

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Quantifizierung sportlicher Bewegungsabläufe</b>	<b>7</b>
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
<b>3</b>	<b>Biomechanik und Technik der Schwimmmarten</b>	<b>37</b>
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
-------	---	----

<b>4</b>	<b>Entwicklung des Diagnostikmessplatzes</b>	<b>71</b>
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

<b>5</b>	<b>Evaluation und Einsatz des Messplatzes</b>	<b>129</b>
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
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>163</b>
6.1	Untersuchung von Antriebsmodellen . . . . .	165
6.2	Untersuchung der Schwimmfrequenz . . . . .	166
6.3	Untersuchung der Schwimmtechnik . . . . .	167
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>171</b>
	<b>Anhang</b>	<b>174</b>
<b>A</b>	<b>Digitale Butterworth-Filter</b>	<b>175</b>
<b>B</b>	<b>Wertungskataloge der Technikdiagnostik</b>	<b>181</b>
B.1	Schwimmart Brust . . . . .	181
B.2	Schwimmart Schmetterling . . . . .	183
<b>C</b>	<b>Schaltpläne des DIGICOACH-Diagnosemessmoduls</b>	<b>187</b>
<b>D</b>	<b>DIGICOACH-Software MiSO</b>	<b>189</b>
<b>E</b>	<b>Statistik</b>	<b>197</b>

**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