

Fakultät für Sportwissenschaften der Technischen Universität München
Fachgebiet für Sportgeräte und -materialien
(Univ. – Prof. Dr. V. St. Senner)

Lehrstuhl und Poliklinik für Präventive und Rehabilitative Sportmedizin der
Technischen Universität München
(Univ. – Prof. Dr. M. Halle)

**Einfluss eines neuen Konzepts alpiner Skischuhe auf das muskuläre
Zusammenspiel im Buckelpisten-Skilauf**

Petra Machens geb. Zietemann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität
München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ. – Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation: 1. Univ. – Prof. Dr. V. St. Senner
 2. Univ. – Prof. Dr. M. Halle

Die Dissertation wurde 24.08.2005

bei der Technischen Universität München eingereicht

und durch die Fakultät für Medizin am 27.09.2006 angenommen.

**Einfluss eines neuen Konzepts alpiner Skischuhe auf das muskuläre
Zusammenspiel im Buckelpisten-Skilauf**

Petra Machens

Meinen Eltern, meiner Schwester Vera und meinem Mann Roland

**Einfluss eines neuen Konzepts alpiner Skischuhe auf das muskuläre
Zusammenspiel im Buckelpisten-Skilauf**

1. VORWORT	8
2. EINLEITUNG	9
2.1. BEDEUTUNG UND ENTWICKLUNG DER SPORTART FREESTYLE BUCKELPISTE	9
2.2. ANLASS UND ZIELSETZUNG DER STUDIE.....	9
2.3. DER MENSCH ALS SKIFAHRER	11
3. MATERIAL UND METHODEN	14
3.1. VERSUCHSGRUNDLAGEN	14
3.1.1. Überblick.....	14
3.1.2. Verwendetes Testmaterial.....	14
3.1.3. Testpersonen	16
3.1.4. Teststrecke	16
3.1.5. 2D-Bewegungsanalyse.....	18
3.1.6. Positionierung der Markerpunkte.....	20
3.2. AUSWAHL DER ZU VERMESSENDEN MUSKELN - BZW. MUSKELGRUPPEN	21
3.2.1. Funktionelle Analyse der gegenständlichen Bewegung	21
3.2.2. Verfahren der EMG-Messung.....	27
3.2.3. Setzen der EMG-Elektroden	28
3.2.4. Willentliche maximale Muskelaktivität	30
3.3. MESSTECHNIK	31
3.3.1. Datenspeicher und -verstärker.....	31
3.3.2. Bindungskraftmessung.....	32
3.3.3. Synchronisation von Video und Analogdaten	32
3.4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	33
4. AUSWERTUNG.....	35
4.1. VIDEODATEN	35
4.2. EMG-DATEN	36
4.2.1. Messgenauigkeit.....	38
4.3. BEWEGUNGSORIENTIERTE ZUORDNUNG DER MESSDATEN	38
4.4. VERFAHREN DER BEWEGUNGSORIENTIERTEN ANALYSE.....	40

4.5. MATHEMATISCHE BEARBEITUNG DER DATEN	45
4.5.1. Datenvergleich der Testschuhe	48
4.6. STATISTIK	50
4.6.1. Auswahl der statistischen Tests	50
4.6.2. Ausführung des Vorzeichentests und des Wilcoxon-matched-pairs-Tests	51
5. ERGEBNISSE	52
5.1. VORBEMERKUNGEN ZUR ERGEBNISDARSTELLUNG	52
5.2. MUSKELAKTIVITÄT ZUM ZEITPUNKT DER MAXIMALEN/MINIMALEN SPRUNGGELEKTSWINKEL MIT GEGENÜBERSTELLUNG VON ERSTEN UND ZWEITEN BUCKEL	53
5.3. RELATIVE AKTIVITÄT DER MUSKELN	65
5.4. VERGLEICHENDE ANALYSE ZWISCHEN MUSKELAKTIVITÄTEN UND KÖRPERWINKEL	72
5.4.1. Aktivitäten zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem ersten Buckel	74
5.4.2. Aktivitäten zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem ersten Buckel	79
5.4.3. Aktivitäten zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem zweiten Buckel	84
5.4.4. Aktivitäten zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem zweiten Buckel	90
5.4.5. Vergleich der Muskelaktivitäten der Sprunggelenks-Extrempositionen zwischen ersten und zweiten Buckel	96
5.5 INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	98
6. DISKUSSION	105
7. ZUSAMMENFASSUNG	108
8. ABKÜRZUNGEN	112
9. LITERATURVERZEICHNIS	113
10. DANKSAGUNG	115
11. LEBENS LAUF	116

12. ANHANG	118
12.1. NÄHERE ERLÄUTERUNGEN ZU „2.3. DER MENSCH ALS SKIFAHRER“	118
12.2. NÄHERE ERLÄUTERUNGEN ZU DEN TESTPERSONEN	120
12.3. RELATIVE ANSPANNUNG JEDES MUSKELS	121
12.4. MUSKELAKTIVITÄT ZU DEN ZEITPUNKTEN DER SPRUNGGELLENKS-EXTREMWERTE	128
12.5. KENNGRÖßEN DER SKISCHUHE	156
12.6. SCHAFTSTEIFIGKEITSMESSUNGEN – HYSTERESEKURVEN	158
12.7. AUSFÜHRLICHE ERGEBNISSE DER STATISTIK AUSWERTUNG.....	159



"Wo ein Begeisterter steht,
ist der Gipfel der Welt"

Joseph von Eichendorff
Deutscher Dichter
(1788 - 1857)

1. Vorwort

Diese Arbeit entstand in enger Zusammenarbeit mit Herrn cand. med. M. Kampe, der die gegenständliche Fragestellung unter dem Schwerpunkt "Kinematik" und "Dynamik" untersuchte. Teile zum theoretischen Hintergrund und die Methoden-Beschreibung sind - da für beide Arbeiten relevant - zum Teil gemeinsam formuliert worden.

Die Datenerhebung war zu einem Teil eingebunden in ein Förderprojekt des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (Förder.-Nr.: VF 0407/15/02/2001), an dem auch Hr. Kampe mitgewirkt hat. Die Ergebnisse von Hr. Kampe sind in einem Zwischenbericht (Technische Universität München, Förderprojekt 2003) an das Bundesinstitut eingeflossen. Mit dem Abschluss des Promotionsvorhabens des Hr. Kampe ist aber frühestens zum Anfang 2007 zu rechnen.

2. Einleitung

2.1. Bedeutung und Entwicklung der Sportart Freestyle Buckelpiste

Die Disziplin Freestyle Buckelpiste im alpinen Skilauf ist eine sehr junge und publikumswirksame Disziplin. Sie ist erst seit 1992 olympisch, hat sich aber, dank des großen Zuschauer- und Medieninteresses, bereits fest etabliert. Bereits 1998 bei der Olympiade in Nagano erzielten Deutsche Athletinnen sehr gute Resultate. Dies zeigt, dass Anschluss an die Weltspitze möglich ist. Die Wettbewerbe „Freestyle Buckelpiste“ anlässlich der olympischen Spiele 2002 in Salt Lake City erfreuten sich, nicht zuletzt wegen ihrer spektakulären Sprünge, großer Beliebtheit und wurden weltweit live im TV übertragen. Die deutschen Freestyler spielten zum Abschluss der Weltmeisterschaft im letzten Jahr beim nicht-olympischen Doppelbuckelpisten-Wettbewerb im finnischen Ruka keine so große Rolle. Aber für die kommende Saison erhoffen sich die deutschen Freestyler die eine oder andere Medaille.

Diese beiden Eigenschaften – eine sehr junge Sportart und Publikumswirksamkeit - haben zur Folge, dass einerseits noch wenig wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, andererseits durch die große Zuschauer- und Medienanteilmahme ein großes Interesse zum Schließen dieser Lücken vorhanden ist. Die Technik des Wettkampf-Buckelpistenfahrens grenzt sich von den sonstigen alpinen Skilauftechniken ab. Es hat eine eigenständige Bewegungstechnik mit dem Ziel, immer schneller und immer kontrollierter zu fahren.

2.2. Anlass und Zielsetzung der Studie

Bislang wurde die dem Freestyle zugeordnete Buckelpistendisziplin nur wenig gefördert, weshalb ein besonderer Bedarf, aber auch gute Möglichkeiten bestehen, mittelfristig durch geeignete Maßnahmen Leistungsverbesserungen zu erreichen. Zwei Ansatzpunkte sind hier zu nennen. Zum einen könnten die Trainingsmethoden noch gezielter auf die speziellen Anforderungen des Buckelpistenlaufes angepasst werden.

Zum anderen ist nach derzeitigem Kenntnisstand die Ausrüstung in einem wesentlichen Punkt, nämlich hinsichtlich der Eigenschaften des Skischuhs, nicht optimal.

Da die Ausrüstung der Freestyler bisher aus dem alpinen Skilauf genommen wurde, sollte ein Skischuh entwickelt werden, der den Anforderungen an das Buckelpistenfahren gerecht wird. Dazu ist es notwendig Daten zu erheben, die erlauben, das Material besser auf die Bedürfnisse der Buckelpistenfahrer abzustimmen.

Um in Training und Wettkampf die offiziellen Bewertungskriterien zur Fahrtechnik (u.a. Einhalten der Falllinie, Beibehaltung des Bodenkontaktes, Kontrolle der Fahrgeschwindigkeit) möglichst gut erfüllen zu können, ist die zentrale Position über dem Ski eine der wesentlichen Voraussetzungen. Ein Kennzeichen optimaler Buckelpistentechnik ist, dass diese Position, trotz anfallender Störungen, über die gesamte Fahrt beibehalten werden kann und insbesondere keine Rücklagetendenzen auftreten. Die zu bewältigenden Buckel stellen die disziplinspezifischen „Störfaktoren“ für diese Idealposition dar, denn beim Überfahren werden (über Ski und Skischuh) Kraftstöße und Drehimpulse auf den Fahrer übertragen, die dessen Zentralposition „gefährden“. Durch Ausgleichsbewegungen, insbesondere im Sprunggelenk, in der Hüfte und im Knie, wird versucht, diese Störungen zu kompensieren. In die Kampfrichterwertung gehen zu 50% die Technik des Buckelpistenfahrens, zu 25% die Zeit und zu weiteren 25% die zwei dazugehörenden Sprünge ein.

Der Verbesserung des Skischuhs gilt das Interesse der hier verfassten Studie. Von den hier denkbaren Ansatzpunkten wird sich die Untersuchung der in Bezug auf die speziellen Bewegungen des Buckelpistenskilaufts wichtigsten Eigenschaft, dem Flexionsverhalten des Skischuhs, widmen. Da stellt sich die Frage, ob die konventionellen Skischuhe, die der Sprunggelenksbewegung sehr viel Widerstand entgegenbringen, für die Disziplin des Buckelpistenskilaufts optimal sind. Anders formuliert: Könnten hinsichtlich der Dorsalflexion weichere Skischuhe dem Athleten Vorteile bringen?

Diese Idee hatte bereits vor zehn Jahren der damals noch aktive Buckelpistenfahrer, der Schweizer Jürg Biner. In Gesprächen erläuterte er eine von ihm entwickelte und in seinen Wettkämpfen erfolgreich eingesetzte Modifikation am Skischuh. Das entscheidende Charakteristikum seines Schuhs betraf die Steifigkeit hinsichtlich Dorsalflexion, die deutlich geringer war als die herkömmlicher Skischuhe. Darüber hinaus war bei seinem Skischuh eine höhere Sprengung (Anstellung des Fußes

gegenüber der Horizontalen) realisiert. Diese Veränderungen ermöglichten es ihm – so sein subjektiver Eindruck – schon nach relativ kurzer Eingewöhnungszeit, die geforderte zentrale Position in der Buckelpiste besser einzuhalten. Die subjektiven Erfahrungen dieses Leistungssportlers bildeten die Ausgangsbasis für die vorliegende Arbeit. Unter der Mitwirkung Biners untersuchten daraufhin Schaff und Olbert erstmalig die Auswirkungen eines für Sprunggelenksbewegung "weicheren" Skischuhs an zwei Skifahrern (Schaff, Olbert, 1996). Es zeigte sich, dass es bei Verwendung eines entsprechend umgebauten Skischuhs tatsächlich zu einer Veränderung der Plantardruckverteilung kam, was zunächst als Veränderung der Lage des resultierenden Kraftangriffspunktes an der Fußsohle gedeutet werden kann. Außerdem stellt sich die Frage, welche Auswirkungen dieser Schuh auf die Gelenk-/Muskelkette des Skifahrers und damit z.B. auf die Belastung des Knies hat. Im Rahmen des Buckelpistenprojektes wurde eine „Computersimulation des Skifahrens“ entwickelt mit Forschungsschwerpunkt der Problematik der Kreuzbandverletzung im alpinen Skilauf von Senner (2001) und der Erstellung eines 3D-Computermodells des Kniegelenks von Lehner (1995).

Darauf aufbauend soll nun eine Felduntersuchung Aufschluss geben über das muskuläre Zusammenspiel (intermuskuläre Koordination) beim Befahren einer typischen Geländedeformation mit einem weichen Schuh (im Sinne BINERS) im Vergleich zu einem konventionellen harten Schuh.

2.3. Der Mensch als Skifahrer

Der mobile Mensch in der Spaß- und Freizeitgesellschaft verlangt nach immer neuen Herausforderungen. Hierbei geht er auch manchmal an die Grenzen seiner eigenen Leistungsfähigkeit und setzt seinen Körper großen Beanspruchungen aus. Seine Nerven sind häufig in Alarmbereitschaft, um über die Muskeln und Knochen durch angepasste Bewegungsmuster auf neue Gegebenheiten sofort zu reagieren. Für eine effektive Bewegungshandlung des Athleten ist das optimale Zusammenspiel von Analysatoren, Zentralnervensystem (ZNS) und Muskulatur erforderlich. Weiter entscheidet der Bewegungsrhythmus über den Erfolg des zeitlichen Verlaufs einer

Bewegungsausführung. Dies wird bewirkt durch die Steuerungsfähigkeit des ZNS mit einem fließenden Wechsel von Spannung und Entspannung auf die Muskeldynamik. Das bedeutet für den Skifahrer, dass beim Überfahren der Buckel eine gut koordinierte Kontraktion der einzelnen Muskeln zeitlich optimal abgestimmt stattfinden muss, um die ideale Fahrlinie zu erreichen. Nur so kommt es zu den richtigen Körperwinkeln, die den Schwerpunkt in die geeignete Position im Verhältnis zum Ski bringen.

Eine genaue Aufschlüsselung der Anatomie und Physiologie der Muskulatur, der Knochen und der Nervengewebe würde in dieser Arbeit zu weit führen und den Umfang der Arbeit sprengen. Einen Überblick erhält der interessierte Leser im Anhang.

Neurophysiologische Eigenschaften der Muskulatur

Weil das zentrale Thema der vorliegenden Arbeit das muskuläre Zusammenspiel ist, werden nachfolgend physikalische Grundlagen hierzu dargestellt.

Jede Muskelfaser ist in Ruhe polarisiert, wobei eine Potentialdifferenz zwischen intrazellulärem (negativem) und extrazellulärem (positivem) Raum besteht. „Im intrazellulären Raum sind überwiegend Kaliumionen und im extrazellulären Raum Natriumionen vorhanden. Infolge einer selektiven Ionenpermeabilität besteht in Ruhe an der Membran ein Gleichgewicht.“ (So, 1999)

Wenn die Muskelfaser erregt wird, kommt ein Aktionspotential durch Austausch von Natrium- und Kaliumionen zustande. Mittels bipolarer Elektroden können die Erregungsausbreitung (Depolarisation) und die Erregungsrückbildung (Repolarisation) an einem Muskelstreifen abgegriffen werden. „Dabei kann man einen Aktionsstrom durch ein Galvanometer messen.“ (So, 1999)

In Ruhe besteht zunächst keine Potentialdifferenz am Muskelstreifen. Breitet sich eine Erregung von einem Ende des Muskelstreifens durch einen elektrischen Reiz aus (z.B. durch neuromuskuläre Erregung an den motorischen Endplatten: Depolarisation), ist dieser Teil gegenüber dem noch ruhenden Ende elektronegativer. Es besteht eine Potentialdifferenz. Erreicht die Erregung das andere Ende der Muskelfaser, ist die Depolarisation beendet, es besteht keine Potentialdifferenz mehr.

Startet die Repolarisation, ist das später erregte Ende der Muskelfaser im Vergleich zum anderen Ende noch elektronegativer, weshalb wieder eine Potentialdifferenz entsteht, aber in umgekehrter Richtung. Ist die Repolarisation beendet, besteht keine Potentialdifferenz mehr.

Diese neurophysiologischen Eigenschaften der Muskulatur werden genutzt, um die "Tätigkeit" der für den Mensch als Skifahrer wichtigen Muskelgruppen zu untersuchen.

3. Material und Methoden

3.1. Versuchsgrundlagen

3.1.1. Überblick

Vom 10.04.2001 bis 20.04.2001 fand auf der Zugspitze/Garmisch in einem präparierten Gelände - bestehend aus einem Doppelbuckel - das Feldexperiment statt. Als Stichprobe wurde eine Testfahrergruppe von 21 sehr guten Skifahrern ausgesucht. Diese Testfahrer hatten zwei Skischuhe zu testen, den weichen "Testschuh" gegen den harten Vergleichsschuh in je drei Fahrten.

Bei jeder Fahrt wurden folgende Messungen synchron durchgeführt:

- Muskelaktivität
- Kinematik
- Bodenreaktionskräfte

Der Kernpunkt dieser Arbeit liegt auf der Untersuchung der Muskelaktivität.

Nach dem Feldexperiment war von jedem Testfahrer ein Fragebogen auszufüllen. In der Arbeit von Kampe, dessen Untersuchungsziel die Erfassung der Bewegung in der Sagittalebene mit Hilfe einer 2-dimensionalen Bewegungsanalyse (vgl. Kapitel 3.1.4) ist, können weitere Details nachgelesen werden. In der vorliegenden Arbeit werden an entsprechenden Stellen die Verweise gegeben.

3.1.2. Verwendetes Testmaterial

Als Ausrüstungsmaterial kamen der Testskischuh und der Vergleichsschuh, jeweils in Verbindung mit einem, für den Freestylebereich typischen Ski „Atomic β -Cav.“, auf dem ein speziell entwickeltes Bindungssystem zur Bindungskraftmessung installiert war, zum Einsatz.

Sowohl der Testschuh als auch der Vergleichsschuh standen in den Größen 25,5 bis 29 zur Verfügung. Als Testschuh wurde ein Modell der Firma Rossignol ausgewählt. Der

Skischuh „**Rossignol soft**“ gehört zu der Gruppe der neu entwickelten und seit Winter 2000/01 auf dem Markt befindlichen so genannten Softboots. Er zeichnet sich im Vergleich zu dem konventionellen Schuhangebot der Ski-Industrie durch einen deutlich größeren Dorsalflexionsbereich im Sprunggelenk aus. Der Vorderschaftbereich dieses Schuhs besteht nicht aus einer harten Plastik-Schalung, sondern aus dickem Ledermaterial. Die Schaftsteifigkeit nach vorne ist dadurch herabgesetzt. Im Hinterschaft- und Seitenbereich des Schuhs befindet sich weiterhin eine Plastik-Schalung. Diese soll, trotz vermehrter Flexionsmöglichkeit nach vorne, dennoch eine große seitliche und hintere Schaftsteifigkeit gewährleisten. Hysterese-Messungen (Anhang S. 158) bestätigen die Reduzierung der vorderen Schaftsteifigkeit. Weiter stellte sich heraus, dass auch die hintere Schaftsteifigkeit geringer war, wodurch auch eine größere Sprunggelenks-Streckung (um 8-9° bei gleichem Streckmoment im Sprunggelenk) möglich war. Neben Schuh-Gewicht, Schwerpunkt und Schaftdrehpunkt wurde die Sprengung - Stellung des Fußes im Skischuh gegenüber der Horizontalen - des Skischuhs ermittelt. Der hier getestete Skischuh war im Gegensatz zu dem von BINDER entworfenen Schuh mit einer normalen, handelsüblichen Sprengung versehen. Im Hinblick auf die herabgesetzte vordere Schaftsteifigkeit war der Testschuh vergleichbar zu dem von BINDER modifizierten Schuh, dessen Schaftsteifigkeit ebenfalls apparativ vermessen worden war.



Abbildung 1: Links und rechts Testschuh „Rossignol soft“, in der Mitte Vergleichsschuh „Atomic race“

Der „harte“ Vergleichsskischuh „**Atomic race**“ war ein Kunststoff-Überlappschuh für sportliche, rennorientierte Fahrer. Sowohl Vorder- und Hinterschaft, als auch Seiten- und Fußbereich waren von einer verhältnismäßig starren Plastik-Schalung umgeben.

Dieser Schuh ließ nur geringe Bewegungsmöglichkeiten im gesamten Fuß- und Sprunggelenkbereich zu. Seine Schaftsteifigkeit war somit deutlich höher. Dies spiegelt sich in den Ergebnissen der Hysteresemessungen eindeutig wieder (siehe Anhang).

3.1.3. Testpersonen

Für die Studie wurden insgesamt 21 Skifahrer als Stichprobe rekrutiert. Diese setzte sich vorzugsweise aus Mitgliedern der Deutschen Freestyle-Buckelpistennationalmannschaft zusammen. Komplettiert wurde das Probandenfeld durch Skilehrer, die sich durch eine Ausbildung zum staatlich geprüften Skilehrer qualifiziert hatten, sowie durch drei DSV-Nachwuchsfahrer (siehe Anhang "Probandendaten").

Durch Unterschreiben einer Einverständniserklärung hatten die Testfahrer die Studienbedingungen akzeptiert.

3.1.4. Teststrecke

Die von den Probanden zu durchfahrende Teststrecke lag in mittelsteilem Gelände und bestand aus zwei etwa einen Meter hoch präparierten Buckeln im Abstand von ca. 4,70 Meter hintereinander. Die Teststrecke war von den Versuchspersonen geradlinig zu durchfahren. Die Probanden wurden aufgefordert, die Wellen durch Ausgleichsbewegungen zu „schlucken“ und den Bodenkontakt mit den Skiern möglichst während der ganzen Fahrt zu erhalten. Das genaue Profil dieser Buckelkombination wurde von Kampe mit Hilfe eines videogestützten Verfahrens bestimmt („Bodenkonturmessung“).



Abbildung 2: Teststrecke, Blick hinab ins Tal

Der Anlauf zum ersten Buckel betrug etwa fünfzehn Meter (vor der ersten Lichtschranke) und wurde bei allen Testfahrten gleich lang gewählt, um annähernd vergleichbare Geschwindigkeiten erzielen zu können.



Abbildung 3: Präparation der Teststrecke

3.1.5. 2D-Bewegungsanalyse

Die Bewegungsanalyse ist eine zentrale Methode der Sportwissenschaft. Sie dient z. B. zur Erfassung des zeitlichen Verlaufs der Gelenkwinkel oder bestimmter Körperpunkte im Raum. Da es sich im vorliegenden Fall im Wesentlichen um eine Bewegung in der Sagittalebene handelt, genügt eine 2-dimensionale Analyse. Ein gängiges Verfahren der (2D) Bewegungsanalyse ist die Videogrammetrie. Hierbei werden bei der Testperson - an für die Bewegungsuntersuchung relevanten Stellen (hauptsächlich an den Körpergelenkszentren) - Markerpunkte angebracht. Die zu untersuchende Bewegung wird dann mit einer oder mehreren Videokameras aufgenommen. Somit ist jedem Markerpunkt eine definierte Pixel-Koordinaten-Position in zwei Dimensionen für jedes Einzelbild zuweisbar. Dies ermöglicht jede räumliche Änderung der Markerpunkte gemäss der bekannten Geschwindigkeit der Einzelbildabfolge in ein zeitliches Verhältnis zu setzen. Man erhält dadurch eine Ort-Zeit-Beziehung, die über spezielle Programme in ein Koordinatensystem übertragen werden kann.

Im Rahmen dieser Studie kamen zwei Super-VHS Videokameras mit einer Einzelbildfolge von 50 Bildern pro Sekunde zum Einsatz. Diese Aufzeichnungsfrequenz war noch ausreichend, um die recht schnelle Bewegung des Überfahrens der Buckel zeitlich auflösen zu können.

Die Verwendung von zwei Kameras mit sich ergänzenden Bildausschnitten ergab eine deutlich bessere räumliche Auflösung und damit eine höhere Genauigkeit im nachfolgenden Digitalisierungsprozess.

Die zwei Videokameras waren parallel zur Teststrecke in einer Entfernung von zehn Metern installiert, so dass sich die obere Kamera auf Höhe des oberen Buckels, das untere Videogerät auf Höhe des unteren Buckels befand. Diese in einem horizontalen Abstand von ca. 4,70 Metern zueinander stehenden Kameras zeichneten die Fahrten in überlappenden Bildausschnitten auf. Daher konnte die gesamte Testfahrt über beide Buckel in großen Bildausschnitten aufgenommen werden.

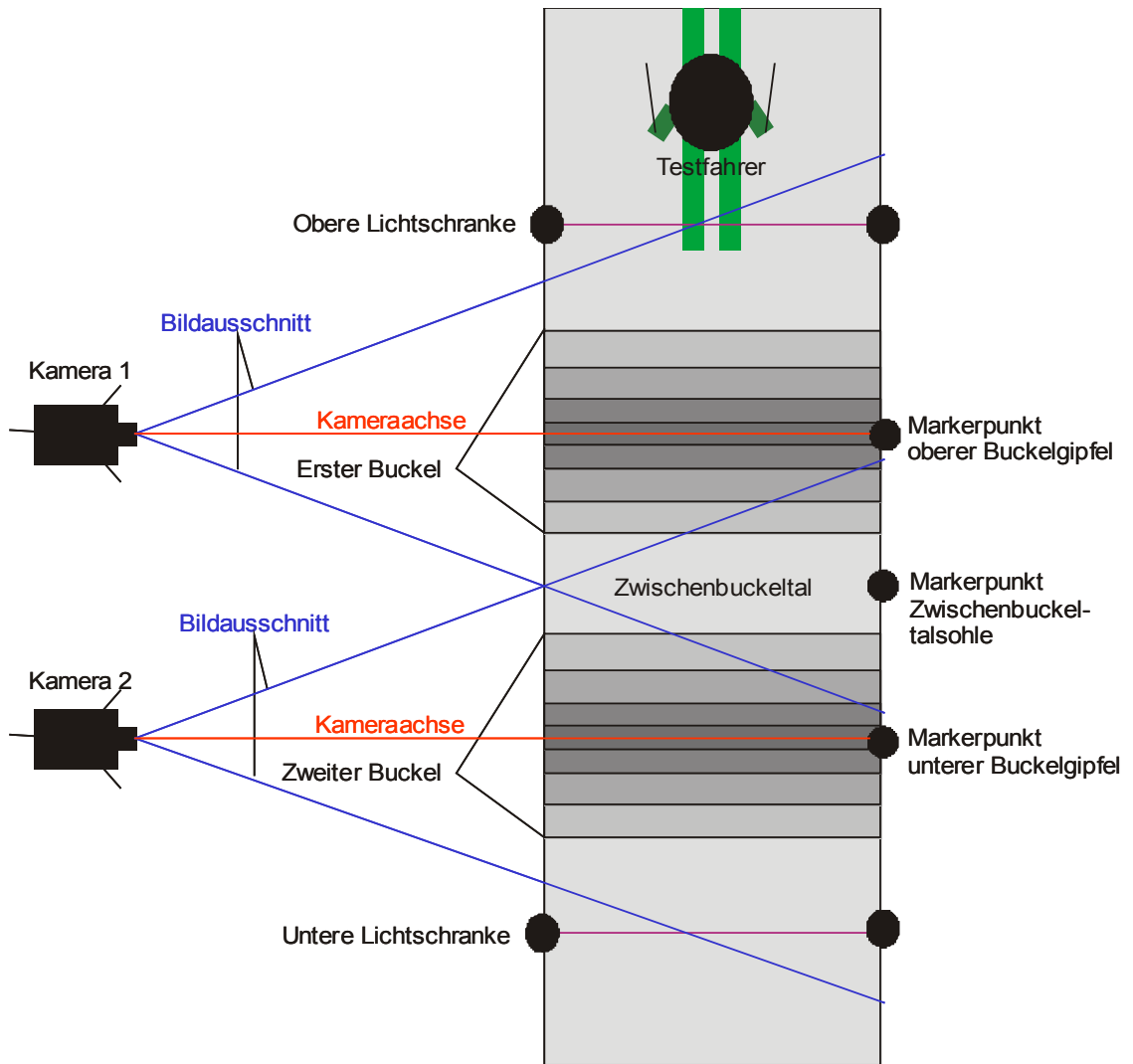


Abbildung 4: Skizze der Teststrecke mit Aufbau der Kamerapositionen und ihren Bildausschnitten



Abbildung 5: Bewegungsstudie im zeitlichen Verlauf: erster Buckel → Buckeltal → zweiter Buckel

Die Abbildung 5 zeigt die von den Kameras aufgenommenen Videosequenzen einer typischen Fahrt.

Kalibrierung für die Videoanalyse

Unmittelbar nach den drei Fahrten mit dem weichen Testschuh „Rossignol“ und drei Fahrten mit dem harten Vergleichsschuh „Atomic race“ eines Fahrers erfolgte die für die 2D-Videoanalyse notwendige Kalibrierung (siehe Kampe).

Um die Pixelkoordinaten in reale Längeneinheiten (Meter) umrechnen zu können, wurde dazu im Bildausschnitt der Videokameras ein Kalibrierungsstab mit einer bekannten Länge platziert. Zudem wurden die auf den jeweiligen Buckelgipfeln und dem Buckeltal fest installierten Markerkreuze in ihren horizontalen und vertikalen Abständen zueinander vermessen.

3.1.6. Positionierung der Markerpunkte

Vor den Testläufen wurden die Markerpunkte an der Testperson angebracht. An jedem für die Videoanalyse wichtigen Gelenk (Sprunggelenk, Kniegelenk, Hüftgelenk, Schultergelenk, Ellbogen, Handgelenk und Kopf) wurden für die Videokamera gut sichtbare, kontrastreiche, kreisförmige Markierungen (aufgeschnittene Tennisbälle) befestigt. Auf diese Weise können die Gelenkpunkte auf den Videobildern gut erkannt und in einem späteren Digitalisierungsprozess zu einer Strichfigur in den Computer eingegeben werden. Die Abstände zwischen den einzelnen Markerpunkten wurden vermessen und unmittelbar vor jeder einzelnen Testfahrt kontrolliert, wodurch der gleichbleibende Sitz der Marker garantiert und der Strichfigur die richtigen Proportionen zugeteilt waren (siehe Kampe).



Abbildung 6: Position der Markerpunkte

3.2. Auswahl der zu vermessenden Muskeln - bzw. Muskelgruppen

3.2.1. Funktionelle Analyse der gegenständlichen Bewegung

Für die Registrierung der Muskelaktivität standen 7 Kanäle zur Verfügung. Im vorliegenden Fall wurde ausgenutzt, dass es sich um eine symmetrische Bewegung handelte - sie fand nur in der Sagittalebene statt. Daher genügte die Betrachtung einer Körperseite. Bei der gewählten Ausrichtung der Teststrecke zur Kamera war es im gegebenen Fall die rechte Körperseite der Probanden (siehe Abbildung 4).

Die nachfolgend aufgeführten Muskeln sind im EMG für unsere Untersuchungen gut abgreifbar und stellen zuverlässige Repräsentanten unter den Agonisten in ihrer Bewegungsführung dar. Allerdings gerade am Bauch und am Rücken liegen verschiedene, jedoch agonistisch wirkende Muskeln eng nebeneinander, so dass zu diesen aufgezeichneten EMG's in jedem Fall mehrere Muskeln beitragen und es sich um Summenpotentiale handelt. An Hand der Rückenmuskulatur soll die Komplexität der anatomisch eng benachbarten Muskeln erläutert werden:

Bei den abgegriffenen Rückenmuskeln handelt es sich um die Muskelgruppe der sogenannten autochthonen Rückenmuskulatur. „Unter der autochthonen Rückenmuskulatur versteht man alle Muskeln, die von den Rr. dorsales der Spinalnerven innerviert werden. Sie werden als Erector spinae bezeichnet. Beim Lebenden sieht man seitlich der Dornfortsätze zwei Längswülste, die am stärksten im Lendenbereich ausgebildet sind. [...] Am M. erector spinae unterscheidet man den lateralen oberflächlichen und den medial tiefen Trakt. Der laterale Trakt zieht vom Becken bis zum Schädel; er besteht aus langen Muskelementen. [...] Der laterale Trakt kann [...] in intertransversale und spinotransversale Muskelgruppen gegliedert werden.“ Platzer (1991, S. 72), (siehe Abbildung 12). Die o.g. Längswülste sind zum Anbringen der EMG-Elektroden Leitstrukturen.

Intertransversale Muskeln:

M. ilicostalis (lumborum, thoracis, cervicis)

M. longissimus (thoracis, cervicis, capitis)

Spinotransversale Muskeln:

M. splenius cervicis

M. splenius capitis

Im Folgenden wird als Repräsentant des M. erector spinae der **M. longissimus thoracis** genannt, obgleich - wie oben schon erwähnt- es sich um ein Summenpotential handelt. Ähnliches gilt für die übrigen erfassten Muskelgruppen.

Die folgenden Abbildungen der Muskulatur sind aus dem Buch von Weineck (Weineck, J. 1991) entnommen.

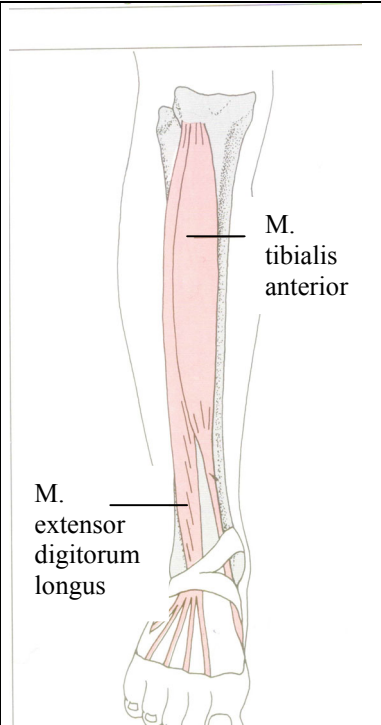
	Ursprung:	Condylus und Facies lateralis tibiae
	Ansatz:	Ossa cuneiforme I und metatarsale I
	Innervation:	N. peronaeus profundus
	Eigenschaft:	Eingelenkig
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> •Dorsalflexion des Fußes •Annäherung von Unterschenkel und Fuß
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	Verkleinerung des Winkels zwischen Ski und Skischuhschaft

Abbildung 7: M. tibialis anterior: mit Systematik und Funktion

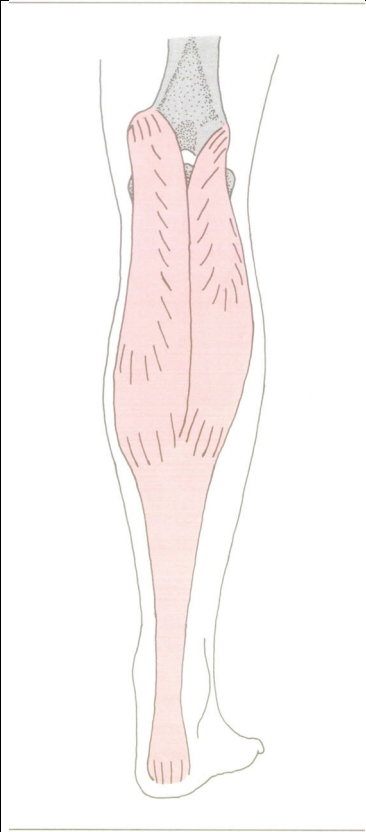
	Ursprung:	Facies poplitea femoris
	Ansatz:	Tuber calcanei
	Innervation:	N. tibialis
	Eigenschaft:	Zweigelenkig
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> •Plantarflexion im oberen Sprunggelenk •Flexion im Kniegelenk •Strecken des Fußes mit Beugung des Knies
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	Vergrößerung des Winkels zwischen Ski und Skischuhschaft und Unterstützung des M. biceps femoris beim schnellen Anhocken für die Ausgleichsbewegung.

Abbildung 8: M. gastrocnemius mit Systematik und Funktion

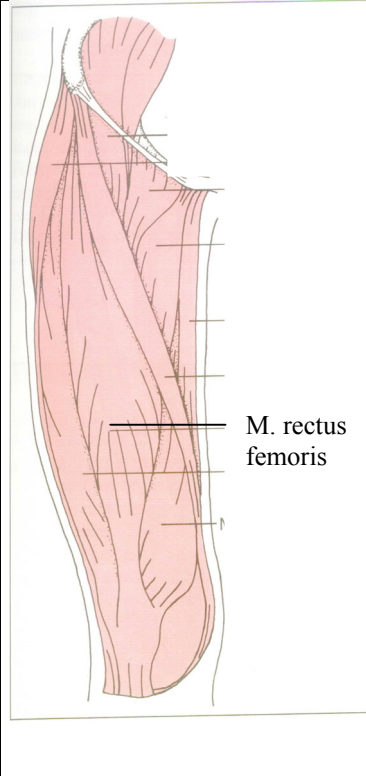
	Ursprung:	Spina iliaca anterior inferior und im Sulcus supraacetabularis am oberen Rand der Pfanne des Hüftgelenks
	Ansatz:	Patella, Tuberositas tibiae
	Innervation:	N. femoralis
	Eigenschaft:	Zweigelenkig
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> •Extension im Kniegelenk •Flexion im Hüftgelenk •Strecken des Knies und Beugen der Hüfte
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	Kniestrecken und/oder "Oberkörper nach vorne neigen"

Abbildung 9: M. rectus femoris (gerader Anteil des M. quadriceps femoris) mit Systematik und Funktion

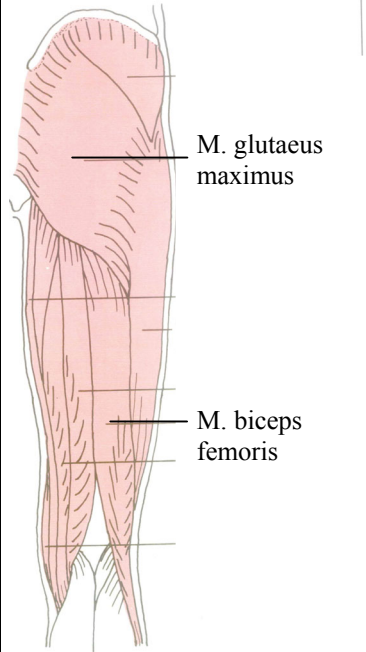
	M. biceps femoris	
	Ursprung:	Hinterfläche des Tuberculi ischiadicum (os ischii) und Labium laterale der Linea aspera des Femur
	Ansatz:	Caput fibulae, mit einigen Fasern am Condylus lateralis der Tibia
	Innervation:	N. tibialis und N. peroneus
	Eigenschaft:	Zweigelenkig
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> • Flexion im Kniegelenk • Außenrotation der Tibia • Extension im Hüftgelenk
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	Anhocken/Kniebeugen und/oder "Oberkörper aufrichten"
	M. gluteus maximus	
	Ursprung:	Ossa ilii, sacrum und coccygis
	Ansatz:	Fascia lata, Tuberositas glutealis
	Innervation:	N. gluteus inferior
	Eigenschaft:	Eingelenkig
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> • Extension im Hüftgelenk • Außenrotation im Hüftgelenk
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	"Oberkörper aufrichten"

Abbildung 10: M. biceps femoris und M. gluteus maximus mit Systematik und Funktion

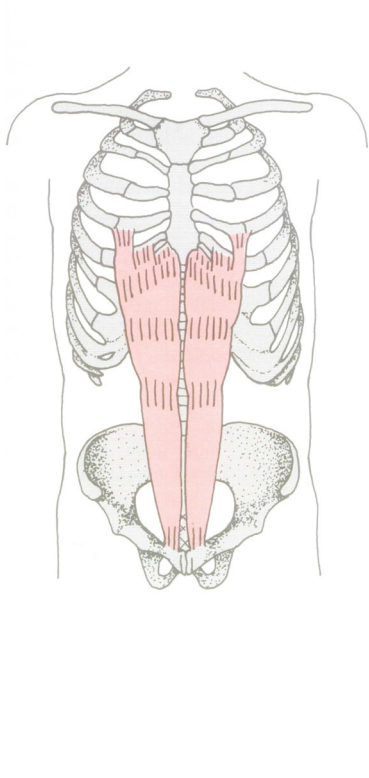
	Ursprung:	5. – 7. Rippenknorpel und Processus xiphoideus sterni
	Ansatz:	Symphyse, Tuberculum pubicum
	Innervation:	Nn. intercostales
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> •Annäherung von Rumpf und Becken über ventral •Aufrechterhaltung der Beckenstellung •Bei einseitiger Innervation: Rumpfbeuge zur innervierten Seite
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	"Oberkörper wird nach vorne gebeugt"

Abbildung 11: M. rectus abdominis mit Systematik und Funktion

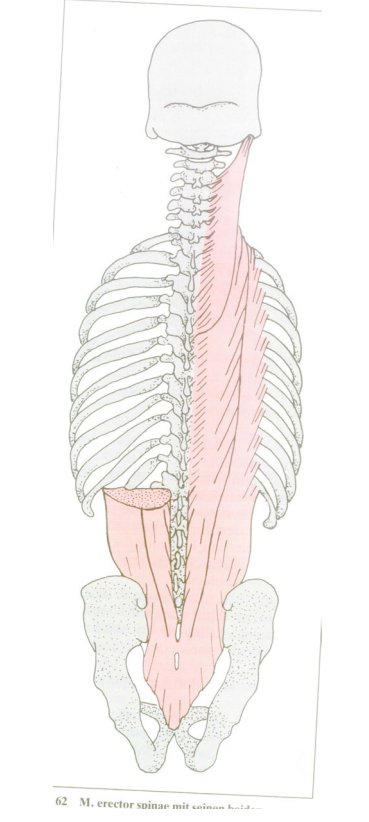
	Ursprung:	Querfortsätze der Wirbel, dem Kreuzbein und dem Darmbeinkamm
	Ansatz:	Rippen und Querfortsätze der Brust- und Lendenwirbel
	Innervation:	Rami dorsales der zugehörigen Spinalnervensegmente
	Hauptfunktion:	<ul style="list-style-type: none"> •Bei beidseitiger Innervation: Dorsalextension •Bei einseitiger Innervation: Seitneigung zur kontrahierten Seite
	Funktion für Buckelpistendiziplin:	"Oberkörper aufrichten"

Abbildung 12: M. erector spinae mit seinen beiden Anteilen (inklusive M. longissimus thoracis) mit Systematik und Funktion (s.o.)

Aus der dargestellten funktionellen Bewegungsanalyse ergeben sich die in Abbildung 13 skizzierten Muskeln. Diese schematisierte Muskel-Segment-Darstellung wird im Folgenden zur Illustration und Interpretation der Ergebnisse verwendet.

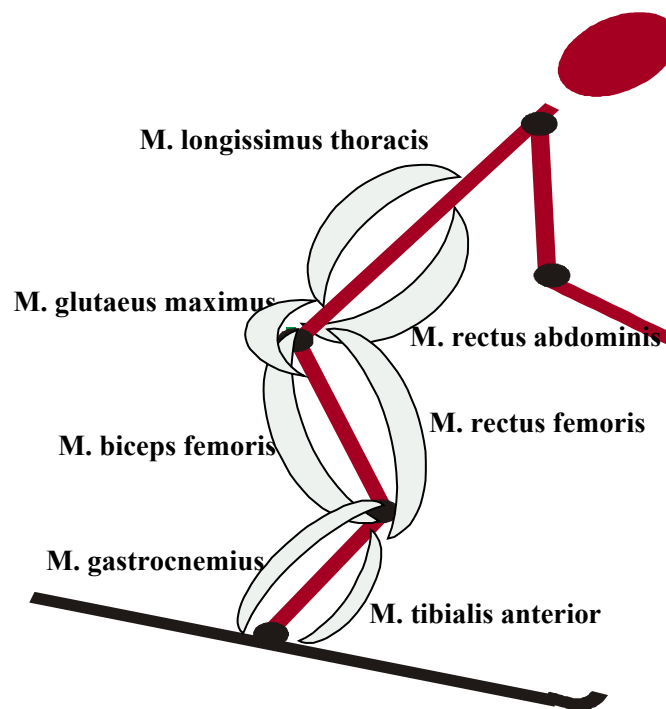


Abbildung 13: Skizzenhafte Darstellung der betrachteten Muskulatur

3.2.2. Verfahren der EMG-Messung

Die in Muskeln auftretenden Potentiale machen es mit Hilfe der **Elektromyographie** (EMG) möglich, die Aktivität des Muskels indirekt zu bestimmen.

Es gibt verschiedene Methoden, diese Potentiale abzugreifen. Die genaueste Methode ist das sogenannte „blutige EMG“. Feine Nadeln werden als Elektroden in die zu messende Muskulatur bzw. das Muskelbündel gestochen. Diese Methode ist aufgrund der Invasivität für diese Untersuchungen nicht vertretbar (u.a. Infektionsgefahr).

Eine andere Methode ist das „unblutige EMG“. Es wird das von den Muskeln an die Hautoberfläche fortgeleitete Potential mittels aufgeklebter Elektroden abgegriffen. Diese Methode ist störanfälliger, da nicht vollständig ausgeschlossen werden kann,

dass z.B. antagonistisch arbeitende Muskelgruppen oder auch agonistisch arbeitende benachbarte Muskelfasern einen Anteil an dem „Summenpotential“ an der Hautoberfläche beisteuern. Außerdem besteht die Gefahr, dass sich die aufgeklebten Elektroden durch die Bewegung und das Schwitzen beim Sport lösen und verschieben. Trotz dieser Nachteile wird hier das nicht-invasive Verfahren gewählt.

3.2.3. Setzen der EMG-Elektroden

Zur Erfassung der Muskelaktivität wurden je zwei, in der Klinik gebräuchliche Oberflächenelektroden, auch Hautelektroden genannt, zur Ableitung der elektrischen Potentiale auf die jeweiligen Muskelbäuche der rechten Körperhälfte geklebt.

Der Abstand zwischen den beiden Elektroden musste einige Zentimeter betragen, so dass auf keinen Fall eine Gelbrücke zwischen den Elektroden entstand. Somit konnte eine Kurzschlussverbindung ausgeschlossen werden. Eine Referenzelektrode wurde an der rechten Hüfte angebracht (siehe Abbildung 14).

Die gewonnenen Daten wurden über eine Kabelverbindung in die tragbaren Datenspeicher übermittelt.



Abbildung 14: Setzen der EMG-Elektroden

3.2.4. Willentliche maximale Muskelaktivität

Vor dem eigentlichen Testlauf wurde im Rahmen der Verkabelung der Probanden die "willentliche maximale Muskelaktivität" (MVC: Maximal Voluntary Contraction) gemessen. Nach Anlegen der Messinstrumente – EMG-Elektroden mit Verkabelung vorerst direkt mit Verbindung an den Computer - wurde dieser Vortest durchgeführt. Diese maximalen Muskelaktivitäten dienen einmal dazu, den Gerätemessbereich festzulegen, zum anderen, um bei der Auswertung die EMG-Werte in Relation zur maximalen Muskelaktivität angeben zu können. Beachtet werden muss, dass es bei plötzlicher Muskelanspannung zu kurzen hohen Spitzenaktivitäten in den Muskelableitungen kommen kann.

Bei der Betrachtung der Hauptfunktionen der Muskelgruppen war ersichtlich, bei welchen Bewegungen der größte Teil der einzelnen Muskeln ansprach. Die Bewegung sollte gegen einen Widerstand mit willentlicher maximaler Kontraktion ausgeführt werden, um möglichst viele Muskelfasern zu rekrutieren. Jede Muskelkontraktionsposition sollte zügig eingenommen und dann ca. 5 - 6 sec. gehalten werden.

Folgende Positionen wurden im MVC-Test vermessen:

- ▶ M. tibialis anterior: Dorsalflexion des Fußes gegen Widerstand an den Zehenspitzen
- ▶ M. gastrocnemius (caput lat.): Zehenspitzenstand
- ▶ M. rectus femoris: Strecken im Kniegelenk bei sitzendem Probanden
- ▶ M. biceps femoris: Flexion im Kniegelenk bei stehendem Probanden (Ziehen der Ferse zum Gesäß)
- ▶ M. gluteus maximus: Strecken im Hüftgelenk in die Position einer „Standwaage“
- ▶ M. rectus abdominis: Rumpfbeuge vorwärts mit Anziehen der Knie zum Brustkorb im Sitzen
- ▶ M. longissimus thoracis: Rumpfbeuge rückwärts in Bauchlage

3.3. Messtechnik

3.3.1. Datenspeicher und -verstärker

Zur Datenaufnahme wurden zwei tragbare Datenspeicher (Hersteller: Paromed, Neubeuern) verwendet, die auf 15 Kanälen die Aufzeichnung von Signalen mit einer Auflösung von 10 Bit und mit bis zu 1000 Hz erlauben. Von diesen Kanälen wurden 7 Kanäle für die Aufzeichnung der EMG-Daten und 8 Kanäle für Bindungs-Kraftsensoren verwendet. Zur Vermeidung von Kabelartefakten erfolgte eine 100-fache Verstärkung der EMG-Signale unmittelbar nach der Elektrode. Am Datenspeicher war ein Verstärkungsfaktor von 8 eingestellt. Damit resultierte für die schwachen EMG-Signale eine 800-fache Gesamtverstärkung. Um die Daten während der Fahrten abspeichern zu können, war dieses Elektronik-Equipment zusammen mit den die Datenlogger versorgenden Akkus in einem Rucksack installiert und konnte so ohne Behinderung und Bewegungseinschränkung der Testperson bei einem Gesamtgewicht von ca. 5kg mitgeführt werden (siehe Abbildung 15).



Abbildung 15: Messrucksack (aufgeklappt)

3.3.2. Bindungskraftmessung

Wie im Überblick bereits erwähnt, erfolgte im Rahmen der Untersuchungen von Kampe eine Erfassung der Kräfte zwischen Bindung und Ski. Zu diesem Zweck kam die in Abbildung 16 und 17 dargestellte "Messbindung" zum Einsatz. Diese ermöglichte die Registrierung der ventro-lateral, ventro-medial, dorso-lateral, dorso-medial auftretenden Kraftverläufe während der gesamten Testfahrt.



Abbildung 16: Ski mit Skibindung



Abbildung 17: Skibindung mit Kraftsensoren und Markerpunkten

3.3.3. Synchronisation von Video und Analogdaten

Die Synchronisation zwischen der Videoaufzeichnung und den aufgenommenen Analogwerten der EMG- und Bindungskraft-Messung wurde durch eine gemeinsame Triggerung mittels Funk realisiert. Ein Funksignal - ausgelöst beim Durchfahren der

Startlichtschranke - startete die Analogdatenerfassung und gleichzeitig eine im Videobild eingeblendete Stoppuhr ("Synchronisation").

Am Ende der Buckelkombination durchfuhr der Proband eine zweite Lichtschranke. Damit war die benötigte Zeit zum Durchfahren der Messstrecke (Start- bis Ziellichtschranke) registriert.

3.4. Versuchsdurchführung

Eingewöhnungsfahrten und Testdurchgänge

Jeder Testfahrer führte über einen Zeitraum von vier Stunden freie Eingewöhnungsfahrten mit dem neuen Testschuh, aber ohne Messequipment, durch. Der für diese Fahrten bereitgestellte Ski war identisch mit dem vorab erläuterten Mess-Ski (die spezielle Messbindung war durch eine normale Bindung ersetzt).

Nach den Eingewöhnungsfahrten wurde jeder Proband in den eingerichteten Stützpunkt gebeten. Dort wurden ihm die EMG-Elektroden angebracht, die Verkabelungen vorgenommen und die MVC-Messungen durchgeführt.

Für die Testfahrt wurden die Testski mit der speziell entwickelten Kraftmess-Skibindung angeschnallt. Unmittelbar vor der ersten Testfahrt erfolgte im Anlaufraum der Teststrecke eine Nullmessung der Kraftmessbindung, die für die Kräfteanalyse von Bedeutung war (siehe Kampe).

Der Proband hatte hintereinander jeweils 3 Fahrten mit dem weichen und dem harten Schuh durchzuführen.

Testfahrerbefragung

Abschließend bekam jeder Testfahrer einen Fragebogen ausgehändigt.

Es mussten Fragen zum Leistungsniveau auf der Buckelpiste und zum eigenen Schuhmaterial beantwortet, sowie eine Beurteilung des Testschuhes abgegeben werden.

Der Fragebogen und seine statische Auswertung sind Gegenstand der Untersuchung von Kampe und können dort nachgelesen werden.

Experimentelle Einbußen

Aufgrund der Wetterbedingungen - mit wiederholtem massivem Schneefall (über Nacht bis zu 1 m Neuschnee), starkem Sturm (z.T. wurden die Lifte geschlossen und man konnte nur mit der Pistenraupe zum Testgelände gelangen) und Nebel – war zu den Messzeitpunkten die Kamerasicht auf die Teststrecke häufig eingeschränkt. Die Aufnahmen zeigten in diesen Fällen eine unscharfe Bildfolge und damit konnte eine Digitalisierung der Videoaufnahmen nicht erfolgen. Weitere Probleme ergaben sich durch die sehr störanfällige Elektronik der Videogeräte, die bei hoher Luftfeuchtigkeit und Nässe ausfielen. So musste bei einigen Probanden auf eine Kamera verzichtet werden.

Dies hatte zur Folge, dass vier Testpersonen aufgrund dieser Bildqualitätsmängel nicht ausgewertet und bei weiteren drei Testfahrern nur die Fahrten über den ersten Buckel berücksichtigt werden konnten.



Abbildung 18: Dichter Schneefall und Nebel behinderten die Versuchsdurchführung

4. Auswertung

4.1. Videodaten

Sichtung und Digitalisierung

Der erste Arbeitsschritt bestand darin, die analogen Videosequenzen in eine digitalisierte Form zu bringen. Hierbei wurden die einzelnen Videoaufnahmen der zwei Kameras den jeweiligen Probanden und ihren verschiedenen Testfahrten zugeordnet und digital abgespeichert.

Dieser Arbeitsschritt diente gleichzeitig der Qualitätsüberprüfung der Aufnahmen. Qualitativ nicht optimal auswertbares Material wurde verworfen.

Die digitalisierten Messfahrten des oberen und des unteren Buckels wurden anschließend zeitlich synchronisiert. Im Filmausschnitt der zwei Kameras lief randständig am Bildausschnitt jeweils eine Stoppuhr mit, die funkferngesteuert zeitgleich durch Auslösen der oberen Lichtschranke mitlief. Somit war es für alle, aus zwei Videokamera-Perspektiven bestehenden Aufnahmen der Testfahrten möglich, jedes mit Stoppuhr-Zeit versehene Einzelbild des Filmclips der einen Videokamera dem dazugehörigen Einzelbild der anderen Kamera zuzuordnen. Die beiden Filmsequenzen einer Testfahrt konnten so nebeneinander und zeitlich aufeinander abgestimmt auf dem Bildschirm abgespielt werden.

Bestimmung der Markerkoordinaten und Kalibrierung

Die Bestimmung der Koordinaten der markierten Gelenkspunkte aus den Videosequenzen und die darauf basierenden Berechnungen der Zeitverläufe der Körperwinkel sind Gegenstand der Untersuchungen von Kampe und dort ausführlich dargestellt. Die für die Auswertung der EMG-Daten notwendigen speziellen Gelenkwinkel (z.B. der Extremwerte vgl. Kapitel 4.4.) werden seiner Arbeit entnommen.

4.2. EMG-Daten

Filterung und Gleichrichtung der Rohdaten

Von 17 Probanden wurden an 7 Muskeln bei jeder Fahrt (drei mit dem weichen Schuh und drei mit dem harten Schuh) EMG-Daten erhoben. Damit ergaben sich insgesamt $17 \times 7 \times (3 + 3) = 714$ Datensätze über einen Zeitraum von ca. 2,5 sec. Außerdem wurden analog die Kurven der willentlichen maximalen Muskelaktivität im Stützpunkt aufgenommen. Das ergab weitere $17 \times 7 = 119$ Rohdatensätze.

Diese Roh-Daten der an der rechten Körperhälfte abgegriffenen Muskelaktivitäten waren aufgrund zufälliger Einflussgrößen Schwankungen, dem s.g. Grundrauschen, unterworfen.

Um diese und alle sonstigen niederfrequenten Artefakte herauszufiltern erfolgte eine Hochpassfilterung mit 8 Hz. Dann wurden die Daten gleichgerichtet. Für die spätere Berechnung von Parametern (vgl. Kapitel 4.5) war es zweckdienlich, die gleichgerichteten Daten abschließend einem Tiefpassfilter von 10 Hz zu unterziehen (Bilden der "Umhüllenden"). Die Wirkung dieser Behandlungsschritte ist zur Verdeutlichung in Abbildung 19 nochmals dargestellt.

Diese so bearbeiteten EMG-Rohdaten werden in der nachfolgenden Bearbeitung "EMG-Kurven" genannt.

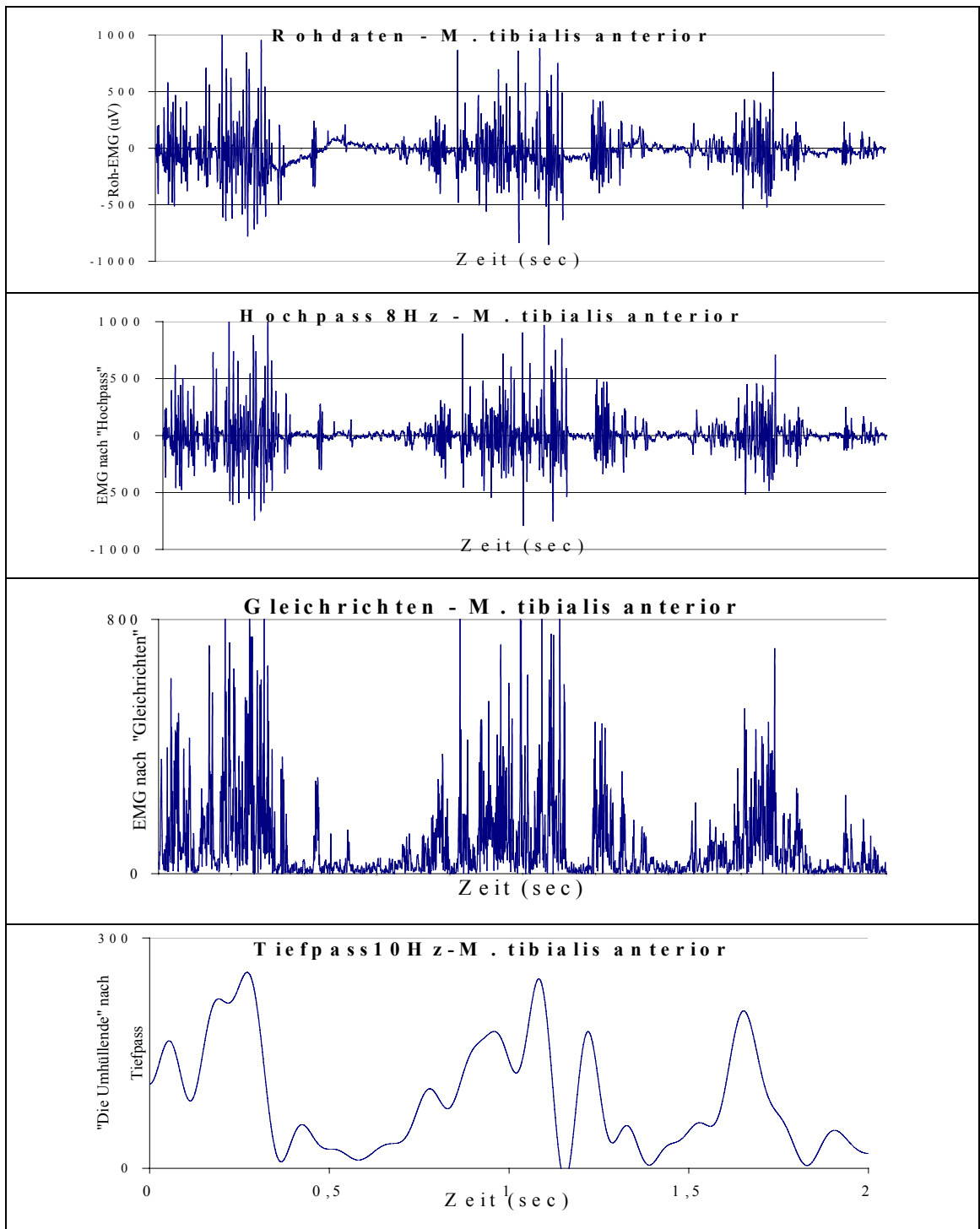


Abbildung 19: Datenbearbeitung: Roh-Daten – Geglättete EMG bei einem Lauf eines Fahrers am M. tibialis anterior (Hochpass mit 8 Hz, Gleichrichten, Tiefpass mit 10 Hz)

4.2.1. Messgenauigkeit

Diese EMG-Kurven ordneten jeder Millisekunde einen – nach Tiefpass, Gleichrichten und Hochpass – ermittelten EMG-Wert, ein „Maß für die Muskelaktivität“, zu. Die Videosequenz konnte nur mit 50 Hz aufgenommen werden, was eine größere Ungenauigkeit darstellte. Bei diesen Überlegungen wurde deutlich, dass die Ermittlung der Winkel der Sprunggelenks-Extremwerte mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit von ± 10 Millisekunden behaftet war (Kuchling H. 1988). So konnten einem Videobild (ein Zeitraum von 20 Millisekunden, d.h. einer Ortskoordinate) 20 EMG-Werte zugeordnet werden.

4.3. Bewegungsorientierte Zuordnung der Messdaten

Ausgangssituation

Bei genauer Betrachtung der Videoaufnahmen stellte sich heraus, dass die einzelnen Testfahrten der Probanden nicht so gleichmäßig waren wie erwartet:

- I.) Ungenauigkeiten bei der Laufzeiterfassung
Ein möglicher Messfehler wurde erst bei der Auswertung entdeckt: Durch Vorschwingen des Skistocks konnte bei der Anfahrt vor der ersten Lichtschranke ein vorzeitiges Auslösen der Lichtschranke und dadurch der Datenaufzeichnung auftreten. Da alle Daten zeitsynchron aufgenommen wurden, zeigte sich dadurch bei einigen Fahrten eine Zeitverlängerung des Durchlaufs.
- II.) Unterschiedliche Anfangsgeschwindigkeiten
Trotz gleichen Anlaufs war die Geschwindigkeit an der ersten Lichtschranke schon so verschieden, dass bereits der erste Buckel mit deutlichen Zeitunterschieden erreicht wurde.
- III.) Unterschiedliches Geschwindigkeitsprofil
Die Probanden durchfuhren die Messstrecke unterschiedlich schnell z.T. mit Beschleunigungsabschnitten.

Diese drei Ungenauigkeiten führen dazu, dass ein einfaches Zuordnen der Messdaten zur Zeitachse der Datenaufzeichnung nicht gegeben ist, denn die Probanden befinden sich zu gleichen Zeitpunkten an unterschiedlichen Orten der Messstrecke. Diese Beobachtung gilt sogar für die verschiedenen Messfahrten desselben Probanden, wie die Abbildung 20 am Beispiel von Fahrer S demonstriert.

Die Kurven ähneln sich zwar prinzipiell, aber es ist ein gewisser Phasenversatz der Extremwerte festzustellen. Grundsätzlich wäre dem durch eine Zeitnormierung zu begegnen, da aber, wie vorab erläutert, die Problematik mit der Ungenauigkeit der Laufzeiterfassung und des Geschwindigkeitsprofils vorliegt, ist dieser Weg auch nicht zu beschreiten.

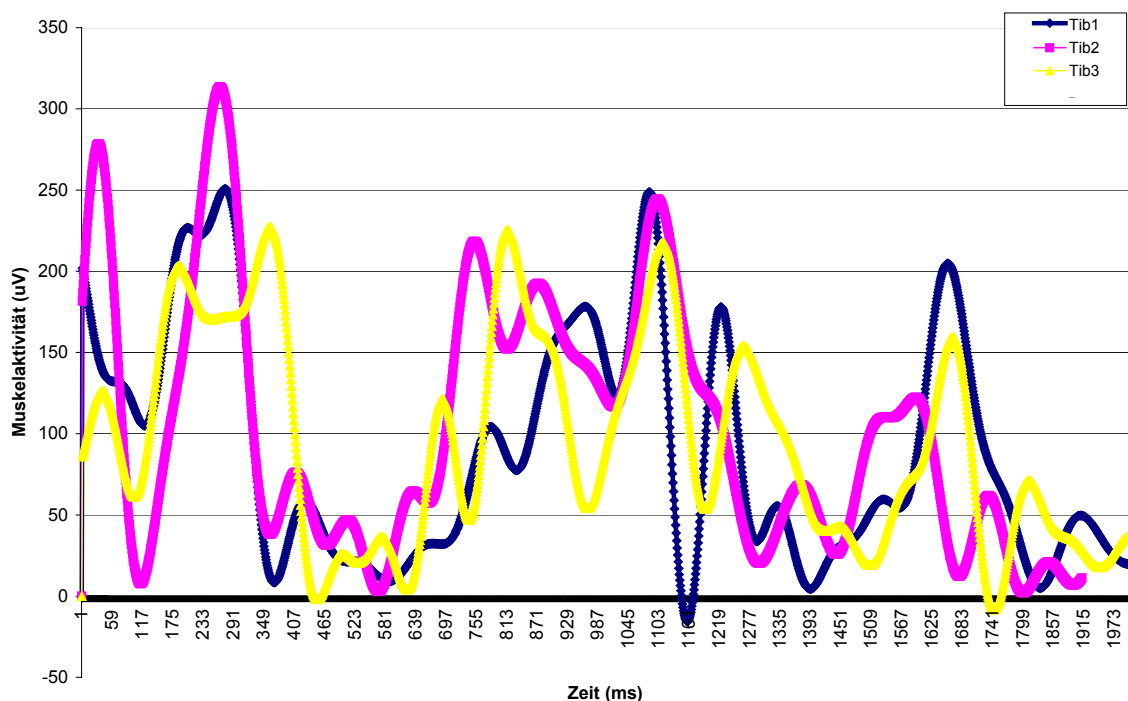


Abbildung 20: EMG-Kurven der 3 Fahrten mit dem weichen Testschuh vom M. tibialis anterior des Fahrers S

Als alternative Lösung wurde eine "bewegungsorientierte Betrachtung" gewählt, die nachfolgend beschrieben ist.

4.4. Verfahren der bewegungsorientierten Analyse

Hinter der bewegungsorientierten Analyse steht der Gedanke, die erhobenen EMG-Daten bestimmten Bewegungsphasen bzw. -positionen zu zuordnen.

Wahl des am besten geeigneten Bewegungsparameters

Hierzu wurde versucht, individuelle Zeitpunkte zu definieren, an denen jeder Proband im Bewegungsablauf seiner Testfahrt eine gut feststellbare Haltung einnahm. Dazu boten sich die extremen Körperwinkel, also die Umkehrpunkte von Bewegungen, an. Kampe zeigte, dass sich die Sprunggelenkwinkel auf die Lage des Schwerpunktes stärker auswirkten als die Knie- und Hüftgelenkwinkel.

Diese Ergebnisse waren ausschlaggebend für die Entscheidung, die Muskelaktivitäten im zeitlichen Bezug zu den Extremwerten der Sprunggelenksbewegung zu untersuchen. Das Minimum des Sprunggelenks-Winkels war bei den Testfahrten in der Regel „vor bzw. auf dem Buckel“, das Maximum in der Regel „nach dem Buckel“, wie in Abbildung 21 skizziert. Dies ist einerseits durch die wirkenden äußeren Kräfte - verursacht durch die Geländegeometrie, andererseits durch die typische Fahrtechnik des Buckelpistenfahrens – Antizipation der auftretenden Kräfte und Halten des Bodenkontaktes – zu erklären.

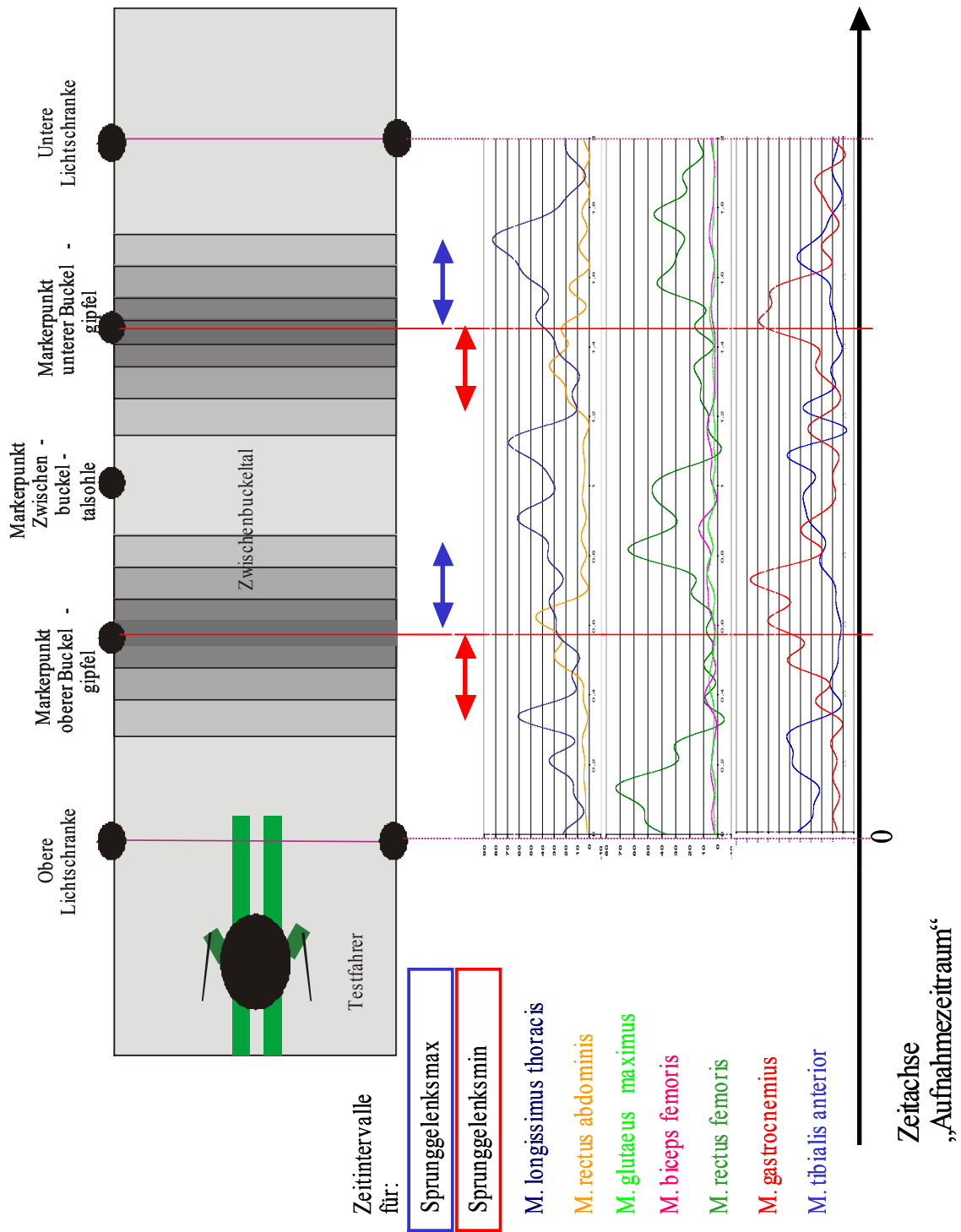


Abbildung 21: Ungefähre Lage der Sprunggelenksextrémwerte (blaue und rote Pfeile) aller Testläufe bezogen auf den Doppel-Buckel mit Muskelaktivität einer Fahrt

Zeitmarker und Zeitintervalle

In die bearbeiteten Daten der Testfahrten wurden deshalb vier "Zeitmarker" gesetzt. Diese Zeitmarker entsprachen den Zeitpunkten, an denen der Proband seinen maximalen bzw. minimalen Sprunggelenkwinkel vor/auf bzw. nach dem ersten bzw. zweiten Buckel aufwies. Die Ermittlung dieser Zeitpunkte sind bei Kampe aufgeführt.

Damit ergeben sich folgende vier spezielle Bewegungspositionen (mit ihren Zeitpunkten T) während der Testfahrt, die für Betrachtungen der Muskelaktivitäten herangezogen werden.

- Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem ersten Buckel.
- Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem ersten Buckel.
- Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem zweiten Buckel.
- Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem zweiten Buckel.

Um diese Zeitpunkte T wird nun zunächst ein Betrachtungsintervall ("GESAMT") gelegt, welches definiert ist durch die Grenzen $T - 100$ ms und $T + 200$ ms. In dieses insgesamt 300 ms dauernde Zeitintervall fallen - wie die Bewegungsanalyse ergab - auch die Zeitpunkte, in denen die Knie- und Hüftwinkel der meisten Probanden Extremwerte aufwiesen. Die Abbildung 22 illustriert dies für alle Fahrten aller Probanden. Generell kann festgestellt werden, dass meistens die Extremwerte bei der „Körperflexion“ in folgender Reihenfolge erreicht werden: Sprunggelenk → Hüfte → Knie. Die Körperstreckung startet also im Sprunggelenk, dann beginnt sich die Hüfte zu strecken und als letztes das Knie. Die Umkehrbewegung nach der Körperextension startet meist ebenfalls mit dem Sprunggelenk, dann folgt die Hüfte und das Knie. In der Diskussion der Muskelaktivitäten wird die zeitliche Abfolge der Bewegungen mit berücksichtigt.

Die Begrenzung auf insgesamt 300 ms erfolgte vor dem Hintergrund einer notwendigen Datenreduktion.

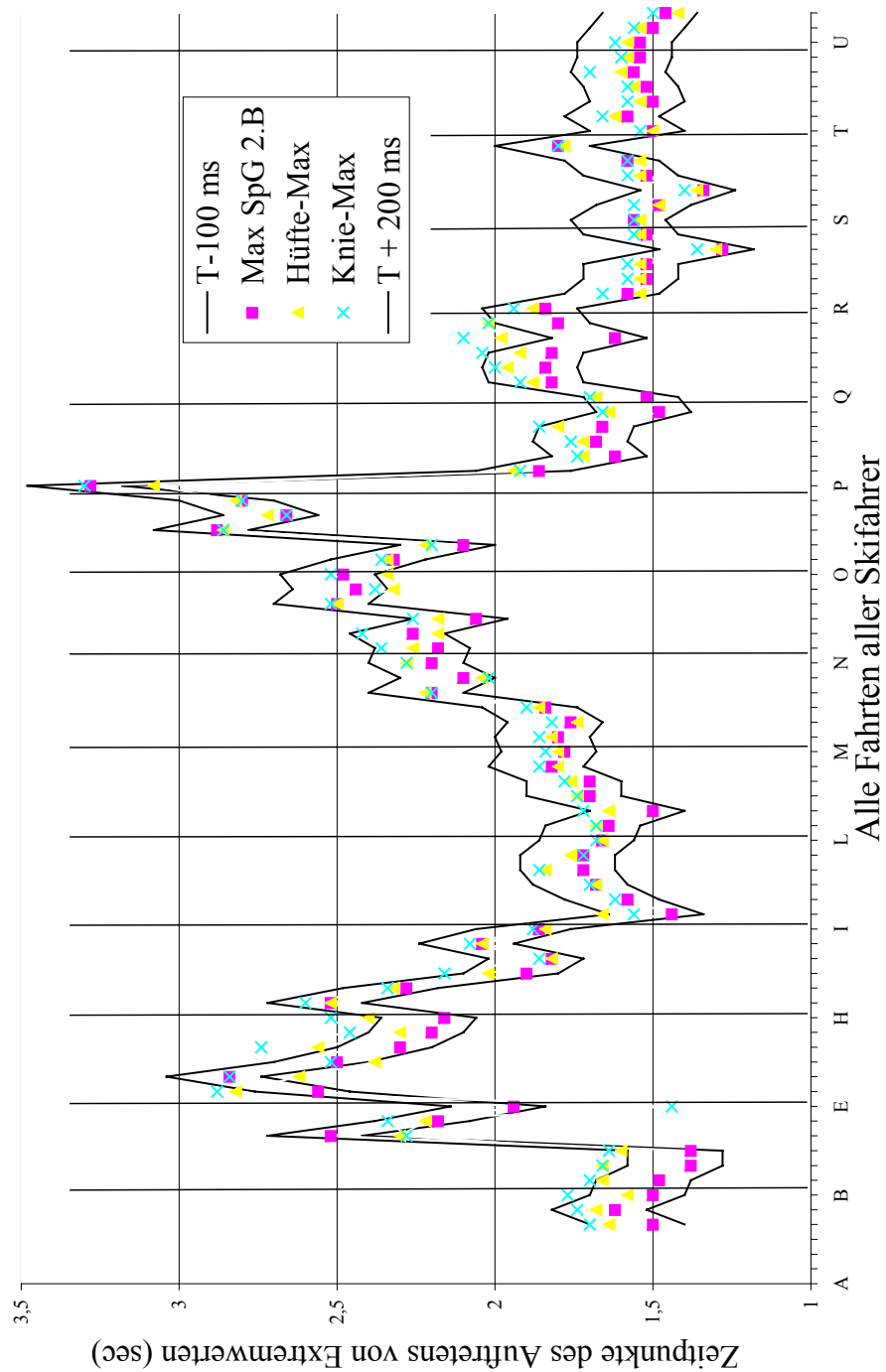


Abbildung 22: Gegenüberstellung der Zeitpunkte für das Auftreten der Extremwerte von Hüft-, Knie- und Sprunggelenkwinkel nach dem zweiten Buckel. Von jedem Probanden (z.B. M) sind seine sechs Läufe M1-6 angegeben. In der Zeitachse ist der Zeitpunkt des maximalen Sprunggelenkwinkels (rosa: Zeitmarker 4) mit den Intervallgrenzen (schwarz) und der Zeitpunkt der max. Hüft- (gelb) bzw. Kniestreckung (türkis) eingetragen.

Nachdem innerhalb dieses 300 ms dauernden Intervalls noch größere Änderungen im EMG-Signal beobachtet wurden, war es sinnvoll, eine weitere Feinunterteilung dieses Bereichs vorzunehmen. Folgende Unterteilung wurde gewählt:

Intervallbezeichnung	Definitionen in der Zeitachse
" T MINUS 100"	(T-100 ms) bis T
" T PLUS 100"	T bis (T+100 ms)
" T100-200"	(T+100 ms) bis (T+200 ms)

Tabelle 1: Weitere Unterteilung des Gesamtintervalls um jeden der 4 Zeitpunkte T

Eine graphische Darstellung ist in Abbildung 23 zu sehen.

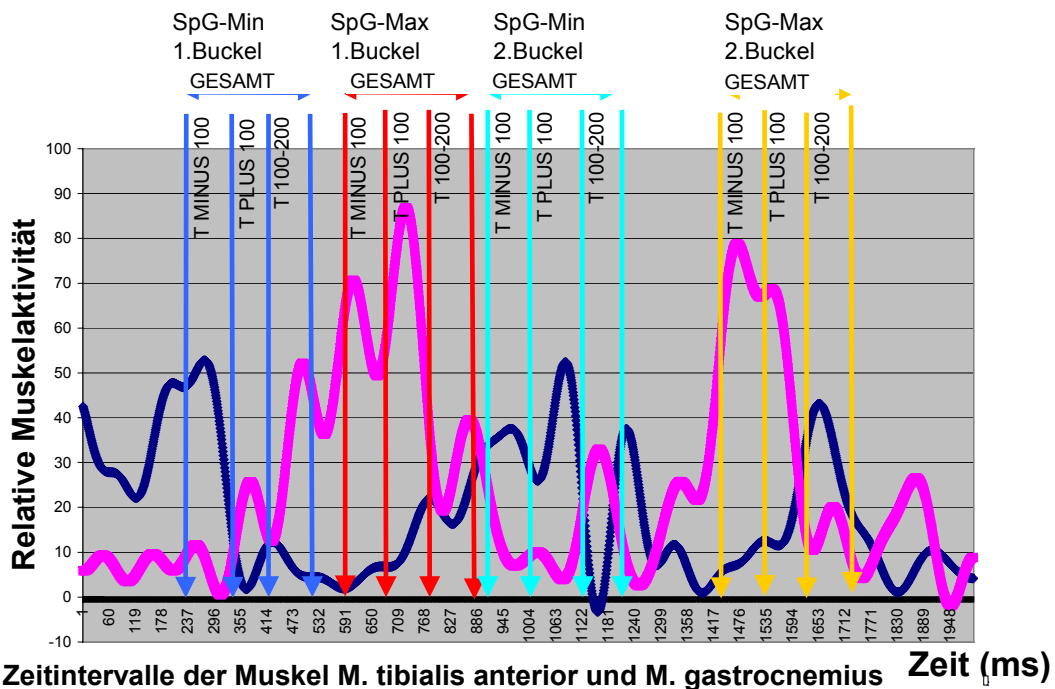


Abbildung 23: Zeitintervalle am Beispiel des M. tibialis anterior (blau) und des M. gastrocnemius (rosa) des Probanden S bei der ersten Fahrt mit dem weichen Schuh

4.5. Mathematische Bearbeitung der Daten

Untersuchte Parameter

In dem Intervall (GESAMT) wurden folgende Parameter für jeden Lauf des weichen als auch des harten Schuhs für jeden der 7 Muskeln getrennt ermittelt¹:

- Maximum (μV)
- Mittelwert (μV)
- Minimum (μV)
- Spanne (μV)
- Standardabweichung (μV)
- FWHM (s)
- Modus (s)
- "Aktivitätsschwerpunkt" (s)

In den Unterintervallen (T MINUS 100), (T PLUS 100) und (T 100-200) wurden nur die zwei aussagekräftigsten Parameter (Maximum und Mittelwert) herangezogen.

Diese Parameter² sind wie folgt definiert bzw. berechnet:

► **Maximum (μV):** Absolutes Maximum jedes einzelnen Kanals über den gewählten Zeitbereich.

► **Mittelwert (μV):** Der Mittelwert eines jeden Kanals wurde berechnet gemäss des arithmetischen Mittels.

► **Minimum(μV):** Absolutes Minimum jedes einzelnen Kanals über den gewählten Zeitbereich.

¹ Von jedem der bei drei Fahrten - mit weichem bzw. hartem Schuh - erhobenen EMG-Kurvenabschnitten wurden verschiedene Parameter gewonnen: Damit ergaben sich insgesamt 11424 zu untersuchende Kurvenabschnitte: Die entstanden aus 17 Probanden, die an 7 Muskeln untersucht wurden, dabei 6 Fahrten unternommen hatten, wobei diese Fahrten an 4 Zeitmarkern T in 4 Zeitintervallen untersucht wurden. An diesen Kurvenabschnitten wurden jetzt mathematisch die Kurveigenschaften betrachtet. Es ergaben sich z.B. drei Parameter für die drei Fahrten mit dem weichen Schuh, die dann gemittelt (arithmetisches Mittel, also addiert und durch 3 geteilt) und im Folgenden „Parameter-Mittelwert“ genannt wurden. Insgesamt wurden dadurch für alle Probanden in allen Läufen ca. 40 000 Einzelparameter erstellt.

² Genaue Definitionen und Formeln: siehe mathematische Standardwerke.

- ▶ **Spanne(μV):** Differenz zwischen absolutem Maximum und Minimum.
- ▶ **Standardabweichung (μV):** Es ist ein Maß für die Stärke und Häufigkeit der Abweichungen der Kurve vom Mittelwert.
- ▶ **FWHM (s):** Die "full width at half maximum" eines jeden Kanals ist die volle Breite des maximalen Peaks gemessen bei halber Höhe. Sie ist ein Maß für die Breite des Maximums.
- ▶ **Modus (s):** Der Modus eines jeden Kanals ist der Zeit-Wert des absoluten Maximums.
- ▶ **"Aktivitätsschwerpunkt" (ASP) (s):** Der ASP eines jeden Kanals ist derjenige Zeit-Wert, der das Integral halbiert (das Integral entspricht der Fläche unter der Kurve). Die Lage des Aktivitätsschwerpunktes gibt einen Hinweis darauf, wie sich die Muskelaktivität im betrachteten Zeitintervall insgesamt "entwickelt". Eine spätere Lage des ASP deutet darauf hin, dass der betreffende Muskel eher zeitverzögert aktiviert war.

Abbildung 24 illustriert diese Parameter an zwei fiktiven Kurvenverläufen. Diese Parameter wurden sowohl für den weichen wie für den harten Schuh zum jeweiligen „Parameter-Mittelwert“ bearbeitet, der nicht im einzelnen betrachtet, sondern nur zur Datenerstellung des Vergleichs zwischen „weichem und hartem Schuh“ herangezogen wurde (siehe 4.5.1).

Das Maximum vom Intervall (GESAMT) wurde zusätzlich herangezogen, um in Relation zur willentlichen Maximalkraft ein Maß für die Anforderung an die Muskulatur beim Buckelpistenfahren zu erhalten.

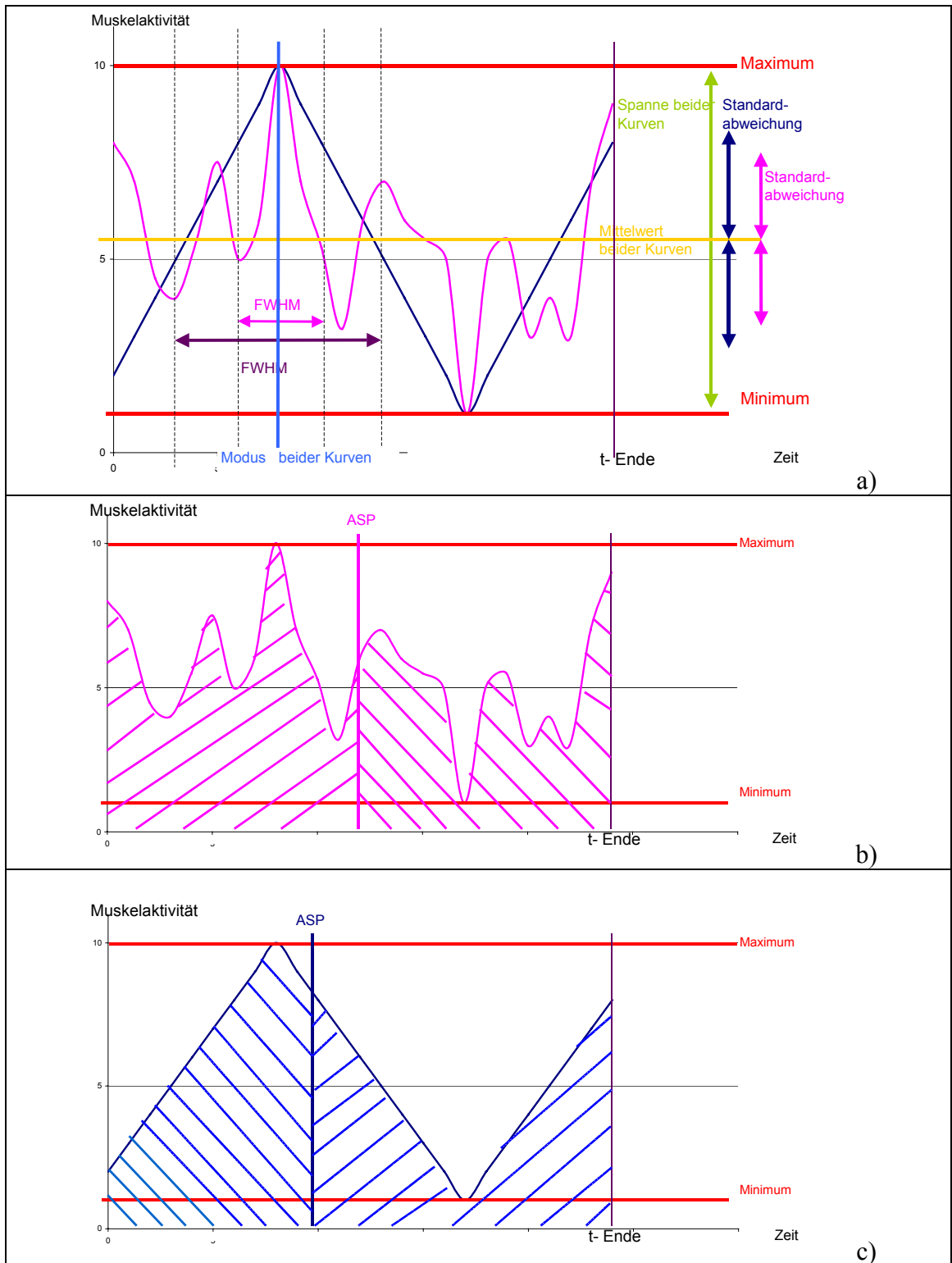


Abbildung 24: a): Anschauliche Darstellung der erhobenen Parameter an zwei willkürlichen Kurven (blau und rosa). b) und c): Die beiden Flächen, die mit der selben Farbe, aber gegenläufig schraffiert sind (links und rechts) sind gleich groß. Die senkrechte Linie dazwischen ist der ASP-Wert der jeweiligen Kurve.

4.5.1. Datenvergleich der Testschuhe

In einem weiteren Schritt erfolgte dann die Berechnung der Differenzen der Mittelwerte der einzelnen Parameter zwischen dem „weichen“ und dem „harten“ Schuh in den insgesamt vier Zeitintervallen. Diese Differenzwerte ($\text{EMG-Parameter}_{\text{harter Schuh}} - \text{EMG-Parameter}_{\text{weicher Schuh}}$) werden in Zukunft zur Unterscheidung gegenüber den Parametern mit „ Δ Parameter“ bezeichnet. Ergab die auf diese Weise berechnete Differenz positive Werte, so bedeutete dies, dass der Parameter-Mittelwert bei den Fahrten mit dem „weichen“ Schuh (WS) im Mittel kleiner war als bei der Verwendung des „harten“ Vergleichsschuhs (HS). Die Definitionen bedeuten für die Muskelaktivitäten folgendes:

► **Δ Maximum (μV) ist positiv**, wenn

Maximale Muskelaktivität (HS) > Maximale Muskelaktivität (WS) ist.

► **Δ Mittelwert (μV) ist positiv**, wenn

die durchschnittliche Muskelanspannung bei (HS) > (WS) ist.

► **Δ Minimum(μV) ist positiv**, wenn

die geringste Muskelanspannung bei (HS) > (WS) ist.

► **Δ Spanne(μV) ist positiv**, wenn

Differenz (Maximum – Minimum) bei (HS) > (WS) ist.

► **Δ Standardabweichung (μV) ist positiv**, wenn

größere Muskelaktivitätsschwankungen bei (HS) > (WS) sind.

► **Δ FWHM (s) ist positiv**, wenn

eine längere „erhöhte Muskelanspannung“ bei (HS) > (WS) vorliegt.

► **Δ Modus (s) ist positiv**, wenn

das absolute Maximum zu späterer Zeit bei (HS) gegenüber (WS) eintritt.

► **Δ ASP (s) ist positiv**, wenn

50% der Muskelaktivität (Integral = Fläche unter der Kurve) bei (HS) später erreicht wird als bei (WS).

Abschließend nochmal eine zusammenfassende Darstellung der Datenverarbeitung (siehe Abbildung 25).

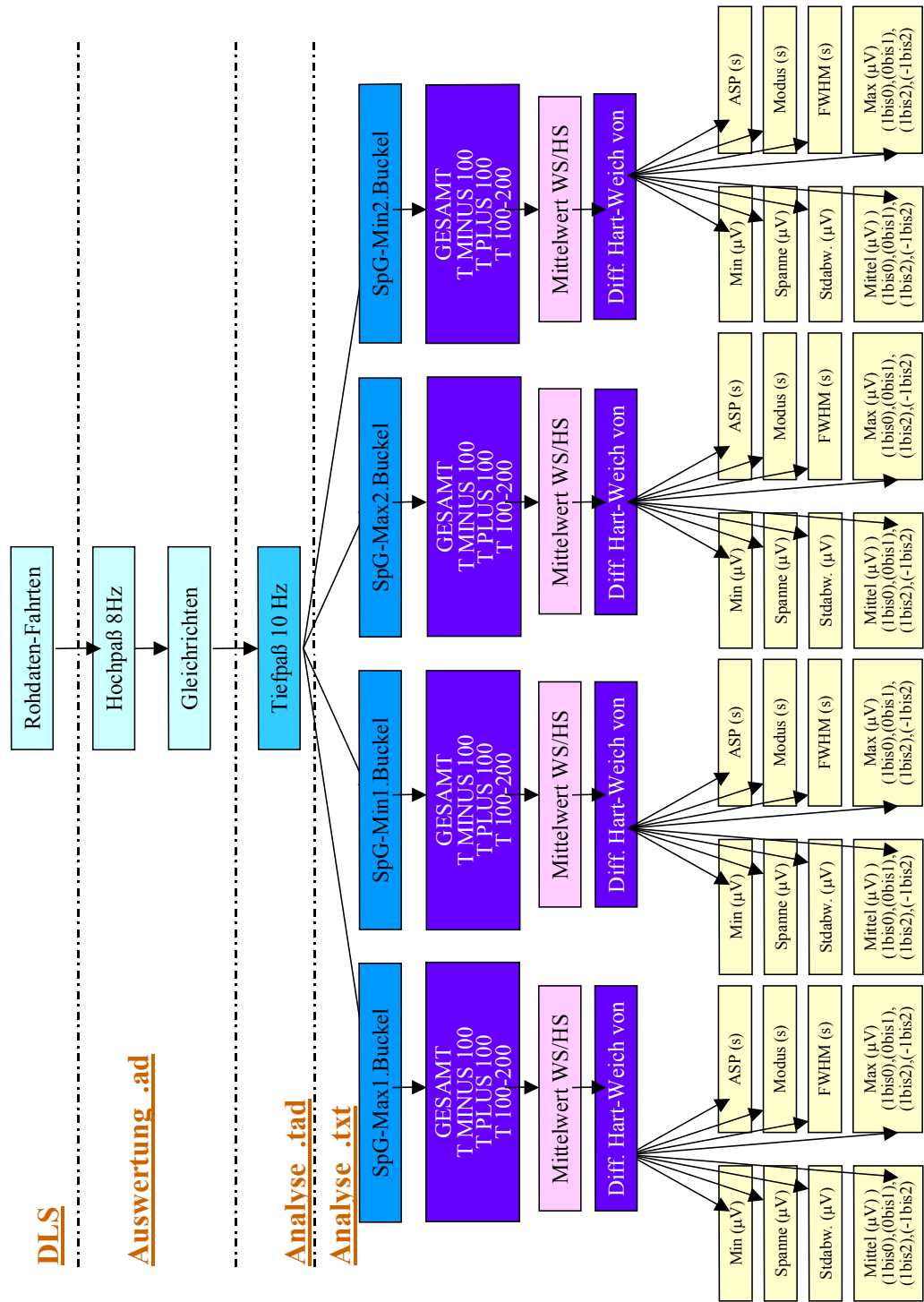


Abbildung 25: Überblick über Datenverarbeitung

4.6. Statistik

4.6.1. Auswahl der statistischen Tests

Nachdem metrische Daten vorliegen (Spannungen in V) besteht aufgrund des Skalenniveaus keine Einschränkung hinsichtlich der verwendbaren Tests. Da jedoch auf Grund der kleinen Fallzahl nicht von einer Normalverteilung der Messwerte ausgegangen werden kann, muss ein nicht parametrisches Verfahren angewendet werden. „Ihr Nachteil besteht darin, dass die Trennschärfe geringer ist als die vergleichbarer parametrischer Tests“ (Lamprecht, J. 1992).

Es handelt sich hier um eine intraindividuelle Vergleichsstudie, weil die Muskelanspannung bei jeder Person sowohl mit einem harten Vergleichsschuh als auch mit dem weichen Testschuh gemessen wurde. Deshalb kommt ein Test für gepaarte Stichproben zur Anwendung.

Damit kann z.B. der Vorzeichenstest als auch der Wilcoxon-Test angewendet werden.

Beide Tests überprüfen, ob beobachtete Unterschiede überzufällig, also statistisch signifikant sind.

„Während aber beim Vorzeichenstest nur ein qualitativer Größenvergleich zwischen den Werten eines Paares möglich sein muss, setzt der Wilcoxon-Test voraus, dass auch ein Größenvergleich zwischen den Unterschieden verschiedener Paare möglich ist.“ (Lamprecht, 1992).

Der Wilcoxon-Test kann nun einseitig oder zweiseitig ausgeführt werden.

Man testet einseitig, wenn man die Richtung eines evtl. vorhandenen Unterschiedes vorab kennt, oder wenn sich Konsequenzen nur bei einer bestimmten Abweichungsrichtung ergeben (Weiß, Ch. 2002 und Altmann, 1991).

Da die Wirkung der Schuhmanipulation auf die abhängige Variable (Muskelzustand) nicht vorhersehbar ist, war hier der zweiseitige Test anzuwenden.

4.6.2. Ausführung des Vorzeichentests und des Wilcoxon-matched-pairs-Tests

Der **Vorzeichentest** wurde anhand der in Lamprecht (1992) dargestellten Formeln durchgeführt. Hierbei wird der Parametermittelwert des weichen Testschuhs vom Parametermittelwert des harten Vergleichschuhs abgezogen und der dabei entstehende Differenzwert auf sein Vorzeichen betrachtet.

Der **Wilcoxon-matched-pairs-Test** wurde mittels des Programmpakets STATISTICA für Windows (Version 5,0; StatSoft) durchgeführt:

In die Auswertung gehen die Parametermittelwerte der berechneten EMG-Werte bei den Fahrten mit dem weichen/harten (= gepaart) Testschuh ein.

Auf diese Weise lassen sich für jeden zu vergleichenden Wert der jeweiligen EMG-Aktivität zu den verschiedenen ausgewählten Messzeitintervallen (um die Sprunggelenkwinkel-Extremwerte; siehe Kampe) Aussagen über die statistische Signifikanz der Unterschiede der Schuhe tätigen.

Die berechnete Irrtumswahrscheinlichkeit lässt folgende Signifikanzaussagen zu (Zöfel P. 1988):

1. Bei einem $p < 0.01$ ist das Ergebnis als hoch-signifikant anzusehen.
2. Bei einem $p < 0.05$ kann der Vergleich als signifikant angesehen werden.
3. p -Werte von 0.05 bis 0.1 zeigen eine Tendenz an.

Im Ergebnisteil sind nur Signifikanz-Aussagen enthalten. Zum Nachvollziehen für Interessierte sind im Anhang p -Werte ab S. 129, sowie auch die Stichprobengrößen und Prüfgrößen T und Z (ab S. 159) für jeden durchgeführten Test angegeben.

5. Ergebnisse

5.1. Vorbemerkungen zur Ergebnisdarstellung

Von den Fahrten mit dem „weichen“ und „harten“ Schuh werden jeweils die Parameter-Mittelwerte als Maß für die Muskelaktivitäten um die Zeitpunkte der Maximal- und Minimalwerte der Sprunggelenkwinkel verglichen.

Dabei werden nur Δ Parameter-Mittelwerte aufgeführt, die Auffälligkeiten zeigen, d.h. entweder besteht beim Wilcoxon-matched-pairs-Test/Vorzeichentest eine Signifikanz oder zumindest eine Tendenz oder ca. 2/3 der Probanden haben in der Differenz die „gleiche Richtung“:

Die Ergebnisse werden wie folgt aufgeführt:

- Komprimierung der großen Anzahl von Einzelergebnissen² in Übersichtstabellen, um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern (siehe 5.2).
- Aktivität der Muskulatur jedes einzelnen Läufers (in % der Aktivität des MVC-Tests) und die grafische Darstellung des Anteils der Probanden in Prozent, die über die willentliche Maximalkraft hinaus ihre Muskulatur im Intervall (GESAMT) aktivieren (siehe 5.3).
- Zusammenspiel der einzelnen Muskeln in Korrelation mit Gelenkwinkeländerungen (siehe 5.4).
- Interpretation der Ergebnisse (siehe 5.5).

² Einzelergebnisse: Jeweils 8 Parameter zu jeweils 4 Zeitpunkten mit ihren Intervallen zu jeden der 7 Muskeln für alle Probanden. Im Anhang werden zugehörig zu den einzelnen Muskeln die auffälligen Δ Parameter detailliert aufgelistet. Weiter werden auch extreme Werte einzelner Läufer beschrieben.

5.2. Muskelaktivität zum Zeitpunkt der maximalen/minimalen Sprunggelenkwinkel mit Gegenüberstellung von ersten und zweiten Buckel

Ziel dieser Komprimierung ist, möglichst einfach probandenspezifische Besonderheiten der Muskelkontraktion, die "Richtung" der Aktivitätsentwicklung, sowie den Grad der Überzufälligkeit - aufgeführt nach den untersuchten 7 Muskeln - darzustellen.

Zu Verdeutlichung sei dies an Hand der Tabelle 2 für den M. rectus femoris bei der extremsten Sprunggelenks-Beugung erklärt:

Muskel ist bei WS	Im Parameter .....	...am ersten Buckel		...am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	... weniger aktiviert
		Erhöhte relative Änderung eines Parameters		Ergebnis der inferenzstatistischen Tests	
M. rectus femoris	Δ Maximum	52%Signifikanz M!, L	O	4% Tendenz K!!, L!	H!, Q!!
	Auffälliger Δ Parameter	Probanden, bei welchen diese Beobachtung - besonders deutlich, bzw. - extrem deutlich (durch '!' markiert) ausgeprägt war.			

Tabelle 2: Erklärung der komprimierten Daten

Die vorgenommenen Einträge leiten sich in diesem Fall aus dem Sachverhalt ab, dass der M. rectus femoris am ersten Buckel im Intervall (GESAMT) folgende Ergebnisse lieferte:

- **Δ Maximum = -27 μ V (52%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,04$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer M mit -143μ V und L mit -105μ V aufweisen. Auch K und T haben relativ große negative Werte. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Fahrer O mit 26μ V auf (auch P und R sind positiv).

Analog sind für alle Einträge die ausführlichen Erklärungen im Anhang zu finden.

Damit ist eine Interpretation auf "einen Blick" möglich: Im dargestellten Beispiel gilt für den M. rectus femoris am ersten Buckel: Für die gesamte Gruppe der Testfahrer ist eine erhöhte Aktivität (um 52%) des Parameters " Δ Maximum" signifikant; zwei Probanden (M, L) weisen extreme Aktivierung auf und ein Proband (O) extrem wenig Aktivierung.

Dargestellt werden die Parameter (siehe Kapitel 4.5), wenn eine Auffälligkeit festgestellt wurde.

Zeitpunkte der extremsten Sprunggelenks-Beugung

Muskelbetrachtung

Muskel ist bei WS ...	im Parameter....	...am ersten Buckel		...am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	..weniger aktiviert
M. tibialis anterior	Δ Maximum	-	-	33 % Tendenz B!!, K!, S!	I!
	Δ Mittelw.	-	-	38% Signifikanz B!, K!!, S!	L, T
	Δ Minimum	B, D	E, I, J, K	12% Tendenz B!	T
	Δ Spanne	-	-	48% Tendenz B, K, S!!	R
	Δ Standard.	-	-	6% Tendenz B, E, K, S	L
M. gastro- cnemius	Δ Mittelw.	-	-	63% Tendenz K!, M!!	U
	Δ Minimum	-	-	32% Tendenz I, M!	U
	Δ Median	-	-	L	B, T
M. rectus femoris	Δ Maximum	52%Signifikanz L, M!	O	4% Tendenz K!!, L!	H!, Q!!
	Δ Mittelw.	19% Tendenz L, M!, T	E, I, O, R	27% Tendenz B, K!!	Q!!
	Δ Spanne	48%Signifikanz K, L, M	O, P	38% Tendenz K!!, L, S	Q!!
M. biceps femoris	Δ Mittelw.	-	-	72% Tendenz B, K!!	-
	Δ Spanne	-	-	86% Tendenz B!; K!, O	I
	Δ FWHM	B, D, I!, M	K	-	-

M. glutaeus maximus	ΔMaximum	-	-	72% Hochsign. H, K, Q	-
	ΔMittelw.	-	-	28% Signifikanz K, Q	-
	ΔSpanne	-	-	110% Hochsign. H, K!, Q	-
	ΔStandard.	-	-	26% Hochsign. H, Q	-
M. rectus ab- dominis	ΔMittelw.	N, Q	L, R!	-	-
	ΔMinimum	B	M, U	-	-
	ΔSpanne	N!, Q, S, T, U!	L!, R!!	-	-
	ΔStandard.	N!, U!	L!, R!!	-	-
M. longis- simus thoracis	ΔMittelw.	-	-	30% Signifikanz B, K, R, S	Q
	ΔMinimum	K	L!, U	8% Tendenz 4% Tendenz R, S	Q
	ΔSpanne	-	-	45% Tendenz B, H, K!, R, S	O, U
	ΔFWHM	D, H, N, O	M	-	-

Tabelle 3: Intervall (GESAMT): Auffällige ΔParameter bei stärkster Sprunggelenksbeugung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus. Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Muskel ist bei WS ...	im Parameter ...	... am ersten Buckel		...am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	..weniger aktiviert	...mehr aktiviert	...weniger aktiviert
M. tibialis anterior	ΔMaximum	-	-	33%Signifikanz B!!, S	-
	ΔMittelw.	L, M, Q!, S	E, J, R	28%Signifikanz B!, S	-
M.gastrocnemius	-	-	-	-	-
M. rectus femoris	ΔMittelw.	25% Tendenz M!	E	-	-
M. biceps femoris	-	-	-	-	-
M. gluteus maximus	-	-	-	-	-
M. rectus abdominis	ΔMittelw.	N!!	R!!, T	-	-
M. longissimus thoracis	ΔMaximum	I, L, Q, S	O, R, T!, U	34% Tendenz B, H, K, R, S	Q, U
	ΔMittelw.	-	-	35%Signifikanz B, H, R, S	U

Tabelle 4: Intervall (T MINUS 100): Auffällige ΔParameter bei stärkster Sprunggelenksbeugung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus.
Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Muskel ist bei WS ...	im Parameter ...	...am ersten Buckel		... am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	...weniger aktiviert
M. tibialis anterior	-	-	-	-	-
M. gastrocnemius	ΔMaximum	-	-	67% Tendenz K, M!!	I, Q, U
	ΔMittelw.	-	-	51%Signifikanz M!	-
M. rectus femoris	-	-	-	-	-
M. biceps femoris	ΔMittelw.	5%Signifikanz J!, L!, M!	K!!	-	-
M. gluteus maximus	ΔMaximum	100%Tendenz D, Q!!	J	-	-
	ΔMittelw.	60% Tendenz D, Q!!	J	-	-
M. rectus abdominis	-	-	-	-	-
M. longissimus thoracis	-	-	-	-	-

Tabelle 5: Intervall (T PLUS 100): Auffällige ΔParameter bei der stärksten Sprunggelenksbeugung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus.
Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Muskel ist bei WS ...	im Parameter ...	... am ersten Buckel		... am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	...weniger aktiviert
M. tibialis anterior	ΔMaximum	-	-	31% Tendenz B!, K!, M, N, O	I
	ΔMittelw.	-	-	25%Signifikanz B!	I
M. gastrocnemius	-	-	-	-	-
M. rectus femoris	ΔMaximum	31% Tendenz L!	-	18% Tendenz L, S!, T	H, Q!
	ΔMittelw.	-	-	16% Tendenz B, S, T	H, Q
M. biceps femoris	-	-	-	-	-
M. gluteus maximus	-	-	-	-	-
M. rectus abdominis	-	-	-	-	-
M. longissimus thoracis	-	-	-	-	-

Tabelle 6: Intervall (T 100-200): Auffällige ΔParameter bei stärkster Sprunggelenksbeugung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus. Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Bewegungsanalyse

Um einen Vergleich der Muskelaktivitäten und der Körperwinkel zu erleichtern, sind die Daten von Kampe in ähnlichen Tabellen zusammengefasst.

Gelenk ist beim WS ...	... am ersten Buckel		... am zweiten Buckel	
	...weniger gebeugt	...mehr gebeugt	...weniger gebeugt	...mehr gebeugt
Sprunggelenk	Tendenz D, H, J, L, P	B!, S!, O	N, P!	B!!, I, O, S!
Kniegelenk	B!, E, J!	K, Q, U	I, K, L, N	O, R, T!
Hüftgelenk	B!!, E, R	D, I!, K, Q!	-	

Tabelle 7: Gelenkwinkeldifferenz zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenksbeugung bei der Fahrt mit dem weichen Testschuh:

Angaben: Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Zeitpunkte der extremsten Sprunggelenks-Streckung

Muskelbetrachtung

Muskel ist bei WS ...	im Parameter ...	... am ersten Buckel		... am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	...weniger aktiviert
M. tibialis anterior	Δ Maximum	-	-	29% Tendenz B, I, M!, S, T	K, L
	Δ Mittelw.	17% Signifikanz B, L!, T	D, E, J	26% Signifikanz B, M, T	K
	Δ Minimum	9% Tendenz D, T!	J	-	-
	Δ Spanne	-	-	B, I, M!	K, L!
	Δ Standard.	-	-	15% Signifikanz B, I, M	L
	Δ FWHM	22% Signifikanz O, T, U!	K, L, P	36% Hochsign. I, L, Q, U	-
M. gastro- cnemius	Δ Maximum	L!, M!!	I!, U!!	-	-
	Δ Mittelw.	20% Signifikanz M!	H, I, K	36% Tendenz L!, M!!	K!
	Δ Minimum	-	-	26% Tendenz I, M	K
	Δ Spanne	-	-	L!, M!, S	U!!
M. rectus femoris	Δ Maximum	30% Signifikanz K!!, M!	D, E	-	-
	Δ Mittelw.	18% Tendenz K!, M	E	21% Signifikanz B, L, R	K
	Δ Minimum	10% Tendenz K!	J	12% Tendenz L, U	K
	Δ FWHM	-	-	28% Signifikanz B, I!, M, R, U!	Q, T

M. biceps femoris	ΔMittelw.	B!, L, M, N	I!	-	-
	ΔMinimum	B, L, Q, R	I	-	-
	ΔFWHM	-	-	21%Signifikanz Q, S, U!	-
M. gluteus maximus	ΔMaximum	16%Signifikanz B, L!, N, Q!, T	K!!	28%Signifikanz B!, Q	K!!
	ΔMittelw.	-	-	12%Signifikanz B, L, Q	K!!
	ΔSpanne	12%Signifikanz B, J, N, Q, T	K!!	B!, Q	K!!
	ΔStandard.	B, J, L, N, Q, S	K!	B!, Q	K!, L
	ΔMedian	-	-	27%Signifikanz I, M, Q	T
M. rectus abdominis	ΔSpanne	-	-	53% Tendenz B, T!, U	M, R
	ΔStandard.	-	-	20% Tendenz T, U	-
M. longissimus thoracis	-	-	-	-	-

Tabelle 8: Intervall (GESAMT): Auffällige ΔParameter bei der stärksten Sprunggelenksstreckung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus. Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Im Intervall (T MINUS 100) werden beim Fahren mit dem weichen Schuh die Muskeln nicht anders aktiviert als beim Fahren mit dem harten Schuh.

Muskel ist bei WS ...	im Parameter ...	...am ersten Buckel		... am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	...weniger aktiviert
M. tibialis anterior	-	-	-	-	-
M. gastrocnemius	Δ Maximum	J!, L!, M!, N!, O!, T!	I!!	-	-
	Δ Mittelw.	20%Signifikanz M, N, O!, T	B, H	L!, M!, Q	I!
M. rectus femoris	Δ Maximum	-	-	39%Hochsign. R!, S, U	
	Δ Mittelw.	-	-	27%Signifikanz R, U	T
M. biceps femoris	-	-	-	-	-
M. gluteus maximus	-	-	-	-	-
M. rectus abdominis	-	-	-	-	-
M. longissimus thoracis	-	-	-	-	-

Tabelle 9: Intervall (T PLUS 100): Auffällige Δ Parameter bei der stärksten Sprunggelenksstreckung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus.
Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher ('!') Ausprägung.

Muskel ist bei WS ...	im Parameter ...	...am ersten Buckel		...am zweiten Buckel	
		...mehr aktiviert	...weniger aktiviert	...mehr aktiviert	...weniger aktiviert
M. tibialis anterior	ΔMaximum	-	-	B!, R	L, K
	ΔMittelw.	-	-	32% Tendenz B!,I, M, R, S,U	L
M. gastrocnemius	-	-	-	-	-
M. rectus femoris	-	-	-	-	-
M. biceps femoris	-	-	-	-	-
M. gluteus maximus	ΔMaximum	-	-	43%Signifikanz B!,M, Q	K!!
	ΔMittelw.	-	-	21%Signifikanz B!, Q	K!!
M. rectus abdominis	-	-	-	-	-
M. longissimus thoracis	-	-	-	-	-

Tabelle 10: Intervall (T 100-200): Auffällige ΔParameter bei der stärksten Sprunggelenksstreckung.

Angaben: Prozentuale Differenz der mittleren Abweichungen mit Signifikanzstatus. Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

Bewegungsanalyse (Daten siehe Kampe)

Gelenk ist beim WS ...	... am ersten Buckel		... am zweiten Buckel	
	...mehr gestreckt	...weniger gestreckt	...mehr gestreckt	...weniger gestreckt
Sprung- gelenk	3 Grad Hochsign. D, J, P!, T	I, O	3,2 Grad Hochsign. H!, L, N, P	I
Kniegelenk	4,5 Grad Hochsign. H, P!, Q, S	R!	11,6 Grad Hochsign. B!!, H, L, P, Q!!	M
Hüftgelenk	-		10,9 Grad Signifikanz B, P, Q!!, R	U

Tabelle 11: Gelenkwinkeldifferenz zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenksstreckung bei der Fahrt mit dem weichen Testschuh:

Angaben: Auffällige Probanden mit besonders deutlicher, bzw. extrem deutlicher (!) Ausprägung.

5.3. Relative Aktivität der Muskeln

Mit Hilfe der durchgeführten MVC-Messung (willentliche Maximalkontraktion) lassen sich die registrierten Muskelaktivitäten normieren. Aus dieser Darstellung können Rückschlüsse auf das Ausmaß notwendiger Krafteinsätze gezogen werden.

In den Abbildungen 26 und 27 sind exemplarisch am M. rectus femoris die relative Muskelaktivität jedes einzelnen Probanden (B - U) aufgetragen. Die Darstellungen der übrigen Muskeln sind aus dem Anhang zu entnehmen.

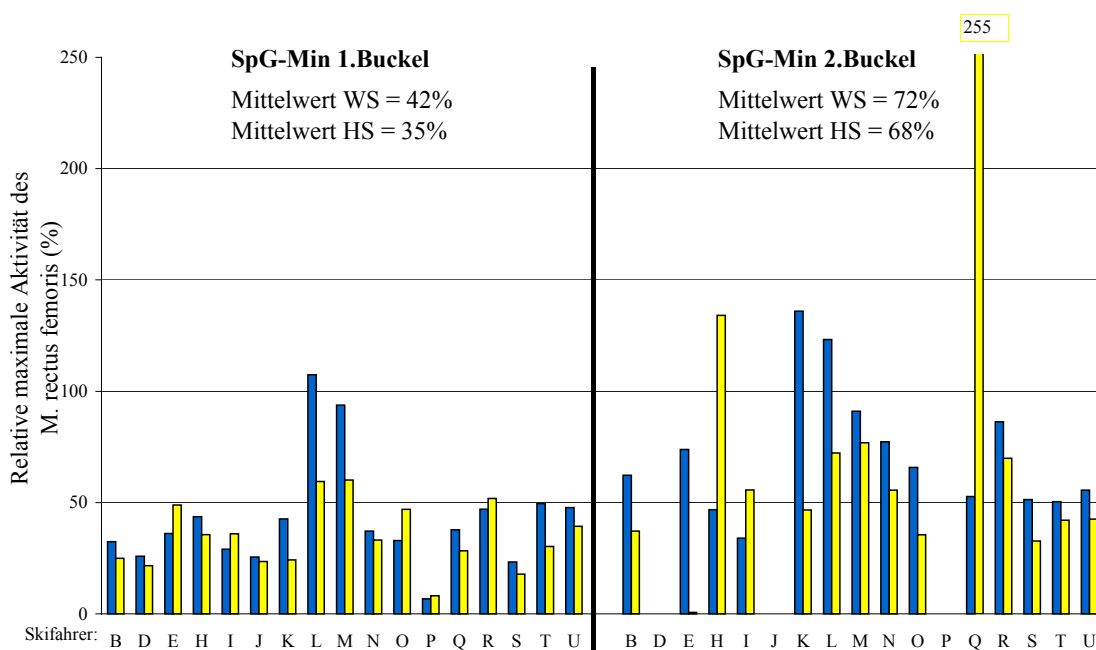


Abbildung 26: Relative maximale Aktivität des M. rectus femoris jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für ■ weichen Schuh (WS) und ■ harten Schuh (HS).

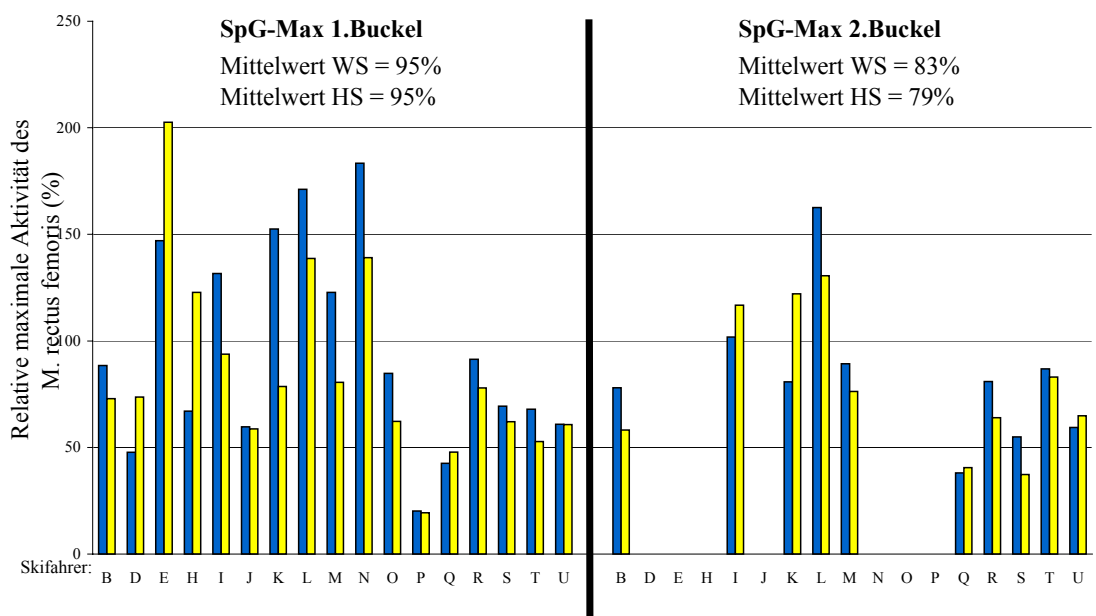


Abbildung 27: Relative maximale Aktivität des M. rectus femoris jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für ■ weichen Schuh und ■ harten Schuh.

Auffälligkeiten: Bei Betrachtung aller Muskeln (siehe Anhang) ist durchaus erkennbar, dass die Aktivierung der Muskeln auf unterschiedliche Weise durch die einzelnen Probanden erfolgte (z.B.: Fahrer B und M belasteten die ventrale und dorsale Wadenmuskulatur deutlich mehr als die anderen Fahrer. Fahrer K, L, Q aktivierten vorwiegend M. gluteus maximus und M. longissimus thoracis).

Die Muskelaktivität einiger Probanden lag beim überwiegenden Teil der Fahrten unterhalb des gemessenen MVC-Wertes. Bei anderen Läufern zeigten sich bei verschiedenen Muskeln dagegen wesentlich größere maximale Aktivitäten bei der Fahrt (bis zu 250 %), wobei diese Anspannungen nur in einem engen Zeitintervall von bis zu ca. 100 ms auftraten.

Mögliche Ursachen für diese Beobachtung werden im Kapitel 6 'Diskussion' behandelt.

In den darauffolgenden Diagrammen (Abbildung 28) ist der Anteil der Probanden in Prozent dargestellt, die über die willentliche Maximalkraft hinaus ihre Muskulatur im Intervall (GESAMT) aktivierten.

Sprunggelenks-Minimum erster Buckel:

	Weicher Schuh	Harter Schuh	Weicher Schuh	Harter Schuh
Unterschenkel	M. tibialis anterior		M. gastrocnemius	
Oberschenkel	M. rectus femoris		M. biceps femoris	
Gesäß	M. gluteus maximus			
Rumpf	M. rectus abdominis		M. longissimus thoracis	

Abbildung 28a.: Prozentualer Anteil der Probanden, die - zu den Zeitpunkten der Sprunggelenksextrémwerte - höhere Aktivitäten der einzelnen Muskeln bei der Fahrt aufweisen als bei der willentlichen Maximalkraftmessung

Probanden-Anteil über MVC, Probanden-Anteil unter MVC

Sprunggelenks-Maximum erster Buckel:

	Weicher Schuh	Harter Schuh	Weicher Schuh	Harter Schuh
Unterschenkel	M. tibialis anterior		M. gastrocnemius	
Oberschenkel	M. rectus femoris		M. biceps femoris	
Gesäß	M. gluteus maximus			
Rumpf	M. rectus abdominis		M. longissimus thoracis	

Abbildung 28b.: Prozentualer Anteil der Probanden, die - zu den Zeitpunkten der Sprunggelenksextrémwerte - höhere Aktivitäten der einzelnen Muskeln bei der Fahrt aufweisen als bei der willentlichen Maximalkraftmessung

Probanden-Anteil über MVC, Probanden-Anteil unter MVC

Sprunggelenks-Minimum zweiten Buckel:

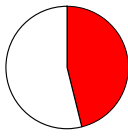
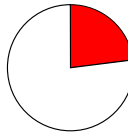
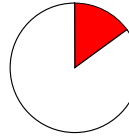
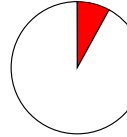
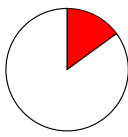
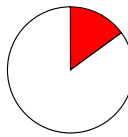
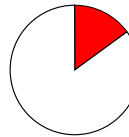
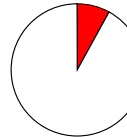
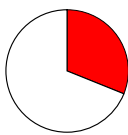
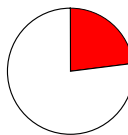
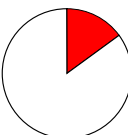
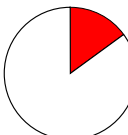
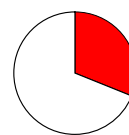
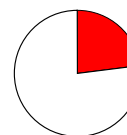


	Weicher Schuh	Harter Schuh	Weicher Schuh	Harter Schuh
Unterschenkel	M. tibialis anterior		M. gastrocnemius	
				
Oberschenkel	M. rectus femoris		M. biceps femoris	
				
Gesäß	M. gluteus maximus			
				
Rumpf	M. rectus abdominis		M. longissimus thoracis	
				

Abbildung 28c.: Prozentualer Anteil der Probanden, die - zu den Zeitpunkten der Sprunggelenksextrmwerte - höhere Aktivitäten der einzelnen Muskeln bei der Fahrt aufweisen als bei der willentlichen Maximalkraftmessung

 Probanden-Anteil über MVC,  Probanden-Anteil unter MVC

Sprunggelenks-Maximum zweiten Buckel:

	Weicher Schuh	Harter Schuh	Weicher Schuh	Harter Schuh
Unterschenkel	M. tibialis anterior		M. gastrocnemius	
Oberschenkel	M. rectus femoris		M. biceps femoris	
Gesäß	M. gluteus maximus			
Rumpf	M. rectus abdominis		M. longissimus thoracis	

Abbildung 28d.: Prozentualer Anteil der Probanden, die - zu den Zeitpunkten der Sprunggelenksextrémwerte - höhere Aktivitäten der einzelnen Muskeln bei der Fahrt aufweisen als bei der willentlichen Maximalkraftmessung

Probanden-Anteil über MVC, Probanden-Anteil unter MVC

5.4. Vergleichende Analyse zwischen Muskelaktivitäten und Körperwinkel

In dem Kapitel werden die registrierten Muskelaktivitäten mit den beobachteten Bewegungen in Bezug gesetzt. Letztere entstammen der von Kampe durchgeführten 2D-Bewegungsanalysen. Es wird nur auf die Ergebnisse der 2D-Bewegungsanalyse eingegangen, soweit es für die EMG-Datenanalyse notwendig ist. Für die hier durchgeführte Betrachtung von Bedeutung sind Sprunggelenks-, Kniegelenks- und Hüftgelenkwinkel. Die Analyse schlüsselt nach den bekannten vier Sprunggelenks-Extrempositionen auf.

Die Ergebnisse der 2D-Bewegungsanalyse sind bei Kampe in ausführlicher Form zu finden.

Genauere Aufschlüsselung der EMG-Daten des gesamten Kapitels siehe Anhang.

In der folgenden Abbildung 29 sind die Gelenkwinkeländerungen sowie die Änderungen der mittleren Muskelaktivität in der zeitlichen und örtlichen Reihenfolge ihres Auftretens dargestellt. In den Kapiteln 5.4.1. bis 5.4.4. werden darüber hinaus die Änderungen anderer Parameter (z.B. die der Maximalwerte) graphisch dargestellt und erläutert.

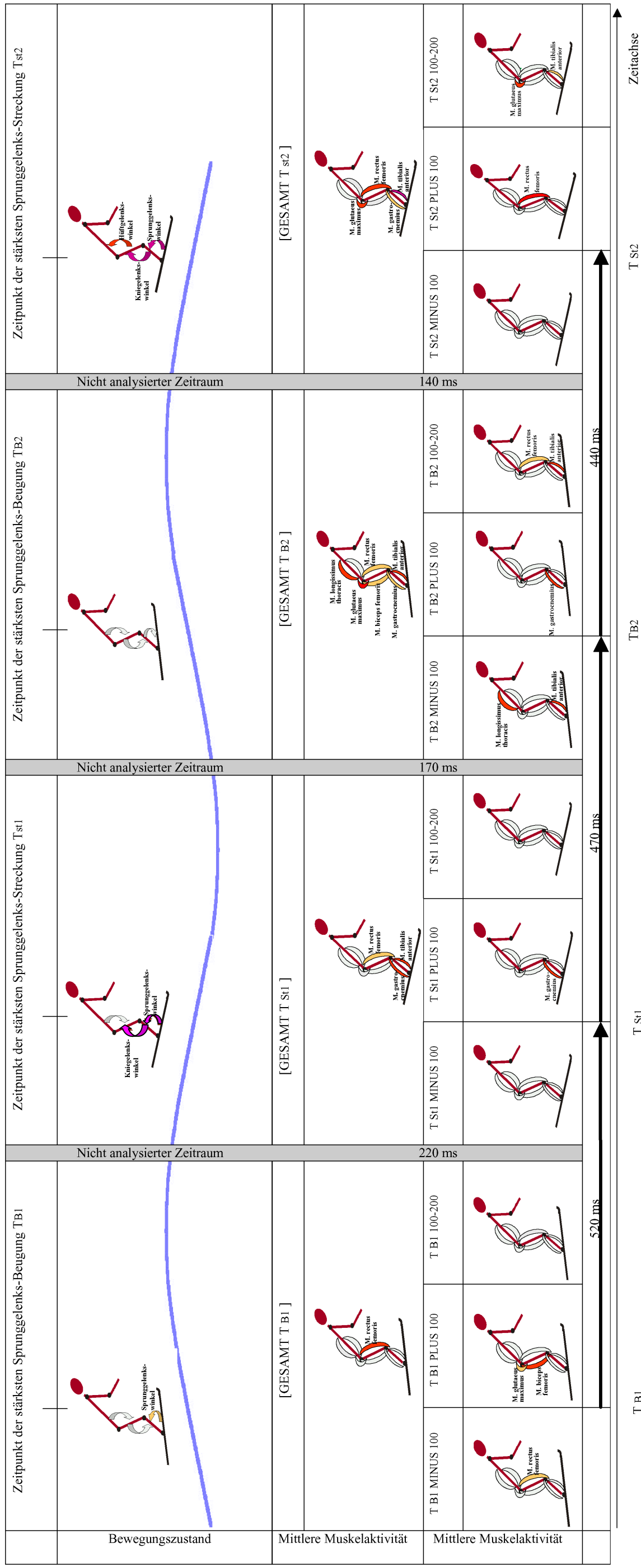


Abbildung 29: Übersicht über die zeitliche und örtliche Reihenfolge des Bewegungszustandes und der mittleren Muskelaktivitäten

Die Muskeln zeigen mit weichem Schuh im Vergleich zum

harten Schuh

- Tendenz zu mehr mittlerer Aktivität
- Signifikant mehr mittlere Aktivität
- Hoch-Signifikant mehr mittlere Aktivität
- Tendenz zu weniger mittlerer Aktivität
- Signifikant weniger mittlere Aktivität
- Hoch-Signifikant weniger mittlere Aktivität
- Kein Unterschied

5.4.1. Aktivitäten zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem ersten Buckel

Zusammenfassendes Ergebnis der Bewegungsanalyse: Bei keinem der drei Körperwinkel (SpG, Knie, Hüfte) ergibt sich ein signifikanter Unterschied zwischen hartem und weichem Schuh. Eine Tendenz ist lediglich zu einer geringeren Sprunggelenksdorsalflexion mit weichem Schuh feststellbar. (siehe Abbildung 30)

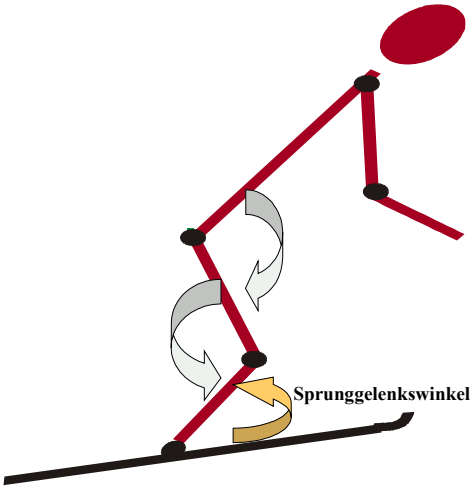
Bewegungszustand
TB1= Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung

Die Gelenkwinkel zeigen mit weichem Schuh im Vergleich zum harten Schuh
<ul style="list-style-type: none"> Tendenz zu weniger Flexion Signifikant weniger Flexion Hoch-Signifikant weniger Flexion Tendenz zu mehr Flexion Signifikant mehr Flexion Hoch-Signifikant mehr Flexion Kein Unterschied

Abbildung 30: Gelenkwinkel bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am ersten Buckel.

Zusammenfassung der EMG-Ergebnisse

Intervall (GESAMT TB1):

Beim Fahren mit dem weichen Schuh zeigten 12 Skifahrer über den gesamten betrachteten Zeitraum geringfügig weniger Aktivierung des M. tibialis anterior als bei der Fahrt mit dem harten Schuh, was die Tendenz zur geringeren Sprunggelenksbeugung erklären würde.

Der M. rectus femoris ist signifikant maximal und im Mittel mehr aktiviert beim weichen Schuh. Weiter ergeben sich signifikant „größere Muskelaktivitätsspannen“ mit dem weichen Schuh. Der M. longissimus thoracis wird zu einem Zeitpunkt in diesem Zeitintervall tendenziell mehr entspannt beim Fahren mit dem weichen Schuh.

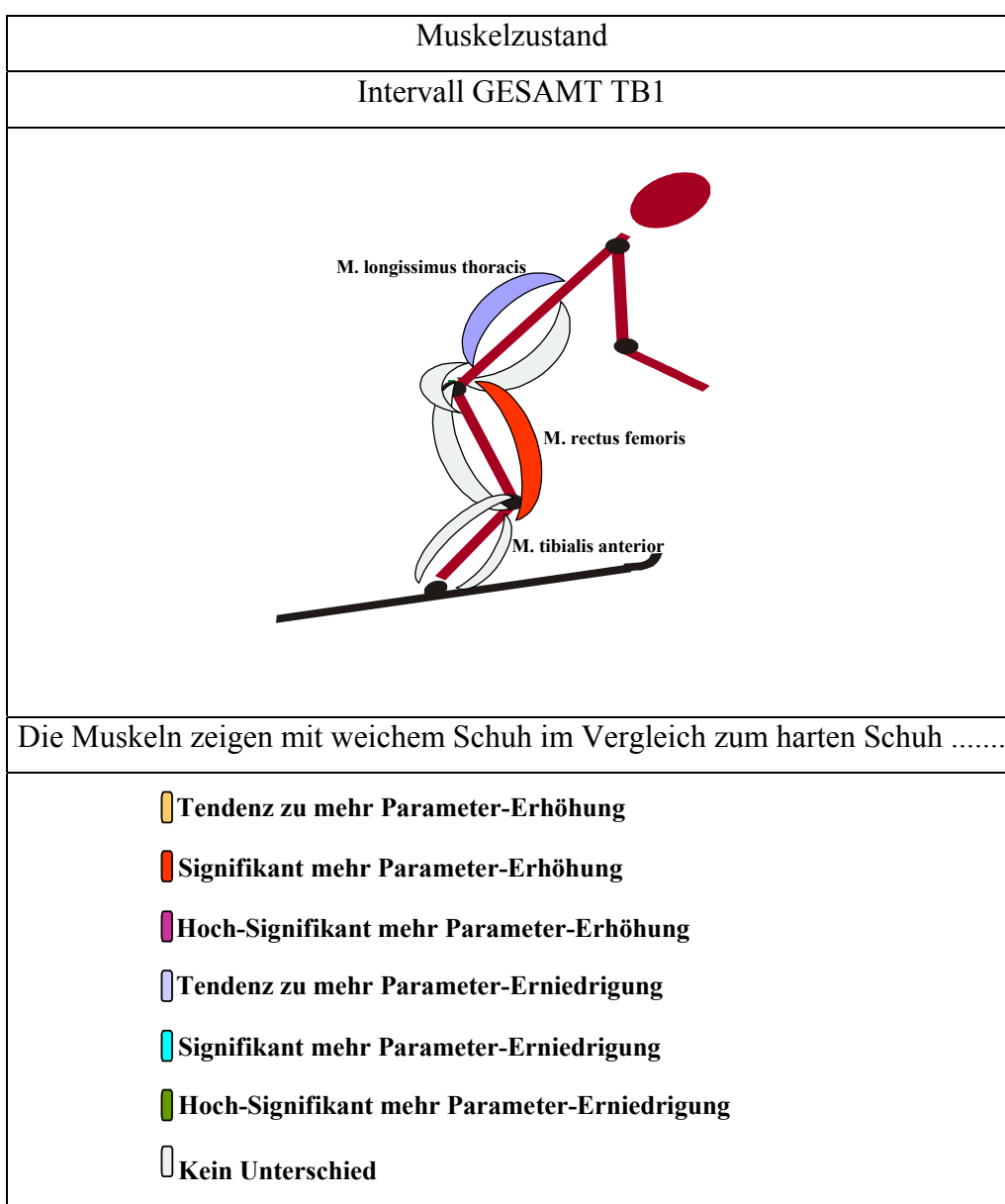


Abbildung 31: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am ersten Buckel im Intervall (GESAMT).

Intervall (TB1 MINUS 100):

In der EMG-Auswertung zeigt sich bei 2/3 der Probanden eine Erniedrigung der maximalen Muskelaktivität des M. longissimus thoracis bei den Fahrten mit dem weichen Schuh.

Bei ca. 2/3 der Probanden liegen die Mittelwerte des M. tibialis anterior, M. rectus abdominis und des M. rectus femoris (der sogar tendenziell) höher bei der Benutzung des weichen Schuhs.

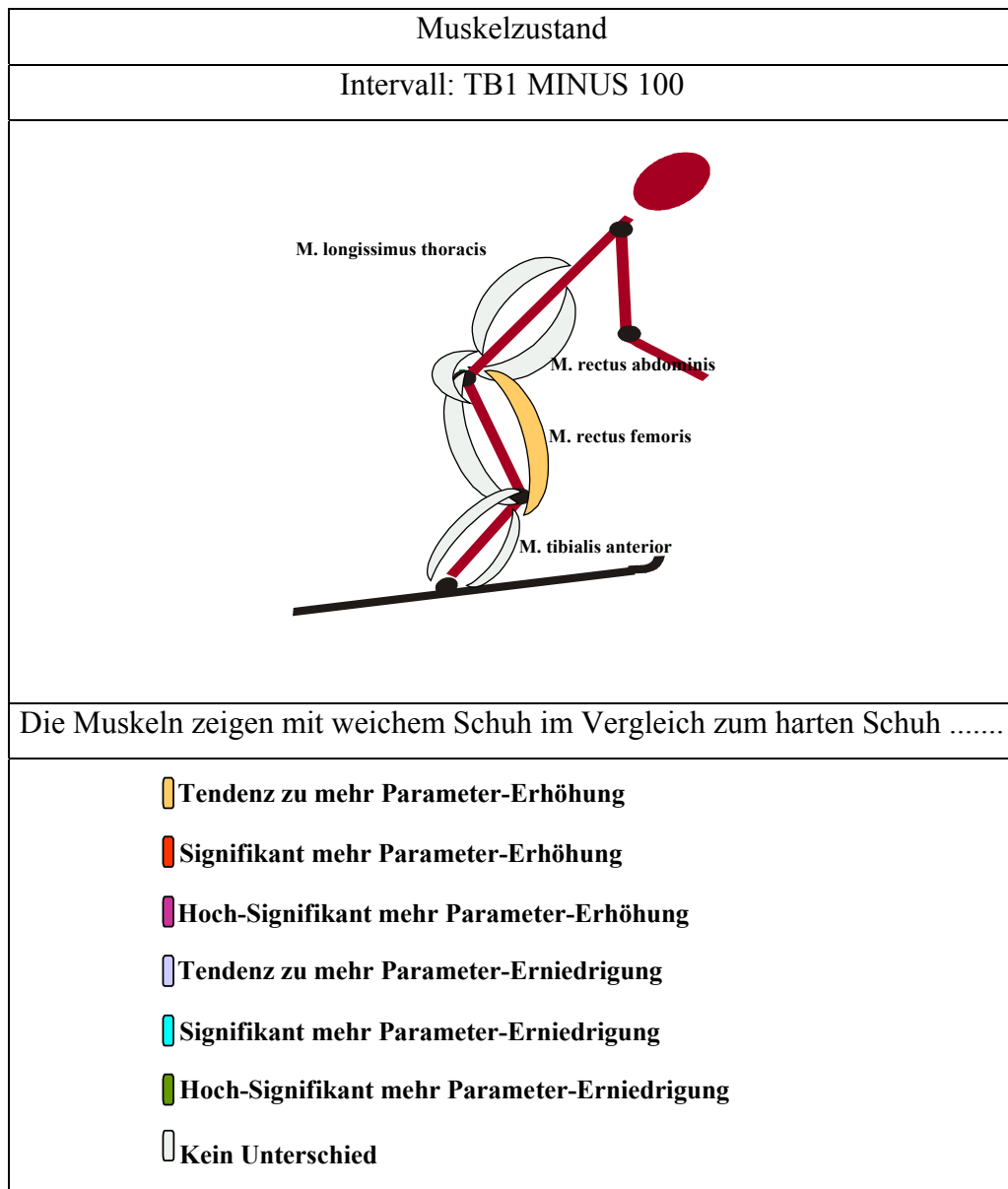


Abbildung 32: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am ersten Buckel im Intervall (T MINUS 100).

Intervall (TB1 PLUS 100):

Der M. biceps femoris ist bei der Benutzung des weichen Schuhs im Mittel signifikant geringgradig mehr angespannt als bei der Benutzung des harten Vergleichsschuhs. Beim M. gluteus maximus zeigt sich tendenziell sowohl im Mittel als auch im Absoluten eine deutliche Erhöhung der Muskelaktivität.

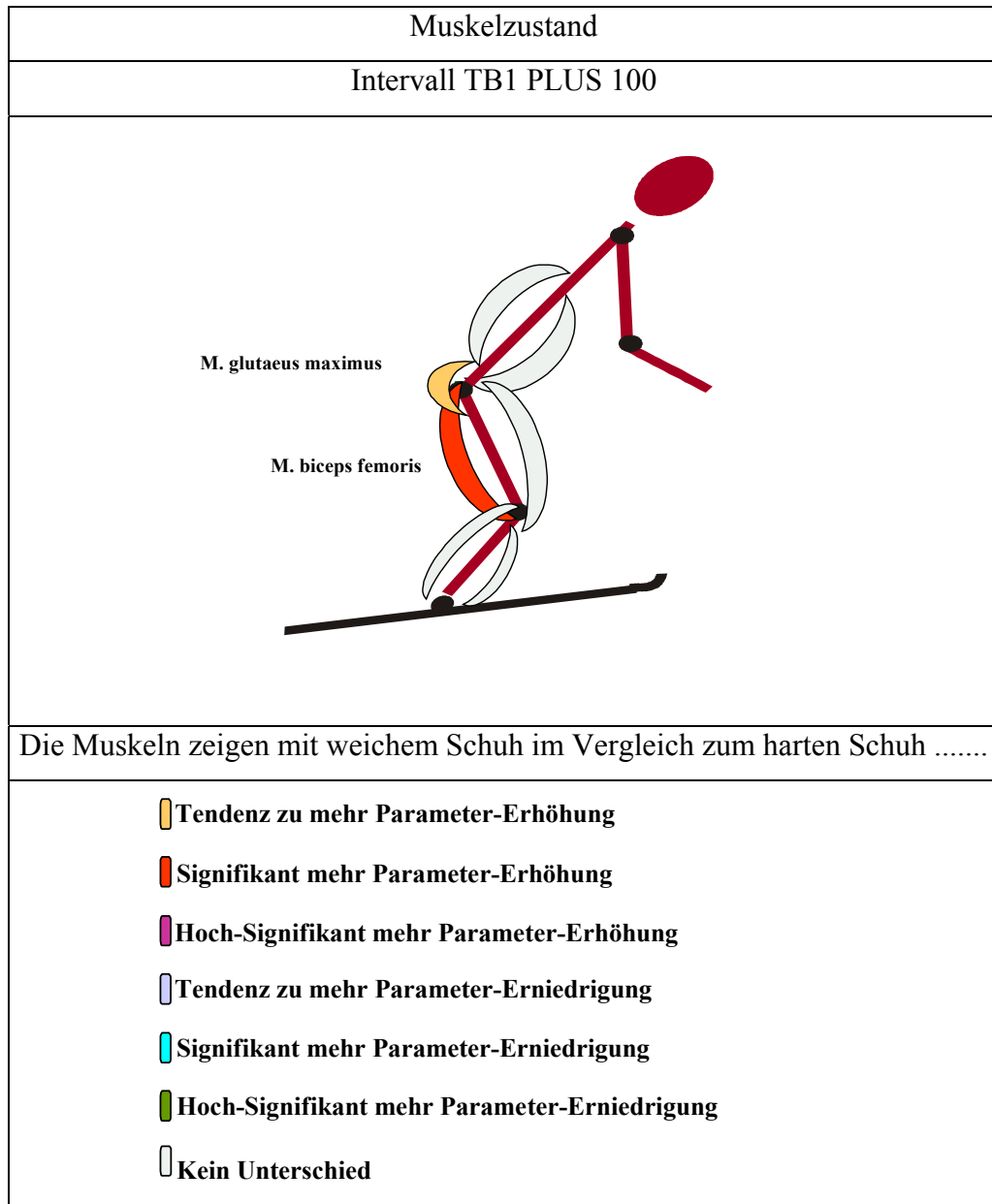


Abbildung 33: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am ersten Buckel im Intervall (T PLUS 100).

Intervall (TB1 100-200):

In diesem Zeitintervall zeigt nur der M. rectus femoris eine tendenziell erhöhte maximale Muskelaktivität beim Benutzen des weichen Testschuhs.

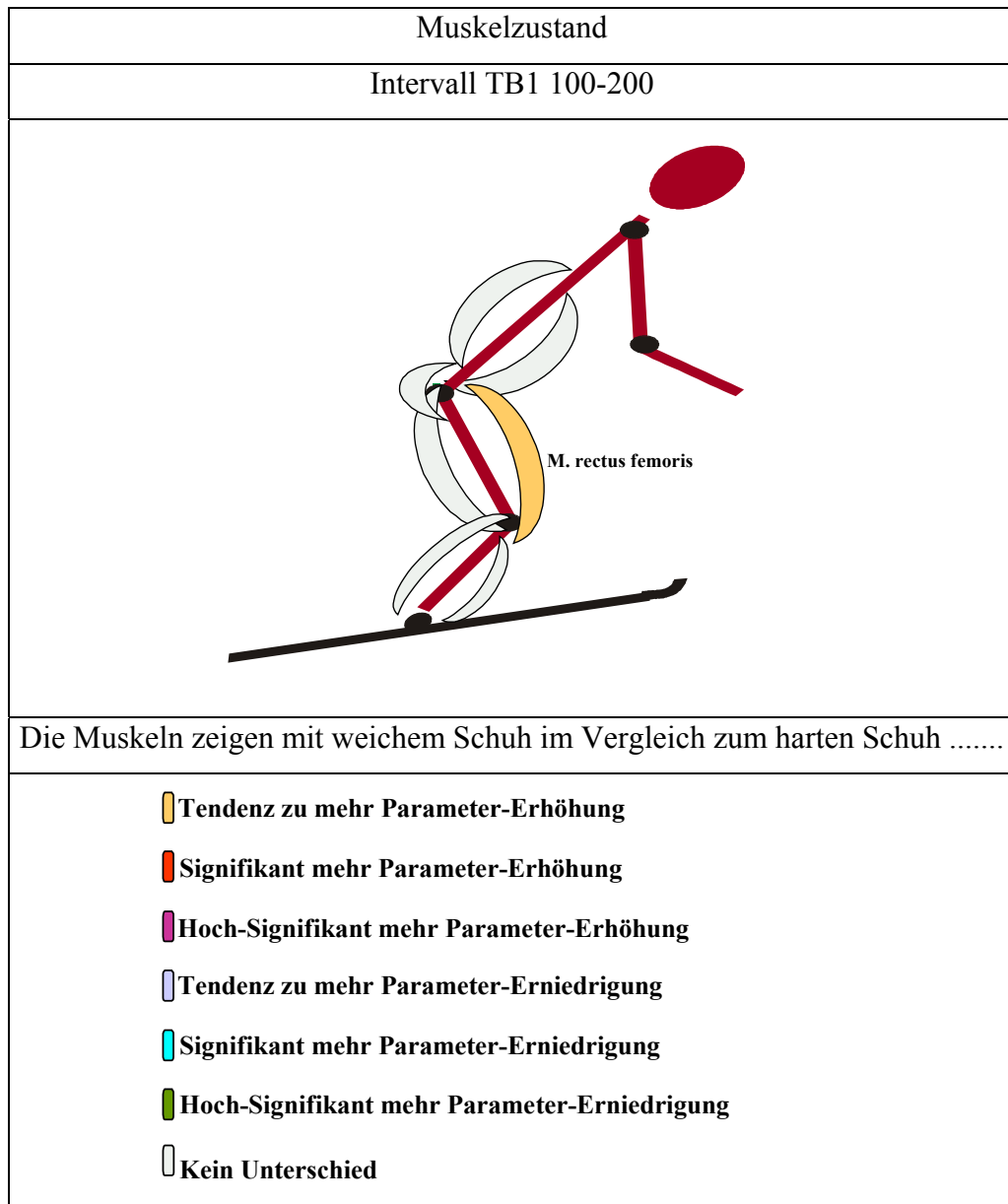


Abbildung 34: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am ersten Buckel im Intervall (T 100-200).

5.4.2. Aktivitäten zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem ersten Buckel

Zusammenfassende Beurteilung der Bewegungsanalyse: In einer zusammenfassenden Beurteilung der Betrachtung der Körperwinkel zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem ersten Buckel im Vergleich zwischen den Fahrten mit dem weichen und dem harten Schuh lässt sich folgender Schluss ziehen:

Die Testfahrer zeigen mit dem weichen Schuh (siehe Abbildung 35):

- 1. eine hochsignifikant ausgeprägtere Extension im Sprunggelenk,**
- 2. eine hochsignifikant ausgeprägtere Extension im Kniegelenk,**
- 3. keine wesentliche Veränderung im Hüftgelenkwinkel.**

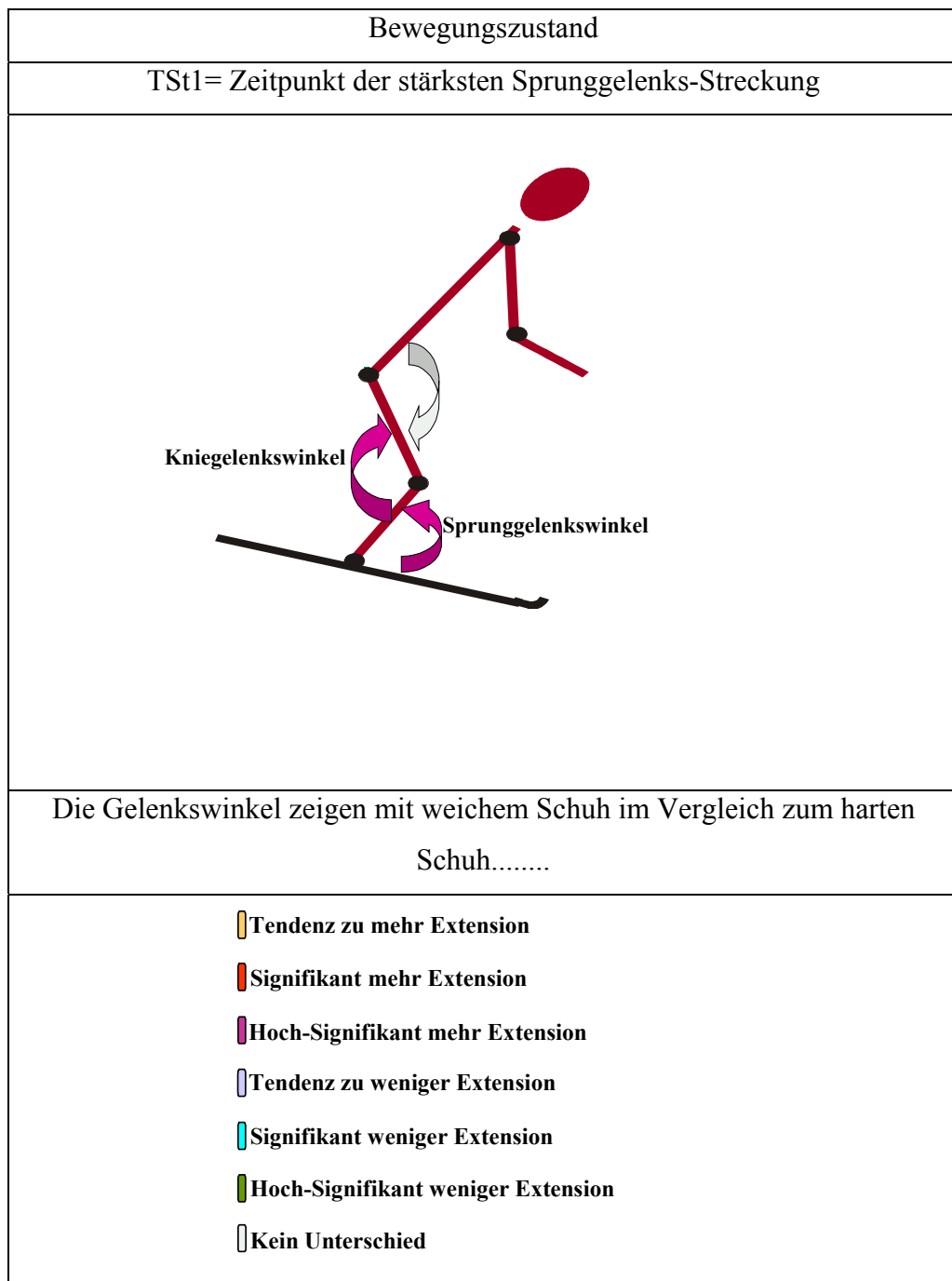


Abbildung 35: Gelenkwinkel bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am ersten Buckel.

Zusammenfassung der EMG-Ergebnisse

Intervall (GESAMT T St1):

In allen Muskelgruppen der unteren Extremitäten ist im Intervall (GESAMT) eine deutliche zum Teil sogar signifikante Erhöhung der Muskelaktivität beim Fahren mit dem weichen Testschuh gegenüber dem Benutzen des harten Vergleichsschuhs vorhanden. Im M. tibialis anterior bleibt die Entlastung der Muskelaktivität beim weichen Schuh geringer als beim harten, der mittlere Muskeltonus ist signifikant erhöht und auch das Zeitintervall hoher Muskelanspannungen ist bei 2/3 der Probanden verlängert. Der M. rectus femoris zeigen deutliche Tendenzen zu Erhöhung des Muskeltonusmittelwertes und eine signifikante Anhebung des Maximums der Muskelanspannung. Der M. rectus femoris hat außerdem ein tendenziell angehobenes Minimum, d.h. keine so starke Muskelentspannung beim Fahren mit dem weichen Schuh. Der M. gastrocnemius hat ein signifikant erhöhte mittlere Aktivität. Auch beim M. biceps femoris wird bei Benutzung des weichen Testschuhs die allgemeine Muskelaktivität meist angehoben. Das Maximum und der Unterschied zwischen maximaler und minimaler Muskelaktivität des M. gluteus maximus ist signifikant mit dem weichen Schuh erhöht.

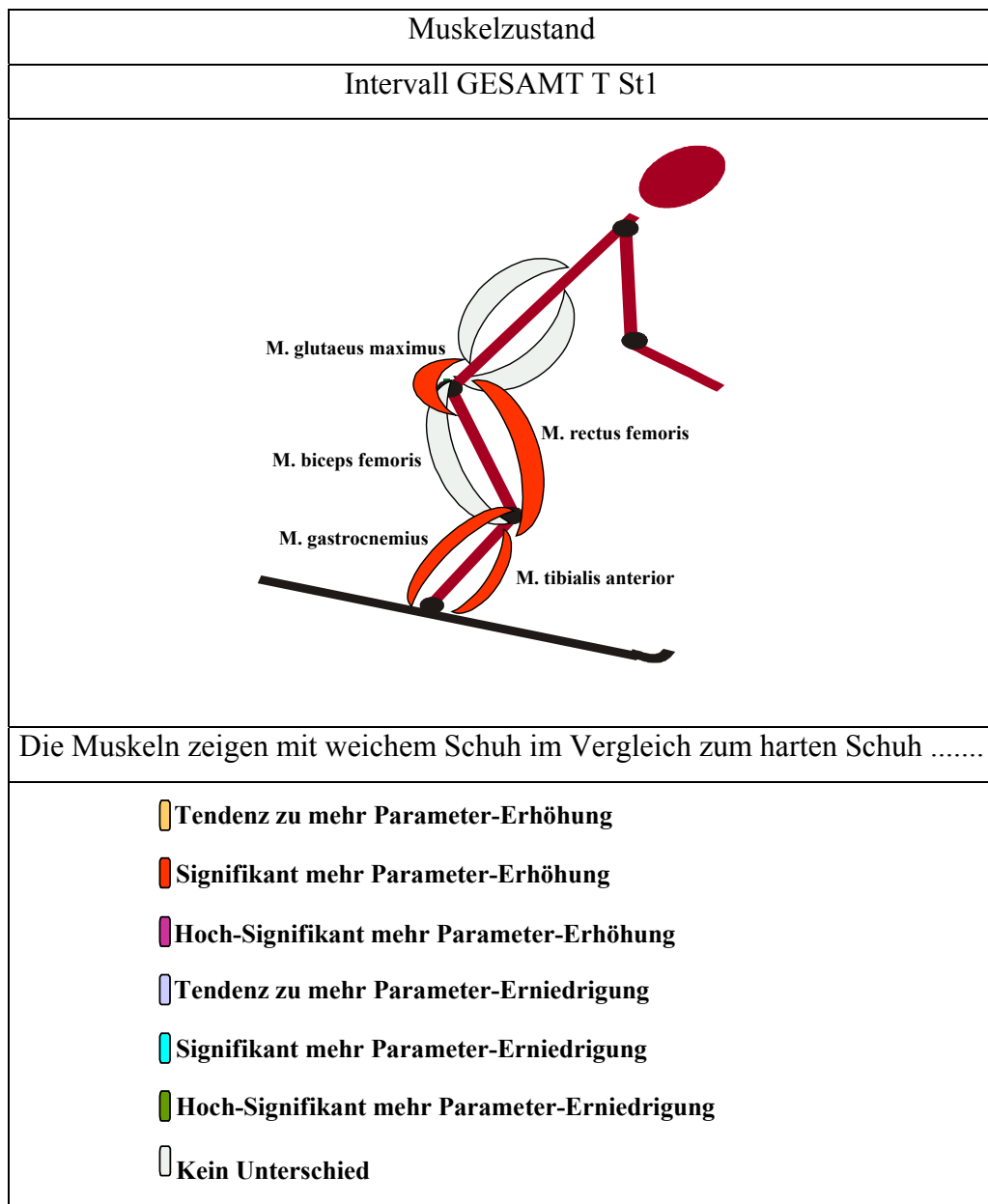


Abbildung 36: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am ersten Buckel im Intervall (GESAMT).

Intervall (T St1 MINUS 100):

Es sind keine deutlichen Unterschiede vorhanden.

Intervall (T St1 PLUS 100):

Im M. gastrocnemius ist signifikant bei den Skifahrern eine mittlere Muskelaktivitätserhöhung bei den Fahrten mit dem weichen Schuh festzustellen und erkennbar, dass das Maximum der Muskelanspannung bei den meisten Probanden ansteigt. Bei signifikant vermehrter Streckung des Sprunggelenks bleibt unmittelbar nach der maximalen Streckung eine signifikante Erhöhung der mittleren Muskelaktivität.

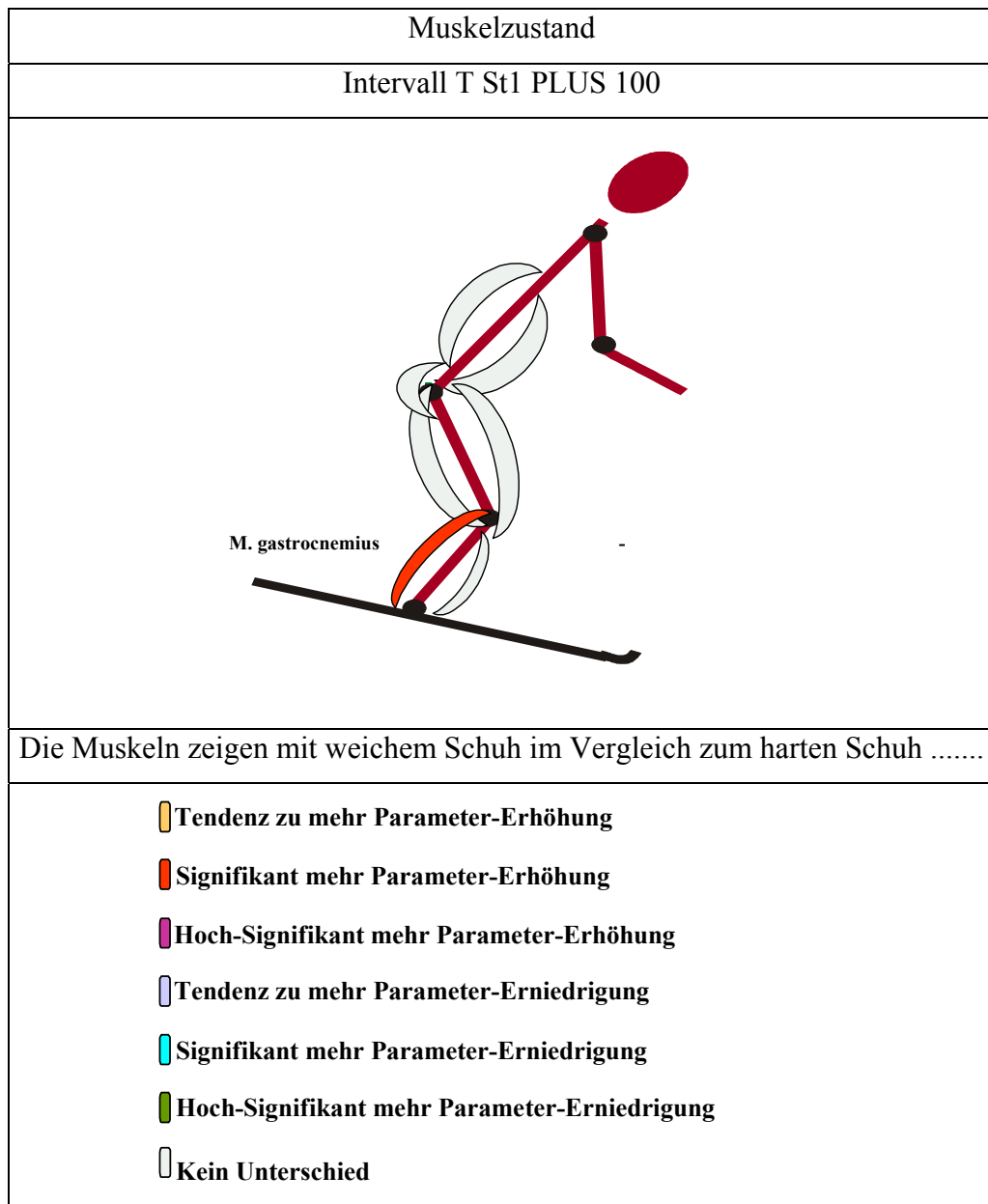


Abbildung 37: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am ersten Buckel im Intervall (T PLUS 100).

Intervall (T St1 100-200): Es sind keine deutlichen Unterschiede vorhanden.

5.4.3. Aktivitäten zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem zweiten Buckel

Zusammenfassende Beurteilung der Bewegungsanalyse: Die Bewegungsanalyse ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen hartem und weichem Schuh.

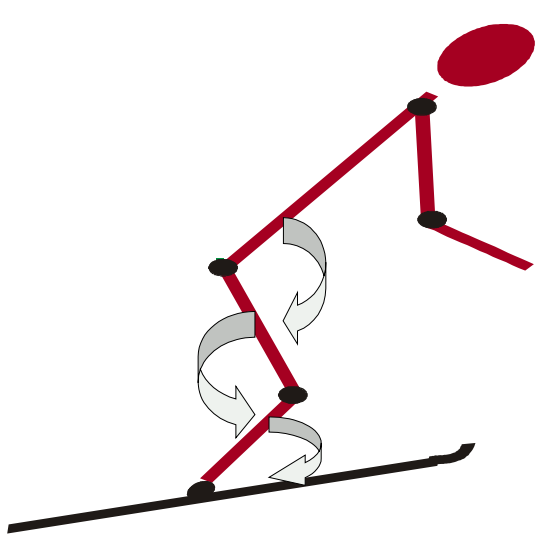
Bewegungszustand
TB2= Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung

Die Gelenkwinkel zeigen mit weichem Schuh im Vergleich zum harten Schuh
<ul style="list-style-type: none"> Tendenz zu weniger Flexion Signifikant weniger Flexion Hoch-Signifikant weniger Flexion Tendenz zu mehr Flexion Signifikant mehr Flexion Hoch-Signifikant mehr Flexion Kein Unterschied

Abbildung 38: Gelenkwinkel bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am zweiten Buckel.

Zusammenfassung der EMG-Ergebnisse

Intervall (GESAMT T B2):

Der M. tibialis anterior zeigt tendenziell eine stärkere maximale Belastung und signifikant eine höhere durchschnittliche Belastung bei der Fahrt mit dem weichen Testschuh. Auch sinkt bei diesem Muskel die Muskelaktivität tendenziell geringer auf ihr Minimum ab bei der Fahrt mit dem weichen Schuh. Außerdem zeigen $\frac{3}{4}$ der Probanden einen größeren Wechsel zwischen Belastung und Entlastung des Muskels, was eine Tendenz darstellt. Auch der M. gastrocnemius ist tendenziell im Durchschnitt und bei der größten Entlastung mehr aktiviert als bei den Fahrten mit dem harten Schuh. Der M. rectus femoris ist bei den Fahrten mit dem weichen Schuh tendenziell im Mittel und maximal größeren Belastungen ausgesetzt. Außerdem ist die Schwankungsbreite der Aktivität vergrößert. Der M. biceps femoris ist ebenfalls größeren Aktivitätsschwankungen und im Mittel tendenziell wesentlich größeren Belastungen unterworfen. Der M. gluteus maximus ist hoch-signifikant in der maximalen Aktivierung und in der Schwankungsbreite wesentlich erhöht. Außerdem zeigt sich eine Signifikanz in der durchschnittlichen Aktivität zu höheren Werten. In den angegebenen Bereichen werden hoch-signifikant mehr Muskelaktivitätsschwankungen registriert. Weiter tritt signifikant die maximale Anspannung früher auf bei den Fahrten mit dem weichen Schuh. Der M. longissimus thoracis ist tendenziell stärkeren Aktivitätsschwankungen und einer geringeren Entspannung ausgesetzt bei der Fahrt mit dem weichen Schuh und dabei ist er signifikant im Durchschnitt stärker aktiviert. Auch hier wird beobachtet, dass das Maximum der Anspannung mit dem weichen Schuh tendenziell eher erreicht wird.

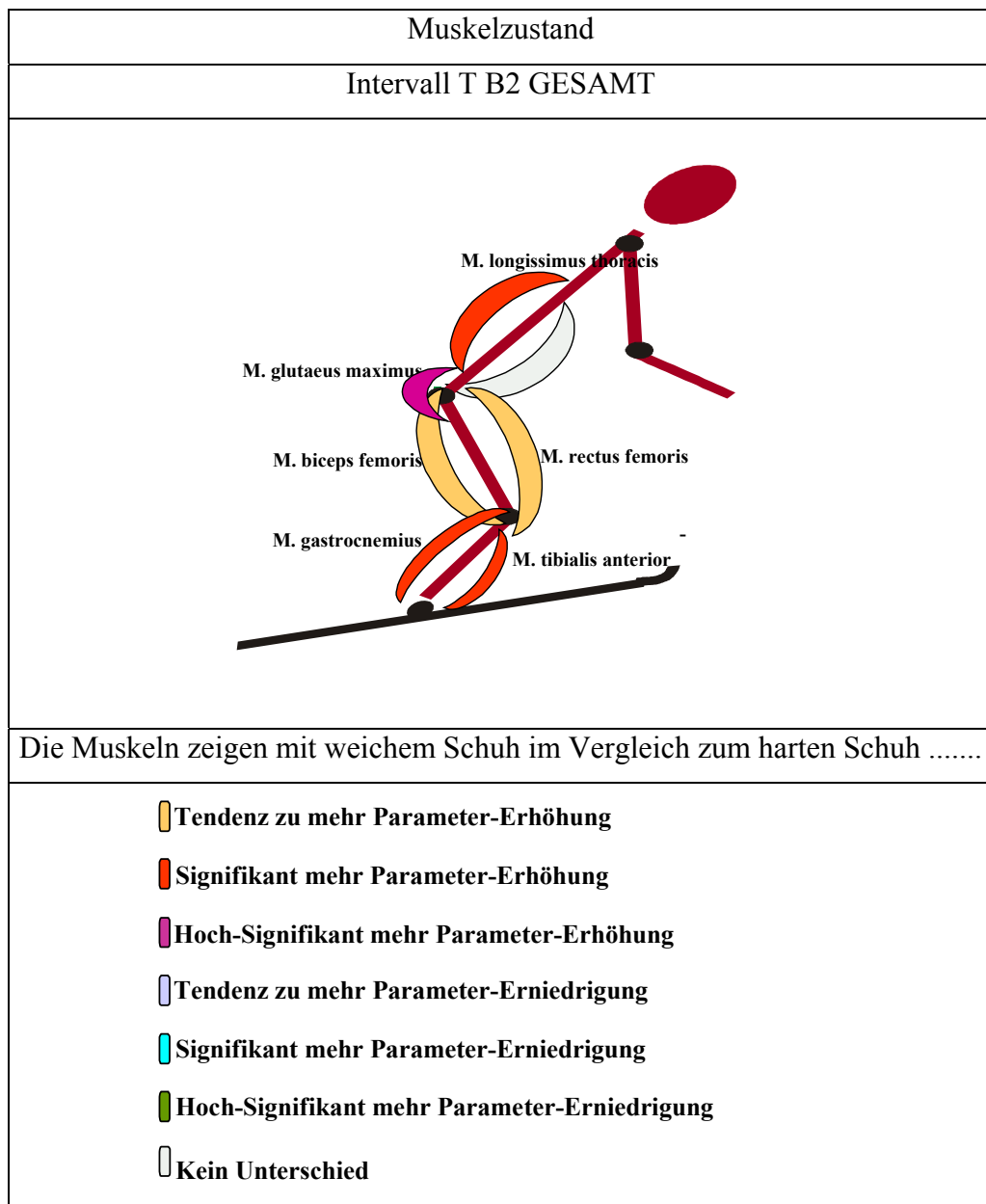


Abbildung 39: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am zweiten Buckel im Intervall (GESAMT).

Intervall (T B2 MINUS 100):

In diesem Zeitintervall tritt am M. tibialis anterior beim Fahren mit dem weichen Testschuh signifikant eine größere maximale und mittlere Muskelaktivität auf als beim Fahren mit dem harten Vergleichsschuh.

Beim M. longissimus thoracis ist die durchschnittliche Muskelaktivität mit dem weichen Testschuh signifikant höher als beim Vergleichsschuh. Außerdem zeigt sich beim Fahren mit dem weichen Testschuh meistens eine größere maximale Muskelaktivität als beim Fahren mit dem Vergleichsschuh.

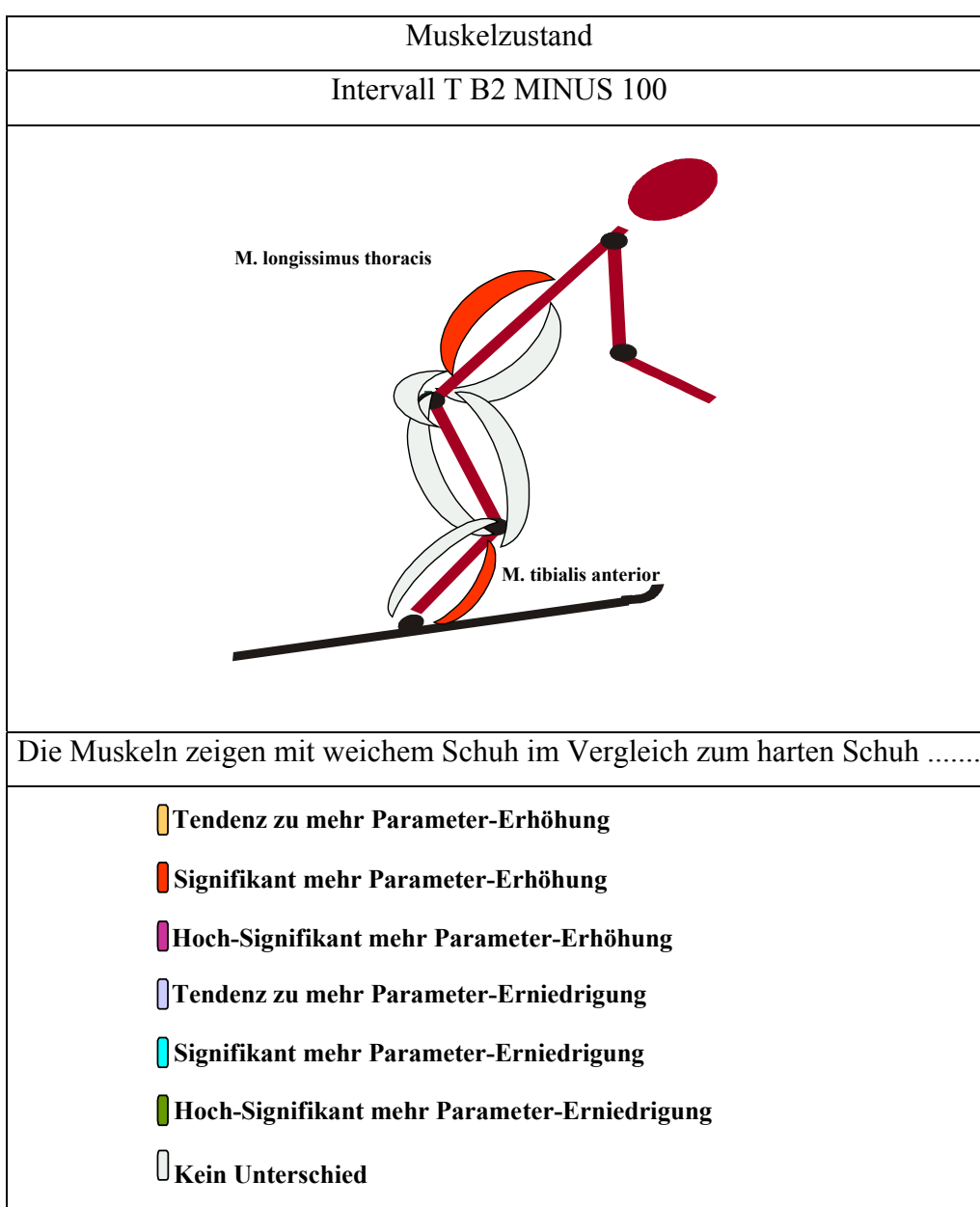


Abbildung 40: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am zweiten Buckel im Intervall (T MINUS 100).

Intervall (T B2 PLUS 100):

Beim M. gastrocnemius ist die durchschnittliche Muskelbeanspruchung mit dem weichen Testschuh signifikant höher als beim Vergleichsschuh. Außerdem hat der Muskel beim Fahren mit dem weichen Testschuh tendenziell eine größere maximale Muskelaktivität als beim Fahren mit dem Vergleichsschuh.

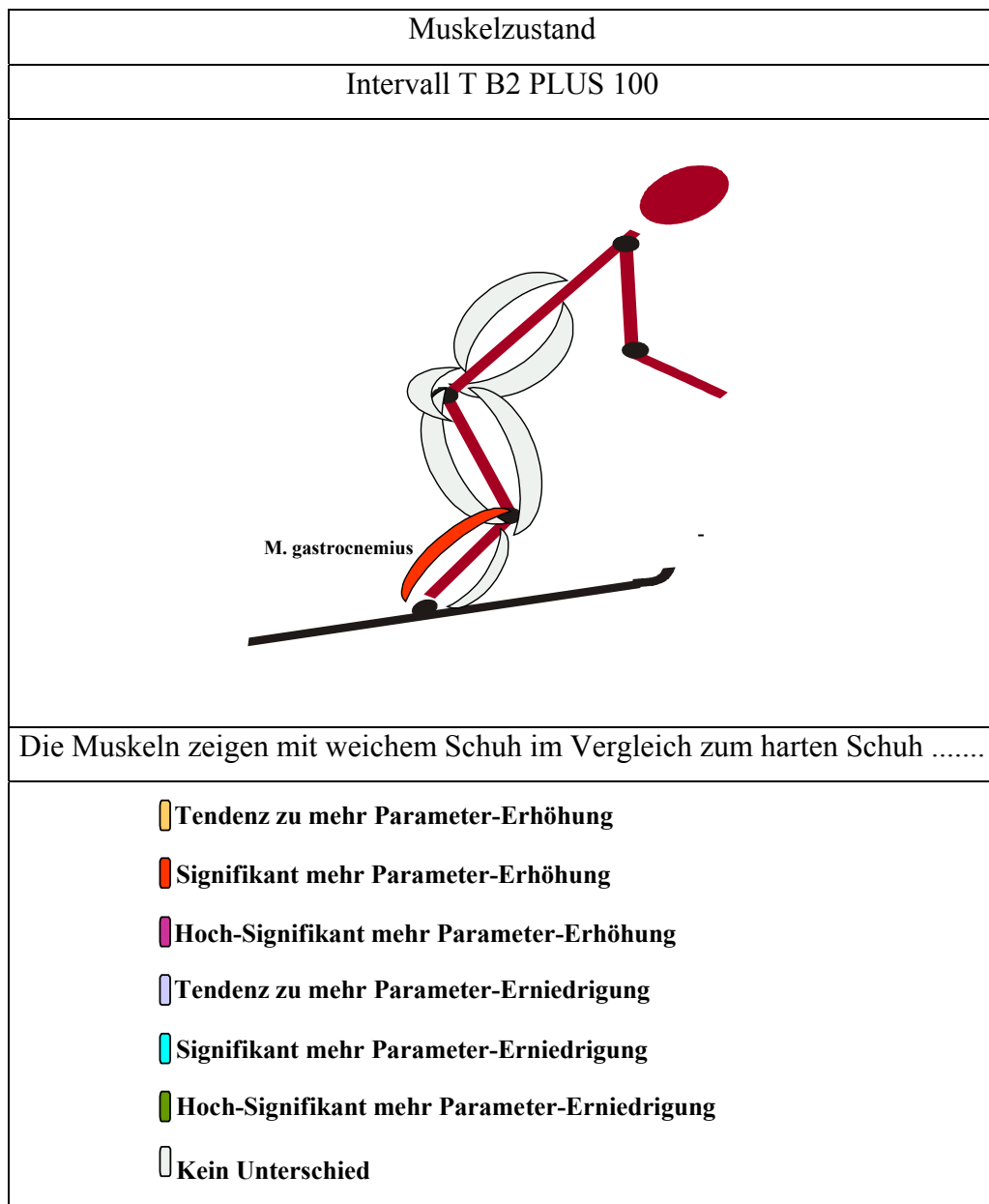


Abbildung 41: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am zweiten Buckel im Intervall (T PLUS 100).

Intervall (T B2 100-200):

Der M. tibialis anterior erreicht tendenziell bei der Fahrt mit dem weichen Schuh einen höheren absoluten Aktivierungsgrad und im Mittel eine signifikante Aktivitätsanhebung gegenüber den Fahrten mit dem Vergleichsschuh. Der M. rectus femoris wird tendenziell absolut und im Mittel stärker beansprucht beim Benutzen des weichen Testschuhs als bei der Benutzung des harten Vergleichsschuhs.

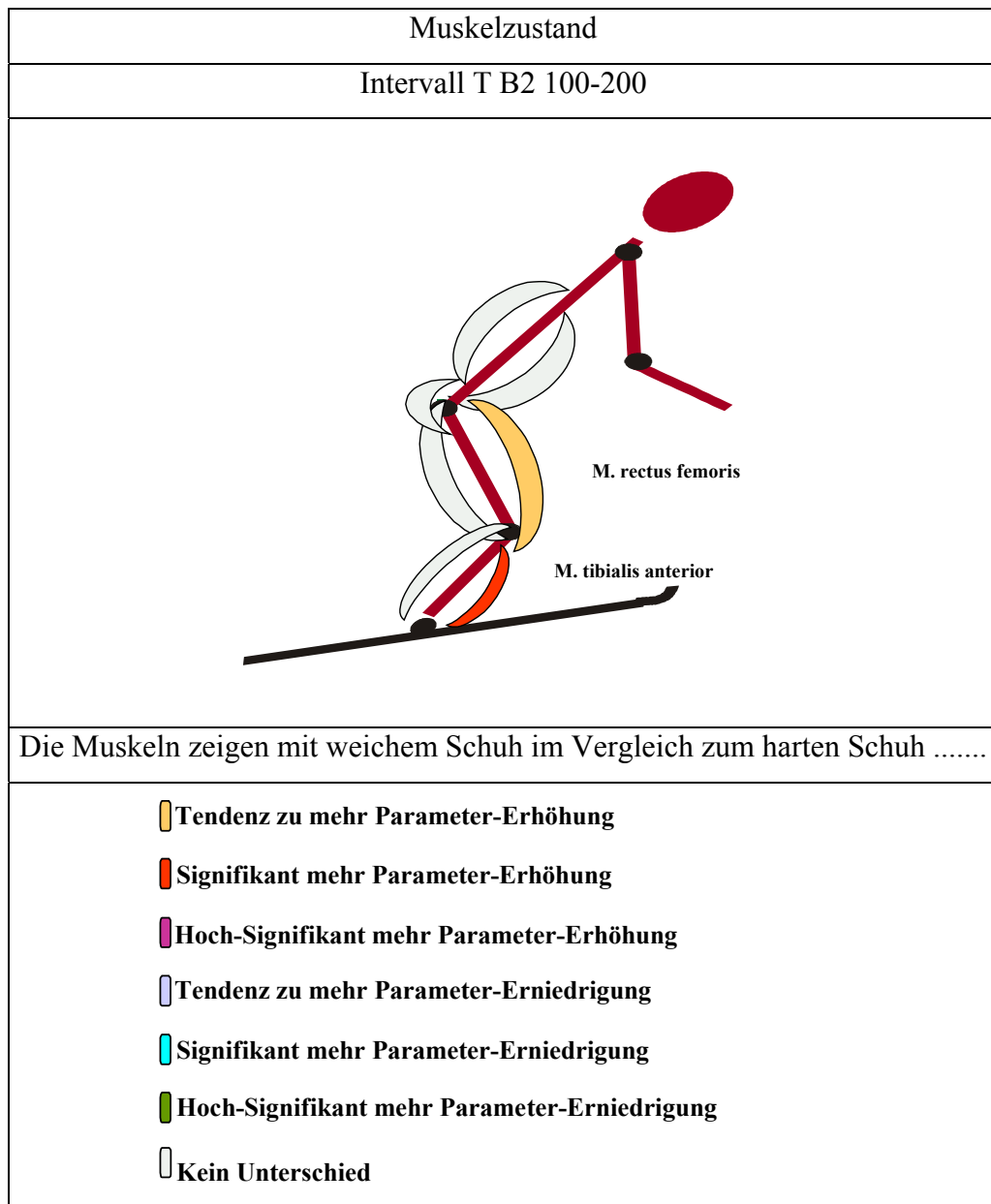


Abbildung 42: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksbeugung am zweiten Buckel im Intervall (T 100-200).

5.4.4. Aktivitäten zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem zweiten Buckel

Zusammenfassende Beurteilung der Bewegungsanalyse: Aus dem Vergleich der Fahrpositionen mit dem weichen und dem harten Schuh zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenkwinkel auf dem zweiten Buckel lässt sich folgendes Resümee ziehen:

- 1. hoch-signifikant mehr Extension im Sprunggelenk,**
- 2. hoch-signifikant mehr Extension im Kniegelenk,**
- 3. signifikant erhöhte Hüftextension.**

bei den Fahrten mit dem weichen Schuh.

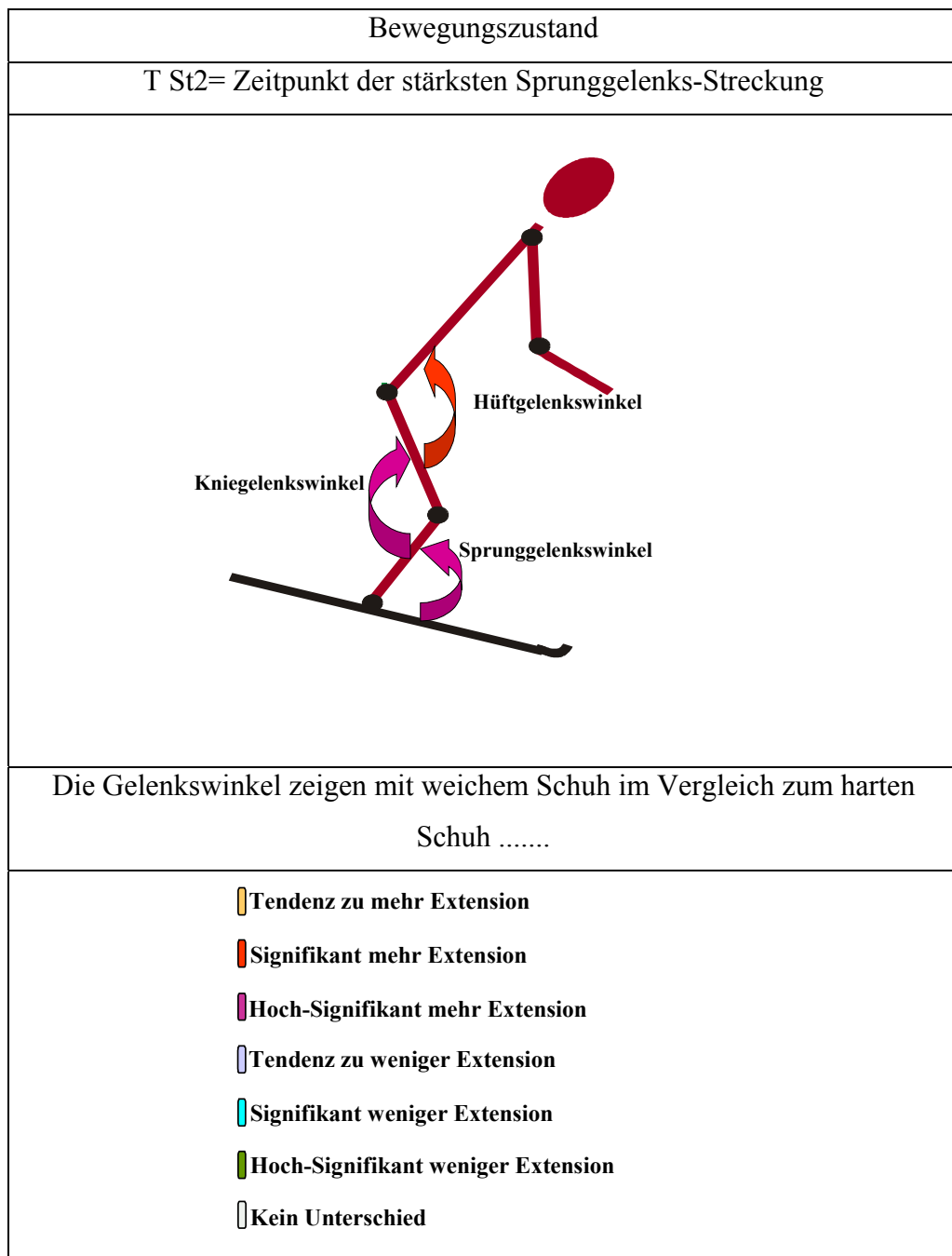


Abbildung 43: Gelenkwinkel bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am zweiten Buckel.

Zusammenfassung der EMG-Ergebnisse:

Intervall T St2 (GESAMT):

M. tibialis anterior zeigt signifikant erhöhte mittlere Muskelaktivität mit größeren Schwankungen. In der maximalen Anspannung ist eine Tendenz zur Erhöhung vorhanden. Auch ist bei M. tibialis anterior die maximale Aktivierung hoch-signifikant verlängert. M. gastrocnemius zeigt signifikant geringere Entspannung und tendenziell einen höheren Mittelwert. Auch treten bei diesem Muskel bei den meisten Fahrern größere Schwankungen mit weichem Schuh auf. Der M. rectus femoris hat stärkere mittlere (signifikant) und minimale Anspannung bei länger dauernder maximaler Belastung (signifikant). Auch bei M. biceps femoris ist die maximale Muskelaktivierung signifikant verlängert. Der M. rectus abdominis hat tendenziell mit weichem Schuh wesentlich stärkere und häufigere Schwankungen der Muskelanspannungen. Signifikant weist der M. gluteus maximus im Maximum und im Mittelwert der Muskelaktivität höhere Werte auf, die Schwankungsbreite der Muskelanspannung ist bei den meisten Fahrern erhöht und auch die Schwankungshäufigkeit im Vergleich zum harten Schuh.

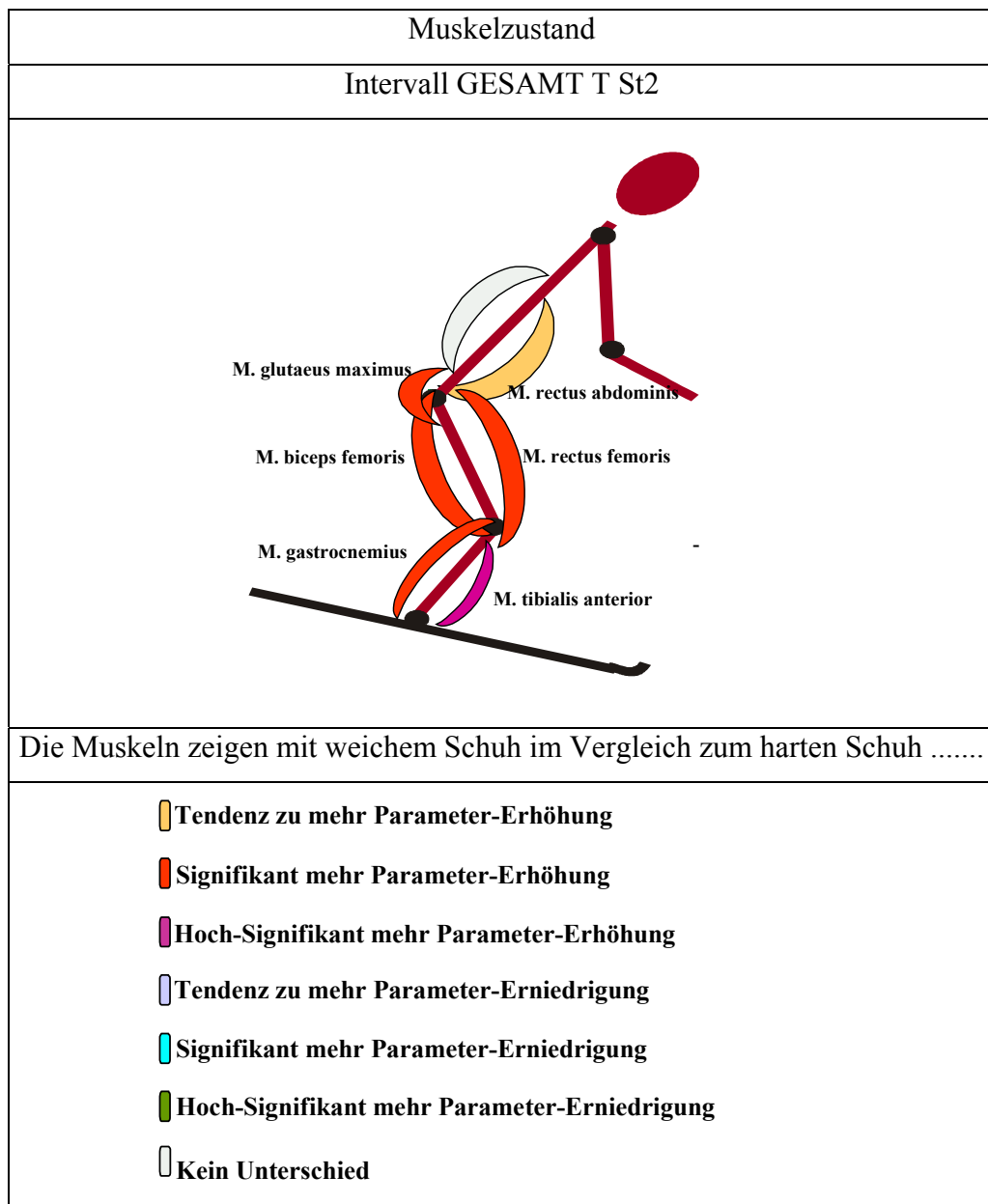


Abbildung 44: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am zweiten Buckel im Intervall (GESAMT).

Intervall (T St2 MINUS 100)

Es sind keine deutlichen Unterschiede vorhanden.

Intervall (T St2 PLUS 100):

Wie schon beim ersten Buckel, allerdings jetzt nicht signifikant, weisen die meisten Fahrer beim M. gastrocnemius im Mittelwert eine Anhebung der Aktivität beim Benutzen des weichen Schuhs auf.

Außerdem zeigt sich am zweiten Buckel eine hoch-signifikante Erhöhung der maximalen muskulären Anspannung des M. rectus femoris bei den Fahrten mit dem weichen Schuh und eine signifikante Anhebung des mittleren Muskeltonus dieses Muskels.

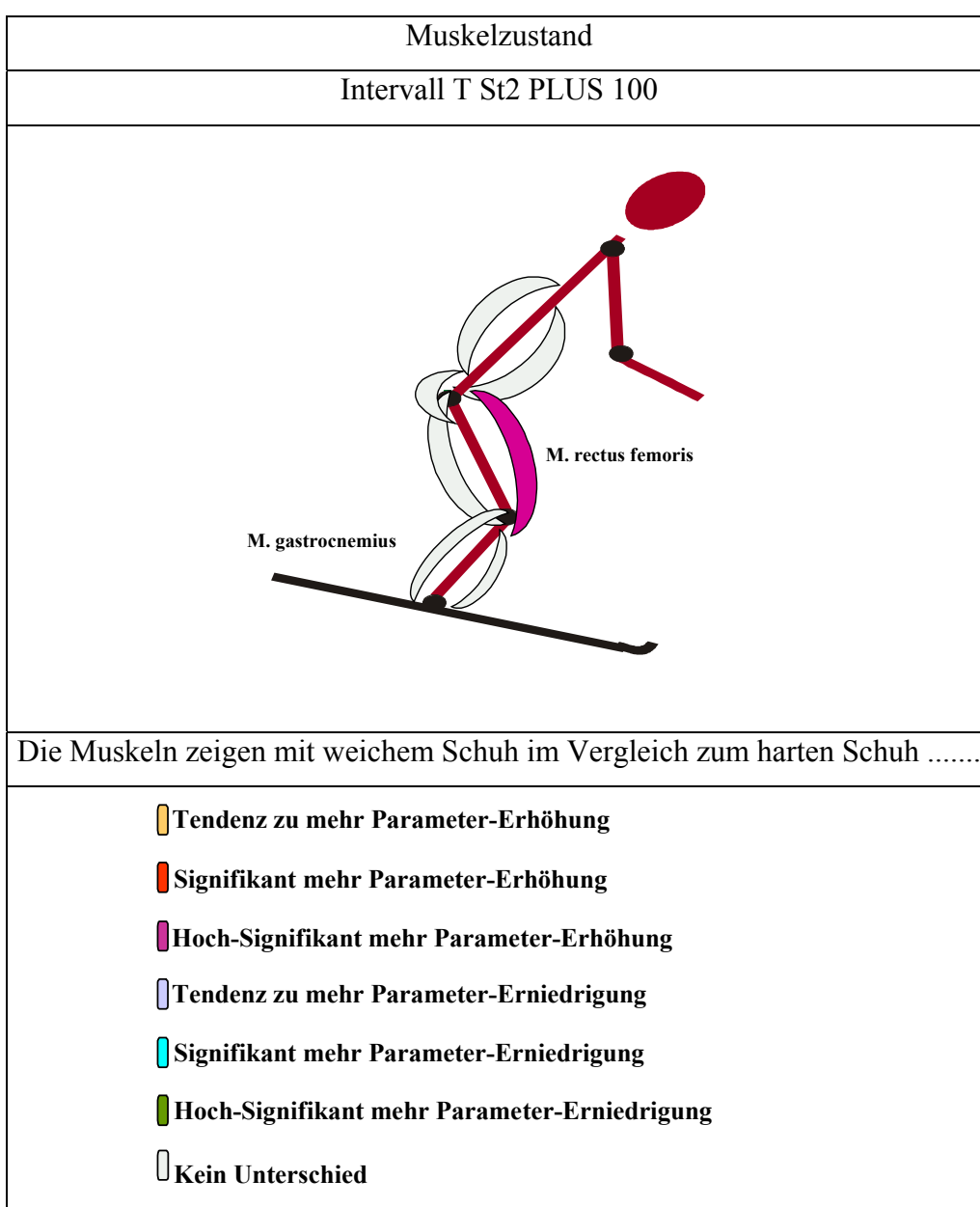


Abbildung 45: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am zweiten Buckel im Intervall (T PLUS 100).

Intervall (T St2 100-200):

Die meisten Fahrer erhöhen ihre maximale und mittlere Muskelaktivität des M. tibialis anterior, wobei die mittlere Anspannung tendenziell ist.

In den 100 ms bis 200 ms nach dem Sprunggelenksmaximum am 2. Buckel zeigt der M. gluteus maximus mit dem weichen Schuh signifikant deutliche Erhöhungen in seinem absoluten Maximum und Mittelwert. D.h., dass in der Phase des Beginns der Dorsalflexion eine deutliche Aktivitätssteigerung bei weichem Schuh im Vergleich zum harten Schuh festzustellen ist.

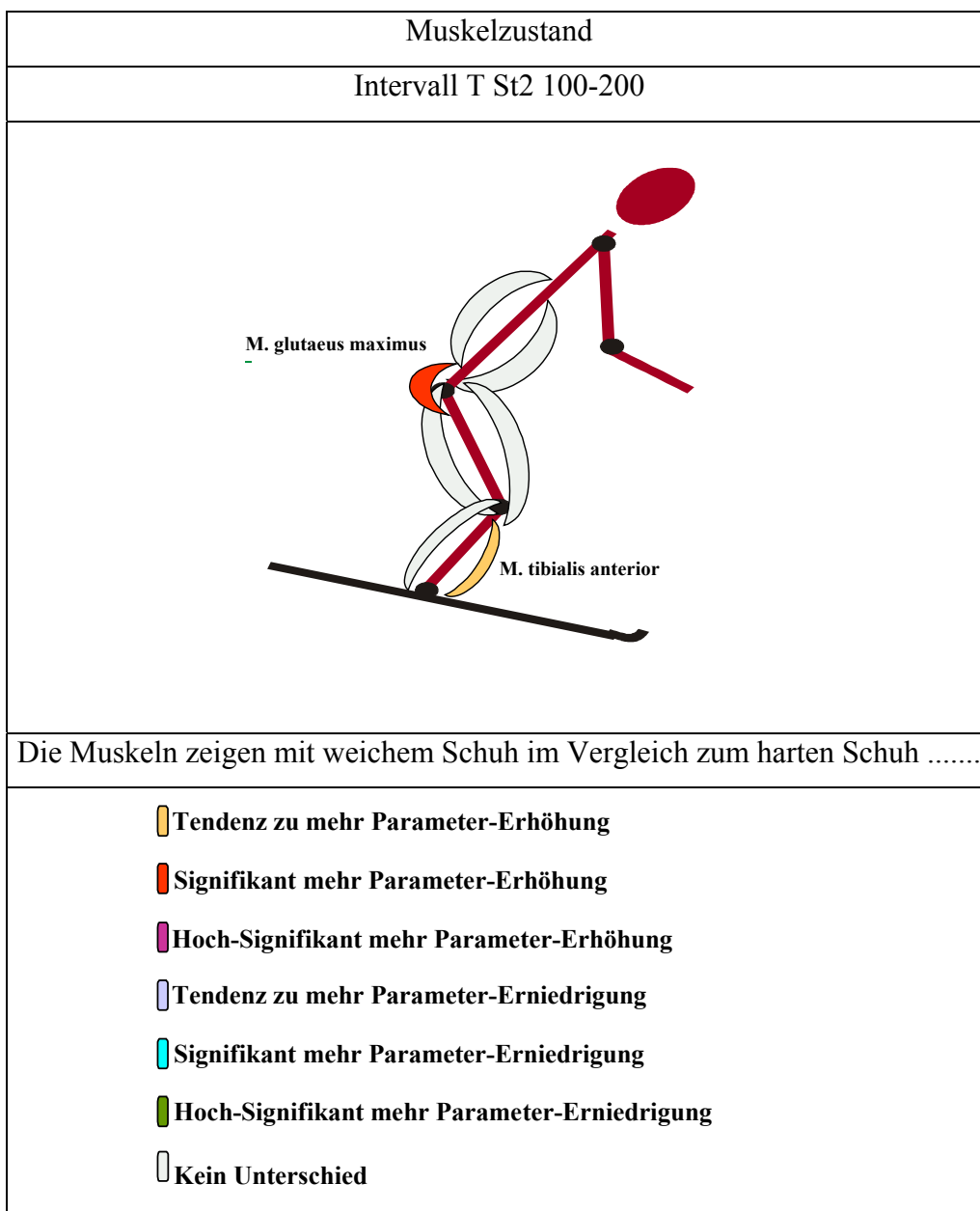


Abbildung 46: Muskelanspannungen bei der Fahrt mit weichem gegen harten Schuh bei stärkster Sprunggelenksstreckung am zweiten Buckel im Intervall (T 100-200).

5.4.5. Vergleich der Muskelaktivitäten der Sprunggelenks-Extrepositionen zwischen ersten und zweiten Buckel

Stärkste Sprunggelenks-Beugung

Es bestehen – wie vorab und bei Kampe gezeigt – zwar teilweise deutliche Unterschiede zwischen hartem und weichem Schuh in Bezug auf die Gelenkwinkel, aber diese Unterschiede bleiben in ihrer Ausprägung konstant, sie sind also am ersten wie am zweiten Buckel vorhanden.

Im Gegensatz dazu sind an den meisten Muskeln bei Fahrten mit weichem Schuh eindeutige Zunahmen der Muskelaktivitäten im Verlaufe der Fahrt zu finden.

Während im Intervall (GESAMT) bei der ersten Beugung die Anspannung im Mittel nur mäßig um 5 – 20 % ansteigt (einzig M. rectus femoris signifikant um 52 %), treten beim zweiten Buckel Steigerungen von 30 – 80% auf, wobei auch eine frühere Aktivierung - zeitliches Vorziehen (um ca. 25 ms) der maximalen Aktivität - des M. gluteus maximus und des M. longissimus thoracis beobachtet wird.

Im Intervall (T MINUS 100), d.h. vor der maximalen Sprunggelenksbeugung, werden beim ersten Buckel nur leichte Tendenzen festgestellt, beim zweiten Buckel jedoch sind M. tibialis anterior und M. longissimus thoracis signifikant angespannter bei weichem Schuh mit einer Erhöhung um 30 %.

Im Bereich (T PLUS 100) wird am ersten Buckel der M. gluteus maximus im Mittel um 60% und im Maximum um 100% mehr angespannt, während beim zweiten Buckel M. gastrocnemius um 50% angespannter ist.

Im letzten betrachteten Intervall (T 100-200) fallen am ersten Buckel M. rectus femoris (30%) und am zweiten Buckel M. tibialis anterior (30 %) und M. rectus femoris (16%) mit mittlerer erhöhter Aktivität auf.

Stärkste Sprunggelenks-Streckung

Bei den Gelenkwinkeln zeigt sich ein deutlicher Einfluss des weichen Schuhs: Alle Gelenkwinkel (außer Hüftgelenk erster Buckel) sind mindestens signifikant vergrößert gegenüber den Fahrten mit hartem Schuh (auch die Sprunggelenke!).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass alle Muskeln etwas stärker bei der Fahrt mit dem weichen Testschuh beansprucht werden. Nach dem zweiten Buckel – Auslauf – wird insbesondere das Knie mehr gestreckt und fast alle Muskeln sind stärker angespannt.

Im Intervall (GESAMT) tritt bei der Streckung nach dem ersten Buckel an allen Muskeln der unteren Extremitäten eine eindeutige Erhöhung (10 – 20%) der Aktivität auf, die z.T. signifikant ist. Die signifikant vermehrte Streckung des Sprunggelenks und die hoch-signifikant vermehrte Kniestreckung mit dem weichen Schuh treffen mit der signifikanten mittleren Muskelanspannung des M. tibialis und des M. gastrocnemius zusammen.

Am zweiten Buckel ist die Erhöhung generell stärker (20 – 30 %) wobei diesmal auch der M. rectus abdominis verstärkt aktiviert wird. Im gesamten betrachteten Zeitraum fällt eine mindestens tendenzielle, zum Teil auch signifikante Mehrbelastung der gesamten untersuchten Muskulatur – ausgenommen M. longissimus thoracis – bei Verwendung des weichen Testschuhs gegenüber dem harten Vergleichsschuh auf.

Im Intervall (T MINUS 100), d.h. vor der maximalen Streckung des Sprunggelenks wird beim weichen Schuh keine zusätzliche Muskelaktivität eingesetzt.

Danach, also im Intervall (T PLUS 100) wird am ersten Buckel speziell der M. gastrocnemius (20%) aktiviert. Am zweiten Buckel korreliert bei weichem Schuh die höhere Aktivierung des M. rectus femoris (30%) mit einer hoch-signifikanten Sprunggelenksexension, einer ebenso hoch-signifikanten Kniegelenksexension und einer signifikanten Hüftgelenksstreckung. Offensichtlich ergibt sich diese Korrelation speziell in diesem Intervall (T PLUS 100).

Im Intervall (T 100-200) werden nur nach dem zweiten Buckel beim weichen Schuh die M. tibialis anterior und M. gluteus maximus (je ca. 30%) mehr aktiviert, was mit der stärkeren Körperstreckung korreliert.

5.5 Interpretation der Ergebnisse

Die in dem Ergebnisteil – speziell in der Gegenüberstellung erster Buckel – zweiter Buckel – aufgeführten Gelenkwinkel und Muskeldaten werden im Folgenden einer medizinisch – orthopädisch – biomechanischen Interpretation unterzogen. Die Aussagen beziehen sich auf die Fahrten mit dem weichen Testschuh im Verhältnis zum harten Vergleichsschuh und betrachten dabei die mittlere Muskelaktivität.

Eine Betrachtung nur einer "Momentaufnahme" der Bewegung ist nicht zulässig, da immer auch die vorangegangene Bewegung berücksichtigt werden muss (siehe Abbildung 29).

Der weiche Schuh erlaubt – zusätzlich zum ursprünglichen Ansinnen – auch eine wesentlich größere Streckung des Sprunggelenks, gemittelt etwas über 3 Grad (zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Streckung).

Das führt zu einem anderen Empfinden als im harten Schuh, der durch die im Schuh gespeicherte elastische Energie zur schnellen, aber geringeren Winkeländerung verhilft. Generell ist zu vermuten, dass beim weichen Schuh durch das Fehlen des „Gegendrucks“ an der Schienbeinvorderkante und Unterschenkelrückseite mehr „Eigeninitiative“, d.h. mehr aktives Beugen, Strecken und Halten in den Muskeln gebraucht wird.

Interpretation der Muskelaktivitäten zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung beim ersten und zweiten Buckel

Intervall (GESAMT):

Am ersten Buckel führt der Versuch der Beibehaltung der gewohnten Position bei Benutzung des weichen Schuhs zur verstärkten Aktivität des M. rectus femoris (+52%) mit leichter Entspannung der Rückenmuskulatur (vgl. Abbildung 29 und 31). Es ist dabei jedoch eine Tendenz zur verminderten Sprunggelenks-Beugung zu erkennen. Ob diese veränderten Muskelaktivitäten eine Reaktion auf die verminderte Stabilisierungswirkung des weichen Schuhs ("Unsicherheitsreaktion") ist, kann nicht abschließend beantwortet werden. Ein Erklärungsansatz könnte allerdings so aussehen: Der harte Schuh "erlaubt" dem Skifahrer einer zunehmenden Sprunggelenks-Beugung (bedingt durch die äußeren Kräfte) weniger aktiv entgegen zu wirken. Bei weichem Schuh hingegen lässt sich der Skifahrer tendenziell nicht in gleichem Maße auf eine Beugung im Sprunggelenk ein.

Für die Phase vor und nach der stärksten Sprunggelenksbeugung am zweiten Buckel zeigt sich für den weichen Schuh eine erheblich gesteigerte Muskelaktivität (38 - 86%) gegenüber dem harten Schuh an nahezu allen erfassten Muskeln (vgl. Abbildung 39). Auch hier ist interessant, dass dies nicht mit einer Änderung der Kinematik einhergeht. Jedoch muss beachtet werden, dass die Beugung am zweiten Buckel eingenommen wird nach der - im Falle des weichen Schuhs - vorangegangenen vermehrten "Körper"-Streckung am ersten Buckel. Somit muss die Muskulatur eine größere Gelenkwinkelbewegung bewirken bzw. "abfangen".

Intervall (T MINUS 100):

Die um den ersten Buckel festgestellte Aktivierung des M. rectus femoris erfolgt zu einem großen Teil in den 100 ms vor der stärksten Sprunggelenks-Beugung. Möglicherweise spürt der Proband zwar noch nicht den "Schienbeinkontakt", aber aufgrund seines automatisierten Bewegungsmusters bremst er die Beugebewegung im Knie und im Sprunggelenk ab, wozu er eine höhere mittlere Muskelaktivität dieser Muskelgruppe benötigt, da die elastische Arbeit des Schuhs (wie beim Vergleichsschuh) fehlt.

Am zweiten Buckel zeigt sich der M. tibialis anterior bei der Benutzung des weichen Testschuhs besonders aktiv. Dies könnte damit erklärt werden, dass die Fahrer aus der

zuvor stärkeren Sprunggelenks-Streckung (siehe Abbildung 32) zur Vorbereitung auf das Überfahren des Buckels wieder in eine gebeugte Position kommen möchten und daher eine höhere Winkelgeschwindigkeit erreichen müssen.

Ob die stärkere Anspannung des M. longissimus thoracis am zweiten Buckel darauf beruht, dass bei Benutzung des weichen Schuhs der Rumpf vermehrt stabilisiert werden muss, ist fraglich.

Intervall (T PLUS 100):

Bei den meisten Probanden werden die Maxima der Gelenkwinkelstellungen in der Reihenfolge Sprunggelenk - Hüfte - Knie durchlaufen - unabhängig welcher Schuh benutzt wird. Direkt nach Erreichen der maximalen Sprunggelenks-Flexion auf dem ersten Buckel versuchen die Probanden zur Abbremsung der Beugungsbewegung der Hüfte beim weichen Schuh den M. gluteus maximus (tendenziell) und den M. biceps femoris (signifikant) stärker zu aktivieren. Weiter steht noch meist das Erreichen der größten Kniebeugung bevor, die durch die Aktivierung des M. biceps femoris bei weichem Schuh offensichtlich stärker unterstützt wird.

In dem Intervall (T PLUS 100) des zweiten Buckels, also kurz vor bzw. direkt auf dem Buckelgipfel, aktiviert der Fahrer den M. gastrocnemius um für das Aufrechterhalten des Schneekontakts eine Plantarflexion einzuleiten. Das ist beim weichen Schuh, der im Gegensatz zum harten deutlich weniger elastische Energie gespeichert hat und daher die Sprunggelenks-Streckung nicht unterstützen kann, mit erhöhter Muskelarbeit verbunden. In Hinblick auf die weitere Entwicklung der Körperposition (deutlich mehr Streckung in allen Gelenken zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenksstreckung) könnte die Aktivierung des M. gastrocnemius als Initiator für eine allgemeine Streckbewegung gewertet werden.

Intervall (T 100-200):

In diesem Intervall am ersten Buckel ist nur eine Tendenz zur Erhöhung der absoluten, aber nicht der mittleren Aktivität festzustellen. So ist zu bezweifeln ob eine zeitlich kurze Aktivierung eine zukünftige nach diesem Intervall befindliche vermehrte Gelenksstreckung bewirken kann. In dem nachfolgend nicht analysiertem Zeitraum kann es auf Grund der Trägheitseigenschaften der Körpermassen zu einer Streckung in den Gelenken kommen ohne dass dazu aktive Muskelarbeit notwendig ist - die Körper werden " aus der gebeugten Position rausgeschleudert" in die gestreckte Lage.

Andererseits kann eine Muskelaktivierung - in dem nicht analysierten Zeitraum - stattgefunden haben, die diese Körperstreckung verursacht. Denn die Aktivität direkt vor (also in den 100 ms vor) der stärksten Sprunggelenks-Streckung an beiden Buckeln unterscheidet sich zwischen hartem und weichem Schuh ebenso kaum wie in diesem Intervall, daher muss die Aktivität außerhalb dieses Intervalls und/oder die äußeren Bedingungen ("Zwangsbewegung durch Buckelform") zu der Änderung der Winkelpositionen bei Benutzung des weichen Schuhs führen.

Am zweiten Buckel greift diese Argumentation bezüglich des M. rectus femoris ebenfalls, allerdings steuert bei weichem Schuh der M. tibialis anterior noch dagegen, wahrscheinlich in der Absicht nach eingeleiteter Plantarflexion im Vorintervall das Sprunggelenk besser zu stabilisieren.

Interpretation der Muskelaktivitäten zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Streckung beim ersten und zweiten Buckel

Intervall (GESAMT):

Am ersten Buckel werden die Muskeln M. tibialis anterior, M. gastrocnemius und M. rectus femoris aktiviert. Zusätzlich kommen am zweiten Buckel der M. biceps femoris hinzu, da hier anscheinend erhöhte Stabilisierungs- und Haltearbeit des Kniegelenks gefordert ist. Zum Bewältigen der Buckelpiste in der Streckphase ist mit dem weichen Testschuh anscheinend eine wesentlich höhere Körperspannung der unteren Extremitäten notwendig, um vielleicht den äußeren Kräften, die zu einer Streckung führen, zu widerstehen.

Intervall (T MINUS 100):

Obwohl am Ende dieses Intervalls sich signifikante Unterschiede in den Gelenkwinkel zeigen, hat die Beschaffenheit des Schuhs keinen Einfluss auf die Muskelaktivität in der direkten Vorbereitung – im letzten Moment - zur maximalen Sprunggelenks-Streckung, d.h. die Muskeln werden wie gewohnt aktiviert und führen dadurch bzw. trotzdem zu den veränderten Gelenkwinkeln.

Dies ist nicht unbedingt ein Widerspruch, denn

1. es kann sich durchaus dasselbe durchschnittliche Aktivierungsniveau ergeben, obwohl sich die Aktivierungsmuster in ihrer Struktur unterscheiden und deshalb zu einer anderen Gelenkstellung führen.
2. aufgebrachte Muskelaktivität im Sprunggelenk im Fall des weichen Schuhs kann zu einer Gelenkwinkelveränderung führen, wohingegen bei Benutzung des harten Schuhs - bedingt durch dessen Widerstand keine entsprechende Gelenkbewegung stattfindet. Gleiche Muskelaktivierung muss also bei weichem Schuh zu größeren Gelenkwinkeln führen, da die hintere Schaftsteifigkeit (s. 3.1.2) geringer ist, wenn – was anzunehmen ist – die Skifahrer auf „Anschlag“ fahren.

Intervall (T PLUS 100):

Bei beiden Buckeln tritt nach dem Erreichen des maximalen Sprunggelenkwinkels eine Muskeltonuserhöhung (beim ersten Buckel signifikant, beim zweiten Buckel zweidrittel der Fahrer) des M. gastrocnemius auf, was durch die nachfolgende exzentrische Phase (Beugen des Sprunggelenks durch äußere Kräfte) beim weichen Schuh durch ein aktiveres muskuläres Entgegenwirken (zur Kontrolle des Sprunggelenk-Beugens) erklärt werden kann. Bei hartem Schuh ist dies nicht notwendig, weil der Schaft entsprechend mehr elastische Arbeit aufnehmen kann.

Am zweiten Buckel wird auch der M. rectus femoris signifikant vermehrt aktiviert. Diese vermehrte Anspannung lässt sich durch hochsignifikante Streckung im Kniegelenk als Haltearbeit und durch den Auslauf (meist in gestreckter Haltung) erklären.

Intervall (T 100-200):

Beim Auslauf aus dem ersten Buckel sind keine Unterschiede in der Muskelaktivität zwischen den Schuhen erkennbar.

Nach dem zweiten Buckel – Auslauf aus Teststrecke – muss insbesondere die vermehrte Knie- und Hüft-Streckung zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenksstreckung beachtet werden: Die meisten Probanden lassen es "gestreckt auslaufen". Die von Kampe beobachtete Position erfordert eine höhere Stabilisierungsarbeit bei der Benutzung des weichen Schuhs unter Berücksichtigung der vergrößerten Körperwinkel. Zur Aufrichtung des Oberkörpers wird beim weichen Schuh der M. gluteus maximus tendenziell vermehrt eingesetzt.

Die höhere Muskelaktivität des M. tibialis anterior ist so zu interpretieren, dass die Probanden ihren größeren Sprunggelenkwinkeln beim Benutzen des weichen Schuhs und ihrer stärkeren Rückverlagerung des Schwerpunktes entgegenwirken wollen.

Sonderbetrachtungen zu einzelnen Fahrern

Bei der Analyse der Gelenkwinkel sind einige Fahrer durch extremes Verhalten aufgefallen, so z.B. die Fahrer B und S mit ihren Sprunggelenkwinkeln bei den extremen Beugungen:

Bei Proband S und noch mehr bei Proband B fällt auf, dass sie bei Fahrten mit dem weichen Schuh wesentlich tiefer im Sprunggelenk beugen und deutlich mehr Muskelarbeit verrichten als bei Fahrten mit dem harten Schuh. Während der Effekt bei der Beugung am ersten Buckel noch nicht so auffällig ist – evtl. auf Grund einer anderen Körperhaltung – spannen sie am zweiten Buckel vor allem die M. tibialis anterior und M. longissimus thoracis an (Fahrer B auch M. biceps femoris und M. rectus femoris). Es fällt besonders auf, dass sie schon im Intervall (T MINUS 100), d.h. vor der maximalen Beugung, den M. tibialis anterior und auch den M. longissimus thoracis aktivieren.

Interessant in diesem Zusammenhang ist die Feststellung, dass der Fahrer S, welcher aufgrund früherer Nutzung von weichen Schuhen über mehr Bewegungserfahrung solch eines Schuhtyps verfügt (Verweis auf Angaben zu eigenem Schuh in Fragebogen), eine deutlich stärkere Beugung im Sprunggelenk realisiert als die anderen Probanden.

Die Muskelaktivitäten des Fahrers B zeigen sich mit weichem Testschuh im Gegensatz zum harten Vergleichsschuh am zweiten Buckel wesentlich erhöht:

- Maximale Beugung: M. tibialis anterior (180% der willentlichen Maximalkraft), M. gastrocnemius (130%), M. biceps femoris (120%).
- Maximale Streckung: M. tibialis anterior (hier bei beiden Schuhen und Buckeln: ca. 180-230%), M. biceps femoris (beide Buckel 160%).

In der Zusammenschau der Bewegungsanalyse und der EMG-Auswertung kann vermutet werden, dass Fahrer B bei seinen Fahrten evtl. den Bodenkontakt am ersten Buckel verloren hat und dadurch in den zweiten Buckel „hineingefallen“ ist.

Dies würde auch die starken Gelenkwinkelschwankungen erklären (siehe Kampe). Anscheinend versucht Proband B mit weichem und hartem Schuh auf

"Schienbeinanschlag" in die Teststrecke hineinzugehen, wird von den höheren Belastungen bei weichem Schuh überrascht und kann trotz einer immer größer werdenden Muskelaktivität die optimale Position laut Kampe nicht einhalten.

Der M. tibialis anterior und der M. gastrocnemius sind Antagonisten (Gegenspieler) bei der Bewegung im Sprunggelenk und trotzdem lässt Fahrer B den M. tibialis anterior nicht lockerer beim Fahren mit dem weichen Schuh im Intervall (GESAMT) auf dem ersten Buckel, obwohl er eine verstärkte Sprunggelenks-Flexion mit weichem Schuh aufweist. Es ist hier die Frage, ob diese Muskelaktivität evtl. als Release-Phänomen gedeutet werden kann, da Fahrer B durch das „Nach-Vorne-Fallen“, den Ansatz und den Ursprung des Muskels hier stark annähert und sein M. tibialis anterior die „Arbeitslänge“ optimieren möchte.

Andererseits könnte diese Erscheinung als willentliche Kontraktion interpretiert werden, im Sinne des Versuchs, die Möglichkeiten des weichen Schuhs hinsichtlich Flexion und Extension im vollen Umfang auszunutzen.

Weiter fällt der Fahrer K bei der muskulären Betrachtung auf:

Bei der ersten Beugung fällt dieser Läufer nicht wesentlich auf. Bei der zweiten Beugung sind fast alle Muskeln bei der Benutzung des weichen Schuhs stärker angespannt.

Bei der ersten Streckung ist eine höhere Anspannung des M. rectus femoris und gleichzeitige Entlastung des M. gluteus maximus festzustellen.

Am zweiten Buckel - beim Auslauf nach der stärksten Sprunggelenks-Streckung - werden die meisten Muskeln (M. tibialis anterior, M. gastrocnemius, M. rectus femoris, M. gluteus maximus) bei der Benutzung des weichen Schuhs entspannt. Er schafft es im Vergleich zum harten Schuh - im Gegensatz zu den meisten anderen Probanden - bei der Benutzung des weichen Schuhs insgesamt mehr Muskeln zu entlasten.

Weiter wird beobachtet, dass Fahrer I nach dem ersten Buckel eine geringere Streckung im Sprunggelenk im Gegensatz zu den anderen Fahrern und ein niedrigeres Aktivitätsmaximum des M. gastrocnemius und M. biceps femoris beim weichen Schuh aufweist. Ob der M. gastrocnemius an der verringerten Streckung schuld ist sei dahingestellt.

Diese Erscheinungen kehren sich am zweiten Buckel um – der M. gastrocnemius wird vermehrt aktiviert, allerdings bei einer stärkeren vorangegangenen Beugung.

6. Diskussion

Hinsichtlich des Vergleiches zwischen den hier untersuchten Versuchsbedingungen (harter versus weicher Skischuh) gibt es keine Literatur. Deshalb beschränkt sich die Diskussion auf die Analyse der Störgrößen im Experiment und deren Wertung in Hinsicht auf die Genauigkeit der erhobenen Daten:

- Störgrößen:
- ▶ Ungünstige Wahl der Strecke
 - ▶ Unvorteilhafte Wahl der Schuhe
 - ▶ Nicht optimale lange Einfahrzeit,
Wetterbedingte experimentelle Einbussen
 - ▶ Leistungsdifferenz und unterschiedliche körperliche Voraussetzungen der Probanden
 - ▶ Zweifel an der Compliance der Probanden bei der MVC-Testung

Störgröße: Ungünstige Wahl der Strecke

Bei der stärksten Sprunggelenks-Beugung und -Streckung fallen deutliche Unterschiede zwischen den Buckeln auf, die nur so zu erklären sind, dass die Probanden die beiden Buckel in unterschiedlichen Voraussetzungen durchfahren.

Diese Unterschiede sind am ehesten durch die Teststrecke mit nur zwei Buckeln erklärbar. Der Fahrer kommt mit einer anderen Muskelbelastung, Muskelvorspannung und auch optimalerer Körperposition zum ersten Buckel und kann diesen dadurch auch leichter bewältigen. Aus diesem ersten Buckel kommt der Proband mit schon stark vorbelasteten Muskeln, mit veränderter Vorspannung, anderer Körperhaltung und auch mental belastet heraus und hat so ganz andere Voraussetzungen den zweiten Buckel anzugehen. Außerdem muss der Fahrer nach der Streckung seine Muskeln schon wieder vorspannen um den zweiten Buckel „in Angriff“ nehmen zu können. Diese Vorbereitung benötigt er beim „Verlassen“ des zweiten Buckels nicht mehr, da hier ein gerader Auslauf folgt. Um ein einheitlicheres Bild zu bekommen und die tatsächliche muskuläre Beanspruchung zu erfassen, wäre die Herstellung einer längeren Buckelpisten-Teststrecke von mindestens 4 Buckeln wünschenswert.

Störgröße: Unvoreilhafte Wahl der Schuhe

Hinter der Verwendung eines hinsichtlich Dorsalflexion weicheren Skischuhs in der Buckelpiste stand einmal die Idee, dem Fahrer ein besseres Aufrechterhalten der zentralen Position zu ermöglichen. Ein weiterer Vorteil des weicheren Schuhs sollte darin bestehen, bei neutral bleibender Schwerpunktslage in Sprung- und Kniegelenk mehr beugen zu können und damit mehr „Streckreserve“ zur Verfügung zu haben. In welligem und buckligem Gelände müsste somit besser Bodenkontakt gehalten werden können.

Auf Grund „des Strebens der Menschen zur Neutral- oder Nullstellung (Debrunner, A. M. 1985)“ - "homo erectus" - könnte der weiche Testschuh die Probanden dazu gebracht haben, den Sprunggelenkwinkel zu vergrößern. Durch die Gewöhnung an harte Skischuhe kannten die Probanden den Widerstand des Heckspoilers und hatten beim weichen Schuh diesen Druck am Schuhrand gesucht und nicht gefunden.

Der Großteil der Probanden gab im Fragebogen über den Testschuh an, dass sie den Schuh für wenig rücklagestabil halten (siehe Auswertung Fragebogen Kampe).

Wenn nur eine größere Dorsalflexion ermöglicht werden soll, müsste der weiche Skischuh den gleichen „Spoilerwiderstand“, d.h. Stabilisierung nach dorsal, wie der harte Vergleichsschuh besitzen.

Die erhobenen Ergebnisse zeigen, dass bei weichen Skischuhen die Muskelaktivität bei den Probanden deutlich höher liegt und dass eine Ausnutzung der Eigenschaften des weichen Schuhs nur nach speziellem Training der Muskulatur und entsprechender Gewöhnung möglich ist (siehe nächster Abschnitt).

Störgröße: Nicht optimal lange Einfahrzeit, wetterbedingte experimentelle Einbußen

Es war geplant, die möglicherweise auftretenden Störvariablen niedrig zu halten.

Dazu war vorgesehen, dass die Probanden längere Zeit den neuen weichen Testschuh erproben, um eine annähernd gleich gute Gewöhnung an beide Schuhe zu erreichen.

Leider erlaubten die äußerst schlechten Wetterbedingungen - die auch die Testläufe stark behinderten, – nur eine sehr kurze Einfahrzeit von durchschnittlich vier Stunden.

Außerdem wurde durch die Wetterbedingungen die Stichprobengröße insgesamt und

speziell am zweiten Buckel geschmälert, da die Daten einiger Probanden verworfen werden mussten.

Es sollte bei zukünftigen Untersuchungen den Probanden schon über einen Zeitraum von mehreren Wochen die Möglichkeit der Eingewöhnung - am besten mit einem Trainer - geboten werden, um von den bisher bestehenden automatisierten Bewegungsschemata (Engrammen) abzukommen und einen neuen Bewegungsablauf beim Testfahrer zu etablieren und zu festigen.

Störgröße: Leistungsdifferenz und unterschiedliche körperliche Voraussetzungen der Probanden

Es bestand unter den Fahrern zum einen ein unterschiedliches Leistungs-/Trainingsniveau, unterschiedlicher körperlicher Entwicklungsstand - mit verschiedener Kraft-/Leistungsfähigkeit - auf Grund des unterschiedlichen Alters, so wie das unterschiedliche Leistungslevel auf Grund der verschiedenen Geschlechter, die nicht getrennt betrachtet wurden. So kam es bei den verschiedenen Testpersonen zu ungleicher Ausnutzung der Eigenschaften des Testmaterials und damit zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Störgröße: Zweifel an der Compliance der Probanden bei der MVC-Testung

Die willentliche Maximalkraft wurde in den Testläufen sehr häufig überschritten und von einzelnen Probanden bei einzelnen Muskeln z.T. in erheblichem Maße (bis zum mehrfachen des MVC-Wertes).

So muss kritisch hinterfragt werden, ob die Probanden sich wirklich maximal bei der Testung im Stützpunkt angestrengt haben, oder ob die Beanspruchung auf der Teststrecke derart groß war, dass die Fahrer an ihre muskuläre Leistungsgrenzen gekommen sind. Da auf Grund der persönlichen Äußerungen der Testfahrer die Teststrecke eher als eine "leichte" Fahraufgabe betrachtet wurde, liegt die Erklärung evtl. in der Tatsache, dass der MVC eine exzentrische Muskelbelastung darstellt und doch über paar Sekunden gehalten wurde. Dies könnte die im Verhältnis zum MVC hohen Muskelaktivitäten auf der Teststrecke evtl. nachvollziehbar machen.

7. Zusammenfassung

Das Wettkampf-Buckelpistenfahren hat eine eigenständige Bewegungstechnik mit dem Ziel, immer schneller und immer kontrollierter zu fahren. Da die Ausrüstung der Freestyler bisher aus dem alpinen Skilauf genommen wurde, war es an der Zeit, einen Skischuh zu entwickeln, der den Anforderungen an das Buckelpistenfahren gerecht wird. Die Auswirkungen eines für Dorsalflexion besser geeigneten weicheren Skischuhs sollte in dieser Arbeit untersucht werden. Es wurde ein in der Wintersaison 2000/01 kommerziell eingeführter Skischuh (Rossignol soft) der sogenannten neuen „Soft-Boots-Generation“ ausgewählt, der die besonders weiche Schaftcharakteristik erfüllt. Als konventionelles Vergleichsmodell wurde ein besonders steifer Rennschuh der Firma Atomic eingesetzt.

Im Rahmen eines Experiments wurden diese Schuhe im Feldversuch an 21 Probanden – eine Stichprobe aus sehr guten Skifahrern (ausgebildete Skilehrer, Rennläufer und wettkampferfahrenen Buckelpistenfahrern) – getestet, mit dem Ziel, den Einfluss der verminderten Schaftsteifigkeit auf die Kinematik und die daraus resultierenden Veränderungen in der intermuskulären Koordination beim Überfahren von Buckeln zu bestimmen. Die Studie wurde unterteilt in Bewegungsanalyse, Kraftmessung und Fragebogen (Kampe, 2007) und die in dieser Arbeit untersuchten Muskelaktivitäten unter Berücksichtigung der Bewegungsmuster. Zur Gewinnung der Bewegungsparameter (u.a. Sprunggelenk-, Knie-, Hüft-, Oberarm- und Ellenbogenwinkel) kam die wissenschaftliche Videoanalyse (sog. *Videogrammetrie*) zum Einsatz. Zur Erfassung der Muskelaktivität wurden Elektromyogramme (EMG) aufgezeichnet, die mit den simultan erfassten Videoaufzeichnungen in Zusammenhang gebracht wurden. Zur Untersuchung kamen M. tibialis anterior, M. gastrocnemius, M. rectus femoris, M. biceps femoris, M. gluteus maximus, M. rectus abdominis und M. longissimus thoracis.

Vor Beginn der Messungen konnten sich die Fahrer über einen Zeitraum von 4 Stunden auf den weichen Schuh einstellen. Die von den Probanden zu durchfahrende Teststrecke lag in mittelsteilem Gelände und bestand aus zwei etwa einen Meter hohen und präparierten Buckeln im Abstand von ca. 4,70 Meter hintereinander. Die Teststrecke war von den Versuchspersonen geradlinig zu durchfahren. Unmittelbar nach drei

Fahrten mit dem weichen Testschuh erfolgten drei Fahrten mit dem harten Vergleichsschuh.

In einer bewegungsorientierten Analyse (Ort-Zeit-Anpassung) wurden vier Zeitintervalle um die extremen Sprunggelenkwinkel untersucht. In diesen Zeitintervallen wurden die EMG-Signale der sieben Muskeln in Bezug auf folgende Parameter ausgewertet: Maximum, Mittelwert, Minimum, Spanne, Standardabweichung, Full Width at Half Maximum, Modus und Aktivitätsschwerpunkt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Wilcoxon-Test und Vorzeichentest.

Obwohl bei den Gelenkwinkeln bei den extremsten Sprunggelenks-Beugungen starke individuelle Differenzen zwischen weichem und hartem Schuh auftraten, waren die Gelenkwinkel, gemittelt über alle Probanden, kaum verändert. Im Gegensatz dazu waren an den Muskeln bei Fahrten mit weichem Schuh eindeutige Zunahmen der Aktivitäten zu finden. Während bei der ersten Beugung die mittlere Aktivität nur mäßig um 5 – 20 % anstieg (einzig M. rectus femoris signifikant um 52 %), traten beim zweiten Buckel Aktivitätszunahmen an fast allen Muskeln in einer Größenordnung von 30 – 80% auf, wobei auch ein zeitliches Vorziehen (um ca. 20%) der maximalen Aktivität des M. gluteus maximus und des M. longissimus thoracis beobachtet wurde.

Bei den extremsten Sprunggelenks-Streckungen waren alle Gelenkwinkel signifikant vergrößert bei den Fahrten mit weichem Schuh (Sprunggelenke um ca. 3 Grad, Kniegelenke bis 11,6 Grad, Hüftgelenk bis 10,9 Grad). Bei der Streckung nach dem ersten Buckel trat an fast allen Muskeln der unteren Extremitäten eine eindeutige Erhöhung (10 – 20%) der mittleren Aktivität beim weichen Schuh auf, die z.T. signifikant war. Die signifikant vermehrte Streckung des Sprunggelenks und die hochsignifikant vermehrte Kniestreckung mit dem weichen Schuh beim ersten Buckel trafen mit der signifikant erhöhten mittleren Muskelaktivität des M. tibialis und des M. gastrocnemius zusammen. Am zweiten Buckel war eine z.T. signifikante Aktivitätserhöhung (20 – 30 %) der gesamten Muskulatur – ausgenommen M. longissimus thoracis – bei Verwendung des weichen Testschuhs zu beobachten. Unmittelbar vor den maximalen Sprunggelenks-Streckungen wurde – im Gegensatz zu den Beugungen - beim weichen Schuh keine zusätzliche Kraft eingesetzt.

Am zweiten Buckel war die Muskelaktivität mit weichem Schuh wesentlich stärker erhöht, was nur so erklärt werden kann, dass die Probanden die beiden Buckel in unterschiedlichen Voraussetzungen durchführten.

Als Fazit kann gesagt werden:

1. Alle Muskeln bei der Fahrt mit dem weichen Testschuh wurden um den Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Beugung/Streckung stärker aktiviert.
2. Alle Muskeln bei der Fahrt mit dem weichen Testschuh zeigten eine stärkere Muskelaktivitätszunahme bei Beugung als bei Streckung.
3. Unabhängig vom Schuh wurden die Muskeln am zweiten Buckel mehr aktiviert als am ersten Buckel.
4. Unabhängig vom Schuh waren die Muskelaktivitäten bei Streckung höher als die Muskelaktivitäten bei Beugung.
5. Die willentliche Maximalkraft wurde bei den Testläufen z.T. in erheblichem Maße und häufig überschritten.



So ist der Mensch nun mal:
Er schimpft auf seinen Schuh,
dabei hat sein Fuß schuld.

Samuel Beckett

8. Abkürzungen

DSV	Deutscher Ski-Verband
EKG	Elektrokardiographie
EMG	Elektromyogramm
FWHM	Full width at half maximum
HS	harter Vergleichsschuh
Hz	Frequenzangabe Hz = 1/sec
M	Muskulus
Max/max	Maximum
Min/min	Minimum
ms	Millisekunden
MVC	Maximal Voluntary Contraction
pw	Wahrscheinlichkeitsabschätzung beim Wilcoxon-Test
pv	Wahrscheinlichkeitsabschätzung beim Vorzeichentest
Rr.	Ramus
Sec/s	Sekunde
SpG	Sprunggelenk
T und Z	Prüfgrößen beim Wilcoxon-Test
WS	weicher Testschuh
ZNS	Zentralnervensystem
Δ	Delta (=Differenz)
μV	Microvolt

9. Literaturverzeichnis

- Altman D. G. (1991) Practical Statistics for medical Research, S. 170-171 Chapman & Hall
- Debrunner, A. M. (1985). Orthopädie. Die Störungen des Bewegungsapparates in Klinik und Praxis. S. 102 Bern, Stuttgart, Toronto: Huber.
- De Marées, H. (1992) Sportphysiologie, Medizin von heute. S. 10. Köln-Mülheim: Tropon Werke
- Gollhofer, A. (1987) Komponenten der Schnellkraftleistung im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Erlensee
- Hollmann, W. und Hettinger, T.(2000) Sportmedizin, 4. Völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. S. 116 Stuttgart, New York: Schattauer.
- Kampe, M. Dissertation: Voraussichtliche Fertigstellung 2007 Skilauf Buckelpiste. München: Technische Universität München
- Kuchling H.(1988) Taschenbuch der Physik, 11.,durchgesehene Auflage, S. 579 Thun, Frankfurt/Main: Verlag Harri Deutsch
- Lamprecht, J. (1992) Biologische Forschung: Von der Planung bis zur Publikation. S. 26. Berlin/Hamburg: Verlag Paul Parey.
- Lehner, S. (1995) 3D-Simulation des menschlichen Kniegelenks. Diplomarbeit an der Fachhochschule München, Fachbereich Feinwerk- und Mikrotechnik.
- Schaff, P. und Olbert, W. (1996) Der Einfluss der Sprunggelenksbeweglichkeit auf die Plantarbelastung beim Buckelpisten-Skifahren. Sportorthopädie Sporttraumatologie 12.1, S.51-54
- Senner, V. (2001) Biomechanische Methoden am Beispiel der Sportgeräteentwicklung. Dissertation an der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München.
- So, C.S. (1999). Praktische Elektrokardiographie. 8., aktualisierte Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme
- Technische Universität München, Förderprojekt VF 0407/15/02/2001, Stand Juni 2003: Skilauf Buckelpiste. Zwischenbericht zum ersten Förderjahr. München: Technische Universität München, Fakultät für Sportwissenschaften, Sportgeräte und -materialien

- Weineck, J. (1991) Sportanatomie. Beiträge zur Sportmedizin. Band 9, 7. Auflage, S.55, Erlangen: perimed-Fachbuch-Verlagsgesellschaft
- Weiß, Ch. (2002) Basiswissen Medizinische Statistik 2.Auflage, S. 256-257. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- Zöfel, P. (1988) Statistik in der Praxis. 2. Auflage, S. 78. Stuttgart: Gustav Fischer

10. Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr. Halle möchte ich mich herzlich bedanken, dass er sich so kurzfristig als Zweitprüfer für mein Promotionsverfahren zur Verfügung gestellt hat.

Für die Idee zu diesem Thema, die sehr gute Betreuung, für die konstruktiven weiterführenden Diskussionen, seine Fachkompetenz, seine Geduld und sein menschliches Verständnis möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. V. Senner sehr herzlich bedanken.

Die Datenerhebung wurde zu einem Teil durch eine Förderung des Bundesinstituts für Sportwissenschaft (Förder-Nr. VF 0407/15/02/2001) ermöglicht, zum anderen unterstützt durch die Spenden des Sportmediziners Herrn Walter Olbert. Letzterem gilt mein Dank auch für die ideelle Unterstützung des Themas.

Das gesamte Projekt wurde in enger Zusammenarbeit mit Herrn M. Kampe durchgeführt, der seinerseits Analysen bearbeitete. Seine Ergebnisse gingen in diese Arbeit ein. An dieser Stelle möchte ich mich für die gute und effektive Zusammenarbeit bei Herrn M. Kampe bedanken.

Die technische Betreuung und Ausrüstung wurde von Herrn F. Schuhmacher, ehemals Basis-Institut der TÜV Produkt Service GmbH, übernommen. Außerdem konnte diese Arbeit nur durch die hervorragende Mitarbeit der Sportler realisiert werden. Ihnen allen sei hiermit herzlich gedankt.

Ein weiterer großer Dank geht an meine Eltern für das gewissenhafte eifrige Korrekturlesen und die wertvolle konstruktive Kritik, sowie an meine Schwester Vera für die Unterstützung in statistischen Fragestellungen.

Außerdem danke ich hiermit all jenen Personen, die mich durch ihre "Anteilnahme" und ihre hilfreiche moralische Unterstützung gewissermaßen auf dem Weg zur Promotion begleiteten.

11. Lebenslauf

Angaben zur Person:

Name: Petra Machens, geb. Zietemann
Wohnort: Sankt-Veit-Str. 55
81673 München
Tel.: 089 4363438

Geburtstag und –ort: 13.02.1969 in München
Eltern: Zietemann, Heinz: Diplom-Physiker (seit 1993 im Ruhestand)
Zietemann, Heidi: Chemotechnikerin (seit 1969 Hausfrau)
Familienstand: verheiratet
Nationalität: deutsch

Schulbildung:
1975-1979 Volksschule am Strehleranger, München
1979-1988 Heinrich-Heine-Gymnasium, München, naturwissenschaftlicher Zweig
Abschluss 1988: Allgemeine Hochschulreife

Berufsausbildung:

1988-1994 Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität München,
Lehramt für Gymnasien in **Mathematik/Physik**
Abschluss des Studiums mit **1. Staatsexamen im Herbst 1995**

1992-1994 Studium an der Technischen Universität München,
Lehramt für Gymnasien in **Sport**
Abschluss des Studiums mit **1. Staatsexamen im Herbst 1997**

1994-2001 Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität München,
Fachrichtung **Humanmedizin**
Physikum im Herbst 1996
1. Staatsexamen im Herbst 1998
2. Staatsexamen im Herbst 2000
Okt 2000-Sept 2001 PJ:
Chirurgie: ½ Terial in Madagaskar
½ Terial in Rosenheim
Radiologie: Innenstadtlinik München
Innere Medizin: Krankenhaus Neuperlach (Mü)
3. Staatsexamen im Herbst 2001

Studienbegleitend: 1. Teil der Ausbildung zur Zusatzbezeichnung **Sportmediziner**

Studienbegleitende Tätigkeiten

Nebentätigkeit:
5.97-7.97 u. 11.97-2.98 Betreuerstelle an der LMU München Sektion Physik

Beruflicher Werdegang:
01.01.2002-30.06.2003

Tätigkeit als **Ärztin im Praktikum** im Krankenhaus München Neuperlach, Zentrum für Akutgeriatrie und Frührehabilitation

Seit dem 01.07.2003

Assistenzärztin im Krankenhaus München Neuperlach, Zentrum für Akutgeriatrie und Frührehabilitation

Sonstiges:
1976-1991

Leistungssport Eistanz, C- und B-Kader, mehrfache Bayerische Meister, zweifache Deutsche Vizemeister, Teilnahme an Europa- und Weltmeisterschaft

1991-2000

als **Trainer** (mit kurzer Unterbrechung) im Olympiastützpunkt München tätig. Trainerausbildung im selben Zeitraum: Ausbildung zum Fach-Übungsleiter, B-Lizenztrainer, A-Lizenztrainer und Staatlich geprüfter Eislauflehrer

12. Anhang

12.1. Nähere Erläuterungen zu „2.3. Der Mensch als Skifahrer“

Die wichtigsten Elemente des Bewegungsapparates des menschlichen Körpers sind:

- **Knochen:** „Neben ihrer Schutzfunktion (Absicherung des Gehirns, des Knochenmarks etc.) bilden die Knochen einerseits ein Gerüstwerk, durch das die Weichteile Stütze und Halt bekommen, andererseits stellen sie feste Hebel für den Ansatz der Muskeln dar.“ (Weineck, J. 1991) Diese Verbindung Muskel-Knochen, die meist über Sehnen erfolgt, bildet zum größten Teil die Grundlage jeder unserer Bewegungen.

Der Knochen kann sich durch seine niedrige Stoffwechselrate nur langsam an eine Belastung anpassen und besteht zu ca. einem Drittel aus organischer und zu zwei Drittel aus anorganischer Substanz. „Länglich geformte Knochen werden als sog. Röhrenknochen im Bereich der Extremitäten angetroffen und bestehen jeweils aus den beiden Gelenkenden (Epiphysen) und dem dazwischen gelegenen Schaftteil (Diaphyse)“ (De Marées, H. 1992).

„Die Hohlräume im Knochen reduzieren das Knochengewicht und damit den Energiebedarf bei der Fortbewegung. Das Röhrenprinzip mit der kompakten Wand weist analog zum Strohalm eine relativ große Festigkeit bei Druck-, Zug- und Biegebeanspruchungen auf.“(De Marées, H. 1992).

- **Skelettmuskulatur:** Muskulatur allgemein mit ihrer Fähigkeit zur Kontraktion ist das aktive Element des Bewegungsapparates. Sie besteht aus Fasern (Zellen), in deren Zellplasma (Sarkoplasma) kontraktile Eiweißfäden sog. Myofibrillen, eingelagert sind. Die Skelettmuskulatur – auch quergestreifte Muskulatur genannt - besteht aus zylindrischen, langen Einzelfasern mit vielen – oft mehr als 100 – peripher in der Muskelzelle gelegenen Zellkernen. Mehrere Muskelfasern werden von lockerem Bindegewebe zu einem Muskelfaserbündel, mehrere Bündel von einer Bindegewebshülle zu einem Muskelstrang zusammengefasst. Viele Stränge ergeben einen Muskel. Der gesamte Muskel wird von der Fascie umhüllt und von Nerven und Blutgefäßen durchzogen. „Die Befestigungsstellen des Muskels pflegt man als

Ursprung – Punktum fixum – und Ansatz – Punktum mobile – zu bezeichnen. Die Wirkungsweise des Muskels lässt sich jeweils aus der Kenntnis von Ursprung und Ansatz herleiten.....Meist wird als Punktum fixum eine Stelle des Bewegungsapparates bezeichnet, die in Bezug auf eine feste Unterlage bzw. auf den Rumpf unbeweglich ist. Das Punktum mobile wird aufgrund der geringeren Masse als der bewegte Teil betrachtet.“(Weineck, J. 1991). Die Skelettmuskulatur wird von dem zentralen Nervensystem angesteuert zur Ausführung von willentlichen, aber auch kontrollierten Kontraktionen.

- **Nerven:** Über ein oder mehrere Gelenke „kommunizieren“ die Knochen miteinander. Die Knochen werden „zusammengehalten“ durch Muskeln, Sehnen und Bindegewebe. Die Bewegung der Knochen wird veranlasst durch Kontraktion der Muskeln. Um einen Muskel zu veranlassen, sich zu kontrahieren, benötigen die Muskelfasern einen „Impuls“. Dieser Impuls wird durch das Nervengewebe entweder bewusst oder aufgrund eines Reflexes geliefert. „Dabei werden die Reize aus der Umwelt von verschiedenen Rezeptoren (Auge, Ohr, Hautrezeptoren) aufgenommen. Über die afferenten (sensorischen) Nervenbahnen gelangen die durch den Reiz ausgelösten Erregungen zum ZNS (Gehirn und Rückenmark). Dort erfolgt die Verarbeitung und Umschaltung auf die efferenten (motorischen) Nervenbahnen, die die Erregung zum Erfolgsorgan, dem Muskel, leiten und die Bewegung veranlassen. Bewegungen können somit entweder eine Reaktion auf Umweltreize darstellen (Flucht, Neugier, Schmerz), oder aber sie werden vom Gehirn direkt ohne äußeren Anstoß veranlasst. Als „motorische Einheit“ bezeichnet man eine motorische Nervenzelle mit ihrer efferent leitenden langen Nervenfasern und dem von ihr versorgten Kollektiv von Muskelfasern. Diese Muskelfasern, die von einer einzelnen Nervenfasern innerviert werden, treten auch gemeinsam in Aktion.“(De Marées, H. 1992).

Das Bindeglied zwischen motorischer Nervenfasern und den Muskelfasern stellt die motorische Endplatte – eine Sonderform einer Synapse - dar. Das Nervenende verbreitert sich stark und verzweigt sich und stellt so eine große Kontaktstelle mit der zu innervierenden Muskelfasern her. Wenn nun ein Nervenimpuls den efferenten Nerv entlangläuft, wird mittels biochemischen Transmittern die Erregung auf den Muskel übertragen und es kommt zu einer Kontraktion dieser Muskelfasern.

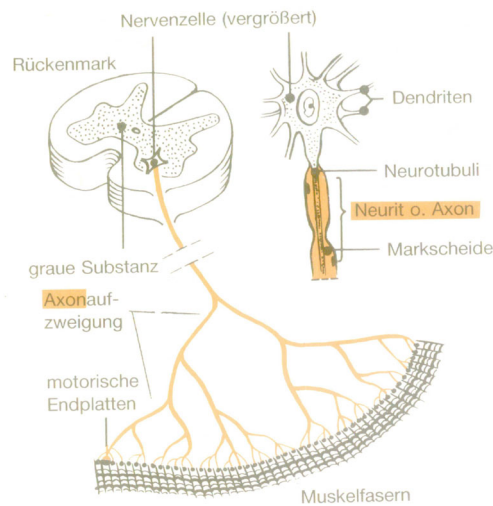


Abbildung a: Aufbau einer motorischen Einheit: Nervenfasern- Motorische Endplatte- Muskel: (De Marées, H. 1992).

12.2. Nähere Erläuterungen zu den Testpersonen

Darunter befanden sich ein ehemaliger Worldcup-Fahrer mit 3 Resultaten zwischen dem ersten bis 20. Platz und sechs Fahrer auf Europacup-Niveau mit mindestens drei Platzierungen unter den ersten 20. Des weiteren nahmen ein gegenwärtiger Freestyler auf Europacup-Niveau (mit drei Platzierungen unter den ersten 40), ein ehemals aktiver Buckelpisten-Sportler mit Worldcup-Resultaten (zwischen Platz eins bis 40) und ein Fahrer auf Landescup-Ebene (drei Platzierungen zwischen eins bis 20) teil. Weiter standen staatlich geprüfte Skilehrer und in Ausbildung befindliche Freestyler des Deutschen Skiverbandes als Testpersonen zur Verfügung.

Anhang

Kennung Skifahrer	Sex [m/w]	Alter [Jahre]	Größe [cm]	Gewicht [kg]	weicher Schuh		harter Schuh		Segmentlängen [cm]							Referenzen
					Größe	Code	Größe	Code	<i>X</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	
A	m	19	175	82	25,5	3	25,5	78		45	41	50	25	26	26	Buckel
B	w	20	168	59	25,5	2	25,5	78		40	48	43	21	26	27	Buckel
C	w	13	153	39	25,5	3	25,5	78		40	32	45	20	25	23	Buckel
D	w				25,5	2	25,5	78	12,5	40	35	47	20	26	24	Lehrer
E	m				27,5	10	27	77		42	36	53	20	30	26	Lehrer
F	m				28,5	18	29	5		50	55	50	25	32	28	Lehrer
G	m				28,5	18	29	5		45	45	45	26	25	25	Lehrer
H	m	18	178	76	27,5	10				45	47	53	18	25	32	Buckel
I	m	16	180		27,5	10			12	45	52	45	22	33	20	Buckel
J	m	20	170	60	26,5	9	26,5	72								Buckel
K	m	53	170	70	25,5	3	26	6		45	42	49	21	34	33	Lehrer/Buckel
L	m				25,5	3	25,5	74	11	39	49	49	23	32	26	
M	m	54	178	74	27,5	14	27	77	11	43	43	50	18	28	30	Lehrer
N	m				27,5	14	27	77	11	43	31	40	21	23	21	
O	m				25,5	2	25,5	74	11	37	38	40	15	22	27	
P	w				25,5	3	25	78	11	38	28	42	18	18	24	
Q	w	32	165	60	26,5	8	26	6	11	40	41	45	20	25	23	Lehrer
R	m		169	65	25,5	3	25,5	74	11	42	44	45	20	25	25	Lehrer
S	m	31	182	75	27,5	14	28	69	11	43	45	50	24	29	31	Buckel
T	m	19	179	70	27,5	10	28	69								Buckel
U	m	16	177	80	28,5		28	6	11	40	43	55	22	31	25	Buckel

Segmentlängen:

- X** Höhe der Bindungsm.
- A** Knöchel - Knie
- B** Knie - Hüfte
- C** Hüfte - Schulter
- D** Schulter - Kopf
- E** Schulter - Ellbogen
- F** Ellbogen - Hand

Tabelle-Anhang 1: Daten der Testpersonen

12.3. Relative Anspannung jedes Muskels

In den folgenden Bildern sind für jeden Muskel die relativen Anspannungen jedes einzelnen Probanden (B - U) aufgetragen.

Zum Diagramm ist zusätzlich die mittlere relative Anspannung (gemittelt über alle Probanden) für jeden Muskel und Zeitpunkt angegeben.

M. tibialis anterior

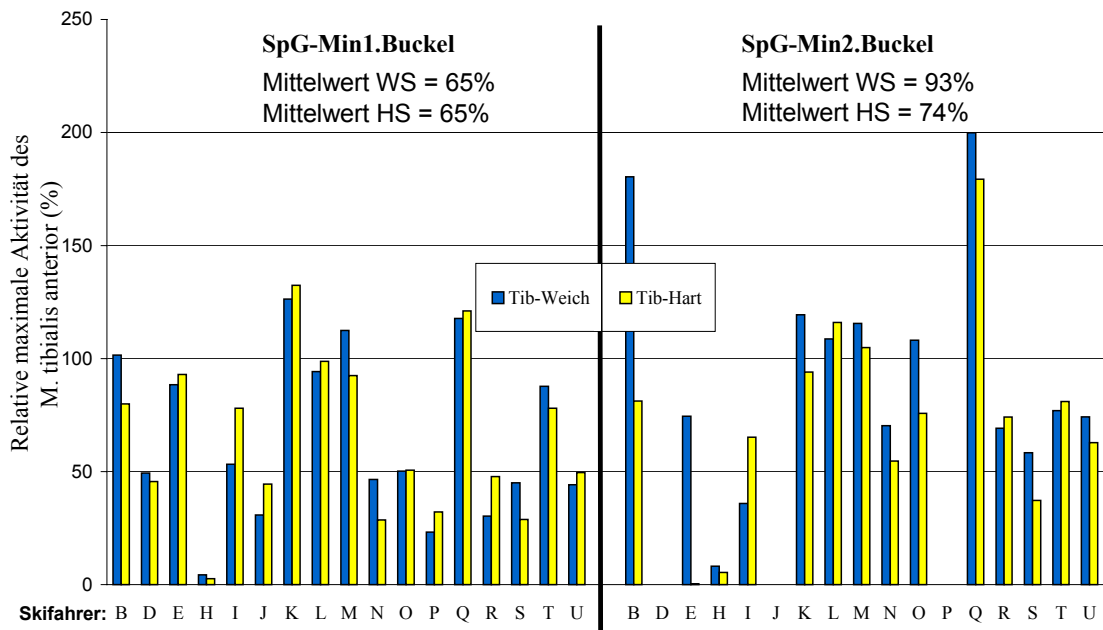


Abbildung b: Relative maximale Aktivität des M. tibialis anterior jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

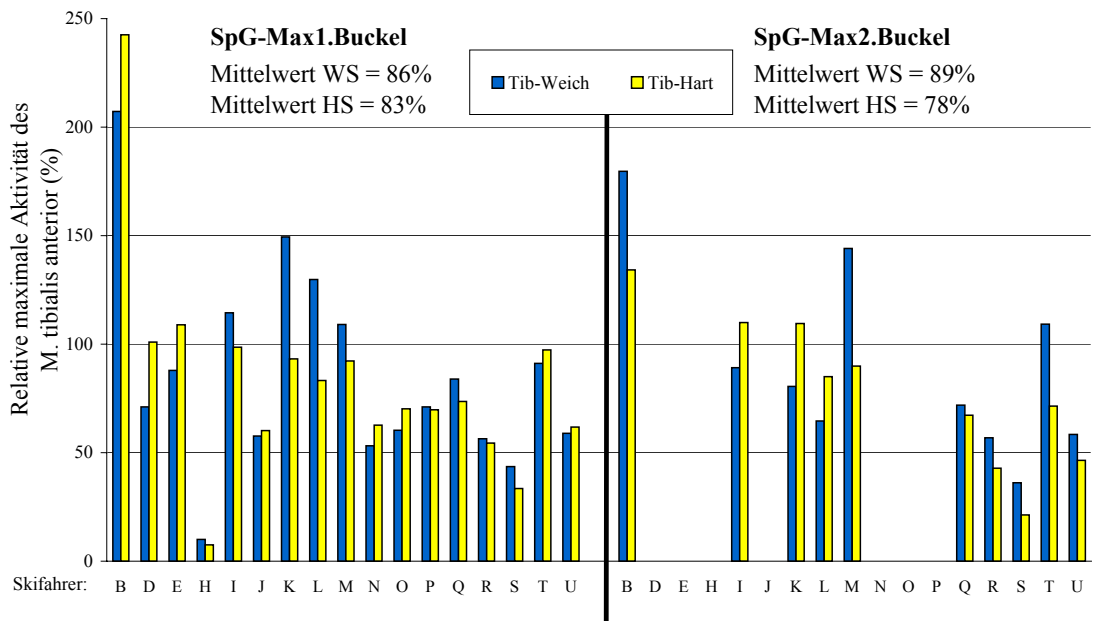


Abbildung c Relative maximale Aktivität des M. tibialis anterior jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für den weichen und den harten Schuh.

M. gastrocnemius

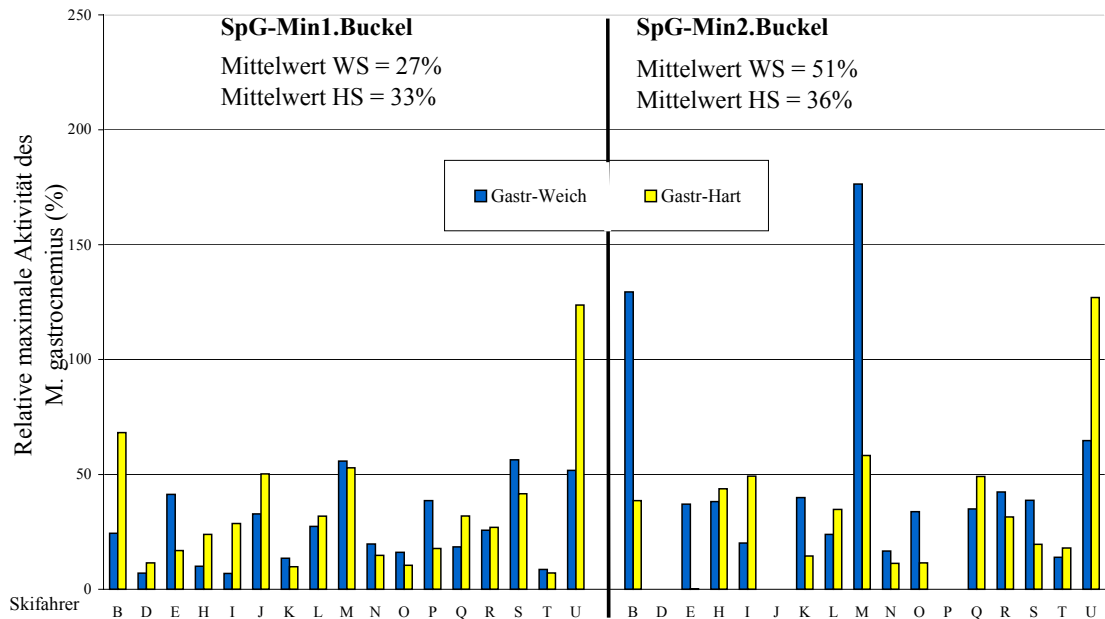


Abbildung d: Relative maximale Aktivität des M. gastrocnemius jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für den weichen und den harten Schuh.

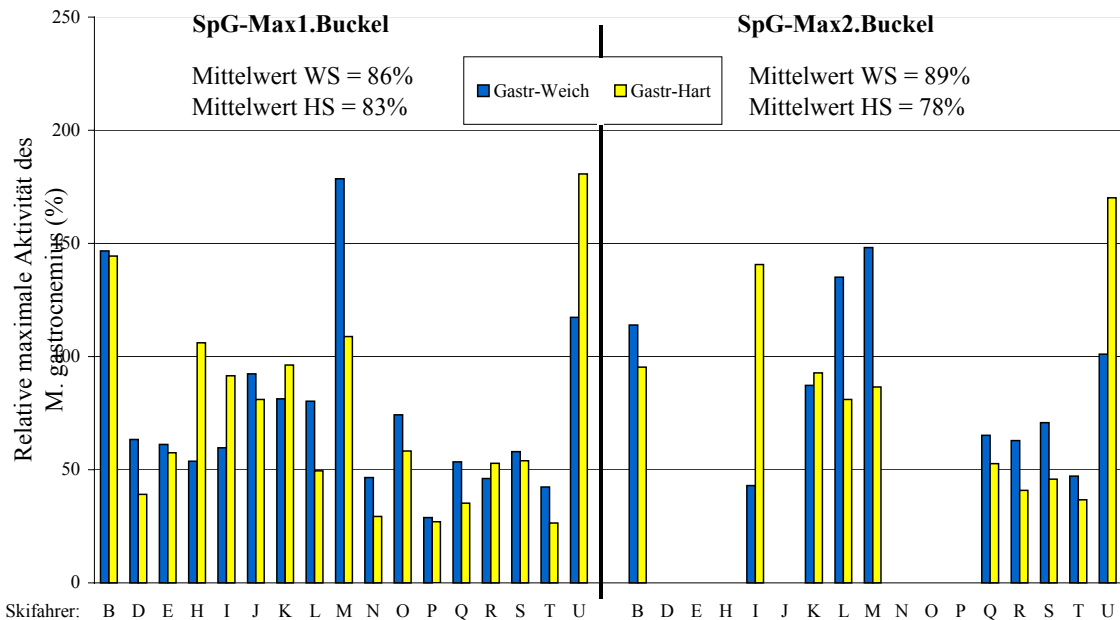


Abbildung e: Relative maximale Aktivität des M. gastrocnemius jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

M. biceps femoris

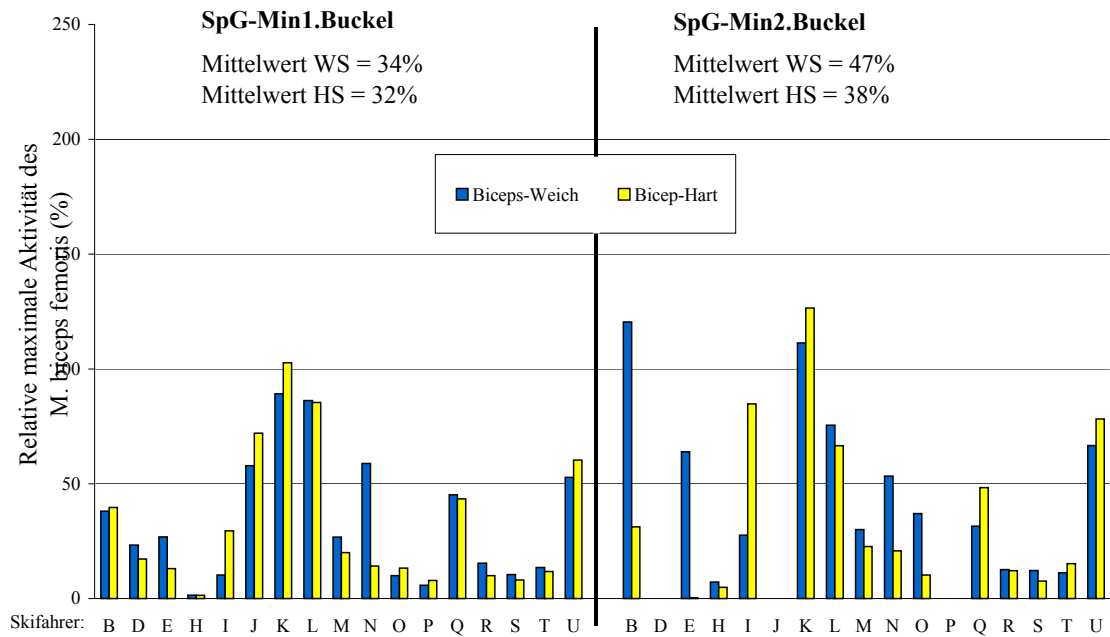


Abbildung f: Relative maximale Aktivität des M. biceps femoris jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

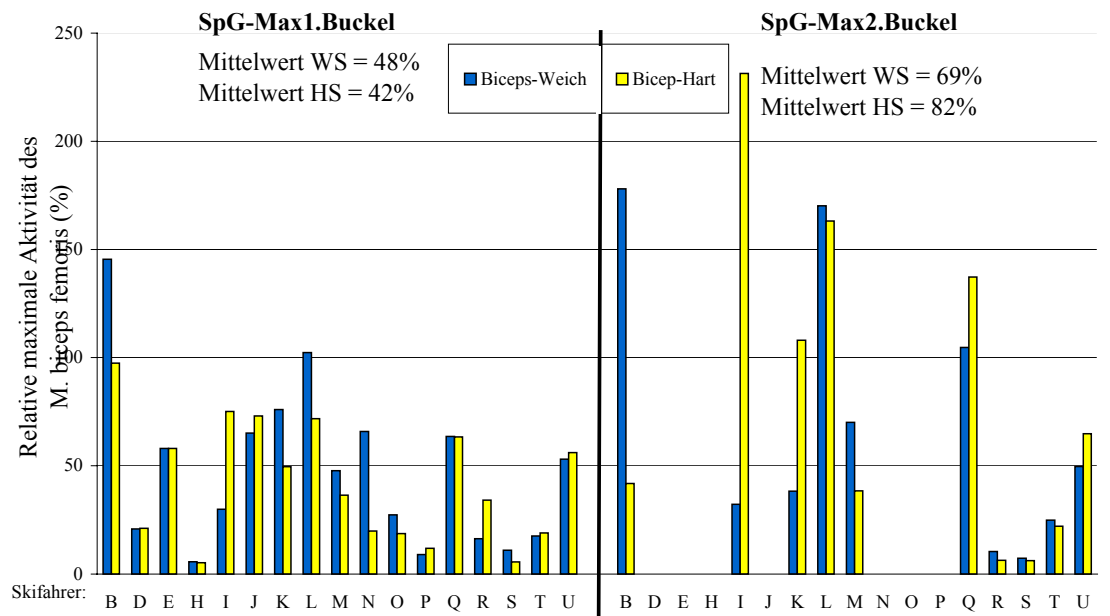


Abbildung g: Relative maximale Aktivität des M. biceps femoris jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

M. gluteus maximus

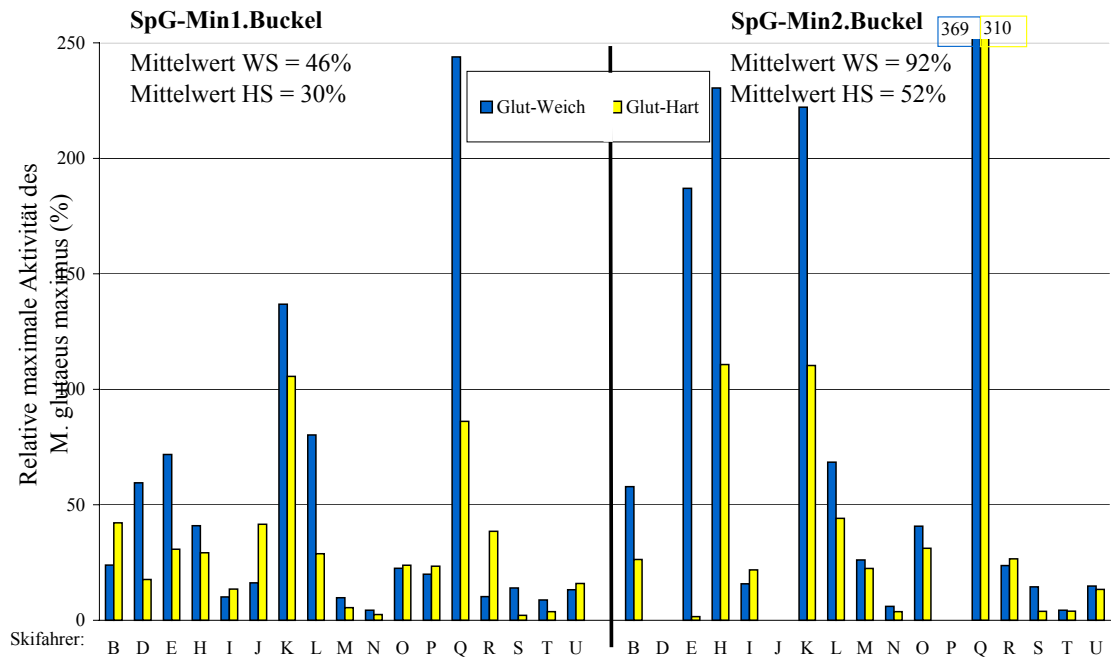


Abbildung h: Relative maximale Aktivität des M. gluteus maximus jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

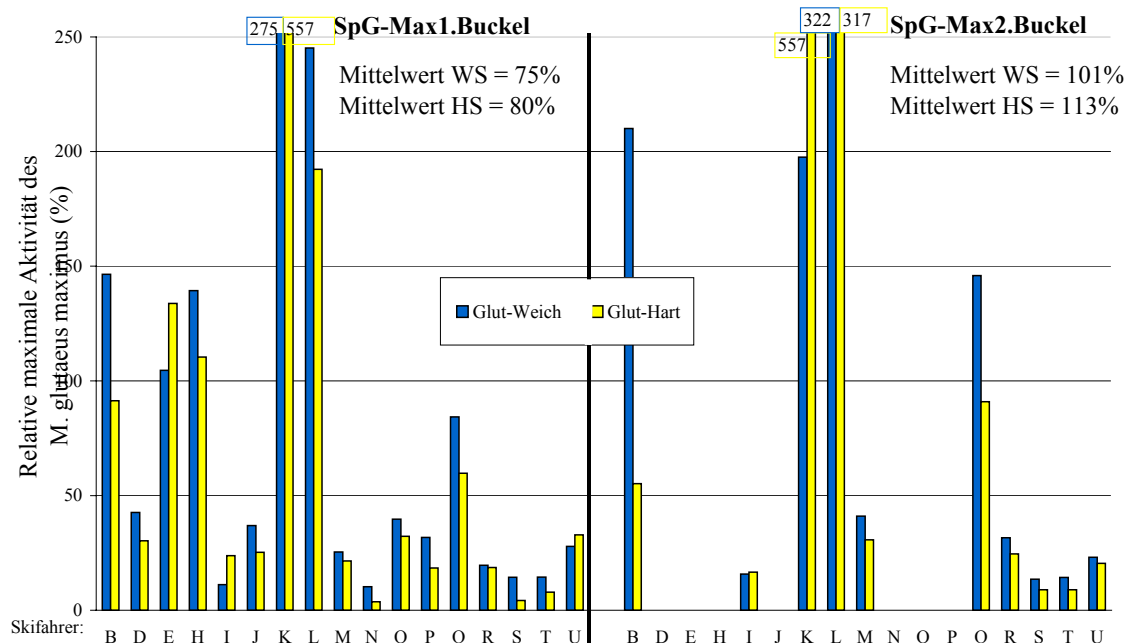


Abbildung i: Relative maximale Aktivität des M. gluteus maximus jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

M. rectus abdominis

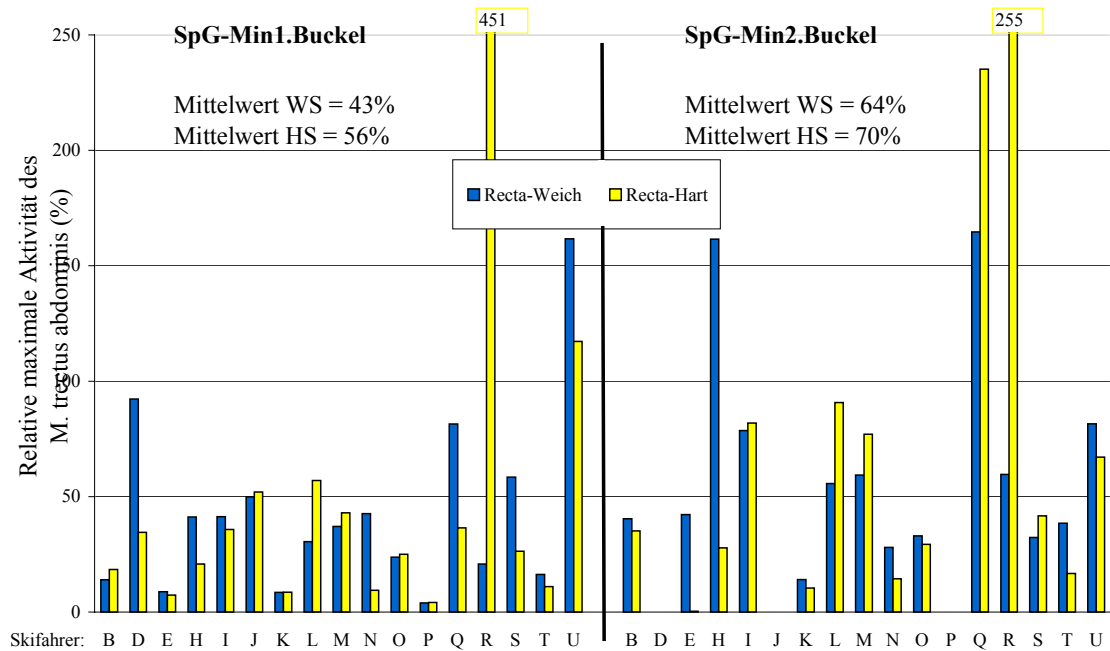


Abbildung j: Relative maximale Aktivität des M. rectus abdominis jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

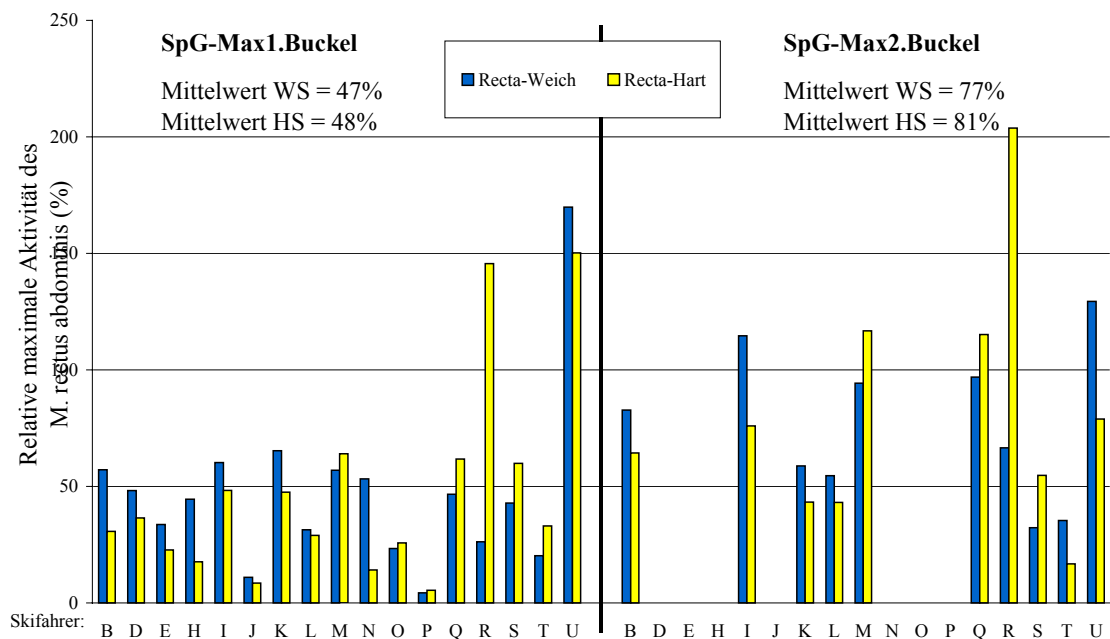


Abbildung k: Relative maximale Aktivität des M. rectus abdominis jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

M. longissimus thoracis

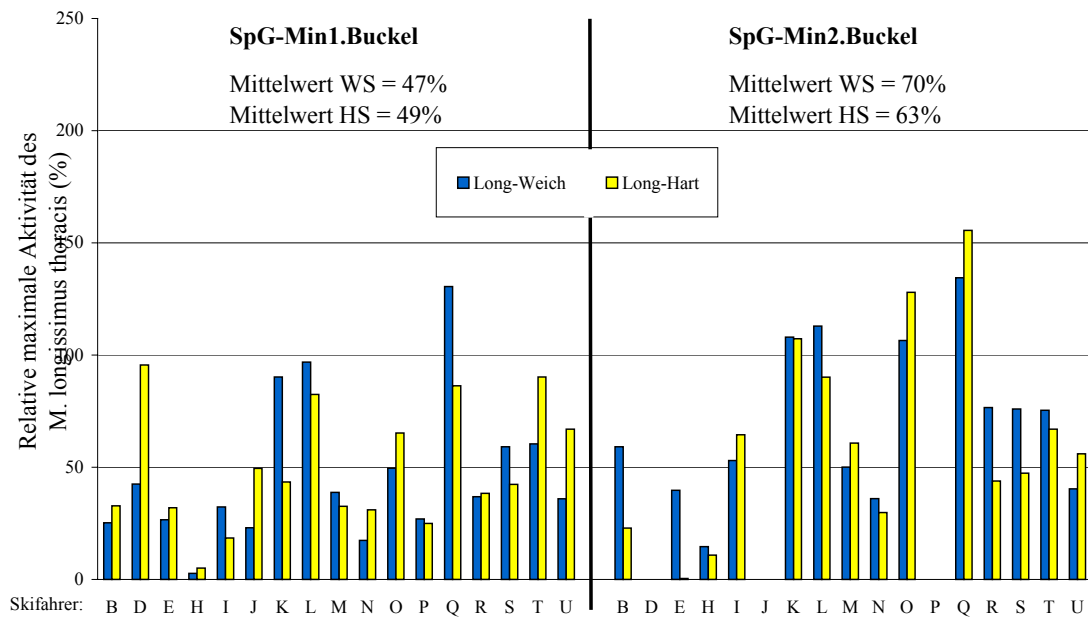


Abbildung l: Relative maximale Aktivität des M. longissimus thoracis jedes Probanden bei der stärksten Beugung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

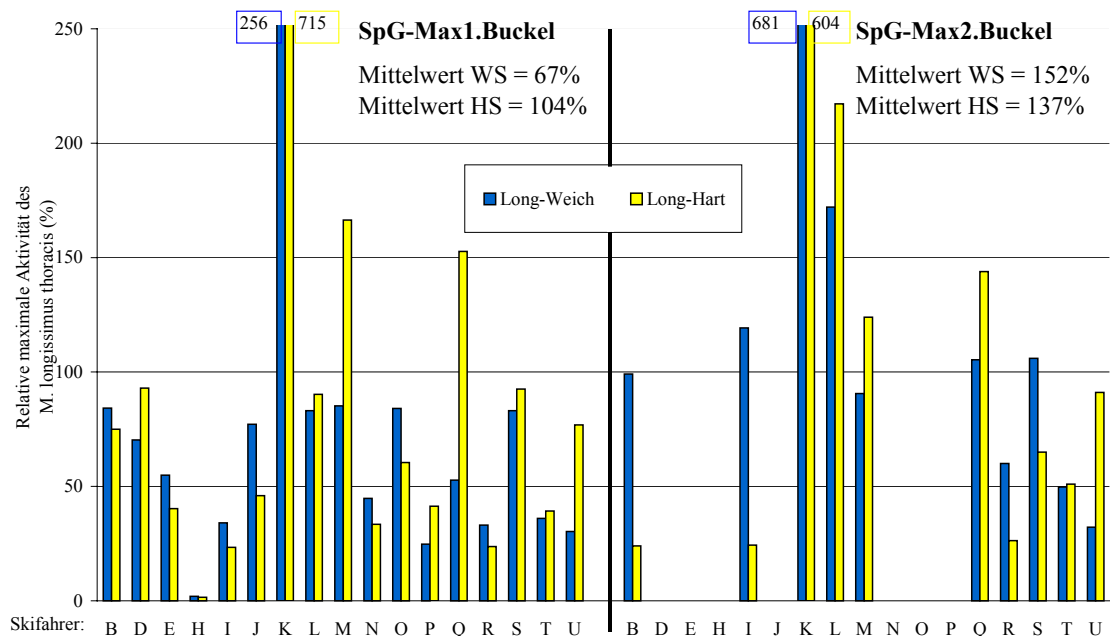


Abbildung m: Relative maximale Aktivität des M. longissimus thoracis jedes Probanden bei der stärksten Streckung des Sprunggelenks (SpG) am ersten Buckel und am zweiten Buckel für weichen und harten Schuh.

12.4. Muskelaktivität zu den Zeitpunkten der Sprunggelenks-Extremwerte

Muskelaktivität zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem ersten Buckel

Bewegungsanalyse:

Sprunggelenk: Der Vergleich der Sprunggelenkswinkel zwischen den Fahrten mit dem weichen und mit dem harten Schuh vor bzw. auf dem ersten Buckel lässt keine Signifikanz erkennen, lediglich eine Tendenz.

Elf Fahrer erreichen bei den Fahrten mit dem „weichen“ Schuh eine geringere Sprunggelenksbeugung bis max. 7 Grad. Diese weisen trotz des weicheren Schuhs, der im Sprunggelenk mehr Flexion zulässt, ein deutlich geringer gebeugtes Sprunggelenk auf im Vergleich zum starren, harten Schuh.

Sechs andere Testpersonen hingegen erzielen mehr Maximalbeugung in ihren Fahrten mit dem „weichen“ Schuhwerk bis -9 Grad.

Kniegelenk: Noch zufälliger erscheint die Streuung der Kniewinkel, die zu diesem Zeitpunkt der größten Sprunggelenksbeugung eingenommen werden.

Hüftgelenk: Des weiteren scheinen auch die Hüftgelenkswinkel eher zufälligen Schwankungen unterworfen zu sein.

EMG-Analyse

► **M. tibialis anterior:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Minimum = +4 μ V (3%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. **Hier zeigen nur 5 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größten Differenzen die Fahrer B und D mit je -43 μ V haben. **12 Skifahrer bringen es in der Differenz auf positive Werte**, wobei die größten Differenzen von den Läufern E mit 23 μ V, J mit 30 μ V, I mit 29 μ V und K mit 26 μ V erzielt werden.

Intervall (T MINUS 100):

- **Δ Mittelwert = -11 μ V (9%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer Q mit -100 μ V aufweist. Auch die Probanden L, M und S haben mit Werten um -65 μ V eine hohe Differenz. Die höchsten von 5 positiven Differenzwerten treten bei den Fahrern E mit 47 μ V, J mit 57 μ V und R mit 63 μ V auf.

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. gastrocnemius:** Hier lassen sich keine eindeutigen Effekte und tendenziellen Auswirkungen des „weichen“ Schuhs auf die Rumpfmuskulatur eruieren.

► **M. rectus femoris:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Maximum = -27 μ V (52%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,04$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer M mit -143 μ V und L mit -105 μ V aufweisen. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Fahrer O mit 26 μ V auf.

- **Δ Mittelwert = -10 μ V (19%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 11 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit -80μ V aufweist. Der Proband L hat einen Wert von -33μ V, T von -27μ V. Den höchsten von 6 positiven Differenzwerten hat der Skifahrer R mit 18μ V. Der Fahrer O folgt mit 17μ V, E mit 16μ V und I mit 15μ V.
- **Δ Spanne = -25 μ V (48%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest resultiert ein signifikantes Ergebnis von $0,049$. Hier zeigen 13 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -80μ V, M mit -111μ V und L mit -107μ V aufweisen. Die höchsten von 4 positiven Differenzwerten treten bei den Fahrern O und P mit 21μ V bzw. 22μ V auf.

Intervall (T MINUS 100):

- **Δ Mittelwert = -13 μ V (25%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 11 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit -133μ V aufweist. Die Probanden B, K und Q haben Werte zwischen -23μ V und -32μ V. Den höchsten von 6 positiven Differenzwerten hat der Skifahrer E mit 33μ V. Der Fahrer R folgt mit 16μ V.

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200):

- **Δ Maximum = -16 μ V (31%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer L mit -104μ V aufweist. Die Probanden K, M, Q, T und U haben Werte zwischen -34μ V und -49μ V. Den höchsten von 7 positiven Differenzwerten hat der Fahrer O mit 26μ V. Einen weiteren höheren positiven Wert weist I mit 19μ V auf.

► **M. biceps femoris:****Intervall (GESAMT):**

- **Δ FWHM = -25 ms (20%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer I mit -127 ms aufweist. Auch die Probanden B, D und M haben eine hohe Differenz und Werte von -80 ms. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Fahrer K mit 54 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten**Intervall (T PLUS 100):**

- **Δ Mittelwert = -4 μ V (5%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest resultiert ein signifikantes Ergebnis von ca. $p_w = p_v = 0,03$. Hier zeigen 13 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer L mit -80 μ V aufweist. Weitere höhere negative Differenzen haben die Skifahrer J mit -60 μ V und M mit -56 μ V. Der höchste von 4 positiven Differenzwerten tritt bei dem Fahrer K mit 265 μ V auf.

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten► **M. gluteus maximus:****Intervall (GESAMT): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten****Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten****Intervall (T PLUS 100):**

- **Δ Maximum = -23 μ V (100%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer Q mit -301 μ V aufweist. Der Proband D hat den Wert von -47 μ V. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer J mit 82 μ V auf.
- **Δ Mittelwert = -14 μ V (60%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer Q

mit $-216 \mu\text{V}$ aufweist. Der Proband D hat den Wert von $-31 \mu\text{V}$. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer J mit $76 \mu\text{V}$ auf.

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. rectus abdominis:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Mittelwert = $+1 \mu\text{V}$ (2%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen **12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größten Differenzen die Fahrer N und Q mit $-38 \mu\text{V}$ bzw. $-40 \mu\text{V}$ aufweisen. Die Probanden B, D, T und U haben Werte zwischen $-19 \mu\text{V}$ und $-25 \mu\text{V}$. Der höchste von **5 positiven Differenzwerten** tritt bei dem Skifahrer R mit $148 \mu\text{V}$ auf. Der Fahrer L hat die Differenz $37 \mu\text{V}$.
- **Δ Minimum = $+4 \mu\text{V}$ (8%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen **5 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-13 \mu\text{V}$ aufweist. Die Probanden J, L und Q haben Werte zwischen $-8 \mu\text{V}$ und $-9 \mu\text{V}$. Der höchste von **12 positiven Differenzwerten** tritt bei dem Skifahrer U mit $38 \mu\text{V}$ auf. Der Fahrer M hat die Differenz $31 \mu\text{V}$.
- **Δ Spanne = $-3 \mu\text{V}$ (6%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer N und U mit $-135 \mu\text{V}$ aufweisen. Die Probanden Q, S und T haben Werte zwischen $-56 \mu\text{V}$ und $-68 \mu\text{V}$. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer R mit $301 \mu\text{V}$ auf. Der Fahrer L hat die Differenz $146 \mu\text{V}$.
- **Δ Standardabweichung = $-2 \mu\text{V}$ (4%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer N und U mit $-45 \mu\text{V}$ bzw. $-51 \mu\text{V}$ aufweisen. Die Probanden D, Q, S und T haben Werte zwischen $-14 \mu\text{V}$ und $-24 \mu\text{V}$. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer R mit $94 \mu\text{V}$ auf. Der Fahrer L hat die Differenz $46 \mu\text{V}$.

Intervall (T MINUS 100):

- **Δ Mittelwert = -1 μ V (2%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer N mit -107 μ V aufweist. Die Probanden B, D, J, L und Q haben Werte zwischen -17 μ V und -24 μ V. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer R mit 183 μ V auf. Der Fahrer T hat die Differenz 30 μ V.

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten**Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten****► M. longissimus thoracis:****Intervall (GESAMT):**

- **Δ Minimum = +6 μ V (8%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier **zeigen 5 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größte Differenz der Fahrer K mit -15 μ V aufweist. Die Probanden D und H haben Werte von -7 μ V und -8 μ V. Die höchsten positiven Differenzwerte von den **12 positiven Ergebnissen** treten bei den Skifahrern L mit 53 μ V und U mit 17 μ V auf.
- **Δ FWHM = -31 ms (27%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer D und N mit -134 ms bzw. -140 ms aufweisen. Weitere große Werte zeigen die Fahrer H mit -85 ms und Fahrer O mit -76 ms. Die übrigen 8 negativen Werte sind kleiner als -45 ms. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer M mit 114 ms auf. Alle übrigen positiven Werte sind kleiner als 37 ms.

Intervall (T MINUS 100):

- **Δ Maximum = +8 μ V (11%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. **Hier zeigen 5 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größten Differenzen die Fahrer I und L mit -42 μ V bzw. -58 μ V aufweisen. Die Probanden Q und S

haben Werte von $-36 \mu\text{V}$ und $-37 \mu\text{V}$. Die höchsten Differenzwerte von den **12 positiven Ergebnissen** treten bei den Skifahrern T mit $99 \mu\text{V}$ und U mit $54 \mu\text{V}$ auf. Der Skifahrer O hat eine Differenz von $47 \mu\text{V}$ und R von $36 \mu\text{V}$.

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Muskelaktivität zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem ersten Buckel

Bewegungsanalyse

Sprunggelenk: Bei den Fahrten mit dem „weichen“ Schuh ergibt sich mittels des angewandten Wilcoxon-Test eine höchst-signifikante ($p_w < 0.001$) vermehrte Streckung des Sprunggelenks um 3 Grad gegenüber den Fahrten mit „hartem“ Schuh. Fünfzehn Fahrer erreichen eine vermehrte Extension mit dem „weichen“ Testschuh, am meisten der Fahrer D mit 6,6 Grad und der Proband P mit 8,2 Grad. Nur zwei Testpersonen (Fahrer I und O) erlangen eine um $-1,6$ Grad bzw. $-0,7$ Grad geringere Sprunggelenksexension mit dem „weichen“ Schuh.

Kniegelenk: Über alle Probanden gemittelt liegt die Differenz bei $+4,5$ Grad. Diese ausgeprägtere Kniestreckung mit dem weichen Schuh ist hochsignifikant ($p_w < 0,01$). Dreizehn Fahrer weisen zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenksexension nach dem ersten Buckel eine erhöhte Streckung im Kniegelenk bei den Durchgängen mit dem „weichen“ Schuh auf. Die größten Werte sind bei Fahrer P ($12,5$ Grad) und Proband S ($10,4$ Grad) anzutreffen.

Vier Fahrer haben eine geringere Kniegelenks-Streckung mit dem „weichen“ Schuh. Neben den geringgradig negativen Veränderungen von Proband M ($-1,5$ Grad), Proband N ($-0,8$ Grad) und Testperson U ($-1,5$ Grad) erreicht nur Fahrer R einen bedeutsamen Unterschied von $-6,1$ Grad

Hüftgelenk: Bei Betrachtung der Differenzen der Mittelwerte der Hüftgelenkwinkel lassen sich keine eindeutigen Effekte oder tendenziellen Auswirkungen des „weichen“ Schuhs auf die Hüftbeugung oder -streckung eruieren.

EMG-Analyse

► **M. tibialis anterior:****Intervall (GESAMT):**

- **Δ Mittelwert = -22 μ V (17%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,04$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer L mit -101 μ V ausweist, gefolgt von Fahrer B und T mit -60 μ V bzw. -68 μ V. Die höchsten von 5 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer D, E und J mit ca. 34 μ V auf.
- **Δ Minimum = -11 μ V (9%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer T mit -76 μ V und Fahrer D mit -37 μ V aufweisen. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer J mit 41 μ V auf.
- **Δ FWHM = -23 ms (22%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Signifikanz mit $p_v = 0,05$. Hier zeigen 13 Probanden negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer O mit -88 ms, T mit -96 ms und U mit -168 ms aufweisen. Die höchsten von 4 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer P mit 103 ms und K bzw. L mit je 81 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. gastrocnemius:****Intervall (GESAMT):**

- **Δ Maximum = -17 μ V (15%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit -343 μ V aufweist. Auch der Proband L weist mit dem Wert um -150 μ V

eine hohe Differenz auf. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer U mit 265 μV und I mit 209 μV auf.

- **Δ Mittelwerte = -23 μV (20%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat eine Signifikanz mit $p_v = 0,05$. Hier zeigen 13 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit -199 μV aufweist. Die höchsten von 4 positiven Differenzwerten treten bei H mit 43 μV , I mit 43 μV und K mit 33 μV auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100):

- **Δ Maximum = -11 μV (10%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer L mit -94 μV aufweist. Auch die Probanden J, M, N, O und T weisen mit Werten um -80 μV hohe Differenzen auf. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer I mit 206 μV auf.
- **Δ Mittelwerte = -23 μV (20%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,02$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer O mit -116 μV aufweist. Auch die Probanden M, N und T weisen mit Werten um -56 μV höhere Differenzen auf. Die höchsten von 5 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer B mit 23 μV und H mit 48 μV auf.

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. rectus femoris:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Maximum = -38 μV (30%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat eine Signifikanz mit $p_v = 0,05$. Hier zeigen 13 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer K mit -284 μV aufweist. Auch der Proband M hat mit dem Wert um -

180 μV eine hohe Differenz. Die höchsten von 4 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer E mit 94 μV und Fahrer D mit 76 μV auf.

- **Δ Mittelwert = -23 μV (18%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer K mit -173 μV aufweist. Auch der Proband M hat mit dem Wert um -73 μV eine hohe Differenz. Die höchsten von 5 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer E mit 39 μV und Fahrer J mit 23 μV auf.
- **Δ Minimum = -13 μV (10%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,06$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer K mit -93 μV aufweist. Der höchste von 7 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer J mit 37 μV auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. biceps femoris:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Mittelwert = -12 μV (13%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -116 μV aufweist. Die Probanden L, M und N haben mit den Werten um -48 μV die nächst höheren Werte. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer I mit 93 μV auf.
- **Δ Minimum = -5 μV (5%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen der Fahrer B mit -34 μV , Fahrer L mit -19 μV und Fahrer Q und R mit -17 μV aufweisen. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer I mit 24 μV auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. glutaecus maximus:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Maximum = -8 μ V (16%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Signifikanz mit $p_v = 0,05$. Hier zeigen 13 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen der Fahrer L mit -64 μ V und der Fahrer Q mit -56 μ V aufweisen. Auch die Probanden B, N und T haben mit Werten um -53 μ V eine hohe Differenz. Der höchste von 4 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit 172 μ V auf.
- **Δ Spanne = -6 μ V (12%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Signifikanz mit $p_v = 0,05$. Hier zeigen 13 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -51 μ V aufweist. Auch die Probanden J, N, Q und T haben Werte um -45 μ V. Der höchste von 4 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit 167 μ V auf.
- **Δ Standardabweichung = -2 μ V (4%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -19 μ V aufweist. Auch die Probanden J, L, N, Q und S haben mit Werten um -14 μ V eine hohe Differenz. Der höchste von 5 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit 51 μ V auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. rectus abdominis:** Hier lassen sich keine eindeutigen Effekte oder tendenziellen Auswirkungen des „weichen“ Schuhs auf die Rumpfmuskulatur eruieren.

► **M. longissimus thoracis:** Hier lassen sich keine eindeutigen Effekte oder tendenziellen Auswirkungen des „weichen“ Schuhs auf die Rumpfmuskulatur eruieren.

Muskelaktivität zum Zeitpunkt der stärksten Sprunggelenks-Beugung vor bzw. auf dem zweiten Buckel

Bewegungsanalyse

Sprunggelenk: Es ist kein Trend hinsichtlich der größten Sprunggelenksbeugung zu diesem Zeitpunkt festzustellen. Die Extremen dieses uneinheitlichen Wertebereiches nehmen Fahrer B mit $-20,5$ Grad, P mit $+7,3$ Grad und Proband S mit -5 Grad ein.

Bei Betrachtung der Unterschiede der gemittelten Sprunggelenkwinkel zum Zeitpunkt der vergleichbaren stärksten Beugung in diesem Gelenk zeigt der Fahrer B im Vergleich zu den anderen Probanden ein deutlich abweichendes Bewegungsmuster. Auffällig ist die in den drei Fahrten bei ihm gemessene besonders starke Sprunggelenksbeugung (55 Grad, 35 Grad, 43 Grad) bei Verwenden des weichen Schuhs im Vergleich zum harten Schuh (65 Grad, 67 Grad, 62 Grad).

Kniegelenk: Hier lässt sich ebenfalls kein Trend beobachten. Dies wird noch klarer, wenn man berücksichtigt, dass die hohe Differenz von Fahrer T ($14,6$ Grad) wohl eher zufällig entstanden ist: Seine Bewegungsausführung hat eine hohe Variabilität im Kniewinkel mit 106 Grad, 102 Grad und 80 Grad bei den drei einzelnen „Weich-Schuh-Fahrten“ und mit 106 Grad, 130 Grad und 97 Grad bei den drei Vergleichsschuh-Durchgängen.

Hüftgelenk: Auch hinsichtlich der Hüftgelenkwinkel sind zu dem beobachteten Zeitpunkt keine erkennbaren Tendenzen nachweisbar.

EMG-Analyse

► **M. tibialis anterior:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Maximum = $-41 \mu\text{V}$ (33%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, hat aber mit $p_w = 0,03$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-244 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer S hat mit einem Wert um $-100 \mu\text{V}$ einen hohen Differenzwert, sowie K mit $-90 \mu\text{V}$. Der höchste Differenzwert von den 4 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer I mit $81 \mu\text{V}$.
- **Δ Mittelwert = $-47 \mu\text{V}$ (38%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von

$p_w = 0,046$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B mit $-143 \mu\text{V}$ und K mit $-301 \mu\text{V}$ aufweisen. Der Proband S hat einen Wert von $-64 \mu\text{V}$. Die höchsten Differenzwerte von den 4 positiven Ergebnissen treten bei den Skifahrern L mit $29 \mu\text{V}$ und T mit $27 \mu\text{V}$ auf.

- **$\Delta\text{Minimum} = -15 \mu\text{V} (12\%)$** : Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, hat aber mit $p_w = 0,06$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-124 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höchste Differenzwert von den 4 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer T mit $21 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Spanne} = -59 \mu\text{V} (48\%)$** : Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest zeigt eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B, K und S mit $-120 \mu\text{V}$, $-166 \mu\text{V}$, $-486 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höchste von 3 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer R mit $55 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Standardabweichung} = -7 \mu\text{V} (6\%)$** : Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest zeigt eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B, E, K und S mit $-20 \mu\text{V}$, $-44 \mu\text{V}$, $-32 \mu\text{V}$ und $-35 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höchste von 3 positiven Differenzwerten tritt bei dem Skifahrer L mit $24 \mu\text{V}$ auf.

Intervall (T MINUS 100):

- **$\Delta\text{Maximum} = -41 \mu\text{V} (33\%)$** : In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,046$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B und S mit $-244 \mu\text{V}$ bzw. $-100 \mu\text{V}$ aufweisen. Die Probanden K, N, Q und U haben Werte zwischen $-45 \mu\text{V}$ und $-63 \mu\text{V}$. Die höchsten Differenzwerte von den 4 positiven Ergebnissen treten bei den Skifahrern L mit $31 \mu\text{V}$ und T mit $30 \mu\text{V}$ auf.

- **Δ Mittelwert = -35 μ V (28%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,03$. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B und S mit -148μ V bzw. -108μ V aufweisen. Die Probanden K, M, N, Q und U haben Werte zwischen -37μ V und -66μ V. Der höchste Differenzwert von den 3 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer I mit 25μ V auf.

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200):

- **Δ Maximum = -38 μ V (31%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, hat aber mit $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B und K mit -146μ V bzw. -144μ V aufweisen. Der Proband O hat einen Wert von -94μ V, Fahrer M und N von -67μ V. Der höchste Differenzwert von den 5 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer I mit 90μ V auf.
- **Δ Mittelwert = -31 μ V (25%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,02$. Der Vorzeichentest zeigt eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -129μ V aufweisen. Die Probanden K, L, M, N, O und S haben Werte zwischen -40μ V und -76μ V. Der höchste Differenzwert von den 3 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer I mit 37μ V auf.

► **M. gastrocnemius:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Mittelwert = -40 μ V (63%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, hat aber mit $p_w = 0,08$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer

K mit $-130 \mu\text{V}$ und M mit $-348 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höchste Differenzwert von den 4 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer U mit $80 \mu\text{V}$ auf.

- **$\Delta\text{Minimum} = -20 \mu\text{V}$ (32%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer I und M mit $-44 \mu\text{V}$ bzw. $-177 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höchste Differenzwert von den 3 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer U mit $33 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Median (s)} = +16 \text{ ms}$ (17%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier **zeigen 4 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größte Differenz der Fahrer L mit -58 ms aufweist. Die höchsten Differenzwerte der **9 positiven Ergebnissen** treten bei den Skifahrern B und T mit Werten von 93ms bzw. 82 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100):

- **$\Delta\text{Maximum} = -42 \mu\text{V}$ (67%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit $-398 \mu\text{V}$ aufweisen. Der Proband K hat einen Wert von $-80 \mu\text{V}$. Positive Differenzwerte haben die Skifahrer I, Q und U mit $28 \mu\text{V}$, $23 \mu\text{V}$ bzw. $25 \mu\text{V}$.
- **$\Delta\text{Mittelwert} = -32 \mu\text{V}$ (51%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,02$. Der Vorzeichentest zeigt ein signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,012$. Hier zeigen 11 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit $-52 \mu\text{V}$ und M mit $-279 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höhere Differenzwert von den 2 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer H mit $25 \mu\text{V}$ auf.

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. rectus femoris:****Intervall (GESAMT):**

- **Δ Maximum = -4 μ V (4%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -344 μ V und L mit -112 μ V aufweisen. Die höchsten Differenzwerte der 3 positiven Ergebnisse treten bei den Skifahrern H mit 75 μ V und Q mit 742 μ V auf.
- **Δ Mittelwert = -26 μ V (27%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -366 μ V und B mit -77 μ V aufweisen. Der höchste Differenzwert der 3 positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer Q mit 269 μ V auf.
- **Δ Spanne = -37 μ V (38%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -856 μ V, L mit -123 μ V und S mit -95 μ V aufweisen. Der höchste Differenzwert der 3 positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer Q mit 726 μ V auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200):

- **Δ Maximum = -17 μ V (18%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer S mit -103 μ V und L mit -86 μ V aufweisen. Außerdem hat T eine erhöhte Differenz von -61 μ V. Die höchsten Differenzwerte der 3 positiven Ergebnisse treten bei den Skifahrern H mit 54 μ V und Q mit 124 μ V auf.
- **Δ Mittelwert = -16 μ V (16%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten

Differenzen die Fahrer B, S und T mit Werten zwischen $-48 \mu\text{V}$ und $-54 \mu\text{V}$ aufweisen. Die höchsten Differenzwerte der 3 positiven Ergebnisse treten bei den Skifahrern H mit $50 \mu\text{V}$ und Q mit $81 \mu\text{V}$ auf.

► **M. biceps femoris:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Mittelwert = $-68 \mu\text{V}$ (72%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, hat aber mit $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit $-636 \mu\text{V}$ und B mit $-103 \mu\text{V}$ aufweisen. Die höchsten Differenzwerte von den 4 positiven Ergebnissen treten bei den Skifahrern J mit $16 \mu\text{V}$, T mit $18 \mu\text{V}$ und U mit $21 \mu\text{V}$ auf.
- **Δ Spanne = $-81 \mu\text{V}$ (86%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit $-548 \mu\text{V}$, B mit $-354 \mu\text{V}$ und O mit $-126 \mu\text{V}$ aufweisen. Der höchste Differenzwert der 3 positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer I mit $84 \mu\text{V}$ auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. glutaecus maximus:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Maximum = $-28 \mu\text{V}$ (72%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein hoch-signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,002$. Der Vorzeichentest hat ein hoch-signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,004$. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer H mit $-85 \mu\text{V}$, K mit $-68 \mu\text{V}$ und Q mit $-86 \mu\text{V}$ aufweisen. Der einzige positive Differenzwert tritt bei dem Skifahrer R mit $4 \mu\text{V}$ auf.

- **Δ Mittelwert = -11 μ V (28%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,05$. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -77μ V und Q mit -34μ V aufweisen. Der höchste Differenzwert der 3 positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer H mit 15μ V auf.
- **Δ Spanne = -43 μ V (110%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein hoch-signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,002$. Der Vorzeichentest hat ein hoch-signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,004$. Hier zeigen 12 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -196μ V, H mit -102μ V und Q mit -93μ V aufweisen. Der einzige positive Differenzwert tritt bei dem Skifahrer R mit 1μ V auf.
- **Δ Standardabweichung = -10 μ V (26%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein hoch-signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,003$. Der Vorzeichentest hat ein signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,02$. Hier zeigen 11 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer H mit -30μ V und Q mit -29μ V aufweisen. Der höchste Differenzwert der 2 positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer L mit $1,6 \mu$ V auf.
- **Δ Modus(s) = +28 ms (22%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Signifikanz mit $p_v = 0,02$. Hier zeigen **2 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, wobei die größten Differenzen die Fahrer L mit -98 ms und U mit -104 ms aufweisen. Die höchsten positiven Differenzwerte **der 11 positiven Ergebnisse** treten bei den Skifahrern B mit 199 ms und K mit 73 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. rectus abdominis: Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten**

► **M. longissimus thoracis:****Intervall (GESAMT):**

- **Δ Mittelwert = -28 μ V (30%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,02$. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer R mit -81μ V, B mit -65μ V, K mit -56μ V und S mit -54μ V aufweisen. Außerdem haben die Fahrer H, I und L mit Werten zwischen -30μ V bis -40μ V erhöhte negative Differenzen. Die höchsten Differenzwerte der 3 positiven Ergebnisse treten bei den Skifahrern Q mit 37μ V und U mit 20μ V auf.
- **Δ Minimum = -4 μ V (4%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test. Der Vorzeichentest hat eine Tendenz mit $p_v = 0,09$. Hier zeigen 10 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer R mit -33μ V und S mit -31μ V aufweisen. Die übrigen negativen Ergebnisse liegen alle unter -18μ V. Der höchste Differenzwert von den 3 positiven Ergebnissen tritt bei dem Skifahrer Q mit 35μ V auf.
- **Δ Spanne = -42 μ V (45%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert kein signifikantes Ergebnis, aber mit $p_w = 0,05$ ergibt sich eine Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer K mit -176μ V, B mit -115μ V und H mit -107μ V aufweisen. Außerdem haben die Fahrer S mit -72μ V und R mit -66μ V erhöhte negative Differenzen. Die höchsten Differenzwerte der 4 positiven Ergebnisse treten bei den Skifahrern O mit 38μ V und U mit 35μ V auf.
- **Δ Modus (s) = +17 ms (15%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber mit $p_w = 0,06$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat ein signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,02$. **Hier zeigen nur 2 Probanden in der Differenzbildung negative Werte**, die die Fahrer U mit -136 ms und B mit -22 ms aufweisen. Der höchste Differenzwert **der 11**

positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer S mit 124 ms auf. Die übrigen positiven Differenzwerte liegen unter 60 ms.

Intervall (T MINUS 100):

- **Δ Maximum = -32 μ V (34%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, hat aber mit $pw = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer B mit -112μ V, H mit -102μ V und S mit -98μ V aufweisen. Außerdem haben die Skifahrer K mit -90μ V und R mit -88μ V erhöhte Werte. Die höchsten Differenzwerte von den 5 positiven Ergebnissen treten bei den Skifahrern Q mit 54μ V und U mit 57μ V auf. Weiter haben die Probanden I und L je 29μ V als Differenz.
- **Δ Mittelwert = -33 μ V (35%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $pw = 0,046$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer R mit -122μ V, H mit -111μ V, B mit -79μ V und S mit -74μ V aufweisen. Der höchste Differenzwert der 5 positiven Ergebnisse tritt bei dem Skifahrer U mit 46μ V auf.

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Muskelaktivität zum Zeitpunkt der maximalen Sprunggelenks-Streckung nach dem zweiten Buckel

Bewegungsanalyse

Sprunggelenk: Konform zu den Ergebnissen bei den Sprunggelenksmaxima nach dem ersten Buckel lässt sich auch nach dem zweiten Buckel eine mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test hoch-signifikante, stärkere Sprunggelenks-Streckung bei den Versuchsfahrten mit dem „weichen“ Testschuh ermitteln.

Zwölf Testpersonen haben mehr Sprunggelenksexension mit „weichem“ Schuh, Fahrer H mit 8,9 Grad und Proband P mit 6,7 Grad die größten Differenzwerte. Über alle Fahrer gemittelt ergibt sich eine um 3,2 Grad größere Sprunggelenks-Streckung bei Verwendung des weichen Schuhs.

Lediglich der Fahrer I kommt nicht in eine so starke Extension des Sprunggelenks bei den Fahrten mit „weichem“ Schuh (-1,7 Grad).

Kniegelenk: In der Videoanalyse ist eine sehr ausgeprägt vermehrte Streckung im Knie der Testfahrer bei den Durchgängen mit dem „weichen Schuh“ gegenüber denjenigen mit dem „harten“ Schuh erkennbar.

Das Signifikanz-Niveau ist hochsignifikant. Der Mittelwert der Differenzen beläuft sich auf 11,6 Grad.

Die meisten Fahrer strecken ihre Kniegelenke gegenüber den Durchgängen mit „hartem“ Schuh deutlich stärker. Die größten Differenzwerte in der Knie-Extension zeigen die Fahrer Q (32 Grad) und Fahrer B. So erreicht Fahrer B mit dem „weichen“ Testschuh einen Kniegelenkwinkel von gemittelten 119 Grad, bei den Fahrten mit dem „harten“ Vergleichsschuh jedoch nur 90 Grad, wodurch die Differenz von 29 Grad zugunsten einer vermehrten Kniestreckung mit „weichem“ Schuh resultiert. Lediglich zwei Fahrer (Proband M und U) haben eine etwas geringere Streckung bei den Fahrten mit dem „weichen“ Schuh von -2.1 Grad und -1 Grad im Vergleich zu den Vergleichsschuh-Fahrten.

Hüftgelenk: Während der Hüftwinkel bei der bewegungsorientierten Betrachtung nach dem ersten Buckel keine wesentlichen Unterschiede aufweist, zeigt sich nach dem zweiten Buckel eine signifikant größere Hüftstreckung bei den Fahrten mit dem weichen Schuh.

Im Mittel beträgt diese erhöhte Hüftstreckung 10,9 Grad:

Auch beim Hüftgelenkwinkel weist Fahrer Q wie schon beim Kniewinkel den größten Differenzwert auf: Ihm gelingt mit dem „weichen“ Schuh eine extreme Zunahme der Streckung von 42 Grad (!) gegenüber den Vergleichsschuh-Durchläufen.

Nur drei Fahrer (Probanden M, S, U) strecken ihr Hüftgelenk bei den Fahrten mit „weichem“ Schuh geringer, die Differenzen sind jedoch marginal.

EMG-Analyse

► **M. tibialis anterior:**

Intervall (GESAMT):

- **Δ Maximum = -34 μ V (29%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest ist nicht signifikant. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit -186μ V aufweist. Auch die Fahrer B, I, S und T haben mit Werten zwischen -101μ V und -116μ V hohe Differenzwerte. Positive Differenzwerte treten bei Fahrer K mit 103μ V und Fahrer L mit 88μ V auf.
- **Δ Mittelwert = -30 μ V (26%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = p_v = 0,02$. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer T mit -82μ V aufweist. Auch die Fahrer B und M haben mit Werten um -40μ V bzw. -60μ V hohe Differenzwerte. Der einzige Fahrer mit einer positiven Differenz ist der Proband K mit 35μ V
- **Δ Spanne = -42 μ V (36%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit -188μ V aufweist. Auch der Fahrer I hat mit -122μ V und Fahrer B mit -91μ V hohe Differenzwerte. Positive Differenzwerte treten nur bei Fahrer L mit 146μ V und Fahrer K mit 69μ V auf.
- **Δ Standardabweichung = -18 μ V (15%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis $p_w = 0,045$. Der Vorzeichentest ist mit $p_v = 0,02$ signifikant. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte

Differenz der Fahrer I mit $-55 \mu\text{V}$ aufweist. Auch die Fahrer M mit $-54 \mu\text{V}$ und Fahrer B mit $-31 \mu\text{V}$ haben einen hohen Differenzwert. Der einzige Fahrer mit einer positiven Differenz ist der Proband L mit $49 \mu\text{V}$.

- **$\Delta\text{FWHM} = -32 \text{ ms (36\%)$** : In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein hoch-signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,01$. Der Vorzeichentest ist nicht signifikant. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer U mit -99 ms aufweist. Die Fahrer I, L und Q haben Werte um -50 ms . Positive Differenzen haben nur die Fahrer B und M mit je 19 ms .

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200):

- **$\Delta\text{Maximum} = -41 \mu\text{V (35\%)$** : Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-213 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Proband R hat mit dem Wert $-115 \mu\text{V}$ eine hohe Differenz. Positive Differenzwerte treten nur bei den Fahrern K und L mit $103 \mu\text{V}$, bzw. $88 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Mittelwert} = -37 \mu\text{V (32\%)$** : Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-162 \mu\text{V}$ aufweist. Auch die Fahrer I, M, R, S und U haben mit Werten um $-50 \mu\text{V}$ hohe Differenzwerte. Der höhere von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer L mit $75 \mu\text{V}$ auf.

► **M. gastrocnemius:**

Intervall (GESAMT):

- **$\Delta\text{Mittelwert} = -49 \mu\text{V (36\%)$** : Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest ist nicht signifikant. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit $-226 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer L hat mit einem Wert um

-130 μV einen hohen Differenzwert. Der höhere von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit 110 μV auf.

- **$\Delta\text{Minimum} = -35 \mu\text{V}$ (26%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,04$. Der Vorzeichentest hat mit $p_v = 0,02$ ein signifikantes Ergebnis. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit $-125 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer I hat mit einem Wert um $-73 \mu\text{V}$ einen hohen Differenzwert. Der einzige Fahrer mit einer positiven Differenz ist der Proband K mit 41 μV .
- **$\Delta\text{Spanne} = -21 \mu\text{V}$ (15%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer L mit $-224 \mu\text{V}$, gefolgt von Fahrer M mit $-179 \mu\text{V}$ und Fahrer S mit $-77 \mu\text{V}$ haben. Der höhere von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer U mit 345 μV auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100):

- **$\Delta\text{Mittelwert} = -27 \mu\text{V}$ (20%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer M mit $-208 \mu\text{V}$ aufweist. Gefolgt wird dieser hohe Wert von Fahrer L mit $-157 \mu\text{V}$ und Q mit $-119 \mu\text{V}$. Der höhere von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer I mit 320 μV auf.

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. rectus femoris:**

Intervall (GESAMT):

- **$\Delta\text{Mittelwert} = -27 \mu\text{V}$ (21%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,047$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer R mit $-66 \mu\text{V}$ aufweist. Auch die Fahrer B mit $-56 \mu\text{V}$

und L mit $-54 \mu\text{V}$ haben einen hohen Differenzwert. Der höhere von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit $46 \mu\text{V}$ auf.

- **$\Delta\text{Minimum} = -15 \mu\text{V}$ (12%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 7 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer U mit $-53 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer L hat mit einem Wert um $-43 \mu\text{V}$ einen hohen Differenzwert. Der höchste von 3 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit $21 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{FWHM} = -36 \text{ ms}$ (28%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,047$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 6 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer U mit -122 ms und Fahrer I mit -111 ms aufweisen. Auch die Fahrer B mit -87 ms , Fahrer R mit -74 ms und Fahrer M mit -72 ms haben hohe Differenzwerte. Die höchsten von 4 positiven Differenzwerten treten bei den Fahrern Q mit 67 ms und T mit 61 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100):

- **$\Delta\text{Maximum} = -50 \mu\text{V}$ (39%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein hoch-signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,01$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer R mit $-131 \mu\text{V}$ aufweist. Die Fahrer S und U haben Werte um $-85 \mu\text{V}$. Der höchste von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer T mit $23 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Mittelwert} = -35 \mu\text{V}$ (27%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,04$. Der Vorzeichentest hat ein signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,02$. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer R mit $-125 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer U mit $-79 \mu\text{V}$ hat einen hohen Differenzwert. Der einzige Fahrer mit einer positiven Differenz ist der Proband T mit $49 \mu\text{V}$.

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. biceps femoris:**

Intervall (GESAMT):

- **$\Delta\text{FWHM} = -20 \text{ ms}$ (21%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,03$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer U mit -109 ms aufweist. Die Fahrer Q und S haben die nächst größeren negativen Differenzen mit -77 ms bzw. -47 ms . Der höchste von 2 positiven Differenzwerten tritt bei dem Fahrer M mit 27 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. gluteus maximus:**

Intervall (GESAMT):

- **$\Delta\text{Maximum} = -16 \mu\text{V}$ (28%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat ein signifikantes Ergebnis mit $p_v = 0,02$. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-149 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer Q mit $-80 \mu\text{V}$ hat einen hohen Differenzwert. Der einzige positive Differenzwert tritt bei Fahrer K mit $219 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Mittelwert} = -7 \mu\text{V}$ (12%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest ist mit $p_v = 0,02$ signifikant. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-43 \mu\text{V}$ aufweist. Auch die Fahrer L und Q mit je $-37 \mu\text{V}$ haben hohe Differenzwerte. Der einzige positive Differenzwert tritt bei Fahrer K mit $124 \mu\text{V}$ auf.

- **Δ Spanne = -15 μ V (26%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -157μ V aufweist. Auch der Fahrer Q mit -77μ V hat einen hohen Differenzwert. Der höchste von 2 positiven Differenzwerten tritt bei Fahrer K mit 202μ V auf.
- **Δ Standardabweichung = -3 μ V (5%):** Keine Signifikanz nach Wilcoxon-matched-pairs-Test und Vorzeichentest. Hier zeigen 8 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -49μ V aufweist. Auch der Fahrer Q mit -28μ V hat einen hohen Differenzwert. Positive Differenzwerte treten nur bei Fahrer K mit 58μ V und Fahrer L mit 30μ V auf.
- **Δ Median (s) = -30 ms (27%):** In der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon-matched-pairs-Test resultiert ein signifikantes Ergebnis von $p_w = 0,04$. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 7 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größten Differenzen die Fahrer I mit -81 ms, M mit -53 ms und Q mit -85 ms aufweisen. Der höchste von 3 positiven Differenzwerten tritt bei dem Fahrer T mit 34 ms auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200):

- **Δ Maximum = -25 μ V (43%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest ist mit $p_v = 0,02$ signifikant. Hier zeigen 9 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit -149μ V aufweist. Auch die Fahrer M mit -78μ V und Q mit -91μ V haben hohe Differenzwerte. Der einzige positive Differenzwert tritt bei Fahrer K mit 224μ V auf.
- **Δ Mittelwert = -12 μ V (21%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,07$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest ist mit $p_v = 0,02$ signifikant. Hier zeigen 9 Probanden in der

Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer B mit $-100 \mu\text{V}$ aufweist. Auch der Fahrer Q mit $-65 \mu\text{V}$ hat einen hohen Differenzwert. Der einzige positive Differenzwert tritt bei Fahrer K mit $216 \mu\text{V}$ auf.

► **M. rectus abdominis:**

Intervall (GESAMT):

- **$\Delta\text{Spanne} = -47 \mu\text{V}$ (53%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest ist nicht signifikant. Hier zeigen 7 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer T mit $-169 \mu\text{V}$ aufweist. Auch die Fahrer B mit $-122 \mu\text{V}$ und U mit $-120 \mu\text{V}$ haben hohe Differenzwerte. Die höchsten von 3 positiven Differenzwerten treten bei Fahrer M mit $88 \mu\text{V}$ und R mit $87 \mu\text{V}$ auf.
- **$\Delta\text{Standardabweichung} = -18 \mu\text{V}$ (20%):** Der Wilcoxon-matched-pairs-Test ist hier nicht signifikant, zeigt aber bei $p_w = 0,09$ eine gewisse Tendenz. Der Vorzeichentest hat keine Signifikanz. Hier zeigen 7 Probanden in der Differenzbildung negative Werte, wobei die größte Differenz der Fahrer T mit $-56 \mu\text{V}$ aufweist, dicht gefolgt von Proband U mit $-54 \mu\text{V}$. Die höchsten von 3 positiven Differenzwerten treten bei den Fahrern M mit $19 \mu\text{V}$ und R mit $22 \mu\text{V}$ auf.

Intervall (T MINUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T PLUS 100): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

Intervall (T 100-200): Die Werte zeigen keine Auffälligkeiten

► **M. longissimus thoracis:** Hier lassen sich keine eindeutigen Effekte und tendenziellen Auswirkungen des „weichen“ Schuhs auf die Rumpfmuskulatur eruieren.

12.5. Kenngrößen der Skischuhe

BISP-Studie "Buckelpiste"; Skischuhdaten Rossignol

Nr	Marke	Größe	Schuhlänge DL	Höhe Drehpunkt DY		Abstand von Schuhende DX		Sprengung SP
				Innenseite	Außenseite	Innenseite	Außenseite	
1	Rossignol Soft 1	25,5	299 mm	12,3 cm	11,9 cm	9,1 cm	8,6 cm	51 mm
2	Rossignol Soft 1	26,5	309 mm	12,6 cm	12,1 cm	9,7 cm	9,4 cm	54 mm
3	Rossignol Soft 1	27,5	319 mm	12,8 cm	12,3 cm	9,7 cm	9,3 cm	51 mm
4	Rossignol Soft 1	28,5	330 mm	12,9 cm	12,6 cm	10,5 cm	9,8 cm	55 mm

Nr	Marke	Gewicht	Schwerpunkt XS von Ferse gemessen	Schnallen bei Hyst-Messung	
				1	2
1	Rossignol Soft 1	22,5 N	12,6 cm	2,3,2,-	2,3,2,-
2	Rossignol Soft 1	24,0 N	12,9 cm	2,3,2,-	2,3,2,-
3	Rossignol Soft 1	24,5 N	13,4 cm	2,3,2,-	2,3,2,-
4	Rossignol Soft 1	27,0 N	13,6 cm	2,3,2,-	2,3,2,-

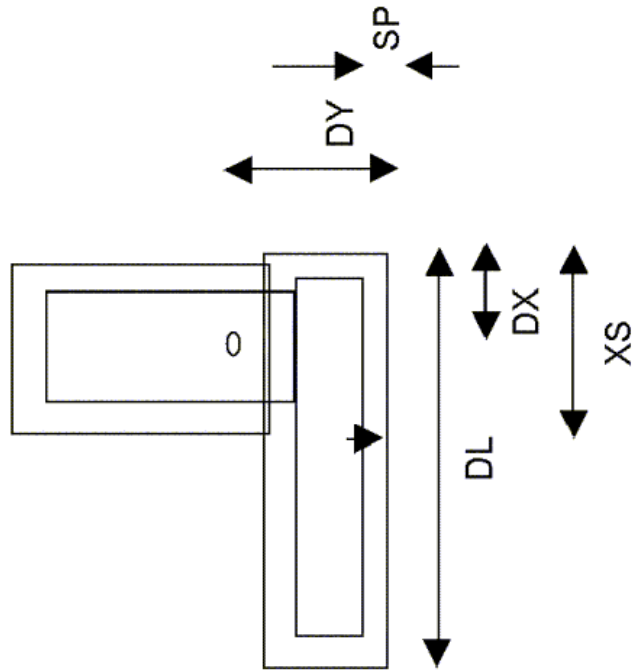
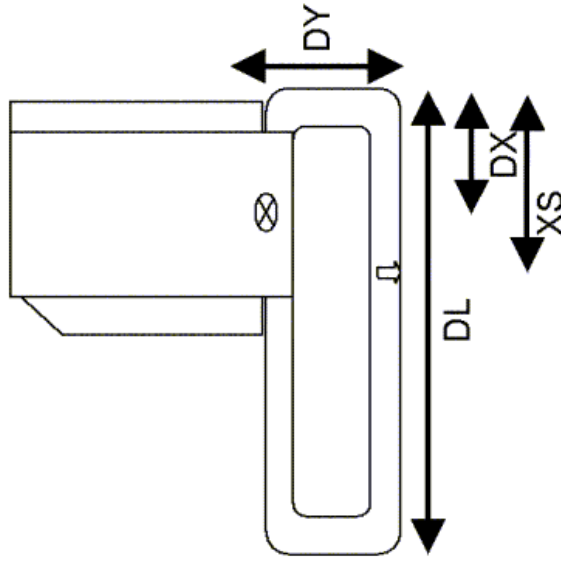


Tabelle-Anhang 2: Kenngrößen Skischuh Rossignol

BISP-Studie "Buckelpiste"; Skischuhdaten Atomic

Nr	Marke	Größe	Schuhlänge DL	Höhe Drehpunkt DY		Abstand Schuhende DX		Sprengung
				Innenseite	Außenseite	Innenseite	Außenseite	
1	Atomic β-Race 1050 Titanium	25.0	297 mm	12.5 cm	10.5 cm	8.5 cm	7.0 cm	63 mm
2	Atomic β-Race 1050 Titanium	25.5	297 mm	12.5 cm	10.5 cm	8.5 cm	7.0 cm	58 mm
3	Atomic β-Carve 8-50	26.0	307 mm	12.5 cm	10.6 cm	8.8 cm	7.1 cm	51 mm
4	Atomic β-Race 1050 Titanium	26.5	307 mm	12.5 cm	10.5 cm	8.5 cm	7.2 cm	52 mm
5	Atomic β-Race 1050 Titanium	27.0	317 mm	12.7 cm	11.1 cm	8.7 cm	7.4 cm	54 mm
6	Atomic β-Race 1050 Titanium	28.0	327 mm	12.7 cm	11.1 cm	9.0 cm	7.8 cm	53 mm
7	Atomic β-Carve 8-50	29.0	337 mm	13.4 cm	11.5 cm	9.0 cm	7.8 cm	51 mm



Nr	Marke	Gewicht	Schwerpunkt XS	Schnallen bei Hyst-Messung
1	Atomic β-Race 1050 Titanium	21.0 N	11.8 cm von Ferse gemessen	2,2,4,3,
2	Atomic β-Race 1050 Titanium	20.5 N	12.1 cm	2,2,3,3,
3	Atomic β-Carve 8-50	21.0 N	12.5 cm	2,2,3,3,
4	Atomic β-Race 1050 Titanium	21.0 N	12.4 cm	2,2,4,3,
5	Atomic β-Race 1050 Titanium	22.0 N	13.0 cm	2,2,4,3,
6	Atomic β-Race 1050 Titanium	23.5 N	13.3 cm	2,2,3,3,
7	Atomic β-Carve 8-50	24.0 N	13.7 cm	3,3,3,3,

Tabelle-Anhang 3: Kenngrößen Skischuh Atomic

12.6. Schaftsteifigkeitsmessungen – Hysteresekurven

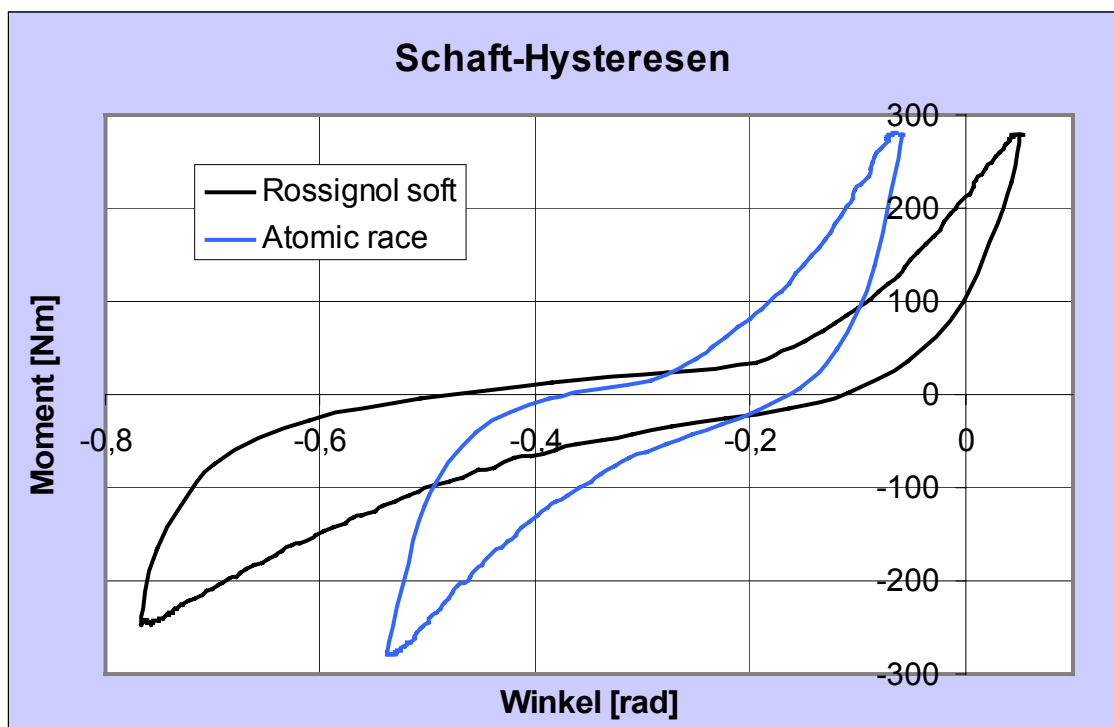


Abbildung n: Ergebnisdiagramm der Schaftsteifigkeitsmessung – Hysteresekurven der verwendeten Skischuhe: Der Testschuh „Rossignol soft“ hat eine wesentlich geringere Schaftsteifigkeit als der Vergleichsschuh „Atomic race“ (Technische Universität München, Förderprojekt VF 0407/15/02/2001, bzw. Kampe 2007).

12.7. Ausführliche Ergebnisse der Statistikauswertung

Recta	N	T	Z	p-level	Long	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	55	1,017769337	0,308795273	MAX10&MAX10	17	58	0,875754952	0,381169856
MITTEL10&MITTEL10	17	49	1,301797986	0,192994833	MITTEL10&MITTEL10	17	51	1,20712173	0,227394179
MAX01&MAX01	17	59	0,828416884	0,407440603	MAX01&MAX01	17	52	1,159783602	0,246145591
MITTEL01&MITTEL01	17	74	0,118345268	0,905794859	MITTEL01&MITTEL01	17	59	0,828416884	0,407440603
MAX12&MAX12	17	65	0,544388235	0,586178124	MAX12&MAX12	17	62	0,686402559	0,492464304
MITTEL12&MITTEL12	17	67	0,449712008	0,65292114	MITTEL12&MITTEL12	17	63	0,639064431	0,522785604
MAX12&MAX12	17	60	0,781078756	0,434761971	MAX12&MAX12	17	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	57	0,923093081	0,355965674	MIN&MIN	17	40	1,7278409	0,084026381
SPANNE&SPANNE	17	51	1,20712173	0,227394179	SPANNE&SPANNE	17	63	0,639064431	0,522785604
MITTELV&MITTELV	17	52	1,159783602	0,246145591	MITTELV&MITTELV	17	56	0,970431209	0,331838936
STDABW&STDABW	17	48	1,349135995	0,177302822	STDABW&STDABW	17	67	0,449712008	0,65292114
MITTELS&MITTELS	17	56	0,970431209	0,331838936	MITTELS&MITTELS	17	73	0,165683374	0,86840719
MEDIANS&MEDIANS	17	60	0,781078756	0,434761971	MEDIANS&MEDIANS	17	56	0,970431209	0,331838936
MODUSS&MODUSS	17	63	0,639064431	0,522785604	MODUSS&MODUSS	17	66	0,497050136	0,619157135
FWHMS&FWHM	17	49	1,301797986	0,192994833	FWHMS&FWHM	17	36	1,917193294	0,05522262
BANDBR&BANDBR	17	63	0,639064431	0,522785604	BANDBR&BANDBR	17	58	0,875754952	0,381169856
MIN&MIN	17	57	0,923093081	0,355965674	MIN&MIN	17	40	1,7278409	0,084026381
MAX&MAX	17	60	0,781078756	0,434761971	MAX&MAX	17	57	0,923093081	0,355965674

Glut	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	52	1,159783602	0,246145591
MITTEL10&MITTEL10	17	59	0,828416884	0,407440603
MAX01&MAX01	17	38	1,822517157	0,068385869
MITTEL01&MITTEL01	17	40	1,7278409	0,084026381
MAX12&MAX12	17	55	1,017769337	0,308795273
MITTEL12&MITTEL12	17	56	0,970431209	0,331838936
MAX12&MAX12	17	52	1,159783602	0,246145591
MIN&MIN	17	62	0,686402559	0,492464304
SPANNE&SPANNE	17	47	1,396474123	0,162581474
MITTELV&MITTELV	17	44	1,538488507	0,123939119
STDABW&STDABW	17	46	1,443812251	0,148801595
MITTELS&MITTELS	17	73	0,165683374	0,86840719
MEDIANS&MEDIANS	17	62	0,686402559	0,492464304
MODUSS&MODUSS	17	66	0,497050136	0,619157135
FWHMS&FWHM	17	76	0,023669053	0,981116712
BANDBR&BANDBR	17	45	1,491150379	0,135931909
MIN&MIN	17	62	0,686402559	0,492464304
MAX&MAX	17	52	1,159783602	0,246145591

Recf	N	T	Z	p-level	Biceps	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	42	1,633164644	0,102444224	MAX10&MAX10	17	69	0,355035812	0,722565114
MITTEL10&MITTEL10	17	40	1,7278409	0,084026381	MITTEL10&MITTEL10	17	71	0,260359585	0,794588089
MAX01&MAX01	17	55	1,017769337	0,308795273	MAX01&MAX01	17	48	1,349135995	0,177302822
MITTEL01&MITTEL01	17	62	0,686402559	0,492464304	MITTEL01&MITTEL01	17	30	2,201221943	0,02772427
MAX12&MAX12	17	40	1,7278409	0,084026381	MAX12&MAX12	17	70	0,307697684	0,758314371
MITTEL12&MITTEL12	17	52	1,159783602	0,246145591	MITTEL12&MITTEL12	17	65	0,544388235	0,586178124
MAX12&MAX12	17	34	2,011869431	0,044242065	MAX12&MAX12	17	70	0,307697684	0,758314371
MIN&MIN	17	74	0,118345268	0,905794859	MIN&MIN	17	68	0,40237391	0,687411547
SPANNE&SPANNE	17	35	1,964531422	0,049477128	SPANNE&SPANNE	17	69	0,355035812	0,722565114
MITTELV&MITTELV	17	41	1,680502772	0,092869267	MITTELV&MITTELV	17	48	1,349135995	0,177302822
STDABW&STDABW	17	46	1,443812251	0,148801595	STDABW&STDABW	17	73	0,165683374	0,86840719
MITTELS&MITTELS	17	68	0,40237391	0,687411547	MITTELS&MITTELS	17	76	0,023669053	0,981116712
MEDIANS&MEDIANS	17	65	0,544388235	0,586178124	MEDIANS&MEDIANS	17	73	0,165683374	0,86840719
MODUSS&MODUSS	17	72	0,213021487	0,831311524	MODUSS&MODUSS	17	65	0,544388235	0,586178124
FWHMS&FWHM	17	62	0,686402559	0,492464304	FWHMS&FWHM	17	43	1,585826635	0,112788491
BANDBR&BANDBR	17	42	1,633164644	0,102444224	BANDBR&BANDBR	17	40,5	1,704171896	0,08835873
MIN&MIN	17	74	0,118345268	0,905794859	MIN&MIN	17	68	0,40237391	0,687411547
MAX&MAX	17	34	2,011869431	0,044242065	MAX&MAX	17	70	0,307697684	0,758314371

Lib	N	T	Z	p-level	Gaslr	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	57	0,568796456	0,569498241	MAX10&MAX10	17	75	0,071007162	0,943392515
MITTEL10&MITTEL10	17	48	1,349135995	0,177302822	MITTEL10&MITTEL10	17	70	0,307697684	0,758314371
MAX01&MAX01	17	56	0,620505214	0,534929633	MAX01&MAX01	17	76	0,023669053	0,981116712
MITTEL01&MITTEL01	17	61	0,733740628	0,463112175	MITTEL01&MITTEL01	17	55	1,017769337	0,308795273
MAX12&MAX12	17	76	0,023669053	0,981116712	MAX12&MAX12	17	76	0,023669053	0,981116712
MITTEL12&MITTEL12	17	65	0,544388235	0,586178124	MITTEL12&MITTEL12	17	65	0,544388235	0,586178124
MAX12&MAX12	17	71	0,260359585	0,794588089	MAX12&MAX12	17	64	0,591726363	0,554037988
MIN&MIN	17	51	1,20712173	0,227394179	MIN&MIN	17	51	0,879049063	0,379381269
SPANNE&SPANNE	17	74	0,118345268	0,905794859	SPANNE&SPANNE	17	64	0,591726363	0,554037988
MITTELV&MITTELV	17	76	0,023669053	0,981116712	MITTELV&MITTELV	17	68	0,40237391	0,687411547
STDABW&STDABW	17	65	0,544388235	0,586178124	STDABW&STDABW	17	59	0,828416884	0,407440603
MITTELS&MITTELS	17	69	0,355035812	0,722565114	MITTELS&MITTELS	17	64,5	0,568057299	0,570000052
MEDIANS&MEDIANS	17	63	0,639064431	0,522785604	MEDIANS&MEDIANS	17	69,5	0,331366748	0,740369678
MODUSS&MODUSS	17	76	0,023669053	0,981116712	MODUSS&MODUSS	17	69	0,355035812	0,722565114
FWHMS&FWHM	17	73	0,165683374	0,86840719	FWHMS&FWHM	17	61	0,733740628	0,463112175
BANDBR&BANDBR	17	72,5	0,189352423	0,849817812	BANDBR&BANDBR	17	61,5	0,710071623	0,477664888
MIN&MIN	17	51	1,20712173	0,227394179	MIN&MIN	17	51	0,879049063	0,379381269
MAX&MAX	17	71	0,260359585	0,794588089	MAX&MAX	17	64	0,591726363	0,554037988

Tabelle-Anhang 4.: Statistische Auswertung: Sprunggelenks-Minimumam 1. Buckel (weicher Schuh-harter Schuh)

Anhang

Recta	N	T	Z	p-level	Long	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	68	0,40237391	0,687411547	MAX10&MAX10	17	70	0,307697684	0,758314371
MITTEL10&MITTEL10	17	69	0,355035812	0,722565114	MITTEL10&MITTEL10	17	72	0,213021487	0,831311524
MAX01&MAX01	17	72	0,213021487	0,831311524	MAX01&MAX01	17	50	1,254459858	0,209684074
MITTELO1&MITTELO1	17	66	0,497050136	0,619157135	MITTELO1&MITTELO1	17	47	1,396474123	0,162581474
MAX12&MAX12	17	64	0,591726363	0,554037988	MAX12&MAX12	17	67	0,449712008	0,65292114
MITTEL12&MITTEL12	17	61	0,733740628	0,463112175	MITTEL12&MITTEL12	17	67	0,449712008	0,65292114
MAX12&MAX12	17	60	0,781078756	0,434761971	MAX12&MAX12	17	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	47	1,396474123	0,162581474	MIN&MIN	17	75	0,071007162	0,943392515
SPANNE&SPANNE	17	48	1,349135995	0,177302822	SPANNE&SPANNE	17	71	0,260359585	0,794588089
MITTELV&MITTELV	17	56	0,970431209	0,331838936	MITTELV&MITTELV	17	69	0,355035812	0,722565114
STDABW&STDABW	17	51	1,20712173	0,227394179	STDABW&STDABW	17	65	0,544388235	0,586178124
MITTELS&MITTELS	17	75	0,071007162	0,943392515	MITTELS&MITTELS	17	68	0,40237391	0,687411547
MEDIANS&MEDIANS	17	66	0,497050136	0,619157135	MEDIANS&MEDIANS	17	65	0,544388235	0,586178124
MODUSS&MODUSS	17	66	0,497050136	0,619157135	MODUSS&MODUSS	17	53	1,112445474	0,265955031
FWHMS&FWHM	17	55	1,017769337	0,308795273	FWHMS&FWHM	17	67	0,449712008	0,65292114
BANDBR&BANDBR	17	64	0,591726363	0,554037988	BANDBR&BANDBR	17	63	0,639064431	0,522785604
MIN&MIN	17	47	1,396474123	0,162581474	MIN&MIN	17	74	0,118345268	0,905794859
MAX&MAX	17	47	1,396474123	0,162581474	MAX&MAX	17	70	0,307697684	0,758314371

Glut	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	61	0,733740628	0,463112175
MITTEL10&MITTEL10	17	64	0,591726363	0,554037988
MAX01&MAX01	17	62	0,686402559	0,492464304
MITTELO1&MITTELO1	17	52	1,159783602	0,246145591
MAX12&MAX12	17	44	1,538488507	0,123939119
MITTEL12&MITTEL12	17	54	1,065107346	0,286835372
MAX12&MAX12	17	44	1,538488507	0,123939119
MIN&MIN	17	72	0,213021487	0,831311524
SPANNE&SPANNE	17	45	1,491150379	0,135931909
MITTELV&MITTELV	17	50	1,254459858	0,209684074
STDABW&STDABW	17	49	1,301797986	0,192994833
MITTELS&MITTELS	17	62	0,686402559	0,492464304
MEDIANS&MEDIANS	17	64	0,591726363	0,554037988
MODUSS&MODUSS	17	65	0,544388235	0,586178124
FWHMS&FWHM	17	57	0,923093081	0,355965674
BANDBR&BANDBR	17	68	0,40237391	0,687411547
MIN&MIN	17	69	0,355035812	0,722565114
MAX&MAX	17	43	1,585826635	0,112788491

Rectf	N	T	Z	p-level	Biceps	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	54	1,065107346	0,286835372	MAX10&MAX10	17	69	0,355035812	0,722565114
MITTEL10&MITTEL10	17	57	0,923093081	0,355965674	MITTEL10&MITTEL10	17	56	0,970431209	0,331838936
MAX01&MAX01	17	70	0,307697684	0,758314371	MAX01&MAX01	17	61	0,733740628	0,463112175
MITTELO1&MITTELO1	17	58	0,875754952	0,381169856	MITTELO1&MITTELO1	17	64	0,591726363	0,554037988
MAX12&MAX12	17	68	0,40237391	0,687411547	MAX12&MAX12	17	58	0,875754952	0,381169856
MITTEL12&MITTEL12	17	45	1,491150379	0,135931909	MITTEL12&MITTEL12	17	66	0,497050136	0,619157135
MAX12&MAX12	17	42	1,633164644	0,102444224	MAX12&MAX12	17	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	40	1,7278409	0,084026381	MIN&MIN	17	45	1,491150379	0,135931909
SPANNE&SPANNE	17	49	1,301797986	0,192994833	SPANNE&SPANNE	17	56	0,970431209	0,331838936
MITTELV&MITTELV	17	40	1,7278409	0,084026381	MITTELV&MITTELV	17	43	1,585826635	0,112788491
STDABW&STDABW	17	48	1,349135995	0,177302822	STDABW&STDABW	17	57	0,923093081	0,355965674
MITTELS&MITTELS	17	64	0,591726363	0,554037988	MITTELS&MITTELS	17	57	0,923093081	0,355965674
MEDIANS&MEDIANS	17	62	0,686402559	0,492464304	MEDIANS&MEDIANS	17	53	1,112445474	0,265955031
MODUSS&MODUSS	17	65	0,544388235	0,586178124	MODUSS&MODUSS	17	71	0,260359585	0,794588089
FWHMS&FWHM	17	69	0,355035812	0,722565114	FWHMS&FWHM	17	64	0,591726363	0,554037988
BANDBR&BANDBR	17	72,5	0,189352423	0,849817812	BANDBR&BANDBR	17	72,5	0,189352423	0,849817812
MIN&MIN	17	37	1,869855165	0,061513048	MIN&MIN	17	44	1,538488507	0,123939119
MAX&MAX	17	39	1,775179029	0,075877815	MAX&MAX	17	56	0,970431209	0,331838936

Tib	N	T	Z	p-level	Gastr	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	51	1,20712173	0,227394179	MAX10&MAX10	19	68	0,40237391	0,687411547
MITTEL10&MITTEL10	17	45	1,491150379	0,135931909	MITTEL10&MITTEL10	19	69	0,355035812	0,722565114
MAX01&MAX01	17	49	1,301797986	0,192994833	MAX01&MAX01	19	51	1,20712173	0,227394179
MITTELO1&MITTELO1	17	47	1,396474123	0,162581474	MITTELO1&MITTELO1	19	29	2,24856019	0,024547262
MAX12&MAX12	17	66	0,497050136	0,619157135	MAX12&MAX12	19	61	0,733740628	0,463112175
MITTEL12&MITTEL12	17	58	0,875754952	0,381169856	MITTEL12&MITTEL12	19	53	1,112445474	0,265955031
MAX12&MAX12	17	70	0,307697684	0,758314371	MAX12&MAX12	19	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	41	1,680502772	0,092869267	MIN&MIN	19	44	1,538488507	0,123939119
SPANNE&SPANNE	17	74	0,118345268	0,905794859	SPANNE&SPANNE	19	54	1,065107346	0,286835372
MITTELV&MITTELV	17	32	2,106545687	0,03516474	MITTELV&MITTELV	19	41	1,680502772	0,092869267
STDABW&STDABW	17	76	0,023669053	0,981116712	STDABW&STDABW	19	57	0,923093081	0,355965674
MITTELS&MITTELS	17	54	1,065107346	0,286835372	MITTELS&MITTELS	19	52	1,159783602	0,246145591
MEDIANS&MEDIANS	17	64	0,591726363	0,554037988	MEDIANS&MEDIANS	19	63	0,639064431	0,522785604
MODUSS&MODUSS	17	42,5	1,60949564	0,107517906	MODUSS&MODUSS	19	71	0,260359585	0,794588089
FWHMS&FWHM	17	58	0,875754952	0,381169856	FWHMS&FWHM	19	56	0,970431209	0,331838936
BANDBR&BANDBR	17	69	0,355035812	0,722565114	BANDBR&BANDBR	19	62	0,686402559	0,492464304
MIN&MIN	17	41	1,680502772	0,092869267	MIN&MIN	18	44	1,538488507	0,123939119
MAX&MAX	17	67	0,449712008	0,65292114	MAX&MAX	18	54	1,065107346	0,286835372

Tabelle-Anhang 5: Statistische Auswertung: Sprunggelenks-Maximumam1 .Buckel (weicher Schuh-harter Schuh)

Anhang

Recta	N	T	Z	p-level	Long	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	13	37	0,59402806	0,552497506	MAX10&MAX10	13	21	1,71219862	0,086869754
MITTEL10&MITTEL10	13	41	0,31448546	0,753154397	MITTEL10&MITTEL10	13	17	1,99174118	0,046407942
MAX01&MAX01	13	36	0,66391373	0,506750286	MAX01&MAX01	13	29	1,15311337	0,248872459
MITTEL01&MITTEL01	13	36	0,66391373	0,506750286	MITTEL01&MITTEL01	13	25	1,43265593	0,151965916
MAX12&MAX12	13	41	0,31448546	0,753154397	MAX12&MAX12	13	40	0,3843711	0,700706005
MITTEL12&MITTEL12	13	44	0,10482848	0,916512549	MITTEL12&MITTEL12	13	45	0,03494283	0,97212553
MAX12&MAX12	13	45	0,03494283	0,97212553	MAX12&MAX12	13	29	1,15311337	0,248872459
MIN&MIN	13	33	0,87357068	0,38235867	MIN&MIN	13	28	1,22299898	0,221339107
SPANNE&SPANNE	13	38	0,52414244	0,600183129	SPANNE&SPANNE	13	18	1,92185557	0,05463279
MITTELV&MITTELV	13	39	0,45425677	0,649647117	MITTELV&MITTELV	13	12	2,34116936	0,019229546
STDABW&STDABW	13	38	0,52414244	0,600183129	STDABW&STDABW	13	23	1,57242727	0,115861379
MITTELS&MITTELS	13	44	0,10482848	0,916512549	MITTELS&MITTELS	13	29	1,15311337	0,248872459
MEDIANS&MEDIANS	13	44	0,10482848	0,916512549	MEDIANS&MEDIANS	13	31	1,01334202	0,310904503
MODUSS&MODUSS	13	45	0,03494283	0,97212553	MODUSS&MODUSS	13	19	1,85196984	0,06403935
FWHMS&FWHM	13	37	0,59402806	0,552497506	FWHMS&FWHM	13	27,5	1,25794184	0,20842199
BANDBR&BANDBR	13	19	1,85196984	0,06403935	BANDBR&BANDBR	13	30	0,70601809	0,480182052
MIN&MIN	13	39	0,45425677	0,649647117	MIN&MIN	13	28	1,22299898	0,221339107
MAX&MAX	13	42	0,24459979	0,806767881	MAX&MAX	13	22	1,64231288	0,100534998

Glut	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	13	26	1,36277032	0,172964469
MITTEL10&MITTEL10	13	35	0,7337994	0,463076383
MAX01&MAX01	13	36	0,66391373	0,506750286
MITTEL01&MITTEL01	13	44	0,10482848	0,916512549
MAX12&MAX12	13	31	1,01334202	0,310904503
MITTEL12&MITTEL12	13	30	1,08322763	0,278715581
MAX12&MAX12	13	9	2,55082655	0,010751391
MIN&MIN	13	32	0,94345635	0,345454663
SPANNE&SPANNE	13	1	3,10991168	0,001873076
MITTELV&MITTELV	13	18	1,92185557	0,05463279
STDABW&STDABW	13	3,5	2,93519759	0,003335722
MITTELS&MITTELS	13	39,5	0,41931394	0,674989522
MEDIANS&MEDIANS	13	42	0,24459979	0,806767881
MODUSS&MODUSS	13	23	1,57242727	0,115861379
FWHMS&FWHM	13	25	1,43265593	0,151965916
BANDBR&BANDBR	13	35	0,7337994	0,463076383
MIN&MIN	13	29	0,78446454	0,432773411
MAX&MAX	13	2	3,04002595	0,002367489

Rectf	N	T	Z	p-level	Biceps	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	13	22	1,64231288	0,100534998	MAX10&MAX10	13	31	1,01334202	0,310904503
MITTEL10&MITTEL10	13	24	1,50254154	0,132967189	MITTEL10&MITTEL10	13	29	1,15311337	0,248872459
MAX01&MAX01	13	38	0,52414244	0,600183129	MAX01&MAX01	13	32	0,94345635	0,345454663
MITTEL01&MITTEL01	13	45	0,03494283	0,97212553	MITTEL01&MITTEL01	13	33	0,87357068	0,38235867
MAX12&MAX12	13	27	1,29288459	0,196060345	MAX12&MAX12	13	30	1,08322763	0,278715581
MITTEL12&MITTEL12	13	25	1,43265593	0,151965916	MITTEL12&MITTEL12	13	26	1,36277032	0,172964469
MAX12&MAX12	13	23	1,57242727	0,115861379	MAX12&MAX12	13	38	0,52414244	0,600183129
MIN&MIN	13	35	0,7337994	0,463076383	MIN&MIN	13	32	0,94345635	0,345454663
SPANNE&SPANNE	13	22	1,64231288	0,100534998	SPANNE&SPANNE	13	22	1,64231288	0,100534998
MITTELV&MITTELV	13	22	1,64231288	0,100534998	MITTELV&MITTELV	13	20	1,78208423	0,074744962
STDABW&STDABW	13	26	1,36277032	0,172964469	STDABW&STDABW	13	36	0,66391373	0,506750286
MITTELS&MITTELS	13	34	0,80368507	0,421584874	MITTELS&MITTELS	13	35	0,7337994	0,463076383
MEDIANS&MEDIANS	13	36	0,66391373	0,506750286	MEDIANS&MEDIANS	13	32	0,94345635	0,345454663
MODUSS&MODUSS	13	27	1,29288459	0,196060345	MODUSS&MODUSS	13	36	0,66391373	0,506750286
FWHMS&FWHM	13	42	0,24459979	0,806767881	FWHMS&FWHM	13	33	0,87357068	0,38235867
BANDBR&BANDBR	13	41	0,31448546	0,753154397	BANDBR&BANDBR	13	32,5	0,90851355	0,363613814
MIN&MIN	13	35	0,7337994	0,463076383	MIN&MIN	13	30	1,08322763	0,278715581
MAX&MAX	13	22	1,64231288	0,100534998	MAX&MAX	13	36	0,66391373	0,506750286

Tib	N	T	Z	p-level	Gastr	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	13	17	1,99174118	0,046407942	MAX10&MAX10	13	34	0,80368507	0,421584874
MITTEL10&MITTEL10	13	15	2,1315124	0,033054549	MITTEL10&MITTEL10	13	30	1,08322763	0,278715581
MAX01&MAX01	13	30	1,08322763	0,278715581	MAX01&MAX01	13	22	1,64231288	0,100534998
MITTEL01&MITTEL01	13	34	0,80368507	0,421584874	MITTEL01&MITTEL01	13	14	2,20139813	0,027714958
MAX12&MAX12	13	21	1,71219862	0,086869754	MAX12&MAX12	13	44	0,10482848	0,916512549
MITTEL12&MITTEL12	13	12	2,34116936	0,019229546	MITTEL12&MITTEL12	13	35	0,7337994	0,463076383
MAX12&MAX12	13	19	1,85196984	0,06403935	MAX12&MAX12	13	38	0,52414244	0,600183129
MIN&MIN	13	24	1,50254154	0,132967189	MIN&MIN	13	26	1,36277032	0,172964469
SPANNE&SPANNE	13	22	1,64231288	0,100534998	SPANNE&SPANNE	13	35	0,7337994	0,463076383
MITTELV&MITTELV	13	17	1,99174118	0,046407942	MITTELV&MITTELV	13	20	1,78208423	0,074744962
STDABW&STDABW	13	23	1,57242727	0,115861379	STDABW&STDABW	13	34	0,80368507	0,421584874
MITTELS&MITTELS	13	19	1,8869127	0,059181098	MITTELS&MITTELS	13	29	1,15311337	0,248872459
MEDIANS&MEDIANS	13	27	1,29288459	0,196060345	MEDIANS&MEDIANS	13	24	1,50254154	0,132967189
MODUSS&MODUSS	13	37	0,15689291	0,87533021	MODUSS&MODUSS	13	27	0,94135743	0,346528858
FWHMS&FWHM	13	42	0,24459979	0,806767881	FWHMS&FWHM	13	35	0,7337994	0,463076383
BANDBR&BANDBR	13	26	1,36277032	0,172964469	BANDBR&BANDBR	13	34	0,80368507	0,421584874
MIN&MIN	13	19	1,85196984	0,06403935	MIN&MIN	13	26	1,36277032	0,172964469
MAX&MAX	13	14	2,20139813	0,027714958	MAX&MAX	13	36	0,66391373	0,506750286

Tabelle-Anhang 6: Statistische Auswertung: Sprunggelenks-Minimumam 2. Buckel (weicher Schuh-harter Schuh)

Anhang

Recta	N	T	Z	p-level	Long	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	68	0,40237391	0,687411547	MAX10&MAX10	17	70	0,307697684	0,758314371
MITTEL10&MITTEL10	17	69	0,355035812	0,722565114	MITTEL10&MITTEL10	17	72	0,213021487	0,831311524
MAX01&MAX01	17	72	0,213021487	0,831311524	MAX01&MAX01	17	50	1,254459858	0,209684074
MITTEL01&MITTEL01	17	66	0,497050136	0,619157135	MITTEL01&MITTEL01	17	47	1,396474123	0,162581474
MAX12&MAX12	17	64	0,591726363	0,554037988	MAX12&MAX12	17	67	0,449712008	0,65292114
MITTEL12&MITTEL12	17	61	0,733740628	0,463112175	MITTEL12&MITTEL12	17	67	0,449712008	0,65292114
MAX12&MAX12	17	60	0,781078756	0,434761971	MAX12&MAX12	17	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	47	1,396474123	0,162581474	MIN&MIN	17	75	0,071007162	0,943392515
SPANNE&SPANNE	17	48	1,349135995	0,177302822	SPANNE&SPANNE	17	71	0,260359585	0,794588089
MITTELV&MITTELV	17	56	0,970431209	0,331838936	MITTELV&MITTELV	17	69	0,355035812	0,722565114
STDABW&STDABW	17	51	1,20712173	0,227394179	STDABW&STDABW	17	65	0,544388235	0,586178124
MITTELS&MITTELS	17	75	0,071007162	0,943392515	MITTELS&MITTELS	17	68	0,40237391	0,687411547
MEDIANS&MEDIANS	17	66	0,497050136	0,619157135	MEDIANS&MEDIANS	17	65	0,544388235	0,586178124
MODUSS&MODUSS	17	66	0,497050136	0,619157135	MODUSS&MODUSS	17	53	1,12445474	0,265955031
FWHMS&FWHM	17	55	1,017769337	0,308795273	FWHMS&FWHM	17	67	0,449712008	0,65292114
BANDBR&BANDBR	17	64	0,591726363	0,554037988	BANDBR&BANDBR	17	63	0,639064431	0,522785604
MIN&MIN	17	47	1,396474123	0,162581474	MIN&MIN	17	74	0,118345268	0,905794859
MAX&MAX	17	47	1,396474123	0,162581474	MAX&MAX	17	70	0,307697684	0,758314371

Glut	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	61	0,733740628	0,463112175
MITTEL10&MITTEL10	17	64	0,591726363	0,554037988
MAX01&MAX01	17	62	0,686402559	0,492464304
MITTEL01&MITTEL01	17	52	1,159783602	0,246145591
MAX12&MAX12	17	44	1,538488507	0,123939119
MITTEL12&MITTEL12	17	54	1,065107346	0,286835372
MAX12&MAX12	17	44	1,538488507	0,123939119
MIN&MIN	17	72	0,213021487	0,831311524
SPANNE&SPANNE	17	45	1,491150379	0,135931909
MITTELV&MITTELV	17	50	1,254459858	0,209684074
STDABW&STDABW	17	49	1,301797986	0,192994833
MITTELS&MITTELS	17	62	0,686402559	0,492464304
MEDIANS&MEDIANS	17	64	0,591726363	0,554037988
MODUSS&MODUSS	17	65	0,544388235	0,586178124
FWHMS&FWHM	17	57	0,923093081	0,355965674
BANDBR&BANDBR	17	68	0,40237391	0,687411547
MIN&MIN	17	69	0,355035812	0,722565114
MAX&MAX	17	43	1,585826635	0,112788491

Rectf	N	T	Z	p-level	Biceps	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	54	1,065107346	0,286835372	MAX10&MAX10	17	69	0,355035812	0,722565114
MITTEL10&MITTEL10	17	57	0,923093081	0,355965674	MITTEL10&MITTEL10	17	56	0,970431209	0,331838936
MAX01&MAX01	17	70	0,307697684	0,758314371	MAX01&MAX01	17	61	0,733740628	0,463112175
MITTEL01&MITTEL01	17	58	0,875754952	0,381169856	MITTEL01&MITTEL01	17	64	0,591726363	0,554037988
MAX12&MAX12	17	68	0,40237391	0,687411547	MAX12&MAX12	17	58	0,875754952	0,381169856
MITTEL12&MITTEL12	17	45	1,491150379	0,135931909	MITTEL12&MITTEL12	17	66	0,497050136	0,619157135
MAX12&MAX12	17	42	1,633164644	0,102444224	MAX12&MAX12	17	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	40	1,7278409	0,084026381	MIN&MIN	17	45	1,491150379	0,135931909
SPANNE&SPANNE	17	49	1,301797986	0,192994833	SPANNE&SPANNE	17	56	0,970431209	0,331838936
MITTELV&MITTELV	17	40	1,7278409	0,084026381	MITTELV&MITTELV	17	43	1,585826635	0,112788491
STDABW&STDABW	17	48	1,349135995	0,177302822	STDABW&STDABW	17	57	0,923093081	0,355965674
MITTELS&MITTELS	17	64	0,591726363	0,554037988	MITTELS&MITTELS	17	57	0,923093081	0,355965674
MEDIANS&MEDIANS	17	62	0,686402559	0,492464304	MEDIANS&MEDIANS	17	53	1,12445474	0,265955031
MODUSS&MODUSS	17	65	0,544388235	0,586178124	MODUSS&MODUSS	17	71	0,260359585	0,794588089
FWHMS&FWHM	17	69	0,355035812	0,722565114	FWHMS&FWHM	17	64	0,591726363	0,554037988
BANDBR&BANDBR	17	72,5	0,189352423	0,849817812	BANDBR&BANDBR	17	72,5	0,189352423	0,849817812
MIN&MIN	17	37	1,869855165	0,061513048	MIN&MIN	17	44	1,538488507	0,123939119
MAX&MAX	17	39	1,775179029	0,075877815	MAX&MAX	17	56	0,970431209	0,331838936

Tib	N	T	Z	p-level	Gastr	N	T	Z	p-level
MAX10&MAX10	17	51	1,20712173	0,227394179	MAX10&MAX10	19	68	0,40237391	0,687411547
MITTEL10&MITTEL10	17	45	1,491150379	0,135931909	MITTEL10&MITTEL10	19	69	0,355035812	0,722565114
MAX01&MAX01	17	49	1,301797986	0,192994833	MAX01&MAX01	19	51	1,20712173	0,227394179
MITTEL01&MITTEL01	17	47	1,396474123	0,162581474	MITTEL01&MITTEL01	19	29	2,24856019	0,024547262
MAX12&MAX12	17	66	0,497050136	0,619157135	MAX12&MAX12	19	61	0,733740628	0,463112175
MITTEL12&MITTEL12	17	58	0,875754952	0,381169856	MITTEL12&MITTEL12	19	53	1,12445474	0,265955031
MAX12&MAX12	17	70	0,307697684	0,758314371	MAX12&MAX12	19	57	0,923093081	0,355965674
MIN&MIN	17	41	1,680502772	0,092869267	MIN&MIN	19	44	1,538488507	0,123939119
SPANNE&SPANNE	17	74	0,118345268	0,905794859	SPANNE&SPANNE	19	54	1,065107346	0,286835372
MITTELV&MITTELV	17	32	2,106545687	0,03516474	MITTELV&MITTELV	19	41	1,680502772	0,092869267
STDABW&STDABW	17	76	0,023669053	0,981116712	STDABW&STDABW	19	57	0,923093081	0,355965674
MITTELS&MITTELS	17	54	1,065107346	0,286835372	MITTELS&MITTELS	19	52	1,159783602	0,246145591
MEDIANS&MEDIANS	17	64	0,591726363	0,554037988	MEDIANS&MEDIANS	19	63	0,639064431	0,522785604
MODUSS&MODUSS	17	42,5	1,60949564	0,107517906	MODUSS&MODUSS	19	71	0,260359585	0,794588089
FWHMS&FWHM	17	58	0,875754952	0,381169856	FWHMS&FWHM	19	56	0,970431209	0,331838936
BANDBR&BANDBR	17	69	0,355035812	0,722565114	BANDBR&BANDBR	19	62	0,686402559	0,492464304
MIN&MIN	17	41	1,680502772	0,092869267	MIN&MIN	18	44	1,538488507	0,123939119
MAX&MAX	17	67	0,449712008	0,65292114	MAX&MAX	18	54	1,065107346	0,286835372

Tabelle-Anhang 7: Statistische Auswertung: Sprunggelenks-Maximum am 1. Buckel (weicher Schuh-harter Schuh)