

<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VII</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2 DAS PROBLEMFELD „ELEKTROMECHANISCHE VERZÖGERUNG“ - EIN ÜBERBLICK ÜBER DEN AKTUELLEN FORSCHUNGSSTAND -.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Zur Entstehung des Begriffs der elektromechanischen Verzögerung .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Die verschiedenen Formen der elektromechanischen Verzögerung .....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Die elektromechanische Antwortzeit („electromechanical response time“, EMRT).....	11
2.2.2 Die elektromechanische Verzögerung (electromechanical delay, EMD) .....	14
2.2.3 Die elektromechanische Aktivierungsverzögerung (electromechanical activation delay, EMAD).....	24
2.2.4 Die mechanische Überwindungszeit (mechanical threshold time, MTT) .....	27
2.2.5 Die elektromechanische Verzögerung bis zum Bewegungs- beginn (electromechanical movement delay, EMMD).....	28
2.2.6 Die elektromechanische Entspannungsverzögerung (electro mechanical relaxation delay, EMRD).....	29
2.2.7 Die „wahre“ elektromechanische Verzögerung (true electromechanical delay, TEMD, EMD max).....	33
2.2.7.1 Aktivierungsverzögerung und Aktivierungsreihenfolge (activation lag, AL; activation order, AO).....	35
2.2.7.2 Entspannungsverzögerung und Entspannungsreihen- folge (relaxation lag time, RL; relaxation order, RL).....	35
2.2.8 Die elektromechanische Spitzenspannungsverzögerung (electromechanical peak-tension delay, EMPD).....	35
<b>2.3 Ergebnisse zur elektromechanischen Verzögerung im Überblick.....</b>	<b>38</b>
<b>2.4 Die Einflussgrößen der elektromechanischen Verzögerung .....</b>	<b>49</b>
2.4.1 Muskellänge .....	49
2.4.2 Maximalkraft .....	51
2.4.3 Kraftentwicklungsrate.....	52
2.4.4 Fasertypverteilung .....	53
2.4.5 Aktivierungsreihenfolge einzelner Muskeln oder Muskelköpfe.....	55

2.4.6	Kontraktionsform.....	56
2.4.7	Kontraktionsgeschwindigkeit .....	57
2.4.8	Sehnenreflex und Elektrostimulation.....	58
2.4.9	Muskelstiffness .....	59
2.4.10	Muskeltemperatur .....	59
2.4.11	Äußere Lasten .....	60
2.4.12	Ermüdung.....	61
2.4.13	Trainingseffekt.....	63
2.4.14	Alter .....	64
2.4.15	Geschlecht.....	65
2.4.16	Gewicht und Größe.....	66
<b>2.5</b>	<b>Die Verfahren zur Bestimmung der elektromechanischen Verzögerung .....</b>	<b>66</b>
<b>3</b>	<b>DER UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND</b>	
	„ELEKTROMECHANISCHE VERZÖGERUNG“	
	- BESTEHENDE DEFIZITE UND MÖGLICHE LÖSUNGSANSÄTZE .....	73
<b>3.1</b>	<b>Die Interpretation der elektromechanischen Verzögerung</b>	
	- ein offenkundiger Fehler ? .....	73
<b>3.2</b>	<b>Die Schwellenwertproblematik bei der Bestimmung der elektromechanischen Verzögerung .....</b>	<b>79</b>
<b>3.3</b>	<b>Hypothesen .....</b>	<b>84</b>
<b>4</b>	<b>METHODEN.....</b>	<b>91</b>
<b>4.1</b>	<b>Versuchsdesign.....</b>	<b>91</b>
<b>4.2</b>	<b>Erhebung zur Bestimmung der EMAD der Ellbogenstrecker .....</b>	<b>93</b>
4.2.1	Versuchspersonen .....	93
4.2.2	Messstation zur Kraft der Ellbogenstrecker.....	93
4.2.3	Versuchsdurchführung.....	95
<b>4.3</b>	<b>Erhebung zur Bestimmung der EMAD und EMRD der Kniebeuger.....</b>	<b>96</b>
4.3.1	Versuchspersonen .....	97
4.3.2	Messstation zur Kraft der Kniebeuger .....	97
4.3.3	Versuchsdurchführung.....	99

<b>4.4 Erhebung zur Bestimmung der EMAD und EMRD der Kniestrecker</b>	<b>101</b>
4.4.1 Versuchspersonen .....	102
4.4.2 Messstation zur Kraft der Kniestrecker .....	102
4.4.3 Versuchsdurchführung.....	104
<b>4.5 Erhebungen zur Bestimmung der EMAD und EMRD im Überblick...</b>	<b>105</b>
<b>4.6 Versuchsauswertung.....</b>	<b>105</b>
4.6.1 Nebeneffekte durch analoge Filter.....	108
4.6.2 Quantifizierung der muskulären Parameter.....	109
4.6.2.1 Eichung der Daten .....	109
4.6.2.2 Muskellänge.....	110
4.6.2.3 Kraftparameter.....	113
4.6.3 Quantifizierung der elektromechanischen Aktivierungsverzögerung - EMAD.....	114
4.6.4 Quantifizierung der elektromechanischen Entspannungsverzögerung - EMRD .....	115
4.6.5 Auswertungsprogramm zur Bestimmung der EMD .....	116
<b>4.7 Methoden zur Bestimmung der EMAD.....</b>	<b>118</b>
4.7.1 Allgemeine Vorbemerkungen.....	118
4.7.2 Die visuelle Methode .....	119
4.7.3 Die Methode fester Schwellenwerte .....	125
4.7.4 Die Methode prozentualer Schwellenwerte .....	126
4.7.5 Die Methode der Standardabweichung als Schwellenwert.....	127
4.7.6 Die Methode extremer Tiefpassfilterung.....	128
4.7.7 Zusätzliche Filter- bzw. Glättungsverfahren.....	129
4.7.8 Kriterien der automatischen Bestimmung der EMAD, visuelle Kontrolle und Korrektur .....	131
4.7.9 Tabellarische Auflistung der Methoden und Schwellenwerte .....	136
<b>4.8 Methode zur Bestimmung der EMRD.....</b>	<b>138</b>
<b>4.9 Statistische Methoden.....</b>	<b>142</b>
<b>4.10 Gütekriterien.....</b>	<b>142</b>
4.10.1 Validität und Reliabilität.....	142
4.10.2 Objektivität .....	143

<b>5</b>	<b>VERGLEICH DER METHODEN ZUR BESTIMMUNG DER EMAD.....</b>	<b>145</b>
5.1	<b>Methodenvergleich - Ergebnisse.....</b>	<b>145</b>
5.1.1	Methodenvergleich in Optimallänge.....	146
5.1.2	Methodenvergleich in unterschiedlichen Muskellängen.....	156
5.1.3	Methodenvergleich zu den ermittelten Zeitpunkten des Beginns der EMG- und Kraftanstiege.....	163
5.1.4	Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren.....	173
5.2	<b>Methodenvergleich - Diskussion.....</b>	<b>176</b>
5.2.1	Die visuelle Methode (Vis).....	179
5.2.2	Methode der festen Schwellenwerte (Fix).....	186
5.2.3	Methode prozentualer Schwellenwerte (Pro).....	188
5.2.4	Methode der Standardabweichung als Schwellenwert (Sta).....	191
5.2.5	Methode der extremen Tiefpassfilterung (Tp).....	193
5.2.6	Methoden mit vorgeschalteten Filter- bzw. Glättungsverfahren (Fmw, Ftp, Pmw, Ptp, Smw, Stp).....	195
5.2.7	Die Suche nach der optimalen Methode - Alternative Lösungsansätze.....	198
5.3	<b>Fazit.....</b>	<b>208</b>
<b>6</b>	<b>DIE ELEKTROMECHANISCHE VERZÖGERUNG - ERGEBNISSE UND DISKUSSIONEN.....</b>	<b>211</b>
6.1	<b>Die elektromechanische Aktivierungsverzögerung - Ergebnisse.....</b>	<b>212</b>
6.1.1	Der Betrag der EMAD in unterschiedlichen Muskellängen.....	212
6.1.2	Zusammenhang der EMAD mit den erhobenen Kraftparametern.....	219
6.1.3	Aktivierungsreihenfolge.....	222
6.2	<b>Die elektromechanische Aktivierungsverzögerung - Diskussion.....</b>	<b>226</b>
6.2.1	Größenordnung und Betrag der EMAD.....	226
6.2.2	Einfluss der Muskellänge auf die EMAD.....	230
6.2.3	Zusammenhang zwischen der Kraft bzw. der Kraftentwicklungsrate und der EMAD.....	234
6.2.4	Eingrenzung der EMAD.....	237
6.2.5	Einfluss der Rekrutierungsfolge auf die EMAD.....	238
6.2.6	Kraft-Längen-Kurve und EMAD-Längen-Kurve.....	242

6.2.7	Erregungs-Kontraktions-Kopplung.....	242
6.2.8	Einfluss der Muskelfaserleitungsgeschwindigkeit und der Muskelfaserlänge auf die EMAD .....	243
6.2.9	Zusammenspiel zwischen Kontraktion und Dehnung der in Serie angeordneten Sarkomere .....	246
6.2.10	Zusammenhang zwischen der Aktivierungsreihenfolge und der EMAD.....	252
6.2.11	Modell zur Zusammensetzung der EMAD.....	254
6.2.12	Zusammenfassung .....	260
<b>6.3</b>	<b>Die elektromechanische Entspannungsverzögerung - Ergebnisse .....</b>	<b>261</b>
6.3.1	Der Betrag der EMRD in unterschiedlichen Muskellängen .....	263
6.3.2	Zusammenhang zwischen EMAD und EMRD.....	271
6.3.3	Zusammenhang der EMRD mit den erhobenen Kraftparametern .....	271
6.3.4	Relaxationsreihenfolge .....	273
<b>6.4</b>	<b>Die elektromechanische Entspannungsverzögerung - Diskussion.....</b>	<b>276</b>
6.4.1	Größenordnung und Betrag der EMRD.....	276
6.4.2	Eingrenzung der Einflussgrößen der EMRD .....	278
6.4.3	Ca <sup>2+</sup> -Konzentration und Relaxationszeit .....	278
6.4.4	Fasertypverteilung und Rekrutierung .....	279
6.4.5	Einfluss antagonistischer Kontraktionen auf die EMRD.....	280
6.4.6	Zusammenhang zwischen der Muskellänge und der EMRD.....	282
6.4.7	Zusammenhang zwischen den Kraftparametern und der EMRD .....	283
6.4.8	Zusammenhang zwischen der Relaxationsreihenfolge und der EMRD.....	284
6.4.9	Zusammenfassung .....	286
<b>7</b>	<b>ABSCHLUSSDISKUSSION .....</b>	<b>287</b>
<b>7.1</b>	<b>Möglichkeiten und Grenzen der Bestimmung der EMAD oder der EMRD - der große Einfluss der Methoden.....</b>	<b>287</b>
<b>7.2</b>	<b>Die Bedeutung von EMAD und EMRD für Biomechanik und Trainingslehre .....</b>	<b>294</b>
<b>8</b>	<b>AUSBLICK .....</b>	<b>307</b>
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>309</b>

**ANHANG**

<b>A.1 Tabellen und Abbildungen.....</b>	<b>313</b>
<b>A.2 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>325</b>
<b>A.3 Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>343</b>
<b>A.4 Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>349</b>
<b>A.5 Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>352</b>