

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	7
1 Einleitung.....	13
2 Theoretischer Hintergrund.....	16
2.1 Modellvorstellungen zum sportlichen Training und zur Adaptation .....	16
2.1.1 Adaptation und Superkompensationsmodell .....	16
2.1.2 Kybernetisches Modell der Trainingssteuerung.....	19
2.1.3 Belastungs-Beanspruchungs-Konzept des Trainings.....	21
2.1.4 Training unter synergetischem Aspekt .....	22
2.1.4.1 Training und Adaptation als nichtlineares dynamisches System .....	22
2.1.4.2 Synergetik als Theorie der Selbstorganisation .....	24
2.1.4.3 Synergetischer Ansatz des Trainings .....	26
2.1.5 Forschungsdefizit bezogen auf Modellvorstellungen zum sportlichen Training .....	27
2.2 Ein systemtheoretischer Ansatz zur Beschreibung der Leistungsentwicklung im Trainingsprozess.....	28
2.3 Trainingsbedingte Anpassungen des neuromuskulären Systems und Oberflächenelektromyografie zur Erfassung der neuromuskulären Aktivierung .....	32
2.3.1 Trainingsbedingte Anpassungen des neuromuskulären Systems .....	32
2.3.1.1 Neuromuskuläres System als Leistungsvoraussetzung und physiologische Grundlagen .....	32
2.3.1.2 Anpassungen durch Ausdauertraining.....	35
2.3.1.3 Anpassungen durch Krafttraining .....	37
2.3.2 Oberflächenelektromyografie (EMG) zur Erfassung der neuromuskulären Aktivierung .....	38
2.3.2.1 Physiologie und Auswertung des EMG-Signals.....	38
2.3.2.2 Trainingsprozessbezogene Untersuchungen von EMG- Signalparametern.....	41
2.3.3 Forschungsdefizit bezogen auf trainingsbedingte Anpassungen des neuromuskulären Systems und deren Erfassung mit Hilfe der Oberflächenelektromyografie .....	43
2.4 Statistische und Modellbasierte Ansätze zur Analyse des zeitabhängigen Zusammenhangs zwischen Trainingsbelastung und Leistung.....	44
2.4.1 Statistische Zeitreihenanalysen.....	45
2.4.1.1 Definition und Einsatzgebiete .....	45

## Inhaltsverzeichnis

2.4.1.2	Beschreibung von Wirkungszusammenhängen.....	46
2.4.1.3	Trainingswissenschaftliche Untersuchungen.....	46
2.4.1.4	Methodische Besonderheiten beim Einsatz der Verfahren.....	49
2.4.2	Fitness-Fatigue-Modell.....	49
2.4.2.1	Konzept und Struktur des Modells.....	49
2.4.2.2	Kalibrierung des Modells.....	51
2.4.2.3	Validierung des Modells und der Modellkomponenten.....	52
2.4.2.4	Anwendungen des Modells.....	54
2.4.3	PerPot-Modell.....	54
2.4.3.1	Konzept und Struktur des Modells.....	54
2.4.3.2	Kalibrierung und Validierung des Modells.....	57
2.4.3.3	Einsatzszenarien und Anwendungen des Modells.....	57
2.4.4	Neuronale Netze.....	59
2.4.5	Ausblick auf weitere Ansätze.....	61
2.4.6	Forschungsdefizit bezogen auf die Analyse des zeitabhängigen Zusammenhangs zwischen Trainingsbelastung und Leistung.....	62
3	Abgeleitete Fragestellungen.....	63
4	Methoden.....	65
4.1	Forschungszugang.....	65
4.2	Stichprobe.....	65
4.2.1	Schwimmen.....	65
4.2.2	Radfahren.....	66
4.3	Training und Leistungsdiagnostik.....	66
4.3.1	Schwimmen.....	66
4.3.2	Radfahren.....	68
4.4	Testdurchführung und –auswertung.....	72
4.4.1	Schwimmen.....	72
4.4.2	Radfahren.....	73
4.4.2.1	30s-Test.....	73
4.4.2.2	Laktatstufentest.....	74
4.5	EMG-Aufnahme und –auswertung.....	75
4.5.1	EMG-System.....	75
4.5.2	EMG-Aufnahme.....	75
4.5.2.1	Schwimmen.....	75
4.5.2.2	Radfahren.....	76

4.5.3	EMG-Auswertung .....	76
4.5.3.1	Schwimmen .....	76
4.5.3.2	Radfahren .....	80
4.6	Evaluation der Test- und Analyseverfahren .....	83
4.6.1	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf der Schwimmbank .....	83
4.6.2	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf dem Radergometer und der Einfluss von Lerneffekten auf die Testleistung .....	83
4.6.2.1	Test-Retest-Reliabilität des 30s-Tests .....	83
4.6.2.2	Einfluss von Lerneffekten .....	84
4.7	Prozessbezogene Analyse des Leistungsverlaufs und der EMG-Spektralgrößen .....	84
4.7.1	Untersuchungsvariablen .....	84
4.7.2	Verlaufsanalyse .....	85
4.7.3	Zusammenhangsanalyse .....	87
4.8	Modellierung des Leistungsverlaufs mit antagonistischen Trainingswirkungsmodellen .....	89
4.8.1	Fitness-Fatigue-Modell .....	89
4.8.2	PerPot-Modell .....	90
4.8.3	Prädiktion der Leistung im Radfahren .....	91
4.9	Datenanalyse unter systemtheoretischem Aspekt .....	92
4.9.1	Trainingsbelastung vs. Leistungsentwicklung .....	92
4.9.2	Nichtlineare Zeitreihenanalyse .....	92
4.9.3	Variabilität im System .....	94
5	Ergebnisse und Interpretation .....	95
5.1	Evaluation der Test- und Analyseverfahren .....	95
5.1.1	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf der Schwimmbank .....	95
5.1.2	Reliabilität der 30s-Testleistung und der EMG-Spektralgrößen auf dem Radergometer .....	95
5.1.3	Lerneffekte beim 30s-Test auf dem Radergometer .....	96
5.2	Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen im Trainingsprozess .....	97
5.2.1	Schwimmen .....	97
5.2.1.1	Deskriptive Statistik .....	97
5.2.1.2	Zusammenhangsanalyse der Untersuchungsvariablen .....	99

5.2.1.3	Einzelfallbezogene Darstellung des Leistungsverlaufs .....	101
5.2.1.4	Einzelfallbezogene Darstellung des EMG-Frequenzverhaltens.....	104
5.2.1.5	Trainingsphasenbezogene Analyse des Leistungsverlaufs .....	105
5.2.1.6	Trainingsphasenbezogene Analyse des EMG-Frequenzverhaltens	107
5.2.2	Radfahren.....	110
5.2.2.1	Deskriptive Statistik .....	110
5.2.2.2	Zusammenhangsanalyse der Untersuchungsvariablen .....	111
5.2.2.3	Einzelfallbezogene Darstellung des Leistungsverlaufs und EMG-Frequenzverhaltens.....	113
5.2.2.4	Trainingsphasenbezogene Analyse des Leistungsverlaufs und EMG-Frequenzverhaltens .....	115
5.3	Modellierung des Leistungsverlaufs mit antagonistischen Trainingswirkungsmodellen .....	117
5.3.1	Schwimmen .....	117
5.3.2	Radfahren.....	121
5.3.2.1	Modellierung des Leistungsverlaufs .....	121
5.3.2.2	Prädiktion des Leistungsverlaufs .....	127
5.4	Sportlicher Leistungsverlauf unter systemtheoretischem Aspekt .....	130
5.4.1	Systemdynamik .....	130
5.4.2	Variabilität im System .....	143
6	Diskussion .....	147
6.1	Evaluation der Test- und Analyseverfahren .....	147
6.1.1	Reliabilität der 30s-Testleistung auf der Schwimmbank .....	147
6.1.2	Validität der 30s-Testleistung auf der Schwimmbank .....	147
6.1.3	Reliabilität der 30s-Testleistung auf dem Radergometer und der Einfluss von Lerneffekten auf die Testleistung .....	150
6.1.4	Validität der 30s-Testleistung auf dem Radergometer.....	150
6.1.5	Authentizität der EMG-Spektralgrößen im 30s-Test .....	152
6.2	Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen im Trainingsprozess.....	155
6.2.1	Schwimmen .....	155
6.2.1.1	Leistungsverlauf .....	155
6.2.1.2	EMG-Spektralgrößen.....	158
6.2.1.3	Zusammenhang von Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen .	161
6.2.2	Radfahren.....	161
6.2.2.1	Leistungsverlauf .....	161
6.2.2.2	EMG-Spektralgrößen.....	163

6.2.2.3	Zusammenhang von Leistungsverlauf und EMG-Spektralgrößen .	165
6.3	Modellierung des Leistungsverlaufs mit antagonistischen Trainingswirkungsmodellen .....	165
6.3.1	Schwimmen.....	166
6.3.1.1	Fitness-Fatigue-Modell .....	166
6.3.1.2	PerPot-Modell.....	167
6.3.2	Radfahren.....	167
6.3.2.1	Fitness-Fatigue-Modell .....	167
6.3.2.2	PerPot-Modell.....	168
6.3.2.3	Leistungsprädiktion.....	169
6.3.3	Vergleich der Modelle.....	170
6.4	Sportlicher Leistungsverlauf unter systemtheoretischem Aspekt .....	172
6.5	Zusammenfassende Diskussion der Fragestellungen.....	176
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	180
7.1	Zusammenfassung.....	180
7.2	Ausblick.....	183
7.2.1	Praktische Konsequenzen.....	183
7.2.2	Forschungsbezogene Aspekte .....	184
8	Literatur .....	187
Anhang	.....	207
A.	Methoden .....	207
B.	Ergebnisse .....	211
C.	Abbildungsverzeichnis.....	219
D.	Tabellenverzeichnis.....	225
E.	Abkürzungsverzeichnis .....	228