

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Quantifizierung sportlicher Bewegungsabläufe	7
2.1	Leistungsdiagnostik	8
2.2	Technikdiagnostik	11
2.3	Bestimmung leistungsrelevanter Technikparameter	13
2.4	Techniktraining an Messplätzen	14
2.5	Rückmeldung von Informationen	16
2.6	Grundlagen biomechanischer Messverfahren	19
2.7	Biomechanische Messverfahren für kinetische Größen	25
2.8	Einsatz von Beschleunigungsmessverfahren im Sport	28
2.8.1	Systeme zur Aktivitätskontrolle	29
2.8.2	Systeme zur Belastungsmessung	31
2.8.3	Systeme zur Quantifizierung von Bewegungsabläufen	33
3	Biomechanik und Technik der Schwimmmarten	37
3.1	Antriebsmodelle	37
3.2	Schwimmmarten Brust und Schmetterling	42
3.3	Konventionelle Diagnoseverfahren im Schwimmen	50
3.3.1	Eindrucksanalyse	50
3.3.2	Videometrie	50
3.3.3	Seilzugverfahren	53
3.3.4	Methoden im Strömungskanal	54
3.3.5	Weitere Verfahren der Technikanalyse	55
3.4	Beschleunigungsmessverfahren im Schwimmen	57
3.5	Bewertung der Schwimmtechnik und deren Variation	61
3.5.1	Kriterien einer effektiven Schwimmtechnik	61
3.5.2	Technikdiagnostik im stehenden und strömenden Wasser	63

3.5.3	Individuelle Ausprägung der Schwimmtechnik und Laktatdiagnostik	65
-------	---	----

4	Entwicklung des Diagnostikmessplatzes	71
4.1	Zielstellung der Arbeit	71
4.2	Entwicklung des Messverfahrens	72
4.2.1	Messprinzip	73
4.2.2	Entwicklungsschritte	74
4.2.3	Anforderungen	75
4.3	Grundlagen der Datenerfassung	77
4.3.1	Messkette	77
4.3.2	Abtasttheorem	79
4.4	Übersicht über den Messplatz	79
4.5	Hardwarekomponenten des Sensorsystems DIGICOACH	80
4.5.1	Beschleunigungssensoren	82
4.5.2	Drehratensensoren	85
4.5.3	Sensoren der DIGICOACH-Versionen	87
4.5.4	Orientierung der Messachsen	88
4.5.5	Mikroprozessor	90
4.5.6	Spannungsversorgung	91
4.5.7	Mechanik und Befestigung	91
4.5.8	Dockingstation	93
4.6	Hardwarekomponenten des Messplatzes	94
4.6.1	Kamerasystem	94
4.6.2	Seilzugverfahren	100
4.6.3	Mess- und Analyserechner	100
4.7	Softwareentwicklung	101
4.7.1	DIGICOACH-Software MiSO	102
4.7.2	Aufnahmemodul der Messplatzsoftware TEDiS	103
4.7.3	Konstanz und Synchronisation von Bild- und Messwertaufnahme	109
4.7.4	Datenbank und Datenstruktur der Messungen	113
4.7.5	Mathematische Methoden der Datenauswertung	115
4.7.6	Analysemodul der Messplatzsoftware TEDiS	122
4.7.7	Intra- und interindividuelle Technikvergleiche mit TEDiS	124
4.7.8	Analyseergebnisse für Trainer und Sportler	124
4.7.9	Messablauf aus der Perspektive des Schwimmers	126

5	Evaluation und Einsatz des Messplatzes	129
5.1	Stichproben und Datenerhebung	129
5.2	Datenauswertung	131
5.3	Untersuchung der Methode als biomechanisches Messverfahren .	132
5.3.1	Messfehlerbetrachtung	132
5.3.2	Grad der Rückwirkung	138
5.3.3	Verfügbarkeit der Rückmeldeinformation	139
5.3.4	Möglichkeit der Fernmessung	139
5.3.5	Personeller und materieller Aufwand	140
5.4	Untersuchung der Messwerte auf ihre Gütekriterien	140
5.4.1	Objektivität	143
5.4.2	Reliabilität	143
5.4.3	Validität	146
5.5	Anwendungsbezug des Messverfahrens	148
5.5.1	Einsatz des Diagnosemoduls zur Untersuchung von Antriebsmodellen	148
5.5.2	Einsatz des Diagnosemoduls zur Technikdiagnostik . . .	149
5.5.3	Einsatz des Diagnosemoduls in der Laktatdiagnostik . .	155
6	Diskussion	163
6.1	Untersuchung von Antriebsmodellen	165
6.2	Untersuchung der Schwimmfrequenz	166
6.3	Untersuchung der Schwimmtechnik	167
7	Ausblick	171
	Anhang	174
A	Digitale Butterworth-Filter	175
B	Wertungskataloge der Technikdiagnostik	181
B.1	Schwimmart Brust	181
B.2	Schwimmart Schmetterling	183
C	Schaltpläne des DIGICOACH-Diagnosemessmoduls	187
D	DIGICOACH-Software MiSO	189
E	Statistik	197

Literaturverzeichnis

199

Danksagung

217

Abbildungsverzeichnis

1	Ägyptische Hieroglyphe für „Schwimmen“	vi
1.1	Schematische Gliederung der Arbeit	4
2.1	Gegenstandsbereich der Leistungsdiagnostik	9
2.2	Strukturpyramide der Schwimmleistung aus biomechanischer Sicht	11
2.3	Einsatzbereiche biomechanischer Messplätze	15
2.4	Zeitintervalle motorischer Lernprozesse	17
2.5	Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsprofile als Folge von Be- wegungsaktionen	26
2.6	Vergleich von Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsprofilen .	28
3.1	Antriebsimpuls beim Delphinbeinschlag	42
3.2	Phasen des Bewegungszyklusses beim Brustschwimmen	45
3.3	Geschwindigkeitsprofil beim Brustschwimmen	46
3.4	Phasen des Bewegungszyklusses beim Schmetterlingsschwimmen	48
3.5	Geschwindigkeitsprofil beim Schmetterlingsschwimmen	49
3.6	Seilzugverfahren nach Karpovich (1930)	53
3.7	Seilzugverfahren nach Costill (1992)	54
3.8	Beschleunigungsmessungen im Schwimmen von Holmér (1979) .	58
3.9	Beschleunigungsmessungen am Handgelenk von Ichikawa et al. (1999)	59
4.1	Neigung des Sensorsystems beim Brustschwimmen	77
4.2	Messkette zur Aufnahme physikalischer Größen	78
4.3	Schematische Messplatzübersicht	80
4.4	Einsatz des Messplatzes in der Technikdiagnostik	81
4.5	Beschleunigungsmessmodul DIGICOACH mit Dockingstation . .	81
4.6	Mechanische Komponente des Drehratensensors ADXRS	88
4.7	Orientierung der Messachsen des Diagnosemoduls	89
4.8	Unterwassergehäuse und Befestigung einer Messplatzkamera . .	99

4.9	Messplatzsoftware TEDIS	104
4.10	Bayer-Filter der Messplatzkameras	108
4.11	Überprüfung der Bildrate des Kamerasystems	111
4.12	Verzeichnisstruktur gespeicherter Messdaten	114
4.13	Dialogfenster der Messdatenbank	115
4.14	Verarbeitung analoger Signale	116
4.15	Wirkung digitaler Filter	117
4.16	Bestimmung der Eckfrequenz digitaler Filter	119
4.17	Amplituden- und Phasengang von Butterworth-Filtern	120
4.18	Auswertemodul der Messplatzsoftware TEDIS	123
4.19	Präsentation der Diagnostikergebnisse auf Datenträgern	125
5.1	Auswertungsschritte der Datenanalyse am Beispiel Brustschwimmen	133
5.2	Untersuchung zur Messfehlerabschätzung des Diagnosemoduls	136
5.3	Fehlerbetrachtung zum Seilzugverfahren	137
5.4	Messpositionen in den Beschleunigungs- und Geschwindigkeitsprofilen	142
5.5	Untersuchung der Delphinbeinaktion an der Wasseroberfläche I	150
5.6	Untersuchung der Delphinbeinaktion an der Wasseroberfläche II	150
5.7	Untersuchung der Delphinbeinaktion unter Wasser	151
5.8	Videometrische Untersuchung der Delphinbeinaktionen unter Wasser	151
5.9	Schematischer Aufbau des Messplatzes bei der Technikdiagnostik	152
5.10	Beschleunigungsprofil beim Brustschwimmen	154
5.11	Variationen im Beschleunigungsprofil beim Brustschwimmen	155
5.12	Beschleunigungsprofil beim Schmetterlingsschwimmen	156
5.13	Variation im Beschleunigungsprofil beim Schmetterlingsschwimmen	157
5.14	Aufbau des Messplatzes bei der Laktatdiagnostik	158
5.15	Zyklusfrequenzverlauf innerhalb einer Laktatteststufe	159
5.16	Zyklusfrequenzverlauf über mehrere Laktatteststufen	160
5.17	Variation der Schwimmtechnik während eines Laktatstufentests	161
7.1	Untersuchung aktuellster Sensorikbausteine	172
A.1	Butterworth-Residuenkurven für die Schwimmart Brust	179
A.2	Butterworth-Residuenkurven für die Schwimmart Schmetterling	180

C.1	Schaltplan des Diagnosemoduls DIGICOACH	187
C.2	Schaltplan der Dockingstation	188
D.1	Flussdiagramm des DIGICOACH-Hauptprogramms	190
D.2	Flussdiagramm des DIGICOACH-Unterprogramms „messen“	190
D.3	Flussdiagramm des DIGICOACH-Unterprogramms „datasynch“	191
D.4	Quelltext des DIGICOACH-Programms	192

Tabellenverzeichnis

3.1	Ablaufplan eines Laktatstufentests nach Pansold	67
4.1	Vorteile des Beschleunigungsmessverfahrens	73
4.2	Spezifikationen der Beschleunigungssensoren	84
4.3	Spezifikationen des Drehratensensoren	87
4.4	Sensorbestückung der DIGICOACH-Module	87
4.5	Spezifikation des Mikroprozessors	90
4.6	Stromverbrauch des DIGICOACH-Diagnosemoduls	92
4.7	Spezifikationen der Messplatzkameras	96
5.1	Personenstichprobe und Messdaten	130
5.2	Deskriptive Statistik für die Schwimmart Brust	144
5.3	Deskriptive Statistik für die Schwimmart Schmetterling	145
5.4	Retest-Reliabilitätskoeffizienten für die Schwimarten Brust und Schmetterling	146
5.5	Paralleltest-Reliabilität für die Schwimart Brust	147
5.6	Korrelation zur Validität in der Schwimart Brust	148
5.7	Datenerhebung während Laktatstufentests	157
6.1	Vergleich verschiedener Technikdiagnostiksysteme	164
B.1	Wertungskatalog für die Schwimart Brust nach Reischle et al. (1997)	181
B.2	Wertungskatalog für die Schwimart Schmetterling nach Reischle et al. (1997)	183
E.1	Beurteilung der Reliabilität nach Roth und Hörner (2002)	197
E.2	Beurteilung der Validität nach Bös et al. (2004)	197