

**Der Einfluss eines Apnoe-Trainings auf die  
Sauerstoffkinetik in der Nachbelastungsphase bei einem  
50m Freistil-Sprint in Abhängigkeit von der Atemfrequenz**

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

vorgelegt von  
Melanie Mohnke  
geboren am 29.09.1974 in Pinneberg

1. Gutachter: Prof. Dr. K.-M. Braumann
2. Gutachter: Prof. Dr. R. Reer

Disputation am 16.07.2009

Hamburg, 2008

# INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	V			
TABELLENVERZEICHNIS	XII			
1	EINLEITUNG	1		
	1.1	Erläuterung des Themas	1	
	1.2	Bedeutung dieser Arbeit	4	
	1.3	Ziel der vorliegenden Studie	9	
2	MATERIAL UND METHODEN	11		
	2.1	Probanden	11	
	2.2	Vergleichbarkeit der Probanden	13	
	2.3	Studiendesign	16	
	2.4	Apnoe-Training	24	
	2.5	Schwimmbecken	24	
	2.6	Spirometrie- und Nachatmungsmethode	25	
	2.7	Bestimmung der VO <sub>2</sub> -Werte	26	
	2.8	Bestimmung der spezifischen Sauerstoffmenge	27	
	2.9	Laktatmessung	31	
	2.10	Kritik an der Methode	32	
	2.11	statistische Auswertungen	35	
3	ERGEBNISSE	36		
	3.1	Sauerstoffaufnahme	36	
		3.1.1	Ruhe-RQ	36
		3.1.2	Erfassung der Messwerte	37
		3.1.3	Vergleich der Sauerstoffaufnahme	40
	3.2	Herzfrequenz	58	
		3.2.1	Ruhe-Herzfrequenz	58
		3.2.2	Vergleich der Herzfrequenz	60

3.3	Laktat	66
3.3.1	Ruhe-Laktat	66
3.3.2	Vergleich der Laktatwerte	68
3.4	Zeiten	73
3.5	Armzugfrequenzen	77
3.6	Borg-Werte	80
3.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	85
3.7.1	Gesamtgruppe	85
3.7.2	Trainingsgruppe	86
3.7.3	Kontrollgruppe	87
3.7.4	Gruppe der Sprinter	88
3.7.5	Ausdauergruppe	88
4	DISKUSSION	90
4.1	Vergleichbarkeit der Daten	90
4.2	Sauerstoffaufnahme	91
4.2.1	Sauerstoffaufnahme in Ruhe	91
4.2.2	Sauerstoffaufnahme in der ersten Nachbelastungsminute	91
4.2.3	Sauerstoffaufnahme zwischen Sekunde 60 und 300 der Nachbelastungszeit	96
4.3	Herzfrequenz	98
4.4	Laktat	101
4.5	Zeiten	104
4.6	Armzugfrequenzen	107
4.7	Borg-Werte	109
4.8	Schlussfolgerung	111
5	ZUKÜNFTIGE FRAGESTELLUNGEN	112

6	ZUSAMMENFASSUNG	113
6.1	Zusammenfassung (Kurz)	116
6.2	Abstract	118
7	LITERATUR	119
8	ANHANG	128
8.1	Erfassungsbögen	128
8.2	Tabellen und Abbildungen	131
8.3	Danksagung	202
8.4	Lebenslauf	203
8.5	Erklärung	205

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<b>Abbildung 1:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht zwischen Sprint mit Atmung und ohne Atmung in der ersten Minute nach Belastungsende (n=12)	7
<b>Abbildung 2:</b> Bestimmung der spirometrischen Werte und der Herzfrequenz in Ruhe	17
<b>Abbildung 3:</b> Bestimmung des Ruhelaktats	18
<b>Abbildung 4:</b> Sportler unmittelbar nach Belastungsende beim Anschlag	19
<b>Abbildung 5:</b> Sportler mit Spirometriegerät bei der Herzfrequenzbestimmung	20
<b>Abbildung 6:</b> Sportler nach der Belastung mit Spirometriegerät bei der Laktatabnahme	21
<b>Abbildung 7:</b> Borg-Skala	22
<b>Abbildung 8:</b> zeitliche Abfolge der Untersuchung	22
<b>Abbildung 9:</b> spezifischer Volumenstrom für einen Sprint mit Atmung	27
<b>Abbildung 10:</b> spezifischer Volumenstrom für einen Sprint mit Atmung im Original und ermittelt durch eine Ausgleichsfunktion	28
<b>Abbildung 11:</b> spezifischer Volumenstrom für einen Sprint mit Atmung im Original und ermittelt durch eine um eine Konstante erweiterte Ausgleichsfunktion	29
<b>Abbildung 12:</b> spezifischer Volumenstrom für einen Sprint ohne Atmung im Original und ermittelt durch die erweiterten Ausgleichsfunktionen	30
<b>Abbildung 13:</b> Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Sprint mit und ohne Atmung (n=14)	36
<b>Abbildung 14:</b> Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 (n=14)	37
<b>Abbildung 15:</b> Beispiel des Trendlinienverlaufs nach mathematischer Extrapolation für den Sprint mit und ohne Atmung	40
<b>Abbildung 16:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gesamtgruppe (n=14)	41
<b>Abbildung 17:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	42

<b>Abbildung 18:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde in der Gesamtgruppe (n=14)	43
<b>Abbildung 19:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Trainingsgruppe (n=6)	44
<b>Abbildung 20:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	45
<b>Abbildung 21:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde	45
<b>Abbildung 22:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Kontrollgruppe (n=8)	46
<b>Abbildung 23:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	47
<b>Abbildung 24:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde	47
<b>Abbildung 25:</b> Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6) und der Kontrollgruppe (n=8)	48
<b>Abbildung 26:</b> Vergleich $\Delta VO_2\text{max}$ zwischen Trainingsgruppe (n=6) und Kontrollgruppe (n=8) für den Sprint ohne Atmung (ohne) und mit Atmung (mit)	49
<b>Abbildung 27:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gruppe der Sprinter (n=7)	50

<b>Abbildung 28:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	50
<b>Abbildung 29:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde	51
<b>Abbildung 30:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Ausdauergruppe (n=7)	52
<b>Abbildung 31:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	53
<b>Abbildung 32:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde	53
<b>Abbildung 33:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2	54
<b>Abbildung 34:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2	55
<b>Abbildung 35:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2	56
<b>Abbildung 36:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2	56
<b>Abbildung 37:</b> Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	57

<b>Abbildung 38:</b> Vergleich $\Delta VO_2\text{max}$ zwischen den Sprintern und der Ausdauergruppe (n=7) für den Sprint ohne Atmung (ohne) und mit Atmung (mit)	57
<b>Abbildung 39:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)	58
<b>Abbildung 40:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen den Zeitpunkten (ZP) 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)	59
<b>Abbildung 41:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) (n=14)	60
<b>Abbildung 42:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	61
<b>Abbildung 43:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	62
<b>Abbildung 44:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	63
<b>Abbildung 45:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	64
<b>Abbildung 46:</b> Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint ohne Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	65
<b>Abbildung 47:</b> Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	65
<b>Abbildung 48:</b> Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)	66



<b>Abbildung 49:</b> Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen den Zeitpunkten (ZP) 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)	67
<b>Abbildung 50:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) (n=14)	68
<b>Abbildung 51:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	69
<b>Abbildung 52:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	70
<b>Abbildung 53:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	70
<b>Abbildung 54:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	71
<b>Abbildung 55:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	72
<b>Abbildung 56:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) als Gesamtüberblick (n=28) und unterschieden nach Sprint ohne bzw. mit Atmung zu den beiden Zeitpunkten ZP1 und ZP2	73
<b>Abbildung 57:</b> Vergleich der Endzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	74
<b>Abbildung 58:</b> Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	75

<b>Abbildung 59:</b> Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	76
<b>Abbildung 60:</b> Vergleich der Differenz der Zeiten (delta t) zwischen den 25m Teilstrecken zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	77
<b>Abbildung 61:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	78
<b>Abbildung 62:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	79
<b>Abbildung 63:</b> Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	80
<b>Abbildung 64:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) (n=14)	81
<b>Abbildung 65:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	82
<b>Abbildung 66:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	83
<b>Abbildung 67:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	83
<b>Abbildung 68:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)	84

<b>Abbildung 69:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe der Sprinter (n=3) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	173
<b>Abbildung 70:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe der Sprinter (n=4) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	173
<b>Abbildung 71:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauertrainingsgruppe (n=3) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	174
<b>Abbildung 72:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauerkontrollgruppe (n=4) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute	174

## TABELLENVERZEICHNIS

<b>Tabelle 1:</b> Anthropometrische Daten der Gruppen Sprinter und Ausdauerathleten	12
<b>Tabelle 2:</b> Anthropometrische Daten der Trainings- und Kontrollgruppe.	12
<b>Tabelle 3:</b> Vergleich des Körperfettanteils zu den verschiedenen Testzeitpunkten (n=14)	14
<b>Tabelle 4:</b> Vergleich des Körperfettanteils zwischen der Trainings- (TG, n=6) und Kontrollgruppe (KG, n=8)	14
<b>Tabelle 5:</b> Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Sprint mit und ohne Atmung (n=14)	14
<b>Tabelle 6:</b> Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 (n=14)	14
<b>Tabelle 7:</b> Vergleich der Anforderungsprofile „Sprint“ und „Ausdauer“ innerhalb der einzelnen Gruppen (n=14)	15
<b>Tabelle 8:</b> Vergleich der Anforderungsprofile „Sprint“ (50m) und „Ausdauer“ (400m)	15
<b>Tabelle 9:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatwerte beider Gruppen (n=28)	16
<b>Tabelle 10:</b> Zeitliche Abfolge der verschiedenen Messparameter.	23
<b>Tabelle 11:</b> Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Sprint mit und ohne Atmung (n=14)	36
<b>Tabelle 12:</b> Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 (n=14)	37
<b>Tabelle 13:</b> benötigte Zeit (Maskenzeit), dem Schwimmer die Maske aufzusetzen (n=14)	38
<b>Tabelle 14:</b> Maskenzeit zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (n=14)	38
<b>Tabelle 15:</b> Zeit, nachdem der erste realistische Wert VO <sub>2</sub> vorlag (n=14)	39
<b>Tabelle 16:</b> Zeit des ersten realistischen Wertes VO <sub>2</sub> zu den verschiedenen Zeitpunkten (n=14)	39
<b>Tabelle 17:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)	58

<b>Tabelle 18:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen den Zeitpunkten 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)	59
<b>Tabelle 19:</b> Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)	66
<b>Tabelle 20:</b> Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen den Zeitpunkten 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)	67
<b>Tabelle 21:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gesamtgruppe (n=14)	131
<b>Tabelle 22:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gesamtgruppe (n=14)	131
<b>Tabelle 23:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)	131
<b>Tabelle 24:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)	132
<b>Tabelle 25:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gesamtgruppe (n=14)	132
<b>Tabelle 26:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gesamtgruppe (n=14)	133
<b>Tabelle 27:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)	135
<b>Tabelle 28:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)	136

<b>Tabelle 29:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Trainingsgruppe (n=6)	138
<b>Tabelle 30:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Trainingsgruppe (n=6)	138
<b>Tabelle 31:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6) in	138
<b>Tabelle 32:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)	139
<b>Tabelle 33:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Trainingsgruppe (n=6)	139
<b>Tabelle 34:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Trainingsgruppe (n=6)	141
<b>Tabelle 35:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)	142
<b>Tabelle 36:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)	144
<b>Tabelle 37:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Kontrollgruppe (n=8)	145
<b>Tabelle 38:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Kontrollgruppe (n=8)	145
<b>Tabelle 39:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)	146

<b>Tabelle 40:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)	146
<b>Tabelle 41:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Kontrollgruppe (n=8)	146
<b>Tabelle 42:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Kontrollgruppe (n=8)	148
<b>Tabelle 43:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)	149
<b>Tabelle 44:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)	151
<b>Tabelle 45:</b> Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	152
<b>Tabelle 46:</b> Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	153
<b>Tabelle 47:</b> Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	153
<b>Tabelle 48:</b> Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	153
<b>Tabelle 49:</b> Vergleich $\Delta VO_{2max}$ zwischen Trainingsgruppe (n=6) und Kontrollgruppe (n=8) für den Sprint ohne Atmung und mit Atmung	153

<b>Tabelle 50:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gruppe der Sprinter (n=7)	154
<b>Tabelle 51:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gruppe der Sprinter (n=7)	154
<b>Tabelle 52:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)	154
<b>Tabelle 53:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)	155
<b>Tabelle 54:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gruppe der Sprinter (n=7)	155
<b>Tabelle 55:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gruppe der Sprinter (n=7)	156
<b>Tabelle 56:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)	158
<b>Tabelle 57:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)	159
<b>Tabelle 58:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Ausdauergruppe (n=7)	161
<b>Tabelle 59:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Ausdauergruppe (n=7)	161
<b>Tabelle 60:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)	161



<b>Tabelle 61:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)	162
<b>Tabelle 62:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Ausdauergruppe (n=7)	162
<b>Tabelle 63:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Ausdauergruppe (n=7)	164
<b>Tabelle 64:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)	165
<b>Tabelle 65:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)	167
<b>Tabelle 66:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1	168
<b>Tabelle 67:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2	168
<b>Tabelle 68:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1	169
<b>Tabelle 69:</b> Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2	169
<b>Tabelle 70:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1	169
<b>Tabelle 71:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2	170

<b>Tabelle 72:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1	171
<b>Tabelle 73:</b> Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2	172
<b>Tabelle 74:</b> Vergleich $\Delta VO_2\text{max}$ zwischen den Sprintern und der Ausdauergruppe (n=7) für den Sprint ohne Atmung und mit Atmung	172
<b>Tabelle 75:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (n=14)	175
<b>Tabelle 76:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (n=14)	175
<b>Tabelle 77:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)	175
<b>Tabelle 78:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)	175
<b>Tabelle 79:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1	176
<b>Tabelle 80:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 2	176
<b>Tabelle 81:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)	176
<b>Tabelle 82:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)	176
<b>Tabelle 83:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1	177
<b>Tabelle 84:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 2	177
<b>Tabelle 85:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)	177
<b>Tabelle 86:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)	177
<b>Tabelle 87:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1	178

<b>Tabelle 88:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 2	178
<b>Tabelle 89:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)	178
<b>Tabelle 90:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)	178
<b>Tabelle 91:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1	179
<b>Tabelle 92:</b> Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2	179
<b>Tabelle 93:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)	179
<b>Tabelle 94:</b> Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)	179
<b>Tabelle 95:</b> Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint ohne Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1)	180
<b>Tabelle 96:</b> Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint ohne Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2 (ZP2)	180
<b>Tabelle 97:</b> Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1)	180
<b>Tabelle 98:</b> Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2 (ZP2)	180
<b>Tabelle 99:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (n=14)	181
<b>Tabelle 100:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (n=14)	181
<b>Tabelle 101:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)	181

<b>Tabelle 102:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)	181
<b>Tabelle 103:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1	182
<b>Tabelle 104:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 2	182
<b>Tabelle 105:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)	182
<b>Tabelle 106:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)	182
<b>Tabelle 107:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1	183
<b>Tabelle 108:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 2	183
<b>Tabelle 109:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)	183
<b>Tabelle 110:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)	183
<b>Tabelle 111:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1	184
<b>Tabelle 112:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 2	184
<b>Tabelle 113:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)	184
<b>Tabelle 114:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)	184
<b>Tabelle 115:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1	185

<b>Tabelle 116:</b> Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2	185
<b>Tabelle 117:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)	185
<b>Tabelle 118:</b> Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)	185
<b>Tabelle 119:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	186
<b>Tabelle 120:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	186
<b>Tabelle 121:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	186
<b>Tabelle 122:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	186
<b>Tabelle 123:</b> Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) als Gesamtüberblick (n=28) und unterschieden nach Sprint ohne bzw. mit Atmung zu den beiden Zeitpunkten ZP1 und ZP2	187
<b>Tabelle 124:</b> Vergleich der Endzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	187

<b>Tabelle 125:</b> Vergleich der Endzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	187
<b>Tabelle 126:</b> Vergleich der Endzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	187
<b>Tabelle 127:</b> Vergleich der Endzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	188
<b>Tabelle 128:</b> Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	188
<b>Tabelle 129:</b> Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	188
<b>Tabelle 130:</b> Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	188
<b>Tabelle 131:</b> Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	189
<b>Tabelle 132:</b> Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	189
<b>Tabelle 133:</b> Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	189

<b>Tabelle 134:</b> Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	190
<b>Tabelle 135:</b> Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	190
<b>Tabelle 136:</b> Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	190
<b>Tabelle 137:</b> Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	190
<b>Tabelle 138:</b> Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	191
<b>Tabelle 139:</b> Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	191
<b>Tabelle 140:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	191
<b>Tabelle 141:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	192
<b>Tabelle 142:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der	

Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	192
<b>Tabelle 143:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	192
<b>Tabelle 144:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	192
<b>Tabelle 145:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	193
<b>Tabelle 146:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	193
<b>Tabelle 147:</b> Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	193
<b>Tabelle 148:</b> Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	194
<b>Tabelle 149:</b> Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	194
<b>Tabelle 150:</b> Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	194



<b>Tabelle 151:</b> Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)	194
<b>Tabelle 152:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (n=14)	195
<b>Tabelle 153:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (n=14)	195
<b>Tabelle 154:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)	195
<b>Tabelle 155:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)	195
<b>Tabelle 156:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1	196
<b>Tabelle 157:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 2	196
<b>Tabelle 158:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)	196
<b>Tabelle 159:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)	196
<b>Tabelle 160:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1	196
<b>Tabelle 161:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 2	197
<b>Tabelle 162:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)	197
<b>Tabelle 163:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)	197
<b>Tabelle 164:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1	197
<b>Tabelle 165:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 2	198
<b>Tabelle 166:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)	198

<b>Tabelle 167:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)	198
<b>Tabelle 168:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1	198
<b>Tabelle 169:</b> Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2	199
<b>Tabelle 170:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)	199
<b>Tabelle 171:</b> Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)	199
<b>Tabelle 172:</b> Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 1	200
<b>Tabelle 173:</b> Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 1	200
<b>Tabelle 174:</b> Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2	200
<b>Tabelle 175:</b> Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 2	201

## 1 EINLEITUNG

### 1.1 Erläuterung des Themas

Das Anforderungsprofil eines Schwimmers hängt nicht nur von der Schwimmstrecke, sondern vor allem von der Streckenlänge ab, die ein Schwimmer zu absolvieren hat. Man unterscheidet dabei Lang- (800m und 1500m), Mittel- (200m und 400m) und Sprintstrecke (50m und 100m)<sup>128</sup>.

Schon aufgrund der Ausdifferenzierung der Muskulatur in rote und weiße Muskelfasern<sup>51, 61, 66</sup> ist nach dem Abschluss des Grundlagentrainings<sup>10, 24, 91</sup> eine Trennung der Trainingsgestaltung zwischen Ausdauer- und Sprintschwimmern<sup>153, 162</sup> absolut notwendig. Heute ist es kaum vorstellbar, dass ein Sportler wie 1896 ein Ungar bei den Olympischen Spielen<sup>76</sup> in einer Sprint- und einer Langstrecke eine Goldmedaille gewinnt.

Die Entwicklung des Wettkampfschwimmens zeigt in den letzten Jahren eine wachsende Bedeutung für die Sprintstrecken. Europa- und Weltmeisterschaften werden zusätzlich auf der Kurzbahn durchgeführt<sup>78</sup>. Seit dem Jahr 2000 sind alle vier 50m Strecken (Delphin, Rücken, Brust und Freistil) in das internationale Meisterschaftsprogramm aufgenommen worden. Die 50m Freistil zählen seit dem zum olympischen Wettkampfprogramm<sup>123</sup>.

Aus diesem Grund verändert sich das Bild der internationalen Schwimmszene. Umfangreiche Wettkampfanalysen zeigen, dass den 50m und 100m Strecken immer größere Bedeutung zukommt<sup>33</sup>. Die Vielfalt der Strecken und die Leistungsdichte bewirken daher eine Spezialisierung der Schwimmathleten.

Die große Vielfalt der verschiedenen Schwimmstrecken und Streckenlängen und die hohen Trainingsumfänge schon im jugendlichen Alter stellen eine hohe Beanspruchung der aeroben und anaeroben Kapazität dar<sup>72, 134</sup>. Das macht die besondere Bedeutung der Leistungsdiagnostik im Training und Wettkampf als einen bedeutenden Parameter in der Trainingssteuerung<sup>71, 72, 134</sup> eines Schwimmers deutlich.

Schon 1924 entwickelten Knipping und Brauer<sup>75</sup> eine Spirometrie, die sich jedoch nicht auf das Schwimmen anwenden ließ. Das Spirometer war zu unhandlich und anfällig und ließ sich nicht mit dem Schwimmer verbinden. Zahlreiche weitere standardisierte, leistungsdiagnostische Tests auf dem Laufband oder Fahrradergometer wurden entwickelt. Qualifizierte Aussagen über den Leistungsstand von Sportlern konnten getroffen werden. Diese Aussagen ließen sich jedoch nicht auf andere Sportarten beziehen, wie Bouchard<sup>16</sup> und Leblanc<sup>80</sup> in der 70er Jahren feststellten.

Die Situation der Schwimmer unterscheidet sich deutlich von der Situation an Land. Die horizontale Lage und die Einwirkung des Wasserdrucks, den damit veränderten hydrostatischen Druck und den niedrigeren venösen Rückstrom zum Herzen spielen dabei eine große Rolle<sup>3, 49, 90, 114, 126</sup>. Im Gegensatz zu den Ausdauersportarten, die an Land absolviert werden, ergeben sich daraus niedrigere Herzfrequenz- und Laktatwerte für den Schwimmer. Der so genannte „Tauchreflex“ führt zu einer allgemeinen Senkung des Stoffwechsels<sup>64, 69, 86, 133</sup>. Nicht zu vergessen ist dabei die Antriebsmuskulatur. Während bei Tests auf dem Laufband oder Fahrradergometer die Beinmuskulatur die Hauptrolle spielen, so ist beim Schwimmen die Oberkörpermuskulatur hauptsächlich für den Antrieb verantwortlich<sup>89, 151, 153</sup>. Die Notwendigkeit schwimmspezifischer leistungsdiagnostischer Test wird hier deutlich<sup>45, 53, 96, 97</sup>. Dennoch werden auch heute noch, vor allem wegen der leichten Durchführbarkeit, leistungsdiagnostische Tests auf dem Laufband oder dem Fahrradergometer gemacht. Sportartspezifische Angaben zur Trainingsempfehlung, insbesondere für den Schwimmsport, sind allerdings kaum möglich<sup>108, 134</sup>.

In der Vergangenheit wurden zahlreiche Testprotokolle für den Schwimmsport konzipiert.

Mc Ardle<sup>96</sup> entwickelte 1971 einen schwimmspezifischen Test, in dem er die Belastung durch eine Erhöhung der Armzugfrequenz steigerte. 1980 nahm Bonen<sup>12</sup> erstmals die Intensität als Indikator für die Belastungssteigerung. Er entwickelte einen Test für die 200m Strecke mit einer Intensität von „moderat“ bis zur vollen Ausbelastung. Mehrere submaximale und eine maximale Stufe entwickelte Lavoie<sup>79</sup> 1981, um eine Aussage über die aerobe Kapazität zu erhalten. 1989 führte Keskinen<sup>70</sup> erstmals progressive 100m- und 300m-Stufentests bis zur Ausbelastung zur Erstellung einer Laktatleistungskurve durch. Diese Stufentests haben eine sehr

große Ähnlichkeit zu dem von Simon entwickelten Stufentest, der in Deutschland eine breite Anwendung gefunden hat. Die von Simon et al. im 300m-Stufentest ermittelte maximale Schwimmleistung hat eine doppelt so hohe Korrelation zu der Wettkampfleistung wie die maximale Fahrradergometrieleistung<sup>72, 132, 139</sup>.

Der am weitesten in Deutschland verbreitete Test ist der Pansold-Stufentest. Anhand der gewonnenen Ergebnisse lässt sich eine Laktatleistungskurve ermitteln, mit deren Hilfe eine Aussage über metabolische Leistungsfähigkeit gemacht werden kann<sup>71, 84</sup>.

Spätestens seit Mader 1973 eine Methode zur Laktatentnahme aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entwickelte gilt Laktat als ein leicht zu gewinnender Metabolit des Energiestoffwechsels. Es gelang ihm, identische Werte wie bei der Entnahme aus der A. brachialis zu erhalten<sup>60</sup>. Der Vorteil dieser Methode liegt in dem leichten apparativen Aufbau, schnell und ohne großen Aufwand kann nahezu an jedem Ort Blut aus dem Ohrläppchen zur Laktatbestimmung entnommen werden.

Damit ist es möglich, einen intraindividuellen Vergleich mit früheren Untersuchungen durchzuführen.

Die Menge der bereits gewonnenen Daten zeigt, dass die aerob-anaerobe Schwelle bei den meisten Sportlern im Bereich zwischen 2mmol/l und 4mmol/l Blut liegt<sup>54</sup>. Damit kann man sich einen schnellen Überblick über die gewonnenen Ergebnisse machen, dennoch sind individuelle Abweichungen sehr häufig. Die Ergebnisse können also nur eine grobe Orientierung sein. Dieses zeigt auch die Vielzahl der Schwellenkonzepte. Es ist immer noch nicht klar, welches der Konzepte die genauesten Daten für Trainingsempfehlungen und Wettkampfleistungen liefert<sup>28, 54, 109, 132</sup>.

Die Laktatleistungsdiagnostik als einzige Methode der Leistungsdiagnostik stößt schnell an ihre Grenzen. Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der metabolischen Leistungsfähigkeit sind spirometrische Leistungstests. Die Sauerstoffaufnahme bzw. die maximale Sauerstoffaufnahme ist seit einigen Jahren ein entscheidender Parameter für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit<sup>6, 12, 30, 58, 63, 81, 102, 121, 141</sup>. Mit Hilfe der Spirometrie lassen sich nicht nur Aussagen über den Metabolismus machen, eine Steigung bzw. Senkung der O<sub>2</sub>-Verlaufskurve bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten lässt Rückschlüsse über die Ökonomie zu<sup>41, 44</sup>.

Die besondere Schwierigkeit der schwimmspezifischen Ergometrie liegt darin, den Schwimmer mit dem Spirometer zu verbinden. Anfangs versuchte man, die Messapparatur mitzuführen, was jedoch besondere Schwierigkeiten an der Wende nach sich zog<sup>62, 144</sup>. Eine Methode, den Schwimmer durch einen Gurt auf der Stelle zu fixieren, wurde entwickelt<sup>40, 44, 55</sup>. Mit dieser Methode wurde es möglich, die Werte der Spirometrie „online“ aufzuzeichnen und gleichzeitig durch ein Unterwasserfenster mit Hilfe von Videoaufnahmen die Technik beurteilen zu können<sup>124</sup>. Allerdings konnte die Geschwindigkeit nur über Halten einer Last bzw. Überwinden einer Last reguliert werden. Astrand baute 1972 als erster eine spezielle Gegenstromanlage<sup>5</sup>. Dieser so genannte Kanal ermöglicht es, Schwimmer beliebig lange bei konstanter Geschwindigkeit auf einer Stelle schwimmen zu lassen. So wurde es möglich, spirometrische Daten online zu messen und gleichzeitig mit Hilfe von Videoaufnahmen Aussagen über Bewegungsabläufe und Ökonomie zu machen<sup>11</sup>. Leistungsdiagnostische Tests können unter standardisierten Bedingungen durchgeführt werden<sup>12, 18, 143-145, 149</sup>.

Der Bau einer Gegenstromanlage ist allerdings sehr teuer. Diese Möglichkeit der Leistungsdiagnostik ist daher nur dem Hochleistungssport vorbehalten.

Die Nachatmungsmethode stellt eine kostengünstige und leicht durchführbare Alternative dar. Mit Hilfe eines portablen Spirometrysystems<sup>9, 36</sup> werden spirometrische Daten nach Belastungsende aufgezeichnet. Die Aufzeichnung der werte beginnt nach einer kurzen Latenzzeit. Durch negativ mathematische Extrapolation lässt sich auf den Sauerstoffverbrauch direkt bei Belastungsabbruch schließen<sup>11, 21, 81, 102, 135, 159</sup>. Der Vergleich zwischen der Online-Messung und der Nachatmungsmethode hat gezeigt, dass es sich mit der Extrapolation zur Bestimmung von  $VO_2$  bei Belastungsabbruch um eine exakte Methode handelt<sup>44, 81, 117</sup>.

## **1.2 Bedeutung dieser Arbeit**

Bei der Beobachtung von großen internationalen Schwimmwettkämpfen stellt man besonders bei dem 50m-Freistil Sprint Unterschiede in der Häufigkeit der Atmung fest. Es gibt Schwimmer, die während der 50m mehrmals atmen und es gibt Schwimmer, die während dieser Strecke gar nicht Luft holen. Gerade wegen der

Kürze der Strecke haben kleine Unterschiede in der Bewegungsökonomie oder im physiologischen System große Auswirkungen.

Biomechanische Analysen lassen vermuten, dass die typische Drehbewegung des Kopfes für die Atmung den Schwimmfluss unterbricht. Das Drehen des Kopfes zur Seite hat eine Rotation des gesamten Körpers zur Folge<sup>8</sup>, leichtes Anheben des Kopfes verschiebt den Körperschwerpunkt nach hinten<sup>156, 157</sup> und beeinträchtigt die Geschwindigkeit<sup>4, 22, 157</sup>. Darüber hinaus erhöhen sich die schwimmspezifischen Widerstände, so dass mit einer negativen Beeinflussung der Schwimgeschwindigkeit zu rechnen ist<sup>7, 30</sup>. Counsilman<sup>32</sup> hat bereits 1968 beschrieben, dass erfahrene Schwimmer so wenig wie möglich bei einem 50m Sprint atmen sollten. Laut Lerda und Cardelli<sup>82</sup> nutzen Schwimmer die Apnoe-Phase, die Phase ohne Kopfdrehung, zur Brustkorbstabilisierung. Der Brustkorb dient als Drehpunkt für die Bewegungen der Arme beim Kraulschwimmen und ist von äußerst großer Bedeutung. Man würde also vermuten, ein Schwimmer, der nicht atmet, hat eine höhere Stabilität und Folge dessen einen positiven Einfluss auf die Schwimgeschwindigkeit.

Dagegen hat Payton<sup>112</sup> in einer Untersuchung über das Rollverhalten des Körpers beim Kraulschwimmen mit Einatmung und Atemanhalten herausgefunden, dass das Atmen den Zugverlauf der Arme nicht behindert und damit die Geschwindigkeit nicht beeinträchtigt. Ein Verzicht auf die Atmung ist aus seiner Sicht nicht notwendig.

Ein zusätzlicher Aspekt ist die Förderung der energiebereitstellenden Kapazität<sup>34</sup> durch die Atmung. Eine bessere energetische Versorgung könnte einen positiven Einfluss auf die Schwimgeschwindigkeit haben.

Die Atmung bzw. der Sauerstoff unterstützen den Abbau von Laktat<sup>20</sup>. Es ist aufgrund des besseren Laktatabbaus mit Hilfe des Sauerstoffs mit niedrigeren Laktatwerten bei einem Sprint mit Atmung zu rechnen und als Folge dessen mit einer besseren Leistungsfähigkeit<sup>30</sup>.

Das Phänomen des Tauchreflexes<sup>47, 59, 85, 86, 122</sup> ist aus der Tauchphysiologie allgemein bekannt. Der Tauchreflex geht einher mit einer Senkung der Herzfrequenz, einem Anstieg des Blutdrucks und einer Vasokonstriktion der peripheren Gefäße, um die Sauerstoffversorgung der lebenswichtigen Organe zu gewährleisten<sup>59, 86</sup>. Damit

verbunden ist die verminderte Durchblutung bzw. Versorgung der peripheren Muskulatur mit Sauerstoff<sup>47</sup>.

Bei koreanischen Perlentauchern konnte ein besonders großer Abfall des Sauerstoffpartialdrucks beobachtet werden, der auch innerhalb der ersten 15 bis 20 Sekunden nach Einsetzen der Atmung nicht wieder auf das Ausgangsniveau zurück gekehrt ist<sup>115</sup>. Die Tauchzeit betrug 50 bis 55 Sekunden, kurze Tauchgänge bis 30 Sekunden Dauer zogen keine signifikanten Veränderungen des Sauerstoffpartialdrucks nach sich. Für den Sprint in dieser Untersuchung ist die Apnoezeit kleiner als 30 Sekunden, allerdings ist die muskuläre Aktivität im Gegensatz zu den Perlentauchern stark erhöht. Der Sprint soll in maximaler Geschwindigkeit zurückgelegt werden, wohingegen Tieftaucher versuchen, möglichst lange mit wenig Energieverbrauch unter Wasser zu bleiben.

Ähnlich dem Tieftauchen ist auch bei einem Sprint in völliger Apnoe eine Verringerung der Herzfrequenz und damit eine verringerte Sauerstoffversorgung der Muskulatur zu erwarten. Ahn<sup>2</sup> konnte einen deutlichen Abfall der Herzfrequenz am Ende einer supramaximalen Belastung mit angehaltenem Atem beobachten. Der Abfall der Herzfrequenz ging einher mit einem Anstieg des Blutdrucks und einem Anstieg der Kaliumkonzentration. Eine erhöhte Kaliumkonzentration verstärkt die bereits durch die Apnoe ausgelöste Hypoxie<sup>131</sup>, was eine noch geringere Sauerstoffversorgung der Muskulatur nach sich zieht. Eine japanische Forschergruppe beobachtete einen Blutdruckanstieg und einen verminderte Blutfluss im Oberschenkel bei Knieextension unter Apnoebedingungen<sup>95</sup>.

Eine Senkung der Calciumkonzentration nach Apnoe konnte Matheson<sup>94</sup> in seiner Untersuchung feststellen. Calcium ist ein unverzichtbarer Bestandteil bei der Muskelkontraktion. Eine verringerte Calciumkonzentration könnte sich negativ auf die Muskelkontraktion auswirken<sup>99</sup> und damit entsprechend einen negativen Einfluss auf die Schwimgeschwindigkeit haben.

Matheson<sup>94</sup> beobachtete außerdem in seiner Untersuchung von intensiver Muskelarbeit bei angehaltenem Atem einen Bicarbonat-Anstieg, einen Anstieg der Laktatwerte und eine Verringerung des pH-Wertes. Das saure Milieu könnte ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Muskelkontraktion und damit auch auf die Geschwindigkeit haben.



Im Rahmen einer Voruntersuchung<sup>101, 160</sup> haben 12 Leistungsschwimmer, 7 männliche und 5 weibliche ( $17,2 \pm 0,8$  Jahre;  $1,77 \pm 0,0$  m;  $67,9 \pm 2,2$  kg;  $21,6 \pm 0,5$  kg/m<sup>2</sup>;  $4,7 \pm 0,6$  Trainingsjahre;  $9,7 \pm 0,9$  Trainingseinheiten/Woche;  $14,7 \pm 1,3$  Fettgehalt in Prozent), in randomisierter Reihenfolge je einen 50m Freistil-Sprint mit Atmung und ohne Atmung absolviert.

Die O<sub>2</sub>-Aufnahme in den ersten 30 Sekunden nach einem Sprint ohne Atmung zeigte signifikant niedrigere Werte als nach einem Sprint mit Atmung (Abb.1).

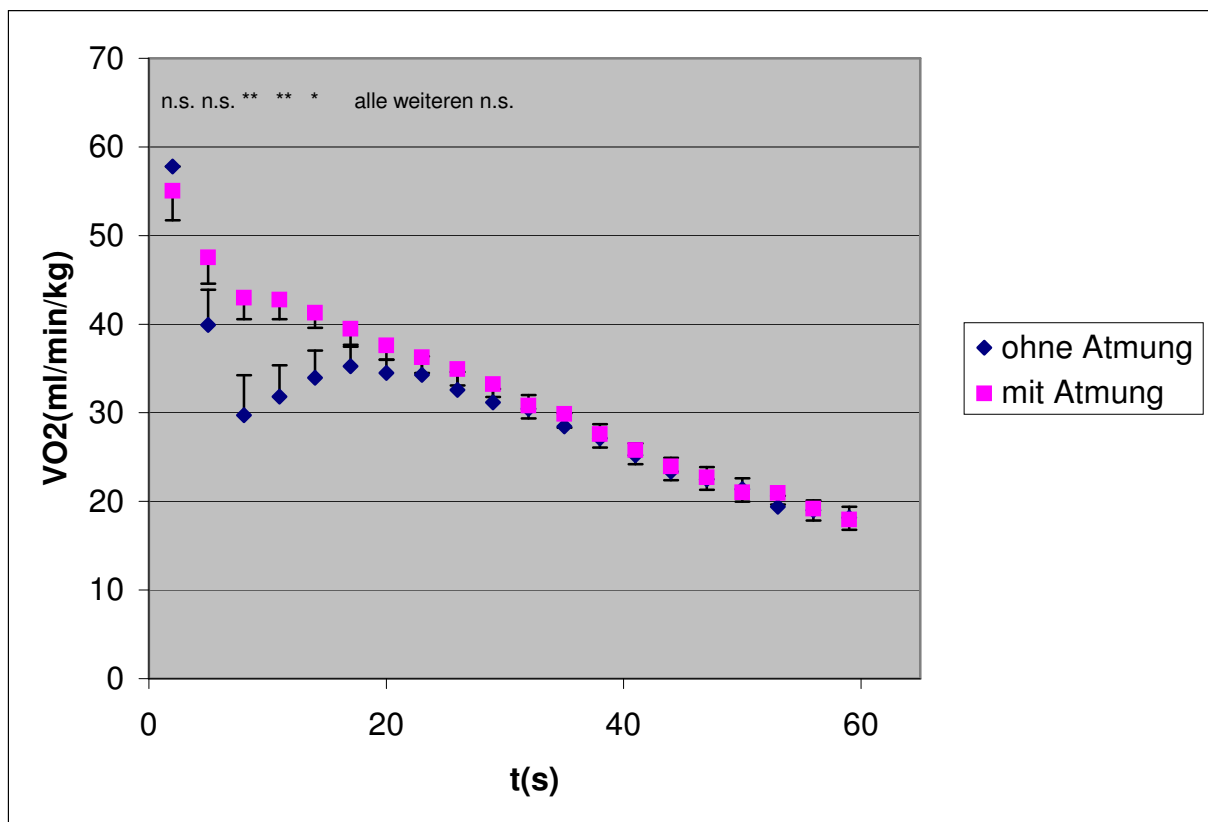


Abb.1: Vergleich der Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht zwischen Sprint mit Atmung und ohne Atmung in der ersten Minute nach Belastungsende (n=12); für das Signifikanzniveau gilt:  $p > 0,05 = \text{n.s.}$ ;  $p \leq 0,05 = *$ ;  $p \leq 0,01 = **$

Es ließ sich darstellen, dass ein Sprint in völliger Apnoe im Gegensatz zum Sprint mit Atmung ad libitum eine veränderte Sauerstoffaufnahmefähigkeit in den ersten 20 Sekunden nach Belastungsende zur Folge hat.

Für die Parameter Laktatkonzentration, Zeit, Armzugfrequenz und Borg-Wert konnten in der vorliegenden Untersuchung keine signifikanten Unterschiede dargestellt werden.

Der Sprint ohne Atmung brachte in dieser Untersuchung zunächst keinen Zeitvorteil gegenüber dem Sprint mit Atmung. Die Veränderung der Sauerstoffaufnahme bei einem Sprint in völliger Apnoe gegenüber einem Sprint mit Atmung ad libitum bezog sich nur auf die ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit. Alle weitere Ergebnisse der Spirometrie, sowie die Laktatwerte, die Zeit, Armzugfrequenz und der Grad der persönlichen Anstrengung anhand der Borg-Skala zeigten keine Veränderungen. Daher ist davon auszugehen, dass der Sprint ohne Atmung zwar keinen zeitlichen Vorteil erbracht hat, allerdings wirkt sich die nicht vorhandene Atmung scheinbar auch nicht nachteilig auf die Zeit, die Laktatwerte oder die Armzugfrequenz aus. Die Vorteile der Atmung in Bezug auf die energiebereitstellende Kapazität und der damit möglicherweise verbundenen schnelleren Schwimmgeschwindigkeit scheinen nicht zu überwiegen.

Ein möglicher Grund für den nicht vorhandenen Zeitvorteil nach einem Sprint in völliger Apnoe könnte in der mangelnden Vorbereitung der Probanden auf den Sprint ohne Atmung liegen. Keiner der Probanden hat zuvor im Training oder Wettkampf einen Sprint über 50m ohne Atmung ausprobiert. Für die meisten Sportler war der Test das erste Mal, 50m in maximaler Geschwindigkeit sprinten zu müssen. Ein Großteil der Sportler hat eventuell aus Angst, nicht mit der Luft auszukommen oder dem Atemreiz nicht widerstehen zu können, den Sprint verhaltener begonnen. Ein Zeitvorteil konnte nicht erschwommen werden<sup>37</sup>. Im Gegensatz dazu gehört ein Sprint mit Atmung zu den gewohnten Aufgaben eines Schwimmers.

Möglicherweise hätte ein spezielles Apnoetraining zur Folge, dass die Sportler zunächst keine Angst vor dem Sprint in völliger Apnoe haben. Durch gezielte Trainingsinhalte würde die Atemanhaltezeit verlängert<sup>26, 125</sup> und die Sportler bekämen die Sicherheit, einen Sprint ohne Atmung durchhalten und dem Atemreiz widerstehen zu können. Eine Verlängerung der Atemanhaltezeit könnte umgekehrt zur Folge haben, dass sich das Sauerstoffaufnahmeverhalten nach einem Sprint in völliger Apnoe durch eine Verbesserung des anaeroben Stoffwechsels verändert<sup>68</sup>, was als Parameter zur Trainingssteuerung genutzt werden könnte.

Des Weiteren könnte eine Verlängerung der Atemanhaltezeit und eine Gewöhnung an das Aushalten der Atemnot zur Folge haben, dass die bewegungsökonomischen Vorteile der „Nicht-Atmung“ überwiegen.

### 1.3 Ziel der vorliegenden Arbeit

Aus Kapitel 1.1 geht hervor, wie wichtig die Leistungsdiagnostik bzw. Parameter zur Leistungssteuerung im Sport sind.

In Kapitel 1.2 wurde beschrieben, welche verschiedenen Faktoren wie unter anderem die Sauerstoffversorgung, der Tauchreflex, der Säure-Basen-Haushalt oder die Biomechanik auf eine Sprintleistung beim Schwimmen Einfluss nehmen können.

Überwiegen die Vorteile der Atmung in Bezug auf die Sauerstoffversorgung bei einem Sprint oder können die Nachteile durch die mangelnde Versorgung mit Sauerstoff bei Apnoe durch die positiven Einflüsse einer hydrodynamischen Verbesserung kompensiert werden?

In der folgenden Studie soll untersucht werden, wie sich ein Sprint in völliger Apnoe im Gegensatz zu einem Sprint mit Atmung ad libitum auf den Sauerstoffverbrauch in der Nachbelastungszeit auswirkt.

Welchen Einfluss hat die Nicht-Atmung auf die Herzfrequenz und das Laktatverhalten nach dem Sprint sowie auf die Endzeit und die Armzugfrequenz während der Belastung? Die Ergebnisse sollen Aufschluss darüber geben, wie groß der Einfluss der mangelnden Sauerstoffversorgung auf leistungsphysiologische Parameter und die Sauerstoffkinetik in der Nachbelastung ist.

Aufgrund ihrer Muskelfaserverteilung und ihrer verschiedenen Trainingsinhalte haben Sprinter und Ausdauerathleten, wie bereits in Kapitel 1.1 beschrieben, unterschiedlich ausgeprägte aerobe und anaerobe Stoffwechselmechanismen. Ein weiteres Ziel dieser Studie ist es herauszufinden, inwieweit sich die typischen Ausprägungen eines Sprinters und eines Ausdauerathleten auf den Sauerstoffverbrauch in der Nachbelastungszeit, sowie auf die Herzfrequenz, die Laktatwerte, die Zeit und die Armzugfrequenzen bei einem Sprint mit bzw. ohne Atmung auswirken.

Zu diesem Zweck führen 14 Schwimmsportler des Olympiastützpunktes Hamburg/Schleswig-Holstein, die Hälfte mit einer Ausprägung im Sprintbereich, die andere Hälfte mit einer Ausprägung im Ausdauerbereich, an zwei verschiedenen Tagen einen 50m Freistilsprint mit und einen ohne Atmung durch.

Wie eingangs beschrieben, gehört ein Sprint in völliger Apnoe nicht zu den gewohnten Aufgaben eines Schwimmers. Möglicherweise beeinflussen Angst und Respekt vor der Strecke die Sprintleistung der Sportler. Ein entsprechendes Training könnte eine Gewöhnung und eine Verlängerung der Atemhaltezeit mit sich bringen, was wiederum Einfluss auf das Sauerstoffaufnahmeverhalten und die Sprintleistung haben könnte.

Aus diesem Grund führt eine Hälfte der Gruppe ein spezielles Apnoetraining über einen Zeitraum von 8 Wochen durch (Trainingsgruppe), während der andere Teil der Gruppe in gewohnter Weise weiter trainiert (Kontrollgruppe).

Anschließend wird erneut an zwei unterschiedlichen Tagen jeweils ein Sprint mit bzw. ein Sprint ohne Atmung getestet.

Es soll untersucht werden, ob und in wie fern sich die Ergebnisse der ersten Untersuchung durch das spezielle Apnoetraining beeinflussen lassen und welche Auswirkungen das Training auf die leistungsphysiologischen Parameter und die Sauerstoffverbrauchskurve in der Gesamtgruppe und den Untergruppen Sprint und Ausdauer hat. Möglicherweise können durch das entsprechende Training die negativen Einflüsse durch die mangelnde Sauerstoffversorgung bei Apnoe minimiert werden, so dass die positiven Auswirkungen einer verbesserten Wasserlage bei Apnoe überwiegen.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 PROBANDEN

Für die Untersuchung standen 14 Leistungsschwimmer, 8 männliche und 6 weibliche, zur Verfügung. (Alter:  $19,07 \pm 4,38$  Jahre; Körpergröße:  $1,79 \pm 0,09$  m; Körpergewicht:  $70,25 \pm 7,9$  kg; body mass index (BMI):  $21,94 \pm 1,07$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $9,79 \pm 4,04$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $10,93 \pm 2,87$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $14,62 \pm 4,01$  Fettgehalt in Prozent).

Alle Probanden trainieren regelmäßig (mind. 7 Wasser- und 4 Landeinheiten) als Auswahlschwimmer in der Leistungsgruppe des Hamburger Schwimmverbandes am Olympiastützpunkt Hamburg/Schleswig-Holstein.

Dabei besteht bei der einen Hälfte eine Ausprägung im Ausdauerbereich (AU) und bei der anderen Hälfte eine Ausprägung im Sprintbereich (SP). Mehr zur Einteilung in die beiden Gruppen ist im Kapitel 1.3 Vergleichbarkeit der Probanden zu finden.

Die Gruppe der Sprinter setzt sich aus 5 männlichen und 2 weiblichen Probanden zusammen (Alter:  $20,00 \pm 4,62$  Jahre; Körpergröße:  $1,82 \pm 0,09$  m; Körpergewicht:  $73,36 \pm 7,76$  kg; BMI:  $22,28 \pm 1,17$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $10,71 \pm 4,64$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $9,86 \pm 2,41$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $12,8 \pm 2,59$  Fettgehalt in Prozent).

Die Gruppe der Ausdauerathleten setzt sich aus 4 weiblichen und 3 männlichen Probanden zusammen (Alter:  $18,14 \pm 4,26$  Jahre; Körpergröße:  $1,76 \pm 0,08$  m; Körpergewicht:  $67,14 \pm 7,25$  kg; BMI:  $21,6 \pm 0,91$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $8,86 \pm 3,44$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $12,0 \pm 3,06$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $16,44 \pm 4,52$  Fettgehalt in Prozent).

Nach vorheriger Randomisierung werden die Sportler aus beiden Gruppen in eine Trainingsgruppe (TG) und eine Kontrollgruppe (KG) unterteilt. Die Trainingsgruppe (Alter:  $17,33 \pm 3,69$  Jahre; Körpergröße:  $1,76 \pm 0,07$  m; Körpergewicht:  $66,75 \pm 6,96$  kg; BMI:  $21,71 \pm 1,31$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $8,17 \pm 3,12$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $9,5 \pm 2,66$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $15,75 \pm 4,14$  Fettgehalt in Prozent) besteht aus 3 Sprintern (1 weiblich, 2 männlich) und 3

## 2 Material und Methoden

---

Ausdauerathleten (2 weiblich, 1 männlich). Die Kontrollgruppe (Alter:  $20,38 \pm 4,78$  Jahre; Körpergröße:  $1,81 \pm 0,09$  m; Körpergewicht:  $72,88 \pm 7,94$  kg; BMI:  $22,11 \pm 0,90$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $11,0 \pm 4,41$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $12,0 \pm 2,67$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $13,78 \pm 3,97$  Fettgehalt in Prozent) besteht aus 4 Sprintern (1 weiblich, 3 männlich) und 4 Ausdauerathleten (2 weiblich, 2 männlich).

Tabelle 1 und 2 zeigen eine Übersicht der anthropometrischen Daten der Probandengruppen, wobei kein signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) festzustellen ist.

Tab.1: Anthropometrische Daten der Gruppen Sprinter und Ausdauerathleten.

	Alle (n=14)	Sprinter (n=7)	Ausdauer (n=7)	Signifikanzniveau
Geschlecht	w=6 m=8	w=2 m=5	w=4 m=3	
Alter (Jahre)	$19,07 \pm 4,38$	$20,0 \pm 4,62$	$18,14 \pm 4,26$	n.s.
Körpergröße (m)	$1,79 \pm 0,09$	$1,82 \pm 0,09$	$1,76 \pm 0,08$	n.s.
Körpergewicht (kg)	$70,25 \pm 7,90$	$73,36 \pm 7,76$	$67,14 \pm 7,25$	n.s.
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	$21,94 \pm 1,07$	$22,28 \pm 1,17$	$21,6 \pm 0,91$	n.s.
Trainingsalter (Jahre)	$9,79 \pm 4,04$	$10,71 \pm 4,64$	$8,86 \pm 3,44$	n.s.
Trainingshäufigkeit (Einheiten/Woche)	$10,93 \pm 2,87$	$9,86 \pm 2,41$	$12,0 \pm 3,06$	n.s.
Fettgehalt (in Prozent)	$14,62 \pm 4,01$	$12,8 \pm 2,59$	$16,44 \pm 4,52$	n.s.

Tab.2: Anthropometrische Daten der Trainings- und Kontrollgruppe.

	Alle (n=14)	Trainingsgruppe (n=6)	Kontrollgruppe (n=8)	Signifikanzniveau
Geschlecht	w=6 m=8	w=3 m=3	w=3 m=5	
Alter (Jahre)	$19,07 \pm 4,38$	$17,33 \pm 3,69$	$20,38 \pm 4,78$	n.s.
Körpergröße (m)	$1,79 \pm 0,09$	$1,76 \pm 0,07$	$1,81 \pm 0,09$	n.s.
Körpergewicht (kg)	$70,25 \pm 7,90$	$66,75 \pm 6,96$	$72,88 \pm 7,94$	n.s.
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	$21,94 \pm 1,07$	$21,71 \pm 1,31$	$22,11 \pm 0,90$	n.s.

## 2 Material und Methoden

---

Trainingsalter (Jahre)	9,79 ± 4,04	8,17 ± 3,12	11,0 ± 4,41	n.s.
Trainingshäufigkeit (Einheiten/Woche)	10,93 ± 2,87	9,5 ± 2,66	12,0 ± 2,67	n.s.
Fettgehalt (in Prozent)	14,62 ± 4,01	15,75 ± 4,14	13,78 ± 3,97	n.s.

Alle Probanden wurden im Vorwege der Studie über den Ablauf und die Risiken dieser Studie aufgeklärt. Sie wurden darauf hingewiesen, dass sie zu jeder Zeit die Möglichkeit hätten, den Test abzubrechen. Es erfolgte eine Aufforderung, am Tag vor der Untersuchung keine größere körperliche Anstrengung zu vollbringen. Außerdem unterschrieben die Probanden eine Einverständniserklärung, in der sie der Studie ausdrücklich zustimmten (siehe Anhang).

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.

In Absprache und enger Zusammenarbeit mit den Verbandstrainern konnten diese Tests saisonbegleitend durchgeführt werden.

### 2.2 VERGLEICHBARKEIT DER PROBANDEN

Um eine Vergleichbarkeit der Probanden zu gewährleisten, wurde eine möglichst große Homogenität der anthropometrischen Daten angestrebt. Diese Daten wurden auf einem standardisierten Fragebogen festgehalten (siehe Anhang).

Die Werte der Fettanteile bezogen auf die Körpermasse wurden bei allen Probanden unmittelbar vor der Ruhespirometrie bestimmt (siehe Kapitel 1.4 Studiendesign).

Es ist kein Unterschied ( $p > 0,05$ ) im Körperfettanteil zwischen den beiden Testzeitpunkten festzustellen (Tab.3). Der Vergleich der Körperfettanteile zwischen der Kontrollgruppe und der Trainingsgruppe in Tabelle 4 zeigt ebenfalls keinen signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ).

## 2 Material und Methoden

---

Tab.3: Vergleich des Körperfettanteils zu den verschiedenen Testzeitpunkten (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
Körperfettanteil in Prozent	14,62 ± 4,01	14,46 ± 4,07	n.s.

Tab.4: Vergleich des Körperfettanteils zwischen der Trainings- (TG, n=6) und Kontrollgruppe (KG, n=8)

	Körperfettanteil der TG in Prozent	Körperfettanteil der KG in Prozent	Signifikanzniveau
Zeitpunkt 1	15,75 ± 4,14	13,78 ± 3,97	n.s.
Zeitpunkt 2	15,48 ± 3,93	13,70 ± 4,27	n.s.

Der Vergleich des Ruhe-RQ in Tabelle 5 und 6 zeigt keine signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ), weder zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt, noch zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten beim Sprint mit bzw. ohne Atmung (vergleiche Kap.2.1.1).

Tab.5: Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Sprint mit und ohne Atmung (n=14)

	Ruhe-RQ in der Gruppe „ohne Atmung“	Ruhe-RQ in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
Zeitpunkt 1	0,82 ± 0,08	0,79 ± 0,14	n.s.
Zeitpunkt 2	0,89 ± 0,19	0,91 ± 0,25	n.s.

Tab.6: Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
Ruhe-RQ in der Gruppe „ohne Atmung“	0,82 ± 0,08	0,89 ± 0,19	n.s.
Ruhe-RQ in der Gruppe „mit Atmung“	0,79 ± 0,14	0,91 ± 0,25	n.s.

Die vorherige Einschätzung der Zugehörigkeit zur Gruppe mit der schwimmerischen Ausprägung Sprint bzw. Ausdauer erfolgte anhand der aktuellen Bestzeiten der Probanden, wobei die 50m Freistil-Bestzeit als Sprintstrecke und die 400m Freistil-Bestzeit als Ausdauerstrecke zugrunde gelegt wurden. In Anlehnung an die



## 2 Material und Methoden

---

„Schwimmsportliche Leistungstabelle“ des DSV<sup>1</sup> wurden die Zeiten in Punkte umgerechnet, um eine Vergleichbarkeit beider Gruppen zu gewährleisten.

Tabelle 7 zeigt die erreichten Punkte in der Sprint- bzw. Ausdauerstrecke bei Sprintern und Ausdauerathleten.

Tabelle 8 stellt den Vergleich in der Sprint- bzw. Ausdauerstrecke zwischen den beiden Gruppen dar.

Der Vergleich der Gruppen zeigt einen signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,05$ ).

Tab.7: Vergleich der Anforderungsprofile „Sprint“ und „Ausdauer“ innerhalb der einzelnen Gruppen (n=14)

	Bestzeit 50m in Punkten	Bestzeit 400m in Punkten	Signifikanzniveau
Sprint	680,57 ± 97,12	577,86 ± 92,39	*
Ausdauer	549,00 ± 93,09	698,00 ± 64,95	*

Tab.8: Vergleich der Anforderungsprofile „Sprint“ (50m) und „Ausdauer“ (400m) zwischen den Gruppen (n=14)

	Sprinter	Ausdauerathleten	Signifikanzniveau
Bestzeit 50m in Punkten	680,57 ± 97,12	549,00 ± 93,09	*
Bestzeit 400m in Punkten	577,86 ± 92,39	698,00 ± 64,95	*

Um die Einteilung der Gruppen nachhaltig zu unterstützen, zeigt Tabelle 9 den Vergleich der maximal erreichten Laktatwerte nach dem für die Untersuchung geschwommenen 50m Freistil-Sprint (siehe Kapitel 3.3.2). Sprinter sind aufgrund ihrer besser ausgeprägten anaeroben Energiebereitstellungsmechanismen in der Lage, deutlich höhere Laktatwerte zu produzieren als Ausdauersportler<sup>23, 27</sup>.

Der Unterschied zwischen den Sprintern und den Ausdauerathleten in der maximal erreichten Laktatkonzentration ist höchst signifikant ( $p \leq 0,001$ ).

Tab.9: Vergleich der maximal erreichten Laktatwerte beider Gruppen (n=28)

	Sprinter	Ausdauerathleten	Signifikanzniveau
maximal erreichtes Laktat in mmol/l	8,11 ± 1,85	6,36 ± 1,72	***

### 2.3 STUDIENDESIGN

In randomisierter Reihenfolge führten alle Probanden einen standardisierten 50m-Freistil Sprint (Eingangstest) in völliger Apnoe sowie mit „Atmung ad libidum“ in maximal möglicher Geschwindigkeit unter Poolbedingungen im Olympiastützpunkt Hamburg/Schleswig-Holstein durch. Die Testzeit lag zwischen 8.00 und 19.00 Uhr. Die beiden Tests wurden an zwei verschiedenen Tagen zur gleichen Uhrzeit mit zwei Tagen Pause dazwischen durchgeführt. Die Probanden wurden aufgefordert, am Tag vor der Untersuchung sowie an den Tagen zwischen den Untersuchungen keine größeren körperlichen Belastungen zu vollbringen<sup>29, 50, 100, 118</sup>, damit das Risiko einer Glykogenverarmung minimiert wurde und die Sportler ausreichend erholt waren. Alle Probanden schwammen auf der gleichen Bahn. Zum Ausschluss einer nicht vollständigen Regeneration wurde unter standardisierten Ruhebedingungen (5 Minuten in Rückenlage) vor jedem Test eine Ruhespirometrie durchgeführt.

Die anamnestischen Daten wurden vor der Untersuchung mittels eines standardisierten Fragebogens erhoben (siehe Anhang).

Die Werte der Fettanteile bezogen auf die Körpermasse wurden bei allen Probanden mit einer Fettzange (Harpender Skinfold Caliper, USA) vor der ersten von beiden Untersuchungen bestimmt. Die Bestimmung erfolgte mit der Kalipermetrie nach Parizkova<sup>110, 111</sup>. Dabei wurde die Hautfaldendicke an zehn definierten Stellen des Körpers in Millimeter gemessen, addiert und mit dem Körpergewicht in Beziehung gesetzt. Daraus ergibt sich ein zugehöriger Prozentsatz Körperfett, der aus einer alters- und geschlechtsabhängigen Tabelle abgelesen werden konnte.

Die in der Untersuchung gewonnenen Ergebnisse wurden auf einem einheitlichen Probandenerfassungsbogen festgehalten (siehe Anhang).

## 2 Material und Methoden

---

Zur Erfassung der Sauerstoffaufnahme wurde ein mobiles Spirometriegerät verwendet (k4b2, Cosmed S.r.l, Rom, Italien), das den Gasaustausch Atemzug für Atemzug (Breath by Breath) analysiert. Um Verfälschungen durch Aufregung oder Unruhe in der Schwimmhalle auszuschließen, wurden die spirometrischen Parameter in Ruhe im Liegen über einen Zeitraum von fünf Minuten bestimmt (Abb.2). Die Erfassung der Ruheherzfrequenz erfolgte für 10 Sekunden innerhalb der letzten Minute im Liegen durch Palpation an der A. carotis communis<sup>19, 46</sup> (Abb.2).

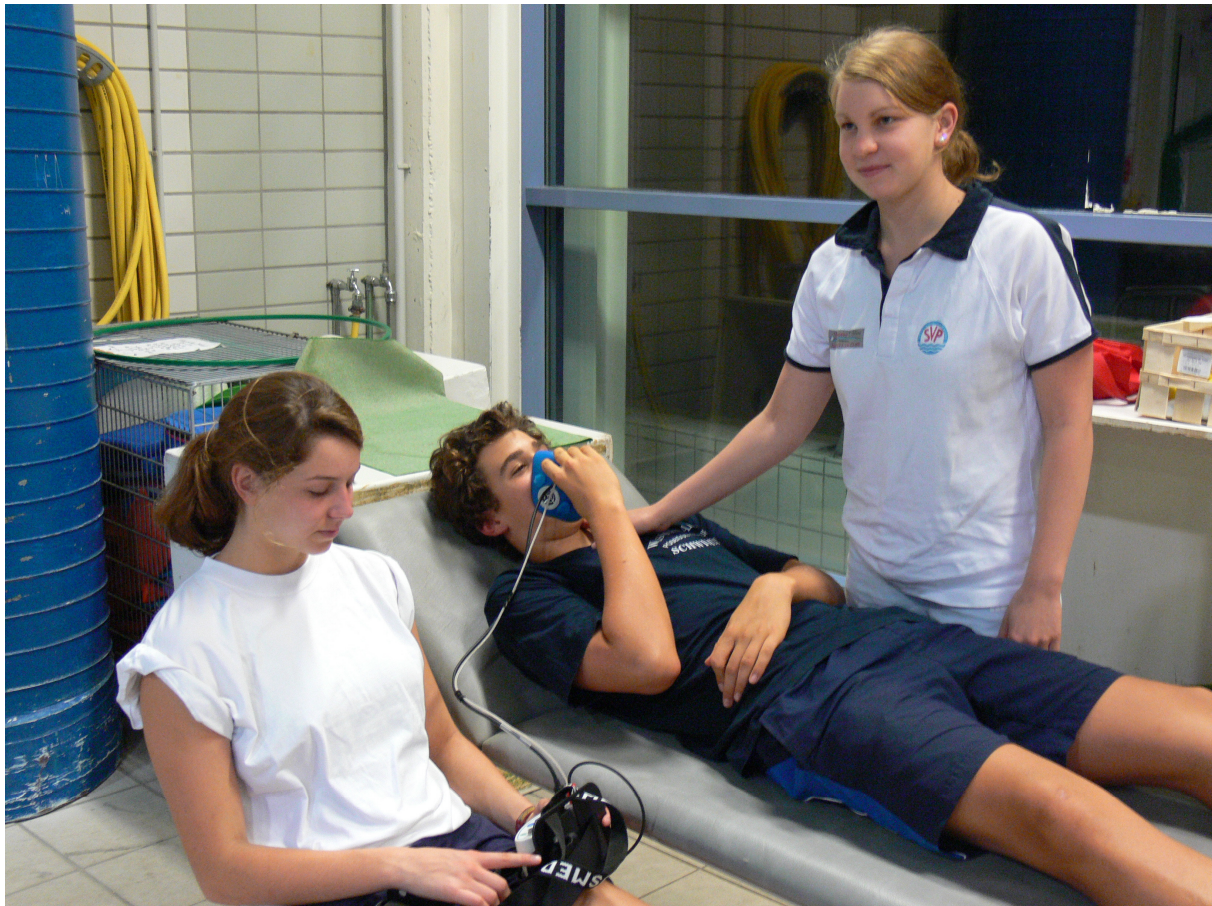


Abb.2: Bestimmung der spirometrischen Werte und der Herzfrequenz in Ruhe

Zur Bestimmung des Ruhelaktatwertes wurde vor der Untersuchung das Kapillarblut des hyperämisierten Ohrläppchens genommen (Abb.3).



Abb.3: Bestimmung des Ruhelaktats

Anschließend hat sich jeder Sportler individuell eingeschwommen. Nach dem Einschwimmen wurde die Herzfrequenz- und Laktatbestimmung wiederholt, um auszuschließen, dass durch das Einschwimmen eine zu hohe Belastung stattgefunden hat.

Der Start des Sprints erfolgte auf Kommando. Das Startsignal wurde an die Zeitmessenanlage Colorado 5 (Colorado Time Systems, Loveland, USA) gekoppelt. Die Zeitmessung begann, sobald das Signal erfolgt ist und endete mit dem Handanschlag an der Anschlagmatte auf der gegenüberliegenden Seite. Der Sportler wurde aufgefordert, nach Möglichkeit in der rechten Ecke des Beckens anzuschlagen (Abb.4), damit möglichst zeitnah zum Belastungsende die Aufzeichnung der spirometrischen Daten in der Nachbelastungsphase erfolgen konnte.



Abb.4: Sportler unmittelbar nach Belastungsende beim Anschlag

Mit Hilfe einer Markierung am Beckenrand wurde, wie international allgemein üblich<sup>136</sup>, bei 25m die Zwischenzeit mit einer digitalen Handstoppuhr Digi PC110 (Digisports Instruments/ Firma Schütt, Marburg, Deutschland) auf eine Hundertstelsekunde genau gemessen. Die Zeiten wurden immer von derselben Person bestimmt.

Die Endzeit wurde mit der elektronischen Zeitmessanlage Colorado 5 (Colorado Time Systems, Loveland, USA) gemessen.

Während der Belastung wurde die Armzugfrequenz mittels einer digitalen Handstoppuhr Nielsen-Kellerman Interval 2000 (Firma Schütt, Marburg, Deutschland) aus drei Bewegungszyklen während des ersten und des zweiten Rennabschnittes bestimmt<sup>56</sup>. Mit Hilfe eines mobilen Spirometriesystems wurde nach der Nachatmungsmethode (siehe Kap 2.7) mittels der breath by breath – Technik die Sauerstoffaufnahme bestimmt. Die Bestimmung der Herzfrequenz erfolgte durch

## 2 Material und Methoden

---

Palpation der A. carotis communis über einen Zeitraum von 10 Sekunden<sup>19, 46</sup> direkt nach dem Anschlag des Probanden, sowie 1, 3, 5, 7 und 10 Minuten (1', 3', 5', 7' und 10') nach Belastungsende (Abb.5).



Abb.5: Sportler mit Spirometriegerät bei der Herzfrequenzbestimmung

Zur Bestimmung der maximalen Laktatkonzentration<sup>42, 43, 73</sup> wurde dem Sportler 1, 3, 5, 7 und 10 Minuten (1', 3', 5', 7' und 10') nach Belastungsende Kapillarblut aus dem hyperämisierten Ohrläppchen entnommen (Abb.6).

Während der 10 Minuten nach Belastungsende stand der Schwimmer aufrecht an der Beckenwand im Wasser.



Abb. 6: Sportler nach der Belastung mit Spirometriegerät bei der Laktatabnahme

Die Probanden wurden sofort, sowie eine, fünf und zehn Minuten (1', 5' und 10') nach Belastungsende aufgefordert, den Grad der Anstrengung mit Hilfe der Borg-Skala<sup>13, 14, 130</sup> (siehe Abb.7) zur Beurteilung des subjektiven Anstrengungsempfinden einzuschätzen.

6	
7	sehr, sehr leicht
8	
9	sehr leicht
10	
11	leicht
12	
13	etwas anstrengend
14	
15	anstrengend
16	
17	sehr anstrengend
18	
19	sehr, sehr anstrengend
20	

Abb.7: Borg-Skala<sup>14</sup>

Zusammenfassend stellen Abbildung 8 und Tabelle 10 einen Überblick über die zeitliche Abfolge der Untersuchung dar.

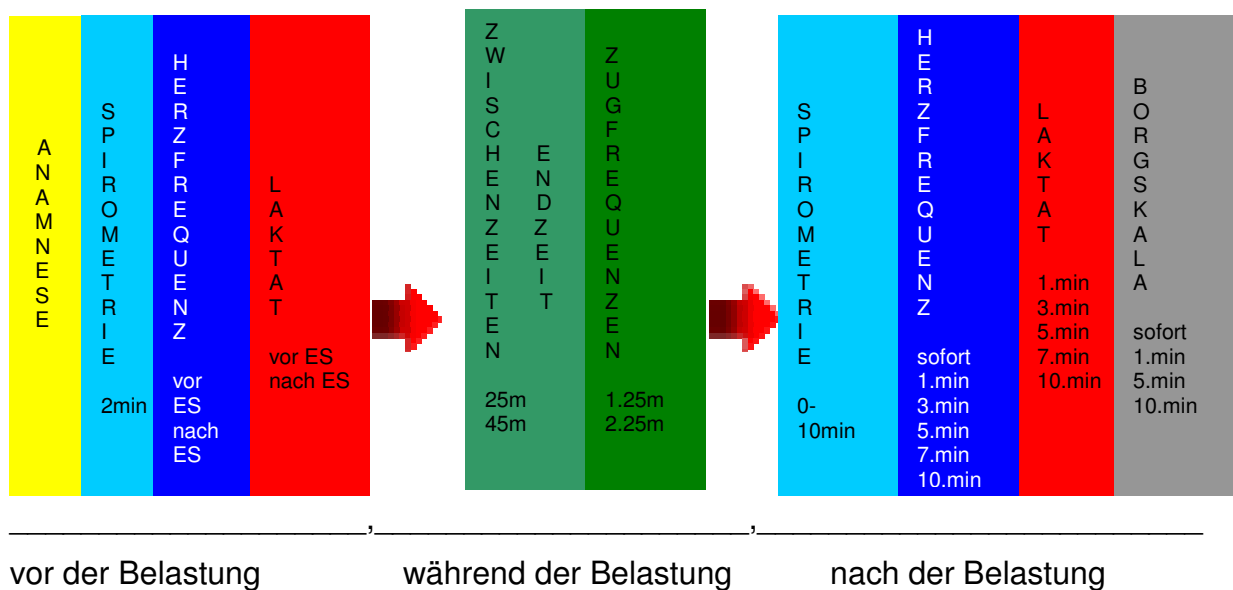


Abb.8: zeitliche Abfolge der Untersuchung



## 2 Material und Methoden

---

Tab.10: Zeitliche Abfolge der verschiedenen Messparameter.

	vor der Belastung	während der Belastung	nach der Belastung
Anamnese	vor dem Einschwimmen	-	-
Spirometrie (ml/min/kg)	in Ruhe 5 Minuten	-	sofort nach dem Anschlag, kontinuierlich 5 Minuten
Herzfrequenz (1/min)	letzte Minute der Ruhespirometrie, nach dem Einschwimmen	-	sofort, 1, 3, 5, 7 und 10 Minuten nach dem Anschlag
Laktatabnahme (mmol/l)	vor und nach dem Einschwimmen	-	1, 3, 5, 7 und 10 Minuten nach dem Anschlag
Zwischenzeiten (s)	-	bei der 25m-Markierung	-
Zugfrequenz (Zyklen/min)	-	im ersten und zweiten Rennabschnitt	-
Subjektives Belastungsempfinden anhand der Borg-Skala	-	-	sofort nach Belastungsende, sowie 1,5 und 10 Minuten nach Belastungsende

Nach dem Eingangstest hat die Hälfte der Probandengruppe nach vorheriger Randomisierung das spezielle Apnoe-Sprint-Training für 8 Wochen<sup>56, 87, 150, 153</sup> absolviert.

Nach Beendigung der Intervention führten beide Gruppen ein zweites Mal wie eingangs beschrieben den standardisierten 50m-Freistil Sprint in völliger Apnoe sowie mit „Atmung ad libidum“ durch.

### 2.4 APNOE-TRAINING

Das Apnoe-Sprint-Training setzt sich aus verschiedenen, in der Literatur beschriebenen Trainingsinhalten<sup>37, 56, 87, 125, 153</sup> zusammen. Zur Verlängerung der Tauchzeit wird an vier Tagen in der Woche ein Tauchtraining integriert. Die eine Hälfte der Sportler, die Trainingsgruppe, wird an zwei Tagen aufgefordert, 4-mal hintereinander mit 2 Minuten Pause so weit wie möglich zu tauchen<sup>37, 56, 125</sup>. An den anderen beiden Tagen absolvieren die Sportler eine Tauchserie von 8x25m tauchen mit 30 Sekunden Pause<sup>87</sup>. Hinzu kommen Serien aus dem Sprinttraining (4-12x 8-25m in maximal möglicher Geschwindigkeit, Pause 1-3 Minuten; 1-2x 50m in maximaler Geschwindigkeit)<sup>153</sup>, die die Sportler ohne Atmung absolvieren sollen. Eine Verbesserung des anaeroben Stoffwechsels soll erreicht werden und damit eine Verschiebung der Sauerstoffverbrauchskurve besonders in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit. Diese Trainingselemente werden sowohl in den Technikteil als auch in das Sprinttraining der Schwimmer integriert. Die andere Hälfte der Probandengruppe dient als Kontrollgruppe und trainiert in gewohnter Weise weiter. Die Trainingshäufigkeit sowie die Gesamtbelastung während des Trainings unterscheiden sich nicht zwischen der Versuchs- und Kontrollgruppe. Beide Gruppen haben einen Trainingsumfang von durchschnittlich 35 km in 18 Trainingsstunden im Wasser pro Woche. Eine Vergleichbarkeit der Gruppen ist gewährleistet.

### 2.5 SCHWIMMBECKEN

Als Untersuchungsbecken diente ein Stahlbecken von 50 x 21 x 1,8m Größe (Berndorff GmbH, Rheine, Deutschland), das in sechs 50m-Bahnen aufteilbar war. Die Wassertemperatur betrug während des gesamten Untersuchungszeitraums 26 °C und wurde durch einen Temperaturregler konstant gehalten.

### 2.6 SPIROMETRIE- UND NACHATMUNGSMETHODE

Zur Erfassung der Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) wird ein Spirometriesystem verwendet (k4b2, Cosmed S.r.l, Rom, Italien), das den Gasaustausch Atemzug für Atemzug analysiert (Breath by Breath)<sup>39, 88, 98</sup>. Im Messkopf, an dem die Gesichtsmaske befestigt ist, in welche der Proband zu atmen hat, befindet sich ein Flussmesser mit einer digitalen bidirektionalen Turbine (Durchmesser 28mm, Strömungsbereich 0-20 l/s, Ventilationsbereich 0-300l/min, Messgenauigkeit(MG) +/- 2%, dyn. Widerstand < 0,7 cmH<sub>2</sub>O/l/s bei 12/s, Auflösung 4ml).

Ein Probenschlauch (Nafion-Schlauch, Permapure R; Länge 73 cm, Rom, Italien) trocknet die Atemluft an und führt sie dem O<sub>2</sub>-Analysator (Meßbereich(MB) 7-24%O<sub>2</sub>, MG 0,02% O<sub>2</sub>, Ansprechzeit(AZ) <150ms bei 90%FS) und dem CO<sub>2</sub>-Analysator (MB 0-8% CO<sub>2</sub>, MG 0,01% CO<sub>2</sub>, AZ <150ms bei 90%FS) im Inneren der tragbaren Einheit (portable Unit, PU; Abmessung 170x55x100mm, Gewicht 550g, Thermometer 0-50 °C, Barometer 53-106 kPa), dem eigentlichen Spirometer, zu.

Die PU ermöglicht es, die Messungen im Schwimmbad ohne PC vorzunehmen; die Daten können gespeichert werden und zu einem späteren Zeitpunkt auf einen PC überspielt (mittels RS232C-Schnittstelle) und dort weiterverarbeitet werden (K4B2 4.1Software, Cosmed S.r.l., Rom, Italien).

Zur Kalibration der Turbine wird eine Pumpe (3-Liter-Kalibrationspumpe, Cosmed S.r.l., Rom, Italien), zur Gaskalibration ein definiertes Gasmisch mit CO<sub>2</sub>=5,86%, O<sub>2</sub>=12,15% und N<sub>2</sub>=81,99% mit 150 bar bei 15 °C in einer 0,5-l-Flasche (FI-Nr. AB556589, Messer Griesheim GmbH, Duisburg, Deutschland) verwendet. Die Werkseinstellung der Kalibrationsfaktoren an der PU ist: O<sub>2</sub>-Baseline (BL):0, O<sub>2</sub>-Gain (G): 1000, O<sub>2</sub>-Delay (Dly): 500; CO<sub>2</sub>-BL:0, CO<sub>2</sub>-G:1000, CO<sub>2</sub>-Dly: 500; Turbine-G: 1000ex/1000in.

Mit der Methode der so genannten O<sub>2</sub>-Nachatmung steht ein Verfahren zur Verfügung, mit dem auch nach einer Belastung die aktuelle O<sub>2</sub>-Aufnahme zum Zeitpunkt des Belastungsabbruchs ermittelt werden kann.

Dazu muss der Schwimmer unmittelbar nach dem Anschlag am Beckenrand in eine Maske des Stoffwechsellmessplatzes hineinatmen. Nach einer kurzen Latenzzeit misst das Gerät den aktuellen O<sub>2</sub>-Verbrauch, wobei aus der Kinetik des Abfalls der

O<sub>2</sub>-Aufnahme in der Nachbelastungsphase auf den Wert bei Belastungsabbruch extrapoliert werden kann<sup>25, 81, 102, 135</sup>.

### 2.7 BESTIMMUNG DER VO<sub>2</sub>-WERTE

Die Bestimmung der Sauerstoffaufnahme erfolgte mit dem Spirometriesystem mittels der Nachatmungsmethode<sup>102</sup>. Die Werte wurden vom K4-Spirometer in einer Excel-Tabelle dargestellt und anschließend graphisch aufbereitet.

Die Bestimmung der VO<sub>2</sub> bei Belastungsabbruch wurde durch eine negative mathematische Extrapolation (Backward Extrapolation) nach der allgemein gültigen Formel

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

durchgeführt<sup>81, 102, 117, 135</sup>. Die Berechnung erfolgte auf der Grundlage der Werte, die über 60 Sekunden aufgezeichnet wurden<sup>81</sup>.

Ganz entscheidend für die Berechnung ist der zeitliche Abstand zwischen dem Ende des 50m-Sprints und dem Beginn der Aufzeichnungen, entsprechend der Zeit, die benötigt wird, dem Schwimmer die Maske aufzusetzen: Nach ihr richtet sich, wie viele Intervalle  $x$  zur Berechnung nötig sind. Aufgrund der sekundengenauen Erfassung der Werte, wird der zeitliche Abstand mathematisch gerundet. Nachkommastellen bis  $x, 49$  werden abgerundet, ab  $x, 50$  wird aufgerundet.

## 2.8 BESTIMMUNG DER SPEZIFISCHEN SAUERSTOFFMENGE

Zur Erfassung der Sauerstoffaufnahme wird, wie in Kapitel 2.6 beschrieben, ein Spirometriesystem verwendet, das die Sauerstoffaufnahme Atemzug um Atemzug analysiert. In Abbildung 9 wird der spezifische Volumenstrom für ein einzelnes Beispiel gezeigt.

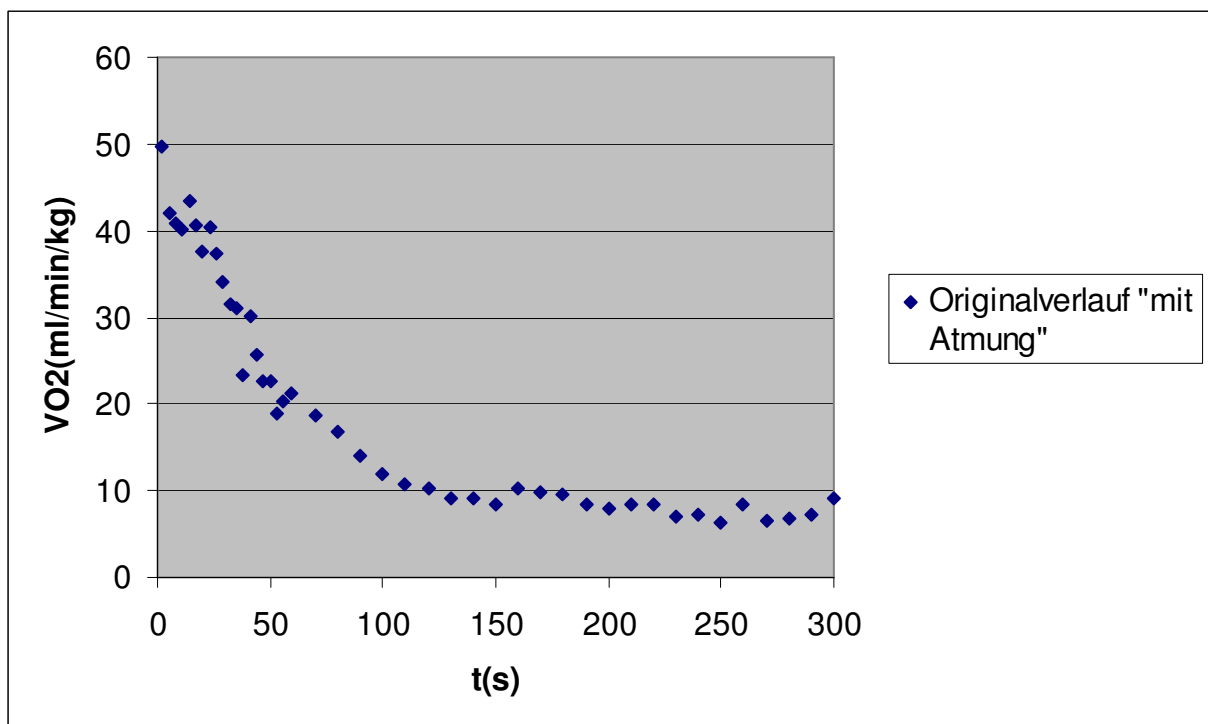


Abb.9: spezifischer Volumenstrom für einen Sprint mit Atmung

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt zum einen durch den Vergleich einzelner Messwerte, zum anderen ist der Vergleich der spezifischen Sauerstoffmenge (im folgenden Volumen) von besonderem Interesse.

Das spezifischen Volumen entspricht der Fläche unterhalb der Kurve, die sich aus den Messdaten ergibt<sup>57, 104</sup>. Die Fläche wird durch numerische Integration<sup>57</sup> bestimmt. Dabei ist der Wert zu Beginn der Nachbelastungsphase besonders interessant. Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, kommt es durch das Aufsetzen der Maske zu einer Verzögerung bei der Erfassung der Messwerte. Ein gängiges Verfahren zur Bestimmung von  $VO_2$  bei Belastungsende ist die negativ mathematische Extrapolation nach Léger<sup>81, 102, 135</sup>.

In Abbildung 10 wird der Kurvenverlauf einer Ausgleichsfunktion Ausgleichsfunktion nach Léger gezeigt, deren Koeffizienten analytisch bestimmt wurden. Dabei kommt es zu unbefriedigenden Ergebnissen, da der Grundbedarf der Sauerstoffversorgung bei diesem Verfahren nicht berücksichtigt wird.

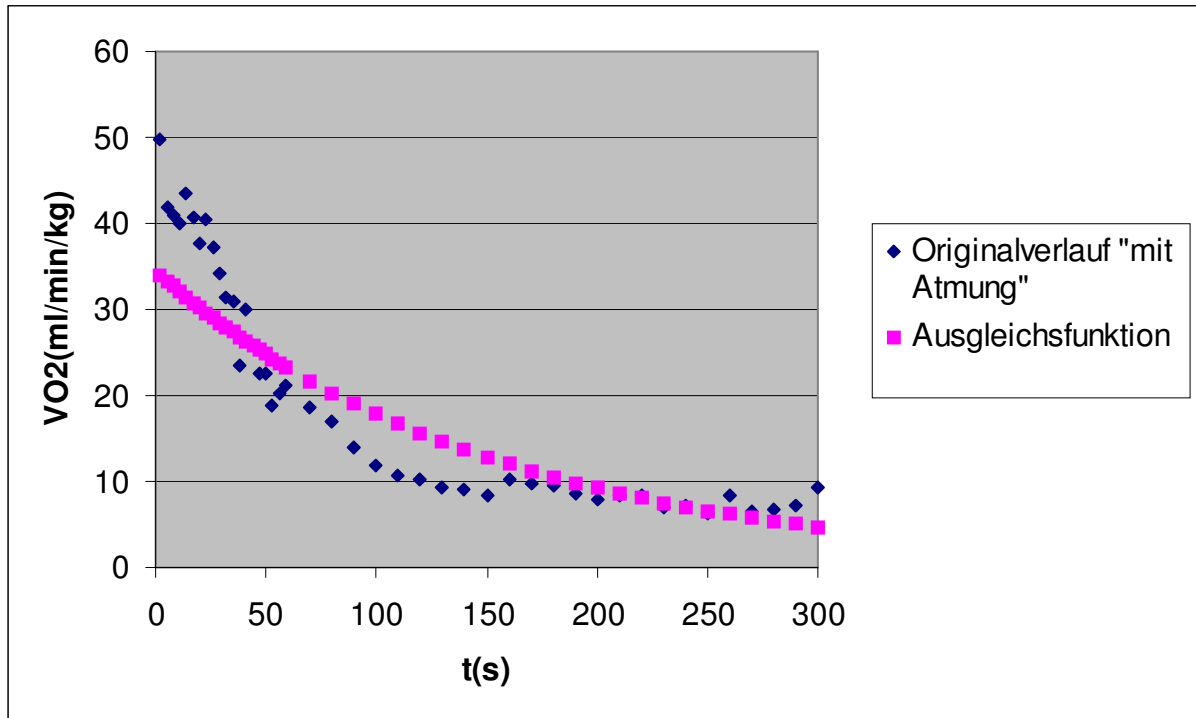


Abb.10: spezifischer Volumenstrom für einen Sprint mit Atmung im Original und ermittelt durch eine Ausgleichsfunktion

Grundsätzlich strebt eine e-Funktion gegen Null. Wie in Abbildung 10 zu sehen, liegt der Grundbedarf deutlich über der Nulllinie. Das Bestimmen einer Ausgleichsfunktion durch einen mathematischen Ansatz ist nicht weiter möglich. Der Grundbedarf der Sauerstoffversorgung entspricht einer vertikalen Verschiebung der e-Funktion. Die Verschiebung wird durch eine Konstante  $c$  ausgedrückt, die durch manuelle Parameterwahl in Abhängigkeit des Bestimmtheitsmaßes angepasst wird (vergleiche Abbildung 11).

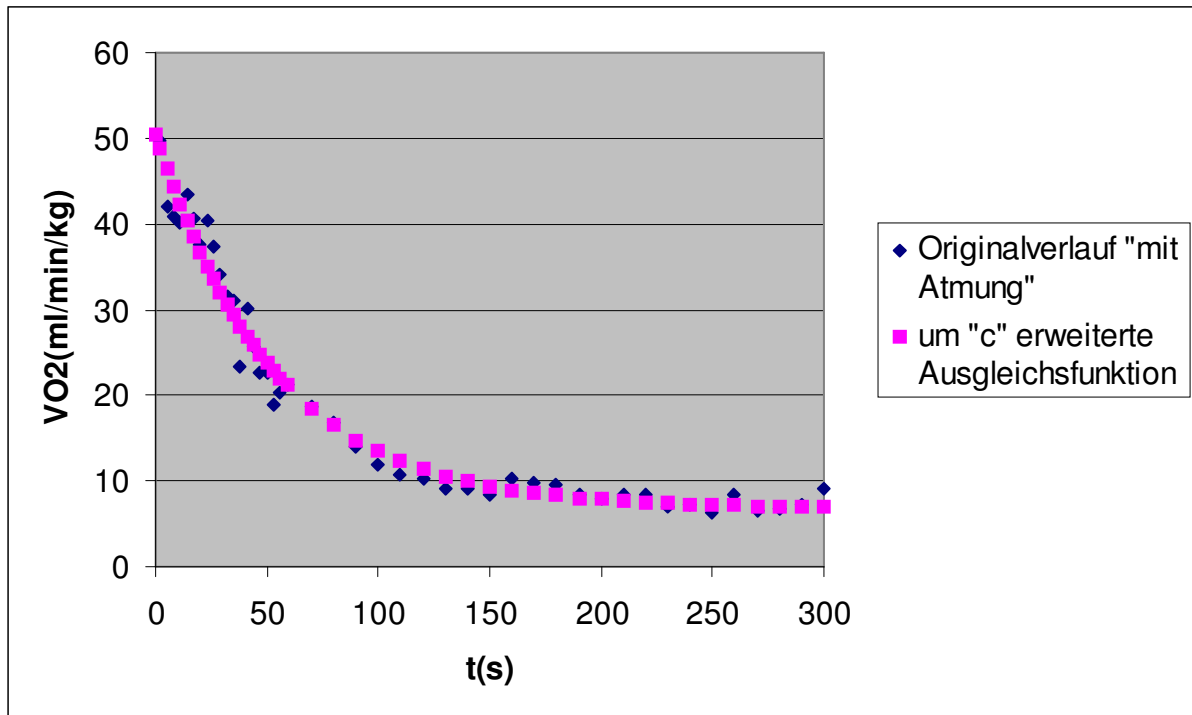


Abb.11: spezifischer Volumenstrom für einen Sprint mit Atmung im Original und ermittelt durch eine um eine Konstante erweiterte Ausgleichsfunktion

Das Bestimmtheitsmaß für die nach der Formel von Léger ermittelte Ausgleichsfunktion beträgt  $R^2=0,8491$ . Für die um die Konstante  $c$  erweiterte Ausgleichsfunktion beträgt das Bestimmtheitsmaß  $R^2=0,97555$ .

Das spezifische Volumen der Sauerstoffaufnahme wird durch die Berechnung der Fläche unterhalb der Ausgleichsfunktion  $y = ae^{-bx} + c$  bestimmt. Das Ergebnis entspricht in guter Näherung den realistischen Werten.

Wie in Kapitel 3.1.3 beschrieben, fällt für die Messwerte nach einem Sprint in völliger Apnoe ein Abweichen der Kurve vom erwarteten monoexponentiellen Verlauf auf. Für diese Versuche gibt die Ausgleichsfunktion den Verlauf der Sauerstoffaufnahme besonders zu Beginn der Nachbelastungszeit nur unzureichend wieder. Das dort beobachtete Schwingen der Werte um die Ausgleichsfunktion kann durch eine gedämpfte Kosinus-Schwingung mit abklingender Frequenz<sup>57, 104</sup> genähert werden. Die zugehörigen Parameter werden manuell ermittelt.

Abbildung 12 zeigt den Kurvenverlauf für eine um die Konstante  $c$  erweiterte Funktion. Das Bestimmtheitsmaß beträgt  $R^2=0,654$ . Durch zusätzliche Erweiterung der Ausgleichsfunktion um die Kosinus-Schwingung beträgt das Bestimmtheitsmaß  $R^2=0,96883$ . Die Funktion wird beschrieben durch

$$y = ae^{-bx} + c + de^{-gx} \cos(\omega x e^{-hx} + \varphi).$$

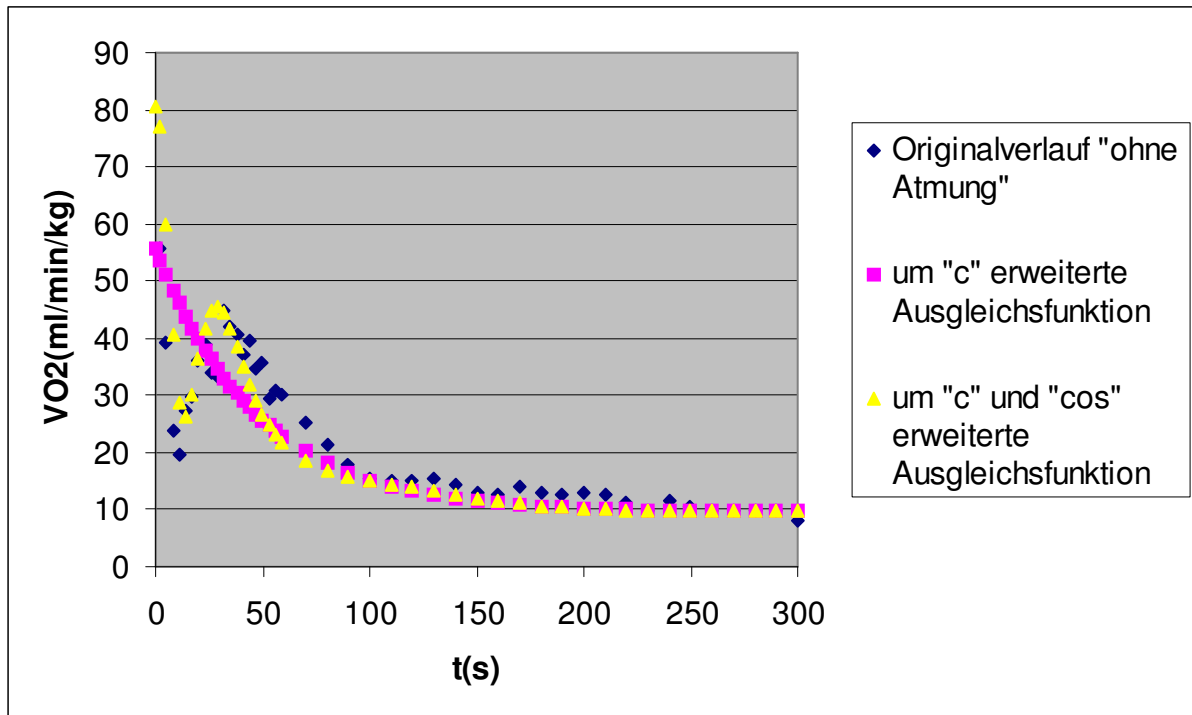


Abb.12: spezifischer Volumenstrom für einen Sprint ohne Atmung im Original und ermittelt durch die erweiterten Ausgleichsfunktionen

Mit Hilfe dieser Funktion und der ermittelten Parameter wird das spezifische Volumen bestimmt. Die Volumenbestimmung erfolgt über die Berechnung der Fläche unterhalb der Ausgleichsfunktion mit Hilfe des Riemann-Integral<sup>57, 104</sup> schrittweise in Abschnitten von 0,01s.



### 2.9 LAKTATMESSUNG

Zur Blutlaktatbestimmung wurde Kapillarblut aus dem hyperämisierten rechten Ohrläppchen entnommen. Dazu wurde das Ohr mit einer Blutlanzette (Solofix, B.Braun Petzold GmbH, Melsungen, Deutschland) angestochen. Der Blutstropfen wurde mit einer 20µl-End-zu-End-Kapillare (Eppendorf-Netheler-Hinz GmbH, Hamburg, Deutschland) aufgefangen, in einem Probegefäß mit 1000µl Systemlösung (Eppendorf-Netheler-Hinz GmbH, Hamburg, Deutschland) geschüttelt und bis zur Analyse aufbewahrt (Lagerung <12h bei Raumtemperatur, >12h bei 8-12°C).

Während der Untersuchung trug der Untersucher Handschuhe Vasco gepudert (B.Braun Petzold GmbH, Melsungen, Deutschland).

Zur Bestimmung der Laktatkonzentration stand ein Analysegerät Biosen C\_line (EKF-diagnostic GmbH, Magdeburg, Deutschland) zur Verfügung. Laktat wurde enzymatisch-amperometrisch bestimmt (MB 5-360 mg/dl bzw. 0,5-40mmol/l Laktat, Unpräzision <1,5% bei 12mmol/l).

Bei diesem Verfahren wird Probenlösung automatisch vom Gerät eingezogen und dem BIOSEN-System zugeführt. Das in der Probe enthaltene Laktat wird enzymatisch mit Hilfe der Laktatoxidase umgesetzt. Das neben Pyruvat entstehende Wasserstoffperoxid wird an der Elektrode detektiert. Eine Kalibration bekannter Konzentrationen ist wichtig. Der resultierende Stromfluss ist proportional zur Laktatkonzentration. Unbekannte Laktatkonzentrationen können dann im Verhältnis dazu bestimmt werden.

Der Chipsensor wird automatisch nach jeder Messung mit einer salzhaltigen Pufferlösung gereinigt.

### 2.10 KRITIK AN DER METHODE

Grundsätzlich stellen alle subjektiv erfassten Daten ein Fehlerrisiko dar. Um das Fehlerrisiko zu minimieren, wurden alle Daten von derselben Person nach demselben Schema erfasst.

Die Einteilung der Gruppen „Sprint“ und „Ausdauer“ erfolgte aufgrund der 50m- und 400m-Bestzeiten. Die Angaben der Sportler bezogen sich auf Zeiten, die in einem offiziellen Wettkampf erzielt wurden. Eine bessere Grundlage für den Ausdauernachweis wäre die 1500m-Zeit gewesen. Ein 1500m-Rennen dauert je nach Leistungszustand zwischen 15 und 20 Minuten. Die hohe aerobe Leistungsfähigkeit der Ausdauerspezialisten kommt hier noch deutlicher zum Tragen. Dieses schien jedoch von vornherein realitätsfremd, da insbesondere die Sprintschwimmer keine offiziellen 1500m-Zeiten hatten. Die 400m-Bestzeiten waren aus diesem Grund ein realisierbarer Kompromiss.

Ein mögliches Fehlerrisiko stellte die Handzeitnahme der Zwischenzeit mit der Stoppuhr dar. Um das Fehlerrisiko zu minimieren, wurden die Zeiten jedoch immer von derselben Person an einem vorher markierten Messpunkt gemessen.

Die Endzeitnahme erfolgte mit einem elektronischen Zeitmesssystem. Die Sportler müssen dafür am Ende der Sprintstrecke an einer Anschlagmatte in der Mitte der Bahn anschlagen, dadurch verzögert sich die so genannte Maskenzeit, die Zeit vom Anschlag des Sportlers bis zum Aufsetzen der Maske, weil der Sportler zunächst in die Ecke des Schwimmbeckens rutschen muss, damit die Maske aufgesetzt werden kann. Diese Verzögerung wurde in Kauf genommen, da durch die elektronische Zeitnahme das Fehlerrisiko im Gegensatz zur Handzeitnahme deutlich minimiert wurde.

Die durch Palpation gemessene Herzfrequenz birgt die Gefahr der Ungenauigkeit gegenüber der Herzfrequenzmessung mit einem Pulsgurt. In einigen Voruntersuchungen hat sich jedoch herausgestellt, dass sich die Befestigung des Gurtes an zum Teil sehr schlanken Körpern besonders unter dem Einfluss der sehr großen Schwimmgeschwindigkeiten als äußerst schwierig erweist. Um das

Fehlerrisiko zu minimieren, wurde die Palpation immer von derselben Person durchgeführt.

Während der 8-wöchigen Trainingsphase ist damit zu rechnen, dass Probanden aufgrund von Krankheitsfällen oder ähnlichem aus der Untersuchung ausscheiden müssen. Daher wurden alle Sportler der Leistungsgruppen des Hamburger Schwimmverbandes mit der entsprechenden Leistungsfähigkeit für die Tests herangezogen. Am Ende mussten 6 Probanden aus den Untersuchungen ausscheiden.

Für die Ergebnisse der Untersuchung ist von besonders großer Wichtigkeit, dass alle Sportler die Sprints in maximal möglicher Geschwindigkeit schwimmen. Die Motivation und Tagesform spielt dabei eine sehr große Rolle. Jeder Sportler wurde zu jeder Untersuchung, unmittelbar vor seinem Start, aufgefordert, so schnell wie möglich zu schwimmen.

Die Diskussion der Ergebnisse für eine so kleine Gruppengröße ist im Allgemeinen schwierig. Grundsätzlich käme eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit einem Meßfaktor zur Anwendung. Dieser Test lässt jedoch keine Aussage über den Vergleich vor und nach der Trainingsintervention zu, sondern ausschließlich über die Gruppenzugehörigkeit. Aufgrund der sehr kleinen Gruppengröße sind keine Ergebnisse zu erwarten, daher wurde auf dieses Verfahren verzichtet und auf parameterfreie Tests zurückgegriffen.

Die verwendeten statistischen Prüfverfahren (Wilcoxon-Test und U-Test nach Mann/Whitney) sind allgemein bekannt und haben eine große Aussagekraft. Die Ergebnisse der Gesamtgruppe, sowie der Trainings-, Kontroll-, Sprint- und Ausdauergruppe sind entsprechend zu bewerten.

Eine weitere Unterteilung der Gruppen, wie zum Beispiel in eine Trainings- und Kontrollgruppe der Sprinter etc., ist aufgrund der zu kleinen Gruppengröße nicht möglich. Es standen keine weiteren Probanden mit der entsprechend hohen sportlichen Leistungsfähigkeit zur Verfügung.

Die Integration ist eine Methode zur mathematischen Bestimmung der Fläche unterhalb einer Kurve. Mit Hilfe des Integrals kann die Menge der

Sauerstoffaufnahme für eine bestimmte Zeitspanne bestimmt werden, um damit eine Aussage über den Gesamtsauerstoffverbrauch zu treffen. Die Bestimmung des Integrals kann nur annäherungsweise erfolgen, da nur einzelne Messwerte vorliegen und kein durchgehender Kurvenverlauf. Der Verlauf der Kurve zwischen den einzelnen Messpunkten kann nur angenommen aber nicht exakt bestimmt werden. Eine weitere Schwierigkeit liegt darin, dass durch die Integration lediglich eine Aussage über die Höhe der Sauerstoffaufnahme getroffen werden kann, jedoch nicht über ihren Verlauf innerhalb der gewählten Zeitspanne. Aus diesem Grund werden in der vorliegenden Arbeit sowohl die Gesamtfläche als auch die einzelnen Messpunkte betrachtet und miteinander verglichen.

Das Apnoetraining setzt sich zusammen aus verschiedenen Inhalten zur Verlängerung der Tauchzeit sowie aus Elementen des Sprinttrainings. Diese Inhalte konnten mit der Literatur belegt werden. Bisher gibt es jedoch keine Untersuchungen darüber, ob die ausgewählten Inhalte des Apnoetrainings tatsächlich eine Steigerung der anaeroben Kapazität nach sich ziehen.

## 2.11 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Zur Beschreibung der Ergebnisse wurden der Mittelwert der Stichprobe und die Standardabweichung SD (standard deviation) berechnet.

Die graphische Darstellung erfolgte mit Hilfe des Programms Microsoft Excel 2000 (Version 9.0.2812, Microsoft Corporation; USA; 1999). Zur Darstellung des Streuungsmaßes wurde der Standardfehler verwendet.

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm Statistika (Version 6.0; StatSoft Inc.; Tulsa; USA; 1996) durchgeführt.

Aufgrund der kleinen Stichprobengröße wurden parameterfreie Prüfverfahren durchgeführt. Für den Vergleich zweier abhängiger Stichproben wurde der Wilcoxon-Test verwendet. Für den Vergleich zweier unabhängiger Stichproben wurde der U-Test nach Mann/Whitney verwendet<sup>154</sup>.

Eine Signifikanz wird akzeptiert ab einem Wahrscheinlichkeitsniveau von 95%, d.h.  $p \leq 0,05$ . Ein höheres Wahrscheinlichkeitsniveau von 99% ( $p \leq 0,01$ ) oder 99,9% ( $p \leq 0,001$ ) wird als hoch signifikant bezeichnet<sup>154</sup>.

Für das Signifikanzniveau werden im Text und in den graphischen Darstellungen folgende Symbole verwendet:

$p > 0,05$	=	(n.s.)
$p \leq 0,05$	=	(*)
$p \leq 0,01$	=	(**)
$p \leq 0,001$	=	(***)

### 3 ERGEBNISSE

Damit eine bessere Übersicht über die Ergebnisse gewährleistet ist, sind die Tabellen 21 bis 174 im Anhang zu finden.

#### 3.1 SAUERSTOFFAUFNAHME

##### 3.1.1 Ruhe-RQ

Der respiratorische Quotient (RQ) in Ruhe wird aus den letzten 30 Sekunden der Ruhespirometrie ermittelt. So werden verfälschte Messergebnisse zu Beginn der Aufzeichnung durch Aufregung oder Unsicherheit der Probanden ausgeschlossen.

Der Ruhe-RQ unterscheidet sich nicht ( $p > 0,05$ ) zwischen dem Sprint mit und dem Sprint ohne Atmung zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt (Abb.13, Tab.11).

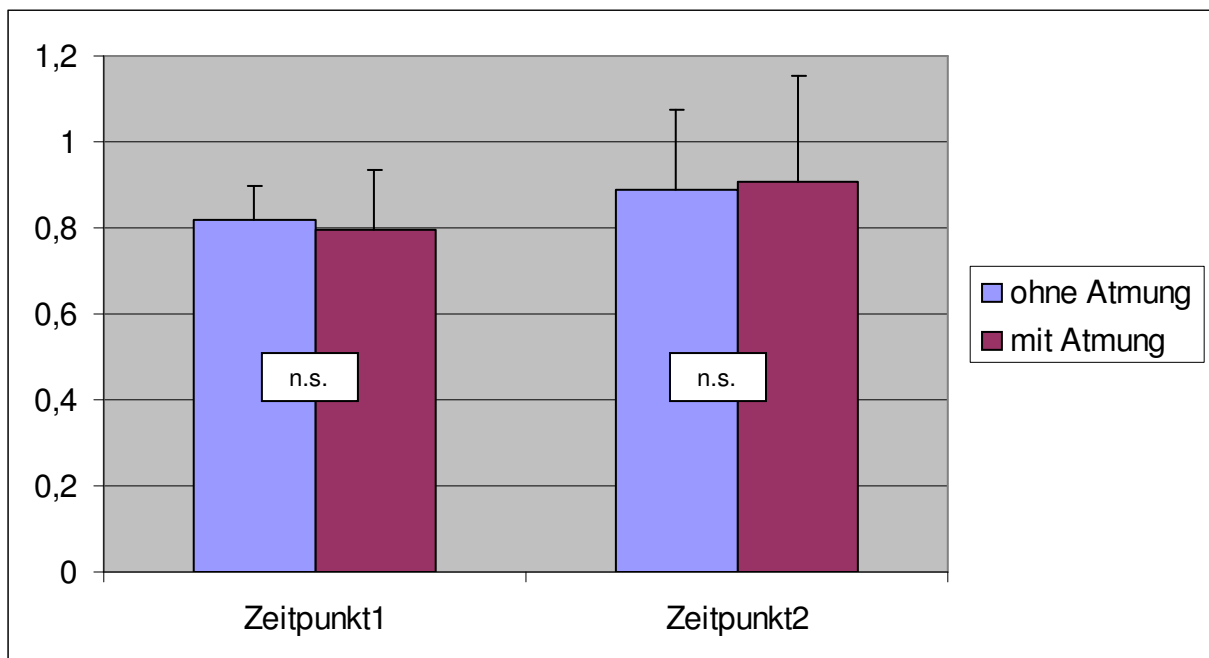


Abb.13: Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Sprint mit und ohne Atmung (n=14)

Tab.11: Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Sprint mit und ohne Atmung (n=14)

	Ruhe-RQ in der Gruppe „ohne Atmung“	Ruhe-RQ in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
Zeitpunkt 1	0,82 ± 0,08	0,79 ± 0,14	n.s.
Zeitpunkt 2	0,89 ± 0,19	0,91 ± 0,25	n.s.

### 3 Ergebnisse

Abbildung 14 und Tabelle 12 zeigen den Vergleich des Ruhe-RQ zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten beim Sprint ohne und beim Sprint mit Atmung. Die Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander ( $p > 0,05$ ).

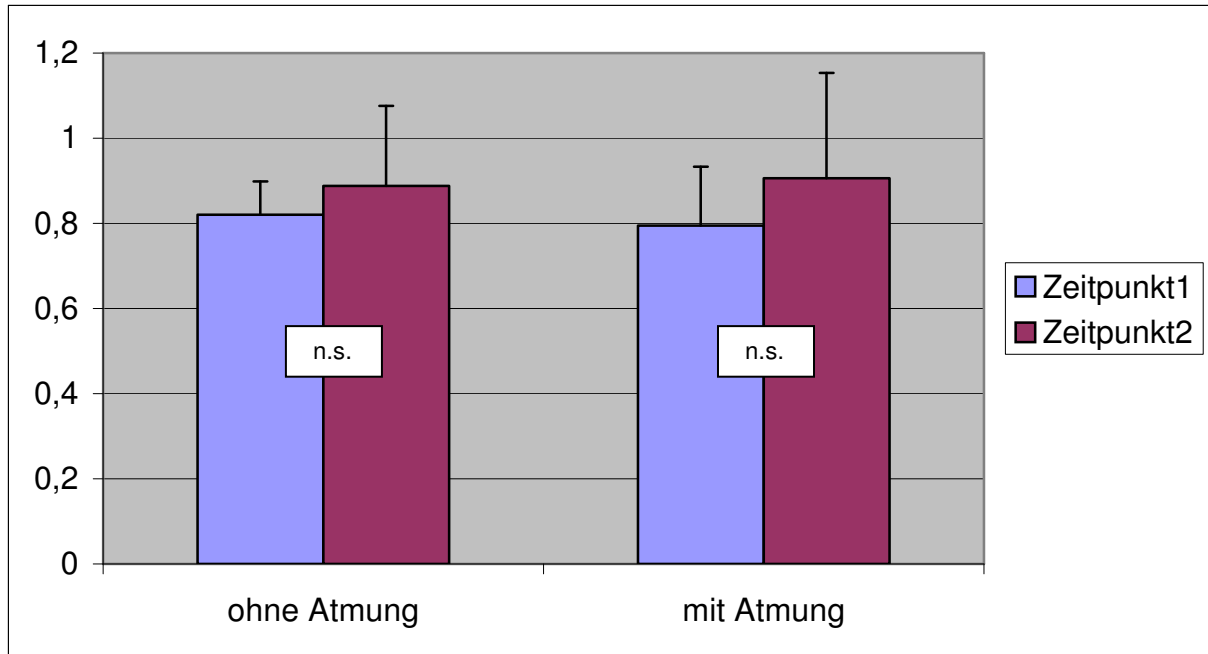


Abb.14: Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 (n=14)

Tab.12: Vergleich des Ruhe-RQ zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
Ruhe-RQ in der Gruppe „ohne Atmung“	0,82 ± 0,08	0,89 ± 0,19	n.s.
Ruhe-RQ in der Gruppe „mit Atmung“	0,79 ± 0,14	0,91 ± 0,25	n.s.

#### 3.1.2 Erfassung der Messwerte

Bei der Erfassung der Messwerte kommt es zu einer Verzögerung zwischen dem Anschlag und dem Aufsetzen der Maske (Maskenzeit). Diese Zeit wurde bei der Bestimmung von  $VO_2$  durch mathematische Extrapolation entsprechend berücksichtigt.

### 3 Ergebnisse

Ein signifikanter Unterschied ( $p > 0,05$ ) konnte nicht festgestellt werden zwischen dem Sprint mit Atmung und dem Sprint ohne Atmung (Tab.13).

Tab.13: benötigte Zeit (Maskenzeit), dem Schwimmer die Maske aufzusetzen (n=14)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
Zeitpunkt 1	1,35 ± 0,32	1,41 ± 0,28	n.s.
Zeitpunkt 2	1,16 ± 0,48	1,22 ± 0,22	n.s.

Ebenfalls zeigt der Vergleich der Maskenzeit zu den verschiedenen Untersuchungszeiten keinen signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ) in beiden Gruppen mit und ohne Atmung (Tab.14).

Tab.14: Maskenzeit zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	1,35 ± 0,32	1,16 ± 0,48	n.s.
Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	1,41 ± 0,28	1,22 ± 0,22	n.s.

Ausschlaggebend für die Bestimmung des ersten realistischen  $VO_2$ -Wertes ist die Beurteilung des VT-Wertes. Es ist davon auszugehen, dass ein vollständiger Atemzug vorliegt, wenn bei mindestens zwei aufeinander folgenden Werten der Unterschied nicht  $\geq 15\%$  ist und die VT-Werte fallen<sup>116</sup>. Die Maskenzeit wurde hier berücksichtigt.

Das Vorliegen des ersten realistischen Wertes unterscheidet sich nicht signifikant ( $p > 0,05$ ), weder zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung (Tab.15), noch zwischen den Untersuchungszeitpunkten (Tab.16).



### 3 Ergebnisse

---

Tab.15: Zeit, nachdem der erste realistische Wert  $VO_2$  vorlag (n=14)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
Zeitpunkt 1	3,21 ± 0,43	3,50 ± 0,94	n.s.
Zeitpunkt 2	3,14 ± 0,36	3,29 ± 0,47	n.s.

Tab.16: Zeit des ersten realistischen Wertes  $VO_2$  zu den verschiedenen Zeitpunkten (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	3,21 ± 0,43	3,14 ± 0,36	n.s.
Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	3,50 ± 0,94	3,29 ± 0,47	n.s.

Abbildung 15 beschreibt anhand eines Beispiels die mathematische Funktion zur Bestimmung der  $VO_2$ -Werte durch Extrapolation über einen Zeitraum von 60 Sekunden. Der Trendlinienverlauf für die Kurve, der sich aus den Messwerten nach dem Sprint mit Atmung ergibt, entspricht in etwa der erwarteten Kinetik mit einem monoexponentiellen Abfall. Das Bestimmtheitsmaß beträgt  $R^2=0,9633$ . Betrachtet man den Trendlinienverlauf für die Kurve „ohne Atmung“, so fällt auf, dass die Kurve von der erwarteten Kinetik abweicht. Die mathematische Extrapolation beschreibt einen Kurvenverlauf mit einem monoexponentiellen Abfall, der in dem Fall „ohne Atmung“ nicht gegeben ist. Die Messwerte in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit weichen von diesem Verlauf ab. Das Bestimmtheitsmaß beträgt für diesen Fall  $R^2=0,7774$ . Es ist anzunehmen, dass es durch den biphasischen Verlauf der  $O_2$ -Verlaufskurve zu einer entsprechenden Verfälschung des zurück extrapolierten Wertes kommt. In der Literatur wurde bislang keine mathematische Formel beschrieben, die den biphasischen Verlauf der Sauerstoffverbrauchskurve beschreibt, daher wird im folgenden Verlauf der Arbeit  $VO_2$  wie allgemein üblich durch negative mathematische Extrapolation bestimmt.

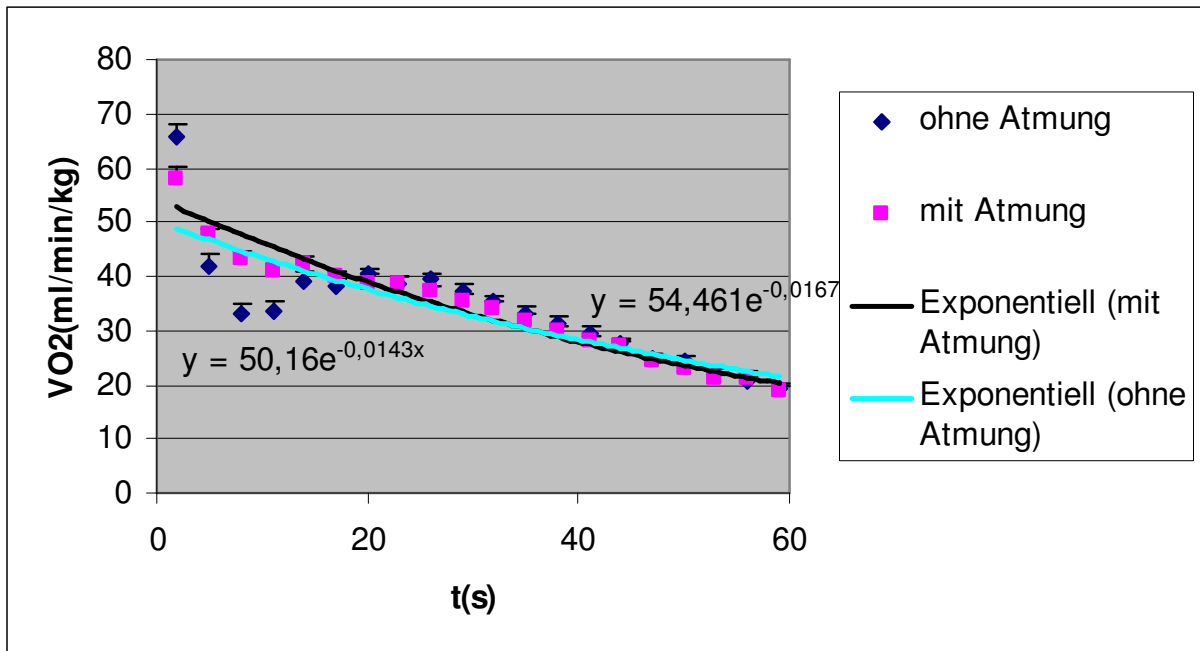


Abb.15: Beispiel des Trendlinienverlaufs nach mathematischer Extrapolation für den Sprint mit und ohne Atmung

### 3.1.3 Vergleich der Sauerstoffaufnahme

Für den Vergleich der Sauerstoffaufnahme wurde zunächst die Fläche unter der  $O_2$ -Verlaufskurve mit Hilfe des Riemann-Integrals bestimmt. Die Fläche unter der Ausgleichsfunktion beschreibt das spezifische Volumen, die Menge der Sauerstoffaufnahme für das entsprechende Zeitintervall. Angaben über das Bestimmtheitsmaß zu den jeweiligen Ausgleichsfunktionen und ihre Parameter sind im Anhang zu finden (Tab. 172-175). Im Rahmen einer Voruntersuchung wurde festgestellt (vergleiche Kap.1.2), dass Unterschiede besonders in der ersten Minute der Nachbelastungszeit zu erwarten sind. Aus diesem Grund wird die Fläche unter der Sauerstoffaufnahmekurve für die erste Minute nach der Belastung in 20-Sekunden-Abschnitte unterteilt, um kleine Veränderungen erfassen zu können.

Des Weiteren wird die Sauerstoffaufnahme Meßpunkt für Meßpunkt dargestellt, um die Dynamik der Verbrauchskurve festhalten zu können. Zu diesem Zweck wurden die Werte der Sauerstoffaufnahme in Intervallen zusammengefasst, um eine gleiche Anzahl an Werten in allen Messpunkten vergleichen und eine Signifikanzprüfung durchführen zu können. In der ersten Minute nach der Belastung wurden die  $VO_2$ -Werte in 3-Sekunden-Intervallen zusammengefasst (0-2 entspricht 2, 3-5 entspricht

### 3 Ergebnisse

5, u.s.w.), ab der 60. Sekunde der Nachbelastungszeit wurden die Werte in 10-Sekunden-Intervallen zusammengefasst.

Abbildung 16 beschreibt den Vergleich der Sauerstoffaufnahme in der Gesamtgruppe für die errechneten Flächen in den einzelnen Zeitabschnitten. Tendenziell ist die Sauerstoffaufnahme nach 60 Sekunden nach dem Sprint ohne Atmung größer als nach dem Sprint mit Atmung, dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. In der ersten Minute nach der Belastung unterscheiden sich die Werte der Sauerstoffaufnahme zwischen den Sprints mit und ohne Atmung kaum. Signifikante Unterschiede gibt es nicht (Tab. 21 und 22). Der Vergleich der Sauerstoffaufnahme zum Testzeitpunkt 1 gegenüber dem Testzeitpunkt 2 zeigt tendenziell höhere Werte für den ersten Zeitpunkt. Diese Werte unterscheiden sich signifikant ( $p \leq 0,05$ ) nach dem Sprint ohne Atmung für die Zeiträume 40-60, 60-300 und 0-300 (Tab.23). Alle weiteren Ergebnisse für die Gesamtgruppe unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

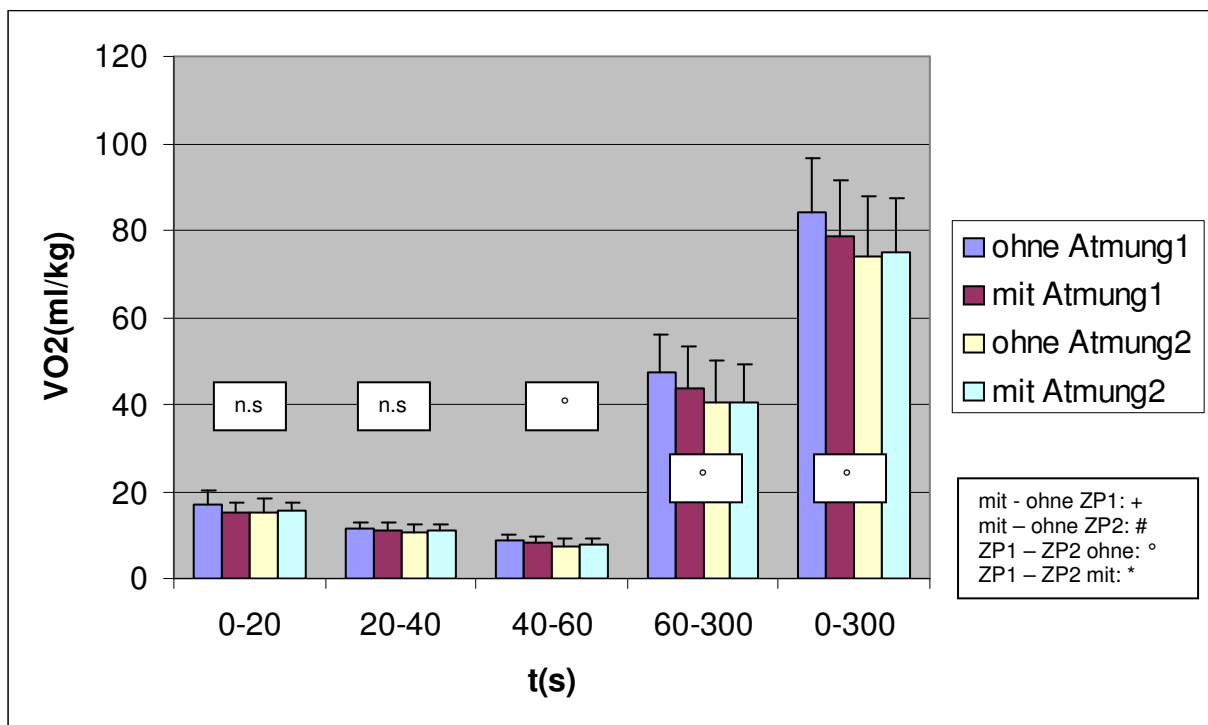


Abb.16: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gesamtgruppe (n=14)

Die Betrachtung der Kurvenverläufe in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit (Abb.17; Tab.25-28) zeigt tendenziell, in einigen Messpunkten

### 3 Ergebnisse

signifikant ( $p \leq 0,05$  bzw.  $p \leq 0,01$ ; ZP1 Sekunde 8; ZP2 Sekunden 5, 8, 11 und 17) niedrigere Sauerstoffaufnahmewerte für den Sprint ohne Atmung gegenüber dem Sprint mit Atmung. Dabei fällt auf, dass besonders der Verlauf der Kurven „ohne Atmung“ scheinbar in den ersten 20 Sekunden von der erwarteten Kinetik (monoexponentieller Abfall) abweicht.

Im weiteren Kurvenverlauf scheint die Sauerstoffaufnahme für den Sprint in völliger Apnoe, ebenso wie der Vergleich der Flächen für diesen Zeitraum, höher zu sein als für den Sprint mit Atmung ad libidum. Die Werte unterscheiden sich signifikant ( $p \leq 0,05$ ) für Sekunde 26 und 38 nach dem ersten Durchlauf.

Des Weiteren scheinen die Werte für die Sauerstoffaufnahme aus dem ersten Durchlauf, ebenso wie bei dem Vergleich der Flächen, über den Werten für die Sauerstoffaufnahme aus dem zweiten Durchlauf zu liegen (Abb.18; Tab.25-28). Diese Unterschiede sind in einigen Messpunkten signifikant ( $p \leq 0,05$  für Sekunde 35, 70, 80, 170, 250, 280 und 290 nach dem Sprint in Apnoe).

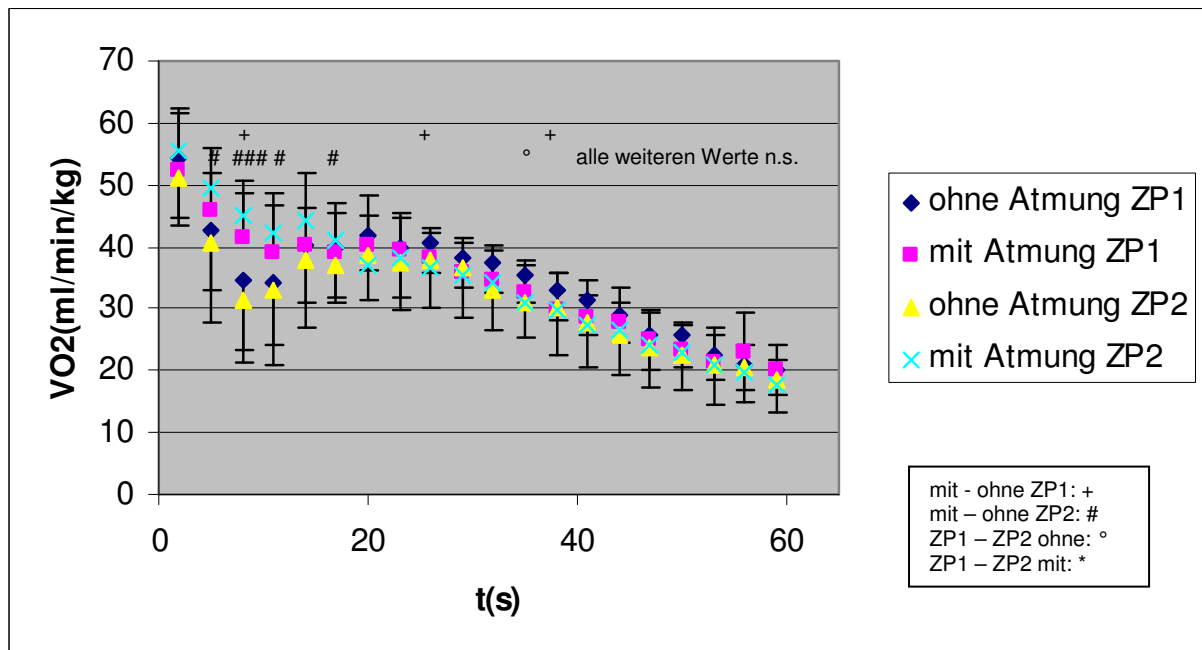


Abb.17: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute (n=14)

### 3 Ergebnisse

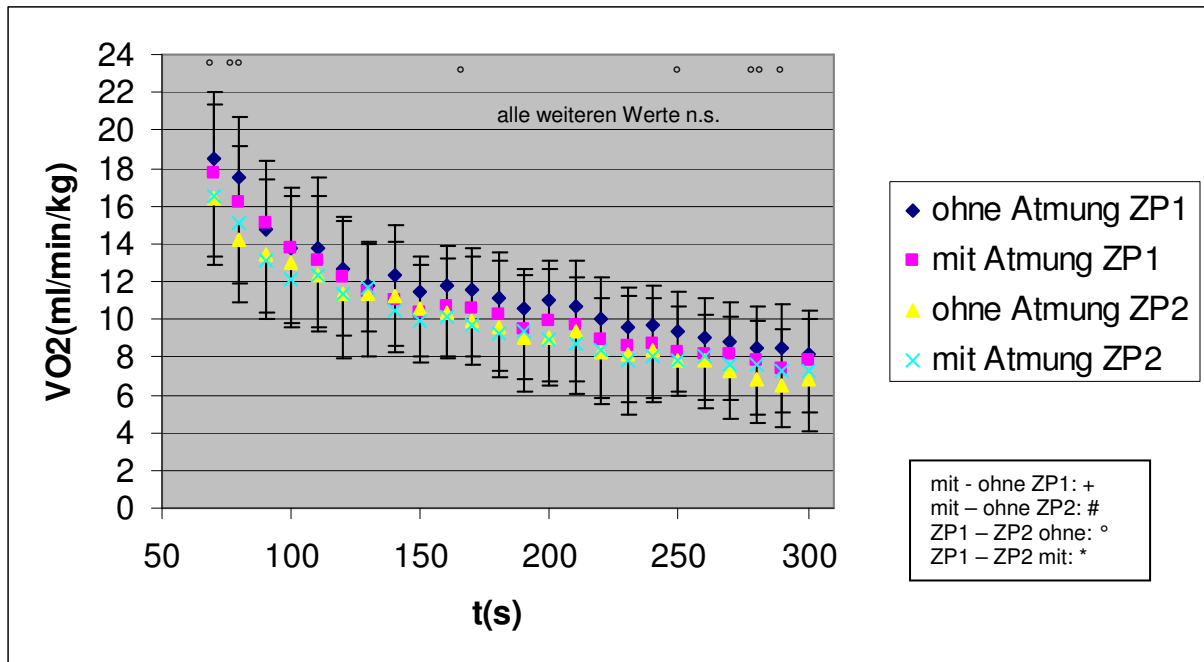


Abb.18: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde in der Gesamtgruppe (n=14)

In der Trainingsgruppe (Abb.19) ist die Sauerstoffaufnahme zum Zeitpunkt 1 scheinbar nach einem Sprint ohne Atmung höher als nach einem Sprint mit Atmung. Signifikant sind diese Unterschied ( $p \leq 0,05$ , Tab.29) für die Zeitspanne 0-20, 20-40, 40-60 und 0-300. Die Werte zum Zeitpunkt 2 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Tab.30).

Vergleicht man die Sauerstoffaufnahme nach einem Sprint mit und ohne Atmung zu den beiden unterschiedlichen Messzeitpunkten, so ist die Sauerstoffaufnahme nach einem Sprint ohne Atmung tendenziell zum Zeitpunkt 2 niedriger als zum Zeitpunkt 1. Signifikant unterschiedlich sind die Ergebnisse jedoch nicht. (Tab.31). Nach dem Sprint mit Atmung ist die  $O_2$ -Aufnahme in den ersten 20 Sekunden zum Zeitpunkt 2 signifikant höher (Tab.32).

### 3 Ergebnisse

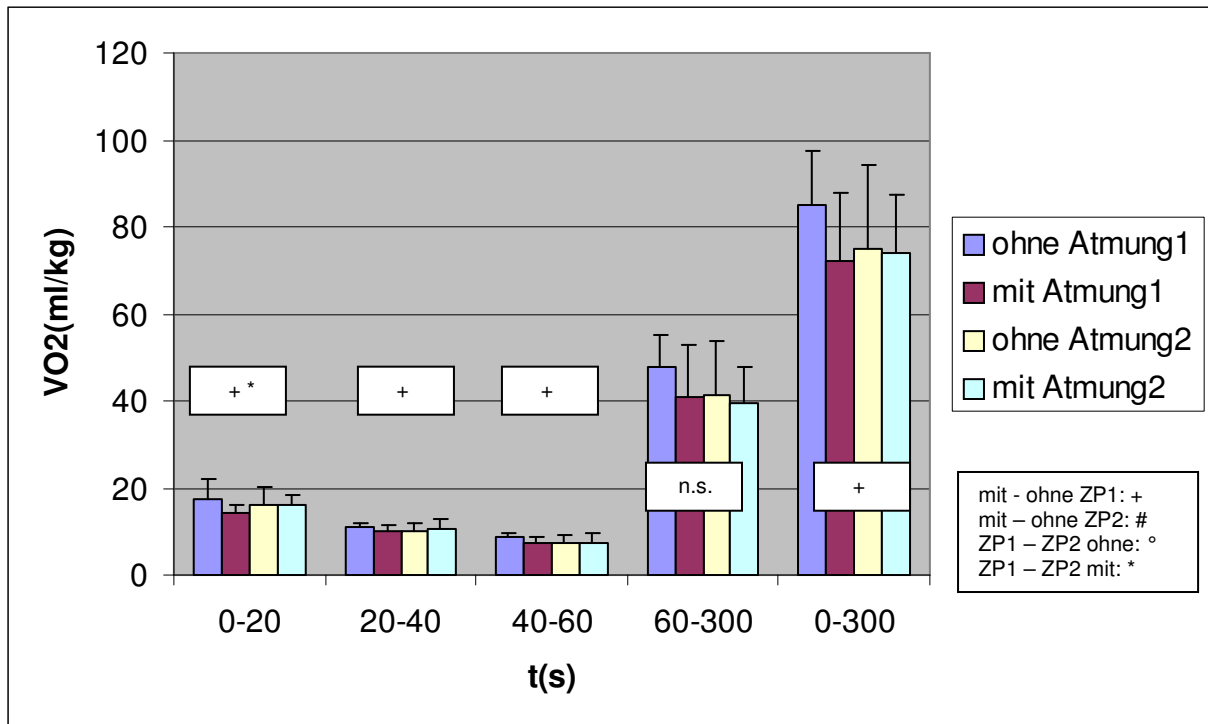


Abb.19: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Trainingsgruppe (n=6)

Abbildung 20 beschreibt den Verlauf der Kurven für die Sprints mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe zu beiden Untersuchungszeitpunkten (Tab.33-36). Wie bereits in der Gesamtgruppe fällt auf, dass die Kurvenverläufe „ohne Atmung“ im Gegensatz zu den Kurvenverläufen „mit Atmung“ von der erwarteten Kinetik (monoexponentieller Abfall) abweichen.

Der Vergleich der einzelnen Messpunkte ergibt eine niedrigere Sauerstoffaufnahme nach einem Sprint ohne Atmung. Dieser Unterschied ist in mehreren Punkten signifikant ( $p \leq 0,05$  für ZP1 Sekunde 2 und 5, ZP2 Sekunde 5-17). Auch der Vergleich der zwei Zeitpunkte miteinander zeigt wie schon beim Flächenvergleich tendenziell, zum Teil signifikant höhere Messwerte nach dem Sprint mit Atmung zum zweiten Zeitpunkt ( $p \leq 0,05$  für Sekunde 2, 5, 11 und 14).

Im weiteren Kurvenverlauf ab Sekunde 20 (Abb.20 und 21; 33-36) ist die Sauerstoffaufnahme, ebenso wie der Vergleich der Flächen, nach dem Sprint ohne Atmung größer als nach dem Sprint mit Atmung, besonders nach dem ersten Untersuchungsdurchgang. Die Unterschiede sind signifikant ( $p \leq 0,05$ ) für folgende Messpunkte: Sekunde 20, 26-38, 50, 210 und 220.

### 3 Ergebnisse

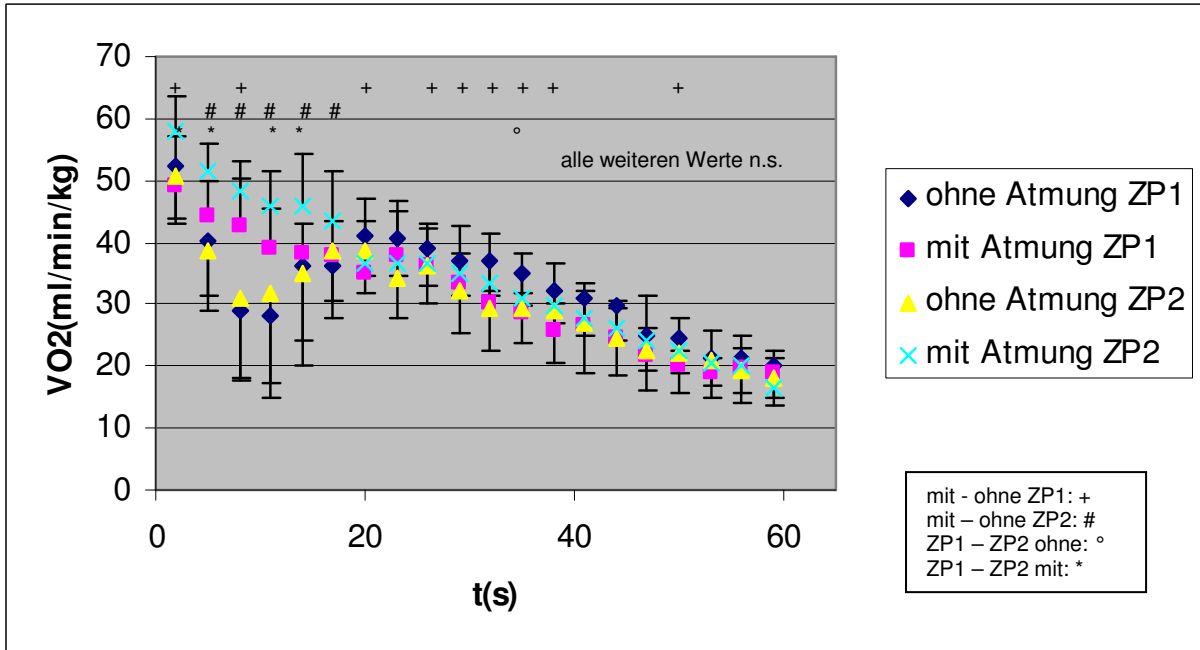


Abb.20: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

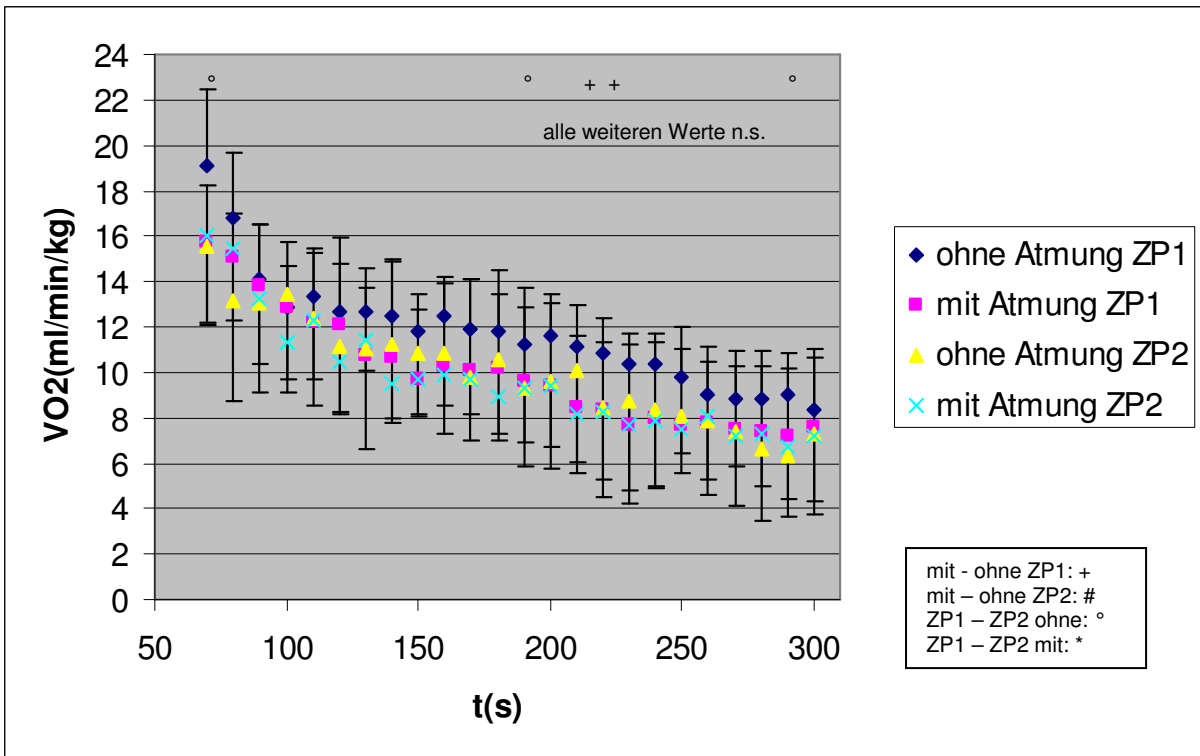


Abb.21: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde

### 3 Ergebnisse

In der Kontrollgruppe ist die Sauerstoffaufnahme über den Gesamtzeitraum nach einem Sprint ohne Atmung zum zweiten Testzeitpunkt signifikant kleiner ( $p \leq 0,05$ ) als zum ersten Zeitpunkt. Alle anderen berechneten Flächen für die Sauerstoffaufnahme unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, weder zwischen den Zeitpunkten, noch zwischen dem Sprint mit oder ohne Atmung (Abb.22, Tab.37-40).

Die Sauerstoffaufnahme scheint nach einem Sprint mit oder ohne Atmung zum ersten Zeitpunkt höher zu sein als zum zweiten Zeitpunkt, jedoch liegen auch hier keine Signifikanzen vor.

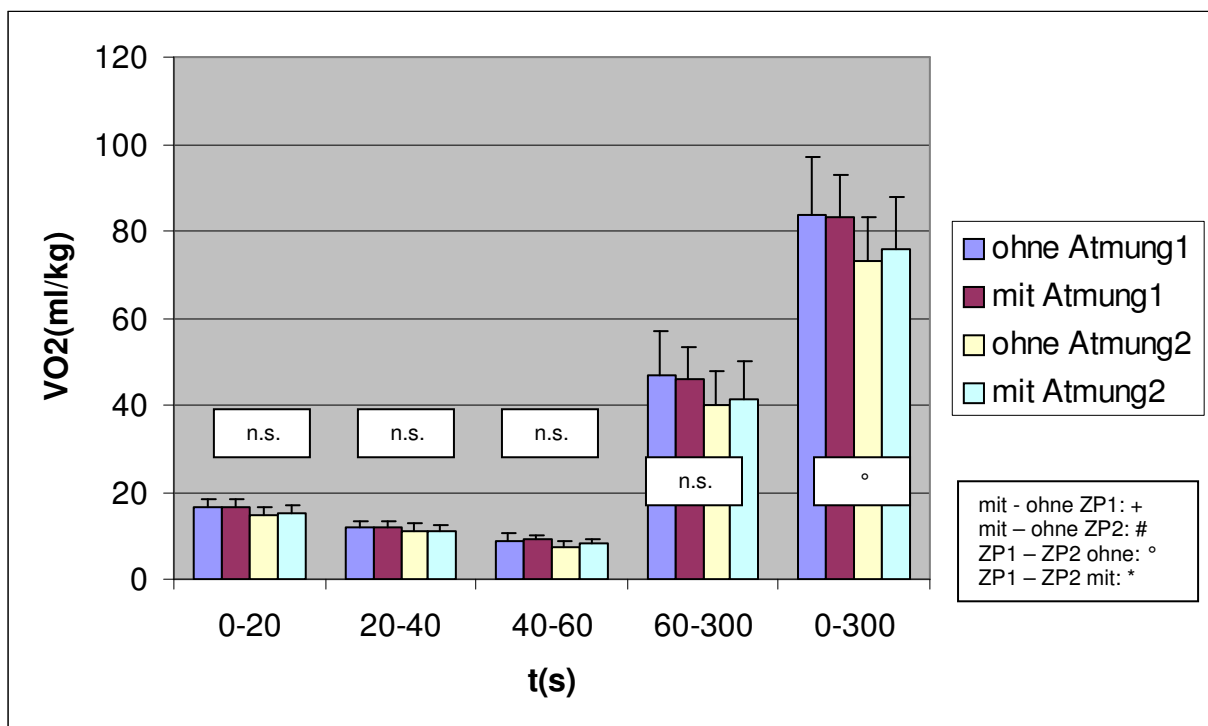


Abb.22: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Kontrollgruppe (n=8)

Betrachtet man den Kurvenverlauf der Sauerstoffaufnahme in der Kontrollgruppe (Abb.23 und 24; Tab. 41-44), so fallen auch hier ähnlich wie bei dem Vergleich der Flächen kaum Unterschiede in den Verläufen auf.

Die Sauerstoffaufnahme nach einem Sprint ohne Atmung scheint tendenziell geringer zu sein als nach einem Sprint mit Atmung zu Beginn der Nachatmungszeit. Dieser Wert ist jedoch nur für Sekunde 8 zum Zeitpunkt 2 signifikant ( $p \leq 0,05$ ).

Im weiteren Verlauf ist die  $O_2$ -Aufnahme wie auch beim Flächenvergleich tendenziell größer im ersten Durchlauf als im zweiten Durchlauf. Signifikant sind die



### 3 Ergebnisse

Unterschiede für den Sprint mit Atmung zu den Zeitpunkten 20, 56 und 90 und für den Sprint ohne Atmung zu den Zeitpunkten 80, 90, 170, 190, 200, 210, 270 und 290.

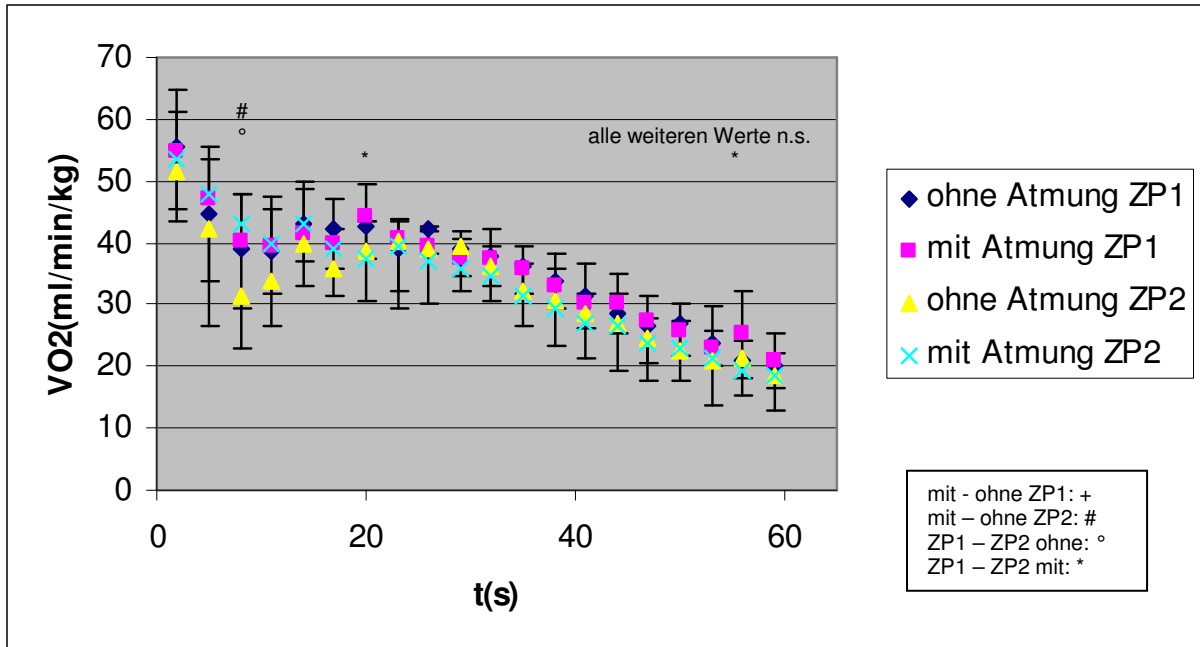


Abb.23: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

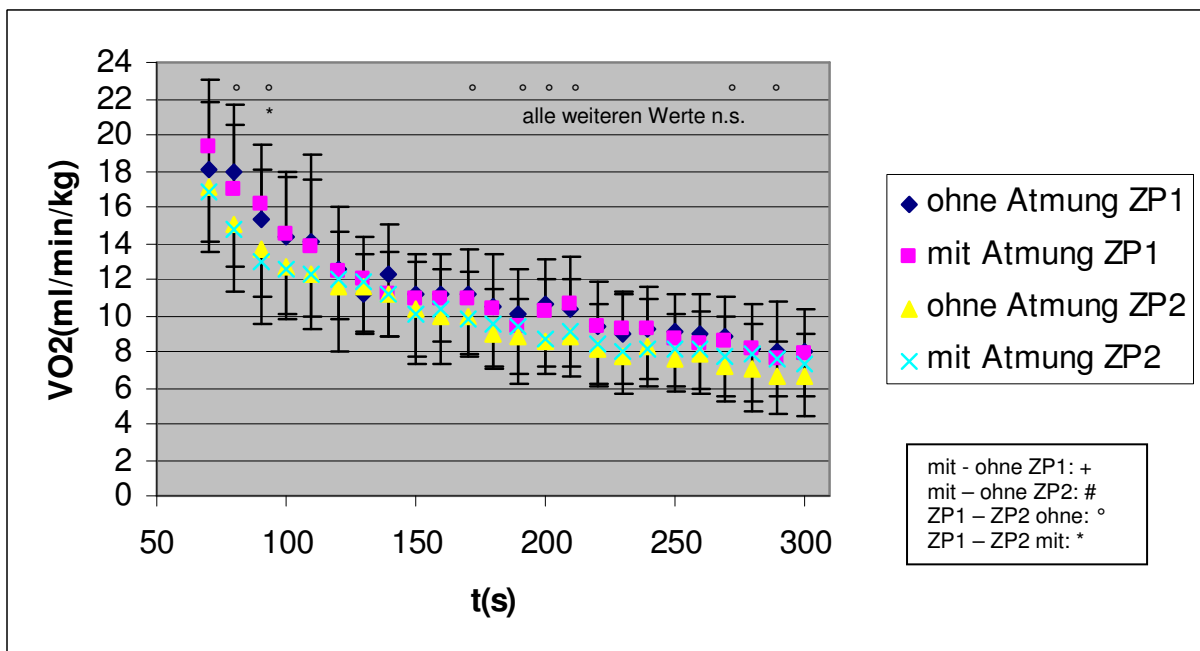


Abb.24: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde

### 3 Ergebnisse

Die maximale Sauerstoffaufnahme  $VO_2$  max unterscheidet sich lediglich in der Trainingsgruppe zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten nach dem Sprint mit Atmung signifikant voneinander. Zum Zeitpunkt 2 ist  $VO_2$  max in der Trainingsgruppe höher als zum Zeitpunkt 1 nach dem Sprint mit Atmung (Abb.25, Tab.45-48).

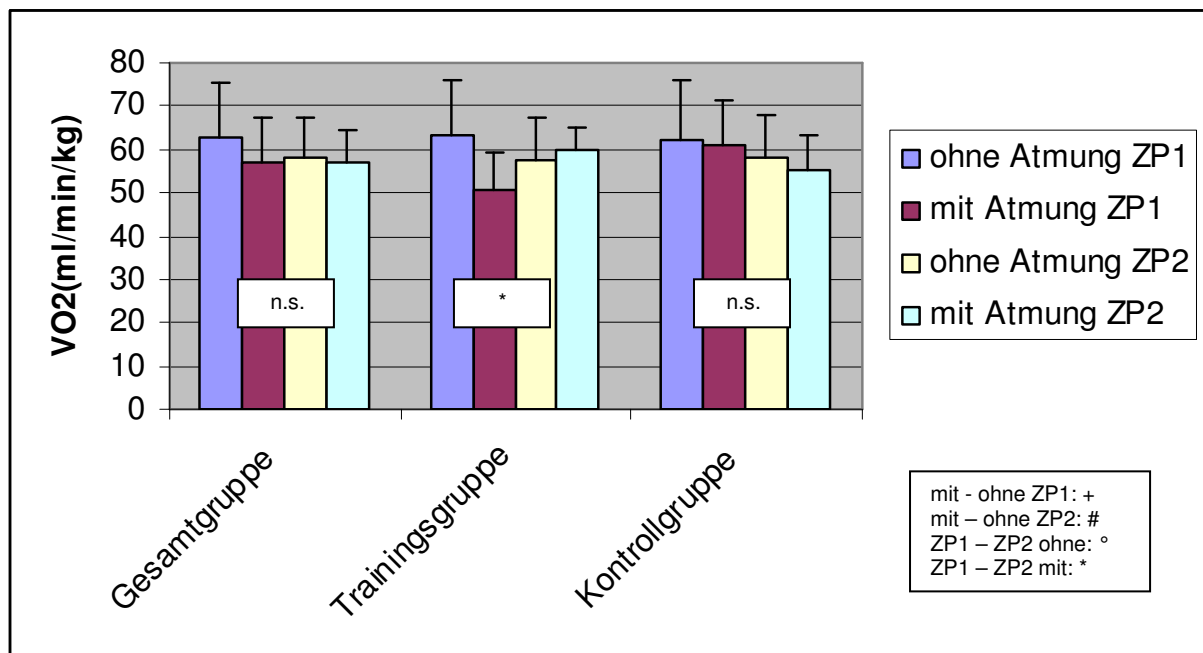


Abb.25: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6) und der Kontrollgruppe (n=8)

Der Vergleich von  $\Delta VO_2$ max, der Differenz der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen den beiden Zeitpunkten, zeigt eine hoch signifikant höhere Differenz ( $p \leq 0,01$ ) für die Trainingsgruppe nach dem Sprint mit Atmung.  $\Delta VO_2$ max nach dem Sprint ohne Atmung unterscheidet sich nicht signifikant voneinander (Abb.26, Tab.49).

### 3 Ergebnisse

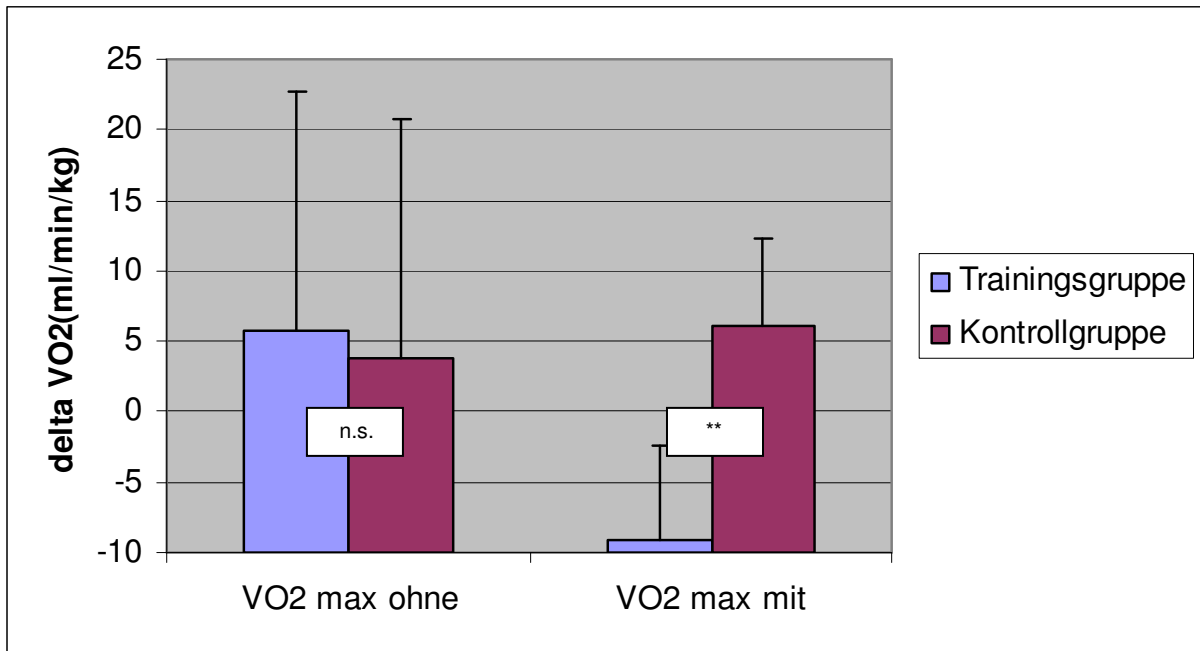


Abb.26: Vergleich  $\Delta$  VO<sub>2</sub>max zwischen Trainingsgruppe (n=6) und Kontrollgruppe (n=8) für den Sprint ohne Atmung (ohne) und mit Atmung (mit)

Die Sauerstoffaufnahme in der Gruppe der Sprinter zeigt einen signifikant höheren Wert ( $p \leq 0,05$ ) zum Zeitpunkt 2 für den Sprint mit Atmung gegenüber dem Sprint ohne Atmung für die Zeitspanne 60-300 Sekunden nach der Belastung. Alle anderen Ergebnisse sind nicht signifikant unterschiedlich (Abb.27, Tab. 50-53).

Vergleicht man die einzelnen Messwerte miteinander (Abb.28; Tab. 54-57), so ist die O<sub>2</sub>-Aufnahme in Sekunde 8 zum Zeitpunkt 2 nach dem Sprint ohne Atmung signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) als nach dem Sprint mit Atmung.

Im weiteren Verlauf scheint die Sauerstoffaufnahme nach dem ersten Versuchsdurchgang höher zu sein als nach dem zweiten. Ein Flächenvergleich ergibt keine signifikanten Unterschiede. Der Vergleich der Einzelmesswerte (Abb.28 und 29) scheint ebenfalls höhere Messwerte nach dem ersten Durchlauf zu zeigen, signifikant ( $p \leq 0,05$ ) sind diese Unterschiede nach dem Sprint in Apnoe zum Zeitpunkt 190, 200 und 290.

### 3 Ergebnisse

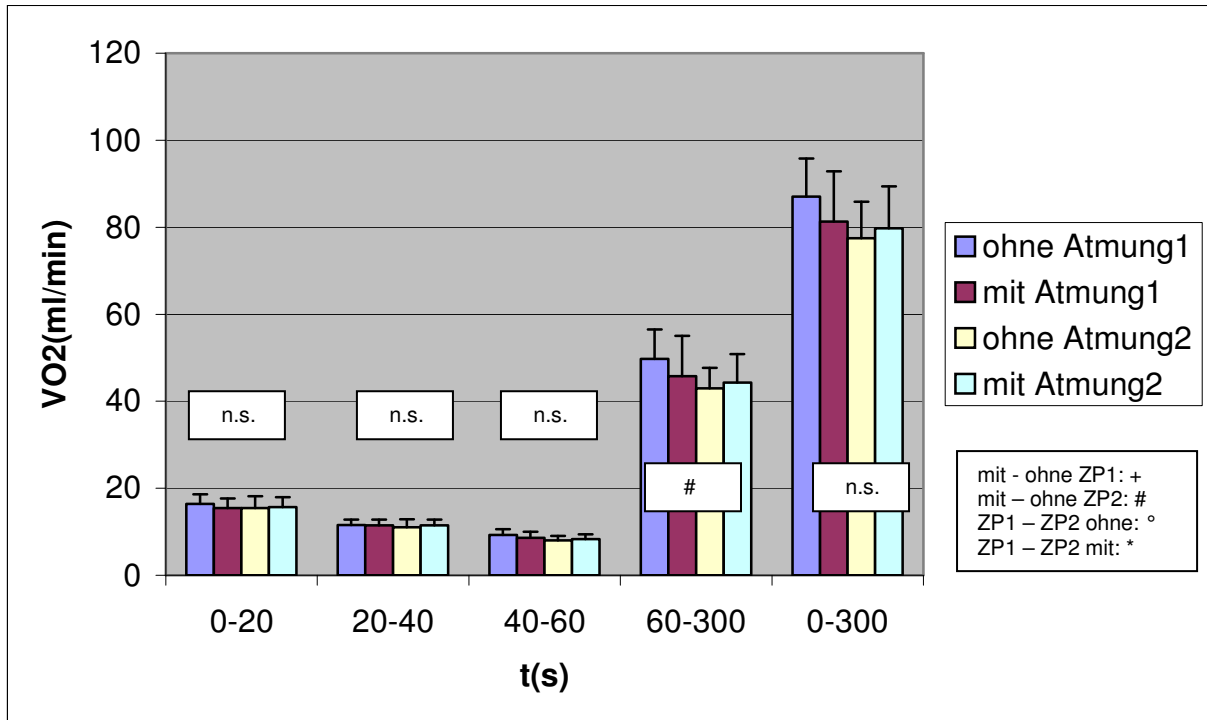


Abb.27: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gruppe der Sprinter (n=7)

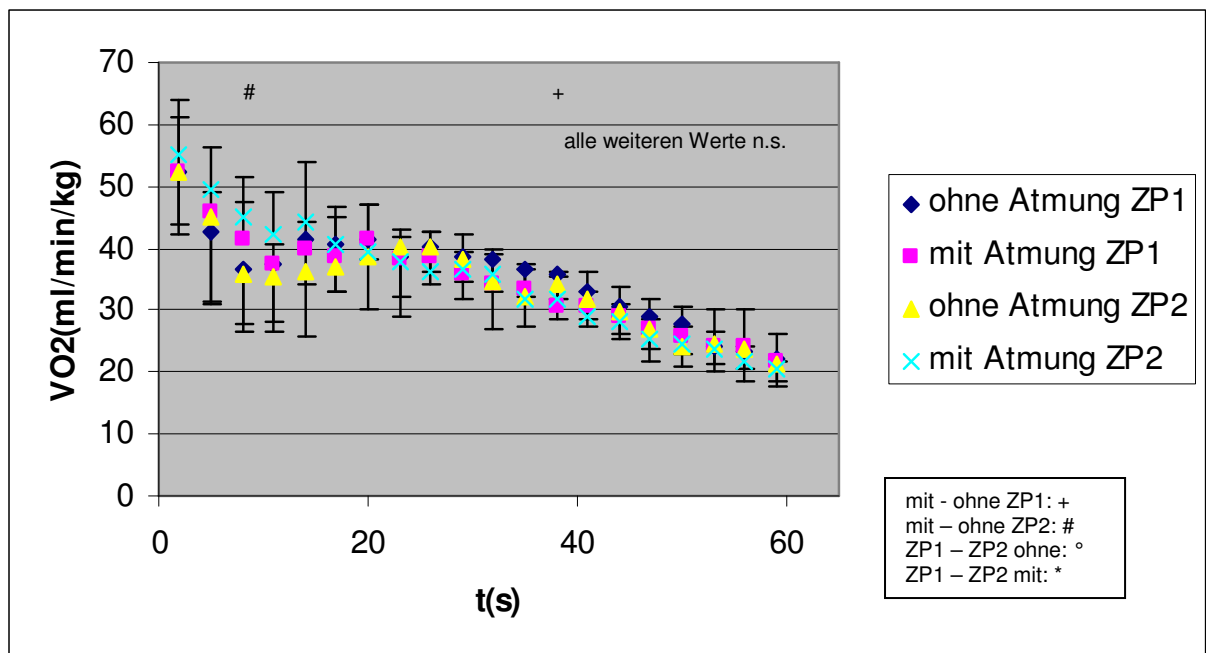


Abb.28: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

### 3 Ergebnisse

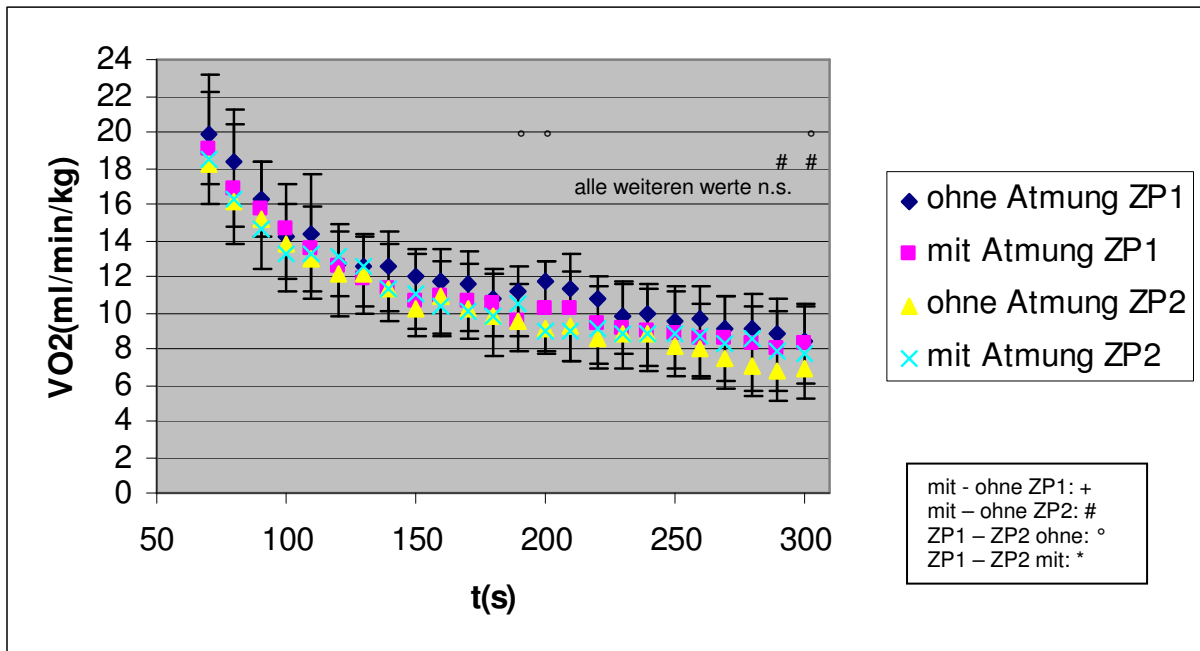


Abb.29: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde

In der Ausdauergruppe unterscheidet sich die Sauerstoffaufnahme mit einer Ausnahme nicht signifikant voneinander (Abb.30, Tab.58-61). Für die ersten 20 Sekunden ist die O<sub>2</sub>-Aufnahme nach einem Sprint in Apnoe zum Zeitpunkt 1 signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als nach einem Sprint mit Atmung.

Tendenziell ist die Sauerstoffaufnahme zum Zeitpunkt 1 höher als zum Zeitpunkt 2, signifikant sind diese Unterschiede jedoch nicht.

### 3 Ergebnisse

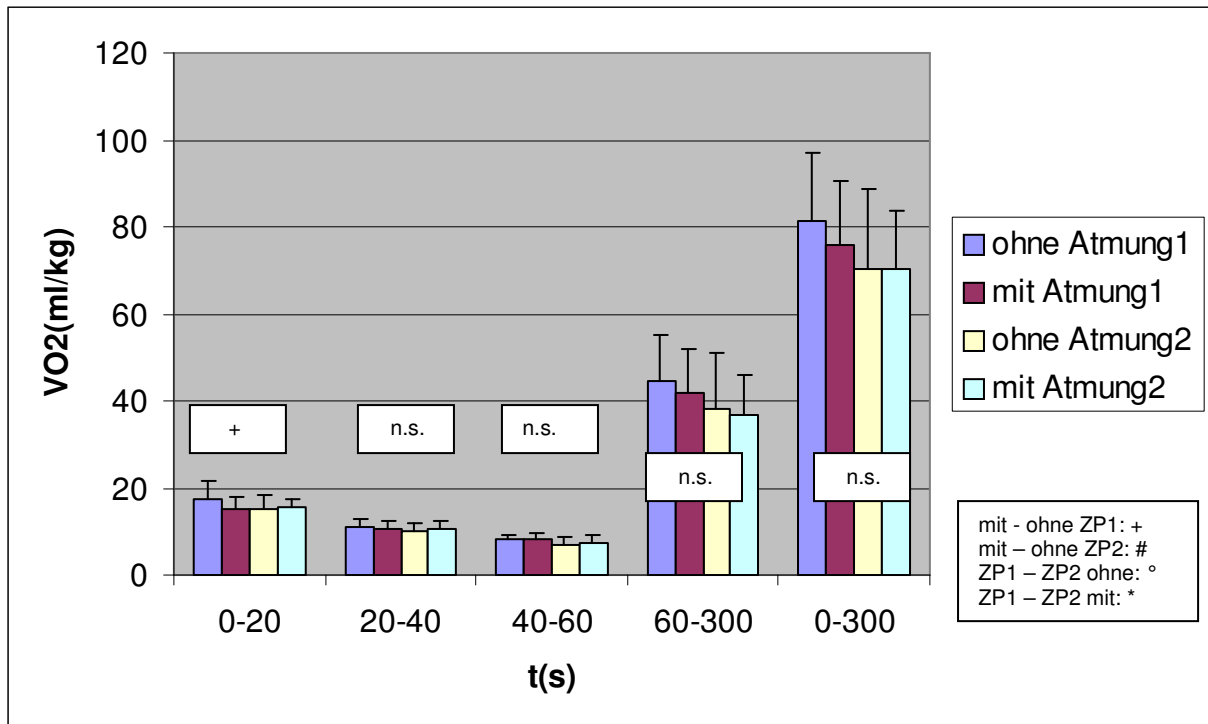


Abb.30: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Ausdauergruppe (n=7)

Der Verlauf der einzelnen Messwerte weicht besonders nach dem Sprint ohne Atmung von der erwarteten Kinetik (monoexponentieller Abfall) in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit ab (Abb.31).

Der Vergleich der einzelnen Messwerte (Tab.62-65) ergibt signifikant höhere Werte ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 2 in Sekunde 5 und 8.

Im weiteren Verlauf (Abb.32) scheint die Sauerstoffaufnahme wie auch schon bei der Betrachtung der Flächen für den ersten Zeitpunkt höher zu sein als für den zweiten Zeitpunkt. Die Werte sind signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) für folgende Messpunkte: ohne Atmung Sekunde 35, 44, 60, 80, 160 und 190; mit Atmung Sekunde 120, 150 und 230.

### 3 Ergebnisse

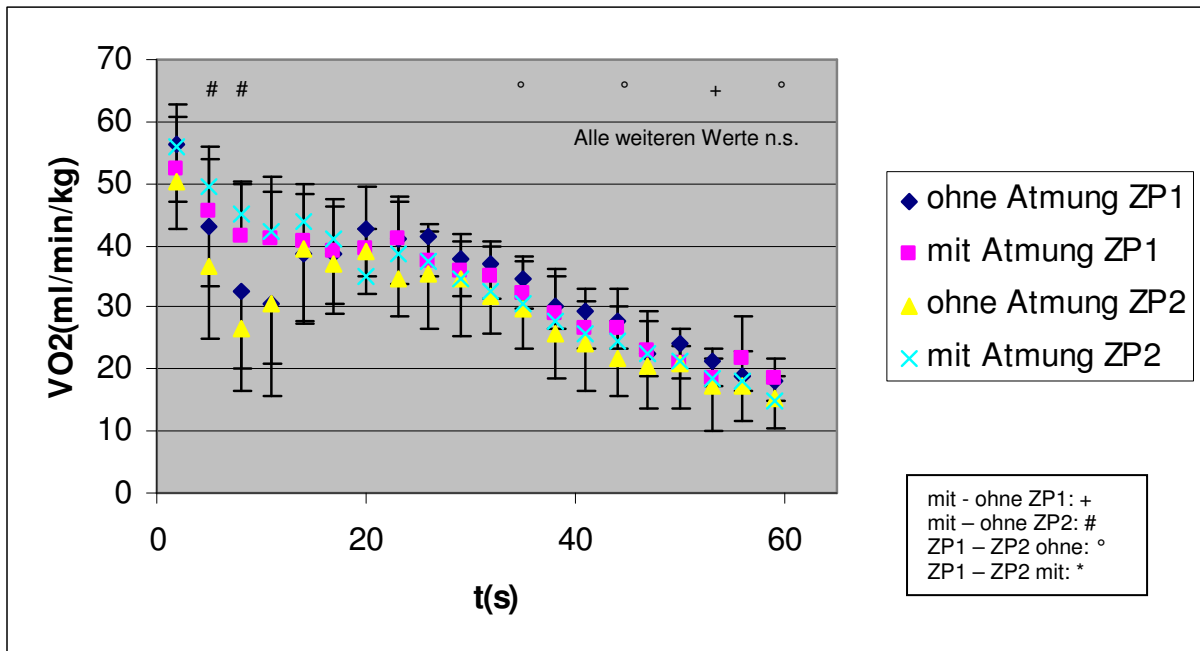


Abb.31: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

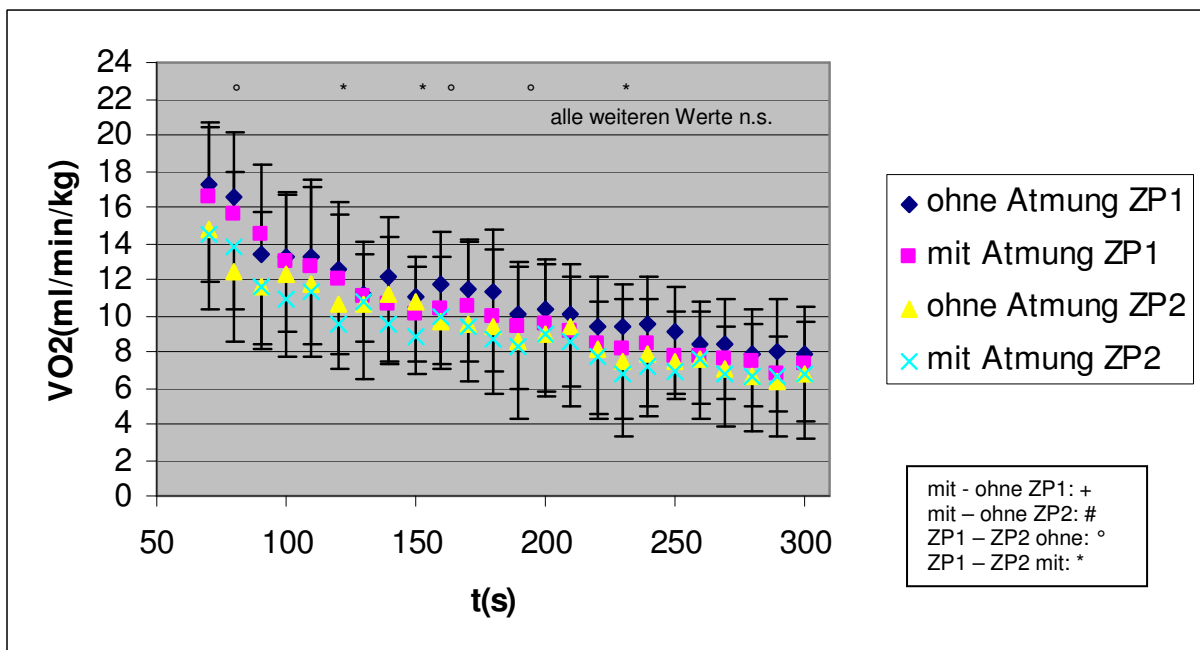


Abb.32: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) nach der 60. Sekunde

Ein Vergleich zwischen der Gruppe der Sprinter und der Ausdauergruppe (Abb.33, Tab. 66 und 67) zeigt tendenziell niedrigere Werte in der Sauerstoffaufnahme in der Ausdauergruppe als in der Sprintgruppe. Des Weiteren scheinen die Werte aus dem ersten Durchgang für die Zeitintervalle 60-300 und 0-300 höher zu sein als die Werte

### 3 Ergebnisse

aus dem zweiten Durchgang. Die Ergebnisse unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander.

Vergleicht man die einzelnen Messwerte miteinander (Abb.34; Tab. 70 und 71), so zeigt sich dasselbe Phänomen, scheinbar ist die Sauerstoffaufnahme in der Ausdauergruppe niedriger als in der Sprintgruppe. Signifikant sind diese Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) zum Zeitpunkt 1 für Sekunde 38 und 47, zum Zeitpunkt 2 für die Sekunden 38, 44, 53, 56 und 60.

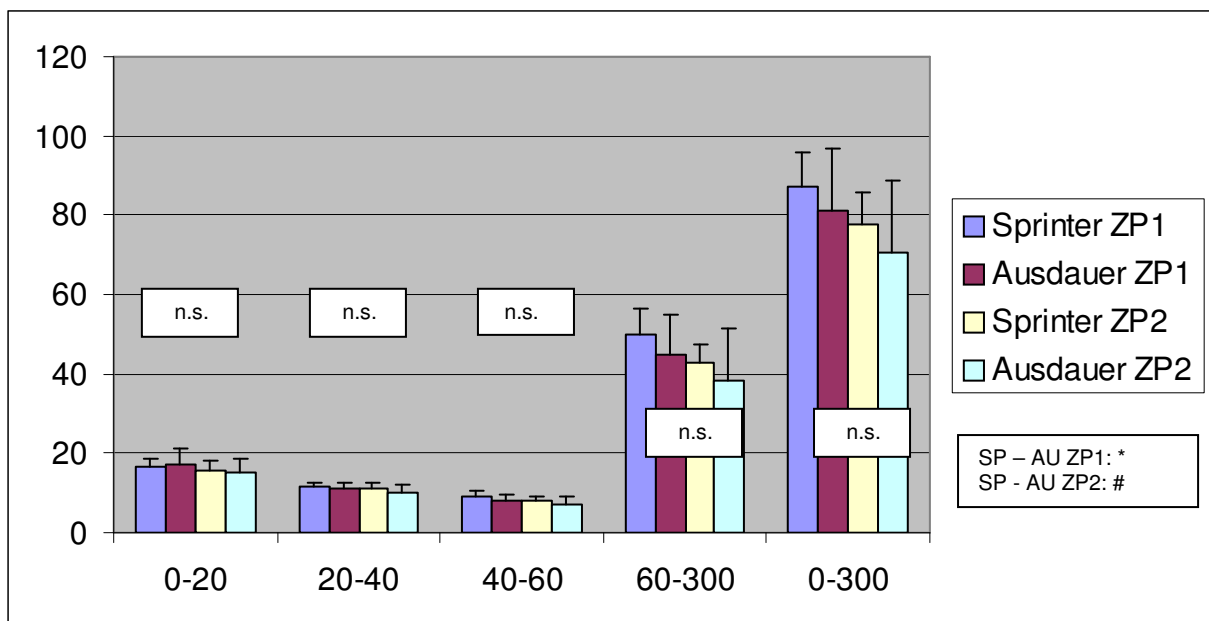


Abb.33: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2



### 3 Ergebnisse

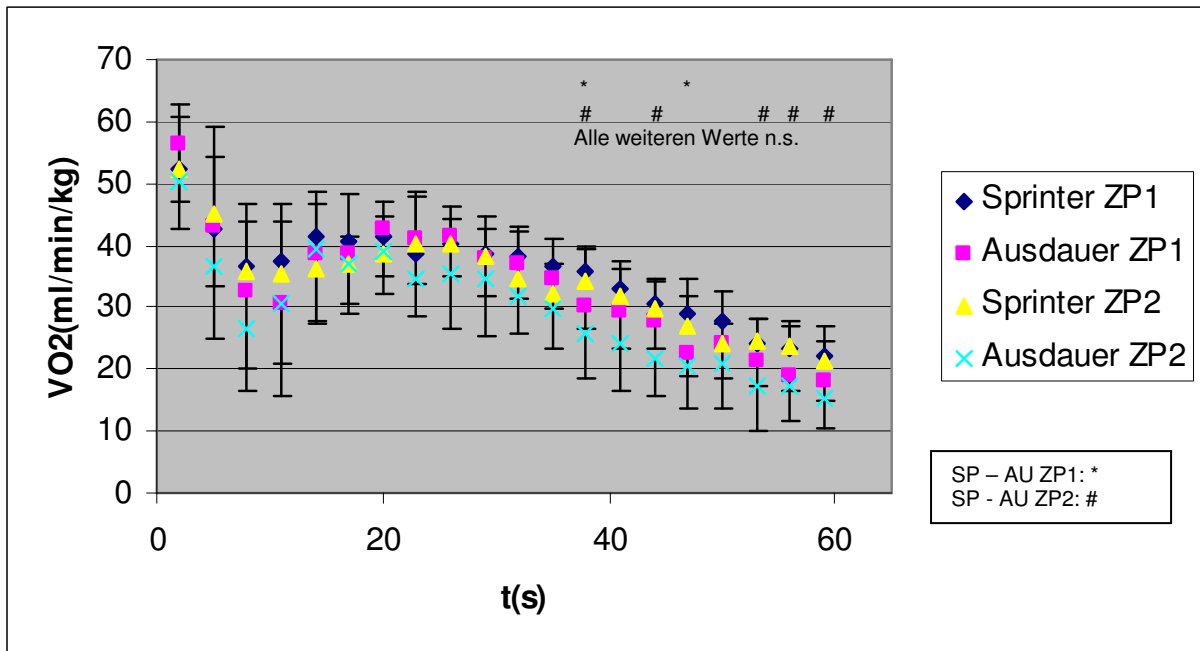


Abb.34: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2

Nach einem Sprint mit Atmung scheint die Sauerstoffaufnahme der Ausdauergruppe sich im Vergleich zur Sprintgruppe ähnlich zu verhalten (Abb.35, Tab. 68 und 69). Tendenziell weniger Sauerstoff nimmt die Ausdauergruppe für den Zeitraum 60-300 und 0 – 300 Sekunden auf, jedoch ist keiner dieser Unterschiede signifikant.

Im Vergleich der Einzelmesswerte (Abb.36; Tab. 72 und 73) scheint die Sauerstoffaufnahme zwischen beiden Gruppen in den ersten 20 Sekunden ebenfalls gleich zu sein. Im weiteren Verlauf haben die Ausdauergruppe wie schon beim Vergleich der Flächen tendenziell niedrigere Werte. Signifikant niedriger ( $p \leq 0,05$ ) sind die Werte zum Zeitpunkt 2 für die Sekunden 53 und 60.

### 3 Ergebnisse

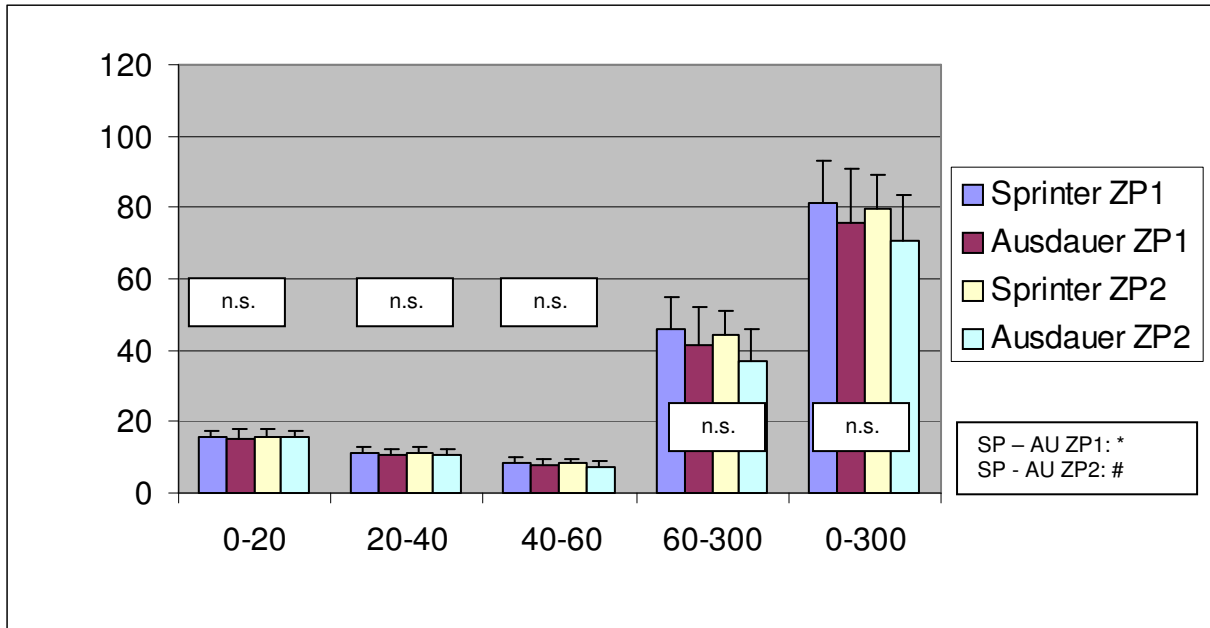


Abb.35: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung ad libitum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2

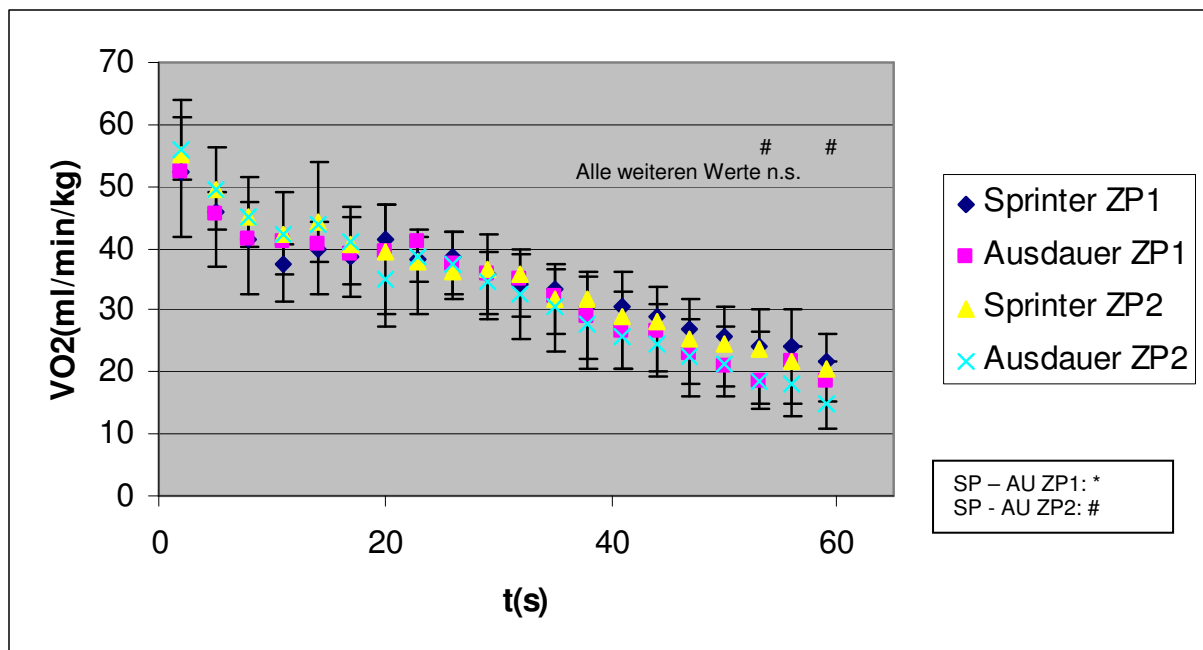


Abb.36: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libitum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1 und ZP2

Die maximale Sauerstoffaufnahme unterscheidet sich nicht zwischen den Sprints mit und ohne Atmung oder zwischen den beiden Testzeitpunkten, weder in der Gruppe der Sprinter, noch in der Ausdauergruppe (Abb.37, Tab.45-48).

### 3 Ergebnisse

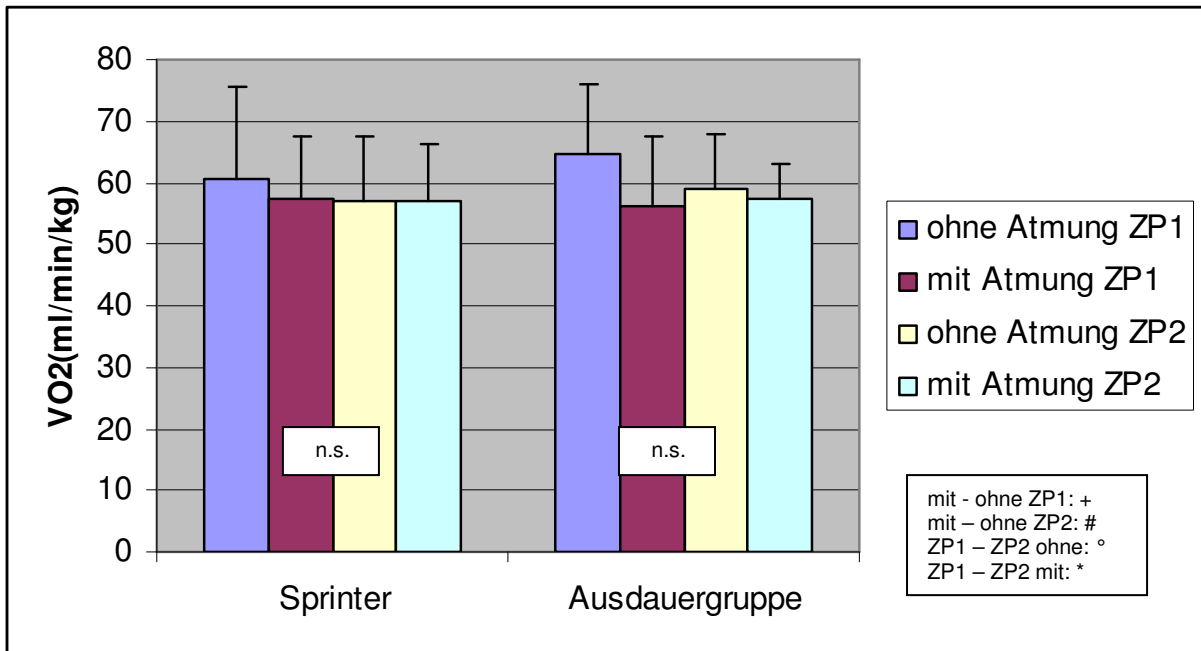


Abb.37: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Keine signifikanten Unterschiede ergibt der Vergleich der Differenzen zwischen dem Untersuchungszeitpunkt 1 und 2 ( $\Delta$  VO<sub>2</sub>max) zwischen der Ausdauergruppe und der Gruppe der Sprinter, weder nach dem Sprint ohne Atmung, noch nach dem Sprint mit Atmung (Abb.38, Tab.74).

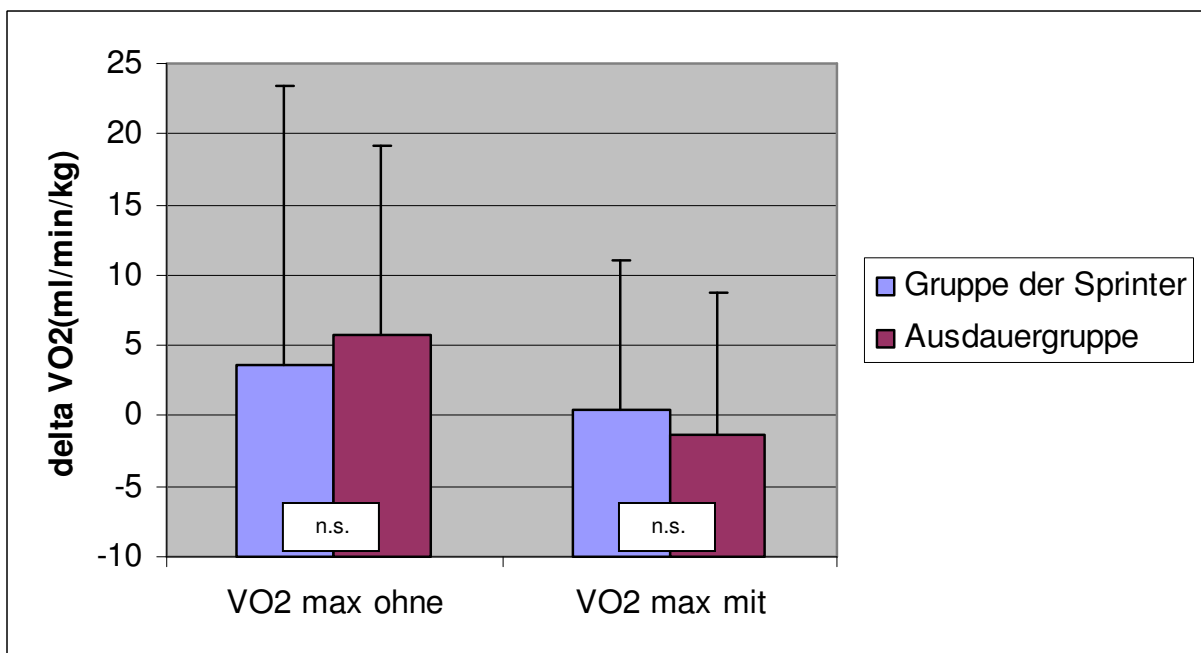


Abb.38: Vergleich  $\Delta$  VO<sub>2</sub>max zwischen den Sprintern und der Ausdauergruppe (n=7) für den Sprint ohne Atmung (ohne) und mit Atmung (mit)

### 3.2 HERZFREQUENZ

Die Bestimmung der Herzfrequenz erfolgte über einen Zeitraum von zehn Sekunden. Für die Darstellung wurden die Werte mit 6 multipliziert und die Einheit 1/min benutzt.

#### 3.2.1 Ruhe-Herzfrequenz

Es wurde sowohl die Herzfrequenz vor dem Einschwimmen, die eigentliche Ruhe-Herzfrequenz, als auch nach dem Einschwimmen bestimmt.

Der Vergleich der Herzfrequenzen vor dem Sprint mit bzw. ohne Atmung zeigt keine signifikanten Unterschiede, weder vor dem Einschwimmen noch nach dem Einschwimmen zu keinem der beiden Testzeitpunkte (Abb.39, Tab.17).

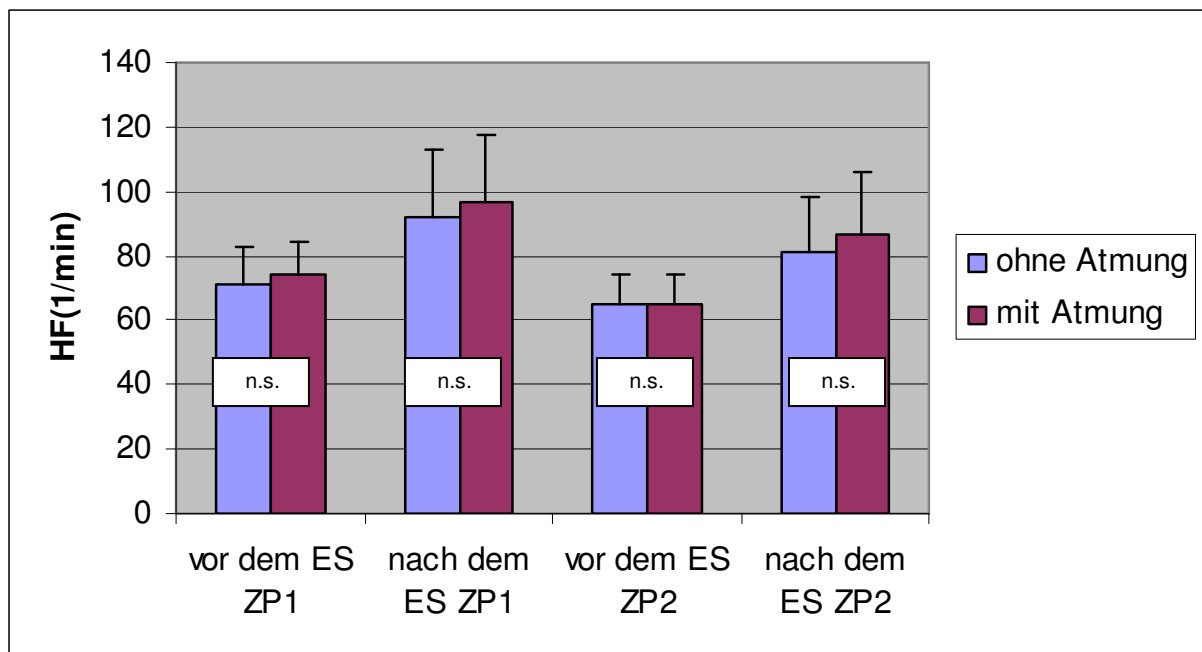


Abb.39: Vergleich der Herzfrequenz zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)

Tab.17: Vergleich der Herzfrequenz zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)

	ohne Atmung	mit Atmung	Signifikanzniveau
HF in 1/min vor dem ES zum ZP1	71,14 ± 11,73	74,57 ± 9,91	n.s.
HF in 1/min nach dem ES zum ZP1	91,71 ± 21,37	96,86 ± 20,50	n.s.

### 3 Ergebnisse

HF in 1/min vor dem ES zum ZP2	65,14 ± 9,07	64,71 ± 9,75	n.s.
HF in 1/min nach dem ES zum ZP2	81,43 ± 17,09	86,57 ± 19,65	n.s.

Betrachtet man die Herzfrequenz vor dem Sprint ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten, so ergeben sich signifikant ( $p \leq 0,05$ ) niedrigere Herzfrequenzen vor dem Einschwimmen und nach dem Einschwimmen für den zweiten Untersuchungszeitpunkt.

Beim Sprint mit Atmung unterscheiden sich die beiden Zeitpunkte hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ) vor dem Einschwimmen voneinander. Tendenziell ist die Herzfrequenz nach dem Einschwimmen zum ersten Zeitpunkt höher als zum zweiten Zeitpunkt, jedoch sind die Unterschiede für den Sprint mit Atmung nicht signifikant (Abb.40. Tab.18).

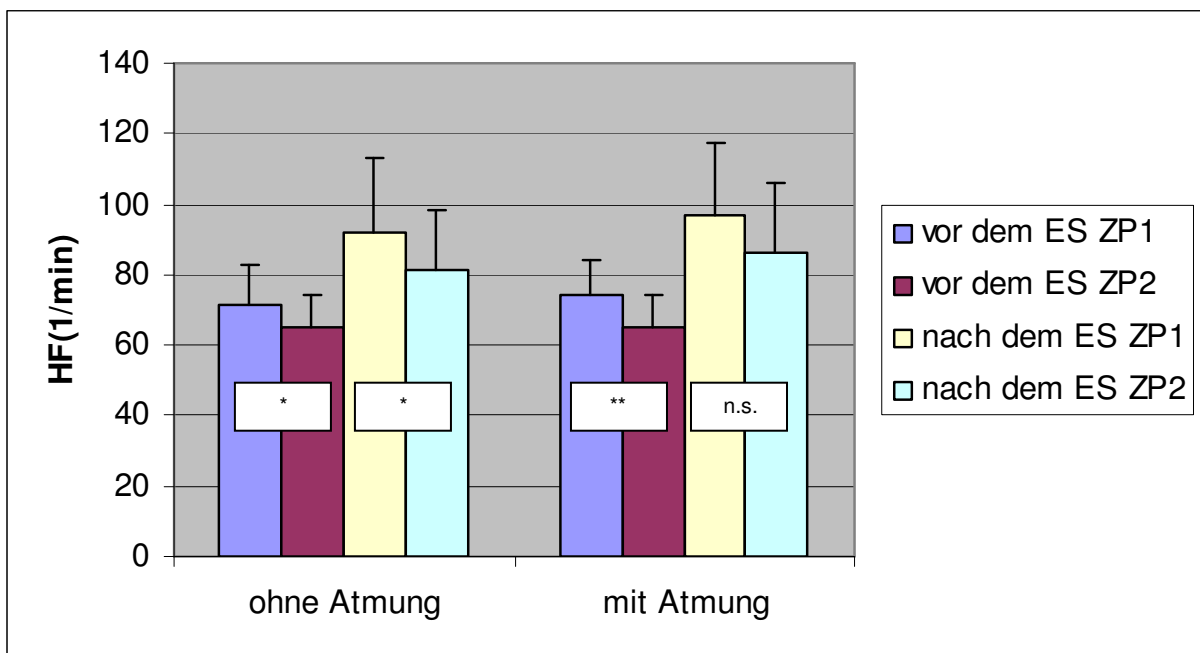


Abb.40: Vergleich der Herzfrequenz zwischen den Zeitpunkten (ZP) 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)

Tab.18: Vergleich der Herzfrequenz zwischen den Zeitpunkten 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
HF in 1/min vor dem ES in der Gruppe „ohne Atmung“	71,14 ± 11,73	65,14 ± 9,07	*

### 3 Ergebnisse

HF in 1/min nach dem ES in der Gruppe „ohne Atmung“	91,71 ± 21,37	81,43 ± 17,09	*
HF in 1/min vor dem ES in der Gruppe „mit Atmung“	74,57 ± 9,91	64,71 ± 9,75	**
HF in 1/min nach dem ES in der Gruppe „mit Atmung“	96,86 ± 20,50	86,57 ± 19,65	n.s.

#### 3.2.2 Vergleich der Herzfrequenz

Der Vergleich der Herzfrequenz in der Gesamtgruppe zeigt signifikant höher Werte ( $p \leq 0,05$ ) nach dem Sprint mit Atmung im ersten Testdurchlauf eine, drei und zehn Minuten nach der Belastung (Abb.41, Tab.75). Im zweiten Testdurchlauf ist die Herzfrequenz nach dem Sprint mit Atmung in der ersten, dritten und siebten Minute nach der Belastung signifikant höher ( $p \leq 0,05$ , Abb.41, Tab.76).

Untersuchungszeitpunkt 1 verglichen mit Untersuchungszeitpunkt 2 ergibt eine signifikant höhere Herzfrequenz zum ersten Zeitpunkt beim Sprint ohne Atmung, alle anderen Werte sind nicht signifikant unterschiedlich (Abb.41, Tab.77 und 78).

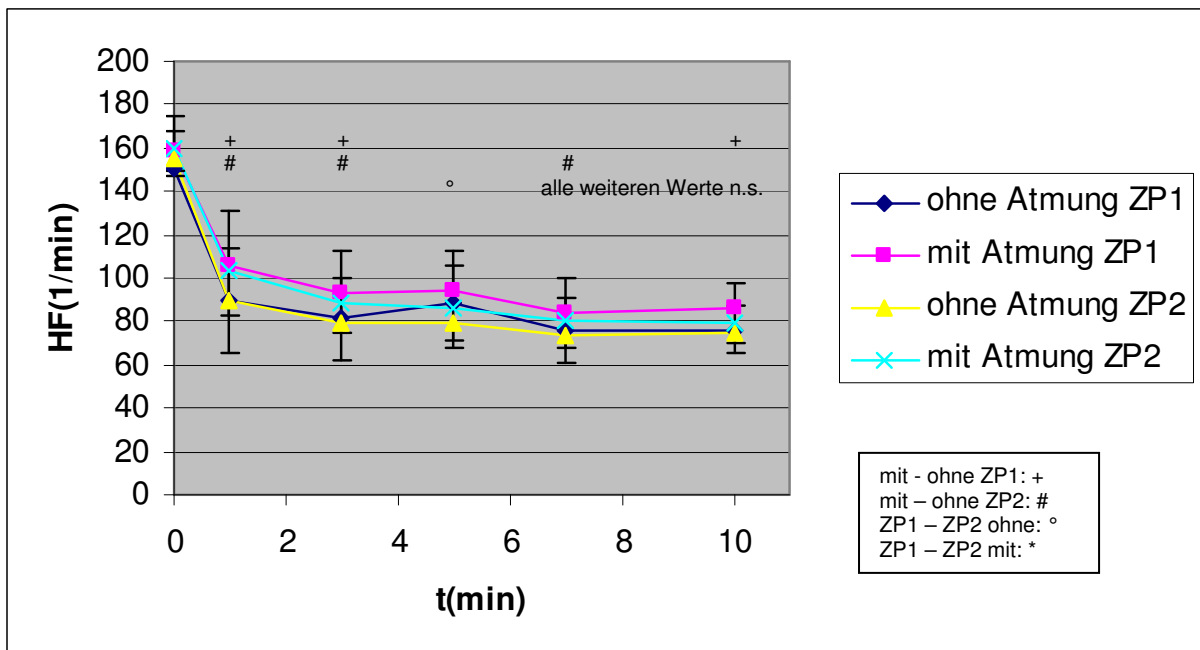


Abb.41: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) (n=14)

### 3 Ergebnisse

In der Trainingsgruppe gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Sprints während des ersten Testdurchgangs (Abb.42, Tab.79). Im zweiten Testdurchgang ist die Herzfrequenz sofort nach dem Sprint mit Atmung signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als nach dem Sprint ohne Atmung (Abb.42, Tab.80). Vergleicht man die beiden Testzeitpunkte miteinander, so ergibt sich eine signifikant höhere Herzfrequenz zum Zeitpunkt 1 nach dem Sprint ohne Atmung in der 5. Minute nach der Belastung (Abb.42, Tab.81), keine signifikanten Unterschiede dagegen nach dem Sprint mit Atmung (Abb.42, Tab.82).

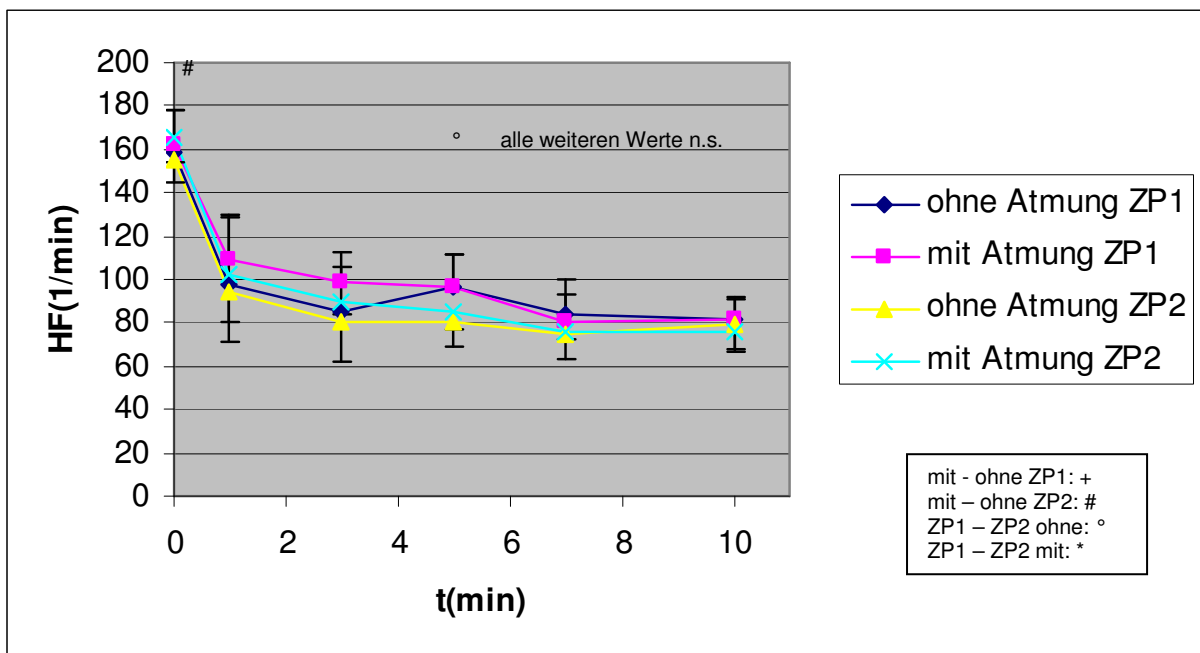


Abb.42: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Tendenziell ist die Herzfrequenz nach dem Sprint mit Atmung in der Kontrollgruppe höher als nach dem Sprint ohne Atmung. Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) gibt es zum ersten Untersuchungszeitpunkt nach 7 und 10 Minuten (Abb.43, Tab.83), zum zweiten Zeitpunkt nach 1, 7 und 10 Minuten (Abb.43, Tab.84).

Vergleicht man die beiden Untersuchungszeitpunkte miteinander, so ist die Herzfrequenz nach dem Sprint ohne Atmung sofort nach der Belastung signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) beim 2. Durchlauf im Gegensatz zum ersten Durchlauf (Abb.43, Tab.85). Nach dem Sprint mit Atmung gibt es keine signifikanten Unterschiede (Abb.43, Tab.86).

### 3 Ergebnisse

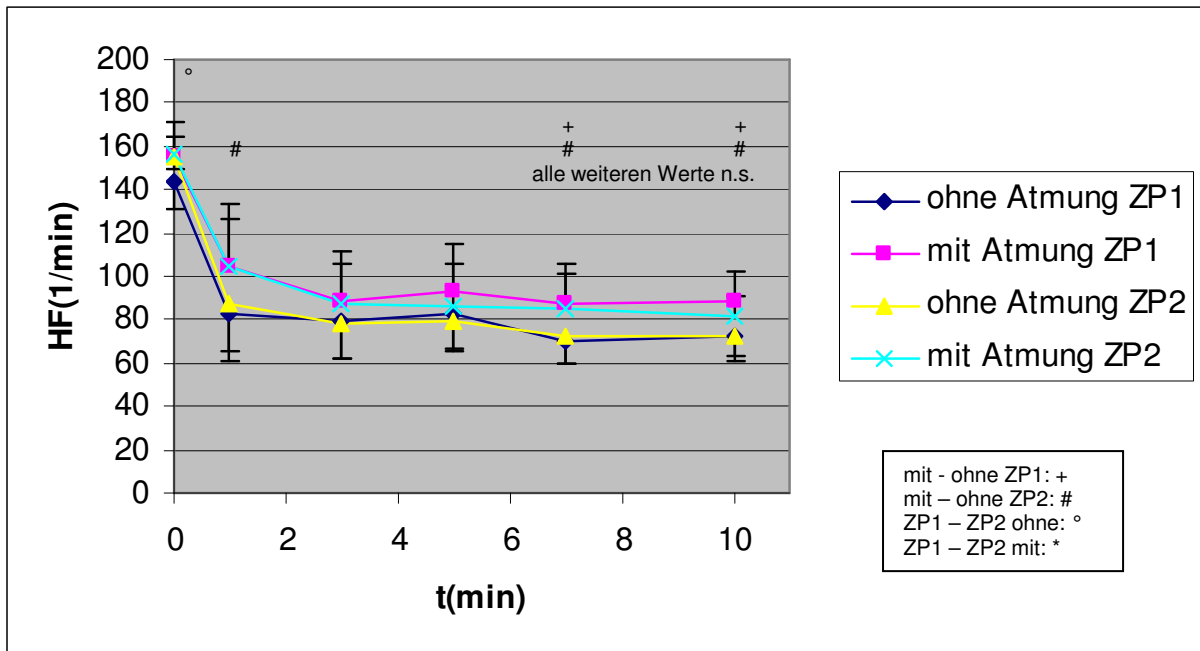


Abb.43: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Unterteilt man die Gesamtgruppe in die Untergruppen Sprint und Ausdauer, so ist in der Gruppe der Sprinter tendenziell die Herzfrequenz nach einem Sprint mit Atmung größer als nach einem Sprint ohne Atmung. Nach dem ersten Untersuchungsdurchgang (Abb.44, Tab.87) ist dieser Unterschied nach der 10. Minute signifikant ( $p \leq 0,05$ ), nach dem zweiten Durchgang (Abb.44, Tab.88) unterscheiden sich die Herzfrequenzwerte sofort nach Belastungsabbruch signifikant ( $p \leq 0,05$ ) voneinander, alle anderen Werte sind nicht signifikant unterschiedlich.



### 3 Ergebnisse

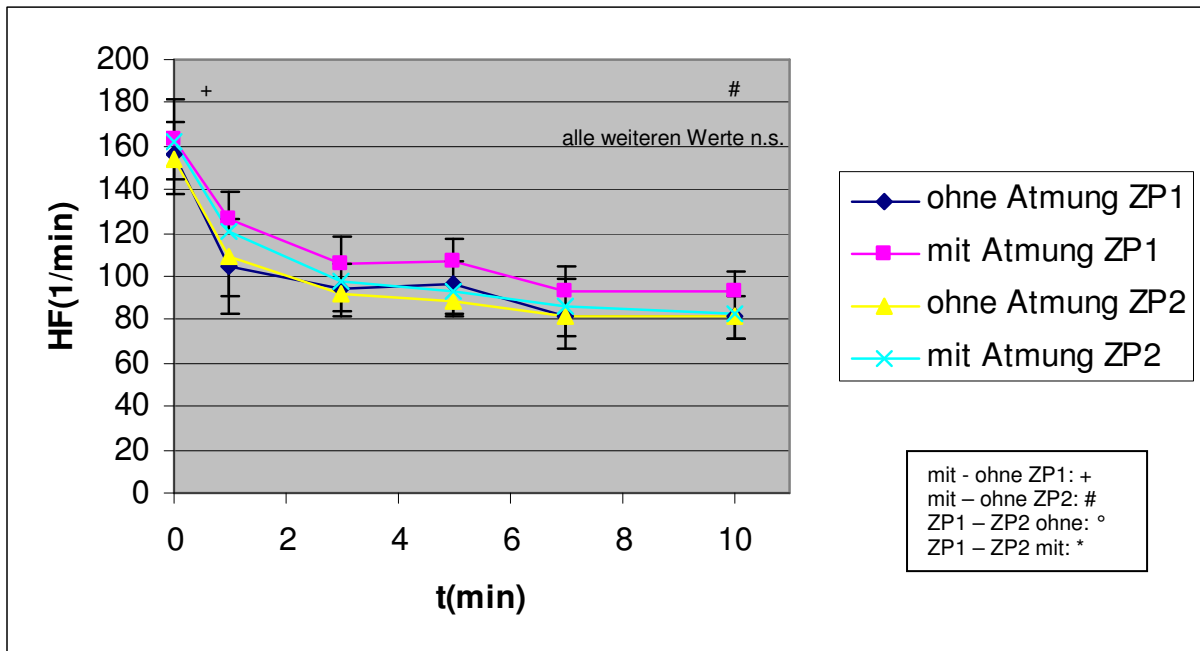


Abb.44: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Der Vergleich der zwei Untersuchungszeitpunkte ergibt keinen signifikanten Unterschied, weder nach dem Sprint ohne Atmung (Abb.44, Tab.89), noch nach dem Sprint mit Atmung (Abb.44, Tab.90).

In der Ausdauergruppe ist tendenziell ebenso wie in der Gruppe der Sprinter die Herzfrequenz nach einem Sprint mit Atmung größer als nach einem Sprint ohne Atmung. Ein signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) besteht beim Vergleich des Sprints mit und ohne Atmung im zweiten Untersuchungsdurchgang in der 1. und 3. Minute nach Belastungsende. Alle weiteren Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Abb.45, Tab.91 und 92).

Vergleicht man die unterschiedlichen Zeitpunkte miteinander, so ist die Herzfrequenz nach dem Sprint ohne Atmung im zweiten Testdurchgang sofort nach Belastungsende signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als im ersten Testdurchgang (Abb.45, Tab.93). Die anderen Werte unterscheiden sich nicht signifikant, auch nicht nach dem Sprint mit Atmung (Abb.45, Tab.94).

### 3 Ergebnisse

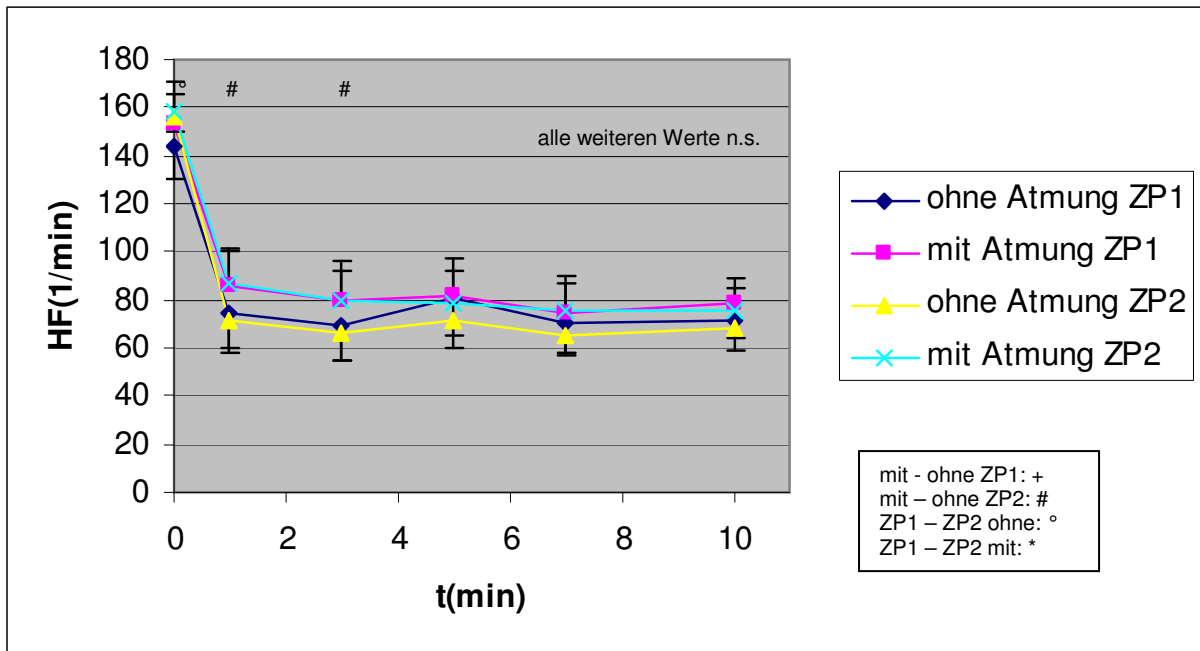


Abb.45: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Der Vergleich der Herzfrequenzen zwischen der Gruppe der Sprinter und der Ausdauergruppe zeigt tendenziell höhere Herzfrequenzen für die Gruppe der Sprinter in der Nachbelastungsphase. Signifikant ( $p \leq 0,05$ ) bzw. hoch signifikant ( $p \leq 0,01$ ) höher sind diese Werte für den Sprint ohne Atmung in der ersten und dritten Minute der Nachbelastungszeit zum Zeitpunkt 1 (Abb.46, Tab.95) und 1, 3, 5, 7 und 10 Minuten nach der Belastung zum Zeitpunkt 2 (Abb.46, Tab.96).

Für den Sprint mit Atmung sind die Herzfrequenzen signifikant höher ( $p \leq 0,05$  bzw.  $p \leq 0,01$  bzw.  $p \leq 0,001$ ) in der Gruppe der Sprinter 1, 3, 5, 7 und 10 Minuten nach der Belastung zum Zeitpunkt 1 (Abb.47, Tab.97) und zum Zeitpunkt 2 in der ersten und dritten Minute der Nachbelastung (Abb.47, Tab.98).

### 3 Ergebnisse

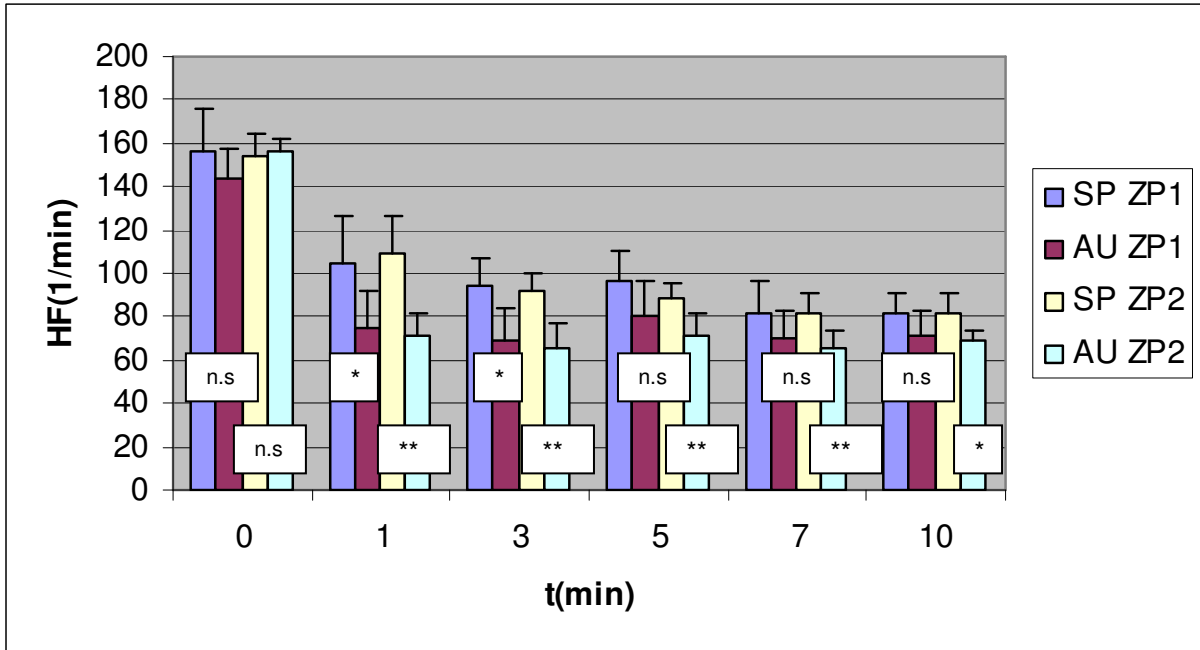


Abb.46: Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint ohne Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

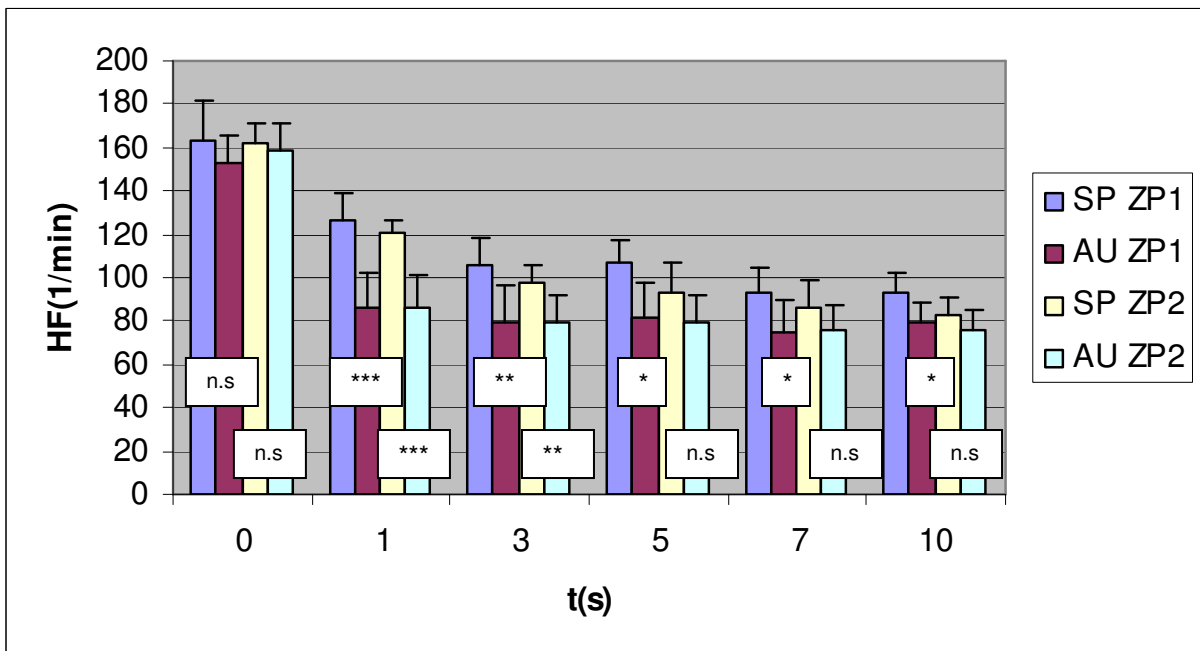


Abb.47: Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

### 3.3 LAKTAT

#### 3.3.1 Ruhe-Laktat

Jedem Sportler wurde vor, das eigentliche Ruhe-Laktat, und nach dem Einschwimmen Blut zur Bestimmung der Laktatkonzentration abgenommen.

Signifikante Unterschiede sind nicht vorhanden im Vergleich zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung, weder vor dem Einschwimmen, noch nach dem Einschwimmen oder den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten (Abb.48, Tab.19).

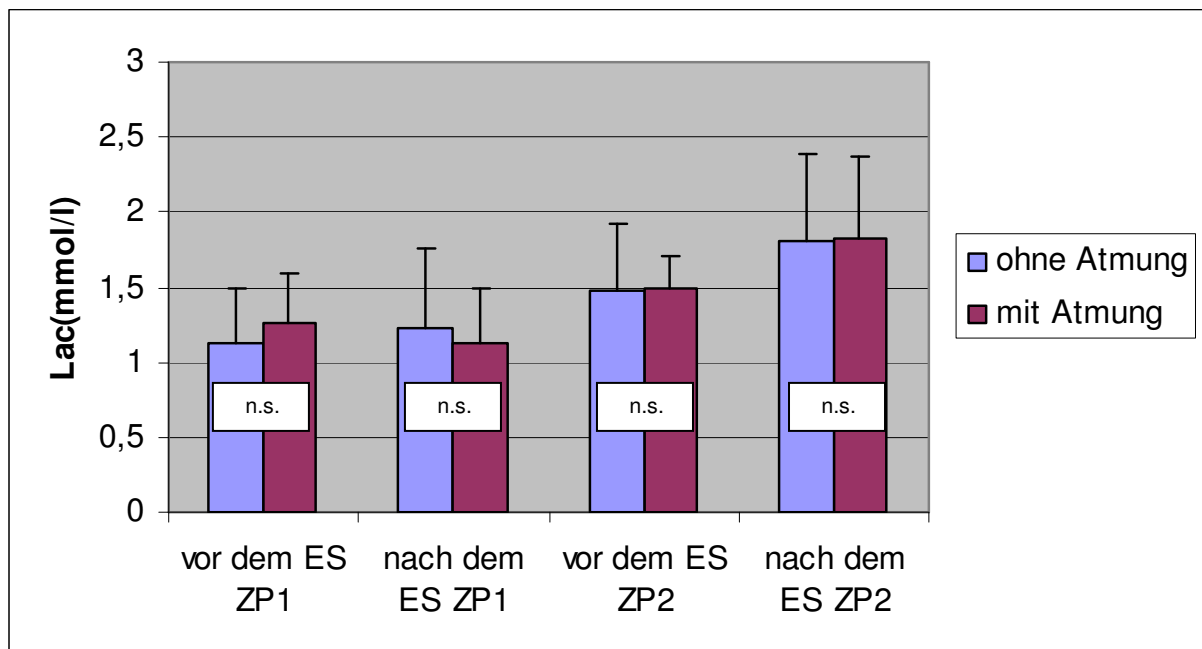


Abb.48: Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)

Tab.19: Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung vor dem Einschwimmen (ES) und nach dem ES zu den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 (n=14)

	ohne Atmung	mit Atmung	Signifikanzniveau
Laktat in mmol/l vor dem ES zum ZP1	1,13 ± 0,35	1,25 ± 0,34	n.s.
Laktat in mmol/l nach dem ES zum ZP1	1,23 ± 0,52	1,13 ± 0,36	n.s.
Laktat in mmol/l vor dem ES zum ZP2	1,47 ± 0,45	1,49 ± 0,22	n.s.

### 3 Ergebnisse

Laktat in mmol/l nach dem ES zum ZP2	1,81 ± 0,58	1,82 ± 0,56	n.s.
--------------------------------------	-------------	-------------	------

Der Vergleich der Laktatkonzentrationen zu den verschiedenen Zeitpunkten zeigt einen signifikant höheren Laktatwert ( $p \leq 0,05$ ) beim zweiten Testdurchgang vor dem Einschwimmen beim Sprint ohne Atmung und beim Sprint mit Atmung. Die Laktatkonzentration zum Zeitpunkt 2 nach dem Einschwimmen ist hoch signifikant höher ( $p \leq 0,01$  bzw.  $p \leq 0,001$ ) sowohl beim Sprint ohne Atmung als auch beim Sprint mit Atmung (Abb.49, Tab.20).

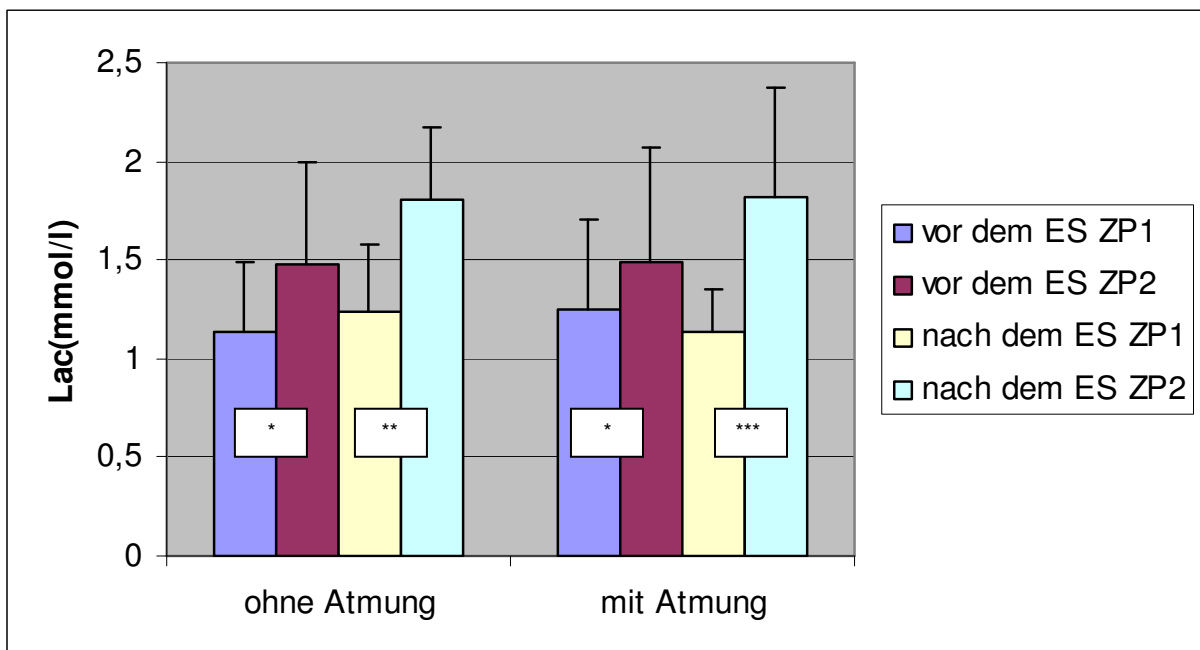


Abb.49: Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen den Zeitpunkten (ZP) 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)

Tab.20: Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen den Zeitpunkten 1 und 2 für den Sprint ohne Atmung bzw. mit Atmung vor und nach dem Einschwimmen (ES) (n=14)

	Zeitpunkt 1	Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
Laktat in mmol/l vor dem ES in der Gruppe „ohne Atmung“	1,13 ± 0,35	1,47 ± 0,45	*
Laktat in mmol/l nach dem ES in der Gruppe „ohne Atmung“	1,23 ± 0,52	1,81 ± 0,58	**

### 3 Ergebnisse

Laktat in mmol/l vor dem ES in der Gruppe „mit Atmung“	1,25 ± 0,34	1,49 ± 0,22	*
Laktat in mmol/l nach dem ES in der Gruppe „mit Atmung“	1,13 ± 0,36	1,82 ± 0,56	***

#### 3.3.2 Vergleich der Laktatwerte

Der Vergleich der Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zeigt tendenziell höhere Werte nach dem Sprint mit Atmung. Diese Unterschiede sind jedoch nicht signifikant, weder nach dem ersten Durchgang, noch nach dem zweiten Testdurchgang (Abb.50, Tab.99 und 100).

Tendenziell höhere Laktatkonzentrationen ergeben sich im Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte für den ersten Testdurchgang. Für beide Sprints, sowohl ohne Atmung als auch mit Atmung, sind diese Unterschiede nicht signifikant (Abb.50, Tab.101 und 102).

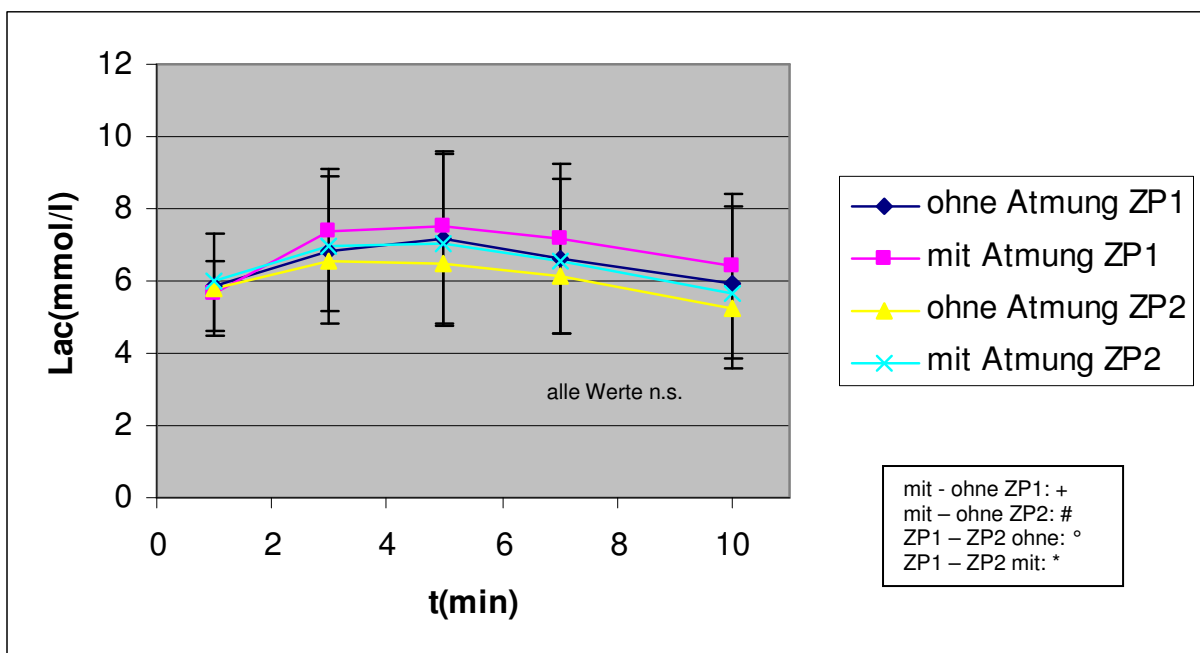


Abb.50: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) (n=14)

### 3 Ergebnisse

In der Trainingsgruppe ergibt der Vergleich der Laktatkonzentrationen einen signifikant höheren Wert ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint ohne Atmung in der ersten Minute nach der Belastung für den ersten Testdurchgang (Abb.51, Tab.103). Alle anderen Werte für den ersten Testdurchgang sind tendenziell höher nach dem Sprint ohne Atmung, jedoch nicht signifikant.

Vergleicht man den zweiten Testdurchgang, so ergeben sich keine signifikanten Unterschiede für den Vergleich des Sprints ohne Atmung mit dem Sprint mit Atmung (Abb.51, Tab.104).

Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ergeben sich für den ersten Testdurchlauf verglichen mit dem zweiten Testdurchlauf (Abb.51, Tab.105 und 106), weder nach dem Sprint ohne, noch nach dem Sprint mit Atmung.

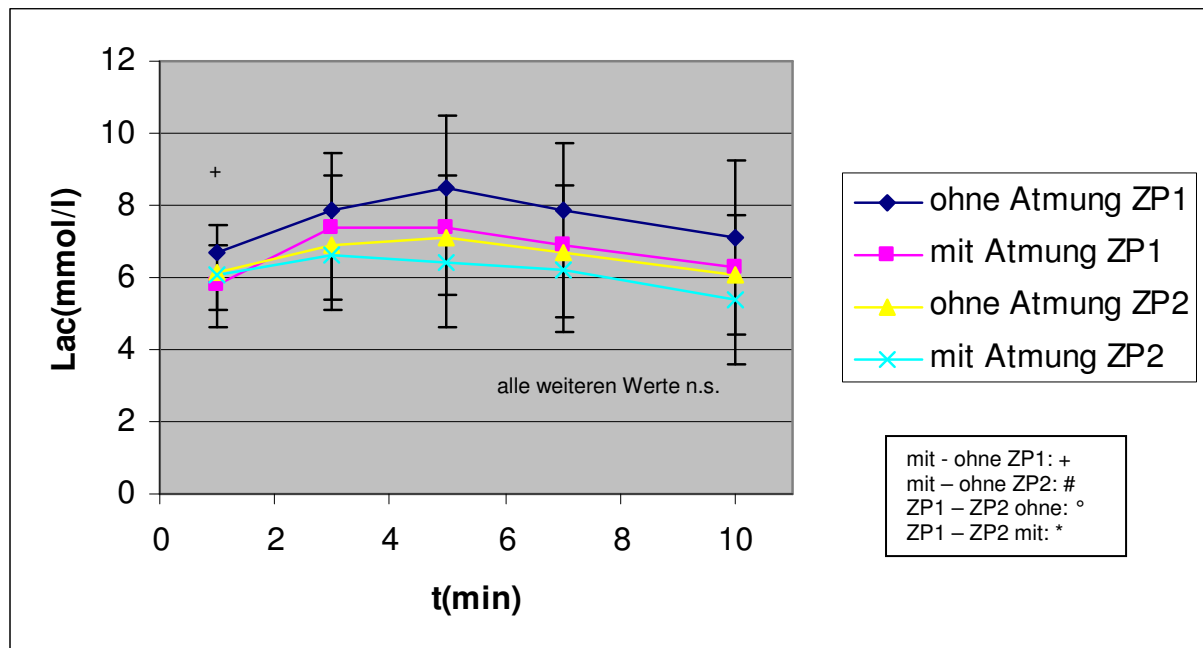


Abb.51: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Tendenziell höhere Laktatkonzentrationen sind nach dem Sprint mit Atmung in der Kontrollgruppe zu messen. Diese Ergebnisse unterscheiden sich zu beiden Untersuchungszeitpunkten nicht signifikant voneinander (Abb.52, Tab.107 und 108). Auch der Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte miteinander ergibt keine signifikanten Unterschiede für den Sprint ohne bzw. mit Atmung (Abb.52, Tab.109 und 110).

### 3 Ergebnisse

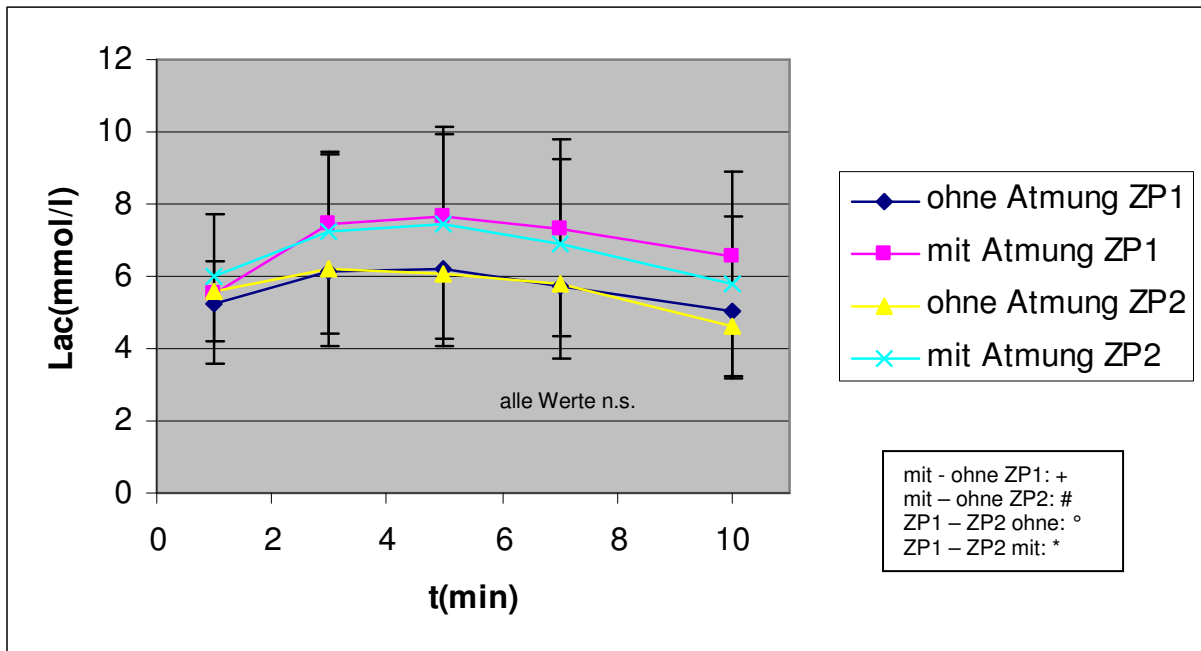


Abb.52: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

In der Gruppe der Sprinter gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Laktatkonzentrationen, weder im Vergleich zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung, noch im Vergleich zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten (Abb.53, Tab. 111 – 114).

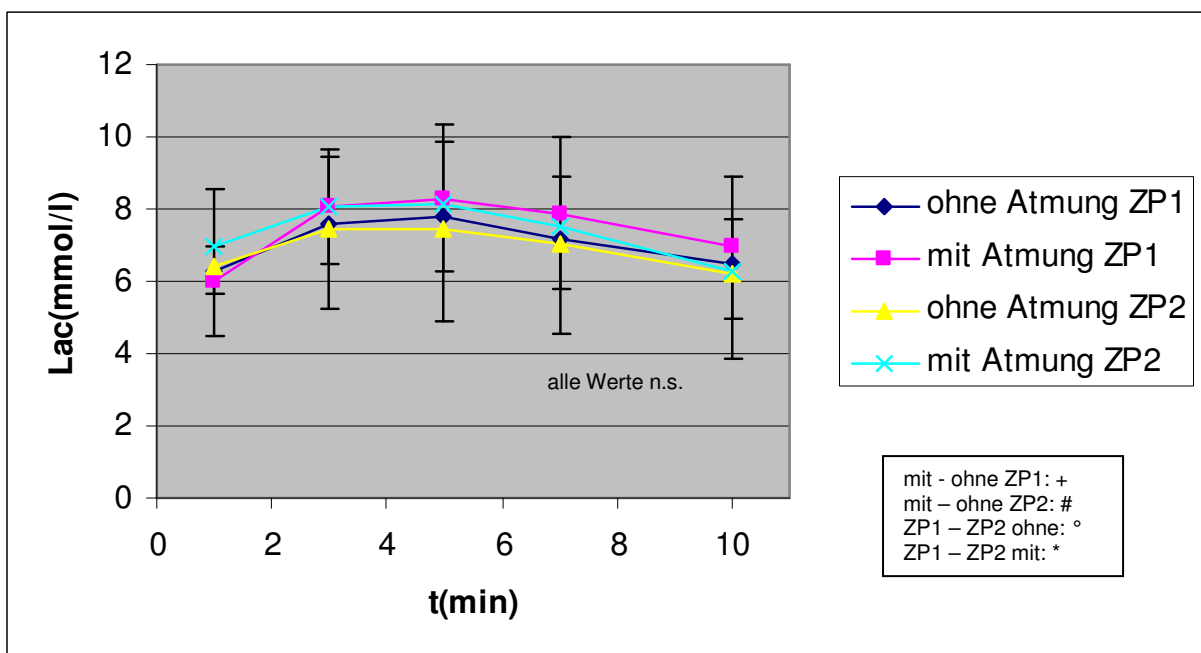


Abb.53: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)



### 3 Ergebnisse

Für die Ausdauergruppe liegen die Laktatkonzentrationen für beide Untersuchungszeitpunkte tendenziell nach dem Sprint mit Atmung höher als nach dem Sprint ohne Atmung (Abb.54, Tab.115 und 116). Diese Unterschiede sind nicht signifikant.

Der Vergleich zwischen den beiden Testdurchgängen ergibt einen signifikant höheren Laktatwert ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt 1, alle anderen Ergebnisse für den Sprint ohne Atmung und den Sprint mit Atmung unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Abb.54, Tab.117 und 118).

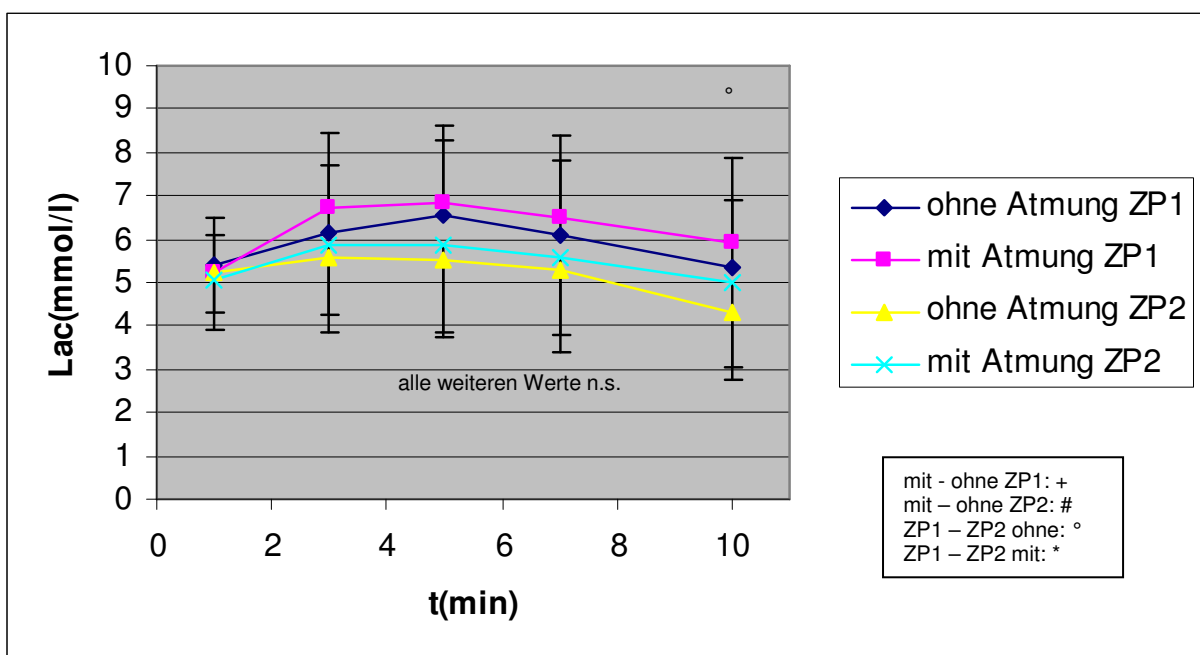


Abb.54: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Vergleicht man die maximal erreichten Laktatwerte zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung in der Gesamtgruppe und den Untergruppen miteinander, so sind tendenziell die erreichten Konzentrationen nach dem Sprint mit Atmung höher als nach dem Sprint ohne Atmung mit Ausnahme der Trainingsgruppe. In der Trainingsgruppe sind die maximal erreichten Laktatkonzentrationen nach dem Sprint ohne Atmung tendenziell höher (Abb.55, Tab.119 und 120). Alle Werte unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander.

Untersuchungszeitpunkt 1 verglichen mit Zeitpunkt 2 zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtgruppe und den Untergruppen, weder nach dem Sprint ohne, noch nach dem Sprint mit Atmung (Abb.55, Tab.121 und 122).

### 3 Ergebnisse

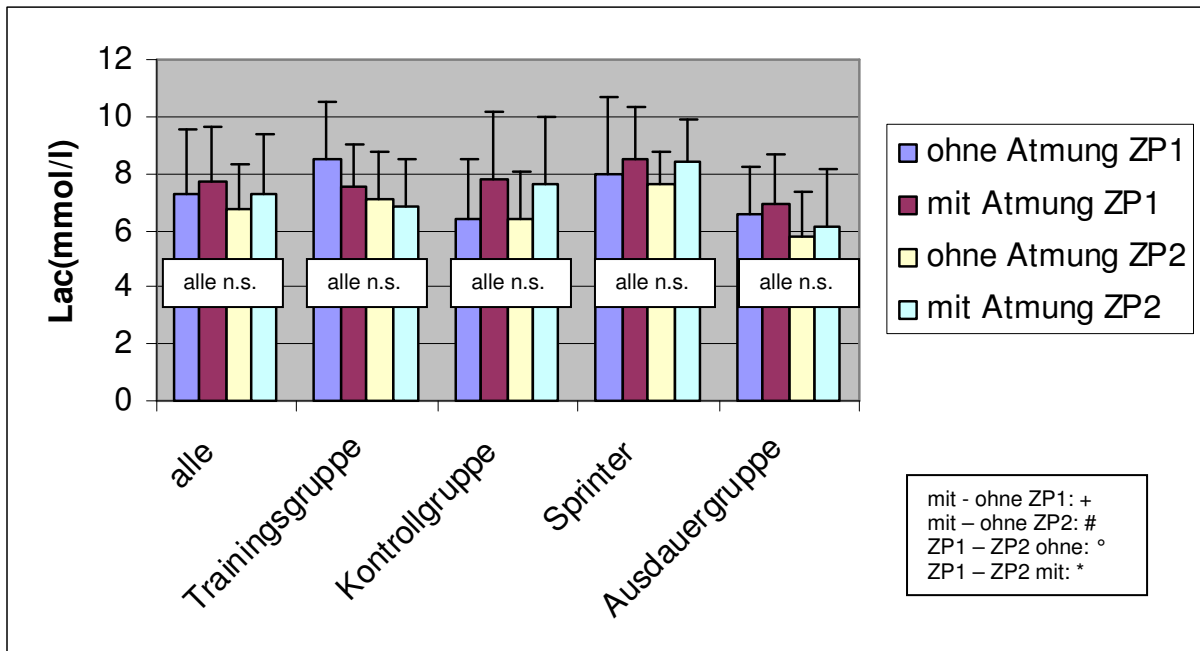


Abb.55: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Der Vergleich aller maximal erreichten Laktatwerte zwischen den Sprintern und den Ausdauerathleten, unabhängig davon, ob sie geatmet haben, zeigt einen signifikant deutlich höheren Laktatwert ( $p \leq 0,001$ ) für die Gruppe der Sprinter (Abb.56, Tab.123).

Betrachtet man diesen Vergleich zu den verschiedenen Zeitpunkten und abhängig von der Art der Atmung, so sind die maximal erreichten Laktatwerte der Sprinter tendenziell immer höher als die der Ausdauerathleten, einen signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,05$ ) gibt es allerdings nur im Vergleich Sprinter gegen Ausdauerathleten nach dem Sprint mit Atmung zum Testzeitpunkt 2. Alle anderen Ergebnisse unterscheiden sich nicht signifikant (Abb.56, Tab.123).

### 3 Ergebnisse

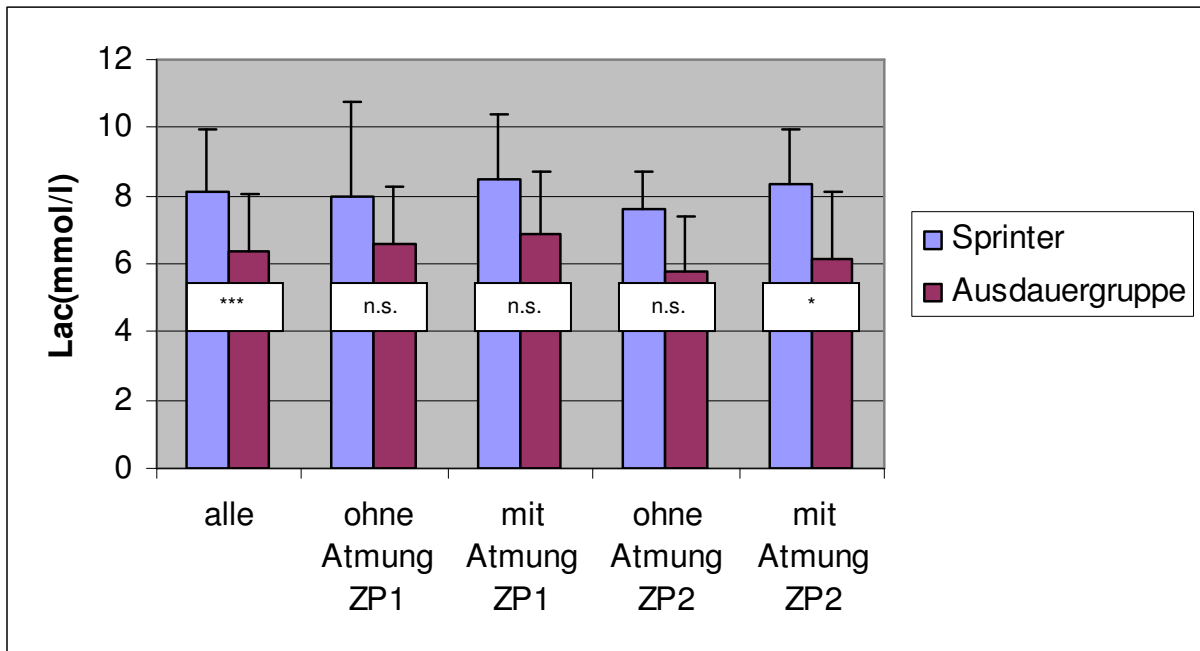


Abb.56: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) als Gesamtüberblick (n=28) und unterschieden nach Sprint ohne bzw. mit Atmung zu den beiden Zeitpunkten ZP1 und ZP2

#### 3.4 ZEITEN

Zur Beurteilung der Sprintleistungen der einzelnen Sportler werden die Zwischenzeiten an der 25m Markierung und die Endzeiten miteinander verglichen.

Zum ersten Untersuchungszeitpunkt gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Endzeiten bei den Sprints mit und ohne Atmung, weder in der Gesamtgruppe noch in den Untergruppen (Abb.57, Tab.124). Vergleicht man die Endzeiten der Sprints mit und ohne Atmung zum zweiten Untersuchungszeitpunkt miteinander, so ist der Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe und in der Trainingsgruppe signifikant schneller ( $p \leq 0,05$ ) als der Sprint ohne Atmung. In der Kontrollgruppe, der Gruppe der Sprinter und in der Ausdauergruppe gibt es keinen signifikanten Unterschied (Abb.57, Tab.125).

### 3 Ergebnisse

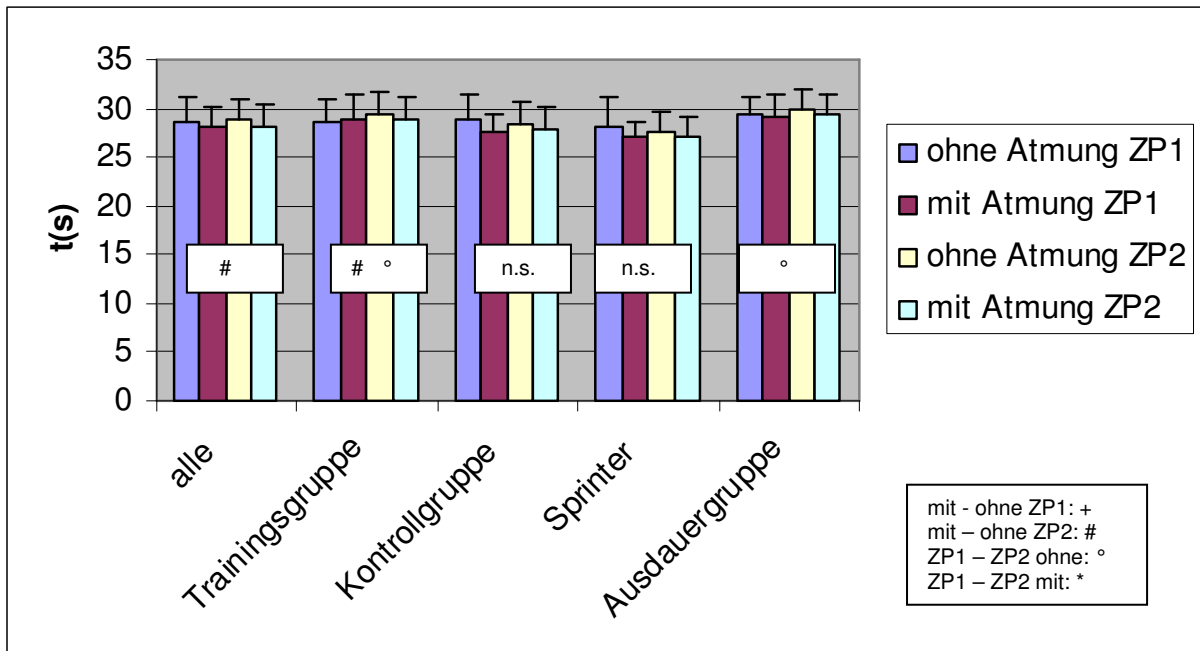


Abb.57: Vergleich der Endzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Der Vergleich der Endzeiten zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ergibt eine signifikant schnellere Endzeit ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint ohne Atmung zum ersten Zeitpunkt in der Trainingsgruppe und der Ausdauergruppe. Für die Gesamtgruppe, die Kontrollgruppe und die Gruppe der Sprinter sind keine Unterschiede zwischen den Zeitpunkten festzustellen (Abb.57, Tab.126). Ebenfalls keine Unterschiede ergeben sich aus dem Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte für den Sprint mit Atmung, weder in der Gesamtgruppe noch in den Untergruppen (Abb.57, Tab.127).

Der Vergleich der Zwischenzeit an der 25m Markierung zeigt eine signifikant schnellere erste Teilstrecke ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint mit Atmung in der Kontrollgruppe zum ersten Testdurchgang. Für die anderen Gruppen unterscheiden sich die Zwischenzeiten nicht signifikant voneinander (Abb.58, Tab.128).

Vergleicht man die Zwischenzeiten an der 25m Markierung nach dem zweiten Testdurchgang miteinander (Abb.58, Tab.129), so sind die Zeiten in allen Gruppen beim Sprint mit Atmung signifikant schneller als beim Sprint ohne Atmung ( $p \leq 0,05$  bzw. 0,01).

### 3 Ergebnisse

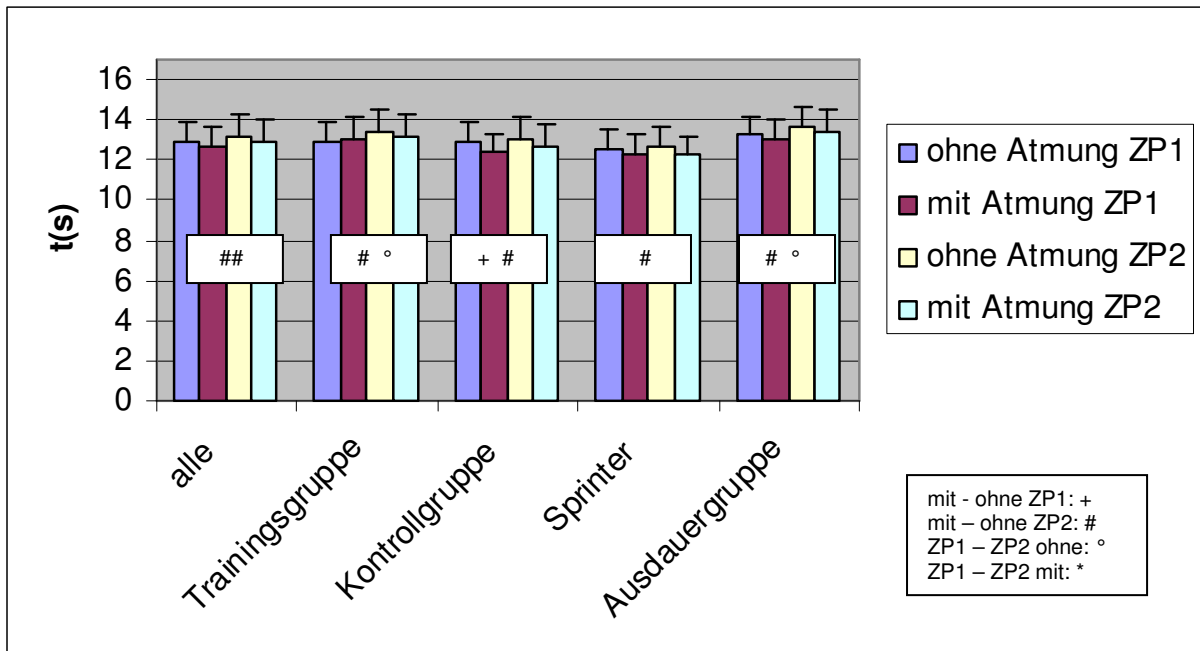


Abb.58: Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Tendenziell sind die Zwischenzeiten an der 25m Markierung zum ersten Untersuchungszeitpunkt schneller als zum zweiten, sowohl beim Sprint ohne Atmung als auch beim Sprint mit Atmung. Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) gibt es allerdings nur in der Trainingsgruppe und der Ausdauergruppe beim Sprint ohne Atmung. Alle anderen Vergleiche unterscheiden sich nicht signifikant (Abb.58, Tab.130 und 131).

Die Zeit für die zweite Teilstrecke ergibt sich aus der Differenz der Endzeit und der Zwischenzeit an der 25m Markierung.

Es sind keine signifikanten Unterschiede in allen Gruppen vorhanden, weder beim Vergleich der Zeiten für die Sprints mit und ohne Atmung der einzelnen Testdurchgänge, noch beim Vergleich der verschiedenen Untersuchungszeitpunkte für den Sprint ohne bzw. mit Atmung (Abb.59, Tab.132 bis 135).

### 3 Ergebnisse

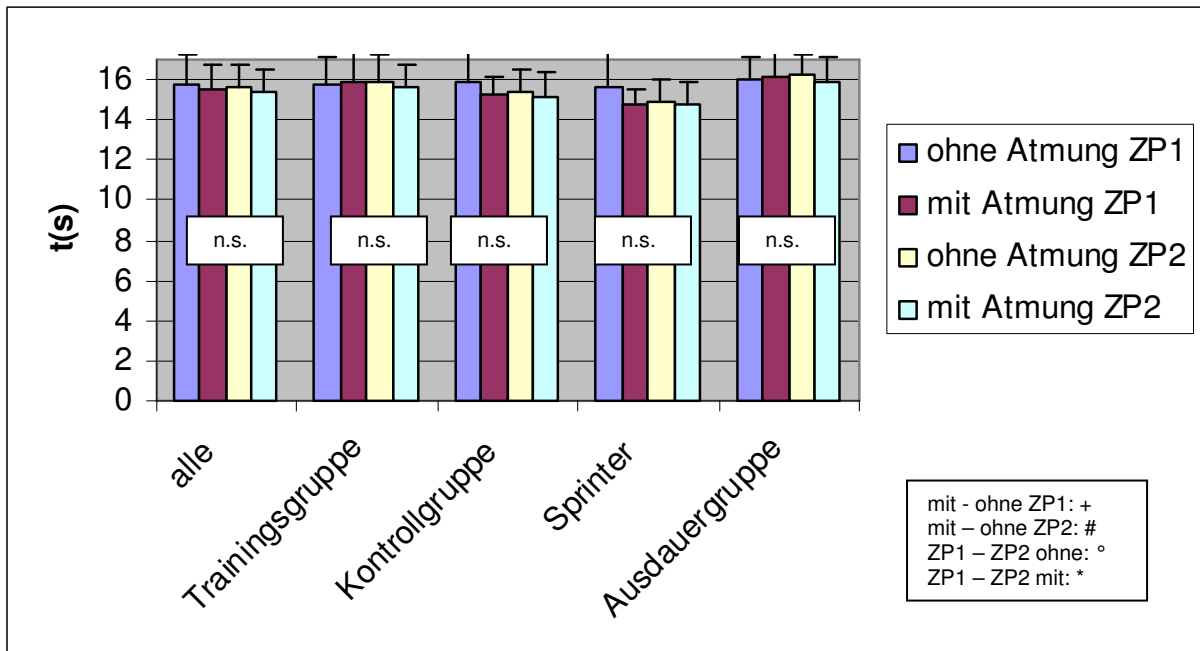


Abb.59: Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Delta t ergibt sich aus der Differenz der Zeiten beider 25m Teilstrecken. Das Delta beschreibt, wie viel langsamer bzw. schneller ein Sportler auf der zweiten Hälfte des 50m Sprints geworden ist.

Vergleicht man Delta t der Sprints ohne Atmung mit den Sprints mit Atmung miteinander, so lässt sich kein signifikanter Unterschied in allen Gruppen zu den einzelnen Testdurchgängen feststellen (Abb.60, Tab.136 und 137).

Der Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte miteinander ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sprints ohne Atmung in der Gesamtgruppe und den Untergruppen (Abb.60, Tab.138).

Für den Sprint mit Atmung ist Delta t in der Ausdauergruppe zum zweiten Untersuchungszeitpunkt signifikant kleiner ( $p \leq 0,05$ ) als zum ersten Untersuchungszeitpunkt. In den anderen Gruppen unterscheidet sich Delta t nicht signifikant voneinander (Abb.60, Tab.139).

### 3 Ergebnisse

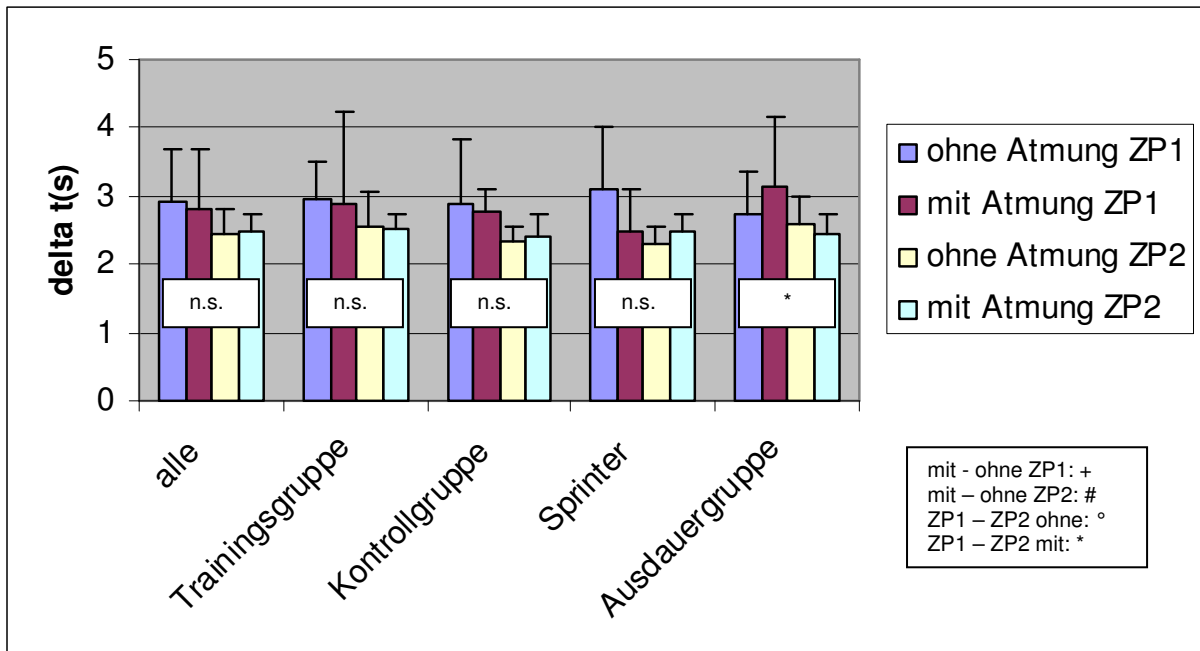


Abb.60: Vergleich der Differenz der Zeiten (delta t) zwischen den 25m Teilstrecken zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

### 3.5 ARMZUGFREQUENZEN

Der Vergleich der Armzugfrequenzen zwischen dem Sprint ohne Atmung und dem Sprint mit Atmung auf den ersten 25m zum ersten Untersuchungszeitpunkt ergibt keine signifikanten Unterschiede in allen Gruppen (Abb.61, Tab.140).

Betrachtet man die Armzugfrequenzen auf den ersten 25m des Sprints zum zweiten Untersuchungszeitpunkt, so sind die Frequenzen in allen Gruppen für den Sprint mit Atmung signifikant höher ( $p \leq 0,05$  bzw.  $0,01$ ) als für den Sprint ohne Atmung (Abb.61, Tab.141).

### 3 Ergebnisse

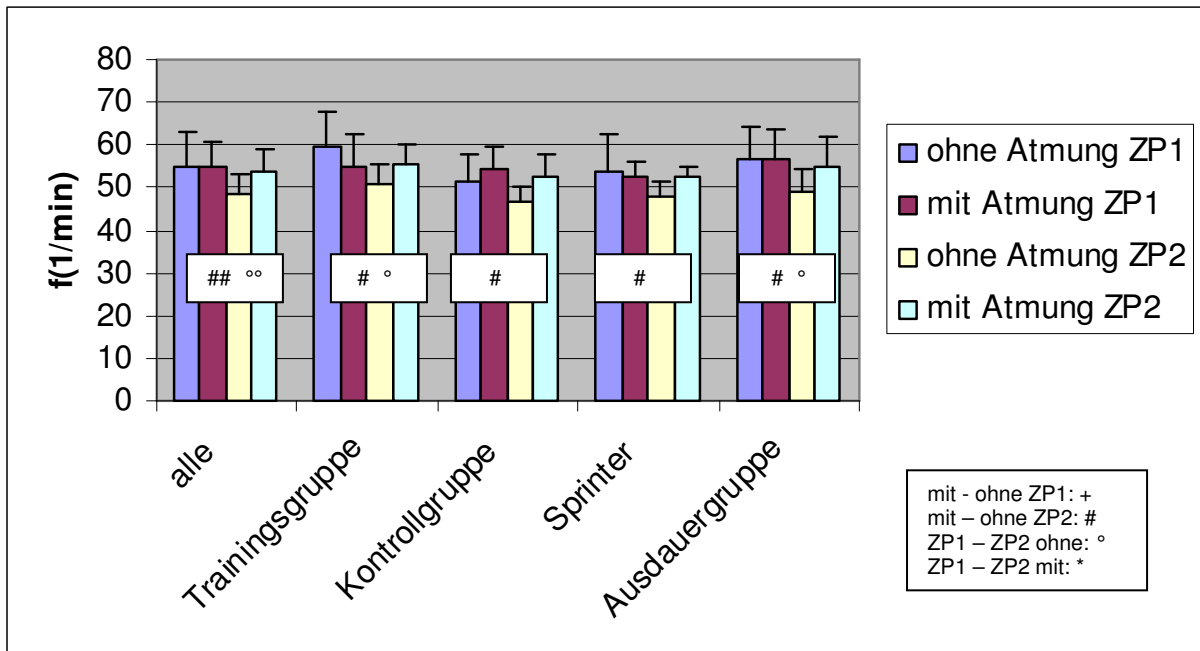


Abb.61: Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Signifikant höhere Armzugfrequenzen ( $p \leq 0,05$  bzw.  $0,01$ ) ergeben sich beim Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte für den Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 in der Gesamtgruppe, der Trainingsgruppe und der Ausdauergruppe. Tendenziell gilt das auch für die Kontrollgruppe und die Gruppe der Sprinter, diese Unterschiede sind aber nicht signifikant (Abb.61, Tab.142). Die Armzugfrequenzen beim Sprint mit Atmung unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten (Abb.61, Tab.143).

Die zweite Armzugfrequenz wird auf der zweiten 25m Teilstrecke des Sprints bestimmt. Sie ist signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint ohne Atmung in der Trainingsgruppe für den ersten Untersuchungsdurchgang. In den anderen Gruppen und für den zweiten Untersuchungsdurchgang gibt es keine signifikanten Unterschiede (Abb.62, Tab.144 und 145).

Vergleicht man die Armzugfrequenzen auf den zweiten 25m, so sind die Werte tendenziell für alle Gruppen zum ersten Zeitpunkt höher als zum zweiten Zeitpunkt, sowohl beim Sprint ohne Atmung als auch beim Sprint mit Atmung. Signifikante Unterschiede ( $p \leq 0,05$ ) sind jedoch nur festzustellen für die Gesamtgruppe, die



### 3 Ergebnisse

Trainingsgruppe und die Ausdauergruppe beim Sprint ohne Atmung (Abb.62, Tab.146) und für die Trainingsgruppe beim Sprint mit Atmung (Abb.62, Tab.147).

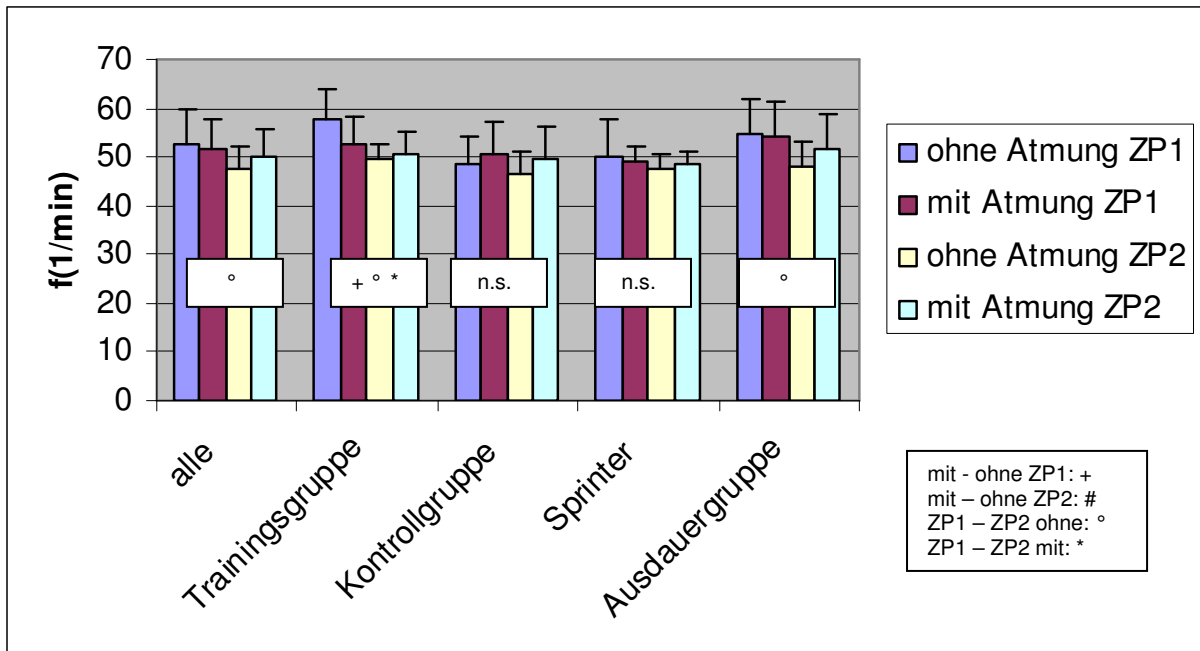


Abb.62: Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

Delta f ergibt sich aus der Differenz der Frequenzen zwischen den beiden 25m Teilstrecken. Vergleicht man Delta f zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung, so ergeben sich keine signifikanten Unterschiede in allen Gruppen für den ersten Testzeitpunkt (Abb.63, Tab.148). Für den zweiten Testzeitpunkt ist die Differenz nach dem Sprint mit Atmung signifikant höher ( $p \leq 0,05$  bzw.  $0,01$ ) für die Trainingsgruppe, die Kontrollgruppe und die Gruppe der Sprinter. In der Kontroll- und Ausdauergruppe sind die Unterschiede nicht signifikant (Abb.63, Tab.149).

Tendenziell ist Delta f nach dem Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 höher als zum Zeitpunkt 2. Die Unterschiede sind signifikant ( $p \leq 0,05$ ) in der Gesamtgruppe, der Kontrollgruppe und der Gruppe der Sprinter (Abb.63, Tab.150). Delta f nach dem Sprint mit Atmung ist in der Trainingsgruppe zum Zeitpunkt 2 signifikant höher ( $p \leq 0,05$ ) als zum Zeitpunkt 1. In den anderen Gruppen unterscheiden sich die Werte nicht signifikant voneinander (Abb.63, Tab.151).

### 3 Ergebnisse

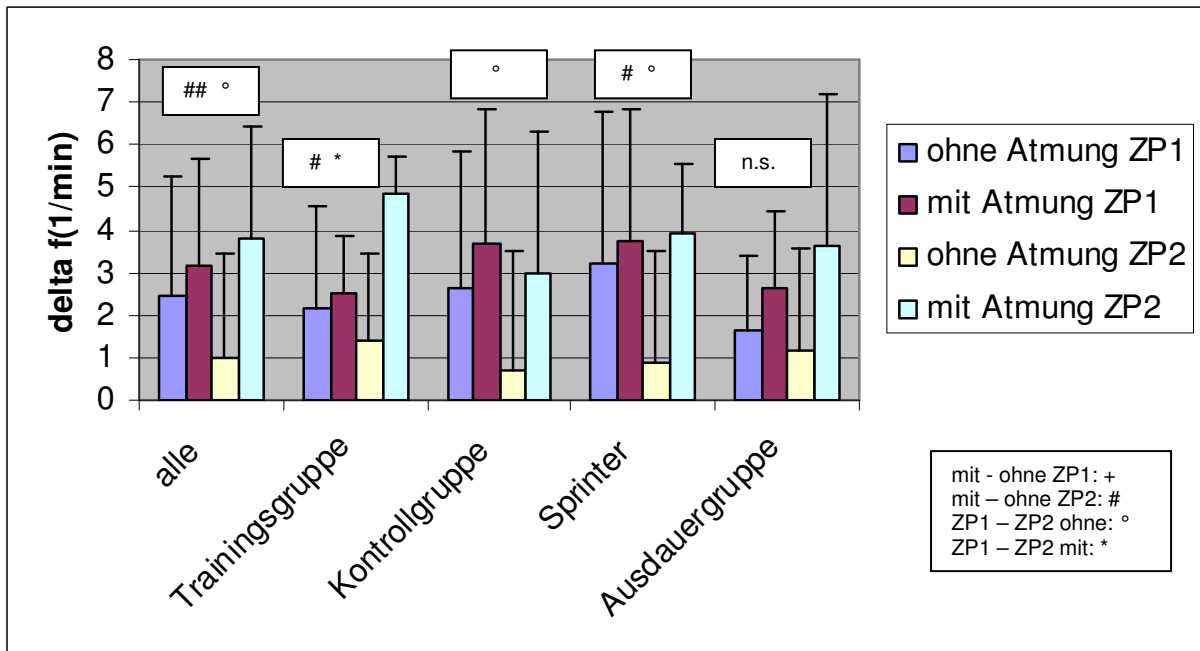


Abb.63: Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

### 3.6 BORG-WERTE

Nach der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala erscheint der Sprint ohne Atmung sofort nach der Belastung zum Zeitpunkt 2 signifikant anstrengender ( $p \leq 0,05$ ) als der Sprint mit Atmung. Diese Einschätzung bestätigt sich auch eine und fünf Minuten nach dem Ende der Belastung. Nach der 10. Minute ist dieser Unterschied nicht signifikant (Abb.64, Tab.153). Zum Zeitpunkt 1 unterscheiden sich die Werte nicht signifikant voneinander (Abb.64, Tab.152).

Der Vergleich der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala zwischen den Untersuchungszeitpunkten ergibt für den Sprint ohne Atmung keinen signifikanten Unterschied (Abb.64, Tab.154). Der Vergleich für den Sprint mit Atmung zeigt eine signifikant höhere Anstrengung ( $p \leq 0,05$ ) nach der persönlichen Einschätzung in der 10. Minute nach der Belastung (Abb.64, Tab.155). Zu den anderen Abfragezeitpunkten unterscheiden sich die Angaben nicht signifikant.

### 3 Ergebnisse

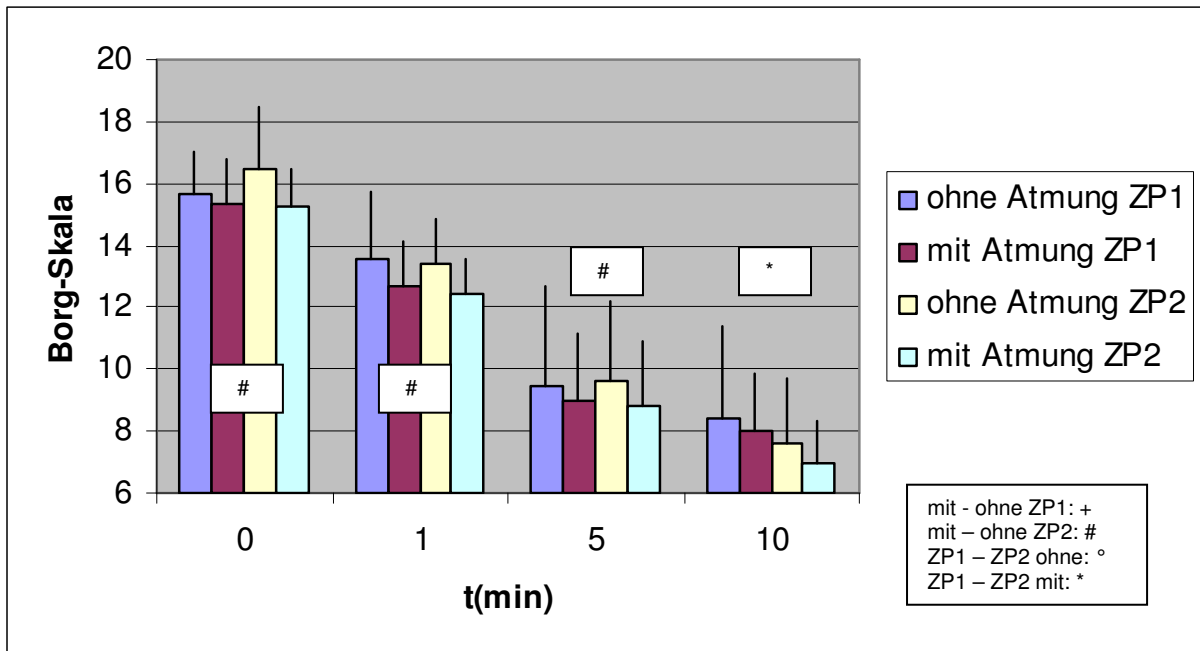


Abb.64: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) (n=14)

Der Vergleich der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Werte in der Trainingsgruppe zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Angaben für den ersten Untersuchungszeitpunkt (Abb.65, Tab.156).

Nach der persönlichen Einschätzung erscheint der Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 in der Trainingsgruppe tendenziell anstrengender als der Sprint mit Atmung. Diese Ergebnisse unterscheiden sich signifikant voneinander ( $p \leq 0,05$ ) für die Angaben eine und fünf Minuten nach der Belastung (Abb.65, Tab.157).

### 3 Ergebnisse

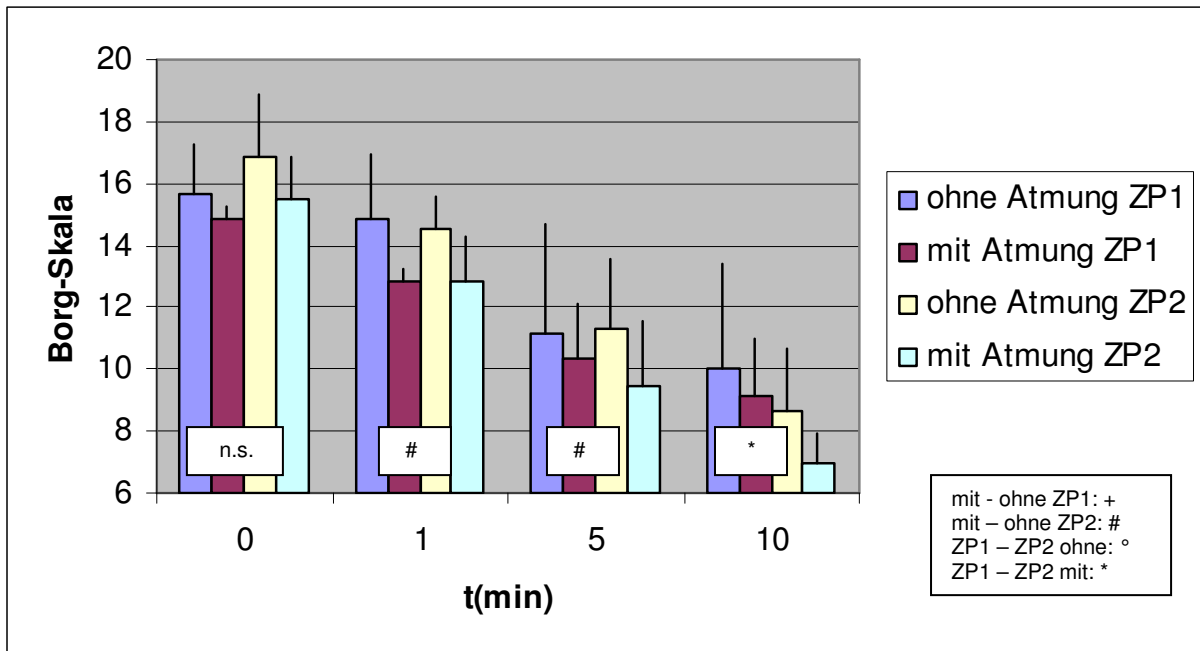


Abb.65: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Vergleicht man die Angaben zur persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Werte zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten, so ergibt sich lediglich ein signifikant höherer Wert ( $p \leq 0,05$ ) für den Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 1. Alle anderen Angaben sind nicht signifikant unterschiedlich (Abb.65, Tab.158 und 159).

In der Kontrollgruppe unterscheiden sich die Angaben über die persönliche Einschätzung anhand der Borg-Skala nicht signifikant voneinander, weder im Vergleich der beiden Sprints ohne und mit Atmung zum Zeitpunkt 1 oder 2, noch im Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte für den Sprint ohne bzw. mit Atmung (Abb.66, Tab.160 bis 163).

### 3 Ergebnisse

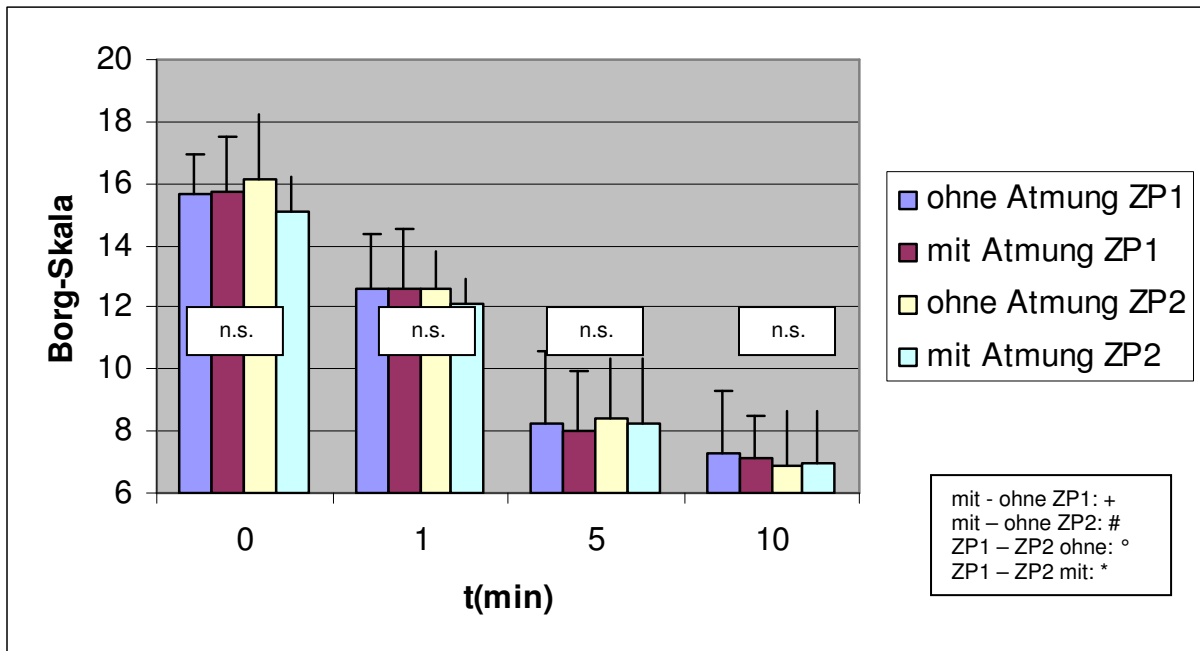


Abb.66: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

Die persönliche Einschätzung der Anstrengung anhand der Borg-Skala in der Gruppe der Sprinter unterscheidet sich nicht signifikant voneinander zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zu den verschiedenen Zeitpunkten und zwischen den beiden Zeitpunkten für den Sprint ohne bzw. mit Atmung (Abb.67, Tab.164 bis 167).

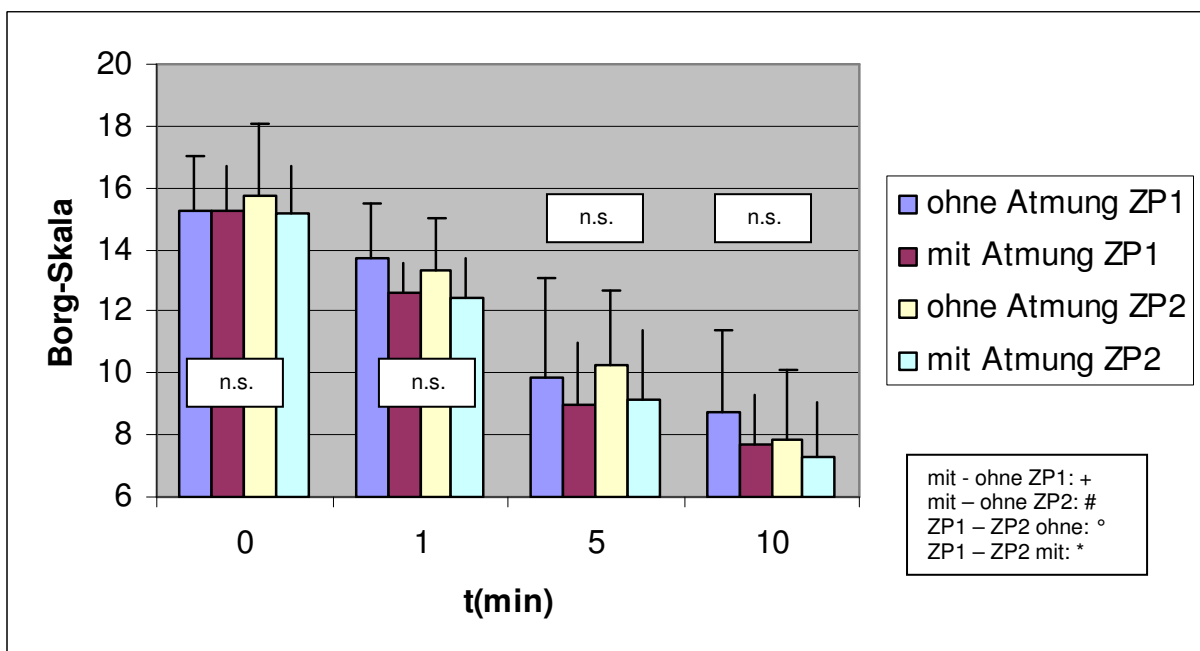


Abb.67: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

### 3 Ergebnisse

In der Ausdauergruppe erscheint nach der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala der Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 sofort und eine Minute nach der Belastung signifikant anstrengender ( $p \leq 0,05$ ) als der Sprint mit Atmung. In der 5. und 10. Minute nach der Belastung unterscheiden sich die Werte nicht signifikant (Abb.68, Tab.169). Die Einschätzungen zum Zeitpunkt 1 unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, ebenso wie der Vergleich der Einschätzungen zwischen den Zeitpunkten beim Sprint ohne bzw. mit Atmung (Abb.68, Tab. 168, 170 und 171).

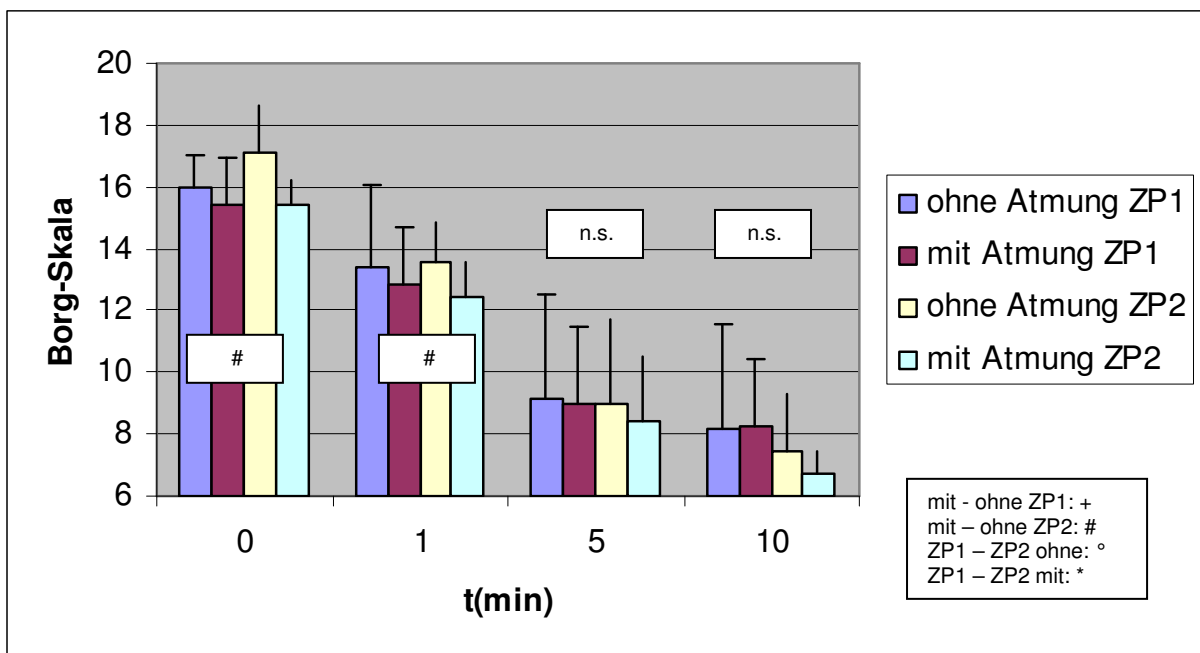


Abb.68: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2)

### 3.7 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Ergebnisse in Abhängigkeit ihrer Gruppe zusammengefasst.

#### 3.7.1 Gesamtgruppe

Der Einzelmesswertvergleich der Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht zeigt in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit unabhängig vom Testzeitpunkt tendenziell niedrigere Werte nach einem Sprint ohne Atmung. Zum Testzeitpunkt 1 ist der Unterschied in der Sauerstoffaufnahme nach einem Sprint ohne Atmung im Vergleich zum Sprint mit Atmung in wenigen Werten signifikant, zum Testzeitpunkt 2 ist der Unterschied überwiegend signifikant. Im weiteren Verlauf, besonders 60 Sekunden nach Belastungsende für Zeitpunkt 1, scheint die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in Apnoe größer zu sein, jedoch ohne signifikante Unterschiede.

Bei der Betrachtung der Sauerstoffaufnahme 30 Sekunden nach Belastungsende bis 5 Minuten nach Belastungsende scheint der Sauerstoffverbrauch nach dem zweiten Untersuchungsdurchgang tendenziell niedriger zu sein. Der Vergleich der Sprints mit bzw. ohne Atmung zeigt in einigen Werten signifikante Unterschiede beim Vergleich der beiden Testdurchgänge für den Sprint ohne Atmung.

Die Herzfrequenz ist zum Zeitpunkt 1 und zum Zeitpunkt 2 in einigen Fällen signifikant höher nach dem Sprint mit Atmung gegenüber dem Sprint ohne Atmung.

Die Laktatwerte unterscheiden sich nicht signifikant, tendenziell sind sie nach dem Sprint mit Atmung unabhängig vom Testzeitpunkt höher.

Die Endzeit und die Zwischenzeit an der 25m-Markierung sind scheinbar für den Sprint mit Atmung schneller. Dieser Unterschied ist beim zweiten Testdurchlauf signifikant. Die dazugehörige Armzugfrequenz ist signifikant kleiner.

Der Vergleich der Armzugfrequenzen zwischen den beiden Zeitpunkten ergibt signifikant niedrigere Werte nach dem zweiten Durchlauf. Die dazugehörigen Zwischenzeiten sind tendenziell langsamer.

Nach der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala empfinden sie Sportler den Sprint ohne Atmung scheinbar, in einigen Werten signifikant anstrengender als den Sprint mit Atmung.

#### **3.7.2 Trainingsgruppe**

Vergleicht man das spezifische Sauerstoffvolumen in der Trainingsgruppe miteinander, so zeigt sich eine signifikant höhere Sauerstoffaufnahme besonders zum Zeitpunkt 1 für den Sprint ohne Atmung im Vergleich mit dem Sprint mit Atmung. Dagegen ist beim Vergleich der Einzelmesswerte die Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit in vielen Fällen nach dem Sprint ohne Atmung signifikant niedriger als nach dem Sprint mit Atmung. Der Vergleich zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten zeigt keine Unterschiede in der Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung. Nach dem Sprint mit Atmung ist die Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit in den meisten Fällen signifikant niedriger zum Zeitpunkt 1. 30 Sekunden nach Belastungsende und später ist der Sauerstoffverbrauch nach dem Sprint ohne Atmung tendenziell, in einigen Fällen signifikant höher als nach dem Sprint mit Atmung.

Die Herzfrequenz ist nach dem Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 signifikant niedriger, die dazugehörige Endzeit und Zwischenzeit sind signifikant langsamer. Die entsprechende Armzugfrequenz ist signifikant kleiner.

Die Laktatkonzentration nach dem Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 ist signifikant höher als nach dem Sprint mit Atmung, die dazugehörige Endzeit und Zwischenzeit sind signifikant schneller. Die entsprechende Armzugfrequenz ist signifikant größer. Tendenziell sind die Laktatwerte nach dem Sprint ohne Atmung zum ersten Zeitpunkt höher als zum zweiten Zeitpunkt.

Der Vergleich der beiden Untersuchungszeitpunkte für den Sprint ohne Atmung zeigt eine signifikant schnellere Endzeit, Zwischenzeit und Armzugfrequenz für den ersten Testdurchgang. Die entsprechenden Herzfrequenzen und Laktatwerte sind tendenziell höher.



Alle weiteren Herzfrequenzen, Laktatkonzentrationen und Endzeiten unterscheiden sich nicht voneinander.

Bei der Betrachtung der Armzugfrequenzen fallen keine Regelmäßigkeiten auf. Einzelne Werte sind signifikant höher als andere, zugehörige Zwischenzeiten sind tendenziell, zum Teil auch signifikant schneller.

Nach der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala empfinden sie Sportler den Sprint ohne Atmung scheinbar, in einigen Werten signifikant anstrengender als den Sprint mit Atmung.

### **3.7.3 Kontrollgruppe**

Der Sauerstoffverbrauch in der Kontrollgruppe unterscheidet sich nicht zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung. Der Vergleich beider Testzeitpunkte für den Sprint mit bzw. ohne Atmung zeigt ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Zeitpunkten.

Im weiteren Verlauf der O<sub>2</sub>-Aufnahmekurve ist der Sauerstoffverbrauch nach dem Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 scheinbar geringer als zum Zeitpunkt 1. Wenige Werte sind signifikant kleiner.

Der Vergleich der Herzfrequenzen zeigt tendenziell kleinere Werte nach dem Sprint ohne Atmung unabhängig vom Testzeitpunkt.

Die Laktatkonzentrationen sind scheinbar nach dem Sprint ohne Atmung geringer.

Die Endzeiten sind tendenziell langsamer für den Sprint ohne Atmung.

Signifikant langsamer sind die Zwischenzeiten für den Sprint ohne Atmung.

Die entsprechenden Armzugfrequenzen sind tendenziell, zum Teil signifikant kleiner.

Die persönliche Einschätzung anhand der Borg-Skala unterscheidet sich nicht zwischen den Sprints mit und ohne Atmung.

### **3.7.4 Gruppe der Sprinter**

In der Gruppe der Sprinter unterscheidet sich die Sauerstoffaufnahme bezogen auf das Körpergewicht tendenziell nicht voneinander, weder zwischen den Sprints mit und ohne Atmung, noch zwischen den Testzeitpunkten.

Tendenziell ist die Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung schneller, die Laktatkonzentration höher und die Endzeit schneller. Die Werte unterscheiden sich nicht signifikant.

Die Armzugfrequenz ist tendenziell nicht unterschiedlich.

Die persönliche Einschätzung anhand der Borg-Skala unterscheidet sich nicht zwischen den Sprints mit und ohne Atmung.

### **3.7.5 Ausdauergruppe**

Der Sauerstoffverbrauch in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit ist für den Sprint ohne Atmung im Einzelmesswertvergleich scheinbar, in einigen Werten signifikant geringer als für den Sprint mit Atmung.

Der Sauerstoffverbrauch 30 Sekunden bis 5 Minuten nach Belastungsabbruch ist tendenziell für den Sprint mit und den Sprint ohne Atmung nach dem zweiten Untersuchungsdurchgang geringer als nach dem ersten Durchgang.

Die Herzfrequenz ist nach dem Sprint mit Atmung scheinbar leicht erhöht.

Der Vergleich der Herzfrequenzen der Ausdauergruppe mit denen der Sprinter ergibt größtenteils signifikant niedrigere Herzfrequenzen für die Ausdauergruppe.

Die Laktatwerte sind nach dem ersten Durchlauf tendenziell etwas höher als nach dem zweiten Durchlauf.

Tendenziell sind die Endzeiten und die Zwischenzeiten nach dem Sprint mit Atmung schneller. Der Vergleich der beiden Testzeitpunkte ergibt scheinbar langsamere Zeiten zum Zeitpunkt 2.

### 3 Ergebnisse

---

Die Armzugfrequenzen sind scheinbar nach dem Sprint mit Atmung höher. Vergleicht man die Armzugfrequenzen zwischen den Testzeitpunkten, so ergeben sich tendenziell niedrigere Werte für den Zeitpunkt 2.

Nach der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala empfinden sie Sportler den Sprint ohne Atmung scheinbar, in einigen Werten signifikant anstrengender als den Sprint mit Atmung.

## 4 DISKUSSION

### 4.1 VERGLEICHBARKEIT DER DATEN

Die Vergleichbarkeit der Probanden ist gewährleistet, wenn eine möglichst große Homogenität der anthropometrischen Daten gegeben ist<sup>15, 83</sup>. Die Unterteilung der Gruppe erfolgt in eine Trainings- und Kontrollgruppe oder in eine Sprint- und Ausdauergruppe. In beiden Fällen kann der Vergleich als statthaft angesehen werden, die anthropometrischen Daten unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Der Vergleich des Ruhe-RQ zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ist nicht signifikant. Es ist daher davon auszugehen, dass die Sportler zu beiden Zeitpunkten gleichermaßen erholt waren, daher ist ein Vergleich zwischen den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten zulässig.

Bei der Erfassung der Messwerte kommt es zu einer Verzögerung zwischen dem Anschlag und dem Aufsetzen der Maske (Maskenzeit). Die Maskenzeit und die Zeit für das Vorliegen des ersten realistischen  $VO_2$ -Wertes unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Eine Vergleichbarkeit der Spirometriedaten ist gewährleistet.

Léger<sup>81, 102</sup> und andere<sup>117, 135</sup> beschreiben eine mathematische Formel, mit deren Hilfe man  $VO_2$  bei Belastungsabbruch bestimmen kann. Die Berechnung erfolgt auf der Grundlage einer negativen mathematischen Extrapolation über einen Zeitraum von 60 Sekunden nach Belastungsabbruch und wird durch eine Funktion mit einem monoexponentiellen Abfall beschrieben.

Der Verlauf der Sauerstoffverbrauchskurve dieser Studie weicht besonders nach einem Sprint ohne Atmung von der Kinetik dieser Kurve ab. Auffällig ist, dass die Kinetik der Kurve nur in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit nicht der Funktion folgt. Mögliche Gründe dafür werden im folgenden Kapitel (Kap.4.2 Sauerstoffaufnahme) diskutiert. Es ist anzunehmen, dass eine Berechnung der  $VO_2$ -Werte bei Belastungsabbruch ohne Berücksichtigung dieser Abweichung falsch niedrige Ergebnisse liefert. Auch Ziegler<sup>159, 161</sup> hat in einer Untersuchung festgestellt,

dass der Verlauf der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve in der Nachbelastungsphase vor allem zu Beginn nicht der Funktion  $y = ae^{-bx}$  folgt.

### 4.2 SAUERSTOFFAUFNAHME

#### 4.2.1 Sauerstoffaufnahme in Ruhe

Die Erfassung der Sauerstoffaufnahme in Ruhe lässt Rückschlüsse auf den Grad der Erholung der Sportler zu<sup>137</sup>, eine schlechtere Erholung hat einen kleineren Ruhe-RQ zur Folge. Der durchschnittliche RQ bei Mitteleuropäern beträgt 0,82<sup>127</sup>. Der Vergleich des Ruhe-RQ zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung, ebenfalls keine Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten innerhalb einer Gruppe. Damit ist sicher gestellt, dass sich die erhobenen Messwerte miteinander vergleichen lassen.

Der tendenziell höhere RQ zum zweiten Untersuchungszeitpunkt ist möglicherweise eine Reaktion auf das reduzierte Training zum Jahresende bzw. zum Ende des ersten Makrozyklus im Trainingsjahr.

#### 4.2.2 Sauerstoffaufnahme in der ersten Nachbelastungsminute

Eine zentrale Rolle für den 50m Sprint („ohne Atmung“: 28,72s ± 2,40s; „mit Atmung“: 28,15s ± 2,12s) spielt die anaerobe Energiebereitstellung<sup>145</sup>. Zum einen wird Energie aus der Synthese von Kreatinphosphaten gewonnen, zum anderen anaerob laktacid aus dem Abbau von Glukose, während gleichzeitig Laktat entsteht<sup>42, 131, 150</sup>.

Brooks<sup>20</sup> beschreibt in seinen Ausführungen über den Laktat-Shuttle die Entstehung von Laktat als Konsequenz von Sauerstoffmangel. Umgekehrt erfolgt die Eliminierung von Laktat neben dem Abbau im Herz und in der Leber über Oxidation<sup>20</sup>. Laktatabbau und Sauerstoffverbrauch stehen in direktem Zusammenhang<sup>20, 42</sup>.

Dieser Zusammenhang erlaubt die Annahme, dass ein erhöhter Laktatwert nach einem Sprint in völliger Apnoe aufgrund des erhöhten Sauerstoffmangels entstehen müsste. Und umgekehrt, dass ein erhöhter Sauerstoffverbrauch und damit

verbunden eine erhöhte Sauerstoffaufnahme für die reverse Glykolyse die Folge ist.<sup>20</sup>

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Erwartungen nicht.

Besonders in der ersten Phase der Nachbelastung weicht die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve von der erwarteten Kinetik ab. Die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe ist geringer und nicht, wie eingangs erwartet, erhöht. Zwar sind diese Unterschiede nur zum zweiten Zeitpunkt signifikant, doch sind die Werte tendenziell auch nach der ersten Untersuchung niedriger.

Mc Mahon und Jenkins<sup>99</sup> beschreiben ebenso wie Harris et al<sup>52</sup> zwei Komponenten der Kreatin-Resynthese, eine erste und eine zweite Phase. Die erste Phase dauert ca. 20 Sekunden, sie wird auch bezeichnet als die schnelle Phase. Diese Phase ist abhängig von der Sauerstoffverfügbarkeit, die Resynthese, die Umwandlung von Kreatin zu Kreatinphosphat, erfolgt durch oxidative Phosphorylation<sup>99</sup>. Die zweite Phase, die langsame, ist abhängig vom Grad der intrazellulären Azidose. Je größer die Azidose ist, umso langsamer ist die Resynthese, d.h. umso mehr Sauerstoff wird benötigt. Diese Phase dauert ca. 170 Sekunden<sup>99</sup>. Darüber hinaus beschreiben Di Prampero<sup>42, 43</sup> und Green<sup>50</sup> zwei Phasen der Sauerstoffaufnahme. Die erste Phase, auch sie wird als die schnelle Phase bezeichnet, ist gekennzeichnet durch den oxidativen Abbau von Kreatinen. Laut Green<sup>50</sup> dauert diese Phase ca. 2 bis 2,5 Minuten. Die zweite Phase, die langsame, schließt sich an die schnelle Phase an und ist durch den oxidativen Abbau von Laktat gekennzeichnet.

Auffällig bei der Betrachtung der Ergebnisse ist, dass die Unterschiede in der Sauerstoffaufnahme zeitlich in die schnelle Phase der Sauerstoffaufnahme (oxidativer Abbau von Kreatinen) nach Di Prampero<sup>42, 43</sup> und Green<sup>50</sup> fallen bzw. noch genauer in die schnelle Phase der Kreatin-Resynthese nach Mc Mahon/Jenkins<sup>99</sup> und Harris<sup>52</sup>. In dieser Phase erfolgt die Kreatin-Resynthese über die oxidative Phosphorylation. Mc Mahon<sup>99</sup> beschreibt ebenso wie andere<sup>61, 73</sup> eine Hemmung der Phosphorylation durch H<sup>+</sup>-Ionen. Durch die nicht vorhandene Atmung wird kein CO<sub>2</sub> abgeatmet, d.h. die erhöhte H<sup>+</sup>-Konzentration geht keine Bindung mit OH<sup>-</sup> ein<sup>131</sup>, dadurch erfolgt eine Hemmung der Phosphorylation und damit verbunden eine Hemmung der Kreatin-Resynthese. Als Folge dessen wird zunächst weniger

Sauerstoff benötigt. Möglicherweise lassen sich die Ergebnisse dieser Studie auf dieses Phänomen zurückführen.

Ebenso wie in der Gesamtgruppe verhalten sich auch die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurven in der Trainings- und Kontrollgruppe. In der Trainingsgruppe fällt auf, dass der Sauerstoffverbrauch zum Zeitpunkt 1 nach dem Sprint ohne Atmung gegenüber dem Sprint mit Atmung ad libidum in den ersten 20 Sekunden niedriger ist und anschließend erhöht. Die erste Phase, der niedrigere Sauerstoffverbrauch, deckt sich mit der schnellen Phase der Kreatin-Resynthese<sup>52, 99</sup>, diese dauert nach Mc Mahon und Jenkins ca. 20 Sekunden. Anschließend, in der langsamen Phase der Kreatin-Resynthese, ist der Sauerstoffverbrauch erhöht. Ausschlaggebend dafür könnte die intrazelluläre Azidose sein. Je höher die Azidose ist, um so höher ist der Sauerstoffverbrauch in der zweiten Phase<sup>99</sup>. Der signifikant höhere Laktatwert nach der ersten Minute unterstützt diese Annahme.

Betrachtet man das spezifische Sauerstoffvolumen, so ist im Gegensatz zum Einzelmesswertvergleich die Sauerstoffaufnahme besonders für den Zeitpunkt 1 nach einem Sprint ohne Atmung höher als nach einem Sprint mit Atmung. Möglicherweise sind die höheren Werte eine Folge des zurückextrapolierten Wertes bei Belastungsabbruch. Dieser Wert fließt in die Berechnung der Fläche unter der Ausgleichsfunktion mit ein. Besonders für den Sprint in Apnoe weicht der Kurvenverlauf von der erwarteten Kinetik ab. Die zusätzliche Schwingung im Bereich der ersten 20 Sekunden hat einen besonders steilen Anstieg bzw. Abfall zur Folge, aufgrund dessen ein besonders hoher Anfangswert in die Berechnung des spezifischen Sauerstoffvolumens mit einfließt.

Bei der Betrachtung der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurven nach dem Sprint mit Atmung ad libidum fällt ebenso wie nach dem Sprint in völliger Apnoe eine leichte Abweichung von der erwarteten Kinetik mit einem monoexponentiellen Abfall auf. Diese Abweichung ist deutlich geringer und möglicherweise ebenfalls auf eine leichte Hemmung der Kreatin-Resynthese zurück zu führen. Schon Counsilman<sup>32</sup> beschreibt 1968 als ein Charakteristikum für Sprintschwimmer eine möglichst geringe Atmung, d.h. auch Sprinter, die atmen dürfen, atmen so wenig wie möglich. Eine optimale Pufferung des Übersäuerns durch die Atmung ist möglicherweise auch da nicht gewährleistet.

Chapin<sup>26</sup>, Schagatay<sup>125</sup> und andere Autoren<sup>23, 48, 59</sup> beschreiben eine Trainierbarkeit der Atemhaltezeit. Bereits nach einem 2-wöchigen Training ist die Atemhaltezeit verlängert und der „Breaking Point“, der Moment des Abbruchs, nach hinten verschoben<sup>37, 125</sup>. Diese Untersuchungen geben Grund zu der Annahme, dass ein entsprechendes Training mit diesen ausgewählten Übungen auch bei den Probanden die Atemhaltezeit verlängern müsste. Umgekehrt würde das bedeuten, dass sich das Sauerstoffaufnahmeverhalten in der Trainingsgruppe nach einem Sprint in völliger Apnoe durch eine Verbesserung des anaeroben Stoffwechsels verändert, sich also die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve besonders in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit verschiebt.

Der Verlauf der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve in der Trainingsgruppe bestätigt diese Erwartungen nicht. Ebenso wie in der Kontrollgruppe und in der Gesamtgruppe sind keine Veränderungen der Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden nach einem Sprint in völliger Apnoe zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten zu erkennen. Das Gegenteil ist der Fall. Die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve nach dem Sprint mit Atmung ad libitum verschiebt sich im Sinne einer verbesserten Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden zum Zeitpunkt 2. Dieses Phänomen ist bereits in der Gesamtgruppe zu erkennen und wird noch deutlicher in der Trainingsgruppe. In der Kontrollgruppe dagegen ist keine Veränderung ersichtlich. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die ausgewählten Trainingsinhalte eine Wirkung im aeroben Stoffwechsel ähnlich wie z.B. ein Intervalltraining hatten. Eine Verbesserung des aeroben Stoffwechsels hat u.a. eine Verringerung der H<sup>+</sup>-Ionen-Konzentration und der Laktatkonzentration zur Folge<sup>61, 129, 150</sup>. Die Verringerung der H<sup>+</sup>-Ionen-Konzentration könnte in den ersten 20 Sekunden eine geringere Hemmung der Kreatin-Resynthese zur Folge haben und dementsprechend eine verbesserte Sauerstoffaufnahme nach sich ziehen. Bei einem Sprint in völliger Apnoe dagegen dürften keine Veränderungen ersichtlich sein, da keine Atmung stattgefunden hat und ein aerobes Training ohne Auswirkungen auf den Kreatinphosphatpool und die anschließende Resynthese bleibt (Merkmal eines anaeroben Trainings<sup>150</sup>).

Laut Di Prampero<sup>42, 43</sup> und Green<sup>50</sup> ist die langsame Phase der Kreatin-Resynthese abhängig vom Grad der intrazellulären Azidose. Eine geringere Azidose (als Folge eines aeroben Trainings) müsste also eine verringerte Sauerstoffaufnahme zum Zeitpunkt 2 nach etwa 20 Sekunden zur Folge haben. Die Betrachtung der



Ergebnisse dieser Studie unterstützt diese Annahme. Tendenziell ist eine verringerte Sauerstoffaufnahme nach der Trainingsintervention für den Sprint mit Atmung ad libidum und für den Sprint in völliger Apnoe zu erkennen. In der Kontrollgruppe ist diese Tendenz nicht erkennbar.

Betrachtet man die maximale Sauerstoffaufnahme dieser Untersuchung, so wird diese Annahme verstärkt. Zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ist eine signifikante Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libidum in der Trainingsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe aufgetreten, keine Veränderung hingegen nach dem Sprint in völliger Apnoe.

Die Sauerstoffverbrauchskurve nach einem Sprint in völliger Apnoe weicht in der Gruppe der Sprinter ebenso wie in der Ausdauergruppe von der erwarteten Kinetik ab. Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels diskutiert ist dieses Phänomen möglicherweise ebenfalls auf eine Hemmung der Kreatin-Resynthese aufgrund der durch Apnoe vorhandener H<sup>+</sup>-Ionen zu erklären<sup>43, 50, 52, 99</sup>. In der Ausdauergruppe scheint der veränderte Kurvenverlauf in den ersten 20 Sekunden im Sinne einer geringeren Aufnahme noch deutlicher ausgeprägt zu sein als in der Gruppe der Sprinter, jedoch ohne signifikante Unterschiede. Die tendenziell niedrigere Sauerstoffaufnahme mag damit zusammenhängen, dass Ausdauersportler es nicht gewöhnt sind und auch nicht entsprechend trainiert sind, hoch intensive Belastungen auszuhalten und zu kompensieren<sup>153, 162</sup>. Sprinter dagegen haben sehr gut ausgebildete anaerobe Stoffwechselmechanismen, sie können anfallende H<sup>+</sup>-Ionen besser kompensieren<sup>50, 61</sup>. Möglicherweise ist die Hemmung der Kreatin-Resynthese aus diesem Grund nicht so groß. Im Anschluss an die schnelle Phase folgt die langsame Phase der Kreatin-Resynthese, der wiederum die langsame Phase der Sauerstoffaufnahme für die reverse Glykolyse folgt<sup>42, 43, 50</sup>. Beide Phasen sind abhängig vom aeroben Stoffwechsel. Die Sauerstoffaufnahme müsste daher in der Ausdauergruppe aufgrund besser ausgeprägter aerober Mechanismen<sup>61, 99</sup> geringer sein. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen bestätigen die Erwartungen. Die Sauerstoffaufnahme in der Ausdauergruppe ab 20 Sekunden nach Belastungsende ist tendenziell geringer als in der Gruppe der Sprinter. Einige Werte unterscheiden sich signifikant voneinander.

Bei der Betrachtung der Gruppen Sprint und Ausdauer fallen keine Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten auf. Es ist also davon auszugehen, dass die Veränderungen in der Trainingsgruppe tatsächlich durch die Trainingsintervention hervorgerufene Veränderungen sind und nicht durch das allgemeine Training. Eine Unterteilung in Trainings- und Kontrollgruppe ist hier aufgrund der kleinen Gruppengröße nicht möglich. Wagt man dennoch einen Blick auf die O<sub>2</sub>-Verlaufskurven für die Trainings- und Kontrollgruppe der Sprinter sowie der Ausdauersportler, so wird die Annahme, dass die Veränderungen durch die Trainingsintervention hervorgerufen wurden, noch mehr verstärkt. Aufgrund der bereits getroffenen Annahme, die Trainingsintervention hat eine Verbesserung des aeroben Stoffwechsels zur Folge, müssten sich die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurven in den ersten 20 Sekunden nach dem Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 2 im Sinne einer verbesserten Sauerstoffaufnahme sowohl in der Trainingsgruppe der Sprinter als auch in der Ausdauertrainingsgruppe verschieben. Die Kontrollgruppen hingegen dürften keine Veränderung zur Folge haben. Die im Anhang abgebildeten Kurvenverläufe (Abb.69-72) unterstützen diese Erwartungen.

In der Literatur lassen sich kaum andere Studien zu diesem Thema finden. Zwar haben zahlreiche Autoren wie z.B. Craig<sup>35</sup>, Lindholm<sup>86</sup> oder Manley<sup>92</sup> Untersuchungen zu Herzfrequenz und Sauerstoffverbrauch beim Apnoetauchen gemacht, doch handelt es sich hierbei um einen verminderten Sauerstoffverbrauch aufgrund einer verlangsamten Herzfrequenz. Der Unterschied ist hauptsächlich in der Energiebereitstellung zu finden. Während reine Apnoetaucher versuchen, durch möglichst wenig Energieverbrauch lange unter Wasser zu bleiben, wollen Sprinter die Distanz in möglichst kurzer Zeit mit maximaler Geschwindigkeit zurücklegen. Ein Vergleich dieser Studien ist daher nicht möglich.

### **4.2.3 Sauerstoffaufnahme zwischen Sekunde 60 und 300 der Nachbelastungszeit**

In Kapitel 4.2.2 wurden die Ergebnisse für die Sauerstoffaufnahme in den ersten 60 Sekunden der Nachbelastungszeit diskutiert. Es wird angenommen, dass die Trainingsintervention eine Wirkung auf den aeroben und nicht wie eingangs vermutet

auf den anaeroben Stoffwechsel hatte. Betrachtet man den Verlauf der Sauerstoffaufnahmekurve nach 60 Sekunden, so wird diese Annahme verstärkt. Laut Mc Mahon/ Jenkins<sup>99</sup> und Harris<sup>52</sup> dauert die langsame Phase der Kreatin-Resynthese etwa 170 Sekunden. Sie ist beeinflusst durch die Höhe der intrazellulären Azidose, d.h. je geringer die Azidose ist, umso geringer ist der Sauerstoffverbrauch bzw. die Sauerstoffaufnahme. Green<sup>50</sup> beschreibt die langsame Phase der Sauerstoffaufnahme in Abhängigkeit des oxidativen Abbau von Laktat. Je geringer die Laktatkonzentration ist, umso geringer ist die Sauerstoffaufnahme für die reverse Glykolyse. Dieser Prozess setzt etwa nach 2 bis 2,5 Minuten ein. Er folgt der schnellen Phase der Sauerstoffaufnahme, dem oxidativen Abbau von Kreatin.

In der Gesamtgruppe scheint der Sauerstoffverbrauch bei beiden Sprints mit und ohne Atmung nach der Trainingsintervention geringer zu sein als vorher. Einige Werte unterscheiden sich signifikant. Das kann mit der langsamen Phase der Kreatin-Resynthese zusammenhängen, eine kleinere Azidose hat eine geringere Sauerstoffaufnahme zur Folge<sup>52, 99</sup>. Tendenziell noch deutlicher scheint dieser Unterschied nach etwa 150 Sekunden zu sein. Zu diesem Zeitpunkt setzt laut Green<sup>50</sup> der oxidative Abbau von Laktat ein, weniger Laktat bedeutet eine geringere Sauerstoffaufnahme. Möglicherweise ist also der geringere Sauerstoffverbrauch eine Folge der verringerten Laktatkonzentration aufgrund des aeroben Trainingseffektes. Betrachtet man die zugehörigen Laktatwerte wird diese Vermutung verstärkt.

Ein weiterer Grund zu der Annahme, dass die Trainingsintervention einen Effekt auf den aeroben Stoffwechsel hatte, geben die Ergebnisse der Trainingsgruppe. Wie schon in der Gesamtgruppe scheint die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint unabhängig von der Atmung verringert. Einige Ergebnisse unterscheiden sich signifikant. Besonders deutlich scheint dieses Phänomen nach ca. 120 bis 150 Sekunden nach dem Sprint ohne Atmung zu sein, eben dem Zeitpunkt, an dem laut Green<sup>50</sup> der oxidative Abbau von Laktat beginnt. Die zugehörigen Laktatwerte verstärken diesen Eindruck. Der verringerte Sauerstoffverbrauch nach der Trainingsintervention könnte also, wie auch schon in der Gesamtgruppe, auf ein aerobes Training zurückzuführen sein. Eventuell sind aber auch der geringere Sauerstoffverbrauch nach dem Sprint in völliger Apnoe und die zugehörigen tendenziell niedrigeren Laktatwerte Ausdruck einer signifikant langsameren Schwimmzeit. Eine weitere Differenzierung ist an dieser Stelle nicht möglich.

In der Kontrollgruppe sowie in der Gruppe der Sprinter und in der Ausdauergruppe lassen sich diese Veränderungen nicht beobachten.

### 4.3 HERZFREQUENZ

Als Ausdruck einer guten aeroben Leistungsfähigkeit ist die Herzfrequenz zu beurteilen. Sie unterscheidet sich grundsätzlich beim Schwimmen gegenüber anderen Sportarten. Einer der Gründe liegt in der horizontalen Körperlage. In einer Untersuchung stellten Braden<sup>17</sup> und andere einen Zusammenhang zwischen Belastungsmodalität und Herzfrequenz dar. Eine Laufbandbelastung wurde mit einer Fahrradbelastung im Sitzen und im Liegen verglichen. Beim Laufen wurden die höchsten Herzfrequenzen gemessen, im Liegen die niedrigsten. Ein weiterer wesentlicher Unterschied im Schwimmen gegenüber anderen Sportarten sind die anderen Druckverhältnisse im Wasser. Ein niedrigerer hydrostatischer Druck ist zu überwinden, der wiederum einen erhöhten venösen Rückstrom zur Folge hat und damit im Vergleich zu anderen Sportarten eine niedrigere Herzfrequenz und niedrigere Laktatwerte nach sich zieht<sup>65, 142</sup>. Das Eintauchen des Körpers ins Wasser verursacht eine sauerstoffeinsparende Reaktion und führt zu einer allgemeinen Senkung des Stoffwechsels<sup>64, 69, 86, 133</sup>. Dieses Phänomen wird in der Literatur allgemein als Tauchreflex beschrieben.

Je höher die Ausdauerleistungsfähigkeit durch regelmäßiges Training ist, um so niedriger ist seine Ruhe-Herzfrequenz und um so langsamer steigt seine Herzfrequenz bei wachsender Belastung<sup>105, 128, 129, 150</sup>. Hierin liegt die mögliche Erklärung für die Unterschiede in der Ruhe-Herzfrequenz. Der Vergleich der Herzfrequenzen zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten vor und nach dem Einschwimmen zeigt signifikant kleinere Werte zum Zeitpunkt 2. Lediglich nach dem Einschwimmen für den Sprint mit Atmung ad libidum ist dieser Unterschied zwar tendenziell vorhanden, aber nicht signifikant. Zwischen den beiden Zeitpunkten lag eine Trainingszeit von 8 Wochen. Diese Zeit reicht aus, um eine entsprechende Veränderung beobachten zu können<sup>129, 150</sup>.

Der Zusammenhang von ansteigender körperlicher Belastung und dem Anstieg der Herzfrequenz kann als allgemeingültig angesehen werden. Schon 1931 konnte Christensen<sup>27</sup> diesen Zusammenhang in einer Studie darstellen. Demnach müssten schnellere Schwimmzeiten mit höheren Herzfrequenzen einhergehen bzw. umgekehrt langsamere Schwimmzeiten niedrigere Herzfrequenzwerte nach sich ziehen.

Betrachtet man die Herzfrequenz in der Gesamtgruppe, so ergeben sich signifikant höhere Werte für die Herzfrequenz nach dem Sprint mit Atmung ad libidum. Diese Ergebnisse waren zu erwarten. Im ersten Testdurchlauf ist die Zeit des Sprints mit Atmung tendenziell schneller als die Zeit des Sprints in völliger Apnoe, nach dem zweiten Durchlauf ist die Zeit des Sprints mit Atmung signifikant schneller.

Ebenso verhalten sich die Herzfrequenzen in den Untergruppen Trainings- und Kontrollgruppe, sowie Sprinter und Ausdauerathleten. Die Herzfrequenz in der Trainingsgruppe zum Zeitpunkt 2 ist nach dem Sprint mit Atmung signifikant höher als nach dem Sprint ohne Atmung, entsprechend ist die Endzeit signifikant schneller. In der Kontrollgruppe, der Gruppe der Sprinter und in der Ausdauergruppe unterscheiden sich die Endzeiten nicht signifikant, doch stimmt auch dort die Tendenz der Zeiten mit den Unterschieden in der Herzfrequenz überein.

Grundsätzlich ist der Zusammenhang zwischen Training bzw. Ausdauertraining und der Herzfrequenz bekannt<sup>74, 77, 106</sup>. Ein besserer Ausdauerzustand hat ein größeres Schlagvolumen zur Folge, das bedeutet, bei gleichem Schlagvolumen ist die Herzfrequenz niedriger als bei nicht Trainierten<sup>74, 106, 131</sup>. Des Weiteren ist eine bessere Erholungsfähigkeit bei Ausdauertrainierten zu beobachten. Die Herzfrequenz müsste demnach gegenüber anderen in der Nachbelastungszeit schneller Absinken<sup>105, 128, 162</sup>.

In Bezug auf diese Studie sind keine Veränderungen der Herzfrequenz aufgrund der Trainingsintervention zu erwarten. Ein Training der anaeroben Mechanismen durch das Apnoe-Training sollte keine nachhaltigen Auswirkungen im Sinne eines Ausdauertrainings auf das Herzfrequenzverhalten haben.

In der Gesamtgruppe sind bei gleich bleibender Zeit tendenziell etwas niedrigere Herzfrequenzen nach dem zweiten Testdurchgang gegenüber dem ersten Testdurchgang zu beobachten, sowohl nach dem Sprint in völliger Apnoe, als auch

nach dem Sprint mit Atmung ad libidum. Dieser Unterschied ist nicht signifikant. Möglicherweise ist dieses Phänomen, wie bereits in Kapitel 4.2.2 angenommen, die Folge eines aeroben Ausdauertrainings<sup>74, 106, 131</sup>. Das unterstützt die Annahme, dass das Apnoe-Training eine Wirkung im aeroben Stoffwechsel hatte und nicht wie beabsichtigt im anaeroben Stoffwechsel.

Betrachtet man die Ergebnisse der Trainingsgruppe, so verstärkt sich dieser Eindruck. Bei gleicher Zeit liegt die Herzfrequenz nach dem Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 2 tendenziell unter der Herzfrequenz von Zeitpunkt 1, allerdings sind keine signifikanten Unterschiede vorhanden. Nach dem Sprint ohne Atmung scheinen die Herzfrequenzen ebenfalls nach dem zweiten Durchlauf niedriger zu sein als nach dem ersten Durchlauf, der Unterschied ist in der dritten Minute nach Belastungsende signifikant. Möglicherweise handelt es sich auch hier um die Folge eines aerob wirkenden Trainings.

Die tendenziell niedrigeren Herzfrequenzen nach dem Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 könnten auch Ausdruck der signifikant langsameren Schwimmzeit gegenüber Zeitpunkt 1 sein. Wie bereits zu Anfang dieses Kapitels beschrieben, ziehen langsamere Schwimmzeiten niedrigere Herzfrequenzwerte nach sich<sup>27</sup>. An dieser Stelle ist eine weitere Differenzierung nicht möglich.

In der Kontrollgruppe unterscheiden sich die Werte der Herzfrequenz nach dem Sprint ohne Atmung nicht zwischen den Zeitpunkten, die zugehörige Schwimmzeit ist tendenziell etwas schneller, dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Bei der Annahme gleicher Schwimmzeiten könnten die Herzfrequenzen eventuell etwas niedriger sein<sup>74, 106, 131</sup>, das würde bedeuten, dass auch hier ein aerobes Training Veränderungen bewirkt haben könnte. Demnach könnten die niedrigeren Herzfrequenzwerte nach dem zweiten Testdurchlauf auch Ausdruck des allgemeinen Trainings und nicht die Folge des speziellen Apnoe-Trainings sein.

Nach dem Sprint mit Atmung sind die Herzfrequenzen zum Zeitpunkt 2 tendenziell niedriger als zum Zeitpunkt 1, allerdings ist auch die zugehörige Schwimmzeit tendenziell etwas langsamer. Das deutet wiederum darauf hin, dass keine Veränderungen in der Kontrollgruppe durch das Apnoe-Training hervorgerufen worden sind, was auch nicht zu erwarten war.

Ein Vergleich der Herzfrequenzen der Sprinter mit denen der Ausdauergruppe ergibt tendenziell, zum größten Teil signifikant niedrigere Herzfrequenzwerte für die

Ausdauerschwimmer. Dieses Phänomen war zu erwarten. Ein besserer Ausdauerzustand hat ein größeres Schlagvolumen zur Folge bzw. eine niedrigere Herzfrequenz bei gleichem Schlagvolumen<sup>74, 106, 131</sup>.

Der Anstieg der Herzfrequenz als Folge ansteigender körperlicher Belastung<sup>27</sup> ist auf einen erhöhten Sauerstoffbedarf<sup>129</sup> zurückzuführen bzw. umgekehrt, ein niedrigerer Sauerstoffverbrauch hat eine geringere Herzfrequenz zur Folge. Dementsprechend müsste nach einem Sprint in völliger Apnoe die Herzfrequenz innerhalb der ersten 20 Sekunden aufgrund der geringeren Sauerstoffaufnahme absinken und anschließend wieder ansteigen, ähnlich dem Verlauf der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve. In dieser Studie können darüber keine Aussagen gemacht werden. Eine Erfassung der Herzfrequenz erfolgte nur zu bestimmten Zeitpunkten und nicht während der gesamten Nachbelastungszeit. Für den Zeitraum der verringerten Sauerstoffaufnahme liegen keine Werte vor.

### 4.4 LAKTAT

Zu Beginn der Untersuchung wurde von jedem Probanden vor und nach dem Einschwimmen die Laktatkonzentration bestimmt, um einen negativen Einfluss zu hoher Laktatkonzentrationen auf den folgenden Sprint auszuschließen.

Der Vergleich zwischen dem Sprint in völliger Apnoe und dem Sprint mit Atmung ad libidum zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Gesamtgruppe. Der Vergleich zwischen den Zeitpunkten ergibt signifikant höhere Laktatkonzentrationen für die Gesamtgruppe zum zweiten Zeitpunkt.

Dieser Anstieg der Laktatkonzentration ist möglicherweise die Folge der sehr hohen Belastung und der darauf folgenden starken allgemeinen Ermüdung<sup>67, 150</sup>. Die Sportler absolvierten am Wochenende vor den letzten Tests ihren Abschlusswettkampf für den ersten Makrozyklus. Die Erhöhung der Laktatkonzentration wird nicht weiter berücksichtigt. Alle Werte vor und nach dem Einschwimmen haben eine Konzentration von 2mmol/l nicht überschritten und lagen damit deutlich unter der aerob-anaeroben Schwelle<sup>38, 120, 138</sup>.

In seinen Ausführungen über den Laktat-Shuttle beschreibt Brooks<sup>20</sup> die Entstehung von Laktat als Folge von Sauerstoffmangel. Maximale Laktatkonzentrationen werden nach ca. 40-50 Sekunden erreicht<sup>61</sup>. Die Dauer des Sprints lag im Mittel bei unter 30 Sekunden („ohne Atmung“: 28,72s ± 2,40s; „mit Atmung“: 28,15s ± 2,12s), in dieser Zeit erfolgt die Energiebereitstellung fast ausschließlich anaerob<sup>93, 150</sup>. Toussaint/Hollander<sup>145</sup> und Wilke<sup>152</sup> bestätigen die überwiegend anaerobe Energiebereitstellung bei einem 50m Sprint im Schwimmen. Laut Di Prampero<sup>42</sup> reichen Kreatinphosphate für die Energiegewinnung ca. 20-25 Sekunden. Aufgrund der Kürze der Belastung bei einem 50m Sprint ist davon auszugehen, dass die Energiegewinnung hauptsächlich auf alaktazidem, anaeroben Weg über die Synthese von Kreatinen erfolgt. Die Energiegewinnung auf laktazidem, anaerobem Weg kann in dieser Zeit noch nicht ihr Maximum erreicht haben, damit ist kein wesentlicher Unterschied in der Laktatproduktion zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung und nach der Trainingsintervention zu erwarten.

Ein anaerobes Training hätte u.a. eine Verbesserung der Bereitstellung und der Resynthese von Kreatinphosphaten zur Folge<sup>150</sup>.

Die Laktatwerte dieser Studie unterscheiden sich größtenteils nicht signifikant voneinander.

Betrachtet man aber die Laktatwerte in der Gesamt- und in der Trainingsgruppe, so fallen tendenziell niedrigere Werte nach der Trainingsintervention sowohl für den Sprint in völliger Apnoe sowie den Sprint mit Atmung ad libitum auf. In der Kontrollgruppe scheinen die Ergebnisse gleich zu bleiben.

Diese scheinbar niedrigeren Laktatkonzentrationen passen mit der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve, wie bereits in den Kapiteln 4.2.2 und 4.2.3 beschrieben, zusammen. Die zweite Phase der Kreatin-Resynthese dauert nach Mc Mahon und Jenkins<sup>99</sup> etwa 170 Sekunden. Sie ist abhängig vom Grad der Azidose<sup>52</sup>. Ein niedrigerer Laktatwert bedeutet gleichzeitig eine niedrigere Azidose<sup>73</sup> und damit verbunden einen verringerten Sauerstoffverbrauch in der langsamen Phase der Kreatin-Resynthese. Ebenfalls bedeuten nach Green<sup>50</sup> niedrigere Laktwerte eine verringerte Sauerstoffaufnahme für die reverse Glykolyse nach ca. 2 bis 2,5 Minuten. Laut Weineck<sup>150</sup> und anderen Autoren<sup>61, 129</sup> ist eine verringerte Laktatkonzentration Ausdruck eines aeroben Trainings. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen also die



bereits in den Kapiteln der Sauerstoffaufnahme gewonnene Annahme, dass das Training möglicherweise eine Wirkung im aeroben Stoffwechsel zur Folge hatte.

Setzt man die in Kapitel 4.3 gewonnen Erkenntnisse über die Herzfrequenz zu den Laktatwerten in Beziehung, dann verstärken sich diese Eindrücke.

Die Laktatwerte in der Gesamtgruppe sind ebenso wie die Herzfrequenzen nach dem Sprint ohne und nach dem Sprint mit Atmung tendenziell zum Zeitpunkt 2 niedriger als zum Zeitpunkt 1 bei gleich bleibender Zeit.

Dieser Unterschied wird in der Trainingsgruppe scheinbar noch größer. Die Laktatkonzentrationen nach dem Sprint mit Atmung nach der Trainingsintervention sind tendenziell niedriger als vor der Trainingsintervention, gleiches gilt für den Sprint in völliger Apnoe. Möglicherweise kann auch dieses als Ausdruck eines aeroben Trainingseffektes gewertet werden. Niedrigere Herzfrequenzen und niedrigere Laktatwerte bei gleicher Zeit sind Zeichen eines besseren Ausdauerzustandes<sup>106, 131, 150</sup>.

Eventuell sind aber auch die niedrigeren Laktatkonzentrationen nach dem Sprint in völliger Apnoe eine Folge der signifikant langsameren Schwimmzeit.

In der Kontrollgruppe sind zwar auch tendenziell leichte Unterschiede zwischen den Laktatwerten zu erkennen, die Werte sind nach der Trainingsmaßnahme niedriger als vor der Maßnahme, allerdings sind diese Unterschiede scheinbar deutlich geringer als in der Trainingsgruppe. Wie schon im Kapitel über die Herzfrequenzen diskutiert, tritt dieses Phänomen möglicherweise als eine Reaktion auf das allgemeine Training auf. Die scheinbar deutlich geringeren Veränderungen geben allerdings Grund zu der Annahme, dass die tendenziell größeren Unterschiede in der Trainingsgruppe die Folge des möglicherweise aerob wirkenden Apnoe-Trainings sind.

In der Gruppe der Sprinter verändern sich die Laktatkonzentrationen ebenso wie die Zeiten scheinbar kaum zwischen den Testdurchläufen für den Sprint mit Atmung. Nach dem Sprint ohne Atmung ist die Zeit nach dem zweiten Testdurchgang tendenziell schneller geworden, die Laktatkonzentrationen sind scheinbar gleich geblieben. Bei der Annahme gleicher Schwimmzeiten, müssten die Laktatwerte entsprechend etwas niedriger sein.

Die Laktatwerte in der Ausdauergruppe sind zum Zeitpunkt 2 scheinbar niedriger als zum Zeitpunkt 1 für beide Sprints mit und ohne Atmung.

Nach dem Sprint ohne Atmung könnte das auf die signifikant langsamere Schwimmzeit zurück zu führen sein. Allerdings ist die Schwimmzeit nach dem Sprint mit Atmung tendenziell gleich zu beiden Zeitpunkten. Die scheinbar niedrigeren Laktatkonzentrationen nach dem zweiten Durchlauf könnten Ausdruck des allgemeinen Ausdauertrainings sein<sup>61, 150</sup>.

Der Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen weist keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Sprint in völliger Apnoe und dem Sprint mit Atmung ad libidum auf. Aufgrund der Kürze der Belastung und der damit noch nicht voll ausgereizten anaeroben, laktaziden Energiebereitstellung war das auch nicht zu erwarten.

Aufgrund ihrer besser ausgeprägten anaeroben Energiebereitstellungsmechanismen müssten Sprinter deutlich besser in der Lage sein, hohe Laktatwerte zu produzieren als Ausdauersportler<sup>50, 107</sup>. Vergleicht man alle maximal erreichten Laktatwerte unabhängig der Atmung miteinander, so ist der Unterschied in dieser Studie hoch signifikant. Unter Berücksichtigung des Zeitpunktes und der Art der Atmung sind diese Unterschiede zwar nicht mehr signifikant, aber tendenziell dennoch vorhanden.

### 4.5 ZEIT

Counsilman<sup>32</sup> kommt neben vielen anderen Autoren<sup>31, 103, 152</sup> zu der Aussage, dass ein Sprinter schneller ist, je weniger er auf der Strecke atmet. Erfahrene Schwimmer sollten zwischen 0 und 2 Mal während eines 50m Freistilsprints atmen. Auch Maglischo<sup>91</sup> und Ball<sup>7</sup> behaupten, das Heben des Kopfes bei der Atmung reduziere die Schwimmgeschwindigkeit. Demzufolge müsste ein Sprint ohne Atmung schneller sein als ein Sprint mit Atmung. Besonders nach dem zweiten Untersuchungsdurchgang wurden in der Trainingsgruppe schnellere Zeiten für den Sprint in völliger Apnoe erwartet. Die Trainingsgruppe absolvierte ein spezielles Apnoetraining<sup>37, 56, 87, 125</sup>, um die Atemanhaltezeit zu verlängern und die Unsicherheit bzw. Angst zu reduzieren<sup>37, 155</sup>.

Diese Erwartungen wurden in der Studie nicht erfüllt. Tendenziell sind die Zeiten nach dem Sprint mit Atmung ad libitum schneller, signifikant sind diese Unterschiede in der Gesamt- und in der Trainingsgruppe. In den Kapiteln 4.2, 4.3 und 4.4 wurde bereits die Annahme diskutiert, dass es sich bei dem Apnoe-Training gar nicht um ein Training der anaeroben Stoffwechselmechanismen<sup>150</sup> gehandelt hat, sondern vielmehr um ein Training des aeroben Stoffwechsels<sup>61, 129, 150</sup>. Die Veränderungen in der Sauerstoffaufnahme besonders nach dem Sprint mit Atmung in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastung, sowie die tendenziell niedrigeren Herzfrequenzen und Laktatkonzentrationen deuten darauf hin. Sollte dieses tatsächlich der Fall sein, so sind keine schnelleren Zeiten in der Trainingsgruppe nach der Trainingsintervention weder für den Sprint mit Atmung noch für den Sprint ohne Atmung zu erwarten. Diese Annahme wird in den Ergebnissen dieser Studie bestätigt. In der Gesamtgruppe ist die Zeit nach dem Sprint mit und ohne Atmung scheinbar gleich geblieben. In der Trainingsgruppe ist die Zeit nach dem Sprint ohne Atmung signifikant langsamer geworden, nach dem Sprint mit Atmung scheinbar etwas schneller, jedoch nicht signifikant.

Festzuhalten ist, dass besonders die Zeit in der ersten Rennhälfte, also auf den ersten 25m, für den Sprint mit Atmung in alle Gruppen signifikant schneller ist. Die Zeit auf der zweiten 25m-Hälfte unterscheidet sich nicht zwischen den Sprints mit und ohne Atmung für alle Gruppen. Dieses Phänomen deutet darauf hin, dass die langsamere Zeit nicht aufgrund einer mangelnden energetischen Versorgung<sup>31, 146</sup> am Ende der Belastung entstanden ist, sondern viel mehr, dass die Sportler aus Respekt vor der Strecke verhaltener angefangen sind. Dannhauer<sup>37</sup> beschreibt 1983, dass Mut und Entschlossenheit, den Unannehmlichkeiten aus dem Weg zu gehen, wichtige Einflussgrößen sind.

Betrachtet man diese Ergebnisse im Zusammenhang mit den Vermutungen über die Sauerstoffaufnahme, das Herzfrequenzverhalten und die Laktatkonzentrationen, so verstärkt sich die Annahme, bei der Trainingsintervention habe es sich möglicherweise um ein Training der aeroben Stoffwechselmechanismen gehandelt.

In Kapitel 2.4 wurden die Ziele und Inhalte des Apnoe-Trainings beschrieben. Das Training setzt sich aus verschiedenen in der Literatur beschriebenen Inhalten zusammen<sup>37, 56, 87, 125, 153</sup>. Mit diesen Inhalten sollte eine Verbesserung des

anaeroben Stoffwechsels erreicht werden, um unter anderem eine Verbesserung der Schwimmzeit besonders nach dem Sprint ohne Atmung nach der Trainingsintervention zu erzielen. Wie bereits beschrieben, bestätigen die Ergebnisse dieser Studie diese Erwartungen nicht.

Hingegen hat sich in der Kontrollgruppe die Schwimmzeit nach dem Sprint in völliger Apnoe zum zweiten Zeitpunkt tendenziell verbessert, in der Gruppe der Sprinter scheinbar noch deutlicher. Sprinter haben durch ihr Training im Gegensatz zu Ausdauerschwimmern sehr gut ausgebildete anaerobe Mechanismen<sup>50, 153, 162</sup>. Dieses Phänomen gibt Grund zu der Annahme, dass ein Training des anaeroben Stoffwechsels möglicherweise eine Verbesserung der Schwimmzeit zur Folge haben könnte.

Die Differenz zwischen den beiden 25m Zeiten gibt Aufschluss darüber, wie groß der Geschwindigkeitsabfall auf der zweiten Rennhälfte ist. Man spricht allgemein von dem so genannten Stehvermögen. Das Training des Stehvermögens gehört in den Bereich des anaeroben Trainings<sup>153, 162</sup>, je besser das Stehvermögen ist, um so geringer ist der Zeitverlust auf der zweiten Rennhälfte. Andersrum, je besser ausgeprägt die anaeroben Stoffwechselmechanismen sind, umso kleiner müsste die Differenz ( $\Delta t$ ) ausfallen.

Für diese Studie wurde aufgrund des Apnoe-Trainings<sup>37, 56, 87, 125</sup> eine schnellere Endzeit erwartet. Die Differenz zwischen den beiden Rennhälften müsste ebenfalls nach einem Sprint in völliger Apnoe in der Trainingsgruppe aufgrund der durch das Training besser ausgeprägten anaeroben Mechanismen kleiner werden. Ein geringerer Zeitabfall bedingt eine schnellere Endzeit bei gleichem Anfangstempo. Dieses Phänomen lässt sich nicht beobachten. Zwar ist scheinbar eine kleinere Differenz zwischen den beiden Zeitpunkten nach dem zweiten Durchgang für den Sprint ohne und den Sprint mit Atmung vorhanden, doch ist die Endzeit nicht entsprechend schneller. Ein anaerober Trainingseffekt kann also nicht angenommen werden.

### 4.6 ARMZUGFREQUENZEN

Armzugfrequenz und Geschwindigkeit stehen in einem direkten Zusammenhang<sup>33, 34</sup>. Die Schwimmstrecke setzt sich zusammen aus Zugfrequenz und Zyklusweg<sup>119, 147, 158</sup>, ist also die Schwimmstrecke gleich, wird bei einer niedrigeren Armzugfrequenz eine größere Distanz zurück gelegt. Man spricht von einer besseren Ökonomie<sup>33, 34</sup>. Auch Pelayo<sup>113</sup> und Swaine<sup>140</sup> beschreiben die Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Frequenz und der Zuglänge.

Demzufolge haben höhere Zugfrequenzen eine schnellere Zeit zur Folge. Von einer besseren Ökonomie wird gesprochen, wenn die Armzugfrequenz bei gleicher Zeit auf der gleichen Strecke niedriger ist.

Betrachtet man die Zugfrequenzen im ersten Rennabschnitt, so lässt sich kein Unterschied zu beiden Zeitpunkten zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung feststellen, die zugehörigen Schwimmzeiten auf diesem Teilstück unterscheiden sich ebenfalls nicht voneinander. Einzig in der Kontrollgruppe ist die Zwischenzeit an der 25m-Markierung signifikant schneller, die zugehörige Frequenz ist tendenziell größer. Ein ökonomischer Vorteil in Bezug auf Zugfrequenz und Zeit ist zunächst nicht zwischen den Sprints mit und ohne Atmung zu erkennen.

Im Vergleich der beiden Zeitpunkte miteinander bestätigt sich die eingangs formulierte Annahme, dass höhere Zugfrequenzen eine schnellere Endzeit zur Folge haben<sup>33, 34</sup>. Die Zugfrequenz auf der ersten Rennhälfte für den Sprint ohne Atmung ist zum Teil signifikant niedriger zum Zeitpunkt 2 als zum Zeitpunkt 1, entsprechend sind die zugehörigen Zeiten an der 25m-Markierung zum Teil signifikant langsamer. Die Zugfrequenzen nach dem Sprint mit Atmung unterscheiden sich wie auch die Zwischenzeiten nicht zwischen den Zeitpunkten.

Die Armzugfrequenzen auf der zweiten Rennhälfte zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung sowie die Zeit auf der zweiten 25m-Teilstrecke unterscheiden sich zum Zeitpunkt 1 nicht. Zum Zeitpunkt 2 sind die Armzugfrequenzen für den Sprint mit Atmung tendenziell etwas höher als für den Sprint in völliger Apnoe, die Zeiten sind ebenfalls tendenziell etwas schneller.

Auch hier scheint zunächst kein ökonomischer Vorteil für einen der beiden Sprints vorhanden zu sein.

Der Vergleich zwischen den beiden Zeitpunkten für den Sprint ohne bzw. mit Atmung zeigt tendenziell, zum Teil signifikant niedrigere Armzugfrequenzen für den zweiten Testdurchgang in allen Gruppen. Die entsprechenden Zwischenzeiten für die zweite 25m Teilstrecke unterscheiden sich nicht signifikant. Laut Craig<sup>33, 34</sup> müssten die zugehörigen Zeiten bei niedrigeren Armzugfrequenzen schlechter werden, was tendenziell für die Trainingsgruppe und die Ausdauergruppe nach dem Sprint ohne Atmung und für die Sprintgruppe nach dem Sprint mit Atmung gilt. Signifikant langsamer ist die Endzeit für die Trainings- und Ausdauergruppe nach dem Sprint in Apnoe. Das könnte möglicherweise die Folge der tendenziell niedrigeren Armzugfrequenzen sein<sup>33, 34</sup>. Für alle anderen Gruppen ist die Zeit auf der zweiten 25m-Teilstrecke scheinbar schneller, ohne dass die entsprechenden Endzeiten diese Tendenz aufweisen. Signifikant sind keine dieser Ergebnisse. Eine tendenziell niedrigere Armzugfrequenz bei einer gleichen Endzeit könnte Ausdruck einer besseren Zugeffizienz und damit einer besseren Ökonomie sein<sup>119, 147, 158</sup>. Es ist nicht anzunehmen, dass die möglicherweise bessere Ökonomie auf das Training zurück zu führen ist. Wakayoshi<sup>148</sup> konnte auch nach einem 6-monatigem Ausdauertraining bei Schwimmern keine Veränderung der Armzugfrequenz feststellen.

In Kapitel 4.5 wurden die Zeiten der beiden 25m-Teilstrecken diskutiert. Die Zeit im ersten Rennabschnitt war sowohl beim ersten als auch beim zweiten Testdurchgang scheinbar, zum Teil signifikant schneller für den Sprint mit Atmung, im zweiten Rennabschnitt dagegen sind keine Unterschiede festzustellen. Es wurde vermutet, dass die Sportler aus Respekt vor der Strecke verhaltener angefangen haben<sup>37</sup>.

Die Differenz der Armzugfrequenzen ( $\Delta f$ ) zwischen den beiden Rennabschnitten unterstützt diese Annahme. Für beide Zeitpunkte ist die Differenz scheinbar größer beim Sprint mit Atmung. Einige Werte unterscheiden sich signifikant. Die schnellere Angangszeit bei einem Sprint mit Atmung geht mit einer höheren Zugfrequenz einher und hat entsprechend bei gleicher Zeit auf der zweiten Rennhälfte eine größere Differenz zur Folge<sup>33, 34</sup>.

Bei der Betrachtung des Sprints ohne Atmung fällt eine scheinbar niedrigere Differenz zum zweiten Zeitpunkt auf. Entsprechend müsste die Differenz zwischen den 25m-Teilstrecken sich verhalten. Niedrigere Zugfrequenzen haben langsamere

Zeiten zur Folge, kleinere Veränderungen entsprechend kleinere Auswirkungen auf die Zeit<sup>33, 34, 119</sup>.

### 4.7 BORG-WERTE

Borg<sup>14</sup> beschreibt einen direkten Zusammenhang zwischen der Herzfrequenz und der Borg-Skala. Demnach müsste sich die persönliche Einschätzung über den Grad der Anstrengung mit der Herzfrequenz verändern, eine kleinere Herzfrequenz hat das Gefühl einer geringeren Anstrengung zur Folge, entsprechend andersrum eine höhere Herzfrequenz das Gefühl einer größeren Anstrengung<sup>13, 14</sup>.

Betrachtet man die Ergebnisse dieser Studie werden die Erwartungen nicht erfüllt. In nahezu allen Gruppen ist die Herzfrequenz nach dem Sprint ohne Atmung tendenziell höher als nach dem Sprint mit Atmung, dennoch beschreiben die Sportler den Sprint mit Atmung tendenziell als leichter.

Möglicherweise hängt das mit dem Respekt vor der Strecke zusammen. In den Kapiteln über die Zeit und die Armzugfrequenz (Kap.4.5 und 4.6) wird angenommen, dass die Sportler einen Sprint ohne Atmung aus Angst<sup>37</sup> verhaltener angehen. Im Gegensatz zu einem Sprint mit Atmung steigt das Bedürfnis nach Luft aufgrund der temporären Sauerstoffschuld<sup>61, 131</sup>. Das Gefühl nach einer größeren Anstrengung ist möglicherweise darin begründet.

In Kapitel 4.2.2 wurde der Sauerstoffverbrauch nach der Belastung diskutiert. Besonders zum Zeitpunkt 2 wurde eine verringerte Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe in der Gesamtgruppe und in der Trainingsgruppe festgestellt. Auffällig ist, dass die persönliche Einschätzung über den Grad der Anstrengung anhand der Borg-Skala einen höheren Wert für den Sprint in völliger Apnoe gegenüber dem Sprint mit Atmung ad libitum zum Zeitpunkt 2 aufweist. Demzufolge geht die Veränderung in der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve mit dem Gefühl der Anstrengung einher. Die Sauerstoffaufnahme hat sich nach dem Sprint mit Atmung verbessert, laut der persönlichen Einschätzung anhand der Borg-Skala war dieser Sprint leichter. Das Empfinden der Sportler unterstützt die Annahme, dass sich das Apnoetraining auf die aerobe Leistungsfähigkeit ausgewirkt hat.

10 Minuten nach dem Ende der Belastung ist die persönliche Einschätzung über den Grad der Anstrengung in allen Gruppen gleich. In der Kontrollgruppe und in der Gruppe der Sprinter unterscheidet sich das Empfinden gar nicht. Das bekräftigt die Vermutung, dass physiologisch keine großen Nachteile entstanden sind. Bereits die Ergebnisse der Herzfrequenzen und der Laktatkonzentrationen deuteten darauf hin.

In der Ausdauergruppe erschien der Sprint in völliger Apnoe anstrengender als der Sprint mit Atmung nach dem zweiten Untersuchungsdurchgang. Ein möglicher Grund dafür ist die Ausprägung der Sportler. Charakteristisch für Sprinter sind die stärker ausgeprägten anaeroben Mechanismen<sup>50, 61</sup>, Sprinter sind es gewöhnt, anaerob zu arbeiten. Ausdauersportler hingegen haben stärker ausgeprägte aerobe Mechanismen<sup>61</sup>, sie sind es nicht gewöhnt, aerob zu arbeiten. Das Bedürfnis nach Luft steigt aufgrund der temporären Sauerstoffschuld<sup>61, 131</sup>. Möglicherweise empfinden sie daher eine größere Anstrengung.



### 4.8 SCHLUSSFOLGERUNG

Anhand der Ergebnisse dieser Studie konnte gezeigt werden, dass ein Sprint in völliger Apnoe eine veränderte Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit zur Folge hat. Dieses Phänomen beruht möglicherweise auf einer Hemmung der Kreatin-Resynthese aufgrund der durch Apnoe vorhandener H<sup>+</sup>-Ionen.

Die Trainingsintervention über 8 Wochen mit ausgewählten Inhalten zur Verlängerung der Atemhaltezeit hat keine Veränderungen der Sauerstoffkinetik nach dem Sprint in völliger Apnoe nach sich gezogen, wohl aber eine Veränderung im Sinne einer erhöhten Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden nach dem Sprint mit Atmung ad libitum in der Gesamtgruppe und in der Trainingsgruppe. Es ist davon auszugehen, dass das Training eine Verbesserung der aeroben Kapazität zur Folge hatte. Der Verlauf der O<sub>2</sub>-Aufnahmekurve nach 20 Sekunden und die Laktatkonzentrationen unterstützen diese Annahme. Die Laktatkonzentrationen nach der Trainingsintervention sind tendenziell gesunken, ebenso die Sauerstoffaufnahme unabhängig von der Art der Atmung. Dieses Phänomen deutet auf eine Verbesserung des aeroben Stoffwechsels hin. In der Kontrollgruppe wurden diese Veränderungen nicht beobachtet.

Die ebenfalls erhöhte maximale Sauerstoffaufnahme in der Trainingsgruppe verstärkt diese Annahme.

Das ausgewählte Apnoetraining hat keine Veränderung der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve nach dem Sprint in völliger Apnoe zur Folge. Ein Zeitvorteil gegenüber dem Sprint mit Atmung konnte zunächst nicht festgestellt und durch das Training auch nicht erreicht werden. Die Auswahl der Trainingsinhalte zur Verlängerung der Atemhaltezeit sollte überdacht werden. Möglicherweise haben andere Übungen eine Veränderung der Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zur Folge.

### 5 ZUKÜNFTIGE FRAGESTELLUNGEN

Die vorliegende Studie hat sich mit der Fragestellung beschäftigt, ob und welche Auswirkungen ein Apnoetraining auf das Sauerstoffaufnahmeverhalten nach einem Sprint in völliger Apnoe hat. Die Ergebnisse dieser Studie lassen darauf schließen, dass das Training Veränderungen nach sich gezogen hat, jedoch nicht, wie erwartet, im anaeroben Stoffwechsel. Die Inhalte des ausgewählten Trainings sollten noch einmal überdacht und eventuell verändert werden. Eventuell haben andere Trainingsinhalte einen Einfluss auf die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve nach dem Sprint ohne Atmung.

Um zu überprüfen, ob auch das Herzfrequenzverhalten in den ersten 30 Sekunden Veränderungen ähnlich wie die O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve aufweist, müsste eine Möglichkeit gefunden werden, mit deren Hilfe die Herzfrequenz über den gesamten Zeitraum aufgezeichnet werden kann, ohne dabei den Schwimmer während der Schwimmstrecke negativ zu beeinflussen.

Zusätzlich zu den gemessenen Parametern könnte der pH-Wert von großer Bedeutung sein. Der pH-Wert gibt Auskunft über die kleinsten Veränderungen im Säure-Basen-Haushalt. Er reagiert umgehend auf jede Änderung.

Die Berechnung der Sauerstoffaufnahme bei Belastungsabbruch mit der Nachatmungsmethode ist eine interessante Fragestellung. Die Hemmung der Kreatin-Resynthese durch eine hohe H<sup>+</sup>-Ionen-Konzentration bedingt möglicherweise eine geringere Sauerstoffaufnahme zu Beginn der Nachbelastungszeit. Gibt es eine Möglichkeit dieses Phänomen in der Berechnung zu berücksichtigen? Oder, wie sind die errechneten, falsch kleineren Werte bei Belastungsabbruch zu korrigieren?

Eine Online-Bestimmung der Werte könnte genauer darüber Aufschluss geben. Die Schwierigkeit liegt im Startsprung, eine direkte Messung ist mit einem Startsprung nicht möglich. Des Weiteren entsteht aufgrund der hohen Schwimmgeschwindigkeit viel Spritzwasser. Das empfindliche Messgerät darf bei der Messung nicht nass werden. Eine entsprechende Konstruktion für das Messgerät könnte überlegt werden.

## 6 ZUSAMMENFASSUNG

**Einleitung:** Die Entwicklung des Wettkampfschwimmens zeigt in den letzten Jahren eine wachsende Bedeutung für die Sprintstrecken<sup>33</sup>. Die 50m Freistil gehören seit dem Jahr 2000 zum olympischen Wettkampfprogramm<sup>123</sup>. Bei der Beobachtung von großen internationalen Schwimmwettkämpfen stellt man besonders in dieser Strecke große Unterschiede in der Häufigkeit der Atmung fest. Gerade wegen der Kürze der Strecke haben kleine Unterschiede in der Bewegungsökonomie oder im physiologischen System große Auswirkungen.

Biomechanische Analysen lassen vermuten, dass durch die Drehbewegung des Kopfes mit einer negativen Beeinflussung der Schwimmgeschwindigkeit zu rechnen ist<sup>7, 30</sup>. Auf der anderen Seite aber fördert die Atmung die energiebereitstellende Kapazität, was einen positiven Einfluss auf die Schwimmgeschwindigkeit haben könnte<sup>20, 34</sup>.

Im Rahmen einer Voruntersuchung<sup>101</sup> konnte beobachtet werden, dass ein Sprint in völliger Apnoe gegenüber einem Sprint mit Atmung ad libidum eine veränderte Sauerstoffaufnahme im Sinne eines geringeren Verbrauchs in den ersten 20 Sekunden nach Belastungsende zur Folge hat.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, herauszufinden, inwiefern ein spezielles Apnoe-Training<sup>37, 56, 87</sup> Einfluss auf die Kinetik der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve, die Zeit und leistungsphysiologische Parameter hat.

**Material und Methoden:** 14 Leistungsschwimmer aus den Verbandsgruppen des Hamburger Schwimmverbandes wurden in eine Trainings- (Alter: 17,33 ± 3,69 Jahre; Körpergröße: 1,76 ± 0,07 m; Körpergewicht: 66,75 ± 6,96 kg; BMI: 21,71 ± 1,31 kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter: 8,17 ± 3,12 Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit: 9,5 ± 2,66 Trainingseinheiten/Woche; Körperfett: 15,75 ± 4,14 Fettgehalt in Prozent) und eine Kontrollgruppe (Alter: 20,38 ± 4,78 Jahre; Körpergröße: 1,81 ± 0,09 m; Körpergewicht: 72,88 ± 7,94 kg; BMI: 22,11 ± 0,90 kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter: 11,0 ± 4,41 Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit: 12,0 ± 2,67 Trainingseinheiten/Woche; Körperfett: 13,78 ± 3,97 Fettgehalt in Prozent) unterteilt. In randomisierter Reihenfolge haben beide Gruppen im Abstand von 8 Wochen jeweils einen 50m Freistilsprint in völliger Apnoe und mit Atmung ad libidum durchgeführt. Folgende Parameter wurden während bzw. nach dem Sprint bestimmt: respiratorische Daten,

Laktatkonzentration, Herzfrequenz, Zeit, Armzugfrequenz und der Grad der individuellen Anstrengung anhand der Borg-Skala<sup>14</sup>.

Die Trainingsgruppe absolvierte innerhalb der 8 Wochen ein spezielles Apnoe-Training, beide Gruppen nahmen weiterhin am allgemeinen Training der Verbandsgruppen teil.

**Ergebnisse:** In der Trainings- und in der Kontrollgruppe ist die Sauerstoffaufnahme nach einem Sprint in völliger Apnoe unabhängig vom Untersuchungszeitpunkt (vor oder nach der Trainingsintervention) signifikant niedriger in den ersten 20 Sekunden nach Belastungsende als nach einem Sprint mit Atmung ad libidum. Eine Veränderung nach der Trainingsintervention ist nicht zu beobachten.

Die Sauerstoffaufnahme in der Trainingsgruppe in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit nach einem Sprint mit Atmung ad libidum ist nach der Trainingsintervention größer als vor der Maßnahme. In der Kontrollgruppe gibt es keine Veränderungen.

Unabhängig von der Art der Atmung ist die Sauerstoffaufnahme nach 20 Sekunden ab Belastungsabbruch in der Trainingsgruppe nach der Trainingsmaßnahme zum Teil tendenziell, zum Teil signifikant geringer als vor der Trainingsmaßnahme. In der Kontrollgruppe lassen sich keine Veränderungen beobachten.

Die Laktatkonzentrationen nach dem Sprint in völliger Apnoe und nach dem Sprint mit Atmung ad libidum sind zum zweiten Untersuchungszeitpunkt tendenziell geringer in der Trainingsgruppe.

**Diskussion:** Die Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden der Nachbelastungszeit ist nach einem Sprint in völliger Apnoe gegenüber einem Sprint mit Atmung ad libidum in allen Gruppen geringer, was möglicherweise die Folge einer Hemmung der Kreatin-Resynthese ist. Die erste Phase der Kreatin-Resynthese dauert ca. 20 Sekunden, sie ist abhängig von der oxidativen Phosphorylation, die wiederum durch H<sup>+</sup>-Ionen gehemmt wird<sup>52, 99</sup>. Der Grund für die geringere Sauerstoffaufnahme könnten die nicht abgeatmeten H<sup>+</sup>-Ionen sein, die

möglicherweise eine Hemmung der oxidativen Phosphorylation und damit der Kreatin-Resynthese nach sich ziehen.

Entgegen der Erwartungen sind keine Veränderungen durch das Apnoe-Training in der Kinetik der O<sub>2</sub>-Verbrauchskurve nach dem Sprint ohne Atmung aufgetreten. Die weiteren Ergebnisse lassen vermuten, dass das Training einen Effekt auf den aeroben Stoffwechsel hat. Die langsame Phase der Kreatin-Resynthese<sup>99</sup> ist gekennzeichnet durch die Höhe der intrazellulären Azidose. Die langsame Phase der Sauerstoffaufnahme<sup>50</sup> ist abhängig vom oxidativen Abbau von Laktat. In beiden Phasen spielen Sauerstoff und aerobe Stoffwechselmechanismen eine zentrale Rolle. Aerobes Training hat u.a. eine Verringerung der H<sup>+</sup>-Ionen-Konzentration und der Laktatkonzentration zur Folge<sup>61, 129</sup>. Die Sauerstoffaufnahme nach 20 Sekunden ab Belastungsabbruch ist tendenziell geringer nach der Trainingsintervention in der Trainingsgruppe, nicht in der Kontrollgruppe, was möglicherweise die Folge einer geringeren H<sup>+</sup>-Ionen-Konzentration aufgrund des aeroben Trainings ist (langsame Phase der Kreatin-Resynthese). Etwa 150 Sekunden nach Belastungsende, hier beginnt die langsame Phase der Sauerstoffaufnahme nach Green<sup>50</sup>, scheint die geringere Sauerstoffaufnahme in der Trainingsgruppe zum Untersuchungszeitpunkt 2 (nach der Intervention) noch deutlicher zu sein. Das könnte mit einer Verbesserung des aeroben Stoffwechsels zusammenhängen. Tendenzuell niedrigere Laktatwerte in der Trainingsgruppe nach der Trainingsmaßnahme unterstützen diese Annahme. Niedrigere Laktatwerte als Folge des aeroben Trainings ziehen eine geringere Sauerstoffaufnahme für die reverse Glykolyse<sup>20</sup> nach sich.

**Fazit:** Das ausgewählte Training hat scheinbar keine Veränderungen des anaeroben Stoffwechsels zur Folge, sondern, entgegengesetzt der Erwartungen, eine Verbesserung des aeroben Stoffwechsels. Ein Zeitvorteil gegenüber dem Sprint mit Atmung konnte zunächst nicht festgestellt und mit Hilfe des Trainings auch nicht erreicht werden.

Schlagwörter: Apnoe, Atmung, Laktat, Spirometrie, Sprintschwimmen, Sprinttraining

### 5.1 ZUSAMMENFASSUNG (KURZ)

**Einleitung/ Fragestellung:** Im internationalen Wettkampfschwimmsport bekommen Sprintstrecken eine immer größere Bedeutung. In der vorliegenden Untersuchung soll untersucht werden, inwiefern die Atemfrequenz (Atmung ad libidum vs. Atmung in völliger Apnoe) in Verbindung mit einer Apnoe-Training Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch, die Zeit und leistungsphysiologische Parameter bei einem 50m Freistilsprint hat.

**Material und Methoden:** 14 Leistungsschwimmer absolvierten im Abstand von 8 Wochen jeweils einen Sprint in völliger Apnoe und mit Atmung ad libidum (Messparameter: respiratorische Daten, Laktatkonzentration, Herzfrequenz, Zeit, Armzugfrequenz und der Grad der individuellen Anstrengung anhand der Borg-Skala). Die Probanden wurden in eine Trainings- (Alter:  $17,33 \pm 3,69$  Jahre; Körpergröße:  $1,76 \pm 0,07$  m; Körpergewicht:  $66,75 \pm 6,96$  kg; BMI:  $21,71 \pm 1,31$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $8,17 \pm 3,12$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $9,5 \pm 2,66$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $15,75 \pm 4,14$  Fettgehalt in Prozent) und eine Kontrollgruppe (Alter:  $20,38 \pm 4,78$  Jahre; Körpergröße:  $1,81 \pm 0,09$  m; Körpergewicht:  $72,88 \pm 7,94$  kg; BMI:  $22,11 \pm 0,90$  kg/m<sup>2</sup>; Trainingsalter:  $11,0 \pm 4,41$  Trainingsjahre; Trainingshäufigkeit:  $12,0 \pm 2,67$  Trainingseinheiten/Woche; Körperfett:  $13,78 \pm 3,97$  Fettgehalt in Prozent) unterteilt. Die Trainingsgruppe unterzog sich einem speziellen Apnoe-Training.

**Ergebnisse:** Die Sauerstoffaufnahme in den ersten 20 Sekunden nach Belastungsabbruch ist in der Trainings- und Kontrollgruppe nach einem Sprint ohne Atmung signifikant geringer als nach einem Sprint mit Atmung, was möglicherweise die Folge einer Hemmung der Kreatinresynthese durch nicht abgeatmete H<sup>+</sup>-Ionen ist.

**Schlussfolgerung:** Die Trainings- und Kontrollgruppe unterscheiden sich in den respiratorischen Parametern in den ersten 20 Sekunden nach einem Sprint mit Atmung, ab 20 Sekunden nach Belastungsende unabhängig von der Art der Atmung und in der Laktatkonzentration. Die Sauerstoffaufnahme in der Trainingsgruppe nach der Trainingsmaßnahme ist tendenziell, zum Teil signifikant geringer als vor der

Trainingsmaßnahme, keine Unterschiede in der Kontrollgruppe. Möglicherweise hat das Training eine Verbesserung des aeroben Stoffwechsels (Verringerung der Laktatkonzentration, Verbesserung der O<sub>2</sub>-Kapazität, u.s.w.) und nicht wie erwartet des anaeroben Stoffwechsels zur Folge. Die tendenziell niedrigere Laktatkonzentration in der Trainingsgruppe und die damit geringere Sauerstoffaufnahme für die reverse Glykolyse nach der Trainingsintervention unterstützen diese Annahme.

Schlagwörter: Apnoe, Atmung, Laktat, Spirometrie, Sprintschwimmen, Sprinttraining

### 6.2 ABSTRACT

In recent years, the sprinting subdivision of competitive swimming has gained significant importance. This study aims to measure many of the factors associated with sprint swimming including  $O_2$  uptake, total sprint time and breathing frequency in conjunction with a specialized apnoea training program.

Fourteen elite swimmers performed four 50 meters freestyle sprints at maximum speed. The four sprints were divided so that there were eight weeks between each set of two sprints. Each set consisted of one sprint using normal breathing technique leaving it to the discretion of the swimmer, and one sprint without any breathing at all. There were two days of rest between the two sprints within each set.

Oxygen uptake, lactic acid production, heart rate, total time, stroke rate and the Borg Ratings of Perceived Exertion were measured and analyzed. Half of the swimmers did special apnoea training during the 8 weeks between the two sprint sets, while the other half did not receive special training but continued their usual practice routine.

In both, the apnoea trained group and the control group, the  $O_2$  uptake measured during the first 20 seconds after the swim without breathing was significantly lower than the  $O_2$  uptake measured during the first 20 seconds after the swim with discretionary breathing by the swimmer. This might be the result of an elevated concentration of  $H^+$  ions and an interrelated repression of the creatine resynthesis.

There was a difference in the  $O_2$  uptake measurements between the study groups after the 20 seconds following the sprints of the second set. The  $O_2$  uptake of the swimmers with special apnoea training tended to be lower than the  $O_2$  uptake of the swimmers who continued their usual practice routine. This result might be due to the effect of the special training. The specialized practice might have had an aerobic effect on the swimmers rather than an anaerobic effect. The aerobic swim training might have led to a lower level of  $H^+$  ions and therefore a lower level of lactic acid. This in turn would require a lower  $O_2$  uptake for the reverse glycolysis.

Key words: Apnoe, breathing, lactate, Spirometry, sprint swimming sprint training



---

**7 LITERATUR**

1. *Schwimmsportliche Leistungstabelle 2001-2004*. Hamburg: sms-sportmarketing service, 2004
2. Ahn, B., Y. Nishibayashi, S. Okita, A. T. Masuda, S., P.-E. Paulev, and Y. Honda. Heart rate response to breath-holding during supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol*. 59:146-151, 1989.
3. Albano, G., F. Guagliardo, and A. Leone. Regulation of the heart rate in humans. III. The heart rate during underwater immersion in apnea. *Boll Soc Ital Biol Sper*. 50(21):1775-1779, 1974.
4. Alves, F., P. Cunha, and J. Gomes-Pereira. Kinematic changes with inspiratory actions in butterfly swimming. *Sammelwerksbeitrag*:9-14, 1999.
5. Astrand, P. O. and S. Englesson. A swimming flume. *J Appl Physiol*. 33:514, 1972.
6. Astrand, P. O. and B. Saltin. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol*. 16:977-981, 1961.
7. Ball, K., A. Hahn, and B. Mason. Untersuchungen zum intrazyklischen Geschwindigkeits-Zeit-Verlauf am Hüft- und Körperschwerpunkt im Kraulschwimmen. *Leistungssport*. 5:52-54, 1993.
8. Barbosa, T., F. Sousa, and J. P. Vilas-Boas. Kinematical modifications induced by the introduction of the lateral inspiration in butterfly stroke. *Sammelwerksbeitrag*:15-19, 1999.
9. Beneke, R., U. Sievers, S. Buschkow, and J. Erasmus. Portables Spirometrie-Telemetrie-System vs. Laborspirometer. Gerätevergleich unter Laborbedingungen. *Dtsch Z Sportmed*. 46(9):403-408, 1995.
10. Beunen, G. and M. Thomis. Muscular strenght development in children and adolenscents. *Pediatr Exerc Sci*. 12:74-97, 2000.
11. Blaser, P. and A. Niklas. Die schwimmspezifische Bewegungsanalyse in der Gegenstromanlage. *Leistungssport*. 6:43-46, 1998.
12. Bonen, A., B. Wilson, M. Yarkony, and A. Belcastro. Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J Appl Physiol*. 48(2):232-235, 1980.
13. Borg, E. and L. Kaijser. a comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 16:57-69, 2006.
14. Borg, G. A. V. Psychological bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 14(5):377-381, 1982.
15. Bös, K. *Handbuch sportmotorischer Tests*. Göttingen: Hogrefe Verlag GmbH+Co, 1997
16. Bouchard, C., P. Godbout, J. Mondor, and C. Leblanc. Specificity of maximal aerobic power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 40(2):85-93, 1979.
17. Braden, D. and J. Carroll. Normative cardiovascular responses to exercise in children. *Pediatr Cardiol*. 20:4-10, 1999.
18. Braumann KM., Holz J., Brechtel L., and E. G. Spiroergometry in the swimming flume. *Int J Sports Med*. 17:23, 1996.
19. Brooke, J., E. Hamles, and H. Thomason. Variability in the measurement of exercise heart rate. *J Sports Med*. 20:21-26, 1970.
20. Brooks, G. A. Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Med Sci Sports Exerc*. 32(4):790-799, 2000.

21. Capelli, C., M. Cautero, and P. E. Di Prampero. New perspectives in breath-by-breath determination of alveolar gas exchange in humans. *Eur J Physiol.* 441:566-577, 2001.
22. Capelli, C., P. Zamparo, A. Cigalotto, P. Francescato, R. G. Soule, B. Termin, D. Pendergast, and P. E. Di Prampero. Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *J Appl Physiol.* 78(2):674-679, 1995.
23. Carey, C. R., K. E. Schaefer, and H. J. Alvis. Effect of skin diving on lung volumes. *J. Appl. Physiol.* 8:519-523, 1956.
24. Carl, K. Talentsuche, Talentausswahl und Talentförderung. *Studienbrief zur Fort- und Weiterbildung von Trainern des Deutschen Sportbundes.* 24:12-65, 87-91, 1988.
25. Carre, F., J. Dassonville, J. Beillot, J. Prigent, and P. Rochcongar. Use of oxygen uptake recovery curve to predict peak oxygen uptake in upper body exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 69(3):258-261, 1994.
26. Chapin, J. L. Relationship between Lung Volume and Breath-Holding Breaking Point. *J. Appl. Physiol.* 8(1):88-90, 1955.
27. Christensen, E. Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. *Arbeitsphysiol.* 4:453-469, 1931.
28. Clasing, D., H. Weicker, and D. Böning. *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik.* Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994
29. Costill, D., M. Flynn, K. J., J. Houmard, J. Mitchell, R. Thomas, and S. Park. Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc.* 20(3), 1988.
30. Costill, D., J. Kovaleski, D. Porter, J. Kirwan, R. Fiedling, and D. King. Energy expenditure during front crawl swimming: Predicting success in middle-distance events. *Int J Sports Med.* 6:266-270, 1985.
31. Costill, D. L., E. W. Maglischo, and A. B. Richardson. *Swimming.* Massachusetts-USA, 1992, 76-77.
32. Counsilman, J. E. *The Science of Swimming.* New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1968, 66.
33. Craig, A. B., JR. and D. R. Pendergast. Relationship of stroke rate, distance per stroke and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc.* 11(3):278-283, 1979.
34. Craig, A. B., JR., P. L. Skehan, J. A. Pawelczyk, and W. L. Boomer. Velocity, stroke rate and distance per stroke during elite swimming competition. *Med Sci Sports Exerc.* 17(6):625-634, 1985.
35. Craig, A. B. and W. L. Medd. Man's response to breath-hold exercise in air and in water. *J. Appl. Physiol.* 24(6):773-777, 1968.
36. Dal Monte, A., F. Sardella, B. Alippi, M. Faina, and A. Manetta. A new respiratory valve system for measuring oxygen uptake during swimming. *Eur J Appl Physiol.* 69:159-162, 1994.
37. Dannhauer, G. and H.-V. Ulmer. Zur Trainierbarkeit der Atemanhaltezeit - physiologische und psychische Aspekte. *Leistungssport.* 6:29-32, 1983.
38. Dekerle, J., X. Nesi, T. Lefevre, S. Depretz, M. Sidney, F. Marchand, and P. Pelayo. Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. *Int J Sports Med.* 26:53-58, 2005.
39. Demarie, S., F. Sardella, V. Billat, W. Magini, and M. Faina. The VO<sub>2</sub> slow component in swimming. *Eur J Appl Physiol.* 84(1-2):95-99, 2001.

- 
40. Di Carlo, L., P. Sparling, M. Millard-Stafford, and J. Rupp. Peak heart rates during maximal running and swimming: Implications for exercise prescription. *Int J Sports Med.* 12:309-312, 1991.
  41. Di Prampero, P. E. The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med.* 7:55-72, 1986.
  42. Di Prampero, P. E. and G. Ferretti. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respiration Physiology.* 118:103-115, 1999.
  43. Di Prampero, P. E., L. Peeters, and R. Margaria. Alactic O<sub>2</sub> debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *Journal of Physiology.* 34(5):628-632, 1973.
  44. Di Prampero, P. E., D. Pendergast, D. Wilson, and D. Rennie. Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol.* 37:1-5, 1974.
  45. Eriksson, B., I. Holmér, and A. Lundin. Maximal oxygen uptake, maximal ventilation and maximal heart rate during swimming compared to running. *Acta Paediatr Belg.* 28 (suppl):68-78, 1974.
  46. Faulkner, J. and R. Dawson. Pulse rate after 50-meter swims. *Res Q.* 37:282-284, 1966.
  47. Ferretti, G. Extreme human breath-hold dive. *Eur J Appl Physiol.* 84:254-271, 2001.
  48. Fowler, W. S. Breaking Point of Breath-Holding. *J. Appl. Physiol.* 6(9):539-545, 1954.
  49. Fujisawa, H., H. Kamimura, Y. Ohtsuka, T. Nanbu, N. Yabunaka, and Y. Agishi. Continuous measurement of blood pressure, heart rate and left ventricular performance during and after isometric exercise in head-out water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 72(5-6):548-552, 1996.
  50. Green, S. and B. Dawson. Measurement of Anaerobic Capacities in Humans. *Sports Med.* 15(5):312-327, 1993.
  51. Güllich, A. and D. Schmidtbleicher. Struktur der Kraftfähigkeiten und ihre Trainingsmethoden. *Dtsch Z Sportmed.* 50(7+8):223-234, 1999.
  52. Harris, R. C., R. H. T. Edwards, E. Hultman, L.-O. Nordesjö, B. Ny Lind, and K. Sahlin. The Time Course of Phosphorylcreatine Resynthesis during Recovery of the Quadriceps Muscle in Man. *Pflügers Arch.* 367:137-142, 1976.
  53. Hauber, C., R. Sharp, and W. Franke. Heart rate response to submaximal and maximal workloads during running and swimming. *Int J Sports Med.* 18(5):347-353, 1997.
  54. Heck, H. and P. Roskopf. *Grundlagen verschiedener Laktatschwellenkonzepte und ihre Bedeutung für die Trainingssteuerung. In: Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik, edited bei Clasing, D., Weicker, H. Böning, D.* Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994
  55. Heigenhauser, G. Estimation of cardiac output by the CO<sub>2</sub> rebreathing method during tethered swimming. *J Appl Physiol.* 44:821-824, 1978.
  56. Hentsch, U. and H.-V. Ulmer. Trainability of underwater breath-holding time. *Int J Sports Med.* 5(6):343-347, 1984.
  57. Heuser, H. *Lehrbuch der Analysis, Teil 1.* Stuttgart: Teubner, 1991
  58. Hill, A. The physiological basis of athletic records. *Scientific monthly.* 21:409-428, 1925.
  59. Hoffmann, U., M. Smerecnik, D. Leyk, and D. Essfeld. Cardiovascular Responses to Apnea during Dynamic Exercise. *Int J Sports Med.* 26:426-431, 2005.

- 
60. Hollmann, W. Vor 40 Jahren: Ventilatorische und Laktatschwelle - wie es dazu kam. *Dtsch Z Sportmed.* 10:323-326, 1999.
  61. Hollmann, W. and T. Hettinger. *Sportmedizin, Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin.* Stuttgart: Schattauer, 2000, 161.
  62. Holmér, I. Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol.* 33:502-509, 1972.
  63. Holmér, I., A. Lundin, and B. Eriksson. Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J Appl Physiol.* 36(6):711-714, 1974.
  64. Holmér, I., E. M. Seith, B. Saltin, B. Ekblom, and P. O. Astrand. Hemodynamic and respiratory response compared in swimming and running. *J Appl Physiol.* 37:49, 1974.
  65. Horwitz, L., J. Atkins, and S. Leshin. Role of the Frank-Starling mechanism in exercise. *Circ Res.* 31:868-875, 1972.
  66. Howald, H. Veränderungen der Muskelfasern durch Training. *Leistungssport.* 19(2):18-24, 1989.
  67. Jacobs, I., P. Kaiser, and P. Tesch. Muscle strength and fatigue after selective glycogen depletion in human skeletal muscle fibers. *Eur J Appl Physiol.* 46:47-53, 1981.
  68. Joulia, F., J. G. Steinberg, M. Faucher, T. Jamin, C. Ulmer, N. Kipson, and Y. Jammes. Breath-Hold training of humans reduces oxidative stress and blood acidosis after static and dynamic apnea. *Respiratory Physiology & Neurobiology.* 137:19-27, 2003.
  69. Jungmann, H., S. Blunck, and B. Struckmann. Untersuchungen zur Herzfähigkeit beim Unterwasserschwimmen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 40(7):240-242, 1989.
  70. Keskinen, K., P. Komi, and H. Rusko. A comparative study of blood lactate tests in swimming. *Int J Sports Med.* 10(3):197-201, 1989.
  71. Keul, S., W. Kindermann, and G. Simon. Die aerobe und anaerobe Kapazität als Grundlage für die Leistungsdiagnostik. *Leistungssport.* 22, 1978.
  72. Keul, S., G. Simon, A. Berg, H.-H. Dickhuth, I. Goertler, and R. Kübel. Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. *Dtsch Z Sportmed.* 7:212-218, 1979.
  73. Kindermann, W. and J. Keul. *Anaerobe Energiebereitstellung im Hochleistungssport.* Schorndorf: Verlag Karl Hofmann, 1977, 61-95.
  74. Kirch, M.-H. *Sauerstoffaufnahme, Herzzeitvolumen und Diffusionskapazität bei Ausdauer- und Sprint-trainierten Läufern.* Ulm: Universität Ulm (Dissertation), 1994
  75. Knipping, H. ein einfacher Apparat zur exakten Gasstoffwechselformung. *Z Exp Med.* 41:363-378, 1924.
  76. Kruse, B. and A. Mende. *Die Chronik 100 Jahre Olympische Spiele 1896 - 1996.* Gütersloh/ München: Chronik Verlag, 1995
  77. Kubukeli, Z., T. Noakes, and S. Dennis. Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sports Med.* 32, 2002.
  78. Küchler, J. and M. Witt. Zur Struktur von Sprintleistungen im Freistilschwimmen. *Leistungssport.* 2:45-51, 1996.
  79. Lavoie, J., A. Taylor, and R. Montpetit. Physiological effects of training in elite swimmers as measured by a free swimming test. *J Sports Med Phys Fitness.* 21:38-42, 1981.
  80. Leblanc, C., C. Bouchard, P. Godbout, and J. Mondor. Specificity of submaximal working capacity. *J Sports Med Phys Fitness.* 21(1):15-22, 1981.

- 
81. Léger, L. A., V. Seliger, and L. Brassard. Backward extrapolation of VO<sub>2</sub>max values from the O<sub>2</sub> recovery curve. *Med Sci Sports Exerc.* 12(1):24-27, 1980.
  82. Lerda, R. and C. Cardelli. Breathing and Propelling in Crawl as a Function of Skill and Swim Velocity. *Int J Sports Med.* 24:75-80, 2003.
  83. Lienert, G. A. and U. Raatz. *Testaufbau und Testanalyse.* Weinheim: Beltz PVU, 1998
  84. Liesen, H., E. Ludemann, D. Schmengler, R. Föhrenbach, and A. Mader. Trainingssteuerung im Hochleistungssport. Einige Aspekte und Beispiele. *Dtsch Z Sportmed.* 26:8-18, 1985.
  85. Lin, Y., K. Shida, and S. Hong. Effects of hypercapnia, hypoxia and rebreathing on heart rate response during apnea. *J Appl Physiol.* 54:166-171, 1983.
  86. Lindholm, P., P. Sundblad, and D. Linnarson. Oxygen-conserving effects of apnea in exercising men. *J. Appl. Physiol.* 87:2122-2127, 1999.
  87. Lüchtenberg, D. *Die Auswirkungen eines 9-wöchigen Tauchtrainings auf die Atemanhaltezeit.* Heidelberg: Sport an Hochschulen, 1992, 29-43.
  88. Lucia, A., S. J. Fleck, R. W. Gotshall, and J. T. Kearny. Validity and reliability of the Cosmed K2 instrument. *Int J Sports Med.* 14(7):380-386, 1993.
  89. Magel, J., G. Foglia, W. Mc Ardle, B. Gutin, G. Pechar, and F. Katch. Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *J Appl Physiol.* 38(1):151-155, 1975.
  90. Magel, J., W. Mc Ardle, N. Weiss, S. Stone, and A. Newman. Heart rate response to apnea and face immersion. *J Sports Med Phys Fitness.* 22(2):135-146, 1982.
  91. Maglischo, E. W. *Swimming even faster.* California, 1993, 595.
  92. Manley, L. Apnoeic heart rate responses in humans. a review. *J Sports Med.* 9(5):286-310, 1990.
  93. Markworth, P. *Sportmedizin.* Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag, 2000, 60ff, 232ff.
  94. Matheson, G. O. and D. McKenzie. Breath holding during intense exercise: arterial blood gases, pH and lactate. *J. Appl. Physiol.* 64 (5):1947-1952, 1988.
  95. Matsumoto, M., N. Fujii, M. Ichinose, and Y. Nishibayashi. Role Of The Muscle Metaboreflex in Cardiovascular Responses to Apnea during Exercise in Humans. *Med Sci Sports Exerc.* 40(5):268, 2008.
  96. Mc Ardle, W., R. Glaser, and J. Magel. Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J Appl Physiol.* 30(5):733-738, 1971.
  97. Mc Ardle, W., J. Magel, D. Delio, M. Toner, and J. Chase. Specificity of run training on VO<sub>2</sub> max and heart rate changes during running and swimming. 1978.
  98. McLaughlin, J. E., G. A. King, E. T. Howley, D. R. Bassett, Jr, and B. E. Ainsworth. Validation of the COSMED K4 b<sup>2</sup> Portable Metabolic System. *Int J Sports Med.* 22:280-284, 2001.
  99. McMahon, S. and D. Jenkins. Factors Affecting the Rate of Phosphocreatine Resynthesis Following Intense Exercise. *Sports Med.* 32 (12):761-784, 2002.
  100. Mitchell, J. and J. Huston. The effect of high- and low-intensity-warm-up on the physiological response to a standardized swim and tethered swimming performance. *J Sports Sci.* 11(2):159-165, 1993.
  101. Mohnke, M. and N. Schwarz. Einfluss von Apnoe auf Physiologische Parameter und die Schwimmleistung beim 50m-Freistil Sprint

- (unveröffentlichte Diplomarbeit, Fachbereich Sportwissenschaft, Univ.Hamburg): Hamburg, 2005.
102. Montpetit, R. R., L. A. Léger, J. M. Lavoie, and G. Cazorla. VO<sub>2</sub> peak during free swimming using the Backward extrapolation of the O<sub>2</sub> recovery curve. *Eur J Appl Physiol.* 47:385-391, 1981.
  103. Newes, R. E. and P. T. Brown. Sprint swimming and voluntary hyperventilation. *Swimming Technique.* 12:86-93, 1977.
  104. Niemeier, W. *Ausgleichsrechnung.* Berlin/ New York: de Gruyter Lehrbuch, 2008
  105. Nikolic, Z., M. Todorovic, and B. Todorovic. Year round training effects on swimmers' heart rate during bicycle ergometer and swimming exercise. *J Sports Med.* 22:85-94, 1982.
  106. Obert, P., F. Stecken, D. Courteix, A. Lecoq, and P. Guenon. 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.
  107. Olbrecht, J., O. Madsen, A. Mader, H. Liesen, and W. Hollmann. Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittend training exercise. *Int J Sports Med.* 6:74-77, 1985.
  108. Pansold, B. and J. Zinner. *Analysis and Validity of Specific and ergometric Incremental Test Programmes.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1991
  109. Pansold, B. and J. Zinner. *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
  110. Parizkova, J. and P. Buzkova. Relationship between skinfold thickness measured by Harpenden caliper and densitometric analysis of total body fat in men. *Hum Biol.* 43(1):16-21, 1971.
  111. Parizkova, J. and Z. Roth. The assessment of depot fat in children from skinfold thickness measurements by Holtain (Tanner-Whitehouse) caliper. *Hum Biol.* 44(4):613-620, 1972.
  112. Payton, C. J., R. M. Bartlett, V. Baltzopoulos, and R. Coombs. Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. *J Sports Sci.* 9:689-696, 1999.
  113. Pelayo, P., M. Sidney, T. Kherif, D. Chollet, and C. Tourny. Stroking Characteristics in Fresstyle Swimming and Relationship with Antropometric Characteritics. *Journal of Applied Biomechanics.* 12:197-206, 1996.
  114. Perini, R., S. Milesi, L. Biancardi, D. Pendergast, and A. Veicsteinas. Heart rate variability in exercising humans: effect of Water immersion. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 77(\$9):326-332, 1998.
  115. Qvist, J., W. E. Hurford, J. S. Park, P. Radermacher, K. J. Falke, D. W. Ahn, G. P. Guyton, K. S. Stanek, S. Hong, R. E. Weber, and W. M. Zapol. Arterial blood gas tensions during breath-hold diving in the Korean ama. *J Appl Physiol.* 75(1):285-293, 1993.
  116. Ramcke, C. Talentsichtung im Schwimmsport auf der Grundlage metabolischer, kardiozirkulatorischer und respiratorischer Parameter insbesondere in Bezug auf eine zu prognostizierende Ausdauer- bzw. Sprintversiertheit (Sportwiss. Diss.): Universität Hamburg, 2007.

- 
117. Reer, R., B. Schmidt, K. Rudolph, and K. M. Braumann. The application of the rebreathing method during swim spiroergometry in the swim flume and swimming pool. *Int J Sports Med.* 20:26, 1999.
  118. Rinehardt, K., P. Kraemer, S. Gormely, and S. Colan. Comparison of maximal oxygen uptakes from the tethered, the 183- and the 457-meter unimpeded supramaximal freestyle swims. *Int J Sports Med.* 12(1):6-9, 1991.
  119. Rivera, M., M. Albarran, and N. Torres. Stroke rate, distance per stroke and velocity in infantile and juvenile swimmers. *Microform Publ.*, 1986.
  120. Robergs, R., D. Costill, W. Fink, C. Williams, D. Pascoe, J. Chwalbinska-Moneta, and J. Davis. Effects of warm-up on blood gases, lactate and acid-base status during sprint swimming. *Int J Sports Med.* 11(4):273-278, 1990.
  121. Roston, W., B. Whipp, J. Davis, D. Cunningham, R. Effros, and K. Wassermann. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. *Am Rev Respir Dis.* 135(5):1080-1084, 1987.
  122. Roudenko, I., T. Tsjiiras, N. Sotirakopoulos, T. Tsitsios, M. Peiou, and K. Mavromatidis. The effect of intense passive apnea in the acid-base balance and electrolyts. *Renal Failure.* 25(4):545-551, 2003.
  123. Rudolph Dr., K. Analyse der Entwicklung des internationalen und nationalen Schwimmsports bei besonderer Berücksichtigung der Olympischen Spiele in Sydney 2000. *Leistungssport.* 01, 2001.
  124. Rudolph, K. Modeltraining im Schwimmkanal. *Leistungssport.* 2:19-21, 1996.
  125. Schagatay, E., M. vanKampen, S. Emanuelsson, and B. Holm. Effects of physical and apnea training on apneic time and diving response in humans. *Eur J Appl Physiol.* 82:161-169, 2000.
  126. Schipke, J. and M. Pelzer. Effect of immersion, submersion and scuba diving on heart rate variability. *Br J Sports Med.* 35(3):174-180, 2001.
  127. Schmidt, R. F. and G. Thews. *Physiologie des Menschen.* Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1997, 645 ff.
  128. Shepard, R., G. Godin, and R. Campell. Characteristics of sprint, medium and long distance swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 32:99-116, 1974.
  129. Shephard, R. J. and P.-O. Astrand. *Ausdauer im Sport.* Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, 1993
  130. Siegl, P. and K. Schultz. Die Borg-Skala als Instrument zur Erfassung subjektiv erlebter Beanspruchung in arbeitsmedizinischen Labor- und Felduntersuchungen. *Z Gesamte Hygiene.* 30(7):383-386, 1984.
  131. Silbernagel, S. and A. Despopoulos. *Taschenatlas der Physiologie.* Stuttgart: Thieme Verlag, 1991, 96-106.
  132. Simon, G. *Laktat zur aeroben und anaeroben Leistungsdiagnostik im Schwimmen.* In: Clasing, D., Weicker, Böning (HRSG.) *Stellenwert der Laktatbestimmung in der Leistungsdiagnostik.* Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer Verlag, 1994
  133. Simon, G. and M. Thiesmann. Ermittlung der aeroben Leistungsfähigkeit im Schwimmsport. *Leistungssport.* 3:29-31, 1986.
  134. Simon, G., M. Thiesmann, U. Frohberger, and D. Clasing. Ergometrie im Wasser - eine neue Form der Leistungsdiagnostik bei Schwimmern. *Dtsch Z Sportmed.* 1:5-13, 1983.
  135. Sleivert, G. and L. T. Mackinnon. The validation of backward extrapolation of submaximal oxygen consumption from the oxygen recovery curve. *Eur J Appl Physiol.* 63:135-139, 1991.
  136. Smith, D. J., S. R. Norris, and J. M. Hogg. Performance Evaluation of Swimmers Scientific Tools. *Sports Med.* 32(9):539-554, 2002.

- 
137. Snyder, A. C., H. Kuipers, B. Cheng, R. Servais, and E. Fransen. Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 27(7):1063-1070, 1995.
  138. Stegemann, H. and W. Kindermann. Comparison of prolonged exercise tests at individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4mmol/l lactate. *Int J Sports Med*. 3:105-110, 1982.
  139. Stegemann, H., W. Kindermann, and A. Schnabel. Lactate kinetics and individual anaerobis threshold. *Int J Sports Med*. 2:160-165, 283-291, 1981.
  140. Swaine, I. and T. Reilly. The freely-chosen swimming stroke rate in a maximal swim and on a biokinetic swim bench. *Med Sci Sports Exerc*. 15(5):370-375, 1983.
  141. Taylor, H., E. Buskirk, and A. Henschel. Maximal Oxygen uptake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol*. 8:73-80, 1955.
  142. Tomai, F., M. Ciavolella, A. Gaspardone, A. De Fazio, E. Basso, C. Giannitti, D. Scali, F. Versaci, F. Crea, and P. Gioffre. Peak exercise left ventricular performance in normal subjects an in athletes assessed by first-pass radionuclide angiography. *Am J Cardiol*. 70:531-535, 1992.
  143. Toussaint, H., W. Knops, G. De Groot, and A. Hollander. The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*. 22:402-408, 1990.
  144. Toussaint, H., A. Meulemans, G. de Groot, A. Hollander, A. Schreurs, and K. Vervoorn. Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol*. 56:363-366, 1987.
  145. Toussaint, H. M. and A. P. Hollander. Energetics of Competitive Swimming Implications for Training Programmes. *Sports Med*. 18(6):384-405, 1994.
  146. Town, G. P. and J. M. Vaness. Metabolic responses to controlled frequency breathing in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc*. 22:112-116, 1990.
  147. Ungerechts, B. Über den Wert der Zugzahlermittlung im Schwimmsport. *Theor Prax Leistungssport*. 4:130-135, 1980.
  148. Wakayoshi, K., T. Yoshida, Y. Ikuta, Y. Mutoh, and M. Miyashita. Adaptations to six month of aerobic swim training. Changes in velocity, stroke rate, stroke length and blood lactate. *Int J Sports Med*. 13:368-372, 1993.
  149. Wakayoshi, K., T. Yoshida, M. Udo, T. Kasai, T. Moritani, Y. Mutoh, and M. Miyashita. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int J Sports Med*. 13:367-371, 1992.
  150. Weineck, J. *Optimales Training, Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kindes- und Jugendtrainings*. Erlangen: Spitta Verlag, 1997, 77ff.
  151. Weineck, J. *Sportbiologie*. Balingen: Perimedspitta. Med. Verl.-Ges., 1996
  152. Wilke, K. Swimming technique and sprint swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Sciene*. 6:33-46, 1992.
  153. Wilke, K. and O. Madsen. *Das Training des jugendlichen Schwimmers*. Schorndorf: Hofmann, 1997, 137ff.
  154. Willimczik, K. *Statistik im Sport*. Hamburg: Czwalina, 1997, 102,122-127,137-140.
  155. Witt, M. Effect of controlled frequency breathing on maximal tethered swimming performance. *Biomechanics and Medicine in Swimming, Kongressbericht*. 2:8, 2002.
  156. Yanai, T. Rotational effect of buoyancy in front crawl: does it really cause the legs to sink? *Journal of Biomechanics*. 2:235-243, 2001.



157. Zamparo, P., C. Capelli, M. Cautero, and A. di Nino. Energy cost of front-crawl swimming at supra-maximal speeds and underwater torque in young swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 83:487-491, 2000.
158. Zempel, C. Eureka, I've found it! The physics of swimming faster. *Triathlete.* 18:16, 1993.
159. Ziegler, D. m. M., O. Guderjahn, R. R., and B. KM. Validierung der Nachatmungsmethode bei der Verwendung eines breath-by-breath Spirometriegerätes. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 58(7/8):250, 2007.
160. Ziegler, D. m. M., M. Mohnke, N. Schwarz, R. R., and B. KM. Paradoxe geringere Sauerstoffaufnahme in der Nachbelastungsphase nach einem 50m-Freistil Sprint in Apnoe. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 58 (7/8):275, 2007.
161. Ziegler, M., O. Guderjahn, R. Reer, and K.-M. Braumann. Die Validierung der Nachatmungsmethode im breath-by-breath Modus. *BISp-Jahrbuch-Forschungsförderung 2005/06:*197-202, 2005.
162. Zintl, F. *Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung.* München, Wien, Zürich: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1997

## 8 ANHANG

### 8.1 Erfassungsbögen

#### Probandenerfassungsbogen 1:

Name: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Geb.Datum: \_\_\_\_\_

Größe: \_\_\_\_\_ Gewicht: \_\_\_\_\_ BMI: \_\_\_\_\_ Fettgehalt: \_\_\_\_\_

Vitalkapazität: \_\_\_\_\_

Trainingsjahre: \_\_\_\_\_ Trainingseinheiten pro Woche: \_\_\_\_\_

Anzahl der Atemzüge beim 50m Freistilsprint im Wettkampf (normalerweise) \_\_\_\_\_

Wie fühlst du dich heute?

\_\_\_\_\_  
leistungsschwach                      leistungsstark

Einverständniserklärung:

Über die Ziele und die Durchführung der Studie wurde ich vor Beginn dieser Studie aufgeklärt.

Ich bin damit einverstanden, dass die erhobenen Daten im Rahmen dieser Studie anonymisiert weitergegeben werden dürfen.

Unterschrift:

---

Vielen Dank für deine Mitarbeit! Melanie

Probandenerfassungsbogen 2:

Name: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Wie fühlst du dich heute?

\_\_\_\_\_

leistungsschwach                      leistungsstark

Vielen Dank für deine Mitarbeit! Melanie

Probandenerfassungsbogen 3:

Name: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Größe: \_\_\_\_\_ Gewicht: \_\_\_\_\_ BMI: \_\_\_\_\_ Fettgehalt: \_\_\_\_\_

Vitalkapazität: \_\_\_\_\_

Wie fühlst du dich heute?

\_\_\_\_\_

leistungsschwach                      leistungsstark

Vielen Dank für deine Mitarbeit! Melanie

Versuchsprotokoll:

**Name**                                  Datum                                  Uhrzeit:                                  Atmung mit / ohne

**25m**    Frequenz  
**Zeit**    25m    K4 ID-Nr.:

**50m**    Frequenz  
**Zeit**    50m    Laktat Nr.:

Minute	Herzfrequenz	Laktat	Belastungsgrad
Ruhe 1			x
Ruhe 2			x
sofort		x	
1.			
3.			x
5.			
7.			x
10.			

Sonstiges  
Zeit Anschlag-Maske auf:

## 8.2 Tabellen und Abbildungen

Tab.21: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	16,87 ± 3,20	15,40 ± 2,26	n.s.
20-40	11,40 ± 1,38	11,07 ± 1,58	n.s.
40-60	8,70 ± 1,37	8,37 ± 1,47	n.s.
60-300	47,24 ± 8,83	43,78 ± 9,54	n.s.
0-300	84,20 ± 12,49	78,62 ± 13,08	n.s.

Tab.22: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	15,25 ± 3,00	15,64 ± 1,93	n.s.
20-40	10,62 ± 1,80	10,99 ± 1,63	n.s.
40-60	7,51 ± 1,50	7,90 ± 1,44	n.s.
60-300	40,62 ± 9,65	40,63 ± 8,36	n.s.
0-300	74,00 ± 13,98	75,16 ± 12,11	n.s.

Tab.23: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	16,87 ± 3,20	15,25 ± 3,00	n.s.
20-40	11,40 ± 1,38	10,62 ± 1,80	n.s.
40-60	8,70 ± 1,37	7,51 ± 1,50	*
60-300	47,24 ± 8,83	40,62 ± 9,65	*
0-300	84,20 ± 12,49	74,00 ± 13,98	*

## 8 Anhang

Tab.24: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	15,40 ± 2,26	15,64 ± 1,93	n.s.
20-40	11,07 ± 1,58	10,99 ± 1,63	n.s.
40-60	8,37 ± 1,47	7,90 ± 1,44	n.s.
60-300	43,78 ± 9,54	40,63 ± 8,36	n.s.
0-300	78,62 ± 13,08	75,16 ± 12,11	n.s.

Tab.25: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	54,33 ± 9,53	52,31 ± 9,31	n.s.
5	42,80 ± 10,00	45,72 ± 6,20	n.s.
8	34,60 ± 11,14	41,38 ± 7,35	*
11	34,06 ± 9,88	39,19 ± 7,34	n.s.
14	40,04 ± 9,16	40,14 ± 6,27	n.s.
17	39,63 ± 7,68	38,83 ± 6,61	n.s.
20	41,99 ± 5,70	40,37 ± 8,02	n.s.
23	39,70 ± 8,03	39,49 ± 5,22	n.s.
26	40,82 ± 5,11	38,06 ± 4,86	*
29	38,08 ± 4,83	35,72 ± 4,88	n.s.
32	37,52 ± 5,10	34,41 ± 5,20	n.s.
35	35,57 ± 4,53	32,72 ± 5,07	n.s.
38	32,95 ± 4,61	29,92 ± 5,94	*
41	31,21 ± 5,33	28,61 ± 6,04	n.s.
44	29,07 ± 4,33	27,83 ± 5,52	n.s.
47	25,80 ± 5,57	24,88 ± 5,04	n.s.
50	25,92 ± 5,28	23,28 ± 4,57	n.s.
53	22,66 ± 4,08	21,21 ± 5,60	n.s.
56	21,11 ± 4,05	22,89 ± 6,31	n.s.

## 8 Anhang

60	20,24 ± 4,33	20,04 ± 4,11	n.s.
70	18,53 ± 3,48	17,76 ± 3,65	n.s.
80	17,45 ± 3,29	16,16 ± 3,01	n.s.
90	14,79 ± 2,61	15,10 ± 3,25	n.s.
100	13,75 ± 2,78	13,77 ± 3,20	n.s.
110	13,77 ± 3,74	13,13 ± 3,39	n.s.
120	12,61 ± 2,83	12,27 ± 2,92	n.s.
130	11,82 ± 2,12	11,50 ± 2,59	n.s.
140	12,33 ± 2,60	10,97 ± 3,11	n.s.
150	11,49 ± 1,88	10,34 ± 2,54	n.s.
160	11,73 ± 2,10	10,65 ± 2,62	n.s.
170	11,51 ± 2,24	10,54 ± 2,79	n.s.
180	11,07 ± 2,45	10,23 ± 2,84	n.s.
190	10,59 ± 2,12	9,49 ± 2,81	n.s.
200	11,02 ± 2,11	9,86 ± 2,86	n.s.
210	10,71 ± 2,38	9,69 ± 2,50	n.s.
220	10,05 ± 2,14	8,92 ± 2,16	n.s.
230	9,59 ± 2,04	8,61 ± 2,67	n.s.
240	9,73 ± 2,01	8,68 ± 2,48	n.s.
250	9,35 ± 2,13	8,28 ± 2,38	n.s.
260	8,98 ± 2,14	8,13 ± 2,15	n.s.
270	8,79 ± 2,12	8,10 ± 2,07	n.s.
280	8,44 ± 2,25	7,85 ± 2,06	n.s.
290	8,45 ± 2,33	7,42 ± 2,00	n.s.
300	8,15 ± 2,26	7,77 ± 2,28	n.s.

Tab.26: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	51,29 ± 7,86	55,42 ± 6,98	n.s.
5	40,70 ± 13,06	49,55 ± 6,46	*
8	31,26 ± 10,13	45,12 ± 5,46	***

## 8 Anhang

---

11	32,90 ± 11,82	42,37 ± 6,37	*
14	37,73 ± 10,76	44,15 ± 7,62	n.s.
17	37,14 ± 6,33	40,83 ± 6,07	*
20	38,68 ± 7,40	37,16 ± 7,74	n.s.
23	37,54 ± 7,68	38,20 ± 7,20	n.s.
26	37,83 ± 7,67	36,72 ± 5,52	n.s.
29	36,42 ± 7,87	35,53 ± 5,79	n.s.
32	33,10 ± 6,65	34,09 ± 6,00	n.s.
35	30,88 ± 5,53	31,18 ± 5,85	n.s.
38	29,99 ± 7,58	29,60 ± 6,26	n.s.
41	27,84 ± 7,25	27,36 ± 4,84	n.s.
44	25,86 ± 6,62	26,49 ± 4,57	n.s.
47	23,64 ± 6,53	23,96 ± 5,25	n.s.
50	22,41 ± 5,50	22,85 ± 4,43	n.s.
53	21,03 ± 6,70	21,06 ± 4,62	n.s.
56	20,41 ± 5,48	19,74 ± 4,42	n.s.
60	18,40 ± 5,02	17,62 ± 4,05	n.s.
70	16,45 ± 3,55	16,47 ± 3,15	n.s.
80	14,24 ± 3,35	15,06 ± 3,20	n.s.
90	13,38 ± 3,07	13,06 ± 3,02	n.s.
100	13,03 ± 3,44	12,07 ± 2,22	n.s.
110	12,31 ± 2,98	12,29 ± 2,76	n.s.
120	11,35 ± 2,18	11,32 ± 3,37	n.s.
130	11,36 ± 3,30	11,66 ± 2,27	n.s.
140	11,24 ± 2,69	10,44 ± 2,13	n.s.
150	10,53 ± 2,51	9,93 ± 2,25	n.s.
160	10,30 ± 2,38	10,11 ± 2,05	n.s.
170	9,85 ± 2,29	9,73 ± 1,72	n.s.
180	9,62 ± 2,70	9,25 ± 2,04	n.s.
190	9,03 ± 2,17	9,35 ± 3,16	n.s.
200	9,04 ± 2,32	8,95 ± 2,51	n.s.
210	9,36 ± 3,29	8,72 ± 2,04	n.s.
220	8,30 ± 2,84	8,36 ± 2,57	n.s.



## 8 Anhang

230	8,13 ± 3,20	7,85 ± 2,22	n.s.
240	8,32 ± 2,47	8,00 ± 2,36	n.s.
250	7,81 ± 1,68	7,83 ± 1,90	n.s.
260	7,83 ± 2,57	8,09 ± 2,32	n.s.
270	7,21 ± 2,43	7,55 ± 1,86	n.s.
280	6,85 ± 2,36	7,60 ± 2,69	n.s.
290	6,52 ± 2,28	7,25 ± 2,13	n.s.
300	6,88 ± 2,75	7,24 ± 2,19	n.s.

Tab.27: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	54,33 ± 9,53	51,29 ± 7,86	n.s.
5	42,80 ± 10,00	40,70 ± 13,06	n.s.
8	34,60 ± 11,14	31,26 ± 10,13	n.s.
11	34,06 ± 9,88	32,90 ± 11,82	n.s.
14	40,04 ± 9,16	37,73 ± 10,76	n.s.
17	39,63 ± 7,68	37,14 ± 6,33	n.s.
20	41,99 ± 5,70	38,68 ± 7,40	n.s.
23	39,70 ± 8,03	37,54 ± 7,68	n.s.
26	40,82 ± 5,11	37,83 ± 7,67	n.s.
29	38,08 ± 4,83	36,42 ± 7,87	n.s.
32	37,52 ± 5,10	33,10 ± 6,65	n.s.
35	35,57 ± 4,53	30,88 ± 5,53	*
38	32,95 ± 4,61	29,99 ± 7,58	n.s.
41	31,21 ± 5,33	27,84 ± 7,25	n.s.
44	29,07 ± 4,33	25,86 ± 6,62	n.s.
47	25,80 ± 5,57	23,64 ± 6,53	n.s.
50	25,92 ± 5,28	22,41 ± 5,50	n.s.
53	22,66 ± 4,08	21,03 ± 6,70	n.s.
56	21,11 ± 4,05	20,41 ± 5,48	n.s.
60	20,24 ± 4,33	18,40 ± 5,02	n.s.

## 8 Anhang

70	18,53 ± 3,48	16,45 ± 3,55	*
80	17,45 ± 3,29	14,24 ± 3,35	**
90	14,79 ± 2,61	13,38 ± 3,07	n.s.
100	13,75 ± 2,78	13,03 ± 3,44	n.s.
110	13,77 ± 3,74	12,31 ± 2,98	n.s.
120	12,61 ± 2,83	11,35 ± 2,18	n.s.
130	11,82 ± 2,12	11,36 ± 3,30	n.s.
140	12,33 ± 2,60	11,24 ± 2,69	n.s.
150	11,49 ± 1,88	10,53 ± 2,51	n.s.
160	11,73 ± 2,10	10,30 ± 2,38	n.s.
170	11,51 ± 2,24	9,85 ± 2,29	*
180	11,07 ± 2,45	9,62 ± 2,70	n.s.
190	10,59 ± 2,12	9,03 ± 2,17	**
200	11,02 ± 2,11	9,04 ± 2,32	*
210	10,71 ± 2,38	9,36 ± 3,29	n.s.
220	10,05 ± 2,14	8,30 ± 2,84	n.s.
230	9,59 ± 2,04	8,13 ± 3,20	n.s.
240	9,73 ± 2,01	8,32 ± 2,47	n.s.
250	9,35 ± 2,13	7,81 ± 1,68	*
260	8,98 ± 2,14	7,83 ± 2,57	n.s.
270	8,79 ± 2,12	7,21 ± 2,43	n.s.
280	8,44 ± 2,25	6,85 ± 2,36	*
290	8,45 ± 2,33	6,52 ± 2,28	**
300	8,15 ± 2,26	6,88 ± 2,75	n.s.

Tab.28: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	52,31 ± 9,31	55,42 ± 6,98	n.s.
5	45,72 ± 6,20	49,55 ± 6,46	n.s.
8	41,38 ± 7,35	45,12 ± 5,46	n.s.
11	39,19 ± 7,34	42,37 ± 6,37	n.s.

## 8 Anhang

---

14	40,14 ± 6,27	44,15 ± 7,62	n.s.
17	38,83 ± 6,61	40,83 ± 6,07	n.s.
20	40,37 ± 8,02	37,16 ± 7,74	n.s.
23	39,49 ± 5,22	38,20 ± 7,20	n.s.
26	38,06 ± 4,86	36,72 ± 5,52	n.s.
29	35,72 ± 4,88	35,53 ± 5,79	n.s.
32	34,41 ± 5,20	34,09 ± 6,00	n.s.
35	32,72 ± 5,07	31,18 ± 5,85	n.s.
38	29,92 ± 5,94	29,60 ± 6,26	n.s.
41	28,61 ± 6,04	27,36 ± 4,84	n.s.
44	27,83 ± 5,52	26,49 ± 4,57	n.s.
47	24,88 ± 5,04	23,96 ± 5,25	n.s.
50	23,28 ± 4,57	22,85 ± 4,43	n.s.
53	21,21 ± 5,60	21,06 ± 4,62	n.s.
56	22,89 ± 6,31	19,74 ± 4,42	n.s.
60	20,04 ± 4,11	17,62 ± 4,05	n.s.
70	17,76 ± 3,65	16,47 ± 3,15	n.s.
80	16,16 ± 3,01	15,06 ± 3,20	n.s.
90	15,10 ± 3,25	13,06 ± 3,02	n.s.
100	13,77 ± 3,20	12,07 ± 2,22	n.s.
110	13,13 ± 3,39	12,29 ± 2,76	n.s.
120	12,27 ± 2,92	11,32 ± 3,37	n.s.
130	11,50 ± 2,59	11,66 ± 2,27	n.s.
140	10,97 ± 3,11	10,44 ± 2,13	n.s.
150	10,34 ± 2,54	9,93 ± 2,25	n.s.
160	10,65 ± 2,62	10,11 ± 2,05	n.s.
170	10,54 ± 2,79	9,73 ± 1,72	n.s.
180	10,23 ± 2,84	9,25 ± 2,04	n.s.
190	9,49 ± 2,81	9,35 ± 3,16	n.s.
200	9,86 ± 2,86	8,95 ± 2,51	n.s.
210	9,69 ± 2,50	8,72 ± 2,04	n.s.
220	8,92 ± 2,16	8,36 ± 2,57	n.s.
230	8,61 ± 2,67	7,85 ± 2,22	n.s.

## 8 Anhang

240	8,68 ± 2,48	8,00 ± 2,36	n.s.
250	8,28 ± 2,38	7,83 ± 1,90	n.s.
260	8,13 ± 2,15	8,09 ± 2,32	n.s.
270	8,10 ± 2,07	7,55 ± 1,86	n.s.
280	7,85 ± 2,06	7,60 ± 2,69	n.s.
290	7,42 ± 2,00	7,25 ± 2,13	n.s.
300	7,77 ± 2,28	7,24 ± 2,19	n.s.

Tab.29: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	17,56 ± 4,37	14,11 ± 2,05	*
20-40	10,96 ± 1,20	10,07 ± 1,37	*
40-60	8,55 ± 1,21	7,47 ± 1,25	*
60-300	47,80 ± 7,29	40,73 ± 12,06	n.s.
0-300	84,87 ± 12,42	72,39 ± 15,22	*

Tab.30: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	16,16 ± 4,10	16,31 ± 1,92	n.s.
20-40	10,23 ± 1,95	10,79 ± 2,13	n.s.
40-60	7,42 ± 1,91	7,58 ± 1,89	n.s.
60-300	41,29 ± 12,44	39,52 ± 8,34	n.s.
0-300	75,09 ± 19,01	74,21 ± 13,36	n.s.

Tab.31: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	17,56 ± 4,37	16,16 ± 4,10	n.s.
20-40	10,96 ± 1,20	10,23 ± 1,95	n.s.

## 8 Anhang

40-60	8,55 ± 1,21	7,42 ± 1,91	n.s.
60-300	47,80 ± 7,29	41,29 ± 12,44	n.s.
0-300	84,87 ± 12,42	75,09 ± 19,01	n.s.

Tab.32: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	14,11 ± 2,05	16,31 ± 1,92	*
20-40	10,07 ± 1,37	10,79 ± 2,13	n.s.
40-60	7,47 ± 1,25	7,58 ± 1,89	n.s.
60-300	40,73 ± 12,06	39,52 ± 8,34	n.s.
0-300	72,39 ± 15,22	74,21 ± 13,36	n.s.

Tab.33: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	52,50 ± 8,84	48,93 ± 8,26	*
5	40,06 ± 8,75	44,07 ± 5,80	n.s.
8	28,94 ± 11,30	42,66 ± 7,69	*
11	28,19 ± 10,74	38,84 ± 6,81	n.s.
14	36,22 ± 11,89	38,41 ± 4,58	n.s.
17	36,27 ± 8,34	37,69 ± 5,87	n.s.
20	41,07 ± 6,59	35,07 ± 8,36	*
23	40,69 ± 5,94	37,81 ± 7,39	n.s.
26	38,91 ± 5,99	36,10 ± 6,22	*
29	36,89 ± 5,41	33,20 ± 5,04	*
32	37,05 ± 5,71	30,24 ± 1,98	*
35	34,82 ± 5,18	28,45 ± 3,29	*
38	32,10 ± 5,31	25,87 ± 4,19	*
41	30,79 ± 5,68	26,45 ± 5,53	n.s.
44	29,91 ± 5,69	24,61 ± 4,80	n.s.

## 8 Anhang

---

47	25,02 ± 5,65	21,62 ± 4,35	n.s.
50	24,72 ± 5,96	20,22 ± 2,41	*
53	21,18 ± 4,32	18,75 ± 2,70	n.s.
56	21,22 ± 5,44	19,58 ± 3,50	n.s.
60	20,19 ± 5,22	18,74 ± 3,70	n.s.
70	19,09 ± 3,38	15,78 ± 2,47	n.s.
80	16,76 ± 2,96	15,06 ± 1,94	n.s.
90	14,12 ± 2,38	13,80 ± 2,72	n.s.
100	12,91 ± 1,80	12,83 ± 2,90	n.s.
110	13,31 ± 2,11	12,21 ± 3,06	n.s.
120	12,72 ± 20,6	12,10 ± 3,84	n.s.
130	12,63 ± 2,00	10,77 ± 3,00	n.s.
140	12,47 ± 2,54	10,65 ± 4,19	n.s.
150	11,82 ± 1,59	9,65 ± 3,14	n.s.
160	12,49 ± 1,75	10,25 ± 3,72	n.s.
170	11,93 ± 2,14	10,11 ± 4,05	n.s.
180	11,82 ± 1,62	10,16 ± 4,38	n.s.
190	11,20 ± 1,67	9,57 ± 4,17	n.s.
200	11,59 ± 1,45	9,40 ± 4,04	n.s.
210	11,16 ± 1,79	8,42 ± 3,19	*
220	10,88 ± 1,49	8,30 ± 2,99	*
230	10,39 ± 1,37	7,70 ± 3,49	n.s.
240	10,37 ± 1,31	7,95 ± 3,35	n.s.
250	9,77 ± 2,19	7,70 ± 3,37	n.s.
260	9,03 ± 2,15	7,81 ± 2,69	n.s.
270	8,83 ± 2,08	7,53 ± 2,78	n.s.
280	8,80 ± 2,16	7,42 ± 2,84	n.s.
290	9,00 ± 1,88	7,24 ± 2,96	n.s.
300	8,38 ± 2,25	7,61 ± 3,42	n.s.

## 8 Anhang

Tab.34: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	50,87 ± 8,02	57,82 ± 5,82	n.s.
5	38,62 ± 9,53	51,65 ± 4,37	*
8	31,03 ± 12,74	48,11 ± 5,12	*
11	31,72 ± 17,03	45,90 ± 5,71	*
14	35,04 ± 14,86	45,78 ± 8,66	*
17	38,81 ± 8,38	43,33 ± 8,13	*
20	38,56 ± 6,65	36,74 ± 10,40	n.s.
23	34,12 ± 6,51	36,47 ± 10,19	n.s.
26	36,34 ± 6,01	36,50 ± 6,58	n.s.
29	32,37 ± 7,08	35,04 ± 7,57	n.s.
32	29,17 ± 6,45	33,52 ± 7,85	n.s.
35	29,33 ± 5,48	30,86 ± 7,20	n.s.
38	29,16 ± 8,78	29,91 ± 6,68	n.s.
41	26,88 ± 7,82	27,64 ± 5,63	n.s.
44	24,59 ± 5,97	26,19 ± 4,37	n.s.
47	22,43 ± 6,38	24,18 ± 7,10	n.s.
50	22,13 ± 6,52	22,59 ± 5,19	n.s.
53	21,10 ± 6,37	20,53 ± 5,32	n.s.
56	19,20 ± 5,10	20,09 ± 4,66	n.s.
60	18,19 ± 4,46	16,64 ± 4,54	n.s.
70	15,53 ± 3,47	16,02 ± 3,83	n.s.
80	13,12 ± 4,35	15,46 ± 3,14	n.s.
90	13,04 ± 3,90	13,26 ± 2,87	n.s.
100	13,47 ± 4,35	11,35 ± 1,64	n.s.
110	12,41 ± 3,91	12,30 ± 2,63	n.s.
120	11,10 ± 2,80	10,47 ± 2,35	n.s.
130	11,04 ± 4,41	11,40 ± 1,34	n.s.
140	11,25 ± 3,33	9,53 ± 1,75	n.s.
150	10,83 ± 2,69	9,74 ± 1,71	n.s.

## 8 Anhang

160	10,86 ± 2,28	9,85 ± 2,59	n.s.
170	9,76 ± 2,73	9,74 ± 1,54	n.s.
180	10,55 ± 2,53	8,96 ± 1,67	n.s.
190	9,33 ± 2,43	9,30 ± 3,46	n.s.
200	9,62 ± 2,89	9,37 ± 3,57	n.s.
210	10,12 ± 4,53	8,15 ± 2,10	n.s.
220	8,46 ± 3,92	8,30 ± 3,03	n.s.
230	8,70 ± 4,45	7,73 ± 2,95	n.s.
240	8,32 ± 3,37	7,85 ± 2,99	n.s.
250	8,10 ± 1,69	7,50 ± 1,90	n.s.
260	7,84 ± 3,28	8,08 ± 2,78	n.s.
270	7,35 ± 3,25	7,25 ± 1,43	n.s.
280	6,60 ± 3,17	7,27 ± 2,25	n.s.
290	6,29 ± 2,68	6,75 ± 2,32	n.s.
300	7,25 ± 3,51	7,20 ± 2,89	n.s.

Tab.35: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	52,50 ± 8,84	50,87 ± 8,02	n.s.
5	40,06 ± 8,75	38,62 ± 9,53	n.s.
8	28,94 ± 11,30	31,03 ± 12,74	n.s.
11	28,19 ± 10,74	31,72 ± 17,03	n.s.
14	36,22 ± 11,89	35,04 ± 14,86	n.s.
17	36,27 ± 8,34	38,81 ± 8,38	n.s.
20	41,07 ± 6,59	38,56 ± 6,65	n.s.
23	40,69 ± 5,94	34,12 ± 6,51	n.s.
26	38,91 ± 5,99	36,34 ± 6,01	n.s.
29	36,89 ± 5,41	32,37 ± 7,08	n.s.
32	37,05 ± 5,71	29,17 ± 6,45	n.s.
35	34,82 ± 5,18	29,33 ± 5,48	*
38	32,10 ± 5,31	29,16 ± 8,78	n.s.



## 8 Anhang

---

41	30,79 ± 5,68	26,88 ± 7,82	n.s.
44	29,91 ± 5,69	24,59 ± 5,97	n.s.
47	25,02 ± 5,65	22,43 ± 6,38	n.s.
50	24,72 ± 5,96	22,13 ± 6,52	n.s.
53	21,18 ± 4,32	21,10 ± 6,37	n.s.
56	21,22 ± 5,44	19,20 ± 5,10	n.s.
60	20,19 ± 5,22	18,19 ± 4,46	n.s.
70	19,09 ± 3,38	15,53 ± 3,47	*
80	16,76 ± 2,96	13,12 ± 4,35	n.s.
90	14,12 ± 2,38	13,04 ± 3,90	n.s.
100	12,91 ± 1,80	13,47 ± 4,35	n.s.
110	13,31 ± 2,11	12,41 ± 3,91	n.s.
120	12,72 ± 20,6	11,10 ± 2,80	n.s.
130	12,63 ± 2,00	11,04 ± 4,41	n.s.
140	12,47 ± 2,54	11,25 ± 3,33	n.s.
150	11,82 ± 1,59	10,83 ± 2,69	n.s.
160	12,49 ± 1,75	10,86 ± 2,28	n.s.
170	11,93 ± 2,14	9,76 ± 2,73	n.s.
180	11,82 ± 1,62	10,55 ± 2,53	n.s.
190	11,20 ± 1,67	9,33 ± 2,43	*
200	11,59 ± 1,45	9,62 ± 2,89	n.s.
210	11,16 ± 1,79	10,12 ± 4,53	n.s.
220	10,88 ± 1,49	8,46 ± 3,92	n.s.
230	10,39 ± 1,37	8,70 ± 4,45	n.s.
240	10,37 ± 1,31	8,32 ± 3,37	n.s.
250	9,77 ± 2,19	8,10 ± 1,69	n.s.
260	9,03 ± 2,15	7,84 ± 3,28	n.s.
270	8,83 ± 2,08	7,35 ± 3,25	n.s.
280	8,80 ± 2,16	6,60 ± 3,17	n.s.
290	9,00 ± 1,88	6,29 ± 2,68	*
300	8,38 ± 2,25	7,25 ± 3,51	n.s.

## 8 Anhang

Tab.36: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	48,93 ± 8,26	57,82 ± 5,82	*
5	44,07 ± 5,80	51,65 ± 4,37	*
8	42,66 ± 7,69	48,11 ± 5,12	n.s.
11	38,84 ± 6,81	45,90 ± 5,71	*
14	38,41 ± 4,58	45,78 ± 8,66	*
17	37,69 ± 5,87	43,33 ± 8,13	n.s.
20	35,07 ± 8,36	36,74 ± 10,40	n.s.
23	37,81 ± 7,39	36,47 ± 10,19	n.s.
26	36,10 ± 6,22	36,50 ± 6,58	n.s.
29	33,20 ± 5,04	35,04 ± 7,57	n.s.
32	30,24 ± 1,98	33,52 ± 7,85	n.s.
35	28,45 ± 3,29	30,86 ± 7,20	n.s.
38	25,87 ± 4,19	29,91 ± 6,68	n.s.
41	26,45 ± 5,53	27,64 ± 5,63	n.s.
44	24,61 ± 4,80	26,19 ± 4,37	n.s.
47	21,62 ± 4,35	24,18 ± 7,10	n.s.
50	20,22 ± 2,41	22,59 ± 5,19	n.s.
53	18,75 ± 2,70	20,53 ± 5,32	n.s.
56	19,58 ± 3,50	20,09 ± 4,66	n.s.
60	18,74 ± 3,70	16,64 ± 4,54	n.s.
70	15,78 ± 2,47	16,02 ± 3,83	n.s.
80	15,06 ± 1,94	15,46 ± 3,14	n.s.
90	13,80 ± 2,72	13,26 ± 2,87	n.s.
100	12,83 ± 2,90	11,35 ± 1,64	n.s.
110	12,21 ± 3,06	12,30 ± 2,63	n.s.
120	12,10 ± 3,84	10,47 ± 2,35	n.s.
130	10,77 ± 3,00	11,40 ± 1,34	n.s.
140	10,65 ± 4,19	9,53 ± 1,75	n.s.
150	9,65 ± 3,14	9,74 ± 1,71	n.s.

## 8 Anhang

160	10,25 ± 3,72	9,85 ± 2,59	n.s.
170	10,11 ± 4,05	9,74 ± 1,54	n.s.
180	10,16 ± 4,38	8,96 ± 1,67	n.s.
190	9,57 ± 4,17	9,30 ± 3,46	n.s.
200	9,40 ± 4,04	9,37 ± 3,57	n.s.
210	8,42 ± 3,19	8,15 ± 2,10	n.s.
220	8,30 ± 2,99	8,30 ± 3,03	n.s.
230	7,70 ± 3,49	7,73 ± 2,95	n.s.
240	7,95 ± 3,35	7,85 ± 2,99	n.s.
250	7,70 ± 3,37	7,50 ± 1,90	n.s.
260	7,81 ± 2,69	8,08 ± 2,78	n.s.
270	7,53 ± 2,78	7,25 ± 1,43	n.s.
280	7,42 ± 2,84	7,27 ± 2,25	n.s.
290	7,24 ± 2,96	6,75 ± 2,32	n.s.
300	7,61 ± 3,42	7,20 ± 2,89	n.s.

Tab.37: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	16,34 ± 2,18	16,36 ± 2,01	n.s.
20-40	11,73 ± 1,48	11,83 ± 1,34	n.s.
40-60	8,80 ± 1,55	9,05 ± 1,29	n.s.
60-300	46,82 ± 10,30	46,07 ± 7,15	n.s.
0-300	83,70 ± 13,38	83,30 ± 9,69	n.s.

Tab.38: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	14,57 ± 1,86	15,14 ± 1,90	n.s.
20-40	10,92 ± 1,74	11,13 ± 1,28	n.s.
40-60	7,58 ± 1,26	8,14 ± 1,07	n.s.
60-300	40,12 ± 7,87	41,47 ± 8,85	n.s.

## 8 Anhang

0-300	73,19 ± 10,15	75,87 ± 11,99	n.s.
-------	---------------	---------------	------

Tab.39: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	16,34 ± 2,18	14,57 ± 1,86	n.s.
20-40	11,73 ± 1,48	10,92 ± 1,74	n.s.
40-60	8,80 ± 1,55	7,58 ± 1,26	n.s.
60-300	46,82 ± 10,30	40,12 ± 7,87	n.s.
0-300	83,70 ± 13,38	73,19 ± 10,15	*

Tab.40: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	16,36 ± 2,01	15,14 ± 1,90	n.s.
20-40	11,83 ± 1,34	11,13 ± 1,28	n.s.
40-60	9,05 ± 1,29	8,14 ± 1,07	n.s.
60-300	46,07 ± 7,15	41,47 ± 8,85	n.s.
0-300	83,30 ± 9,69	75,87 ± 11,99	n.s.

Tab.41: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	55,71 ± 10,38	54,84 ± 9,76	n.s.
5	44,85 ± 10,95	46,97 ± 6,58	n.s.
8	38,85 ± 9,54	40,43 ± 7,45	n.s.
11	38,47 ± 6,86	39,45 ± 8,116	n.s.
14	42,89 ± 5,75	41,44 ± 7,32	n.s.
17	42,16 ± 6,54	39,68 ± 7,38	n.s.

## 8 Anhang

---

20	42,68 ± 5,29	44,34 ± 5,23	n.s.
23	38,96 ± 9,65	40,76 ± 2,73	n.s.
26	42,25 ± 4,16	39,53 ± 3,24	n.s.
29	38,98 ± 4,50	37,61 ± 4,08	n.s.
32	37,87 ± 4,98	37,54 ± 4,62	n.s.
35	36,13 ± 4,25	35,92 ± 3,57	n.s.
38	33,60 ± 4,26	32,96 ± 5,32	n.s.
41	31,53 ± 5,41	30,23 ± 6,23	n.s.
44	28,44 ± 3,26	30,24 ± 4,96	n.s.
47	26,39 ± 5,81	27,32 ± 4,22	n.s.
50	26,82 ± 4,93	25,57 ± 4,55	n.s.
53	23,77 ± 3,78	23,06 ± 6,64	n.s.
56	21,03 ± 3,06	25,36 ± 6,98	n.s.
60	20,27 ± 3,92	21,03 ± 4,36	n.s.
70	18,12 ± 3,73	19,25 ± 3,80	n.s.
80	17,97 ± 3,62	16,99 ± 3,52	n.s.
90	15,30 ± 2,81	16,07 ± 3,44	n.s.
100	14,38 ± 3,31	14,47 ± 3,41	n.s.
110	14,12 ± 4,74	13,82 ± 3,66	n.s.
120	12,53 ± 3,44	12,39 ± 2,30	n.s.
130	11,21 ± 2,12	12,05 ± 2,28	n.s.
140	12,23 ± 2,80	11,20 ± 2,29	n.s.
150	11,23 ± 2,15	10,85 ± 2,06	n.s.
160	11,17 ± 2,28	10,95 ± 1,62	n.s.
170	11,19 ± 2,40	10,87 ± 1,59	n.s.
180	10,50 ± 2,90	10,28 ± 1,13	n.s.
190	10,14 ± 2,41	9,44 ± 1,50	n.s.
200	10,59 ± 2,51	10,20 ± 1,77	n.s.
210	10,37 ± 2,81	10,64 ± 1,39	n.s.
220	9,43 ± 2,43	9,39 ± 1,29	n.s.
230	8,99 ± 2,33	9,30 ± 1,81	n.s.
240	9,24 ± 2,37	9,23 ± 1,64	n.s.
250	9,04 ± 2,18	8,71 ± 1,40	n.s.

## 8 Anhang

260	8,95 ± 2,29	8,37 ± 1,80	n.s.
270	8,76 ± 2,28	8,53 ± 1,40	n.s.
280	8,16 ± 2,43	8,17 ± 1,37	n.s.
290	8,04 ± 2,66	7,56 ± 1,07	n.s.
300	7,98 ± 2,41	7,89 ± 1,11	n.s.

Tab.42: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	51,62 ± 8,28	53,62 ± 7,59	n.s.
5	42,26 ± 15,67	47,98 ± 7,56	n.s.
8	31,43 ± 8,63	42,87 ± 4,82	*
11	33,78 ± 7,10	39,73 ± 5,78	n.s.
14	39,76 ± 6,80	42,92 ± 7,09	n.s.
17	35,88 ± 4,49	38,96 ± 3,43	n.s.
20	38,78 ± 8,37	37,48 ± 5,81	n.s.
23	40,11 ± 7,86	39,50 ± 4,20	n.s.
26	38,94 ± 8,95	36,88 ± 5,06	n.s.
29	39,45 ± 7,39	35,90 ± 4,57	n.s.
32	36,04 ± 5,43	34,52 ± 4,73	n.s.
35	32,05 ± 5,63	31,41 ± 5,13	n.s.
38	30,61 ± 7,10	29,36 ± 6,38	n.s.
41	28,56 ± 7,25	27,15 ± 4,55	n.s.
44	26,82 ± 7,32	26,72 ± 5,00	n.s.
47	24,56 ± 6,90	23,80 ± 3,90	n.s.
50	22,62 ± 5,09	23,04 ± 4,13	n.s.
53	20,98 ± 7,37	21,45 ± 4,36	n.s.
56	21,31 ± 5,92	19,48 ± 4,54	n.s.
60	18,55 ± 5,69	18,35 ± 3,79	n.s.
70	17,15 ± 3,67	16,81 ± 2,76	n.s.
80	15,08 ± 2,32	14,76 ± 3,42	n.s.
90	13,64 ± 2,55	12,91 ± 3,32	n.s.

## 8 Anhang

100	12,70 ± 2,85	12,61 ± 2,55	n.s.
110	12,22 ± 2,35	12,28 ± 3,04	n.s.
120	11,55 ± 1,76	11,96 ± 4,00	n.s.
130	11,60 ± 2,50	11,86 ± 2,86	n.s.
140	11,23 ± 2,36	11,11 ± 2,25	n.s.
150	10,30 ± 2,53	10,06 ± 2,69	n.s.
160	9,89 ± 2,52	10,30 ± 1,70	n.s.
170	9,93 ± 2,09	9,73 ± 1,95	n.s.
180	8,92 ± 1,84	9,47 ± 2,36	n.s.
190	8,81 ± 2,10	9,39 ± 3,16	n.s.
200	8,60 ± 1,89	8,63 ± 1,51	n.s.
210	8,80 ± 2,14	9,15 ± 2,01	n.s.
220	8,18 ± 1,99	8,41 ± 2,40	n.s.
230	7,70 ± 2,09	7,94 ± 1,71	n.s.
240	8,32 ± 1,79	8,11 ± 2,00	n.s.
250	7,58 ± 1,75	8,08 ± 1,99	n.s.
260	7,82 ± 2,14	8,10 ± 2,12	n.s.
270	7,11 ± 1,86	7,77 ± 2,19	n.s.
280	7,04 ± 1,75	7,84 ± 3,11	n.s.
290	6,69 ± 2,10	7,62 ± 2,05	n.s.
300	6,59 ± 2,23	7,26 ± 1,72	n.s.

Tab.43: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	55,71 ± 10,38	51,62 ± 8,28	n.s.
5	44,85 ± 10,95	42,26 ± 15,67	n.s.
8	38,85 ± 9,54	31,43 ± 8,63	*
11	38,47 ± 6,86	33,78 ± 7,10	n.s.
14	42,89 ± 5,75	39,76 ± 6,80	n.s.
17	42,16 ± 6,54	35,88 ± 4,49	n.s.
20	42,68 ± 5,29	38,78 ± 8,37	n.s.

8 Anhang

23	38,96 ± 9,65	40,11 ± 7,86	n.s.
26	42,25 ± 4,16	38,94 ± 8,95	n.s.
29	38,98 ± 4,50	39,45 ± 7,39	n.s.
32	37,87 ± 4,98	36,04 ± 5,43	n.s.
35	36,13 ± 4,25	32,05 ± 5,63	n.s.
38	33,60 ± 4,26	30,61 ± 7,10	n.s.
41	31,53 ± 5,41	28,56 ± 7,25	n.s.
44	28,44 ± 3,26	26,82 ± 7,32	n.s.
47	26,39 ± 5,81	24,56 ± 6,90	n.s.
50	26,82 ± 4,93	22,62 ± 5,09	n.s.
53	23,77 ± 3,78	20,98 ± 7,37	n.s.
56	21,03 ± 3,06	21,31 ± 5,92	n.s.
60	20,27 ± 3,92	18,55 ± 5,69	n.s.
70	18,12 ± 3,73	17,15 ± 3,67	n.s.
80	17,97 ± 3,62	15,08 ± 2,32	*
90	15,30 ± 2,81	13,64 ± 2,55	*
100	14,38 ± 3,31	12,70 ± 2,85	n.s.
110	14,12 ± 4,74	12,22 ± 2,35	n.s.
120	12,53 ± 3,44	11,55 ± 1,76	n.s.
130	11,21 ± 2,12	11,60 ± 2,50	n.s.
140	12,23 ± 2,80	11,23 ± 2,36	n.s.
150	11,23 ± 2,15	10,30 ± 2,53	n.s.
160	11,17 ± 2,28	9,89 ± 2,52	n.s.
170	11,19 ± 2,40	9,93 ± 2,09	*
180	10,50 ± 2,90	8,92 ± 1,84	n.s.
190	10,14 ± 2,41	8,81 ± 2,10	*
200	10,59 ± 2,51	8,60 ± 1,89	*
210	10,37 ± 2,81	8,80 ± 2,14	*
220	9,43 ± 2,43	8,18 ± 1,99	n.s.
230	8,99 ± 2,33	7,70 ± 2,09	n.s.
240	9,24 ± 2,37	8,32 ± 1,79	n.s.
250	9,04 ± 2,18	7,58 ± 1,75	n.s.
260	8,95 ± 2,29	7,82 ± 2,14	n.s.



## 8 Anhang

270	8,76 ± 2,28	7,11 ± 1,86	*
280	8,16 ± 2,43	7,04 ± 1,75	n.s.
290	8,04 ± 2,66	6,69 ± 2,10	*
300	7,98 ± 2,41	6,59 ± 2,23	n.s.

Tab.44: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	54,84 ± 9,76	53,62 ± 7,59	n.s.
5	46,97 ± 6,58	47,98 ± 7,56	n.s.
8	40,43 ± 7,45	42,87 ± 4,82	n.s.
11	39,45 ± 8,116	39,73 ± 5,78	n.s.
14	41,44 ± 7,32	42,92 ± 7,09	n.s.
17	39,68 ± 7,38	38,96 ± 3,43	n.s.
20	44,34 ± 5,23	37,48 ± 5,81	*
23	40,76 ± 2,73	39,50 ± 4,20	n.s.
26	39,53 ± 3,24	36,88 ± 5,06	n.s.
29	37,61 ± 4,08	35,90 ± 4,57	n.s.
32	37,54 ± 4,62	34,52 ± 4,73	n.s.
35	35,92 ± 3,57	31,41 ± 5,13	n.s.
38	32,96 ± 5,32	29,36 ± 6,38	n.s.
41	30,23 ± 6,23	27,15 ± 4,55	n.s.
44	30,24 ± 4,96	26,72 ± 5,00	n.s.
47	27,32 ± 4,22	23,80 ± 3,90	n.s.
50	25,57 ± 4,55	23,04 ± 4,13	n.s.
53	23,06 ± 6,64	21,45 ± 4,36	n.s.
56	25,36 ± 6,98	19,48 ± 4,54	*
60	21,03 ± 4,36	18,35 ± 3,79	n.s.
70	19,25 ± 3,80	16,81 ± 2,76	n.s.
80	16,99 ± 3,52	14,76 ± 3,42	n.s.
90	16,07 ± 3,44	12,91 ± 3,32	*
100	14,47 ± 3,41	12,61 ± 2,55	n.s.

## 8 Anhang

110	13,82 ± 3,66	12,28 ± 3,04	n.s.
120	12,39 ± 2,30	11,96 ± 4,00	n.s.
130	12,05 ± 2,28	11,86 ± 2,86	n.s.
140	11,20 ± 2,29	11,11 ± 2,25	n.s.
150	10,85 ± 2,06	10,06 ± 2,69	n.s.
160	10,95 ± 1,62	10,30 ± 1,70	n.s.
170	10,87 ± 1,59	9,73 ± 1,95	n.s.
180	10,28 ± 1,13	9,47 ± 2,36	n.s.
190	9,44 ± 1,50	9,39 ± 3,16	n.s.
200	10,20 ± 1,77	8,63 ± 1,51	n.s.
210	10,64 ± 1,39	9,15 ± 2,01	n.s.
220	9,39 ± 1,29	8,41 ± 2,40	n.s.
230	9,30 ± 1,81	7,94 ± 1,71	n.s.
240	9,23 ± 1,64	8,11 ± 2,00	n.s.
250	8,71 ± 1,40	8,08 ± 1,99	n.s.
260	8,37 ± 1,80	8,10 ± 2,12	n.s.
270	8,53 ± 1,40	7,77 ± 2,19	n.s.
280	8,17 ± 1,37	7,84 ± 3,11	n.s.
290	7,56 ± 1,07	7,62 ± 2,05	n.s.
300	7,89 ± 1,11	7,26 ± 1,72	n.s.

Tab.45: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg in der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	62,62 ± 13,00	56,71 ± 10,51	n.s.
Trainingsgruppe	63,48 ± 12,51	50,66 ± 8,56	n.s.
Kontrollgruppe	61,98 ± 14,18	61,24 ± 9,90	n.s.
Sprinter	60,75 ± 15,04	57,45 ± 10,18	n.s.
Ausdauergruppe	64,67 ± 11,42	55,96 ± 11,59	n.s.

## 8 Anhang

Tab.46: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg in der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	58,00 ± 9,33	57,19 ± 7,28	n.s.
Trainingsgruppe	57,72 ± 9,75	59,84 ± 5,11	n.s.
Kontrollgruppe	58,21 ± 9,69	55,21 ± 8,33	n.s.
Sprinter	57,04 ± 10,42	57,02 ± 9,16	n.s.
Ausdauergruppe	58,96 ± 8,83	57,36 ± 5,57	n.s.

Tab.47: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg zum Zeitpunkt 1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	62,62 ± 13,00	58,00 ± 9,33	n.s.
Trainingsgruppe	63,48 ± 12,51	57,72 ± 9,75	n.s.
Kontrollgruppe	61,98 ± 14,18	58,21 ± 9,69	n.s.
Sprinter	60,75 ± 15,04	57,04 ± 10,42	n.s.
Ausdauergruppe	64,67 ± 11,42	58,96 ± 8,83	n.s.

Tab.48: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg zum Zeitpunkt 1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	56,71 ± 10,51	57,19 ± 7,28	n.s.
Trainingsgruppe	50,66 ± 8,56	59,84 ± 5,11	*
Kontrollgruppe	61,24 ± 9,90	55,21 ± 8,33	n.s.
Sprinter	57,45 ± 10,18	57,02 ± 9,16	n.s.
Ausdauergruppe	55,96 ± 11,59	57,36 ± 5,57	n.s.

Tab.49: Vergleich Δ VO<sub>2</sub>max zwischen Trainingsgruppe (n=6) und Kontrollgruppe (n=8) für den Sprint ohne Atmung und mit Atmung

	Δ VO <sub>2</sub> max in ml/min/kg in der Trainingsgruppe	Δ VO <sub>2</sub> max in ml/min/kg in der Kontrollgruppe	Signifikanzniveau
ohne Atmung	5,76 ± 16,95	3,76 ± 17,04	n.s.
mit Atmung	-9,18 ± 6,82	6,03 ± 6,32	**

## 8 Anhang

Tab.50: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	16,42 ± 2,23	15,46 ± 2,18	n.s.
20-40	11,58 ± 1,23	11,44 ± 1,37	n.s.
40-60	9,30 ± 1,29	8,63 ± 1,35	n.s.
60-300	49,71 ± 6,81	45,80 ± 9,22	n.s.
0-300	87,00 ± 8,77	81,32 ± 11,54	n.s.

Tab.51: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	15,46 ± 2,69	15,69 ± 2,27	n.s.
20-40	11,03 ± 1,81	11,44 ± 1,32	n.s.
40-60	7,99 ± 1,05	8,33 ± 1,08	n.s.
60-300	42,97 ± 4,67	44,29 ± 6,55	*
0-300	77,44 ± 8,45	79,75 ± 9,67	n.s.

Tab.52: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	16,42 ± 2,23	15,46 ± 2,69	n.s.
20-40	11,58 ± 1,23	11,03 ± 1,81	n.s.
40-60	9,30 ± 1,29	7,99 ± 1,05	n.s.
60-300	49,71 ± 6,81	42,97 ± 4,67	n.s.
0-300	87,00 ± 8,77	77,44 ± 8,45	n.s.

## 8 Anhang

Tab.53: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	15,46 ± 2,18	15,69 ± 2,27	n.s.
20-40	11,44 ± 1,37	11,44 ± 1,32	n.s.
40-60	8,63 ± 1,35	8,33 ± 1,08	n.s.
60-300	45,80 ± 9,22	44,29 ± 6,55	n.s.
0-300	81,32 ± 11,54	79,75 ± 9,67	n.s.

Tab.54: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	52,42 ± 10,23	52,32 ± 8,79	n.s.
5	42,74 ± 11,38	45,99 ± 3,28	n.s.
8	36,58 ± 10,18	41,37 ± 6,08	n.s.
11	37,37 ± 9,26	37,28 ± 3,42	n.s.
14	41,53 ± 7,14	39,83 ± 4,59	n.s.
17	40,68 ± 7,74	38,53 ± 6,64	n.s.
20	41,47 ± 3,30	41,25 ± 5,93	n.s.
23	38,50 ± 9,40	38,03 ± 3,91	n.s.
26	40,35 ± 4,07	38,57 ± 4,19	n.s.
29	38,50 ± 4,00	35,73 ± 3,70	n.s.
32	38,06 ± 4,93	34,00 ± 4,97	n.s.
35	36,54 ± 4,42	33,28 ± 4,16	n.s.
38	35,69 ± 3,90	30,68 ± 4,83	*
41	32,88 ± 4,34	30,48 ± 5,64	n.s.
44	30,47 ± 4,30	29,12 ± 4,79	n.s.
47	29,09 ± 5,47	26,88 ± 4,75	n.s.
50	27,68 ± 4,74	25,76 ± 4,69	n.s.
53	24,07 ± 4,14	24,00 ± 6,18	n.s.
56	23,14 ± 4,44	24,07 ± 6,19	n.s.

## 8 Anhang

60	22,29 ± 4,54	21,59 ± 4,64	n.s.
70	19,80 ± 3,36	18,99 ± 3,27	n.s.
80	18,34 ± 2,94	16,81 ± 3,55	n.s.
90	16,21 ± 2,14	15,72 ± 2,62	n.s.
100	14,27 ± 1,66	14,61 ± 2,50	n.s.
110	14,28 ± 3,37	13,54 ± 2,38	n.s.
120	12,72 ± 1,77	12,60 ± 2,31	n.s.
130	12,53 ± 1,80	11,92 ± 2,26	n.s.
140	12,57 ± 1,89	11,27 ± 2,58	n.s.
150	11,94 ± 1,57	10,60 ± 2,61	n.s.
160	11,69 ± 1,17	10,88 ± 2,64	n.s.
170	11,61 ± 1,73	10,61 ± 2,09	n.s.
180	10,78 ± 1,30	10,46 ± 1,89	n.s.
190	11,14 ± 1,41	9,57 ± 2,03	n.s.
200	11,69 ± 1,19	10,24 ± 2,54	n.s.
210	11,33 ± 1,86	10,21 ± 2,11	n.s.
220	10,70 ± 1,28	9,43 ± 2,02	n.s.
230	9,76 ± 1,83	9,04 ± 2,75	n.s.
240	9,89 ± 1,47	9,01 ± 2,62	n.s.
250	9,54 ± 1,93	8,80 ± 2,36	n.s.
260	9,62 ± 1,78	8,48 ± 1,98	n.s.
270	9,15 ± 1,77	8,61 ± 2,32	n.s.
280	9,04 ± 2,05	8,28 ± 2,07	n.s.
290	8,86 ± 1,89	8,05 ± 1,96	n.s.
300	8,40 ± 2,02	8,22 ± 2,26	n.s.

Tab.55: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	52,20 ± 8,51	54,94 ± 8,96	n.s.
5	44,98 ± 13,98	49,49 ± 6,95	n.s.
8	35,84 ± 8,12	45,02 ± 6,43	*

## 8 Anhang

---

11	35,22 ± 8,49	42,38 ± 6,83	n.s.
14	36,07 ± 10,48	44,34 ± 9,41	n.s.
17	37,19 ± 4,25	40,82 ± 6,04	n.s.
20	38,53 ± 8,52	39,43 ± 7,79	n.s.
23	40,39 ± 8,35	37,72 ± 5,20	n.s.
26	40,23 ± 6,05	36,05 ± 6,45	n.s.
29	38,33 ± 6,48	36,44 ± 5,92	n.s.
32	34,50 ± 7,60	35,63 ± 4,21	n.s.
35	32,08 ± 4,79	31,93 ± 4,84	n.s.
38	34,07 ± 5,59	31,62 ± 4,77	n.s.
41	31,74 ± 4,54	29,10 ± 3,97	n.s.
44	29,89 ± 4,36	28,30 ± 2,74	n.s.
47	26,87 ± 4,95	25,20 ± 3,16	n.s.
50	24,08 ± 3,25	24,46 ± 3,01	n.s.
53	24,69 ± 3,28	23,60 ± 3,11	n.s.
56	23,68 ± 3,10	21,56 ± 2,73	n.s.
60	21,52 ± 3,05	20,36 ± 1,50	n.s.
70	18,19 ± 1,05	18,41 ± 2,39	n.s.
80	16,09 ± 1,35	16,34 ± 2,52	n.s.
90	15,13 ± 0,87	14,59 ± 2,23	n.s.
100	13,85 ± 2,04	13,23 ± 2,05	n.s.
110	12,95 ± 1,74	13,20 ± 2,48	n.s.
120	12,09 ± 1,22	13,07 ± 3,28	n.s.
130	12,09 ± 2,17	12,53 ± 2,12	n.s.
140	11,28 ± 1,25	11,29 ± 1,79	n.s.
150	10,27 ± 1,54	11,00 ± 1,91	n.s.
160	10,96 ± 2,06	10,30 ± 1,57	n.s.
170	10,22 ± 1,19	10,06 ± 1,52	n.s.
180	9,84 ± 1,18	9,77 ± 2,22	n.s.
190	9,54 ± 1,71	10,45 ± 1,82	n.s.
200	9,17 ± 1,28	8,94 ± 1,29	n.s.
210	9,29 ± 2,02	8,95 ± 1,65	n.s.
220	8,51 ± 1,57	9,03 ± 1,91	n.s.

## 8 Anhang

230	8,85 ± 1,95	8,89 ± 1,23	n.s.
240	8,83 ± 2,09	8,81 ± 1,78	n.s.
250	8,14 ± 1,63	8,80 ± 1,91	n.s.
260	8,06 ± 1,72	8,63 ± 2,20	n.s.
270	7,46 ± 1,71	8,34 ± 2,07	n.s.
280	7,04 ± 1,45	8,62 ± 3,24	n.s.
290	6,75 ± 1,60	7,84 ± 2,24	*
300	6,92 ± 1,63	7,70 ± 1,68	*

Tab.56: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	52,42 ± 10,23	52,20 ± 8,51	n.s.
5	42,74 ± 11,38	44,98 ± 13,98	n.s.
8	36,58 ± 10,18	35,84 ± 8,12	n.s.
11	37,37 ± 9,26	35,22 ± 8,49	n.s.
14	41,53 ± 7,14	36,07 ± 10,48	n.s.
17	40,68 ± 7,74	37,19 ± 4,25	n.s.
20	41,47 ± 3,30	38,53 ± 8,52	n.s.
23	38,50 ± 9,40	40,39 ± 8,35	n.s.
26	40,35 ± 4,07	40,23 ± 6,05	n.s.
29	38,50 ± 4,00	38,33 ± 6,48	n.s.
32	38,06 ± 4,93	34,50 ± 7,60	n.s.
35	36,54 ± 4,42	32,08 ± 4,79	n.s.
38	35,69 ± 3,90	34,07 ± 5,59	n.s.
41	32,88 ± 4,34	31,74 ± 4,54	n.s.
44	30,47 ± 4,30	29,89 ± 4,36	n.s.
47	29,09 ± 5,47	26,87 ± 4,95	n.s.
50	27,68 ± 4,74	24,08 ± 3,25	n.s.
53	24,07 ± 4,14	24,69 ± 3,28	n.s.
56	23,14 ± 4,44	23,68 ± 3,10	n.s.
60	22,29 ± 4,54	21,52 ± 3,05	n.s.



## 8 Anhang

70	19,80 ± 3,36	18,19 ± 1,05	n.s.
80	18,34 ± 2,94	16,09 ± 1,35	n.s.
90	16,21 ± 2,14	15,13 ± 0,87	n.s.
100	14,27 ± 1,66	13,85 ± 2,04	n.s.
110	14,28 ± 3,37	12,95 ± 1,74	n.s.
120	12,72 ± 1,77	12,09 ± 1,22	n.s.
130	12,53 ± 1,80	12,09 ± 2,17	n.s.
140	12,57 ± 1,89	11,28 ± 1,25	n.s.
150	11,94 ± 1,57	10,27 ± 1,54	n.s.
160	11,69 ± 1,17	10,96 ± 2,06	n.s.
170	11,61 ± 1,73	10,22 ± 1,19	n.s.
180	10,78 ± 1,30	9,84 ± 1,18	n.s.
190	11,14 ± 1,41	9,54 ± 1,71	*
200	11,69 ± 1,19	9,17 ± 1,28	*
210	11,33 ± 1,86	9,29 ± 2,02	n.s.
220	10,70 ± 1,28	8,51 ± 1,57	n.s.
230	9,76 ± 1,83	8,85 ± 1,95	n.s.
240	9,89 ± 1,47	8,83 ± 2,09	n.s.
250	9,54 ± 1,93	8,14 ± 1,63	n.s.
260	9,62 ± 1,78	8,06 ± 1,72	n.s.
270	9,15 ± 1,77	7,46 ± 1,71	n.s.
280	9,04 ± 2,05	7,04 ± 1,45	n.s.
290	8,86 ± 1,89	6,75 ± 1,60	*
300	8,40 ± 2,02	6,92 ± 1,63	n.s.

Tab.57: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	52,32 ± 8,79	54,94 ± 8,96	n.s.
5	45,99 ± 3,28	49,49 ± 6,95	n.s.
8	41,37 ± 6,08	45,02 ± 6,43	n.s.
11	37,28 ± 3,42	42,38 ± 6,83	n.s.

## 8 Anhang

---

14	39,83 ± 4,59	44,34 ± 9,41	n.s.
17	38,53 ± 6,64	40,82 ± 6,04	n.s.
20	41,25 ± 5,93	39,43 ± 7,79	n.s.
23	38,03 ± 3,91	37,72 ± 5,20	n.s.
26	38,57 ± 4,19	36,05 ± 6,45	n.s.
29	35,73 ± 3,70	36,44 ± 5,92	n.s.
32	34,00 ± 4,97	35,63 ± 4,21	n.s.
35	33,28 ± 4,16	31,93 ± 4,84	n.s.
38	30,68 ± 4,83	31,62 ± 4,77	n.s.
41	30,48 ± 5,64	29,10 ± 3,97	n.s.
44	29,12 ± 4,79	28,30 ± 2,74	n.s.
47	26,88 ± 4,75	25,20 ± 3,16	n.s.
50	25,76 ± 4,69	24,46 ± 3,01	n.s.
53	24,00 ± 6,18	23,60 ± 3,11	n.s.
56	24,07 ± 6,19	21,56 ± 2,73	n.s.
60	21,59 ± 4,64	20,36 ± 1,50	n.s.
70	18,99 ± 3,27	18,41 ± 2,39	n.s.
80	16,81 ± 3,55	16,34 ± 2,52	n.s.
90	15,72 ± 2,62	14,59 ± 2,23	n.s.
100	14,61 ± 2,50	13,23 ± 2,05	n.s.
110	13,54 ± 2,38	13,20 ± 2,48	n.s.
120	12,60 ± 2,31	13,07 ± 3,28	n.s.
130	11,92 ± 2,26	12,53 ± 2,12	n.s.
140	11,27 ± 2,58	11,29 ± 1,79	n.s.
150	10,60 ± 2,61	11,00 ± 1,91	n.s.
160	10,88 ± 2,64	10,30 ± 1,57	n.s.
170	10,61 ± 2,09	10,06 ± 1,52	n.s.
180	10,46 ± 1,89	9,77 ± 2,22	n.s.
190	9,57 ± 2,03	10,45 ± 1,82	n.s.
200	10,24 ± 2,54	8,94 ± 1,29	n.s.
210	10,21 ± 2,11	8,95 ± 1,65	n.s.
220	9,43 ± 2,02	9,03 ± 1,91	n.s.
230	9,04 ± 2,75	8,89 ± 1,23	n.s.

## 8 Anhang

240	9,01 ± 2,62	8,81 ± 1,78	n.s.
250	8,80 ± 2,36	8,80 ± 1,91	n.s.
260	8,48 ± 1,98	8,63 ± 2,20	n.s.
270	8,61 ± 2,32	8,34 ± 2,07	n.s.
280	8,28 ± 2,07	8,62 ± 3,24	n.s.
290	8,05 ± 1,96	7,84 ± 2,24	n.s.
300	8,22 ± 2,26	7,70 ± 1,68	n.s.

Tab.58: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	17,31 ± 4,10	15,34 ± 2,51	*
20-40	11,22 ± 1,59	10,70 ± 1,80	n.s.
40-60	8,10 ± 1,25	8,12 ± 1,64	n.s.
60-300	44,77 ± 10,40	41,76 ± 10,13	n.s.
0-300	81,40 ± 15,58	75,92 ± 14,85	n.s.

Tab.59: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0-20	15,05 ± 3,49	15,59 ± 1,71	n.s.
20-40	10,22 ± 1,82	10,53 ± 1,88	n.s.
40-60	7,03 ± 1,81	7,47 ± 1,70	n.s.
60-300	38,27 ± 12,93	36,98 ± 8,80	n.s.
0-300	70,57 ± 18,01	70,56 ± 13,24	n.s.

Tab.60: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	17,31 ± 4,10	15,05 ± 3,49	n.s.
20-40	11,22 ± 1,59	10,22 ± 1,82	n.s.

## 8 Anhang

40-60	8,10 ± 1,25	7,03 ± 1,81	n.s.
60-300	44,77 ± 10,40	38,27 ± 12,93	n.s.
0-300	81,40 ± 15,58	70,57 ± 18,01	n.s.

Tab.61: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
0-20	15,34 ± 2,51	15,59 ± 1,71	n.s.
20-40	10,70 ± 1,80	10,53 ± 1,88	n.s.
40-60	8,12 ± 1,64	7,47 ± 1,70	n.s.
60-300	41,76 ± 10,13	36,98 ± 8,80	n.s.
0-300	75,92 ± 14,85	70,56 ± 13,24	n.s.

Tab.62: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (ZP1) in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	56,24 ± 9,14	52,29 ± 10,52	n.s.
5	42,85 ± 9,33	45,45 ± 8,51	n.s.
8	32,63 ± 12,49	41,40 ± 8,94	n.s.
11	30,76 ± 10,01	41,10 ± 9,82	n.s.
14	38,54 ± 11,20	40,45 ± 7,99	n.s.
17	38,58 ± 8,08	39,13 ± 7,09	n.s.
20	42,51 ± 7,66	39,48 ± 10,11	n.s.
23	40,90 ± 6,94	40,95 ± 6,24	n.s.
26	41,29 ± 6,28	37,55 ± 5,75	n.s.
29	37,66 ± 5,85	35,71 ± 6,16	n.s.
32	36,98 ± 5,61	34,83 ± 5,79	n.s.
35	34,59 ± 4,76	32,15 ± 6,14	n.s.
38	30,22 ± 3,65	29,16 ± 7,20	n.s.
41	29,54 ± 6,01	26,74 ± 6,25	n.s.
44	27,67 ± 4,19	26,53 ± 6,26	n.s.

## 8 Anhang

---

47	22,52 ± 3,47	22,88 ± 4,81	n.s.
50	24,16 ± 5,55	20,79 ± 2,99	n.s.
53	21,25 ± 3,78	18,43 ± 3,44	*
56	19,08 ± 2,50	21,71 ± 6,69	n.s.
60	18,18 ± 3,19	18,50 ± 3,07	n.s.
70	17,27 ± 3,35	16,53 ± 3,82	n.s.
80	16,56 ± 3,60	15,52 ± 2,47	n.s.
90	13,38 ± 2,34	14,48 ± 2,89	n.s.
100	13,23 ± 3,65	12,93 ± 3,78	n.s.
110	13,26 ± 4,28	12,72 ± 4,34	n.s.
120	12,50 ± 3,77	11,93 ± 3,59	n.s.
130	11,11 ± 2,30	11,08 ± 3,00	n.s.
140	12,09 ± 3,30	10,66 ± 3,74	n.s.
150	11,03 ± 2,18	10,08 ± 2,66	n.s.
160	11,78 ± 2,87	10,41 ± 2,78	n.s.
170	11,40 ± 2,80	10,48 ± 3,54	n.s.
180	11,36 ± 3,34	10,00 ± 3,71	n.s.
190	10,05 ± 2,65	9,42 ± 3,61	n.s.
200	10,35 ± 2,69	9,47 ± 3,30	n.s.
210	10,08 ± 2,81	9,16 ± 2,91	n.s.
220	9,40 ± 2,71	8,41 ± 2,32	n.s.
230	9,41 ± 2,36	8,19 ± 2,74	n.s.
240	9,56 ± 2,55	8,35 ± 2,50	n.s.
250	9,17 ± 2,47	7,76 ± 2,48	n.s.
260	8,35 ± 2,42	7,78 ± 2,41	n.s.
270	8,43 ± 2,51	7,59 ± 1,82	n.s.
280	7,84 ± 2,45	7,41 ± 2,11	n.s.
290	8,05 ± 2,78	6,79 ± 1,97	n.s.
300	7,90 ± 2,62	7,32 ± 2,38	n.s.

## 8 Anhang

Tab.63: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (ZP2) in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
2	50,38 ± 7,71	55,91 ± 4,97	n.s.
5	36,42 ± 11,47	49,61 ± 6,48	*
8	26,67 ± 10,35	45,22 ± 4,82	*
11	30,58 ± 14,77	42,37 ± 6,43	n.s.
14	39,40 ± 11,59	43,96 ± 6,10	n.s.
17	37,08 ± 8,30	40,85 ± 6,58	n.s.
20	38,84 ± 6,78	34,90 ± 7,56	n.s.
23	34,70 ± 6,27	38,68 ± 9,21	n.s.
26	35,43 ± 8,80	37,38 ± 4,84	n.s.
29	34,51 ± 9,15	34,62 ± 5,97	n.s.
32	31,69 ± 5,79	32,55 ± 7,40	n.s.
35	29,69 ± 6,32	30,42 ± 7,02	n.s.
38	25,91 ± 7,36	27,57 ± 7,24	n.s.
41	23,94 ± 7,60	25,62 ± 5,28	n.s.
44	21,83 ± 6,17	24,68 ± 5,48	n.s.
47	20,51 ± 6,65	22,73 ± 6,80	n.s.
50	20,61 ± 6,93	21,24 ± 5,23	n.s.
53	17,37 ± 7,43	18,51 ± 4,63	n.s.
56	17,14 ± 5,53	17,92 ± 5,21	n.s.
60	15,28 ± 4,75	14,87 ± 3,96	n.s.
70	14,72 ± 4,37	14,53 ± 2,63	n.s.
80	12,39 ± 3,81	13,78 ± 3,46	n.s.
90	11,64 ± 3,55	11,53 ± 3,05	n.s.
100	12,21 ± 4,46	10,91 ± 1,83	n.s.
110	11,66 ± 3,91	11,37 ± 2,90	n.s.
120	10,61 ± 2,74	9,57 ± 2,58	n.s.
130	10,62 ± 4,21	10,79 ± 2,21	n.s.
140	11,20 ± 3,76	9,59 ± 2,23	n.s.
150	10,79 ± 3,34	8,85 ± 2,14	n.s.

## 8 Anhang

160	9,65 ± 2,66	9,92 ± 2,56	n.s.
170	9,49 ± 3,10	9,41 ± 1,96	n.s.
180	9,40 ± 3,79	8,74 ± 1,85	n.s.
190	8,52 ± 2,58	8,25 ± 3,94	n.s.
200	8,91 ± 3,17	8,95 ± 3,46	n.s.
210	9,44 ± 4,40	8,50 ± 2,48	n.s.
220	8,09 ± 3,86	7,68 ± 3,10	n.s.
230	7,40 ± 4,14	6,81 ± 2,58	n.s.
240	7,81 ± 2,87	7,18 ± 2,72	n.s.
250	7,47 ± 1,78	6,87 ± 1,43	n.s.
260	7,60 ± 3,35	7,55 ± 2,48	n.s.
270	6,97 ± 3,13	6,76 ± 1,32	n.s.
280	6,66 ± 3,14	6,57 ± 1,66	n.s.
290	6,28 ± 2,92	6,66 ± 2,00	n.s.
300	6,83 ± 3,70	6,77 ± 2,67	n.s.

Tab.64: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint ohne Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „ohne Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	56,24 ± 9,14	50,38 ± 7,71	n.s.
5	42,85 ± 9,33	36,42 ± 11,47	n.s.
8	32,63 ± 12,49	26,67 ± 10,35	n.s.
11	30,76 ± 10,01	30,58 ± 14,77	n.s.
14	38,54 ± 11,20	39,40 ± 11,59	n.s.
17	38,58 ± 8,08	37,08 ± 8,30	n.s.
20	42,51 ± 7,66	38,84 ± 6,78	n.s.
23	40,90 ± 6,94	34,70 ± 6,27	n.s.
26	41,29 ± 6,28	35,43 ± 8,80	n.s.
29	37,66 ± 5,85	34,51 ± 9,15	n.s.
32	36,98 ± 5,61	31,69 ± 5,79	n.s.
35	34,59 ± 4,76	29,69 ± 6,32	*
38	30,22 ± 3,65	25,91 ± 7,36	n.s.

## 8 Anhang

---

41	29,54 ± 6,01	23,94 ± 7,60	n.s.
44	27,67 ± 4,19	21,83 ± 6,17	*
47	22,52 ± 3,47	20,51 ± 6,65	n.s.
50	24,16 ± 5,55	20,61 ± 6,93	n.s.
53	21,25 ± 3,78	17,37 ± 7,43	n.s.
56	19,08 ± 2,50	17,14 ± 5,53	n.s.
60	18,18 ± 3,19	15,28 ± 4,75	*
70	17,27 ± 3,35	14,72 ± 4,37	n.s.
80	16,56 ± 3,60	12,39 ± 3,81	*
90	13,38 ± 2,34	11,64 ± 3,55	n.s.
100	13,23 ± 3,65	12,21 ± 4,46	n.s.
110	13,26 ± 4,28	11,66 ± 3,91	n.s.
120	12,50 ± 3,77	10,61 ± 2,74	n.s.
130	11,11 ± 2,30	10,62 ± 4,21	n.s.
140	12,09 ± 3,30	11,20 ± 3,76	n.s.
150	11,03 ± 2,18	10,79 ± 3,34	n.s.
160	11,78 ± 2,87	9,65 ± 2,66	*
170	11,40 ± 2,80	9,49 ± 3,10	n.s.
180	11,36 ± 3,34	9,40 ± 3,79	n.s.
190	10,05 ± 2,65	8,52 ± 2,58	*
200	10,35 ± 2,69	8,91 ± 3,17	n.s.
210	10,08 ± 2,81	9,44 ± 4,40	n.s.
220	9,40 ± 2,71	8,09 ± 3,86	n.s.
230	9,41 ± 2,36	7,40 ± 4,14	n.s.
240	9,56 ± 2,55	7,81 ± 2,87	n.s.
250	9,17 ± 2,47	7,47 ± 1,78	n.s.
260	8,35 ± 2,42	7,60 ± 3,35	n.s.
270	8,43 ± 2,51	6,97 ± 3,13	n.s.
280	7,84 ± 2,45	6,66 ± 3,14	n.s.
290	8,05 ± 2,78	6,28 ± 2,92	n.s.
300	7,90 ± 2,62	6,83 ± 3,70	n.s.



## 8 Anhang

Tab.65: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten ZP1 und ZP2 in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP1	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe „mit Atmung“ zum ZP2	Signifikanzniveau
2	52,29 ± 10,52	55,91 ± 4,97	n.s.
5	45,45 ± 8,51	49,61 ± 6,48	n.s.
8	41,40 ± 8,94	45,22 ± 4,82	n.s.
11	41,10 ± 9,82	42,37 ± 6,43	n.s.
14	40,45 ± 7,99	43,96 ± 6,10	n.s.
17	39,13 ± 7,09	40,85 ± 6,58	n.s.
20	39,48 ± 10,11	34,90 ± 7,56	n.s.
23	40,95 ± 6,24	38,68 ± 9,21	n.s.
26	37,55 ± 5,75	37,38 ± 4,84	n.s.
29	35,71 ± 6,16	34,62 ± 5,97	n.s.
32	34,83 ± 5,79	32,55 ± 7,40	n.s.
35	32,15 ± 6,14	30,42 ± 7,02	n.s.
38	29,16 ± 7,20	27,57 ± 7,24	n.s.
41	26,74 ± 6,25	25,62 ± 5,28	n.s.
44	26,53 ± 6,26	24,68 ± 5,48	n.s.
47	22,88 ± 4,81	22,73 ± 6,80	n.s.
50	20,79 ± 2,99	21,24 ± 5,23	n.s.
53	18,43 ± 3,44	18,51 ± 4,63	n.s.
56	21,71 ± 6,69	17,92 ± 5,21	n.s.
60	18,50 ± 3,07	14,87 ± 3,96	n.s.
70	16,53 ± 3,82	14,53 ± 2,63	n.s.
80	15,52 ± 2,47	13,78 ± 3,46	n.s.
90	14,48 ± 2,89	11,53 ± 3,05	n.s.
100	12,93 ± 3,78	10,91 ± 1,83	n.s.
110	12,72 ± 4,34	11,37 ± 2,90	n.s.
120	11,93 ± 3,59	9,57 ± 2,58	*
130	11,08 ± 3,00	10,79 ± 2,21	n.s.
140	10,66 ± 3,74	9,59 ± 2,23	n.s.
150	10,08 ± 2,66	8,85 ± 2,14	*

## 8 Anhang

160	10,41 ± 2,78	9,92 ± 2,56	n.s.
170	10,48 ± 3,54	9,41 ± 1,96	n.s.
180	10,00 ± 3,71	8,74 ± 1,85	n.s.
190	9,42 ± 3,61	8,25 ± 3,94	n.s.
200	9,47 ± 3,30	8,95 ± 3,46	n.s.
210	9,16 ± 2,91	8,50 ± 2,48	n.s.
220	8,41 ± 2,32	7,68 ± 3,10	n.s.
230	8,19 ± 2,74	6,81 ± 2,58	*
240	8,35 ± 2,50	7,18 ± 2,72	n.s.
250	7,76 ± 2,48	6,87 ± 1,43	n.s.
260	7,78 ± 2,41	7,55 ± 2,48	n.s.
270	7,59 ± 1,82	6,76 ± 1,32	n.s.
280	7,41 ± 2,11	6,57 ± 1,66	n.s.
290	6,79 ± 1,97	6,66 ± 2,00	n.s.
300	7,32 ± 2,38	6,77 ± 2,67	n.s.

Tab.66: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0-20	16,42 ± 2,23	17,31 ± 4,10	n.s.
20-40	11,58 ± 1,23	11,22 ± 1,59	n.s.
40-60	9,30 ± 1,29	8,10 ± 1,25	n.s.
60-300	49,71 ± 6,81	44,77 ± 10,40	n.s.
0-300	87,00 ± 8,77	81,40 ± 15,58	n.s.

Tab.67: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0-20	15,46 ± 2,69	15,05 ± 3,49	n.s.
20-40	11,03 ± 1,81	10,22 ± 1,82	n.s.
40-60	7,99 ± 1,05	7,03 ± 1,81	n.s.

## 8 Anhang

60-300	42,97 ± 4,67	38,27 ± 12,93	n.s.
0-300	77,44 ± 8,45	70,57 ± 18,01	n.s.

Tab.68: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0-20	15,46 ± 2,18	15,34 ± 2,51	n.s.
20-40	11,44 ± 1,37	10,70 ± 1,80	n.s.
40-60	8,63 ± 1,35	8,12 ± 1,64	n.s.
60-300	45,80 ± 9,22	41,76 ± 10,13	n.s.
0-300	81,32 ± 11,54	75,92 ± 14,85	n.s.

Tab.69: Vergleich der Sauerstoffaufnahme für einzelne Zeitabschnitte nach dem Sprint mit Atmung ad libidum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2

Zeit nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/ kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0-20	15,69 ± 2,27	15,59 ± 1,71	n.s.
20-40	11,44 ± 1,32	10,53 ± 1,88	n.s.
40-60	8,33 ± 1,08	7,47 ± 1,70	n.s.
60-300	44,29 ± 6,55	36,98 ± 8,80	n.s.
0-300	79,75 ± 9,67	70,56 ± 13,24	n.s.

Tab.70: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
2	52,42 ± 10,23	56,24 ± 9,14	n.s.
5	42,74 ± 11,38	42,85 ± 9,33	n.s.
8	36,58 ± 10,18	32,63 ± 12,49	n.s.
11	37,37 ± 9,26	30,76 ± 10,01	n.s.
14	41,53 ± 7,14	38,54 ± 11,20	n.s.
17	40,68 ± 7,74	38,58 ± 8,08	n.s.

## 8 Anhang

20	41,47 ± 3,30	42,51 ± 7,66	n.s.
23	38,50 ± 9,40	40,90 ± 6,94	n.s.
26	40,35 ± 4,07	41,29 ± 6,28	n.s.
29	38,50 ± 4,00	37,66 ± 5,85	n.s.
32	38,06 ± 4,93	36,98 ± 5,61	n.s.
35	36,54 ± 4,42	34,59 ± 4,76	n.s.
38	35,69 ± 3,90	30,22 ± 3,65	*
41	32,88 ± 4,34	29,54 ± 6,01	n.s.
44	30,47 ± 4,30	27,67 ± 4,19	n.s.
47	29,09 ± 5,47	22,52 ± 3,47	*
50	27,68 ± 4,74	24,16 ± 5,55	n.s.
53	24,07 ± 4,14	21,25 ± 3,78	n.s.
56	23,14 ± 4,44	19,08 ± 2,50	n.s.
60	22,29 ± 4,54	18,18 ± 3,19	n.s.

Tab.71: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint in völliger Apnoe zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
2	52,20 ± 8,51	50,38 ± 7,71	n.s.
5	44,98 ± 13,98	36,42 ± 11,47	n.s.
8	35,84 ± 8,12	26,67 ± 10,35	n.s.
11	35,22 ± 8,49	30,58 ± 14,77	n.s.
14	36,07 ± 10,48	39,40 ± 11,59	n.s.
17	37,19 ± 4,25	37,08 ± 8,30	n.s.
20	38,53 ± 8,52	38,84 ± 6,78	n.s.
23	40,39 ± 8,35	34,70 ± 6,27	n.s.
26	40,23 ± 6,05	35,43 ± 8,80	n.s.
29	38,33 ± 6,48	34,51 ± 9,15	n.s.
32	34,50 ± 7,60	31,69 ± 5,79	n.s.
35	32,08 ± 4,79	29,69 ± 6,32	n.s.
38	34,07 ± 5,59	25,91 ± 7,36	*
41	31,74 ± 4,54	23,94 ± 7,60	n.s.

## 8 Anhang

44	29,89 ± 4,36	21,83 ± 6,17	*
47	26,87 ± 4,95	20,51 ± 6,65	n.s.
50	24,08 ± 3,25	20,61 ± 6,93	n.s.
53	24,69 ± 3,28	17,37 ± 7,43	*
56	23,68 ± 3,10	17,14 ± 5,53	*
60	21,52 ± 3,05	15,28 ± 4,75	*

Tab.72: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libitum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP1

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
2	52,32 ± 8,79	52,29 ± 10,52	n.s.
5	45,99 ± 3,28	45,45 ± 8,51	n.s.
8	41,37 ± 6,08	41,40 ± 8,94	n.s.
11	37,28 ± 3,42	41,10 ± 9,82	n.s.
14	39,83 ± 4,59	40,45 ± 7,99	n.s.
17	38,53 ± 6,64	39,13 ± 7,09	n.s.
20	41,25 ± 5,93	39,48 ± 10,11	n.s.
23	38,03 ± 3,91	40,95 ± 6,24	n.s.
26	38,57 ± 4,19	37,55 ± 5,75	n.s.
29	35,73 ± 3,70	35,71 ± 6,16	n.s.
32	34,00 ± 4,97	34,83 ± 5,79	n.s.
35	33,28 ± 4,16	32,15 ± 6,14	n.s.
38	30,68 ± 4,83	29,16 ± 7,20	n.s.
41	30,48 ± 5,64	26,74 ± 6,25	n.s.
44	29,12 ± 4,79	26,53 ± 6,26	n.s.
47	26,88 ± 4,75	22,88 ± 4,81	n.s.
50	25,76 ± 4,69	20,79 ± 2,99	n.s.
53	24,00 ± 6,18	18,43 ± 3,44	n.s.
56	24,07 ± 6,19	21,71 ± 6,69	n.s.
60	21,59 ± 4,64	18,50 ± 3,07	n.s.

## 8 Anhang

Tab.73: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme nach dem Sprint mit Atmung ad libitum zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt ZP2

Zeitpunkt nach Belastungsabbruch in Sekunden	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Gruppe der Sprinter	VO <sub>2</sub> in ml/min/kg der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
2	54,94 ± 8,96	55,91 ± 4,97	n.s.
5	49,49 ± 6,95	49,61 ± 6,48	n.s.
8	45,02 ± 6,43	45,22 ± 4,82	n.s.
11	42,38 ± 6,83	42,37 ± 6,43	n.s.
14	44,34 ± 9,41	43,96 ± 6,10	n.s.
17	40,82 ± 6,04	40,85 ± 6,58	n.s.
20	39,43 ± 7,79	34,90 ± 7,56	n.s.
23	37,72 ± 5,20	38,68 ± 9,21	n.s.
26	36,05 ± 6,45	37,38 ± 4,84	n.s.
29	36,44 ± 5,92	34,62 ± 5,97	n.s.
32	35,63 ± 4,21	32,55 ± 7,40	n.s.
35	31,93 ± 4,84	30,42 ± 7,02	n.s.
38	31,62 ± 4,77	27,57 ± 7,24	n.s.
41	29,10 ± 3,97	25,62 ± 5,28	n.s.
44	28,30 ± 2,74	24,68 ± 5,48	n.s.
47	25,20 ± 3,16	22,73 ± 6,80	n.s.
50	24,46 ± 3,01	21,24 ± 5,23	n.s.
53	23,60 ± 3,11	18,51 ± 4,63	*
56	21,56 ± 2,73	17,92 ± 5,21	n.s.
60	20,36 ± 1,50	14,87 ± 3,96	*

Tab.74: Vergleich  $\Delta$ VO<sub>2</sub>max zwischen den Sprintern und der Ausdauergruppe (n=7) für den Sprint ohne Atmung und mit Atmung

	$\Delta$ VO <sub>2</sub> max in ml/min/kg in der Gruppe der Sprinter	$\Delta$ VO <sub>2</sub> max in ml/min/kg in der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
ohne Atmung	3,53 ± 19,88	5,71 ± 13,51	n.s.
mit Atmung	0,42 ± 10,60	-1,40 ± 10,61	n.s.

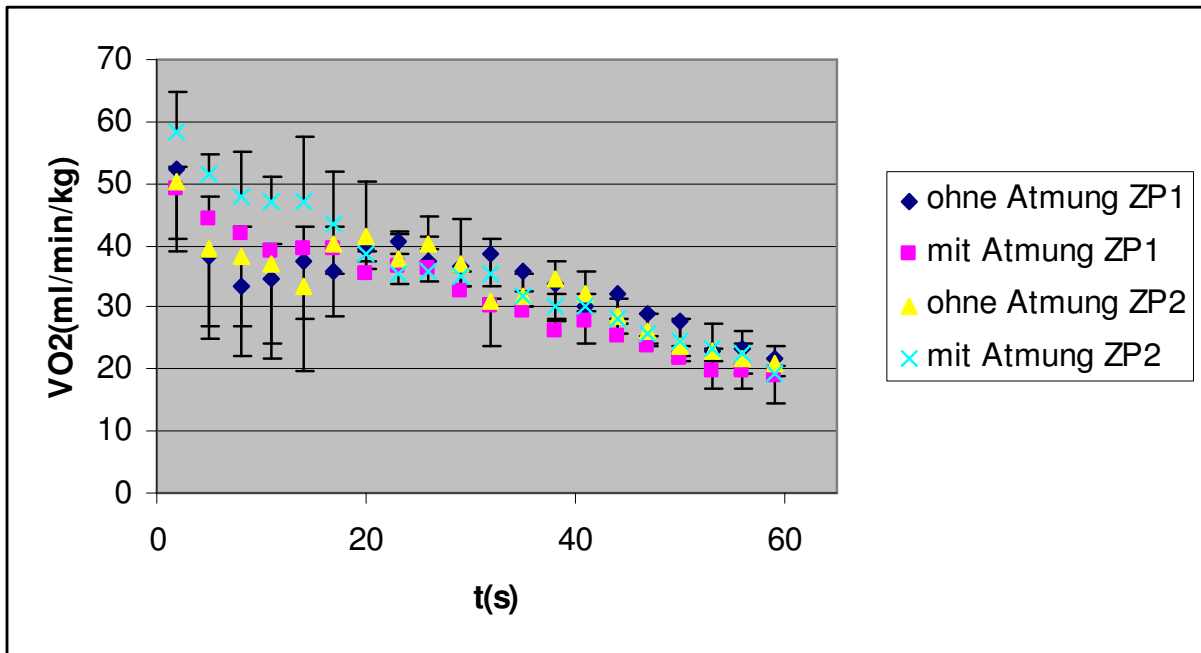


Abb.69: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe der Sprinter (n=3) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

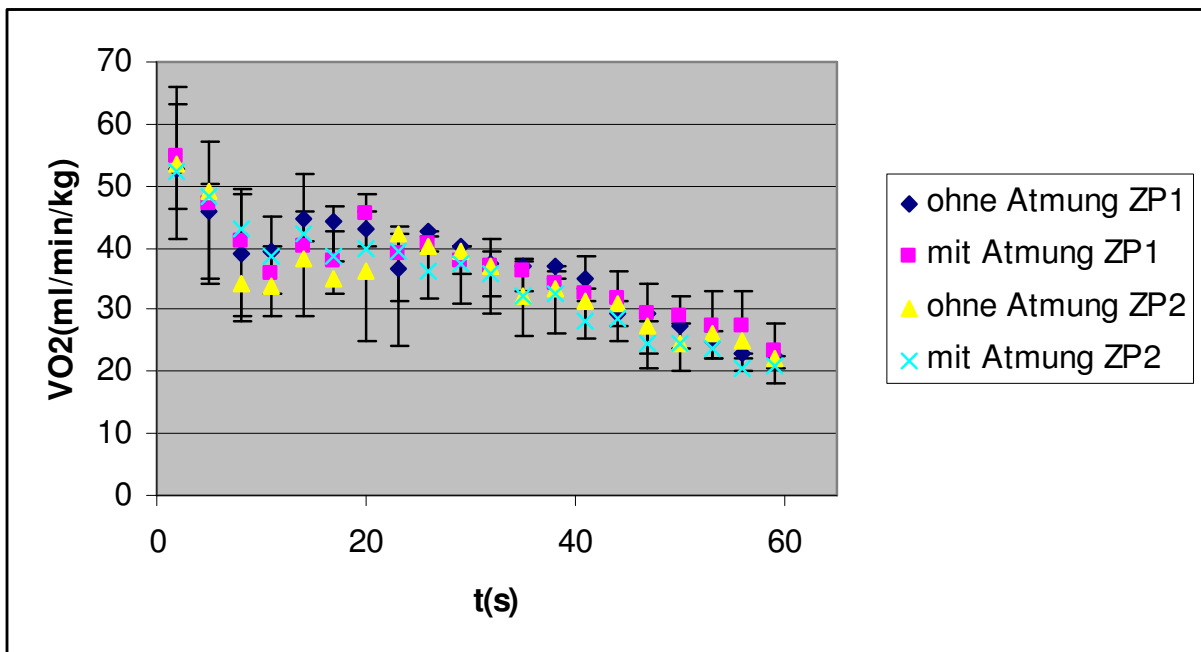


Abb.70: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe der Sprinter (n=4) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

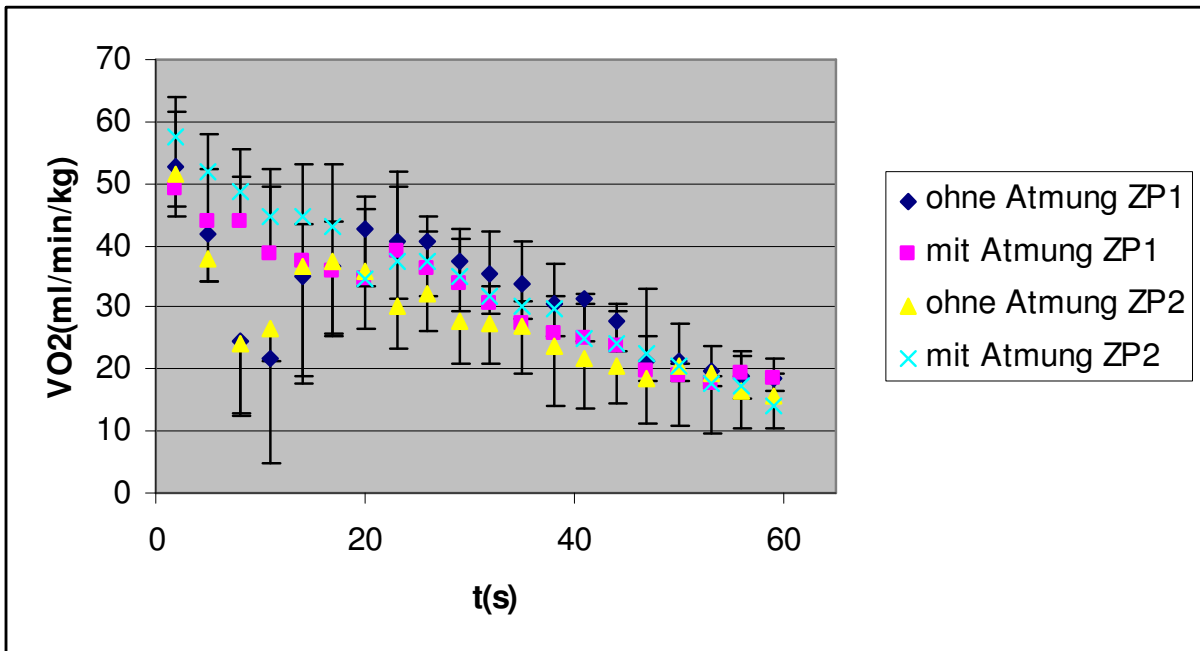


Abb.71: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauertrainingsgruppe (n=3) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute

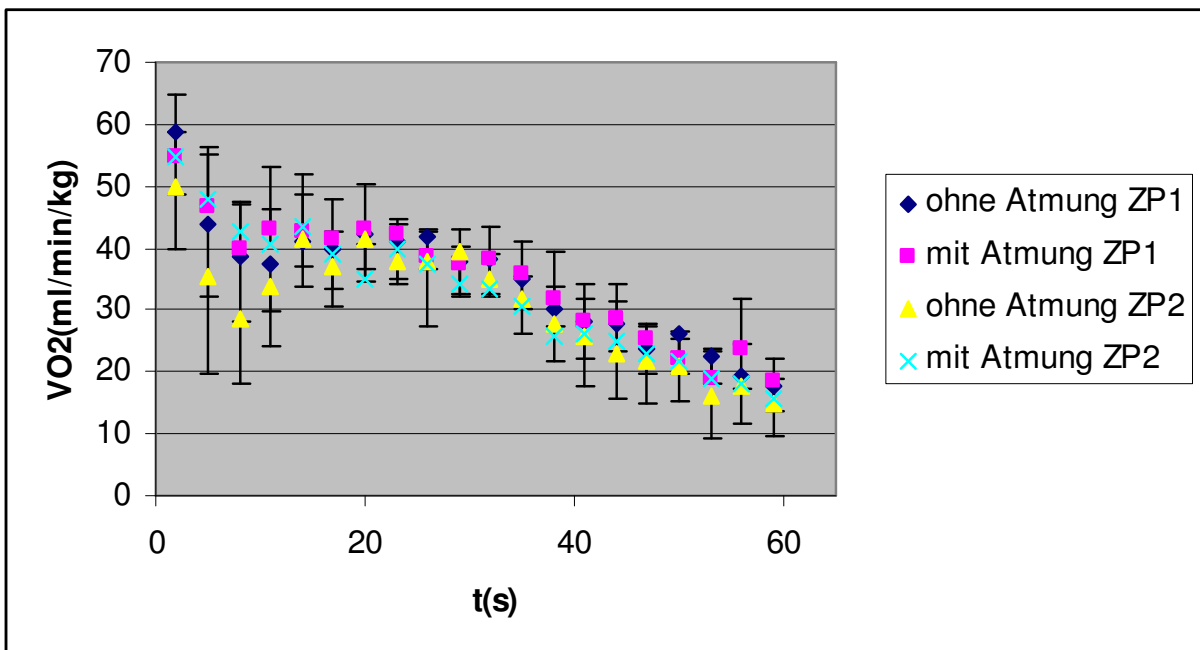


Abb.72: Vergleich der einzelnen Messwerte für die Sauerstoffaufnahme zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauerkontrollgruppe (n=4) zum Zeitpunkt 1 (ZP1) und Zeitpunkt 2 (ZP2) in der ersten Nachbelastungsminute



## 8 Anhang

Tab.75: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (n=14)

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	150,43 ± 17,21	158,14 ± 16,07	n.s.
1	89,57 ± 24,28	106,29 ± 25,28	*
3	81,86 ± 18,62	93,00 ± 19,51	*
5	88,71 ± 16,50	94,29 ± 18,74	n.s.
7	75,86 ± 14,43	84,00 ± 16,13	n.s.
10	76,29 ± 11,63	85,71 ± 11,87	*

Tab.76: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (n=14)

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	155,14 ± 7,75	160,29 ± 10,89	n.s.
1	90,00 ± 24,12	103,71 ± 20,57	**
3	78,86 ± 16,28	88,71 ± 13,56	*
5	79,71 ± 12,33	85,71 ± 14,96	n.s.
7	73,29 ± 11,81	81,00 ± 12,62	*
10	75,00 ± 9,92	79,29 ± 9,17	n.s.

Tab.77: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	150,43 ± 17,21	155,14 ± 7,75	n.s.
1	89,57 ± 24,28	90,00 ± 24,12	n.s.
3	81,86 ± 18,62	78,86 ± 16,28	n.s.
5	88,71 ± 16,50	79,71 ± 12,33	*
7	75,86 ± 14,43	73,29 ± 11,81	n.s.
10	76,29 ± 11,63	75,00 ± 9,92	n.s.

Tab.78: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	158,14 ± 16,07	160,29 ± 10,89	n.s.
1	106,29 ± 25,28	103,71 ± 20,57	n.s.
3	93,00 ± 19,51	88,71 ± 13,56	n.s.
5	94,29 ± 18,74	85,71 ± 14,96	n.s.
7	84,00 ± 16,13	81,00 ± 12,62	n.s.
10	85,71 ± 11,87	79,29 ± 9,17	n.s.

## 8 Anhang

Tab.79: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	159,00 ± 19,63	162,00 ± 16,10	n.s.
1	98,00 ± 30,98	109,00 ± 21,27	n.s.
3	85,00 ± 21,27	99,00 ± 14,07	n.s.
5	97,00 ± 14,90	96,00 ± 15,18	n.s.
7	84,00 ± 16,10	80,00 ± 12,96	n.s.
10	82,00 ± 10,51	82,00 ± 9,03	n.s.

Tab.80: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	155,00 ± 10,33	166,00 ± 11,80	*
1	94,00 ± 22,34	102,00 ± 21,47	n.s.
3	80,00 ± 17,66	90,00 ± 6,57	n.s.
5	81,00 ± 12,44	85,00 ± 7,97	n.s.
7	75,00 ± 11,85	76,00 ± 3,10	n.s.
10	79,00 ± 11,01	76,00 ± 9,03	n.s.

Tab.81: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	159,00 ± 19,63	155,00 ± 10,33	n.s.
1	98,00 ± 30,98	94,00 ± 22,34	n.s.
3	85,00 ± 21,27	80,00 ± 17,66	n.s.
5	97,00 ± 14,90	81,00 ± 12,44	*
7	84,00 ± 16,10	75,00 ± 11,85	n.s.
10	82,00 ± 10,51	79,00 ± 11,01	n.s.

Tab.82: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	162,00 ± 16,10	166,00 ± 11,80	n.s.
1	109,00 ± 21,27	102,00 ± 21,47	n.s.
3	99,00 ± 14,07	90,00 ± 6,57	n.s.
5	96,00 ± 15,18	85,00 ± 7,97	n.s.
7	80,00 ± 12,96	76,00 ± 3,10	n.s.
10	82,00 ± 9,03	76,00 ± 9,03	n.s.

## 8 Anhang

Tab.83: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	144,00 ± 12,83	155,25 ± 16,49	n.s.
1	83,25 ± 17,40	104,25 ± 29,21	n.s.
3	79,50 ± 17,49	88,50 ± 22,62	n.s.
5	82,50 ± 15,63	93,00 ± 21,99	n.s.
7	69,75 ± 10,11	87,00 ± 18,42	*
10	72,00 ± 11,11	88,50 ± 13,51	*

Tab.84: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	155,25 ± 5,95	156,00 ± 8,49	n.s.
1	87,00 ± 26,45	105,00 ± 21,27	*
3	78,00 ± 16,35	87,75 ± 17,55	n.s.
5	78,75 ± 13,00	86,25 ± 19,23	n.s.
7	72,00 ± 12,42	84,75 ± 15,85	*
10	72,00 ± 8,49	81,75 ± 9,04	*

Tab.85: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	144,00 ± 12,83	155,25 ± 5,95	*
1	83,25 ± 17,40	87,00 ± 26,45	n.s.
3	79,50 ± 17,49	78,00 ± 16,35	n.s.
5	82,50 ± 15,63	78,75 ± 13,00	n.s.
7	69,75 ± 10,11	72,00 ± 12,42	n.s.
10	72,00 ± 11,11	72,00 ± 8,49	n.s.

Tab.86: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	155,25 ± 16,49	156,00 ± 8,49	n.s.
1	104,25 ± 29,21	105,00 ± 21,27	n.s.
3	88,50 ± 22,62	87,75 ± 17,55	n.s.
5	93,00 ± 21,99	86,25 ± 19,23	n.s.
7	87,00 ± 18,42	84,75 ± 15,85	n.s.
10	88,50 ± 13,51	81,75 ± 9,04	n.s.

## 8 Anhang

Tab.87: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	156,86 ± 19,11	162,86 ± 18,79	n.s.
1	104,57 ± 21,59	126,86 ± 11,71	n.s.
3	94,29 ± 12,83	106,29 ± 11,86	n.s.
5	96,86 ± 14,04	107,14 ± 10,64	n.s.
7	81,43 ± 14,64	93,43 ± 11,41	n.s.
10	81,43 ± 9,71	92,57 ± 9,71	*

Tab.88: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	154,29 ± 9,62	162,00 ± 9,80	*
1	108,86 ± 17,81	120,86 ± 5,40	n.s.
3	91,71 ± 8,28	97,71 ± 7,52	n.s.
5	88,29 ± 6,68	92,57 ± 13,79	n.s.
7	81,43 ± 9,07	86,57 ± 11,93	n.s.
10	81,43 ± 9,71	83,14 ± 7,29	n.s.

Tab.89: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	156,86 ± 19,11	154,29 ± 9,62	n.s.
1	104,57 ± 21,59	108,86 ± 17,81	n.s.
3	94,29 ± 12,83	91,71 ± 8,28	n.s.
5	96,86 ± 14,04	88,29 ± 6,68	n.s.
7	81,43 ± 14,64	81,43 ± 9,07	n.s.
10	81,43 ± 9,71	81,43 ± 9,71	n.s.

Tab.90: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	162,86 ± 18,79	162,00 ± 9,80	n.s.
1	126,86 ± 11,71	120,86 ± 5,40	n.s.
3	106,29 ± 11,86	97,71 ± 7,52	n.s.
5	107,14 ± 10,64	92,57 ± 13,79	n.s.
7	93,43 ± 11,41	86,57 ± 11,93	n.s.
10	92,57 ± 9,71	83,14 ± 7,29	n.s.

## 8 Anhang

Tab.91: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	144,00 ± 13,42	153,43 ± 12,42	n.s.
1	74,57 ± 16,92	85,71 ± 16,14	n.s.
3	69,43 ± 15,04	79,71 ± 16,51	n.s.
5	80,57 ± 15,44	81,43 ± 16,20	n.s.
7	70,29 ± 12,83	74,57 ± 15,04	n.s.
10	71,14 ± 11,71	78,86 ± 10,06	n.s.

Tab.92: Vergleich der Herzfrequenz zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	HF in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	156,00 ± 6,00	158,57 ± 12,42	n.s.
1	71,14 ± 10,64	86,57 ± 14,22	*
3	66,00 ± 10,95	79,71 ± 12,35	*
5	71,14 ± 10,64	78,86 ± 13,61	n.s.
7	65,14 ± 8,07	75,43 ± 11,41	n.s.
10	68,57 ± 4,72	75,43 ± 9,71	n.s.

Tab.93: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	144,00 ± 13,42	156,00 ± 6,00	*
1	74,57 ± 16,92	71,14 ± 10,64	n.s.
3	69,43 ± 15,04	66,00 ± 10,95	n.s.
5	80,57 ± 15,44	71,14 ± 10,64	n.s.
7	70,29 ± 12,83	65,14 ± 8,07	n.s.
10	71,14 ± 11,71	68,57 ± 4,72	n.s.

Tab.94: Vergleich der Herzfrequenz beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit in min	HF in 1/min zum Zeitpunkt 1	HF in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	153,43 ± 12,42	158,57 ± 12,42	n.s.
1	85,71 ± 16,14	86,57 ± 14,22	n.s.
3	79,71 ± 16,51	79,71 ± 12,35	n.s.
5	81,43 ± 16,20	78,86 ± 13,61	n.s.
7	74,57 ± 15,04	75,43 ± 11,41	n.s.
10	78,86 ± 10,06	75,43 ± 9,71	n.s.

## 8 Anhang

Tab.95: Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint ohne Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1)

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe der Sprinter	HF in 1/min in der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0	156,86 ± 19,11	144,00 ± 13,42	n.s.
1	104,57 ± 21,59	74,57 ± 16,92	*
3	94,29 ± 12,83	69,43 ± 15,04	*
5	96,86 ± 14,04	80,57 ± 15,44	n.s.
7	81,43 ± 14,64	70,29 ± 12,83	n.s.
10	81,43 ± 9,71	71,14 ± 11,71	n.s.

Tab.96: Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint ohne Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2 (ZP2)

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe der Sprinter	HF in 1/min in der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0	154,29 ± 9,62	156,00 ± 6,00	n.s.
1	108,86 ± 17,81	71,14 ± 10,64	**
3	91,71 ± 8,28	66,00 ± 10,95	**
5	88,29 ± 6,68	71,14 ± 10,64	**
7	81,43 ± 9,07	65,14 ± 8,07	**
10	81,43 ± 9,71	68,57 ± 4,72	*

Tab.97: Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1 (ZP1)

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe der Sprinter	HF in 1/min in der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0	162,86 ± 18,79	153,43 ± 12,42	n.s.
1	126,86 ± 11,71	85,71 ± 16,14	***
3	106,29 ± 11,86	79,71 ± 16,51	**
5	107,14 ± 10,64	81,43 ± 16,20	*
7	93,43 ± 11,41	74,57 ± 15,04	*
10	92,57 ± 9,71	78,86 ± 10,06	*

Tab.98: Vergleich der Herzfrequenz für den Sprint mit Atmung zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2 (ZP2)

Zeit in min	HF in 1/min in der Gruppe der Sprinter	HF in 1/min in der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
0	162,00 ± 9,80	158,57 ± 12,42	n.s.
1	120,86 ± 5,40	86,57 ± 14,22	***
3	97,71 ± 7,52	79,71 ± 12,35	**
5	92,57 ± 13,79	78,86 ± 13,61	n.s.
7	86,57 ± 11,93	75,43 ± 11,41	n.s.
10	83,14 ± 7,29	75,43 ± 9,71	n.s.

## 8 Anhang

Tab.99: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (n=14)

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	5,85 ± 1,48	5,64 ± 0,94	n.s.
3	6,86 ± 2,02	7,40 ± 1,74	n.s.
5	7,17 ± 2,33	7,55 ± 2,01	n.s.
7	6,63 ± 2,17	7,15 ± 2,10	n.s.
10	5,92 ± 2,14	6,43 ± 1,95	n.s.

Tab.100: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (n=14)

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	5,81 ± 1,22	6,02 ± 1,54	n.s.
3	6,52 ± 1,66	6,97 ± 1,83	n.s.
5	6,50 ± 1,72	7,01 ± 2,19	n.s.
7	6,17 ± 1,60	6,58 ± 2,04	n.s.
10	5,23 ± 1,64	5,62 ± 1,76	n.s.

Tab.101: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,85 ± 1,48	5,81 ± 1,22	n.s.
3	6,86 ± 2,02	6,52 ± 1,66	n.s.
5	7,17 ± 2,33	6,50 ± 1,72	n.s.
7	6,63 ± 2,17	6,17 ± 1,60	n.s.
10	5,92 ± 2,14	5,23 ± 1,64	n.s.

Tab.102: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,64 ± 0,94	6,02 ± 1,54	n.s.
3	7,40 ± 1,74	6,97 ± 1,83	n.s.
5	7,55 ± 2,01	7,01 ± 2,19	n.s.
7	7,15 ± 2,10	6,58 ± 2,04	n.s.
10	6,43 ± 1,95	5,62 ± 1,76	n.s.

## 8 Anhang

Tab.103: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	6,68 ± 0,74	5,81 ± 1,06	*
3	7,84 ± 1,58	7,36 ± 1,44	n.s.
5	8,50 ± 2,00	7,37 ± 1,48	n.s.
7	7,88 ± 1,83	6,93 ± 1,63	n.s.
10	7,13 ± 2,09	6,29 ± 1,43	n.s.

Tab.104: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	6,14 ± 1,03	6,06 ± 1,41	n.s.
3	6,92 ± 1,53	6,60 ± 1,48	n.s.
5	7,09 ± 1,58	6,39 ± 1,76	n.s.
7	6,67 ± 1,79	6,18 ± 1,67	n.s.
10	6,06 ± 1,65	5,40 ± 1,80	n.s.

Tab.105: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	6,68 ± 0,74	6,14 ± 1,03	n.s.
3	7,84 ± 1,58	6,92 ± 1,53	n.s.
5	8,50 ± 2,00	7,09 ± 1,58	n.s.
7	7,88 ± 1,83	6,67 ± 1,79	n.s.
10	7,13 ± 2,09	6,06 ± 1,65	n.s.

Tab.106: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,81 ± 1,06	6,06 ± 1,41	n.s.
3	7,36 ± 1,44	6,60 ± 1,48	n.s.
5	7,37 ± 1,48	6,39 ± 1,76	n.s.
7	6,93 ± 1,63	6,18 ± 1,67	n.s.
10	6,29 ± 1,43	5,40 ± 1,80	n.s.



## 8 Anhang

Tab.107: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	5,23 ± 1,62	5,51 ± 0,88	n.s.
3	6,12 ± 2,08	7,43 ± 2,04	n.s.
5	6,17 ± 2,13	7,69 ± 2,43	n.s.
7	5,70 ± 2,00	7,32 ± 2,49	n.s.
10	5,01 ± 1,79	6,53 ± 2,36	n.s.

Tab.108: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	5,57 ± 1,36	5,99 ± 1,73	n.s.
3	6,22 ± 1,79	7,26 ± 2,10	n.s.
5	6,05 ± 1,79	7,47 ± 2,47	n.s.
7	5,79 ± 1,44	6,87 ± 2,34	n.s.
10	4,62 ± 1,43	5,79 ± 1,84	n.s.

Tab.109: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,23 ± 1,62	5,57 ± 1,36	n.s.
3	6,12 ± 2,08	6,22 ± 1,79	n.s.
5	6,17 ± 2,13	6,05 ± 1,79	n.s.
7	5,70 ± 2,00	5,79 ± 1,44	n.s.
10	5,01 ± 1,79	4,62 ± 1,43	n.s.

Tab.110: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,51 ± 0,88	5,99 ± 1,73	n.s.
3	7,43 ± 2,04	7,26 ± 2,10	n.s.
5	7,69 ± 2,43	7,47 ± 2,47	n.s.
7	7,32 ± 2,49	6,87 ± 2,34	n.s.
10	6,53 ± 2,36	5,79 ± 1,84	n.s.

## 8 Anhang

Tab.111: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	6,28 ± 1,80	6,02 ± 0,91	n.s.
3	7,55 ± 2,31	8,07 ± 1,61	n.s.
5	7,77 ± 2,84	8,29 ± 2,04	n.s.
7	7,16 ± 2,58	7,84 ± 2,19	n.s.
10	6,49 ± 2,61	6,96 ± 1,94	n.s.

Tab.112: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	6,42 ± 0,79	6,97 ± 1,58	n.s.
3	7,44 ± 0,99	8,08 ± 1,36	n.s.
5	7,47 ± 1,16	8,15 ± 1,70	n.s.
7	7,06 ± 1,24	7,55 ± 1,37	n.s.
10	6,18 ± 1,20	6,26 ± 1,44	n.s.

Tab.113: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	6,28 ± 1,80	6,42 ± 0,79	n.s.
3	7,55 ± 2,31	7,44 ± 0,99	n.s.
5	7,77 ± 2,84	7,47 ± 1,16	n.s.
7	7,16 ± 2,58	7,06 ± 1,24	n.s.
10	6,49 ± 2,61	6,18 ± 1,20	n.s.

Tab.114: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	6,02 ± 0,91	6,97 ± 1,58	n.s.
3	8,07 ± 1,61	8,08 ± 1,36	n.s.
5	8,29 ± 2,04	8,15 ± 1,70	n.s.
7	7,84 ± 2,19	7,55 ± 1,37	n.s.
10	6,96 ± 1,94	6,26 ± 1,44	n.s.

## 8 Anhang

Tab.115: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	5,43 ± 1,04	5,26 ± 0,85	n.s.
3	6,17 ± 1,54	6,73 ± 1,71	n.s.
5	6,57 ± 1,68	6,81 ± 1,83	n.s.
7	6,10 ± 1,69	6,47 ± 1,91	n.s.
10	5,35 ± 1,54	5,90 ± 1,95	n.s.

Tab.116: Vergleich der Laktatkonzentration zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
1	5,20 ± 1,32	5,08 ± 0,76	n.s.
3	5,60 ± 1,74	5,87 ± 1,59	n.s.
5	5,53 ± 1,70	5,87 ± 2,12	n.s.
7	5,28 ± 1,47	5,60 ± 2,22	n.s.
10	4,29 ± 1,53	4,98 ± 1,92	n.s.

Tab.117: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,43 ± 1,04	5,20 ± 1,32	n.s.
3	6,17 ± 1,54	5,60 ± 1,74	n.s.
5	6,57 ± 1,68	5,53 ± 1,70	n.s.
7	6,10 ± 1,69	5,28 ± 1,47	n.s.
10	5,35 ± 1,54	4,29 ± 1,53	*

Tab.118: Vergleich der Laktatkonzentration beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit in min	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
1	5,26 ± 0,85	5,08 ± 0,76	n.s.
3	6,73 ± 1,71	5,87 ± 1,59	n.s.
5	6,81 ± 1,83	5,87 ± 2,12	n.s.
7	6,47 ± 1,91	5,60 ± 2,22	n.s.
10	5,90 ± 1,95	4,98 ± 1,92	n.s.

## 8 Anhang

Tab.119: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	7,27 ± 2,31	7,68 ± 1,96	n.s.
Trainingsgruppe	8,50 ± 2,00	7,53 ± 1,49	n.s.
Kontrollgruppe	6,35 ± 2,18	7,80 ± 2,35	n.s.
Sprinter	7,96 ± 2,77	8,46 ± 1,91	n.s.
Ausdauergruppe	6,59 ± 1,66	6,90 ± 1,81	n.s.

Tab.120: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Laktat in mmol/l in der Gruppe „ohne Atmung“	Laktat in mmol/l in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	6,71 ± 1,62	7,26 ± 2,07	n.s.
Trainingsgruppe	7,12 ± 1,61	6,80 ± 1,68	n.s.
Kontrollgruppe	6,41 ± 1,66	7,61 ± 2,37	n.s.
Sprinter	7,64 ± 1,10	8,38 ± 1,55	n.s.
Ausdauergruppe	5,78 ± 1,57	6,15 ± 2,00	n.s.

Tab.121: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	7,27 ± 2,31	6,71 ± 1,62	n.s.
Trainingsgruppe	8,50 ± 2,00	7,12 ± 1,61	n.s.
Kontrollgruppe	6,35 ± 2,18	6,41 ± 1,66	n.s.
Sprinter	7,96 ± 2,77	7,64 ± 1,10	n.s.
Ausdauergruppe	6,59 ± 1,66	5,78 ± 1,57	n.s.

Tab.122: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 1	Laktat in mmol/l zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	7,68 ± 1,96	7,26 ± 2,07	n.s.
Trainingsgruppe	7,53 ± 1,49	6,80 ± 1,68	n.s.
Kontrollgruppe	7,80 ± 2,35	7,61 ± 2,37	n.s.

## 8 Anhang

Sprinter	8,46 ± 1,91	8,38 ± 1,55	n.s.
Ausdauergruppe	6,90 ± 1,81	6,15 ± 2,00	n.s.

Tab.123: Vergleich der maximal erreichten Laktatkonzentrationen zwischen der Gruppe der Sprinter (n=7) und der Ausdauergruppe (n=7) als Gesamtüberblick (n=28) und unterschieden nach Sprint ohne bzw. mit Atmung zu den beiden Zeitpunkten ZP1 und ZP2

	Laktat in mmol/l in der Gruppe der Sprinter	Laktat in mmol/l in der Ausdauergruppe	Signifikanzniveau
alle	8,11 ± 1,85	6,36 ± 1,72	***
ohne Atmung ZP1	7,96 ± 2,77	6,59 ± 1,66	n.s.
mit Atmung ZP1	8,46 ± 1,91	6,90 ± 1,81	n.s.
ohne Atmung ZP2	7,64 ± 1,10	5,79 ± 1,57	n.s.
mit Atmung ZP2	8,38 ± 1,55	6,15 ± 2,00	*

Tab.124: Vergleich der Endzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	28,72 ± 2,40	28,15 ± 2,12	n.s.
Trainingsgruppe	28,65 ± 2,39	28,85 ± 2,61	n.s.
Kontrollgruppe	28,77 ± 2,58	27,63 ± 1,66	n.s.
Sprinter	28,18 ± 2,89	27,10 ± 1,56	n.s.
Ausdauergruppe	29,26 ± 1,86	29,20 ± 2,18	n.s.

Tab.125: Vergleich der Endzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	28,77 ± 2,24	28,21 ± 2,30	*
Trainingsgruppe	29,31 ± 2,39	28,76 ± 2,34	*
Kontrollgruppe	28,37 ± 2,19	27,79 ± 2,34	n.s.
Sprinter	27,58 ± 2,02	27,15 ± 1,91	n.s.
Ausdauergruppe	29,97 ± 1,87	29,26 ± 2,29	n.s.

Tab.126: Vergleich der Endzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	28,72 ± 2,40	28,77 ± 2,24	n.s.
Trainingsgruppe	28,65 ± 2,39	29,31 ± 2,39	*

## 8 Anhang

Kontrollgruppe	28,77 ± 2,58	28,37 ± 2,19	n.s.
Sprinter	28,18 ± 2,89	27,58 ± 2,02	n.s.
Ausdauergruppe	29,26 ± 1,86	29,97 ± 1,87	*

Tab.127: Vergleich der Endzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	28,15 ± 2,12	28,21 ± 2,30	n.s.
Trainingsgruppe	28,85 ± 2,61	28,76 ± 2,34	n.s.
Kontrollgruppe	27,63 ± 1,66	27,79 ± 2,34	n.s.
Sprinter	27,10 ± 1,56	27,15 ± 1,91	n.s.
Ausdauergruppe	29,20 ± 2,18	29,26 ± 2,29	n.s.

Tab.128: Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	12,90 ± 0,98	12,67 ± 0,97	n.s.
Trainingsgruppe	12,85 ± 1,09	12,99 ± 1,14	n.s.
Kontrollgruppe	12,95 ± 0,97	12,43 ± 0,83	*
Sprinter	12,53 ± 1,04	12,31 ± 0,94	n.s.
Ausdauergruppe	13,27 ± 0,83	13,02 ± 0,94	n.s.

Tab.129: Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	13,17 ± 1,07	12,87 ± 1,10	**
Trainingsgruppe	13,37 ± 1,12	13,12 ± 1,19	*
Kontrollgruppe	13,02 ± 1,09	12,68 ± 1,06	*
Sprinter	12,65 ± 1,01	12,33 ± 0,88	*
Ausdauergruppe	13,70 ± 0,91	13,41 ± 1,07	*

Tab.130: Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	12,90 ± 0,98	13,17 ± 1,07	n.s.
Trainingsgruppe	12,85 ± 1,09	13,37 ± 1,12	*
Kontrollgruppe	12,95 ± 0,97	13,02 ± 1,09	n.s.

## 8 Anhang

Sprinter	12,53 ± 1,04	12,65 ± 1,01	n.s.
Ausdauergruppe	13,27 ± 0,83	13,70 ± 0,91	*

Tab.131: Vergleich der 25m Zwischenzeit zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	12,67 ± 0,97	12,87 ± 1,10	n.s.
Trainingsgruppe	12,99 ± 1,14	13,12 ± 1,19	n.s.
Kontrollgruppe	12,43 ± 0,83	12,68 ± 1,06	n.s.
Sprinter	12,31 ± 0,94	12,33 ± 0,88	n.s.
Ausdauergruppe	13,02 ± 0,94	13,41 ± 1,07	n.s.

Tab.132: Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	15,82 ± 1,49	15,49 ± 1,30	n.s.
Trainingsgruppe	15,81 ± 1,35	15,86 ± 1,74	n.s.
Kontrollgruppe	15,83 ± 1,69	15,21 ± 0,87	n.s.
Sprinter	15,65 ± 1,87	14,79 ± 0,72	n.s.
Ausdauergruppe	15,99 ± 1,12	16,18 ± 1,42	n.s.

Tab.133: Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	15,60 ± 1,20	15,33 ± 1,22	n.s.
Trainingsgruppe	15,94 ± 1,31	15,64 ± 1,16	n.s.
Kontrollgruppe	15,34 ± 1,12	15,10 ± 1,28	n.s.
Sprinter	14,93 ± 1,03	14,82 ± 1,04	n.s.
Ausdauergruppe	16,27 ± 1,00	15,84 ± 1,24	n.s.

## 8 Anhang

Tab.134: Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	15,82 ± 1,49	15,60 ± 1,20	n.s.
Trainingsgruppe	15,81 ± 1,35	15,94 ± 1,31	n.s.
Kontrollgruppe	15,83 ± 1,69	15,34 ± 1,12	n.s.
Sprinter	15,65 ± 1,87	14,93 ± 1,03	n.s.
Ausdauergruppe	15,99 ± 1,12	16,27 ± 1,00	n.s.

Tab.135: Vergleich der Zeit auf der zweiten 25m Teilstrecke zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	15,49 ± 1,30	15,33 ± 1,22	n.s.
Trainingsgruppe	15,86 ± 1,74	15,64 ± 1,16	n.s.
Kontrollgruppe	15,21 ± 0,87	15,10 ± 1,28	n.s.
Sprinter	14,79 ± 0,72	14,82 ± 1,04	n.s.
Ausdauergruppe	16,18 ± 1,42	15,84 ± 1,24	n.s.

Tab.136: Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	2,92 ± 0,77	2,82 ± 0,87	n.s.
Trainingsgruppe	2,96 ± 0,54	2,87 ± 1,35	n.s.
Kontrollgruppe	2,88 ± 0,95	2,78 ± 0,32	n.s.
Sprinter	3,11 ± 0,89	2,49 ± 0,61	n.s.
Ausdauergruppe	2,72 ± 0,65	3,15 ± 1,00	n.s.

Tab.137: Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s in der Gruppe „ohne Atmung“	Zeit in s in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	2,43 ± 0,38	2,46 ± 0,26	n.s.
Trainingsgruppe	2,57 ± 0,49	2,52 ± 0,21	n.s.



## 8 Anhang

Kontrollgruppe	2,32 ± 0,25	2,42 ± 0,31	n.s.
Sprinter	2,28 ± 0,29	2,49 ± 0,24	n.s.
Ausdauergruppe	2,57 ± 0,42	2,43 ± 0,30	n.s.

Tab.138: Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	2,92 ± 0,77	2,43 ± 0,38	n.s.
Trainingsgruppe	2,96 ± 0,54	2,57 ± 0,49	n.s.
Kontrollgruppe	2,88 ± 0,95	2,32 ± 0,25	n.s.
Sprinter	3,11 ± 0,89	2,28 ± 0,29	n.s.
Ausdauergruppe	2,72 ± 0,65	2,57 ± 0,42	n.s.

Tab.139: Vergleich der Differenz der Zeiten zwischen den 25m Teilstrecken zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Zeit in s zum Zeitpunkt 1	Zeit in s zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	2,82 ± 0,87	2,46 ± 0,26	n.s.
Trainingsgruppe	2,87 ± 1,35	2,52 ± 0,21	n.s.
Kontrollgruppe	2,78 ± 0,32	2,42 ± 0,31	n.s.
Sprinter	2,49 ± 0,61	2,49 ± 0,24	n.s.
Ausdauergruppe	3,15 ± 1,00	2,43 ± 0,30	*

Tab.140: Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	Frequenz in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	54,96 ± 8,16	54,75 ± 5,79	n.s.
Trainingsgruppe	59,83 ± 7,81	55,08 ± 7,17	n.s.
Kontrollgruppe	51,31 ± 6,67	54,50 ± 5,03	n.s.
Sprinter	53,50 ± 8,90	52,79 ± 3,51	n.s.
Ausdauergruppe	56,43 ± 7,75	56,71 ± 7,16	n.s.

## 8 Anhang

Tab.141: Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	Frequenz in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	48,57 ± 4,36	53,68 ± 5,26	**
Trainingsgruppe	51,08 ± 4,53	55,25 ± 5,11	*
Kontrollgruppe	46,69 ± 3,34	52,50 ± 5,39	*
Sprinter	48,14 ± 3,17	52,36 ± 2,73	*
Ausdauergruppe	49,00 ± 5,54	55,00 ± 6,93	*

Tab.142: Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 1	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	54,96 ± 8,16	48,57 ± 4,36	**
Trainingsgruppe	59,83 ± 7,81	51,08 ± 4,53	*
Kontrollgruppe	51,31 ± 6,67	46,69 ± 3,34	n.s.
Sprinter	53,50 ± 8,90	48,14 ± 3,17	n.s.
Ausdauergruppe	56,43 ± 7,75	49,00 ± 5,54	*

Tab.143: Vergleich der Armzugfrequenz auf den ersten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 1	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	54,75 ± 5,79	53,68 ± 5,26	n.s.
Trainingsgruppe	55,08 ± 7,17	55,25 ± 5,11	n.s.
Kontrollgruppe	54,50 ± 5,03	52,50 ± 5,39	n.s.
Sprinter	52,79 ± 3,51	52,36 ± 2,73	n.s.
Ausdauergruppe	56,71 ± 7,16	55,00 ± 6,93	n.s.

Tab.144: Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	Frequenz in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	52,54 ± 7,33	51,57 ± 6,02	n.s.
Trainingsgruppe	57,67 ± 6,28	52,58 ± 5,91	*
Kontrollgruppe	48,69 ± 5,66	50,81 ± 6,38	n.s.

## 8 Anhang

Sprinter	50,29 ± 7,27	49,07 ± 3,13	n.s.
Ausdauergruppe	54,79 ± 7,19	54,07 ± 7,35	n.s.

Tab.145: Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	Frequenz in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	47,75 ± 4,23	49,89 ± 5,73	n.s.
Trainingsgruppe	49,67 ± 2,77	50,42 ± 4,85	n.s.
Kontrollgruppe	46,31 ± 4,72	49,50 ± 6,62	n.s.
Sprinter	47,64 ± 3,12	48,43 ± 2,76	n.s.
Ausdauergruppe	47,86 ± 5,38	51,36 ± 7,65	n.s.

Tab.146: Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 1	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	52,54 ± 7,33	47,75 ± 4,23	*
Trainingsgruppe	57,67 ± 6,28	49,67 ± 2,77	*
Kontrollgruppe	48,69 ± 5,66	46,31 ± 4,72	n.s.
Sprinter	50,29 ± 7,27	47,64 ± 3,12	n.s.
Ausdauergruppe	54,79 ± 7,19	47,86 ± 5,38	*

Tab.147: Vergleich der Armzugfrequenz auf den zweiten 25m zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 1	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	51,57 ± 6,02	49,89 ± 5,73	n.s.
Trainingsgruppe	52,58 ± 5,91	50,42 ± 4,85	*
Kontrollgruppe	50,81 ± 6,38	49,50 ± 6,62	n.s.
Sprinter	49,07 ± 3,13	48,43 ± 2,76	n.s.
Ausdauergruppe	54,07 ± 7,35	51,36 ± 7,65	n.s.

## 8 Anhang

Tab.148: Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP1 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	Frequenz in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	2,43 ± 2,80	3,18 ± 2,51	n.s.
Trainingsgruppe	2,17 ± 2,36	2,50 ± 1,34	n.s.
Kontrollgruppe	2,63 ± 3,24	3,69 ± 3,12	n.s.
Sprinter	3,21 ± 3,55	3,71 ± 3,11	n.s.
Ausdauergruppe	1,64 ± 1,73	2,64 ± 1,82	n.s.

Tab.149: Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen dem Sprint mit und ohne Atmung zum Untersuchungszeitpunkt ZP2 in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min in der Gruppe „ohne Atmung“	Frequenz in 1/min in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
alle	1,00 ± 2,43	3,79 ± 2,66	**
Trainingsgruppe	1,42 ± 2,01	4,83 ± 0,88	*
Kontrollgruppe	0,69 ± 2,80	3,00 ± 3,31	n.s.
Sprinter	0,86 ± 2,66	3,93 ± 1,64	*
Ausdauergruppe	1,14 ± 2,39	3,64 ± 3,54	n.s.

Tab.150: Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint ohne Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 1	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	2,43 ± 2,80	1,00 ± 2,43	*
Trainingsgruppe	2,17 ± 2,36	1,42 ± 2,01	n.s.
Kontrollgruppe	2,63 ± 3,24	0,69 ± 2,80	*
Sprinter	3,21 ± 3,55	0,86 ± 2,66	*
Ausdauergruppe	1,64 ± 1,73	1,14 ± 2,39	n.s.

Tab.151: Vergleich der Differenz zwischen den beiden Frequenzen zwischen den Untersuchungszeitpunkten für den Sprint mit Atmung in der Gesamtgruppe (n=14), der Trainingsgruppe (n=6), der Kontrollgruppe (n=8), der Sprint- und Ausdauergruppe (beide n=7)

	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 1	Frequenz in 1/min zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
alle	3,18 ± 2,51	3,79 ± 2,66	n.s.
Trainingsgruppe	2,50 ± 1,34	4,83 ± 0,88	*

## 8 Anhang

Kontrollgruppe	3,69 ± 3,12	3,00 ± 3,31	n.s.
Sprinter	3,71 ± 3,11	3,93 ± 1,64	n.s.
Ausdauergruppe	2,64 ± 1,82	3,64 ± 3,54	n.s.

Tab.152: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 1 (n=14)

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	15,64 ± 1,39	15,36 ± 1,39	n.s.
1	13,57 ± 2,17	12,71 ± 1,44	n.s.
5	9,50 ± 3,16	9,00 ± 2,15	n.s.
10	8,43 ± 2,95	8,00 ± 1,84	n.s.

Tab.153: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung zum Zeitpunkt 2 (n=14)

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	16,43 ± 2,03	15,29 ± 1,20	*
1	13,43 ± 1,45	12,43 ± 1,16	*
5	9,64 ± 2,53	8,79 ± 2,12	*
10	7,64 ± 2,02	7,00 ± 1,36	n.s.

Tab.154: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	15,64 ± 1,39	16,43 ± 2,03	n.s.
1	13,57 ± 2,17	13,43 ± 1,45	n.s.
5	9,50 ± 3,16	9,64 ± 2,53	n.s.
10	8,43 ± 2,95	7,64 ± 2,02	n.s.

Tab.155: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt (n=14)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	15,36 ± 1,39	15,29 ± 1,20	n.s.
1	12,71 ± 1,44	12,43 ± 1,16	n.s.
5	9,00 ± 2,15	8,79 ± 2,12	n.s.
10	8,00 ± 1,84	7,00 ± 1,36	*

## 8 Anhang

Tab.156: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	15,67 ± 1,63	14,83 ± 0,41	n.s.
1	14,83 ± 2,14	12,83 ± 0,41	n.s.
5	11,17 ± 3,54	10,33 ± 1,75	n.s.
10	10,00 ± 3,41	9,17 ± 1,83	n.s.

Tab.157: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Trainingsgruppe (n=6) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	16,83 ± 2,04	15,50 ± 1,38	n.s.
1	14,50 ± 1,05	12,83 ± 1,47	*
5	11,33 ± 2,25	9,50 ± 2,07	*
10	8,67 ± 1,97	7,00 ± 0,89	n.s.

Tab.158: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	15,67 ± 1,63	16,83 ± 2,04	n.s.
1	14,83 ± 2,14	14,50 ± 1,05	n.s.
5	11,17 ± 3,54	11,33 ± 2,25	n.s.
10	10,00 ± 3,41	8,67 ± 1,97	n.s.

Tab.159: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Trainingsgruppe (n=6)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	14,83 ± 0,41	15,50 ± 1,38	n.s.
1	12,83 ± 0,41	12,83 ± 1,47	n.s.
5	10,33 ± 1,75	9,50 ± 2,07	n.s.
10	9,17 ± 1,83	7,00 ± 0,89	*

Tab.160: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	15,63 ± 1,30	15,75 ± 1,75	n.s.
1	12,63 ± 1,77	12,63 ± 1,92	n.s.

## 8 Anhang

5	$8,25 \pm 2,31$	$8,00 \pm 1,93$	n.s.
10	$7,25 \pm 2,05$	$7,13 \pm 1,36$	n.s.

Tab.161: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Kontrollgruppe (n=8) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	$16,13 \pm 2,10$	$15,13 \pm 1,13$	n.s.
1	$12,63 \pm 1,19$	$12,13 \pm 0,83$	n.s.
5	$8,38 \pm 2,00$	$8,25 \pm 2,12$	n.s.
10	$6,88 \pm 1,81$	$7,00 \pm 1,69$	n.s.

Tab.162: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	$15,63 \pm 1,30$	$16,13 \pm 2,10$	n.s.
1	$12,63 \pm 1,77$	$12,63 \pm 1,19$	n.s.
5	$8,25 \pm 2,31$	$8,38 \pm 2,00$	n.s.
10	$7,25 \pm 2,05$	$6,88 \pm 1,81$	n.s.

Tab.163: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Kontrollgruppe (n=8)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	$15,75 \pm 1,75$	$15,13 \pm 1,13$	n.s.
1	$12,63 \pm 1,92$	$12,13 \pm 0,83$	n.s.
5	$8,00 \pm 1,93$	$8,25 \pm 2,12$	n.s.
10	$7,13 \pm 1,36$	$7,00 \pm 1,69$	n.s.

Tab.164: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	$15,29 \pm 1,70$	$15,29 \pm 1,38$	n.s.
1	$13,71 \pm 1,80$	$12,57 \pm 0,98$	n.s.
5	$9,86 \pm 3,18$	$9,00 \pm 2,00$	n.s.
10	$8,71 \pm 2,69$	$7,71 \pm 1,60$	n.s.

## 8 Anhang

Tab.165: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Gruppe der Sprinter (n=7) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	15,71 ± 2,36	15,14 ± 1,57	n.s.
1	13,29 ± 1,70	12,43 ± 1,27	n.s.
5	10,29 ± 2,36	9,14 ± 2,27	n.s.
10	7,86 ± 2,27	7,29 ± 1,80	n.s.

Tab.166: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	15,29 ± 1,70	15,71 ± 2,36	n.s.
1	13,71 ± 1,80	13,29 ± 1,70	n.s.
5	9,86 ± 3,18	10,29 ± 2,36	n.s.
10	8,71 ± 2,69	7,86 ± 2,27	n.s.

Tab.167: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Gruppe der Sprinter (n=7)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	15,29 ± 1,38	15,14 ± 1,57	n.s.
1	12,57 ± 0,98	12,43 ± 1,27	n.s.
5	9,00 ± 2,00	9,14 ± 2,27	n.s.
10	7,71 ± 1,60	7,29 ± 1,80	n.s.

Tab.168: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 1

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	16,00 ± 1,00	15,43 ± 1,51	n.s.
1	13,43 ± 2,64	12,86 ± 1,86	n.s.
5	9,14 ± 3,34	9,00 ± 2,45	n.s.
10	8,14 ± 3,39	8,29 ± 2,14	n.s.



## 8 Anhang

Tab.169: Vergleich der Borg-Werte zwischen Sprint mit und ohne Atmung in der Ausdauergruppe (n=7) zum Zeitpunkt 2

Zeit in min	Borg-Wert in der Gruppe „ohne Atmung“	Borg-Wert in der Gruppe „mit Atmung“	Signifikanzniveau
0	17,14 ± 1,46	15,43 ± 0,79	*
1	13,57 ± 1,27	12,43 ± 1,13	*
5	9,00 ± 2,71	8,43 ± 2,07	n.s.
10	7,43 ± 1,90	6,71 ± 0,76	n.s.

Tab.170: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint ohne Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	16,00 ± 1,00	17,14 ± 1,46	n.s.
1	13,43 ± 2,64	13,57 ± 1,27	n.s.
5	9,14 ± 3,34	9,00 ± 2,71	n.s.
10	8,14 ± 3,39	7,43 ± 1,90	n.s.

Tab.171: Vergleich der Borg-Werte beim Sprint mit Atmung zwischen dem ersten und zweiten Untersuchungszeitpunkt in der Ausdauergruppe (n=7)

Zeit in min	Borg-Wert zum Zeitpunkt 1	Borg-Wert zum Zeitpunkt 2	Signifikanzniveau
0	15,43 ± 1,51	15,43 ± 0,79	n.s.
1	12,86 ± 1,86	12,43 ± 1,13	n.s.
5	9,00 ± 2,45	8,43 ± 2,07	n.s.
10	8,29 ± 2,14	6,71 ± 0,76	n.s.

## 8 Anhang

Tab.172: Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 1

Versuch Nr.	a	b	c	d	g	omega	h	phi	Bmass	Bmass2
1	33,90451	-0,01732	8,6795	42,306	-0,08	0,3252	-0,0199	27,922	0,71162	0,94187
2	58,99771	-0,02346	10,5555	76,622	-0,122	0,1801	0,0066	65,69	0,78452	0,93262
3	48,02239	-0,03041	8,583	44,928	-0,066	0,3207	-0,0164	18,469	0,73868	0,98669
4	44,36176	-0,01325	7,869	55,856	-0,066	0,2715	-0,0189	29,101	0,654	0,96883
5	52,23544	-0,02895	12,1759	36,787	-0,122	0,2625	-0,0231	40,825	0,93592	0,98395
6	44,90649	-0,01717	6,166	47,93	-0,135	0,5785	-0,041	35,616	0,85642	0,95602
7	62,99336	-0,03693	11,4365	30,382	-0,052	0,3288	-0,0149	20,169	0,88389	0,98466
8	56,42102	-0,02332	12,5359	44,058	-0,079	0,3604	-0,0254	23,861	0,81483	0,95669
9	41,72717	-0,01966	6,9619	34,18	-0,08	0,3946	-0,0268	26,758	0,84489	0,96571
10	57,43528	-0,02544	5,1217	12,652	-0,053	0,319	-0,0237	39,045	0,96349	0,98001
11	47,7268	-0,01648	7,6383	20,083	-0,067	0,4021	-0,024	22,581	0,94106	0,97456
12	40,80069	-0,0135	8,869	13,998	-0,018	0,3349	-0,0154	51,531	0,85593	0,95079
13	58,12274	-0,02354	8,4409	18,973	-0,101	0,3669	0,0068	-25,098	0,92577	0,95042
14	39,47197	-0,01673	8,405	15,547	-0,041	0,3784	-0,028	40,283	0,91677	0,97418

Tab.173: Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 1

Versuch Nr.	a	b	c	d	g	omega	h	phi	Bmass	Bmass2
1	30,61005	-0,01575	7,5834	0	-0,011	0,3747	-0,0178	59,442	0,94996	0,94996
2	51,92756	-0,02388	11,2909	0	-0,061	0,2083	0,0316	72,713	0,9511	0,9511
3	45,57732	-0,02658	4,748	0	-0,005	0,2593	-0,0139	37,501	0,94558	0,94558
4	48,63494	-0,025	5,6045	0	-0,05	0,3111	-0,0177	42,185	0,98256	0,98256
5	35,43919	-0,01797	10,7273	0	-0,102	0,2587	-0,0161	23,664	0,9747	0,9747
6	43,61329	-0,01887	6,8286	0	-0,262	0,4396	-0,0225	16,125	0,97555	0,97555
7	55,41016	-0,03141	8,1012	19,264	-0,051	0,2913	-0,0114	11,19	0,93609	0,98733
8	54,29605	-0,02003	10,1456	25,528	-0,124	0,4686	-0,012	19,005	0,92885	0,95076
9	46,66786	-0,01819	6,4589	11,523	-0,03	0,3512	-0,019	49,238	0,91876	0,95388
10	43,52416	-0,01798	6,2693	11,42	-0,021	0,2702	-0,0132	76,453	0,91178	0,96705
11	38,31544	-0,01352	8,9146	16,776	-0,031	0,3478	-0,0202	10,659	0,855	0,95236
12	48,54907	-0,02525	9,7853	36,627	-0,149	0,1369	0,0624	30,802	0,9209	0,97061
13	49,25551	-0,01817	7,1387	10,514	-0,028	0,3225	-0,015	-10,706	0,9506	0,98325
14	49,91227	-0,01831	9,0991	77,9	-0,191	0,3711	-0,0274	8,222	0,85004	0,98463

Tab.174: Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint ohne Atmung zum Zeitpunkt 2

Versuch Nr.	a	b	c	d	g	omega	h	phi	Bmass	Bmass2
1	35,27553	-0,01918	9,4903	54,834	-0,08	0,3292	-0,0148	15,961	0,63087	0,97012
2	58,01671	-0,03692	13,1905	57,289	-0,136	0,1881	0,0443	65,951	0,84318	0,9481
3	45,40448	-0,04082	4,6757	42,092	-0,089	0,3272	-0,0149	10,763	0,78095	0,97598
4	36,80099	-0,01435	4,0192	26,299	-0,05	0,3111	-0,0177	42,185	0,79595	0,94506
5	55,51717	-0,02303	8,9566	42,113	-0,102	0,2587	-0,0161	23,664	0,91031	0,98651
6	50,6629	-0,02164	8,4936	71,014	-0,262	0,4396	-0,0225	16,125	0,93091	0,98502
7	43,70236	-0,0278	5,5051	29,039	-0,046	0,362	-0,0176	35,966	0,76676	0,94283
8	42,53556	-0,01954	9,6085	27,154	-0,049	0,33	-0,0187	44,321	0,81284	0,95007
9	40,54268	-0,02723	7,3518	31,617	-0,07	0,3884	-0,0205	28,989	0,80598	0,95276

## 8 Anhang

---

10	62,74016	-0,0252	5,8979	17,003	-0,05	0,321	-0,0152	17,93	0,95944	0,98694
11	50,61656	-0,01839	7,4022	32,874	-0,08	0,3845	-0,0199	7,156	0,89597	0,97661
12	42,95247	-0,01804	9,0939	25,824	-0,026	0,3472	-0,0142	-39,684	0,75319	0,94021
13	40,43475	-0,02437	8,3367	25,727	-0,23	0,3705	0,0057	-17,332	0,95182	0,98664
14	41,91233	-0,015	6,7277	18,18	-0,026	0,3722	-0,0282	45,017	0,88139	0,98652

Tab.175: Parameter und Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsfunktionen für den Sprint mit Atmung zum Zeitpunkt 2

Versuch Nr.	a	b	c	d	g	omega	h	phi	Bmass	Bmass2
1	48,8389	-0,02237	6,3219	0	-0,011	0,3747	-0,0178	59,442	0,95583	0,95583
2	57,68849	-0,02442	10,2674	0	-0,061	0,2083	0,0316	72,713	0,95405	0,95405
3	55,59993	-0,04169	6,0301	0	-0,005	0,2593	-0,0139	37,501	0,94574	0,94574
4	46,72085	-0,02268	7,8323	0	-0,05	0,3111	-0,0177	42,185	0,95468	0,95468
5	47,9371	-0,02934	9,8737	0	-0,102	0,2587	-0,0161	23,664	0,98592	0,98592
6	60,59283	-0,01968	6,5997	0	-0,262	0,4396	-0,0225	16,125	0,9797	0,9797
7	52,83635	-0,02959	8,4806	0	-0,046	0,362	-0,0176	35,966	0,97089	0,97089
8	49,39774	-0,02002	8,3206	8,927	-0,014	0,2952	-0,0129	20,38	0,95702	0,99131
9	42,36023	-0,02794	7,3469	9,131	-0,021	0,4214	-0,0206	59,215	0,93521	0,97652
10	52,06816	-0,02225	4,5082	8,291	-0,027	0,2896	-0,0167	45,222	0,95097	0,96836
11	42,30999	-0,01926	7,0129	17,703	-0,055	0,3304	-0,0142	0,704	0,93868	0,9945
12	51,13787	-0,02049	10,8763	27,164	-0,14	0,1719	0,065	9,031	0,95253	0,98306
13	41,05105	-0,01936	9,9748	6,421	-0,032	0,3396	-0,016	-29,397	0,95598	0,97247
14	41,59668	-0,01724	5,9693	0	-0,012	0,3643	-0,0054	10,836	0,96767	0,96767

### 8.3 Danksagung

Ich möchte mich ausdrücklich bei Prof. Dr. med. Klaus-Michael Braumann für die wissenschaftliche Betreuung bei der Erstellung dieser Dissertation bedanken. Ein besonderer Dank gilt seinem Mitarbeiter Prof. Dr. med. Rüdiger Reer und seinem ehemaligen Mitarbeiter Dr. med. Marc Ziegler, die mir von Anfang an mit Rat und Tat zur Seite standen.

Des Weiteren möchte ich mich bei Daniela Stein für die Unterstützung in allen Fragen rund um das K4 bedanken und bei Jan Schröder für die Hilfe bei der statistischen Auswertung. Ein großer Dank gilt Dr. Marc-André Pick für die Geduld und die Hilfe bei allen Fragen rund um die Mathematik.

Bei den Mitarbeitern und Verantwortlichen des Hamburger Schwimmverbandes, insbesondere bei den Trainern möchte ich mich für die Erlaubnis der Durchführung meiner Untersuchung und die organisatorische Unterstützung bedanken. Michael Ramm stand mir bei Fragen und Problemen mit der elektronischen Zeitmessanlage jeder Zeit zur Verfügung – dafür ein herzlicher Dank.

Ferner möchte ich mich bei Imke Fietzek, Julia und Nadine Lampe, Petra Schankin, Ines Steiner und Dana Vogt für ihre Hilfe bei der Durchführung der Untersuchung bedanken und bei Karsten Fietzek für die Aufnahme und Bearbeitung der Bilder dieser Arbeit.

Nicht zuletzt danke ich von Herzen meiner Familie und Nicole, die mich immer unterstützt und motiviert haben und viel Verständnis und Geduld für die Arbeit an meiner Dissertation aufgebracht haben.

## 8.4 Lebenslauf

### Persönlichen Daten

Name: Melanie Mohnke  
Geboren am: 29. September 1974  
Geburtsort: Pinneberg  
Staatsangehörigkeit: deutsch  
Familienstand: ledig

### Ausbildung

08/1981 – 07/1985 Grundschule in Tornesch-Esingen  
08/1985 – 06/1994 Ludwig-Meyn-Schule in Uetersen, Abschluss: Abitur  
04/1995 – 03/1998 Schule für Physiotherapie an der Westfälischen  
Wilhelms-Universität Münster, Abschluss: Staatsexamen

### Studium

10/2000 – 01/2006 Studium der Diplom-Sportwissenschaften mit dem  
Nebenfach Medizin an der Universität Hamburg  
Abschluss: Diplom  
Thema der Diplomarbeit: Einfluss von Apnoe auf  
physiologische Parameter und die Sprintleistung beim  
50m-Freistil-Sprint

### Arbeitsverhältnisse

04/1998 – 10/2000 Physiotherapeutin im Physiotherapiezentrum Uetersen  
01/2001 – 01/2004 Freie Mitarbeiterin an der Volkshochschule Pinneberg und  
bei der AOK Elmshorn  
04/2003 – 06/2005 Verbandstrainerin im Hamburger Schwimmverband  
Seit 08/2005 leitende Schwimmtrainerin im SV Eidelstedt Hamburg  
Freie Mitarbeiterin/Trainerin im Fitnessstudio  
„LifestyleFitness“ Rellingen

### Zusatzqualifikationen

01/2001	Trainer C-Lizenz Rettungsschwimmen
05/2003	Trainer B-Lizenz Rettungsschwimmen
01/2004	Trainer C-Lizenz Schwimmen
12/2006	Trainer B-Lizenz Schwimmen

### Veröffentlichungen

09/2007	Ziegler M., M. Mohnke, N. Schwarz, R. Reer und K.M. Braumann Paradoxe geringere Sauerstoffaufnahme in der Nachbelastungsphase nach einem 50m-Freistil Sprint in Apnoe. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2007; 58(7/8): 275
---------	--

## **8.5 Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich, Melanie Mohnke, geboren am 29.09.1974, die vorliegende Dissertation selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Des Weiteren versichere ich dass weder mit dieser noch mit einer anderen Arbeit andernorts eine Doktorprüfung beantragt wurde.

---

Melanie Mohnke