

MUSKELAKTIVITÄTEN WÄHREND UNTERSCHIEDLICHEN BEWEGUNGSPHASEN IM SKIROLLERLAUF

E. Felsner¹, M. Jedelsky¹, J. Langer¹, M. Postl¹, C. Schörg¹, L. Weißenböck¹

¹ Fachhochschule Technikum Wien, Wien, AUT

1 Kurzfassung

Der Skirollerlauf entstand bereits vor mehreren Jahrzehnten. Das ursprüngliche Ziel war es ein spezifisches Trainingsgerät für Skilangläufer im Sommer zu entwickeln. Dabei entwickelte sich der Skirollerlauf neben einer Trainingsdisziplin auch zu einer eigenen Wettkampfsportart. Das Ziel dieser Arbeit ist die Muskelaktivitäten, von zehn – für den Skirollerlauf – relevanten Muskeln den drei Bewegungsphasen zuzuordnen. Die in der Sportwissenschaft definierten Bewegungsphasen – Abstoß, Schwung- und Gleitphase – werden aus dem Skilanglauf übernommen. Aus dieser Zuordnung soll eine sportartspezifische kinetische Kraftkette abgeleitet werden.

Die Messung der Muskelaktivitäten erfolgt dabei über ein mehrkanaliges EMG-Messsystem. Aufgrund der komplexen Bewegung zählen zu den relevanten Muskelgruppen die oberen und unteren Extremitäten, als auch Brust- und Rückenmuskulatur.

Zur Bestimmung der Bewegungsphasen wird ein, am malleous lateralis applizierter, IMU-Sensor verwendet. Dieser erkennt aufgrund des zyklischen Verlaufs von Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten, mit Hilfe eines Algorithmus, eindeutige Muster. Mit diesen Mustern können die EMG-Verläufe automatisch in die einzelnen Bewegungszyklen eingeteilt werden und die Bewegungsphasen indiziert werden. Aufgrund der Analyse aller Bewegungszyklen ergibt sich ein hohe Anzahl von Messungen bei relativ geringen Messreihen.

Die Messungen wurden mit einem Proband – 24 Jahre, gesund, gute sportliche Technik – durchgeführt. Untersucht wurde die Skating-Technik in der Ebene in der 1:1 Technik, als auch bergauf in der asymmetrischen 2:1 Technik (beidseitig).

Die Ergebnisse zeigen eine graphische Übersicht welcher Muskel zu welchem Zeitpunkt während eines Bewegungszyklus aktiv ist, wie auch welche Muskeln in einer Bewegungsphase aktiv sind.

2 Einleitung

Die Forschungsfrage, die zu diesem Projekt gestellt wurde lautet:

Welche Muskeln werden im Skirollerlauf während der definierten Bewegungsphasen angesprochen und ist es möglich daraus eine kinetische Kraft-Kette abzuleiten?

Die Hypothese zu dieser Forschungsfrage lautet:

Durch eine elektronisch automatisierte Bewegungsphasenerkennung ist es möglich die EMG-Daten der bewegungsrelevanten Muskeln eindeutig zuzuordnen und daraus eine kinetische Kraft-Kette abzuleiten.

Da der Skirollerlauf als spezifisches Sommertraining für Skilangläufer entwickelt worden ist, werden für dieses Projekt die sportwissenschaftlichen Definitionen des Skilanglaufs verwendet. Der Skilanglauf ist ein Ausdauersport bei dem sich ein Athlet durch Rückstoß von Ski und Stöcken fortbewegt. Die Gesamtbewegung lässt sich dabei nach Schwirtz (2006) in fünf einzelne Bewegungsphasen einteilen. Mit den Beinen erfolgt eine Abstoßphase gefolgt von einer Schwungphase und eine Gleitphase. Zusätzlich gibt es eine Armabstoßphase und eine Schwungphase mit dem Arm. Da bei diesem Projekt ein IMU-Sensor am Schuh appliziert ist um die Bewegungsphasen zu indizieren und somit keine Bewegung in den Armen erfasst wird, werden im weiteren Verlauf die Bewegungsphasen der Arme nicht mehr berücksichtigt. Die Muskelaktivitäten der oberen Extremitäten werden daher den Bewegungsphasen der unteren Extremitäten zugeordnet.

Bei der untersuchten sportlichen Technik handelt es sich um die Skating-Technik. Von dieser gibt es mehrere Variationen. Die Techniken die in diesem Projekt behandelt sind nach Bilodeau, Boulay, & Roy (1992) wie folgt beschrieben:

Die 1:1 Skating-Technik wird so ausgeführt, dass bei jedem Skating-Schritt ein Doppelstockeinsatz gemacht wird. Die Bewegungsphasen der Beine bleiben die gleichen

3 Methoden

Messtechnik

Um die notwendigen Daten zu erhalten werden zwei Messsysteme kombiniert. Einerseits wird für die Erkennung der Bewegungsphasen eine IMU mit einem Datalogger verwendet, andererseits wird zum Aufzeichnen der EMG Daten ein Komplettsystem verwendet.

Die verwendete IMU ist die SEN-10736 9 Degrees of Freedom von Sparkfun Electronics (Boulder, Colorado, USA). Diese IMU beinhaltet einen dreiachsigen Beschleunigungssensor ADXL345, sowie ein dreiachsiges Gyroskop ITG-3200 und einen dreiachsigen Magnetfeldsensor HMC5883L. Zur Datenverwertung befindet sich zusätzlich ein ATmega 328 Chip auf der IMU. Die Aufnahmefrequenz beträgt 100Hz.

Zur Aufzeichnung der Daten wird ein Logomatic V2, ebenfalls von Sparkfun, als Datalogger verwendet. Die IMU sendet die aufgezeichneten Daten über eine serielle Schnittstelle an den Datalogger, wo die Daten auf eine SD-Karte gespeichert werden. Zur Stromversorgung wird ein LiPo Akku verwendet. Die IMU-Daten werden im Anschluss an die Messungen via USB mit einem PC verbunden und die übertragenen Daten werden mittels Matlab (Mathworks, Natick, Massachusetts, USA) analysiert.

Zur EMG-Messung wird das Myomonitor-IV-System von Delsys Inc. (Boston, Massachusetts, USA) verwendet. Mittels bipolarer Elektroden wird an zehn Muskeln die Aktivität gemessen. Die zusätzliche Referenzelektrode befindet sich während der Messungen am siebten Halswirbel. Das Delsys-System zeichnet mit 1000Hz auf und speichert die Daten mittels eines integrierten Dataloggers auf eine SD-Karte. Die Daten werden im Anschluss an die Messungen mit der Delsys-Software exportiert und ebenfalls mit Matlab analysiert und mit den IMU-Daten synchronisiert.

Sensorapplizierung

Da das Skirollerlaufen zum Großteil eine zyklische und symmetrische Bewegung ist vgl. Smith (1992) wurden die Sensoren nur auf der rechten Seite des Probanden appliziert. Um die Bewegungsphasen beim Skirollerlaufen zu untersuchen wird die IMU außen am malleolus lateralis appliziert. Bei der Orientierung der IMU zeigt die X-Achse gegen die Fahrtrichtung, die Y-Achse in Richtung Erdbeschleunigung und die Z-Achse zeigt nach medial. Dies ist nur der Fall wenn der Proband gerade steht. Sobald er in Bewegung ist bewegt sich das Koordinatensystem mit. Durch die

Kombination von Beschleunigungssensor und Gyroskop in der IMU kann allerdings durch eine Matlab-Funktion ein globales Koordinatensystem errechnet werden. Dadurch lassen sich die einzelnen Bewegungsphasen leichter detektieren.



Abbildung 5: Applizierung der IMU, EMG-Elektroden und der Datalogger

Die folgende Tabelle beinhaltet die Muskeln, an denen die Elektroden appliziert werden inklusive der EMG-Kanäle, denen sie zugeordnet werden. Kanal neun wird nicht verwendet, da dieser defekt ist.

EMG-Kanal	Muskel
1	Biceps femoris (BF)
2	Gastrocnemius lateralis (GL)
3	Gastrocnemius medialis (GM)
4	Latissimus dorsi (LD)
5	Pectoralis major (PM)
6	Rectus femoris (RF)
7	Tibialis anterior (TA)
8	Triceps brachii (TB)
10	Vastus medialis (VM)
11	Vastus lateralis (VL)

Tabelle 1: Liste der gemessenen Muskeln und Kanal-Zuordnung

Messablauf

Bei den Messungen werden zwei verschiedene Geländetypen untersucht. Die erste Messreihe wird auf einer Ebene durchgeführt, die zweite und dritte

auf einem Anstieg. Beim Anstieg werden deswegen zwei Messreihen durchgeführt, da die 2:1 Skatingtechnik bergauf asymmetrisch ist und es dadurch eine Führhand gibt. Jede Messreihe ist drei Mal wiederholt worden und daraus sind je zehn Bewegungszyklen isoliert. Diese sind zeitnormalisiert und arithmetisch gemittelt. Daraus ergeben sich 300 Bewegungszyklen pro Technik beziehungsweise Gelände.

Zur Synchronisation von IMU- und EMG-Daten ist ein Synchronisations-Event definiert welches ein Beinstrecken nach vorne und gleichzeitiges Anheben entspricht. Durch die Rotation des IMU Sensors ist das Event durch einen Abfall / Anstieg der Gravitation in einer Achse sichtbar. In den EMG-Daten macht sich dies als Peak im m. rectus femoris sichtbar.

Die Belastung und daraus resultierende Geschwindigkeit während der Messungen ist so konstant wie möglich im aerob-anaeroben Übergangsbereich (Laktat-Steady-State) gehalten.

Messstrecke

Messstrecke in der Ebene ist 60m lang, bergauf 50m mit einer gleichmäßigen Steigung von 10%. Jeweils gibt es einen zrika 10m langen Bereich davor um in die gewünschte Geschwindigkeit zu erreichen. Die Strecken sind beide asphaltiert und verfügen über dieselben Rolleigenschaften.

Proband

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

4 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in zwei Teile geteilt. Der erste Teil zeigt eine graphische Übersicht welcher Muskel zu welchem Zeitpunkt während eines Bewegungszyklus aktiv ist. Daraus kann die kinematische Kraftkette abgelesen werden. Im zweiten Teil wird der prozentuale Anteil, der Muskelaktivität während eines Bewegungszyklus, den Bewegungsphasen zugeordnet.

Die folgenden graphischen Übersichten sind zeitnormalisiert. Die vertikalen, roten Linien indizieren die Bewegungsphasen. Die blauen Balken zeigen den Zeitraum, während eines Bewegungszyklus, in dem der jeweilige Muskel aktiv ist. Ein Muskel zählt dann als aktiv wenn sein EMG-Wert über 50% der maximalen Amplitude entspricht.

In Abbildung 6 sind die Muskelaktivitäten der symmetrischen 1:1 Skating-Technik ersichtlich.

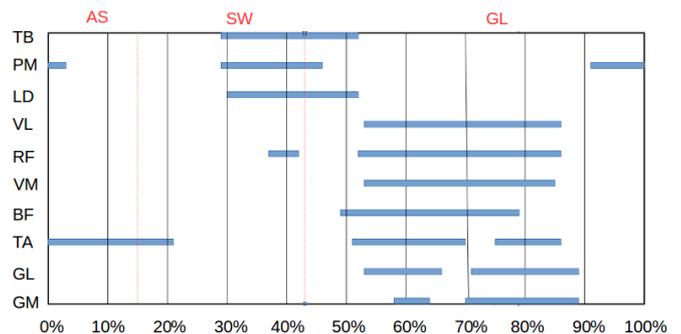


Abbildung 6: Muskelaktivitäten in der 1:1 Technik

Zu erkennen ist, dass die Muskulatur der oberen Extremität und des Oberkörpers in der Mitte der Schwungphase bis zu Beginn der Gleitphase aktiv ist. Der m. pectoralis major zeigt darüber hinaus Aktivität zu Beginn und Ende des Zyklus was durch das schnelle nach vorne Schwingen der Arme zu erklären ist, was in der Technik essentiell ist. Die Muskulatur der Beine ist in der Gleitphase aktiv, da in dieser eine der Kniebeuge ähnliche Bewegung ausgeführt wird aus welcher dann der Abstoß entsteht. Der m. tibialis anterior zeigt zusätzlich Aktivität in der Abstoßphase. In der Phase muss der Skroller durch Anziehen der Zehen waagrecht gehalten werden.

In Abbildung 7 sind die Muskelaktivitäten der asymmetrischen 2:1 Skating-Technik mit rechts als führende Hand ersichtlich.

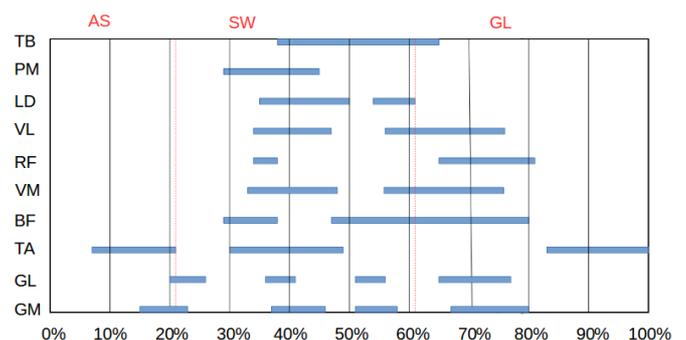


Abbildung 7: Muskelaktivitäten der 2:1 Technik mit rechter Führungshand

Die Oberkörper- und Armmuskulatur zeigt hohe Aktivität in der zweiten Hälfte der Schwungphase und am Beginn der Gleitphase. Der m. pectoralis major zeigt keine Aktivität über dem Schwellenwert da die Armbewegung in dieser Technik deutlich langsamer ist. Die Oberschenkelmuskulatur ist ebenfalls in dem Bereich aktiv, reicht allerdings weiter in die Gleitphase hinein. Die Muskulatur des Unterschenkels ist vom Ende der Abstoßphase bis

zur ersten Hälfte der Gleitphase aktiv. Dies ist damit zu erklären, dass aufgrund des höheren Anstellwinkels vom Skiroller beziehungsweise Fuß eine höhere Stabilisierung erforderlich ist.

In Abbildung 8 sind die Muskelaktivitäten der asymmetrischen 2:1 Skating-Technik mit links als führende Hand ersichtlich.

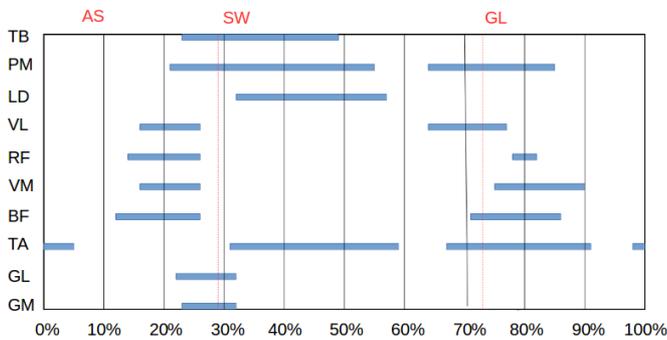


Abbildung 8: Muskelaktivitäten der 2:1 Technik mit linker Führungshand

Aufgrund der Asymmetrie in dieser Technik kommt es zu sehr unterschiedlichen Muskelaktivitäten obwohl es die selbe sportliche Technik ist. Die Muskulatur der oberen Extremität und des Oberkörpers zeigt eine deutlich längere Aktivität an. Durch die Asymmetrie des Oberkörpers und der Arme muss, im Fall einer linken Führungshand, der rechte Arm einen weitem Weg zurück legen und kann dabei länger Kraft auf den Stock aufbringen. Dadurch muss er auch schneller zurück nach vorne gebracht werden, was eine Aktivität des m. pectoralis major während der Gleitphase zeigt. Zusätzlich zur Muskelaktivität der Beine in der Gleitphase kommt es zu einer Muskelaktivität in der Abstoßphase. Obwohl sich zu dem Zeitpunkt das Bein in der Luft ist kommt es in dem Fall zu einer Muskelaktivität über dem Schwellenwert da, dass Bein durch die Asymmetrie höher gehoben und länger in der Luft gehalten werden muss.

Die folgenden prozentualen Aufteilungen beziehen sich pro Muskel, wo die Gesamtaktivität während eines Zyklus als 100% angenommen wird.

Tabelle 2 zeigt die prozentualen Anteile der Muskelaktivitäten in der 1:1 Technik. Wie in der graphischen Übersicht zuvor zeigt der Oberkörper den Großteil der Aktivitäten in der Schwungphase und die Beinmuskulatur in der Gleitphase.

Muskel	AS [%]	SW [%]	GL [%]
TB	0	75	25
PM	14	67	19
LD	0	62	38
VL	0	0	100
RF	0	11	89
VM	0	0	100
BF	0	0	100
TA	29	12	59
GL	0	0	100
GM	0	0	100

Tabelle 2: Prozentuale Aufteilung der Muskelaktivitäten auf die Bewegungsphasen in der 1:1 Technik

Tabelle 3 zeigt die prozentualen Anteile der Muskelaktivitäten in der asymmetrischen 2:1 Technik mit rechter Führungshand.

Muskel	AS [%]	SW [%]	GL [%]
TB	0	61	39
PM	0	100	0
LD	0	95	5
VL	0	52	48
RF	0	20	80
VM	0	53	47
BF	0	52	48
TA	28	38	34
GL	5	75	20
GM	17	54	29

Tabelle 3: Prozentuale Aufteilung der Muskelaktivitäten auf die Bewegungsphasen in der 2:1 Technik mit rechter Führungshand

Bei fast allen Muskeln befindet sich der größte Anteil der Muskelaktivität in der Schwungphase.

Ausnahme bildet der m. rectus femoris der den Großteil seiner Aktivität in der Gleitphase hat.

Tabelle 4 zeigt die prozentualen Anteile \bar{c} Muskelaktivitäten in der asymmetrischen 2:1 Technik mit linker Führungshand.

Muskel	AS [%]	SW [%]	GL [%]
TB	23	77	0
PM	13	65	22
LD	0	100	0
VL	43	0	57
RF	75	0	25
VM	40	0	60
BF	48	7	45
TA	8	41	51
GL	70	30	0
GM	67	33	0

Tabelle 4: Prozentuale Aufteilung der Muskelaktivitäten auf die Bewegungsphasen in der 2:1 Technik mit linker Führungshand

Die Arm- und Oberkörper zeigt neben dem großen Anteil in der Schwungphase auch einen un der Abstoßphase. Wie zuvor erklärt kommt dies durch die Asymmetrie der Armbewegung zustande. Auch die Bein Muskulatur zeigt zirka einen halben Anteil der Muskelaktivität in der Abstoßphase.

5 Diskussion

Die Hypothese, dass durch eine elektronisch automatisierte Bewegungsphasenerkennung und mit EMG-Daten von bewegungsrelevanten Muskeln es möglich ist, eindeutig deren Aktivität zuzuordnen und daraus eine kinetische Kraft-Kette abzuleiten kann verifiziert werden. Ebenso verifiziert werden kann die Zuordnung der Muskelaktivitäten zu den einzelnen Bewegungsphasen.

Allerdings gibt es auch Anmerkungen zu den gewonnen Ergebnissen.

Wie in Abbildung 9 ersichtlich war die Angabe der Standardabweichung der Muskelaktivitäten wenig sinnvoll da diese nicht normalverteilt sind. Es ist

einfach unmöglich eine negative Muskelaktivität zu erhalten.

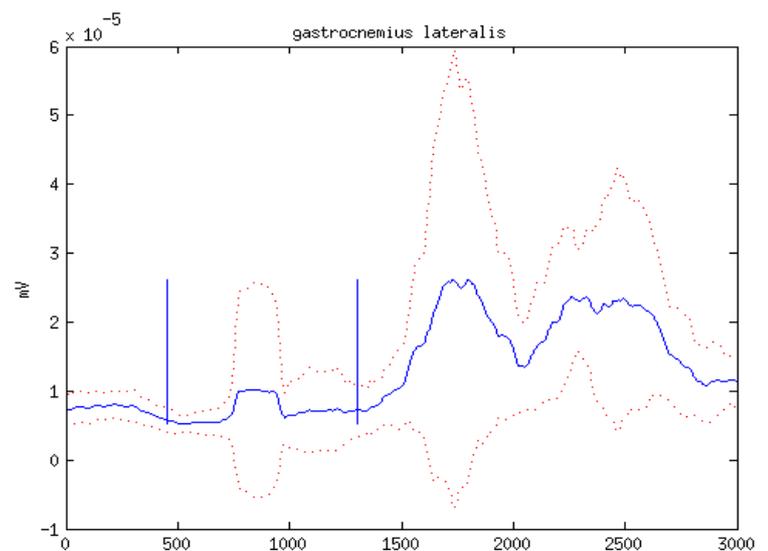


Abbildung 9: Muskelaktivitätsverlauf mit Standardabweichung des m. gastrocnemius lateralis in der 1:1 Technik

Um eine Vergleichbarkeit mit mehreren Probanden bei zukünftigen Untersuchungen zu ermöglichen, war eine MVC-Normalisierung angedacht. Diese erwies sich allerdings in der Praxis als nicht umsetzbar da im Feld es einfach unmöglich ist reproduzierbare MVC-Übungen zu realisieren. In Abbildung 10 ist zu sehen wie groß die Abweichung der MVC-Messung, anhand des m. rectus femoris, ist. Die zwei linken Messungen wurden vor der eigentlichen Messung durchgeführt, die beiden rechten danach.

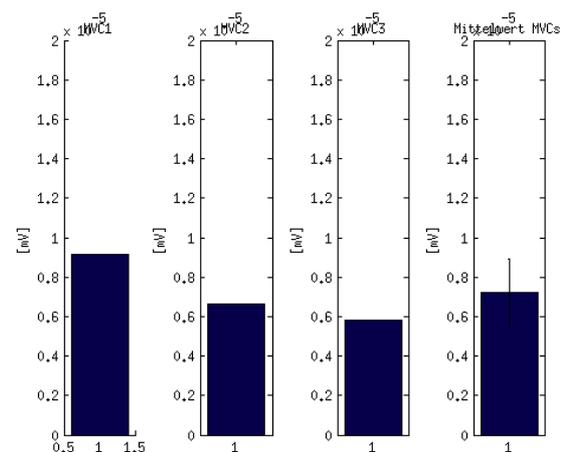


Abbildung 10: Vergleich der MVC-Messungen des m. rectus femoris

Zu beachten galt es auch die Zeitdifferenz zwischen EMG-Signal und der kinematischen Bewegung des Körpers zu definieren. Dabei wurden Werte aus der Literatur herangezogen.

Stallkamp (1999) definierte für seine EMG-Untersuchungen mit Roller-Skates eine Zeitdifferenz von 100ms für die Beinmuskulatur. Rapp et al (2008) führte im Rahmen seiner Studie eine Messung zwischen Stockkraft und EMG-Signal durch und ermittelte so den Wert von 90ms für den Oberkörper und die Armmuskulatur (siehe Abbildung 11).

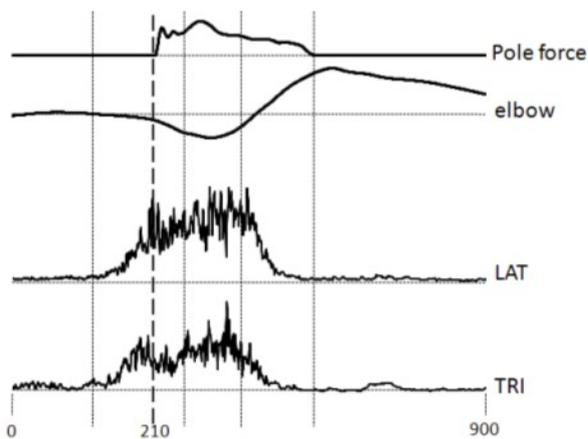


Abbildung 11: zeitlicher Vergleich zwischen Stockkraft, Ellbogenbewegung und EMG-Signal des m. latissimus dorsi und dem triceps brachii (Rapp et al., 2008)

6 Literatur

Schwirtz, A. (2006). DSV Lehrplan *Skilanglauf, Technik-Methodik-Training*. Planegg: Deutscher Skiverband

Bilodeau, B., Boulay, M. R., & Roy, B. (1992). Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, S. 917-925.

L. Joakim Holmberg, A. M. Lund. A musculoskeletal full-body simulation of cross-country skiing (2008). *Proc. IMechE Vol. 222. Sports Engineering and Technology (222)*, 1, 11-22.

U. Wenger, F. Wöllzenmüller. *Skilanglauf: klassische Technik und Skating* (1995). sportinform Verlag München.

Smith, G. A. (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, S. 1015-1022.

W. Rapp et al. Biomechanics in classical cross-country skiing-past, present and future (2008). *Science and Skiing*, S.630-640. Meyer & Meyer Sport Verlag.