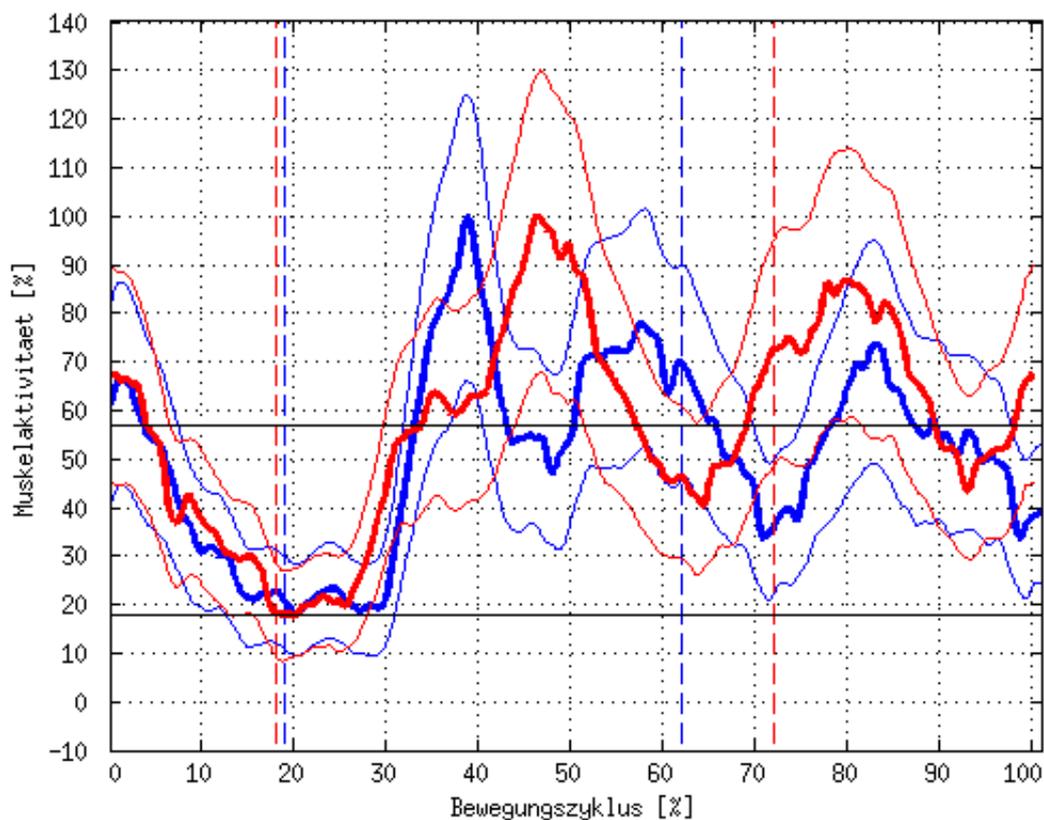


Abbildung 60: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TA in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Vastus Lateralis

Die Muskelaktivität des VL zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Aktivitäten. Die erste dominante Aktivität ist in beiden Fällen, in den individuellen ASP zu erkennen. Der Muskelaktivitätsverlauf im Langlauf nimmt während der individuellen ASP aus mäßiger Aktivität ab. Im Skirollerlauf steigt er noch kurz an bevor er ebenfalls abfällt. Danach bleibt die Muskelaktivität in beiden Fällen im wenig aktiven Bereich bis die GLP begonnen hat. Ab dem Erreichen des ersten Drittels der GLP im Langlauf steigt die Muskelaktivität auf ein Maximum, welches bei 86% des Bewegungszyklus erreicht wird. Im Skirollerlauf hingegen steigt die Muskelaktivität schon ein wenig früher im Bezug auf die individuelle GLP und erreicht den Höchstwert erst bei 93%. Die relative Differenz zwischen den Peaks beträgt 7%. Nach ihren maximalen Werten sinken beide Muskelaktivitätsverläufe rasch auf eine mittlere Aktivitätsstufe bis zum Ende der GLP (Abbildung 61).

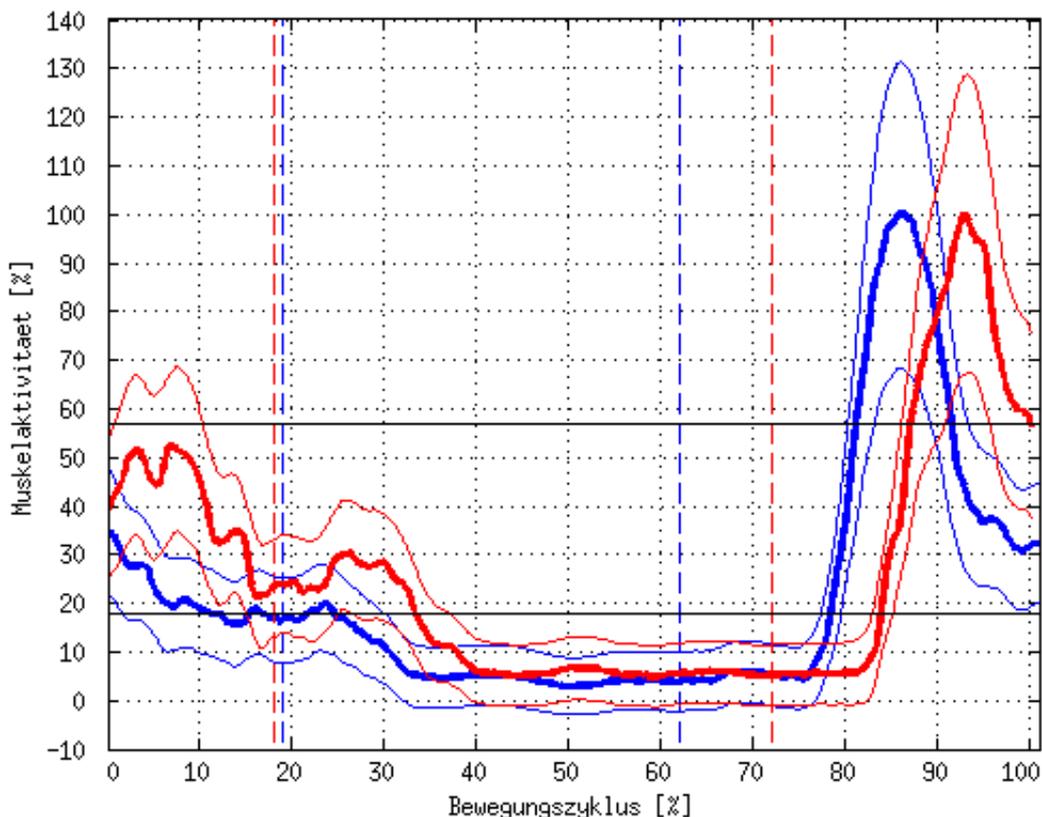


Abbildung 61: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VL in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Rectus Femoris

Die Muskelaktivität des RF steigt sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf während der individuellen ASP, bis sie gegen Ende ein lokales Maximum erreichen. Der Muskelaktivitätsverlauf im Langlauf nimmt mit Beginn der individuellen SWP ab und verbleibt bei mittlerer Aktivität bis zum letzten Viertel der SWP. Im Skirollerlauf nimmer er ebenfalls ab, bildet aber kurz darauf einen weiteren Höcker mit mäßiger Aktivität. Danach nimmt die Aktivität ab und verbleibt auf mäßigen Niveau. Am Beginn der GLP im Langlauf erreicht die Muskelaktivität ein Maximum, welches es bei 64% des Bewegungszyklus liegt. Im Skirollerlauf hingegen erreicht die Muskelaktivität erst bei 87%, in mitten der individuellen GLP, den Höchstwert. Die relative Differenz zwischen den Peaks beträgt 23%. Nach ihren maximalen Werten sinken beide Muskelaktivitätsverläufe auf eine mittlere bis mäßige Aktivitätsstufe bis zum Ende der GLP (Abbildung 62).

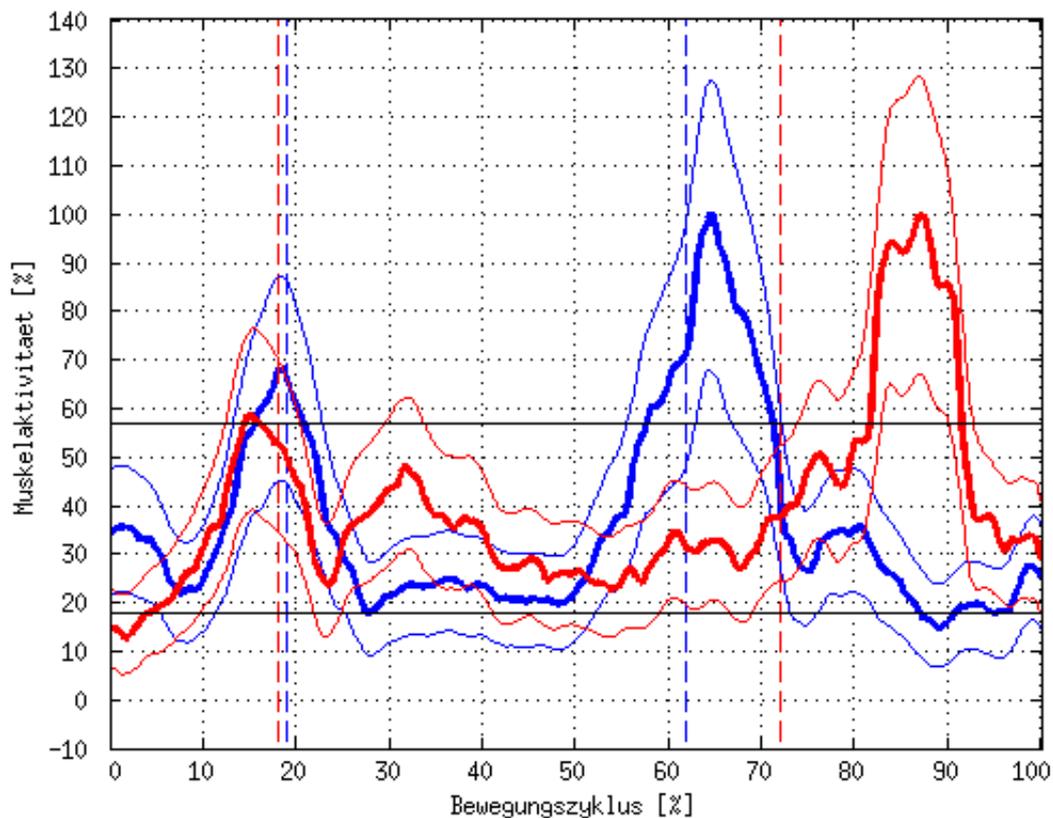


Abbildung 62: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des RF in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Vastus Medialis

Der Muskelaktivitätsverlauf des VM zeigt im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf zwei dominante Aktivitäten. Die Aktivitätsverläufe im Langlauf und im Skirollerlauf erreichen fast gleichzeitig kurz nach dem Beginn der individuellen ASP ihre erste dominante Aktivität. Im Zeitraum von 18% bis 27%, im Bezug auf den Gesamtzyklus, ist der Muskel erwähnenswert aktiv, im Langlauf sogar hoch aktiv. Danach nimmt die Muskelaktivität in beiden Fällen ab und verbleibt im wenig aktiven Bereich bis nachdem die GLP begonnen hat. Ab dem Erreichen des ersten Viertels der GLP im Langlauf steigt die Muskelaktivität auf ein Maximum, welches es bei 82% des Bewegungszyklus erreicht. Im Skirollerlauf hingegen steigt die Muskelaktivität schon ein wenig früher im Bezug auf die individuelle GLP und erreicht den Höchstwert erst bei 88%. Die relative Differenz zwischen den Peaks beträgt 6%. Nach ihren maximalen Werten sinken beide Muskelaktivitätsverläufe auf eine mittlere Aktivitätsstufe bis zum Ende der GLP (Abbildung 63).

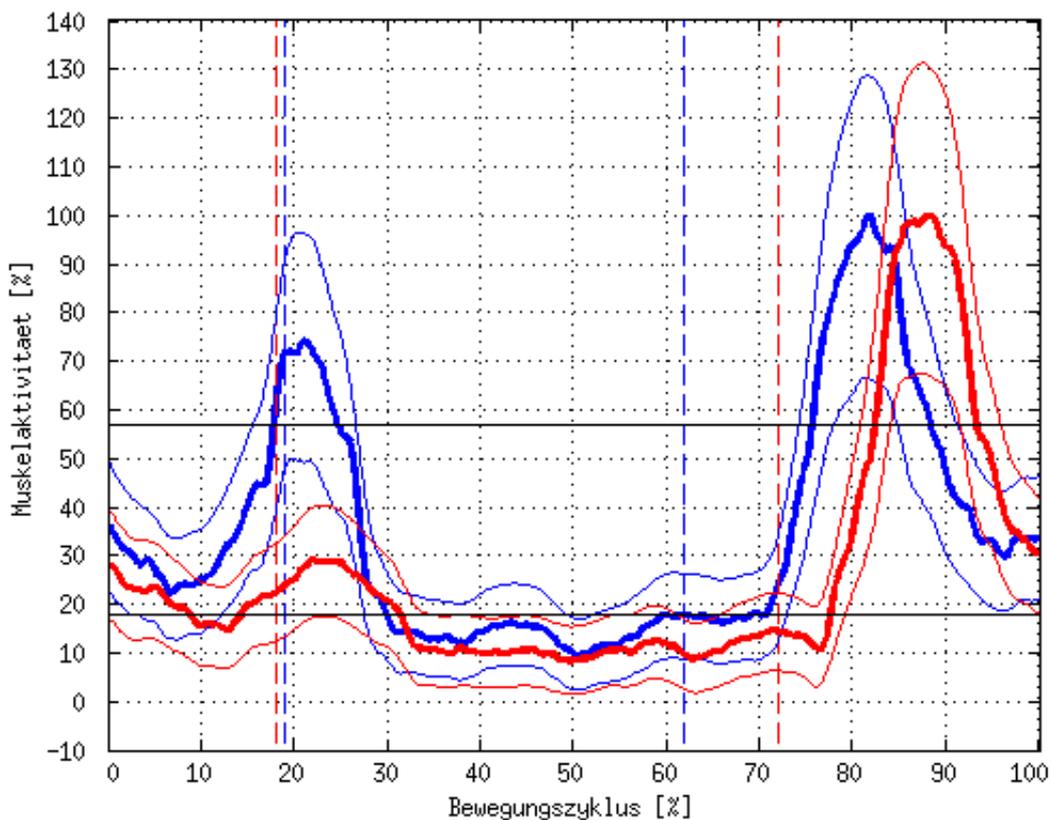


Abbildung 63: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VM in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Biceps Femoris

Die Muskelaktivität des BF ist am Beginn der ASP sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf mäßig aktiv. Erst gegen ende der individuellen ASP steigt die Aktivität in beiden Fällen an. Dies setzt sich in den individuellen SWP fort. Das Maximum wird im Langlauf bei 34%, im Bezug auf den Gesamtzyklus, erreicht. Im Skirollerlauf schon bei 25%. Die relative zeitliche Differenz zwischen den beiden Peaks beträgt 9%. Ab dem jeweiligen Maximum sinkt die Muskelaktivität in beiden Fällen während der individuellen SWP. Nach dem Erreichen der individuellen GLP bleibt die Aktivität im Langlauf und im Skirollerlauf auf einem mittleren aktiven Niveau (Abbildung 64).

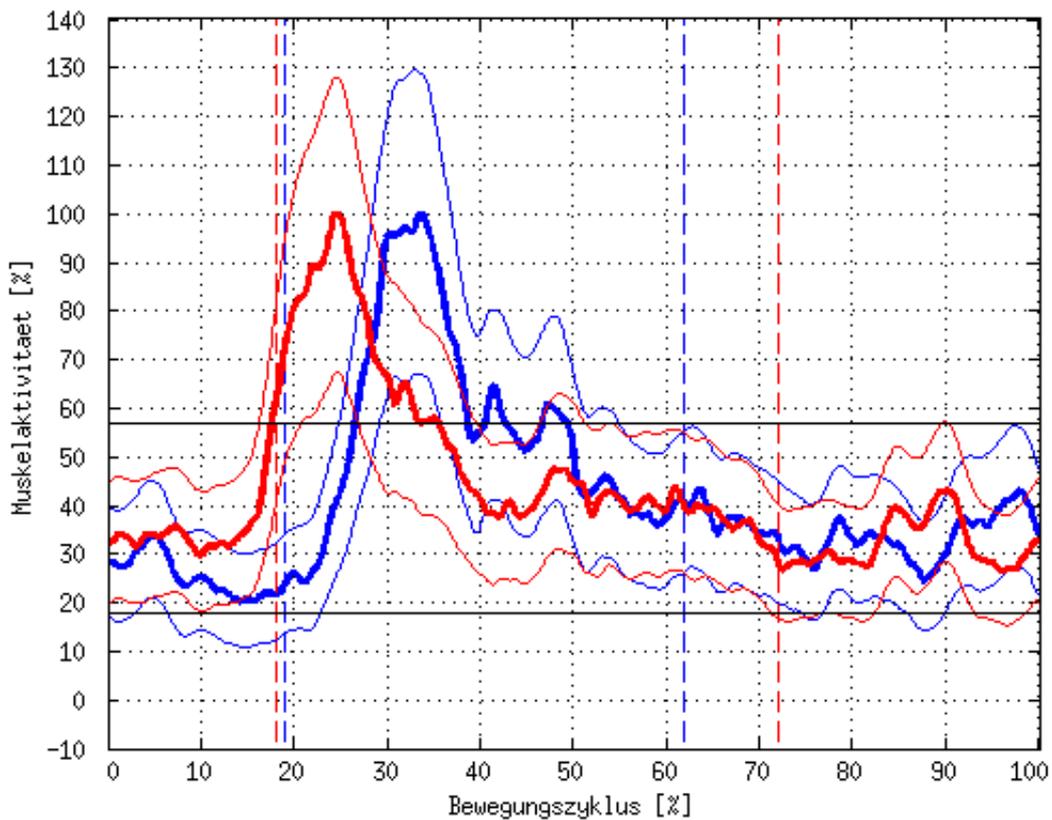


Abbildung 64: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des BF in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Latissimus Dorsi

Die Muskelaktivität des LD verläuft in der ASP sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf konstant wenig Aktiv. Am Ende der individuellen SWP steigt die Muskelaktivität im Langlauf an. Im Gegensatz dazu fängt die Aktivität im Skirollerlauf schon im letzten Drittel der individuellen SWP an zu steigen. Die maximale Muskelaktivität im Langlauf wird in der GLP bei 82% des Gesamtzyklus erreicht. Im Skirollerlauf wird dieses schon bei 80% erreicht. Die relative zeitliche Differenz der Peaks beträgt 2%. Nach der maximalen Muskelaktivität sinkt diese in beiden Fällen ab. Die Muskelaktivität im Skilanglauf ist am Ende des Zyklus noch in einem mittleren Aktivitätsbereich, während sie im Skirollerlauf in einem wenig aktivem Aktivitätslevel ist (Abbildung 65).

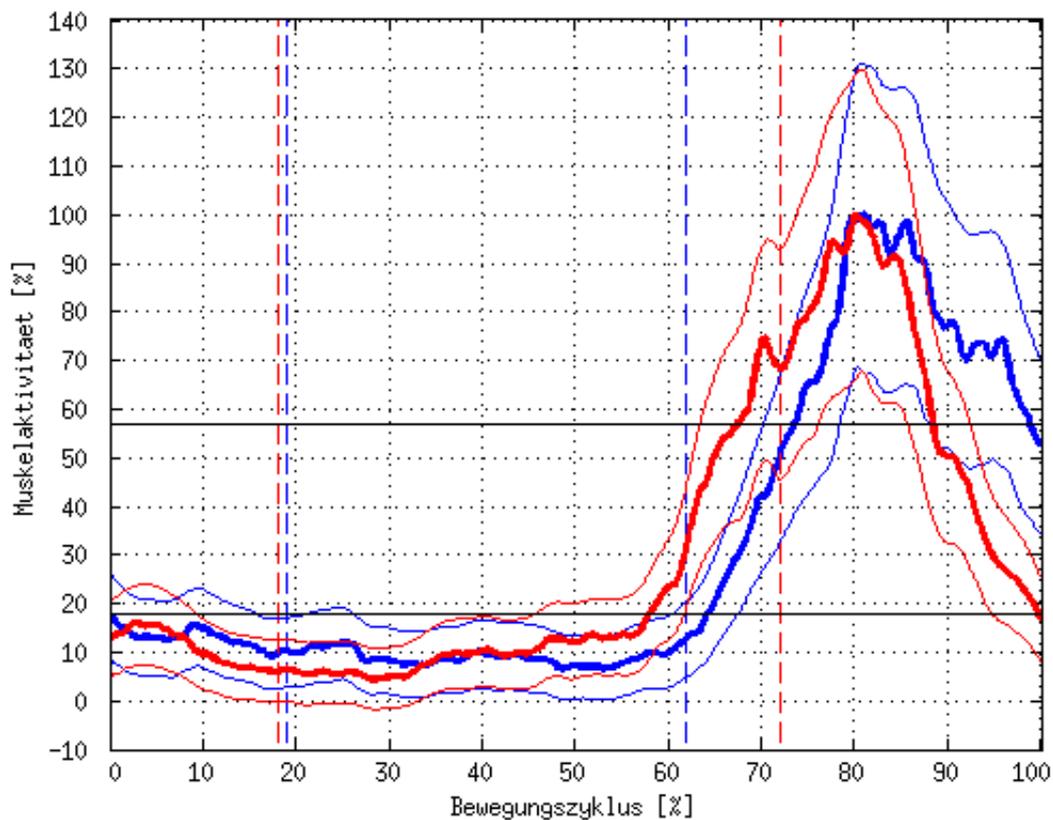


Abbildung 65: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des LD in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Pectoralis Major

Der Muskelaktivitätsverlauf des PM verläuft in der ASP sowohl im Skilanglauf, als auch im Skirollerlauf konstant wenig Aktiv. Am letzten Viertel der individuellen SWP steigt die Muskelaktivität im Langlauf an. Im Gegensatz dazu fängt die Aktivität im Skirollerlauf schon ab der Hälfte der individuellen SWP an zu steigen. Die maximale Muskelaktivität wird sowohl im Langlauf, als auch im Skirollerlauf bei 68% des Gesamtzyklus erreicht. Nachdem Erreichen des Maximum verbleibt der Muskel im Langlauf noch bis 84% hoch aktiv, im Skirollerlauf dagegen nur bis 75% des Bewegungszyklus. Im weiteren Verlauf der GLP sinkt die Muskelaktivität bis auf ein wenig aktives Aktivitätslevel (Abbildung 66).

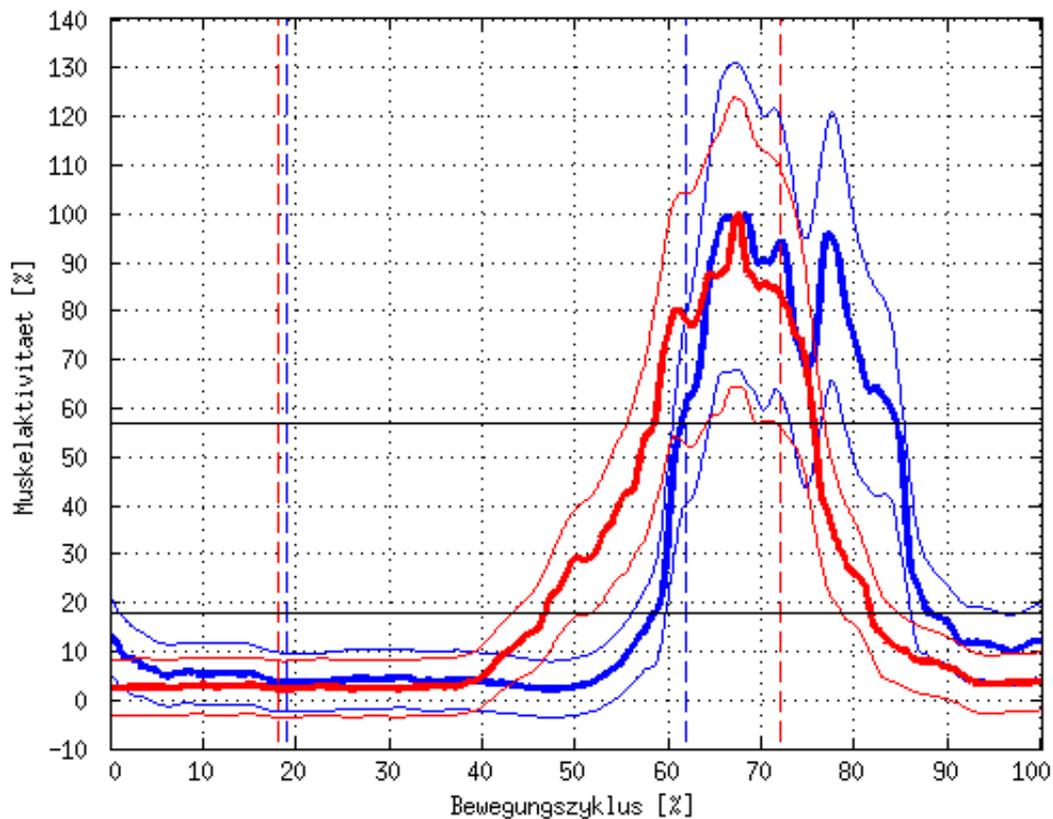


Abbildung 66: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des PM in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Triceps Brachii

Die Muskelaktivität ist am Bewegungszyklusbeginn des Skilanglaufs auf mittlerem Aktivitätsniveau. Im Laufe der individuellen ASP nimmt diese ab und verbleibt während der folgenden SWP auf einem niedrigen Niveau. Im Gegensatz dazu beginnt der Muskelaktivitätsverlauf im Skirollerlauf auf einem geringen Aktivitätslevel und verbleibt bis zum letzten Viertel der individuellen SWP dort. Bei 63% des Gesamtzyklus steigen die Muskelaktivitäten, in beiden Fällen an. Im Langlauf liegt diese Erhöhung komplett in der individuellen GLP, während sie im Skirollerlauf schon im letzten Viertel der SWP beginnt. Das Maximum wird im Skilanglauf bei 95% des Bewegungszyklus erreicht, dagegen im Skirollerlauf schon bei 87%. Die relative zeitliche Differenz der beiden Peaks beträgt 8%. Danach fällt die Muskelaktivität im Langlauf leicht und im Skirollerlauf stark ab, bis sie ein mäßiges Aktivitätsniveau erreicht. (Abbildung 67).

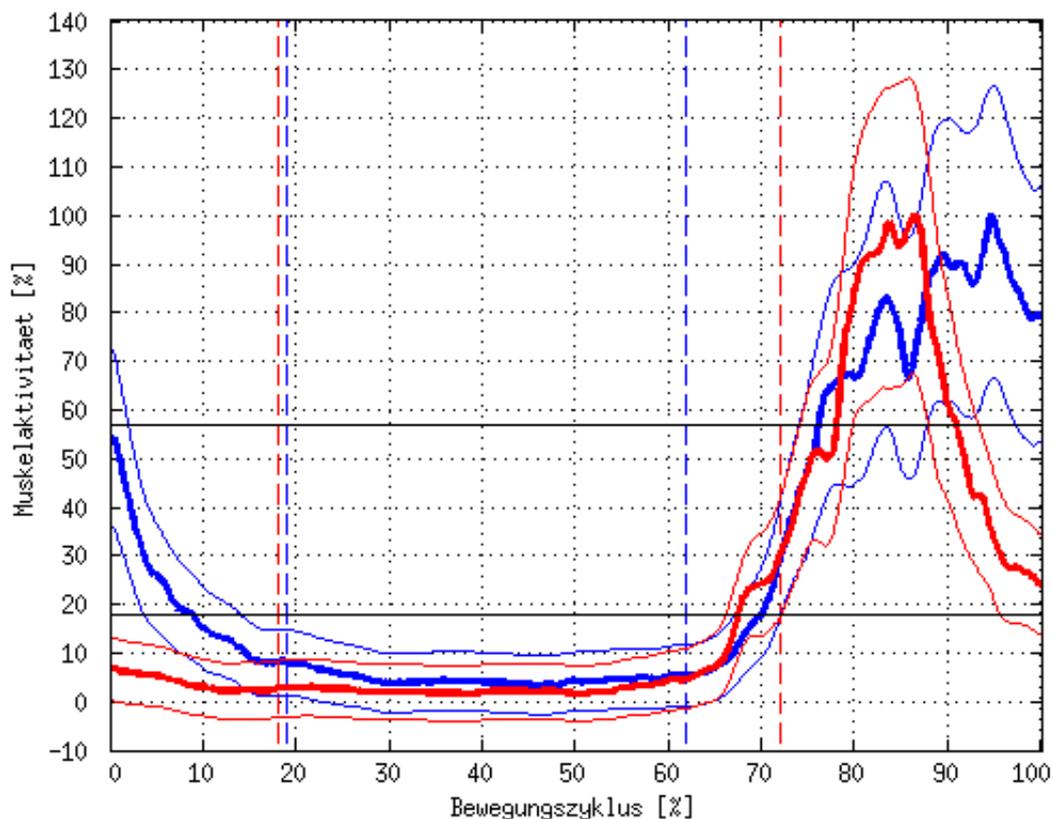


Abbildung 67: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TB in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot)

Zusammenfassung der wichtigsten Merkmale aller Muskelaktivitätsverläufe in allen Skating-Techniken

Tabelle 6 zeigt zusammengefasst die prozentualen Bereiche eines Bewegungszyklus, in allen Skating-Techniken, in der die relative Muskelaktivität über der Schwelle für hohe Muskelaktivität (57%) liegt. Zur besseren Übersicht wurden in dieser Tabelle hohe Muskelaktivitäten, die kürzer als 5% des Bewegungszyklus auftreten, vernachlässigt. Ebenso Unterbrechungen der hohen Muskelaktivität die kürzer als 5% andauerten wurden vernachlässigt.

Muskel	> 57% relative Muskelaktivität [%]					
	ZTA		ET		ZTS	
	Skilangl.	Skirollerl.	Skilangl.	Skirollerl.	Skilangl.	Skirollerl.
GL	13 - 24	9 - 17	13 - 31	10 - 22	16 - 30	16 - 33
	46 - 58	60 - 66			73 - 85	80 - 91
GM	0 - 5	10 - 17	0 - 13	8 - 18	11 - 22	10 - 21
	90 - 98					
TA	7 - 29	0 - 12	21 - 41	33 - 45	33 - 43	33 - 57
	36 - 44	30 - 38	72 - 95	93 - 99	50 - 65	
	66 - 85	80 - 99			78 - 88	69 - 90
VL	14 - 28	11 - 22	19 - 31	8 - 21	81 - 91	86 - 100
	76 - 82	70 - 77	83 - 100	84 - 93		
	95 - 100					
RF	10 - 26	7 - 20	18 - 31	3 - 20	15 - 21	
		95 - 100	90 - 100		57 - 71	82 - 91
VM	0 - 21	3 - 15	0 - 10	0 - 10	18 - 25	
		60 - 71	79 - 90	80 - 91	75 - 88	83 - 94
	85 - 95	92 - 100				
BF	0 - 33	8 - 14	20 - 33	9 - 33	26 - 50	18 - 36
		78 - 100	78 - 88			
LD	3 - 33	0 - 23	40 - 54	40 - 54	74 - 99	67 - 88
	95 - 100	87 - 100				
PM	80 - 94	69 - 83	49 - 72	49 - 73	59 - 87	47 - 82
TB	16 - 33	11 - 23	36 - 73	42 - 64	76 - 100	78 - 91

Tabelle 6: Zusammenfassung der prozentualen Bereiche, in einem Bewegungszyklus, in denen hohe Muskelaktivitäten (>57%) auftreten

4.4 Muskelaktivitätsmuster

Das Muskelaktivitätsmuster stellt grafisch die Muskelaktivität aller Muskeln eines Bewegungszyklus dar. Grundlage für diese Darstellung sind die einzelnen Muskelaktivitätsverläufe in der jeweiligen Skating-Technik (vgl. 4.3). Die Bewertung der Muskelaktivität erfolgte in drei Aktivitätsstufen (vgl. 3.4.4). Keine farbliche Kennzeichnung bedeutet keine bis wenig Muskelaktivität. Hellblau und hellrot indizieren mittlere, blau und rot hohe Aktivität. Zur Vergleichbarkeit ist die Zeitachse prozentual zeitnormalisiert. Eine Verschiebung der Muskelaktivität nach links bedeutet, dass sie relativ zum Bewegungszyklus früher stattfindet und umgekehrt. Vertikal strichlierte Linien, in den jeweiligen Farben, indizieren die einzelnen Bewegungsphasen.

Muskelaktivitätsmuster Zweitakter asymmetrisch

Am Anfang des Bewegungszyklus der ZTA-Technik zeigt sich eine Verschiebung der hohen Muskelaktivitäten im Skirollerlauf, gegenüber dem Skilanglauf, zeitlich nach links. Dies betrifft die Muskeln der unteren Extremitäten. Ebenfalls nach links verschoben sind die Muskelaktivitäten des LD und TB. Eine Ausnahme dabei bildet der GM welcher im Skirollerlauf nach rechts verschoben ist. Am Übergang von der SWP zur GLP ist die Muskelaktivität des GL im Skirollerlauf, im Vergleich zum Skilanglauf nach rechts verschoben. Die individuellen GLP zeichnen sich im Skirollerlauf durch durchgängige Aktivitäten der Oberschenkelmuskulatur aus und einen höheren Anteil an hoch aktiven Phasen. Ein Großteil der untersuchten Muskeln (GL, VL, RF, VM, BF, LD, PM) zeigt außerdem in den GLP eine Verschiebung der hoch aktiven Muskelaktivitäten zeitlich nach links (Abbildung 68).

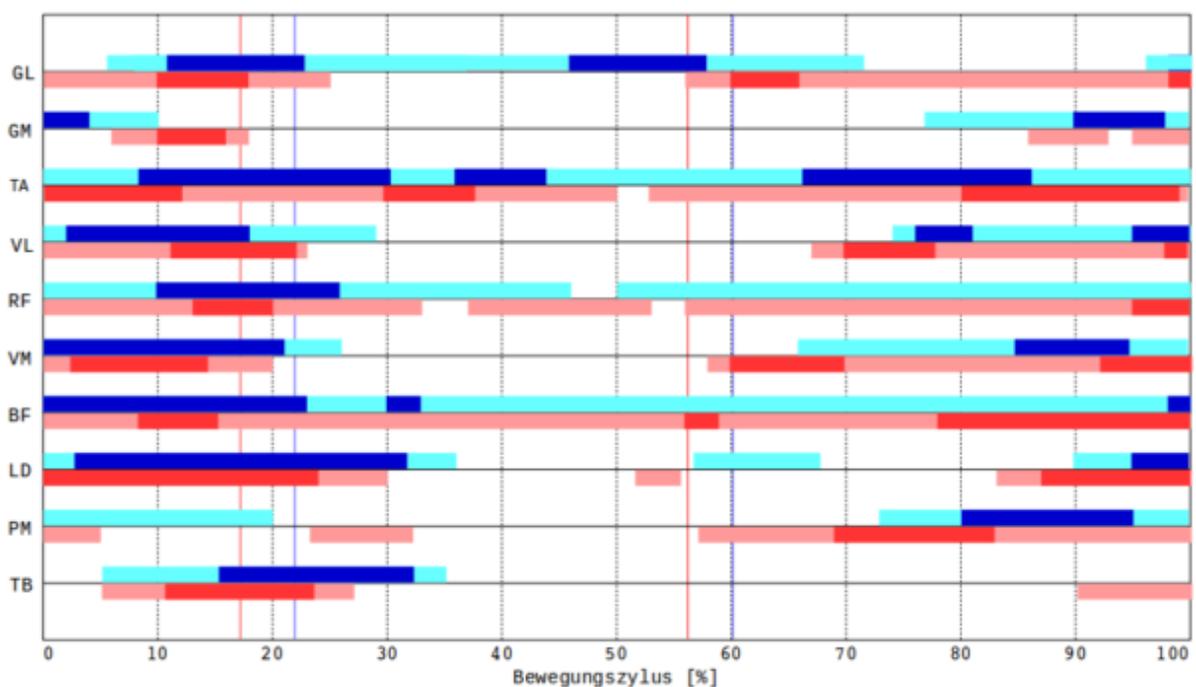


Abbildung 68: Ermitteltes Muskelaktivitätsmuster in der ZTA-Technik. Hohe Muskelaktivität blau (Skilanglauf), rot (Skirollerlauf). Mittlere Muskelaktivität hellblau (Skilanglauf), hellrot (Skirollerlauf)

Muskelaktivitätsmuster Eintakter

In der ET-Technik ist am Beginn des Bewegungszyklus eine Verschiebung der Muskelaktivitäten im Skrollerlauf, gegenüber der im Skilanglauf, zeitlich nach links zu erkennen. Dies betrifft die Muskeln der unteren Extremitäten. BF und RF zeigen außerdem eine deutlich längere hoch aktive Phase im Skrollerlauf. Ausnahmen dabei bildet der VM und der TA. Die Muskelaktivität des VM zeigt im hoch aktiven Bereich keine zeitliche Verschiebung zwischen dem Skrollerlauf und dem Langlauf. Der TA ist nicht direkt am Abstoß beteiligt sondern ist während der SWP aktiv um den Ski beziehungsweise Skroller waagrecht zu halten. Dabei ist die Aktivität im Skrollerlauf zeitlich nach rechts verschoben. Die Muskulatur die für die Oberarmbewegung verantwortlich ist, zeigt nur anhand der Muskelaktivität des TB einen Unterschied, da diese im Langlauf länger andauert. In den jeweiligen GLP ist die Beinmuskulatur im Skilanglauf deutlich häufiger hoch aktiv (Abbildung 69).

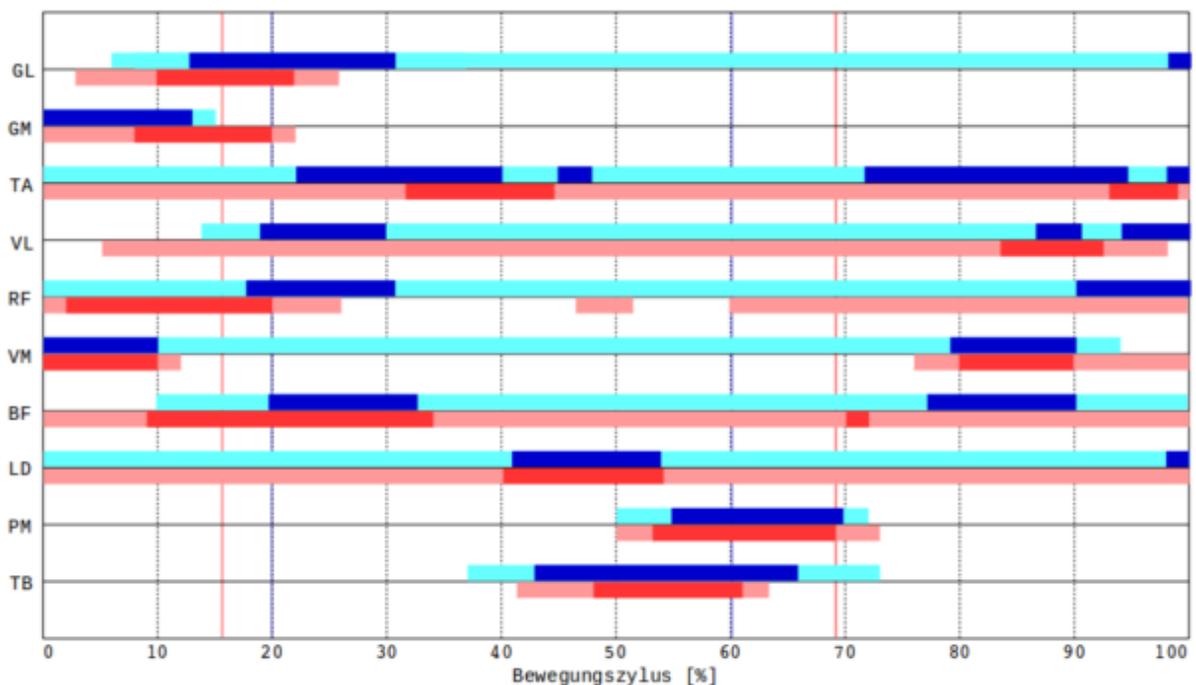


Abbildung 69: Ermitteltes Muskelaktivitätsmuster in der ET-Technik. Hohe Muskelaktivität blau (Skilanglauf), rot (Skrollerlauf). Mittlere Muskelaktivität hellblau (Skilanglauf), hellrot (Skrollerlauf)

Muskelaktivitätsmuster Zweitakter symmetrisch

Am Beginn des Bewegungszyklus in der ZTS-Technik zeigt sich eine Verschiebung der Muskelaktivitäten des VL, RF und VM im Skirollerlauf, gegenüber der im Skilanglauf zeitlich nach rechts. Die höchste Aktivitätsstufe des BF ist im Skirollerlauf zeitlich nach links verschoben. In den GLP des Skirollerlauf kommt es, gegenüber den GLP des Langlaufs, zu einer zeitlichen Verschiebung der Muskelaktivität der vorderen Oberschenkelmuskulatur nach rechts. GM und GM zeigen im Langlauf eine nach links verschobene Aktivität. Die hohe Aktivitätsstufe des TA ist in der GLP, im Skirollerlauf, deutlich verlängert. Die Muskulatur die für die Oberarmbewegung verantwortlich ist (LD, PM, TB) zeigt anhand ihrer hohen Aktivität einen Unterschied. Dieser ist im Langlauf nach rechts verschoben und dauert länger an. (Abbildung 70).

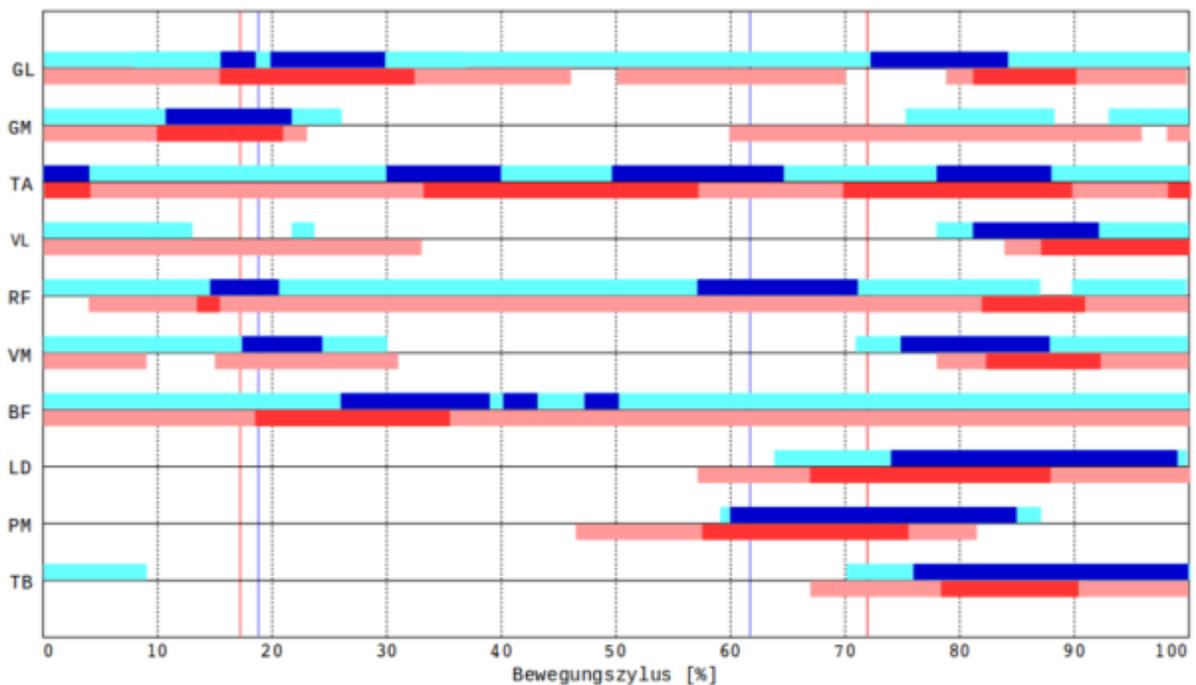


Abbildung 70: Ermitteltes Muskelaktivitätsmuster in der ZTS-Technik. Hohe Muskelaktivität blau (Skilanglauf), rot (Skirollerlauf). Mittlere Muskelaktivität hellblau (Skilanglauf), hellrot (Skirollerlauf)

5 Diskussion

In Hypothese 1 wird angenommen, dass der verringerte Rollwiderstand eines Skirollers gegenüber dem Gleitwiderstand eines Skis eine Abnahme der Zyklusrate bewirkt. Diese Annahme kann aufgrund der gewonnenen Ergebnisse in 4.1 verifiziert werden. In allen untersuchten Skating-Techniken (ET, ZTS, ZTA) konnten um 7,1% - 14,4% signifikant verringerte Zyklusraten bestimmt werden.

Die individuelle Zyklusrate hängt vor allem von den Faktoren Körpergröße beziehungsweise Körperproportion und sportlicher Technik ab. Das erklärt auch die großen Standardabweichungen der Messergebnisse, da die ProbandInnen unterschiedlichen Geschlechts und verschieden groß waren. Trotzdem sind die Unterschiede der Ergebnisse signifikant.

Die verwendete Methode zur Bestimmung der BZD und daraus resultierender Zyklusrate basiert rein auf der Klassifizierung von gemessenen kinetischen Parametern eines Fußes. Zur Erstellung des Algorithmus wurde dies nur bei einem Proband mittels Videoanalyse überprüft (vgl. 3.3). Der Algorithmus war zwar bei allen ProbandInnen in allen Techniken anwendbar, wurde allerdings nicht mit Videoaufnahmen überprüft. Somit besteht eine potentielle Fehlerquelle, da es möglich ist, dass bei individuellen sportlichen Techniken, die klassifizierbaren Parameterwerte nicht genau den Bewegungsphasen entsprechen.

In Hypothese 2 wird angenommen, dass es aufgrund veränderter kinematischer Bedingungen zwischen Fuß, Ski bzw. Skiroller und Boden zu einer zeitlichen Verschiebung der Bewegungsphasen innerhalb eines Bewegungszyklus kommt. Dadurch wird die ASP verkürzt, die SWP verlängert sich und die GLP bleibt gleich. Diese Annahme kann durch die Ergebnisse in 4.2 nur teilweise bestätigt werden.

In der ET-Technik wurde eine signifikante, prozentuale Verschiebung der Bewegungsphasen festgestellt (vgl. 4.2.1). Wie in der Hypothese angenommen, ist im Skirollerlauf, gegenüber dem Skilanglauf, die ASP verkürzt (-33,05%) und die SWP verlängert (+35,21%). Die GLP dagegen ist nicht gleichlang geblieben. Diese ist im Skirollerlauf, in der ET-Technik, verkürzt (-30,56%).

In der ZTS-Technik wurde nur teilweise eine signifikante, prozentuale Verschiebung der Bewegungsphasen festgestellt (vgl. 4.2.2). Wie in der Hypothese angenommen, ist im Skirollerlauf, gegenüber dem Skilanglauf, die ASP um 6,40% verkürzt. Der prozentuale Unterschied ist aber äußerst gering und auch nicht signifikant. Die SWP ist im Skirollerlauf wie behauptet signifikant länger (+27,75%). Ein gleich großer Anteil der GLP am Bewegungszyklus ist nicht gegeben. Die GLP ist im Skilanglauf um 35,93% signifikant länger.

In der ZTA-Technik ist nur teilweise eine signifikante, prozentuale Verschiebung der Bewegungsphasen festgestellt worden (vgl. 4.2.3). Im Vergleich zu den anderen Skating-Techniken ist der Unterschied in dieser Technik, zwischen Langlauf und Skirollerlauf, am geringsten. Wie in der Hypothese angenommen, ist im Skirollerlauf, gegenüber dem

Skilanglauf, die ASP signifikant verkürzt (-27,45%). Die SWP dagegen ist im Skirollerlauf wie angenommen um 6,90% länger, allerdings signifikant. Der GLP-Anteil ist im Skirollerlauf und im Skilanglauf nicht gleichlang, wie behauptet. Die GLP ist im Skilanglauf signifikant länger (+10,42%).

Die Messmethode für die Verteilung der Bewegungsphasen beruht auf demselben Prinzip wie die der Zyklusratenbestimmung. Daher besteht dasselbe Fehlerpotential in diesen Messergebnissen.

Die in allen Skiroller-Techniken gemessene verlängerte SWP, im Vergleich zum Skilanglauf, wird auch durch die Messergebnisse von Babel und Neumaier (2002) in Abbildung 6 unterstützt. Diese zeigt eine verringerte Überlappungszeit im Skirollerlauf gegenüber dem Langlauf, in der SSS-Technik. Durch eine längere SWP ist die Bodenkontaktzeit vom Skiroller reduziert, was zu einer Reduktion der Überlappungszeit, in der beide Skiroller den Boden berühren, führt.

In Hypothese 3 wird angenommen, dass sich durch die zeitliche Verschiebung der Bewegungsphasen innerhalb eines Bewegungszyklus die zeitliche Aktivierung der Muskulatur verändert. Dadurch kommt es zu einer Veränderung der kinetischen Ketten, welche sich im Muskelaktivitätsmuster widerspiegeln. Diese Hypothese kann aufgrund der Ergebnisse in 4.3 und 4.4 verifiziert werden. In allen untersuchten Skating-Techniken (ET, ZTS, ZTA) sind unterschiedliche Muskelaktivitätsmuster ermittelt worden.

Die ASP der ET- und ZTA-Technik zeigen im Skirollerlauf ein früheres Einsetzen der Muskelaktivität, speziell jener Muskeln, die für den Abstoß verantwortlich sind. Zu erklären ist dies durch die verkürzte ASP im Skirollerlauf (vgl. 4.2). Eine Ausnahme bildet dabei der Verlauf des GM in der ZTA-Technik. In diesem Fall ist die Muskelaktivität im Skirollerlauf nach rechts, gegenüber dem Langlauf verschoben. Ursache könnte dafür die unterschiedliche Kinematik zwischen Fuß und Kontaktpunkt am Schnee, beziehungsweise Asphalt, sein (vgl. 2.2.2).

Die untersuchten Muskeln, die für den Stockschieb zuständig sind (LD, PM, TB), zeigen ein unterschiedliches Muskelaktivitätsmuster im Bezug auf Dauer und zeitlich relative Position innerhalb eines Bewegungszyklus. Erklären lässt sich dies auf eine Verschiebung der Bewegungsphasen und der unterschiedlichen Oberflächen, in die eingestochen wird.

In den individuellen GLP kommt es zu Unterschieden im Muskelaktivitätsmuster der unteren Extremitäten. Diese sind in dieser Bewegungsphase dafür verantwortlich den Körper beim Gleiten auf einem Bein zu stabilisieren und Spannung für den folgenden Abstoß vorzubereiten.

In der ET-Technik ist die Beinmuskulatur, vor allem des TA und RF, im Langlauf aktiver als im Skirollerlauf. Daraus lässt sich schließen, dass das Gleiten auf Langlaufski, in der ET-Technik, koordinativ anspruchsvoller ist als auf Skiroller.

Die ZTS-Technik zeigt beim Gleiten im Skirollerlauf, eine zeitliche Verschiebung der hohen Aktivitäten der Beinmuskulatur nach links. Zu erklären ist dies durch die verkürzte GLP. Der GM und GL sind außerdem in der GLP des Langlaufs aktiver und der TA in der GLP

des Skirollerlaufs. Das könnte durch eine Körperschwerpunktsverlagerung im Skilanglauf nach vorne, oder im Skirollerlauf nach hinten, hervorgerufen werden. Unterschiede im koordinativen Anspruch sind nicht erkennbar.

In der ZTA-Technik ist beim Gleiten im Skirollerlauf eine höhere Muskelaktivität der Oberschenkelmuskulatur zu erkennen. Noch größer ist der Unterschied in der Unterschenkelmuskulatur. Erklärbar ist das durch einen koordinativ höheren Anspruch in der GLP als im Skilanglauf.

In Hypothese 4 wird angenommen, dass im Gegensatz zum Skilanglauf der Stockschub mit Skirollern, bei einem spitzen werdenden Einstichwinkel, nicht so lange aufrechterhalten werden kann. Dadurch soll sich Muskelaktivität der Oberkörpermuskeln innerhalb eines Bewegungszyklus verkürzen. In den Skating-Techniken ZTS und ZTA ist diese Hypothese aufgrund der Messdaten in 4.3 und 4.4 falsifiziert. Nur in der ET-Technik kann diese teilweise Behauptung bestätigt werden, da alle Oberkörpermuskelaktivitäten zumindest gleichlang oder länger sind.

In den Zweitakter-Techniken ist kein erwähnenswerter Unterschied in der Muskelaktivitätsdauer der Oberkörpermuskeln zu erkennen. Einzig der PM, in der ASP der ZTA-Technik, ist im Langlauf aktiv und im Skirollerlauf nicht. Grund dafür könnte sein, dass eine stärkere asymmetrische Körpergewichtsverlagerung (Abbildung 18) auf die Seite des Führarms möglich ist, welche durch die längere Aufrechterhaltung eines spitzen werdenden Einstichwinkels ermöglicht wird. Ansonsten zeigen alle anderen Oberkörpermuskelaktivitäten in den Zweitakter-Techniken im Skirollerlauf, eine Verschiebung nach links, was einer früheren Aktivität im Bewegungszyklus entspricht.

In der ET-Technik des Skirollerlaufs kommt es nur zu einer geringen zeitlichen Verschiebung der Muskelaktivitäten gegenüber der im Skilanglauf. Nur die Aktivitätsdauer des TB im Langlauf ist erhöht. Das deutet darauf hin, dass auf Schnee, in der ET-Technik eine Kraftübertragung über die Stöcke länger aufrechterhalten werden kann.

Zu beachten gilt, dass Gegenüberstellungen die auf gemessenen Muskelaktivitäten basieren, nur qualitative Werte miteinander vergleichen. Alle Aktivitätsverläufe sind amplitudennormalisiert. Sie geben keine quantitative Auskunft darüber, ob im Skilanglauf oder im Skirollerlauf ein Muskel mehr oder weniger aktiv ist.

6 Fazit und Ausblick

Die biomechanischen Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und dem Skirollerlauf konnten in drei Skating-Techniken in drei verschiedenen Aspekten quantifiziert werden. Erstens durch die Zyklusraten, zweitens durch die Bewegungsphasenverteilung und drittens durch die Muskelaktivitätsmuster.

Im Vergleich zum Skilanglauf wurde eine Reduktion der Zyklusraten in allen Skating-Techniken gemessen. Veränderungen der Bewegungsphasenverteilung zeichnen sich durch eine Verkürzung der ASP und eine Verlängerung der SWP in allen Techniken aus. Die größten Unterschiede der Muskelaktivitätsmuster konnten in der ASP der ZTA-Technik, der Muskelaktivitätsdauer der Oberkörpermuskulatur in der ET-Technik und der Muskelaktivität beim einbeinigen Gleiten festgestellt werden. In der ASP der ZTA-Technik kommt es im Skirollerlauf, am GM, zu einer deutlich späteren Aktivierung als im Skilanglauf. Dies ist deswegen interessant, da die sonstige Beinmuskulatur früher als im Langlauf aktiv ist. Aufgrund der langen ASP könnten hier die unterschiedlichen Hebelverhältnisse den größten Einfluss haben. Die Muskelaktivitätsdauer der untersuchten Oberkörpermuskeln zeigt sich in der ET-Technik verlängert. Grund dafür könnte sein, dass auf Schnee eine Kraftübertragung über die Stöcke länger aufrechterhalten werden kann. Beim einbeinigen Gleiten kommt es in der Muskulatur der unteren Extremitäten zu erhöhter Aktivität in der ZTA-Technik im Skirollerlauf und der ET-Technik im Skilanglauf. In der ZTS-Technik ist die Muskelaktivität ident. Verschieden hohe koordinative Ansprüche könnten unterschiedliche Muskelaktivitäten während der GLP verursachen.

Die quantifizierten biomechanischen Unterschiede könnten als Grundlage dienen, den Skirollerlauf als semispezifische Trainingsform noch mehr an den Skilanglauf anzunähern. Entsprechendes Equipment könnte so konstruiert werden, dass die gemessenen Unterschiede so gering wie möglich gehalten werden.

Um Ergebnisse mit stärkerer Repräsentativität zu erhalten, könnten die Messungen mit einer höheren ProbandInnenanzahl und auf verschiedenen Schneearten wiederholt werden. Weiters wäre es möglich verschiedene Skiroller miteinander zu vergleichen. Um im Bezug auf die Muskelaktivität quantitative Aussagen zu erhalten, wären MVC-Normalisierungen sinnvoll.

Literaturverzeichnis

- Babel, S., Neumaier, A. (2002). *Feldstudie zu biomechanischen Einflussgrößen in ausgewählten Skilanglauf- Techniken*. Dissertation. Ruhr-Universität Bochum.
- Basmajian, J., De Luca, C. (1985). *Muscles Alive: Their Function Revealed by Electromyography (3. Ausgabe)*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Bilodeau B., Boulay M., Roy B. (1992). Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(8), 917–925.
- Benninghoff, A. (2008). *Taschenbuch Anatomie / Benninghoff/Drenckhahn*. Drenckhahn, D. & Waschke, J. München : Elsevier, Urban & Fischer.
- Goldstein, H., Poole, C., Safko, J. (2006). *Klassische Mechanik*. Weinheim: WILEY-VCH-Verlag.
- Hermens, H., Freriks, B., Merletti, R., Stegeman, D., Blok, J., Rau, G., Disselhorst-Klug, C.; Hägg, G. (1999). *SENIAM 8: European Recommendations for Surface Electro-MyoGraphy*. Roessingh Research and Development b.v.
- Hoffman, M., Clifford P., Bender, F. (1995). Effect of Velocity an Cycle Rate and Length for Three Roller Skiing Techniques. *Journal of Applied Biomechanics* 11, 257-266.
- Holmberg H., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E., Müller, E. (2005). Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(5), 807-818.
- Holmberg L., Lund, A. (2008). A musculoskeletal full - body simulation of cross - country skiing. *Sports Engineering and Technology*. 222(1), 11-22.
- Hottenrott, K., Urban, V. (2004). *Das große Buch vom Schilanglauf*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Konrad, P. (2005). *EMG-Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyographie*.
- Lindinger, S. (2006). Analysen von Skatingtechniken im Skilanglauf. *Spektrum Bewegungswissenschaft Band 4*. E. Aachen: Meyer & Meyer Sport.
- Lindinger, S. (2007). Biomechanics in Cross-Country Skiing – Methods and future research questions. *Science and Nordic Skiing*. Linnamo, V., Komi, P.V., Müller, E. Oxford: Meyer & Meyer Sport. 23-40.

- Marhold, G. (1976). *Zur sportlichen Technik in den Kraftdisziplinen-Praktische Analyseergebnisse im Hochleistungsbereich und ihnen zugrunde liegende theoretische Positionen*. Leipzig: Dhfk.
- Millet, G., Hoffman, M., Candau, R., Buckwalter, J., & Clifford, P. (1998). Effect of rolling resistance on poling forces and metabolic demands of roller skiing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 755-762.
- Morey-Klapsing, G., Arampatzis, A., Brüggemann, G.P. (2004). Choosing EMG parameters: comparison of different onset determination algorithms and EMG integrals in a joint stability study. *Clinical Biomechanics*, 19(2), 196–201.
- Nilsson, J., Tveit, P., Eikrehagen, O. (2004). Effects of speed on temporal patterns in classical style and freestyle cross-country skiing. *Sports Biomechanics*, 3(1), 85- 108.
- Ohtonen, O., Lindinger, S., Linnamo, V. (2013). Effects of Gliding Properties of Cross-Country Skis on the Force Production During Skating Technique in Elite Cross-Country Skiers. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 8(2), 407-416.
- Rapp, W., Lindinger, S., Müller, E., Holmberg, H. (2008). Biomechanics in classical cross-country skiing-past, present and future. *Science and Skiing*. Hrsg. von Müller, E., Lindinger, S., Stöggl, T. Oxford: Meyer & Meyer Sport, 630-640.
- Smith, G., Nelson, R., Feldman, A., Rankinen, J. (1989). Analysis of V1 Skating Technique of Olympic Cross-Country Skiers. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5, 185-207.
- Smith, G. (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(9), 1015-1022.
- Schwartz, A. (1994). *Bewegungstechnik und muskuläre Koordination beim Skilanglauf*. Köln: Strauss (Edition Sport).
- Schwartz, A. (1996). *Skilehrplan Bd. 2 – Skilanglauf*. Hrsg. von DVS – Deutscher Verband für für das Skilehrerwesen e.V. München: BLV Verlagsgesellschaft GmbH.
- Stallkamp, F. (1999). Einsatz der EMG-Telemetrie am Beispiel einer Inline-Skate-Untersuchung — Ein Vergleich zwischen Weichschalen- und Hartschalenschuh. *Rechnergestützte Verfahren in Orthopädie und Unfallchirurgie*. Hrsg. Jerosch, J., Nicol, K., Peikenkamp, K., Darmstadt: Steinkopffverlag, 280-291.
- Steindler, A. (1955). *Kinesiology of the Human Body*. Springfield, IL: Charles, T. Publisher.

Stöggl, T., Holst, A., Jonasson, A., Andersson, E., Wunsch, T., Norström, J., Holmberg, H. (2014). Automatic Classification of the Sub-Techniques (Gears) Used in Cross-Country Ski Skating Employing a Mobile Phone. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 14(11), 20589–20601.

Stöggl, T., 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.

Tränkler, H.-R. (1990). *Taschenbuch der Meßtechnik (mit Schwerpunkt Sensortechnik)*. München: Oldenbourg Verlag GmbH.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Skating-Skiroller: Bindung und Schuhe ident mit Skilanglaufequipment, Stöcke mit Hartmetallspitzen ohne Teller. Quelle: http://www.thueringerwald.com/tw/bilder/ski-roller.jpg	7
Abbildung 2: zeitliche Zuordnung von Phasen, in denen Kraft über Ski und Stöcke übertragen werden (Bilodeau et al., 1992).....	10
Abbildung 3: Vergleich Kraft-Zeit-Kurven (Summe der Vertikalkraft) von Ski (oben) und Skiroller (unten). Quelle: (Babiel & Neumaier, 2002, S.108).....	11
Abbildung 4: Vergleich Kraft-Zeit-Kurven von Ski (oben) und Skiroller (unten) bzgl. der Kantenbelastung. Quelle: (Babiel & Neumaier, 2002, S.109).....	11
Abbildung 5: Vergleich Kraft-Zeit-Kurven von Ski (oben) und Skiroller (unten) für die Fersen- und Ballenbelastung. Quelle: (Babiel & Neumaier, 2002, S.110).....	12
Abbildung 6: Vergleich der relativen Überlappungszeiten von Ski und Skiroller anhand von drei Probanden. Quelle: (Babiel & Neumaier, 2002, S.114).....	13
Abbildung 7: Grundstellung des ET frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/22/	16
Abbildung 8: ASP im ET frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/22/	16
Abbildung 9: Am Ende der ASP frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/22/	16
Abbildung 10: Übergang in die SWP frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/22/	17
Abbildung 11: GLP im ET frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/22/	17
Abbildung 12: GLP im ZTS frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/20/	18
Abbildung 13: Vorbereitung auf ASP 2 frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/20/	18

Abbildung 14: ASP 2 im ZTS frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: koze http://www.schilanglauf.net/content/view/20/	18
Abbildung 15: SWP 2 im ZTS frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/20/	19
Abbildung 16: Ende GLP 2 frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/20/	19
Abbildung 17: ASP des ZTA frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/21/	20
Abbildung 18: Das Anfallen im ZTA frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/21/	20
Abbildung 19: SWP mit Gewichtsverlagerung frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/21/	21
Abbildung 20: kurze GLP im ZTA frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/21/	21
Abbildung 21: ASP 2 mit erneutem Anfallen frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/21/	21
Abbildung 22: SWP 2 mit einer schnellkräftigen, seitlichen Abstoßstreckung frontal (links), seitlich (rechts). Quelle: http://www.schilanglauf.net/content/view/21/	22
Abbildung 23: Wettkampffrollen (oben), langsame Trainingsrollen (unten). Quelle: http://http://ski-roller.de/srb-ski-roller/modell-skater.html	23
Abbildung 24: Schematische Darstellung der Hebelverhältnisse beim Aufkanten im Skilanglauf (links) und im Skirollerlauf (rechts). Fuß-Längsdrehachse (blau), Widerlagerbereich (rot).....	24
Abbildung 25: Position der Drehachse bei Skatingski (oben) und Skiroller (unten) in Abhängigkeit von der Gesamtlänge.....	25
Abbildung 26: Beispiel einer Musteranalyse einer kinetischen Kette aus der Ganganalyse: gekennzeichnet sind die aktiven Muskeln während eines Bewegungszyklus. Quelle: (Basmajian & De Luca, 1985).....	26
Abbildung 27: Amplitudenspektrum der gemessenen, vertikalen Beschleunigungen.....	28
Abbildung 28: Positionierung des Smartphones welches als IMU dient (grüne Halterung)	29

Abbildung 29: Raumfestes, globales Koordinatensystem. Körperfestes Koordinatensystem bewegt sich mit dem Skiroller mit. Verändert nach: http://http://ski-roller.de/srb-ski-roller/modell-skater.html	29
Abbildung 30: Vertikale Beschleunigungen bei der ET-Technik: Rohdaten (links), zugeschnittene, gefilterte und in ein globales Koordinatensystem transferierte Verläufe. ...	30
Abbildung 31: Vertikaler Beschleunigungsverlauf bei ET-Technik: rot-strichliert zeigt den Beginn eines neuen Bewegungszyklus.....	31
Abbildung 32: Beschleunigungsverlauf in y-Richtung (blau), Beschleunigungsverlauf in z-Richtung (grün), sowie die Winkelbeschleunigung um die y-Achse (rosa) werden zur genaueren Bestimmung der Phasen verwendet.....	32
Abbildung 33: Muskelaktivitätsmuster anhand von prozentual bewerteter sEMG-Verläufe (Holmberg et al., 2005).....	35
Abbildung 34: Muskelaktivitätsmuster es Doppelstockschubs anhand einer biomechanischen Mehrkörper-Simulation (Holmberg & Lund, 2008).....	36
Abbildung 35: Zeitdifferenz zwischen dem gemessenen sEMG-Signal und kinematischen bzw. kinetischen Auswirkungen. Quelle: (Rapp et al., 2008).....	37
Abbildung 36: Durchschnittlich gemessene Bewegungszyklusraten in den jeweiligen Skatingtechniken. Skilanglauf (blau), Skirollerlauf (rot).....	40
Abbildung 37: Durchschnittlich gemessene Bewegungsphasenverteilung in den jeweiligen Skatingtechniken. Skilanglauf (blau), Skirollerlauf (rot).....	41
Abbildung 38: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GL in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	43
Abbildung 39: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GM in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	44
Abbildung 40: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TA in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	45
Abbildung 41: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VL in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	46
Abbildung 42: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des RF in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	47

Abbildung 43: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VM in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	48
Abbildung 44: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des BF in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	49
Abbildung 45: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des LD in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	50
Abbildung 46: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des PM in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	51
Abbildung 47: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TB in der ZTA-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	52
Abbildung 48: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GL in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	53
Abbildung 49: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GM in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	54
Abbildung 50: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TA in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	55
Abbildung 51: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VL in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	56
Abbildung 52: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des RF in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	57
Abbildung 53: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VM in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	58
Abbildung 54: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des BF in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	59
Abbildung 55: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des LD in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	60
Abbildung 56: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des PM in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	61
Abbildung 57: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TB in der ET-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	62

Abbildung 58: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GL in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	63
Abbildung 59: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des GM in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	64
Abbildung 60: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TA in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	65
Abbildung 61: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VL in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	66
Abbildung 62: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des RF in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	67
Abbildung 63: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des VM in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	68
Abbildung 64: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des BF in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	69
Abbildung 65: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des LD in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	70
Abbildung 66: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des PM in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	71
Abbildung 67: Durchschnittlich gemessener Muskelaktivitätsverlauf des TB in der ZTS-Technik im Skilanglauf (blau) und im Skirollerlauf (rot).....	72
Abbildung 68: Ermitteltes Muskelaktivitätsmuster in der ZTA-Technik. Hohe Muskelaktivität blau (Skilanglauf), rot (Skirollerlauf). Mittlere Muskelaktivität hellblau (Skilanglauf), hellrot (Skirollerlauf).....	74
Abbildung 69: Ermitteltes Muskelaktivitätsmuster in der ET-Technik. Hohe Muskelaktivität blau (Skilanglauf), rot (Skirollerlauf). Mittlere Muskelaktivität hellblau (Skilanglauf), hellrot (Skirollerlauf).....	75
Abbildung 70: Ermitteltes Muskelaktivitätsmuster in der ZTS-Technik. Hohe Muskelaktivität blau (Skilanglauf), rot (Skirollerlauf). Mittlere Muskelaktivität hellblau (Skilanglauf), hellrot (Skirollerlauf).....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnungen der Eigenschaften zu jeweiliger Phase.....	32
Tabelle 2: Liste der untersuchten Muskeln.....	34
Tabelle 3: Durchschnittliche Steigungen und Streckenlängen der gelaufenen Messstrecke	38
Tabelle 4: Zusammenfassung der gemessen Bewegungszyklusraten und deren Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf.....	40
Tabelle 5: Zusammenfassung der prozentualen Bewegungsphasenanteile und deren Unterschiede zwischen dem Skilanglauf und Skirollerlauf.....	42
Tabelle 6: Zusammenfassung der prozentualen Bereiche, in einem Bewegungszyklus, in denen hohe Muskelaktivitäten (>57%) auftreten.....	73

Abkürzungsverzeichnis

ASP	Abstoßphase
BF	m. biceps femoris
BZD	Bewegungszyklusdauer
DS	Diagonalschritt
DSS	Doppelstockschub
DSZ	Doppelstockschub mit Zwischenschritt
sEMG	Surface Electromyography (Oberflächen Elektromyographie)
ET	Eintakter
FFT	Fast Fourier Transformation
GL	m. gastrocnemius lateralis
GLP	Gleitphase
GM	m. gastrocnemius medial
KSP	Körperschwerpunkt
LD	m. latissimus dorsi
MVC	Maximal Voluntary Contraction
PM	m. pectoralis major
RF	m. rectus femoris
SWP	Schwungphase
TA	m. tibialis anterior
TB	m. trizeps brachii
VL	m. vastus lateralis
VM	m. vastus medialis
ZTA	Zweitakter asymmetrisch
ZTS	Zweitakter symmetrisch