

Report 8.01_15

Biomechanische Evaluation “ROBOWALK” - h/p/cosmos

IFD Cologne, Institut für Funktionelle Diagnostik

Institut für Biomechanik und Orthopädie, Deutsche Sporthochschule Köln

A. Höhne, G.-P. Brüggemann, S. Willwacher

Köln, August 2015

Einleitung

Mit dem ROBOWALK System soll auf der einen Seite der Gang des Patienten unterstützt werden und auf der anderen Seite soll das System als Widerstands- und Gangkorrekturtrainingsgerät Verwendung finden. Die vorderen Expanderkabel unterstützen die Bewegung der Beine und sollen die Arbeit der Beinmuskulatur reduzieren, die hinteren Expanderkabel dagegen sollen definiert die Beanspruchung einzelner Muskelgruppen erhöhen. Unterschiedliche Zugrichtungen der Expanderseile sollen zudem das Ansprechen definierter Muskelgruppen erleichtern bzw. sensibler gestalten und unterschiedliche Steifigkeiten der Expander sollen eine individuelle Belastungssteuerung erlauben.

Für die vorliegende Untersuchung standen zwei Expander zur Verfügung, die unterschiedliche mechanische Eigenschaften aufwiesen. Nach Herstellerangaben kann der schwarze Gurt eine Maximalkraft von 40 N und der graue Gurt eine Maximalkraft von 50 N übernehmen.

Aufgabe und Ziel der vorliegenden Studie war, die Muskelaktivität der großen oberflächlichen Muskel des Beines und der lumbalen Wirbelsäule bei unterschiedlichen Bewegungs- und Beanspruchungsformen auf dem Laufband zu untersuchen und den Effekt des ROBOWALK Systems auf die Muskelaktivierung zu quantifizieren.

Methodik

Achtzehn gesunde männliche Probanden wurden in der Studie eingeschlossen. Nach Information über den Studienablauf und Einverständniserklärung absolvierten sie die Bewegungsformen Gehen, Rückwärtsgehen und Laufen unter unterschiedlichen experimentellen Seilzug- und Zugrichtungsbedingungen. Für jede Beanspruchungsform wurden 20 Einzelzyklen gemessen, zeitnormalisiert und für die weitere Auswertung gemittelt.

Die Studie wurde der Ethikkommission der Deutsche Sporthochschule Köln vorgelegt und genehmigt.

Zur Messung der Muskelaktivierung wurde die bi-polare Oberflächenelektromyographie (EMG) verwendet. Die Normalisierung der EMG Quantitäten erfolgte individuell beim Gehen, Rückwärtsgehen oder Laufen ohne Expanderanlage, sodass alle Daten relativ zur individuellen Muskelaktivierung ohne mechanische Intervention oder Störung zu interpretieren sind. Die Abtastrate der EMG Signale der elf abgeleiteten Muskeln (vgl. Tabelle 1) betrug 3.000 Hz. Auf die Rohdaten wurde ein Bandpassfilter von 20-500 Hz gelegt. Im Anschluss wurden die Daten mittels RMS (root mean square) bearbeitet und für Stand- und Schwungphase auf Unterschiede (Zugrichtung, Zugkraft) zwischen den Bedingungen geprüft. Von den achtzehn untersuchten Probanden mussten vier wegen unvollständiger Datensätzen für die weitere Bearbeitung ausgeschlossen werden, sodass insgesamt vierzehn Probanden in die statistische Analyse einbezogen werden konnten. Die untersuchten experimentellen Bedingungen sind in Tabellen 2-4 zusammengefasst.

Tabelle 1: Untersuchte Muskelgruppen

Muskelgruppe	Bezeichnung
M tibialis anterior	TA
M peroneus longus	PER
M gastrocnemius medialis	GM
M gastrocnemius lateralis	GL
M biceps femoris	BF
M semitendinosus	SEM
M vastus medialis	VM
M vastus lateralis	VL
M gluteus medius	GLM
M erector spinae links	ERS_l
M erector spinae rechts	ERS_r



Abbildung 1: ROBOWALK System; hier mit Zug am Oberschenkel nach vorn

Tabelle 2: Untersuchungsbedingungen; Gehen (vorwärts)

Bezeichnung/Code	Expander	Zugrichtung	Anlage
REF	ohne		
OS_VO_X	schwarz	gekreuzt, nach vorn	Oberschenkel
OS_VO_X	grau	gekreuzt, nach vorn	Oberschenkel
US_VU_X	schwarz	gekreuzt, nach vorn	Unterschenkel
US_VU_X	grau	Gekreuzt, nach vorn	Unterschenkel
OS_VO_P	schwarz	parallel, nach vorn	Oberschenkel
OS_VO_P	grau	parallel, nach vorn	Oberschenkel
US_VU_P	schwarz	parallel, nach vorn	Unterschenkel
US_VU_P	grau	Parallel, nach vorn	Unterschenkel
US_HU_X	schwarz	Gekreuzt, nach hinten	Unterschenkel
'US_HU_X	grau	Gekreuzt, nach hinten	Unterschenkel
'US_HU_S'	schwarz	Schräg, nach hinten	Unterschenkel
'US_HU_S'	grau	Schräg, nach hinten	Unterschenkel

Tabelle 3: Untersuchungsbedingungen; Gehen (rückwärts)

Bezeichnung/Code	Expander	Zugrichtung	Anlage
REF	ohne		
US_VU_P	schwarz	parallel, nach vorn	Unterschenkel
US_VU_P	grau	parallel, nach vorn	Unterschenkel
OS_VO_P	schwarz	parallel, nach vorn	Oberschenkel
OS_VO_P	grau	parallel, nach vorn	Oberschenkel

Tabelle 3: Untersuchungsbedingungen; Laufen

Bezeichnung/Code	Expander	Zugrichtung	Anlage
REF	ohne		
OS_HO_P	schwarz	parallel, nach hinten	Oberschenkel
OS_VO_P	grau	parallel, nach vorn	Oberschenkel
US_VU_P	schwarz	parallel, nach vorn	Unterschenkel
US_HU_P	grau	parallel, nach hinten	Unterschenkel

Ergebnisse

Die Ergebnisse werden getrennt für die verschiedenen Beanspruchungsformen aufbereitet. Dabei geben zunächst die normalisierten Mittelwertsverläufe der einzelnen Muskelgruppen einen ersten Einblick über mögliche Interventionseffekte. Im Anschluss erfolgen die Darstellung der mittleren Tendenzen und die Prüfung statistisch signifikanter Effekte über die verschiedenen Bewegungsformen und –phasen mittels zwei-faktorieller Varianzanalyse (Expanderstärke, Zugrichtung/-art) mit Messwiederholung.

Während die Daten für das Gehen komplett dargestellt werden, werden die Ergebnisse für die beiden anderen Beanspruchungsformen ergebnisbezogen zusammengefasst und interpretiert. Damit wird zunächst der gesamte Bearbeitungsablauf verdeutlicht, um am Ende die wichtigsten Ergebnisse in übersichtlicher Form verfügbar zu haben.

Gehen (vorwärts)

Unter den experimentellen Bedingungen gemäß Tabelle 2 werden die Mittelwerte der Muskelaktivierung für die untersuchten Muskelgruppen dargestellt. Alle Daten sind auf das individuelle Aktivierungsmaximum während des Gangs (REF) normalisiert. Die Referenzbedingung „Gehen ohne Expander“ (Ohne) ist fett schwarz markiert.

TA: M tibialis anterior

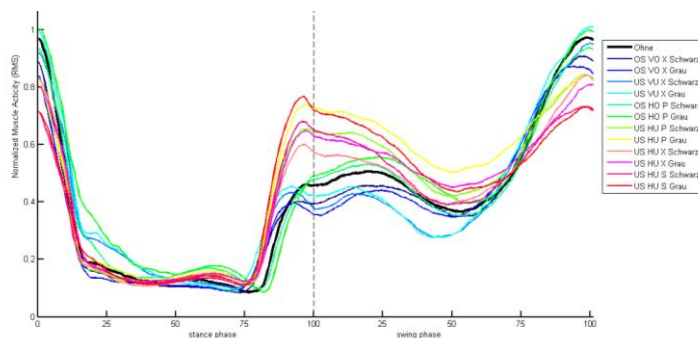


Abbildung 4: M tibialis anterior (TA) Aktivierung im Gangzyklus

Während beim Zug durch den Expander nach hinten die Muskelaktivierung in Relation zur Referenz vergrößert wird, ist die Aktivierung des TA beim Zug nach vorn in der späten Standphase und frühen Schwungphase geringfügig reduziert. Beim Fußaufsatz verringert der Zug nach hinten die TA Aktivierung.

PER: M peroneus longus

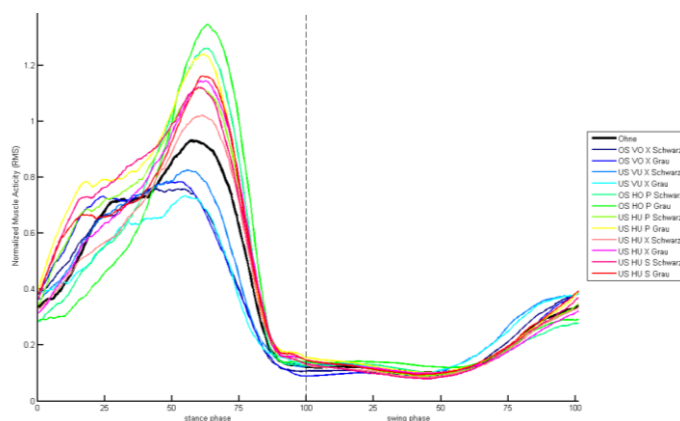


Abbildung 5: M peroneus longus (PER) Aktivierung im Gangzyklus

Während beim Zug durch den Expander nach hinten die Muskelaktivierung in Relation zur Referenz in der Standphase vergrößert wird, ist die Aktivierung des PER beim Zug nach vorn in der zweiten Hälfte der Standphase reduziert. In der Schwungphase zeigt sich kein Effekt..

GM: M gastrocnemius medialis

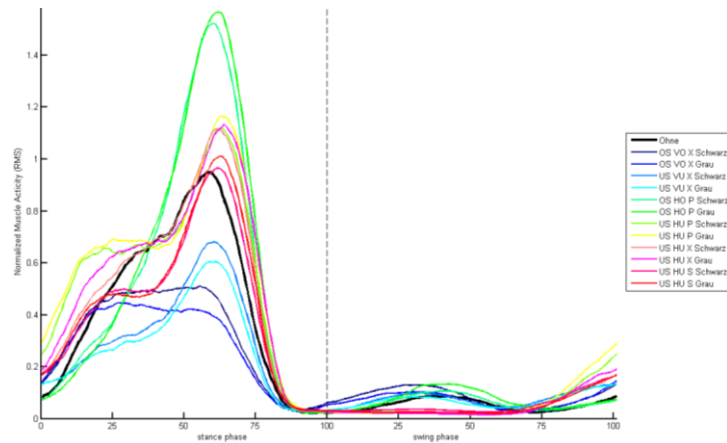


Abbildung 5: M gastrocnemius medialis (GM) Aktivierung im Gangzyklus

Es zeigt sich ein intensiver Effekt der Expander auf die Aktivierung des GM in der Standphase. Der Zug nach vorn reduziert die Aktivierung, der Zug nach hinten erhöht die Aktivierung des GM.

GL: M gastrocnemius lateralis

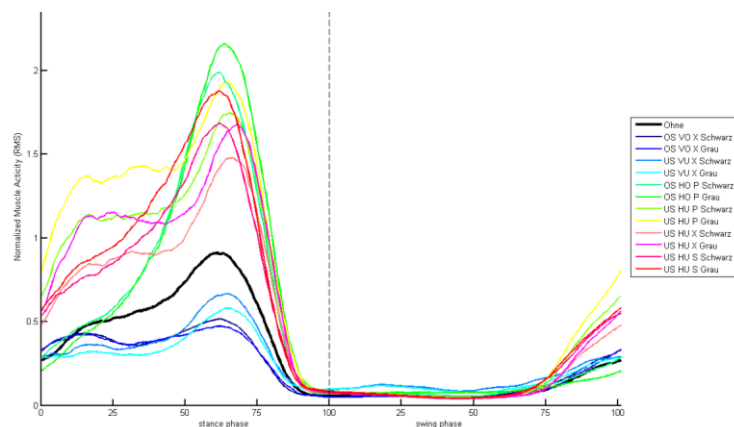


Abbildung 6: M gastrocnemius lateralis (GL) Aktivierung im Gangzyklus

Ähnliche Effekte beim GL wie beim GM. Es zeigt sich ein intensiver Effekt der Expander auf die Aktivierung des GL in der Standphase. Der Zug nach vorn reduziert die Aktivierung, der Zug nach hinten erhöht die Aktivierung des GL deutlich (>Faktor 2).

BF: M biceps femoris

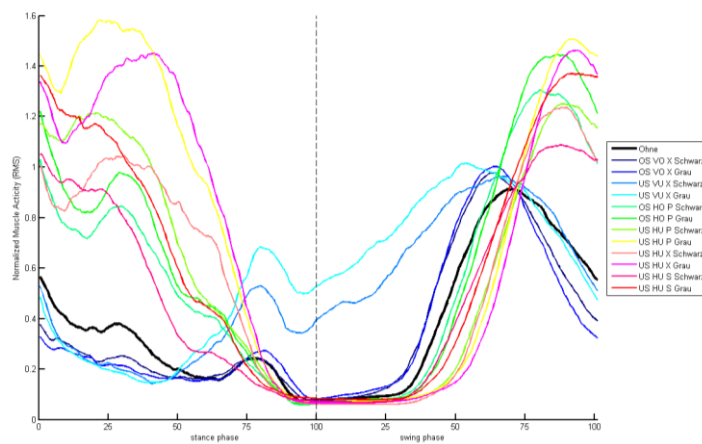


Abbildung 6: M biceps femoris (BF) Aktivierung im Gangzyklus

Deutliche Effekte des BF durch die Expander finden sich in Stand und Schwungphase. Es zeigt sich ein intensiver Effekt der Expander auf die Aktivierung des BF in der Standphase beim Zug nach hinten. Der Zug nach vorn unten erhöht die Aktivierung in der frühen Schwungphase, der Zug nach hinten erhöht die Aktivierung in der späten Schwungphase.

SEM: M semitendinosus

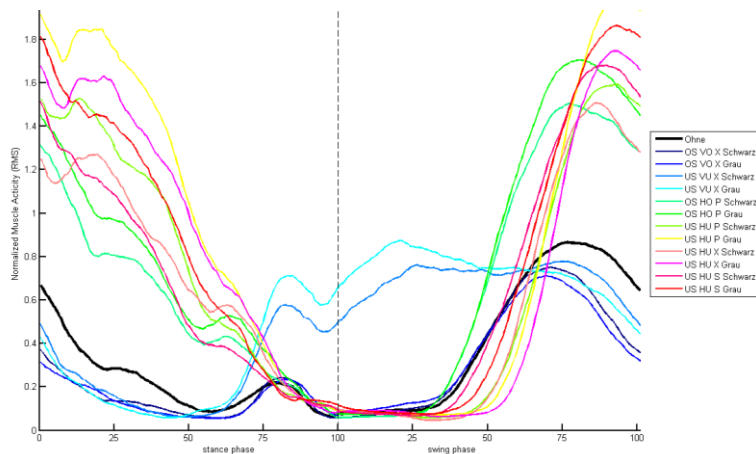


Abbildung 7: M semitendinosus (SEM) Aktivierung im Gangzyklus

Es zeigen sich ähnliche Effekte wie beim BF.

VM: M vastus medialis

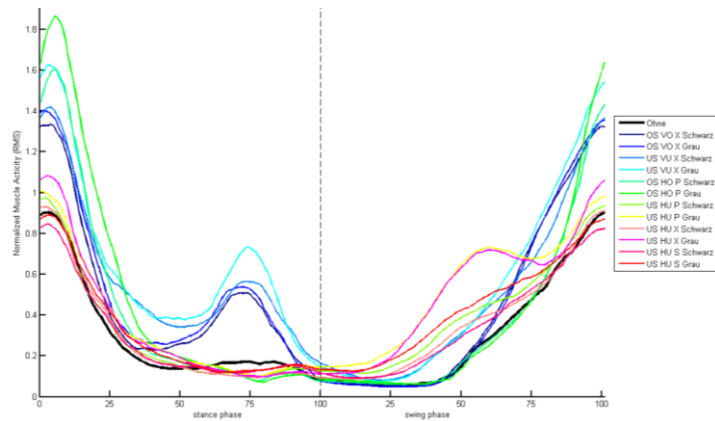


Abbildung 8: M vastus medialis (VM) Aktivierung im Gangzyklus

Es zeigen sich deutliche Effekte in der frühen Standphase.

VM: M vastus lateralis

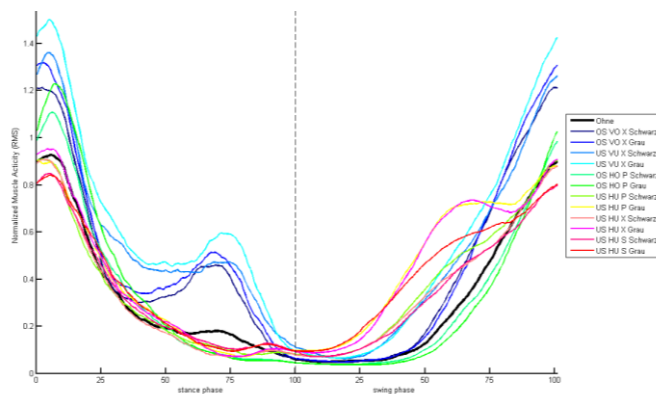


Abbildung 9: M vastus lateralis (VL) Aktivierung im Gangzyklus

GLM: M gluteus medius

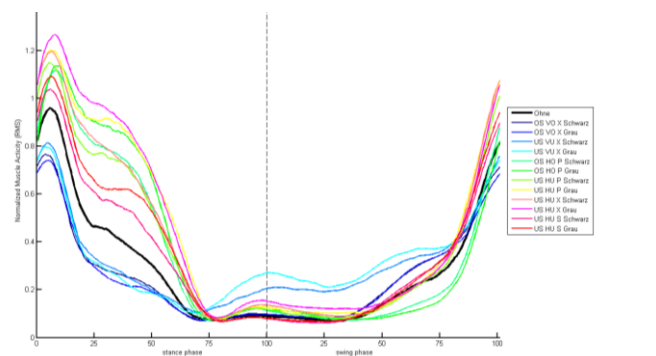


Abbildung 10: M gluteus medius (GLM) Aktivierung im Gangzyklus

ERS_I: M erector spinae links

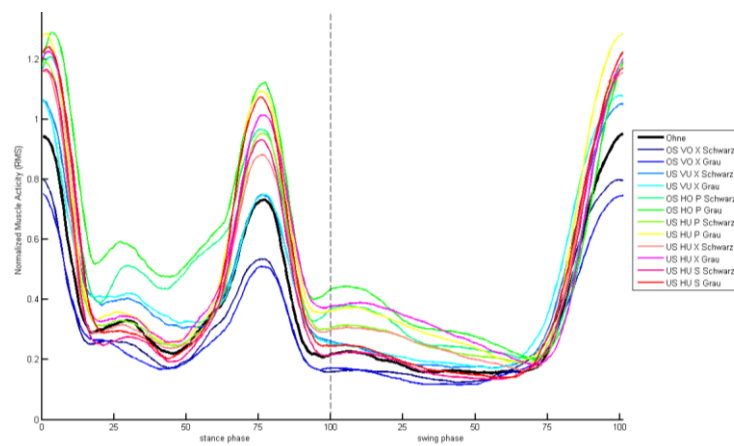


Abbildung 11: M erector spinae links (ERS_I) Aktivierung im Gangzyklus

ERS_I: M erector spinae rechts

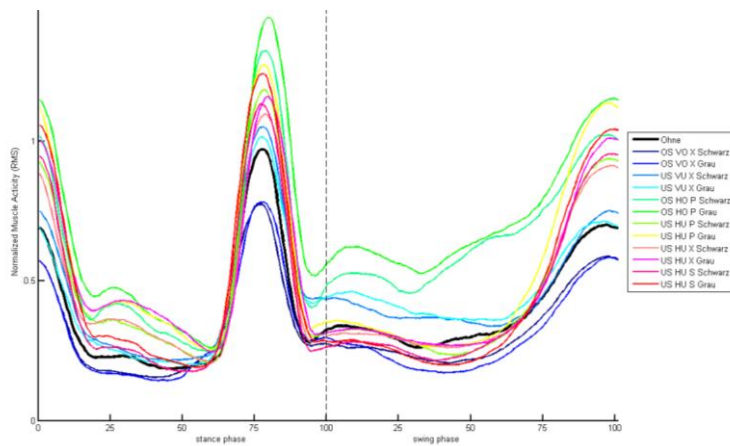


Abbildung 12: M erector spinae rechts (ERS_r) Aktivierung im Gangzyklus

Auch beim ERS gelingt durch die Expander eine Aktivitätserhöhung sowohl in der späten Standphase als auch in der Schwungphase.

Gehen vorwärts – Standphase

Die tiefergehende statistische Analyse bestimmt im Folgenden zunächst für die Stützphase beim Gang die Mittelwerte und Standardabweichungen für die einzelnen Muskelgruppen unter den verschiedenen experimentellen Zugbedingungen und analysiert im Anschluss Signifikanzen und mögliche Interaktionen von Expanderart und Zugrichtung.

Tabelle 4: M tibialis anterior (TA) Aktivierung in der Standphase (Mittelwerte und Standardabweichungen).
Grau markierte Bedingungen zeigen eine Reduktion der Aktivierung (<1.0)

Code, Zugrichtung	Expander	MW	SD
OS_VO_X	Schwarz	0.91	0.18
OS_VO_X	Grau	0.87	0.23
US_VU_X	Schwarz	1.10	0.27
US_VU_X	Grau	1.17	0.25
OS_HO_P	Schwarz	1.05	0.20
OS_HO_P	Grau	1.19	0.34
US_HU_P	Schwarz	1.07	0.20
US_HU_P	Grau	1.17	0.23
US_HU_X	Schwarz	1.05	0.16
US_HU_X	Grau	1.11	0.25
US_HU_S	Schwarz	1.07	0.26
US_HU_S	Grau	1.15	0.28

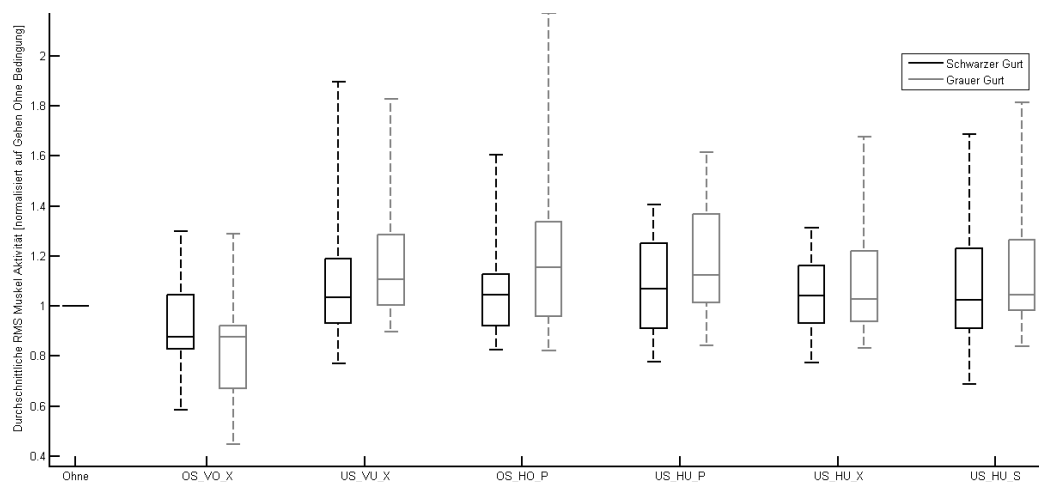


Abbildung 13: M tibialis anterior (TA) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,0004; Expander: 0,0004; Interaktion: 0,029

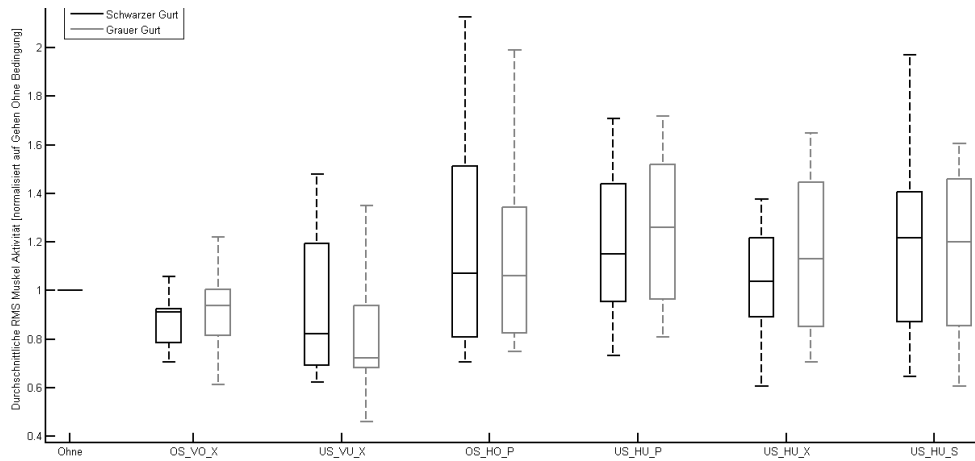


Abbildung 14: M peroneus longus (PER) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,00005; Expander: 0,41; Interaktion: 0,009

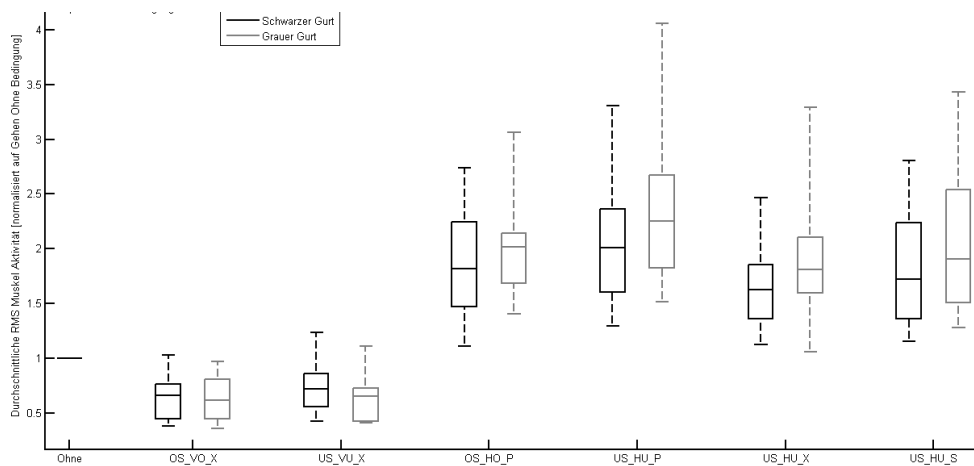


Abbildung 15: M gastrocnemius lateralis (GL) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,0006; Expander: 0,0006; Interaktion: 0,00009

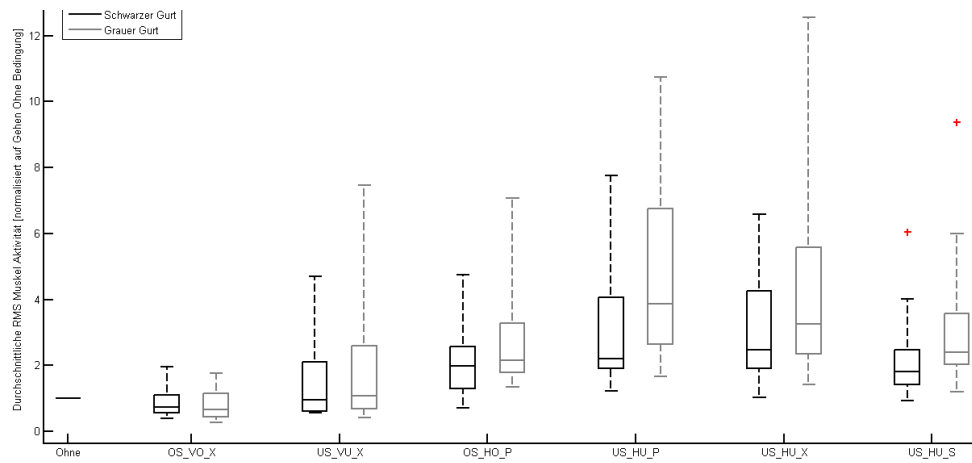


Abbildung 16: M biceps femoris (BF) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,0006; Expander: 0,003; Interaktion: 0,0001

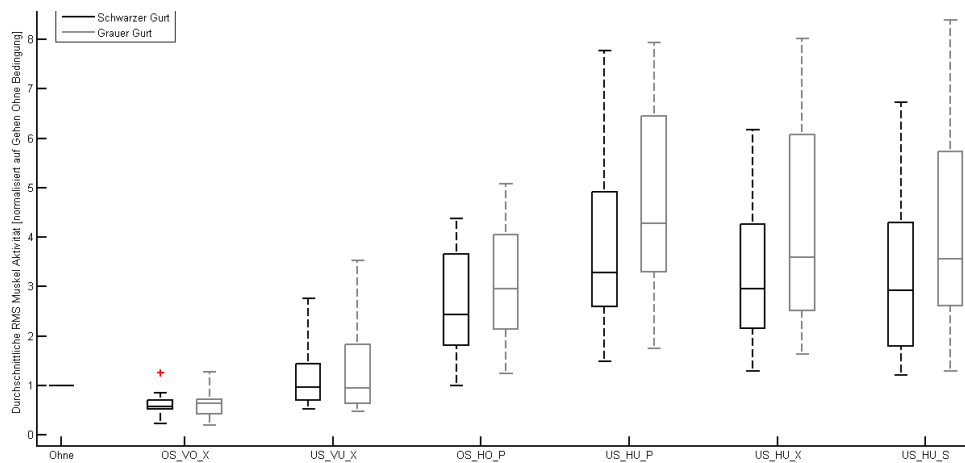


Abbildung 17: M semitendinosus (SEM) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,0001; Expander: 0,0009; Interaktion: 0,0003

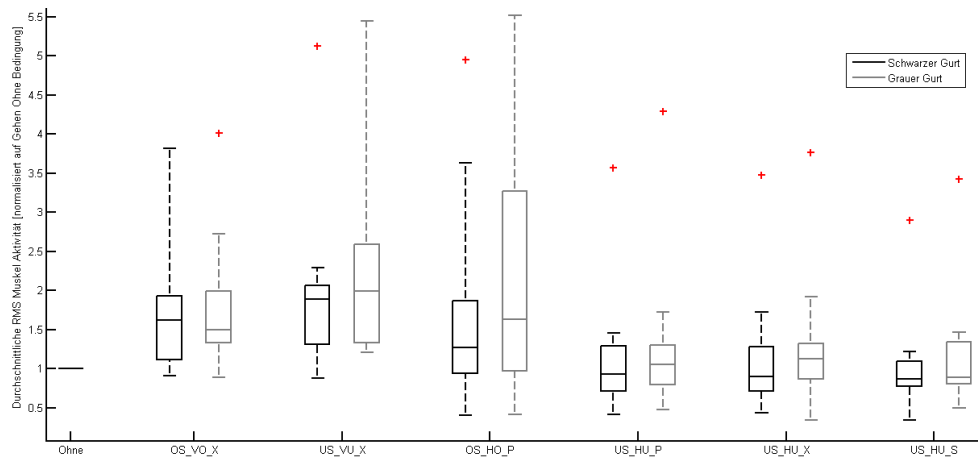


Abbildung 18: M vastus medialis (VM) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)

p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,0002; Expander: 0,0005; Interaktion: 0,03

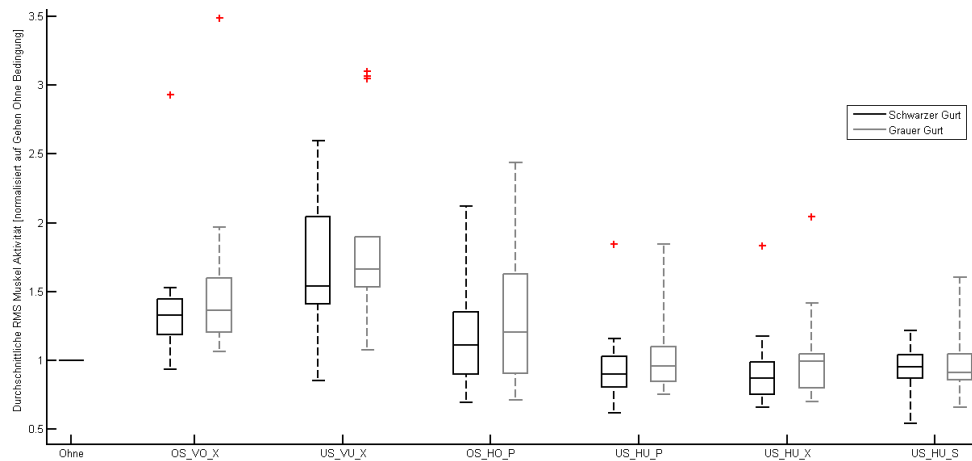


Abbildung 19: M vastus lateralis (VL) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)

p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,0001; Expander: 0,0009; Interaktion: 0,04

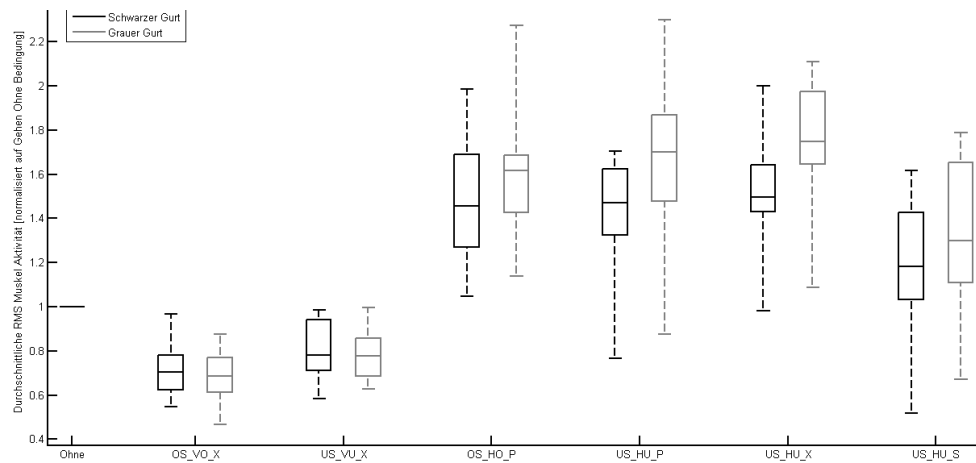


Abbildung 20: M gluteus medius (GLM) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,00001; Expander: 0,0002; Interaktion: 0,00005

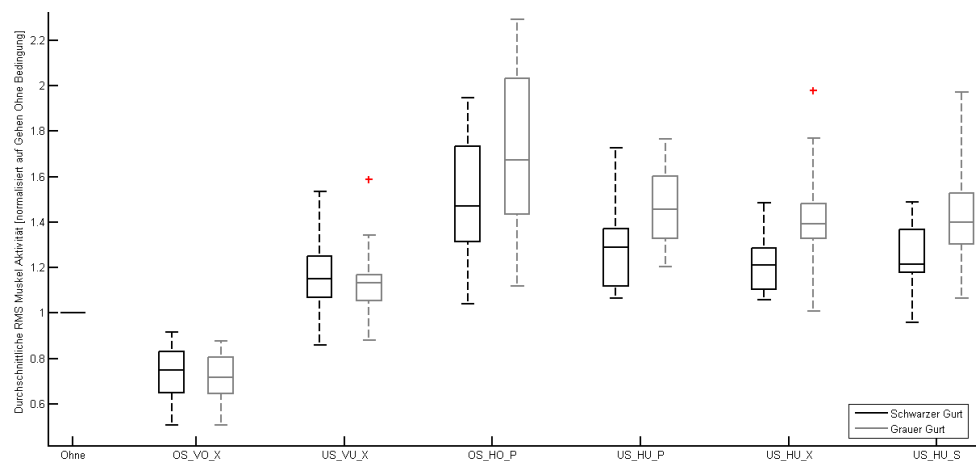


Abbildung 21: M erector spinae links (ERS_l) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)
p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,00007; Expander: 0,0003; Interaktion: 0,00009

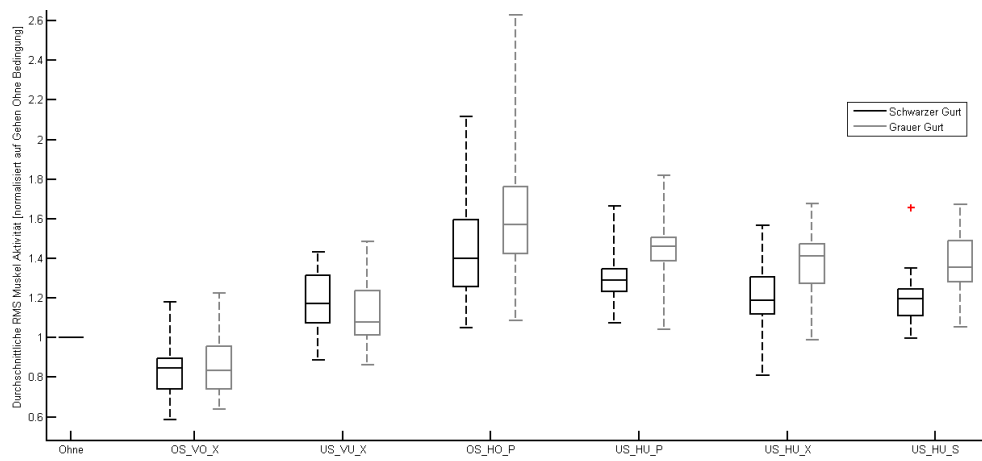


Abbildung 22: M erector spinae rechts (ERS_r) Aktivierung in der Standphase (Boxplot; Median, 25er und 75er Quantil, Max, Min)

p-Werte: Code/Zugrichtung: 0,00004; Expander: 0,0001; Interaktion: 0,00001

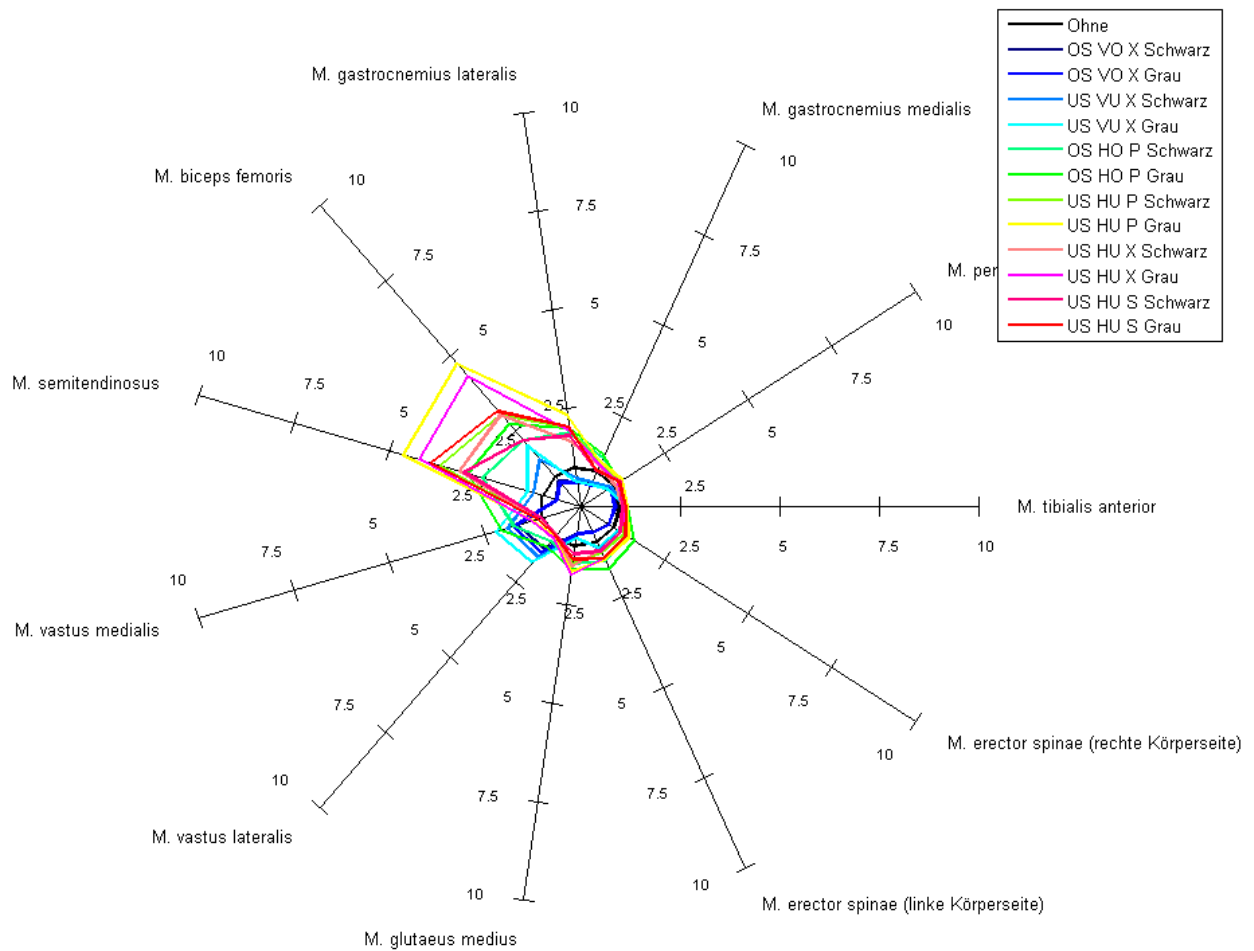


Abbildung 22: Spinnendiagramm der Aktivierung von neun Muskelgruppen beim Gang in der Standphase, alle Daten auf maximale Aktivierung während der Studie skaliert, Werte kleiner 1 zeigen eine Entlastung, Werte größer 1 eine zusätzliche Belastung. Die deutlichsten Effekte finden sich bei den Hamstrings.

Gehen vorwärts – Schwungphase

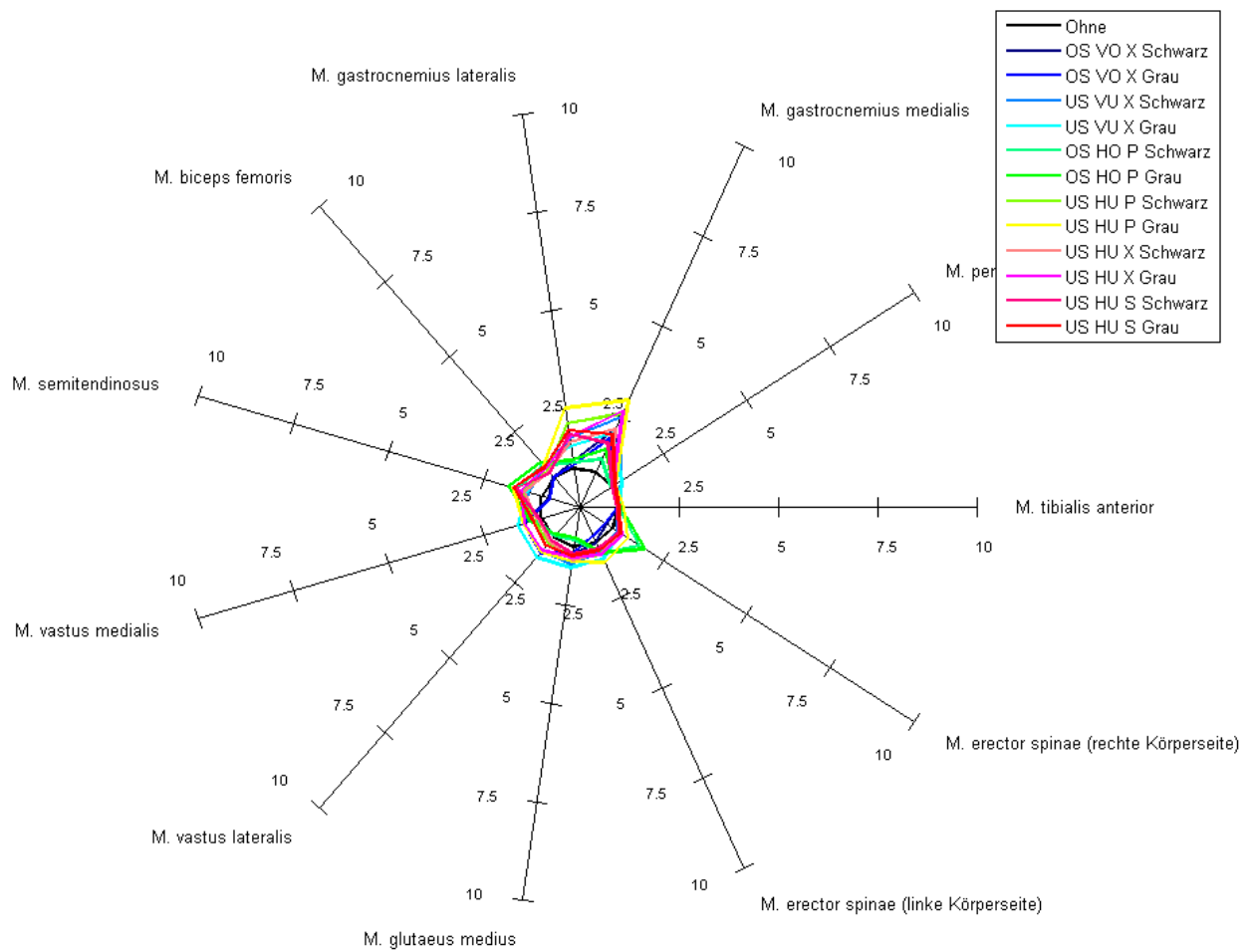


Abbildung 23: Spinnendiagramm der Aktivierung von neun Muskelgruppen beim Gang in der Schwungphase, alle Daten auf maximale Aktivierung während der Studie skaliert, Werte kleiner 1 zeigen eine Entlastung, Werte größer 1 ein zusätzliche Belastung. Insgesamt finden sich geringe Effekte. Die deutlichsten Effekte zeigen sich bei den Gastrocnemii.

Gehen rückwärts – Standphase

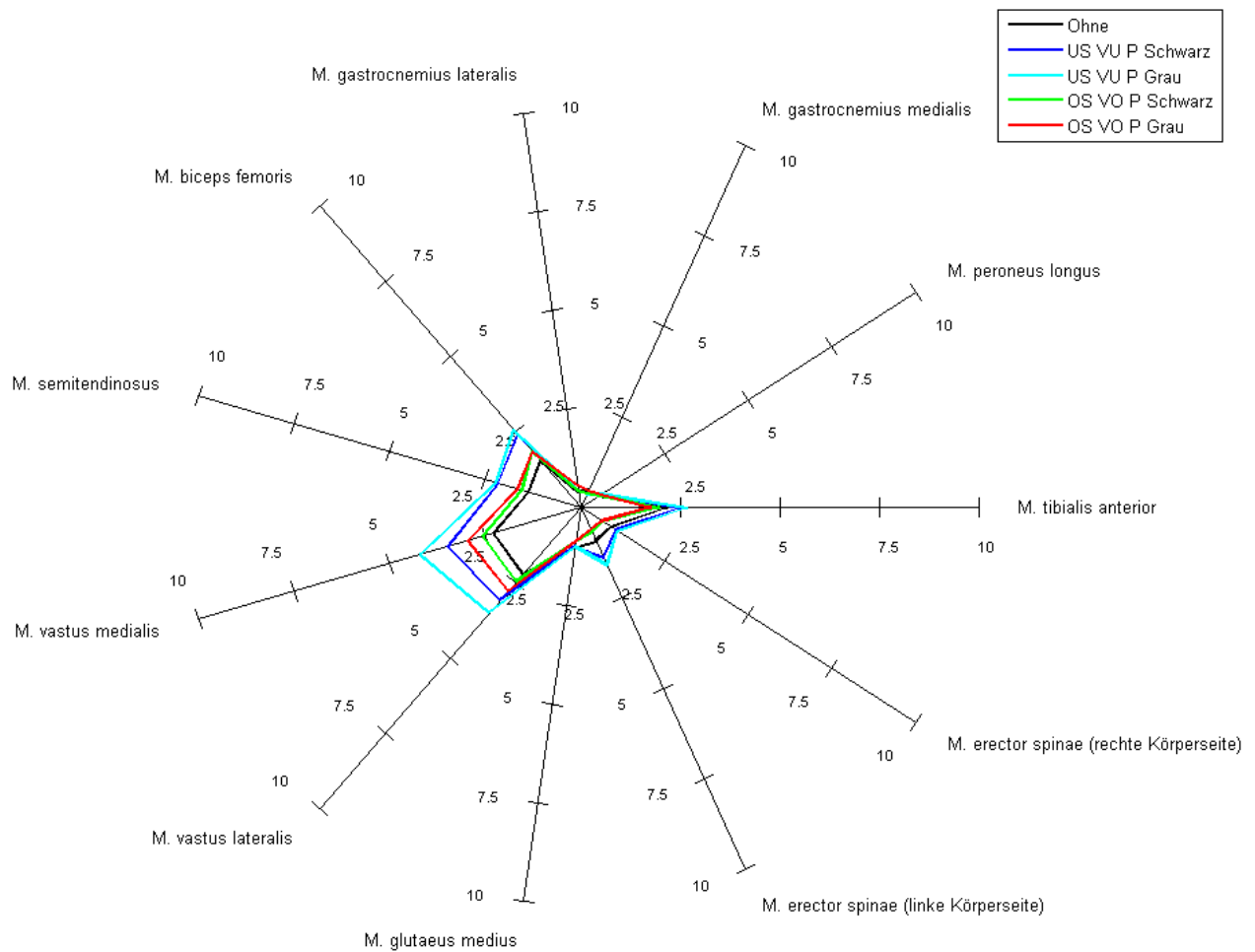


Abbildung 24: Spinnendiagramm der Aktivierung von neun Muskelgruppen beim Rückwärtsgehen in der Standphase, alle Daten auf maximale Aktivierung während der Studie skaliert, Werte kleiner 1 zeigen eine Entlastung, Werte größer 1 ein zusätzliche Belastung. Insgesamt finden sich geringe Effekte. Die deutlichsten Effekte zeigen sich bei den Vasti.

Gehen rückwärts – Schwungphase

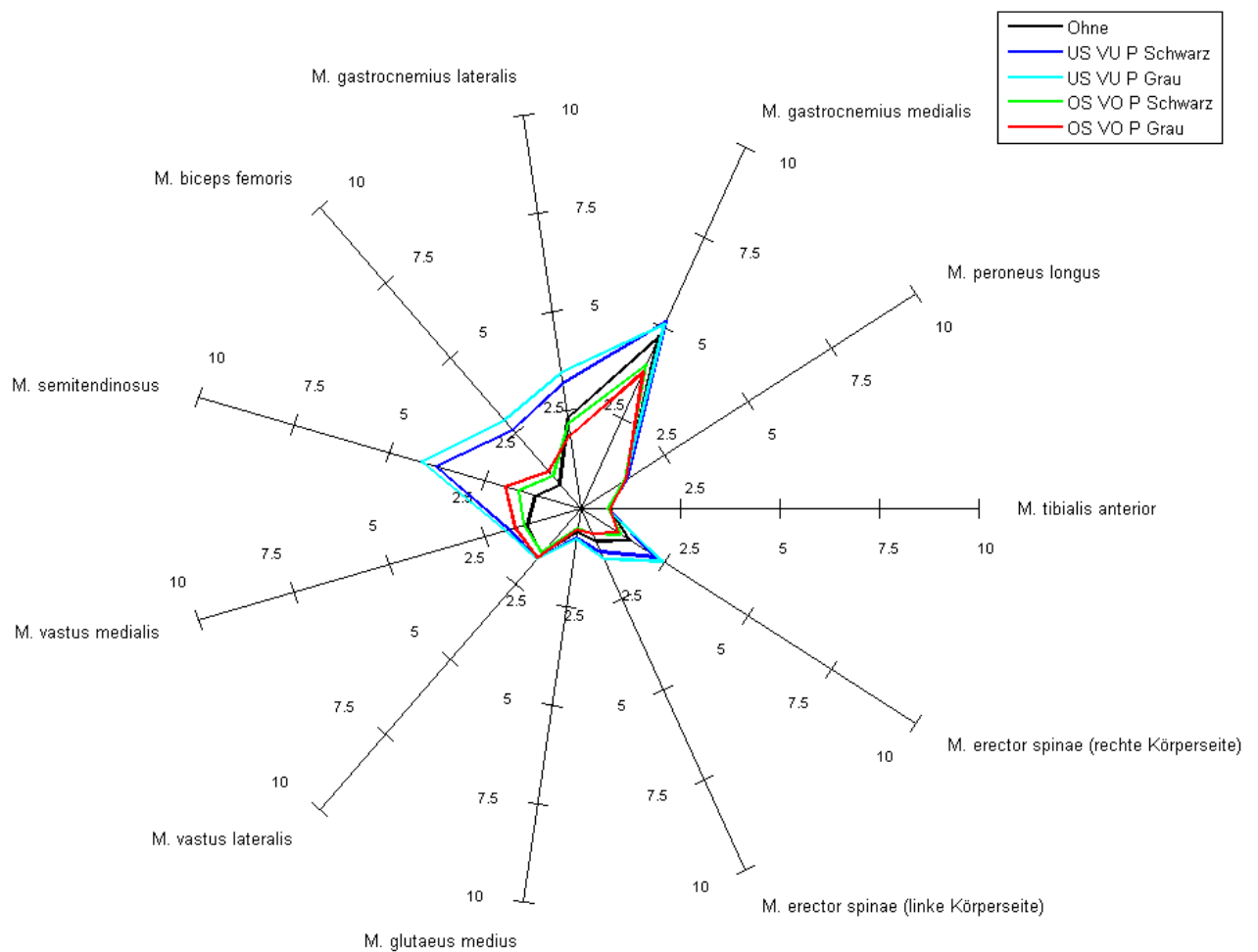


Abbildung 25: Spinnendiagramm der Aktivierung von neun Muskelgruppen beim Rückwärtsgehen in der Schwungphase, alle Daten auf maximale Aktivierung während der Studie skaliert, Werte kleiner 1 zeigen eine Entlastung, Werte größer 1 eine zusätzliche Belastung. Die deutlichsten Effekte zeigen sich bei den Gastrocnemii und Hamstringsi.

Laufen – Standphase

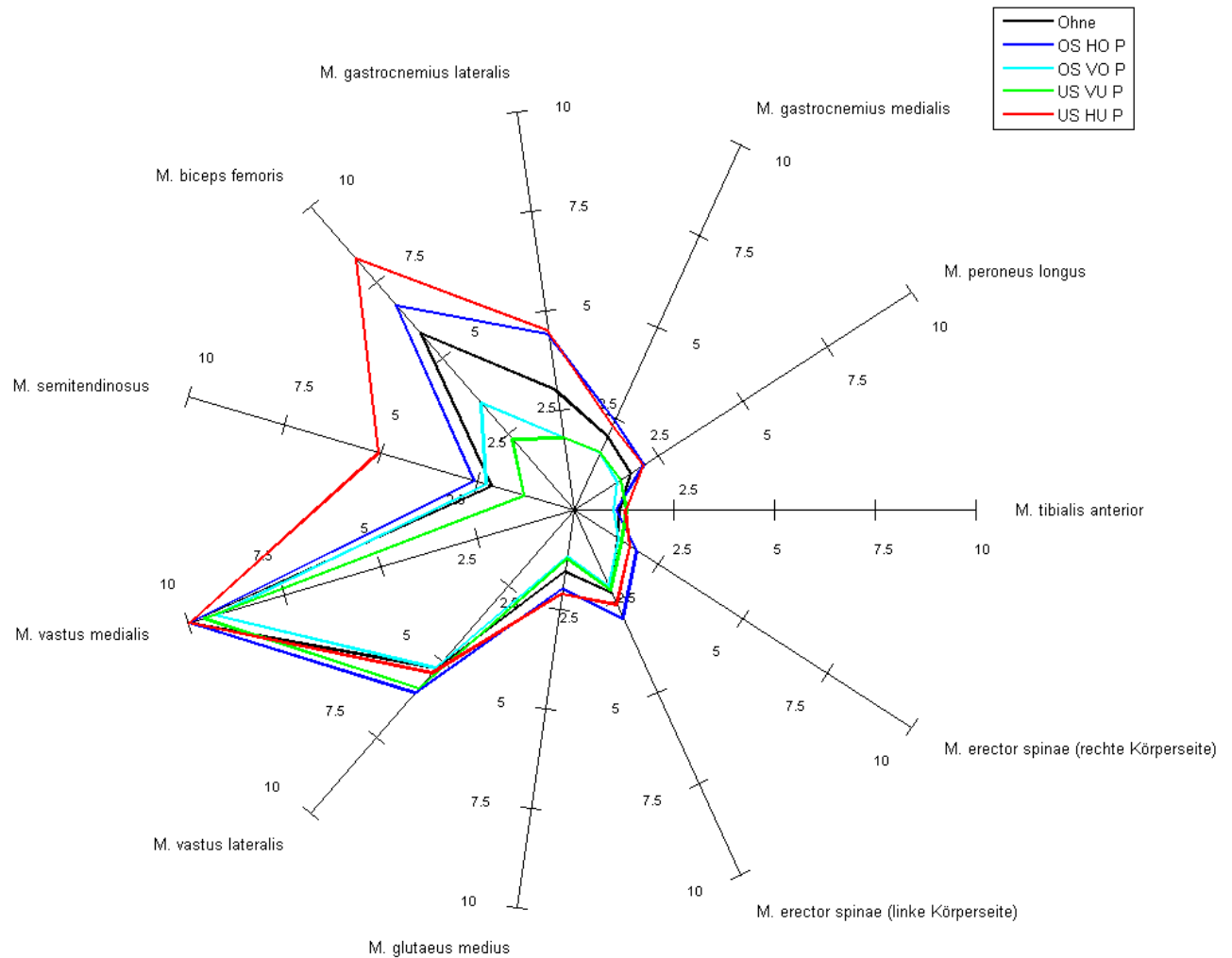


Abbildung 26: Spinnendiagramm der Aktivierung von neun Muskelgruppen beim Laufen in der Standphase, alle Daten auf maximale Aktivierung während der Studie skaliert, Werte kleiner 1 zeigen eine Entlastung, Werte größer 1 eine zusätzliche Belastung. Deutliche und insgesamt größte Effekte zeigen sich beim Vastus medialis.

Laufen – Schwungphase

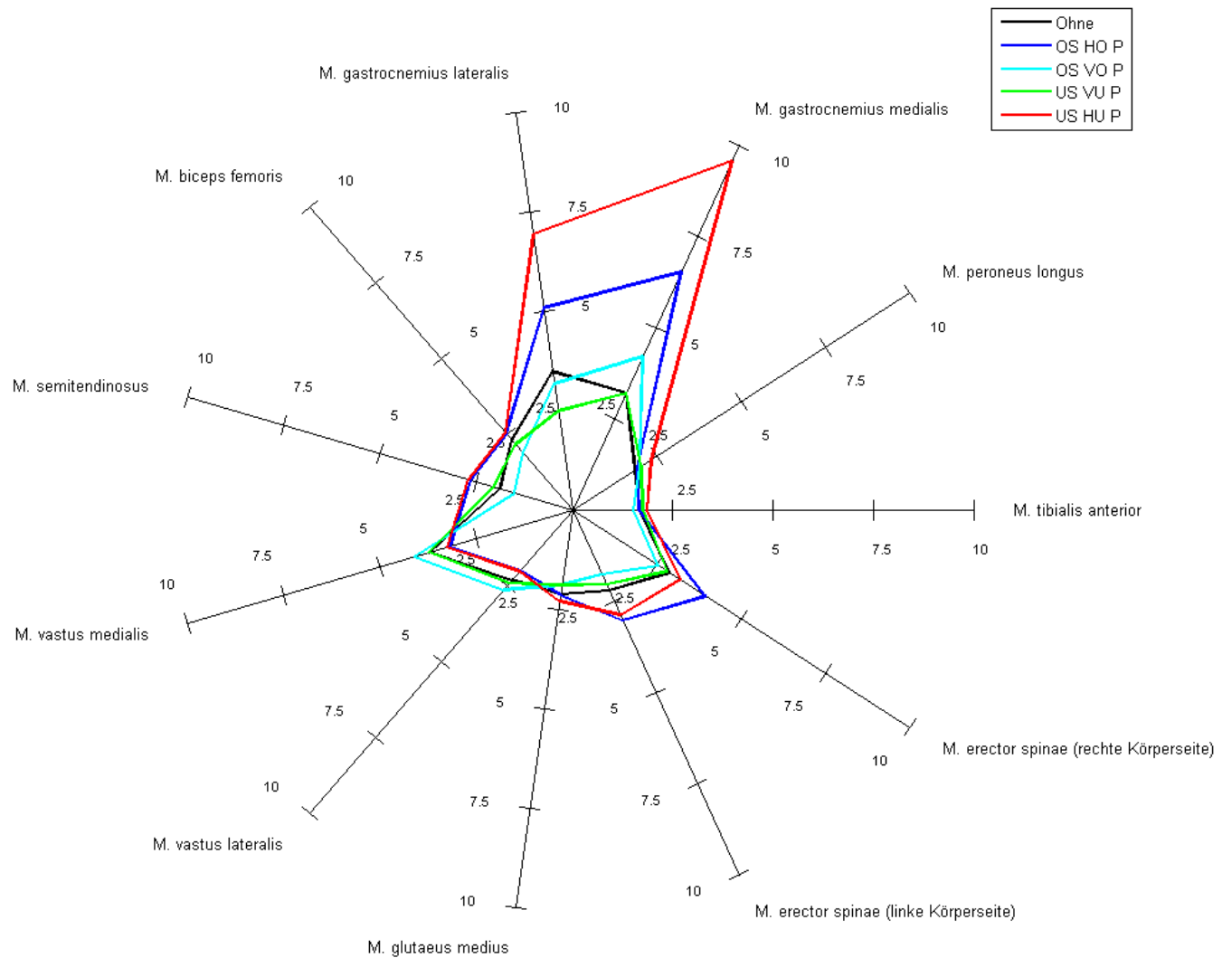


Abbildung 27: Spinnendiagramm der Aktivierung von neun Muskelgruppen beim Laufen in der Schwungphase, alle Daten auf maximale Aktivierung während der Studie skaliert, Werte kleiner 1 zeigen eine Entlastung, Werte größer 1 eine zusätzliche Belastung. Deutliche und insgesamt größte Effekte zeigen sich beim Gastrocnemius medialis.

Zusammenfassung und Diskussion

Das ROBOWALK System zeigt sich geeignet, die Muskelaktivität der Beinmuskulatur zu beeinflussen. Insbesondere gelingt mit den unterschiedlichen Expanderanlagen eine signifikante Aktivitätserhöhung; eine Reduktion der Beanspruchung konnte nur moderat gezeigt werden.

Sowohl die Expanderstärke als auch die Art der Anlage (Richtung, Art, Höhe) resultiert in signifikanten Muskelaktivitätsänderungen bei nahezu allen untersuchten Muskelgruppen. Bemerkenswert sind die in der Regel hoch signifikanten Interaktionen zwischen den beiden Faktoren.

Die größten Aktivitätszunahmen finden sich beim Laufen und hier insbesondere in der Standphase für die Oberschenkelmuskulatur und in der Schwungphase für die Unterschenkelmuskulatur (Plantarflexoren).

Bemerkenswerterweise scheinen die medialen und lateralen Oberschenkelmuskeln selektiv angesteuert werden zu können. So gelingt in der Standphase des Laufens, den M vastus medialis besonders intensiv zu aktivieren, was für die muskuläre Rezentrierung der instabilen Patella von großer Bedeutung sein kann.

Insgesamt ist das ROBOWALK System geeignet, die Muskelaktivität gezielt zu modifizieren und damit auch selektive Trainingsreize zu formulieren. Inwieweit die nachgewiesene Erhöhung der Muskelaktivierung für eine Kraft- oder Leistungszunahme der involvierten Muskulatur genügt, bleibt zu prüfen.

Als Entlastungs- und Gangunterstützungssystem scheint ROBOWALK weniger oder zumindest weniger intensiv geeignet, da die muskuläre Entlastung bei bestimmten Anlagen nur moderat und mit geringer Effektstärke nachgewiesen werden konnte.

Eine Limitation des System ist sicherlich die Verwendung von Expandern mit nicht-linearen mechanischen Verhalten und Federeigenschaften. Eine konstante oder besser wohl definierte Kraftapplikation an Ober- oder Unterschenkel wird zu stabileren und biomechanisch zweckmäßigeren Interventionen führen. Es ist denkbar und anzuraten, die passiven Expander durch steuerbare Aktuatoren zu ersetzen und damit auch die Entlastung und Gangunterstützung besser zu gewährleisten. Technisch wäre eine Lösung mit pneumatischen Aktuatoren geeignet.

Zusammenfassend finden sich bei der Anwendung von ROBOWALK signifikanten Muskelaktivierungsänderungen. Sowohl die vorgesehenen und untersuchten Zugrichtungen und Anlagehöhen als auch die beiden untersuchten Expanderstärken führen zu signifikanten Veränderungen der Muskelaktivierung, die zum Teil mit hohen Effektstärken gezeigt werden konnten.