

**Talentsichtung im Schwimmsport
auf der Grundlage metabolischer, kardiozirkula-
torischer und respiratorischer Parameter insbe-
sondere in Bezug auf eine zu prognostizierende
Ausdauer- bzw. Sprintversiertheit**

**Dissertation
zur Erlangung des Grades des Doktors
der Sportwissenschaft
beim Fachbereich Bewegungswissenschaft der
Fakultät für Erziehungswissenschaft, Psychologie und Bewe-
gungswissenschaft der Universität Hamburg**

vorgelegt von

Christoph Ramcke

geb. am 28.08.1974 in Hamburg

1. Gutachter: Prof. Dr. K.-M. Braumann

2. Gutachter: Prof. Dr. R. Reer

Tag der Disputation: 15.05.2007

Hamburg, 2007

Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XI
1 Einleitung.....	1
1.1 Der Begriff Talent.....	1
1.2 Möglichkeiten der Talentsichtung im Schwimmsport.....	2
1.3 Die Entwicklung der Talentsichtung im Schwimmsport.....	12
1.4 Die Entwicklung der Leistungsdiagnostik im Schwimmsport.....	14
1.5 Historische Entwicklung der Spiroergometrie und der Nachatmungsmethode.....	18
1.6 Entwicklung des schwimmerischen Trainings.....	22
1.7 Wissenschaftlicher Wert des Themas Talentsichtung im Schwimmsport.....	23
1.8 Ziel der Arbeit.....	24
2 Material und Methoden.....	26
2.1 Probandengut.....	25
2.2 Bestimmung der anthropometrischen Daten und der aktuellen Leistungsfähigkeit.....	29
2.3 Bestzeiten und FINA-Punkte.....	30
2.4 Schwimmgeschwindigkeitskontrolle.....	30
2.5 Einteilung der Versuchsgruppe in Sprint- und Ausdauerschwimmer.....	31
2.6 Messung der physiologischen Parameter.....	32
2.6.1 Bestimmung der Herzfrequenz.....	32
2.6.2 Laktatmessung.....	32
2.6.3 Spirometrie.....	34
2.6.3.1 Erfassung der Messwerte.....	34
2.6.3.2 Bestimmung der VO ₂ -Werte.....	35
2.6.3.2.1 Exponentielle negative Extrapolation.....	36
2.6.3.2.2 Lineare negative Extrapolation.....	37
2.7 Ökonomische Parameter.....	38
2.7.1 Bestimmung der „Energy Cost“ (Cs)	38
2.7.2 Berechnung des „stroke efficiency index“ (SEI)	39
2.7.3 Bestimmung der Armzugfrequenz und Zeitmessung.....	40

2.7.4 Schwimmökonomie $\Delta V\text{O}_2 / \Delta v$	40
2.8 Allgemeine Messapparaturen.....	41
2.8.1 Schwimmbecken.....	41
2.8.2 Bestimmung von Körperfett und Gewicht.....	41
2.8.3 Zeitmessung.....	42
2.9 Versuchsablauf.....	43
2.9.1 Allgemeine Vorbereitung der Geräte.....	43
2.9.2 Vorbereitung bei jedem einzelnen Probanden.....	44
2.9.3 Ablauf des Stufentests.....	45
2.10 Statistische Auswertung.....	48
2.10.1 Faktorenanalyse.....	48
2.10.2 Multiple Regressionsanalyse und Schätzgleichung.....	49
2.10.3 Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte.....	50
2.11 Kritik an der Methode.....	50
3 Ergebnisse.....	52
3.1 Probandengut.....	52
3.1.1 Entwicklung innerhalb der Versuchs-, Kontroll-, Ausdauer- und Sprintgruppe.....	52
3.1.2 Vergleich zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe...	59
3.1.3 Vergleich zwischen der Ausdauer- und der Sprintgruppe.....	62
3.2 Bestimmung der anthropometrischen Daten und der aktuellen Leistungsfähigkeit.....	64
3.3 Bestzeiten, FINA-Punkte und Geschwindigkeitsstufen.....	68
3.4 Schwimmzeiten und Abweichung von den Richtwerten.....	70
3.5 Einteilung der Versuchsgruppe in Sprint- und Ausdauerschwimmer.....	72
3.6 Physiologische Parameter.....	77
3.6.1 Herzfrequenz.....	78
3.6.2 Laktat.....	87
3.6.3 Sauerstoffaufnahme.....	96
3.6.3.1 Erfassung der Messwerte.....	96
3.6.3.2 Exponentielle negative Extrapolation.....	97
3.6.3.3 Lineare negative Extrapolation.....	105

3.6.3.4	Vergleich zwischen den Ausdauer- und Sprint- schwimmern.....	109
3.6.3.5	Methodenvergleich.....	112
3.6.4	VO _{2-max} und maximale Laktatwerte der Ausdauer- und Sprintgruppe im Vergleich.....	115
3.7	Ökonomie.....	117
3.7.1	Energy Cost.....	117
3.7.2	Stroke-Efficiency-Index (SEI)	130
3.7.3	Armzugfrequenz.....	139
3.7.4	Schwimmökonomie $\Delta VO_2 / \Delta v$	148
3.8	Zusammenfassung der talentrelevanten Parameter.....	153
3.9	Faktorenanalyse.....	168
3.10	Multiple Regressionsanalyse und Schätzgleichung.....	171
3.11	Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte...	173
4	Diskussion.....	177
4.1	Vergleichbarkeit der Gruppen.....	177
4.2	Anthropometrische Messungen.....	178
4.2.1	Finale Körperhöhe und Körperbau-Punkte.....	178
4.2.2	Finale Körperhöhe und Körperbau-Punkte: Vergleich der drei Testdurchgänge.....	179
4.3	Aktuelle Leistungsfähigkeit.....	180
4.3.1	Aktuelle Leistungsfähigkeit in FINA-Punkten.....	180
4.3.2	Punkte-Leistung nach der Rudolph-Tabelle.....	182
4.3.3	Aktuelle Leistungsfähigkeit: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	182
4.4	Einteilung der Gruppe in Ausdauer (AU) und Sprint (SP).....	183
4.4.1	FINA-Punkte.....	183
4.4.2	Erreichte Stufenzahl.....	186
4.5	Physiologische Parameter.....	187
4.5.1	Laktat.....	187
4.5.1.1	Laktat während der Belastung.....	187
4.5.1.2	Laktat: AU und SP im Vergleich.....	188
4.5.1.3	Laktat: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	189

4.5.2	Herzfrequenz.....	191
4.5.2.1	Herzfrequenz während der Belastung.....	191
4.5.2.2	Herzfrequenz: AU und SP im Vergleich.....	193
4.5.2.3	Herzfrequenz: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	194
4.5.3	Sauerstoffaufnahme.....	195
4.5.3.1	Validität der erfassten Messwerte.....	196
4.5.3.2	Sauerstoffaufnahme während der Belastung.....	197
4.5.3.3	Sauerstoffaufnahme: AU und SP im Vergleich.....	199
4.5.3.4	Sauerstoffaufnahme: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	203
4.5.3.5	Methodenvergleich.....	203
4.6	Ökonomie.....	206
4.6.1	Energy Cost (Cs).....	208
4.6.1.1	Energy Cost (Cs) während der Belastung.....	209
4.6.1.2	Energy Cost (Cs): AU und SP im Vergleich.....	210
4.6.1.3	Energy Cost (Cs): Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	210
4.6.2	Armzugfrequenz und Zuglänge.....	211
4.6.2.1	Armzugfrequenz und Zuglänge während der Belastung.....	211
4.6.2.2	Armzugfrequenz und Zuglänge: AU und SP im Vergleich....	212
4.6.2.3	Armzugfrequenz und Zuglänge: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	213
4.6.3	Stroke-Efficiency-Index (SEI)	213
4.6.3.1	SEI während der Belastung.....	214
4.6.3.2	SEI: AU und SP im Vergleich.....	215
4.6.3.3	SEI: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang.....	216
4.6.4	Schwimmökonomie $\Delta VO_2 / \Delta v$	217
4.6.4.1	$\Delta VO_2 / \Delta v$ während der Belastung.....	217
4.6.4.2	$\Delta VO_2 / \Delta v$: AU und SP im Vergleich.....	218
4.7	Zusammenfassung der talentrelevanten Parameter.....	220
4.8	Faktorenanalyse.....	223
4.9	Multiple Regressionsanalyse und Schätzgleichung.....	226

4.10	Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-	
	Punkte.....	229
1.1	Schlussfolgerung.....	233
4.12	Ausblick.....	234
4.13	Zusammenfassung.....	237
4.14	Zusammenfassung (kurz).....	242
5	Literaturverzeichnis.....	244
6	Anhang.....	259
6.1	Danksagung.....	259
6.2	Lebenslauf.....	260
6.3	Erklärung.....	262

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel eines linearen Verlaufs nach der mathematischen Funktion $y = a \cdot x + b$	11
Abbildung 2: Beispiel eines logarithmischen Verlaufs nach der mathematischen Funktion $y = a \cdot \ln(x) + b$	11
Abbildung 3: Beispiel eines exponentiellen Verlaufs nach der mathematischen Funktion $y = a \cdot x^{bx}$	11
Abbildung 4: Messung mit dem Douglas-Sack.....	19
Abbildung 5: Pneumotachograph.....	20
Abbildung 6: Maske mit Turbinenflowmeter.....	20
Abbildung 7: Laufrad mit Tachometer zur Geschwindigkeitskontrolle.....	31
Abbildung 8: Kapillarblutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen...	33
Abbildung 9: Spirometriestem Cosmed K4b ² zur Erfassung der respiratorischen Parameter.....	35
Abbildung 10: Das Schwimmbecken im Olympiastützpunkt Hamburg/Kiel.....	41
Abbildung 11: Messpunkte der Kalipermetrie nach Parizkova.....	42
Abbildung 12: Messung der respiratorischen Werte vor der Belastung.....	45
Abbildung 13: Schieben des Laufrads auf Kopfhöhe des Schwimmers.....	46
Abbildung 14: Messung der Sauerstoffwerte und Blutabnahme zur Laktatbestimmung in den Belastungspausen.....	47
Abbildung 15: Flussdiagramm mit der Übersicht über die Messdaten zu den einzelnen Messzeitpunkten.....	48
Abbildung 16: Herzfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	77
Abbildung 17: Herzfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	79
Abbildung 18: Herzfrequenz aller Probanden der Ausdauergruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	80
Abbildung 19: Herzfrequenz aller Probanden der Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	81
Abbildung 20: Herzfrequenz der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des ersten Testdurchgangs.....	82
Abbildung 21: Herzfrequenz der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des zweiten Testdurchgangs.....	83
Abbildung 22: Herzfrequenz der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des dritten Testdurchgangs.....	84
Abbildung 23: Herzfrequenz an der Laktatschwelle der Ausdauer- und Sprintschwimmer im Vergleich.....	85
Abbildung 24: Herzfrequenz an der Laktatschwelle der Ausdauer- und Sprintschwimmer zu den drei Testzeitpunkten.....	86
Abbildung 25: Laktatkonzentration aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	87
Abbildung 26: Laktatkonzentration aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	89
Abbildung 27: Laktatkonzentration der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung bei allen drei Testdurchgängen.....	90
Abbildung 28: Laktatkonzentration der Gruppe Sprint in Ruhe und	

während der Belastung bei allen drei Testdurchgängen.....	91
Abbildung 29: Laktatkonzentration der Gruppe Sprint im Vergleich mit der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung des ersten Testdurchgangs.....	91
Abbildung 30: Laktatkonzentration der Gruppe Sprint im Vergleich mit der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung des zweiten Testdurchgangs.....	92
Abbildung 31: Laktatkonzentration der Gruppe Sprint im Vergleich mit der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung des dritten Testdurchgangs.....	93
Abbildung 32: Laktatschwelle der AU und SP im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.....	94
Abbildung 33: Vergleich der Laktatschwelle der AU und SP bei den drei Testdurchgängen.....	95
Abbildung 34: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen der Versuchsgruppe bei allen drei Testdurchgängen.....	97
Abbildung 35: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Kontrollgruppe bei allen drei Testdurchgängen.....	99
Abbildung 36: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte aller Probanden der Versuchsgruppe während der Belastungsstufen.....	101
Abbildung 37: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Kontrollgruppe.....	103
Abbildung 38: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Versuchsgruppe.....	105
Abbildung 39: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Kontrollgruppe.....	107
Abbildung 40: Vergleich der VO_2 -Werte während der Belastungsstufen, sowie in Ruhe zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern während des ersten Testdurchgangs.....	109
Abbildung 41: Vergleich der VO_2 -Werte während der Belastungsstufen, sowie in Ruhe zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern während des zweiten Testdurchgangs.....	110
Abbildung 42: Vergleich der VO_2 -Werte während der Belastungsstufen, sowie in Ruhe zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern während des dritten Testdurchgangs.....	111
Abbildung 43: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO_{2-max} Werte aller Probanden im ersten Testdurchgang.....	112
Abbildung 44: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO_{2-max} Werte aller Probanden im zweiten Testdurchgang.....	113
Abbildung 45: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO_{2-max} Werte aller Probanden im dritten Testdurchgang.....	113

Abbildung 46: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Versuchsgruppe unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	117
Abbildung 47: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (KG) unter Berücksichtigung der Laktatwerte....	119
Abbildung 48: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchsgruppe (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im ersten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	121
Abbildung 49: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchsgruppe (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im zweiten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	122
Abbildung 50: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchsgruppe (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im dritten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	123
Abbildung 51: Energy Cost (Cs) der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im ersten Testdurchgang.....	124
Abbildung 52: Energy Cost (Cs) der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im zweiten Testdurchgang.....	125
Abbildung 53: Energy Cost (Cs) der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im dritten Testdurchgang.....	126
Abbildung 54: Energy Cost (Cs) der ausdauerorientierten (AU) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.....	127
Abbildung 55: Energy Cost (Cs) der sprintorientierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.....	128
Abbildung 56: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.....	130
Abbildung 57: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (VG).....	131
Abbildung 58: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.....	133
Abbildung 59: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.....	134
Abbildung 60: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.....	135
Abbildung 61: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.....	136
Abbildung 62: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.....	137
Abbildung 63: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.....	138
Abbildung 64: Armzugfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe während der Stufentests.....	139

Abbildung 65: Armzugfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe während der Stufentests.....	141
Abbildung 66: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des ersten Stufentests.....	143
Abbildung 67: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des zweiten Stufentests.....	144
Abbildung 68: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des dritten Stufentests.....	145
Abbildung 69: Relative Armzugfrequenz der AU während der Stufentests...	146
Abbildung 70: Relative Armzugfrequenz der SP während der Stufentests...	147
Abbildung 71: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des ersten Testdurchgangs der Versuchs- und der Kontrollgruppe.....	148
Abbildung 72: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des zweiten Testdurchgangs der Versuchs- und der Kontrollgruppe.....	149
Abbildung 73: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des dritten Testdurchgangs der Versuchs- und der Kontrollgruppe.....	149
Abbildung 74: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des ersten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.....	150
Abbildung 75: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des zweiten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.....	151
Abbildung 76: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des dritten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.....	152
Abbildung 77: Darstellung einer 10-sekundigen Steigerung der Bestzeit auf der 100m Freistilstrecke von 120- auf 110- bzw. 70- auf 60-Sekunden mit der entsprechenden Auswirkung auf die Verbesserung der FINA-Punkte.....	173
Abbildung 78: Darstellung der FINA-Punkte Verbesserung bei einer 10-sekundigen Steigerung der Bestzeit auf der 100m Freistilstrecke von 120- auf 110- bzw. 70- auf 60-Sekunden.....	174

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Alter, Größe, Gewicht und Körperfettanteil aller Probanden der Versuchsgruppe.....	26
Tabelle 2: Alter, Größe, Gewicht und Körperfettanteil aller Probanden der Kontrollgruppe.....	27
Tabelle 3: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller Probanden der Versuchsgruppe.....	52
Tabelle 4: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller Probanden der Kontrollgruppe.....	53
Tabelle 5: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller männlichen Probanden der Versuchsgruppe.....	54
Tabelle 6: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller weiblichen Probanden der Versuchsgruppe.....	55
Tabelle 7: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller männlichen Probanden der Kontrollgruppe.....	56
Tabelle 8: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller weiblichen Probanden der Kontrollgruppe.....	57
Tabelle 9: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) der Ausdauergruppe.....	58
Tabelle 10: Alter, Größe, Gewicht, Körperfettanteil, Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) der Sprintgruppe.....	58
Tabelle 11: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus (Trainingsjahre [TJ], Trainingseinheiten pro Woche [TE] und Trainingsstunden pro Woche [TS]) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während des ersten Testdurchgangs.....	59
Tabelle 12: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während des zweiten Testdurchgangs.....	60
Tabelle 13: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während des dritten Testdurchgangs.....	61
Tabelle 14: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus (Trainingsjahre [TJ], Trainingseinheiten pro Woche [TE] und Trainingsstunden pro Woche [TS]) zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP) beim ersten Testdurchgang.....	62
Tabelle 15: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP) beim zweiten Testdurchgang.....	63
Tabelle 16: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP) beim dritten Testdurchgang.....	63
Tabellen 17: Vergleich der finalen Körperhöhe (Finale KH), der Punkte	

im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwim- merischen Leistung (Punkte Leistung) der Versuchsgruppe (VG) zwischen allen Testdurchgängen.....	64
Tabellen 18: Vergleich der finalen Körperhöhe (Finale KH), der Punkte im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwim- merischen Leistung (Punkte Leistung) der Kontrollgruppe (KG) zwischen allen Testdurchgängen.....	65
Tabellen 19-21: Vergleich der finalen Körperhöhe (Finale KH), der Punkte im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwim- merischen Leistung (Punkte Leistung) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) zwischen allen Testdurchgängen.....	66
Tabelle 22: Bestzeiten auf der 100m- und 400m Freistilschwimmstrecke, deren Punkteergebnis laut der FINA-Punktetabelle sowie die Anzahl der erreichten Geschwindigkeitsstufen der Versuchsgruppe zu allen drei Testzeitpunkten.....	68
Tabelle 23: Bestzeiten auf der 100m- und 400m Freistilschwimmstrecke, deren Punkteergebnis laut der FINA-Punktetabelle sowie die Anzahl der erreichten Geschwindigkeitsstufen der Kontrollgruppe zu allen drei Testzeitpunkten.....	69
Tabelle 24. Abweichung von der vorgegebenen Zeit des gesamten Probandengutes in allen drei Testdurchgängen auf allen Geschwindigkeitsstufen.....	70
Tabelle 25: Abweichung von der vorgegebenen Zeit aller Probanden der Versuchsgruppe in allen drei Testdurchgängen auf allen Geschwindigkeitsstufen.....	71
Tabelle 26: Abweichung von der vorgegebenen Zeit der gesamten Kontrollgruppe in allen drei Testdurchgängen auf allen Geschwindigkeitsstufen.....	71
Tabelle 27: Bestzeiten der Sprint- und Ausdauergruppe umgerechnet in FINA-Punkte auf der 100m Freistil- und 400m Freistilstrecke im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.....	72
Tabelle 28: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der Versuchsgruppe in ihrer jeweiligen Ausprägung (Ausdauer = 400m Freistil bzw. Sprint = 100m Freistil).....	73
Tabelle 29: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der Versuchsgruppe jeweils nicht in ihrer Ausprägung (AU = 100m Freistil bzw. SP = 400m Freistil).....	74
Tabelle 30: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der Sprinter der Versuchsgruppe auf 100m und 400m Freistil im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.....	74
Tabelle 31: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der ausdauer- versierten Schwimmer der Versuchsgruppe auf 100m und 400m Freistil im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.....	75
Tabelle 32: Bestzeiten der Sprint- und Ausdauergruppe umgerechnet in FINA-Punkte jeweils in Ihrer Ausprägung (AU = 400m Freistil und SP = 100m Freistil) vergleichen mit AU = 100m Freistil und SP = 400m Freistil) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.....	76
Tabelle 33: Herzfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	78
Tabelle 34: Herzfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe,	

während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	79
Tabelle 35: Herzfrequenz aller Probanden der Ausdauergruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	80
Tabelle 36: Herzfrequenz aller Probanden der Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	81
Tabelle 37: Herzfrequenz der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des ersten Testdurchgangs.	82
Tabelle 38: Herzfrequenz der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des zweiten Testdurchgangs.....	83
Tabelle 39: Herzfrequenz der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des dritten Testdurchgangs.....	84
Tabelle 40: Laktatkonzentration aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	88
Tabelle 41: Laktatkonzentration aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.....	89
Tabelle 42: Maskenzeit, erste realistische VO_2 - und VT Werte des gesamten Probandenguts.....	96
Tabelle 43: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Versuchsgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.....	98
Tabelle 44: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Kontrollgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.....	100
Tabelle 45: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Versuchsgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.....	102
Tabelle 46: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und des VO_{2-max} aller Probanden der Kontrollgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.....	104
Tabelle 47: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Versuchsgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.....	106
Tabelle 48: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und des VO_{2-max} aller Probanden der Kontrollgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.....	108
Tabelle 49: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO_{2-max} Werte zwischen allen Probanden auf allen Testdurchgängen.....	114
Tabelle 50: VO_{2-max} (ml/min/kg) und maximale Laktat Werte (mmol/l) der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.....	115

Tabelle 51: VO _{2-max} (ml/min/kg) und maximale Laktat Werte (mmol/l) der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP) im Verlauf der drei Testdurchgänge.....	116
Tabelle 52: Vergleich der „Energy Cost“ (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Versuchsgruppe unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	118
Tabelle 53: Vergleich der „Energy Cost“ (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (KG) unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	120
Tabelle 54: Vergleich der „Energy Cost“ (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im ersten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Latatwerte.....	121
Tabelle 55: Vergleich der „Energy Cost“ (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im zweiten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	122
Tabelle 56: Vergleich der „Energy Cost“ (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im dritten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.....	123
Tabelle 57: „Energy Cost“ (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im ersten Testdurchgang.....	124
Tabelle 58: „Energy Cost“ (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im zweiten Testdurchgang.....	125
Tabelle 59: „Energy Cost“ (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im dritten Testdurchgang.....	126
Tabelle 60: „Energy Cost“ (Cs) der ausdauerversierten (AU) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen...	127
Tabelle 61: „Energy Cost“ (Cs) der sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.....	129
Tabelle 62: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.....	131
Tabelle 63: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (VG).....	132
Tabelle 64: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.....	133
Tabelle 65: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.....	134
Tabelle 66: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.....	135
Tabelle 67: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.....	136
Tabelle 68: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.....	137
Tabelle 69: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur	

Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.....	138
Tabelle 70: Armzugfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe während der Stufentests.....	140
Tabelle 71: Armzugfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe während des Stufentests.....	142
Tabelle 72: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des ersten Stufentests und bei maximaler Belastung.....	143
Tabelle 73: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des zweiten Stufentests sowie bei maximaler Belastung.....	144
Tabelle 74: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des dritten Stufentests sowie bei maximaler Belastung.....	145
Tabelle 75: Relative Armzugfrequenz der AU während der Stufentests.....	146
Tabelle 76: Relative Armzugfrequenz der SP während der Stufentests.....	147
Tabelle 77: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des ersten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.....	150
Tabelle 78: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des zweiten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.....	151
Tabelle 79: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des dritten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.....	152
Tabelle 80: Anthropometrische Daten, aktuelle Leistungsfähigkeit, Metabolismus, Ökonomie sowie die in den jeweiligen Bereichen erhobenen Parameter.....	153
Tabelle 81: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 1. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).....	154
Tabelle 82: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 1. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).....	155
Tabelle 83: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 2. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).....	156
Tabelle 84: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 2. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).....	157
Tabelle 85: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 3. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).....	158
Tabelle 86: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 3. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).....	159
Tabelle 87: Talentrelevante Parameter an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) im 1. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).....	160
Tabelle 88: Talentrelevante Parameter an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) im 2. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).....	161
Tabelle 89: Talentrelevante Parameter an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) im 3. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).....	162

Tabelle 90: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 1. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).....	163
Tabelle 91: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 1. Testdurchgang der Ausdauer- (VG), Sprintgruppe (KG).....	164
Tabelle 92: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 2. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).....	165
Tabelle 93: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 2. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).....	165
Tabelle 94: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 3. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).....	166
Tabelle 95: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 3. Testdurchgang der Ausdauer- (VG), Sprintgruppe (KG).....	167
Tabelle 96: Rotierte Komponentenmatrix für die Versuchsgruppe im ersten Testdurchgang mit den Markierungen der jeweils höchsten Ladung der Komponenten.....	168
Tabelle 97: Rotierte Komponentenmatrix für die Versuchsgruppe im zweiten Testdurchgang mit den Markierungen der jeweils höchsten Ladung der Komponenten.....	169
Tabelle 98: Rotierte Komponentenmatrix für die Versuchsgruppe im dritten Testdurchgang mit den Markierungen der jeweils höchsten Ladung der Komponenten.....	169
Tabelle 99: Übersicht der zusammengefassten Ladungen auf den Komponenten aller drei Testdurchgänge.....	170
Tabelle 100: Korrelationsmatrix des Kriteriums FINA-Punkte mit den Prädiktoren VO_2 , Laktat, Herzfrequenz, „energy cost“, „stroke-efficiency-index“, Zugfrequenz, $\Delta VO_2/v$, finale Körperhöhe und Punkte Körperbau.....	171
Tabelle 101: Errechnung des Strukturkoeffizienten der Versuchsgruppe, der die anteilige Aufklärung der Gesamtvarianzaufklärung ($= R^2$) in Prozent angibt.....	171
Tabelle 102: Schätzgleichung zur Errechnung der FINA-Punkte für die Versuchsgruppe.....	172
Tabelle 103: Korrelationsmatrix des Kriteriums FINA-Punkte mit den Prädiktoren VO_2 , Laktat, Herzfrequenz, „energy cost“, „stroke-efficiency-index“, Zugfrequenz, $\Delta VO_2/v$, finale Körperhöhe und Punkte Körperbau.....	172
Tabelle 104: Schätzgleichung zur Errechnung der FINA-Punkte für das gesamte Probandengut.....	172
Tabelle 105-109: Prozentuale Entwicklung der einzelnen Parameter multipliziert mit dem Delta der FINA-Punkte.....	175

1 Einleitung

1.1 Der Begriff Talent

Praktisch in jeder Sportart ist die frühzeitige Sichtung besonders geeigneter Athleten von großer Bedeutung (118). Diese sogenannten „Talente“ sind im Rahmen der Nachwuchsförderung von außerordentlichem Interesse (105,118).

Grundsätzlich besteht bei der Definition des Begriffs Talent das Problem, dass es sich nicht in erster Linie um einen wissenschaftlichen Terminus, sondern um ein Wort aus der Umgangssprache handelt, welches in verschiedenster Weise gebraucht wird. Insbesondere die Betitelung von Personen und Fähigkeitskomplexen mit dem Begriff Talent stellt dabei eine Schwierigkeit dar (41,105). Dabei kann eine Entwicklung von einer statisch-engen zu einer dynamisch-weiten Definition beobachtet werden (105). Anfang der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts definierte beispielsweise Letzelter (144) die Personen als Talent die auf einen bestimmten Entwicklungsabschnitt bezogen überdurchschnittliche Leistungsergebnisse erzielen. Eine immer noch statische, aber schon weit gefasste Definition ist von Carl 1988 verfasst worden (41). Er definiert dabei die Personen als Talent, die körperliche, motorische und psychische Dispositionen haben und bei günstigen Umweltbedingungen spätere Höchstleistungen erzielen, die Bereitschaft besitzen, solche Leistungen auch zu vollbringen und für Höchstleistungen die notwendigen sozialen und materiellen Umweltbedingungen mitbringen (41).

Als aktuellster Ansatz der Begriffsdefinition kann jener von Joch (117) gesehen werden. In seiner dynamisch-weiten Definition sind Talente Personen mit entwicklungsfähigen Leistungsergebnissen aufgrund eines pädagogisch begleiteten und trainingsgesteuerten Veränderungsprozesses in Richtung späterer hoher Leistung.

Von dieser Begriffsdefinition soll auch in der vorliegenden Arbeit ausgegangen werden, da sie auf die Entwicklungsfähigkeit der Athleten und die trainingsgesteuerten Veränderungsprozesse eingeht.

1.2 Möglichkeiten der Talentsichtung im Schwimmsport

Zur Möglichkeit der Talentsichtung im Schwimmsport kann grundsätzlich festgehalten werden, dass Talentprognosen immer nur Wahrscheinlichkeitsaussagen sein können (15,203). Dabei besteht immer die Absicht potentielle Eliten auf einem bestimmten Gebiet rechtzeitig zu finden und entsprechend zu fördern, sodass sie zu Höchstleistungen gelangen (105). Die Talentsichtung umfasst insgesamt die Talentsuche (sportpraktische und organisatorische Aufgaben), die Talentauswahl (Talentdiagnose und Talentprognose) und die Talentförderung (trainingsmethodische Umsetzung; 41).

Allgemein erscheint eine Talentsichtung nur dann sinnvoll, wenn es ein Anforderungsprofil des idealen Hochleistungssportlers, in der vorliegenden Arbeit des Schwimmers, gibt. Nur dann kann man sozusagen „errechnen“, inwieweit ein Athlet diesen „Sollwert“ des idealen Schwimmers erreichen kann.

Das Anforderungsprofil hängt nicht nur von der Schwimmlage, sondern vor allem von der Streckenlänge ab, die der Schwimmer zu absolvieren hat. Die Leistung von Alfred Hajós (Ungarn) bei den Olympischen Spielen 1896, welcher über 100m und 1200m Freistil die Goldmedaille gewinnen konnte (134), ist heutzutage kaum vorstellbar. Dabei ist überwiegend eine Differenzierung in Lang- (800 und 1500m), Mittel- (200 und 400m) und Sprintstrecke (50 und 100m) zu beobachten.

Aufgrund der Ausdifferenzierung der Muskulatur in rote und weiße Muskelzellen, ist nach dem Abschluss des Grundlagentrainings (21,41,151) eine weitergehende Trennung der Trainingsgestaltung mindestens zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern nötig (247,263). Allerdings stellt sich hier die Frage nach der genauen Altersphase der schwimmerischen Entwicklung in der schon eine Differenzierung des Trainings einen Erfolg verspricht, sowie die Frage, wann eine Disposition zum Ausdauer- oder Sprintschwimmer zu erkennen ist.

In den letzten Jahren ist auch eine Aufwertung der Sprintstrecken dahingehend zu beobachten, dass die 50m-Strecken bei nationalen und internationalen Wettkämpfen etabliert wurden und Europa- und Weltmeisterschaften auf der Kurzbahn durchgeführt werden (136). Für den Sprintschwimmer gewinnt zusätzlich der Start und auf der 25m Bahn auch die Wende immer mehr an Bedeutung. Des Weiteren spielt für ihn die Ökonomie des Armzuges eine weniger entscheidende Rolle (55), da Untersuchungen ergeben haben, dass eine maximale Vortriebsleistung durch einen eigentlich unökonomischen geradlinigen Armzug zu realisieren ist. Der dabei wesentlich größere Kraftaufwand als jener beim kurvigen Armzug ist mindestens auf den 50m-Strecken, bei dem bei Spitzenschwimmern von einer überschüssigen konditionellen Kapazität auszugehen ist, nicht ausschlaggebend (136).

Für den Ausdauerschwimmer hingegen ist ein effektives, ökonomisches Fortbewegen im Element Wasser von entscheidender Bedeutung. Zur Beurteilung eines Talents besteht grundsätzlich die Möglichkeit, durch eine subjektive visuelle Beurteilung der Technik oder durch objektive Messung von physiologischen Parametern die Ökonomie des Vortriebes zu beurteilen (73,74,232,233).

Auch in Hinblick auf die Anthropometrie sind für die verschiedenen Techniken und Schwimmstrecken unterschiedliche Anforderungen zu konstatieren. Betrachtet man die Bewegungen, die bei allen Schwimmstrecken durchzuführen sind und die besonderen Eigenschaften des Mediums Wasser, können jedoch allgemein günstige anthropometrische Voraussetzungen benannt werden (201,203,253).

- große Körperhöhe
- lange Extremitäten
- große Hände und Füße
- schmales Becken / verhältnismäßig breite Schultern
- Beweglichkeit, vor allem im Schultergelenk, im Rücken, in den Füßen und der Hüfte (letzteres gilt insbesondere für Brustschwimmer)

Generell kann man festhalten, dass Schwimmer besonders im Sprintbereich größer als der Durchschnitt der Bevölkerung sind. Die dadurch vorhandenen langen Extremitäten und damit Hebel und Abdruckflächen, sind hierbei von entscheidender Bedeutung, wie beispielsweise Avlonitou (11) in einer Untersuchung 12-13-jährigen Kindern ($n = 231$) feststellte.

Des Weiteren ist die allgemeine Körpermasse des Schwimmers von Interesse. Der Schwimmer braucht, je nach Disziplin ausgeprägt, eine gewisse Kraft (Muskelmasse), aber auch die Fähigkeit, Ausdauerleistungen zu erbringen. Dabei sind beim Schwimmen auch Ausdauerathleten relativ groß und vor allem schwer (beispielsweise im Vergleich zur Leichtathletik), weil durch den statischen Auftrieb im Wasser das Problem des „Mitschleppens der schweren Muskulatur“ unter Bedingungen, wo die Schwerkraft weniger wirkt, minimiert wird (84,200). So konnten beispielsweise Flynn et al. (84) bei 22 College Schwimmern und Läufern signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) bezüglich Körperfettgehalt und Körpergewicht für Läufer im Vergleich zu Schwimmern feststellen (Läufer vs. Schwimmer: Körperfettgehalt = $7,03 \pm 1,19\%$; vs. $10,38 \pm 3,2\%$ und Körpergewicht = $68,2 \pm 1,3$ kg vs. $78 \pm 1,2$ kg).

Ein weiterer Aspekt zur Beurteilung des Talents eines Schwimmers sind seine Breitenmaße (Verhältnis zwischen Beckenbreite, Körperhöhe und Schulterbreite). Dabei braucht der Schwimmer für den Vortrieb eine gewisse Kraft (Muskelmasse), wodurch der Widerstandsbeiwert erhöht wird. Somit sollte er nur dort eine Breite aufweisen, wo die Hauptantriebsmuskulatur sitzt, die notwendig ist, um einen optimalen Vortrieb erzeugen zu können. Daraus resultiert, dass Schwimmer relativ breite, kräftige Schultern und Arme als Bestandteil der Hauptantriebsmuskulatur und ein schmales Becken aufgrund des damit verbundenen geringeren Widerstandes haben (91,200,205).

Diese benannten allgemeinen anthropometrischen Voraussetzungen treffen generell sowohl auf den Sprintbereich als auch auf den Ausdauerbereich des Schwimmsports zu. Allerdings können mit zunehmender Streckenlänge

anthropometrisch gesehen, negative Voraussetzungen durch technische Versiertheit ausgeglichen werden (200).

Um ein Talent zu erkennen und optimal zu fördern, ist das Alter von Interesse, in dem körperliche Entwicklungen abzusehen sind. Dies gilt insbesondere für den Schwimmsport, da im Verhältnis zu anderen Sportarten frühzeitig mit hohen Umfängen trainiert wird (6,206).

Erstmalig können genauere Prognosen nach Abschluss des ersten Gestaltwandels getroffen werden. Dieser ist in der Regel nach dem 5.-7. Lebensjahr abgeschlossen, sodass eine Grobsichtung mit etwa 6-7 Jahren als sinnvoll erscheint. Mit 12-15 Jahren ist dann der zweite und letzte Gestaltwandel abgeschlossen. Somit sind gute Prognosen für die in Bezug auf den Schwimmsport relevanten Merkmale möglich (156,203).

Hierzu gehört die Errechnung der finalen Körperhöhe. Diese kann relativ einfach und genau über die röntgenologische Untersuchung der Handwurzelknochen bestimmt werden. Allerdings ist die dabei vorhandene Belastung des Kindes durch die Röntgenstrahlen medizinisch und ethisch problematisch (202). Daher bedient man sich einer anderen Methode, bei der unter Einbeziehung der aktuellen Körperhöhe, des Körperalters und vor allem des biologischen Alters mittels Regressionsgleichung die finale Körperhöhe errechnet wird (89,203,253,259). Bei dieser Methode besteht bei den Männern im Vergleich zu den Frauen eine höhere Messgenauigkeit (203,253). Außerdem wird hierbei zur Absicherung der Angaben die Körperhöhe der Eltern zusätzlich berücksichtigt, da so die Plausibilität, aufgrund einer etwaigen genetischen Disposition, der errechneten Werte unterstrichen werden kann (201,203).

Zur Bestimmung der allgemeine Körpermasse des Schwimmers wird sein Gewicht im Verhältnis zur Körperhöhe betrachtet und durch den BROCA-Index angegeben (Körperhöhe - 100 - Körpergewicht). Für die Bewertung werden Normwerte herangezogen, die in langjährigen empirischen Untersuchungen, vor allem in der ehemaligen DDR, für alle Altersklassen erhoben wurden (133,253).

Der Unterschied zu diesen Normwerten lässt dann eine Aussage darüber zu, wie günstig das Körpermassenverhältnis ist. Dazu werden Messungen der Becken- und Schulterbreite vorgenommen und die Ergebnisse in folgender Form mit dem BROCA-Index in Beziehung gesetzt,

Breiten-Index:

$$\{\text{BROCA-Index} + [(\text{Verhältnis Beckenbreite/Körperhöhe}) \text{ Beckenbreite/Schulterbreite}]\}^2$$

Für die Bewertung werden auch hier empirisch erhobene Normwerte herangezogen (253).

Um das biologische Alter zu bestimmen gibt es grundsätzlich die Möglichkeit der ärztlichen Bestimmung und die Bestimmungsmöglichkeiten, welche für die sportwissenschaftliche Praxis relevant sind.

Ärztliche Bestimmungsmöglichkeiten:

- Skeletalter durch Röntgenuntersuchung
- Reifezeichenalter (sekundäre Geschlechtsmerkmale)
- Zahnalter

Bestimmungsmöglichkeiten in der sportwissenschaftlichen Praxis:

- Körperbau-Entwicklungsindex (KEI; 255)

Dabei werden folgende Parameter gemessen:

- Schulterbreite (Akromialbreite)
- Unterarmumfang
- Körperhöhe
- Beckenstachelbreite
- Oberschenkelumfang
- Körpergewicht

Grundsätzlich kann festgehalten werden: je höher die aktuelle Leistungsfähigkeit des Heranwachsenden und je niedriger der KEI ist, desto

größer ist das sportliche Talent zu bewerten (201,253). Für die Bewertung werden die Parameter mit empirisch erhobenen Normwerten verglichen.

- Körperbau-Entwicklungsalter (KEA; 255)
 - Verhältnis von Körperhöhe dividiert durch die Körpermasse (QUETELET-Index)

Ergänzend zum KEI kann durch den KEA die Bestimmung des Unterschiedes zwischen kalendarischem und biologischem Alter, sowie die Größen- und Gewichtsabweichung vom Durchschnitt bestimmt werden.

Insgesamt sind die Parameter weitgehend genetisch determiniert, wobei dies am wenigsten bei der Körpermasse und am meisten bei der finalen Körperhöhe der Fall ist. Dabei werden die Wahrscheinlichkeitsangaben in der Regel durch umfangreiche Normtabellen abgesichert (15,16,22,99,152,201,203,252,253,254,255).

Eine weitere Möglichkeit der Talentsichtung ist, den aktuellen Leistungsstand des Kindes zu bewerten. Dabei kann man diesen inner- und außerhalb des Wassers beurteilen.

Testmöglichkeiten innerhalb des Wassers (33):

- Schnelligkeit (z.B. 25m Sprintzeit in den 4 Lagen)
- Ausdauer (z.B. 30 Minuten- oder 1500m-Test)
- Bestzeiten (beste Punktzahl nach FINA-Normtabelle 69)

Testmöglichkeiten außerhalb des Wassers (33):

- Kraft/Ausdauer (z.B. Liegestütz, Bauchaufzüge, Halteübungen)
- Beweglichkeit (z.B. Ellenbogen hinten zusammen führen)

Diese Tests spiegeln nur einen aktuellen Stand und nicht ein Entwicklungspotential wider, gewinnen jedoch bei ansteigendem Alter immer mehr an Bedeutung, da bestimmte Defizite (z.B. in der Beweglichkeit) später kaum noch aufzuholen sind und der Schwimmer damit im Vergleich zu seinen

entweder früher besser trainierten oder von vorneherein höher talentierten Konkurrenten einen Nachteil aufweist (156,203).

Die nächste Sichtungsmöglichkeit stellt die Erfassung des aktuellen Niveaus der technischen/koordinativen Fähigkeiten dar. Dabei stehen Testmöglichkeiten direkt im Wasser im Vordergrund, bei denen überwiegend versucht wird das gesamte Technik-Spektrum von Wasserlage, Atmung, Beinschlag, Armzug bis zur Gesamtkoordination in standardisierten Bögen zu erfassen (33,55,85,151,251).

Sowohl für die Erfassung des aktuellen Leistungsstands als auch für die Beurteilung des aktuellen Niveaus der technischen/koordinativen Fähigkeiten sei anzumerken, dass die Sichtungsergebnisse im Wasser, als sportartspezifischere Tests, eine höhere Aussagekraft als die Tests außerhalb des Wassers haben (vergleiche auch Kapitel 1.4: Die Entwicklung der Leistungsdiagnostik im Schwimmen).

Weitere wichtige Parameter in der Talentsichtung sind die psychischen Parameter, auf die an dieser Stelle aber nur kurz eingegangen werden soll. Dabei ist die Einschätzung der Verhaltenseigenschaften der Kinder bezüglich Motivation, Interesse, Mitarbeit und Belastungsbereitschaft von besonderer Bedeutung für eine langfristige Entwicklung im Leistungssport. Außerdem sollte das Lernvermögen, die Belastungsanpassung sowie Belastungsumsetzung mit berücksichtigt werden. Immer mehr von Bedeutung ist letztendlich auch das Verhalten der Eltern. Besonderes Augenmerk ist hier auf die negativen Auswirkungen durch Übermotivation, überhöhter Leistungsdruck und deren Einstellung zum Leistungssport zu richten (86).

Ein noch kaum beachteter Parameter zur Beurteilung des schwimmerischen Talents ist die Bestimmung der Ökonomie mittels der Messung des Sauerstoffverbrauchs (VO_2) der Schwimmer während bzw. kurz nach einer körperlichen Belastung. Hierbei besteht die Möglichkeit durch die Bildung des Quotienten $\Delta VO_2/\Delta v$ Probanden bezüglich eines ökonomischen Vortriebs miteinander vergleichen zu können. Beim Schwimmen wird dazu innerhalb eines

Stufentests mit ansteigender Belastung (Steigerung der Schwimmgeschwindigkeit) das Delta des Sauerstoffverbrauchs zwischen einer Geschwindigkeitsstufe und der vorherigen ermittelt, um so den Sauerstoffmehrverbrauch zu bestimmen und durch den Geschwindigkeitsunterschied der beiden Stufen zu dividieren. Dadurch kann ebenfalls eine Aussage über die Ökonomie und die technische Fertigkeit eines Schwimmers getroffen werden, da ein geringerer Sauerstoffmehrverbrauch für die gleiche Steigerung der Belastung eine effizientere Technik bedeuten kann (32,74,184).

Einen weiteren wichtigen Aspekt stellt die mögliche Unterscheidung dar, ob aus leistungsphysiologischer Sicht ein Schwimmer eher eine Prädisposition für den Sprint- oder Ausdauerbereich aufweist. Hierfür kann der Energieverbrauch in den Belastungsstufen unterhalb der individuellen aeroben Schwelle (IAS) einen Hinweis geben. Bei diesen Geschwindigkeitsstufen hängt die Leistung der Probanden fast ausschließlich von dem messbaren Wert der Sauerstoffaufnahme ab, sodass ein geringerer Verbrauch auf eine bessere Ökonomie schließen lässt (31,74). Braumann und Reer (32) dokumentieren, dass aufgrund des höheren Sauerstoffverbrauchs bei gleicher Geschwindigkeitsstufe ein niedrigerer Wirkungsgrad vorhanden ist. Somit kann vermutet werden, dass derjenige, der in diesem Intensitätsbereich einen geringeren Sauerstoffverbrauch aufweist, tendenziell eher für den Ausdauer- als für den Sprintbereich geeignet ist (184,187).

Niedrigere VO_2 -Werte jenseits der IAS, könnten ein Indiz für eine Disposition zum Sprintschwimmer sein, da höhere Geschwindigkeiten mit einem geringeren aeroben Energieverbrauch absolviert werden. Allerdings hängt in diesem Intensitätsbereich die erbrachte Leistung insgesamt nicht mehr allein von der aeroben Energiebereitstellung ab, sodass die VO_2 nicht die vollständig vom Körper aufgebrauchte Energie darstellt (72,125). Deshalb kann die maximale Sauerstoffaufnahme als Bruttokriterium der aeroben Kapazität nicht mehr ausschließlich zur Beurteilung der Ökonomie herangezogen werden. Vielmehr wäre die Bestimmung des anaeroben Bestandteils der Energiebereitstellung von größtem Interesse. Dazu müsste der respiratorische Quotient ermittelt werden, der allerdings die Messung oder Errechnung der CO_2 Werte bei Belastungsabbruch

voraussetzt, welches in der vorliegenden Studie nicht möglich war. Somit können die gemessenen VO_2 -Werte in diesem Intensitätsbereich nur bedingt Rückschlüsse auf die Technik respektive Ökonomie zulassen (32,38,73,74). Um eine Berechnung der „energy cost“ zu ermöglichen, die den Energieaufwand beim Schwimmen beschreibt, wurde allerdings auch der anaerobe Anteil der Energiebereitstellung, unterteilt in laktazid (Eanlac) und alaktazid (Eanalac), über die gemessenen Laktatwerte errechnet und zur aeroben Energiebereitstellung hinzuaddiert (38,39,40,72,155). Nähere Erläuterungen dazu sind in Kapitel 2.7.1 zu finden.

Ein weiteres Kriterium zur Beurteilung der Disposition der Heranwachsenden könnte die Beziehung zwischen den VO_2 -Werten und der Schwimmgeschwindigkeit sein. Hierbei ist von Interesse ob, wie von Braumann und Reer (32) angegeben, im Bereich niedriger Intensität eine fast lineare Beziehung besteht, wodurch mathematisch eine grafische Kurve vom Typ

$$y = a \cdot x + b \text{ (siehe Abbildung 1)}$$

entstehen würde, oder wie in einer anderen Untersuchung (184) nur die Sprintversierten damit übereinstimmen und bei den Ausdauerversierten ein logarithmischer Verlauf nach der Formel

$$y = a \cdot \ln(x) + b \text{ (siehe Abbildung 2)}$$

zu beobachten sein wird. Im höheren Intensitätsbereich wird ebenso von Interesse sein, ob ein Unterschied zwischen den Kurvenverläufen zu beobachten ist. Für diesen Bereich wird von Braumann und Reer (32) allgemein ein exponentieller Verlauf mit ansteigenden O_2 -Werten nach der Funktion

$$y = a \cdot e^{bx} \text{ (siehe Abbildung 3)}$$

angegeben. In einer anderen Arbeit konnte jedoch wiederum ein differenziertes Bild ermittelt werden. Dabei zeigten die sprintversierten Schwimmer einen wie oben beschriebenen Verlauf und die Ausdauerversierten einen linearen Anstieg (184).

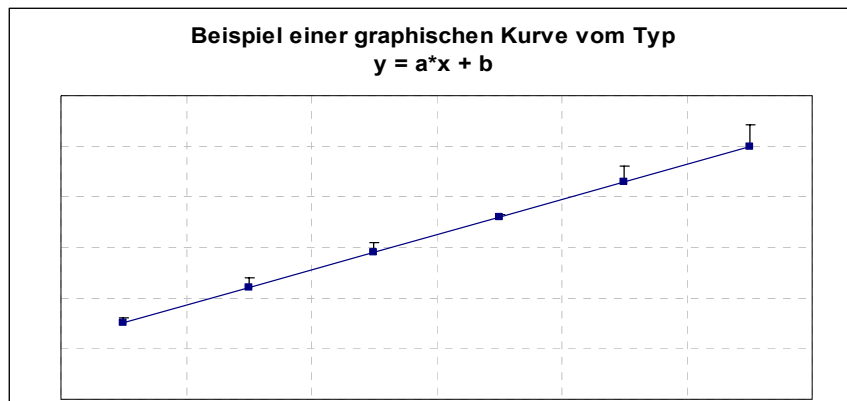


Abbildung 1: Beispiel eines linearen Verlaufs nach der mathematischen Funktion $y = a \cdot x + b$ (32)

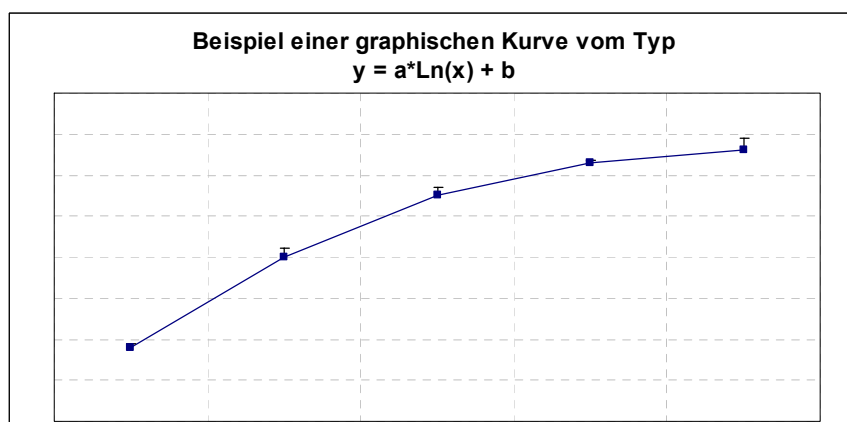


Abbildung 2: Beispiel eines logarithmischen Verlaufs nach der mathematischen Funktion $y = a \cdot \ln(x) + b$ (32)

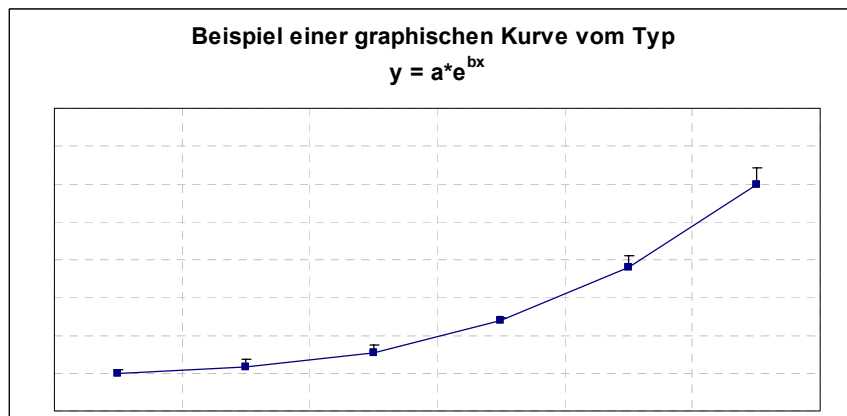


Abbildung 3: Beispiel eines exponentiellen Verlaufs nach der mathematischen Funktion $y = a \cdot x^{bx}$ (120,143)

Allgemein ist aber auch festzustellen, dass in der Individualsportart Schwimmen, bei der es darauf ankommt eine bestimmte Strecke in der möglichst schnellsten Zeit zu absolvieren, ein wesentlich genaueres Anforderungsprofil zu benennen ist, als bei Mannschaftssportarten, bei denen viel deutlicher beispielsweise taktische Anforderungen eine wichtige Rolle spielen.

1.3 Die Entwicklung der Talentsichtung im Schwimmsport

Generell ist bis dato die Talentsichtung im Schwimmsport immer eine Kombination von subjektiven Expertenurteilen und objektiven analytisch – empirischen Untersuchungen.

Dabei sind die Anfänge der professionellen Talentsichtung in den ehemaligen Ostblockstaaten zu finden. Gerade in der ehemaligen DDR wurden schon frühzeitig Kinder und Jugendliche in den Schulen etlichen Tests unterzogen (15,201,229,253). Ziel war es, den Kindern so früh wie möglich Empfehlungen zu geben, für welche Sportarten sie geeignet sind.

Im Zusammenhang mit der Talentsichtung entstanden dann in der Folgezeit Sportinternate, in denen einerseits die optimale sportliche Entwicklung gefördert werden konnte und andererseits die Sportler kontinuierlich weiter vermessen und getestet wurden, um die prognostizierte Entwicklung des Talents weiter zu beurteilen und zu überprüfen (229).

Im Zuge der Wiedervereinigung wurden zu Beginn die Methoden der Talentsichtung der ehemaligen DDR im Allgemeinen nicht berücksichtigt, sodass viele gute Ansätze und langjährige Erfahrungen ungenutzt blieben. Erst Mitte/Ende der 90er Jahre wurden dann vermehrt die Konzepte der ehemaligen DDR in die Talentsichtung Gesamtdeutschlands einbezogen (200), wobei eine Vermessung der anthropometrischen Parameter nur noch in Einzelfällen stattfindet.

Aktuell werden beim Schwimmen im Nachwuchsbereich die in Kapitel 1.2 beschriebenen Tests zur Talentsichtung durchgeführt, die vor allem folgende Parameter berücksichtigen (33,202):

- technische/koordinative Fähigkeiten im Wasser
- Schnelligkeits- und Ausdauerfähigkeiten im Wasser
- Beweglichkeit, Kraft- und Ausdauerfähigkeiten außerhalb des Wassers
- aktuelle schwimmerische Leistungsfähigkeit

Vor allem der Prüfung von Technik und Koordination wird seit den 90er Jahre des letzten Jahrhundert ein hoher Stellenwert beigemessen. Durch sogenannte „Kindgerechte Wettkämpfe“ findet ein Techniktest innerhalb eines Schwimmwettkampfes statt, bei dem jüngere Schwimmer folgende Übungen zu absolvieren haben (68):

- Startsprung, 3 Tauchzüge, bis zur Mitte der Bahn Brust, halbe Drehung um die Längsachse, in Rücken beenden
- Rücken-Start, 3 Delphinkicks unter Wasser, bis zur Mitte der Bahn Rücken, halbe Drehung in Bauchlage, in Kraul beenden

Bei allen Testverfahren bedient man sich häufig Normtabellen, es gibt jedoch auch eine Reihe von Experteneinschätzungen, die zwar durch standardisierte Testbögen unterstützt werden, letztendlich aber doch stark von der subjektiven Einschätzung des jeweiligen Beurteilers abhängen. Gerade der schwer messbare Parameter „Wassergefühl“, der im Schwimmsport immer mehr an Bedeutung gewinnt, stellt dabei ein Problem dar. Eine objektivere Methode zur Einschätzung der Ökonomie und damit auch zur technischen Versiertheit eines Schwimmers kann grundsätzlich die Messung des Sauerstoffverbrauchs darstellen. Aufgrund von fehlenden Erfahrungen und den Schwierigkeiten bei der Entwicklung von einfach umzusetzenden Testverfahren, wird in der aktuellen Talentsichtung im Schwimmsport diese Möglichkeit jedoch noch kaum berücksichtigt (79,202).

1.4 Die Entwicklung der Leistungsdiagnostik im Schwimmsport

Durch die frühzeitige Messung von leistungsphysiologischen Parametern, kann die Leistungsdiagnostik einen Beitrag zur Talentsichtung liefern. Im Schwimmsport müssen schon im jugendlichen Alter hohe Trainingsumfänge und Wettkampfbelastung absolviert werden. Es besteht dadurch eine hohe Beanspruchung der aeroben und anaeroben Kapazität (123,214), weshalb die Leistungsdiagnostik seit Jahren als ein bedeutender Parameter in der Trainingssteuerung gilt (122,123,214), deren Entwicklung im Folgenden dargestellt werden soll.

Für andere Sportarten wurden schon in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts adäquate Methoden der standardisierten, leistungsdiagnostischen Tests auf dem Fahrrad oder dem Laufband entwickelt. Dabei konnten aufgrund von Fahrradergometer- und Laufbandtests qualifizierte Aussagen über den Leistungsstand von Sportlern verschiedener Sportarten getätigt werden. Es wurde aber deutlich, dass in der Regel lediglich eine allgemeine Aussage über den Zustand des Herzkreislaufsystems geliefert werden konnte, was für die meisten sehr spezifischen Bewegungsabläufe in den verschiedensten Sportarten unzureichend ist (214). Allerdings werden aufgrund der leichten Umsetzbarkeit heute noch oft Tests üblicherweise auf dem Fahrrad oder Laufband absolviert, die gerade für den Schwimmsport kaum Angaben bezüglich einer Trainingsempfehlung zulassen (12,173,214). Dabei ist von entscheidender Bedeutung, dass neben der Realisierung von verschiedenen Bewegungsformen auch völlig konträre und von der Masse her unterschiedliche Muskelgruppen beansprucht werden. So ist für den Antrieb beim Schwimmen im Wasser hauptsächlich die Oberkörpermuskulatur verantwortlich, wohingegen die leistungsbestimmende Muskulatur gerade beim Fahrradfahren, aber auch beim Laufen die Beinmuskulatur darstellt (244). Hinzu kommen die besonderen Verhältnisse, denen der Schwimmer im Wasser ausgesetzt ist. Im Fokus dabei stehen vor allem die besonderen biomechanischen Verhältnisse während des Fortbewegens im Wasser, wodurch das Schwimmen wie kaum eine andere Sportart stark abhängig von der individuellen Technik und Ökonomie ist (214).

Außerdem unterscheidet sich das Schwimmen von jeder Sportart, die an Land ausgeführt wird, weil sich Schwimmer bei der Ausübung ihrer Sportart in einer horizontalen Körperlage und in den spezifischen Druckverhältnissen des Wassers befinden. Dadurch ergibt sich ein niedrigerer zu überwindender hydrostatischer Druck, der einen erhöhten venösen Rückstrom verursacht. Im Vergleich zu anderen Ausdauersportarten, die an Land absolviert werden, resultieren für den Sportler daraus niedrigere Herzfrequenz- und Laktatwerte. Hinzu kommt der sogenannte „Tauchreflex“, der eine sauerstoffeinsparende Reaktion eines Körpers, der ins Wasser eintaucht, darstellt und zu einer allgemeinen Senkung des Stoffwechsels führt (112,180,213).

Die aufgeführten Erläuterungen machen deutlich, dass es gerade im Schwimmsport, aber auch in allen anderen Sportarten zu einer Entwicklung von sportart-spezifischen Tests kommen musste. So wurden verschiedene leistungsdagnostische Modelle für unterschiedliche Sportarten entwickelt, die in den 70er Jahren zu ersten Tests führten, die direkt im Wasser durchgeführt werden konnten.

Es wurde schnell deutlich, dass diese sportartspezifischen Testabläufe wesentlich aussagekräftiger bezüglich der Wettkampfleistung waren und vor allem eine wesentlich bessere Trainingsempfehlung erlaubten, als die auf dem Fahrradergometer durchgeführten Tests (211,214). Dazu entwickelte beispielsweise Mc Ardle 1971 einen Test, bei dem die Belastung durch Erhöhung der Zugfrequenz gesteigert wurde (153). Bonen hingegen nahm 1980 die Intensität als Indikator, die auf der 200m-Strecke von moderat bis zur Ausbelastung gesteigert werden sollte (25). Lavoie ließ dazu 1981 auf mehrere submaximale eine maximale Stufe folgen, um die aerobe Kapazität des Schwimmers erfassen zu können (141).

1989 führte Keskinen progressive 100m- und 300m-Stufentests durch, die bis zur Ausbelastung geschwommen werden mussten. Dies diente der Erstellung einer Laktatleistungskurve (121). Der gesamte Testablauf von Keskinen hat große Ähnlichkeit mit dem von Simon, der auch in Deutschland als Mittel zur Trainingssteuerung angewendet wird. Simon et al. ermittelt in einem 300m-Stufentest eine maximale Schwimmleistung, die zur Wettkampfleistung eine

fast genau doppelt so hohe Korrelation wie die maximale Fahrradergometrieleistung hat ($r = 0,81$ vs. $r = 0,4$; 212).

Der im deutschen Schwimmsport weitverbreiteste leistungsdiagnostische Test, ist jedoch von Pansold entwickelt worden (24,173,174). Bei diesem Stufentest sind fünf Abschnitte in der Hauptlage und -strecke wie folgt zu absolvieren:

- 3x100m (bzw. 200m); Geschwindigkeit: ca. 70% der aktuellen Bestzeit
- 2x100m (bzw. 200m); Geschwindigkeit: ca. 80% der aktuellen Bestzeit
- 1x100m (bzw. 200m); Geschwindigkeit: 85-90% der aktuellen Bestzeit
- 1x100m (bzw. 200m); Geschwindigkeit: 90-95% der aktuellen Bestzeit
- 1x100m (bzw. 200m); Geschwindigkeit: maximal

Die Pause zwischen dem ersten bis dritten Abschnitt beträgt jeweils drei Minuten, zwischen dem dritten und vierten fünf Minuten und zwischen dem vierten und fünften ca. 20 Minuten, bzw. bis zur vollständigen subjektiven Erholung des Athleten. Bei einer Hauptstrecke von 400 Meter oder mehr, werden in jedem der fünf Stufen einmal 400 Meter in der jeweiligen Hauptlage geschwommen (173,174).

Die Ergebnisse dieses schwimmspezifischen Tests, der im Schwimmbecken durchgeführt wird, ermöglichen die Erstellung einer Laktat-Leistungskurve. Aussagen über die Ökonomie lassen diese Ergebnisse kaum zu, sodass bis dato im Deutschen Schwimmverband hauptsächlich die metabolische Leistungsfähigkeit des Schwimmers beurteilt wird (122,145). Eine Beurteilung der Technik ist damit kaum möglich. Unterstützt wird dieser Test durch Videoanalysen im Strömungskanal, die jedoch letztendlich eine subjektiv geprägte Empfehlung eines Technik- bzw. Biomechanikexperten darstellt (127,204). Grundsätzlich besteht die Möglichkeit zur Beurteilung der metabolischen Leistungsfähigkeit mit Hilfe eines Laktat- und/oder spirometrischen Leistungstests. Allerdings lassen sich nur über die Spirometrie auch wichtige Aussagen über die Ökonomie eines Schwimmers, aufgrund einer Steigerung oder Senkung der VO_2 Verlaufskurve bei verschiedenen Geschwindigkeiten, treffen (73,74; vergleiche Kapitel 1.5 und 4.6).

Laktat gilt generell als leicht zu gewinnender Metabolit des Energiestoffwechsels im Schwimmen, welches sich, wie schon in Ergometrien anderer Sportarten, als praktikabel zur Untersuchung des aerob-anaeroben Schwellenbereichs und der Leistungsdiagnostik herausstellte. Dies gilt spätestens als allgemein gültig, seitdem Mader 1973 eine Methode der Blutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen vorstellte. Im Gegensatz zu der vorher durchgeführten Entnahme des Blutes aus der Fingerbeere gelang es hierbei, identischen Werte, wie die, die bei einer Entnahme aus der A. brachialis erhalten werden, zu erlangen (107). Der Vorteil dabei ist, dass das Blut für die Laktatkonzentrationsbestimmung mit geringem apparativen Aufwand vor Ort einer großen Anzahl von Probanden entnommen und zu einem späteren Zeitpunkt unter standardisierten Bedingungen im Labor analysiert werden kann. Da sich die Blutentnahme leicht erlernen lässt und so praktisch von jedem durchführbar ist, sind auch kurze Pausen innerhalb eines Stufentestes für die Entnahme ausreichend.

Vor allem die relativ gute intraindividuelle Vergleichbarkeit mit früheren Werten machte diese Methode populär (124,149). Auch liegen die aerobe und aerob-anaerobe Schwelle bei vielen Sportlern in einem ähnlichen Bereich (2 bzw. 4 mmol/l) (100), sodass ein schnellerer Überblick über alle Sportler möglich ist. (124). Unbedingt zu berücksichtigen dabei ist allerdings, dass es oft individuelle Abweichungen in den Schwellenwerten einzelner Sportler gibt. Daher können die angegebenen Schwellenwerte nur als grobe Orientierung angesehen werden. Die Komplexität des Stellenwertes der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik wird durch die bis dato Vielzahl von entstandenen Schwellenkonzepten deutlich, bei denen allerdings nicht bewiesen ist, welche im Hinblick auf die Trainingsempfehlung und Prognostizierbarkeit von Wettkampfleistungen die höchste Genauigkeit aufweist (48,100,174,211). Die Laktatleistungsdiagnostik als alleinige Komponente zur Beurteilung der schwimmerischen Leistung hat somit in ihrer Aussagekraft ihre Grenzen.

Die Sauerstoffaufnahme ist seit vielen Jahren ein weiterer entscheidender Parameter zur Beurteilung der individuellen Leistungsfähigkeit

(9,25,54,102,111,128,143,164,199,227,235,238,239). Diese Thematik soll ausführlich im nächsten Kapitel beschrieben werden (1.5).

1.5 Historische Entwicklung der Spirometrie und der Nachatmungsmethode

Die Spirometrie lässt vor allem über die Messung der maximalen Sauerstoffwerte eine Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit und ökonomischer Zusammenhänge zu, weshalb sie für die Talentsichtung von besonderem Interesse ist (14,32,76; vergleiche Kapitel 4.5.3 und 4.6).

1924 wurde durch Knipping erstmals eine Apparatur zur Erfassung der respiratorischen Daten eingesetzt. Das ursprünglich für die klinische Diagnostik, Therapie und Rehabilitation vorgesehene Messverfahren (128), wurde allerdings alsbald auch in den Bereichen der Arbeitsphysiologie und der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik eingesetzt und gewann fortan immer mehr an Bedeutung (60,107,108,194).

Hill ging als Erster Ende der 20er Jahre des letzten Jahrhunderts davon aus, dass es eine obere, für das Individuum leistungslimitierende Begrenzung der Sauerstoffaufnahme (VO_2) geben könnte (102). Hill konnte schon damals aufzeigen, dass bei steigender körperlicher Belastung ein linearer Anstieg der VO_2 zu beobachten ist, der kurz vor der Maximalleistung in ein Plateau übergeht und bei individuellen Unterschieden jeweils die maximale VO_2 beschreibt. Andere Autoren wie Taylor (227) konnten ebenfalls schon die Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme als eine objektive Maßnahme zur Beurteilung der kardiorespiratorischen bzw. aeroben Leistung darstellen. Somit wurde frühzeitig deutlich, dass die Sauerstoffaufnahme (VO_2) bzw. maximale VO_2 (VO_{2-max}) einen entscheidenden Parameter darstellt, wenn es darum geht, die Ausdauerleistungsfähigkeit eines Individuums zu beurteilen (9,25,54,102,111,128,143,164,199,227,235,238,239).

Trotzdem löste die Methode, über die Messung der Laktatkonzentration auf den verschiedenen Belastungsstufen eine Laktat-Leistungskurve zur Beurteilung der

Leistungsfähigkeit zu erstellen, die Spirometrie immer weiter ab. Dies lag wohl vor allem daran, dass für die spirometrischen Messverfahren große Apparaturen notwendig waren. Der notwendige Einsatz direkt am Trainingsort war nur mit großem Aufwand zu realisieren. Im Vergleich dazu konnte das Blut zur Laktatbestimmung mit geringem apparativem Aufwand an jedem Ort abgenommen und später im Labor analysiert werden. Durch eine Weiterentwicklung der Messsysteme gewann die Spiroergometrie für den Leistungssport wieder mehr an Bedeutung. Grundsätzlich können drei Methoden der Messaufnahme unterschieden werden (194):

1. Douglas-Sack
2. Pneumotachographen
3. Turbinenflowmeter

Als erstes tragbares Messgerät kann der **Douglas-Sack** gesehen werden (62,87,235; siehe Abbildung 4). Bei dieser Methode zur Erfassung der respiratorischen Werte wird die Expirationsluft über einen definierten Zeitraum in einem Sack gesammelt, damit daraus eine Probe für die Sauerstoff- und Kohlendioxidbestimmung entnommen werden kann. Dadurch kann allerdings nur eine Aussage über einen bestimmten Zeitraum und nicht für einen bestimmten Zeitpunkt während einer Belastung getroffen werden, was als entscheidender Nachteil dieser Methode angesehen wird.



Abbildung 4: Messung mit dem Douglas-Sack (62,87,235)

Die zweite Methode der Gasmengenbestimmung besteht durch einen sogenannten **Pneumotachographen** (siehe Abbildung 5). Dabei wird der Gasdruck im Atemstrom beim Ein- und Ausatmen mittels eines luftdurchlässigen Siebes gemessen (194). Dieses Verfahren lässt auch Aussagen über das Gasvolumen zu, da die Erhöhung des Drucks vor dem Strömungswiderstand auf einer Beschleunigung der Gasströmgeschwindigkeit basiert. Vorteile bestehen in einer technischen Robustheit und der Möglichkeit einer hohen zeitlichen Auflösung. Nachteile dieses Systems bestehen in dem hohen Gewicht und vor allem der

Behinderung der Atmung speziell bei großer sportlicher Belastung und hohen Atemzeitvolumina (194,245).



Abbildung 5: Pneumotachograph (194)

Die dritte Methode der Gasmengenbestimmung, die auch in der Untersuchung der vorliegenden Arbeit verwendet wurde, ist durch die Messung mit dem **Turbinenflowmeter** gegeben (siehe Abbildung 6). Dieser besteht aus einer kleinen Turbine, die an einem Mundstück direkt vor dem Mund oder als Maskenaufsatz gehalten werden kann (194). Diese Entwicklung von immer kleineren Messgeräten, die alle respiratorischen Daten ohne größeren Aufwand „online“ erfassen konnten, steigerte die Bedeutung der Spirometrie deutlich (18,87). Allerdings hatte dies für den Schwimmsport zunächst kaum eine Relevanz. In anderen Sportarten, wie dem Radsport oder den Laufsportarten, konnte die Apparatur während der Ausübung der Sportart getragen werden.



Abbildung 6: Maske mit Turbinenflowmeter (194)

Beim Schwimmen war dies unter sportartspezifischen Bedingungen nur schwer möglich. Es gab zuerst Versuche, Methoden umzusetzen, bei denen die Messapparatur während des Tests am Rand mitgeführt wurde, welches aber den Schwimmer durch die notwendige Verbindung mittels eines Schlauchsystems behinderte. Vor allem der Wendenbereich stellte sich dabei als besonders problematisch heraus (109,235). Um dies zu vermeiden wurden Tests konzipiert, bei denen der Schwimmer über ein Band auf einer Position im Wasser gehalten wurde (70,74,101). Gleichzeitig konnte zu der Möglichkeit, die respiratorischen Daten besser „online“ registrieren zu können, mit Hilfe von Unterwasserfenstern bzw. Unterwasserkameras eine Aussage über die Technik getroffen werden (204). Allerdings behinderte der Gurt, über den eine Last auf den Schwimmer

wirkt, teilweise enorm. Vor allem aber konnte die zu schwimmende Geschwindigkeit lediglich über ein zu haltendes bzw. zu überwindendes Gewicht gesteuert werden (70,235).

Die Entwicklung der schwimmspezifischen Leistungsdiagnostik erreichte ihren Höhenpunkt durch den Bau spezieller Becken, die mit einer Gegenstromanlage ausgestattet waren. Åstrand beschrieb 1972 (9) als erster einen solchen Strömungskanal. Dadurch war es nun möglich, leistungsdiagnostische Tests unter absolut standardisierbaren Bedingungen durchzuführen (9,25,31,233,234,235,239). Der besondere Vorteil gegenüber anderen Tests bestand vor allem darin, dass respiratorische Werte „online“ bei exakt bestimmbarer und konstanter Schwimmgeschwindigkeit über einen beliebigen Zeitraum registriert werden konnten. So konnte die maximale Sauerstoffaufnahme, die als Bruttokriterium der aeroben Kapazität von entscheidender Bedeutung für die Einschätzung der Ausdauerleistungsfähigkeit ist, exakt bestimmt werden (9,14,25,31). Des Weiteren bietet der Strömungskanal eine hervorragende Möglichkeit, genaue Bewegungsanalysen (23,24) und sogar ganze Trainingseinheiten, die besonders für das Sprinttraining von Interesse sind, durchzuführen (204).

Da der Bau und Betrieb von Strömungskanälen sehr teuer ist und sie daher nicht weit verbreitet sind, ist diese Möglichkeit der Leistungsdiagnostik nur für den Hochleistungssport praktikabel. Für die einfachere Umsetzbarkeit in die Praxis stellt die Entwicklung der Nachatmungsmethode einen weiteren entscheidenden Schritt dar. Dabei wird dem Probanden direkt nach der Belastung eine Maske zur Erfassung der respiratorischen Daten aufgesetzt. Durch eine mathematische Extrapolation können die VO_2 -Werte bei Belastungsende bestimmt werden (23,143). Allerdings war auch hierzu die Entwicklung des Strömungskanals von großer Bedeutung. Durch Untersuchungen, in denen intraindividuelle Vergleiche zwischen der Onlineregistrierung und der Nachatmungsmethode durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass es sich bei der Nachatmungsmethode unter Zuhilfenahme einer mathematischen Extrapolation, um eine exakte Methode zur Bestimmung des VO_2 -Werte handelt (74,143,188).

1.6 Entwicklung des schwimmerischen Trainings

Für das optimale Fortbewegen im Medium Wasser können mehrere entscheidende Parameter benannt werden. Dabei stehen ein effektiver Vortrieb, die optimale Nutzung des Auftriebs und des Wasserwiderstandes, das Erreichen und Einhalten einer günstigen Wasserlage und eine Fähigkeit, die in der Literatur als „Wassergefühl“ beschrieben wird, im Vordergrund (19,23,73,74,233). Schuck (207) beschreibt 1991 in Anlehnung an Firby (82) diese Fähigkeit auch als „Rutschgefühl“, bei dem der Sportler den Abdruck des Wassers gut fühlt, ihn subjektiv erlebt, die Bewegungsausführung leicht von statten geht und technisch sowie harmonisch verläuft.

Zu Beginn des strukturierten Schwimmtrainings steht die allgemeine Ausbildung aller Schwimmlagen und Streckenlängen. Vor allem ab den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts führte die Fokussierung auf die kardiopulmonale und metabolische Leistungsfähigkeit zur Absolvierung von sehr hohen Trainingsumfängen. Der dadurch geprägte Begriff „Tonnenideologie“ wurde in den 90er Jahren immer mehr in Frage gestellt (204). Man stieß dabei auf Grenzen der Trainierbarkeit des kardiopulmonalen und metabolischen Systems (204). Vor allem die Tatsache, dass Weltklasseleistungen bei älteren Schwimmern auch nach einer starken Reduzierung des Trainingsumfangs noch zu realisieren sind, führte zu einer veränderten Sichtweise (32). In der heutigen Zeit sind es gerade bei jugendlichen Schwimmern mehr die technischen und koordinativen Fähigkeiten, die von vordergründigem Interesse sind, da sie den Ausschlag für die Realisierung von Weltklasseleistungen zu geben scheinen (246). Sicherlich ist es unstrittig, dass auch heutzutage das Schwimmen zu den Sportarten gehört, in denen ein ausgeprägtes Grundlagenausdauertraining nötig ist und damit hohe Trainingsumfänge zu absolvieren sind, aber die Verbesserung der technischen und koordinativen Fähigkeiten werden mittlerweile als ebenso bedeutsam angesehen. So wird auch, aufgrund der jahrelangen Fokussierung auf die kardiopulmonale und metabolische Leistungsfähigkeit, ein enormes Potenzial im Bereich der Verbesserung der Ökonomie im Schwimmen deutlich (204). Dabei stellt gerade der Schwimmsport durch seine Komplexität in dem besonderen

Medium Wasser eine Sportart dar, bei der die Technik und somit die Ökonomie der Fortbewegung eine entscheidende Rolle spielt (74,211,233).

1.7 Wissenschaftlicher Wert des Themas Talentsichtung im Schwimmsport

Angesichts der beim Schwimmen frühen Einstiegsmöglichkeit in den Leistungssport gewinnt die schnellstmögliche Sichtung von talentierten Sportlern immer mehr an Bedeutung (118). Dabei kommt Joch (118) schon 1999 zu dem Schluss, dass Deutschland international den Anschluss verloren hat und im Vergleich zu anderen Nationen keine Talente besitzt, die internationalen Standards genügen.

Auch die zu prognostizierende Bevölkerungsentwicklung wird diese Entwicklung noch weiter forcieren. So wird es in den nächsten zehn Jahren in Deutschland schätzungsweise zu einer Bevölkerungsabnahme von bis zu einer Million Menschen kommen. Vor allem die für den Leistungssport entscheidende Altersgruppe der 20-30-jährigen wird voraussichtlich jährlich um 65.000 Menschen sinken (34,221). Insbesondere der starke Rückgang der Geburtenhäufigkeit seit der Nachkriegszeit von 2,5 auf 1,4 Kinder pro Frau ist dabei die entscheidende Ursache. Als Ausblick ist bis 2050 zu prognostizieren, dass die Zahl der unter 20-jährigen von derzeit 17 Millionen relativ kontinuierlich auf 12 Millionen im Jahr 2050 sinken wird (34,221). Aus dieser abzusehenden Entwicklung der Bevölkerung in Deutschland lässt sich schließen, dass auch statistisch die Anzahl der zu sichtenden Talente abfällt. Da Deutschland im weltweiten Vergleich zu den geburtenärmsten Ländern gehört (34,221), wird es bei dem Anspruch, weiterhin sowohl im Schwimmsport als auch in anderen Sportarten zur Weltspitze zu gehören, vor allem darauf ankommen, die statistisch fallende Anzahl von potenziellen Talenten, zielgerichtet und effizient durch Analyseverfahren ausfindig zu machen.

Eine weitere wichtige Möglichkeit der Talentsichtung besteht darin, dem heranwachsenden Schwimmer nicht nur eine generelle Talentiertheit zu bescheinigen, sondern eine Disposition zum Ausdauer- bzw. Sprintschwimmen heraus-

zufiltern. Dies ist notwendig, da im Wettkampf-Schwimmsport heutzutage immer mehr eine Spezialisierung vor allem bezüglich der Renndistanz notwendig ist. Aufgrund der Ausdifferenzierung der Muskulatur in rote und weiße Muskelzellen ist schon frühzeitig eine weitgehende Trennung der Trainingsgestaltung zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern möglich (247,263). Diese Entwicklung wird durch die Etablierung der 50m-Strecken bei nationalen und internationalen Wettkämpfen und durch die Durchführung von Kurzbahneuropameisterschaften weiter gefördert (136).

1.8 Ziel der Arbeit

Ein für jeden Hochleistungssport erklärtes Ziel ist, die Talentiertesten der jeweiligen Sportart möglichst frühzeitig ausfindig zu machen bzw. Kindern, die eine Sportart ausüben, ein Talent dafür bescheinigen zu können. Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, die Talentsichtung in der Sportart Schwimmen weiter zu verbessern. Außerdem sollen Erkenntnisse über eine genetische Disposition zum Ausdauer- bzw. Sprintschwimmen und deren Sichtungsmöglichkeit erforscht werden.

Da bis dato die Talentsichtung überwiegend eine Auswahl der Leistungsauffälligen der jeweiligen Altersklassen gepaart mit Merkmaldispositionen aus der Entwicklungsmorphologie und der sportmotorischen Leistungsfähigkeit darstellt (33,105,171), soll die vorliegende Arbeit auch einen Beitrag zur Strategie der Selektion von talentierten Schwimmern liefern.

Eine umfassende Gegenüberstellung von anthropometrischen Daten, Daten der aktuellen Leistungsfähigkeit, metabolischen Werten und Parameter der Ökonomie sollen einen Überblick über Wertigkeit und Vergleichsmöglichkeit zwischen zweier leistungsunterschiedlicher Gruppen und innerhalb einer Hochleistungsgruppe, unterschieden in ausdauer- und sprintversierte Schwimmer, geben.

Ferner soll der dargestellte Ansatz, über die Messung der Sauerstoffwerte die Ökonomie zu bestimmen und vor allem eine Entwicklung zwischen den drei Testdurchgängen innerhalb eines Jahres aufzeigen zu können, eine Aussage

über die Entwicklung der Leistungsfähigkeit als generelle Belastungsreaktion liefern.

Ein weiteres Ziel der Arbeit ist, einen Methodenvergleich der Nachatmung anzustellen. Dabei sollen die verschiedenen Möglichkeiten der mathematischen, negativen Extrapolation aufgezeigt werden. Insbesondere der Vergleich zwischen linearer- und exponentieller Extrapolation und die Einbeziehung verschieden langer Nachbelastungszeiträume stehen dabei im Vordergrund. Denn nur durch eine zuverlässige Bestimmungsmöglichkeit der maximalen Sauerstoffaufnahme mittels der Nachatmungsmethode ist dessen Implementierung in den Routinebetrieb von Talentsichtungsmaßnahmen möglich. Vor allem durch die hohen Kosten von „online“-Messungen im Strömungskanal, für die Vielzahl von Athleten die im Jugendalter gesichtet werden, erscheint die Messung über die Nachatmungsmethode im Rahmen der Talentsichtung als sinnvoll.

Schließlich sollen durch eine Faktorenanalyse, eine Normierung durch einen Gewichtungskoeffizienten und die multiple Regression vertiefte statistische Aussagen getroffen werden können.

Die Faktorenanalyse lässt dabei durch eine Reduzierung und Zusammenfassung von Komponenten genauere Aussagen über den Einfluss der talentrelevanten Variablen zu. Die Normierung durch einen Gewichtungskoeffizienten bietet eine sehr gute Möglichkeit, die talentrelevanten Parameter unabhängig von dem unterschiedlichen Ausgangsniveau der Vergleichsgruppen zu interpretieren. Die Multiple Regression bietet schließlich die Möglichkeit der Erstellung einer Schätzgleichung, die als objektives Kriterium zur Einstufung in ein jugendliches Leistungsniveau in Abhängigkeit von der Güte der Testgruppe angenommen werden kann.

2 Material und Methoden

2.1 Probandengut

Die Probanden bestanden aus jugendlichen Schwimmern und Schwimmerinnen und wurden in eine Versuchsgruppe (VG) und eine Kontrollgruppe (KG) unterteilt. Die 14 Probanden der Versuchsgruppe (9 männliche und 5 weibliche) wurden aus der Verbandsgruppe des Hamburger Schwimmverbandes rekrutiert (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg) und Körperfettanteil (Prozent) aller Probanden der Versuchsgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)
Mittelwert [MW]				
1. Test	13,1	164,5	50,0	13,6
2. Test	13,6	167,5	53,6	13,4
3. Test	14,1	170,8	55,6	12,3
Standardabweichung [SD]				
1. Test	1,0	11,3	10,3	3,1
2. Test	1,0	12,3	10,8	3,0
3. Test	1,0	11,8	10,8	3,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]				
1. Test	0,3	3,0	2,8	0,8
2. Test	0,3	3,3	2,9	0,8
3. Test	0,3	3,2	2,9	0,9
Anzahl [n]				
1. Test	14	14	14	14
2. Test	14	14	14	14
3. Test	14	14	14	14

Die Probanden der Versuchsgruppe kommen zwar aus verschiedenen Vereinen, trainieren aber alle gemeinsam seit mindestens 2 Jahren in der Verbandsgruppe am Olympiastützpunkt Hamburg/Schleswig Holstein.

In der Kontrollgruppe befanden sich 16 Probanden (7 weibliche und 9 männliche). Alle trainieren seit 4 Jahren gemeinsam im Schwimm-Verein Poseidon Hamburg (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg) und Körperfettanteil (Prozent) aller Probanden der Kontrollgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)
Mittelwert [MW]				
1. Test	12,9	160,5	47,9	15,6
2. Test	13,4	164,4	52,9	15,6
3. Test	13,9	166,4	54,3	16,0
Standardabweichung [SD]				
1. Test	1,0	12,4	7,6	4,9
2. Test	1,0	11,2	8,3	4,9
3. Test	1,0	11,7	9,6	4,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]				
1. Test	0,3	3,1	1,9	1,2
2. Test	0,3	2,8	2,1	1,2
3. Test	0,3	2,9	2,4	1,1
Anzahl [n]				
1. Test	16	16	16	16
2. Test	16	16	16	16
3. Test	16	16	16	16

Alle Probanden wurden im Vorwege der Studie über den Ablauf, das Ziel und die Risiken aufgeklärt. Es wurde ihnen erläutert, dass sie zu jeder Zeit die Möglichkeit hätten, den Test abubrechen und es erfolgte eine Aufforderung, am Tag vor der Untersuchung keine größere körperliche Anstrengung zu vollbringen und sich kohlehydratreich zu ernähren. Damit sollte das Risiko der Glykogenverarmung minimiert werden, da ansonsten eventuell vor allem die Validität der respiratorischen Messwerte hätte eingeschränkt werden können (26,53,116). Durch die Messung des respiratorischen Quotienten vor der Untersuchung in Ruhe konnte dies eingeschätzt und eine Glykogenverarmung der Probanden weitgehend ausgeschlossen werden.

Außerdem unterschrieben die Probanden und deren Eltern eine Einverständniserklärung, in der sie der Studie ausdrücklich zustimmten.

Gesundheitliche Einschränkungen wurden einerseits durch anamnestische Angaben der Probanden und andererseits durch die gültige Schwimmtauglichkeit, die sich ein Schwimmer jährlich von einem Arzt zu attestieren hat, ausgeschlossen.

Ferner wurden in der Versuchsgruppe nur die Probanden berücksichtigt, die mindestens die 6. und nicht mehr als die 9. Stufe des Tests im Schwimmbecken vollständig beenden konnten und während des gesamten Untersuchungszeitraums nicht länger als drei Wochen nicht aktiv am Training teilnahmen. Für die Kontrollgruppe gab es bezüglich der Anzahl der geschwommenen Stufen des Tests kein Ausschlusskriterium.

2.2 Bestimmung der anthropometrischen Daten und der aktuellen Leistungsfähigkeit

Die Bestimmung der anthropometrischen Daten wurde vom Olympiastützpunkt (OSP) Hamburg/Schleswig Holstein (262) vorgenommen. Dazu wurden für das gesamte Probandengut an den drei Zeitpunkten, an dem auch der Schwimmtest stattfand, folgende Parameter erhoben:

- Schulterbreite (Akromialbreite)
- Unterarmumfang
- Körperhöhe
- Beckenstachelbreite
- Oberschenkelumfang
- Handumfang
- Körpergewicht

Mit einer am OSP HH-SH entwickelten Software wurden die anthropometrischen Daten ausgewertet.

Zur Bestimmung des aktuellen schwimmerischen Leistungsstandes anhand der Rudolph-Tabelle (201,253) wurde zusätzlich die aktuelle Bestzeit in der Hauptlage bzw. -strecke abgefragt. Durch die Rudolph-Tabelle lässt sich dann aufgrund des aktuellen Leistungsstandes ein Punktwert zwischen 0 und 20 errechnen. Dabei kann ein altersspezifischer Punktwert angegeben werden, sodass ein Vergleich der Athleten auch bei unterschiedlichem kalendarischem Alter möglich ist. Die erreichten Punkte lassen eine Aussage über den aktuellen Könnensstand im abgestuften Vergleich bis hin zur internationalen Spitze zu. Folgende Einteilungen sind hierbei gegeben (201):

- 0-4 absolut unzureichend
- 5-9 Vereinsniveau
- 10-12 befriedigend
- 13-15 gut
- 16-17 sehr gut
- 18-20 ausgezeichnet

Die zum Vergleich herangezogenen Daten basieren auf langjährig erhobenen Normwerten (201,202).

2.3 Bestzeiten und FINA-Punkte

Ein weiterer Parameter zur Beurteilung der aktuellen Leistungsfähigkeit stellte die Umrechnung der Bestzeiten in Punkte dar. Dabei wurden die aktuellen 100m- und 400m Freistil Bestzeiten laut FINA-Tabelle in Punkte umgerechnet (69). Als Grundlage der alle vier Jahre jeweils nach den Olympischen Spielen aktualisierten Tabelle dienen die Weltrekordzeiten aller Schwimmstrecken, die mit 1000 Punkten gleichgesetzt und dann mittels einer Funktion Punkte und Zeit in folgenden Zusammenhang gebracht werden:

$$Punkte = 1000 * \left(\frac{WR}{Zeit} \right)^3$$

WR = aktuelle Weltrekordzeit der jeweiligen Strecke

Zeit = geschwommene Zeit, die in Punkte umgerechnet werden soll

So kann jeder geschwommenen Zeit auf einer beliebigen Strecke und Disziplin ein Punktwert zwischen 1 und 1000 zugeordnet werden.

2.4 Schwimmgeschwindigkeitskontrolle

Während jeder Belastungsstufe des Tests wurde den Probanden die Geschwindigkeit vorgegeben. Dazu begleitete der Tester den Schwimmer am Beckenrand mit einem 20-Zoll Laufrad an dessen Fahrradgabel ein Tachometer (Ciclomaster CM205, Ciclo Sport K.W. Hochschorner GmbH, Krailing, Deutschland) zur Geschwindigkeitsregulierung befestigt war. Um die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung zu optimieren, wurden fünf Speichenmagneten montiert, um dem eingebauten Rechner eine höhere Signaldichte zu liefern. Zur Gewährleistung einer hohen Laufruhe des per Hand geschobenen Laufrades wurde seitlich ein Stützrad montiert (Abbildung 7).



Abbildung 7: Laufrad mit Tachometer zur Geschwindigkeitskontrolle

2.5 Einteilung der Versuchsgruppe in Sprint- und Ausdauer-schwimmer

Zur Einteilung der Versuchsgruppe in eine Ausdauer- (AU) und eine Sprintgruppe (SP) wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Punktwert der Bestzeit laut FINA-Tabelle
 - höherer Punktwert der SP auf der 100m als auf der 400m Freistilstrecke respektive der AU auf der 400m als auf der 100m Freistilstrecke
 - gleiche Punktzahl der SP auf der 100m Freistilstrecke im Vergleich zu dem Punktwert der AU auf der 400m Freistilstrecke
- Expertise der Verbandstrainer

Genauere Erläuterungen hierzu sind dem Kapitel 4.4 (Einteilung der Gruppe in Ausdauer und Sprint) zu entnehmen.

2.6 Messung der physiologischen Parameter

2.6.1 Bestimmung der Herzfrequenz

Die Herzfrequenz wurde durch Palpation am Hals (Aorta carotis) im Ruhezustand sitzend vor der Belastung, direkt nach Beendigung jeder einzelner Belastungsstufe und in der Nachbelastungsphase nach einer, vier und sieben Minuten vom Untersucher bestimmt.

2.6.2 Laktatmessung

Zur Blutlaktatbestimmung wurde das rechte Ohrläppchen des Probanden mit einer Blutlanzette (Solofix, B. Braun Petzold GmbH, Melsungen, Deutschland) angestochen und Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen (Abbildung 8). Das mit Hilfe eines 20 μ l Kapillarröhrchens (Eppendorf-Netheler-Hinz-GmbH; Hamburg; Deutschland) aufgefangene Blut wurde jeweils in ein Probegefäß mit 1000 μ l Systemlösung für die Laktatbestimmung (E-BIO/ESAT Probegefäße; Eppendorf-Netheler-Hinz-GmbH; Hamburg; Deutschland) eingeschlossen, geschüttelt und darin bis zur Analyse aufbewahrt. Während der Blutabnahme trug der Untersucher Latex-Handschuhe (Vasco; B. Braun Petzold GmbH, Melsungen, Deutschland). Die Aufbewahrung der Laktatproben erfolgte bei einer Lagerung von weniger als 12 Stunden bei Raumtemperatur. Längere Lagerungen wurden bei einer Temperatur von 6-10°C durchgeführt.

Als Analysegerät für die Laktatproben diente das EBIO plus 6668 (V1.61; Eppendorf-Netheler-Hinz GmbH, Hamburg, Deutschland). Die Laktatproben wurden dabei nach dem enzymatisch-amperometrischen Messprinzip (MB 4,5-270 mg/dl bzw. 0,5-30mmol/l Laktat, Unpräzision < 1,5% bei 12mmol/l) bestimmt (18).

Die mit der Systemlösung vermischte Blutprobe wird bei diesem Verfahren in eine Messkammer gesaugt (Ansaugvolumen ca. 90µl). Dann passiert es eine Membran, auf der Laktat-Dehydrogenase immobilisiert ist und eine Oxidation des Laktats katalysiert. Nach der Passage einer zweiten Membran wird das neben Pyruvat entstehende Wasserstoffperoxid an einer Platinelektrode bei +600mV oxidiert ($\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}^+ + \text{O}_2 + 2\text{e}^-$).

Die Bestimmung der individuellen aerob-anaeroben Schwelle (IAS) wurde durch eine visuelle Expertenexpertise vorgenommen, wobei als Basis der Bestimmung der Punkt der größten Steigungsänderung herangezogen wurde.



Abbildung 8: Kapillarblutentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen.

2.6.3 Spirometrie

2.6.3.1 Erfassung der Messwerte

Zur Erfassung der respiratorischen Parameter wurde ein Spirometrieystem verwendet (K4b², Cosmed S.r.l, Rom, Italien), das die Atemgaskonzentrationen jedes einzelnen Atemzuges analysiert („breath by breath“) (66,147). Der mit einem Flussmesser und einer digitalen bidirektionalen Turbine (Durchmesser 28 mm, Strömungsbereich 0-20 l/s, Ventilationsbereich 0-300 l/min, Messgenauigkeit [MG] $\pm 2\%$, dynamischer Widerstand $< 0,7 \text{ cm H}_2\text{O/l/s}$ bei 12/s, Auflösung 4 ml) ausgestattete Messkopf wurde mit der Gesichtsmaske verbunden, in die der Proband zu atmen hatte. Über einen Probenschlauch (Nafion-Schlauch, Permapure R; Länge 73 cm, Rom, Italien) wurde die Atemluft angetrocknet und zu dem O₂-Analysator (Messbereich [MB] 7-24 % O₂, MG 0,02 % O₂, Ansprechzeit (AZ) $< 150\text{ms}$ bei 90%FS) und dem CO₂-Analysator (MB 0-8 % CO₂, MG 0,01% CO₂, AZ $< 150\text{ms}$ bei 90% FS) im Inneren der tragbaren Einheit (Abmessung 170x55x100mm, Gewicht 550g, Thermometer 0-50°C, Barometer 53-106 kPa; Abbildung 9) geführt. Damit Messungen direkt am Beckenrand des Schwimmbeckens vorgenommen werden konnten, war die tragbare Einheit mit einem Akku verbunden. Durch die Möglichkeit der Datenspeicherung im Gerät konnten die Messungen im Schwimmbad auch ohne PC vorgenommen werden. Die gespeicherten Daten wurden zu einem späteren Zeitpunkt über eine Schnittstelle (RS232C-Schnittstelle) auf einen PC überspielt und dort mittels einer speziellen Software (K4B² 4.1Software, Cosmed S.r.l., Rom, Italien) weiter aufbereitet.



Abbildung 9: Spirometrieystem Cosmed K4b² zur Erfassung der respiratorischen Parameter.

Zur Gaskalibration der Turbine wurde ein definiertes Gasgemisch mit CO₂ = 5,86%, O₂ = 12,15% und N₂ = 81,99% mit 150 bar bei 15°C in einer 0,5-l-Flasche (Flaschen Nr. AB556589, Messer Griesheim GmbH, Duisburg, Deutschland) und zur Volumenkalibration eine Pumpe (3-Liter-Kalibrationspumpe, Cosmed S.r.l., Rom, Italien) verwendet.

2.6.3.2 Bestimmung der VO₂-Werte

Da in der vorliegenden Studie die respiratorischen Werte nicht während des gesamten Testablaufes aufgezeichnet, sondern nur nach der jeweiligen Belastungsstufe in der Pause erfasst wurden, waren vornehmlich die VO₂-Werte von Interesse. Innerhalb des von den Probanden zu absolvierenden Stufentests war dabei von entscheidender Bedeutung, dass die Stufen ausreichend lang sein mussten, um ein sogenanntes „steady-state“ der VO₂-Werte zu ermöglichen. Davon spricht man, wenn sich bei gleichbleibender Belastung der Sauerstoffverbrauch auf einem Niveau einstellt. Verschiedene Autoren, wie Taylor, Bollen, Leger und Mitchell gehen davon aus, dass ein VO₂-Steady-State bereits nach zwei Minuten erreicht ist (25,143,162,227). Da in der vorliegenden Untersuchung die 200m Freistilstrecke gewählt wurde, auf der keiner der Probanden eine Bestzeit von unter zwei Minuten aufzuweisen hatte, wurden innerhalb des

gesamten Stufentests Zeiten zwischen 3:45 und 2:15 Minuten realisiert, wobei ca. 75% der Probanden in der letzten Belastungsstufe eine Zeit von 2:30 Minuten oder länger schwammen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass während aller Belastungsstufen immer ein „steady-state“ der Sauerstoffwerte erreicht wurde.

Die vom K4-Spirometer aufgezeichneten VO_2 -Werte wurden in einer Excel-Tabelle dargestellt, sodass sie grafisch aufbereitet werden konnten. Es fand somit die Nachatmungsmethode Anwendung, bei der die Sauerstoffaufnahme bei Belastungsabbruch durch eine negative mathematische Extrapolation errechnet werden kann (54,140,143). Ganz entscheidend für diese Berechnung ist der zeitliche Abstand zwischen Ende der Stufe und Beginn der Aufzeichnungen, welches der Zeit entspricht, die benötigt wird, dem Schwimmer die Maske aufzusetzen. Diese Verzögerung wurde mit einer digitalen Handstoppuhr der Firma Schütt (PC 90 Sport Timer; Schütt GmbH; Marburg; Deutschland) gemessen und im Versuchsprotokoll notiert.

2.6.3.2.1 Exponentielle negative Extrapolation

Die exponentielle negative Extrapolation wurde nach der Formel

$$y = ae^{-bx}$$

vorgenommen (54,140,143).

Dabei beschreibt die Variable y die zu errechnende Sauerstoffaufnahme. Die Euler'sche Zahl (e = natürlicher Logarithmus) wird dazu mit dem Produkt aus der negativen Steigung ($-b$) und der Anzahl der zu extrapolierenden Intervalle (x) potenziert. Der errechnete Wert wird dann mit der Variablen a multipliziert, die den ersten realen VO_2 -Wert, der vom spirometrischen System erfasst wurde, entspricht (143).

2.6.3.2.2 Lineare negative Extrapolation

Die lineare negative Extrapolation wurde nach der Formel

$$y = -ax+b$$

vorgenommen.

Dabei beschreibt die Variable y die zu errechnende Sauerstoffaufnahme. Dazu wird das Produkt aus dem ersten realen VO_2 -Wert, der vom spirometrischen System erfasst wurde (a) und der Anzahl der zu extrapolierenden Intervalle (x) gebildet, mit der Steigung (b) addiert und mit einem negativen Vorzeichen zum Ausdruck der negativen Steigung versehen (143).

2.7 Ökonomische Parameter

2.7.1 Bestimmung der „Energy Cost“ (Cs)

Zum Differenzieren des Energieaufwandes zwischen den drei Versuchsdurchgängen innerhalb eines Jahres, eignet sich die Berechnung der „energy cost of swimming“ (Cs). Cs wird entweder in Kilojoule pro Meter [kJ/m] oder Joule pro Meter [J/m] ausgedrückt und wird von Capelli et al. (38) aus der aufgewendeten Energie „E“ (kJ oder J) und der zurückgelegten Distanz „d“ (m) errechnet. Dabei ergibt sich folgende Formel:

$$C_s = \frac{E}{d}$$

Für Belastungen unterhalb der individuellen aerob-anaeroben Schwelle wird E über VO_2 und das respiratorische Äquivalent wie folgt bestimmt (53,74):

$$E = ((4,94 \times RQ) + 16,04) \times VO_2$$

Daraus ergibt sich bei einem RQ von 0,98 folgendes Ergebnis:

$$E = 20,9 \times VO_2$$

Oberhalb der IAS kann der Energieverbrauch nicht mehr ausschließlich über die VO_2 bestimmt werden. Während einer online Spirometrie wäre es dennoch möglich über die erfasste CO_2 Abgabe den RQ für die jeweilige Belastung zu ermitteln und so die oben genannte Formel anzuwenden. Die in der vorliegenden Studie verwendete Nachatmungsmethode lässt allerdings nur eine Rückrechnung („backward extrapolation“) der VO_2 -Werte zu (54,140,143), sodass der anaerobe Anteil der Energiebereitstellung, unterteilt in laktazid (Eanlac) und alaktazid (Eanalac) errechnet und zur aeroben Energiebereitstellung hinzuaddiert werden muss (38,39,40,72,155).

$$E = E_{anlac} + E_{analac} + E_{aer}$$

Nach Capelli (38) ergibt sich daraus folgende Berechnungsgrundlage:

$$E = (\beta Lac_{net} + 0,393 \frac{kJ}{kg})m + \alpha VO_2 pt + \alpha VO_2 \tau (1 - e^{-pt/\tau})$$

E = Energie

β = Energieäquivalent der Laktatakkumulation = 0,0689 kJ pro kg,

Lac net = Laktatkonzentration oberhalb des Ruhewertes,

0,393 = Energieäquivalent für die Kreatinphosphatspaltung,

m = Körpergewicht,

α = Energieäquivalent der VO_2 ,

pt = performance time (sec),

τ = Zeitkonstante von 24 sec

e = Euler'sche Zahl

2.7.2 Berechnung des „stroke efficiency index“ (SEI)

Von einigen Autoren wird der Zusammenhang zwischen Zuglänge und Schwimmgeschwindigkeit als ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Technik dargestellt (8,43,46,54,56,120,178,218).

Smith et al. (218) legen dabei folgenden Zusammenhang zu Grunde:

$$\text{Zuglänge (m)} = \frac{\text{Schwimmgeschwindigkeit (m/s)}}{\text{SEI}}$$

Der „stroke efficiency index“ wird dann errechnet aus:

$$\text{Zuglänge} * \text{Schwimmgeschwindigkeit} = \text{SEI}$$

Nach Smith et al. (217) kann somit für einen Schwimmer, der eine größere Zuglänge bei einer gegebenen Geschwindigkeit realisiert, eine effektivere Technik postuliert werden. Dies drückt sich folglich in einem höheren Wert des SEI aus.

2.7.3 Bestimmung der Armzugfrequenz und Zeitmessung

Zur Bestimmung der Armzugfrequenz in den jeweils letzten 30 Sekunden jeder Belastungsstufe wurde die digitale Sport Timer Handstoppuhr der Firma Schütt (PC 90 Sport Timer; Schütt GmbH; Marburg; Deutschland) verwendet. Die Handstoppuhr erlaubt es, die Armzugfrequenz pro Minute durch die Messung von nur drei Armzyklen zu bestimmen. Die Uhr errechnet dabei auf der Basis der Zeit, die vom Schwimmer für drei Zyklen aufgebracht werden muss, die Anzahl der Zyklen pro Minute, die Zugfrequenz genannt wird. Der Untersucher setzt dafür den ersten Marker bei Beginn eines Zyklus, wenn eine Hand auf die Wasseroberfläche schlägt und den zweiten Marker, wenn der Proband nach Abschluss von drei vollständigen Armzyklen mit derselben Hand das Wasser berührt.

2.7.4 Schwimmökonomie $\Delta VO_2 / \Delta v$

Zur Berechnung des $\Delta VO_2 / \Delta v$ wurde die Geschwindigkeitsänderung zwischen zwei Belastungsstufen durch den jeweiligen Sauerstoffmehrverbrauch dividiert.

2.8 Allgemeine Messapparaturen

2.8.1 Schwimmbecken

Alle Untersuchungen wurden in dem Stahlbecken des Olympiastützpunktes (OSP) Hamburg/Schleswig Holstein vorgenommen (Größe: 50 x 21 x 1,8m; Berndorff GmbH, Rheine, Deutschland). Das Becken ist in sechs 50m Bahnen aufteilbar und weist eine Wassertemperatur von 27°C auf (262; Abbildung 10).



Abbildung 10: Das Schwimmbecken im Olympiastützpunktes Hamburg/Schleswig Holstein

2.8.2 Bestimmung von Körperfett und Gewicht

Das Körpergewicht der Probanden wurde an zwei Zeitpunkten bestimmt:

- direkt vor jedem Testdurchgang, um eine Errechnung der relativen Sauerstoffaufnahme zu ermöglichen
- während der Erhebung der Parameter zur Bestimmung des biologischen Alters

In beiden Fällen wurde das Gewicht durch eine elektronische Personenwaage mit Maximalbelastung 150kg und einer Messgenauigkeit von 100g (TANITA-Body Fat Monitor; TBF-622; TANITA Corporation; Tokio; Japan) bestimmt.

Der prozentuale Anteil des Körperfetts im Verhältnis zur gesamten Körpermasse wurde mit Hilfe einer Fettzange (Baty International, West Sussex, Großbritannien) bestimmt. Dabei wird mit der Kalipermetrie nach Parizkova (175,176) die Hautfaltendicke an zehn definierten Stellen des Körpers gemessen (Siehe Abbildung 11). Der durch die Addition aller zehn Messwerte ermittelte Wert ermöglicht auf einer alters- und geschlechtsabhängigen Tabelle, den zugehörigen Prozentsatz Körperfett abzulesen.

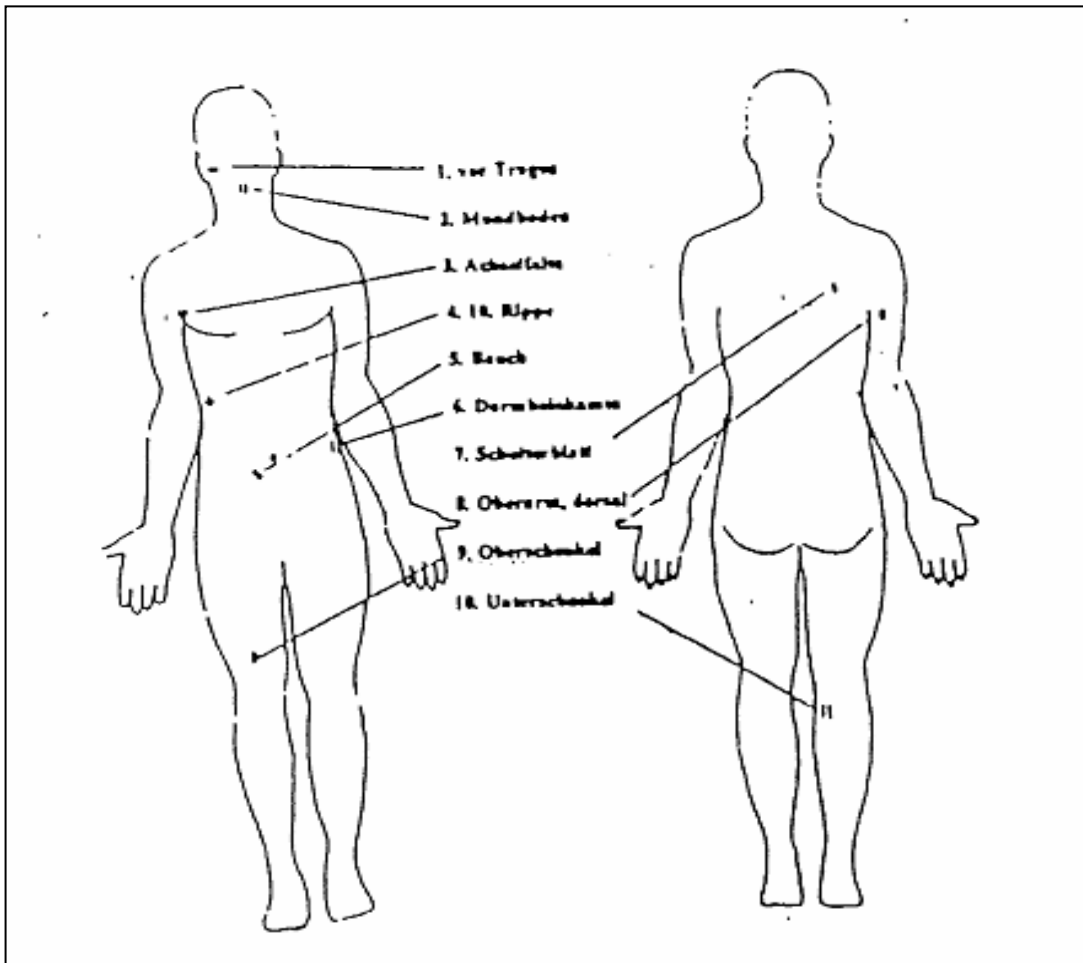


Abbildung 11: Messpunkte der Kalipermetrie nach Parizkova (175,176)

2.8.3 Zeitmessung

Zur Zeitmessung wurde die digitale Sport Timer Handstoppuhr der Firma Schütt (PC 90 Sport Timer; Schütt GmbH; Marburg; Deutschland) verwendet.

2.9 Versuchsablauf

2.9.1 Allgemeine Vorbereitung der Geräte

An jedem Testtag wurde das Spirometer vor Inbetriebnahme 45 Minuten am Netzgerät aufgewärmt. Dazu wurde das Netzgerät direkt über eine Steckdose in der Schwimmhalle mit Strom versorgt. Außerdem wurde der Akku für den aktuellen Test und die Ersatzakkus an ihrer Aufladestation geladen. Nach Erreichen einer Innentemperatur des Spirometers von über 35°C wurde ein Akku an die tragbare Einheit angeschlossen und nach 10-minütiger Wartezeit das Gerät kalibriert. Vor der ersten Kalibration eines Tages wurden die Kalibrationsfaktoren auf die Werkseinstellung („Baseline“) zurückgesetzt. Es waren verschiedene Kalibrationen notwendig (52):

Raumluftkalibration: Diese Kalibration musste vor jedem Test durchgeführt werden und besteht aus einer automatisch vom Gerät durchgeführten Messung der Konzentration der Raumluft, der Festlegung des Nullpunktes des CO₂ Analysators und der Verstärkung des O₂ Analysators, sodass die Messergebnisse mit den bekannten Werten der Raumluft übereinstimmen (d.h. 20,93% O₂ und 0,03% CO₂).

Gaskalibration: Diese Kalibration musste einmal täglich bzw. nach jeder Messpause größer eine Stunde mit einem bekannten Gasgemisch durchgeführt werden. Der Nullpunkt und die Verstärkung der Analysatoren werden dabei neu festgelegt, sodass die Ergebnisse mit den vorhergesehenen Werten übereinstimmen.

Turbinenkalibration: Diese Kalibration musste einmal täglich pro Testtag durchgeführt werden. Die Prozedur wird mit einer 3 Liter Kalibrationspumpe durchgeführt. Es wird das Volumen abgeglichen und die Verstärkung des Flussmeters festgestellt, sodass die Ergebnisse mit dem theoretischen Wert übereinstimmen.

Gas Delay Kalibration: Diese Kalibration musste einmal täglich pro Testtag durchgeführt werden. Diese Prozedur ist für die Messung der für das Gasgemisch notwendigen Zeit, um durch den Sampling-Schlauch zum Analysator zu strömen, notwendig.

Der Stoffwechsellmessplatz wurde am Startblock der immer identischen Untersuchungsbahn positioniert. Anschließend wurde dem Assistenten des Versuchsleiters der Tragegurt, an welchem sich die tragbare Einheit des Spirometers und dessen Akku befand angelegt. Tupfer, Lancetten, Röhrchen und Behälter mit Systemflüssigkeit zur Laktatentnahme, Versuchsprotokoll, Stoppuhr und Frequenzuhr wurden auf einem Versuchstisch nahe dem Becken platziert.

2.9.2 Vorbereitung bei jedem einzelnen Probanden

Jeder Proband wurde zu Beginn seiner Testreihe ausführlich über den Ablauf des Stufentests, die geplanten Untersuchungen, die Blutentnahmen informiert und es wurden Fragen der Probanden geklärt. Nach dem Unterschreiben der schriftlichen Einverständniserklärung wurden die Probanden gewogen und der Anteil Körperfett mit der Kalipermetrie nach Parizkova (175,176) bestimmt. Danach wurden die Probandendaten (Testnummer, Alter, Geschlecht, Gewicht) und die aktuelle Luftfeuchtigkeit in das Spirometriesystem eingegeben und die vor jedem Test obligatorisch notwendige Raumluftkalibration durchgeführt. Anschließend wurde die für den Probanden richtige Größe der Gesichtsmaske (Größe 4 – 6) angepasst und die respiratorischen Ruhewerte ca. 60 Sekunden vom Spirometriesystem erfasst (Abbildung 12). Außerdem wurde aus dem hyperämisierten Ohrläppchen ein Tropfen Blut für die Ruhelaktatbestimmung entnommen. Danach fand eine kurze, individuelle Erwärmung des Probanden an Land und ein 200m langes Einschwimmen statt. Die Geschwindigkeit entsprach für die Versuchsgruppe dabei ungefähr der Geschwindigkeit der ersten Belastungsstufe. Für die Kontrollgruppe gab es keine Geschwindigkeitsvorgabe, da für diese Gruppe die erste Stufe schon eine zu hohe Belastung darstellen konnte.



Abbildung 12: Messung der respiratorischen Werte vor der Belastung.

2.9.3 Ablauf des Stufentests

Alle Probanden hatten einen standardisierten und randomisierten Schwimmstufentest an drei verschiedenen Testzeitpunkten in der Schwimmlage Freistil zu absolvieren, wobei zwischen den Tests jeweils ein zeitlicher Unterschied von sechs Monaten lag. Alle Tests wurden jeweils zwischen 8.00 Uhr - 17.00 Uhr durchgeführt und es wurde in einem Zeitraum von jeweils 10 Tagen getestet (März/April 2002, September/Oktober 2002 und März/April 2003). Die Streckenlänge jeder Stufe betrug 200m und als Untersuchungsbecken diente das Stahlbecken des Olympiastützpunktes Hamburg/Schleswig Holstein (262).

Der Test startete mit der ersten Geschwindigkeitsstufe. Dazu lief der Untersucher mit dem Laufrad zur Geschwindigkeitskontrolle in der jeweiligen Stufenge-

schwindigkeit los und gab so dem Schwimmer die Geschwindigkeit vor (Abbildung 13). Während der Stufe wurden die Zeiten für die 50m Teilstrecken und die Zyklusfrequenz erfasst. Die Pause begann mit dem Anschlag des Probanden am Beckenrand. Sofort wurde ihm die Spirometermaske aufgesetzt und die Herzfrequenz ermittelt. Außerdem wurde die Zeit zwischen dem Beginn der Pause und dem Aufsetzen der Atemmaske gestoppt. Während der Pause wurde Kapillarblut zur Laktatbestimmung entnommen, die 50m Teilstreckenzeiten, die genaue Schwimmzeit, die Verzögerungszeit durch das Aufsetzen der Maske und die Herzfrequenz im Testprotokoll notiert. Nach 90 Sekunden startete der Proband mit der nächsten Geschwindigkeitsstufe.



Abbildung 13: Schieben des Laufrads auf Kopfhöhe des Schwimmers.

Nach Beendigung der letzten Stufe begann eine siebenminütige Nachbelastungsphase. In den ersten drei Minuten der Nachbelastungsphase wurde der O_2 Verbrauch spirometrisch erfasst und nach der 1., 4. und 7. Minute Kapillarblut entnommen und die Herzfrequenz gemessen (Abbildung 14).



Abbildung 14: Messung der Sauerstoffwerte und Blutabnahme zur Laktatbestimmung in den Belastungspause.

Insgesamt wurden während des Tests die Parameter Schwimmzeit, Zyklusfrequenz, Herzfrequenz, Blutlaktat und Sauerstoffaufnahme erfasst (siehe Abbildung 15).

Im Text sowie in den grafischen und tabellarischen Abbildungen werden folgende Symbole verwendet:

$p > 0,05$ = (n.s.)

$p \leq 0,05$ = (*)

$p \leq 0,01$ = (**)

$p \leq 0,001$ = (***)

(n.s. = nicht signifikant)

2.10.1 Faktorenanalyse

Zur Faktorenanalyse wurde eine rotierte Komponentenmatrix erstellt. Die Extraktionsmethode bestand in einer Hauptkomponentenanalyse und die Rotationsmethode wurde durch eine Varimax mit Kaiser-Normalisierung durchgeführt. Für diesen Teil der statistischen Auswertung wurde das Programm SPSS (Version 10,0; SPSS GmbH Software; München; Deutschland) verwendet. Als ausreichend hohe Faktorenladung, um zur Interpretation der Komponente herangezogen zu werden, wurde ein Wert ab 0,6 festgelegt (27).

2.10.2 Multiple Regressionsanalyse und Schätzgleichung

Bei der multiplen Regressionsanalyse wurden als zu erklärendes Kriterium die FINA-Punkte gewählt, welche durch die Prädikatoren (metabolische-, ökonomische- und anthropometrische Variablen) erklärt werden. Die Schätzvariable (Kriterium) wurde durch die Summe der beitragenden Prädikatoren beschrieben. Den Prädikatoren wurden hierzu Beta-Gewichte als Koeffizienten zugeordnet, die ungleich der Einzelkorrelationskoeffizienten sind. Die Einzelvarianzaufklärung der Prädikatoren an der Gesamtvarianzaufklärung (R^2) gelang durch das Quadrat des Strukturkoeffizienten $(r/R)^2$ (75). Die Schätzgleichung wurde mittels einer Standard Prozedur in SPSS (Statistik / Regression / linear / feste Variablen) erstellt und basiert auf der Grundlage von Diehl et al. (75).

2.10.3 Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte

Zur Normierung der Verbesserungen in den einzelnen Variablen wurde das jeweilige prozentuale Delta zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang mit dem Delta der FINA-Punkte multipliziert.

2.11 Kritik an der Methode

Die Geschwindigkeitskontrolle über ein Laufrad, das vom Untersucher am Beckenrand geschoben wurde, birgt die Gefahr einer ungenauen Zeitvorgabe, da schon eine geringfügig höhere oder niedrigere Geschwindigkeit über 200m zu einer nicht zufriedenstellenden Endzeit hätte führen können. Daher wurde nicht nur auf die Einhaltung der Geschwindigkeit so genau wie möglich geachtet, sondern auch alle 50m durch eine Zwischenzeitnahme die Durchschnittsgeschwindigkeit auf Richtigkeit kontrolliert.

Während drei Testdurchgängen innerhalb eines Jahres kann davon ausgegangen werden, dass gerade bei heranwachsenden Kindern, auf jene viele Umwelteinflüsse wirken, das Probandengut mehr als üblich durch Ausfälle belastet wird. Daher wurden alle Kaderathleten im relevanten Alter des Hamburger Auswahltrainings sowie eine möglichst große, homogen trainierende Kontrollgruppe getestet. Weitere Probleme könnten in der Abweichung von biologischem und kalendarischem Alter und in der oftmals unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeit bei einem jugendlichem Probandengut auftreten. Allerdings wird aus Tabelle 11 bis 13 ersichtlich, dass bei der Größe und dem Gewicht zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe vom 1. bis zum 3. Test keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden konnten.

Die über Palpation erfolgte Pulsmessung birgt die Gefahr einer Ungenauigkeit gegenüber einer Messung mit einem Herzfrequenzmesssystem, welches über einen am Körper befestigten Gurt erfolgt. Allerdings ist die Befestigung des Gurtes an schlanken, teilweise relativ kleinen Körpern der jugendlichen Probanden problematisch. Zur Erhöhung der Genauigkeit wurde die Palpation der Herzfre-

quenz sofort nach dem Anschlag von dem Untersucher durchgeführt. Auch in anderen Untersuchungen wurde die Messung der Herzfrequenz im Anschluss an die Belastung durchgeführt, wobei als Argument angegeben wurde, dass in den ersten Sekunden nach einer Belastung kein signifikanter Abfall zu beobachten sei (36,81,166).

Zur negativen mathematischen Extrapolation musste der Zeitpunkt der ersten realistischen Messwerte der VO_2 bestimmt werden. Die Unterscheidung zwischen korrekten Messwerten und Artefakten gestaltete sich dabei teilweise schwierig. Ein Hilfsmittel zur Überprüfung der Richtigkeit der VO_2 Werte, stellte die Messung der Atemtiefe (VT) dar. Außerdem wurden zur Extrapolation Werte über einen Zeitraum von über eine Minute einbezogen, so dass der Einfluss von Artefakten auf die Genauigkeit der Messwerte als gering zu betrachten ist.

3 Ergebnisse

3.1 Probandengut

In Kapitel 3.1.1 erfolgt die Darstellung der Versuchs-, Kontroll-, Ausdauer-, Sprintgruppe und die geschlechtliche Verteilung. In Kapitel 3.1.2 werden die Versuchs- und Kontrollgruppe während der jeweiligen Testdurchgänge miteinander verglichen. Selbiges wird in Kapitel 3.1.3 mit der Ausdauer- und Sprintgruppe durchgeführt.

3.1.1 Entwicklung innerhalb der Versuchs-, Kontroll-, Ausdauer- und Sprintgruppe

Betrachtet man die anthropometrischen Daten und den Trainingsstatus der Versuchgruppe, können lediglich signifikant höhere Werte für das Alter ($p \leq 0,01$), die Trainingsjahren ($p \leq 0,05$) und die wöchentlichen Trainingsstunden ($p \leq 0,05$) beim dritten im Vergleich zum ersten Testdurchgang festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller Probanden der Versuchsgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	13,1	164,5	50,0	13,6	6,1	6,7	11,5
2. Test	13,6	167,5	53,6	13,4	6,6	7,1	14,1
3. Test	14,1	170,8	55,6	12,3	7,1	7,4	14,9
Standardabweichung [SD]							
1. Test	1,0	11,3	10,3	3,1	1,2	1,9	3,6
2. Test	1,0	12,3	10,8	3,0	1,2	1,7	3,4
3. Test	1,0	11,8	10,8	3,2	1,2	1,5	3,0
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,3	3,0	2,8	0,8	0,3	0,5	1,0
2. Test	0,3	3,3	2,9	0,8	0,3	0,5	0,9
3. Test	0,3	3,2	2,9	0,9	0,3	0,4	0,8
Anzahl [n]							
1. Test	14	14	14	14	14	14	14
2. Test	14	14	14	14	14	14	14
3. Test	14	14	14	14	14	14	14
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*

Der Vergleich der anthropometrischen Daten und des Trainingsstatus der Kontrollgruppe, macht lediglich einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$) beim Alter, dem Gewicht ($p \leq 0,05$) und den Trainingsjahren (TJ; $p \leq 0,01$) zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang deutlich. Dabei waren jeweils beim dritten höhere Werte als beim ersten Test nachzuweisen. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller Probanden der Kontrollgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainingsjahre)	TE (Trainingseinheit/Woche)	TS (Trainingsstunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	12,9	160,5	47,9	15,6	3,9	2,9	4,4
2. Test	13,4	164,4	52,9	15,6	4,4	2,9	4,4
3. Test	13,9	166,4	54,3	16,0	4,9	2,8	4,3
Standardabweichung [SD]							
1. Test	1,0	12,4	7,6	4,9	0,9	0,8	1,2
2. Test	1,0	11,2	8,3	4,9	0,9	0,9	1,4
3. Test	1,0	11,7	9,6	4,3	0,9	1,1	1,6
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,3	3,1	1,9	1,2	0,2	0,2	0,3
2. Test	0,3	2,8	2,1	1,2	0,2	0,2	0,4
3. Test	0,3	2,9	2,4	1,1	0,2	0,3	0,4
Anzahl [n]							
1. Test	16	16	16	16	16	16	16
2. Test	16	16	16	16	16	16	16
3. Test	16	16	16	16	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	*	n.s.	*	n.s.	**	n.s.	n.s.

Betrachtet man die anthropometrischen Daten und den Trainingsstatus der männlichen Probanden der Versuchgruppe, können lediglich signifikant höhere Werte für das Alter ($p \leq 0,01$), die Größe ($p \leq 0,05$) und die wöchentlichen Trainingsstunden (TS; $p \leq 0,05$) beim dritten im Vergleich zum ersten Testdurchgang festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller männlichen Probanden der Versuchsgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	13,5	168,6	53,6	11,9	6,6	7,4	12,9
2. Test	14,0	172,7	57,6	11,7	7,1	7,8	15,7
3. Test	14,5	176,6	59,9	10,6	7,6	8,1	16,2
Standardabweichung [SD]							
1. Test	0,5	10,4	9,1	1,9	1,1	1,7	3,3
2. Test	1,1	12,2	11,3	1,2	1,7	2,8	6,3
3. Test	1,3	9,5	6,4	4,8	1,0	2,0	4,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,2	3,5	3,0	0,6	0,4	0,6	1,1
2. Test	0,4	4,1	3,8	0,4	0,6	0,9	2,1
3. Test	0,4	3,2	2,1	1,6	0,3	0,7	1,4
Anzahl [n]							
1. Test	9	9	9	9	9	9	9
2. Test	9	9	9	9	9	9	9
3. Test	9	9	9	9	9	9	9
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*

Betrachtet man die anthropometrischen Daten und den Trainingsstatus der weiblichen Probanden der Versuchsgruppe, kann bei keinem Parameter ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller weiblichen Probanden der Versuchsgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	12,3	157,3	43,5	16,7	5,1	5,3	9,1
2. Test	12,8	158,2	46,4	16,4	5,6	5,7	11,4
3. Test	13,3	160,4	47,8	15,3	6,1	6,2	12,4
Standardabweichung [SD]							
1. Test	1,1	9,8	9,8	2,1	0,5	1,6	3,0
2. Test	1,1	10,1	10,4	2,5	0,5	1,4	2,7
3. Test	1,1	9,1	10,3	2,3	0,5	1,1	2,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,5	4,4	4,4	0,9	0,2	0,7	1,3
2. Test	0,5	4,5	4,6	1,1	0,2	0,6	1,2
3. Test	0,5	4,1	4,6	1,0	0,2	0,5	1,0
Anzahl [n]							
1. Test	5	5	5	5	5	5	5
2. Test	5	5	5	5	5	5	5
3. Test	5	5	5	5	5	5	5
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Betrachtet man die anthropometrischen Daten und den Trainingsstatus der männlichen Probanden der Kontrollgruppe, kann bei keinem Parameter ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller männlichen Probanden der Kontrollgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	13,0	163,8	49,0	14,7	4,2	2,9	4,3
2. Test	13,5	168,0	54,8	14,9	4,7	2,9	4,4
3. Test	14,0	170,7	57,0	15,1	5,2	3,1	4,6
Standardabweichung [SD]							
1. Test	0,9	12,3	6,7	5,0	1,0	0,9	1,4
2. Test	0,9	11,7	9,4	5,3	1,0	1,0	1,5
3. Test	0,9	12,3	10,7	5,3	1,0	1,0	1,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,3	4,1	2,2	1,7	0,3	0,3	0,5
2. Test	0,3	3,9	3,1	1,8	0,3	0,3	0,5
3. Test	0,3	4,1	3,6	1,8	0,3	0,3	0,5
Anzahl [n]							
1. Test	9	9	9	9	9	9	9
2. Test	9	9	9	9	9	9	9
3. Test	9	9	9	9	9	9	9
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Betrachtet man die anthropometrischen Daten und den Trainingsstatus der weiblichen Probanden der Kontrollgruppe, kann nur bei der Anzahl der Trainingsjahre für den dritten im Vergleich zum ersten Testdurchgang ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) aller weiblichen Probanden der Kontrollgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainingsjahre)	TE (Trainingseinheit/Woche)	TS (Trainingsstunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	12,9	156,3	46,4	16,7	3,6	3,0	4,5
2. Test	13,4	159,9	50,6	16,5	4,1	2,9	4,3
3. Test	13,9	161,0	50,9	17,1	4,6	2,6	3,9
Standardabweichung [SD]							
1. Test	1,4	12,0	8,9	4,9	0,8	0,6	0,9
2. Test	1,4	9,3	6,7	4,6	0,8	0,9	1,3
3. Test	1,4	9,0	7,1	2,4	0,7	1,3	1,9
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,5	4,5	3,4	1,9	0,3	0,2	0,3
2. Test	0,5	3,5	2,5	1,7	0,3	0,3	0,5
3. Test	0,5	3,4	2,7	0,9	0,3	0,5	0,7
Anzahl [n]							
1. Test	7	7	7	7	7	7	7
2. Test	7	7	7	7	7	7	7
3. Test	7	7	7	7	7	7	7
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

Bei den anthropometrischen Werten und dem Trainingsstatus konnten im Verlauf der drei Testdurchgänge weder bei den AU noch bei den SP signifikante Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 9 und 10).

Tabelle 9: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) der Ausdauergruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainingsjahre)	TE (Trainingseinheit/Woche)	TS (Trainingsstunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	12,9	159,3	45,5	13,7	6,1	6,1	10,6
2. Test	13,4	161,8	48,2	13,4	6,6	6,8	13,6
3. Test	13,9	166,0	50,8	11,8	7,1	7,3	14,6
Standardabweichung [SD]							
1. Test	1,0	6,5	7,8	3,3	1,4	1,8	3,3
2. Test	1,0	7,6	8,4	2,4	1,4	1,7	3,3
3. Test	1,0	7,6	9,3	2,9	1,4	1,6	3,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,4	2,4	3,0	1,2	0,5	0,7	1,3
2. Test	0,4	2,9	3,2	0,9	0,5	0,6	1,3
3. Test	0,4	2,9	3,5	1,1	0,5	0,6	1,2
Anzahl [n]							
1. Test	7	7	7	7	7	7	7
2. Test	7	7	7	7	7	7	7
3. Test	7	7	7	7	7	7	7
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 10: Alter (Jahre), Größe (cm), Gewicht (kg), Körperfettanteil (Prozent), Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten pro Woche (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) der Sprintgruppe.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainingsjahre)	TE (Trainingseinheit/Woche)	TS (Trainingsstunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test	13,3	169,7	54,6	13,7	6,0	7,1	12,2
2. Test	13,8	172,9	58,3	13,7	6,5	7,3	14,5
3. Test	14,3	175,2	59,6	13,0	7,0	7,5	15,0
Standardabweichung [SD]							
1. Test	1,0	9,3	12,1	3,2	1,1	2,2	4,2
2. Test	1,03	9,65	11,43	3,97	1,10	1,99	3,99
3. Test	1,0	9,6	11,4	4,0	1,1	1,6	3,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,42	4	4,95	1,33	0,45	0,92	1,72
2. Test	0,4	3,9	4,7	1,6	0,4	0,8	1,6
3. Test	0,42	3,92	4,66	1,63	0,45	0,67	1,34
Anzahl [n]							
1. Test	6	6	6	6	6	6	6
2. Test	6	6	6	6	6	6	6
3. Test	6	6	6	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

3.1.2 Vergleich zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe

Zur Darstellung des Unterschiedes zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe bezüglich des Trainingsstatus bei ähnlichem Alter, Größe und Gewicht werden diese Parameter im Folgenden auf allen Testdurchgängen miteinander verglichen.

Bei den biologischen Werten Alter, Größe, Gewicht und Körperfettanteil können zwischen der VG und KG keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden. Bei den Parametern Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) liegen die Werte der VG jedoch signifikant höher als die der KG ($p \leq 0,001$; siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus (Trainingsjahre [TJ], Trainingseinheiten pro Woche [TE] und Trainingsstunden pro Woche [TS]) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während des ersten Testdurchgangs.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test VG	13,1	164,5	50,0	13,6	6,1	6,7	11,5
1. Test KG	12,9	160,5	47,9	15,6	3,9	2,9	4,4
Standardabweichung [SD]							
1. Test VG	1,0	11,3	10,3	3,1	1,2	1,9	3,6
1. Test KG	1,0	12,4	7,6	4,9	0,9	0,8	1,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test VG	0,3	3,0	2,8	0,8	0,3	0,5	1,0
1. Test KG	0,3	3,1	1,9	1,2	0,2	0,2	0,3
Anzahl [n]							
1. Test VG	14	14	14	14	14	14	14
1. Test KG	16	16	16	16	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***

Bei den biologischen Werten Alter, Größe, Gewicht und Körperfettanteil konnten zwischen den VG und KG keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden. Bei den Parametern Trainingsjahre (TJ), Trainingseinheiten (TE) und Trainingsstunden pro Woche (TS) liegen die Werte der VG jedoch signifikant höher als die der KG ($p \leq 0,001$; siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus (Trainingsjahre [TJ], Trainingseinheiten pro Woche [TE] und Trainingsstunden pro Woche [TS]) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während des zweiten Testdurchgangs.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
2. Test VG	13,6	167,5	53,6	13,4	6,6	7,1	14,1
2. Test KG	13,4	164,4	52,9	15,6	4,4	2,9	4,4
Standardabweichung [SD]							
2. Test VG	1,0	12,3	10,8	3,0	1,2	1,7	3,4
2. Test KG	1,0	11,2	8,3	4,9	0,9	0,9	1,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
2. Test VG	0,3	3,3	2,9	0,8	0,3	0,5	0,9
2. Test KG	0,3	2,8	2,1	1,2	0,2	0,2	0,4
Anzahl [n]							
2. Test VG	14	14	14	14	14	14	14
2. Test KG	16	16	16	16	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***

Bei den biologischen Werten Alter, Größe und Gewicht konnte zwischen den VG und KG keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden. Bei Trainingsjahren (TJ), Trainingseinheiten (TE), Trainingsstunden pro Woche (TS) bestehen wie schon im ersten und zweiten Testdurchgang signifikante Unterschiede ($p \leq 0,001$). Im dritten Testdurchgang ist zusätzlich ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) der VG gegenüber der KG bei den Körperfettwerten festzustellen (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus (Trainingsjahre [TJ], Trainingseinheiten pro Woche [TE] und Trainingsstunden pro Woche [TS]) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während des dritten Testdurchgangs.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
3. Test VG	14,1	170,8	55,6	12,3	7,1	7,4	14,9
3. Test KG	13,9	166,4	54,3	16,0	4,9	2,8	4,3
Standardabweichung [SD]							
3. Test VG	1,0	11,8	10,8	3,2	1,2	1,5	3,0
3. Test KG	1,0	11,7	9,6	4,3	0,9	1,1	1,6
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
3. Test VG	0,3	3,2	2,9	0,9	0,3	0,4	0,8
3. Test KG	0,3	2,9	2,4	1,1	0,2	0,3	0,4
Anzahl [n]							
3. Test VG	14	14	14	14	14	14	14
3. Test KG	16	16	16	16	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	*	***	***	***

Insgesamt kann beim Vergleich zwischen den VG und KG festgestellt werden, dass sich die biologischen Werte Alter, Größe, Gewicht und Körperfett bei allen drei Testdurchgängen mit einer Ausnahme (Körperfett-Werte im dritten Testdurchgang: $p \leq 0,05$) nicht signifikant unterscheiden ($p > 0,05$). Die im Zusammenhang mit dem Training stehenden Werte Trainingsjahre, Trainingseinheiten- und Trainingsstunden pro Woche unterscheiden sich hingegen immer signifikant voneinander ($p \leq 0,001$).

3.1.3 Vergleich zwischen der Ausdauer- und der Sprintgruppe

Bei den anthropometrischen Werten und dem Trainingsstatus konnte zwischen den AU und SP im ersten Testdurchgang nur bei der Größe signifikant höhere Werte ($p \leq 0,05$) der SP im Vergleich mit der Gruppe AU festgestellt werden (siehe Tabelle 14). Ansonsten gab es keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$).

Tabelle 14: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus (Trainingsjahre [TJ], der Trainingseinheiten pro Woche [TE] und der Trainingsstunden pro Woche [TS]) zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP) während des ersten Testdurchgangs.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainings- jahre)	TE (Trainings- einheit/Woche)	TS (Trainings- stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
1. Test AU	12,9	159,3	45,5	13,7	6,1	6,1	10,6
1. Test SP	13,3	169,7	54,6	13,7	6,0	7,1	12,2
Standardabweichung [SD]							
1. Test AU	1,0	6,5	7,8	3,3	1,4	1,8	3,3
1. Test SP	1,0	9,3	12,1	3,2	1,1	2,2	4,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test AU	0,4	2,4	3,0	1,2	0,5	0,7	1,3
1. Test SP	0,4	3,8	4,9	1,3	0,4	0,9	1,7
Anzahl [n]							
1. Test AU	7	7	7	7	7	7	7
1. Test SP	6	6	6	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Bei den anthropometrischen Werten und dem Trainingsstatus konnte zwischen den AU und SP im zweiten Testdurchgang nur bei der Größe und dem Gewicht signifikant höhere Werte ($p \leq 0,05$) für die SP festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP) während des zweiten Testdurchgangs.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainingsjahre)	TE (Trainings-einheit/Woche)	TS (Trainings-stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
2. Test AU	13,4	161,8	48,2	13,4	6,6	6,8	13,6
2. Test SP	13,8	172,9	58,3	13,7	6,5	7,3	14,5
Standardabweichung [SD]							
2. Test AU	1,0	7,6	8,4	2,4	1,4	1,7	3,3
2. Test SP	1,0	9,6	11,4	4,0	1,1	2,0	4,0
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
2. Test AU	0,4	2,9	3,2	0,9	0,5	0,6	1,3
2. Test SP	0,4	3,9	4,7	1,6	0,4	0,8	1,6
Anzahl [n]							
2. Test AU	7	7	7	7	7	7	7
2. Test SP	6	6	6	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Bei den anthropometrischen Werten und dem Trainingsstatus konnte zwischen den AU und SP im dritten Testdurchgang nur bei der Größe und dem Gewicht signifikant höhere Werte ($p \leq 0,05$) für die SP festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Vergleich der anthropometrischen Werte und des Trainingsstatus zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP) während des dritten Testdurchgangs.

	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)	Körperfett (Prozent)	TJ (Trainingsjahre)	TE (Trainings-einheit/Woche)	TS (Trainings-stunden/Woche)
Mittelwert [MW]							
3. Test AU	13,9	166,0	50,8	11,8	7,1	7,3	14,6
3. Test SP	14,3	175,2	59,6	13,0	7,0	7,5	15,0
Standardabweichung [SD]							
3. Test AU	1,0	7,6	9,3	2,9	1,4	1,6	3,2
3. Test SP	1,0	9,6	11,4	4,0	1,1	1,6	3,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
3. Test AU	0,4	2,9	3,5	1,1	0,5	0,6	1,2
3. Test SP	0,4	3,9	4,7	1,6	0,4	0,7	1,3
Anzahl [n]							
3. Test AU	7	7	7	7	7	7	7
3. Test SP	6	6	6	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

3.2 Bestimmung der anthropometrischen Daten und der aktuellen Leistungsfähigkeit

In den Tabellen über die finale Körperhöhe (Finale KH), der Punkte im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwimmerischen Leistung (Punkte Leistung; Tabellen 17 bis 21), soll einerseits die Homogenität innerhalb der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe und andererseits die Unterschiede zwischen der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe während der drei Testdurchgänge dargestellt werden.

Bei der finalen KH, der Punkte KB und der Punkte Leistung konnten bei der VG zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Vergleich der finalen Körperhöhe (Finale KH), der Punkte im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwimmerischen Leistung (Punkte Leistung) der Versuchsgruppe (VG) zwischen dem ersten bis dritten Testdurchgang.

Versuchsgruppe	Finale Körperhöhe (cm)	Körperbau (Punkte)	Leistung (Punkte)
Mittelwert [MW]			
1. Test	177,7	10,4	14,2
2. Test	178,2	10,0	14,7
3. Test	177,9	10,4	14,8
Standartabweichung [SD]			
1. Test	7,7	2,6	4,3
2. Test	8,1	3,6	3,0
3. Test	8,1	3,8	2,5
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]			
1. Test	2,1	0,7	1,2
2. Test	2,2	1,0	0,8
3. Test	2,2	1,1	0,7
Anzahl [n]			
1. Test	14	14	14
2. Test	14	13	13
3. Test	14	13	13
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.

Bei der finalen KH, der Punkte KB und der Punkte Leistung konnten bei der KG zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Vergleich der finalen Körperhöhe (Finale KH), der Punkte im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwimmerischen Leistung (Punkte Leistung) der Kontrollgruppe (KG) zwischen dem ersten bis dritten Testdurchgang.

Kontrollgruppe	Finale Körperhöhe (cm)	Körperbau (Punkte)	Leistung (Punkte)
Mittelwert [MW]			
1. Test	175,3	7,2	4,0
2. Test	176,2	7,4	4,4
3. Test	176,1	8,1	4,6
Standartabweichung [SD]			
1. Test	9,7	3,7	3,5
2. Test	9,8	3,3	4,4
3. Test	9,9	3,9	4,7
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]			
1. Test	2,4	0,9	0,9
2. Test	2,4	0,8	1,1
3. Test	2,5	1,0	1,2
Anzahl [n]			
1. Test	16	16	16
2. Test	16	16	16
3. Test	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der aufgrund von gemessenen Körpermaßen berechneten finalen Körperhöhe konnte zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe bei keinem Testdurchgang signifikante Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden, wohingegen die Punkte für einen schwimmgünstigen Körperbau und die Punkte der aktuellen altersspezifischen, schwimmerischen Leistungsfähigkeit bei der Versuchsgruppe in jedem Testdurchgang signifikant höher ($p \leq 0,05$ bzw. $p \leq 0,001$) als bei der Kontrollgruppe lagen (siehe Tabellen 19-21).

Tabellen 19-21: Vergleich der finalen Körperhöhe (Finale KH), der Punkte im Körperbau (Punkte KB) und der Punkte der aktuellen schwimmerischen Leistung (Punkte Leistung) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) während der drei Testdurchgänge.

	Finale Körperhöhe (cm)	Körperbau (Punkte)	Leistung (Punkte)
Mittelwert [MW]			
1. Test VG	177,7	10,4	14,2
1. Test KG	175,3	7,2	4,0
Standartabweichung [SD]			
1. Test VG	7,7	2,6	4,3
1. Test KG	9,7	3,7	3,5
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]			
1. Test VG	2,1	0,7	1,2
1. Test KG	2,4	0,9	0,9
Anzahl [n]			
1. Test VG	14	14	14
1. Test KG	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	*	**

	Finale Körperhöhe (cm)	Körperbau (Punkte)	Leistung (Punkte)
Mittelwert [MW]			
2. Test VG	178,2	10,0	14,7
2. Test KG	176,2	7,4	4,4
Standartabweichung [SD]			
2. Test VG	8,1	3,6	3,0
2. Test KG	9,8	3,3	4,4
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]			
2. Test VG	2,2	1,0	0,8
2. Test KG	2,4	0,8	1,1
Anzahl [n]			
2. Test VG	14	13	13
2. Test KG	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	*	***

	Finale Körperhöhe (cm)	Körperbau (Punkte)	Leistung (Punkte)
Mittelwert [MW]			
3. Test VG	177,9	10,4	14,8
3. Test KG	176,1	8,1	4,6
Standartabweichung [SD]			
3. Test VG	8,1	3,8	2,5
3. Test KG	9,9	3,9	4,7
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]			
3. Test VG	2,2	1,1	0,7
3. Test KG	2,5	1,0	1,2
Anzahl [n]			
3. Test VG	14	13	13
3. Test KG	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	*	***

3.3 Bestzeiten, FINA-Punkte und Geschwindigkeitsstufen

Zur Darstellung der Leistungsentwicklung zwischen den drei Testdurchgängen und der daraus resultierenden Änderung der Stufenzahl während des Belastungstests, werden im Folgenden die Bestzeiten auf der 100m und 400m Freistilschwimmstrecke in Sekunden und Punkten der Versuchs- und der Kontrollgruppe, sowie die erreichte Stufenzahl dargestellt.

Bei der maximal erreichten Stufenzahl besteht beim Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$). Bei der Bestzeit auf der 100m Strecke zwischen dem ersten und zweiten Test ist ebenfalls kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festzustellen, wohingegen dies bei deren Umrechnung in FINA-Punkte der Fall ist ($p \leq 0,05$). Während zwischen dem zweiten und dritten Test zwischen keinen Parametern ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) besteht, ist dies beim Vergleich zwischen dem ersten und dritten Test nur bei der 400m Zeit der Fall. Ansonsten sind jeweils signifikant schneller Zeiten und bessere Punktwerte zu beobachten (100m Zeit: $p \leq 0,05$; 100m Punkte: $p \leq 0,001$; 400m Punkte: $p \leq 0,01$; siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Bestzeiten auf der 100m und 400m Freistilschwimmstrecke, deren Punktergebnis laut der FINA-Punktetabelle sowie die Anzahl der erreichten Geschwindigkeitsstufen der Versuchgruppe zu allen drei Testzeitpunkten.

	100m (s)	Punkte	400m (s)	Punkte	Stufen
Mittelwert [MW]					
1. Test	65,3	452,9	298,4	457,6	6,2
2. Test	63,0	523,3	287,2	512,4	6,6
3. Test	61,4	553,2	283,9	542,2	7,0
Standardabweichung [SD]					
1. Test	4,3	66,8	21,9	63,6	0,8
2. Test	4,2	60,4	20,9	64,3	1,1
3. Test	4,5	56,7	21,4	70,4	1,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]					
1. Test	1,1	17,9	5,9	17,0	0,2
2. Test	1,1	16,2	5,6	17,2	0,3
3. Test	1,2	15,1	5,7	18,8	0,3
Anzahl [n]					
1. Test	14	14	14	14	14
2. Test	14	14	14	14	14
3. Test	14	14	14	14	14
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]					
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	*	n.s.	*	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	*	***	n.s.	**	n.s.

Bei der maximal erreichten Stufenzahl besteht beim Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$). Der Vergleich der Bestzeiten zwischen dem ersten und zweiten Testdurchgang zeigt für die 100m sowohl bei der Zeit als auch bei den FINA-Punkten einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$ bzw. $p \leq 0,01$). Zwischen dem zweiten und dritten Testdurchgang besteht lediglich ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) bei der 400m Zeit. Zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang besteht für die 100m und 400m sowohl bei der Zeit als auch bei den FINA-Punkten ein signifikanter Unterschied (100m und 400m Zeit: $p \leq 0,01$; 100m Punkte: $p \leq 0,001$; 400m Punkte: $p \leq 0,01$; siehe Tabelle 23).

Tabelle 23: Bestzeiten auf der 100m und 400m Freistilschwimmstrecke, deren Punktergebnis laut der FINA-Punktetabelle sowie die Anzahl der erreichten Geschwindigkeitsstufen der Kontrollgruppe zu allen drei Testzeitpunkten.

Bestzeiten	100m (s)	Punkte	400m (s)	Punkte	Stufen
Mittelwert [MW]					
1. Test	78,04	274,13	363,64	265,25	3,47
2. Test	73,54	329,19	357,19	275,50	3,67
3. Test	71,79	353,44	333,19	307,00	3,88
Standardabweichung [SD]					
1. Test	5,25	42,94	30,21	54,22	1,13
2. Test	4,91	57,59	25,31	51,87	1,11
3. Test	5,24	61,55	24,74	52,85	1,09
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]					
1. Test	1,31	10,73	7,55	13,56	0,29
2. Test	1,23	14,40	6,33	12,97	0,29
3. Test	1,31	15,39	6,19	13,21	0,27
Anzahl [n]					
1. Test	16	16	16	16	15
2. Test	16	16	16	16	15
3. Test	16	16	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]					
t-Test nach Student: 1.-2. Test	*	**	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	**	***	**	*	n.s.

3.4 Schwimmzeiten und Abweichung von den Richtwerten

Zur Darstellung der Übereinstimmung der vorgegebenen mit der tatsächlich geschwommenen Zeit auf den jeweiligen Geschwindigkeitsstufen, werden im Folgenden die Abweichungen von den Richtwerten dargestellt.

Bei der Betrachtung der Abweichung von der vorgegebenen Zeit des gesamten Probandengutes ist kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festzustellen (siehe Tabelle 24).

Tabelle 24. Abweichung (Abw.) von der vorgegebenen Zeit in Sekunden (s) des gesamten Probandengutes in allen drei Testdurchgängen auf allen Geschwindigkeitsstufen.

	Abw. 1. (s)	Abw. 2. (s)	Abw. 3. (s)	Abw. 4. (s)	Abw. 5. (s)	Abw. 6. (s)	Abw. 7. (s)	Abw. 8. (s)	Abw. 9. (s)	Abw. MW (s)
Mittelwert [MW]										
1. Test	-0,4	-0,2	0,2	0,1	0,4	0,7	0,9	2,6		0,7
2. Test	-0,7	0,1	0,3	0,8	0,6	1,7	1,9	2,0		0,6
3. Test	-1,5	-0,9	0,4	0,1	1,2	0,5	1,8	-0,2	5,5	-0,1
Standardabweichung [SD]										
1. Test	3,1	1,8	2,2	0,9	1,3	1,4	1,5	0,8		2,6
2. Test	3,0	2,0	1,8	2,2	1,4	2,4	3,0	2,0		1,4
3. Test	6,7	3,6	2,1	1,2	1,5	1,4	2,7	1,0	1,6	3,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,57	0,33	0,44	0,19	0,32	0,43	0,62	0,21		0,47
2. Test	0,54	0,38	0,35	0,46	0,36	0,69	1,12	1,02		0,26
3. Test	1,25	0,66	0,39	0,25	0,41	0,43	0,94	0,46	1,15	0,60
Anzahl [n]										
1. Test	30	29	26	23	16	11	6	3	0	30
2. Test	30	29	26	24	15	12	7	4	0	30
3. Test	29	30	28	21	14	11	8	5	2	30
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Bei der Betrachtung der Abweichung von der vorgegebenen Zeit aller Probanden der Versuchsgruppe ist nur eine signifikant höhere ($p \leq 0,05$) Abweichung im dritten im Vergleich zum ersten Test für die erste Geschwindigkeitsstufe zu beobachten. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Abweichung (Abw.) von der vorgegebenen Zeit in Sekunden (s) der Versuchsgruppe in allen drei Testdurchgängen auf allen Geschwindigkeitsstufen.

	Abw. 1. (s)	Abw. 2. (s)	Abw. 3. (s)	Abw. 4. (s)	Abw. 5. (s)	Abw. 6. (s)	Abw. 7. (s)	Abw. 8. (s)	Abw. 9. (s)	Abw. MW (s)
Mittelwert [MW]										
1. Test	-1,8	-0,9	-0,8	0,0	0,4	0,7	0,9	2,6		-0,3
2. Test	-1,6	-0,8	-0,4	0,0	0,3	1,6	1,9	2,0		0,0
3. Test	-3,9	-2,9	-0,6	-0,3	1,2	0,6	1,8	-0,2	3,7	-1,7
Standartabweichung [SD]										
1. Test	1,5	0,7	1,1	0,9	1,4	1,4	1,5	0,8		0,7
2. Test	3,7	1,0	1,4	1,0	1,3	2,5	3,0	2,0		0,8
3. Test	7,6	3,9	1,9	1,0	0,9	1,4	2,7	1,0	1,6	4,0
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,4	0,2	0,3	0,2	0,4	0,4	0,6	0,2		0,2
2. Test	1,0	0,3	0,4	0,3	0,4	0,7	1,1	1,0		0,2
3. Test	2,1	1,0	0,5	0,3	0,3	0,4	0,9	0,5	1,1	1,1
Anzahl [n]										
1. Test	14	14	14	14	14	11	6	3	0	14
2. Test	14	14	14	14	13	11	7	4	0	14
3. Test	13	14	14	10	10	10	8	5	2	14
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.

Bei der Betrachtung der Abweichung von der vorgegebenen Zeit der Kontrollgruppe ist kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festzustellen (Tabelle 26).

Tabelle 26: Abweichung (Abw.) von der vorgegebenen Zeit in Sekunden (s) der Kontrollgruppe in allen drei Testdurchgängen auf allen Geschwindigkeitsstufen.

	Abw. 1. (s)	Abw. 2. (s)	Abw. 3. (s)	Abw. 4. (s)	Abw. 5. (s)	Abw. 6. (s)	Abw. MW (s)
Mittelwert [MW]							
1. Test	0,8	0,3	1,3	0,3	0,2		1,5
2. Test	0,0	0,9	1,1	1,8	2,1	2,7	1,2
3. Test	1,6	0,8	1,4	0,5	1,1	-0,9	1,4
Standartabweichung [SD]							
1. Test	3,7	2,3	2,7	0,8	0,2		3,3
2. Test	1,9	2,4	1,9	3,1	1,2		1,6
3. Test	3,9	2,3	1,8	1,2	2,8		1,5
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,9	0,6	0,8	0,3	0,1		0,8
2. Test	0,5	0,6	0,6	1,0	0,8		0,4
3. Test	1,0	0,6	0,5	0,4	1,4		0,4
Anzahl [n]							
1. Test	16	15	12	9	2	0	16
2. Test	16	15	12	10	2	1	16
3. Test	16	16	14	11	4	1	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

3.5 Einteilung der Versuchsgruppe in Sprint- und Ausdauer- schwimmer

Zur Einteilung der Versuchsgruppe in eine Sprint- und eine Ausdauergruppe wurden die Bestzeiten umgerechnet in FINA Punkte herangezogen. Im Folgenden werden die Punkte auf den Strecken 100m- und 400m Freistil der jeweiligen Gruppe dargestellt und miteinander verglichen.

Im Vergleich der drei Testdurchgänge sind für die Ausdauergruppe zwischen dem 1. und 2. sowie dem 1. und 3. Testdurchgang, sowohl bei den Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte auf der 100m- als auch auf der 400m Freistilstrecke signifikant niedrigere Werte im 1. Testdurchgang festzustellen ($p \leq 0,05$ bzw. $0,01$). Bei der Sprintgruppe sind auch signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) für den 1. im Vergleich zum 2. und 3. Testdurchgang, aber nur in der Entwicklung der Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte auf der 100m Freistilstrecke. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Tabelle 27).

Tabelle 27: Bestzeiten der Sprint- und Ausdauergruppe umgerechnet in FINA-Punkte auf der 100m- und 400m Freistilstrecke im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.

Punkte für AU und SP	Punkte 100 AU	Punkte 400 AU	Punkte 100 SP	Punkte 400 SP
Mittelwert [MW]				
1. Test	434	466	479	441
2. Test	507	551	541	478
3. Test	537	578	588	510
Standardabweichung [SD]				
1. Test	39,4	59,1	83,0	70,4
2. Test	52,4	49,1	58,3	49,1
3. Test	33,1	25,2	44,0	62,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]				
1. Test	26,4	35,2	41,5	35,2
2. Test	23,4	22,0	26,1	22,0
3. Test	16,9	11,1	19,7	27,8
Anzahl [n]				
1. Test	7	7	6	6
2. Test	7	7	6	6
3. Test	7	7	6	5
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]				
t-Test nach Student: 1.-2. Test	*	*	*	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	**	*	*	n.s.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass die erreichte Punktzahl der 100m Freistilstrecke die Ausprägung der Sprinter zur Sprintversiertheit widerspiegelt. Gleiches wird für die erreichte Punktzahl auf der 400m Freistilstrecke der Ausdauer schwimmer angenommen.

Bei dem Vergleich der FINA-Punkte, ermittelt aus den Bestzeiten der in Ausdauer- und Sprintgruppe unterteilten Versuchsgruppe (jeweils in Ihrer Ausprägung AU = 400m Freistil; SP = 100m Freistil), bestehen keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$; Tabelle 28).

Tabelle 28: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der Versuchsgruppe in ihrer jeweiligen Ausprägung (Ausdauer = 400m Freistil bzw. Sprint = 100m Freistil).

Punkte AU 400 vs. SP 100	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
AU 400	466	551	578
SP 100	479	541	588
Standardabweichung [SD]			
AU 400	59,1	52,4	29,8
SP 100	83,0	58,3	25,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
AU 400	26,4	23,4	12,2
SP 100	41,5	26,1	11,1
Anzahl [n]			
AU 400	7	7	7
SP 100	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.

Bei dem Vergleich der FINA-Punkte, ermittelt aus den Bestzeiten der in Ausdauer- und Sprintgruppe unterteilten Versuchsgruppe (jeweils nicht in Ihrer Ausprägung Ausdauer = 100m Freistil bzw. Sprint = 400m Freistil), bestehen keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$; siehe Tabelle 29).

Tabelle 29: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der Versuchsgruppe jeweils nicht in ihrer Ausprägung (AU = 100m Freistil bzw. SP = 400m Freistil).

Punkte AU 100 vs. SP 400	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
AU 100	434	507	537
SP 400	441	478	510
Standardabweichung [SD]			
AU 100	39,4	46,5	33,1
SP 400	70,4	49,1	62,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
AU 100	17,6	20,8	16,9
SP 400	35,2	22,0	27,8
Anzahl [n]			
AU 100	7	7	7
SP 400	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.

Bei dem Vergleich der FINA-Punkte der Sprintgruppe, ermittelt aus deren Bestzeiten (100m Freistil bzw. 400m Freistil), ist ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) für die 400m Freistil im 3. Testdurchgang festzustellen (siehe Tabelle 30).

Tabelle 30: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der Sprinter der Versuchsgruppe auf 100m und 400m Freistil im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

Punkte SP 100 vs. 400	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
SP 100	479	541	588
SP 400	441	478	510
Standardabweichung [SD]			
SP 100	83,0	58,3	44,0
SP 400	70,4	49,1	62,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
SP 100	41,5	26,1	19,7
SP 400	35,2	22,0	27,8
Anzahl [n]			
SP 100	6	6	6
SP 400	6	6	5
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	*

Bei dem Vergleich der FINA-Punkte der Ausdauergruppe, ermittelt aus deren Bestzeiten (100m Freistil bzw. 400m Freistil), ist ein signifikant höherer Wert für die 400m Freistil ($p \leq 0,05$) im 3. Testdurchgang festzustellen. In den anderen Testdurchgängen ist kein signifikanter Unterschied festzustellen ($p > 0,05$; siehe Tabelle 31).

Tabelle 31: Bestzeiten umgerechnet in FINA-Punkte der ausdauerversierten Schwimmer der Versuchsgruppe auf 100m und 400m Freistil im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

Punkte AU 100 vs. 400	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
AU 100	434	507	537
AU 400	466	551	578
Standardabweichung [SD]			
AU 100	39,4	52,4	33,1
AU 400	59,1	49,1	25,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
AU 100	26,4	23,4	16,9
AU 400	35,2	22,0	11,1
Anzahl [n]			
AU 100	7	7	7
AU 400	7	7	7
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	*

Vergleicht man die FINA-Punkte beider Gruppen jeweils in ihrer Ausprägung, was bedeutet, dass man die Punkte der Ausdauer- auf 400m Freistil und die der Sprintgruppe auf 100m Freistil mit den erreichten Punkten der Ausdauer- auf 100m Freistil und die der Sprintgruppe auf 400m Freistil vergleicht, können signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) beim 2. und 3. Testdurchgang festgestellt werden (siehe Tabelle 32).

Tabelle 32: Bestzeiten der Sprint- und Ausdauergruppe, umgerechnet in FINA-Punkte jeweils in Ihrer Ausprägung (AU = 400m Freistil und SP = 100m Freistil verglichen mit AU = 100m Freistil und SP = 400m Freistil) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

Punkte AU400/SP100 vs. AU100/SP400	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
AU 400 & SP 100	470	547	582
AU 100 & SP 400	437	492	529
Standardabweichung [SD]			
AU 400 & SP 100	68,1	49,0	52,4
AU 100 & SP 400	57,3	46,5	53,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
AU 400 & SP 100	19,7	15,5	15,1
AU 100 & SP 400	16,5	14,7	15,4
Anzahl [n]			
AU 400 & SP 100	13	13	13
AU 100 & SP 400	13	13	13
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student	n.s.	*	*

3.6 Physiologische Parameter

Zur Ergebnisdarstellung der physiologischen Parameter sollen die Herzfrequenz, Laktat-, Sauerstoff-Werte und ein Vergleich der VO_2 - mit den Laktatwerten herangezogen werden.

3.6.1 Herzfrequenz

Beim Vergleich der Herzfrequenz (Schläge pro Minute = BPM) aller Probanden der Versuchsgruppe zwischen den drei Testdurchgängen konnten signifikant niedriger Ruhewerte im 1. verglichen mit dem 2. und 3. Testdurchgang festgestellt werden ($p \leq 0,01$ bzw. $0,001$). Alle anderen Vergleiche sind nicht signifikant unterschiedlich ($p > 0,05$; siehe Abbildung 16 und Tabelle 33).

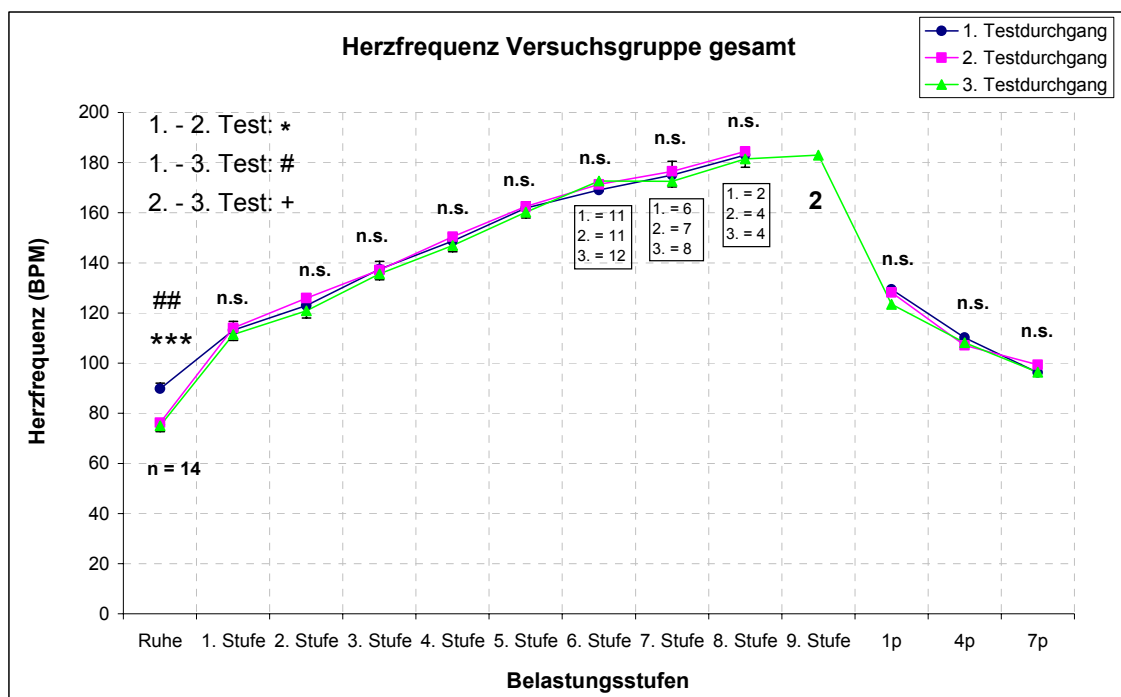


Abbildung 16: Herzfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

Tabelle 33: Herzfrequenz (Schläge pro Minute = BPM) aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 7. (BPM)	HF 8. (BPM)	HF 9. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]														
1. Test	89,9	113,1	123,0	137,6	148,7	161,9	169,1	175,0	183,0		129,4	110,2	96,3	177,9
2. Test	76,3	114,0	126,0	137,1	150,4	162,5	171,3	176,6	184,5		128,1	107,1	99,4	180,4
3. Test	75,0	111,4	120,9	135,7	147,0	160,3	172,6	172,5	181,5	183,0	123,4	108,1	96,4	184,1
Standardabweichung [SD]														
1. Test	10,2	8,4	10,2	12,1	10,8	13,4	10,3	7,0	4,2		9,0	11,3	6,3	6,0
2. Test	8,9	16,0	14,5	17,6	21,6	19,5	12,1	10,3	3,0		11,9	9,7	9,0	8,3
3. Test	11,3	10,2	16,3	16,5	15,6	19,2	11,0	11,0	5,7	4,2	11,2	8,3	9,3	6,9
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]														
1. Test	2,7	2,3	2,7	3,2	2,9	3,6	3,1	2,9	3,0		2,4	3,0	1,7	1,6
2. Test	2,4	4,3	3,9	4,7	5,8	5,4	3,7	3,9	1,5		3,2	2,6	2,4	2,2
3. Test	3,0	2,7	4,4	4,6	4,2	5,1	3,0	3,9	2,9	3,0	3,0	2,2	2,5	1,9
Anzahl [n]														
1. Test	14	14	14	14	14	14	11	6	2	0	14	14	14	14
2. Test	14	14	14	14	14	13	11	7	4	0	14	14	14	14
3. Test	14	14	14	13	14	14	13	8	4	2	14	14	14	14
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]														
t-Test: 1.-2. Test	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Kontrollgruppe zwischen den drei Testdurchgängen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$; siehe Abbildung 17 und Tabelle 34).

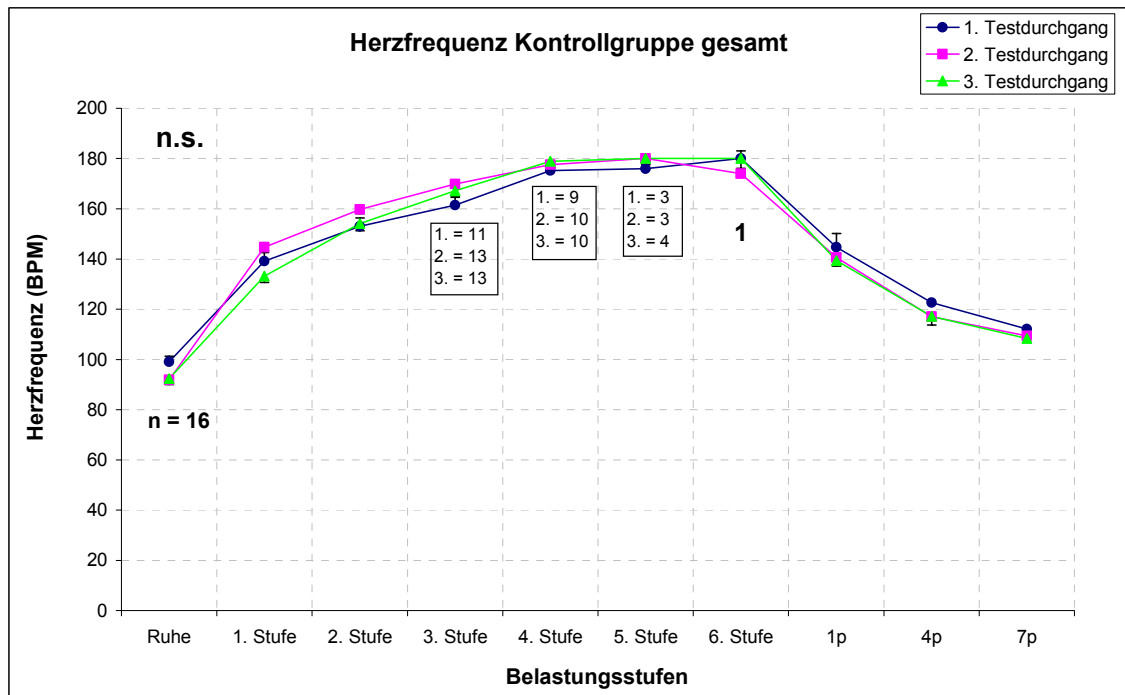


Abbildung 17: Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

Tabelle 34: Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]											
1. Test	99,1	139,1	153,0	161,5	175,2	176,0	180,0	144,8	122,6	112,1	178,5
2. Test	91,9	144,8	159,8	169,8	177,6	180,0	174,0	140,6	117,0	109,4	181,1
3. Test	92,4	133,1	154,1	167,1	178,9	180,0	180,0	139,4	117,1	108,4	184,1
Standardabweichung [SD]											
1. Test	20,1	17,3	18,5	13,6	9,7	9,2		11,1	9,3	7,2	7,1
2. Test	17,1	16,4	16,1	12,6	13,0	10,4		12,4	6,9	8,3	6,7
3. Test	10,8	16,6	21,8	19,5	14,2	8,5		10,4	8,1	8,9	10,7
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]											
1. Test	5,0	4,3	4,6	3,9	3,1	5,3		2,8	2,3	1,8	1,8
2. Test	4,3	4,1	4,0	3,5	4,1	6,0		3,1	1,7	2,1	1,7
3. Test	2,7	4,1	5,4	5,2	4,3	4,2		2,6	2,0	2,2	2,7
Anzahl [n]											
1. Test	16	16	16	12	10	3	1	16	16	16	16
2. Test	16	16	16	13	10	3	1	16	16	16	16
3. Test	16	16	16	14	11	4	1	16	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]											
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Bei der Herzfrequenz aller Probanden der Ausdauergruppe konnten nur signifikant niedrigere Ruhewerte im 1., verglichen mit dem 2. ($p \leq 0,05$) und 3. ($p \leq 0,01$) Testdurchgang festgestellt werden. Ansonsten gab es keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$; siehe Abbildung 18 und Tabelle 35).

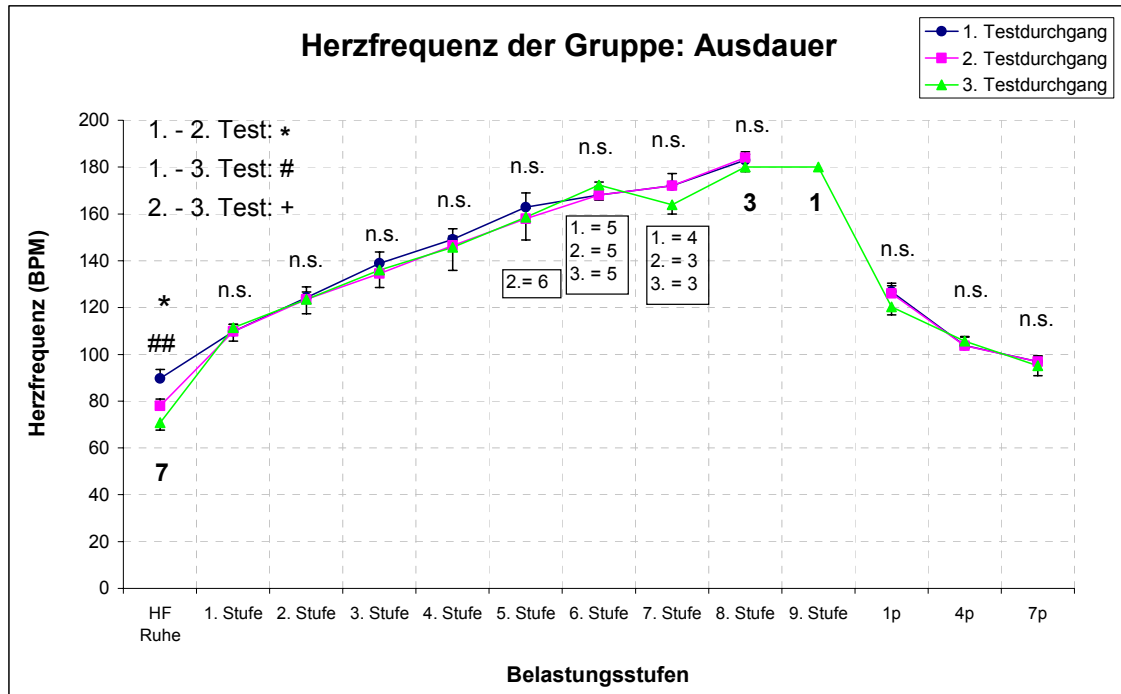


Abbildung 18: Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Ausdauergruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

Tabelle 35: Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Ausdauergruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

AU	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 7. (BPM)	HF 8. (BPM)	HF 9. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]														
1. Test	89,7	109,7	124,3	138,9	149,1	162,9	168,0	172,0	183,0		126,9	103,9	96,9	180,0
2. Test	78,0	109,7	123,4	134,6	146,6	158,0	168,0	172,0	184,0		126,0	103,7	96,9	181,7
3. Test	70,9	111,4	123,4	136,0	145,7	158,6	172,3	164,0	180,0	180,0	120,3	105,7	95,1	180,0
Standardabweichung [SD]														
1. Test	10,3	8,3	11,9	12,7	12,2	16,4	12,7	3,5	4,2		6,4	9,5	6,4	4,9
2. Test	7,6	8,2	8,5	13,0	10,6	10,6	8,5	9,2	4,4		11,6	10,6	6,5	7,0
3. Test	8,5	15,4	16,2	19,9	26,1	25,6	14,1	6,9	3,5		9,2	8,3	11,2	6,7
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]														
1. Test	3,9	3,1	4,5	4,8	4,6	6,2	5,7	1,7	2,4		2,4	3,6	2,4	1,9
2. Test	2,9	3,1	3,2	4,9	4,0	4,3	3,8	5,3	2,5		4,4	4,0	2,5	2,7
3. Test	3,2	5,8	6,1	7,5	9,9	9,7	6,3	4,0	2,0		3,5	3,1	4,2	2,5
Anzahl [n]														
1. Test	7	7	7	7	7	7	5	4	3	0	7	7	7	7
2. Test	7	7	7	7	7	6	5	3	3	0	7	7	7	7
3. Test	7	7	7	7	7	7	5	3	3	1	7	7	7	7
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]														
t-Test: 1.-2. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Bei der Herzfrequenz aller Probanden der Sprintgruppe konnte nur bei den Ru-
hewerten und in der 7. Nachbelastungsminute zwischen dem 1. und 2. Test-
durchgang ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Alle an-
deren Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 19
und Tabelle 36).

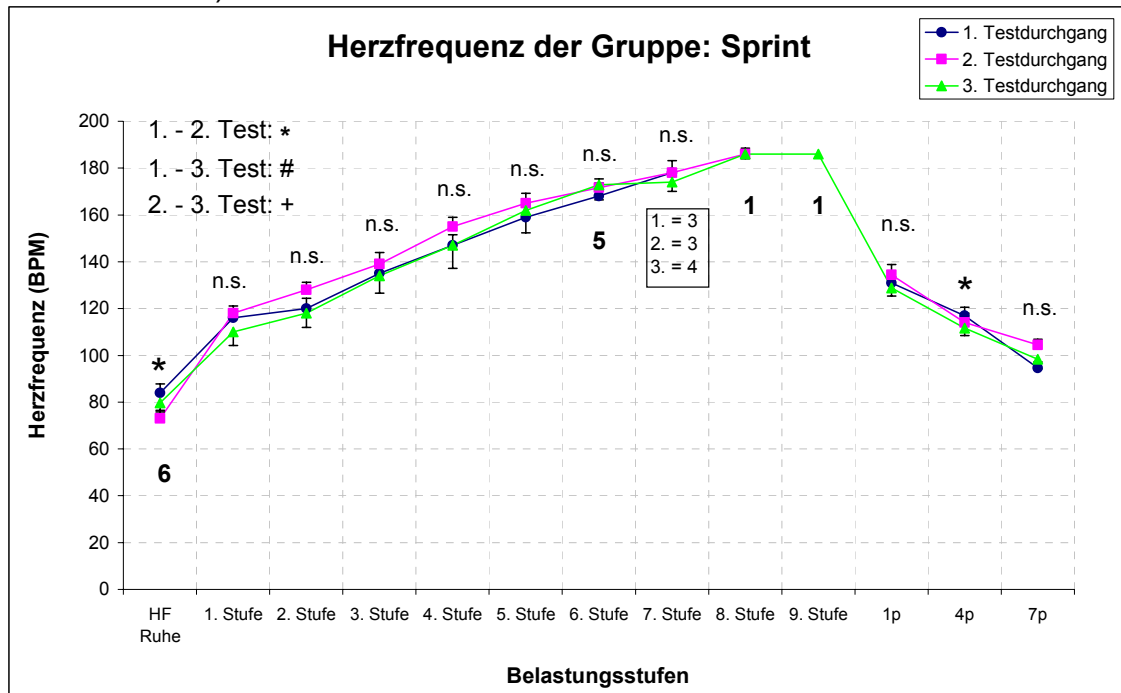


Abbildung 19: Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Sprintgruppe in Ruhe,
während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

Tabelle 36: Herzfrequenz (BPM) aller Probanden der Sprintgruppe in Ruhe,
während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

SP	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 7. (BPM)	HF 8. (BPM)	HF 9. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]														
1. Test	84,0	116,0	120,0	135,0	147,0	159,0	168,0	178,0			131,0	117,0	94,7	175,0
2. Test	73,0	118,0	128,0	139,0	155,0	165,0	171,6	178,0	186,0		134,4	114,0	104,4	178,0
3. Test	79,7	110,0	118,0	134,0	147,0	162,0	172,8	174,0	186,0	186,0	128,8	111,6	98,4	182,0
Standardabweichung [SD]														
1. Test	7,6	8,2	8,5	13,0	10,6	10,6	8,5	9,2			11,6	10,6	6,5	7,0
2. Test	9,6	18,1	14,5	17,6	18,8	14,1	10,0	13,9			9,1	6,0	3,3	10,5
3. Test	12,5	12,4	18,1	16,8	14,1	17,8	7,8	4,9			5,8	3,3	10,0	7,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]														
1. Test	3,1	3,3	3,5	5,3	4,3	4,3	3,8	5,3			4,8	4,3	2,7	2,9
2. Test	3,9	7,4	5,9	7,2	7,7	5,7	4,5	8,0			3,7	2,4	1,3	4,3
3. Test	5,1	5,1	7,4	6,9	5,7	7,3	3,5	2,4			2,4	1,3	4,1	3,0
Anzahl [n]														
1. Test	6	6	6	6	6	6	5	3	0	0	6	6	6	6
2. Test	6	6	6	6	6	6	5	3	1	0	6	6	6	6
3. Test	6	6	6	6	6	6	5	4	1	1	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]														
t-Test: 1.-2. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	*	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Herzfrequenz zwischen der Ausdauer- und Sprintgruppe im ersten Testdurchgang konnte nur ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) für die SP in der 4. Nachbelastungsminute festgestellt werden. Weitere signifikante Unterschiede waren nicht zu beobachten ($p > 0,05$; siehe Abbildung 20 und Tabelle 37).

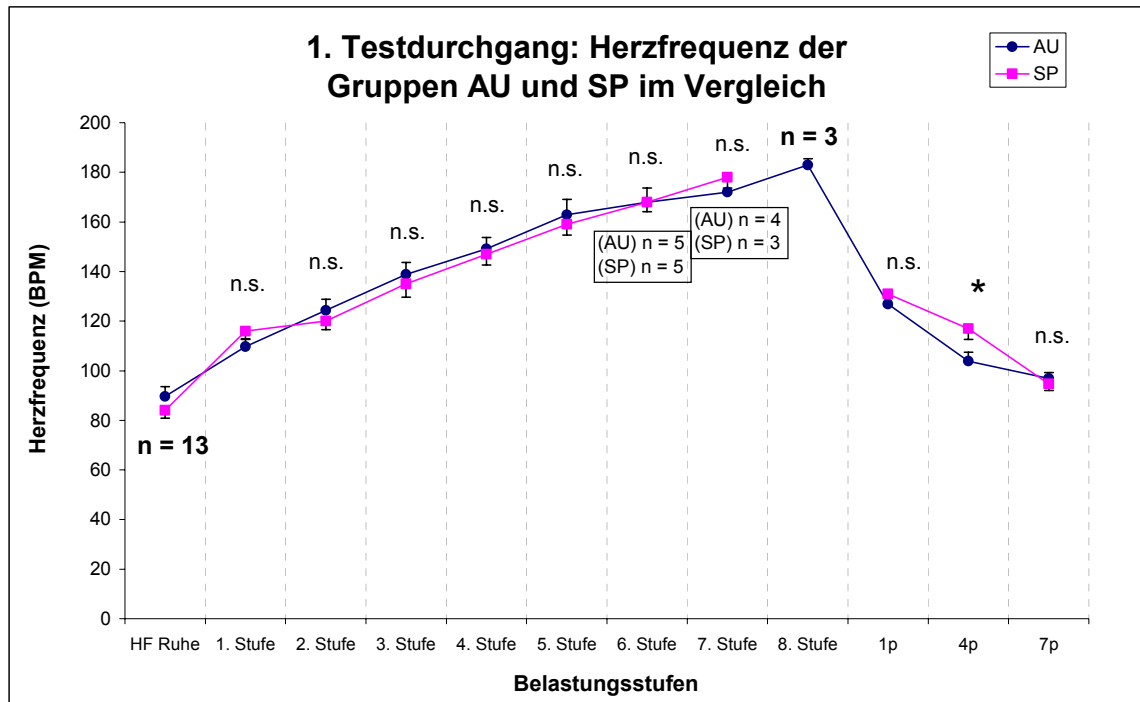


Abbildung 20: Herzfrequenz (BPM) der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des ersten Testdurchgangs.

Tabelle 37: Herzfrequenz (BPM) der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des ersten Testdurchgangs.

AU vs. SP	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 7. (BPM)	HF 8. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]													
1. Test AU	89,7	109,7	124,3	138,9	149,1	162,9	168,0	172,0	183,0	126,9	103,9	96,9	180,0
1. Test SP	84,0	116,0	120,0	135,0	147,0	159,0	168,0	178,0		131,0	117,0	94,7	175,0
Standardabweichung [SD]													
1. Test AU	10,3	8,3	11,9	12,7	12,2	16,4	12,7	3,5	4,2	6,4	9,5	6,4	4,9
1. Test SP	7,6	8,2	8,5	13,0	10,6	10,6	8,5	9,2		11,6	10,6	6,5	7,0
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]													
1. Test AU	3,9	3,1	4,5	4,8	4,6	6,2	5,7	1,7	2,4	2,4	3,6	2,4	1,9
1. Test SP	3,1	3,3	3,5	5,3	4,3	4,3	3,8	5,3		4,8	4,3	2,7	2,9
Anzahl [n]													
1. Test AU	7	7	7	7	7	7	5	4	3	7	7	7	7
1. Test SP	6	6	6	6	6	6	5	3	0	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]													
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	*	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Herzfrequenz zwischen der Ausdauer- und Sprintgruppe im ersten Testdurchgang konnte nur ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) für die SP in der 4. Nachbelastungsminute festgestellt werden. Ansonsten gab es keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$; siehe Abbildung 21 und Tabelle 38).

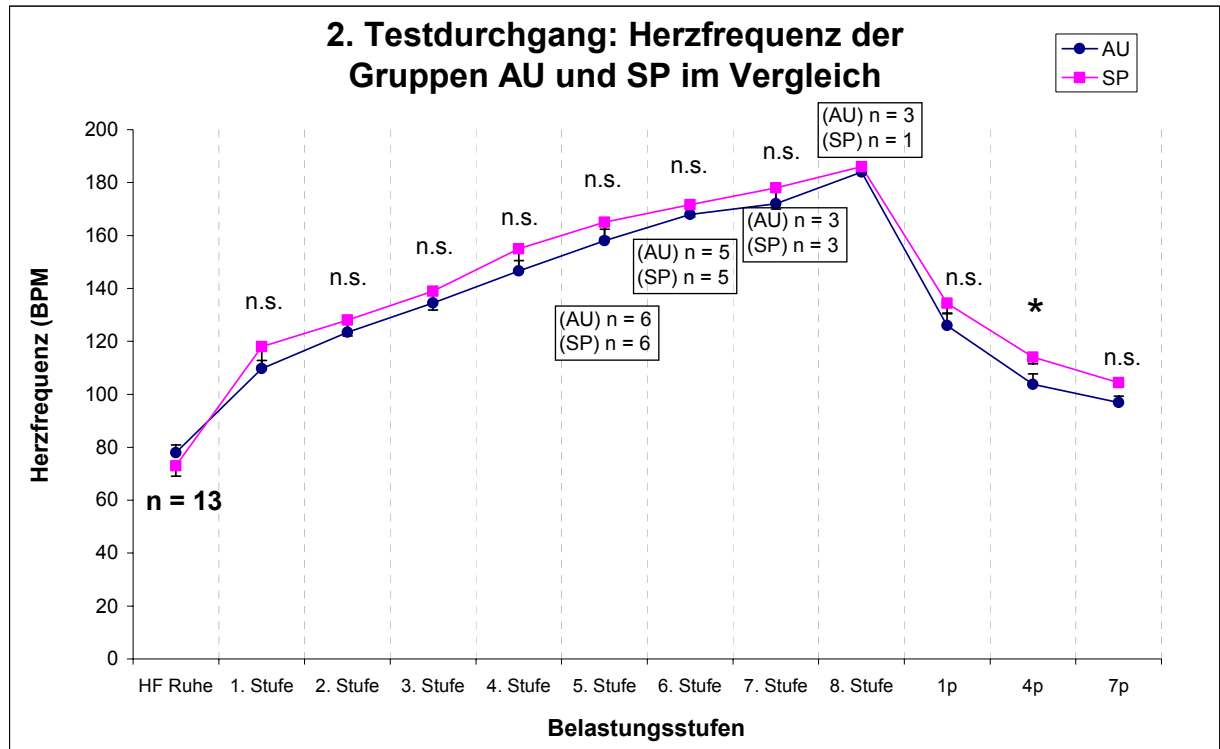


Abbildung 21: Herzfrequenz (BPM) der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des zweiten Testdurchgangs.

Tabelle 38: Herzfrequenz (BPM) der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des zweiten Testdurchgangs.

AU vs. SP	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 7. (BPM)	HF 8. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]													
2. Test AU	78,0	109,7	123,4	134,6	146,6	158,0	168,0	172,0	184,0	126,0	103,7	96,9	181,7
2. Test SP	73,0	118,0	128,0	139,0	155,0	165,0	171,6	178,0	186,0	134,4	114,0	104,4	178,0
Standardabweichung [SD]													
2. Test AU	7,6	8,2	8,5	13,0	10,6	10,6	8,5	9,2		11,6	10,6	6,5	7,0
2. Test SP	9,6	18,1	14,5	17,6	18,8	14,1	10,0	13,9		9,1	6,0	3,3	10,5
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]													
2. Test AU	2,9	3,1	3,2	4,9	4,0	4,3	3,8	5,3		4,4	4,0	2,5	2,7
2. Test SP	3,9	7,4	5,9	7,2	7,7	5,7	4,5	8,0		3,7	2,4	1,3	4,3
Anzahl [n]													
2. Test AU	7	7	7	7	7	6	5	3	3	7	7	7	7
2. Test SP	6	6	6	6	6	6	5	3	1	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]													
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	*	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Herzfrequenz zwischen der Ausdauer- und Sprintgruppe im dritten Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 22 und Tabelle 39).

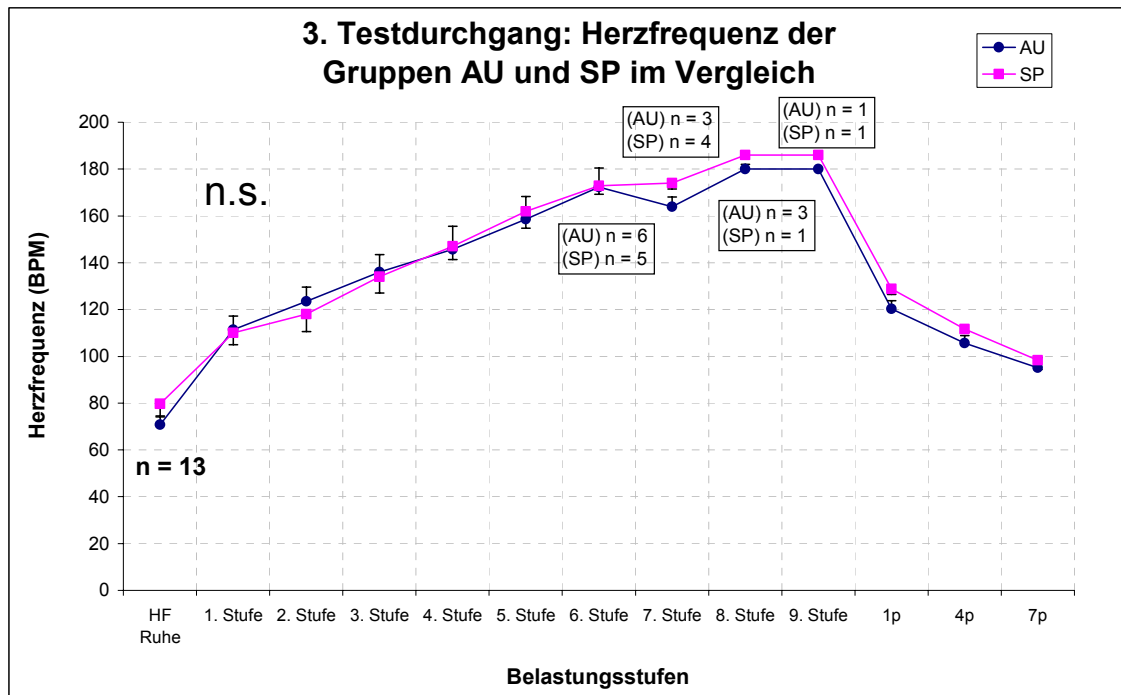


Abbildung 22: Herzfrequenz (BPM) der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des dritten Testdurchgangs.

Tabelle 39: Herzfrequenz (BPM) der Probanden der Ausdauer- und Sprintgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase des dritten Testdurchgangs.

AU vs. SP	HF Ruhe (BPM)	HF 1. (BPM)	HF 2. (BPM)	HF 3. (BPM)	HF 4. (BPM)	HF 5. (BPM)	HF 6. (BPM)	HF 7. (BPM)	HF 8. (BPM)	HF 9. (BPM)	HF 1min (BPM)	HF 4min (BPM)	HF 7min (BPM)	maxHF (BPM)
Mittelwert [MW]														
3. Test AU	70,9	111,4	123,4	136,0	145,7	158,6	172,3	164,0	180,0	180,0	120,3	105,7	95,1	180,0
3. Test SP	79,7	110,0	118,0	134,0	147,0	162,0	172,8	174,0	186,0	186,0	128,8	111,6	98,4	182,0
Standardabweichung [SD]														
3. Test AU	8,5	15,4	16,2	19,9	26,1	25,6	14,1	6,9	3,5		9,2	8,3	11,2	6,7
3. Test SP	12,5	12,4	18,1	16,8	14,1	17,8	7,8	4,9			5,8	3,3	10,0	7,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]														
3. Test AU	3,2	5,8	6,1	7,5	9,9	9,7	6,3	4,0	2,0		3,5	3,1	4,2	2,5
3. Test SP	5,1	5,1	7,4	6,9	5,7	7,3	3,5	2,4			2,4	1,3	4,1	3,0
Anzahl [n]														
3. Test AU	7	7	7	7	7	7	5	3	3	1	7	7	7	7
3. Test SP	6	6	6	6	6	6	5	4	1	1	6	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]														
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Die Herzfrequenz an der IAS unterscheidet sich zwischen den drei Testdurchgängen weder für die ausdauerorientierten noch für die sprintorientierten Probanden der Versuchsgruppe signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 23).

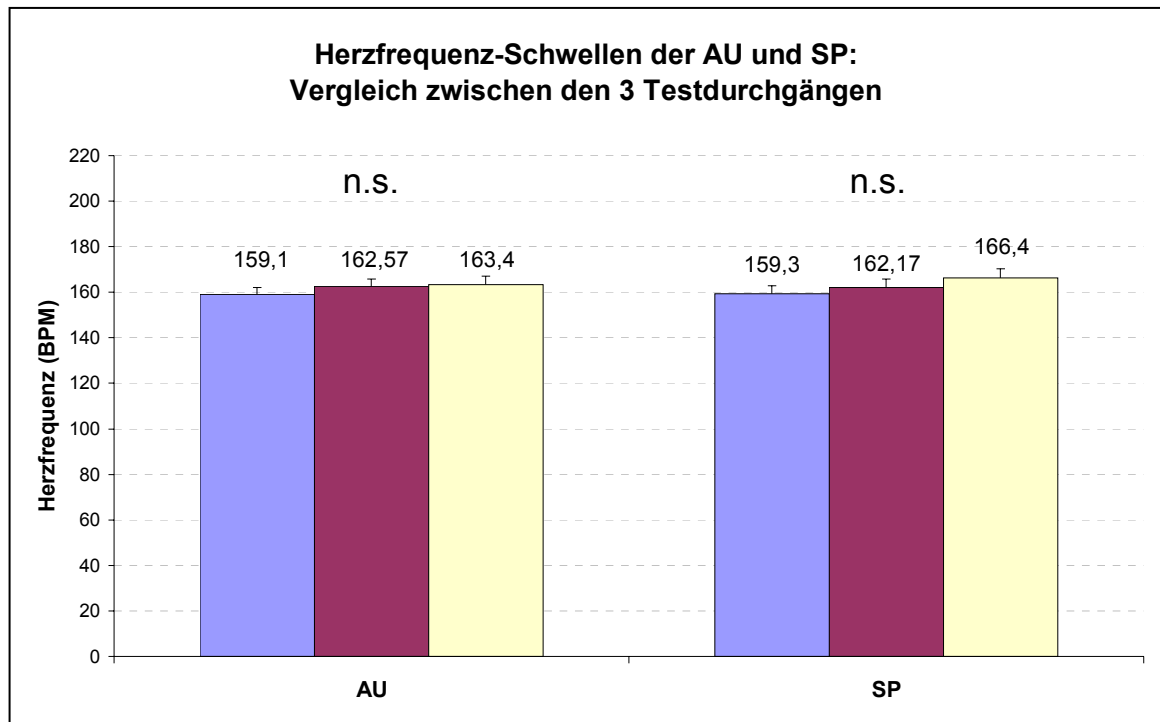


Abbildung 23: Herzfrequenz an der Laktatschwelle der Ausdauer- und Sprintschwimmer im Vergleich.

Beim Vergleich der Herzfrequenz an der Laktatschwelle zu den drei Testzeitpunkten konnte beim Vergleich zwischen den ausdauerversierten und sprintversierten Schwimmern kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 24).

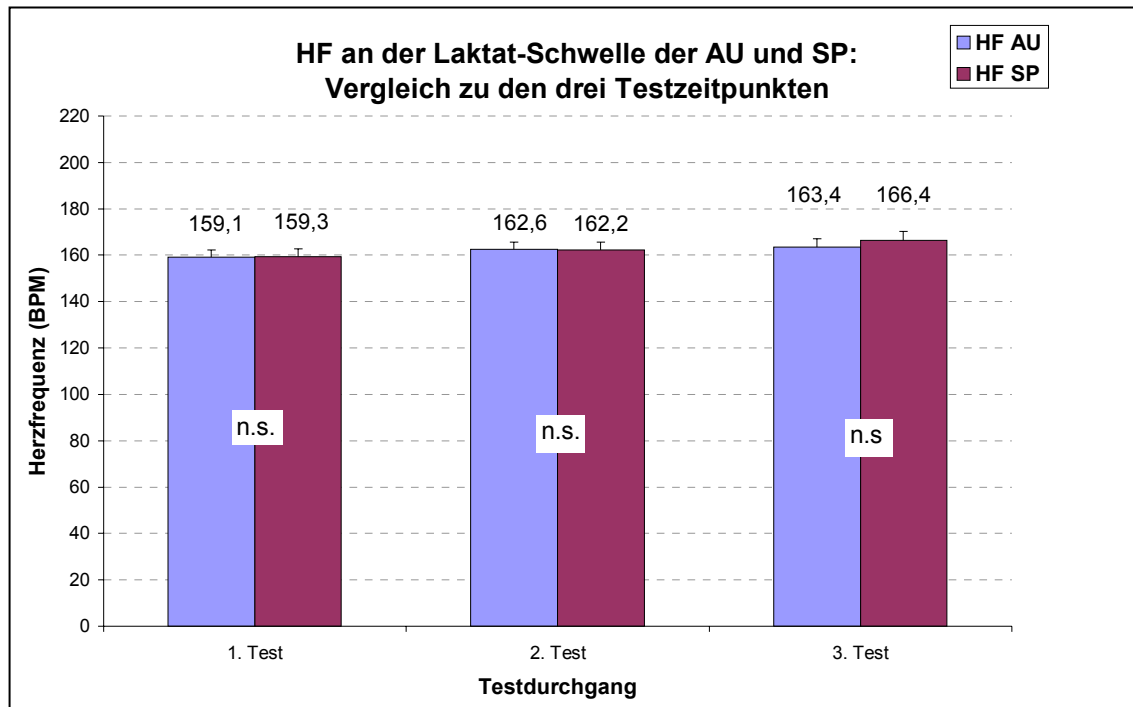


Abbildung 24: Herzfrequenz an der Laktat-Schwelle der Ausdauer- und Sprintschwimmer zu den drei Testzeitpunkten.

3.6.2 Laktat

Die Laktatkonzentration bei allen Probanden der Versuchsgruppe unterscheidet sich vor allem zwischen dem 2. und 3. Test. Dabei konnten von der 2. bis zur 7. Belastungsstufe im 2., signifikant höhere ($p \leq 0,05 - 0,001$) Werte als im 3. Testdurchgang festgestellt werden. Darüber hinaus war lediglich ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,01$) beim 1. im Vergleich zum 3. Test auf der 7. Belastungsstufe festzustellen. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 25 und Tabelle 40).

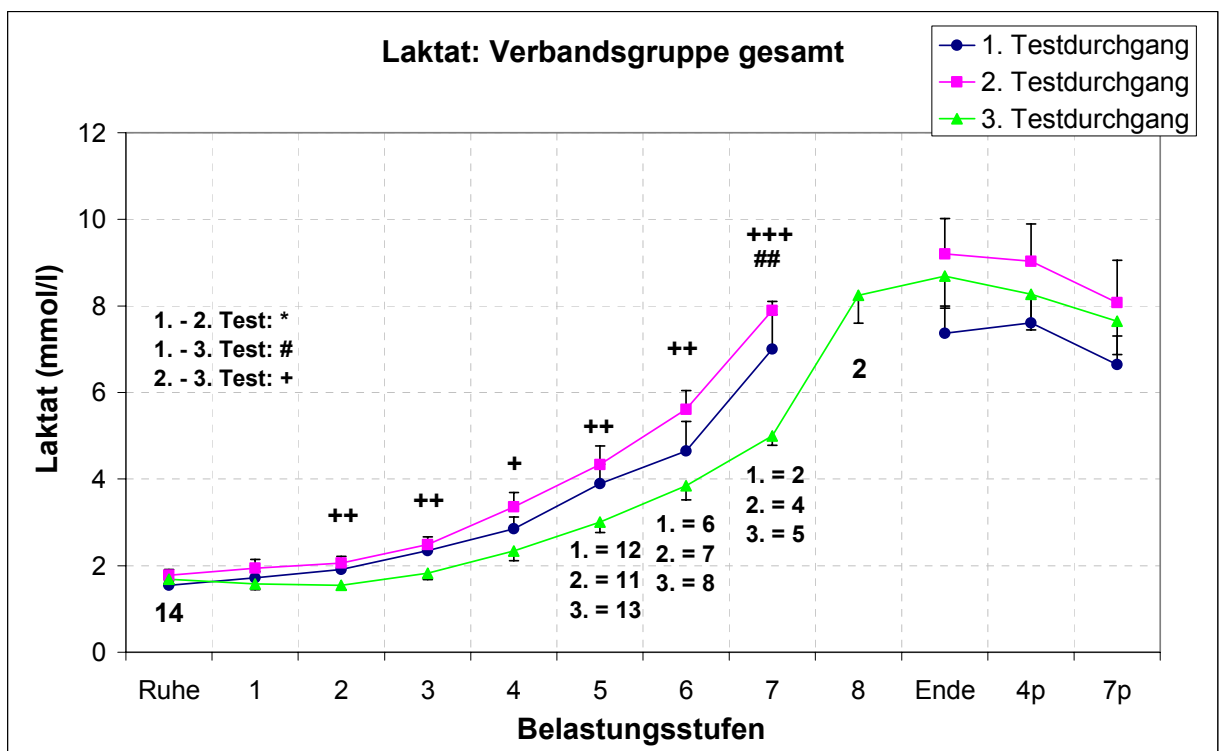


Abbildung 25: Laktatkonzentration (mmol/l) aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

Tabelle 40: Laktatkonzentration (mmol/l) aller Probanden der Versuchsgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

	Ruhe La (mmol/l)	La 1. (mmol/l)	La 2. (mmol/l)	La 3. (mmol/l)	La 4. (mmol/l)	La 5. (mmol/l)	La 6. (mmol/l)	La 7. (mmol/l)	La 8. (mmol/l)	La 1.min (mmol/l)	La 4min (mmol/l)	La 7min (mmol/l)
Mittelwert [MW]												
1. Test	1,5	1,7	1,9	2,4	2,9	3,9	4,7	7,0		7,4	7,6	6,6
2. Test	1,8	1,9	2,1	2,5	3,4	4,3	5,6	7,9		9,2	9,0	8,1
3. Test	1,7	1,6	1,5	1,8	2,3	3,0	3,9	5,0	8,3	8,7	8,3	7,7
Standardabweichung [SD]												
1. Test	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,6	1,7	1,1		2,2	2,5	2,2
2. Test	0,5	0,8	0,6	0,7	1,2	1,4	1,1	0,4		3,0	3,2	2,9
3. Test	0,4	0,5	0,4	0,5	0,8	0,8	0,9	0,5	0,9	2,9	2,9	2,9
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]												
1. Test	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8		0,6	0,7	0,6
2. Test	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2		0,8	0,8	0,8
3. Test	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,7	0,8	0,8	0,8
Anzahl [n]												
1. Test	14	14	14	14	14	12	6	2	0	14	14	14
2. Test	14	14	14	14	13	11	7	4	0	14	14	14
3. Test	14	14	14	14	14	13	8	5	2	14	14	14
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]												
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	**	**	*	**	**	***		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**		n.s.	n.s.	n.s.

Auch bei den Probanden der Kontrollgruppe konnten vor allem Unterschiede zwischen dem 2. und 3. Test festgestellt werden. In Ruhe ($p \leq 0,01$) und von der 1. bis 3. Belastungsstufe ($p \leq 0,05$) waren die Werte des 2., signifikant höher als die des 3. Testdurchgangs. Ansonsten war nur für die Ruhe-Werte zwischen dem 1. und 2. Test ein signifikanter Unterschied zu ermitteln ($p \leq 0,001$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 26 und Tabelle 41).

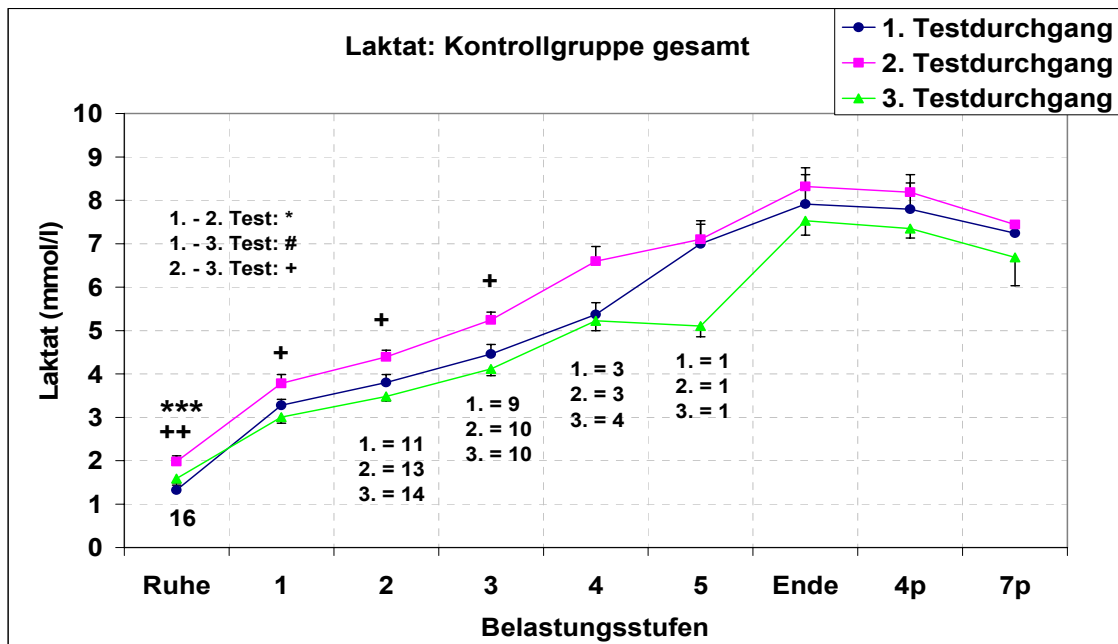


Abbildung 26: Laktatkonzentration (mmol/l) aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

Tabelle 41: Laktatkonzentration (mmol/l) aller Probanden der Kontrollgruppe in Ruhe, während der Belastung und in der Nachbelastungsphase.

	Ruhe La (mmol/l)	La 1. (mmol/l)	La 2. (mmol/l)	La 3. (mmol/l)	La 4. (mmol/l)	La 5. (mmol/l)	La 1.min (mmol/l)	La 4min (mmol/l)	La 7min (mmol/l)
Mittelwert [MW]									
1. Test	1,3	3,3	3,8	4,5	5,4	7,0	7,9	7,8	7,2
2. Test	2,0	3,8	4,4	5,2	6,6	7,1	8,3	8,2	7,4
3. Test	1,6	3,0	3,5	4,1	5,2	5,1	7,5	7,4	6,7
Standartabweichung [SD]									
1. Test	0,4	1,3	1,5	1,2	1,0		1,5	1,9	2,0
2. Test	0,5	1,3	1,5	1,2	1,6		1,8	2,1	2,4
3. Test	0,4	1,0	1,3	0,9	1,3		1,4	1,6	1,6
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test	0,1	0,3	0,5	0,4	0,6		0,4	0,5	0,5
2. Test	0,1	0,3	0,4	0,4	0,9		0,5	0,5	0,6
3. Test	0,1	0,2	0,3	0,3	0,7		0,4	0,4	0,4
Anzahl [n]									
1. Test	16	16	11	9	3	1	16	16	16
2. Test	16	16	13	10	3	1	16	16	16
3. Test	16	16	14	10	4	1	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test: 1.-2. Test	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	**	*	*	*	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich aller drei Stufentests der Gruppe AU konnten vor allem Unterschiede zwischen dem 2. und 3. Testdurchgang festgestellt werden. Auf der 2., 3. und 7. Belastungsstufe sind die Werte des 2., signifikant höhere als die des 3. Testdurchgangs ($p \leq 0,05$, bzw. $p \leq 0,01$). Auf der 7. Stufe ist dabei der Vergleich zwischen dem 1. und 3. Test ebenfalls signifikant unterschiedlich ($\leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 27).

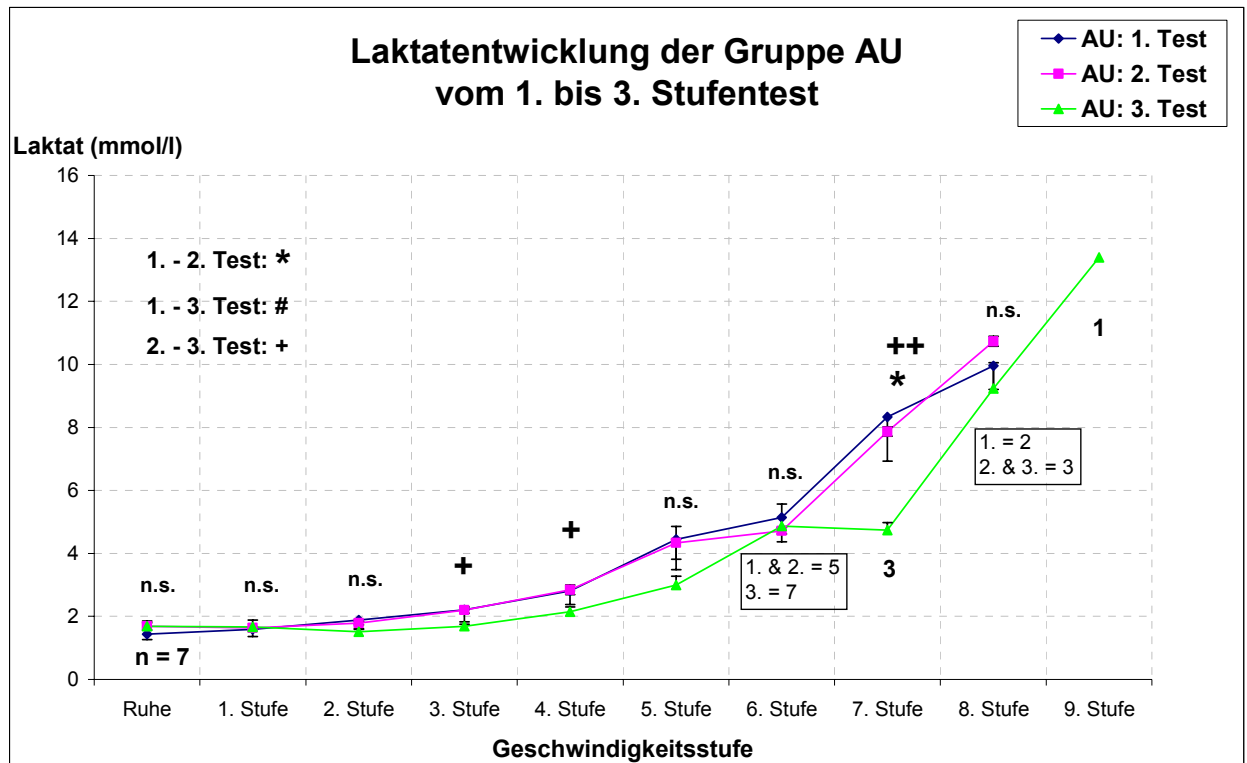


Abbildung 27: Laktatkonzentration (mmol/l) der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung bei allen drei Testdurchgängen.

Beim Vergleich aller drei Stufentests der Gruppe SP konnte nur ein signifikanter Unterschied auf der 5. Belastungsstufe zwischen dem 2. und 3. Testdurchgang festgestellt werden ($p \leq 0,05$; siehe Abbildung 28).

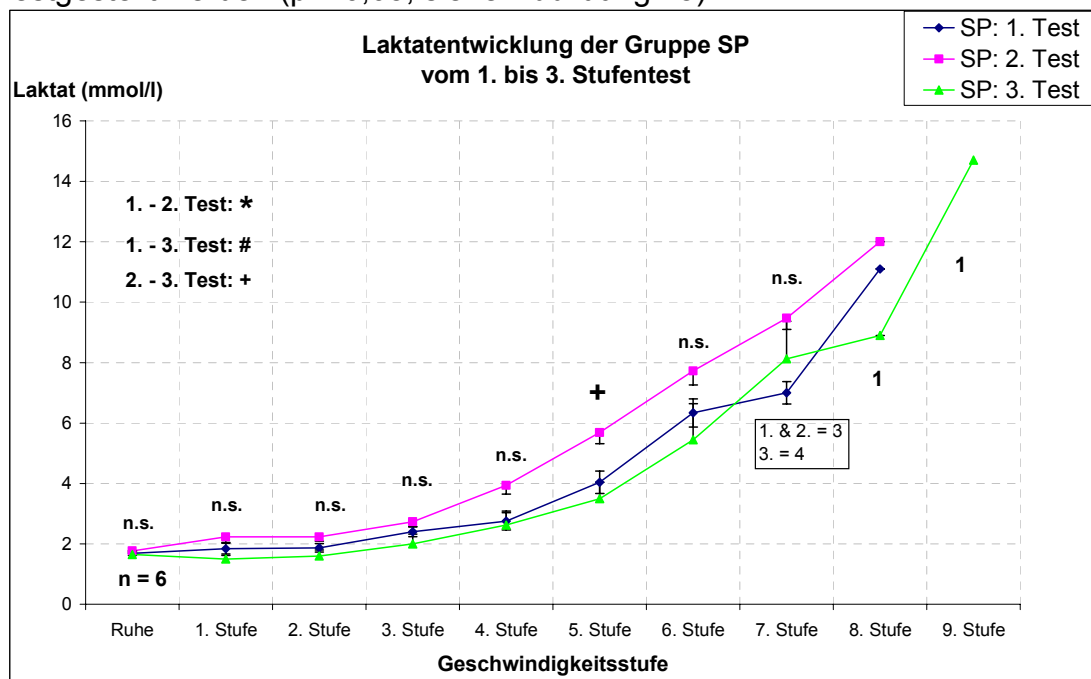


Abbildung 28: Laktatkonzentration (mmol/l) der Gruppe Sprint in Ruhe und während der Belastung bei allen drei Testdurchgängen.

Beim Vergleich zwischen den Gruppen AU und SP konnten bei den Ruhewerten und unter Belastung im ersten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 29).

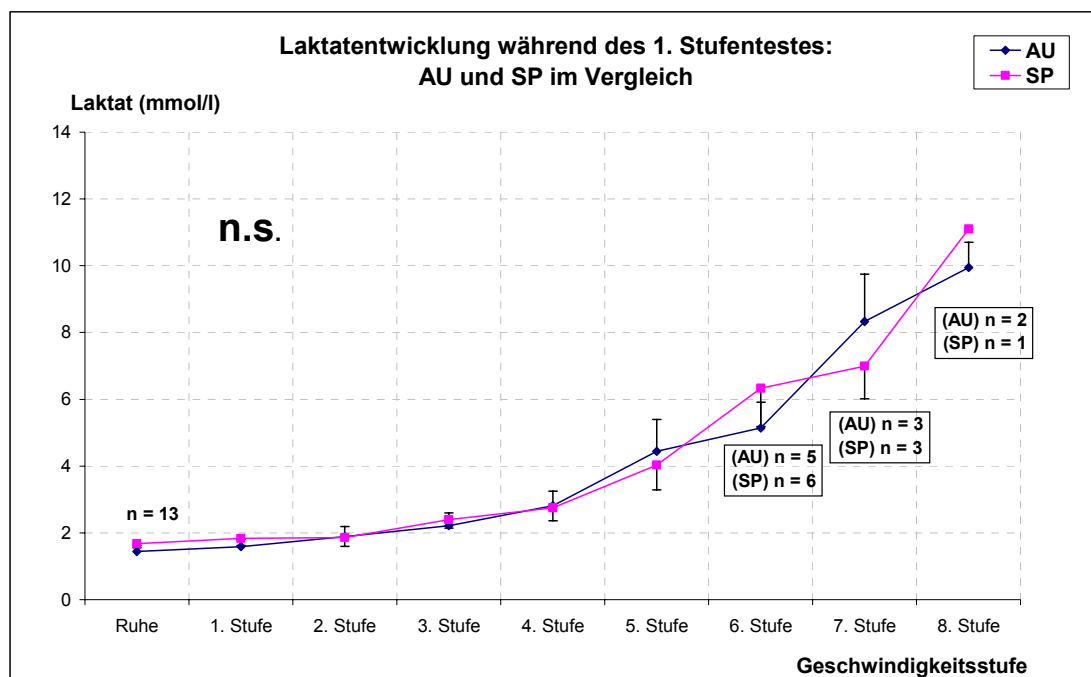


Abbildung 29: Laktatkonzentration (mmol/l) der Gruppe Sprint im Vergleich mit der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung des 1. Testdurchgangs.

Beim Vergleich zwischen den Gruppen AU und SP konnte bei den Ruhewerten und unter Belastung im zweiten Testdurchgang nur ein signifikant höherer Wert für die SP auf der 6. Belastungsstufe festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Ansonsten traten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) auf (siehe Abbildung 30).

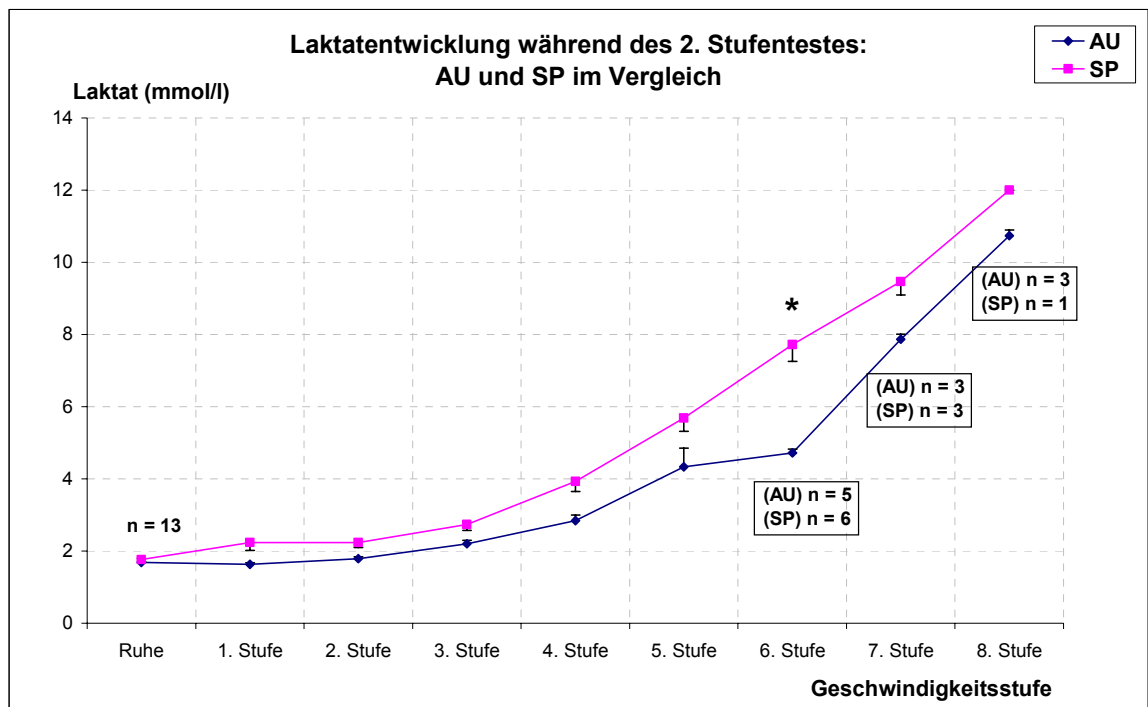


Abbildung 30: Laktatkonzentration (mmol/l) der Gruppe Sprint im Vergleich mit der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung des 2. Testdurchgangs.

Beim Vergleich zwischen den Gruppen AU und SP konnte bei den Ruhewerten und unter Belastung im zweiten Testdurchgang nur ein signifikant höherer Wert für die SP auf der 5. Belastungsstufe festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Ansonsten traten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) auf (siehe Abbildung 31).

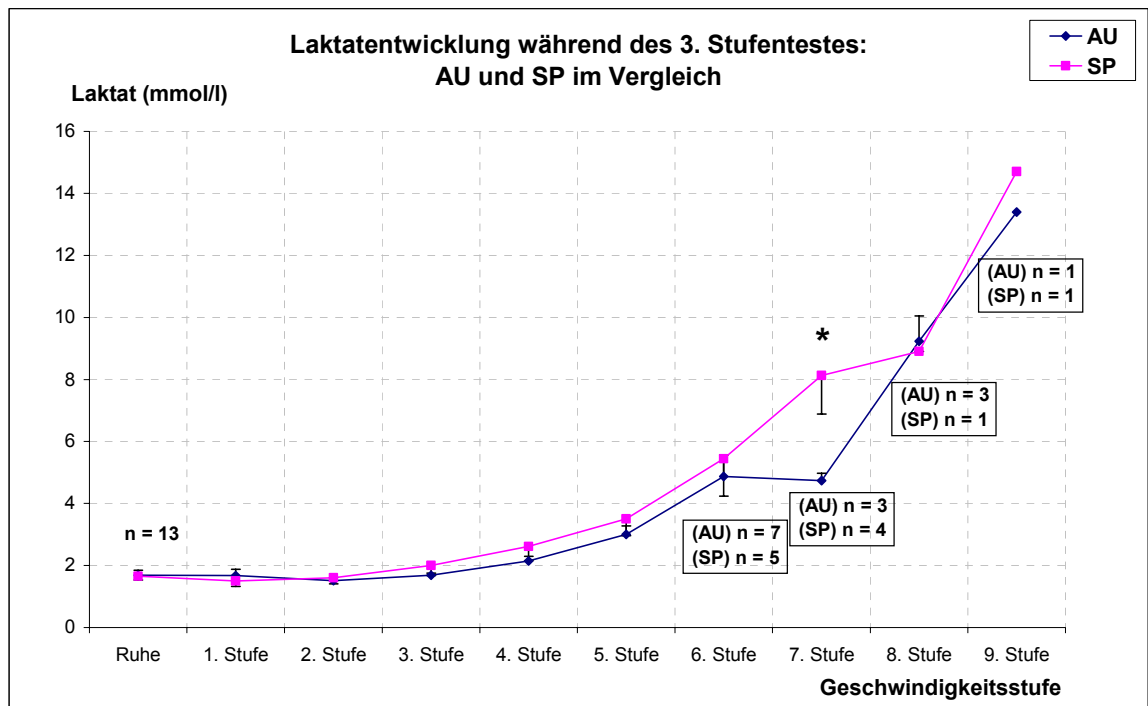


Abbildung 31: Laktatkonzentration (mmol/l) der Gruppe Sprint im Vergleich mit der Gruppe Ausdauer in Ruhe und während der Belastung des 3. Testdurchgangs.

Im Vergleich der jeweiligen Laktatschwellen der ausdauer- und sprintversierten Jugendlichen der Versuchgruppe kann im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen bei den AU kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Bei den SP hingegen ist der Wert des 1. signifikant niedriger als der des 2. Testdurchgangs ($p \leq 0,05$; siehe Abbildung 32).

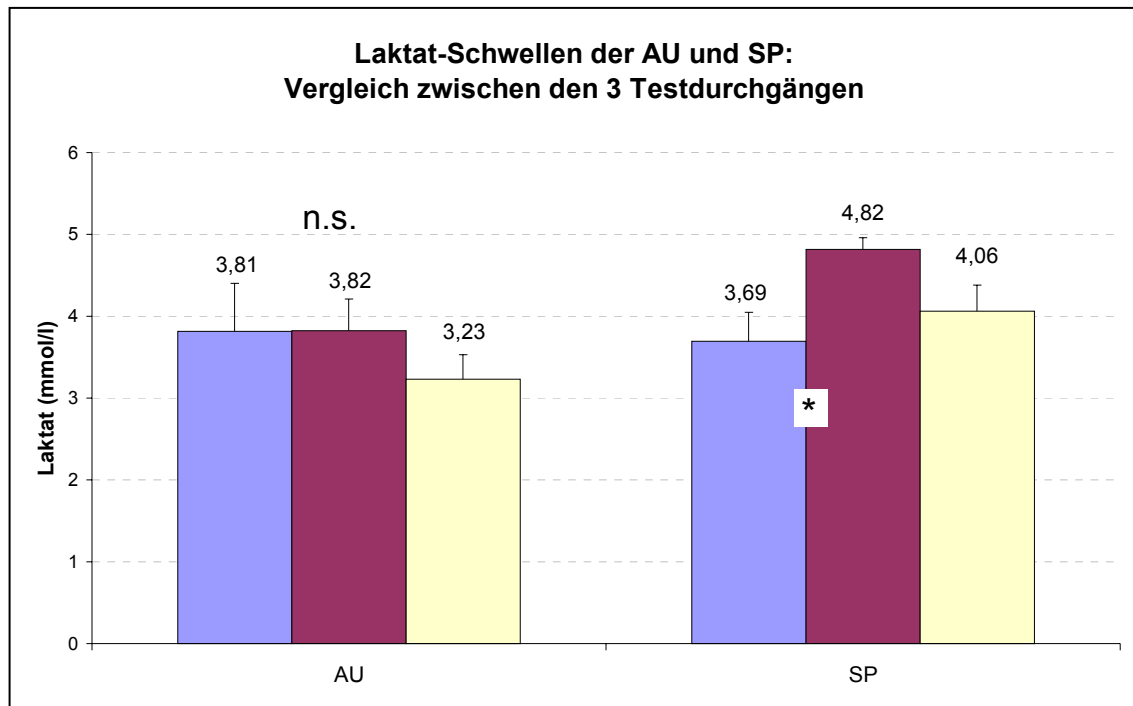


Abbildung 32: Laktatschwelle der AU und SP im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.

Bei dem Vergleich der Laktatschwellen der ausdauer- und sprintversierten Jugendlichen der Versuchgruppe zum Zeitpunkt des jeweiligen Testdurchgangs kann beim 1. Test kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Beim 2. und 3. Test hingegen sind jeweils die Werte der AU signifikant niedriger als die der SP ($p \leq 0,05$; siehe Abbildung 33).

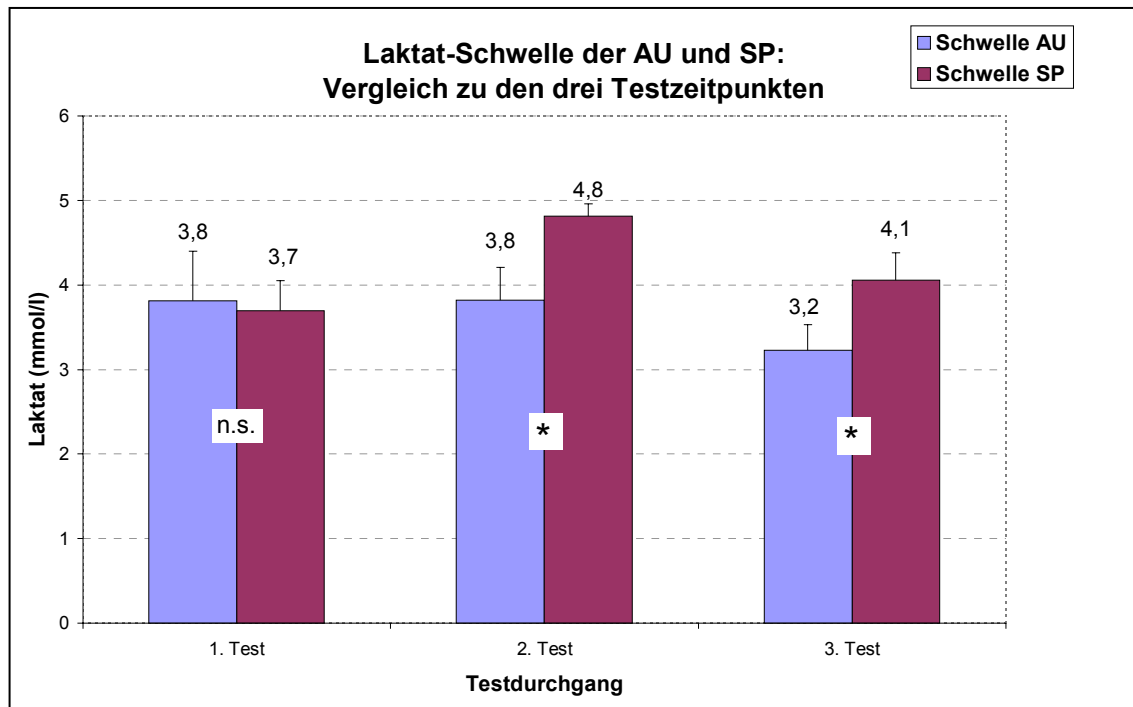


Abbildung 33: Vergleich der Laktatschwelle der AU und SP bei den drei Testdurchgängen.

3.6.3 Sauerstoffaufnahme

Zur Darstellung der spirometrischen Werte wird in Kapitel 3.6.3.1 auf die bei der Nachatmung verzögerte Messung respektive Erfassung der Nachatmungswerte eingegangen. Ausschlaggebend für die Beurteilung eines realistischen VO_2 Wertes war der VT Wert, der mindestens bei zwei aufeinanderfolgenden Atemzügen keinen Unterschied von $\geq 15\%$ aufweisen durfte, da ab diesem Zeitpunkt davon ausgegangen werden kann, dass vollständige Atemzüge vom Spirometriegerät erfasst wurden.

In Kapitel 3.6.3.2 bis 3.6.3.4 werden die verschiedenen mathematischen negativen Extrapolationen (exponentiell und linear) über verschiedene Nachbelastungszeiträume (60 und 90 Sekunden) dargestellt.

3.6.3.1 Erfassung der Messwerte

Bei der Verzögerung zwischen dem Anschlag und dem Aufsetzen der Atemmaske konnte zwischen den drei Testdurchgängen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p > 0,05$). Ebenso verhielt es sich bei der jeweiligen Erfassung der ersten realistischen VO_2 - und VT-Werte (siehe Tabelle 42).

Tabelle 42: Maskenzeit, erste realistische VO_2 - und VT-Werte des gesamten Probandenguts.

	Maskenzeit (s)	1. realistischer VO_2 Werte (s)	1. realistischer VT Wert (s)
Mittelwert [MW]			
1. Test	1,03	4,5	2,29
2. Test	0,99	5,1	2,7
3. Test	1,01	4,8	2,51
Standardabweichung [SD]			
1. Test	0,1	1,3	0,4
2. Test	0,14	1,3	1
3. Test	0,11	1,2	0,91
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
1. Test	0,03	0,25	0,1
2. Test	0,04	0,3	0,21
3. Test	0,04	0,3	0,22
Anzahl [n]			
1. Test	30	30	30
2. Test	30	30	30
3. Test	30	30	30
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.

3.6.3.2 Exponentielle negative Extrapolation

Im Folgenden wird die exponentielle negative Extrapolation nach der Formel: $y = ae^{-bx}$ über einen Nachbelastungszeitraum von 60- und 90 Sekunden der Versuchs- und Kontrollgruppe während der drei Testdurchgänge dargestellt.

Bei der 60-sekundigen exponentiellen negativen Extrapolation der VO_2 -Werte konnte, für alle Probanden der Versuchsgruppe beim Vergleich zwischen dem 1. und 3. Testdurchgang, ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,01$) der Ruhewerte festgestellt werden. Ebenfalls signifikant unterschiedlich ($p \leq 0,05$) ist in diesem Testdurchgangvergleich die 2. Belastungsstufe. Letzteres gilt ebenfalls für den Vergleich zwischen dem 1. und 3. Testdurchgang ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 34 und Tabelle 43).

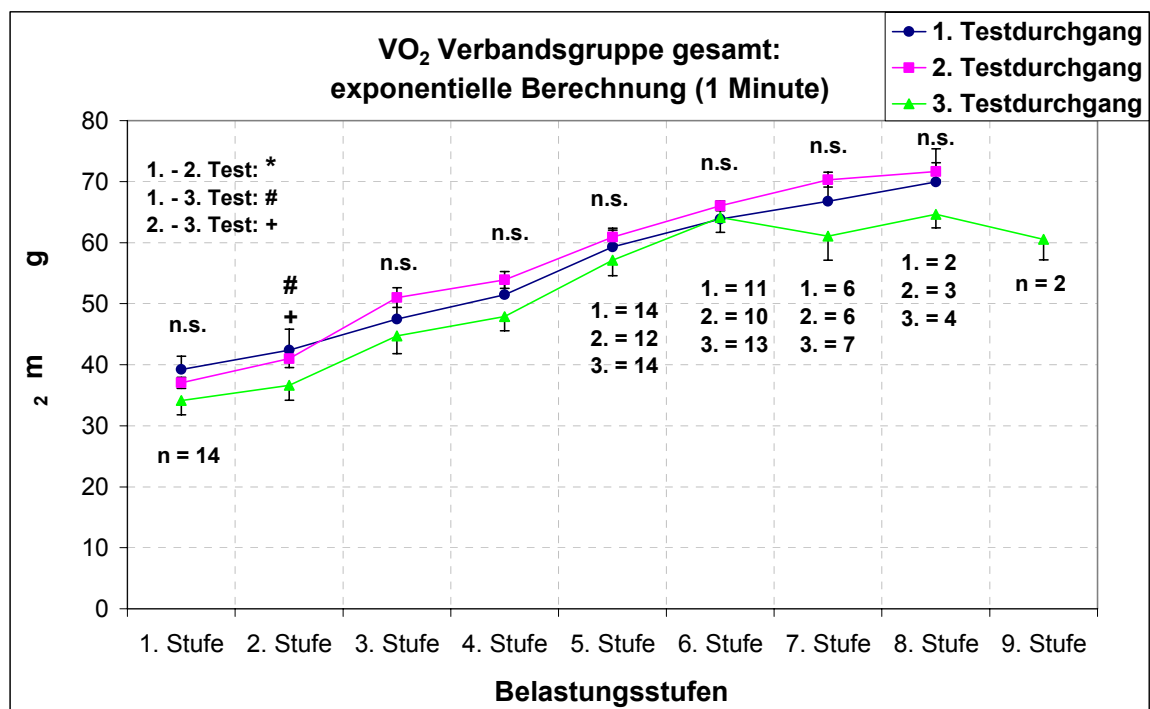


Abbildung 34: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen der Versuchsgruppe bei allen drei Testdurchgängen.

Tabelle 43: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Versuchsgruppe sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.

expo. 1min	VO ₂ Ruhe (mml/min/kg)	1. VO ₂ (mml/min/kg)	2. VO ₂ (mml/min/kg)	3. VO ₂ (mml/min/kg)	4. VO ₂ (mml/min/kg)	5. VO ₂ (mml/min/kg)	6. VO ₂ (mml/min/kg)	7. VO ₂ (mml/min/kg)	8. VO ₂ (mml/min/kg)	9. VO ₂ (mml/min/kg)	VO ₂ max (mml/min/kg)	1min VO ₂ (mml/min/kg)	3min VO ₂ (mml/min/kg)
Mittelwert [MW]													
1. Test	9,6	39,2	42,4	49,2	53,7	61,5	64,8	66,8	69,9		67,7	18,3	11,4
2. Test	13,0	37,6	42,9	51,2	55,0	61,0	65,4	71,0	71,7		71,2	18,0	9,9
3. Test	8,3	34,2	36,6	44,7	47,9	57,1	64,1	61,1	64,6	60,6	69,3	16,3	10,7
Standardabweichung [SD]													
1. Test	3,7	8,3	14,2	16,4	14,3	12,9	11,3	8,7	5,0		10,3	4,7	3,1
2. Test	5,0	9,5	10,2	9,4	11,4	9,5	7,9	8,1	5,1		7,2	4,5	2,8
3. Test	2,8	7,0	6,1	10,3	9,0	11,4	12,5	11,8	12,8	6,3	8,9	3,6	2,9
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]													
1. Test	1,0	2,2	3,8	4,4	3,8	3,5	3,4	3,5	3,5		2,8	1,2	0,8
2. Test	1,3	2,5	2,7	2,5	3,0	2,7	2,5	3,3	2,9		2,1	1,3	0,8
3. Test	0,8	1,9	1,6	2,7	2,4	3,0	3,5	4,5	6,4	4,4	2,4	1,0	0,8
Anzahl [n]													
1. Test	14	14	14	14	14	14	11	6	2	0	14	14	14
2. Test	14	14	14	14	14	12	10	6	3	0	12	13	13
3. Test	14	14	14	14	14	14	13	7	4	2	14	14	14
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]													
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

Bei der 60-sekundigen exponentiellen negativen Extrapolation der VO_2 -Werte konnten für alle Probanden der Kontrollgruppe Unterschiede der Ruhewerte festgestellt werden. Dabei lagen die Werte des 3. im Vergleich zum 2. und 1. Testdurchgang signifikant niedriger ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 35 und Tabelle 44).

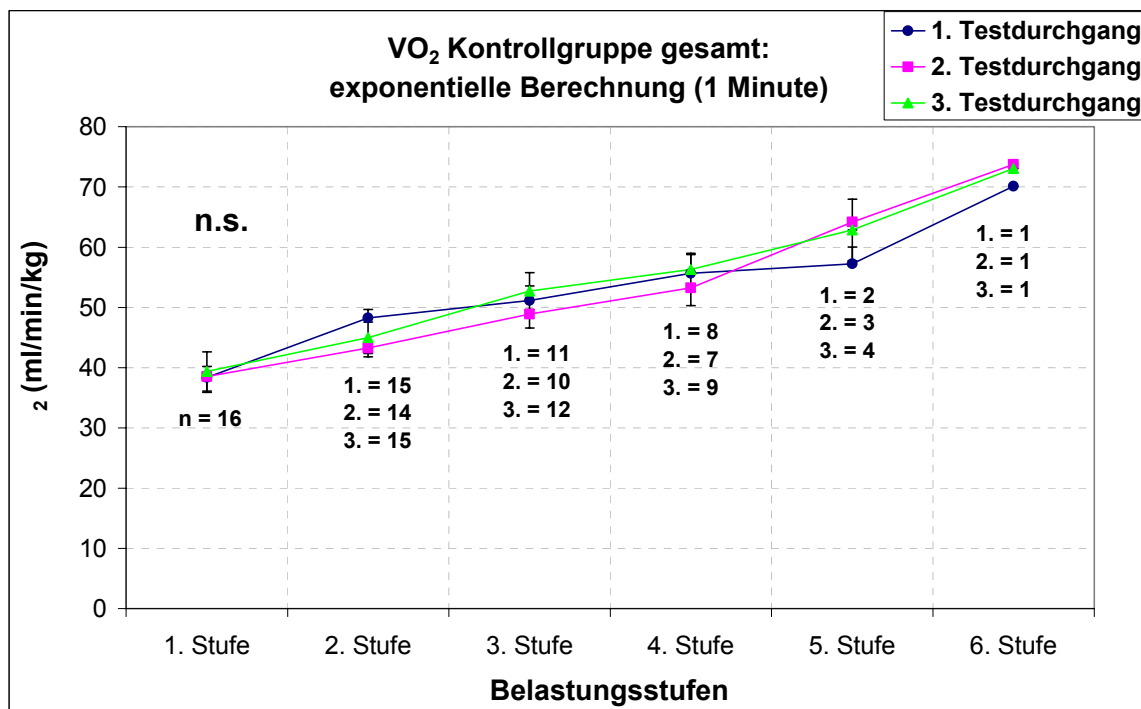


Abbildung 35: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Kontrollgruppe bei allen drei Testdurchgängen.

Tabelle 44: Exponentielle negative Extrapolation über 60 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Kontrollgruppe sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.

expo. 1min	VO_2 Ruhe ($mm\ell/min/kg$)	1. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	2. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	3. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	4. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	5. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	6. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	VO_{2-max} ($mm\ell/min/kg$)	1min VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	3min VO_2 ($mm\ell/min/kg$)
Mittelwert [MW]										
1. Test	9,5	38,2	48,3	50,6	55,4	57,3	70,1	54,5	15,5	9,9
2. Test	9,2	37,5	43,3	46,8	51,9	63,3	73,7	54,3	15,4	9,0
3. Test	6,9	41,0	44,9	52,2	56,5	62,9	73,0	58,7	16,1	9,6
Standardabweichung [SD]										
1. Test	2,8	7,4	7,4	10,0	8,8	7,7		9,7	3,0	1,9
2. Test	3,7	8,8	7,7	10,4	9,3	3,8		9,9	6,5	2,9
3. Test	1,4	11,9	12,0	11,0	7,4	5,3		17,0	5,9	2,8
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,7	1,8	1,9	3,0	3,1	4,5		2,4	0,8	0,5
2. Test	0,9	2,2	2,1	3,3	3,5	2,7		2,5	1,6	0,7
3. Test	0,4	3,0	3,1	3,2	2,5	2,6		4,3	1,5	0,7
Anzahl [n]										
1. Test	16	16	15	11	8	3	1	16	16	16
2. Test	16	16	14	10	7	2	1	16	16	16
3. Test	16	16	15	12	9	4	1	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

Bei der 90-sekundigen exponentiellen negativen Extrapolation der VO_2 -Werte konnte für alle Probanden der Versuchsgruppe nur signifikante Unterschiede zwischen dem 2. und 3. Testdurchgang ermittelt werden. Neben den Ruhewerten ($p \leq 0,01$) unterschieden sich dabei auch die Werte auf der 2. Belastungsstufe ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 36 und Tabelle 45).

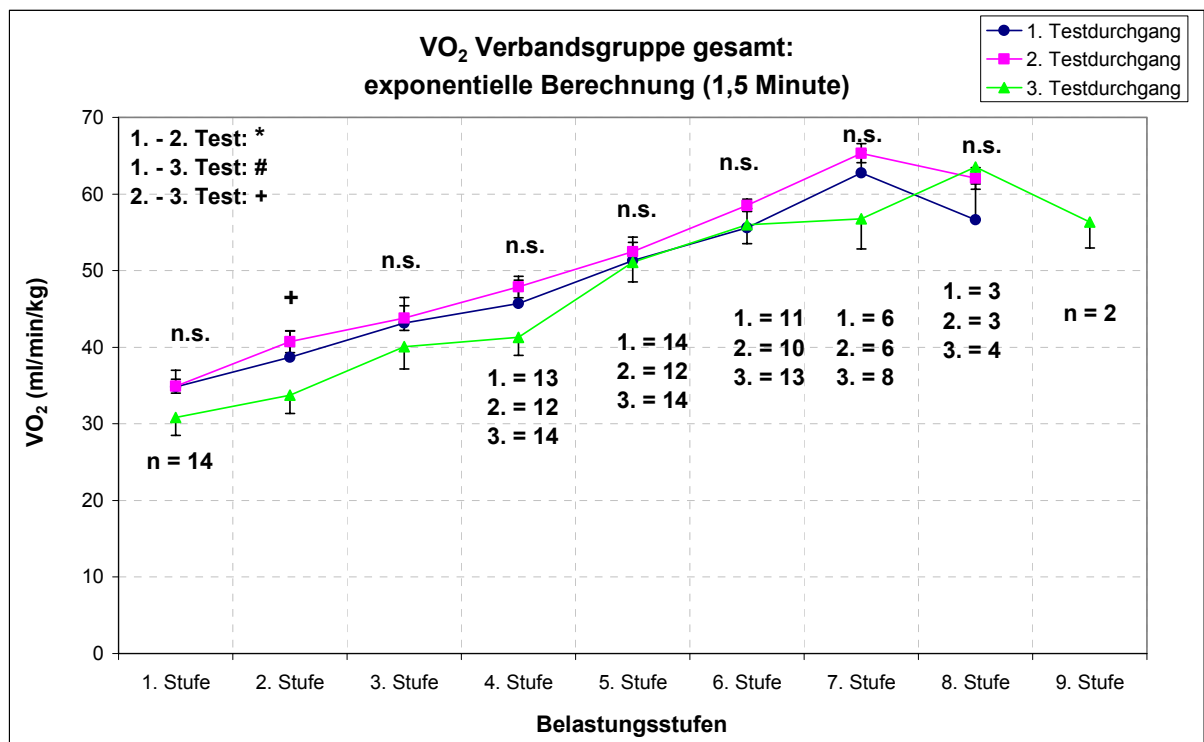


Abbildung 36: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte aller Probanden der Versuchsgruppe während der Belastungsstufen.

Tabelle 45: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der $VO_{2\text{-max}}$ aller Probanden der Versuchsgruppe sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.

VO_2 Ruhe ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	1. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	2. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	3. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	4. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	5. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	6. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	7. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	8. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	9. VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	$VO_{2\text{max}}$ ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	1min VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)	3min VO_2 ($\text{mm}^3/\text{min}/\text{kg}$)
9,6	34,8	38,7	43,6	45,7	51,3	55,6	62,8	56,6		62,6	18,3	11,4
13,0	34,9	40,7	43,8	47,9	52,5	58,5	65,3	62,1		65,5	18,0	9,9
8,3	30,9	33,8	40,1	41,3	51,1	56,0	56,8	63,5	56,3	63,9	16,3	10,7
ung [SD]												
3,7	7,6	9,5	12,3	12,4	10,9	11,5	10,4	5,3		11,0	4,7	3,1
5,0	6,0	8,9	8,0	9,4	10,4	9,4	8,7	7,1		8,7	4,5	2,8
2,8	5,5	5,7	9,3	9,6	9,9	11,4	12,0	13,0	4,4	8,9	3,6	2,9
es Mittelwertes [SEM]												
1,1	2,1	2,6	3,7	3,4	2,9	3,5	4,2	3,1		2,9	1,2	0,8
1,4	1,9	2,8	2,3	2,7	3,0	3,0	3,6	4,1		2,4	1,3	0,8
0,8	1,5	1,6	2,6	2,6	2,7	3,2	4,3	6,5	3,1	2,4	1,0	0,8
11	13	13	11	13	14	11	6	3	0	14	14	14
13	10	10	12	12	12	10	6	3	0	13	13	13
13	13	13	13	14	14	13	8	4	2	14	14	14
u [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]												
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
**	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

Bei der 90-sekundigen exponentiellen negativen Extrapolation der VO_2 -Werte konnte für alle Probanden der Kontrollgruppe, beim Vergleich zwischen dem 2. und 3. sowie dem 1. und 3. Testdurchgang ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) der Ruhewerte festgestellt werden. Ebenfalls signifikant unterschiedlich ($p \leq 0,05$) war die 3. Belastungsstufe im Vergleich zwischen dem 2. und 3. Durchgang. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 37 und Tabelle 46).

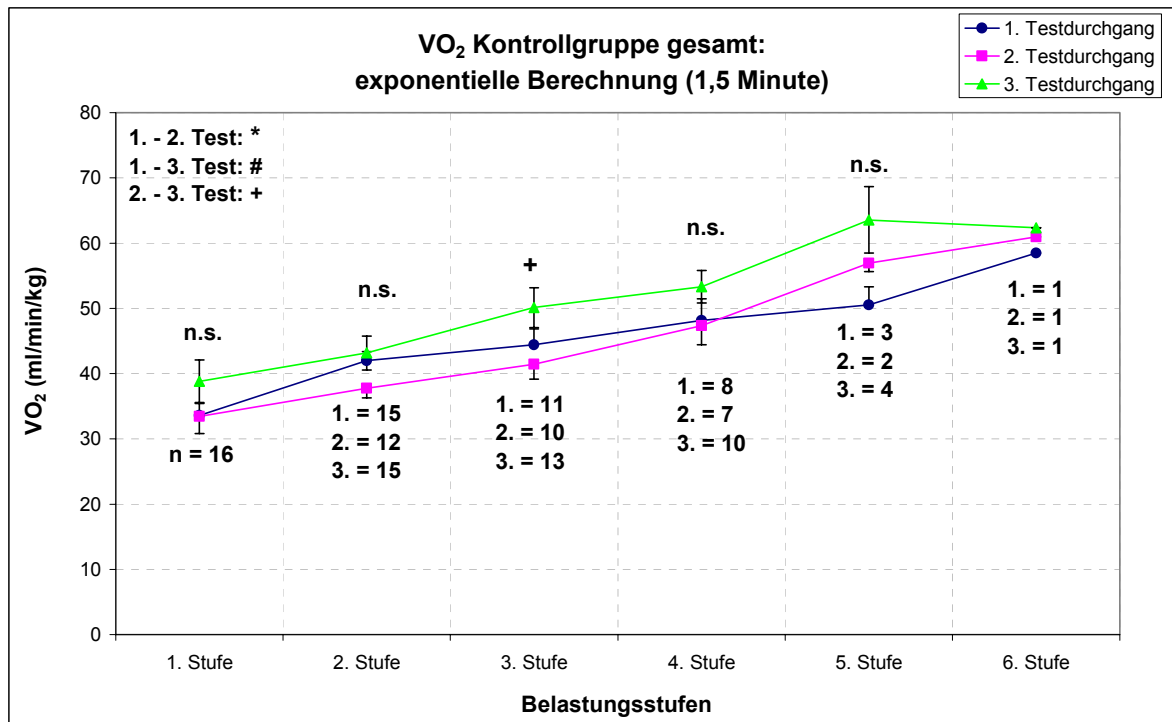


Abbildung 37: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Kontrollgruppe.

Tabelle 46: Exponentielle negative Extrapolation über 90 Sekunden der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und des $VO_{2\text{-max}}$ aller Probanden der Kontrollgruppe, sowie die Darstellung der Ruhe und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.

expo. 1,5min	VO_2 Ruhe (mm/min/kg)	1. VO_2 (mm/min/ kg)	2. VO_2 (mm/min/ kg)	3. VO_2 (mm/min/ kg)	4. VO_2 (mm/min/ kg)	5. VO_2 (mm/min/ kg)	6. VO_2 (mm/min/ kg)	$VO_{2\text{max}}$ (mm/min/ kg)	1min VO_2 (mm/min/kg)	3min VO_2 (mm/min/kg)
Mittelwert [MW]										
1. Test	9,5	33,5	42,0	44,4	48,2	50,6	58,5	47,0	15,5	9,9
2. Test	9,2	33,4	37,8	41,5	47,4	56,9	61,0	48,1	15,4	9,0
3. Test	6,9	38,8	43,2	50,1	53,3	63,6	62,4	55,3	16,1	9,6
Standardabweichung [SD]										
1. Test	2,8	6,9	5,4	8,2	8,5	6,1		8,3	3,0	1,9
2. Test	3,7	8,5	6,2	7,5	9,7	2,9		8,8	6,5	2,9
3. Test	1,4	10,8	11,2	9,8	13,2	6,2		12,3	5,9	2,8
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,7	1,7	1,4	2,5	3,0	3,5		2,1	0,8	0,5
2. Test	0,9	2,1	1,8	2,4	3,7	2,0		2,2	1,6	0,7
3. Test	0,4	2,7	2,9	2,7	4,2	3,1		3,1	1,5	0,7
Anzahl [n]										
1. Test	16	16	15	11	8	3	1	16	16	16
2. Test	16	16	12	10	7	2	1	16	16	16
3. Test	16	16	15	13	10	4	1	16	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

3.6.3.3 Lineare negative Extrapolation

In diesem Kapitel wird die lineare negative Extrapolation über einen Nachbelastungszeitraum von 60 Sekunden (nach der Formel: $y = -ax+b$) der Versuchs- und Kontrollgruppe während der drei Testdurchgänge dargestellt.

Bei der linearen negativen Extrapolation der VO_2 -Werte konnte für alle Probanden der Versuchsgruppe beim 3. Testdurchgang im Vergleich zum 2. für die Ruhewerte und auf der 8. Belastungsstufe ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p \leq 0,01$, bzw. $0,05$). Zwischen dem 1. und 3. Testdurchgang war nur ein signifikant niedriger Wert auf der 1. Belastungsstufe für den 1. Test festzustellen ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 38 und Tabelle 47).

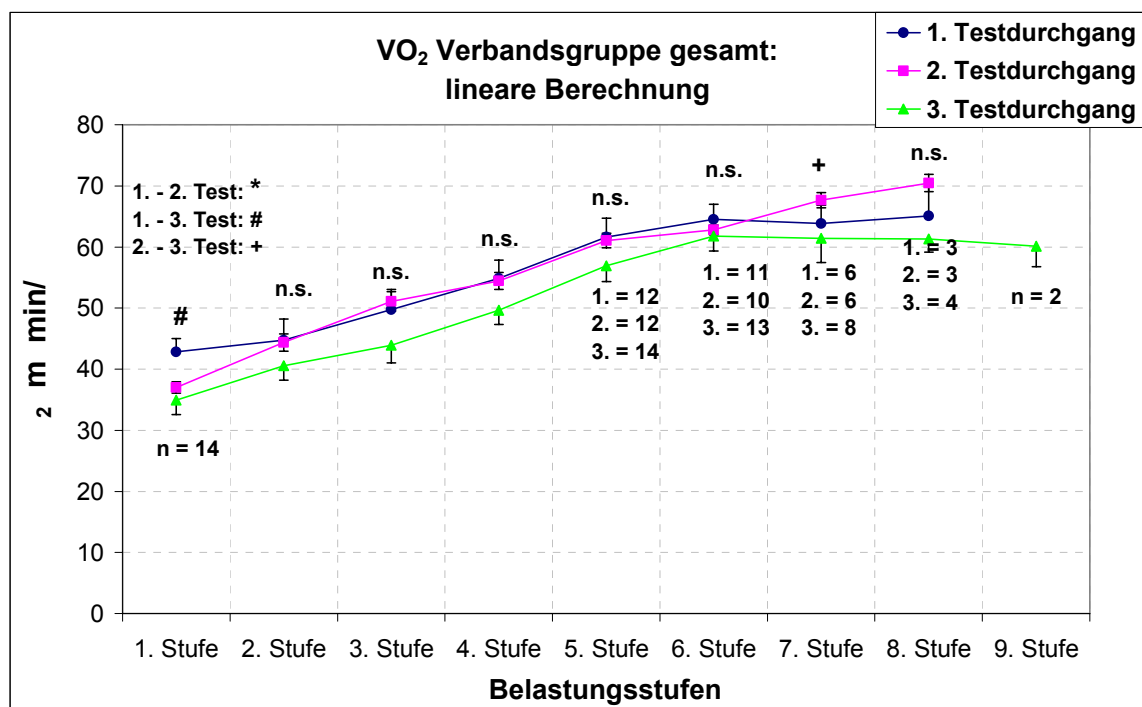


Abbildung 38: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Versuchsgruppe.

Tabelle 47: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der $VO_{2\text{-max}}$ aller Probanden der Versuchsgruppe sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.

lineare extrap.	VO_2 Ruhe ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	1. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	2. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	3. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	4. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	5. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	6. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	7. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	8. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	9. VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	$VO_{2\text{max}}$ ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	1min VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)	3min VO_2 ($\text{mm}/\text{min}/\text{kg}$)
Mittelwert [MW]													
1. Test	9,6	42,8	44,7	49,8	54,8	61,6	64,5	63,9	65,1		68,5	18,3	11,4
2. Test	13,0	37,0	44,4	51,1	54,4	61,1	62,8	67,7	70,5		69,4	18,0	9,9
3. Test	8,3	34,9	40,6	43,9	49,7	56,9	61,8	61,4	61,3	60,1	66,6	16,3	10,7
Standardabweichung [SD]													
1. Test	3,7	7,9	12,0	11,9	10,9	10,7	8,2	7,2	9,4		7,6	4,7	3,1
2. Test	5,0	6,4	10,0	11,1	9,7	8,2	5,1	6,1	4,9		5,3	4,5	2,8
3. Test	2,8	8,5	8,7	10,8	8,8	9,7	8,9	11,2	4,4	4,8	7,7	3,6	2,9
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]													
1. Test	1,0	2,1	3,2	3,2	2,9	3,1	2,5	3,0	5,4		2,0	1,2	0,8
2. Test	0,7	0,8	1,3	1,5	1,3	1,2	0,8	1,2	1,4		1,5	1,3	0,8
3. Test	0,8	2,3	2,3	2,9	2,3	2,6	2,5	3,9	2,2	3,4	2,1	1,0	0,8
Anzahl [n]													
1. Test	14	14	14	14	14	12	11	6	3	0	14	14	14
2. Test	14	14	14	14	14	12	10	6	3	0	13	13	13
3. Test	14	14	14	14	14	14	13	8	4	2	14	14	14
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]													
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.

Bei der linearen negativen Extrapolation der VO_2 -Werte konnte für alle Probanden der Kontrollgruppe beim Vergleich zwischen dem 2. und 3. sowie dem 1. und 3. Testdurchgang bei den Ruhewerten signifikant niedrigere Werte im 3. Durchgang festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Ebenfalls war dies beim Vergleich zwischen dem 2. und 1. Testdurchgang auf der 2. Belastungsstufe der Fall ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 39 und Tabelle 47).

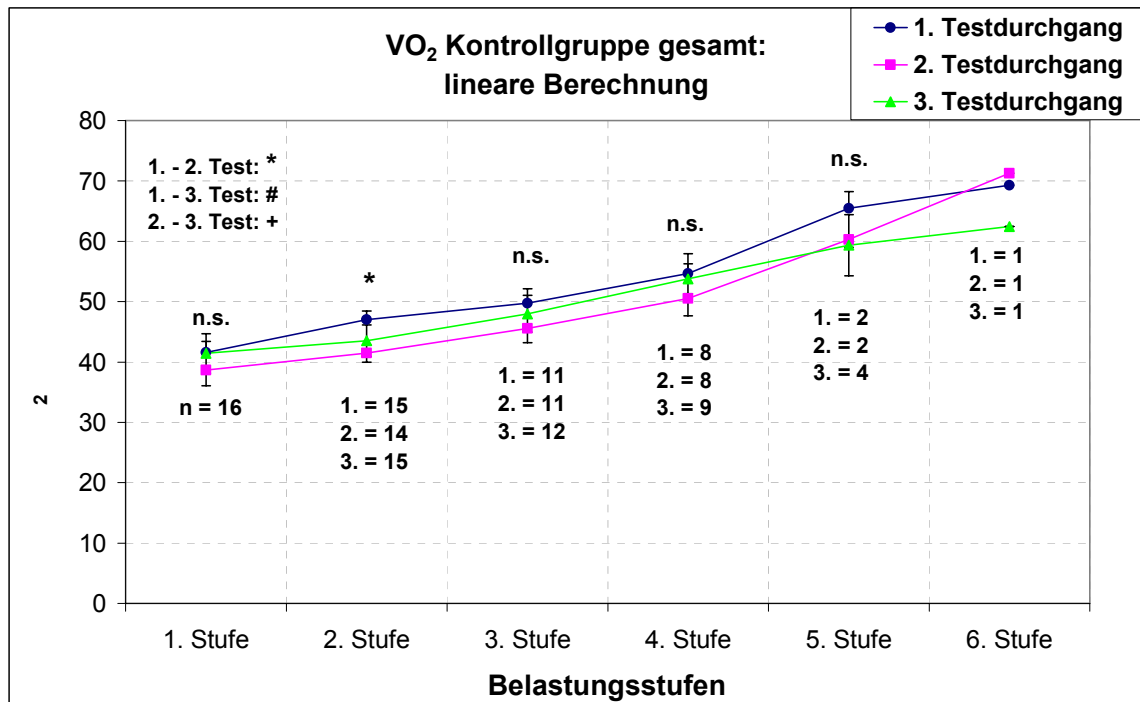


Abbildung 39: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen aller Probanden der Kontrollgruppe.

Tabelle 48: Lineare negative Extrapolation (Nachbelastungszeitraum = 60 Sekunden) der Sauerstoffwerte während der Belastungsstufen und der VO_{2-max} aller Probanden der Kontrollgruppe sowie die Darstellung der Ruhe- und Nachbelastungswerte nach einer und drei Minuten.

lineare extrap.	VO_2 Ruhe ($mm\ell/min/kg$)	1. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	2. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	3. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	4. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	5. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	6. VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	$VO_{2\ max}$ ($mm\ell/min/kg$)	1min VO_2 ($mm\ell/min/kg$)	3min VO_2 ($mm\ell/min/kg$)
Mittelwert [MW]										
1. Test	9,5	41,1	47,0	49,7	54,7	65,5	69,3	53,8	15,5	9,9
2. Test	9,2	38,7	41,5	45,5	50,6	60,3	71,3	52,3	15,4	9,0
3. Test	6,9	41,4	43,5	48,0	53,8	59,4	62,5	59,3	16,1	9,6
Standardabweichung [SD]										
1. Test	2,8	7,0	5,4	8,0	9,4	3,9		11,1	3,0	1,9
2. Test	3,7	9,9	5,4	7,7	8,3	1,8		9,4	6,5	2,9
3. Test	1,4	12,6	9,4	10,6	7,4	10,2		16,7	5,9	2,8
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,7	1,7	1,4	2,4	3,3	2,8		2,9	0,8	0,5
2. Test	0,9	2,5	1,4	2,3	2,9	1,3		2,5	1,6	0,7
3. Test	0,4	3,2	2,4	3,1	2,5	5,1		4,3	1,5	0,7
Anzahl [n]										
1. Test	16	16	15	11	8	2	1	15	16	16
2. Test	16	16	14	11	8	2	1	14	16	16
3. Test	16	16	15	12	9	4	1	15	16	16
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 2.-3. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

3.6.3.4 Vergleich zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern

Bei dem in diesem Kapitel dargestellten Vergleich, der negative Extrapolation zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern, wurde die exponentielle Extrapolation über einen Nachbelastungszeitraum von 60 Sekunden angewandt.

Bei dem Vergleich der VO_2 -Werte zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern konnten im ersten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 40).

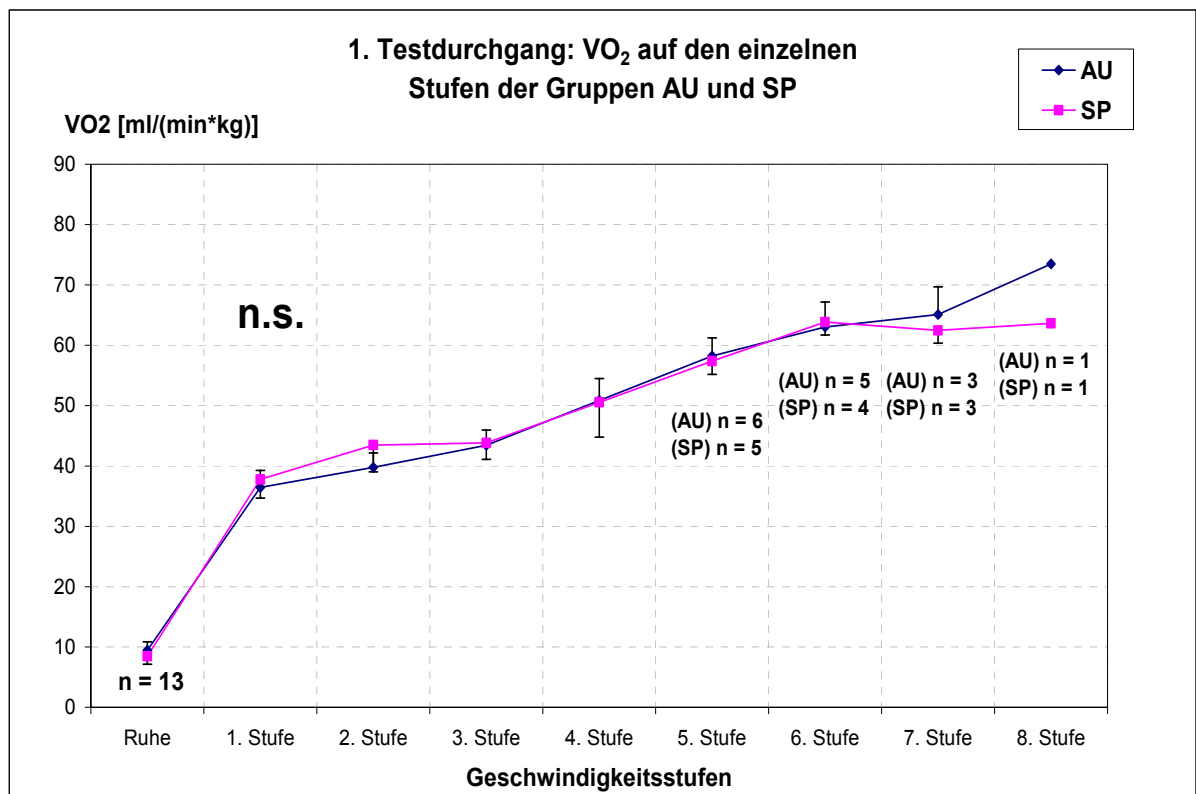


Abbildung 40: Vergleich der VO_2 -Werte während der Belastungsstufen sowie in Ruhe zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern während des 1. Testdurchgangs.

Bei dem Vergleich der VO_2 -Werte zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern im zweiten Testdurchgang konnte ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) auf der 7. Belastungsstufe für die AU festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 41).

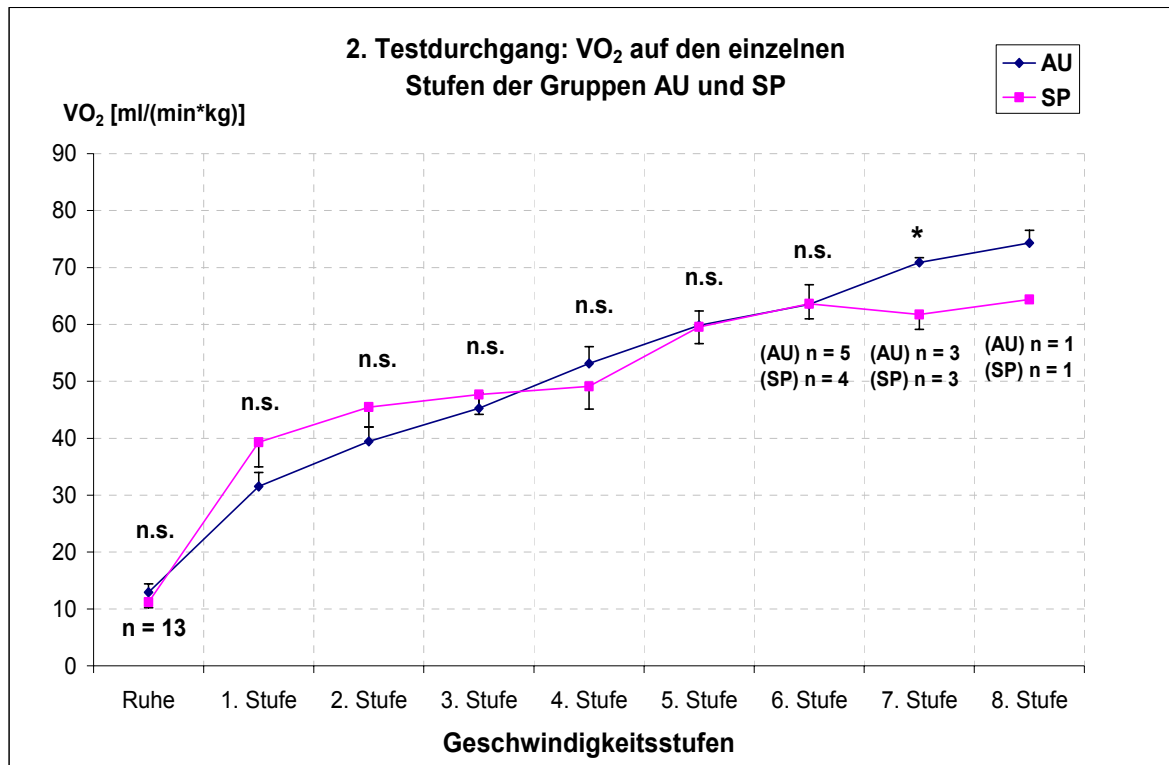


Abbildung 41: Vergleich der VO_2 -Werte während der Belastungsstufen sowie in Ruhe zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern während des 2. Testdurchgangs.

Bei dem Vergleich der VO_2 -Werte zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern konnten im 3. Testdurchgang auf der 1. und 4. Belastungsstufe signifikant höhere und auf der 6. Belastungsstufe signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) für die SP festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 42).

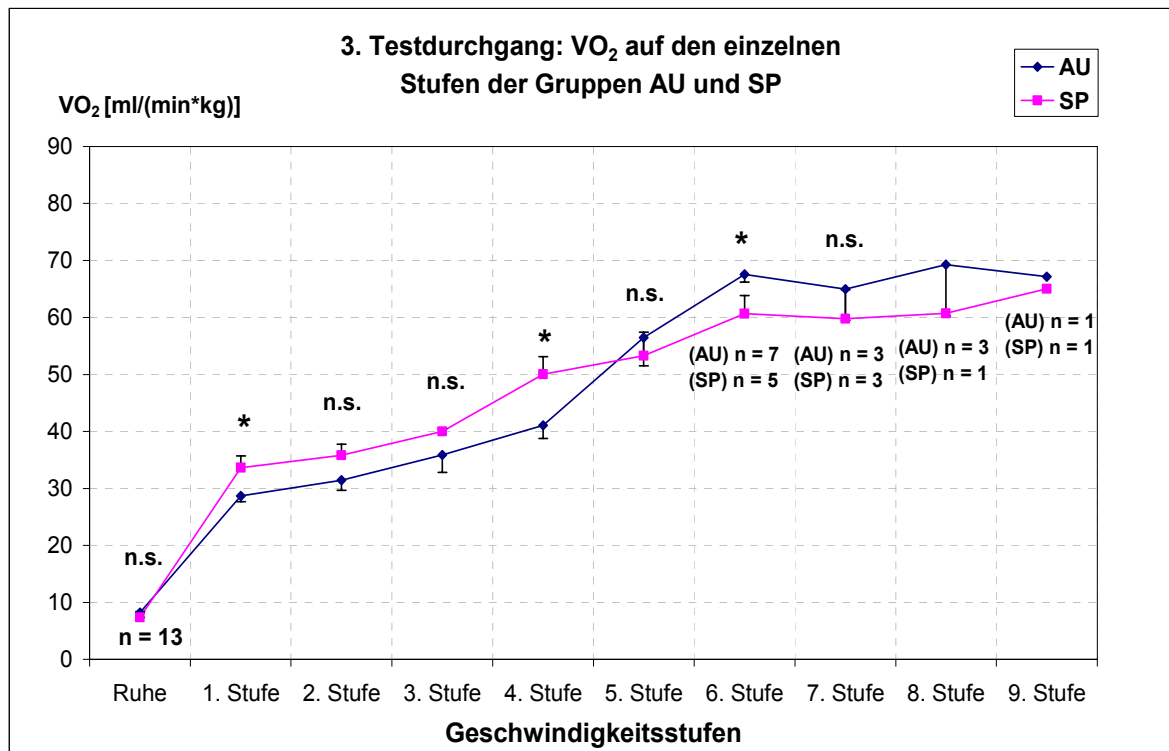


Abbildung 42: Vergleich der VO_2 -Werte während der Belastungsstufen sowie in Ruhe zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern während des 3. Testdurchgangs.

3.6.3.5 Methodenvergleich

Zum Vergleich der verschiedenen Extrapolationsansätze im Rahmen der Nachatemungsmethode, werden im Folgenden die exponentielle, über einen Nachbelastungszeitraum von 60, 90, 120 und 180 Sekunden, sowie die lineare Extrapolation miteinander verglichen. Dabei wird die errechnete Sauerstoffaufnahme bei Belastungsabbruch des gesamte Probandenguts auf der jeweils maximalen Belastungsstufe dargestellt (siehe Abbildung 43-45).

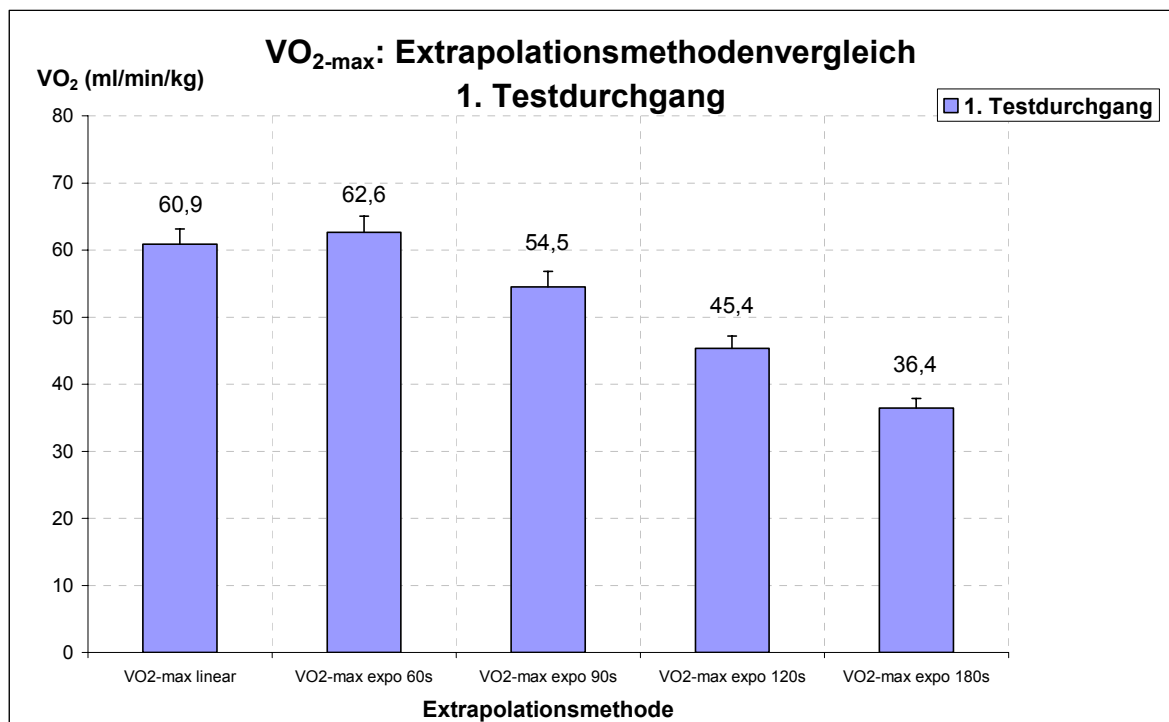


Abbildung 43: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO_{2-max} Werte aller Probanden beim ersten Testdurchgang.

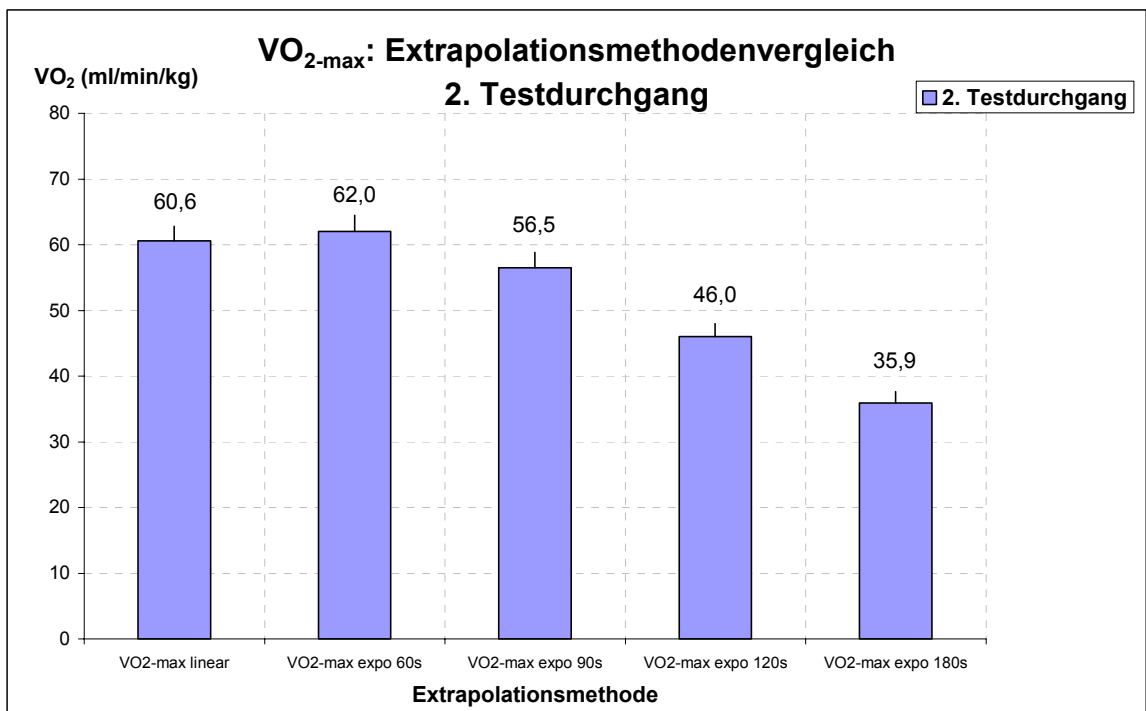


Abbildung 44: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO₂-max Werte aller Probanden beim zweiten Testdurchgang.

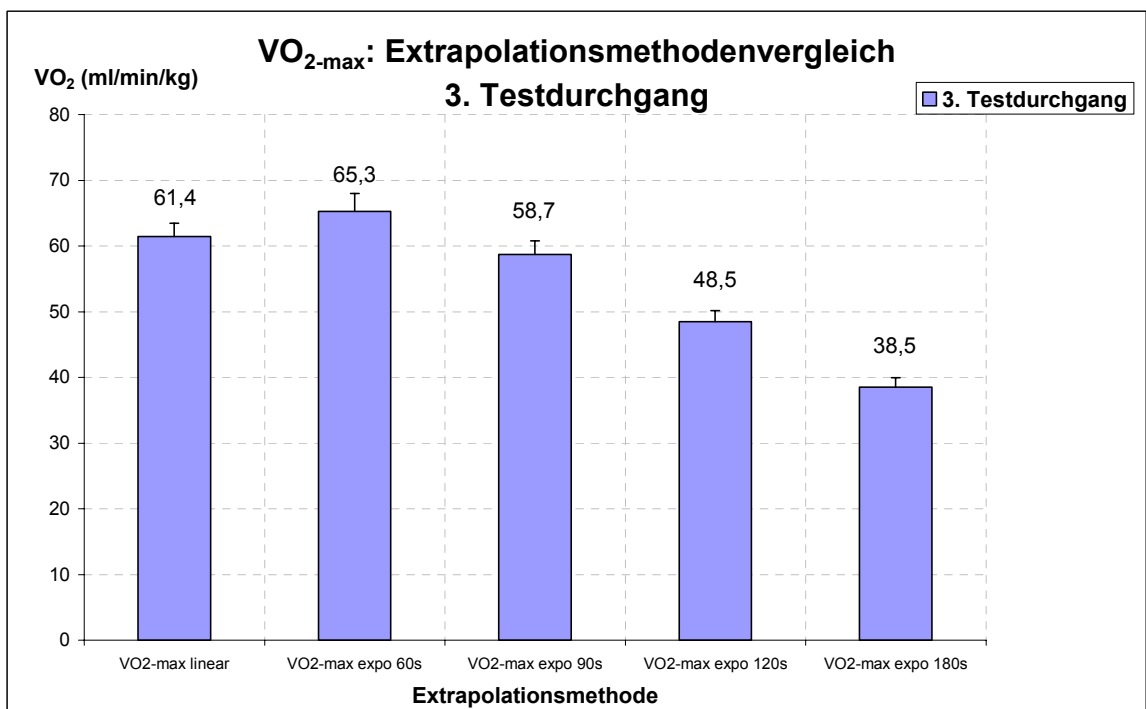


Abbildung 45: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO₂-max Werte aller Probanden beim dritten Testdurchgang.

Zur besseren Übersicht sind die Signifikanzen zwischen den Testverfahren in der folgenden Tabelle dargestellt und beschrieben.

Beim Vergleich der maximalen Sauerstoffwerte zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation aller Probanden auf allen Testdurchgängen konnte für den Vergleich zwischen der linearen und der 60-sekundigen exponentiellen Extrapolation zu keiner Zeit ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p > 0,05$). Ebenfalls keine Unterschiede sind im 2. und 3. Testdurchgang zwischen der linearen bzw. 60-sekundigen und der 90-sekundigen negativen exponentiellen Extrapolation zu beobachten ($p > 0,05$). Alle anderen Vergleiche sind signifikant unterschiedlich ($p \leq 0,05$ bzw. $0,01$ bzw. $0,001$; siehe Tabelle 49).

Tabelle 49: Vergleich zwischen der linearen und exponentiellen negativen Extrapolation der VO_{2-max} Werte (ml/min/kg) zwischen allen Probanden auf allen Testdurchgängen.

	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
VO_{2-max} linear	60,9	60,6	61,4
VO_{2-max} expo 60s	62,6	62,0	65,3
VO_{2-max} expo 90s	54,5	56,5	58,7
VO_{2-max} expo 120s	45,4	46,0	48,5
VO_{2-max} expo 180s	36,4	35,9	38,5
Standardabweichung [SD]			
VO_{2-max} linear	12,1	11,5	10,6
VO_{2-max} expo 60s	13,2	12,4	14,3
VO_{2-max} expo 90s	12,4	12,3	10,7
VO_{2-max} expo 120s	9,8	10,4	8,9
VO_{2-max} expo 180s	7,9	8,9	7,7
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
VO_{2-max} linear	2,2	2,2	2,0
VO_{2-max} expo 60s	2,4	2,4	2,7
VO_{2-max} expo 90s	2,3	2,4	2,1
VO_{2-max} expo 120s	1,8	2,0	1,7
VO_{2-max} expo 180s	1,5	1,7	1,5
Anzahl [n]			
VO_{2-max} linear	29	29	30
VO_{2-max} expo 60s	29	29	30
VO_{2-max} expo 90s	29	29	30
VO_{2-max} expo 120s	29	29	30
VO_{2-max} expo 180s	29	29	30
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test: lin vs 60s	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: lin vs 90s	*	n.s.	n.s.
t-Test: lin vs 120s	***	***	***
t-Test: lin vs 180s	***	***	***
t-Test: 60s vs 90s	*	n.s.	n.s.
t-Test: 60s vs 120s	***	***	***
t-Test: 60s vs 180s	***	***	***
t-Test: 90s vs 120s	**	***	***
t-Test: 90s vs 180s	***	***	***
t-Test: 120s vs 180s	***	***	***

3.6.4 VO_{2-max} und Laktat der Ausdauer- und Sprintgruppe im Vergleich

In den folgenden beiden Tabellen (50 und 51) soll der Unterschied der maximalen Laktatwerte und der VO_{2-max} zwischen der Ausdauer- (AU) und der Sprintgruppe (SP), sowie deren Entwicklung im Verlauf der drei Testdurchgänge dargestellt werden.

Beim Vergleich der VO_{2-max} und der maximalen Laktat-Werte zwischen AU und SP auf allen drei Testdurchgängen konnte ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) im 3. Testdurchgang sowohl für die VO_{2-max} als auch für die Laktat-Werte festgestellt werden. Dabei lagen die VO_{2-max} Werte der AU höher und die maximalen Laktat-Werte niedriger als die der SP. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Tabelle 50).

Tabelle 50: VO_{2-max} (ml/min/kg) und maximale Laktat-Werte (mmol/l) der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.

VO _{2-max} & La _{max} für AU und SP	1. Test	2. Test	3. Test
Mittelwert [MW]			
VO _{2-max} (ml/min/kg) AU	67,0	68,3	72,5
VO _{2-max} (ml/min/kg) SP	65,5	68,1	65,1
La _{max} (mmol/l) AU	7,8	8,2	7,6
La _{max} (mmol/l) SP	7,9	10,0	10,4
Standardabweichung [SD]			
VO _{2-max} (ml/min/kg) AU	8,9	6,2	5,2
VO _{2-max} (ml/min/kg) SP	1,7	2,7	6,0
La _{max} (mmol/l) AU	2,7	3,1	2,1
La _{max} (mmol/l) SP	1,8	1,3	2,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]			
VO _{2-max} (ml/min/kg) AU	3,2	2,2	1,8
VO _{2-max} (ml/min/kg) SP	0,8	1,1	2,5
La _{max} (mmol/l) AU	1,0	1,1	0,8
La _{max} (mmol/l) SP	0,7	0,5	1,0
Anzahl [n]			
VO _{2-max} (ml/min/kg) AU	8	8	8
VO _{2-max} (ml/min/kg) SP	5	6	6
La _{max} (mmol/l) AU	8	8	8
La _{max} (mmol/l) SP	6	6	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]			
t-Test: VO _{2-max} (ml/min/kg)	n.s.	n.s.	*
t-Test: Laktat _{max} (mmol/l)	n.s.	n.s.	*

Beim Vergleich der $VO_{2\text{-max}}$ und der maximale Laktat-Werte von AU und SP im Verlauf der drei Testdurchgänge konnten signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) für den 1. im Vergleich zum 2. und 3. Testdurchgang bei den maximalen Laktat-Werten der SP festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Tabelle 51).

Tabelle 51: $VO_{2\text{-max}}$ (ml/min/kg) und maximale Laktat Werte (mmol/l) der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP) im Verlauf der drei Testdurchgänge.

$VO_{2\text{-max}}$ & La_{max} für AU und SP	AU $VO_{2\text{-max}}$ (ml/min/kg)	SP $VO_{2\text{-max}}$ (ml/min/kg)	AU La_{max} (mmol/l)	SP La_{max} (mmol/l)
Mittelwert [MW]				
1. Test	67,0	65,5	7,8	7,9
2. Test	68,3	68,1	8,2	10,0
3. Test	72,5	65,1	7,6	10,4
Standardabweichung [SD]				
1. Test	8,9	1,7	2,7	1,8
2. Test	6,2	2,7	3,1	1,3
3. Test	5,2	6,0	2,1	2,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]				
1. Test	3,2	0,8	1,0	0,7
2. Test	2,2	1,1	1,1	0,5
3. Test	1,8	2,5	0,8	1,0
Anzahl [n]				
1. Test	7	5	7	6
2. Test	7	6	7	6
3. Test	7	6	7	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]				
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	*
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	*

3.7 Ökonomie

Zur Interpretation der ökonomischen Unterschiede zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe, sowie der Ausdauer- und der Sprintgruppe werden im Folgenden die Parameter Energy Cost (Cs), „stroke-efficiency-index“ (SEI), Zugfrequenz (ZF) und $\Delta VO_2 / \Delta v$ dargestellt.

3.7.1 Energy Cost

Beim Vergleich der Cs zwischen den drei Testreihen der VG konnten signifikante Unterschiede ($p \leq 0,01$ bzw. $p \leq 0,05$) zwischen dem 2. und 3. Testdurchgang auf der 2. und 3. Stufe und zwischen dem 1. und 3. Testdurchgang für die 2. Geschwindigkeitsstufe festgestellt werden. Dabei waren jeweils niedrigere Werte im 3. Testdurchgang zu beobachten. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 46 und Tabelle 52).

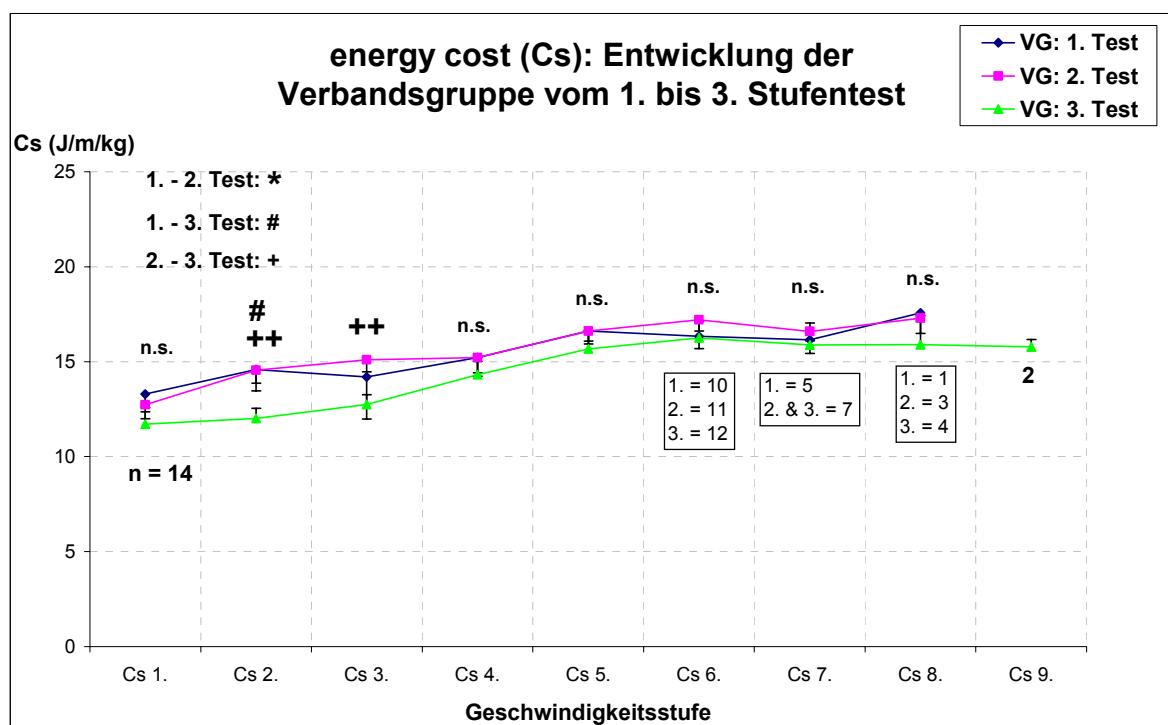


Abbildung 46: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Versuchsgruppe unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

Tabelle 52: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Versuchsgruppe unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

VG (La berücksichtigt)	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)	9.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]									
1. Test	13,3	14,6	14,2	15,2	16,6	16,3	16,1	17,6	
2. Test	12,7	14,6	15,1	15,2	16,6	17,2	16,6	17,3	
3. Test	11,7	12,0	12,7	14,3	15,7	16,3	15,9	15,9	15,8
Standardabweichung [SD]									
1. Test	2,7	4,2	8,3	3,7	2,5	2,0	1,6		
2. Test	2,7	2,6	2,4	3,0	1,9	2,0	1,3	1,4	
3. Test	2,3	1,9	1,9	2,5	3,4	3,0	3,1	3,1	0,5
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test	0,7	1,1	2,2	1,0	0,7	0,6	0,7		
2. Test	0,7	0,7	0,6	0,8	0,5	0,6	0,5	0,8	
3. Test	0,6	0,5	0,5	0,7	1,0	0,9	1,2	1,5	0,4
Anzahl [n]									
1. Test	14	14	14	14	14	10	5	1	0
2. Test	14	14	14	14	14	11	7	3	0
3. Test	14	14	14	14	14	12	7	4	2
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		

Beim Vergleich der Cs zwischen den drei Testreihen der KG konnte nur ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen dem 1. und 2. Testdurchgang auf der 2. Geschwindigkeitsstufe festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 47 und Tabelle 53).

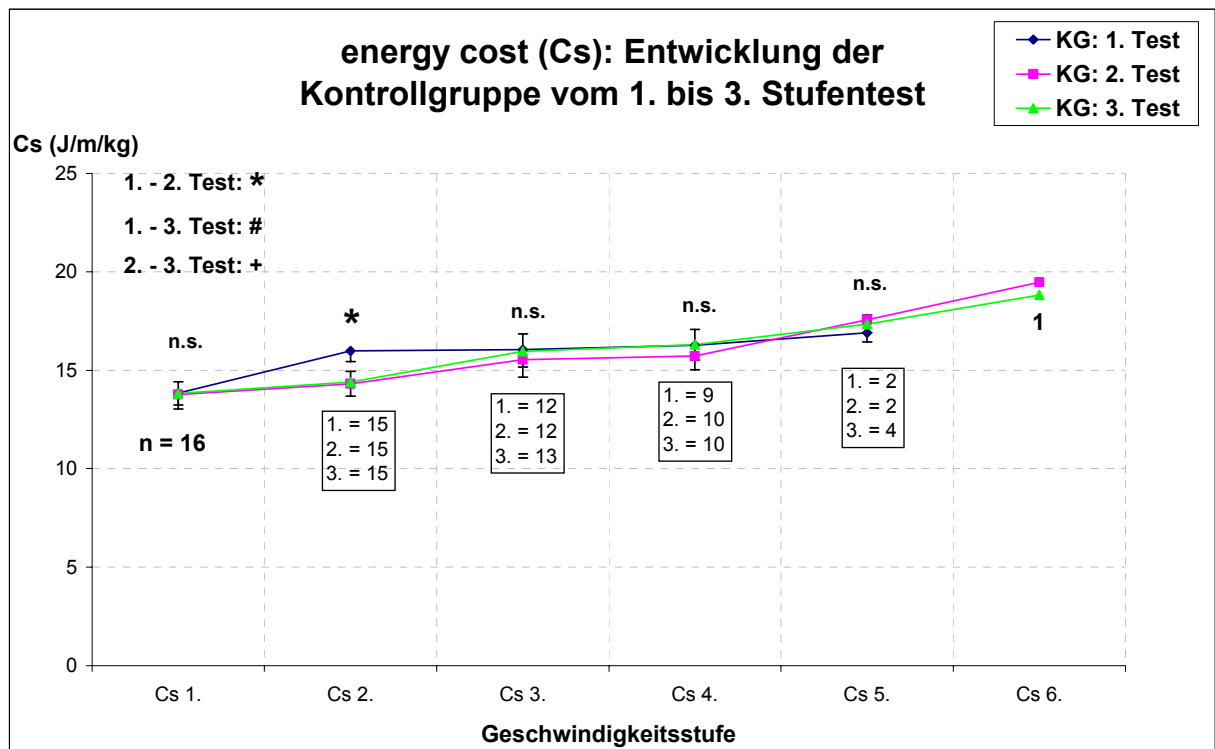


Abbildung 47: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (KG) unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

Tabelle 53: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (KG) unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

KG (La berücksichtigt)	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]						
1. Test	13,84	15,99	16,05	16,28	16,90	
2. Test	13,77	14,31	15,54	15,73	17,56	19,47
3. Test	13,82	14,40	15,96	16,30	17,34	18,82
Standardabweichung [SD]						
1. Test	2,41	2,11	3,07	2,29	0,65	
2. Test	2,94	2,43	3,10	2,25	0,93	
3. Test	2,96	2,54	2,60	2,09	1,42	
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]						
1. Test	0,60	0,55	0,89	0,76	0,46	
2. Test	0,73	0,63	0,90	0,71	0,66	
3. Test	0,76	0,66	0,72	0,66	0,71	
Anzahl [n]						
1. Test	16	15	12	9	2	0
2. Test	16	15	12	10	2	1
3. Test	16	15	13	10	4	1
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]						
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Beim Vergleich der Cs zwischen der VG und KG konnten im ersten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 48 und Tabelle 54).

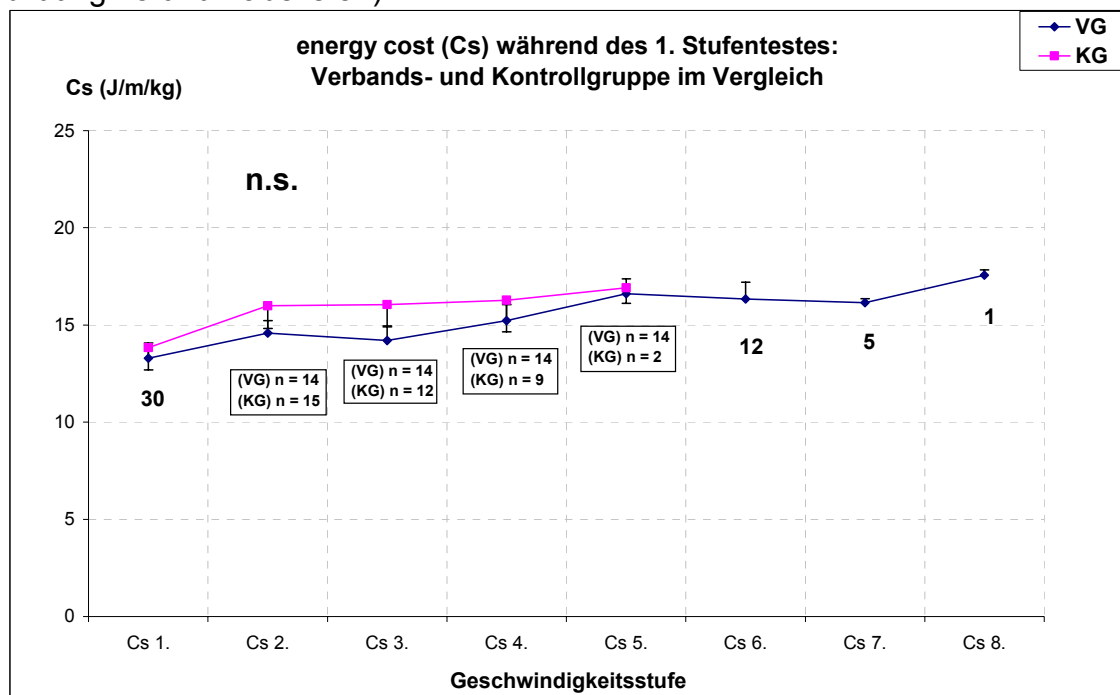


Abbildung 48: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im ersten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

Tabelle 54: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im ersten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

VG vs. KG	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]								
1. Test VG	13,28	14,57	14,07	15,19	16,52	15,14	15,94	17,38
1. Test KG	13,84	15,99	16,05	16,28	16,90			
Standardabweichung [SD]								
1. Test VG	2,69	4,17	2,94	3,72	2,50	5,18	1,56	
1. Test KG	2,41	2,11	3,07	2,29	0,65	2,00	1,31	1,27
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
1. Test VG	0,60	0,55	0,89	0,76	0,46	1,50	0,70	
1. Test KG	0,52	0,46	0,53	0,54	0,46	0,58	0,50	0,74
Anzahl [n]								
1. Test VG	14	14	14	14	14	12	5	1
1. Test KG	16	15	12	9	2	0	0	0
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Cs zwischen der VG und KG konnten im zweiten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 49 und Tabelle 55).

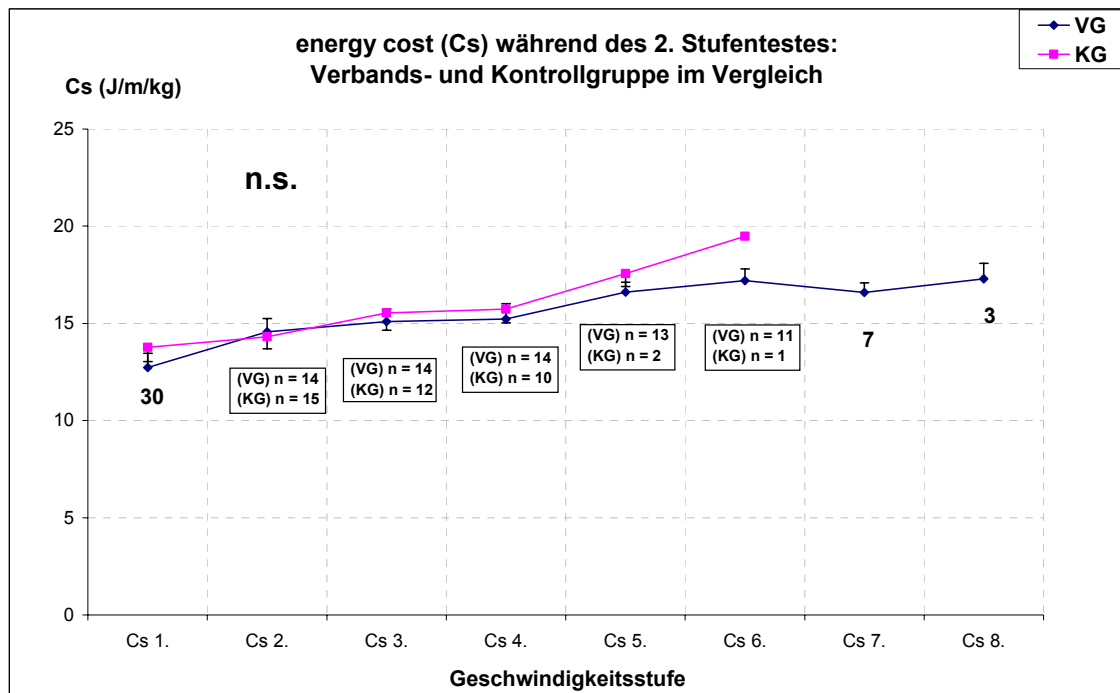


Abbildung 49: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im zweiten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

Tabelle 55: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) zweiten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

VG vs. KG	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]								
2. Test VG	12,71	14,56	15,08	15,17	16,50	17,08	16,37	16,91
2. Test KG	13,77	14,31	15,54	15,73	17,56	19,47		
Standardabweichung [SD]								
2. Test VG	2,75	2,59	2,35	2,97	1,85	1,97	1,31	1,27
2. Test KG	2,94	2,43	3,10	2,25	0,93			
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
2. Test VG	0,73	0,69	0,63	0,79	0,51	0,59	0,50	0,74
2. Test KG	0,73	0,63	0,90	0,71	0,66			
Anzahl [n]								
2. Test VG	14	14	14	14	13	11	7	3
2. Test KG	16	15	12	10	2	1	0	0
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Cs zwischen der VG und KG konnten auf allen Stufen ausgenommen der 5., signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$ bzw. $0,001$) für die VG festgestellt werden. Somit kann festgehalten werden, dass bei dem Parameter Cs sich die VG und KG insgesamt ausschließlich im dritten Testdurchgang signifikant unterscheiden ($p \leq 0,05$ bzw. $0,001$; siehe Abbildung 50 und Tabelle 56).

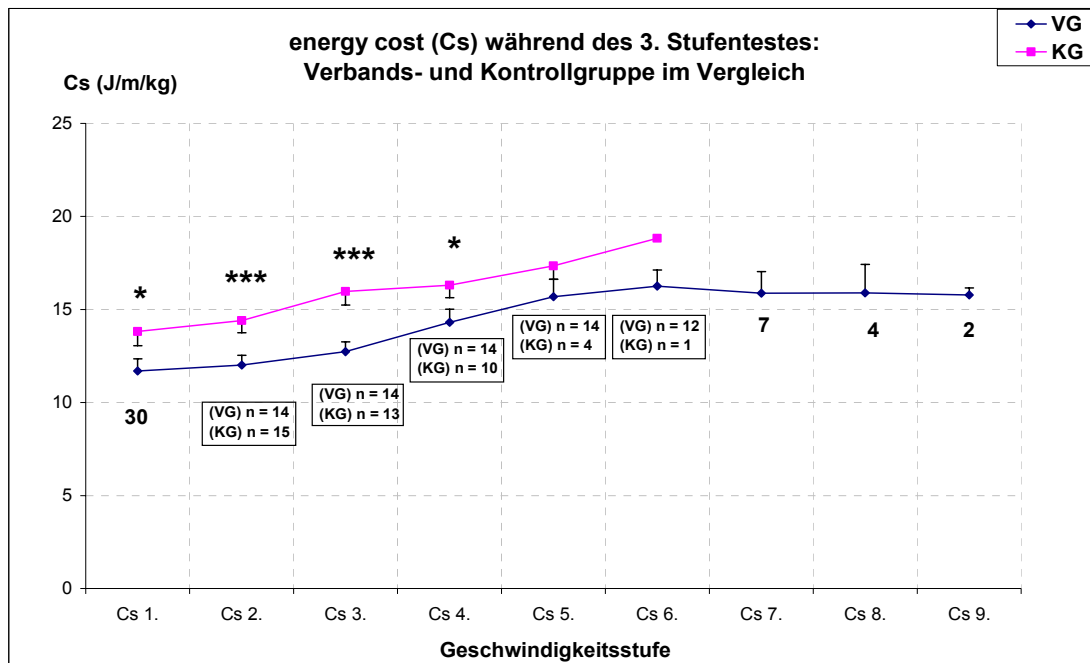


Abbildung 50: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im dritten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

Tabelle 56: Vergleich der Energy Cost (Cs) zwischen der Versuchs- (VG) und der Kontrollgruppe (KG) im dritten Testdurchgang unter Berücksichtigung der Laktatwerte.

VG vs. KG	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)	9.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]									
3. Test VG	11,70	12,01	12,73	14,29	15,63	16,14	15,75	15,67	15,41
3. Test KG	13,82	14,40	15,96	16,30	17,34	18,82			
Standardabweichung [SD]									
3. Test VG	2,34	1,89	1,86	2,50	3,40	2,97	3,06	3,03	0,55
3. Test KG	2,96	2,54	2,60	2,09	1,42				
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
3. Test VG	0,65	0,52	0,52	0,69	0,94	0,86	1,16	1,52	0,39
3. Test KG	0,76	0,66	0,72	0,66	0,71				
Anzahl [n]									
3. Test VG	14	14	14	14	14	12	7	4	2
3. Test KG	16	15	13	10	4	1	0	0	0
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	*	***	***	*	n.s.				

Beim Vergleich der Cs zwischen der AU und SP konnten im ersten Testdurchgang keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 51 und Tabelle 57).

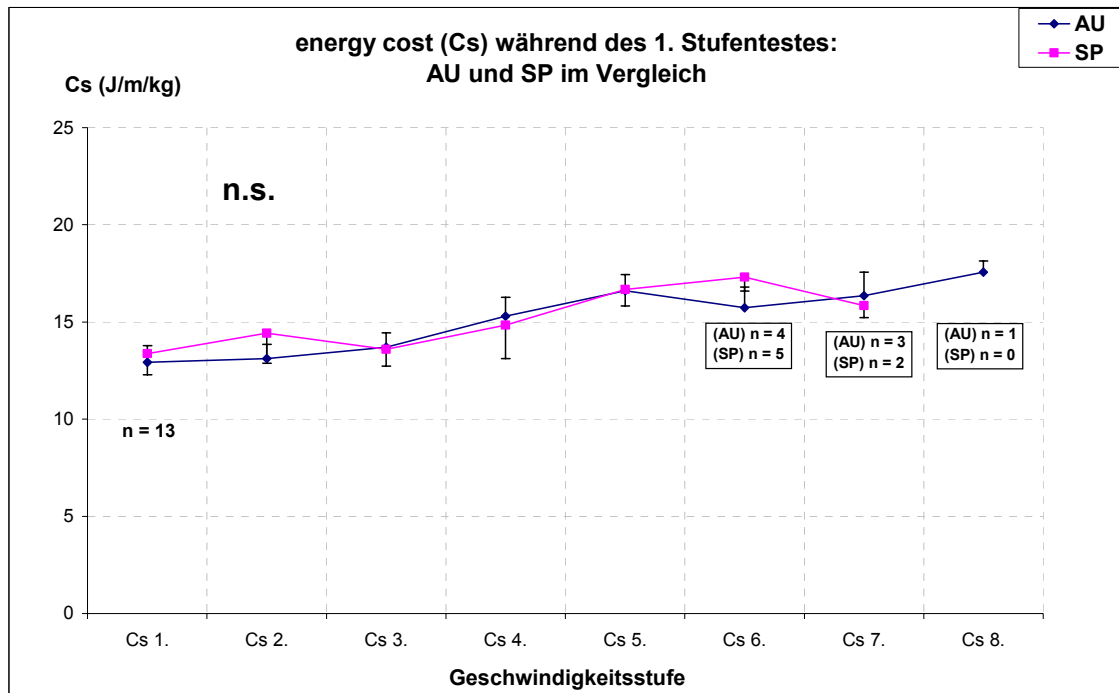


Abbildung 51: Energy Cost (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im ersten Testdurchgang.

Tabelle 57: Energy Cost (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im ersten Testdurchgang.

AU vs. SP	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]								
1. Test AU	12,9	13,1	13,7	15,3	16,6	15,7	16,3	17,6
1. Test SP	13,4	14,4	13,6	14,8	16,7	17,3	15,8	
Standardabweichung [SD]								
1. Test AU	2,3	1,9	1,9	2,5	2,2	2,1	2,1	1,5
1. Test SP	2,7	3,8	2,1	4,2	2,1	1,6	0,9	
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
1. Test AU	0,9	0,7	0,7	1,0	0,8	1,1	1,2	0,6
1. Test SP	1,1	1,5	0,9	1,7	0,9	0,7	0,6	
Anzahl [n]								
1. Test AU	7	7	7	7	7	4	3	1
1. Test SP	6	6	6	6	6	5	2	0
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Cs zwischen den AU und SP konnte im 2. Testdurchgang auf der ersten Belastungsstufe ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) der SP festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 52 und Tabelle 58).

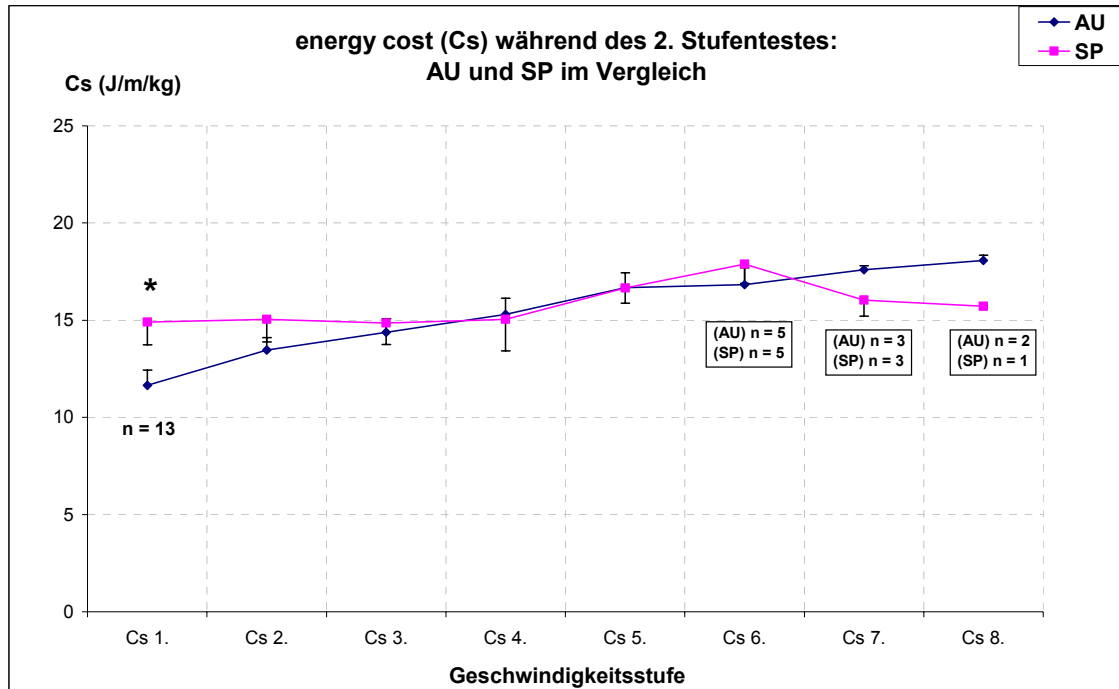


Abbildung 52: Energy Cost (Cs) der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im zweiten Testdurchgang.

Tabelle 58: Energy Cost (Cs) der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im zweiten Testdurchgang.

AU vs. SP	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]								
2. Test AU	11,6	13,5	14,4	15,3	16,7	16,8	17,6	18,1
2. Test SP	14,9	15,0	14,9	15,0	16,7	17,9	16,0	15,7
Standardabweichung [SD]								
2. Test AU	2,1	1,7	1,8	2,2	2,0	1,9	0,3	0,4
2. Test SP	2,6	2,9	2,7	4,0	1,9	2,2	1,4	
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
2. Test AU	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,2	0,3
2. Test SP	1,2	1,2	1,1	1,6	0,8	1,0	0,8	
Anzahl [n]								
2. Test AU	7	7	7	7	7	5	3	2
2. Test SP	5	6	6	6	6	5	3	1
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Beim Vergleich der Cs zwischen den AU und SP konnte im dritten Testdurchgang auf der ersten Belastungsstufe ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) der SP festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 53 und Tabelle 59).

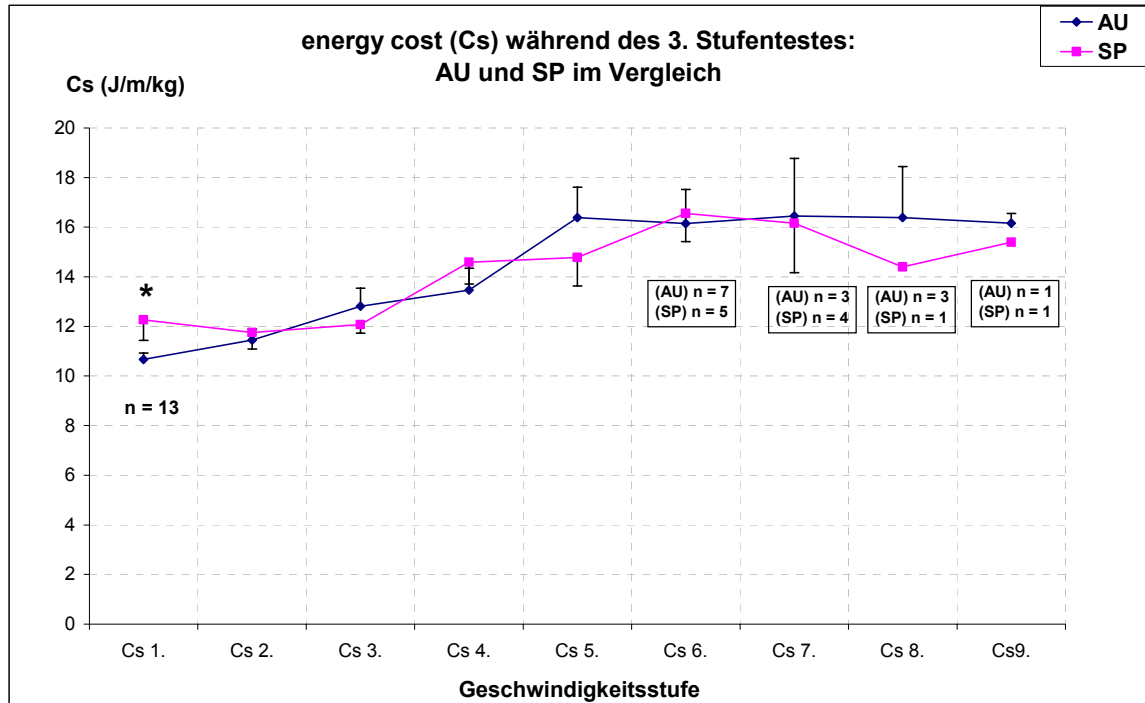


Abbildung 53: Energy Cost (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im dritten Testdurchgang.

Tabelle 59: Energy Cost (Cs) der ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im dritten Testdurchgang.

AU vs. SP	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)	9.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]									
3. Test AU	10,7	11,4	12,8	13,5	16,4	16,1	16,5	16,4	16,2
3. Test SP	12,3	11,8	12,1	14,6	14,8	16,6	16,2	14,4	15,4
Standardabweichung [SD]									
3. Test AU	0,7	1,2	1,9	2,3	3,2	3,7	3,3	3,6	0,5
3. Test SP	1,9	1,6	0,8	2,2	2,8	2,5	3,5		
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
3. Test AU	0,3	0,4	0,7	0,9	1,2	1,4	2,3	2,1	0,4
3. Test SP	0,8	0,7	0,3	0,9	1,1	1,1	2,0		
Anzahl [n]									
3. Test AU	7	7	7	7	7	7	4	3	1
3. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	1
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		

Beim Vergleich der Cs für die AU zwischen allen drei Testdurchgängen konnte nur zwischen dem 1. und 3. Test für die erste und zweite Stufe sowie zwischen dem 2. und 3. Test für die zweite Stufe ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) festgestellt werden. Dabei sind jeweils die Werte des 3. Testdurchgangs niedriger als die des 1. bzw. 2. (siehe Abbildung 54 und Tabelle 60).

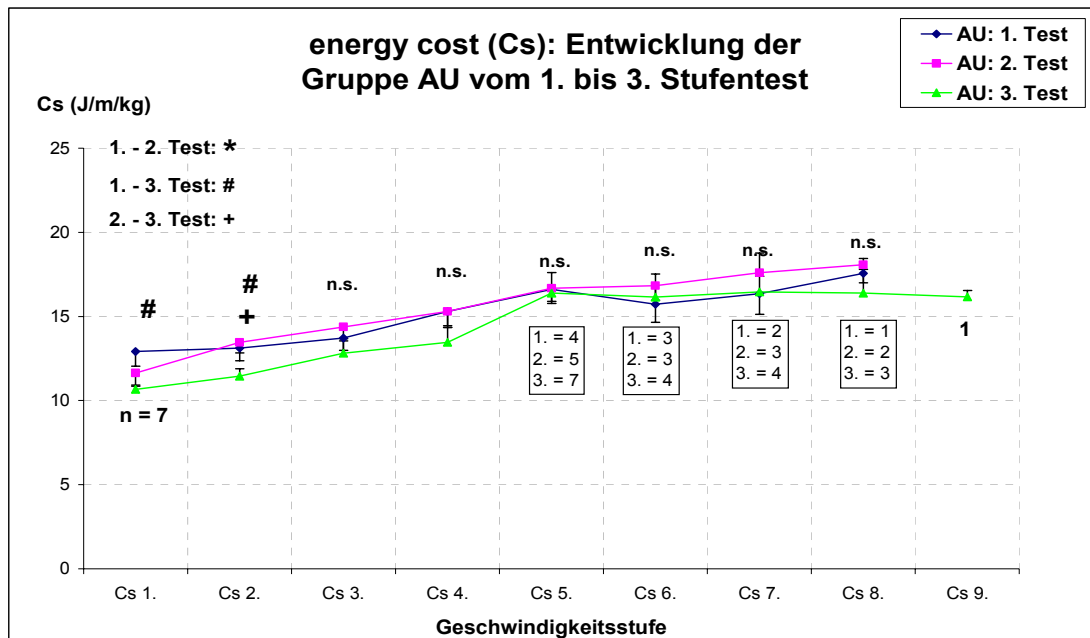


Abbildung 54: Energy Cost (Cs) der ausdauerversierten (AU) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

Tabelle 60: Energy Cost (Cs) der ausdauerversierten (AU) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

AU	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)	9.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]									
1. Test	12,9	13,1	13,7	15,3	16,6	15,7	16,3	17,6	
2. Test	11,6	13,5	14,4	15,3	16,7	16,8	17,6	18,1	
3. Test	10,7	11,4	12,8	13,5	16,4	16,1	16,5	16,4	16,2
Standardabweichung [SD]									
1. Test	2,3	1,9	1,9	2,5	2,2	2,1	2,1	1,5	
2. Test	2,1	1,7	1,8	2,2	2,0	1,9	0,3	0,4	
3. Test	0,7	1,2	1,9	2,3	3,2	3,7	3,3	3,6	0,5
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test	0,9	0,7	0,7	1,0	0,8	1,1	1,2	0,6	
2. Test	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,2	0,3	
3. Test	0,3	0,4	0,7	0,9	1,2	1,4	2,3	2,1	0,4
Anzahl [n]									
1. Test	7	7	7	7	7	4	3	1	0
2. Test	7	7	7	7	7	5	3	2	0
3. Test	7	7	7	7	7	7	4	3	1
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
t-Test: 1.-3. Test	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		

Beim Vergleich der Cs für die SP zwischen allen drei Testdurchgängen konnte für die zweite und dritte Stufe signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) im 3. Testdurchgang verglichen mit dem 2. festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 55 und Tabelle 61).

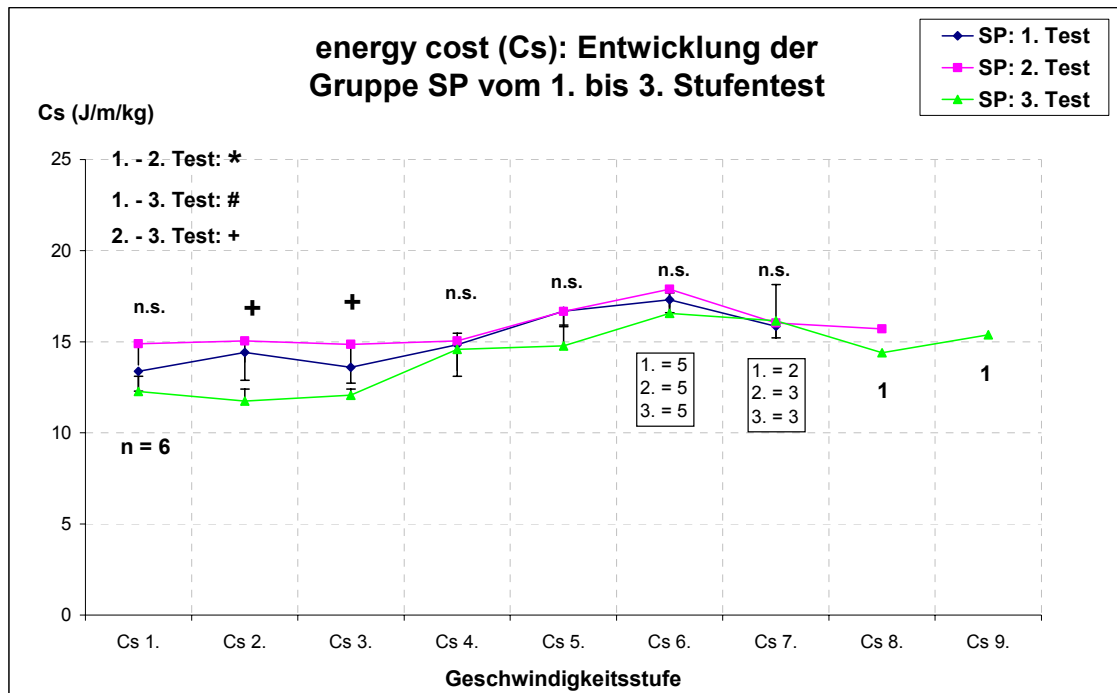


Abbildung 55: Energy Cost (Cs) der sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsguppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

Tabelle 61: Energy Cost (Cs) der sprintversierten (SP) Probanden der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den Testdurchgängen.

SP	1.Cs (J/m/kg)	2.Cs (J/m/kg)	3.Cs (J/m/kg)	4.Cs (J/m/kg)	5.Cs (J/m/kg)	6.Cs (J/m/kg)	7.Cs (J/m/kg)	8.Cs (J/m/kg)	9.Cs (J/m/kg)
Mittelwert [MW]									
1. Test	13,4	14,4	13,6	14,8	16,7	17,3	15,8	17,6	
2. Test	14,9	15,0	14,9	15,0	16,7	17,9	16,0	15,7	
3. Test	12,3	11,8	12,1	14,6	14,8	16,6	16,2	14,4	15,4
Standardabweichung [SD]									
1. Test	2,7	3,8	2,1	4,2	2,1	1,6	0,9		
2. Test	2,6	2,9	2,7	4,0	1,9	2,2	1,4	1,4	
3. Test	1,9	1,6	0,8	2,2	2,8	2,5	3,5	3,1	0,5
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test	1,1	1,5	0,9	1,7	0,9	0,7	0,6		
2. Test	1,2	1,2	1,1	1,6	0,8	1,0	0,8	0,8	
3. Test	0,8	0,7	0,3	0,9	1,1	1,1	2,0	1,5	0,4
Anzahl [n]									
1. Test	6	6	6	6	6	5	2	0	0
2. Test	5	6	6	6	6	5	3	1	0
3. Test	6	6	6	6	6	5	3	1	1
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			

Insgesamt können bei der Cs sowohl beim Vergleich zwischen den AU und SP, als auch bei der Betrachtung deren jeweiliger Entwicklung zwischen den drei Testdurchgängen lediglich in den unteren Stufen signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) festgestellt werden.

3.7.2 Stroke-Efficiency-Index (SEI)

Der Parameter „stroke-efficiency-index“ wurde einerseits unabhängig von der Körperhöhe und andererseits durch Division der Körperhöhe durch den SEI in Relation dazu dargestellt.

Beim Vergleich des SEI der VG konnten signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen dem 1. und 3. Testdurchgang auf der 2. und 4. Geschwindigkeitsstufe festgestellt werden. Dabei sind die Werte des 3. jeweils höher als die des 1. Testdurchgangs. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant ($p > 0,05$; siehe Abbildung 56 und Tabelle 62).

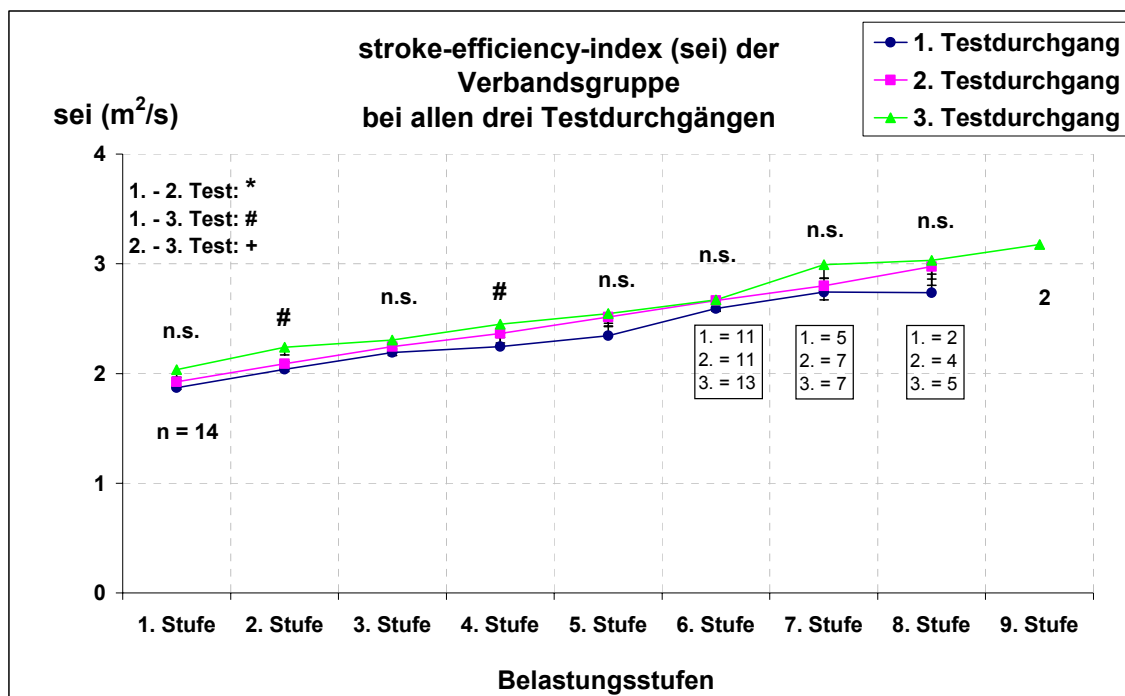


Abbildung 56: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.

Tabelle 62: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) der Versuchsgruppe (VG) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen.

Versuchsgruppe	1. sei (m ² /s)	2. sei (m ² /s)	3. sei (m ² /s)	4. sei (m ² /s)	5. sei (m ² /s)	6. sei (m ² /s)	7. sei (m ² /s)	8. sei (m ² /s)	9. sei (m ² /s)	max-sei (m ² /s)
Mittelwert [MW]										
1. Test	1,87	2,04	2,19	2,25	2,35	2,59	2,74	2,74		2,51
2. Test	1,92	2,09	2,24	2,36	2,51	2,67	2,80	2,98		2,55
3. Test	2,04	2,24	2,30	2,45	2,55	2,67	2,99	3,03	3,18	2,73
Standardabweichung [SD]										
1. Test	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2		0,4
2. Test	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3		0,4
3. Test	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1		0,1
2. Test	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2		0,1
3. Test	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
Anzahl [n]										
1. Test	14	14	14	14	14	11	5	2	0	14
2. Test	14	14	14	14	13	11	7	4	0	14
3. Test	14	14	14	14	14	13	7	5	2	13
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Beim Vergleich des SEI der KG konnten signifikant höhere Werte ($p \leq 0,01$) im 3. Testdurchgang verglichen mit dem 1., auf der 4. und 5. Geschwindigkeitsstufe und dem 2. Testdurchgang auf der 4. Stufe ($\leq 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 57 und Tabelle 63).

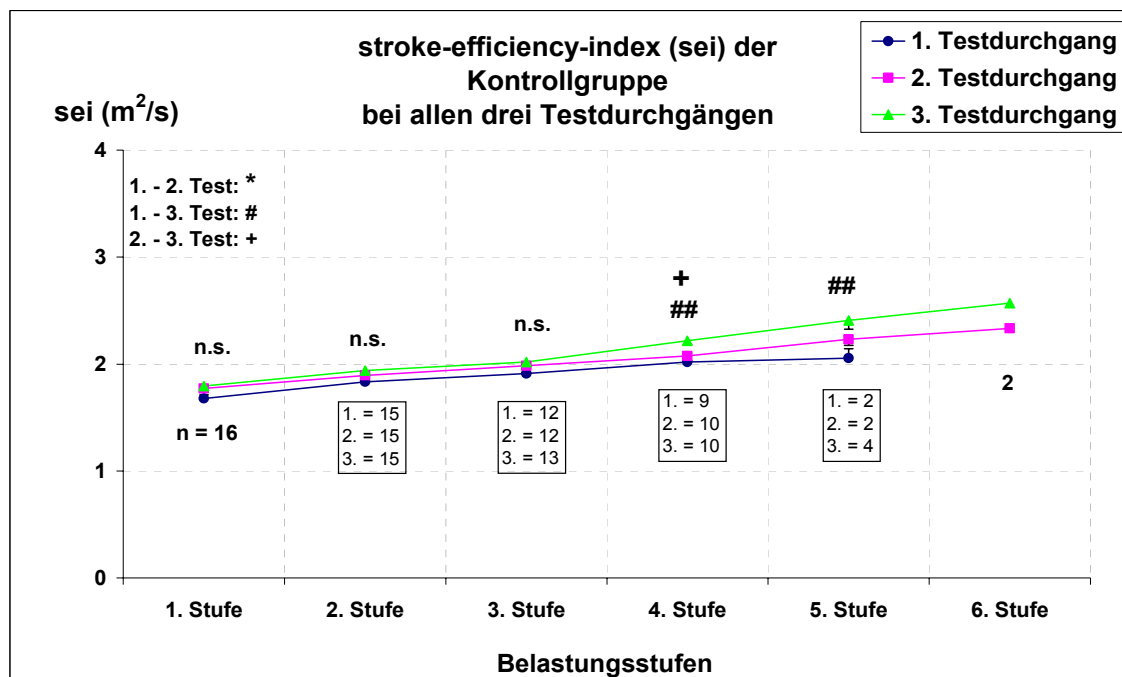


Abbildung 57: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (KG).

Tabelle 63: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen der Kontrollgruppe (KG).

Kontrollgruppe	1. sei (m ² /s)	2. sei (m ² /s)	3. sei (m ² /s)	4. sei (m ² /s)	5. sei (m ² /s)	6. sei (m ² /s)	max-sei (m ² /s)
Mittelwert [MW]							
1. Test	1,68	1,83	1,91	2,02	2,05		1,85
2. Test	1,77	1,89	1,98	2,07	2,23	2,33	1,92
3. Test	1,79	1,94	2,02	2,22	2,41	2,57	2,05
Standardabweichung [SD]							
1. Test	0,24	0,20	0,22	0,12	0,08		0,28
2. Test	0,19	0,20	0,15	0,10	0,12		0,26
3. Test	0,23	0,22	0,22	0,12	0,09		0,36
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	0,06	0,05	0,06	0,04	0,06		0,07
2. Test	0,05	0,05	0,04	0,03	0,08		0,07
3. Test	0,06	0,06	0,06	0,04	0,04		0,09
Anzahl [n]							
1. Test	16	15	12	9	2	0	16
2. Test	16	15	12	10	2	1	16
3. Test	15	15	13	10	4	1	15
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.		n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	**	**		n.s.

Beim Vergleich des SEI der AU und SP im 1. Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 58 und Tabelle 64).

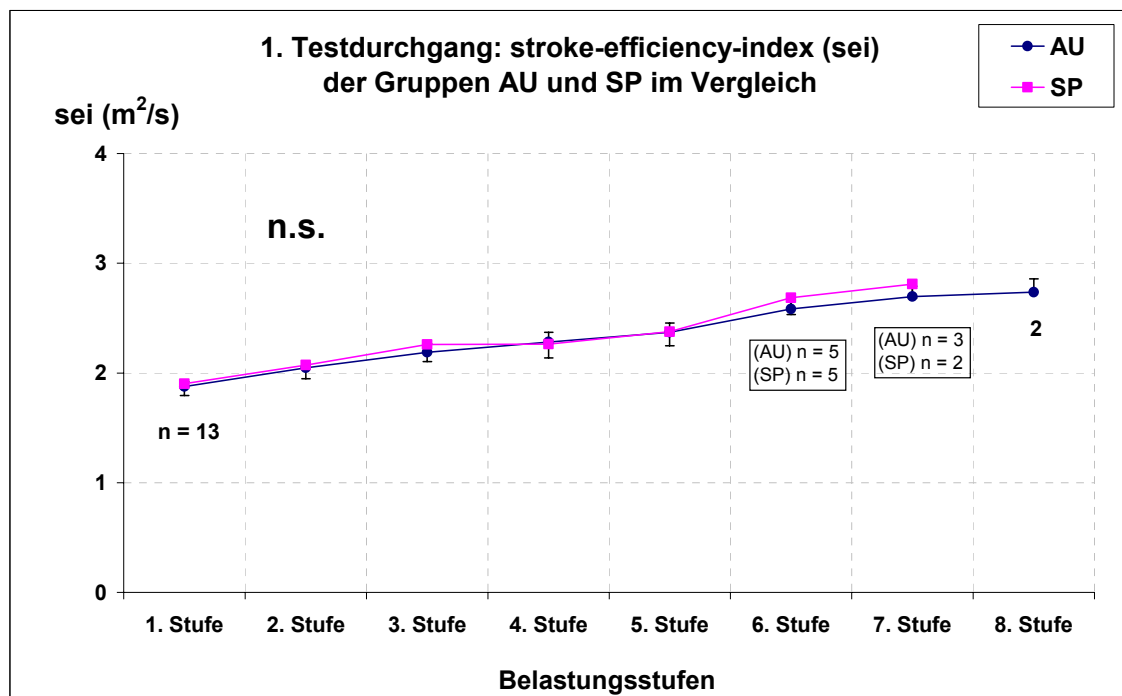


Abbildung 58: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.

Tabelle 64: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerversierten- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.

	1. sei (m ² /s)	2. sei (m ² /s)	3. sei (m ² /s)	4. sei (m ² /s)	5. sei (m ² /s)	6. sei (m ² /s)	7. sei (m ² /s)	8. sei (m ² /s)	max-sei (m ² /s)
AU vs. SP									
Mittelwert [MW]									
1. Test AU	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,7	2,6
1. Test SP	1,9	2,1	2,3	2,3	2,4	2,7	2,8		2,6
Standartabweichung [SD]									
1. Test AU	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
1. Test SP	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2		0,5
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test AU	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1. Test SP	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1		0,2
Anzahl [n]									
1. Test AU	7	7	7	7	7	5	3	2	6
1. Test SP	6	6	6	6	6	5	2	0	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Beim Vergleich des SEI der AU und SP im zweiten Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 59 und Tabelle 65).

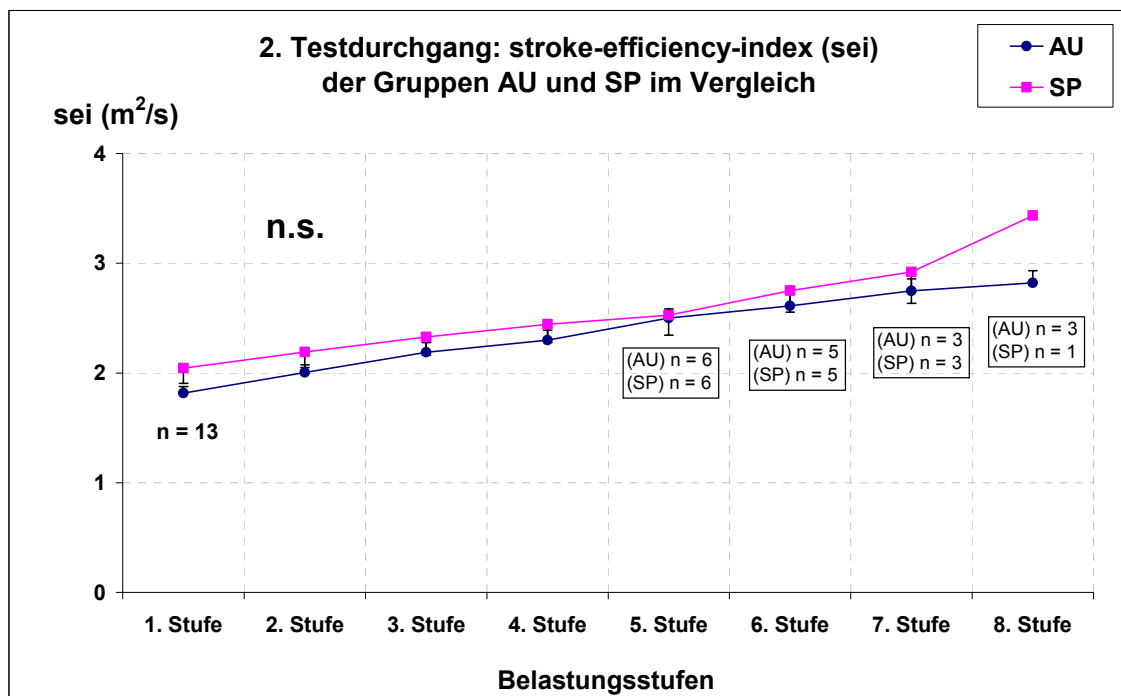


Abbildung 59: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang

Tabelle 65: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.

AU vs. SP	1. sei (m²/s)	2. sei (m²/s)	3. sei (m²/s)	4. sei (m²/s)	5. sei (m²/s)	6. sei (m²/s)	7. sei (m²/s)	8. sei (m²/s)	max-sei (m²/s)
Mittelwert [MW]									
2. Test AU	1,82	2,00	2,19	2,30	2,50	2,61	2,75	2,82	2,62
2. Test SP	2,04	2,19	2,33	2,44	2,53	2,75	2,92	3,43	2,59
Standartabweichung [SD]									
2. Test AU	0,16	0,19	0,23	0,24	0,20	0,25	0,19	0,19	0,31
2. Test SP	0,34	0,34	0,40	0,41	0,45	0,44	0,50		0,52
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]									
2. Test AU	0,06	0,07	0,09	0,09	0,08	0,11	0,11	0,11	0,13
2. Test SP	0,14	0,14	0,16	0,17	0,18	0,20	0,29		0,21
Anzahl [n]									
2. Test AU	7	7	7	7	6	5	3	3	6
2. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Beim Vergleich des SEI der AU und SP im dritten Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 60 und Tabelle 66).

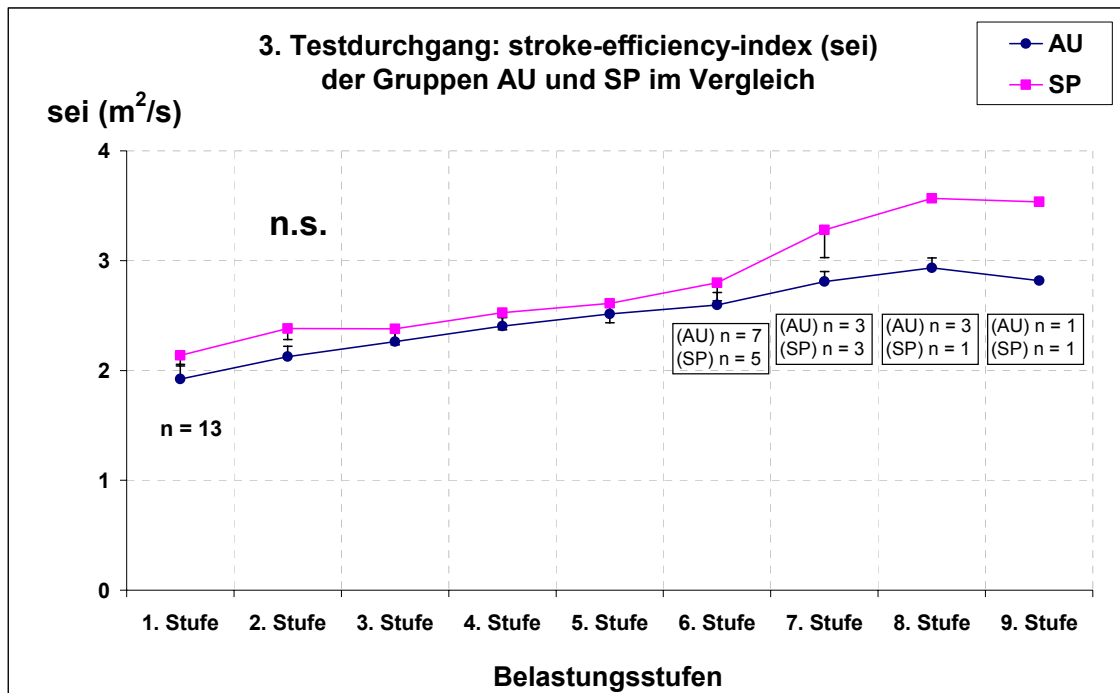


Abbildung 60: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.

Tabelle 66: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.

AU vs. SP	1. sei (m²/s)	2. sei (m²/s)	3. sei (m²/s)	4. sei (m²/s)	5. sei (m²/s)	6. sei (m²/s)	7. sei (m²/s)	8. sei (m²/s)	9. sei (m²/s)	max-sei (m²/s)
Mittelwert [MW]										
3. Test AU	1,92	2,13	2,26	2,40	2,51	2,60	2,81	2,93	2,82	2,73
3. Test SP	2,14	2,38	2,38	2,53	2,61	2,80	3,28	3,57	3,53	2,77
Standardabweichung [SD]										
3. Test AU	0,31	0,25	0,24	0,20	0,23	0,30	0,16	0,16		0,27
3. Test SP	0,20	0,25	0,35	0,38	0,43	0,37	0,44			0,53
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
3. Test AU	0,12	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,09	0,09		0,11
3. Test SP	0,08	0,10	0,14	0,16	0,18	0,16	0,25			0,22
Anzahl [n]										
3. Test AU	7	7	7	7	7	7	3	3	1	6
3. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	1	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.

Beim Vergleich des SEI in Relation zur Körperhöhe der AU und SP im ersten Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 61 und Tabelle 67).

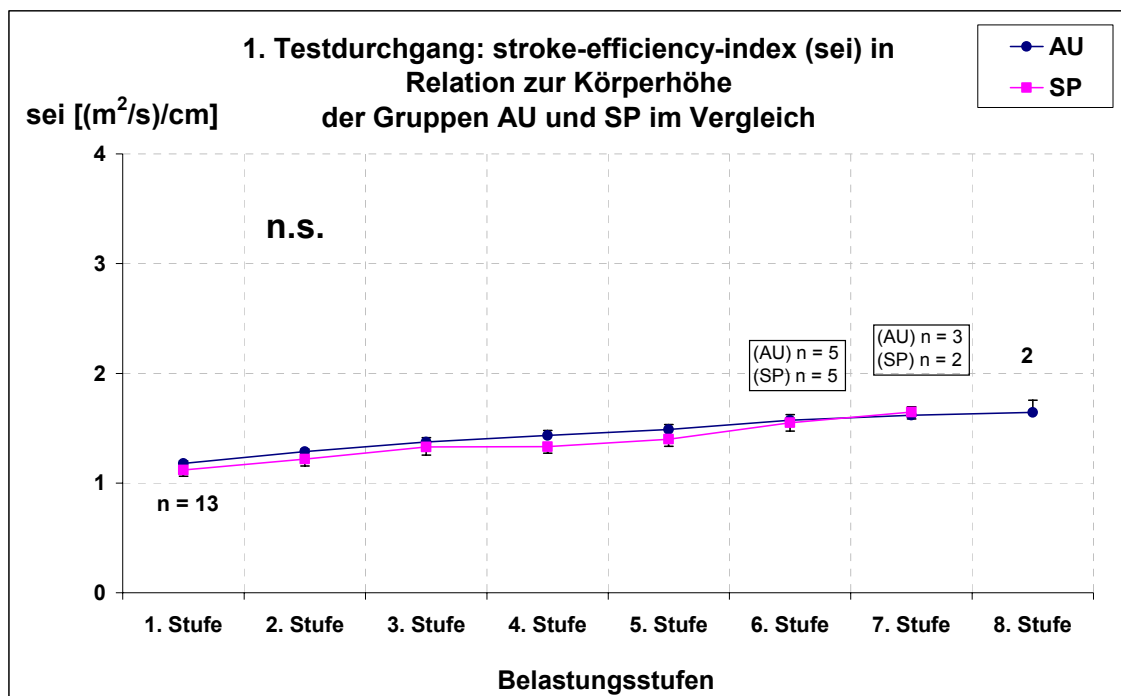


Abbildung 61: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.

Tabelle 67: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im ersten Testdurchgang.

AU vs. SP	1. sei/KH (m ² /s)/cm	2. sei/KH (m ² /s)/cm	3. sei/KH (m ² /s)/cm	4. sei/KH (m ² /s)/cm	5. sei/KH (m ² /s)/cm	6. sei/KH (m ² /s)/cm	7. sei/KH (m ² /s)/cm	8. sei/KH (m ² /s)/cm	max-sei/KH (m ² /s)/cm
Mittelwert [MW]									
1. Test AU	1,18	1,29	1,37	1,43	1,49	1,57	1,62	1,64	1,61
1. Test SP	1,12	1,22	1,33	1,33	1,40	1,55	1,65		1,51
Standardabweichung [SD]									
1. Test AU	0,06	0,06	0,11	0,12	0,12	0,11	0,13	0,15	0,11
1. Test SP	0,14	0,15	0,18	0,15	0,16	0,17	0,09		0,22
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test AU	0,02	0,02	0,04	0,05	0,04	0,05	0,08	0,11	0,05
1. Test SP	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,08	0,06		0,09
Anzahl [n]									
1. Test AU	7	7	7	7	7	5	3	2	6
1. Test SP	6	6	6	6	6	5	2	0	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Beim Vergleich des SEI in Relation zur Körperhöhe der AU und SP im zweiten Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 62 und Tabelle 68).

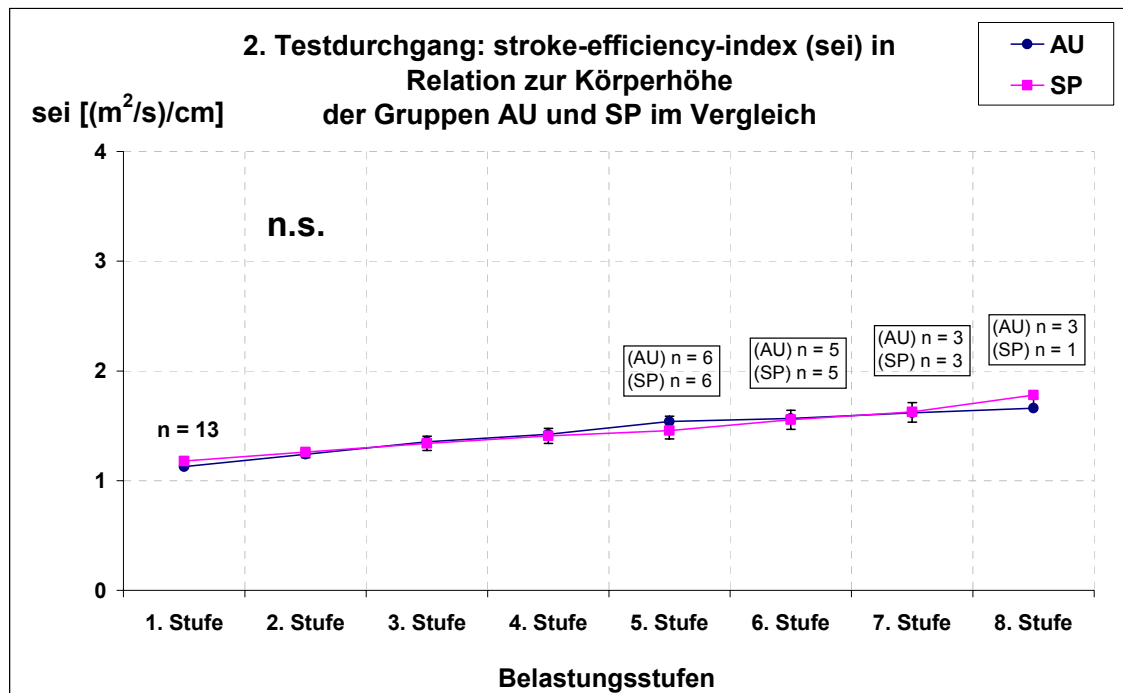


Abbildung 62: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.

Tabelle 68: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im zweiten Testdurchgang.

AU vs. SP	1. sei/KH (m ² /s)/cm	2. sei/KH (m ² /s)/cm	3. sei/KH (m ² /s)/cm	4. sei/KH (m ² /s)/cm	5. sei/KH (m ² /s)/cm	6. sei/KH (m ² /s)/cm	7. sei/KH (m ² /s)/cm	8. sei/KH (m ² /s)/cm	max-sei/KH (m ² /s)/cm
Mittelwert [MW]									
2. Test AU	1,13	1,24	1,36	1,42	1,54	1,57	1,62	1,66	1,61
2. Test SP	1,18	1,26	1,34	1,41	1,46	1,56	1,63	1,78	1,49
Standardabweichung [SD]									
2. Test AU	0,11	0,11	0,13	0,14	0,12	0,17	0,17	0,16	0,16
2. Test SP	0,13	0,13	0,16	0,16	0,19	0,20	0,16		0,22
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
2. Test AU	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	0,10	0,09	0,06
2. Test SP	0,05	0,05	0,07	0,07	0,08	0,09	0,09		0,09
Anzahl [n]									
2. Test AU	7	7	7	7	6	5	3	3	6
2. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Beim Vergleich des SEI in Relation zur Körperhöhe der AU und SP im dritten Testdurchgang konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 63 und Tabelle 69).

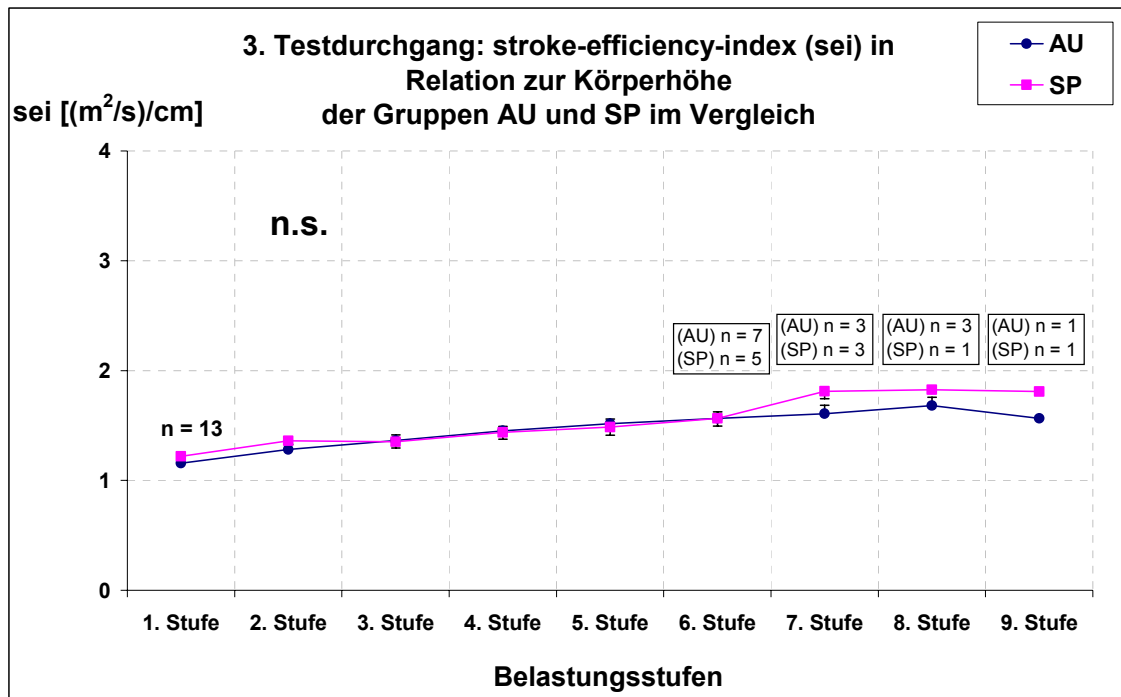


Abbildung 63: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.

Tabelle 69: Entwicklung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) in Relation zur Körperhöhe (KH) im Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Schwimmern im dritten Testdurchgang.

AU vs. SP	1. sei/KH (m ² /s)/cm	2. sei/KH (m ² /s)/cm	3. sei/KH (m ² /s)/cm	4. sei/KH (m ² /s)/cm	5. sei/KH (m ² /s)/cm	6. sei/KH (m ² /s)/cm	7. sei/KH (m ² /s)/cm	8. sei/KH (m ² /s)/cm	9. sei/KH (m ² /s)/cm	max-sei/KH (m ² /s)/cm
Mittelwert [MW]										
3. Test AU	1,16	1,28	1,36	1,45	1,52	1,56	1,61	1,68	1,57	1,64
3. Test SP	1,22	1,36	1,35	1,44	1,49	1,56	1,81	1,83	1,81	1,57
Standardabweichung [SD]										
3. Test AU	0,15	0,13	0,13	0,11	0,12	0,16	0,13	0,13		0,13
3. Test SP	0,06	0,09	0,14	0,15	0,18	0,16	0,11			0,23
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
3. Test AU	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,06	0,08	0,08		0,06
3. Test SP	0,02	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07			0,09
Anzahl [n]										
3. Test AU	7	7	7	7	7	7	3	3	1	6
3. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	1	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.

3.7.3 Armzugfrequenz

In dem Kapitel Armzugfrequenz werden für den Vergleich der Versuchs- mit der Kontrollgruppe die Anzahl der Zyklen pro Minute dargestellt. Um den Körpergrößenunterschied der Ausdauer- und Sprintgruppe zu berücksichtigen wird bei deren Vergleich die relative Armzugfrequenz (Zugfrequenz/Körperhöhe) dargestellt.

Bei der Armzugfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe konnten für keine Belastungsstufe zwischen den drei Testdurchgänge signifikante Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$; siehe Abbildung 64 und Tabelle 70).

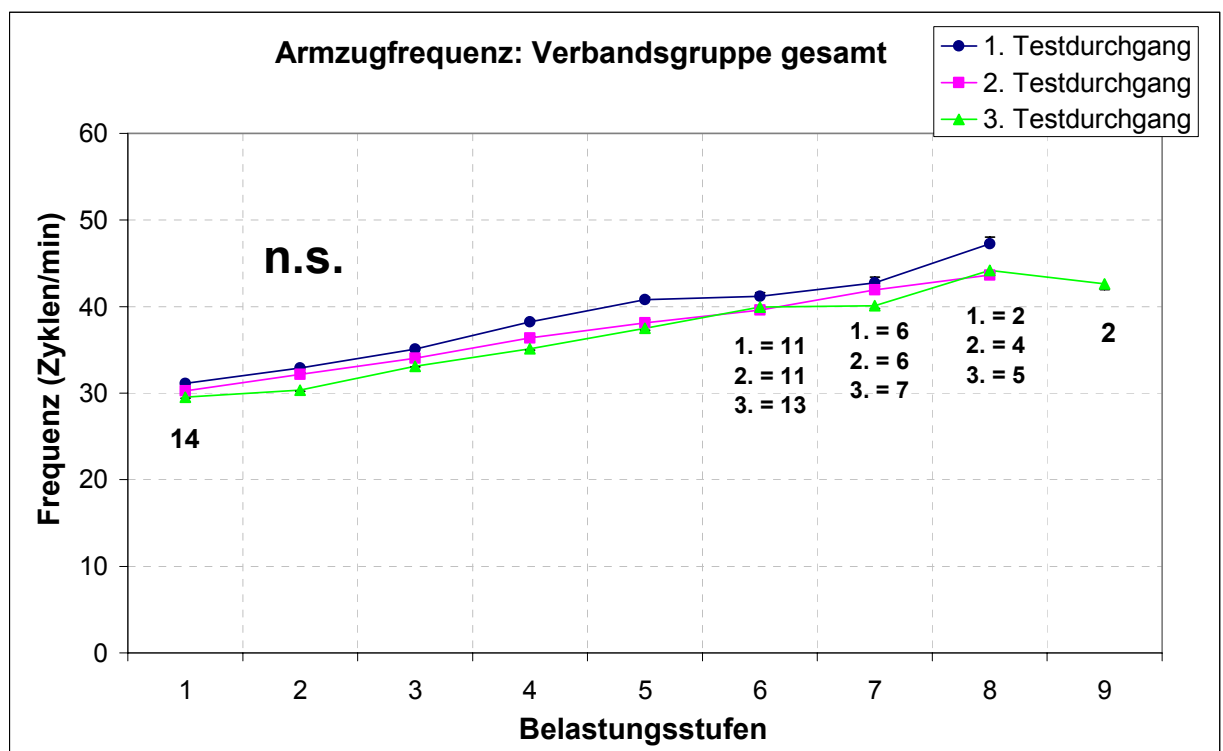


Abbildung 64: Armzugfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe während der Stufentests.

Tabelle 70: Armzugfrequenz aller Probanden der Versuchsgruppe während der Stufentests.

	ZF 1. (Zyklen/ min)	ZF 2. (Zyklen/ min)	ZF 3. (Zyklen/ min)	ZF 4. (Zyklen/ min)	ZF 5. (Zyklen/ min)	ZF 6. (Zyklen/ min)	ZF 7. (Zyklen/ min)	ZF 8. (Zyklen/ min)	ZF 9. (Zyklen/ min)	max ZF (Zyklen/mi n)
Mittelwert [MW]										
1. Test	31,1	32,9	35,1	38,2	40,8	41,2	42,7	47,3		44,1
2. Test	30,3	32,2	34,1	36,4	38,1	39,6	41,9	43,6		44,3
3. Test	29,5	30,4	33,1	35,1	37,5	39,9	40,1	44,2	42,6	43,9
Standardabweichung [SD]										
1. Test	3,2	3,6	5,0	4,8	4,7	4,3	2,5	2,5		4,1
2. Test	3,4	4,1	4,4	4,8	4,5	3,8	4,5	4,8		4,2
3. Test	3,0	3,6	3,8	3,7	4,3	4,3	4,5	4,0	5,8	4,7
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	0,9	1,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,0	1,8		1,1
2. Test	0,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,1	1,7	2,4		1,1
3. Test	0,8	1,0	1,0	1,0	1,2	1,2	1,7	1,8	4,1	1,3
Anzahl [n]										
1. Test	14	14	14	14	14	11	6	2	0	14
2. Test	14	14	14	14	13	11	7	4	0	14
3. Test	14	14	14	14	14	13	7	5	2	13
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Bei der Armzugfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe konnte zwischen dem 1. und 3. Test für die 4. und 5. Belastungsstufe ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p \leq 0,01$). Ansonsten kam dies nur noch zwischen dem 1. und 2. Test auf der 5. Stufe vor ($p \leq 0,05$), wobei jeweils der Wert des 1. Testdurchgangs der höhere war. Alle anderen Vergleiche wiesen keine signifikanten Unterschiede auf ($p > 0,05$; siehe Abbildung 65 und Tabelle 71).

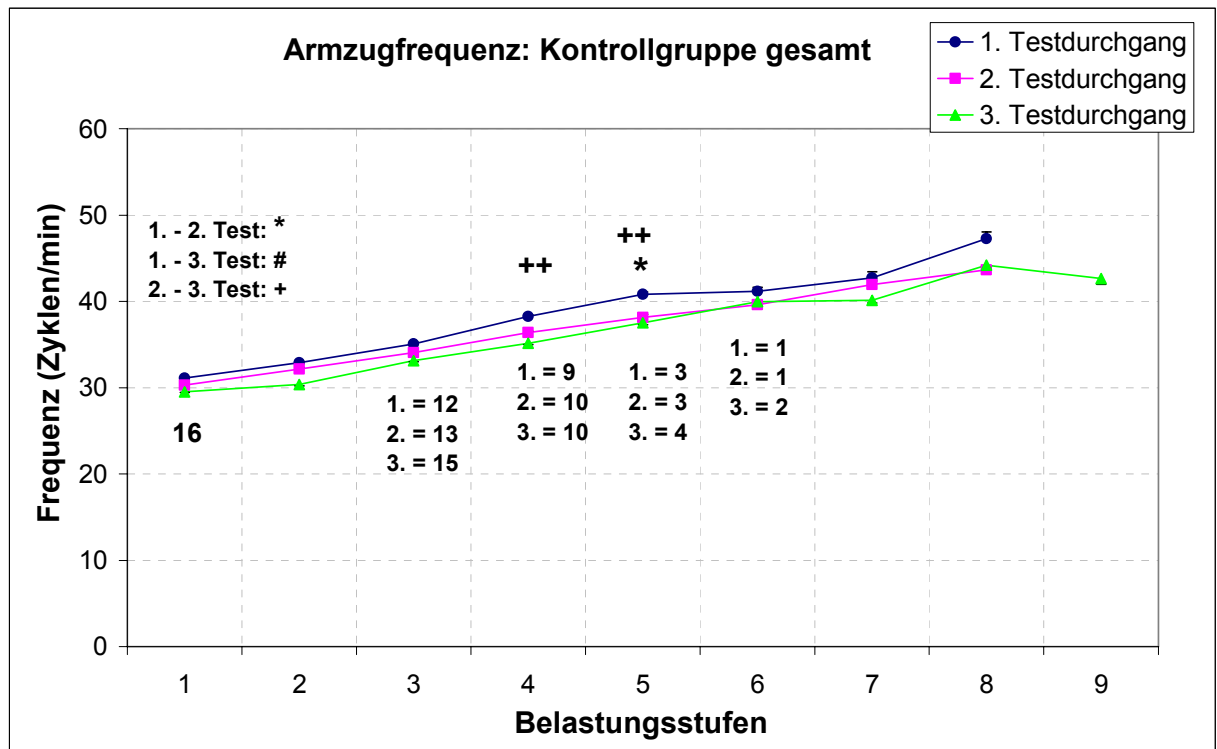


Abbildung 65: Armzugfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe während der Stufentests.

Tabelle 71: Armzugfrequenz aller Probanden der Kontrollgruppe während des Stufentests.

	ZF 1. (Zyklen/ min)	ZF 2. (Zyklen/ min)	ZF 3. (Zyklen/ min)	ZF 4. (Zyklen/ min)	ZF 5. (Zyklen/ min)	ZF 6. (Zyklen/ min)	max ZF (Zyklen/ min)
Mittelwert [MW]							
1. Test	33,9	36,4	39,2	42,2	46,2	47,5	42,2
2. Test	32,2	34,8	38,0	40,2	42,1	44,8	41,8
3. Test	31,4	34,2	38,0	38,2	39,8	42,4	42,7
Standardabweichung [SD]							
1. Test	4,4	4,6	4,8	2,6	2,2		5,2
2. Test	3,8	4,0	3,1	2,4	1,2		4,0
3. Test	3,9	4,2	5,4	2,4	1,3	0,4	5,7
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]							
1. Test	1,1	1,2	1,4	0,9	1,2		1,3
2. Test	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7		1,0
3. Test	1,0	1,0	1,4	0,7	0,7	0,3	1,5
Anzahl [n]							
1. Test	16	16	12	9	3	1	16
2. Test	16	16	13	10	3	1	16
3. Test	16	16	15	10	4	2	15
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]							
t-Test nach Student: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.
t-Test nach Student: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test nach Student: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	**	**		n.s.

Bei dem Vergleich der relativen Armzugfrequenz (Zugfrequenz [ZF] * Körperhöhe [KH]) zwischen der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Gruppe, konnten im ersten Testdurchgang keine signifikante Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$; siehe Abbildung 66 und Tabelle 72).

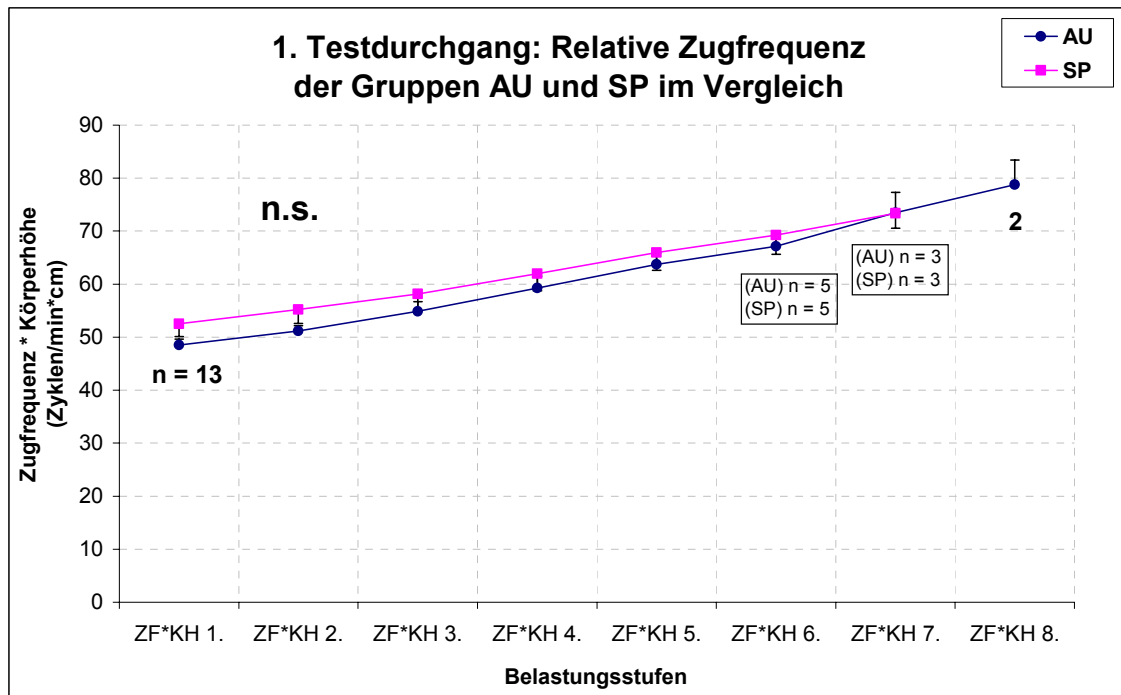


Abbildung 66: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des ersten Stufentests.

Tabelle 72: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des ersten Stufentests und bei maximaler Belastung.

AU vs. SP	1. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	2. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	3. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	4. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	5. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	6. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	7. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	8. ZF*KH (Zyklen/min))*(cm)	maxZF*KH (Zyklen/min))*(cm)
Mittelwert [MW]									
1. Test AU	48,5	51,2	54,9	59,2	63,8	67,1	73,5	78,8	69,9
1. Test SP	52,5	55,2	58,1	62,0	66,0	69,3	73,4		73,5
Standardabweichung [SD]									
1. Test AU	3,0	2,7	4,8	5,9	5,7	5,5	6,6	6,5	8,6
1. Test SP	5,9	6,5	7,8	8,0	8,2	8,2	4,8		7,4
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
1. Test AU	1,1	1,0	1,8	2,2	2,2	2,5	3,8	4,6	3,5
1. Test SP	2,4	2,6	3,2	3,3	3,4	3,7	2,8		3,0
Anzahl [n]									
1. Test AU	7	7	7	7	7	5	3	2	6
1. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	0	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Bei dem Vergleich der relativen Armzugfrequenz (Zugfrequenz [ZF] * Körperhöhe [KH]) zwischen der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Gruppe konnten im zweiten Testdurchgang keine signifikante Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$; siehe Abbildung 67 und Tabelle 73).

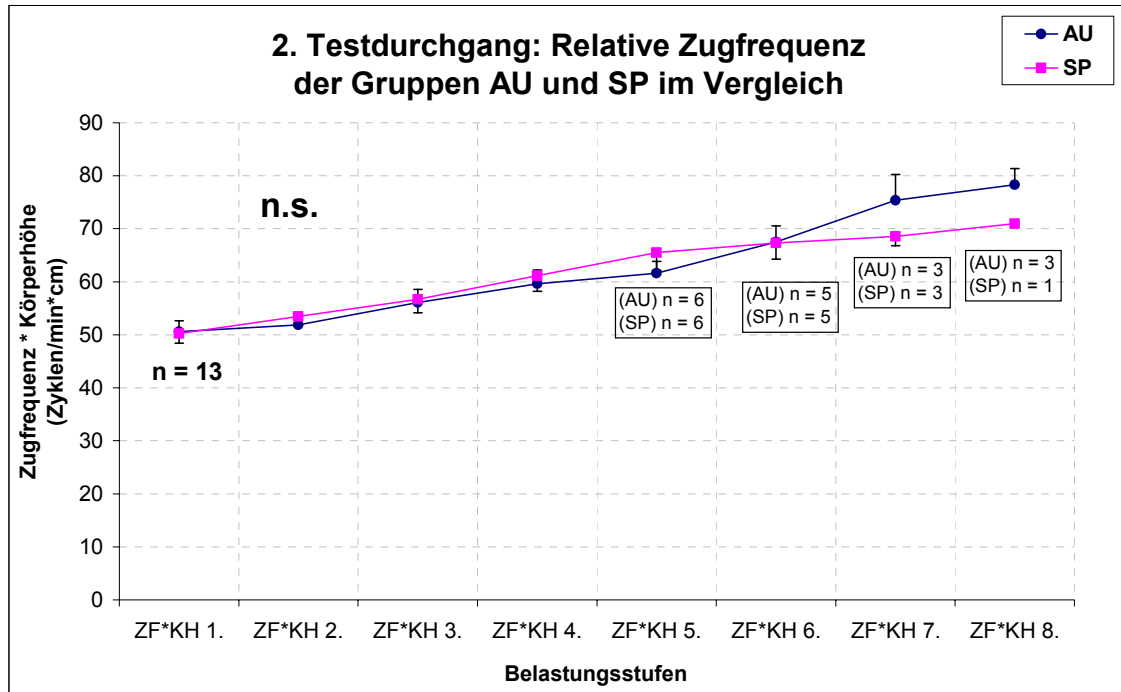


Abbildung 67: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des zweiten Stufentests.

Tabelle 73: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des zweiten Stufentests und bei maximaler Belastung.

	1. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	2. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	3. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	4. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	5. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	6. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	7. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	8. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	maxZF*KH (Zyklen/min) *(cm)
AU vs. SP									
Mittelwert [MW]									
2. Test AU	50,6	51,9	56,1	59,6	61,6	67,5	75,4	78,3	72,3
2. Test SP	50,2	53,5	56,7	61,1	65,5	67,3	68,5	71,0	73,2
Standardabweichung [SD]									
2. Test AU	5,4	4,6	6,5	6,9	5,5	6,9	8,5	5,3	10,0
2. Test SP	4,5	4,6	6,2	7,2	8,1	6,8	3,0		4,6
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]									
2. Test AU	2,1	1,9	2,5	2,6	2,2	3,1	4,9	3,1	3,8
2. Test SP	1,8	1,9	2,5	2,9	3,3	3,0	1,7		1,9
Anzahl [n]									
2. Test AU	7	6	7	7	6	5	3	3	7
2. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Bei dem Vergleich der relativen Armzugfrequenz (Zugfrequenz [ZF] * Körperhöhe [KH]) zwischen der ausdauerorientierten- (AU) und sprintorientierten (SP) Gruppe konnte im dritten Testdurchgang nur auf der 7. Belastungsstufe ein signifikant höherer Wert für die AU festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 68 und Tabelle 74).

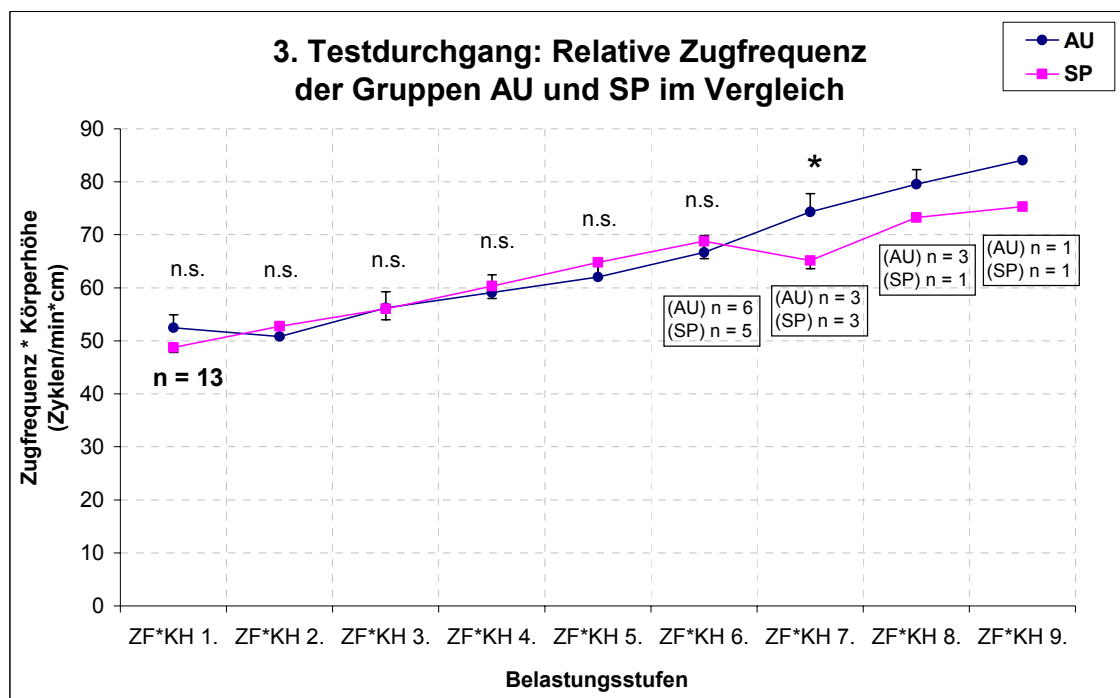


Abbildung 68: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des dritten Stufentests.

Tabelle 74: Relative Armzugfrequenz der AU und SP während des dritten Stufentests und bei maximaler Belastung.

AU vs. SP	1. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	2. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	3. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	4. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	5. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	6. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	7. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	8. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	9. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	maxZF*KH (Zyklen/min) *(cm)
Mittelwert [MW]										
3. Test AU	52,5	50,8	56,2	59,1	62,0	66,7	74,3	79,5	84,1	70,9
3. Test SP	48,7	52,8	56,1	60,3	64,8	68,8	65,1	73,2	75,3	74,4
Standardabweichung [SD]										
3. Test AU	6,1	4,2	7,5	8,1	6,9	7,8	6,1	4,8		9,0
3. Test SP	2,2	5,4	5,1	5,7	7,5	7,3	2,6			6,2
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
3. Test AU	2,5	1,7	3,0	3,3	2,8	3,2	3,5	2,7		3,4
3. Test SP	0,9	2,2	2,1	2,3	3,1	3,3	1,5			2,5
Anzahl [n]										
3. Test AU	6	6	6	6	6	6	3	3	1	7
3. Test SP	6	6	6	6	6	5	3	1	1	6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*			n.s.

Bei der Betrachtung der relativen Armzugfrequenz (Zugfrequenz [ZF] * Körperhöhe [KH]) der ausdauerorientierten Gruppe (AU) konnte zwischen den drei Testdurchgängen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p > 0,05$; siehe Abbildung 69 und Tabelle 75).

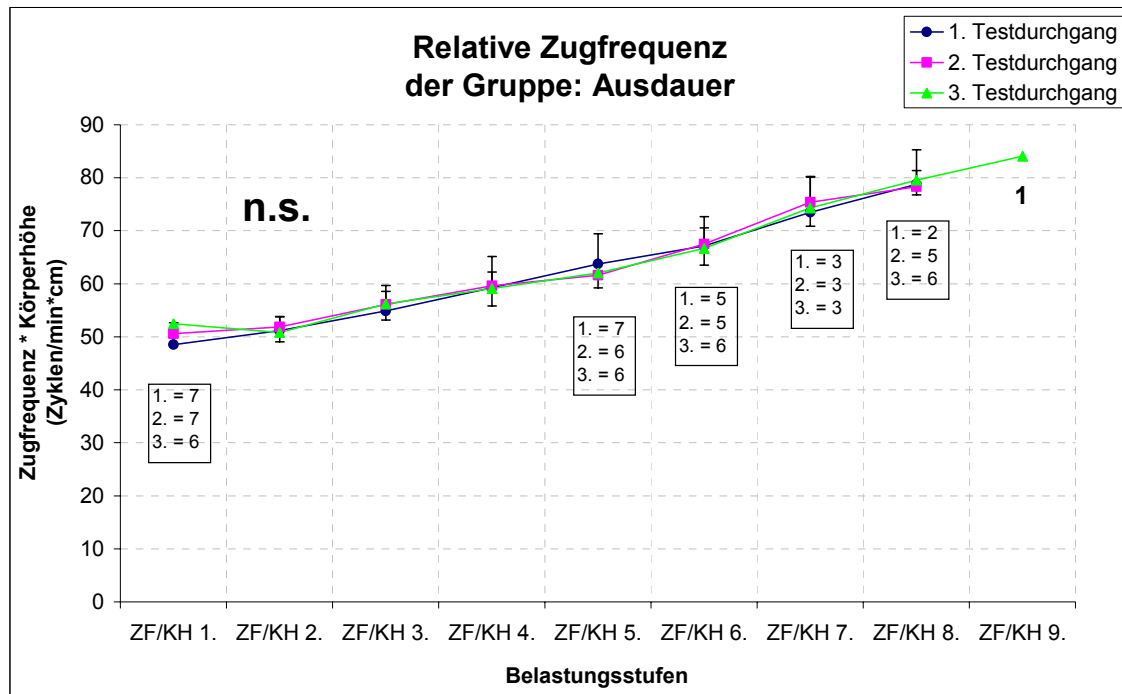


Abbildung 69: Relative Armzugfrequenz der AU während der Stufentests.

Tabelle 75: Relative Armzugfrequenz der AU während der Stufentests.

AU	1. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	2. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	3. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	4. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	5. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	6. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	7. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	8. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	9. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	maxZF*KH (Zyklen/min) *(cm)
Mittelwert [MW]										
1. Test	48,5	51,2	54,9	59,2	63,8	67,1	73,5	78,8		69,9
2. Test	50,6	51,9	56,1	59,6	61,6	67,5	75,4	78,3		72,3
3. Test	52,5	50,8	56,2	59,1	62,0	66,7	74,3	79,5	84,1	70,9
Standardabweichung [SD]										
1. Test	3,0	2,7	4,8	5,9	5,7	5,5	6,6	6,5		8,6
2. Test	5,4	4,6	6,5	6,9	5,5	6,9	8,5	5,3		10,0
3. Test	6,1	4,2	7,5	8,1	6,9	7,8	6,1	4,8		9,0
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	1,1	1,0	1,8	2,2	2,2	2,5	3,8	4,6		3,5
2. Test	2,1	1,9	2,5	2,6	2,2	3,1	4,9	3,1		3,8
3. Test	2,5	1,7	3,0	3,3	2,8	3,2	3,5	2,7		3,4
Anzahl [n]										
1. Test	7	7	7	7	7	5	3	2	0	6
2. Test	7	6	7	7	6	5	3	3	0	7
3. Test	6	6	6	6	6	6	3	3	1	7
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.

Bei der Betrachtung der relativen Armzugfrequenz (Zugfrequenz [ZF] * Körperhöhe [KH]) der ausdauerorientierten Gruppe (AU) konnte zwischen den drei Testdurchgängen kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p > 0,05$; siehe Abbildung 70 und Tabelle 76).

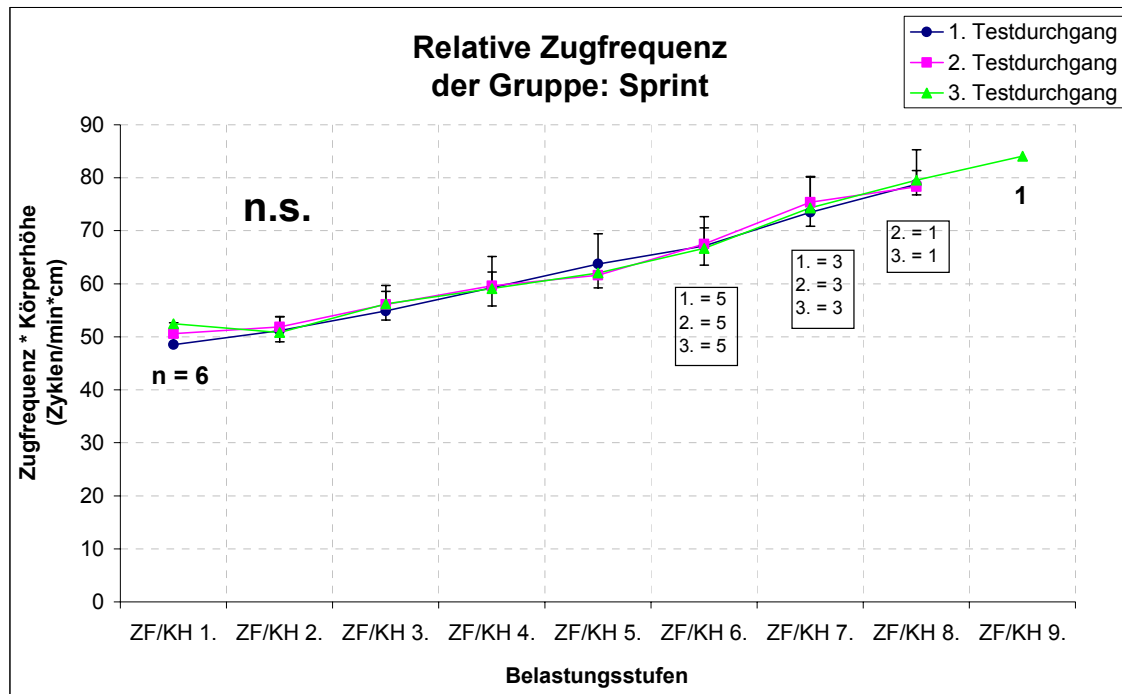


Abbildung 70: Relative Armzugfrequenz der SP während der Stufentests.

Tabelle 76: Relative Armzugfrequenz der SP während der Stufentests.

SP	1. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	2. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	3. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	4. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	5. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	6. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	7. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	8. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	9. ZF*KH (Zyklen/min) *(cm)	maxZF*KH (Zyklen/min) *(cm)
Mittelwert [MW]										
1. Test	52,5	55,2	58,1	62,0	66,0	69,3	73,4			73,5
2. Test	50,2	53,5	56,7	61,1	65,5	67,3	68,5	71,0		73,2
3. Test	48,7	52,8	56,1	60,3	64,8	68,8	65,1	73,2	75,3	74,4
Standardabweichung [SD]										
1. Test	5,9	6,5	7,8	8,0	8,2	8,2	4,8			7,4
2. Test	4,5	4,6	6,2	7,2	8,1	6,8	3,0			4,6
3. Test	0,9	2,2	2,1	2,3	3,1	3,3	1,5			2,5
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]										
1. Test	2,4	2,6	3,2	3,3	3,4	3,7	2,8			3,0
2. Test	1,8	1,9	2,5	2,9	3,3	3,0	1,7			1,9
3. Test	2,2	5,4	5,1	5,7	7,5	7,3	2,6			6,2
Anzahl [n]										
1. Test	6	6	6	6	6	5	3	0	0	6
2. Test	6	6	6	6	6	5	3	1	0	6
3. Test	6	6	6	6	6	5	3	1	1	6
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]										
t-Test: 1.-2. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.
t-Test: 2.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.
t-Test: 1.-3. Test	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.			n.s.

3.7.4 Schwimmökonomie $\Delta VO_2 / \Delta v$

Bei der Darstellung des Sauerstoffmehrverbrauchs zwischen zwei Belastungsstufen, dividiert durch den jeweiligen Geschwindigkeitsunterschied ($\Delta VO_2 / \Delta v$), wurde einerseits die Versuchs- mit der Kontrollgruppe und andererseits die Ausdauer- mit der Sprintgruppe verglichen.

Bei der Berechnung des ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG) konnte im ersten Testdurchgang ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen der 2.-1. Stufe festgestellt werden. Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 71).

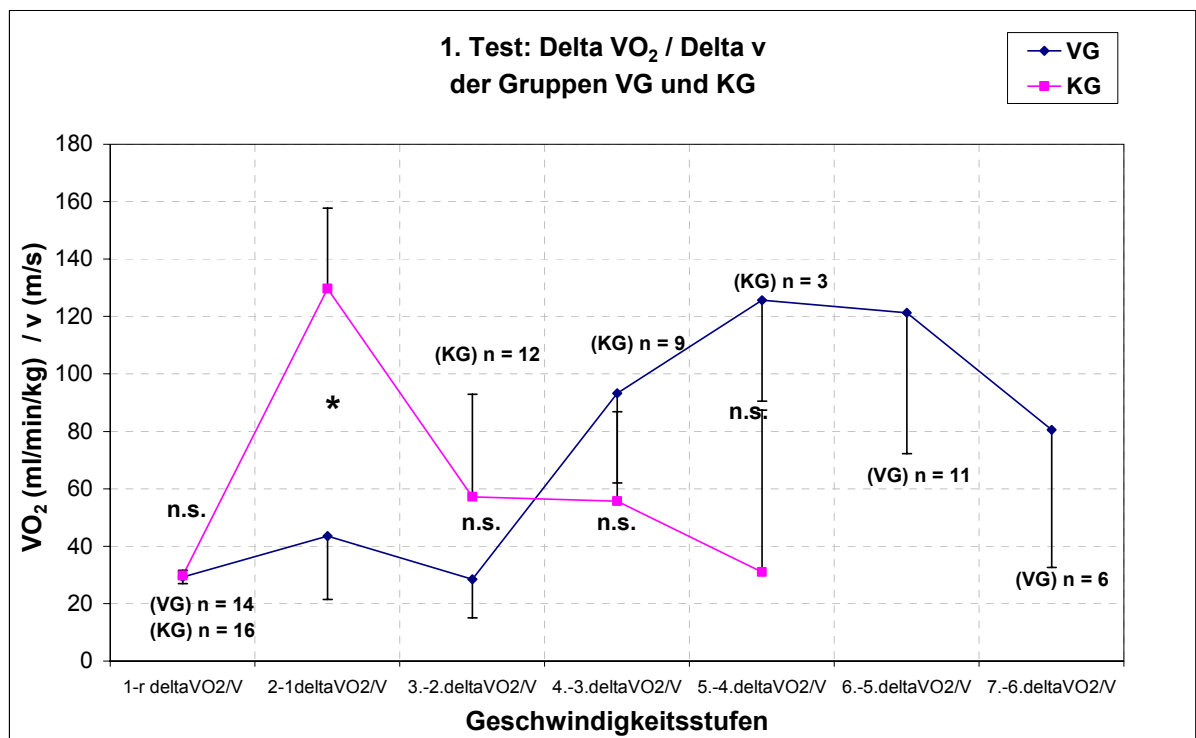


Abbildung 71: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des ersten Testdurchgangs der Versuchs- und der Kontrollgruppe.

Bei der Berechnung des ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG) konnte im zweiten Testdurchgang ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen der 1. Stufe und dem Ruhewert festgestellt werden (siehe Abbildung 72).

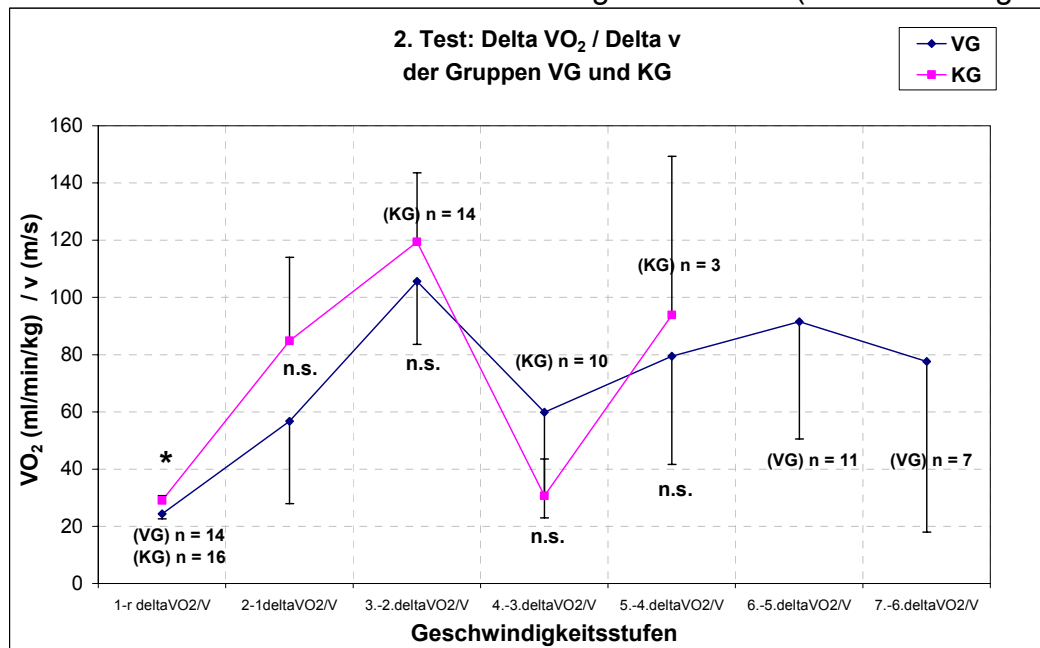


Abbildung 72: ΔVO_2 / Δv des zweiten Testdurchgangs der Versuchs- und der Kontrollgruppe.

Bei der Berechnung des ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG) konnte im dritten Testdurchgang ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) zwischen der 2.-1. Stufe sowie der 1. Stufe und dem Ruhewert festgestellt werden (siehe Abbildung 73).

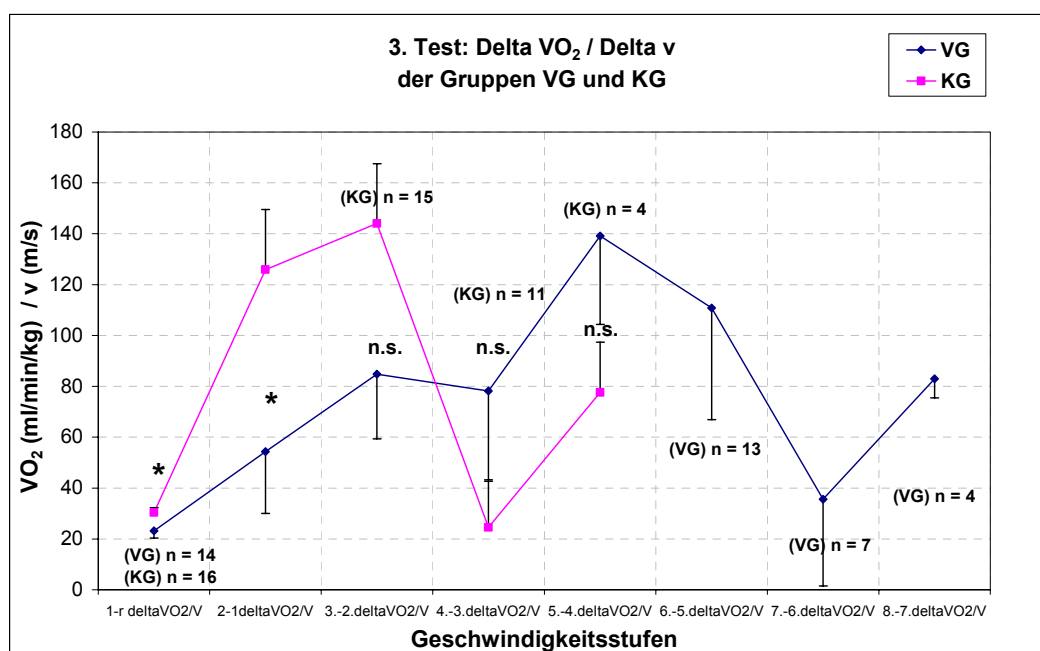


Abbildung 73: ΔVO_2 / Δv des dritten Testdurchgangs der Versuchs- und der Kontrollgruppe.

Bei der Berechnung des ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) der ausdauerorientierten (AU) und sprintorientierten (SP) Gruppen konnte im ersten Testdurchgang kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 74 und Tabelle 77).

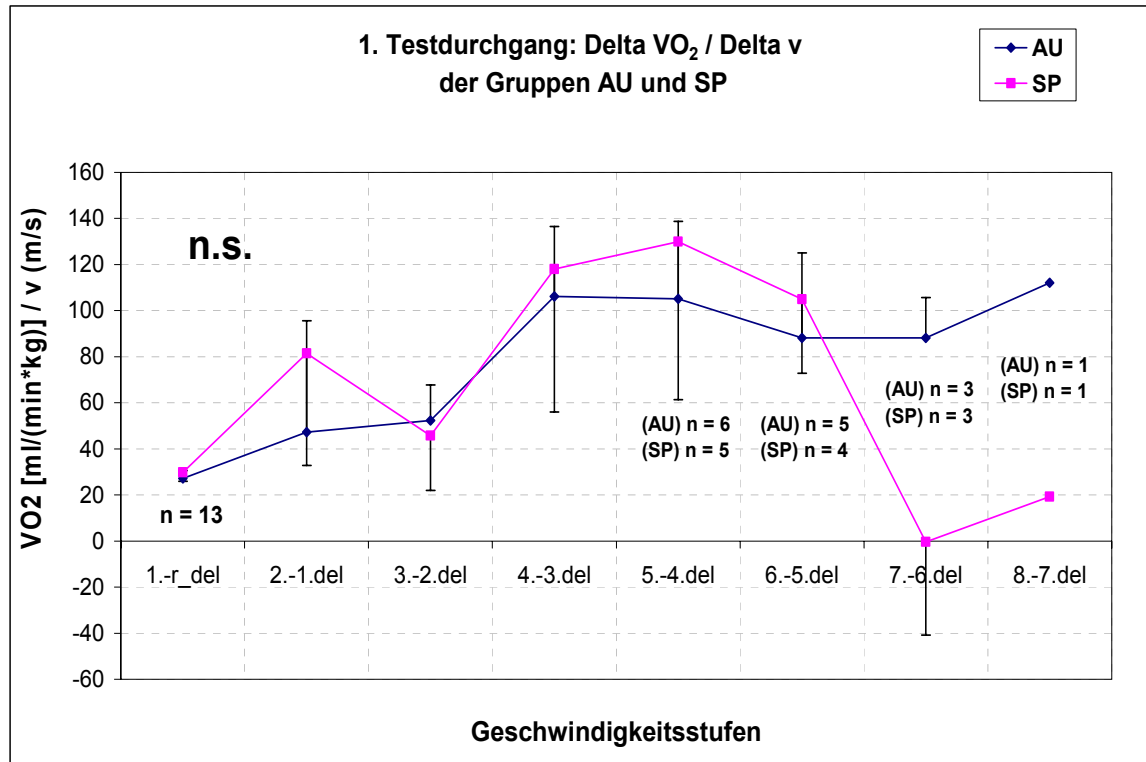


Abbildung 74: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des ersten Testdurchgangs der Gruppen AU und SP.

Tabelle 77: $\Delta VO_2 / \Delta v$ des ersten Testdurchgangs der Gruppen AU und SP.

AU vs. SP VO_2 (ml/min/kg) / v (m/s)	1.-Ruhe	2.-1.	3.-2.	4.-3.	5.-4.	6.-5.	7.-6.	8.-7.
Mittelwert [MW]								
1. Test AU	27,2	47,3	52,4	106,2	105,2	88,2	88,1	112,1
1. Test SP	29,9	81,5	45,8	118,1	130,0	105,0	-0,4	19,3
Standartabweichung [SD]								
1. Test AU	8,3	118,6	37,9	74,3	82,1	82,3	30,4	
1. Test SP	9,5	119,2	53,4	124,3	137,2	64,4	70,1	
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]								
1. Test AU	3,4	48,4	15,5	30,3	33,5	36,8	17,6	
1. Test SP	3,9	48,7	23,9	62,1	68,6	32,2	40,5	
Anzahl [n]								
1. Test AU	6	6	6	6	6	5	3	1
1. Test SP	6	6	5	4	4	4	3	1
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Bei der Berechnung des ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) der ausdauerorientierten (AU) und sprintorientierten (SP) Gruppen konnte im zweiten Testdurchgang kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Abbildung 75 und Tabelle 78).

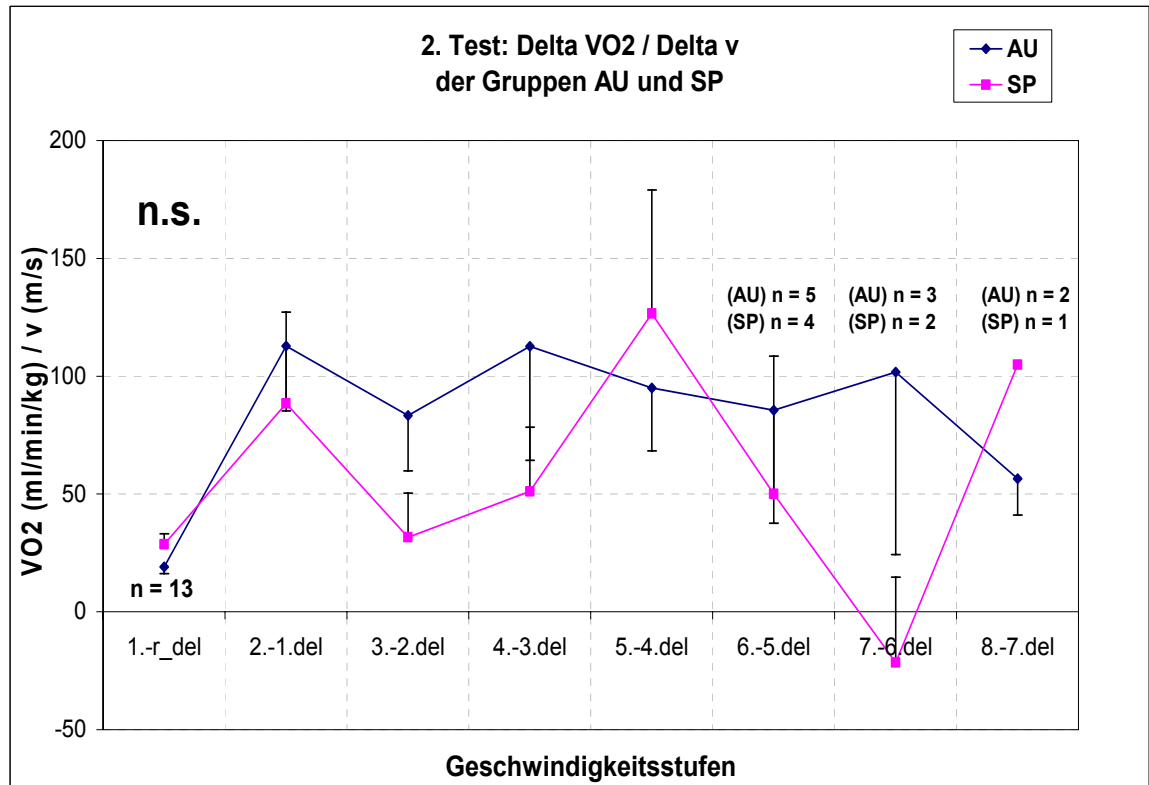


Abbildung 75: ΔVO_2 / Δv des zweiten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.

Tabelle 78: ΔVO_2 / Δv des zweiten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.

AU vs. SP VO_2 (ml/min/kg) / v (m/s)	1.-Ruhe	2.-1.	3.-2.	4.-3.	5.-4.	6.-5.	7.-6.	8.-7.
Mittelwert [MW]								
2. Test AU	19,1	112,8	83,3	112,7	95,1	85,5	101,7	56,6
2. Test SP	28,6	88,5	31,7	51,1	126,6	50,0	-21,6	104,9
Standartabweichung [SD]								
2. Test AU	7,7	72,8	62,1	128,1	70,7	107,0	134,1	22,0
2. Test SP	11,1	95,0	46,0	60,9	117,3	117,0	51,3	
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]								
2. Test AU	2,9	27,5	23,5	48,4	26,7	47,9	77,4	15,6
2. Test SP	4,5	38,8	18,8	27,2	52,4	58,5	36,3	
Anzahl [n]								
2. Test AU	7	7	7	7	7	5	3	2
2. Test SP	6	6	6	5	5	4	2	1
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Bei der Berechnung des ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) der ausdauerversierten (AU) und sprintversierten (SP) Gruppen konnte im dritten Testdurchgang ein signifikanter Unterschied zwischen der 4.-3., sowie der 5.-4. Belastungsstufe festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Alle anderen Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$; siehe Abbildung 76 und Tabelle 79).

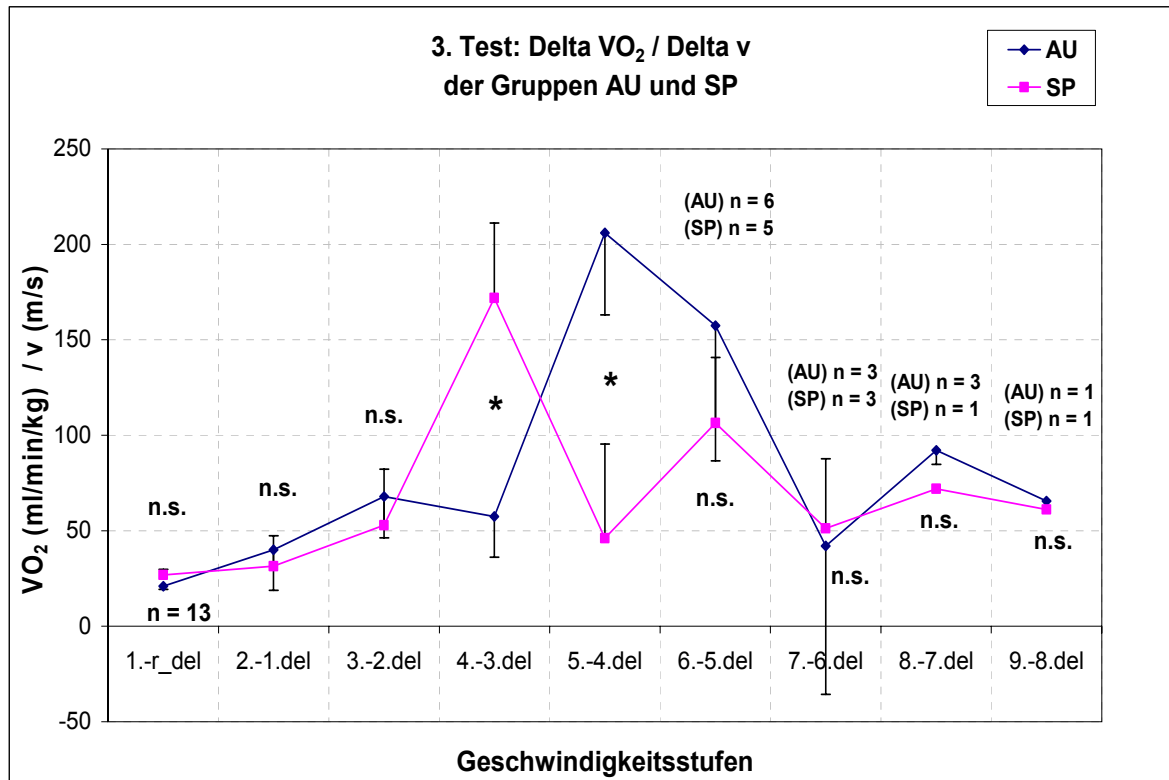


Abbildung 76: ΔVO_2 / Δv des dritten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.

Tabelle 79: ΔVO_2 / Δv des dritten Testdurchgangs der Gruppe AU und SP.

AU vs. SP VO_2 (ml/min/kg) / v (m/s)	1.-Ruhe	2.-1.	3.-2.	4.-3.	5.-4.	6.-5.	7.-6.	8.-7.	9.-8.
Mittelwert [MW]									
3. Test AU	21,0	40,0	67,9	57,5	206,1	157,5	42,0	92,1	65,6
3. Test SP	26,8	31,5	52,9	171,9	46,1	106,4	51,1	71,9	61,1
Standartabweichung [SD]									
3. Test AU	4,3	56,1	53,0	52,1	105,4	173,6	109,9	10,2	
3. Test SP	7,5	38,8	65,6	87,7	120,9	68,8	63,3		
Standartfehler des Mittelwertes [SEM]									
3. Test AU	1,6	21,2	21,6	21,3	43,0	70,9	77,7	7,2	
3. Test SP	3,1	15,8	29,3	39,2	49,4	34,4	36,5		
Anzahl [n]									
3. Test AU	7	7	6	6	6	6	2	2	1
3. Test SP	6	6	5	5	6	4	3	1	1
Signifikanz-Niveau [* = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant]									
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

3.8 Zusammenfassung der talentrelevanten Parameter

Tabelle 80: Anthropometrische Daten, aktuelle Leistungsfähigkeit, Metabolismus, Ökonomie und die in den jeweiligen Bereichen erhobenen Parameter.

Anthropometrische Daten	Aktuelle Leistungsfähigkeit	Metabolismus	Ökonomie
Finale Körperhöhe in Punkten (201,203)	Bestzeit in FINA Punkten (69)	VO ₂ (ml/min/kg)	Cs (energy cost, J/m/kg; 38)
Punkte Körperbau (201,203)	Punkte Leistung (201,203)	Laktat (mmol/l)	SEI (stroke efficiency index, m ² /s; 218)
		Herzfrequenz (BPM)	Zugfrequenz (Zyklen/min; 238)
			$\Delta\text{VO}_2 / \Delta v$ (mml/min/kg)/m/s); 74)

Um das gesamte Belastungsspektrum des Stufentests abzudecken, wurden die Werte jeweils im aeroben Bereich, an der IAS und bei maximaler Belastung betrachtet.

Die Parameter werden im Folgenden zwischen der Versuchs- (VG) Kontrollgruppe (KG) sowie den ausdauer- (AU) und sprintversierten (SP) Schwimmern verglichen.

Die in den Tabellen 81 bis 95 verwendeten Abkürzungen haben folgende Bedeutung:

S.n. = Signifikanzniveau (t-Test nach Student: * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; n.s. = nicht signifikant)

MW = Mittelwert

n = Anzahl

SEM = Standardfehler des Mittelwertes

1. Testdurchgang: aerober Bereich

Beim Vergleich anthropometrischer Daten, metabolischer-, ökonomischer Werte und der aktuellen Leistungsfähigkeit konnte zwischen der Gruppe AU und SP bei aerober Belastung im 1. Testdurchgang nie ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Zwischen der VG und KG ist hingegen nur bei der finalen Körperhöhe und der „energy cost“ kein ($p > 0,05$), ansonsten immer ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$, bzw. $p \leq 0,01$ und $p \leq 0,001$) vorhanden (siehe Tabelle 81 und 82).

Tabelle 81: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 1. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).

Anthropometrische Daten	VG [MW]	n	SEM	KG [MW]	n	SEM	S.n.
Finale Körperhöhe (Vermessungsergebnis)	177,7	14	2,1	175,3	16	2,4	n.s.
Punkte Körperbau (nach Rudolph-Tabelle)	10,4	14	0,7	7,2	16	0,9	*
Aktuelle Leistungsfähigkeit							
Aktuelle Leistungsfähigkeit (nach FINA Punktetabelle) ¹	470	13	19,7	274	16	10,7	***
Punkte Leistung (nach Rudolph-Tabelle)	14,2	14	1,2	4	16	0,9	***
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	42,4	14	3,8	48,3	16	1,9	*
Laktat (mmol/l)	1,9	14	0,2	3,9	16	0,5	***
Herzfrequenz (bpm)	123	14	2,7	153	16	4,6	***
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	14,6	14	1,1	16,0	15	0,6	n.s.
SEI (stroke efficiency index; m ² /s)	2,04	14	0,1	1,83	15	0,05	*
Zugfrequenz (Zyklen/min)	32,9	14	1,3	36,4	16	1,2	*
ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) ²	61,2	14	28,4	129,7	16	28	*

¹ VG: Punkte in der jeweiligen Ausprägung (SP: 100m; AU: 400m); KG: Höchste Punktzahl der Strecken 100m oder 400m Freistil

² Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Tabelle 82: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 1. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).

Anthropometrische Daten	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Finale Körperhöhe (Vermessungsergebnis)	174,9	7	2,6	179,7	6	3,4	n.s.
Punkte Körperbau (nach Rudolph-Tabelle)	9,1	7	1,1	10,6	6	1,4	n.s.
Aktuelle Leistungsfähigkeit							
Aktuelle Leistungsfähigkeit (nach FINA Punktetabelle) ¹	466	7	26,4	479	6	41,5	n.s.
Punkte Leistung (nach Rudolph-Tabelle)	12,4	7	1,2	14,0	6	2,4	n.s.
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	41,3	7	3,2	42	6	2,9	n.s.
Laktat (mmol/l)	1,89	7	0,04	1,87	6	0,07	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	124,3	7	4,5	120	6	3,5	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	13,2	7	0,7	14,4	6	1,5	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ²	1,29	7	0,02	1,22	6	0,15	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ³	51,2	7	1	55,2	6	2,6	n.s.
Δ VO ₂ (ml/min/kg) / Δ v (m/s) ⁴	52,4	6	15,5	45,8	5	23,9	n.s.

¹ AU und SP: Punkte in der jeweiligen Ausprägung (SP: 100m; AU: 400m)

² relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

³ relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

⁴ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

2. Testdurchgang: aerober Bereich

Beim Vergleich anthropometrischer Daten, metabolischer-, ökonomischer Werte und der aktuellen Leistungsfähigkeit konnte zwischen der Gruppe AU und SP bei aerober Belastung im 1. Testdurchgang nie ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Zwischen der VG und KG ist bei der finalen Körperhöhe, der VO_2 -Werte, der „energy cost“, der Zugfrequenz und der $\Delta VO_2 / \Delta v$ kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festzustellen. Alle anderen Parameter unterschieden sich signifikant ($p \leq 0,05$, bzw. $p \leq 0,01$ und $p \leq 0,001$) voneinander (siehe Tabelle 83 und 84).

Tabelle 83: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 2. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).

Anthropometrische Daten	VG [MW]	n	SEM	KG [MW]	n	SEM	S.n.
Finale Körperhöhe (Vermessungsergebnis)	178,2	14	2,2	176,2	16	2,4	n.s.
Punkte Körperbau (nach Rudolph-Tabelle)	10	13	1	7,4	16	0,8	*
Aktuelle Leistungsfähigkeit							
Aktuelle Leistungsfähigkeit (nach FINA Punktetabelle) ¹	547	13	15,5	329	16	14,4	***
Punkte Leistung (nach Rudolph-Tabelle)	14,7	13	0,8	4,4	16	1,1	***
Metabolismus							
VO_2 (ml/min/kg)	42,9	14	2,7	43,3	14	2,1	n.s.
Laktat (mmol/l)	2,06	14	0,2	4,0	16	0,4	***
Herzfrequenz (bpm)	126	14	3,9	159,7	16	4	***
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	14,6	14	0,7	14,31	15	0,6	n.s.
SEI (stroke efficiency index; m^2/s)	2,06	14	0,1	1,89	15	0,05	*
Zugfrequenz (Zyklen/min)	32,2	14	1,1	34,8	16	1	n.s.
ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) ²	56,3	14	28,7	67,8	16	33,7	n.s.

¹ VG: Punkte in der jeweiligen Ausprägung (SP: 100m; AU: 400m); KG: Höchste Punktzahl der Strecken 100m oder 400m Freistil

² Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Tabelle 84: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 2. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).

Anthropometrische Daten	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Finale Körperhöhe (Vermessungsergebnis)	175,5	7	3,1	180,0	6	3,6	n.s.
Punkte Körperbau (nach Rudolph-Tabelle)	9,0	7	1,3	11,0	6	1,5	n.s.
Aktuelle Leistungsfähigkeit							
Aktuelle Leistungsfähigkeit (nach FINA Punktetabelle) ¹	551	7	23,4	541	6	26,1	n.s.
Punkte Leistung (nach Rudolph-Tabelle)	13,6	7	2,2	14,3	6	1,5	n.s.
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	39,1	7	2,7	44,8	6	1,8	< 0,1
Laktat (mmol/l)	1,79	7	0,07	2,23	6	0,1	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	123,4	7	4	128	6	3,1	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	13,5	7	0,6	15	6	1,2	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ²	1,24 ¹	7	0,04	1,26 ¹	6	0,05	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ³	51,9 ²	6	1,9	53,5 ²	6	1,9	n.s.
Δ VO ₂ (ml/min/kg) / Δ v (m/s) ⁴	83,3	7	23,5	31,7	6	18,8	n.s.

¹ AU und SP: Punkte in der jeweiligen Ausprägung (SP: 100m; AU: 400m)

² relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

³ relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

⁴ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

3. Testdurchgang: aerober Bereich

Beim Vergleich anthropometrischer Daten, metabolischer-, ökonomischer Werte und der aktuellen Leistungsfähigkeit konnte zwischen der Gruppe AU und SP bei aerober Belastung im 1. Testdurchgang nie ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Zwischen der VG und KG ist hingegen nur bei der finalen Körperhöhe und der $\Delta VO_2 / \Delta v$ kein ($p > 0,05$), ansonsten immer ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$, bzw. $p \leq 0,01$ und $p \leq 0,001$) vorhanden (siehe Tabelle 85 und 86).

Tabelle 85: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 3. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).

Anthropometrische Daten	VG [MW]	n	SEM	KG [MW]	n	SEM	S.n.
Finale Körperhöhe (Vermessungsergebnis)	177,9	14	2,2	176,1	16	2,5	n.s.
Punkte Körperbau (nach Rudolph-Tabelle)	10,4	13	1,1	8,1	16	1,2	*
Aktuelle Leistungsfähigkeit							
Aktuelle Leistungsfähigkeit (nach FINA Punktetabelle) ¹	582	13	15,1	353	16	15,4	***
Punkte Leistung (nach Rudolph-Tabelle)	14,8	13	0,7	4,6	16	1,2	***
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	36,6	14	1,6	44,9	15	3,1	**
Laktat (mmol/l)	1,55	14	0,1	3,5	16	0,3	***
Herzfrequenz (bpm)	120,9	14	4,4	154,1	16	5,4	***
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	12,0	14	0,5	14,4	15	0,7	***
SEI (stroke efficiency index; m ² /s)	2,24	14	0,1	1,94	15	0,06	**
Zugfrequenz (Zyklen/min)	30,4	14	1	34,2	16	1	*
ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) ²	54,4	14	24,4	80,3	16	34,5	n.s.

¹ VG: Punkte in der jeweiligen Ausprägung (SP: 100m; AU: 400m); KG: Höchste Punktzahl der Strecken 100m oder 400m Freistil

² Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Tabelle 86: Talentrelevante Parameter im aeroben Bereich (2. Belastungsstufe = 1,05 m/s) im 3. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).

Anthropometrische Daten	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Finale Körperhöhe (Vermessungsergebnis)	175,0	7	2,6	179,7	6	3,4	n.s.
Punkte Körperbau (nach Rudolph-Tabelle)	9,8	7	1,3	10,9	6	1,5	n.s.
Aktuelle Leistungsfähigkeit							
Aktuelle Leistungsfähigkeit (nach FINA Punktetabelle) ¹	578	7	29,8	588	6	25,2	n.s.
Punkte Leistung (nach Rudolph-Tabelle)	13,4	7	1,6	14,0	6	1,5	n.s.
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	36,2	7	2,2	40,9	6	1,2	< 0,1
Laktat (mmol/l)	1,52	7	0,05	1,6	6	0,06	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	123,4	7	6,1	118	7,4	5,4	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	11,4	7	0,4	11,8	6	0,7	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ²	1,36	7	0,05	1,36	6	0,04	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ³	50,8	6	1,7	52,8	6	2,2	n.s.
Δ VO ₂ (ml/min/kg) / Δ v (m/s) ⁴	67,9	6	21,6	52,9	5	29,3	n.s.

¹ AU und SP: Punkte in der jeweiligen Ausprägung (SP: 100m; AU: 400m)

² relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

³ relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

⁴ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Insgesamt können zwischen der AU und der SP auf keinem Testdurchgang signifikante Unterschiede festgestellt werden ($p > 0,05$). Die VG und KG unterscheidet sich hingegen bei fast allen Parametern signifikant voneinander.

Bei der Darstellung an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) und bei maximaler Belastung wurde auf die Parameter „Anthropometrische Daten“ und „Aktuelle Leistungsfähigkeit“ verzichtet, da diese identisch mit denen bei der aeroben Belastung sind und somit bereits in den Tabellen 81 bis 86 dargestellt wurden. Außerdem können für die Kontrollgruppe keine metabolischen und ökonomischen Werte dargestellt werden, da für diese Gruppe in weniger als 50% der Fälle eine Schwellenbestimmung möglich war. Somit konnte an der IAS kein Vergleich zwischen der Verbands- und Kontrollgruppe, sondern nur zwischen der Ausdauer- und Sprintgruppe durchgeführt werden.

1. Testdurchgang: IAS

Beim Vergleich metabolischer- und ökonomischer Werte an der IAS konnte zwischen der Gruppe AU und SP im 1. Testdurchgang nie ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 87).

Tabelle 87: Talentrelevante Parameter an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) im 1. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).

	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	55,6	7	3,5	62,7	6	3,4	n.s.
Laktat (mmol/l)	3,8	7	0,6	3,7	6	0,4	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	159,1	7	3	159,3	6	3,4	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	14,3	6	0,6	16,9	6	1,3	$p < 0,1$
SEI (stroke efficiency index) ¹	1,49	7	0,03	1,32	6	0,1	$p < 0,1$
Zugfrequenz (Zyklen/min) ²	58,9	6	23,1	63,4	6	20,8	n.s.

¹ relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

² relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

2. Testdurchgang: IAS

Beim Vergleich metabolischer- und ökonomischer Werte an der IAS konnte zwischen der Gruppe AU und SP im 2. Testdurchgang nur bei den Laktatwerten ein signifikant höherer Wert für SP ($p \leq 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 88).

Tabelle 88: Talentrelevante Parameter an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) im 2. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).

	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	63,6	7	2,1	60,1	6	1,2	n.s.
Laktat (mmol/l)	3,8	7	0,6	4,8	6	0,1	*
Herzfrequenz (bpm)	162,6	7	3,2	162,2	6	3,6	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg))	15,2	7	1,2	15,6	6	0,6	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ¹	1,45	7	0,04	1,36	6	0,07	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ²	59,1	7	2,1	59,1	6	1,5	n.s.

¹ relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

² relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

3. Testdurchgang: IAS

Beim Vergleich metabolischer- und ökonomischer Werte an der IAS konnte zwischen der Gruppe AU und SP im 3. Testdurchgang nur bei den Laktatwerten ein signifikant höherer Wert für SP ($p \leq 0,05$) festgestellt werden (siehe Tabelle 89).

Tabelle 89: Talentrelevante Parameter an der individuellen aeroben Schwelle (IAS) im 3. Testdurchgang der Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP).

	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO ₂ (ml/min/kg)	58,4	7	1,4	57,7	6	1,2	n.s.
Laktat (mmol/l)	3,2	7	0,2	4,1	6	0,4	*
Herzfrequenz (bpm)	163,4	7	2,7	166,4	6	3,4	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	13,2	6	1	14	5	0,7	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ¹	1,53	7	0,1	1,49	6	0,05	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ²	60,8	7	2,1	61,7	6	1,2	n.s.

¹ relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

² relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

1. Testdurchgang: maximale Belastung

Beim Vergleich metabolischer- und ökonomischer Werte konnte zwischen der Gruppe AU und SP bei maximaler Belastung im 1. Testdurchgang nie ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Zwischen der VG und KG ist hingegen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,001$) bei den VO_2 -Werten und dem SEI festzustellen (siehe Tabelle 90 und 91).

Tabelle 90: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 1. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).

	VG [MW]	n	SEM	KG [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO_{2-max} (ml/min/kg)	67,7	14	2,8	54,5	16	2,4	***
Laktat (mmol/l)	7,7	14	0,6	8,1	16	0,4	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	177,9	14	1,6	178,5	16	1,8	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	17,05	14	0,4	16,48	16	0,4	n.s.
SEI (stroke efficiency index; m^2/s)	2,51	14	0,1	1,85	16	0,07	***
Zugfrequenz (Zyklen/min)	44,1	14	1,1	42,2	16	1,3	n.s.
ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) ¹	40,2	13	22,1	60,4	15	30,5	n.s.

¹ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Tabelle 91: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 1. Testdurchgang der Ausdauer- (VG) und Sprintgruppe (KG).

	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO ₂ -max (ml/min/kg)	67	7	3,2	65,5	5	0,8	n.s.
Laktat (mmol/l)	7,9	7	1	7,9	6	0,7	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	180	7	1,9	175	6	2,9	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	17,2	7	1	16,9	6	0,4	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ¹	1,61	6	0,05	1,51	6	0,09	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ²	69,9	6	3,5	73,5	6	3	n.s.
ΔVO ₂ (ml/min/kg) / Δv (m/s) ³	81	7	32	53,1	6	21,5	n.s.

¹ relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

² relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

³ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Beim Vergleich metabolischer- und ökonomischer Werte konnte zwischen der Gruppe AU und SP bei maximaler Belastung im 2. Testdurchgang nie ein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden. Zwischen der VG und KG ist hingegen ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,001$) bei den VO₂-Werten und dem SEI festzustellen (siehe Tabelle 92 und 93).

2. Testdurchgang: maximale Belastung

Tabelle 92: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 2. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).

	VG [MW]	n	SEM	KG [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO _{2-max} (ml/min/kg)	71,2	14	2,1	54,3	16	2,5	***
Laktat (mmol/l)	9,3	14	0,8	8,5	16	0,5	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	180,4	14	2,2	181,1	16	1,7	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	17,39	14	0,3	16,51	16	1,1	n.s.
SEI (stroke efficiency index; m ² /s)	2,55	14	0,1	1,92	16	0,07	***
Zugfrequenz (Zyklen/min)	44,3	14	1,1	41,8	16	1	n.s.
Δ VO ₂ (ml/min/kg) / Δ v (m/s) ¹	10	14	20,1	24,9	15	10,5	n.s.

¹ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Tabelle 93: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 2. Testdurchgang der Versuchs- (VG), Kontrollgruppe (KG).

	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO _{2-max} (ml/min/kg)	68,3	7	2,2	68,1	6	1,1	n.s.
Laktat (mmol/l)	8,2	7	1,1	10,0	6	0,5	n.s.
Herzfrequenz (bpm)	181,7	7	2,7	178	6	4,3	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	17,8	7	0,7	17,3	6	0,9	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ¹	1,61	6	0,06	1,49	6	0,09	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ²	72,3	7	3,8	73,2	6	1,9	n.s.
Δ VO ₂ (ml/min/kg) / Δ v (m/s) ³	33,8	7	11,9	2,9	6	12,9	n.s.

¹ relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

² relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

³ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

3. Testdurchgang: maximale Belastung

Beim Vergleich metabolischer- und ökonomischer Werte konnte zwischen der Gruppe AU und SP bei maximaler Belastung im 3. Testdurchgang nur bei den VO_2 -Werten und den Laktatwerten ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) festgestellt werden. Zwischen der VG und KG sind hingegen signifikante Unterschiede bei der überwiegenden Zahl der Parameter festzustellen. VO_2 -Werten ($p \leq 0,01$), Laktat-Werte ($p \leq 0,05$), Energy Cost ($p \leq 0,05$) und der SEI ($p \leq 0,001$) unterschieden sich signifikant voneinander (siehe Tabelle 94 und 95).

Tabelle 94: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 3. Testdurchgang der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG).

	VG [MW]	n	SEM	KG [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO_{2-max} (ml/min/kg)	69,3	14	2,4	58,7	16	4,3	**
Laktat (mmol/l)	9,1	14	0,7	7,7	16	0,4	*
Herzfrequenz (bpm)	184,1	14	1,9	184,1	16	2,7	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	17,9	14	0,3	16,5	16	0,4	*
SEI (stroke efficiency index; m^2/s)	2,73	13	0,1	2,05	15	0,1	***
Zugfrequenz (Zyklen/min)	43,9	13	1,3	42,7	15	1,5	n.s.
ΔVO_2 (ml/min/kg) / Δv (m/s) ¹	80,3	13	32,2	57,7	15	15,2	n.s.

¹ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

Tabelle 95: Talentrelevante Parameter bei maximaler Belastung im 3. Testdurchgang der Ausdauer- (VG) und Sprintgruppe (KG).

	AU [MW]	n	SEM	SP [MW]	n	SEM	S.n.
Metabolismus							
VO ₂ -max (ml/min/kg)	72,5	7	1,8	65,1	6	2,5	*
Laktat (mmol/l)	7,6	7	2,1	10,4	6	2,4	*
Herzfrequenz (bpm)	180	7	2,5	182,2	6	3	n.s.
Ökonomie							
Cs (energy cost; J/m/kg)	18	7	0,9	17,8	6	1	n.s.
SEI (stroke efficiency index) ¹	1,64	6	0,06	1,57	6	0,09	n.s.
Zugfrequenz (Zyklen/min) ²	70,9	7	3,4	74,4	6	2,5	n.s.
Δ VO ₂ (ml/min/kg) / Δ v (m/s) ³	82,6	7	30,7	65,7	6	28,4	n.s.

¹ relativer "stroke-efficiency-index": sei/KG)

² relative Zugfrequenz (Zyklen/min*Körpergröße in m)

³ Delta zwischen der 2. und 3. Geschwindigkeitsstufe

3.9 Faktorenanalyse

Zur Datenreduzierung der talentrelevanten Parameter wurde für die Versuchsgruppe die Faktorenanalyse angewandt. Als Ergebnisse werden im Folgenden die Ladungen der Variablen auf den Komponenten bei den jeweiligen Testdurchgängen dargestellt.

Tabelle 96: Rotierte Komponentenmatrix für die Versuchsgruppe im 1. Testdurchgang mit der Markierung der jeweils höchsten Ladungen der Komponenten.

	Komponente			
	1	2	3	4
VO ₂ -max	,169	,069	-,051	,941
Laktat	-,047	,074	,824	,011
Herzfrequenz	,003	,478	,572	-,340
energy cost	-,085	-,544	,029	,805
stroke-efficiency-index	,862	,224	,140	,025
Zugfrequenz	-,852	,240	,211	-,046
Δ VO ₂ / Δ v	-,495	-,336	,589	,012
Finale Körperhöhe	,197	,692	,402	,043
Punkte Körperbau	,068	,936	-,107	-,155
Punkte Leistung	,720	,148	,554	,083
FINA Punkte	,868	,199	-,206	,062

Tabelle 97: Rotierte Komponentenmatrix für die Versuchsgruppe im 2. Testdurchgang mit der Markierung der jeweils höchsten Ladungen der Komponenten.

	Komponente			
	1	2	3	4
VO ₂ -max	,913	-,154	-,002	,274
Laktat	,113	,240	-,063	,710
Herzfrequenz	,114	-,192	,100	,762
energy cost	,949	-,286	,092	-,005
stroke-efficiency-index	-,166	,825	-,040	,248
Zugfrequenz	-,023	-,165	,484	,721
ΔVO ₂ / Δv	,626	-,130	,626	-,023
Finale Körperhöhe	-,062	,162	,889	,168
Punkte Körperbau	,143	-,124	,834	,046
Punkte Leistung	-,085	,893	-,025	-,107
FINA Punkte	-,314	,728	,010	-,222

Tabelle 98: Rotierte Komponentenmatrix für die Versuchsgruppe im 3. Testdurchgang mit der Markierung der jeweils höchsten Ladungen der Komponenten.

	Komponente			
	1	2	3	4
VO ₂ -max	,055	,897	-,116	,088
Laktat	,566	-,281	,170	-,474
Herzfrequenz	-,724	,016	,500	-,056
energy cost	-,287	,860	-,029	,257
stroke-efficiency-index	,805	,110	,498	-,160
Zugfrequenz	-,642	,358	,073	-,116
ΔVO ₂ / Δv	,043	,158	-,092	,943
Finale Körperhöhe	,259	,059	,877	-,194
Punkte Körperbau	,038	-,494	,755	,032
Punkte Leistung	,774	,398	,284	-,224
FINA Punkte	,908	-,234	,278	,044

Es konnten folgende Komponenten benannt werden:

- Leistungsfähigkeit („stroke-efficiency-index“, Punkte Leistung und FINA-Punkte)
- aerober Metabolismus (VO_{2-max} und Energy Cost)
- Anthropometrie (Finale Körperhöhe und Punkte Körperbau)

Zur besseren Übersicht werden diese Komponenten mit den jeweils höchsten Ladungen bei den drei Testdurchgängen in der Tabelle 99 zusammengefasst dargestellt.

Die Leistungsfähigkeit weist in allen Testdurchgängen hohe Ladungen auf. Dabei kann während des ersten und dritten die höchste und beim zweiten Testdurchgang die zweithöchste Ladung festgestellt werden. Der aerobe Metabolismus ist im ersten Testdurchgang noch nicht von entscheidender Bedeutung (vierthöchste Ladung), wohingegen diese Komponente im zweiten die höchste und im dritten Testdurchgang die zweithöchste Ladung aufweist. Anthropometrische Faktoren weisen im ersten Testdurchgang die zweithöchste und im zweiten und dritten Testdurchgang jeweils die dritthöchste Ladung auf (siehe Tabelle 99).

Tabelle 99: Übersicht der zusammengefassten Ladungen auf den Komponenten aller drei Testdurchgänge.

	VG 1: Testdurchgang	VG 2: Testdurchgang	VG 3: Testdurchgang
1. Ladung	Leistungsfähigkeit	aerober Metabolismus	Leistungsfähigkeit
2. Ladung	Anthropometrie	Leistungsfähigkeit	aerober Metabolismus
3. Ladung	Laktat	Anthropometrie	Anthropometrie
4. Ladung	aerober Metabolismus	La/Hf/Zf	Delta $VO_{2/v}$

3.10 Multiple Regressionsanalyse und Schätzgleichung

Für die multiple Regressionsanalyse wird einleitend eine Korrelationsmatrix der talentrelevanten Parameter erstellt. Anschließend wird der daraus hergeleitete Strukturkoeffizient zur anteiligen Aufklärung der Gesamtvarianzaufklärung in Prozent dargestellt. Als Letztes folgt dann die Darstellung einer Schätzgleichung zur Errechnung der FINA Punkte durch die Messung der maximalen Laktatwerte, des $VO_{2\text{-max}}$, des maximalen „stroke-efficiency-index“ und der Körperbau-Punkte. Dabei sind diese Werte für die Erstellung der Schätzgleichung bei der Gesamtgruppe notwendig. Für die Versuchsgruppe hingegen reicht die Messung der maximalen Laktatwerte und des maximalen „stroke-efficiency-index“.

Tabelle 100: Korrelationsmatrix des Kriteriums FINA-Punkte mit den Prädiktoren VO_2 , Laktat, Herzfrequenz, Energy Cost, „stroke-efficiency-index“, Zugfrequenz, Delta VO_2/v , finale Körperhöhe und Punkte Körperbau für die Versuchsgruppe.

Korrelationensmatrix	MW	SD	r(X,Y)	r ²	r ² [%]	S.n.	n
FinaPunkte	549,7	55,4					
VO_2	68,7	9,5	-0,176	0,031	3,1	0,584	12
Laktat	9,8	2,2	0,660	0,435	43,5	0,020	12
Herzfrequenz	181,5	6,3	-0,554	0,307	30,7	0,062	12
energie cost	17,9	1,9	-0,465	0,216	21,6	0,128	12
stroke-efficiency-index	2,8	0,4	0,830	0,689	68,9	0,001	12
Zugfrequenz	43,3	4,2	-0,549	0,302	30,2	0,064	12
Delta VO_2/v	79,5	112,4	0,044	0,002	0,2	0,892	12
finale Körperhöhe	178,6	8,6	0,442	0,195	19,5	0,150	12
Punkte Körperbau	9,8	3,4	0,381	0,145	14,5	0,222	12

Tabelle 101: Errechnung des Strukturkoeffizienten der Versuchsgruppe, der die anteilige Aufklärung der Gesamtvarianzaufklärung (= R^2) in Prozent angibt.

	Beta	r	r/R	(r/R) ²	Strukturkoeffizient [%]
maxLac3	0,263	0,660	0,746	0,557	55,7
maxSEI3	0,682	0,830	0,939	0,881	88,1

Tabelle 102: Schätzgleichung zur Errechnung der FINA-Punkte für die Versuchsgruppe.

Schätzgleichung:
$\text{FINA-Punkteleistung} = \text{Laktat}_{\max} * 6,007 + \text{SEI}_{\max} * 96,103 + 223,867$

$R = 0,884$; $R^2 = 0,782$; adjusted $R^2 = 0,738$; Standard Error of the Estimate (SEE) = 30,1 Punkte

Tabelle 103: Korrelationsmatrix des Kriteriums FINA-Punkte mit den Prädiktoren VO_2 , Laktat, Herzfrequenz, Energy Cost, „stroke-efficiency-index“, Zugfrequenz, $\Delta \text{VO}_2/v$, finale Körperhöhe und Punkte Körperbau für das gesamte Probandengut.

Korrelationsmatrix	MW	SD	$r(X,Y)$	r^2	r^2 [%]	S.n.	n
Fina Punkte	439,6	116,3					
VO_2	63,1	11,4	0,397	0,157	15,7	0,04	27
Laktat	8,6	2,1	0,715	0,511	51,1	0,00	27
Herzfrequenz	184,0	8,3	-0,278	0,077	7,7	0,16	27
energie cost	17,1	2,1	0,198	0,039	3,9	0,32	27
stroke-efficiency-index	2,4	0,5	0,867	0,751	75,1	0,00	27
Zugfrequenz	42,9	5,0	-0,095	0,009	0,9	0,64	27
$\Delta \text{VO}_2/v$	70,3	112,5	0,206	0,042	4,2	0,30	27
finale Körperhöhe	177,4	9,4	0,176	0,031	3,1	0,38	27
Punkte Körperbau	8,8	3,8	0,377	0,142	14,2	0,05	27

Tabelle 104: Schätzgleichung zur Errechnung der FINA-Punkte für das gesamte Probandengut.

Schätzgleichung:
$\text{FINA-Punkteleistung} = \text{Laktat}_{\max} * 11,933 + \text{SEI}_{\max} * 155,174 + \text{VO}_{2\text{-max}} * 0,433 + \text{Pkt-Körperbau} * 0,247 + (- 61,760)$

$R = 0,881$; $R^2 = 0,776$; adjusted $R^2 = 0,736$; Standard Error of the Estimate (SEE) = 59,771 Punkte

3.11 Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte

Die FINA Punkteverbesserung bei einer Bestzeitensteigerung ausgehend von einem unterschiedlichen schwimmerischen Niveau, wird an der 100 Meter Freistildistanz dargestellt. Dabei wird eine Verbesserung von 120- auf 110 Sekunden mit der Steigerung von 70- auf 60 Sekunden verglichen.

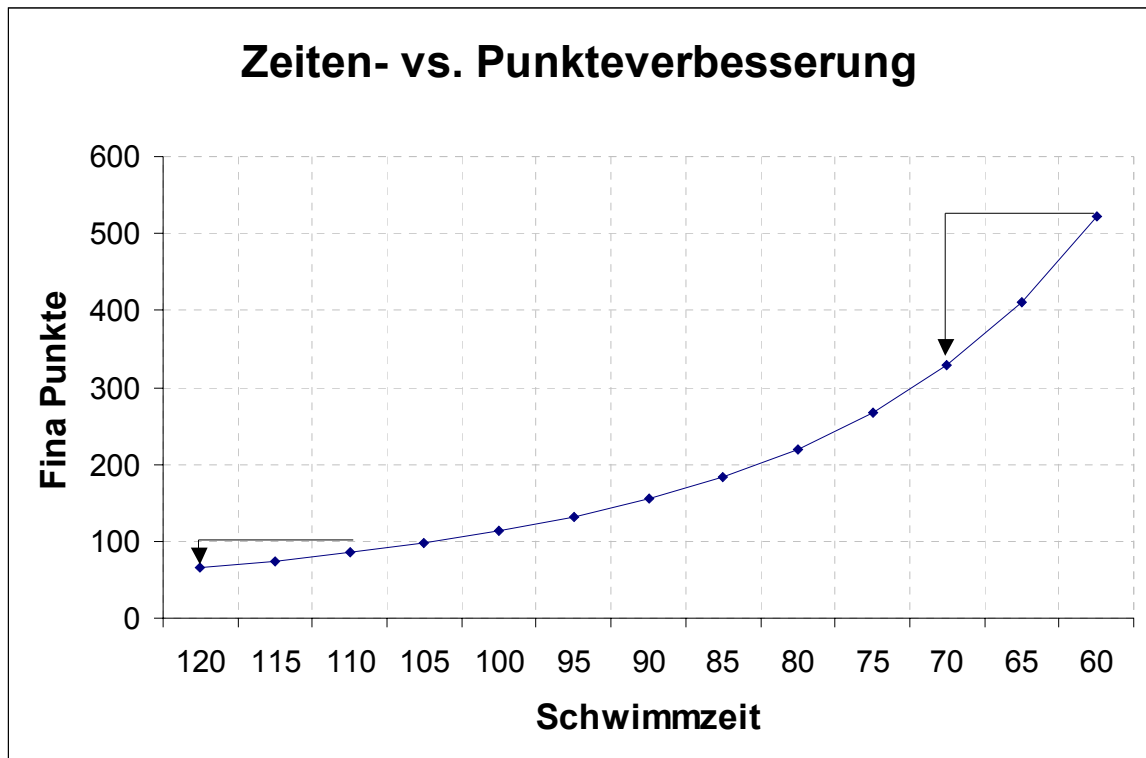


Abbildung 77: Darstellung einer 10-sekundigen Steigerung der Bestzeit auf der 100m Freistil Strecke von 120- auf 110- bzw. 70- auf 60-Sekunden mit der entsprechenden Auswirkung auf die Verbesserung der FINA-Punkte.

Die Abhängigkeit einer 10-sekündige Verbesserung der Bestzeit von dem Niveau der schwimmerischen Leistungsfähigkeit konnte dargestellt werden. In dem gewählten Beispiel bewirkt die gleiche zeitliche Verbesserung eine fast 20-fach höhere Verbesserung der FINA-Punkte (siehe Abbildung 78).

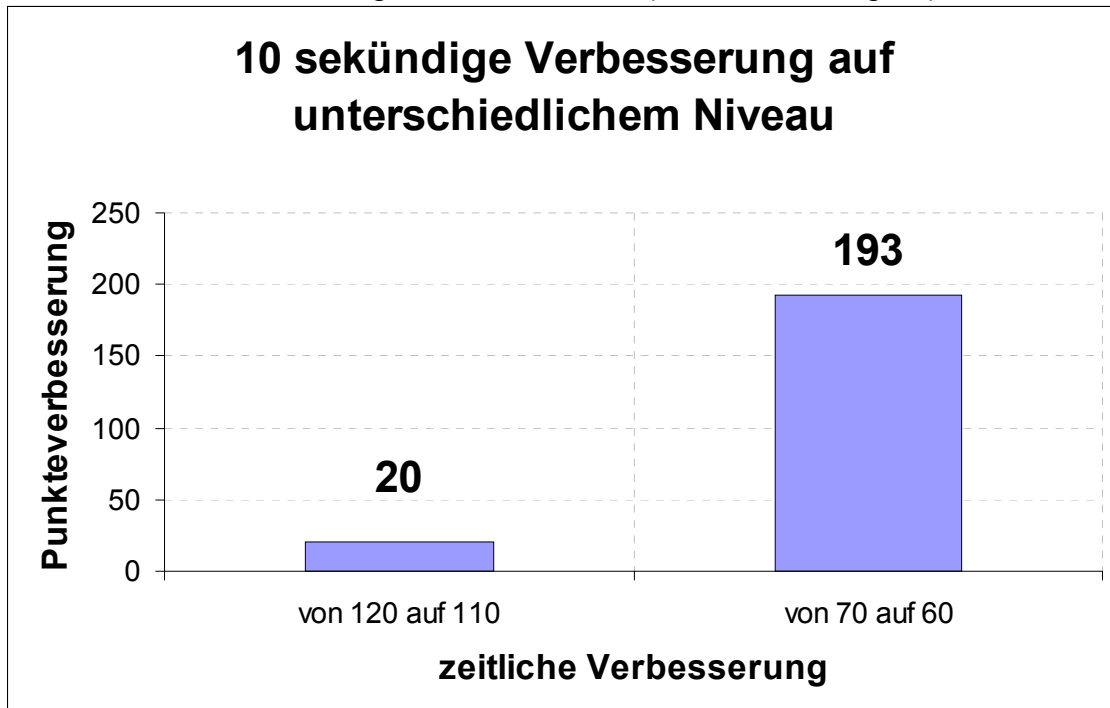


Abbildung 78: Darstellung der FINA-Punkte Verbesserung bei einer 10-sekündigen Steigerung der Bestzeit auf der 100m Freistil Strecke von 120- auf 110- bzw. 70- auf 60-Sekunden.

Daher stellen die FINA-Punkte einen von der Ausgangsleistungsfähigkeit abhängigen Parameter dar, der als Gewichtungskoeffizient gewählt wurde. Zur eigentlichen Normierung wurde das Delta der FINA-Punkte zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang mit dem jeweiligen prozentualen Delta der talent-relevanten Parameter multipliziert und das Ergebnis in den Tabellen 105 bis 109 dargestellt.

In Bezug auf die prozentuale Entwicklung zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang der Werte der einzelnen Parameter multipliziert mit dem Delta der FINA-Punkte, konnten für die Laktatwerte, der Energy Cost und dem „stroke efficiency index“ signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe festgestellt werden (siehe Tabellen 105-109). Alle anderen Vergleiche waren nicht signifikant unterschiedlich ($p > 0,05$).

Tabelle 105-109: Prozentuale Entwicklung der einzelnen Parameter multipliziert mit dem Delta der FINA-Punkte.

	1.VO ₂	3.VO ₂	Δ%	%ΔVO ₂ *ΔFinaPkt	1.La	3.La	Δ%	%ΔLaktat*ΔFinaPkt
Mittelwert [MW]								
VG	67,61	69,33	1,68	113,42	7,77	9,12	11,33	1375,93
KG	54,51	58,68	5,56	111,97	8,14	7,74	-6,73	-503,45
Standardabweichung [SD]								
VG	7,3	8,9	11,2	790,3	2,3	2,7	26,0	2191,0
KG	9,4	10,6	17,4	548,5	1,7	1,5	18,7	697,8
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
VG	14,0	14	14	14	14	14	14	13
KG	16,0	16	16	16	16	16	16	16
Anzahl [n]								
VG	1,9	2,4	3,0	211,2	0,6	0,7	7,0	607,7
KG	2,4	2,6	4,4	137,1	0,4	0,4	4,7	174,4
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	***	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*
	1.HF	3.HF	Δ%	%ΔHF*ΔFinaPkt	1.Cs	3.Cs	Δ%	%ΔCs*ΔFinaPkt
Mittelwert [MW]								
VG	178,71	181,71	1,58	132,34	17,05	17,90	4,27	489,04
KG	181,50	186,00	2,19	115,00	16,48	16,50	-0,66	29,91
Standardabweichung [SD]								
VG	7,1	6,0	4,5	401,6	2,1	1,8	10,6	756,2
KG	5,6	9,0	5,8	451,6	1,9	2,1	11,5	387,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
VG	14	14	14	14	14	13	13	13
KG	16	16	16	16	16	15	15	16
Anzahl [n]								
VG	1,9	1,6	1,2	107,3	0,6	0,5	2,9	209,7
KG	1,4	2,3	1,5	112,9	0,5	0,5	3,0	96,8
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*
	1.sei	3.sei	Δ%	%Δsei*ΔFinaPkt	1.ZF	3.ZF	Δ%	%ΔZF*ΔFinaPkt
Mittelwert [MW]								
VG	2,51	2,75	8,15	748,17	44,06	43,92	-0,76	150,87
KG	1,85	2,02	7,92	317,24	42,21	42,68	-0,05	-60,00
Standardabweichung [SD]								
VG	0,4	0,4	5,8	552,5	4,1	4,7	8,9	599,5
KG	0,3	0,3	6,4	417,5	5,2	5,7	6,9	291,7
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
VG	14	13	13	13	14	13	13	12
KG	16	15	15	14	16	15	15	15
Anzahl [n]								
VG	0,1	0,1	1,6	153,2	1,1	1,3	2,5	173,1
KG	0,1	0,1	1,6	111,6	1,3	1,5	1,8	75,3
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	***	***	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

	1.ΔVO ₂ /v	3.ΔVO ₂ /v	Δ%	%ΔVO ₂ /v*ΔFinaPkt	1.finKH	3.finKH	Δ%	%ΔfinKh*ΔFinaPkt
Mittelwert [MW]								
VG	40,2	80,3	85,2	8545,4	177,7	177,9	0,1	20,3
KG	63,4	57,7	79,1	1473,4	175,3	176,1	0,4	3,9
Standardabweichung [SD]								
VG	116,4	127,8	173,4	12071,3	7,7	8,1	0,5	61,2
KG	103,1	114,0	246,4	7652,4	9,7	9,9	2,7	38,3
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
VG	13	14	13	11	14	14	14	14
KG	16	16	15	14	16	16	16	16
Anzahl [n]								
VG	32,3	34,2	48,1	3639,6	2,1	2,2	0,1	16,4
KG	25,8	28,5	63,6	2045,2	2,4	2,5	0,7	9,6
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	n.s.	n.s.	n.s.	p < 0,1	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

	1.PktKb	3.PktKb	Δ%	%ΔPktKb*ΔFinaPkt	1.PktLei	3.PktLei	Δ%	%ΔPktLei*ΔFinaPkt
Mittelwert [MW]								
VG	10,4	11,1	3,5	231,4	10,4	10,4	-10,3	-656,0
KG	7,2	7,1	0,6	-18,3	4,1	4,6	-13,0	-1117,8
Standardabweichung [SD]								
VG	2,6	3,2	18,0	2046,3	2,6	3,8	38,7	2848,6
KG	3,7	3,2	11,8	316,4	3,5	4,7	58,4	4012,5
Standardfehler des Mittelwertes [SEM]								
VG	13	13	13	13	13	13	13	13
KG	16	16	16	16	16	16	16	16
Anzahl [n]								
VG	0,7	0,9	5,0	567,6	0,7	1,1	10,7	790,1
KG	0,9	0,8	3,0	79,1	0,9	1,2	14,6	1003,1
Signifikanz-Niveau [* = p<0,05; ** = p<0,01; *** = p < 0,001; n.s. = nicht signifikant]								
t-Test nach Student	*	**	n.s.	n.s.	***	**	n.s.	n.s.

4 Diskussion

4.1 Vergleichbarkeit der Gruppen

Ein Vergleich der Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG) kann als statthaft angesehen werden, da sich die beiden Gruppen bei den Parametern Alter, Größe, Körpergewicht und -fettgehalt nicht signifikant voneinander unterscheiden ($p > 0,05$; vergleiche 3.1.2). Einzig beim dritten Testdurchgang konnten signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) des Körperfettgehalts für die VG festgestellt werden ($12,3 \pm 0,9\%$ vs. KG: $16,0 \pm 1,1\%$; siehe Tabelle 13). Dies ist mit einem besseren Trainingszustand und der höheren körperlichen Betätigung durch den größeren Trainingsaufwand zu begründen. Der Zusammenhang zwischen Energieverbrauch durch körperliche Bewegung, sowie Fitnessgrad und Körperfettgehalt konnte in der Literatur vielschichtig belegt werden (1,71,77,95,97). Dabei ist der relativ hohe Körperfettgehalt der Probanden der Versuchsgruppe (12,3 - 13,6%; siehe Tabelle 3) im Vergleich zu anderen Untersuchungen bei Leistungssportlern darauf zurückzuführen, dass bei Schwimmsportlern generell ein höherer Fettgehalt zu tolerieren ist. Dieses Phänomen besteht daher, weil aufgrund der Dichte des Wassers beim Schwimmen die Problematik des „Mitschleppens“ von Gewicht nicht so ausschlaggebend, wie bei anderen Sportarten ist (84). In einer Untersuchung von Flynn et al. (84) bei 22 College Schwimmern und Läufern konnten signifikant niedrigere Werte ($p \leq 0,05$) für Läufer im Vergleich zu den Schwimmern festgestellt werden (Läufer: $7,03 \pm 1,19\%$; Schwimmer: $10,38 \pm 3,2\%$). Der relativ große Unterschied des prozentualen Körperfettgehalts zwischen den Schwimmern bei Flynn et al. und denen der vorliegenden Untersuchung von knapp 2 bis über 3% ist darauf zurückzuführen, dass bei Flynn et al. nur männliche Probanden untersucht wurden und es sich in der vorliegenden Studie um eine gemischte Gruppe handelt, in der der natürlicherweise höhere Fettanteil von Frauen ins Gewicht fällt (110,140). Betrachtet man in der vorliegenden Untersuchung nur die männlichen Probanden, so ist im dritten Testdurchgang ein im Vergleich zu Flynn et al. sehr ähnlicher Wert von 10,6% ($\pm 1,6$) zu beobachten (siehe Tabelle 5).

Bei Jugendlichen im Leistungssport kommt hinzu, dass im Wasser eine gewisse Wärmeisolation durch einen höheren Fettgehalt gegeben ist. Dadurch ist es gerade Kindern teilweise erst möglich, lange Ausdauertrainingseinheiten zu absolvieren, ohne aufgrund des sich einstellenden Kältegefühls Trainingseinheiten abbrechen zu müssen (203).

4.2 Anthropometrische Messungen

4.2.1 Finale Körperhöhe und Körperbau-Punkte

Bei der Betrachtung der anthropometrischen Daten war die finale Körperhöhe und vor allem die erreichten Punkte der Körperbauvermessung (Punkte KB) von entscheidendem Interesse.

Zur Errechnung der Körpergröße im Erwachsenenalter (finalen Körperhöhe) gibt es grundsätzlich die Möglichkeit einer Prognose aufgrund der Vermessung von bestimmten Körpermaßen (17,193,225,226) und der Bestimmung des Knochenalters unter Zuhilfenahme einer Röntgenuntersuchung (183,225,226). In neueren Versuchen werden auch Ultraschalluntersuchungen zur Bestimmung des Knochenalters durchgeführt (157).

In der vorliegenden Studie wurden die anthropometrischen Daten mittels einer am OSP HH-SH entwickelten Software ausgewertet, die auf Untersuchungen, welche schon 1952 von Bayley und Pinneau, 1975 von Tanner et al. und ebenfalls 1975 von Roche et al. durchgeführt wurden, basieren (17,193,201,225,226,253). Damit können einerseits Aussagen über die körperbauliche Entwicklung getroffen und andererseits Hinweise auf die Eignung für eine Sportart (im Hinblick auf das Erreichen einer Spitzenleistung) gewonnen werden. In Bezug auf die Eignung zum Schwimmsport waren dabei vor allem die Möglichkeit der Gesamtbewertung des Körperbaus und die Errechnung der finalen Körperhöhe von besonderem Interesse (201,253; vergleiche Kapitel 1.2).

Zur Berechnung der Punkte KB ist anzumerken, dass sich diese aus einer Wertung der Körperhöhe und der Breitenmaße errechnen (201,203,253) und nach

Rudolph (201,253) aufgrund der Punkte KB eine Einschätzung, ob die vermessene Person für den Schwimmleistungssport geeignet ist, erfolgen kann.

Da sich die finale Körperhöhe zwischen der VG und KG nicht unterscheidet (1.-3. Testdurchgang: VG = 177,7-178,2 ± 2,1-2,2 vs. KG = 175,3-176,2 ± 2,4-2,5), die ebenfalls von der Körperhöhe abhängenden Punkte KB hingegen in jedem Testdurchgang signifikant unterschiedlich sind ($p \leq 0,05$; bzw. 0,01; siehe Tabelle 19-21), müssen sich vor allem die Breitenmaße der Probanden unterscheiden. Dass sich nicht auch die Körperhöhe der VG unterschieden hat, kann durch die in den letzten Jahren insgesamt gestiegene durchschnittliche Körpergröße der Bevölkerung (221) erklärt werden, die ein Niveau erreicht hat, das nur noch schwierig zu steigern ist. Talentierte Sportler können daher, bezogen auf die Körperhöhe, seltener herausragen. Deshalb scheinen es, obwohl das genaue Verhältnis in der Literatur umstritten ist, die Breitenmaße zu sein, die gerade für die im Wasser notwendige Stromlinienförmigkeit und den dabei verminderten Widerstand ausschlaggebend sind (201,203,253). Da man im Schwimmleistungssport davon ausgeht, dass die Verminderung des Widerstandes ein entscheidendes Kriterium für die Verbesserung der Leistung darstellt, ist die festzustellende Differenz, vor allem der Breitenmaße, von entscheidender Bedeutung für den erwarteten Unterschied bei den anthropometrischen Werten der VG und KG. Allerdings erreicht selbst die VG mit einem Punktwert zwischen 10,0 – 10,4 in Bezug auf den Hochleistungssport nur einen durchschnittlichen Wert (201,203,253). So konnte für Hamburger Nachwuchsschwimmer 1992 noch ein Punktwert für 13-jährige von 17,0 gemessen werden (202).

4.2.2 Finale Körperhöhe und Körperbau-Punkte: Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen

Weder für die Kontroll- noch für die Versuchsgruppe konnte im Verlauf der drei Testdurchgänge eine Veränderung der errechneten finalen Körperhöhe festgestellt werden. Allerdings lässt sich dieser Wert nicht mit dem Zielkriterium der endgültigen Körperhöhe der Probanden vergleichen, da sich diese noch im Wachstum befanden und somit keine Aussage über die Richtigkeit der ermittel-

ten finalen Körperhöhe gegeben werden kann. Die Probanden hatten beim dritten Testdurchgang ein Durchschnittsalter von 13,9 – 14,1 ($\pm 0,3$; siehe Tabelle 3 und 4) Jahren, weshalb davon auszugehen ist, dass sich alle Athleten noch in der Wachstumsphase befanden. So konnten beispielsweise Mercier et al. (158) für Schwimmer in einer Langzeitstudie den größten Wachstumsschub in einem Alter von 13 Jahren ermitteln.

Einen Vergleich der errechneten Körperhöhe mit der tatsächlichen endgültigen Erwachsenengröße nahmen Bramswig et al. (30) vor. In einer Gegenüberstellung von fünf verschiedenen Methoden stellten sie fest, dass sich Körperhöhen-voraussagen in Bezug auf ihre Genauigkeit und Tendenz unterscheiden, wobei sowohl Über- als auch Unterschätzungen der Erwachsenhöhe vorherrschen. Insgesamt kommen verschiedene Autoren zu unterschiedlichen Ergebnissen (4,98,119,150,228). Bei einer Untersuchung von 69 Probanden konnte für die Methode von Roche et al. mit einer Abweichung von nur durchschnittlich 0,6 cm der beste Wert ermittelt werden. Daher kann in der vorliegenden Untersuchung aus der Diskrepanz zwischen der Körperhöhe im dritten Testdurchgang von 168,4 cm und der aus der Körpervermessung errechneten finalen Körperhöhe von 176,4 cm geschlossen werden, dass die Wachstumsphase der Probanden noch nicht beendet war.

4.3 Aktuelle Leistungsfähigkeit

4.3.1 Aktuelle Leistungsfähigkeit in FINA-Punkten

Um einen statthaften Vergleich der aktuellen schwimmerischen Leistungsfähigkeit anstellen zu können, ist die Umrechnung der Bestzeiten in FINA-Punkte notwendig (69). Da für die Versuchsgruppe eine Unterteilung in ausdauer- und sprintversierte Schwimmer stattfand, wurden dabei die Punkte auf der 100m bzw. 400m Strecke errechnet. Für die Probanden der Kontrollgruppe wurde immer die Bestzeit der 100m Freistilstrecke in Punkte umgerechnet, da sie in allen Testdurchgängen auf dieser Strecke die höchste Punktzahl erreichen konnten. Dies ist insofern nicht verwunderlich, da sich die FINA-Punkte an den

jeweiligen Weltrekordzeiten orientieren. Durch den relativ geringen Trainingsaufwand der Kontrollgruppe fehlte ihnen die notwendige gut ausgeprägte Grundlagenausdauer, wodurch sie kürzere Strecken verhältnismäßig besser bewältigen können (247).

Aufgrund der Tatsache, dass sich die FINA-Punktetabelle an den aktuellen Weltrekorden orientiert, war ein signifikanter Unterschied zwischen der VG und der KG bezüglich der aktuellen schwimmerischen Leistungsfähigkeit zu erwarten. Da sich die AU und SP nur in ihrer Ausprägung unterschieden, aber die gleiche Leistungsfähigkeit aufweisen sollten, waren hier nicht signifikant unterschiedliche Werte zu prognostizieren. Beides war bei allen Testdurchgängen der Fall (1. Testdurchgang: VG $470 \pm 19,7$ vs. KG $274 \pm 10,7$; 2. Testdurchgang: VG $547 \pm 15,5$ vs. KG $329 \pm 14,4$; 3. Testdurchgang: VG $582 \pm 15,1$ vs. KG $353 \pm 15,4$ jeweils $p \leq 0,001$ und AU $466-578 \pm 23,4-29,8$ vs. SP $479-588 \pm 25,2-41,5$ jeweils $p > 0,05$; siehe Tabelle 81-86). Da die FINA-Punkte keine alterabhängigen Werte angeben, sondern sich an der jeweiligen Weltrekordzeit (= 1000 Punkte) orientieren, können die 582 Punkte im dritten Testdurchgang der VG als hohes Leistungsniveau angesehen werden. Zum Vergleich kann die Kaderzugehörigkeit zum Deutschen Schwimmverband bzw. das Erreichen der Pflichtzeit bei den nationalen Meisterschaften herangeholt werden. Die 100m Freistil D3 Kaderzeit für 14-jährige entspricht einer Punktzahl von 542 und die Pflichtzeit für die nationalen Meisterschaften einer Punktzahl von 509 (67,69). In beiden Fällen übersteigt die Punktzahl der VG die Norm, wohingegen die Punktleistung der KG nicht einmal für die Qualifikation der Landesmeisterschaften in Niedersachsen reichen würde (KG = $353 \pm 15,4$ Punkte und Qualifikationszeit in Punkte umgerechnet 372).

Eine Untersuchung von Bremer (35) an 23 Leistungsschwimmern und -schwimmerinnen, orientiert sich ebenfalls daran, ob die Probanden nationale Pflichtzeiten erreichen. Dabei wurde eine durchschnittliche FINA Punktzahl von 670 ± 118 erreicht. Allerdings hatten diese Probanden ein Alter von $16,7 \pm 3,5$ Jahren und waren damit 2,6 Jahre älter als die in der vorliegenden Studie, sodass das Leistungsniveau der Probanden von Bremer durchaus mit der vorliegenden Untersuchung vergleichbar ist.

4.3.2 Punkte-Leistung nach der Rudolph-Tabelle

Bei der Einschätzung der aktuellen Leistungsfähigkeit anhand der von Rudolph entwickelten Tabelle (94,201,253) ist der Unterschied zwischen den VG und KG sehr divergent (4,0 - 4,6 vs. 14,2 - 14,8: jeweils $p \leq 0,001$; siehe Tabelle 19-21). Laut der Kategorisierungsmöglichkeit kann der KG ein „absolut unzureichend“ und der VG ein „gut“ bescheinigt werden. Allerdings orientiert sich diese Einschätzung an den national besten jemals geschwommenen Zeiten der Altersstufen, sodass selbst für eine Versuchsgruppe insgesamt die Beurteilung „gut“ mit einem Punktwert von 14,2 – 14,8 von 20 zu erreichenden Punkten als überdurchschnittlich zu bewerten ist (203). Dabei sagt dieser Parameter in sofern etwas über das Talent des Schwimmers aus, als er schon in jungen Jahren zu den besten jemals vorhandenen Athleten seiner Alterstufe gehört (201,203).

4.3.3 Aktuelle Leistungsfähigkeit: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Sowohl für die Versuchsgruppe als auch für die Kontrollgruppe blieb der Punktwert nach der Rudolph-Tabelle (201,253) im Vergleich zwischen den drei Testdurchgängen relativ konstant und es konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) bezüglich der Leistungsverbesserung im jeweiligen Längsschnitt der beiden Gruppen festgestellt werden (siehe Tabelle 17 und 18).

Für die KG bedeutet dies, dass sie erwartungsgemäß innerhalb des Testjahres mit Werten zwischen 4,0 und 4,6 konstant in dem Bereich „absolut unzureichend“ geblieben sind. Da dieser Parameter einen Vergleich mit den Besten der jeweiligen Altersklasse herstellt, konnte ohne eine entscheidende Erhöhung der Trainingsintensität und des Trainingsumfangs der KG keine Veränderung erwartet werden.

Für die Versuchsgruppe bedeuten die konstanten Werte von 14,2 bis 14,8 hingegen, dass sie sich auf einem hohen Niveau etablieren konnten, welches als

wesentlich schwieriger zu bewerten ist, als ein Verweilen auf niedrigem Niveau, wie es bei den KG zu beobachten war.

4.4 Einteilung der Gruppe in Ausdauer (AU) und Sprint (SP)

4.4.1 FINA-Punkte

Zur Einteilung der Gruppe in eine Sprint- und eine Ausdauergruppe wurden verschiedene Faktoren berücksichtigt. Einen wichtigen Parameter stellte die Umrechnung der Bestzeiten in Punkte laut der FINA-Tabelle dar (69). Dabei werden jeweils nach den Olympischen Spielen die aktuellen Weltrekordzeiten aller Schwimmstrecken mit 1000 Punkten gleichgesetzt und dann mittels einer exponentiellen Funktion jedem Punkt zwischen 1 und 1000 eine Zeit zugeordnet.

Dabei ist es von besonderem Vorteil, dass Zeiten in verschiedenen Lagen auf verschiedenen Streckenlängen und auch unabhängig vom Geschlecht der Schwimmer objektiv miteinander verglichen werden können. Auch Bremer (35) benutzte dieses Instrument um bei einem gemischten Probandengut (15 weiblich; 8 männlich) anhand der Schwimm- / -strecke mit der höchsten FINA-Punktzahl eine Vergleichbarkeit herzustellen und den Mittelwert der FINA-Punktzahl der Gesamtgruppe zu ermitteln.

In der vorliegenden Untersuchung war es notwendig zu ermitteln, welche Schwimmer eher auf der Sprintstrecke als auf einer längeren Strecke höhere Punkte aufwiesen und umgekehrt. Außerdem war von Interesse, wie sich die Punktwerte auf den jeweiligen Strecken im Verlauf der drei Testdurchgänge entwickelt haben.

Zur Unterteilung der Versuchsgruppe in eine Ausdauer- und eine Sprintgruppe wurden die Bestzeiten der Schwimmer zu den jeweiligen Testzeitpunkten auf den 100m- und 400m-Strecken herangezogen. Um die Unterteilung vorzunehmen, wurden nach dem dritten Testdurchgang diejenigen Athleten, die jeweils auf der 100m-Strecke im Vergleich zu der 400m-Strecke eine höhere Punktzahl

erreichen konnten der Sprintgruppe zugeordnet und diejenigen, die auf der 400m-Strecke im Vergleich zu der 100m-Strecke eine höhere Punktzahl erreichen konnten der Ausdauergruppe zugeordnet. Untermauert wurde die Einteilung mit einer Expertise der Verbandstrainer.

Im nächsten Schritt wurde nun die Einteilung auf ihre Rechtmäßigkeit überprüft. Als erstes wurden die FINA-Punkte der Schwimmer in ihrer jeweiligen Ausprägung miteinander verglichen (Ausdauer- = 400m und Sprintgruppe = 100m; vergleiche Tabelle 28). Hierbei war festzustellen, dass eine Unterteilung und ein Vergleich der beiden Gruppen gerechtfertigt ist, da die jeweils erreichten Punkte sich nicht signifikant unterschieden ($p > 0,05$). Bekräftigt wurde dies durch den Vergleich der FINA-Punkte der Schwimmer, jeweils nicht in ihrer Ausprägung (Ausdauer- = 100m und Sprintgruppe = 400m; vergleiche Tabelle 29). Auch hier konnte bei allen drei Testdurchgängen kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festgestellt werden.

Bei dem Vergleich der FINA-Punkte der Versuchsgruppe in ihrer Ausprägung (Ausdauer- 400m zusammen mit Sprintgruppe 100m) und nicht in ihrer Ausprägung (Ausdauer- 100m zusammen mit Sprintgruppe 400m) war zu erwarten, dass die Gruppe in ihrer jeweiligen Ausprägung höhere Werte als in ihrer Nicht-Ausprägung erreicht. Nachdem im ersten Testdurchgang kein signifikanter Unterschied ($p > 0,05$) festzustellen war, ist dieses im zweiten- und dritten Testdurchgang der Fall ($p \leq 0,05$; vergleiche Tabelle 32). Dies konnte als weiterer Beleg dafür gewertet werden, dass die Einteilung der Gruppe in eine Ausdauer- und eine Sprintgruppe gerechtfertigt war. Gerade im Vergleich mit den Ergebnissen der Laktatleistungskurve und der Verlaufskurve der VO_2 -Werte, bei denen auch eine Vergrößerung der Ausdifferenzierung der Sprint- bzw. Ausdauerfähigkeit vom ersten bis zum dritten Testdurchgang zu beobachten war (vergleiche Tabelle 50), stellt die Entwicklung des Unterschiedes in der erreichten Punktzahl auf den unterschiedlichen Streckenlängen eine logische Folge dar.

Ein weiterer Schritt war, die Ausdauer- und Sprintgruppe jeweils gesondert zu betrachten. Dabei ist bei der Sprintgruppe eine höhere Punktzahl auf der Sprintstrecke 100m als auf der längeren Strecke 400m Freistil zu erwarten. Da

nach dem tendenziellen Unterschied beim zweiten Testdurchgang im dritten Testdurchgang ein signifikanter Unterschied festzustellen ist (siehe Tabelle 30), ist die Einteilung der Gruppe als Sprintgruppe gerechtfertigt. Auch hierbei ist dieses Ergebnis in Relation mit den Ergebnissen der Laktatleistungskurve und der Verlaufskurve der VO_2 -Werte zu betrachten. Wie oben schon erläutert, spielt auch hier die Vergrößerung der Ausdifferenzierung der Sprint- bzw. Ausdauerfähigkeit eine Rolle, sodass die Entwicklung des Unterschiedes in der erreichten FINA-Punktzahl auf den unterschiedlichen Streckenlängen eine logische Folge darstellt. Ebenso verhält es sich mit der Ausdauergruppe, bei der eine höhere FINA-Punktzahl bei den 400m als bei den 100m Freistil zu erwarten war. Auch hier konnte nach dem tendenziellen Unterschied beim zweiten Testdurchgang im dritten Testdurchgang ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (siehe Tabelle 31). Somit ist auch hier eine Einteilung der Gruppe – in diesem Fall in eine Ausdauergruppe – gerechtfertigt.

Ein weiterer Faktor, der für die Einteilung der Probandengruppe in Sprinter und Ausdauerathleten herangezogen wurde, war die Betrachtung der FINA-Punkte der Bestzeiten jeweils auf 100m, und 400m Freistil beider Gruppen im Verlauf der drei Testdurchgänge (siehe Tabelle 27). Dabei konnte erwartungsgemäß eine signifikante Steigerung ($p \leq 0,05$) bei der Ausdauergruppe auf 400m und der Sprintgruppe 100m Freistil festgestellt werden. Dies war aufgrund des hohen Trainingsumfanges und der Entwicklungsfähigkeit der Jugendlichen in diesem Alter zu erwarten (3,80,131,168,182). Die Beobachtung, dass die Ausdauergruppe auch auf der kurzen 100m Freistilstrecke eine signifikante Entwicklung im Verlauf der Testdurchgänge aufweist, ist mit der u.a. von Wilke et al. beobachteten Tatsache zu begründen, dass durch Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Schwimmen auch hohe Leistungen im Sprintbereich zu realisieren sind. Umgekehrt ist es den Sprintern seltener möglich, auch im Ausdauerbereich ähnliche Entwicklungen der Bestzeiten wie im Sprintbereich zu verwirklichen (247). Dass zwischen dem zweiten und dritten Testdurchgang in keiner Gruppe auf keiner Strecke eine signifikante Steigerung der Punktzahl mehr möglich war, ist sicherlich damit zu begründen, dass es schwierig ist, sich auf einem hohen Niveau noch weiter stark zu verbessern.

4.4.2 Erreichte Stufenzahl

Wichtig war, die Anfangsgeschwindigkeit und Geschwindigkeitssteigerung des Stufentests so zu wählen, dass er zwischen den Anforderungen von Sprintern (SP) und Ausdauer Schwimmern (AU) lag. Dabei würde eine geringe Anzahl von erreichten Stufen, bei denen die SP signifikant mehr Stufen absolvieren konnten und die Laktatwerte schon in den ersten Stufen weit über den Ruhewerten lagen für einen Vorteil der SP sprechen. Andersherum würde eine hohe Anzahl von erreichten Stufen, bei denen die AU signifikant mehr Stufen absolvieren konnten für einen Test sprechen, der ausdauerorientierte Schwimmer bevorzugt. Da weder die erreichte Stufenzahl bei den jeweiligen Testdurchgängen (AU $6,1-7,0 \pm 0,3-0,5$ vs. SP $6,3-6,8 \pm 0,3-0,4$) noch die Laktatwerte in den ersten Stufen sich von dem Ruhewert (siehe Abbildung 29-31) signifikant unterschieden ($p > 0,05$), kann davon ausgegangen werden, dass das Testdesign weder die ausdauerorientierten noch sprintorientierten Athleten bevorzugte.

Die Gesamtanzahl von $6,2-7,00 (\pm 0,2-0,3)$ erreichten Stufen der AU und SP bei allen Testdurchgängen ist mit üblichen Ausbelastungstest in der Literatur vergleichbar. Sowohl bei Yanagiya et al. und auch McGregor et al. haben beispielsweise die Probanden 6 Stufen absolvieren müssen (154,256). Auch Simon geht generell davon aus, dass ein Stufentest 5-7 Belastungsstufen beinhalten sollte, um Belastungen sowohl im aeroben als auch im anaeroben Bereich differenziert genug abzudecken (211).

4.5 Physiologische Parameter

4.5.1 Laktat

Das Design des Stufentestes wurde so konzipiert, dass es für die Versuchsgruppe eine Ausbelastung gewährleistete, ohne dabei Sprint- oder Ausdauer schwimmer einen Vorteil zu verschaffen. Wie in Kapitel 4.4.2 erläutert, kann mit einer absolvierten Stufenzahl zwischen 6,2-7,00 ($\pm 0,2-0,3$; siehe Tabelle 22) davon ausgegangen werden, dass dieses Ziel erreicht wurde. Für die Kontrollgruppe mit einer wesentlich geringeren Leistungsfähigkeit und einer erreichten Stufenzahl von 3,5-3,9 ($\pm 0,3$; siehe Tabelle 23) stellte dieser Test allerdings erwartungsgemäß kein klassisches Stufentestdesign mit einer langsam ansteigenden Belastung dar. Dafür hätten wie bei Yanagiya et al. oder McGregor et al. etwa 6 Stufen durchlaufen werden müssen (154,211,256). Da schon die Anfangsbelastung für die KG teilweise nur über den anaeroben Stoffwechsel zu bewältigen war, konnten für die Laktatwerte der meisten Probanden dieser Gruppe keine klassische Laktat-Leistungskurve erstellt werden. Daher wurde auch, da bei weniger als 50% eine Schwelle zu bestimmen war, ein Vergleich der individuellen anaeroben Schwelle (IAS) der VG und KG nicht durchgeführt.

4.5.1.1 Laktat während der Belastung

Die signifikanten Unterschiede ($p \leq 0,001$) der Versuchs- und Kontrollgruppe auf allen Belastungsstufen sind Ausdruck eines besseren Ausdauerleistungszustandes der VG (148,170,223,240). Dabei konnten in den ersten 4 Belastungsstufen, in denen die Anzahl der Probanden der KG für eine statistische Auswertung groß genug war ($n \geq 3$), fast für jede Stufe mehr als doppelt so hohe Werte ermittelt werden. Insgesamt wurden im Mittel um 119,5% höhere Werte festgestellt (z.B. 3. Testdurchgang: VG 1. Stufe $1,6 \pm 0,1$ vs. KG $3,0 \pm 0,2$; 2. Stufe VG $1,5 \pm 0,1$ vs. KG $3,6 \pm 0,3$; vergleiche Tabelle 40 und 41)

4.5.1.2 Laktat: AU und SP im Vergleich

Bei der Laktatschwelle der ausdauerorientierten Schwimmer sind für die ersten beiden Testdurchgänge fast identische Werte gemessen worden (3,81 vs. 3,82 mmol/l; $p > 0,05$; siehe Abbildung 32). Erst im dritten Testdurchgang kann ein tendenzielles Absinken der Werte an der Laktatschwelle auf 3,2 mmol/l beobachtet werden. Dies ist mit dem Umstand zu erklären, dass die Ausdifferenzierung der Athleten in ihrer Ausprägung erst zum dritten Testdurchgang hin deutlich wird und ein Absinken bzw. eine deutlich niedrigere Laktatschwelle ein Zeichen eines besseren Ausdauertrainingszustandes bzw. eines höheren Anteils an „slow twitch“ Muskelfasern ist (170,190,223,224). Dies wird auch im Vergleich zwischen den Gruppen AU und SP deutlich. Hier ist beim ersten Testdurchgang kein Unterschied festzustellen (3,8 vs. 3,7 mmol/l; $p > 0,05$; siehe Abbildung 32), was wiederum die Indifferenz der Gruppe bezüglich einer Ausprägung zum Ausdauer- oder Sprintathleten verdeutlicht. Im zweiten und dritten Testdurchgang ist hingegen jeweils ein signifikanter Unterschied (3,8 vs. 4,8 mmol/l bzw. 3,2 vs. 4,1 mmol/l; $p \leq 0,05$; siehe Abbildung 32) vorhanden. Eine Erhöhung der Laktatwerte durch ein sprintbetonteres Training fand auch Houston 1981 in einem Vergleich zweier Gruppen mit Leistungsschwimmern heraus (115). Eine Gruppe absolvierte 6,5 Wochen ein hochintensives, die andere in derselben Zeit ein moderates Training. Während sich die VO_{2-max} in dieser Zeit bei beiden Gruppen gleichermaßen steigerte, konnten um 36% höhere Laktatwerte während des Trainings bei der hochintensiv trainierenden Gruppe gemessen werden (10,2 bzw. 7,5 mmol/l). Der in der vorliegenden Studie mit 14,3% deutlich niedrigere Unterschied, ist mit dem Umstand zu begründen, dass die gesamte Probandengruppe altersüblich ein ausdauerorientiertes Training durchführt und der Anteil an unterschiedlichen, für die AU und SP spezifischen Serien noch gering ist.

Im maximalen Geschwindigkeitsbereich weisen die Laktatwerte ebenfalls im dritten Testdurchgang einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$) auf. Werte der AU von 7,6 mmol/l stehen Werte der SP von 10,4 mmol/l gegenüber (siehe Tabelle 95). Es zeigt sich, dass durch die beginnende Ausdifferenzierung zwischen Sprint- und Ausdauerorientiertheit die größere Abhängigkeit des Metabo-

lismus der SP von der anaeroben Glykolyse zu einer erhöhten Laktatproduktion beiträgt (93,96).

Dass ein vermehrtes aerobes Training zu einer Senkung der Laktatkonzentration bei gleicher Geschwindigkeit führt, haben u.a. Wakayoschi et al. (240) festgestellt. Sie ließen eine Schwimmgruppe ein sechsmonatiges Ausdauertraining absolvieren. Die Laktatkonzentration war auf den Geschwindigkeitsstufen nach dem Training signifikant ($p \leq 0,05$) niedriger als zuvor. Die Ursache sahen Wakayoschi et al. vor allem in einer verbesserten Effizienz des Organismus, das Laktat im Blut zu verstoffwechseln und zu eliminieren. Der Zusammenhang zwischen höherem Anteil an aeroben Training und niedrigerer Laktatkonzentration konnte auch in der vorliegenden Studie bestätigt werden. So konnten auf den Belastungsstufen insgesamt für die AU im Mittel um gut 14% niedrigere Laktatwerte im Vergleich zu den SP gemessen werden.

4.5.1.3 Laktat: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Betrachtet man die Entwicklung der SP zwischen den drei Testdurchgängen ist ein deutlicher Anstieg der Laktatwerte zwischen dem ersten und zweiten Testdurchgang an der IAS zu beobachten ($3,69 \pm 0,4$ vs. $4,82 \pm 0,1$ mmol/l; $p \leq 0,05$; siehe Abbildung 32). Dies ist mit der weiter fortgeschrittenen Ausdifferenzierung der trainingsbedingter Muskelfasertypisierung dieser Schwimmer zu erklären, wodurch Sprinter in der Regel höhere Laktatwerte an der Laktatschwelle aufweisen (137,146,170,223,224). Allerdings reduziert sich die Laktatkonzentration bei dieser Gruppe an der IAS zwischen dem zweiten und dritten Testdurchgang wieder ($4,82 \pm 0,1$ vs. $4,06 \pm 0,4$ mmol/l; $p > 0,05$; siehe Abbildung 32). Dies ist mit dem ebenfalls gestiegenen Trainingsumfang, der Trainingsdauer und den Trainingsjahren zu erklären, da gerade im Kindes- und Jugendtraining generell, also auch bei sprintversierten Schwimmern, der Schulung der Ausdauerleistungsfähigkeit eine große Bedeutung beigemessen wird. Zintl (263) stellt dazu einen allgemeinen Zusammenhang zwischen IAS und Leistungsfähigkeit her, in dem er davon ausgeht, dass Untrainierte einen Wert von 5-6 mmol/l und Hochleistungstrainierte von 2,5-3 mmol/l aufweisen. Für

Schwimmer konnte Dekerle (64) in einer Untersuchung bei 11 Leistungsschwimmern (Alter: 19.7 ± 1.8) eine IAS von 3.3 ± 2.2 mmol/l ermitteln. In der vorliegenden Untersuchung konnten für die AU ähnliche Werte festgestellt werden. Dabei ist ein Absinken der Schwelle von $3,8 \pm 0,6$ (mmol/l) im ersten und zweiten Testdurchgang auf $3,2 \pm 0,2$ (mmol/l) im Dritten zu beobachten. Dieser Unterschied ist zwar nicht signifikant ($p > 0,05$), aber zeigt die Tendenz, dass ausdauerorientierte Schwimmer deutlich unter dem in einem der ersten Schwellenkonzepte angegebenen Richtwert von (4,0 mmol/l) liegen (106,148,222). Bei Urhausen et al. (237) konnte in einer Untersuchung von A, B, C, und D Kaderathleten der Leichtathletikdisziplinen 100/200m und 5000m Laufen bei einer Laufbandergometrie für die 100/200m Sprinter eine IAS von 4,3 (mmol/l) und für die 5000m Läufer von 2,7 (mmol/l) ermittelt werden. Die in der vorliegenden Studie demgegenüber höheren Werte der AU ($3,2 \pm 0,2$ mmol/l im 3. Testdurchgang) und niedrigeren Werte der SP ($4,06 \pm 0,4$ mmol/l im 3. Testdurchgang) an der IAS sind einerseits auf die noch nicht vollkommene Ausdifferenzierung der jeweiligen Versiertheit und den beschriebenen Umstand, dass im Jugendtraining noch größerer Wert auf das Training der allgemeinen Grundlagenausdauer gelegt wird, zurückzuführen. Es konnten damit auch Erkenntnisse von Simon und Thiesmann (213) bestätigt werden, die davon ausgehen, dass die IAS im Schwimmsport bei Ausdauerathleten in der Regel unterhalb und die von nicht Ausdauerathleten oberhalb von 4 mmol/l liegt.

Bei der Entwicklung der maximalen Laktatwerte ist ebenfalls die Ausdifferenzierung der SP zur Sprintversiertheit zu beobachten. Zwischen dem ersten und zweiten Testdurchgang besteht ein signifikanter Anstieg ($p \leq 0,05$) und im dritten Testdurchgang verharren die Werte schließlich auf diesem hohen Niveau (siehe Tabelle 51). Für die AU konnte erwartungsgemäß keine Steigerung der maximalen Laktatwerte ermittelt werden (siehe Tabelle 51), da ihr Training und ihre Veranlagung die Ausdauerleistungsfähigkeit im Fokus hat und nicht die Realisierung hoher Laktatwerte, wie sie auf Sprintdistanzen notwendig ist (170,223,224). Die Entwicklung der maximalen Laktatwerte ist sowohl für die AU als auch für die SP mit der unterschiedlichen trainingsbedingten Muskelfaserzusammensetzung zu begründen. Bei den SP, mit einem hohen Anteil an „fast-twitch“ Fasern die einen hohen glykolytischen Stoffwechsel aufweisen,

kommt es zu einer starken Laktatakkumulation. Dies liegt einerseits daran, dass durch einen entsprechend hohen Anteil schnell zuckender Muskelfasern mehr Laktat produziert wird. Andererseits wird durch einen weniger ausgeprägten oxidativen Stoffwechsel der schnell zuckender Muskelfasern weniger Laktat abgebaut. Bei den AU verhält es sich dementsprechend genau umgekehrt. Ein hoher Anteil mit „slow twitch“ Muskelfasern, produziert weniger Laktat und baut dieses durch den hoch ausgeprägten oxidativen Stoffwechsel schneller wieder ab.

4.5.2 Herzfrequenz

Die Herzfrequenz bei einer Schwimmbelastung unterscheidet sich grundsätzlich von der anderer Sportarten. Dabei ist ein wichtiger Faktor die horizontale Körperlage bei der Ausübung des Schwimmens. Braden et al. (29) stellten dazu einen Zusammenhang zwischen Belastungsmodalität und Herzfrequenz fest. Dabei wurde die Laufbandbelastung mit der Fahrradbelastung im Sitzen und im Liegen verglichen. Auf dem Laufband wurden die höchsten Werte erreicht, gefolgt von der Fahrradbelastung im Sitzen. Die niedrigsten Werte wurden bei der liegenden Fahrradbelastung gemessen.

Hinzu kommt, dass im Wasser andere Druckverhältnisse herrschen, aus denen ein niedrigerer zu überwindender hydrostatischer Druck resultiert, der wiederum einen erhöhten venösen Rückstrom verursacht. Dies führt im Vergleich zu anderen Sportarten zu niedrigeren Herzfrequenz-, aber auch zu niedrigeren Laktatwerten (114,231). Des weiteren kommt es beim Eintauchen des Körpers in das Wasser zu einer sauerstoffesparenden Reaktion, welche zu einer allgemeinen Senkung des Stoffwechsels führt und als Tauchreflex beschrieben wird (112,180,213).

4.5.2.1 Herzfrequenz während der Belastung

Im Verlaufe des Stufentestes ist ein nahezu linearer Anstieg der Herzfrequenz bei allen Probanden zu beobachten (siehe Abbildung 16 und 17). Hierzu konnte

schon Christensen 1931 in einer Studie darstellen, dass der Zusammenhang von ansteigender körperlicher Arbeit und Herzfrequenzanstieg als allgemeine Gegebenheit angesehen werden kann (47).

Im Vergleich zum Fahrradfahren und zu Laufsportarten werden von vielen Autoren im Bezug auf die maximale Herzfrequenz durchgehend höhere Frequenzen als für den Schwimmsport ermittelt (37,72,166,185). Butts et al. (37) haben dafür eine Probandengruppe einen Test im Wasser, auf dem Fahrrad und auf dem Laufband bei maximaler Ausbelastung absolvieren lassen. Im Vergleich zu dem Schwimmtest konnte dabei für den Fahrradtest eine um 15% und für den Lauftest um 19% höhere Herzfrequenz ermittelt werden. Auch di Carlo et al. (70) verglichen die maximalen Herzfrequenzen während eines Schwimmtests mit denen, die bei einer Laufbandergometrie erreicht werden konnte. Dabei konnte mit einer Herzfrequenz von 197 ± 8 Schlägen pro Minute beim Laufbandtest im Vergleich zu nur 186 ± 10 Schlägen pro Minute während des Schwimmtests ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Erklärbar ist dies mit dem oben beschriebenen Phänomen des Tauchreflexes, der horizontalen Körperlage und des hydrostatischen Drucks des Wassers, der den venösen Blutrückstrom erleichtert (72,180).

Auch in der vorliegenden Studie wurde mit einer maximalen Herzfrequenz der VG und KG von 184 ($\pm 1,9$ bzw. 2,7) Schlägen im dritten Stufentest ein ähnlicher Wert ermittelt (siehe Tabelle 33 & 34). Da die vorher genannten Studien im Erwachsenenalter durchgeführt wurden und die maximale Herzfrequenz mit Zunahme des Lebensalters absinkt, hätte man allerdings für Kinder einen höheren Wert erwartet. So konnte beispielsweise in einer Untersuchung zum Belastungsprofil von Jugendlichen und Erwachsenen im Triathlon (185) festgestellt werden, dass gut trainierte Jugendliche im Gesamtdurchschnitt eine wesentlich höhere Herzfrequenz aufweisen als Erwachsene (179,6 vs. 163 BPM).

Für Kinder konnte vor allem eine hohe interindividuelle Variabilität der maximalen Herzfrequenzwerte beobachtet werden (29,59), die auch in der vorliegenden Studie zu beobachten war. Dabei stehen bei Braden et al. (29) gemessene

Werte zwischen 185 und 205, Werte der vorliegenden Studie zwischen 168 und 192 (bei zwei Ausreißern von 204) gegenüber. Hier wird der oben beschriebene Effekt der niedrigeren maximalen Herzfrequenzwerte im Wasser besonders deutlich, da die Messungen von Braden et al. nicht im Wasser, sondern auf dem Laufband oder dem Fahrrad durchgeführt wurden. Dieser Effekt wird ebenfalls in einer Studie von Rodriguez (197) deutlich, bei der die Probanden einen Test im Wasser, auf dem Laufband- und dem Fahrradergometer zu absolvieren hatten. Dabei wurde beim Schwimmen die niedrigste maximale Herzfrequenz gemessen ($183,1 \pm 7,5$ BPM), die sich signifikant von den gemessenen Werten auf dem Fahrrad ($189 \pm 6,6$ BPM) und auf dem Laufband ($196,1 \pm 7,5$ BPM) unterschieden.

Ein Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden konnte in der vorliegenden Studie nicht ermittelt werden, was mit Untersuchungen von Braden et al. (29) übereinstimmt.

4.5.2.2 Herzfrequenz: AU und SP im Vergleich

In Studien von Shepard et al. (209) konnte gezeigt werden, dass bei Ausdauer- und Sprintschwimmern keine Unterschiede bei der maximalen Herzfrequenz bestehen. Auch in der vorliegenden Studie konnte bei keinem Testdurchgang ein signifikanter Unterschied festgestellt werden (1. Test: AU $180 \pm 1,9$ vs. SP $175 \pm 2,9$ BPM; 2. Test: AU $181,7 \pm 2,7$ vs. SP $178 \pm 4,3$ BPM; 3. Test: AU $180 \pm 2,5$ vs. SP 182 ± 3 BPM; jeweils $p > 0,05$; siehe Tabelle 35 & 36).

Auch in einer Untersuchung von Smith et al. (217) wurde die maximale HF von Ausdauer- und Sprintschwimmern verglichen. Die gemessenen Werte von 173 (± 2) für AU und 175 (± 2) für SP liegen im Mittel nur etwa um 4% (AU) und 2% (SP) unter denen der vorliegenden Studie (AU: $180-181,7 \pm 1,9-2,7$ und SP: $175-182 \pm 2,9-4,3$).

Ein zu erwartender Unterschied der Herzfrequenz zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern in der Vor- und Nachbelastungsphase konnte nur bedingt

gefunden werden. Dabei wäre ein höherer Ausdauertrainingszustand der AU gegenüber den SP zu vermuten, der ein größeres Schlagvolumen des Herzens zu Folge hat, sodass bei gleichem Herzzeitvolumen eine niedrigere Herzfrequenz notwendig wird (125,169,210). Die daraus resultierenden niedrigeren Ruhewerte konnten in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden. Eine Begründung dafür könnte eine individuell sehr unterschiedliche Anfangsnervosität vor einer ungewohnten Testsituation sein, die unabhängig vom Ausdauerleistungszustand die Ruhewerte erhöhte. Ein weiterer Grund könnte in dem Alter der Probanden gesucht werden, da infolge der kürzeren Trainingsanamnese die entsprechenden Trainingsanpassungen noch nicht weitreichend entwickelt waren (244).

Die chronische Adaptation des Herz-Kreislaufsystems an die Ausdauerbelastungen, die auch in der vorliegenden Studie zu einer schneller absinkenden Herzfrequenz in der Nachbelastungsphase von Ausdauerathleten führt (166,209,263), ist allerdings mindestens im ersten und zweiten Testdurchgang zu belegen. Hier können jeweils in der 4. Nachbelastungsminute signifikant niedrigere Werte für die AU festgestellt werden.

4.5.2.3 Herzfrequenz: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Generell ist ein Zusammenhang von Ausdauertraining und Herzfrequenzveränderung weitgehend bekannt (125,135,166,169). So konnten beispielsweise Nikolic et al. (166) herausfinden, dass bei einem Ausdauertraining innerhalb eines Jahres sichtbare Auswirkungen auf die Herzfrequenz zu verzeichnen waren. Innerhalb von ca. 6 Monaten sank die Herzfrequenz in einem Schwimmtest mit 23 Jugendlichen ($13,9 \pm 0,8$ Jahre) bei 90% der maximal zu realisierenden Schwimmgeschwindigkeit signifikant ($p \leq 0,05$) um 5% (von $157,3 \pm 12,4$ auf $149,4 \pm 14,8$ Schläge/Minute).

In der vorliegenden Studie konnte nur ein Absinken der Ruheherzfrequenz der Versuchsgruppe festgestellt werden, welches als Ausdruck einer verbesserten Ausdauerleistungsfähigkeit zu werten ist (166,169,209,263). Somit sind auch die sich nicht signifikant verändernden Herzfrequenzen der Kontrollgruppe er-

klärbar. Allerdings muss auch der Umstand einer ungewohnten Testsituation berücksichtigt werden, der eventuell in dem ersten Testdurchgang zu den hohen Ruhewerten ($89,9 \pm 2,7$; siehe Tabelle 33) geführt hat. So konnte beispielsweise in einer Untersuchung von Thomas et al. (230) bei Schulkindern, die in der Klasse laut vorlesen mussten, ein signifikanter Anstieg der Herzfrequenz festgestellt werden, welches auf den Stress der vorhandenen Testsituation zurückgeführt wurde.

4.5.3 Sauerstoffaufnahme

Als ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Ausdauerleistungsfähigkeit gilt die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2-max}), die als Bruttokriterium der aeroben Kapazität angesehen wird. Obwohl die aerobe Kapazität der Skelettmuskulatur überwiegend die jeweils aktuelle Sauerstoffaufnahme bestimmt, können aufgrund der VO_{2-max} Aussagen auch über die Funktion der O_2 transportierenden Organe bzw. Strukturen wie Lunge, Herz und Blut gemacht werden (14,32,76).

In der vorliegenden Studie war aber auch der Sauerstoffverbrauch auf submaximalen Belastungsstufen von Interesse. Dabei standen zwei Aspekte im Vordergrund:

1. Die Messung des Sauerstoffverbrauchs auf submaximalen Belastungsstufen rückt in der Einschätzung der Bewegungsökonomie immer mehr in den Mittelpunkt, da gerade bei einer koordinativ anspruchsvollen Sportart wie dem Schwimmen die ökonomische Ausnutzung von Energiereserven eine besondere Bedeutung beigemessen werden kann (233).
2. Ein Vergleich der ausdauerorientierten- (AU) mit den sprintorientierten (SP) Schwimmern lässt einen charakteristischen Verlauf der VO_2 -Kurve dahingehend vermuten, dass die AU auf den unteren Belastungsstufen vor der individuellen aeroben Schwelle (IAS) einen niedrigeren und jenseits der IAS einen höheren Sauerstoffverbrauch als die SP aufweisen (32,184).

Bei der Berechnung der VO_2 -Werte gibt es in der Literatur zwei unterschiedliche Ansätze.

1. Die relative Sauerstoffaufnahme wird berechnet, indem die gesamt VO_2 durch das Körpergewicht des Probanden dividiert wird (76).
2. Die um die Ruhewerte korrigierten VO_2 -Werte ($\text{VO}_{2 \text{ net}} = \text{VO}_2$ einer Belastungsstufe – VO_2 -Ruhe) bezogen auf die fettfreie Körpermasse (LBM) werden berechnet (54,74,165,233).

Für die zweite Variante wird als Vorteil vor allem genannt, dass durch den höheren Anteil an Körperfett, den Frauen üblicherweise haben (110,140), dieser seine Bedeutung verliert und männliche und weibliche Probanden so besser miteinander vergleichbar sind. Ferner wird so die Sauerstoffaufnahme insgesamt ausschließlich auf die tatsächlich arbeitende fettfreie Körpermasse bezogen (94,177,249).

In der vorliegenden Untersuchung konnte ein signifikanter Unterschied des Körperfettgehaltes nur beim dritten Testdurchgang zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe festgestellt werden ($p \leq 0,05$). Ein Unterschied zwischen den ausdauerorientierten- und sprintorientierten Schwimmern bestand zu keiner Zeit (siehe Tabelle 14-16). Da in Bezug auf den Sauerstoffverbrauch und dem damit in Zusammenhang stehenden ökonomischen Faktor „energy cost“ (C_s , vergleiche Kapitel 4.6.1), vor allem der Vergleich zwischen den Ausdauer- und Sprintathleten von entscheidender Bedeutung war, wurde zur besseren Vergleichbarkeit mit der einschlägigen Literatur die Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Gesamtkörpergewicht (VO_2/kg) als Grundlage der Diskussion herangezogen.

4.5.3.1 Validität der erfassten Messwerte

Bei der Untersuchung war ein entscheidender Parameter die genaue Erfassung der VO_2 - und die Errechnung der VO_2 -Werte bei Belastungsabbruch mittels der Nachatmungsmethode (42,54,139,140,143,164,216). Hierzu kann festgehalten werden, dass mit einer minimalen Verzögerung von nur rund einer Sekunde ($0,99 - 1,03 \pm 0,03-0,04$ Sekunde; siehe Tabelle 42) bei allen drei Testdurch-

gängen zwischen dem Anschlag des Probanden und dem Aufsetzen der Maske im Vergleich zu anderen Untersuchungen ein sehr niedriger Wert erreicht worden ist. Bei Degenhardt (63) wurde beispielsweise ein Wert von 2-3 Sekunden erreicht.

Für die Genauigkeit der Errechnung der VO_2 -Werte bei Belastungsabbruch durch die Nachatmungsmethode war auch entscheidend, nach wie vielen Atemzügen und in welcher Zeit realistische Werte von dem Spirometriegerät aufgezeichnet werden konnten. Auch hier konnte mit 4,5 - 5,1 ($\pm 0,3$) Sekunden nach 2,3 - 2,5 ($\pm 0,1-0,2$) Atemzügen ein hervorragender Wert erreicht werden (siehe Tabelle 42; vergleiche Kapitel 3.6.3). Da Rodriguez angibt, dass Werte zwischen 3-10 Sekunden nach Beendigung der Belastung ausreichen, um eine Extrapolation der Werte bei Abbruch vorzunehmen (196), kann in der vorliegenden Studie von einer sehr genauen Extrapolation der Sauerstoffwerte bei Belastungsabbruch ausgegangen werden.

4.5.3.2 Sauerstoffaufnahme während der Belastung

In einer Untersuchung von Williams et al. (248) konnte festgestellt werden, dass kein signifikanter Unterschied der relativen VO_{2-max} (ml/min/kg) zwischen Kindern und Erwachsenen besteht. Es wurde dabei eine VO_{2-max} für die 11-12 Jahre alten Jungen von $52,1 \pm 1,7$ (ml/min/kg) im Vergleich zu $56,6 \pm 3,0$ (ml/min/kg) bei den 21-36 Jahre alten Männern gemessen. Dabei führten die Probanden jedoch einen Laufbandtest durch und waren vor allem keine trainierten Sportler, sodass der große Unterschied zu den gemessenen Werten für die Versuchsgruppe ($67,7 - 71,2 \pm 1,8-2,3$ ml/min/kg bei allen drei Testdurchgängen; siehe Tabelle 90, 92 & 94) der vorliegenden Studie erklärbar ist. Allerdings konnten für die Kontrollgruppe, deren Training aufgrund des Umfangs und der Intensität als mäßig eingeschätzt werden kann, etwas höhere Werte als von einer undefinierten Gruppe erwartet werden, was auch mit einer VO_{2-max} von zwischen $54,3-58,7$ ($\pm 2,4-4,3$ ml/min/kg; siehe Tabelle 90, 92 & 94) für die Kontrollgruppe (1. bis 3. Test) der vorliegenden Studie der Fall war. Zu ähnlichen

Werten kamen auch Cooper et al. (50), die für 14-17 männliche Jugendliche eine $VO_{2\text{-max}}$ von 50 ± 8 (ml/min/kg) ermitteln konnten.

Bei Braden und Carroll konnte in einer Übersicht von $VO_{2\text{-max}}$ Werte für Kinder eine recht deutlich voneinander abweichende relative $VO_{2\text{-max}}$ von 34-61 ml/kg/min dargestellt werden (29). Die niedrigeren Werte ergeben sich aus dem Umstand, dass Braden und Carroll nur eine unspezifische Gruppe und nicht sehr gut trainierte Kinder, wie die Versuchsgruppe in der vorliegenden Studie, untersucht haben.

Insgesamt kann mit einer $VO_{2\text{-max}}$ von ca. 70 ml/min/kg der Versuchsgruppe (3. Testdurchgang: $69,3 \pm 2,4$) eine sehr gute Ausdauerleistungsfähigkeit bestätigt werden, die sich im Bereich von sehr gut ausdauertrainierten Erwachsenen bewegt (138,239). Lavoie (138) misst dabei für 53 Wettkampfschwimmer bei einer Geschwindigkeit von $v = 1,4$ m/sec etwa 70 ml/min/kg (Versuchsgruppe 3. Test $69,3$ ml/min/kg) und Wakayoshi (239) maximale VO_2 -Werte bei Eliteschwimmern von durchschnittlich $65,3 \pm 2,5$ ml/min/kg.

Dass dabei die $VO_{2\text{-max}}$ grundsätzlich unabhängig von der Ausdauersportart ist, in der eine stufenförmige Ausbelastung stattfindet, hat Rodriguez (197) beim Vergleich zwischen Schwimm-, Laufbandergometer- und Fahrradergometertest gezeigt. Dabei konnten die versierten Schwimmer zwar eine tendenziell höhere $VO_{2\text{-max}}$ beim Schwimmtest erreichen ($60,3 \pm 6,2$ ml/kg/min), die sich aber nicht signifikant von den erreichten Werten beim Laufband- ($57,3 \pm 4,8$) und Fahrradtest ($57,3 \pm 4,7$) unterschieden. Die dabei gemessenen Werte sind mit denen von Gabriel et al. (88) nahezu identisch. Dieser stellte für ausdauertrainierte Athleten mit einem Trainingsumfang von 3-10 Stunden wöchentlich eine $VO_{2\text{-max}}$ /kg von 57 ± 5 (ml/min/kg) fest. Diese Werte entsprechen ungefähr denen, die für die Kontrollgruppe gemessen wurden (3. Testdurchgang: $58,7 \pm 4,3$ ml/min/kg; siehe Tabelle 94). Die KG befindet sich auch mit einem wöchentlichen Trainingspensum von $4,3 \pm 0,4$ Stunden (siehe Tabelle 4) in dem Bereich von den Athleten, die Gabriel et al. gemessen hat, wohingegen im Vergleich dazu, die höheren Werte der Versuchsgruppe schon mit dem Trainingsaufwand

von $14,9 \pm 0,8$ Stunden pro Woche (3. Testdurchgang; siehe Tabelle 3) und der daraus resultierenden besseren Ausdauerleistungsfähigkeit zu begründen sind.

4.5.3.3 Sauerstoffaufnahme: AU und SP im Vergleich

Betrachtet man die Kurven der Sauerstoffaufnahme vom ersten bis dritten Testdurchgang wird eine Entwicklung sichtbar. Sind im ersten Testdurchgang die Kurven noch weitgehend deckungsgleich, so wird schon im zweiten Durchgang deutlich, dass die ausdauerorientierten Athleten auf den unteren Stufen weniger Sauerstoff verbrauchen als die sprintorientierten. Im oberen Geschwindigkeitsbereich ist noch ein undifferenziertes Bild zu beobachten, wobei es einen Schnittpunkt der Geraden gibt, nach dem die Sprinter insgesamt tendenziell weniger Sauerstoff verbrauchen als die Ausdauerathleten. Im dritten Testdurchgang wird dieser Unterschied dann durch signifikant voneinander abweichende Werte belegt. In den unteren vier Stufen verbrauchen die AU stets deutlich weniger Sauerstoff als die SP, welches zweimal durch signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$) belegt wird. Nach einem Schnittpunkt bei etwa der 5. Stufe haben für den höheren Geschwindigkeitsbereich (6. – 9. Stufe) die SP immer einen niedrigeren Sauerstoffverbrauch, bei dem einmal ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) zu ermitteln ist (vergleiche Abbildung 40-42). Einen charakteristischen Kurvenverlauf der VO_2 -Kurven während eines Belastungstestes konnte auch bei Ramcke (184) beobachtet werden. In einer Untersuchung, bei der jeweils 20 Ausdauer- und Sprintschwimmer getestet wurden, konnten ebenfalls im unteren Geschwindigkeitsbereich zumeist signifikant niedrigere und im oberen zumeist signifikant höhere VO_2 -Werte für die ausdauerorientierten Schwimmer gemessen werden.

Für den unteren Geschwindigkeitsbereich kann davon ausgegangen werden, dass die Energie der Probanden fast ausschließlich von dem messbaren Wert der Sauerstoffaufnahme abhängt. Wie im Kapitel Ökonomie näher beleuchtet, kann dabei aus dem Verhältnis

$$v = VO_2 \cdot e/D,$$

e = Wirkungsgrad und D = Widerstand (73,74),

bei einem geringeren Sauerstoffverbrauch, auf einen ökonomischeren Vortrieb und damit eine bessere Technik geschlossen werden, da weniger Energie notwendig ist, um eine identische Geschwindigkeit zu realisieren (31,73,74). Braumann und Reer (32) weisen ebenfalls darauf hin, dass der Wirkungsgrad des Vortriebs im Wasser umso höher ist, je niedriger der Sauerstoffverbrauch für eine jeweils gleiche Geschwindigkeit ist.

Dass ein ökonomischer Bewegungsablauf auch außerhalb des Wassers zu einem geringeren Sauerstoffverbrauch führt, stellten Eisele et al. (76) bei Fahrradergometrien dar. Dabei hatten leistungsstärkere Personen auf gleichen Belastungsstufen einen im Mittel um 7% geringeren Sauerstoffverbrauch als Normalpersonen. Dies führte die Arbeitsgruppe auf eine höhere Ökonomie des Bewegungsablaufes zurück. In den unteren Belastungsstufen, in denen der ökonomische Unterschied des Vortriebs zwischen den AU und SP besonders von Bedeutung ist, weisen die AU der vorliegenden Untersuchung sogar einen im Mittel gut 16% niedrigeren Sauerstoffverbrauch (ml/min/kg) im Vergleich zu den SP auf (3. Testdurchgang; 1.-4. Belastungsstufe). Noch deutlichere Unterschiede können beim Vergleich zwischen der gesamten Versuchs- und Kontrollgruppe festgestellt werden. Dabei brauchen die Probanden der Versuchsgruppe zwischen der 1. und 4. Belastungsstufe des dritten Testdurchgangs im Mittel 21,6% weniger Sauerstoff (ml/min/kg) als die Kontrollgruppe.

Ungefähr an der IAS kreuzen sich die VO_2 -Kurven der ausdauer- und sprintversierten Schwimmer (siehe Abbildung 42). Auch dies konnte schon bei der Untersuchung von Ramcke (184) beobachtet werden. Ebenfalls die Stufenzahl, an der sich die VO_2 -Kurven kreuzen ist vergleichbar, da dies in der vorliegenden Studie etwa bei der 5. von 9. erreichten Stufen und bei Ramcke bei der 6. von 11. erreichten Stufen der Fall war (184).

Im höheren Geschwindigkeitsbereich weisen die ausdauerversierten Schwimmer höhere VO_2 -Werte auf. In diesem für die AU ungewohnt hohen Belastungsbereich versuchen sie, ihre aerobe Kapazität als Zeichen einer größeren Ausdauerleistungsfähigkeit so lange wie möglich auszunutzen, und die aerobe

Energiegewinnung aufrecht zu erhalten (113,159,247). Diese Möglichkeit haben die SP mangels einer im Vergleich zu den AU niedrigeren Ausdauerleistungsfähigkeit nicht. Dafür besitzen sie aber bessere Möglichkeiten, die Energiegewinnung auf dem anaeroben Weg länger aufrecht zu erhalten, sodass sie insgesamt die gleiche Anzahl von Stufen wie die AU bewältigen können.

Da allerdings im höheren Geschwindigkeitsbereich jenseits der IAS die Energiegewinnung auf dem anaeroben Weg im Vordergrund steht, stellt die VO_2 nicht mehr den Hauptteil der vom Körper aufgebrauchten Energie dar (73,74,90,125). Zur Bestimmung, zu welchen Anteilen die Energiegewinnung aerob und anaerob von statten geht, wäre die Ermittlung des respiratorischen Quotienten (RQ) notwendig gewesen (49,92,104,242,243), welches in der vorliegenden Arbeit aber nicht durchgeführt wurde. Nach Capelli (38,39,40) muss im höheren Belastungsbereich der anaerobe Anteil der Energiebereitstellung, unterteilt in laktazid (Eanlac) und alaktazid (Eanalac) errechnet und zur aeroben Energiebereitstellung hinzuaddiert werden ($E = E_{anlac} + E_{analac} + E_{aer}$; weitere Herleitungen sind in Kapitel 2.7.1 aufgeführt).

Allerdings kam Kirch (125) in einer Untersuchung zwischen ausdauer- und sprinttrainierten Läufern für den höheren Geschwindigkeitsbereich zu einem ähnlichen Ergebnis wie es in der vorliegenden Studie der Fall war. So flachte die Steigung der VO_2 Kurve der Sprinter nahe der IAS ab und die der Ausdauerläufer stieg weiter an. Um allerdings den anaeroben Anteil mit zu berücksichtigen, kann im höheren Geschwindigkeitsbereich dafür die Bestimmung der „energy cost“ Abhilfe schaffen, bei der der anaeroben Energiegewinnung Rechnung getragen wird. Die Zusammenhänge werden ausführlich in Kapitel 4.6.1 behandelt.

Bezüglich eines für Ausdauer- und Sprintschwimmer charakteristischen Kurvenverlaufes der Sauerstoffwerte, konnten die Angaben von Ramcke (184) nicht bestätigt werden. Dort konnte für Sprintschwimmer ein im unteren Geschwindigkeitsbereich linearer und jenseits der IAS exponentieller Kurvenverlauf festgestellt werden. Für Ausdauerschwimmer wurde hingegen zuerst ein logarithmischer und dann linearer Verlauf beobachtet. Die vorliegende Untersu-

chung legt die Vermutung nahe, dass eine derart präzise Aussage über die mathematische Funktion, die den Verlauf der VO_2 Kurve beschreibt, nicht möglich ist oder zumindest für jugendliche Schwimmer weitere Studien notwendig erscheinen. Nach jetzigem Stand scheint aber das ausschlaggebende Unterscheidungskriterium zwischen ausdauer- und sprintversierten Athleten insgesamt ein Knickpunkt im Bereich der IAS für die Ausdauerathleten zu sein. Verläuft die Kurve der SP mit einer relativ gleichmäßigen Steigung, allerdings beginnend auf einem relativ hohen Niveau, so ist bei den AU ein großer Anstieg der Steigung im Bereich der IAS zu beobachten, welches auch die Kreuzung der Verlaufskurven zum Ergebnis hat. Daher ist wie bei Braumann und Reer vermutet wohl nach einem flachen Verlauf im niedrigen Geschwindigkeitsbereich für ausdauerorientierte und einem flachen Verlauf im höheren Geschwindigkeitsbereich für sprintorientierte Schwimmer zu suchen (32).

Die Notwendigkeit, die relativen (ml/min/kg) und nicht die absoluten (l/min) VO_2 -Werte zum Vergleich heranzuziehen, wird bei der Betrachtung einer Untersuchung von Smith et al. (217) deutlich. Dort konnten keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern in Bezug auf die absoluten $VO_{2\text{-max}}$ festgestellt werden (AU $4,7 \pm 0,1$; SP: $4,4 \pm 0,2$ l/min). Bedenkt man, dass in der vorliegenden Untersuchung die SP und AU erwartungsgemäß einen signifikanten Größen- und Gewichtsunterschied ($p \leq 0,05$) aufweisen (3. Testdurchgang: AU $50,8 \pm 3,5$ kg, $166 \pm 2,9$ cm und SP $59,6 \pm 4,7$ kg, $175,2 \pm 3,9$ cm; siehe Tabelle 16), aus dem ein höherer Versorgungsbedarf vor allem der Muskeln und dem Herzen resultiert, ist nur ein Vergleich der Sauerstoffwerte pro Kilogramm Körpergewicht statthaft (159).

Insgesamt zeigen die Verlaufskurven der VO_2 (ml/min/kg) der ausdauer- bzw. sprintversierten Schwimmer, dass die AU und SP auf ihren Geschwindigkeitsstufen Unterschiede aufweisen, aber insgesamt beide ökonomisch gut sind, allerdings auf ihren individuellen Geschwindigkeiten noch besser als die jeweils andere Ausprägung. Anders ausgedrückt: SP und AU sind beide ökonomisch gut und das insbesondere auf ihren jeweiligen Geschwindigkeitsstufen.

4.5.3.4 Sauerstoffaufnahme: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Im Einklang mit der Literatur konnte bei ähnlicher Trainingsintensität keine Entwicklung mit signifikanten Unterschieden der relativen $VO_{2\text{-max}}$ (ml/min/kg) im Verlauf der drei Testdurchgänge erwartet werden (VG: $67,7 \pm 2,8$; $71,2 \pm 2,1$; $69,3 \pm 2,4$ vs. KG: $54,5 \pm 2,4$; $54,3 \pm 2,5$; $58,7 \pm 4,3$ ml/kg/min; siehe Tabelle 43 und 44). So konnte u.a. Klemt (126) feststellen, dass sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen zwischen 6 und 18 Jahren eine weitgehend konstante Entwicklung der $VO_{2\text{-max}}$ zu beobachten ist. Lediglich bei den Mädchen ist nach der Pubertät eine leichte Abnahme zu beobachten, die mit der durch die hormonelle Umstellung einhergehende Zunahme des Körperfettanteils begründet wird (61,126). Erst im Erwachsenenalter ist jenseits des 40. Lebensjahres ein Absinken der $VO_{2\text{-max}}$, in Abhängigkeit von der regelmäßigen körperlichen Aktivität, aufgrund einer altersbedingten Sarkopenie zu erwarten (78,83,198)

4.5.3.5 Methodenvergleich

Um im Rahmen der Talentsichtung die Messung spirometrischer Daten kostengünstig einzusetzen und in den Routinebetrieb zu implementieren, sollte die Methode der Datenerfassung direkt am Beckenrand des Schwimmbades durchführbar sein. Daher ist an dieser Stelle ein Vergleich der verschiedenen Nachatmungsmethoden sinnvoll, um diesen wichtigen Parameter in der Talentsichtung praxisnah umsetzen zu können.

Für die Bestimmung der VO_2 -Werte bei Belastungsabbruch durch die Nachatmungsmethode spielt der Zeitraum der Rückrechnung eine wichtige Rolle. Zwar konnte ein exponentieller Abfall der Sauerstoffwerte von vielen Autoren bestätigt werden, allerdings fallen die Werte je nach Belastung und Trainingszustand in der Nachbelastungsphase relativ schnell auf ein Ruhenniveau zurück. Ist der Zeitpunkt, an dem dieses Niveau erreicht wird, innerhalb des Nachbelastungszeitraums, so wird die Rückrechnung verfälscht. Je länger der Zeitraum ist, in denen nicht mehr abfallende Werte in die exponentielle Rückrechnung einbezogen werden, desto weiter wird die Berechnungskurve abgeflacht und somit

der rückgerechnete Wert kleiner. Dies hat dann einen zu niedrigen VO_2 -Wert zur Folge. Obwohl dadurch schon rein mathematisch der Zeitraum, in dem die Nachbelastungswerte in die Rückrechnung einbezogen werden von entscheidender Bedeutung ist, wird in der Literatur dazu kaum Stellung genommen (164,181,195,233).

Zamparo et al. (260) gaben in ihrer Untersuchung zur Feststellung des Energieverbrauchs beim Freistilschwimmen immerhin die Dauer der Nachbelastungsphase an. Für die Rückrechnung wurde die Sauerstoffaufnahme während der Nachbelastungsphase alle fünf Sekunden über einen Zeitraum von zwei Minuten gemessen. Bei einem an zwei aufeinander folgenden Tagen stattfindenden Test über 400m, 200m, 100m und 50m, wurden 9 Jugendliche im Alter von 12-17 Jahren untersucht. Zamparo et al. nahmen dabei Bezug auf die Untersuchungen von Monpetit et al. (164) und di Prampero et al. (73) und kamen zu dem Ergebnis, dass die Extrapolation der Sauerstoffwerte bei Belastungsabbruch als ein valides Verfahren zur Bestimmung des Energieverbrauchs beim freien Schwimmen angesehen werden kann. Auch andere Studien kamen experimentell zu diesem Ergebnis (188,196,245).

In der vorliegenden Studie wurde für den Methodenvergleich die lineare negative Extrapolation nach der Formel $y = -ax+b$ und die exponentielle negative Extrapolation über einen Zeitraum von 60-, 90-, 120- und 180 Sekunden nach der Formel $y = ae^{-bx}$ vorgenommen (54,140,143). Gemessen wurden die Werte jeweils nach der maximalen Belastungsstufe jedes Probanden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen den oben dargestellten mathematischen Zusammenhang, wonach die errechneten Werte sinken, je länger der Zeitraum der Nachbelastung gewählt wird. Dabei werden für die Rückrechnung über ein Intervall von 180 Sekunden nur noch sehr unwahrscheinliche maximale VO_2 -Werte von 35,9-38,5 ($\pm 1,5$ -1,7 ml/min/kg; siehe Tabelle 49) extrapoliert. Diese Werte entsprechen ungefähr denen der 2. Belastungsstufe (36,6-42,9 $\pm 1,6$ -3,8; siehe Tabelle 43), bei denen ein Laktatwert von 1,5-2,1 ($\pm 0,1$ -0,2 mmol/l, siehe Tabelle 40) und eine Herzfrequenz von 120,9-126 ($\pm 2,7$ -4,4 BPM; siehe Tabelle 33) vorlag, und somit diese offensichtlich keine Maxi-

malwerte darstellen. Daher liegt es nahe, einen kürzeren Zeitraum wählen zu müssen.

Da in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der Messung direkt am Beckenrand mittels der „breath-by-breath“ Methode realistische VO_2 -Werte schon nach 2-3 Sekunden vorlagen, müssen die maximalen Werte zwangsläufig in dem Bereich der zuerst gemessenen Werte liegen. Dies ist vor allem bei der linearen und der exponentiellen Rückrechnung über 60 Sekunden der Fall. Wieder muss dabei festgehalten werden, dass vor allem die Gefahr besteht, mehr VO_2 -Werte, die aufgrund der ausreichenden Erholung des Probanden nicht weiter absinken, mit in die mathematische Berechnung einzubeziehen, sodass der extrapolierte Wert künstlich verkleinert würde. In diesem Fall würde ein Abschnitt von VO_2 -Werten, die in der grafischen Darstellung keinen exponentiellen Abfall mehr vollziehen, sondern sich linear und parallel zur x-Achse bewegen, miteinbezogen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen den Schluss zu, dass bei schneller Erfassung der VO_2 -Werte in der Nachbelastungsphase, die lineare und exponentielle negative Extrapolation über einen Zeitraum von 60 Sekunden zu sehr guten Ergebnissen führt. Bei allen drei Testdurchgängen unterschieden sich diese Werte nie signifikant ($p > 0,05$). Die Extrapolationen über einen Zeitraum von 120- und 180 Sekunden hingegen waren stets deutlich niedriger und unterschieden sich signifikant von denen der linearen- und exponentiellen Extrapolation über 60 Sekunden ($p \leq 0,001$). Die exponentielle Extrapolation über einen Zeitraum von 90 Sekunden war immer niedriger als die lineare Extrapolation oder jene über 60 Sekunden Extrapolation. Der Unterschied war zwar nur im ersten Testdurchgang signifikant ($p \leq 0,05$; siehe Tabelle 49), aber insgesamt ergibt sich der Trend, dass bei längerem Nachbelastungszeitraum niedrigere und damit verfälschte VO_2 -Werte extrapoliert werden. Allerdings erlauben gerade moderne Geräte, wie das in der vorliegenden Studie angewandte Spirometriegerät, eine schnelle Erfassung der respiratorischen Werte und ermöglichen durch einen kurzen Rückrechnungszeitraum von 60 Sekunden auch die Messung in den kurzen Pausen innerhalb eines Stufentests. Somit kann die Nachatmungsmethode mit der VO_2 Werteerfassung über einen Zeitraum von 60

Sekunden als praktikables Mittel zur Bestimmung der Sauerstoffaufnahme auch im Rahmen von Talentsichtungsmaßnahmen angenommen werden.

4.6 Ökonomie

Zur Beurteilung der Ökonomie einer Person, die sich im Medium Wasser bewegt, werden im Folgenden zunächst einige physikalische Grundgegebenheiten dargestellt:

Zur Fortbewegung im Wasser ist es notwendig, eine Antriebskraft einzusetzen, die den Wasserwiderstand übersteigt. Zur Bestimmung dieser Kraft entwickelten Toussaint et al. das MAD System (measure active drag: Messung des aktiven Widerstandes; 232). Dabei kamen Sie zu dem Ergebnis, dass der aktive Widerstand (F_d) gleich dem Quadrat der Schwimmggeschwindigkeit (v gemessen in m/s) multipliziert mit einer Proportionalitätskonstante (A) ist. Dieses lässt sich in der folgenden Formel beschreiben:

$$F_d = A * v^2$$

Dabei resultiert der aktive Widerstand F_d aus der Addition des Druckwiderstandes (F_p), des Reibungswiderstandes (F_r) und des Stirnwiderstandes zusammen mit dem Wirbelwiderstand hinter dem Körper (F_w) [$F_d = F_p + F_r + F_w$].

Zur Überwindung des Wasserwiderstandes (W_d) muss eine Arbeit geleistet werden, die gleich dem Ausmaß des Widerstandes (F_d) multipliziert mit der verdrängten Wassermenge (d) ist:

$$W_d = F_d * d = A * v^2 * d \quad (\text{da } F_d = A * v^2)$$

In Arbeit pro Zeiteinheit ausgedrückt (P_d in J/sec oder Watt), welches der Wasserwiderstandskraft multipliziert mit der Geschwindigkeit (v) entspricht, lässt sich folgende Formel ableiten:

$$P_d = F_d * v = A * v^3 \text{ (da } F_d = A * v^2 \text{)}$$

Die absolute mechanische Energie (P_0), die ein Schwimmer produziert, steht im Gleichgewicht mit P_d und der kinetischen Energie P_k . Die P_k ist dabei die Energie, die zur Beschleunigung bzw. Verdrängung des Wassers nach hinten auftritt. Daher wird beispielsweise im Strömungskanal weniger kinetische Energie benötigt, da der Schwimmer in bewegtem, also schon vorbeschleunigtem Wasser schwimmt (163,233).

Aus dieser Herleitung lässt sich schließlich die Antriebseffizienz (E_p) ermitteln, die wie folgt ausgedrückt werden kann:

$$E_p = \frac{P_d}{(P_d + P_k)} \quad (20,232,233)$$

Laut Di Prampero et al. (74) sind neben dem Wasserwiderstand in seiner Gesamtheit (D) und dem Wirkungsgrad (e), die physiologischen Voraussetzungen entscheidend für die Leistungsfähigkeit eines Schwimmers. Daraus resultiert die Formel:

$$v = VO_{2(\text{netto})} * e/D$$

Die Geschwindigkeit v resultiert somit aus der VO_2 bei einer Geschwindigkeit von der die Ruhe-Leistung (VO_2 Ruhe) subtrahiert (= $VO_{2(\text{netto})}$) und mit der Division aus Wirkungsgrad (e) durch Wasserwiderstand (D) multipliziert wird.

Di Prampero et al. (73,74) kommen letztendlich zu dem Ergebnis, dass eine Veränderung der gemessenen VO_2 -Werte bei verschiedenen Geschwindigkeiten Rückschlüsse über die Ökonomie eines Schwimmers zulassen. Aus dem

Zusammenhang von Wasserwiderstand/Wirkungsgrad und Sauerstoffaufnahme/Geschwindigkeit kann folgende Formel erstellt werden:

$$\frac{\Delta VO_2}{\Delta v} = \frac{D}{e}$$

Dieser Zusammenhang kann auch in der vorliegenden Arbeit genutzt werden (siehe Kapitel 4.7.4), da aufgrund der Steigerung der Geschwindigkeit von einer Stufe zur nächsten (Δv) und der gleichzeitigen Veränderung des Sauerstoffverbrauchs (ΔVO_2) Aussagen über die Ökonomie der Probanden getroffen werden können (32,73,74,186).

4.6.1 Energy Cost (Cs)

Die Diskussion der Laktat-Leistungsdagnostik der letzten Jahre kam zu dem Ergebnis, dass die Festlegung der aerob/anaeroben Schwelle bei einem fixen Wert von 4 mmol/l nicht haltbar war. Vielmehr kann man von einer individuellen aeroben/anaeroben Schwelle (IAS) ausgehen, die von verschiedenen Faktoren abhängig ist (10,48,100,222). Vor allem die aktuelle Ausdauerleistungsfähigkeit, aber auch Faktoren wie Alter und Muskelfasertypisierung sind dabei von entscheidender Bedeutung (96,170,211,213).

Somit scheint es ein logischer Schritt zu sein, auch bei der Errechnung der „energy cost“ die Energie, die über die Laktatwerte generiert wird, nicht ab einem starren Wert mit einzubeziehen, sondern auch hier die IAS zugrunde zu legen. Der Vergleich beider Methoden ergab allerdings einen marginalen und nicht signifikanten Unterschied. Dieser ist vor allem damit zu begründen, dass der Unterschied, das Laktat ab 4mmol/ einzubeziehen, im Vergleich zur Einbeziehung ab der IAS, im tatsächlichen Energieverbrauch nur sehr gering ist. Absolut beträgt der Unterschied dann pro 1 mmol/l einen Energieaufwand von gerade einmal 0,067 KJ. Somit scheint es für die „energy cost“ im Vergleich zur Laktat-Leistungsdagnostik gerechtfertigt, zur Vereinfachung einen starren mmol/l Wert zu verwenden.

Des weiteren ist zu postulieren, dass die Einbeziehung der Netto-Laktatkonzentration nach der Formel von Capelli (38) nur einen minimalen Unterschied in dem Gesamtenergieverbrauch (KJ), der pro Kilogramm Körpergewicht angegeben wird, generiert.

Generell ist für die „energy cost“ festzuhalten, dass einem Schwimmer, der die gleiche Leistung mit einem geringeren Energieaufwand als eine andere Person erzielt, eine höhere schwimmerische Effizienz zu bescheinigen ist (38,140,233).

4.6.1.1 Energy Cost (Cs) während der Belastung

Pendergast et al. (179) beobachteten in einer Studie einen starken Anstieg der „energy cost“ bei steigender Belastung vor allem im hohen Geschwindigkeitsbereich, woraus sie auf einen Abfall der Ökonomie des Vortriebs schlossen. Dieser Effizienzverlust kann in der vorliegenden Studie nur bedingt beobachtet werden. Obwohl Chatard et al. (43) diesen Anstieg unabhängig vom Leistungsniveau beobachtet haben, lässt die vorliegende Untersuchung eher den Schluss zu, dass mit steigender Leistungsfähigkeit ein Anstieg der Cs bei steigender Schwimmgeschwindigkeit im höheren Geschwindigkeitsbereich kaum zu beobachten ist. So kann für die VG in den ersten beiden Testserien noch ein geringer, aber keinesfalls signifikanter Anstieg der Cs vom mittleren zum höheren Geschwindigkeitsbereich beobachtet werden (1. und 2. Test: 5. Stufe: $16,6 \pm 0,7$ bzw. $\pm 0,5$ und 8. Stufe: $17,6$ bzw. $17,3 \pm 0,8$). Im 3. Testdurchgang, mit einer gestiegenen Leistungsfähigkeit der VG, stellen sich dann allerdings nahezu konstante Werte zwischen der 5. und 9. Stufe ein (5.: $15,7 \pm 1$; 6.: $16,3 \pm 0,9$; 7.: $15,9 \pm 1,2$; 8.: $15,9 \pm 1,5$; 9.: $15,8 \pm 0,4$; vergleiche Tabelle 52). Bei der leistungsschwächeren KG hingegen ist vor allem innerhalb des zweiten und dritten Testdurchgangs ein starker Anstieg der Cs zu beobachten (2. Test: 3. Stufe $15,5 \pm 0,9$; 6. Stufe $19,5$; 3. Test: 3. Stufe $15,9 \pm 0,7$; 6. Stufe $18,8$; vergleiche Tabelle 53). Die vorliegende Untersuchung lässt demnach den Schluss zu, dass eine steigende Cs in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit der Schwimmer steht und gute Schwimmer in der Lage sind, bei einem Stufentest im höheren- bis hin zum maximalen Geschwindigkeitsbereich ohne eine nennenswerte Steigerung der Cs auszukommen.

Lavoie und Montpetit (140) konnten bei einer Geschwindigkeit von 1,2 m/s Cs-Werte für Schwimmer internationalen Niveaus von 13,56 J/m/kg und für jugendliche Eliteschwimmer von 14,88 J/m/kg feststellen. Bei dieser Geschwindigkeit, die der 4. Stufe der vorliegenden Arbeit entspricht, konnte für die VG ein Wert von $14,29 \pm 0,7$ J/m/kg und für die KG ein signifikant höherer Wert ($p \leq 0,05$) von $16,3 \pm 0,7$ J/m/kg ermittelt werden. Damit schnitten die VG sogar um etwa 4,1% besser ab, als die jugendlichen Eliteschwimmer bei Lavoie und Montpetit und lagen nur 5,4% über dem Wert der erwachsenen Schwimmer internationalen Niveaus, welches einen hervorragenden Wert darstellt.

4.6.1.2 Energy Cost (Cs): AU und SP im Vergleich

Auch wenn bei dem Kurvenverlauf für den unteren Geschwindigkeitsbereich niedrigere Werte für die AU (siehe Abbildung 51-53) zu erkennen sind, welches auf eine niedrigere „energy cost“ und damit bessere Ökonomie schließen lassen würde, ist nur im zweiten und dritten Testdurchgang für die erste Geschwindigkeitsstufe ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$) festzustellen. Auch im höheren Geschwindigkeitsbereich sind, bei der Betrachtung der Verlaufskurve (siehe Abbildung 51-53), optisch etwas niedrigere Werte der SP zu beobachten, welches für eine bessere Ökonomie in diesem Geschwindigkeitsbereich sprechen und die in Kapitel 4.5.3 herausgestellten Ergebnisse unterstreichen würde. Allerdings sind dabei keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) festzustellen, weshalb sich die Cs in der vorliegenden Untersuchung nicht dafür zu eignen scheint, um einen Unterschied der Ökonomie der AU und SP herauszuarbeiten.

4.6.1.3 Energy Cost (Cs): Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Im unteren Geschwindigkeitsbereich ist vor allem zwischen dem zweiten und dritten Testdurchgang eine Verringerung der „energy cost“ zu beobachten (siehe Tabelle 52). Somit kann für diesen Bereich im Einklang mit der Literatur festgehalten werden, dass die VG für die gleiche Leistung einen geringeren

Energieaufwand als in den vorherigen Testreihe aufwies, was auf eine höhere schwimmerische Effizienz zurückzuführen ist (38,140,233).

4.6.2 Armzugfrequenz und Zuglänge

Da alle Probanden auf jeder Stufe die identische Strecke von 200m in einer jeweils definierten Zeit zu bewältigen hatten, folgt aus der Gleichung

Schwimmstrecke = Zugfrequenz * Zyklusweg,

dass eine niedrigere Zugfrequenz die Bewältigung einer größeren Distanz pro Armzyklus (Zyklusweg) zur Folge hat, welches als eine bessere Vortriebseffizienz zu bewerten ist (56,57,191,236,261).

4.6.2.1 Armzugfrequenz und Zuglänge während der Belastung

Pelayo et al. (178) fanden bei 14-jährigen Jungen eine maximale Zuglänge von 1,42 (v [m/s] / Zugfrequenz [Zyklen/Sekunde]) heraus. Da bei Pelayo keine vertierten Schwimmer getestet wurden, konnte aufgrund des zu erwartenden ökonomischeren Vortriebs für die männlichen Probanden der Versuchsgruppe, ein knapp 40% höherer Wert von 1,98 (v [m/s] / Zugfrequenz [Zyklen/Sekunde]; 3. Testdurchgang) gemessen werden. Hinsichtlich der Zugfrequenz bestand kein erheblicher Unterschied (VG: 44,2 vs. Pelayo: 41,4 Zyklen/Minute), was ebenfalls für den daraus resultierenden besseren Vortrieb der Versuchsgruppe, in diesem Fall ausgedrückt in einer größeren Zuglänge, spricht. Ähnlich konnten Millet et al. (160) in einem Vergleich zwischen sehr guten Schwimmern und Triathleten bei einem signifikanten Unterschied der Zuglänge (Schwimmer: 1,18 vs. Triathleten: 0,98 [Zuglänge/Körpergröße]) keinen Unterschied der Zugfrequenz bei maximaler Belastung feststellen. Dabei erreichten allerdings ebenfalls die Gruppe mit der größeren Zuglänge (Schwimmer) eine etwas höhere Zugfrequenz (55,1 vs. 51,2 [Zyklen/Minute]). Bezüglich der Zuglänge ist bei Millet et al. zu beachten, dass sie in Relation zur Körpergröße gesetzt wurde, wodurch ihre bei Erwachsenen (Schwimmer: 20,7, Triathleten: 25,1 Jahre) ge-

messenen Werte mit den Werten der Jugendlichen der vorliegenden Studie vergleichbar sind. Dabei konnten fast exakt identische Werte zwischen der Versuchsgruppe im dritten Testdurchgang und den sehr guten Schwimmern von Millet festgestellt werden (Millet: 1,18 vs. VG: 1,17 [Zuglänge/Körpergröße]). Beachtlich ist auch, dass die sehr guten Triathleten, denen bei Millet et al. eine signifikant schlechtere Schwimmtechnik bescheinigt wird, eine identische Zuglänge in Relation zur Körpergröße (Zuglänge/Körpergröße) wie die Kontrollgruppe im dritten Testdurchgang aufweisen (Millet: $0,98 \pm 0,11$ vs. KG: $0,98 \pm 0,07$ Zuglänge/Körpergröße). Bezieht man die Körpergröße nicht mit ein, können für sehr gut trainierte, männliche Schwimmer beispielsweise bei Dekerle et al. (64) Zuglängen bei maximaler Geschwindigkeit von durchschnittlich 2,7 m/Zyklus gemessen werden, welches gegenüber den jugendlichen, männlichen Schwimmern der Versuchsgruppe einen um 36% höheren Wert aufweist (VG: 1,98 vs. 2,7 (v [m/s] / Zugfrequenz [Zyklen/Sekunde])). Dies macht die Notwendigkeit, bei unterschiedlicher Körper- bzw. Armlänge zur Berechnung der Zuglänge, die anthropometrischen Daten zu berücksichtigen, deutlich, was auch Grimston und Hay 1986 in einer Arbeit dokumentieren (94).

4.6.2.2 Armzugfrequenz und Zuglänge: AU und SP im Vergleich

Bei der Armzugfrequenz ist kein deutlicher Unterschied zwischen den Ausdauer- und Sprintschwimmern zu beobachten. Insgesamt konnten für die maximalen Stufen zwar etwas höhere relative Armzugfrequenzen (1.-3. Testdurchgang: AU = 69,9-72,3 \pm 3,4-3,8, und SP 73,5-74,4 \pm 1,9-3 Zyklen/min*cm) allerdings nicht signifikant unterschiedliche ($p > 0,05$) Werte für die SP im Vergleich zu den AU beobachtet werden. Jedoch konnte bei den Athleten, die die letzten Geschwindigkeitsstufen realisierten, für die AU höhere Werte, welche in der 7. Geschwindigkeitsstufe des dritten Testdurchgangs sogar signifikant von denen der SP abwichen (AU: 74,3 \pm 3,5 vs. SP: 65,1 \pm 1,5 Zyklen/min*cm; $p \leq 0,05$), beobachtet werden (siehe Tabelle 72-74).

Da nach Braumann et al. (32) technisch Versierte eine geringere Zugfrequenz auf gleicher Belastungsstufe haben, kann somit bei der Betrachtung dieses Pa-

rameters insgesamt kein technischer Unterschied zwischen den AU und SP belegt werden.

Allgemein ist zwar davon auszugehen, dass aus einer niedrigeren Zugfrequenz ein größerer Zyklusweg folgt, was als bessere Vortriebseffizienz zu bewerten ist (56,57,191,236,261), aber auch Wakayoshi et al. (240), konnten zeigen, dass nach einem 6-monatigen Ausdauerschwimmtraining die Zugfrequenz keine Veränderung aufwies. Daher scheint bei dem vorliegenden Vergleich, zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern im jugendlichen Alter, der Parameter Armzugfrequenz bzw. Zuglänge kein geeignetes Unterscheidungskriterium für die Vortriebseffizienz darzustellen.

4.6.2.3 Armzugfrequenz und Zuglänge: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Zwischen den drei Testdurchgängen konnte bei der maximalen Armzugfrequenz für keine Gruppe (Versuchs-, Kontroll-, Sprint- und Ausdauergruppe) oder Teilgruppe (männlich und weiblich) eine Veränderung festgestellt werden. Dies stimmt mit Untersuchungen von Pelayo (178) überein, der bei einer Untersuchung von fast 3000 Jugendlichen zwischen 11 und 17 Jahren während eines 50m Freistilsprints keine signifikante Veränderung der Armzugfrequenz feststellen konnte. Auch Koinzer (129) stellte fest, dass sich die maximale Zugfrequenz nur vor der Pubertät verändert und dann etwa konstant bleibt, sodass in der vorliegenden Untersuchung innerhalb eines Jahres bei einem Alter von 13 bis 14 Jahren keine Veränderung der maximalen Armzugfrequenz zu erwarten war.

4.6.3 Stroke Efficiency Index (SEI)

Ein Zusammenhang zwischen Zuglänge und Schwimmgeschwindigkeit, der von einigen Autoren als ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Technik dargestellt wird (8,43,46,54,56,120,178,218), wird durch den SEI dargestellt.

$$\text{SEI} = \text{Zuglänge} * \text{Schwimmgeschwindigkeit}$$

Pelayo et al. (178) und Costill et al. (54) beschreiben in verschiedenen Studien einen Zusammenhang zwischen Zugfrequenz und der Schwimmleistung. Allerdings errechneten sie einen „Stroke Index“ (SI), der in sofern von der Methode in der vorliegenden Studie abweicht, als dass dabei die Schwimmgeschwindigkeit und Zugfrequenz mit der Armspannweite in Relation gesetzt wurde. In der vorliegenden Studie wurde die Abhängigkeit der Zugfrequenz von der Größe durch die Division mit der Körperlänge der Probanden beim Vergleich zwischen den AU und SP berücksichtigt, da diese Gruppen einen signifikanten Größenunterschied aufweisen ($p \leq 0,05$; 1. Test: AU $159,3 \pm 2,4$ cm vs. SP $169,7 \pm 3,8$ cm; 2. Test : AU $161,8 \pm 2,9$ vs. SP $172,9 \pm 3,9$; 3. Test: AU $166 \pm 2,9$ cm vs. SP $175,2 \pm 3,9$ cm ; siehe Tabelle 9 und 10). Die Notwendigkeit des körperlängenabhängigen Vergleichs zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern konnte auch Spurgeon aufzeigen. In einer Studie für weibliche und männliche Schwimmer wurde dabei festgestellt, dass insgesamt Sprinter meist groß und Langstreckler meist relativ klein sind (219,220).

4.6.3.1 SEI während der Belastung

Pelayo et al. (178) konnten einen SI bei maximaler Belastung für 14-jährige Mädchen von $1,22 (\pm 0,5)$ und 14-jährige Jungen von $1,37 (\pm 0,61)$ ermitteln. In der vorliegenden Studie wurden für die gleiche Altersklasse der Versuchsgruppe bei allen Testdurchgängen ein Wert zwischen 1,49 bis 1,64 ($\pm 0,06-0,09$; vergleiche Tabelle 67-69) gemessen. Die Werte sind nur bedingt vergleichbar, da der SI in Relation zur Armspannweite ausgedrückt wird und nicht, wie in der vorliegenden Studie zur Körperhöhe. Da sich allerdings die Armspannweite bei Pelayo in keiner Altersklasse signifikant von der Körperhöhe unterschied und gerade für die 14-jährigen eine hohe Übereinstimmung vorlag (Jungen: Körperhöhe $165,3 \pm 10,4$ cm vs. Armspannweite $165 \pm 12,1$ cm; Mädchen: Körperhöhe $160,9 \pm 6,6$ vs. Armspannweite $160,3 \pm 8,3$), ist ein Vergleich durchaus statthaft. Die niedrigeren Werte bei Pelayo sind damit erklärbar, dass in seiner Studie Schulkinder mittleren schwimmerischen Niveaus getestet wurden, die eine geringere Effizienz als die Leistungsschwimmer der vorliegenden Studie

aufweisen. Ein Vergleich des Ergebnis von Pelayo mit der vom schwimmerischen Niveau schwächeren Kontrollgruppe erscheint daher als geeigneter. Dabei konnte in der vorliegenden Untersuchung im dritten Testdurchgang ein Wert von $1,22 \pm 0,05$ für die Kontrollgruppe gemessen werden, der mit denen der Mädchen bei Pelayo identisch ist.

Insgesamt wird jedoch der Zusammenhang von schwimmerischer Leistungsfähigkeit und Effektivität des Armzuges deutlich. Ob dazu wie bei Costill (54) die Zuglänge und Schwimgeschwindigkeit in Relation zur Armspannweite oder zur Körperhöhe gesetzt wird, scheint zumindest im Kindesalter unbedeutet zu sein, da Armspannweite und Körperhöhe fast identische Werte aufweisen. Allerdings erscheint es eine logische Notwendigkeit zu sein, einen dieser beiden Parameter anzuwenden, wenn die Probandengruppen unterschiedliche Körperhöhen aufweisen.

4.6.3.2 SEI: AU und SP im Vergleich

Da, wie oben beschrieben, die Körperhöhe einen entscheidenden Einfluss auf den SEI hat, wurde er in der vorliegenden Studie beim Vergleich der AU und SP durch die Körperhöhe dividiert. Notwendig wurde dies vor allem deshalb, weil sich in jedem Testdurchgang die Körperhöhe der AU und SP signifikant voneinander unterschieden ($p \leq 0,05$; siehe Tabelle 9 und 10). Größenunterschiede zwischen Sprint- und Ausdauerschwimmern konnten neben Spurgeon (219,220) auch von Avlonitou (11) ermittelt werden. In einer Untersuchung an 231 12-13-jährigen Kindern stellt Avlonitou fest, dass die Sprinter größer und schwerer waren, sowie längere Hände und Füße hatten.

Im Ergebnis konnte im aeroben Bereich im Mittel 2,5% und bei maximaler Belastung 8,2% höhere Werte für die AU ermittelt werden. Eigentlich waren im maximalen Belastungsbereich, der für die SP aufgrund des Trainingsalltags einen vertrauteren Geschwindigkeitsbereich darstellt als für die AU, eine höhere Effektivität der Sprintathleten zu erwarten gewesen. Allerdings stellte schon Smith et al. fest, dass zwar bessere Schwimmer in der Regel einen höheren

SEI aufweisen (was auch beim Vergleich der VG und KG zu beobachten ist), im Hochleistungsbereich dann aber Unterschiede abhängig von der individuellen Technik auftreten, die nicht zwangsläufig eine Unterscheidung in bessere und schlechtere Schwimmer zulassen.

Allerdings können auch Untersuchungen von Walzer und Strass (241) zur Effizienz kurviger Armbewegungen eine Erklärung geben. Die Autoren konnten zwar für eine kurvige Armbewegung eine 23% geringere Zyklusfrequenz errechnen, stellten aber auch fest, dass eine maximale Vortriebsleistung sich nur mit einem unökonomischeren geradlinigen Armzug realisieren lässt. Der ökonomische Nachteil hat allerdings einen höheren Energieaufwand zur Folge, welches im Sprintbereich, in dem überschüssige konditionelle Kapazitäten vorhanden sind, von den Autoren als zweitrangig erachtet wird. So könnte vermutet werden, dass in der vorliegenden Studie die SP gerade in ihrem gewohnt hohen Geschwindigkeitsbereich der maximalen Stufe keinen effizienteren Armzug aufwiesen, da dies im Sprintbereich eine untergeordnetere Rolle spielt (55,136).

4.6.3.3 SEI: Entwicklung vom 1. bis 3. Testdurchgang

Bei der Betrachtung des SEI kann zwischen den Tests eine kontinuierliche Steigerung sowohl für die Kontroll- als auch die Versuchsgruppe festgestellt werden, die vor allem im Vergleich zwischen dem ersten und dritten Test zum Teil signifikante Unterschiede aufweisen (VG 2. Belastungsstufe: $2,04 \pm 0,1$ vs $2,24 \pm 0,1$; $p \leq 0,05$ und 4. Belastungsstufe: $2,25 \pm 0,1$ vs $2,45 \pm 0,1$; $p \leq 0,05$; sowie KG 4. Belastungsstufe: $2,02 \pm 0,04$ vs $2,22 \pm 0,04$ $p \leq 0,01$ und 5. Belastungsstufe: $2,05 \pm 0,06$ vs. $2,41 \pm 0,04$; $p \leq 0,01$; siehe Tabelle 62 und 63). Dies ist mit einem in diesem Alter üblichen hohen Anteil an Trainingsbelastungen im Grundlagenausdauerbereich zu begründen, welches auch in einer Untersuchung von Wakayoshi (240) zu einer Steigerung der Zuglänge geführt hat, woraus wiederum auch eine Steigerung des SEI resultiert.

In einer Untersuchung von Dekerle et al. (65) konnte bei 10 Leistungsschwimmern (8 männlich; 2 weiblich) in einem 200m Kraul Test eine Geschwindigkeit von 1,5 m/s ($\pm 0,1$) bei einer Zugfrequenz von 44,1 Zyklen/min ($\pm 4,6$) festgestellt werden. Dies entspricht einem SEI von 3,08 und damit einem knapp 13% höheren Wert als für die Versuchsgruppe im dritten Testdurchgang gemessen wurde ($2,73 \pm 0,1$), welches allerdings mit dem höheren Alter ($18,6 \pm 1,9$ Jahre) der Athleten bei Dekerle zu begründen ist.

4.6.4 Schwimmökonomie $\Delta VO_2 / \Delta v$

Wie im Kapitel 4.6 hergeleitet können aufgrund der Formel (73,74):

$$\frac{\Delta VO_2}{\Delta v} = \frac{D}{e}$$

Aussagen über die Ökonomie der Probanden getroffen werden (32,73,74,186).

Dazu stellten di Prampero et al. (74) schon 1974 heraus, dass das Delta des Sauerstoffverbrauches zwischen einer Stufe und der vorherigen dividiert mit dem dabei vorhandenen Geschwindigkeitsunterschied Rückschlüsse auf die technische Versiertheit eines Schwimmers zulassen (32,72,74,186).

4.6.4.1 $\Delta VO_2 / \Delta v$ während der Belastung

Ein Vergleich zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe gestaltet sich als schwierig, weil die Leistungsfähigkeit der beiden Probandengruppen stark differenzierte. So konnten von der Kontrollgruppe in den drei Testdurchgängen nur jeweils die ersten beiden Stufen von allen Probanden in der vorgeschriebenen Geschwindigkeit komplett durchgeschwommen werden. Daher scheint auch nur der Sauerstoffmehrverbrauch zwischen der 1. und den Ruhewerten bzw. der 2. und der 1. Geschwindigkeitsstufe aussagekräftige Ergebnisse zu bringen, wobei schon hier für die KG davon auszugehen ist, dass Leistung nicht mehr alleine von der aeroben Energiebereitstellung abhängt. Dass sich dabei, außer im

ersten Testdurchgang zwischen der 1. Stufe und den Ruhewerten und im zweiten Durchgang zwischen der 2. und der 1. Stufe, immer signifikant niedrigere Werte für die VG feststellen lassen ($p \leq 0,05$; siehe Abbildung 71-73), gibt auch einen Hinweis auf die ökonomischen Unterschiede der Gruppen. Die KG benötigen, für die Realisierung des jeweiligen Geschwindigkeitsunterschiedes, einen wesentlich größeren Sauerstoffmehrbedarf als die VG, welches einen unökonomischeren Vortrieb, respektive eine schlechtere Technik vermuten lässt (31,74). In einer Untersuchung von Yasser (257), in der 17 Hochleistungs- (Alter: $19,5 \pm 4,6$ Jahre) und 24 Leistungsschwimmern (Alter: $17,9 \pm 3,5$ Jahre) einen Stufentest im Strömungskanal Schwimmen mussten, konnte beispielsweise gezeigt werden, dass der Quotient $\Delta VO_2/\Delta v$ für die Hochleistungsschwimmer im unteren Geschwindigkeitsbereich 15% - 20% und bei höheren Geschwindigkeiten etwa 5% niedrigere Werte aufweist als für die Leistungsschwimmer.

4.6.4.2 $\Delta VO_2/\Delta v$: AU und SP im Vergleich

Im dritten Testdurchgang (vergleiche Abbildung 76) erfolgt ein starker Anstieg der VO_2 -Werte von den sprintversierten Schwimmern früher als der der ausdauerorientierten (zwischen 3. und 4. Stufe), da sie sich im unteren Geschwindigkeitsbereich weniger gewohnten Geschwindigkeiten aussetzen hatten. Dadurch kommt es bei der Berechnung des $\Delta VO_2/\Delta v$ zwischen der 4.-3. Geschwindigkeitsstufe zu einem signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe AU und SP (AU = $57,5 \pm 21,3$ [ml/min/kg] / [m/s]; SP = $171,9 \pm 39,2$ [ml/min/kg] / [m/s]). Da in diesem Geschwindigkeitsbereich die Leistung fast ausschließlich von der aeroben Energiebereitstellung abhängt, kann aufgrund des geringeren Mehrverbrauchs auf eine bessere Technik der AU geschlossen werden (44).

Bei der Betrachtung des Deltas zwischen den darauffolgenden beiden Geschwindigkeitsstufen im dritten Testdurchgang sind dann signifikant höhere Werte für die ausdauerorientierten Schwimmern im Vergleich zu den sprintversierten zu beobachten (Stufe 5.-4.: AU = $206,1 \pm 43$ [ml/min/kg] / [m/s]; SP = $46,1 \pm 49,4$ [ml/min/kg] / [m/s]). Dies ist damit zu begründen, dass auf diesen

Stufen die Geschwindigkeit über die für die AU gewohnten Bereich hinaus geht und sie dies nicht mehr mit einer besseren Ökonomie, sondern nur durch eine größere VO_2 Aufnahme, welche sie aufgrund ihrer höheren aerobe Kapazität realisieren, kompensieren können (51,113,159,247).

Bei der Betrachtung der $\Delta VO_2 / \Delta v$ Verlaufskurve kann schon im zweiten Testdurchgang ein Auseinanderdriften beobachtet werden. Signifikante Unterschiede können sowohl im zweiten als auch im ersten Testdurchgang allerdings nicht festgestellt werden, da sich erst eine Ausdifferenzierung zwischen den AU und SP im dritten Testdurchgang abzeichnete (siehe Abbildung 74-76).

Bei der Beurteilung der Aussagekraft von $\Delta VO_2 / \Delta v$ im höheren Geschwindigkeitsbereich muss berücksichtigt werden, dass auch hier die Leistung nicht mehr alleine von der aeroben Energiebereitstellung abhängt (73,74,90,125). Es müsste daher der anaerobe Anteil der Energiegewinnung aus Spaltung von Kreatinphosphat unterteilt in Laktazid und Alaktazid, errechnet und zur aeroben Energiebereitstellung addiert werden, so wie es in Kapitel 2.7.1 dargestellt worden ist.

Obwohl dieses Instrument für diesen Parameter nicht angewandt wurde, kam Kirch (125) in einer Untersuchung zwischen ausdauer- und sprinttrainierten Läufern für den höheren Geschwindigkeitsbereich zu einem ähnlichen Ergebnis wie in der vorliegenden Studie. Zwar berechnete Kirch nicht direkt das $\Delta VO_2 / \Delta v$, aber aufgrund des Stufentestdesigns mit konstanter Geschwindigkeitssteigerung zwischen den Stufen, führt die gemessene Abflachung der VO_2 -Werte der SP ab dem Bereich der IAS bei weiter ansteigenden Werten für die AU zu einem größeren Delta der AU im Vergleich zu den SP, wie es auch zwischen der 5. und 4. Stufe der vorliegenden Arbeit der Fall ist.

Insgesamt ist der Verlauf der Kurve $\Delta VO_2 / \Delta v$ ein weiterer Hinweis darauf, dass die AU im unteren Geschwindigkeitsbereich ihre Leistung auf einem ökonomischeren Weg realisiert als es den SP möglich ist (44).

4.7 Zusammenfassung der talentrelevanten Parameter

Um talentrelevante Parameter miteinander vergleichen zu können, wurden diese unterteilt in:

- anthropometrische Daten (vergleiche Kapitel 4.2)
- aktuelle Leistungsfähigkeit (vergleiche Kapitel 4.3)
- Metabolismus (vergleiche Kapitel 4.5)
- Ökonomie (vergleiche Kapitel 4.6)

(vergleiche Tabelle 80)

Die ausführliche Diskussion der einzelnen Parametern sind den jeweils angegebenen Kapiteln zu entnehmen. Dieser Abschnitt dient nur der Gegenüberstellung der diskutierten Parameter.

Bei den anthropometrischen Daten wurden die aus einer jeweiligen Vermessung von Körperbaumerkmalen errechnete finale Körperhöhe und eine Gesamtbewertung der Körperbaumerkmale (Punkte Körperbau) betrachtet (201,203).

Bei der aktuellen Leistungsfähigkeit wurde die aktuelle Bestzeit auf 100m bzw. 400m Freistil in Punkte laut der FINA-Leistungstabelle umgerechnet (Bestzeit in FINA-Punkten; 69) und zum objektiven Vergleich herangezogen. Außerdem wurde die Bestzeit in der Hauptlage und Hautstrecke nach Rudolph (201,203) in einen altersabhängigen Punktwert (Punkte Leistung) ausgedrückt.

Zur Bewertung des Metabolismus wurden die Parameter VO_2 , Laktat und Herzfrequenz herangezogen.

Zur Bewertung der Ökonomie wurden die Parameter „energy cost“ (Cs), „stroke efficiency index“ (SEI), Zugfrequenz und $\Delta VO_2 / \Delta v$ herangezogen (38,74,218,238).

Um Unterschiede zwischen den Schwimmern der Versuchs- und der Kontrollgruppe sowie den ausdauerorientierten- und sprintorientierten Schwimmer herauszufiltern, wurden die jeweiligen Parameter im aeroben Bereich (2. Stufe: $v = 1,05 \text{ m/s}$), an der IAS (VG: 4,9-5,3 Stufen; $v = 1,25-1,28 \text{ m/s}$; KG: keine Schwellenbestimmung, da für weniger als 50% der KG eine IAS zu bestimmen war) und bei maximaler Belastung (VG: 6,2-7,0 Stufen: $v = 1,34-1,41 \text{ m/s}$; KG: 3,5-3,9 Stufen: $v = 1,14-1,18 \text{ m/s}$) miteinander verglichen. Beim Vergleich zwischen der VG und der KG ist somit vor allem der untere- und maximale Belastungsbereich von besonderem Interesse, da sich hier gravierende Unterschiede darstellen lassen. Für den Vergleich zwischen AU und SP sind darüber hinaus die Werte an der IAS besonders interessant, da hier vor allem bei den Laktatwerten Unterschiede zu erwarten sind (170,190,223,224).

Den Vergleich zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe kann man zusammenfassend derart beschreiben, dass sowohl ein metabolischer und anthropometrischer als auch ökonomischer Unterschied bei allen zu erwartenden Testparametern festzustellen ist (Kapitel 3.8; vergleiche Tabellen 81-94). Wobei im Bereich der Ökonomie der „stroke-efficiency-index“ eine besondere Rolle einnimmt, weil er den einzigen Faktor darstellt, bei dem sowohl im aeroben als auch maximalen Bereich in allen drei Testdurchgängen immer ein signifikanter Unterschied zwischen der Versuchs- und der Kontrollgruppe festzustellen ist. Um Aussagen über die Talentiertheit treffen zu können, ist allerdings das unterschiedliche Ausgangsniveau zu berücksichtigen. Um diesem Rechnung zu tragen wurde in der vorliegenden Studie eine Normierung der Leistungsentwicklung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte vorgenommen, welches in Kapitel 4.10 ausführlich beschrieben wird.

Wie bei der Begriffserklärung in Kapitel 1.1 erläutert, wird in der vorliegenden Arbeit beim Talent von Personen ausgegangen, die entwicklungsfähige Leistungsergebnisse aufweisen und einem trainingsgesteuerten Veränderungsprozess in Richtung spätere hohe Leistung unterliegen (117). Somit wirken sich die wöchentlichen Trainingsstunden von 11,5-14,9 ($\pm 1-0,8$; 1.-3. Testdurchgang) der Versuchsgruppe im Vergleich zu ca. 4,4 ($\pm 0,3-0,4$) Trainingsstunden der Kon-

trollgruppe, alleine durch die wesentlich höhere Anzahl der Trainingsstunden, positiv auf die Entwicklungsrate der VG aus.

Beim Vergleich zwischen den ausdauerorientierten- und sprintorientierten Schwimmern wird ein differenzierteres Bild deutlich.

Bezüglich der **anthropometrischen Parameter** (vergleiche Kapitel 4.2) war lediglich ein Unterschied in der gemessenen Schätzung der finalen Körperhöhe zu erwarten, da Sprinter eher relativ groß und Ausdauerschwimmer eher kleiner sind (219,220). Trotz höherer Werte für die SP konnte allerdings kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p > 0,05$).

Da bei der **aktuellen Leistungsfähigkeit** (vergleiche Kapitel 4.3) einerseits die FINA-Punkte der Bestzeit in der jeweiligen Ausprägung gemessen wurden und andererseits die Leistungspunktetabelle ebenfalls von der individuellen Bestzeit abhängig ist, war hier kein Unterschied zwischen den AU und SP zu erwarten. Vielmehr lässt sich aus dem nicht vorhandenen Unterschied dieser Parameter eine gute Vergleichbarkeit der beiden Probandengruppen ableiten.

Bezüglich der **ökonomischen Parameter** sind nur vereinzelt signifikante Unterschiede zwischen den AU und den SP nachzuweisen (vergleiche Kapitel 4.6). **Metabolisch** ist aber eine Ausdifferenzierung der jugendlichen Schwimmer zur Sprint- und Ausdauerorientiertheit zu beobachten (vergleiche Kapitel 4.5). Konnte für die VO_{2-max} Werte in den ersten beiden Testserien kein Unterschied festgestellt werden, so unterschieden sich die Werte im dritten Testdurchgang signifikant. Dabei weist in Übereinstimmung mit der Literatur die Ausdauergruppe höhere VO_{2-max} Werte als die Sprintgruppe auf (172,192). Bei den Laktatwerten kann die Ausdifferenzierung schon ab der zweiten Testserie beobachtet werden. Sowohl an der IAS als auch bei maximaler Belastung weisen die SP wiederum, im Einklang mit der Literatur, entsprechend höhere Werte als die AU auf (10,215,222,258). Insgesamt ist also zu postulieren, dass die Gruppe der AU und SP sich insgesamt ökonomisch gut im Wasser fortbewegen, allerdings mit Blick auf die diskutierte Entwicklung der VO_2 Kurve

gilt dies für die AU insbesondere im unteren und für die SP im oberen Geschwindigkeitsbereich.

4.8 Faktorenanalyse

Der Sinn einer Faktorenanalyse besteht in der Reduktion von Daten, um deren komplexen Zusammenhänge leichter darstellen zu können (13,189). Als Ergebnis erhält man Ladungen von Variablen auf verschiedene Komponenten, die anhand ihrer Gemeinsamkeiten benannt und zusammengefasst werden können (siehe Tabelle 96-99).

In der Literatur werden bei der Faktorenanalyse überwiegend Ladungen auf Komponenten ab einem Wert von 0,4 mit in die Diskussion einbezogen (5,103,132,142,161). Nur vereinzelt werden höhere Wert als 0,4 genannt (2,167). Da die Faktorenanalyse allerdings üblicherweise ein Mittel der Datenreduktion ist, ist die Anzahl der Variablen meist wesentlich höher als in der vorliegenden Arbeit (58,132,161). Bortz (27,28) stellt daher ein differenziertes Bild dar und gibt bei vielen Variablen den Wert von 0,4 als ausreichend und für wenige Variablen (ab 4) einen Wert von 0,6 an. Da auch Backhaus (13) eine Ladung erst als hoch beschreibt, wenn sie größer als 0,5 ist, wurden in der vorliegenden Studie nur Ladungen auf den Komponenten von $\geq 0,6$ für die Diskussion berücksichtigt.

In der Regel haben die höchsten Ladungen auf einer Komponente das gleiche Vorzeichen. Backhaus definiert dabei die Bedeutung von negativen Ladungen dahingehend, dass die betreffende Variable negativ mit dem entsprechenden Faktor verknüpft ist (13). Die in der vorliegenden Arbeit nur zweimal auftretenden Faktorladungen auf einer Komponenten mit unterschiedlichen Vorzeichen und einem Betrag von größer 0,6 werden somit dahingehend interpretiert, dass die Ladungen der Variablen, die jeweilige Komponente gerade nicht beschreibt bzw. mit dieser verknüpft ist (7,13).

In der vorliegenden Arbeit ist das Ziel, unter der Fragestellung, welche Fähigkeiten ein Talent beschreiben, die Variablen, die auf den jeweiligen Komponenten am höchsten laden, zusammenzufassen und zu interpretieren. Ferner soll der Zusammenhang zwischen den drei Testdurchgängen dargestellt werden. Wie aus den Tabellen 96-98 ersichtlich können folgende Komponenten benannt werden.

- **Leistungsfähigkeit**
- **aerober Metabolismus**
- **Anthropometrie**

Auf der Komponente **Leistungsfähigkeit** laden die Variablen Punkte-Leistung, FINA-Punkte und „stroke-efficiency-index“ besonders hoch.

Die Variablen Punkte Leistung und FINA-Punkte beschreiben dabei schon aufgrund ihrer Berechnungsgrundlage die aktuelle Leistungsfähigkeit (siehe Kapitel 2.3). Der SEI ist wiederum abhängig von der zu realisierenden Geschwindigkeit, die bei einer jeweiligen Zuglänge ($SEI = \text{Schwimmgeschwindigkeit} * \text{Zuglänge}$) gegeben ist und ist damit ebenfalls als ein Indikator zur Beschreibung der Leistungsfähigkeit einzubeziehen.

Auf der Komponente **aerober Metabolismus** vereinen sich die sauerstoffabhängigen Variablen mit den höchsten Ladungen. Dabei ist die VO_2 direkt von der Sauerstoffaufnahme abhängig sowie auch die „energy cost“, die aufgrund ihrer Berechnungsgrundlage, bei der vornehmlich der Sauerstoffverbrauch in Energie umgerechnet wird, ebenfalls direkt von der Sauerstoffaufnahme abhängig ist.

Auf der Komponente **Anthropometrie** laden die „finale Körperhöhe“ und „Punkte Körperbau“ besonders hoch. Die Variable „Punkte Körperbau“ wird aufgrund anthropometrisch günstiger Körperbaumerkmale errechnet und die Variable „finale Körperhöhe“ spiegelt den anthropometrischen Vorteil einer hohen Körpergröße wider. Insgesamt beschreiben diese beiden Variablen die für den Schwimmsport anthropometrisch günstigen Körperbaumerkmale. Alle drei

Komponenten sind in jedem Testdurchgang zu ermitteln, wobei sich zwischen dem zweiten und drittem Testdurchgang lediglich die Reihenfolge der ersten beiden Komponenten vertauscht. Zwar lässt sich bei jedem Testdurchgang eine Komponente nicht eindeutig benennen, welches in der Literatur allerdings nicht unüblich ist. Auch stellt diese Komponente im ersten die 3. und im zweiten und dritten Testdurchgang die jeweils 4. und damit letzte Komponente dar, die somit als unbedeutenste zu interpretieren ist (250). Durch die Faktorenanalyse waren somit die Variablen die zur Beurteilung einer Talentiertheit im Schwimmsport herangezogen werden, dahingehend zu reduzieren und zusammenzufassen, dass eine Priorität auf die **Leistungsfähigkeit** (Punkte Leistung, FINA-Punkte und „stroke-efficiency-index“) **aerober Metabolismus** (VO_2 und „energy cost“) und **Anthropometrie** (finale Körperhöhe und Punkte Körperbau) gelegt werden kann.

4.9 Multiple Regressionsanalyse und Schätzgleichung

In der vorliegenden Arbeit soll bei der multiplen Regressionsanalyse (130) einerseits die Versuchsgruppe einzeln betrachtet werden, um eine Aussage über eine homogene Gruppe jugendlicher Schwimmer hohen schwimmerischen Niveaus zu erhalten. Andererseits soll die Betrachtung der Gesamtgruppe zusätzlich Aussagen über eine Gruppe mittleren bis hohen schwimmerischen Niveaus geben.

Die multiple Regressionsanalyse soll dazu dienen, das Kriterium der FINA-Punkte (als Maß der tatsächlichen aktuellen Leistungsfähigkeit) durch die Prädiktoren (metabolischen-, ökonomischen-, anthropometrischen Vorhersagevariable) zu erklären. Dabei wurde in einem ersten Schritt eine Korrelation aller Prädiktoren (Variablen) mit dem zu erklärenden Kriterium (FINA-Punkten) erstellt (siehe Tabelle 100). Durch die Gesamt-Korrelation der ausgewählten Prädiktoren mit den FINA-Punkten lässt sich eine prozentuale aufgeklärte Varianz der FINA-Punkte darstellen und schließlich durch die Einzelvarianzaufklärung der Prädiktoren an der Gesamtvarianzaufklärung (R^2) durch das Quadrat des Strukturkoeffizienten $(r/R)^2$ eine prozentuale anteilige aufgeklärte Varianz darstellen (75). Für die Versuchsgruppe ergibt sich dabei folgendes Bild (vergleiche Tabelle 101 Kapitel 3.10):

	Beta	r	r/R	$(r/R)^2$	Strukturkoeffizient [%]
maxLac3	0,263	0,660	0,746	0,557	55,7
maxSEI3	0,682	0,830	0,939	0,881	88,1

Das Ergebnis zeigt, dass das Kriterium FINA-Punkte zu 55,7% durch die maximalen Laktat Werte und zu 88,1% durch den „stroke-efficiency-index“ (SEI) erklärt wird. Dabei ist zu bemerken, dass die anteilig aufgeklärte Varianz in der Summe mehr als 100% ergibt, weil sich die Variablen auch gegenseitig und eventuell als Suppressorvariablen beeinflussen können.

Insgesamt wird eindrucksvoll die besondere Bedeutung des „stroke-efficiency-index“ (SEI) deutlich, welcher ebenfalls in der Interpretation der Faktorenanalyse (Kapitel 4.8), der Normierung durch den Gewichtungskoeffizient FINA-Punkte (Kapitel 4.10) und in der Zusammenfassung der talentrelevanten Parameter (Kapitel 4.7) eine tragende Rolle spielt.

Die lineare multiple Regressionsanalyse erlaubt ebenfalls die Erstellung einer Schätzgleichung, die eine Vorhersage der FINA-Punkte zulässt, da neben den standardisierten Beta Gewichten der Prädiktoren unstandardisierte Koeffizienten und eine Konstante errechnet werden können (SPSS Prozedur mit festen Variablen; vergleiche Kapitel 2.10.2).

Für die Versuchsgruppe ergibt sich folgende Schätzgleichung (vergleiche Tabelle 102 aus Kapitel 3.10):

Schätzgleichung:	$\text{Fina-Pkt.} = \text{maxLac3} * 6,007 + \text{maxSEI3} * 96,103 + 223,867$
-------------------------	---

$R = 0,884$; $R^2 = 0,782$; adjusted $R^2 = 0,738$; Standard Error of the Estimate (SEE) = 30,1 Punkte

Diese Schätzgleichung kann als objektives Kriterium zur Einstufung in ein Leistungsniveau in Abhängigkeit von der Güte der Testgruppe angenommen werden (75,208). In der vorliegenden Arbeit bedeutet dies, dass mit einer Streuung von nur ungefähr 30 FINA-Punkten für einen jugendlichen Schwimmer aufgrund der Messung der maximalen Laktatwerte und des „stroke-efficiency-index“ eine Aussage, ohne die Messung der anderen talentrelevanten Parameter (vergleiche Kapitel 4.7) dahingehend getroffen werden kann, ob der Schwimmer ein ebenso hohes schwimmerischen Niveau, wie die Referenzgruppe (Versuchsgruppe) aufweist.

Für die Gesamtgruppe ergibt sich folgende Schätzgleichung (vergleiche Tabelle 104 aus Kapitel 3.10):

Schätzgleichung:
FINA-Punkteleistung = maxLac * 11,933 + maxSEI * 155,174 + maxVO2 * 0,433 + Pkt-Körperbau * 0,247 + (- 61,760)

$R = 0,881$; $R^2 = 0,776$; adjusted $R^2 = 0,736$; Standard Error of the Estimate (SEE) = 59,771 Punkte

Das Ergebnis für die Gesamtgruppe bedeutet, dass mit einer Streuung von ungefähr 60 FINA-Punkten, für einen jugendlichen Schwimmer aufgrund der Messung der maximalen Laktatwerte und des „stroke-efficiency-index“, der VO_{2-max} und der Punkte Körperbau eine Aussage ohne die Messung der anderen talentrelevanten Parameter (vergleiche Kapitel 4.7) dahingehend getroffen werden kann, ob der Schwimmer ein ebenso hohes schwimmerischen Niveau, wie die Referenzgruppe (Gesamtgruppe) aufweist.

Damit konnten in der vorliegenden Arbeit zwei Schätzgleichungen erstellt werden, sodass einerseits Aussagen für jugendliche Schwimmer der Leistungsspitze und andererseits Aussagen für jugendliche Schwimmer eines breiten Leistungsniveaus (mittel bis hoch) getroffen werden können.

4.10 Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte

Als unabhängige Variable zur Beurteilung einer Verbesserung der Leistung im Schwimmsport kann die Schwimmbestzeit umgerechnet in FINA-Punkte angesehen werden (35,67,69). Dabei bieten die FINA-Punkte eine objektive Leistungseinschätzung, und eine Steigerung zwischen zwei Testzeitpunkten berücksichtigt vor allem das individuelle Ausgangsniveau des jeweiligen Schwimmers. Wie aus den Abbildungen 77 und 78 ersichtlich wird, bedeutet eine identische Verbesserung der Schwimmzeit auf niedrigem schwimmerischen Niveau eine wesentlich kleinere Verbesserung der FINA-Punkte als auf höherem Niveau.

So wird dem Umstand Rechnung getragen, dass im Sport allgemein eine Verbesserung von einem hohen Leistungsstand wesentlich schwieriger ist, als von einem niedrigen. Aus diesem Grund wurden die FINA-Punkte als Gewichtungskoeffizienten zur Beurteilung der Leistungsverbesserung herangezogen. Dazu wurde das Delta der FINA-Punkte zwischen dem ersten und dritten Testdurchgang mit dem prozentualen Delta der talentrelevanten Parameter (siehe Kapitel 4.7) multipliziert. Somit findet eine Gewichtung der Verbesserung eines Parameters unter Berücksichtigung der jeweils unterschiedlichen Leistungsfähigkeit statt. Auch wenn die FINA-Punkte als Maß der Wettkampfleistung öfter in der Literatur angewandt und beispielsweise mit der Körpergröße oder der allgemeinen Leistungsfähigkeit in Beziehung gebracht wird (35,45), ist die hier hergeleitete Möglichkeit die FINA-Punkte als Gewichtungskoeffizienten zur Beurteilung der Leistungsverbesserung zu verwenden bis dato noch nicht beschrieben worden.

Zur besseren Beurteilung der Ergebnisse, soll im Folgenden die Erwartung bei dem Vergleich zwischen sehr guten (Versuchsgruppe) und mittelmäßigen (Kontrollgruppe) Schwimmern dargestellt werden.

- VO_2 : Da eine größere Entwicklung der VO_{2-max} im Kindes- und Jugendalter nicht zu erwarten ist (vergleiche Kapitel 4.5.3; 83,126), wird dies ebenfalls nicht in Entwicklung des Unterschiedes zwischen Kontroll- und Versuchsgruppe der Fall sein.
- Laktat: Gerade aufgrund des in Kapitel 4.5.1 beschriebenen starken Anstiegs der Laktatwerte, vor allem der sprintversierten Schwimmer der Versuchsgruppe (93,96), ist ein Unterschied in der Entwicklung zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe zu erwarten.
- „energy cost“ (Cs): Aufgrund der besseren Fähigkeit bei maximaler Belastung ein hohes Maß an Energie aktivieren zu können, ist eine bessere Entwicklung der Versuchs- im Vergleich zur Kontrollgruppe zu erwarten.
- „stroke-efficiency-index“ (SEI): Da die Verbesserung der Zuglänge multipliziert mit der Schwimmgeschwindigkeit als Grundlage zur Berechnung des SEI dient, und somit eine Grundvoraussetzung für eine Optimierung des Vortriebs darstellt, ist für diesen Parameter eine größere Entwicklung zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe zu erwarten.
- Herzfrequenz: Die maximale Herzfrequenz nimmt zwar altersgemäß ab, sie ist jedoch unabhängig von der Leistungsfähigkeit der Probanden (Kapitel 4.5.2 37,72,166,185). Somit sind für diesen Parameter keine unterschiedlichen Entwicklungen zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe zu erwarten.
- Zugfrequenz: Da im Kindesalter keine Entwicklung der maximalen Zugfrequenz zu erwarten ist, ist auch im Vergleich der Entwicklung zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe keine Veränderung zu erwarten (vergleiche Kapitel 4.6.2 129,178)
- $\Delta VO_2/\Delta v$: Dieser Parameter lässt als Messung des Mehrverbrauchs an Sauerstoff zwischen zwei Belastungsstufen eine Aussage über die ökonomischen Unterschiede zu, weshalb eine unterschiedliche Entwicklung unter

Beachtung der diskutierten Interpretationshinweise (vergleiche Kapitel 4.6.4) bei der Entwicklung zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe zu erwarten ist.

- **Finale Körperhöhe:** Bei der Berechnung der finalen Körperhöhe ist in der Entwicklung kein Unterschied zu erwarten, da bei allen drei Testdurchgängen die gleiche finale Körperhöhe der Probanden zu Grunde liegen müsste.
- **Punkte Körperbau:** Da die Punkte, die für den Körperbau vergeben werden, eine altersabhängige Berechnung darstellt, sollte sich keine gravierenden Veränderung im Verlauf eines Jahres einstellen, und sich somit kein Unterschied in der Veränderung zwischen der Kontroll- und Versuchsgruppe ergeben.
- **Punkte Leistung:** Da die Punkte, die für die Leistung vergeben werden, ebenfalls eine altersabhängige Berechnung darstellt, sollte sich keine gravierenden Veränderung im Verlauf eines Jahres einstellen, und sich somit keine Unterschiede in der Veränderung zwischen der Kontroll- und Versuchsgruppe ergeben.

Der signifikante Unterschied ($p \leq 0,01$) der prozentualen Veränderung der maximalen Laktatwerte und dem Delta der FINA-Punkte spiegelt die Entwicklung, vor allem der maximalen Laktatakkumulation der sprintversierten Schwimmer der Versuchsgruppe, wider (siehe Kapitel 4.5.1).

Der signifikante Unterschied ($p \leq 0,05$) der prozentualen Veränderung der maximalen „energy cost“ und dem Delta der FINA-Punkte deutet auf die Steigerungsfähigkeit der Versuchsgruppe im maximalen Bereich, mehr Energie mobilisieren zu können hin (siehe Kapitel 4.6.1).

Der signifikante Unterschied ($p \leq 0,05$) der prozentualen Veränderung der maximalen „stroke efficiency index“ und dem Delta der FINA-Punkte zeigt eine Verbesserung der Ökonomie des Armzugs der Versuchsgruppe, was der SEI

durch die Multiplikation der Schwimmzeit mit der Zuglänge ausdrückt (siehe Kapitel 4.6.3).

Somit illustrieren die Ergebnisse (vergleiche Tabelle 105-109) einen signifikanten Unterschied ($p \leq 0,05$ bzw. $0,01$) in fast allen zu erwartenden Parametern (Laktat, „stroke efficiency index“, „energy cost“) bzw. weisen sie bei $\Delta\text{VO}_2/\Delta v$ mit $p \leq 0,1$ einen tendenziellen Unterschied auf. Es konnte dargestellt werden, dass gerade bei einem Vergleich zwischen Gruppen unterschiedlichen Leistungsniveaus zwischen zwei Testzeitpunkten eine Normierung durch einen Gewichtungskoeffizienten zur Einstufung des Leistungsniveau unabdingbar ist, und die FINA-Punkte für den Schwimmsport einen möglichen Gewichtungskoeffizienten darstellen.

4.11 Schlussfolgerung

In den Ergebnissen der vorliegende Studie konnte gezeigt werden, dass im Rahmen einer Talentsichtung Ausprägungen von Ausdauer- und Sprinteigenschaften schon im Jugendalter zu beobachten sind. Metabolisch konnte eine Entwicklung der jugendlichen Schwimmer zur Sprint- bzw. Ausdauerorientierung beobachtet werden. Dabei steht die Entwicklung einer höheren Ausdauerleistungsfähigkeit (gemessen an der VO_{2-max}), eine höhere Laktatbildungsfähigkeit (gemessen an den maximalen Laktatwerten) und der Laktatwert an der IAS im Vordergrund.

Die vorliegende Untersuchung verdeutlicht, dass zwischen einer Ausdauer- (AU) und Sprintgruppe (SP) keine ökonomischen Unterschiede bestehen, aber die Betrachtung der VO_2 Verlaufskurve Aussagen über die Eignung zum Langstrecken- oder Sprintschwimmer zulässt. Es konnte allgemein abgeleitet werden, dass ein flacher Verlauf der VO_2 Kurve im niedrigen Intensitätsbereich für eine bessere Ökonomie bei langsameren Schwimgeschwindigkeiten und somit eher eine Prädisposition für einen Langstreckenschwimmer ist. Wohingegen ein flacher Kurvenverlauf der VO_2 Kurve erst im höheren Intensitätsbereich eher auf eine Eignung zum Sprintschwimmer hinweist.

Bei der Vielzahl von talentrelevanten Parametern konnte gezeigt werden, dass in der Auswertung vor allem der „stroke-efficiency-index“ eine entscheidende Rolle einnimmt (insbesondere: Faktoranalyse, Strukturkoeffizienten, Schätzgleichung, Normierung durch die FINA-Punkte).

Für ein, im Rahmen der Talentsichtung notwendiges, leicht umzusetzendes Untersuchungsdesign zur Implementierung in den Routinebetrieb, lassen die Ergebnisse der vorliegenden Studie den Schluss zu, dass bei schneller Erfassung der VO_2 -Werte in der Nachbelastungsphase, die Nachatmungsmethode mittels linearer und exponentieller negativer Extrapolation über einen Zeitraum von 60 Sekunden zu sehr guten Ergebnissen führt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen ferner, dass bei der faktorenanalytischen Reduzierung der Variablen, die zur Beurteilung einer Talentiertheit im Schwimmsport herangezogen werden, eine Priorität auf die aktuelle Leistungsfähigkeit („Punkte Leistung“, „FINA-Punkte“ und „stroke-efficiency-index“), den aeroben Metabolismus (VO_2 und „energy cost“) und die Anthropometrie („finale Körperhöhe“ und „Punkte Körperbau“) in der genannten Reihenfolge gelegt werden kann.

Die Ergebnisse lassen darüber hinaus den Schluss zu, dass durch zwei Schätzgleichungen objektive Kriterien geschaffen wurden, anhand derer das Leistungsniveau beliebiger jugendlicher Probandengruppen beurteilt werden kann.

4.12 Ausblick

Es ist deutlich geworden, dass in der Talentsichtung eine Vielzahl von Parametern eine Rolle spielen. Deshalb sind für valide Aussagen hohe Fallzahlen von Probanden notwendig (33). Es sollte demnach angestrebt werden, die entwickelte Methode zur Erhebung der Messdaten in den Routinebetrieb der durchgeführten Sichtung zu etablieren. Dazu bietet das Talentsichtungskonzept am Olympiastützpunkt Hamburg/Schleswig Holstein einen Ansatzpunkt, da dort mehrmals im Jahr alle Vereine die talentiertesten Schwimmer und Schwimmerinnen der Altersklasse 10 und 11 zu Sichtsungsmaßnahmen eingeladen werden. Allerdings sei angemerkt, dass wie beschrieben, vor der Pubertät die Aussage einer grundsätzlichen Talentiertheit für die nächsten Jahrzehnte schwierig erscheint. Aussagen für die nächsten 2-3 Jahre scheinen aber durchaus als gegeben (33). Gerade weil im Schwimmsport in der Pubertät in der Regel schon die Kaderauswahl und damit Selektierung der für am talentiertesten Befundenen stattgefunden hat, sollte der Ansatz der Talentsichtung spätestens in der Altersklasse 10-11 Jahren stattfinden. Die Problematik des zeitlich und personell aufwendigen Messplatzes in der vorliegenden Arbeit sei dabei jedoch erwähnt. Es sollten allerdings mindestens Parameter aus allen dargestellten

Bereichen (anthropometrische Daten, aktuelle Leistungsfähigkeit, Metabolismus und Ökonomie) mit in die Beurteilung einer Talentiertheit einfließen. Für jede Talentsichtung umsetzbar, ist hierbei der Bereich der **aktuellen Leistungsfähigkeit** (Bestzeit in FINA-Punkten 69; Leistungspunkte in der Tabelle nach Rudolph 201,203). Die Messung der relevanten **anthropometrischen Daten** (Errechnung der finalen Körperhöhe und Gesamtbewertung der Körperbaumerkmale 201,203) bedarf einer gewissen Erfahrung und eines Zeitaufwandes, ist aber prinzipiell durchaus in der Talentsichtung für jeden Athleten durchführbar. Bei der Bewertung des **Metabolismus** ist die Beurteilung der Herzfrequenz vor allem dann praktisch leicht durchführbar, wenn die Kinder in der Lage sind, im Rahmen eines Talentsichtungstermins selbstständig ihre Herzfrequenz messen zu können. Die Parameter VO_2 und Laktat können nur mit einem recht hohen zeitlichen, personellen und apparativen Aufwand realisiert werden. Da allerdings die Ergebnisse zeigen, dass gerade die Entwicklung der Sauerstoffaufnahme unter Belastung und die Laktatleistungskurve (vor allem die Entwicklung der maximalen Laktatwerte) wichtige Hinweise für die Talentiertheit zum Ausdauer- oder Sprintathleten liefern können, erscheint dieser Aufwand nach einer Grobsichtung durchaus gerechtfertigt. Hinzu kommt, dass die ökonomischen Parameter „energy cost“ (Cs) und $\Delta VO_2 / \Delta v$ ebenfalls eine Messung von Laktat und VO_2 voraussetzen, sodass schließlich zur Bestimmung dieser Parameter für die Bewertung der **Ökonomie** ebenfalls ein hoher zeitlicher, personeller und apparativer Aufwand notwendig ist. Für die Parameter „stroke efficiency index“ (SEI) und Zugfrequenz reicht hingegen die leicht umzusetzende Messung der Zugfrequenz auf einer standardisierten Streckenlänge und die Messung der Körperlänge des Probanden. Vor allem dem SEI sollte eine besondere Bedeutung beigemessen werden, da dieser eine wichtige, teilweise entscheidende Bedeutung in vielen Bereichen der Auswertung hat (vergleiche Kapitel 4.7 Gegenüberstellung der talentrelevanten Parameter, 4.8 Faktoranalyse, 4.9 Multiple Regression und Schätzgleichung sowie 4.10 Normierung durch den Gewichtungskoeffizient FINA-Punkte).

Wie in Kapitel 1.3 dargestellt, wird schon jetzt im Rahmen von Talentsichtungsterminen ein erheblicher Aufwand betrieben. Da allerdings die Anzahl der talentierten Kinder weiter sinken wird (siehe Kapitel 1.7), ist eine Erweiterung der

Talentsichtung durchaus gerechtfertigt. Zusammenfassend kann die Empfehlung gegeben werden, die Talentsichtung um drei Elemente zu ergänzen:

1. Für den Routinebetrieb der Talentsichtung, in dem viele Kinder einer Grobsichtung unterzogen werden, sollte eine definierte Strecke (in der Schwimmlage Freistil) geschwommen werden, währenddessen die Zugfrequenz gemessen wird. Dies erlaubt Aussagen über die Zugfrequenz und den „stroke efficiency index“ (SEI). Ferner sollten in die Beurteilung die Betrachtung der FINA-Punkten und der Leistungspunkte nach der Rudolph Tabelle einfließen. Die erhobenen Werte würden auch hohe Fallzahlen generieren, was als Basis für eine weitere wissenschaftliche Forschung dienen könnte.
2. Nach dieser Grobsichtung sollten in einem 2. Schritt die talentiertesten Schwimmer dem aufwendigeren Prozess eines Stufentests durchführen, in dem alle Parameter der vorliegenden Untersuchung gemessen werden sollten. Bei wiederholten Testdurchführungen in regelmäßigen Abständen ist dann vor allem die Entwicklung von besonderem Interesse, sodass Trainingssensitive insbesondere für die Unterscheidung von Ausdauer- und Sprintversiertheit frühzeitig herausgefiltert werden könnten. Auch hierbei entstünden hohe Fallzahlen, die, begleitet von weiteren wissenschaftlichen Studien, auf Dauer den Auswahlprozess und die frühzeitige Unterscheidung in Sprint- bzw. Ausdauerschwimmer nachhaltig verbessern würden.
3. Ab einem Alter von 13 bis 14 Jahren können auf hohem schwimmerischen Niveau, aufgrund der Messung des maximalen SEI und der maximalen Laktatwerte durch die Schätzgleichung, die FINA-Punkte geschätzt und somit ein Vergleich mit dem sehr guten Niveau der vorliegenden Studie gezogen werden. Da nach aktueller Literaturlage, dass in dieser Studie entwickelte Instrument der Schätzgleichung im Schwimmsport bis dato noch keine Anwendung findet, sollte insbesondere dieser Parameter in weiteren wissenschaftlichen Studien erforscht und weiterentwickelt werden.

4.13 Zusammenfassung

EINLEITUNG: Die Talentsichtung im Schwimmsport stellt in der Praxis immer eine Kombination von subjektiven Expertenurteilen und objektiven analytisch-empirischen Untersuchungen dar. In der vorliegenden Arbeit sollten folgende talentrelevante Parameter miteinander verglichen werden:

- anthropometrische Daten (finale Körperhöhe und eine Gesamtbewertung der Körperbaumerkmale 201,203)
- aktuelle Leistungsfähigkeit (FINA-Leistungstabelle und Rudolph Tabelle 69, 201,203)
- Metabolismus (VO_2 , Laktat und Herzfrequenz)
- Ökonomie („energy cost“, „stroke-efficiency-index“, Zugfrequenz und $\Delta VO_2/\Delta v$ 38,74,218,238).

Da bei der Erhebung der VO_2 -Werte die Nachatmungsmethode Anwendung gefunden hat, war darüber hinaus ein Methodenvergleich der Rückrechnung der Sauerstoffwerte („backward extrapolation“ 54,140,143) von besonderem Interesse. Ferner stand der Vergleich von ausdauer- und sprintversierten Schwimmern, vor allem im Hinblick auf einen charakteristischen Verlauf der VO_2 Belastungskurve im Mittelpunkt der Untersuchung. Schließlich sollten durch die Faktorenanalyse, eine Normierung durch einen Gewichtungskoeffizienten und die multiple Regression, vertiefte statistische Aussagen getroffen werden können. Bei letzterem sollte die Erstellung einer Schätzgleichung und eines Strukturkoeffizienten, der die anteilig aufgeklärte prozentuale Varianz für die FINA-Punkte erlaubt, im Mittelpunkt stehen.

MATERIAL UND METHODEN: In der vorliegenden Untersuchung wurden 30 jugendliche Schwimmer und Schwimmerinnen einbezogen, die einen standardisierten und randomisierten Stufentest im Schwimmbecken an drei verschiedenen Testzeitpunkten innerhalb eines Jahres in der Schwimmlage Freistil bis zur subjektiven Ausbelastung zu absolvieren hatten.

Das gesamte Probandengut wurde dabei in eine Versuchsgruppe (VG = 9 männliche und 5 weibliche Personen: 1.-3. Test = 13,1-14,1 \pm 0,3 Jahre; 164,5-

170,8 ± 3,0-3,2 cm; 50-55,6 ± 2,8-2,9 kg; 13,6-12,3 ± 0,8-0,9 % Körperfettanteil; 6,1-7,1 ± 0,3 Trainingsjahre; 6,7-7,4 ± 0,4-0,5 Trainingseinheiten pro Woche; 11,5-14,9 ± 3,0-3,6 Trainingsstunden pro Woche) und eine Kontrollgruppe (KG = 9 männliche und 7 weibliche Personen: 1.-3. Test = 12,9-13,9 ± 0,3 Jahre; 160,5-166,4 ± 2,8-3,1 cm; 47,9-54,3 ± 1,9-2,4 kg; 15,6-16 ± 1,1-1,2 % Körperfettanteil; 3,9-4,9 ± 0,2 Trainingsjahre; 2,9-2,8 ± 0,2-0,3 Trainingseinheiten pro Woche; 4,4-4,3 ± 0,3-0,4 Trainingsstunden pro Woche) unterteilt. Die Probanden der Kontrollgruppe waren alle Mitglied in einem Hamburger Schwimmverein. Die Versuchsgruppe wurde zusätzlich in eine Ausdauer- und eine Sprintgruppe unterteilt und die Jugendlichen waren ausschließlich Mitglied des Auswahlteams des Hamburger Schwimmverbandes.

In der jeweils 90-sekundigen Pause des Stufentestes (VG = 6,2-7 Stufen à 200m) wurden respiratorische Daten durch ein Cortex K4-Spirometriesystem festgehalten, Blut zur Laktatbestimmung aus dem Ohrläppchen entnommen und die Herzfrequenz bestimmt. Während der Belastung wurde die Geschwindigkeit über ein Laufrad am Beckenrand vorgegeben und die Zugfrequenz gemessen. Zur Ermittlung der Sauerstoffaufnahme beim jeweiligen Belastungsende wurde eine mathematische Extrapolation der Sauerstoffwerte nach der allgemein gültigen Formel: $y = ae^{-bx}$ vorgenommen.

ERGEBNISSE: Versuchs- und Kontrollgruppe unterschieden sich metabolisch (VG vs. KG: $VO_{2-max} = 69,3 \pm 2,4$ vs. $58,7 \pm 4,3$ [ml/min/kg; $p \leq 0,01$]; Laktat $9,1 \pm 0,7$ vs. $7,7 \pm 0,4$ [mmol/l; $p \leq 0,05$] anthropometrisch (VG vs. KG: Punkte Körperbau = $10,4 \pm 1,1$ vs. $8,1 \pm 1,2$; $p \leq 0,05$), ökonomisch (VG vs. KG: Cs = $17,9 \pm 0,3$ vs. $16,5 \pm 0,4$ [J/kg/m; $p \leq 0,05$]; sei = $2,7 \pm 0,1$ vs. $2,1 \pm 0,1$ [m²/s; $p \leq 0,001$]) und bei der Leistungsfähigkeit (VG vs. KG: FINA-Punkte = $582 \pm 15,1$ vs. $353 \pm 15,4$; $p \leq 0,001$; Punkte Leistung = $14,8 \pm 0,7$ vs. $4,6 \pm 1,2$ $p \leq 0,001$) signifikant voneinander.

Ausdauerorientierte- und sprintorientierte Schwimmer unterschieden sich ökonomisch nicht (3. Testdurchgang; maximale Belastung; AU vs. SP: Cs = $18 \pm 0,9$ vs. $17,8 \pm 1$ [J/kg/m; $p > 0,05$]; sei = $1,64 \pm 0,1$ vs. $1,57 \pm 0,1$ [m²/s/Körperhöhe; $p > 0,05$] Zugfrequenz = $70,9 \pm 3,4$ vs. $74,4 \pm 2,5$ [Zyk-

len/Minute; $p > 0,05$]; $\Delta VO_2/\Delta v = 82,6$ vs. $65,7$ [(ml/min/kg)/(m/s); $p > 0,05$]). Metabolisch konnte allerdings im Verlauf der Testdurchgänge eine Entwicklung gesehen werden. Unterschieden sich im 1. Testdurchgang die VO_{2-max} und die maximale Laktatproduktion noch nicht ($p > 0,05$), so konnten im 3. Testdurchgang signifikante Abweichungen festgestellt werden (1. Testdurchgang; maximale Belastung; AU vs. SP: $VO_{2-max} = 67 \pm 3,2$ vs. $65,5 \pm 0,8$ [ml/min/kg; $p > 0,05$]; Laktat = $7,9 \pm 1$ vs. $7,9 \pm 0,7$ [mmol/l; $p > 0,05$] und 3. Testdurchgang; maximale Belastung; AU vs. SP: $VO_{2-max} = 72,5 \pm 1,8$ vs. $65,1 \pm 2,5$ [ml/min/kg; $p \leq 0,05$]; Laktat = $7,6 \pm 2,1$ vs. $10,4 \pm 2,4$ [mmol/l; $p \leq 0,05$]).

Der Strukturkoeffizient ergab für die Versuchsgruppe:

	Beta	r	r/R	(r/R) ²	Strukturkoeffizient [%]
maxLac3	0,263	0,660	0,746	0,557	55,7
maxSEI3	0,682	0,830	0,939	0,881	88,1

Die Schätzgleichung ergab für die Versuchsgruppe:

Schätzgleichung:	$\text{Fina-Pkt.} = \text{maxLac3} * 6,007 + \text{maxSEI3} * 96,103 + 223,867$
-------------------------	---

Bei der Faktoranalyse konnten die Variablen dahingehen reduziert und interpretiert werden, dass in allen drei Testdurchgängen die Ladungen auf den Komponenten Leistungsfähigkeit, aerober Metabolismus und Anthropometrie am höchsten waren.

Bei der Nachatmungsmethode unterschieden sich die lineare und exponentielle Extrapolation der VO_2 -Werte über einen Zeitraum von 60 Sekunden bei keinem Testdurchgang ($p > 0,05$). Zwischen der 90-sekundigen und der 60-sekundigen sowie linearen Extrapolation bestand nur im 1. Testdurchgang ein signifikanter Unterschied ($p \leq 0,05$). Alle anderen Vergleiche unterschieden sich signifikant voneinander (linear vs. 120s = $p \leq 0,001$; linear vs. 180s = $p \leq 0,001$; 60s vs. 120s = $p \leq 0,001$; 60s vs. 180s = $p \leq 0,001$; 90s vs. 120s = $p \leq 0,01$ bzw. $0,001$; 120s vs. 180s = $p \leq 0,001$).

DISKUSSION: Zwischen VG und KG war sowohl ökonomisch und metabolisch, als auch anthropometrisch und im Bezug auf die aktuelle Leistungsfähigkeit ein Unterschied bei allen zu erwartenden Testparametern festzustellen.

Beim Vergleich zwischen den AU und SP war bei den ökonomischen Parameter kein signifikanter Unterschied nachzuweisen ($p > 0,05$). Metabolisch war allerdings eine Ausdifferenzierung der jugendlichen Schwimmer zur Sprint- und Ausdauerorientiertheit zu beobachten. Konnten für die $VO_{2\text{-max}}$ Werte in den ersten beiden Testserien kein Unterschied festgestellt werden ($p > 0,05$), so unterschieden sich die Werte im 3. Testdurchgang signifikant ($p \leq 0,05$). Dabei weist die Ausdauergruppe, wie auch in anderen Untersuchungen beobachtet, höhere Werte als die Sprintgruppe auf (172,192). Bei den Laktatwerten kann die Ausdifferenzierung schon ab der 2. Testserie beobachtet werden. Sowohl an der IAS als auch bei maximaler Belastung weisen die SP im Einklang mit der Literatur höhere Werte, als die AU auf (10,215,222,258). Bei der VO_2 Verlaufskurve im 3. Testdurchgang konnten für die AU im unteren und für die SP im oberen Geschwindigkeitsbereich niedrigere VO_2 -Werte festgestellt werden, wobei der Schnittpunkt der Kurven ungefähr im Bereich der IAS liegt. Insgesamt ist zu postulieren, dass die Gruppe der AU und SP sich ökonomisch gut im Wasser fortbewegen, allerdings mit Blick auf die Entwicklung der VO_2 Kurve gilt dies für die AU insbesondere im unteren und für die SP im oberen Geschwindigkeitsbereich. Bei den einzelnen talentrelevanten Parametern steht vor allem der „stroke-efficiency-index“ im Mittelpunkt, da dieser eine wichtige, teilweise entscheidende Bedeutung in vielen Bereichen der Auswertung hat (insbesondere: Faktoranalyse, Strukturkoeffizienten, Schätzgleichung, Normierung durch die FINA-Punkte).

Durch die Faktorenanalyse waren die Variablen, die zur Beurteilung einer Talentiertheit im Schwimmsport herangezogen werden, dahingehend zu reduzieren und zusammenzufassen, dass eine Priorität auf die **Leistungsfähigkeit** („Punkte Leistung“, „FINA-Punkte“ und „stroke-efficiency-index“) **aerober Metabolismus** (VO_2 und „energy cost“) und **Anthropometrie** („finale Körperhöhe“ und „Punkte Körperbau“) gelegt werden konnte.

Es konnten zwei Schätzgleichungen erstellt werden (75,208), die als objektives Kriterium zur Einstufung in ein jugendliches ($14,0 \pm 0,2$ Jahre) Leistungsniveau in Abhängigkeit von der Güte der Testgruppe (Versuchsgruppe = hohes

schwimmerisches Niveau und Gesamtgruppe = mittleres bis hohes Niveau) angenommen werden kann.

Die Normierung durch den Gewichtungskoeffizienten FINA-Punkte bietet eine sehr gute Möglichkeit, die talentrelevanten Parameter unabhängig von dem unterschiedlichen Ausgangsniveau der Vergleichsgruppen zu interpretieren.

Ferner lassen die Ergebnisse der vorliegenden Studie den Schluss zu, dass bei schneller Erfassung der VO_2 -Werte in der Nachbelastungsphase, die Nachatmungsmethode mittels linearer und exponentieller negativer Extrapolation über einen Zeitraum von 60 Sekunden zu sehr guten Ergebnissen führt. Bei Einbeziehung von Werten über einen längeren Nachbelastungszeitraum ergeben sich, im Vergleich zu den bei Belastungsabbruch tatsächlich vorhandenen, tendenziell zu niedrige VO_2 -Werte.

Schlüsselwörter: TALENT; JUGENDLICHE; SCHWIMMEN; AUSDAUER; SPRINT; VO_2 ; ÖKONOMIE; SEI; CS; ANTHROPOMETRIE; NACHATMUNGSMETHODE; FAKTORENANALYSE; SCHÄTZGLEICHUNG

4.14 Zusammenfassung (kurz)

In der Talentsichtung im Schwimmsport sind Anthropometrie (201,203), Leistungsfähigkeit (69,201,203), Metabolismus, Ökonomie (38,74,218,238) und eine frühzeitige Differenzierung in Ausdauer- und Sprintschwimmer von besonderem Interesse.

30 jugendliche Schwimmer mussten in der vorliegenden Studie einen Stufentest (Stufen à 200m) im Schwimmbecken (drei Testzeitpunkte innerhalb eines Jahres) in der Schwimmlage Freistil bis zur subjektiven Ausbelastung absolvieren (Messparameter: respiratorische Daten, Laktat, Herz- und Zugfrequenz). Das Probandengut wurde in eine Kontrollgruppe (mittleres Niveau=KG: 9 männlich; 7 weiblich: 1.-3. Test=12,9-13,9±0,3 Jahre) und eine Versuchsgruppe (Leistungsschwimmern=VG: 9 männlich; 5 weiblich: 1.-3. Test=13,1-14,1±0,3Jahre), die zusätzlich in eine Ausdauer-(AU) und Sprintgruppe (SP) eingeteilt wurde, unterteilt.

Versuchs- und Kontrollgruppe unterschieden sich in allen Parametern ($p \leq 0,01$ - $p \leq 0,001$). Ausdauerorientierte- und sprintorientierte Schwimmer unterschieden sich ökonomisch nicht ($p > 0,05$). Metabolisch wurde im Verlauf der Testdurchgänge eine Entwicklung deutlich (1.Testdurchgang; maximale Belastung; AUvs.SP: $VO_{2-max} = 67 \pm 3,2$ vs. $65,5 \pm 0,8$ ml/min/kg; $p > 0,05$; Laktat = $7,9 \pm 1$ vs. $7,9 \pm 0,7$ mmol/l; $p > 0,05$ und 3.Testdurchgang; maximale Belastung; AUvs.SP: $VO_{2-max} = 72,5 \pm 1,8$ vs. $65,1 \pm 2,5$ ml/min/kg; $p \leq 0,05$; Laktat = $7,6 \pm 2,1$ vs. $10,4 \pm 2,4$ mmol/l; $p \leq 0,05$).

Der Vergleich ökonomischer Parameter zwischen den AU und SP ist nicht signifikant ($p > 0,05$), wohingegen metabolisch eine Ausdifferenzierung der Jugendlichen zur Sprint- und Ausdauerorientiertheit zu beobachten war. Für VO_{2-max} und $Laktat_{max}$ bestand zuerst kein Unterschied ($p > 0,05$). Im 3. Testdurchgang liegt, wie auch in anderen Untersuchungen beobachtet, bei AU die VO_{2-max} über- und $Laktat_{max}$ unter denen von SP ($p \leq 0,05$; 10,172,192,215,222,258). Bei der VO_2 -Verlaufskurve waren im 3.

Testdurchgang bei AU im unteren und bei SP im oberen Geschwindigkeitsbereich niedrigere VO_2 -Werte feststellbar. Somit ist insgesamt zu postulieren, dass die Gruppen AU und SP ökonomisch gut sind, allerdings AU insbesondere bei langsamen und SP bei schnelleren Geschwindigkeiten.

Schlüsselwörter: TALENT; SCHWIMMEN; AUSDAUER; SPRINT; ÖKONOMIE

5. Literaturverzeichnis

1. Abbott RA, Davies PS: Habitual physical activity and physical activity intensity: their relation to body composition in 5.0-10.5-y-old children. *Eur J Clin Nutr* 2004 Feb;58(2):285-91 58: 285-291, 2004.
2. Abraham L, Hareendran A, Mills ML, Abrams P, Drake MJ, MacDonagh RP, Noble JG: Development and validation of a quality-of-life measure for men with nocturia. *Urology* 63: 481-486, 2004.
3. Acikada C: Training in children. *Acta Orthop Traumatol Turc* 38: 16-26, 2004.
4. Aicardi G, Vignolo M, Milani S, Naselli A, Magliano P, Garzia P: Assessment of skeletal maturity of the hand-wrist and knee: A comparison among methods. *Am J Hum Biol* 12: 610-615, 2000.
5. Akiyama T, Tsuda H, Matsumoto S, Miyake Y, Kawamura Y, Noda T, Akiskal KK, Akiskal HS: The proposed factor structure of temperament and personality in Japan: combining traits from TEMS-A and MPT. *J Affect Disord* 85: 91-100, 2005.
6. Alfermann D, Würth S, Saborowski C: Soziale Einflüsse auf die Karriereentwicklung im Jugendleistungssport: Die Bedeutung von Eltern und Trainern. *psychologie und sport* 9: 50-61, 2002.
7. Andresen B: Persönlichkeitsstruktur und Psychosetendenz: faktorenanalytische Entwicklung, psychometrische Inventarisierung und psychopathologische Konstruktvalidierung eines integrativen sechsdimensionalen Modells der Persönlichkeit. Hamburg: Universität Hamburg, 1996.
8. Arellano R, Brown P, Cappaert J: Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *J Appl Biomech* 10: 189-199, 1994.
9. Åstrand P-O, Englesson S: A swimming flume. *J Appl Physiol* 33: 514, 1972.
10. Aunola S, Marniemi J, Alanen E, Mäntylä M, Saraste M, Rusko H: Muscle metabolic profile and oxygen transport capacity as determinants of aerobic and anaerobic thresholds. *Eur J Appl Physiol* 57: 726-734, 1988.
11. Avlonitou E: Somatometric variables for preadolescent swimmers. *J Sports Med Phys Fitness* 34: 185-191, 1994.
12. Bachl N, Baron R, Smekal G, Tschan H: Validität sportartspezifischer Leistungsdiagnostik. In: *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*, edited by Clasing D, Weicker H, Böning D. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag, 1994, p. 165-174.
13. Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R: Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer, 2000.
14. Basset DR, Howley ET: Maximal oxygen uptake " classical" versus "contemporary" viewpoints. *Med Sci Sports Exerc* 29: 591-603, 1997.
15. Bauer J: Talentsuche und Talentförderung im Sport. Eine Zwischenbilanz (1. Teil). *Leistungssport* 2: 5-10, 1988.
16. Bauer J: Talentsuche und Talentförderung im Sport. Eine Zwischenbilanz (Fortsetzung). *Leistungssport* 3: 13-17, 1988.
17. Bayley N, Pinneau SR: Tables for predicting adult height from skeletal age: revised for use with the Greulich-Pyle hand standards. *J Pediatr* 40: 423-441, 1952.

18. Beneke R, Sievers U, Buschcow S, Erasmus J: Portables Spirometrie-Telemetrie-System vs. Laborspirometer Gerätevergleich unter Laborbedingungen. *Dtsch Z Sportmed* 46: 403-408, 1995.
19. Berger J, Strass D: Wassergefühl - eine koordinative Fähigkeit. In: *Schwimmen 2000-III. 3. Fachtagung vom 07. bis 09.10.1998 in Herzogen*, edited by K SDR. Herzogenhorn: Verlag Uhlin, 1999, p. 64-78.
20. Berger MAM, Hollander P, de Groot G: Technique and energy losses in front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc* 29: 1491-1498, 1997.
21. Beunen G, Thomis MA: Muscular strength development in children and adolescents. *Pediatr Exerc Sci* 12: 74-97, 2000.
22. Beunen G, Thomis MA, Maes HH, Loos R, Malina RM, Claessens AL, Vlietinck R: Genetic variance of adolescent growth in stature. *Annals of Human Biology* 27: 173-186, 2000.
23. Blaser P, Niklas A: Die schwimmspezifische Bewegungsanalyse in der Gegenstromanlage. *Leistungssport* 6: 43-46, 1998.
24. Blaser P, Stucke C, Witte K: Die Überprüfung der Technikrentabilität im Sportschwimmen in Vorbereitung der Schwimmerinnen und Schwimmer auf sportliche Wettkämpfe. *Leistungssport* 1: 36-39, 1995.
25. Bonen A, Wilson B-A, Yarkony M, Belcastr A-N: Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J Appl Physiol* 48: 232-235, 1980.
26. Boone WT, Boone T: Influence of a 36-h fast on the central and peripheral components of VO₂ during submaximal exercise and peak oxygen uptake. *J Sports Sci* 13: 279-282, 1995.
27. Bortz J: Lehrbuch der Statistik. Berlin: Springer, 1989.
28. Bortz J: Statistik für Sozialwissenschaftler. Berlin: Springer, 1999, p. 509.
29. Braden DS, Carroll JF: Normative cardiovascular responses to exercise in children. *Pediatr Cardiol* 20: 4-10, 1999.
30. Bramswig JH, Fasse M, Holthoff ML, von Lengerke HJ, von Petrykowski W, Schellong G: Adult height in boys and girls with untreated short stature and constitutional delay of growth and puberty: accuracy of five different methods of height prediction. *J Pediatr* 117: 886-891, 1990.
31. Braumann K-M, Holz J, Brechtel L, Emrich G: Spiroergometry in the swimming flume. *Int J Sports Med* 17: 23, 1996.
32. Braumann K-M, Reer R: Spiroergometrie im Schwimmen - Möglichkeiten zur Talentsichtung. In: *Schwimmen - Lernen und Optimieren*, edited by Freitag W. Rüsselsheim: Fachbuchreihe der Deutschen Schwimmtrainer Vereinigung, 2000, p. 71-73.
33. Brechtel L, Zinner J, Kautz R, Wolff R, Patotschka I: Talenterfassung im Schwimmen. In: *Talent im Sport*, edited by Hohmann A, Wick, D., Carl, K. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann, 2002, p. 200-207.
34. Brechtel L, Zinner J, Kautz R, Wolff R, Patotschka I: Talenterfassung im Schwimmen. *Talent im Sport*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann, 2002.
35. Bremer CC: Nutzung der Atemgasanalyse zur Bestimmung technischer und metabolischer Fähigkeiten bei Schwimmerinnen und Schwimmern im Leistungssport. Hamburg: Universität Hambrug (Dissertation), 2003, p. 12-18.
36. Brooke JD, Hamles EJ, Thomason H: Variability in the measurement of exercise heart rate. *J Sports Med* 20: 21-26, 1970.

37. Butts NK, Henry BA, McLean D: Correlation between VO₂max and performance times of recreational triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 3: 339-344, 1991.
38. Capelli C, Pendergast D-R, Termin B: Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *Eur J Appl Physiol* 78: 385-393, 1998.
39. Capelli C, Schena F, Zamparo P, Dal Monte A, Faina M, di Prampero PE: Energetics of best performances in track cycling. *Med Sci Sports Exerc* 30: 614-624, 1998.
40. Capelli C, Zamparo P, Cigalotto A, Francescato MP, Soule RG, Termin B, Pendergast DR, di Prampero PE: Bioenergetics and biomechanics in front crawl swimming. *J Appl Physiol* 78: 674-679, 1995.
41. Carl K: Talentsuche, Talentausswahl und Talentförderung. In: *Studienbrief zur Fort- und Weiterbildung von Trainern des Deutschen Sportbundes(24)*. Köln, 1988, p. 12-65; 87-91.
42. Carre F, Dassonville J, Beillot J, Prigent JY, Rochcongar P: Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physio* 69: 258-261, 1994.
43. Chatard JC, Collomp C, Maglischo E, Maglischo C: Swimming skills and stroking characteristics of front crawl swimmers. *Int J Sports Med* 11: 156-161, 1990.
44. Chatard JC, Lavoie JM, Lacour JR: Analysis of determinants of swimming economy in front crawl. *Eur J Appl Physiol* 61: 88-92, 1990.
45. Chatard JC, Padilla S, Cazorla G: Influence of body height, weight, hydrostatic lift and training on the energy cost of front crawl. *NZ J Sports Med* 13: 82-84, 1985.
46. Chollet D, Hue O, Auclair F, Millet G, Chatard JC: The effects of drafting on stroking variations during swimming in elite male triathletes. *Eur J Appl Physiol* 82: 413-417, 2000.
47. Christensen EH: Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. *Arbeitsphysiol* 4: 453-569, 1931.
48. Clasing D, Weicker H, Böning D: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994.
49. Cooper CB, Beaver WL, Cooper DM, Wasserman K: Factors affecting the components of the alveolar CO₂ output-O₂ uptake relationship during incremental exercise in man. *Exp Physiol* 77: 51-64, 1992.
50. Cooper DM, Weiler-Ravell D, Whipp BJ, Wasserman K: Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth children. *J Appl Physiol* 56: 628-634, 1984.
51. Corry I, Powers N: Maximal aerobic power measurement in runners and swimmers. *Br J Sports Med* 16: 154-160, 1982.
52. COSMED: User Manual. K4b2 Handbuch. Italien, 1999, p. 135.
53. Costill DL, Flynn MG, Kirwan JP, Houmard JA, Mitchell JB, Thomas R, Park SH: Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc* 20: 249-254, 1988.
54. Costill DL, Kovaleski J, Porter D, Kirwan J, Fielding R, King D: Energy expenditure during front crawl swimming: predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med* 6: 266-270, 1985.

55. Counsilman J-E: Handbuch des Sportschwimmens für Trainer, Lehrer und Athleten. Bockenem: Schwimmsport-Verlag Fahnenmann, 1994.
56. Craig AB, Pendergast DR: Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports* 11: 278-283, 1979.
57. Craig AB, Skehan PL, Pawelczyk JA, Boomer WL: Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc* 17: 635-634, 1985.
58. Crosby L, Parsons LC: Clinical neurologic assessment tool: development and testing of an instrument to index neurologic status. *Heart Lung* 18: 121-129, 1989.
59. Cumming GR, Langford S: Comparison of nine exercise tests used in pediatric cardiology. In: *Children and Exercise XI*, edited by Binkhorst R-A, Kemper H-C-G, Saris W-H-M, eds. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1985, p. 58-68.
60. Dargatz A: *Der Knipping Apparat Band II*. Hamburg: Herausgegeben von der Fabrik Medizin-Apparate, 1928.
61. Davies CTM, Barnes C, Godfrey S: Body composition and maximal exercise performance in children. *Hum Bio* 44: 195-214, 1972.
62. De Groot S, Schreurs A-W, van Schenau G-J: A portable lightweight Douglas Bag instrument for use during various types of exercise. *Int J Sports Med* 4: 132-134, 1983.
63. Degenhardt A: Die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme auf der Grundlage spirometrischer Messungen der Nachbelastungsatmung, edited by Staatsprüfung SHiRdE and II fdLfdS. Dortmund, 2003.
64. Dekerle J, Nesi X, Lefevre T, Depretz S, Sidney M, Marchand FH, Pelayo P: Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *Int J Sports Med* 26: 53-58, 2005.
65. Dekerle J, Sidney M, Hespel JM, Pelayo P: Validity and reliability of critical speed, critical stroke rate, and anaerobic capacity in relation to front crawl swimming performances. *Int J Sports Med* 23: 93-98, 2002.
66. Demarie S, Sardella F, Billat V, Magini W, Faina M: The VO₂ slow component in swimming. *Eur J Appl Physiol* 84: 95-99, 2001.
67. Deutscher-Schwimm-Verband: Kaderzeiten des Hamburger Schwimmverbandes. *swim & more* 03, 2002.
68. Deutscher-Schwimm-Verband: Kindgerechter Wettkampf im Schwimmen. *Verbandstag des Deutschen Schwimm-Verbands*, edited by Schwimmen F, 1993.
69. Deutscher-Schwimm-Verband: Schwimmsportliche Leistungstabelle 2001-2004. München: Deutscher-Schwimm Verband Wirtschaftsdienst GmbH, 2000.
70. Di Carlo L-J, Sparling P-B, Millard-Stafford M-L, Rupp J-C: Peak Heart Rates during Maximal Running and Swimming: Implications for Exercise Prescription. *Int J Sports Med* 12: 309-312, 1991.
71. Di Pietro L: Physical activity, body weight, and adiposity: an epidemiologic perspective. *Exerc Sport Sci Rev* 23: 275-303, 1995.
72. Di Prampero P-E: Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*: 88; 143-222, 1981.
73. Di Prampero P-E: The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med* 7: 55-72, 1986.

74. Di Prampero P-E, Pendergast D-R, Wilson D-W, Rennie D-W: Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol* 37: 1-5, 1974.
75. Diehl JM, Kohr H-U: *Deskriptive Statistik*.: Klotz-Verlag, 1994.
76. Eisele R, Köllmann F, Hutsteiner H, Simon G: Sauerstoffaufnahme während Fahrrad- und Laufbandergometrie. *Dtsch Z Sportmed* 47 (Sonderheft): 53-60, 1996.
77. Ekelund U, Poortvliet E, Nilsson A, Yngve A, Holmberg A, Sjostrom M: Physical activity in relation to aerobic fitness and body fat in 14- to 15-year-old boys and girls. *Eur J Appl Physiol* 85: 195-201, 2001.
78. Evans WJ: What is sarcopenia? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 50: 5-8, 1995.
79. Fahnenmann S: Aktuelle Talentsichtung am OSP Hamburg: Persönliches Gespräch,. Hamburg, 2002.
80. Faigenbaum AD, Westcott WL, Loud RL, Long C: The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics* 104: 5, 1999.
81. Faulkner JA, Dawson RM: Pulse rate after 50-meter swims. *Res Q* 37: 282-284, 1966.
82. Firby H: Feel of water. *Swimming World* 15: 32-33, 1974.
83. Fitzgerald MD, Tanaka H, Tran ZV, Seals DR: Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *J Appl Physiol* 83, 1997.
84. Flynn MG, Costill DL, Kirwan JP, Mitchell JB, Houmard JA, Fink WJ, Beltz JD, D'Acquisto LJ: Fat storage in athletes: metabolic and hormonal responses to swimming and running. *Int J Sports Med* 1990 Dec;11(6):433-40 11: 433-440, 1990.
85. Frank G: Koordinative Fähigkeiten im Schwimmen. Schorndorf, 1996.
86. Frester R: Mentale Fitness für junge Sportler. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht, 1999.
87. Friedmann B, Frese F, Bärtsch P: Ergospirometriesysteme vs. Douglas-Bag-Methode: Evaluation einer stationären und einer portablen Meßeinheit. *Dtsch Z Sportmed* 49 (Sonderheft 1): 67-70, 1998.
88. Gabriel H, Rothe G, Korpys M, Schmitz G, Kindermann W: Enhanced expression of HLA-DR, Fc gamma receptor 1 (CD64) and leukocyte common antigen (CD45) indicate activation of monocytes in regenerative training periods of endurance athlete. *Int J Sports Med* 18: 136-141, 1997.
89. Gaisl G: Genetische Komponenten des Sporttalents. *Leistungssport* 10: 144-149, 1980.
90. Garby L, Astrup A: The relationship between the respiratory quotient and the energy equivalent of oxygen during simultaneous glucose and lipid oxidation and lipogenesis. *Acta Physiol Scand* 129: 443-444, 1987.
91. Gettelfinger B, Cussler EL: Will Humans Swim Faster or Slower in Syrup? *AIChE J* 50: 2646-2647, 2004.
92. Granato L, Brandes A, Bruni C, Greco AV, Mingrone G: VO₂, VCO₂, and RQ in a respiratory chamber: accurate estimation based on a new mathematical model using the Kalman-Bucy method. *J Appl Physiol* 96: 1045-1054, 2004.
93. Green SD, Dawson B: Measurement of Anaerobic Capacities in Humans. *Sports Med* 15: 312-327, 1993.

94. Grimston SK, Hay JG: Relationships among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 18: 60-68, 1986.
95. Gutin B, Yin Z, Humphries MC, Barbeau P: Relations of moderate and vigorous physical activity to fitness and fatness in adolescents. *Am J Clin Nutr* 81: 746-750, 2005.
96. Haffor ASA, Bartels RL, Kirby TE, Hamlin RL, Kunz AL: Carbon dioxide storage capacity of endurance and sprint-trained athletes in exercise. *Arch int de Physiol et de Biochim* 2: 81-90, 1987.
97. Hansen K, Shriver T, Schoeller D: The effects of exercise on the storage and oxidation of dietary fat. *Sports Med* 35: 363-373, 2005.
98. Harris EF, Weinstein S, Weinstein L, Poole AE: Predicting adult stature: a comparison of methodologies. *Ann Hum Biol* 7: 225-234, 1980.
99. Harsanyi L, Martin M: Vererbung - Stabilität - Auswahl. *Leistungssport* 3: 9-11, 1986.
100. Heck H, Roskopf P: Grundlagen verschiedener Laktatschwellenkonzepte und ihre Bedeutung für die Trainingssteuerung. In: *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*, edited by Clasing D, Weicker H, Böning D. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994, p. 111-131.
101. Heigenhauser G-J: Estimation of cardiac output by the CO₂ rebreathing method during tethered swimming. *J Appl Physiol* 44: 821-824, 1978.
102. Hill AV: The physiological basis of athletic records. *Scientific monthly* 21: 409-428, 1925.
103. Hodge AM, Boyko EJ, de Courten M, Zimmet PZ, Chitson P, Tuomiletho J, Alberti KG: Leptin and other components of the Metabolic Syndrom in Mauritius - a factore analysis. *Int J Obes Relat Metab Disord* 25: 126-131, 2001.
104. Hoffman GM, Torres A, Forster HV: Validation of a volumeless breath-by-breath method for measurement of respiratory quotient. *J Appl Physiol* 75: 1903-1910, 1993.
105. Hohmann A, Carl K.: Zum Stand der sportwissenschaftlichen Talentforschung. In: *Talent im Sport*, edited by Hohmann A, Wick, D., Carl, K. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann, 2002, p. 3-30.
106. Hollmann W: 42 years ago--development of the concepts of ventilatory and lactate threshold. *Sports Med* 31: 315-320, 2001.
107. Hollmann W: Vor 40 Jahren: Ventilatorische und Laktatschwelle - Wie es dazu kam. *Dtsch Z Sportmed* 10: 323-326, 1999.
108. Hollmann W, Prinz J-P: Zur Geschichte und klinischen Bedeutung der kardipulmonalen Arbeitsuntersuchung unter besonderer Berücksichtigung der Spiroergometrie. *Z Kardiol* 83: 247-251, 1994.
109. Holmér I: Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol* 33: 502-509, 1972.
110. Holmér I: Swimming Physiology. *Ann Physiol Anthropol* 11: 269-276, 1992.
111. Holmér I, Lundin, A., Eriksson, B.O.: Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J Appl Physiol* 36: 711-714, 1974.

112. Holmér I, Seith, E.M., Saltin, B., Ekblom, B., Astrand, P.O.: Hemodynamic and respiratory response compared in swimming and running. *J Appl Physiol* 37: 49, 1974.
113. Hoppeler H, Howald H, Conley K, Lindstedt SL, Claassen H, Vock P, Weibel ER: Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle. *J Appl Physiol* 59: 329-327, 1987.
114. Horwitz LD, Atkins JM, Leshin SJ: Role of the Frank-Starling mechanism in exercise. *Circ Res* 31: 868-875, 1972.
115. Houston ME, Wilson DM, Green HJ, Thomson JA, Ranney DA: Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 46: 283-291, 1981.
116. Hughes EF, Turner SC, Brooks GA: Effects of glycogen depletion and pedaling speed on "anaerobic threshold". *J Appl Physiol* 52: 1598-1607, 1982.
117. Joch W: *Das sportliche Talent*. Aachen: Meyer & Meyer, 1997.
118. Joch W: Entwicklung als zentraler Begriff der Talentförderung. *Leistungssport* 6: 5-8, 1999.
119. Kahleyss S, Hoepffner W, Keller E, Willgerodt H: Die Ermittlung des Knochenalters durch die Methoden Greulich-Pyle und Tanner-Whitehouse als Grundlage für die Wachstumsprognose der Hochstaturmädchen. *Pediatr Grenzgeb* 29: 137-140, 1990.
120. Kennedy P, Brown P, Chengalur SN: Analysis of male and female Olympics swimmers in the 100-meter events. *Int J Sport Biomech* 6: 187-197, 1990.
121. Keskinen K-L, Komi P-V, Rusko H: A comparative study of blood lactate tests in swimming. *Int J Sports Med* 3: 197-201, 1989.
122. Keul S, Kindermann W, Simon G: Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik. *Leistungssport*: 22, 1978.
123. Keul S, Simon G, Berg A, Dickhuth H-H, Goerttler I, Kübel R: Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. *Dtsch Z Sportmed* 7: 212-218, 1979.
124. Kindermann W, Simon G, Keul J: The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 42: 25-34, 1979.
125. Kirch M-H: Sauerstoffaufnahme, Herzzeitvolumen und Diffusionskapazität bei Ausdauer- und Sprint- trainierten Läufern. Ulm: Universität Ulm (Dissertation), 1994.
126. Klemm U: Die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter. Köln: Sport und Buch Strauß, 1998.
127. Kliche D, Hildebrandt F: Lern- und Techniktraining im Kraulschwimmen unter Berücksichtigung wirkender Prinzipien und Formen der Vortriebserzeugung. In: *Fachbuchreihe der Deutschen Schwimmtrainer Vereinigung (18)*. Rüsselsheim, 2000, p. 94-101.
128. Knipping H-W: Ein einfacher Apparat zur exakten Gasstoffwechsellmessung. *Z Exp Med* 41: 363-378, 1924.
129. Koinzer K: Zur Geschlechtsdifferenzierung konditioneller Fähigkeiten und ihrer organischen Grundlagen bei untrainierten Kindern und Jugendlichen im Schulalter. *Medizin und Sport* 5: 144-150, 1978.
130. Köller O: Überprüfung von Zusammenhangshypothesen. In: *Forschungsmethoden - Untersuchungspläne - Techniken der Datenerhebung in der*

- Sportwissenschaft. Forschungsmethodologische Grundlagen.*, edited by Strauß BH, H. (Hrsg.). Schorndorf: Hofmann-Verlag, 1994, p. 149-166.
131. Kosar NS, Demirel HA: Physiological characteristics of child athletes. *Acta Orthop Traumatol Turc* 38: 1-15, 2004.
 132. Kreuzer JS, Marwitz JH, Seel R, Serio CD: Validation of a neurobehavioral functioning inventory for adults with traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil* 77: 116-124, 1996.
 133. Kromeyer K: Die Entwicklung der Körperhöhe bei Kindern zwischen 4 und 12 Jahren - Ergebnisse der Jenaer Längsschnittuntersuchung. *Anthrop Anz* 4: 327-340, 1994.
 134. Kruse B, Mende A: *Die Chronik 100 Jahre Olympische Spiele 1896 - 1996*. Gütersloh/München: Chronik Verlag, 1995.
 135. Kubukeli ZN, Noakes TD, Dennis SC: Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sports Med* 32: 489-509, 2002.
 136. Küchler J, Witt, M.: Zur Struktur von Sprintleistungen im Freistilschwimmen. *Leistungssport* 2: 45-51, 1996.
 137. Kuno S, Katsuta S, Akisada M, Anno I, Matsumoto K: Effect of strength training on the relationship between magnetic resonance relaxation time and muscle fibre composition. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 61: 33-36, 1990.
 138. Lavoie JM, Léger LA, Léone M, Provencher P: A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *J Swimming Research* 1: 17-22, 1985.
 139. Lavoie J-M, Léger LA, Montpetit R-R, Chabot S: Backward extrapolation of VO₂ from the O₂ recovery curve after a voluntary maximal 400m swim. In: *Biomechanics and medicine in swimming*, edited by Hollander AP, Huijing PA, de Groot G. Champaign: Human Kinetics, 1983, p. 222-227.
 140. Lavoie JM, Montpetit RR: Applied physiology of swimming. *Sports Med* 3: 165-189, 1986.
 141. Lavoie J-M, Taylor A, Montpetit R-R: Physiological effects of training in elite swimmers as measured by a free swimming test. *J Sport Med Phys Fitness* 21: 38-42, 1981.
 142. Lee EH, Chun M, Kang S, Lee HJ: Validation of the Functional Assessment of Cancer Therapy-General (FACT-G) scale for measuring the health-related quality of life in Korean women with breast cancer. *Jpn J Clin Oncol* 34: 393-399, 2004.
 143. Léger LA, Seliger V, Brassard L: Backward extrapolation of VO₂max from the O₂ recovery curve. *Med Sci Sports Exerc* 12: 24-27, 1980.
 144. Letzelter M: Der Beitrag der Trainingswissenschaft zur "Theorie des sportlichen Talents" (Problematik-Strategie-Lösung). In: *Leichtathletiktraining im Spannungsfeld von Wissenschaft und Praxis*, edited by Augustin D, Müller N. Niederhausen, 1981, p. 38-52.
 145. Liesen H, Ludemann E, Schmengler D, Föhrenbach R, Mader A: Trainingssteuerung im Hochleistungssport: Einige Aspekte und Beispiele. *Dtsch Z Sportmed* 26: 8-18, 1985.
 146. Linossier MT, Dormois D, Geysant A, Denis C: Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 75: 491-498, 1997.

147. Lucia A, Fleck SJ, Gotshall RW, Kearney JT: Validity and reliability of the Cosmed K4 instrument. *Int J Sports Med* 14: 380-386, 1993.
148. Mader A, Heck H, Hollmann W: Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle distance runners and swimmers. In: *Exercise physiology*, edited by Landry O. Miami: Symposia Specialists, 1978.
149. Mader A, Liesen H, Heck H, Philippi R, Rost P, Schürch P, Hollmann W: Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsgrenze im Labor. *Sportarzt und Sportmed* 27: 80-85; 109-113, 1976.
150. Maes M, Vandeweghe M, Du Caju M, Ernould C, Bourguignon JP, Massa G: A valuable improvement of adult height prediction methods in short normal children. *Horm Res* 48: 184-190, 1997.
151. Maglisco EW: *Swimming even faster*: Mountain View, 1993.
152. Malina RM: Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exerc Sports Sci Rev* 22: 389-433, 1994.
153. McArdle WD, William D, Katch FI, Katch VL: *Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance*. Baltimore, Maryland: Williams & Wilkins, 1996.
154. McGregor AH, Patankar ZS, Bull AM: Spinal kinematics in elite oarswomen during a routine physiological "step test". *Med Sci Sports Exerc* 37: 1014-1020, 2005.
155. Medbø JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM: Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol* 64: 50-60, 1988.
156. Meinel K, Schnabel G: *Bewegungslehre - Sportmotorik*. Berlin, 1998.
157. Mentzel HJ, Vilser C, Eulenstein M, Schwartz T, Vogt S, Bottcher J, Yaniv I, Tsoref L, Kauf E, Kaiser WA: *Assessment of skeletal age at the wrist in children with a new ultrasound device.*, 2005.
158. Mercier J, Vago P, Ramonatxo M, Bauer C, Prefaut C: Effect of aerobic training quantity on the VO₂ max of circumpubertal swimmers. *Int J Sports Med* 8: 26-30, 1987.
159. Meyer T, Kindermann W: Die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max). *Dtsch Z Sportmed* 9: 285-286, 1999.
160. Millet GP, Chollet D, Chabies S, Chatard JC: Coordination in Front Crawl in Elite Triathletes and Elite Swimmers. *Int J Sports Med* 23: 99-104, 2002.
161. Miranda-Linne FM, Melin L: A factor analytic study of the Autism Behavior Checklist. *J Autism Dev Disord* 32: 181-188, 2002.
162. Mitchell JB, Huston JS: The effect of high- and low-intensity warm-up on the physiological responses to a standardized swim and tethered swimming performance. *J Sports Sci* 11: 159-165, 1993.
163. Miyashita M: Method of calculating mechanical power in swimming the breast stroke. *Res Q* 45: 128-137, 1974.
164. Montpetit R, Léger LA, Lavoie J-M: VO₂ peak during free swimming using the backward extrapolation of the O₂ recovery curve. *Eur J Appl Physiol* 47: 385-391, 1981.
165. Moody DL, Kollias J, Buskirk ER: Evaluation of aerobic capacity in lean and obese women with four test procedures. *J Sport Med* 1: 1, 1969.
166. Nikolic Z, Todorovic MD, Todorovic B: Year round training effects on swimmers' heart rate during bicycle ergometer and swimming exercise. *J Sports Med* 22: 85-94, 1982.

167. Nowak B: Contents and relationship of elements in human hair for a non-industrialised population in Poland. *Sci Total Environ* 209: 59-68, 1998.
168. Obert P, Courteix D, Lecoq AM, Guenon P: Effect of long-term intense swimming training on the upper body peak oxygen uptake of prepubertal girls. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 73: 136-143, 1996.
169. Obert P, Stecken F, Courteix D, Lecoq AM, Guenon P: Effect of long-term intensive endurance training on left ventricular structure and diastolic function in prepubertal children. *Int J Sports Med* 19: 149-154, 1998.
170. Olbrecht J, Madsen O, Mader A, Liesen H, Hollmann W: Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises. *Int J Sports Med* 6: 74-77, 1985.
171. Ordway GA: Molecular regulation of the trainings response: New techniques to study old questions. *5th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Jyvaskyla, 2000.
172. Palatsi IJ, Niemelae KO, Takkunen JT: Pulmonary function and maximal oxygen uptake in sprinters and endurance runners. *Scand J Sports Sci* 2: 59-62, 1980.
173. Pansold B, Zinner J: Analysis and Validity of Sportspecific and Ergometric Incremental Test Programmes. In: *Advances in Ergometry*, edited by Bachl N, Graham TE and Löllgen H. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1991.
174. Pansold B, Zinner J: Die Laktatleistungskurve - ein Analyse- und Interpretationsmodell der Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In: *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*, edited by Clasing D, Weicker H, Böning D. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994, p. 47-64.
175. Parizkova J, Buzkova P: Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. *Hum Biol* 43: 16-21, 1971.
176. Parizkova J, Roth Z: The assessment of depot fat in children from skinfold thickness measurements by Holtain (Tanner-Whitehouse) caliper. *Hum Biol* 44: 613-620, 1972.
177. Pavlou KN, Steffee WP, Lerman RH, Burrows BA: Effects of dieting and exercise on lean body mass, oxygen uptake, and strength. *Med Sci Sports Exerc* 17: 466-471, 1985.
178. Pelayo P, Wille F, Sidney M, Berthoin S, Lavoie JM: Swimming performance and stroking Parameters in non skilled grammar school pupils: relation with age, gender and some anthropometric characteristics. *J Sports Med phys Fitness* 37: 187-193, 1997.
179. Pendergast DR, di Prampero PE, Craig AB, Rennie DW: Energetics of locomotion in man. In: *Exercise physiology*, edited by Landry F, Orban, W.A.R. (Hrsg). Miami: Symposia Specialists, 1978.
180. Petersen B: *Vasmotorische Reaktion und Tauchreflex*. Kiel: Universität Kiel, 1975.
181. Peyrebrune M, Toubekis A, Lakomy H, Nevill M: Estimating the energy contribution during single and repeated high intensity tethered swimming. In: *Perspectives and Proles. 6th Annual Congress of the European College of Sport Science, Book of Abstracts.*, edited by Mester J, King, G., Strüder, H., Tsolakidis, E., Osterburg, A. (Eds.). Köln: Sport und Buch Strauss., 2001.

182. Predel HG, Tokarski W: Einfluss körperlicher Aktivität auf die menschliche Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 48: 833-840, 2005.
183. Pyle SI, Waterhouse AM, Greulich WW: Attributes of the radiographic standard of reference for the National Health Examination Survey. *Am J Phys Anthropol* 35: 331-337, 1971.
184. Ramcke C: Spiroergometrie im Strömungskanal - Ein Vergleich metabolischer, kardiozirkulatorischer und respiratorischer Parameter zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern -. Hamburg: Universität Hamburg (Diplomarbeit; FB Sportwissenschaft), 2001.
185. Reer R, Fromme A, Brechtel L, Weber I, Jerosch J, Simon G: Belastungsprofil bei Erwachsenen und Jugendlichen im Triathlon. *Dtsch Z Sportmed* 49: 151-156, 1998.
186. Reer R, Holz J, Rudolph K, Braumann K-M. The role of spiroergometry in the swim flume as a tool of performance diagnostic. *4th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Rome, 1999.
187. Reer R, Ramcke C, Rudolph K, Braumann K-M: Spiroergometrie im Strömungskanal: Vergleich der Schwimmökonomie sowie metabolisch-kardiozirkulatorischer Parameter zwischen ausdauertrainierten und sprintorientierten Schwimmern. *Dtsch Z Sportmed* 52: 75, 2001.
188. Reer R, Schmidt B, Rudolph K, Braumann K-M: The application of the rebreathing method during swim spiroergometry in the swimming flume and swimming pool. *Int J Sports med* 20: 26, 1999.
189. Revenstorf D: Lehrbuch der Faktorenanalyse. Stuttgart: Kohlhammer, 1976, p. 316.
190. Ricoy JR, Encinas AR, Cabello A, Madero S, Arenas J: Histochemical study of the vastus lateralis muscle fibre types of athletes. *J Physiol Biochem* 54: 41-47, 1998.
191. Rivera MA, Albarran MA, Torres N: Stroke rate, distance per stroke, and velocity in infantile and juvenile swimmers.: Microform Publ., 1986.
192. Roberts AD, Strauss GR, Fitch KD, Richardson NJ: Characteristics of sprint athletes. *Med Sci Sports* 11: 94, 1979.
193. Roche AF, Wainer H, Thissen D: The RWT method for the prediction of adult stature. *Pediatrics* 56: 1027-1033, 1975.
194. Röcker K, Dickhuth H-H: Spiroergometrische Meßgrößen in der sportart-spezifischen Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung. *Leistungssport* 6: 44-49, 1996.
195. Rodriguez F, Keskinen K, Keskinen O: Aerobic cost of crawl swimming during an incremental pool test measured by breath-by-breath gas analysis. In: *Perspectives and Proles. 6th Annual Congress of the European College of Sport Science, Book of Abstracts.*, edited by Mester J, King G, Strüder H, Tsolakidis E, Osterburg A (Eds.). Köln: Sport und Buch Strauss., 2001, p. 532.
196. Rodriguez FA: Cardiorespiratory and metabolic field testing in swimming and water polo.: In: *From physiological concepts to practical methods. Biomechanics and medicine in swimming VIII.*, edited by Keskinen KL, Komi PV, Hollander AP (Eds.). Jyväskylä, Finland: Gummerus Printing, 1999, p. 219-226.

197. Rodriguez FA: Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400m free swimming, running and cycling test in competitive swimmers. *J Sports Med Phy Fitness* 40: 87-95, 2000.
198. Rogers MA, Evans WJ: Changes in skeletal muscle with aging: effects of exercise training. *Exerc Sport Sci Rev* 21: 65-102, 1993.
199. Roston WL, Whipp BJ, Davis J, Cunningham DA, Effros RM, Wasserman K: Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis* 135: 1080-1084, 1987.
200. Rudolph K: Analyse der Entwicklung des internationalen und nationalen Schwimmsports bei besonderer Berücksichtigung der Olympischen Spiele in Sydney 2000. *Leistungssport* 1, 2001.
201. Rudolph K: Anleitung zur Körpermessung im Schwimmen nach Wutscherk bei Beachtung der Hinweise von Martin sowie Durchschnittswerte (DDR 86). Hamburg, 1994.
202. Rudolph K: Konzeption zur Talentsuche und Talentförderung im HSV, 1992.
203. Rudolph K: Leistung und Wachstum (Zur objektiven Einschätzung der Leistung von Kindern und Jugendlichen im Schwimmen). Hamburg, 1994.
204. Rudolph K: Modeltraining im Schwimmkanal. *Leistungssport* 2: 19-21, 1996.
205. Rudolph K: Nutzen und Probleme anthropometrischer Messungen im Leistungssport am Beispiel der Junioreneuropameisterschafts-Kader des DSV. *Leistungssport* 6: 35-40, 1996.
206. Saborowski C, Alfermann D, Würth S: Das motivationale Trainingsklima - soziale Einflußgröße im Entwicklungsverlauf sporttreibender Kinder und Jugendlicher? *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge* 40: 74-103, 1999.
207. Schuck H: Psychologische Einflußnahme auf die Schwimmtechnik. In: *Schwimmen*, edited by Pfeifer H, Gundlach, H. (Hrsg.). Berlin: Sportverlag Berlin, 1991, p. 113-126.
208. Schwarz O, Schröder J, Reer R, Braumann KM: Prognostizierbarkeit der Marathon Endzeit aus einem Laktat-Feldtest? *Dtsch Z Sportmed* 56: 203, 2005.
209. Shepard RJ, Godin G, Campell R: Characteristics of sprint, medium and long distance swimmers. *Europ J Appl Physiol* 32: 99-116, 1974.
210. Silbernagel S: *Taschenatlas der Physiologie*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 1991.
211. Simon G: Laktat zur aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik im Schwimmen. In: *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik*, edited by Clasing D, Weicker, H., Böning, D. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994, p. 81-87.
212. Simon G: Trainingssteuerung im Schwimmsport. *Dtsch Z Sportmed* 12: 376-379, 1996.
213. Simon G, Thiesmann M: Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Schwimmsport. *Leistungssport* 3: 29-31, 1986.
214. Simon G, Thiesmann M, Frohberger U, Clasing D: Ergometrie im Wasser - eine neue Form der Leistungsdiagnostik bei Schwimmern. *Dtsch Z Sportmed* 1: 5-13, 1983.
215. Skinner J, Mc Lellan T: The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Quart Exer Sport* 51: 234-248, 1980.

216. Sleivert G, Mackinnon LT: The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 63: 135-139., 1991.
217. Smith BW, McMurray RG, Symanski JD: A comparison of the anaerobic threshold of sprint and endurance trained swimmers. *J Sports Med* 24: 94-99, 1984.
218. Smith DJ, Norris SR, Hogg JM: Performance Evaluation of Swimmers. *Sports Med* 32: 539-554, 2002.
219. Spurgeon JH: Measures of physique and nutrition on outstanding male swimmers. *Swimming Technique* 15: 26-32, 1978.
220. Spurgeon JH: Physique of world-class female swimmers. *Scan J Sports Sci* 6: 11-14, 1984.
221. Statistisches-Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2050, 10. koordinierte Bevölkerungsberechnung; Presseexemplar. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2003.
222. Stegemann H, Kindermann W: Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol l⁻¹ lactate. *Int J Sports Med* 3: 105-110, 1982.
223. Tanaka K: Lactate-related factors as a critical determinant of endurance. *Ann Physiol Anthropol* 9: 191-202, 1990.
224. Tanaka K, Takeshima N, Kato T, Niihata S, Ueda K: Critical determinants of endurance performance in middle-aged and elderly endurance runners with heterogeneous training habits. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 59: 443-449, 1990.
225. Tanner JM, Whitehouse RH: A note on the bone age at which patients with true isolated growth hormone deficiency enter puberty. *J Clin Endocrinol Metab* 41: 788-790, 1975.
226. Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, Carter BS: Prediction of adult height from height, bone age, and occurrence of menarche, at ages 4 to 16 with allowance for midparent height. *Arch Dis Child* 50: 14-26, 1975.
227. Taylor HL, Buskirk E, Henschel A: Maximal Oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol* 8: 73-80, 1955.
228. Theintz GE, Howald H, Allemann Y, Sizonenko PC: Growth and pubertal development of young female gymnasts and swimmers: a correlation with parental data. *Int J Sports Med* 10: 87-91, 1989.
229. Thieß G: Die Auswahl sportlicher Talente in der DDR. *Leistungssport* 5: 11-14, 1989.
230. Thomas SA, Lynch JJ, Friedmann E, Suginochara M, Hall PS, Peterson C: Blood pressure and heart rate changes in children when they read aloud in school. *Public Health Rep* 99: 77-84, 1984.
231. Tomai F, Ciavolella M, Gaspardone A, De Fazio A, Basso EG, Giannitti C, Scali D, Versaci F, Crea F, Gioffre PA: Peak exercise left ventricular performance in normal subjects and in athletes assessed by first-pass radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 70: 531-535, 1992.
232. Toussaint H-M, Beelen A, Rodenburg A, Sargeant A-J, De Groot G, Hollander A-P, Ingen-Schenau G-J: Propelling efficiency of front-crawl swimming. *Am Physiol Soc* 65: 2506-2515, 1988.
233. Toussaint H-M, Hollander P: Energetics of Competitive Swimming. *Sports Med* 18: 384-405, 1994.

234. Toussaint HM, Knops W, de Groot G, Hollander AP: The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc* 22: 402-408, 1990.
235. Toussaint H-M, Meulemans A, de Groot G, Hollander A-P, Schreurs A-W, Vervoorn K: Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol* 56: 363-366, 1987.
236. Ungerechts B: Über den Wert der Zugzahlermittlung im Schwimmsport. *Theor Prax Leistungssport* 4: 130-135, 1980.
237. Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W: Individuelle anaerobe Schwelle und Laktat steady state bei Ausdauerbelastungen. In: *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik.*, edited by Clasing D, Weicker H, Böning D. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994, p. 37-46.
238. Wakayoshi K, D'Acquisto LJ, Cappaert JM, Troup JP: Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *Int J Sports Med* 16: 19-23, 1995.
239. Wakayoshi K, Yoshida T, Udo M, Kasai T, Moritani T, Mutoh Y, Miyashita M: A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med* 13: 367-371, 1992.
240. Wakayoshi K, Yoshida T, Ikuta Y, Mutoh Y, Miyashita M: Adaptations to six months of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *Int J Sports Med* 14: 368-372, 1993.
241. Walzer C, Strass D: Theoretische Begründung der Effizienz kurviger Armbewegungen. In: *Schwimmen 2000-III - Aktuelle Forschungsansätze und -ergebnisse in Theorie und Praxis* -, edited by Strass D, Reischle K (Hrsg.). Schopfheim: Uhlin, 1999, p. 19-32.
242. Wassermann K, Beaver WL, Whipp BJ: A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60: 2020-2027, 1986.
243. Wassermann K, Springer WW, Casaburi R, Koike A, Cooper CB: Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Z Kardiol* 83: 1-12, 1994.
244. Weineck J: Sportbiologie. Balingen: Perimedspitta. Med. Verl.-Ges, 1996.
245. Weiss M, Reischle K: Energieumsatz und Leistungsmessung bei Schwimmern. *Leistungssport* 3: 5-8, 1986.
246. Wilke K: Zur Ausbildung der schwimmerischen Bewegungstechnik: Ein koordinations-theoretischer Ansatz. In: *Schwimmen 2000-III. 3. Fachtagung vom 07. bis 09.10.1998 in Herzogenhorn*, edited by Strass D, Reischle K. Herzogenhorn: Verlag Uhlin, 1999, p. 47-59.
247. Wilke M, Madsen Ø. Das Training des jugendlichen Schwimmers. Schorn-dorf: Karl Hofmann, 1997.
248. Williams CA, Carter H, Jones AM, Doust JH: Oxygen uptake kinetics during treadmill running in boys and men. *J Appl Physiol* 90: 1700-1706, 2001.
249. Wolfe RR: Fat metabolism in exercise. *Adv Exp Med Biol* 441: 147-156, 1998.
250. Wolfen S: Experimentell SCL 90-R Modifikation und Erweiterung. Hamburg: Universität Hamburg, Dissertation, 2005.
251. Wolfram P: Technikanalyse. In: *HSV-Tainerausbildung*. Hamburg, 2004.

252. Wutscherk H: Aussagen und Möglichkeiten körperbautypologischer Bestimmungen bei jugendlichen Sportlern. *Arztl Jugendkd* 74: 330-344, 1983.
253. Wutscherk H: Die Anthropometrie in der Praxis des Kreissportarztes. Leipzig: Deutsche Hochschule für Körperkultur Leipzig, 1985.
254. Wutscherk H: Die Bestimmung des biologischen Alters. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 23: 159-170, 1974.
255. Wutscherk H: Zur Schätzung des biologischen Alters mittels anthropometrischer Indizes. *Theorie und Praxis der Körperkultur* 21: 48-73, 1972.
256. Yanagiya T, Kanehisa H, Tachi M, Kuno S, Fukunaga T: Mechanical power during maximal treadmill walking and running in young and elderly men. *Eur J Appl Physiol* 92: 33-38, 2004.
257. Yasser M: Spiroergometrie im Strömungskanal Vergleich metabolischer, kardiozirkulatorischer und respiratorischer Parameter bei Schwimmern unterschiedlicher Leistungsstärke. Hamburg: Universität Hambrug (Dissertation), 2003.
258. Yoshido T, Chida M, Ichioka M, Suda Y: Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur J Appl Physiol* 56: 7-11, 1987.
259. Zaciorskij V-M, Bulgakowa N-S, Ragimow R-M, Segijonko L-P: Das Problem des Talents und der Talentsuche im Sport: Richtung und Methodologien der Untersuchung. *Leistungssport* 4: 239-251, 1974.
260. Zamparo P, Capelli C, Cautero M, di Nino A: Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol* 83: 487-491, 2000.
261. Zempel C: Eureka, I've found it! The physics of swimming faster. *Triathlete* 18: 16, 1993.
262. Ziegler R: Serie Olympiastützpunkte (XII) OSP Hamburg/Kiel - Schwimmhochburg und mehr. *Sport und Medizin* 6: 207-211, 1994.
263. Zintl F: Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. München, Wien, Zürich: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1997.

6. Anhang

6.1 Danksagung

Für die hervorragende wissenschaftliche Betreuung bei der Erstellung dieser Dissertation möchte mich bei Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann bedanken. Bei der Ausarbeitung der Dissertation standen mir von Anfang an jederzeit sein Mitarbeiter Prof. Dr. med. Rüdiger Reer und später auch Dr. med. Marc Ziegler bei allen Problemen mit konstruktiven Ratschlägen zur Seite.

Bei den Mitarbeitern und Verantwortlichen des Olympiastützpunktes Hamburg/Schleswig Holstein, insbesondere bei Dr. Klaus Rudolph, Dr. Dieter Kliche, Ingrid Unkelbach und den verantwortlichen Trainern möchte ich mich für die Erlaubnis der Durchführung meiner Untersuchungen bedanken.

Ferner möchte ich mich bei Marlena Grudniak und Heike Lemberger für die technische Assistenz im Labor, bei Nicole Schwarz und Melanie Mohnke für ihre Hilfe bei den Messungen in der Schwimmhalle, bei Jan Schröder für die Unterstützung beim Ausarbeiten der Statistik und bei Regina Kruse und allen Mitarbeitern im Sekretariat für die organisatorische Unterstützung bedanken.

Nicht zuletzt danke ich ganz herzlich meiner Lebensgefährtin Nina Kulicke, die mich immer unterstützt und motiviert und viel Verständnis und Geduld für die Arbeit an meiner Dissertation aufgebracht hat.

6.2 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Christoph Ramcke
Geburtsdatum: 28.08.1974
Geburtsort: Hamburg
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig

Schulbildung

1981 - 1985: Grundschule Furtweg
1985 - 1994: Gymnasium Albrecht – Thaer
1994: Abitur
1994 – 1995: Auslandsaufenthalt in Australien

Studium

10/1995 – 02/2001: Studium der Diplom-Sportwissenschaft mit dem Nebenfach Medizin
02/2001: Verleihung des akademischen Grades eines Diplom-Sportwissenschaftlers. Gesamtnote der Diplomprüfung: 1,0
Diplomarbeitsthema: „Vergleich zwischen ausdauerorientierten und sprintorientierten Schwimmern im Strömungskanal“
04/2001-2006: Promotion am Fachbereich Sportwissenschaft der Universität Hamburg.
Promotionsthema: „Talentsichtung im Schwimmsport auf der Grundlage metabolischer, kardiozirkulatorischer und respiratorischer Parameter insbesondere in Bezug auf eine zu prognostizierende Ausdauer- bzw. Sprintversiertheit“

Praktika

28.09.-16.10.1998: Praktikum im Rehabilitationszentrum Schenefeld
12.07.-06.08.1999: Praktikum in der Bewegungsmedizin des Fachbereichs Sportwissenschaft der Universität Hamburg

Zusatzqualifikationen

- 06/1997 – 06/1998: Organisationsleiterlizenzausbildung beim DSV
- 04/2000 – 06/2000: Moderatorenausbildung beim BKK Bundesverband
- 03/1996 – 03/1997: Trainer - C Lizenz beim Hamburger Schwimmverband
- 10/1997: Jugendgruppenleiterausbildung bei der Hamburger Sportjugend
- 02/2004 – 06/2004: Trainer - B Lizenz beim Hamburger Schwimmverband

Veröffentlichungen

- 09/2001: Reer, R.; Ramcke, C.; Rudolph, K.; Braumann, K.M.: Spiroergometrie im Strömungskanal: Vergleich der Schwimmökonomie sowie metabolisch-kardiozirkulatorischer Parameter zwischen ausdauerorientierten und sprintorientierten Schwimmern. 37. Deutscher Kongress für Sportmedizin und Prävention 2001.
- 05/2002: Reer, R.; Ramcke, C.; Rudolph, K.; Braumann, K.M.: Differences in swimming economy and metabolic-cardiocirculatory parameters between endurance and sprint swimmers. American College of Sports Medicine, 49th Annual Meeting; Med Sci Sports Exerc: 34 (5) 2002, 238
- 07/2002: Reer, R.; Ramcke, C.; Rudolph, K.; Braumann, K.M.: Spiroergometry in the swim flume: Determination of technical and physiological abilities. 7th Annual Congress of the European College of Sport Science: Athen 2002
- 09/2003: Reer, R.; Ramcke, C.; Rudolph, K.; Braumann, K.M.: Gibt es Unterschiede bei der Zugfrequenz zwischen sprint- und ausdauertrainierten Schwimmern? 37. Deutscher Kongress für Sportmedizin und Prävention 2001.
- 10/2003: Reer, R.; Ramcke, C.; Rudolph, K.; Braumann, K.M.: Spiroergometry in the swim flume: Do endurance and sprint swimmers have a different stroke rate? VIIth IOC Olympic World Congress on Sport Sciences: Book of abstracts. Athen 2003.

6.3 Erklärung

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Dissertation von mir ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst wurde und ich nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ferner versichere ich, dass ich weder mit dieser noch einer anderen Arbeit anderenorts eine Doktorprüfung beantragt habe.

Christoph Ramcke