



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Biomechanische Analyse der Rollwende im
Kraulschwimmen – eine empirische Studie bezüglich
des Einflusses des Hüft- und Kniewinkels während der
Rotation“

verfasst von / submitted by

Kerstin Baumgartner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree
of

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2016 / Vienna, 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 482 344

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport
UF Englisch

Betreut von / Supervisor:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Arnold Baca

Kurzzusammenfassung

Für die meisten Bewerbe legen Schwimmer und Schwimmerinnen mehr als eine Länge in einem Schwimmbecken zurück, wodurch es zu einer Art von Wende kommt. Beim Kraulschwimmen wird die Rollwende praktiziert, weil sich diese als am effizientesten erwiesen hat. Jedoch gibt es kaum detaillierte Beschreibungen der Rollwende, und es wurde bisher wenig darüber geforscht. In dieser Arbeit wird die Ausführung der Rollwende sehr genau betrachtet und im Detail zwischen der Ausführung mit kleinem und großem Hüft- und Kniewinkel unterschieden. Beim Praktizieren einer Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel wird angenommen, dass ein geringerer Abstand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation zur Wand gegeben ist, mit höherer Geschwindigkeit die Rollwende eingeleitet wird, es, unter anderem durch ein geringeres Trägheitsmoment, zu einer geringeren Rotationszeit kommt, und die Abstoßgeschwindigkeit schneller ist. Diesbezüglich wurde eine empirische Studie mit sechsunddreißig Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen über einen Zeitraum von sechzehn Wochen durchgeführt. Es wurde eine Versuchsgruppe, welche die Ausführung mit kleinen Winkeln trainierte, und eine Kontrollgruppe, die ihre gewohnte Ausführung praktizierte, gebildet. Das Ergebnis der Studie war jedoch, dass bei der untersuchten Stichprobe das Training sowie die Ausführung der Wende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel zu einer langsameren fünf Meter Rundenzeit führte als mit größeren Winkeln.

Abstract

The final times of a swim event can be influenced by the turns from up to 20 %, gaining or losing up to 0.2 s per turn. But only little investigation has been done to gain more insights about the tumble turn. Therefore, the aim of this study was to analyze the biomechanical, kinematic and kinetic characteristics of the flip turn. Two variants of body position during the rotation were looked at more closely, one performed with bigger angles in knee and hip, and the other one with smaller angles. The assumption was that a smaller body position during the rotation would lead to a faster performance. Furthermore, the distance from the wall to the head of the swimmer during the initiation of the rotation, the velocity during the start of the rotation, the time of the rotation, the moment of inertia and the velocity out, were expected to be directly influenced by the variant of execution of the flip turn. The influence the degrees of the angles have were further analyzed by the conduction of a study with thirty-six age-group swimmers. One group trained the variant with a smaller angle and the other group practiced their own individual variant, without intentional alteration for sixteen weeks. Their performance before and after the program were analyzed and compared between the two groups. The findings were, that among other factors discussed in this paper, the execution of the tumble turn with smaller angle in knee and hip might have contributed to a slower performance of this population.

Danksagung

Ich möchte mich bei dem Betreuer meiner Diplomarbeit, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Arnold Baca bedanken, weil er zu jeder Zeit erreichbar war, sich meiner Fragen und Probleme annahm und mich großartig unterstützte. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Dipl.-Sporting Dr. Mario Heller und bei Frau Michaela Haßmann, MSc. Beide unterstützten mich während des Planungsprozesses der Untersuchung durch wertvolle Anregungen. Zusätzlich gilt mein Dank Annika Rath und Niki Sahling, die mir sowohl während des Planungsprozesses beratend, sowie bei der Durchführung der Videoaufnahmen immer tatkräftig zur Seite standen. Ohne sie wären die Aufnahmen nicht möglich gewesen. Außerdem möchte ich mich bei den an der Studie teilgenommenen Schwimmern und Schwimmerinnen des SV Krems, des 1. SC Donau Wien sowie des SV Schwechat als auch deren Trainer und Trainerinnen Martina Seif, Markus Bohn und Nina Dittrich bedanken. Vielen Dank, dass ihr so bereitwillig und voller Einsatz mitgemacht habt.

Schlussendlich gilt mein besonderer Dank noch meiner Mutter und meiner Schwester. Diese haben mich immer in allen Lebenslagen unterstützt, an mich geglaubt, und zu mir gehalten. Ohne sie wäre ein Studium nicht möglich gewesen. Ein spezieller Dank geht an meine Mutter, die mich auch während des Schreibprozesses der Diplomarbeit immer mit Anregungen inspiriert hat.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Theorie der Rollwende.....	7
2.1	Geschichte des Schwimmens und der Rollwende.....	8
2.2	Biomechanische Einflussgrößen beim Schwimmen	9
2.3	Bewegungsbeschreibung und Phaseneinteilung der Rollwende	12
2.3.1	Anschwimmphase und Adaptation.....	17
2.3.2	Rotationsphase.....	18
2.3.3	Abstoßphase/Wandkontaktzeit	24
2.3.4	Gleit- und Auftauchphase	29
2.4	Beteiligte Muskulatur	31
2.5	Beschreibungsmerkmale der Rollwende.....	32
3	Empirische Studie.....	35
3.1	Forschungsdefizite und Untersuchungsziele.....	35
3.2	Fragestellung und Hypothese	37
3.3	Methodik.....	38
3.3.1	Vorgehensweise und organisatorische Rahmenbedingungen.....	39
3.3.2	Kameras und Material.....	41
3.3.3	Personenauswahl	43
3.3.4	Markerpunkte.....	46
3.3.5	Wendenanalyse.....	47
3.3.6	Fehlerabschätzung	48
3.3.7	Gütekriterien	50
3.3.8	Methoden der Datenverarbeitung	54
3.4	Analyse leistungsrelevanter biomechanischer Parameter der Kraulrollwende....	55
3.4.1	5 m Rundenzeit	56
3.4.2	Bestimmung der Bestversuche der Wendenanalyse.....	57
3.4.3	Anschwimmgeschwindigkeit	58
3.4.4	Abstoßgeschwindigkeit.....	60

3.4.5	Abstand zur Wand zum Start der Rotation	62
3.4.6	Drehzeit.....	64
3.4.7	Wandkontaktzeit.....	66
3.4.8	Größter Knie- & Hüftwinkel zu Beginn der Rotation	67
3.4.9	Knie- und Hüftwinkel während des Abstoßes und Tuck Index	68
3.5	Datenverarbeitung.....	69
3.5.1	Differenz der 5 m RTT vom 1. zum 2. Termin – absoluter Wert.....	70
3.5.2	Differenz der 2 m bis 5 m Rundenzeit vom 1. zum 2. Termin	72
3.5.3	Abstoßgeschwindigkeit und Tuck Index	73
3.5.4	Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation	76
3.5.5	Wandkontaktzeit.....	77
3.5.6	Drehzeit.....	78
3.6	Resultate.....	79
4	Diskussion.....	82
5	Ausblick.....	87
6	Abbildungsverzeichnis.....	89
7	Tabellenverzeichnis.....	90
8	Literaturverzeichnis	91
9	Anhang.....	94

1 Einleitung

Sportliches Schwimmen ist laut Richter (1952) durch die Zielstellung gekennzeichnet, sich möglichst schnell im Wasser fortzubewegen. Ungerechts, Volck und Freitag (2002) stimmen dieser Definition zu, fügen jedoch hinzu, dass es sich dabei um eine vorgegebene Strecke sowie Fortbewegungsart handelt. Eine bestimmte Distanz soll in möglichst kurzer Zeit durchschwommen werden. Momentan ist die schnellste menschliche Fortbewegungsart ohne Hilfsmittel im Wasser das Kraulschwimmen, und die menschlich maximale Geschwindigkeit, sich durch das Wasser zu bewegen, liegt bei 2,38 m/s (Hahn, Markatsch & Strass, 2010). Sobald die Distanz von einer Länge, welche in den meisten Bädern entweder 25 m oder 50 m beträgt, überschritten wird, ist eine Form des „Umkehrens“ notwendig. Dieses wird beim Schwimmen als „Wende“ bezeichnet. Die Wettkampfbestimmungen des Österreichischen Schwimmverbandes (OSV), die den Regeln der Fédération Internationale de Natation (FINA) entnommen wurden, besagen, dass bei der Kraulwende die Wand mit einem beliebigen Körperteil berührt werden muss. Aus diesem Grund wurde die Rollwende entwickelt (Counsilman, 1977). Dadurch können der Fluss des Schwimmens und die Schwimmgeschwindigkeit am ehesten beibehalten werden. Doch bisher ist wenig über die Mechanismen einer effektiven Wendetechnik bekannt, weil nur wenige Studien die Technik der Rollwende untersucht haben (Bahadoran, Mosavi, Hasannejad & Mordlo, 2012). Der Grund liegt in der Tatsache, dass keine einfachen, genauen und vielseitigen Untersuchungsmethoden zur Verfügung stehen, da bei Videoanalysen das Bild teilweise durch Spritzer über Wasser und durch Blasen unter Wasser verdeckt oder gestört wird. Außerdem ist der Brechungsindex in Luft und Wasser unterschiedlich, wodurch eine kinematische Analyse in diesen beiden Medien separat durchgeführt werden muss (Bahadoran et al., 2012). Da jedoch ein sehr hohes Leistungsniveau und sehr große Leistungsdichten im Leistungsschwimmen vorherrschen, und die Schwimmer und Schwimmerinnen maximal hohe Trainingsumfänge und Trainingszeiten absolvieren, ist eine optimierte Trainings- und Wettkampfsteuerung sowie eine Optimierung der Technik notwendig. Durch die hohen Trainingsumfänge und Trainingszeiten ist für eine Verbesserung der Schwimmzeiten eine Quantitätssteigerung kaum möglich. Die Athleten und Athletinnen trainieren bis zu elf Wassertrainingseinheiten und sechs Landtrainingseinheiten pro Woche. Dadurch würden sie sehr leicht zeitlich und sozial erschöpfen, an Überbelastung leiden und sich leichter verletzen. Daher ist statt einer Quantitätssteigerung eine Qualitätssteigerung die bessere Möglichkeit die Leistungen weiter zu steigern (Wilke & Madsen, 1997). Ein Aspekt des Schwimmens, der eine Leistungsverbesserung durch Techniko Optimierung bringen kann, ist die Wende (Bahadoran et al., 2012). Eine Qualitätssteigerung der Wende würde kinematische und dynamische

Strukturen der Bewegung, physiologische und neuronale Abläufe bei der Bewegungsausführung sowie biomechanische und konditionelle Parameter betreffen (Recht, 2003).

Die Gesamtzeit eines Schwimmwettkampfes ergibt sich aus folgenden Komponenten: der Startzeit, welche das Zeitintervall vom Startsignal bis zum Kopfdurchgang bei 7,5 m darstellt, der Wendenzeit, welche in dieser Studie als 5 m vor bis 5 m nach der Wand angenommen wird und der Finishzeit, welche definiert ist, als das Zeitintervall vom Kopfdurchgang bei 7,5 m vor dem Ziel bis zum Zielanschlag sowie der restlichen Meter die schwimmend zurückgelegt werden.

Bei einem Wettkampf von 50 m Kraul in einem 25 m Becken sind 25 m dem Start, der Wende und dem Finish zugeordnet. Das bedeutet, die Hälfte der Zeit würde in diesem Fall diesen drei Komponenten zugeordnet werden. Bei längeren Distanzen kommt der Wende noch mehr Bedeutung zu, da ein 100 m Kraul Wettkampf aus einem Start, drei Wenden, Schwimmphasen und einem Finish, besteht. Daher werden nur durch die Wendenabschnitte 30 m zurückgelegt. Dies bedeutet einen sehr großen Einfluss auf die gesamte Schwimmzeit (Shahbazi, Sanders & Tonddast, 2006). Blanksby, Gathercole und Marshall (1996) sowie Cossor, Blanksby und Elliot (1999) geben an, dass die Wendenzeit 8-20 % der Gesamtwettkampfzeit darstellt, je nachdem, ob die 5 m, 10 m oder 15 m Rundenzeit verwendet wird. Bei einem Wettkampf auf der Kurzbahn hat die Wende größeren Einfluss als auf der Langbahn und bei Langstrecken. Beispielsweise bei 1500 m hat die Wende größeren Einfluss als bei Kurzstrecken, wie bei 50 m (Blanksby et al., 1996; Chakravorti, Slawson, Cossor, Conway & West 2012; Cossor et al. 1999). Wilke (1990) gibt sogar an, dass die Wendenzeit 20,5 % der Gesamtwettkampfzeit bei einem 50 m Bewerb in einem 25 m Becken darstellt. In dieser Studie wird die 5 m Rundenzeit verwendet, wodurch laut Blanksby et al. (1996) sowie Cossor et al. (1999) die Wendenzeit im 25 m Becken bei einem 50 m Bewerb rund 20 % der Gesamtzeit darstellt. Laut Blanksby, Simpson, Elliot und McElroy (1998) kann bereits eine hundertstel Sekunde über Sieg oder Niederlage im Wettkampf entscheiden. Maglischo (2003) schreibt, dass durch Optimierung der Wende bei Leistungsschwimmern und Leistungsschwimmerinnen eine Verbesserung der Wettkampfzeit pro Länge um zwei zehntel Sekunden bringen kann.

Diese Arbeit betrachtet die Rollwende im Detail und unterscheidet zwischen einer Ausführung mit kleinem Hüft- und Kniewinkel und einer Ausführung mit großem Hüft- und Kniewinkel. Bei einer Beobachtung von Wettkampfschwimmern und Wettkampfschwimmerinnen unterschiedlichsten Niveaus sowohl während des Trainings als auch bei Wettkämpfen, waren unterschiedlichste Ausführungsarten zu sehen. Auch bei Gesprächen mit Trainern und Trainerinnen unterschiedlichster Leistungsgruppen schien

das Bewusstsein nicht vorhanden zu sein, dass es einen Unterschied machen könnte, ob die Wende mit kleinem oder großem Hüft- und Kniewinkel ausgeführt wird. In Abbildung 1 ist in der linken Spalte die Ausführung der Rollwende mit großem Hüft- und Kniewinkel und in der rechten Spalte die Ausführung der gleichen mit kleinem Hüft- und Kniewinkel dargestellt. In grüner Farbe ist der Hüftwinkel, und in roter der Kniewinkel eingezeichnet. In jeder Zeile der Abbildung 1 befindet sich der Schwimmer oder die Schwimmerin jeweils im identen Moment der Ausführung der Rollwende, daher können die Winkel miteinander verglichen werden. Die erste Zeile stellt den Moment der Einleitung der Rotation nach dem

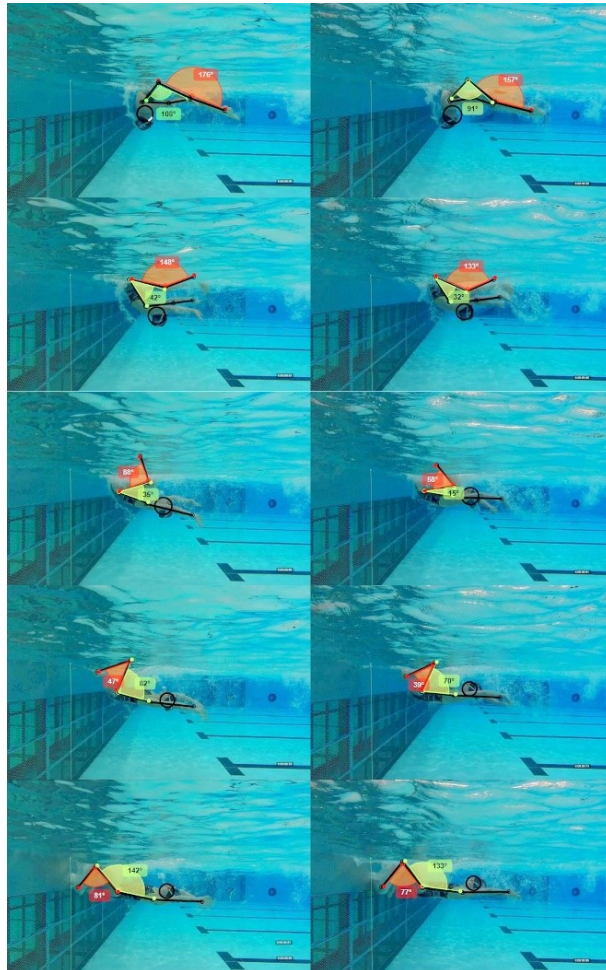


Abb. 1: Darstellung der Ausführung der Rollwende mit großem Hüft- und Kniewinkel (links) und kleinem Hüft- und Kniewinkel (rechts).

Delfinbeinschlag dar, während welchem der Kniewinkel am größten ist. Dieser beträgt bei der größeren Ausführung der in Abbildung 1 dargestellten Schwimmerin 176° und der Hüftwinkel 108°. Bei der kleineren Ausführung beträgt der Kniewinkel 157° und der Hüftwinkel 91°. In den Bildern der zweiten Zeile befindet sich die Athletin in der dargestellten Position 2 hundertstel Sekunden nachdem der Markerpunkt am Malleolus lateralis die Wasseroberfläche durchbrochen hat. Hierbei beträgt der Kniewinkel bei der Ausführung mit größeren Winkeln zu diesem Zeitpunkt 148° und der Hüftwinkel 42°. Bei der Ausführung mit kleineren Winkeln beträgt der Kniewinkel 133° und der Hüftwinkel 32°. In der dritten Zeile weist die Schwimmerin den kleinsten Hüftwinkel während der gesamten Rotation auf. Dieser beträgt bei der größeren Ausführung in dieser Abbildung 35° und bei der kleineren 15°. Auch die Kniewinkel unterscheiden sich mit 88° und 58° deutlich. Der Zeitpunkt der vierten Zeile ist 4 hundertstel Sekunden bevor die Schwimmerin mit den Füßen die Wand berührt. Abbildung 1 veranschaulicht den geringer werdenden Unterschied der Knie- und Hüftwinkel beider Varianten. Erst genannter Winkel beträgt 47° bei der größeren und 39° bei der kleineren Variante, Zweiter 82° und 70°. Die fünfte, und somit letzte, Zeile präsentiert den ersten Wandkontakt der Füße der Schwimmerin. Die Unterschiede zwischen den Varianten

ähneln jenen der Bilder der Zeile darüber, mit 81° und 77° der Knie- sowie 142° und 133° der Hüftwinkel.

Die große Ausführung ist von einer längeren Verzögerung der gestreckten Beine an der Wasseroberfläche gekennzeichnet, während bei der Ausführung mit kleinem Hüft- und Kniewinkel die Knie früher gebeugt und zur Brust gezogen werden. Auch Überwasser ist der Kniewinkel um einiges größer als bei der Ausführung mit kleinem Hüft- und Kniewinkel.

Bei theoretischer Betrachtung dieses Aspektes spielen einige biomechanische Einflussfaktoren eine Rolle, die zu einer zeitlichen Verbesserung oder Verschlechterung führen können. Beispielsweise wird bei einer Ausführung mit größerem Hüft- und Kniewinkel mehr Abstand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation zur Wand gelassen. Dadurch kommt es zu einer Ersparnis, da eine kleinere Wegstrecke zurückgelegt werden muss. Andererseits bremsen viele Schwimmer und Schwimmerinnen bei einer weiteren Distanz die Geschwindigkeit etwas ab, bevor die Wende eingeleitet wird. Eine Verringerung der Geschwindigkeit bei Einleitung der Rotation führt zu einer längeren Rotationszeit und möglicherweise einer längeren Wandkontaktzeit und einer langsameren Abstoßgeschwindigkeit. Außerdem spielt das Trägheitsmoment bei der Ausführung der Rotation eine wichtige Rolle. Hierbei kommt es durch einen größeren Knie- und Hüftwinkel während der Rotation zu einem größeren Trägheitsmoment und einer langsameren Rotation. Bei der Ausführung der Wende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel ist das Trägheitsmoment kleiner und die Drehgeschwindigkeit größer. Zudem bieten der Schwimmer und die Schwimmerin dem Wasser weniger Fläche bei der Ausführung der Wende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel. Dadurch käme es zu geringeren Widerstandskräften, was zusätzlich zu einer schnelleren Rotation führen sollte. Auf die biomechanischen Einflussgrößen wird näher in Kapitel 2.2 eingegangen. Jedoch müssen auch andere Faktoren, wie optimaler Abstoßwinkel und zu schwimmende Distanz und ähnliches, berücksichtigt werden. Diese Faktoren werden im Detail in den nachfolgenden Kapiteln erläutert. Außerdem wird die Fragestellung detailliert hinterleuchtet und statistisch mit einer Versuchs- und Kontrollgruppe untersucht, ob die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel tatsächlich Vorteile bringt, wie die Theorie besagt.

Die für diese Studie verwendeten Videos der Rollwende sind im Anhang als DVD beigelegt. Auch die Ergebnisse der statistischen Auswertung mittels IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, sind im Anhang zu finden.

2 Theorie der Rollwende

Im Wettkampfschwimmen sind bei allen Streckenlängen, außer den 50m Bewerben, welche auf einer 50m Bahn ausgetragen werden, eine Richtungsänderung notwendig, da der Bewerb die Länge der Bahn überschreitet. Daher muss nach einer geschwommenen Länge eine Drehung passieren (Pfeifer, 1991; Ungerechts et al., 2002), damit die Schwimmer und Schwimmerinnen zurückschwimmen und somit die restlichen nötigen Meter passieren können. Infolgedessen wird die Rollwende praktiziert, da sie die schnellste Form der Wende ist. Dabei versucht der Schwimmer oder die Schwimmerin durch die Rollwende die Ausrichtung des Körpers in möglichst kurzer Zeit zu ändern und mit einer gleichen oder höheren Geschwindigkeit in die andere Richtung weiter zu schwimmen (Blanksby, et al., 1996). Da die Schwimmer und Schwimmerinnen einer gewissen Bahn zugeteilt sind, die laut der Wettkampfbestimmungen des Österreichischen Schwimmverbandes (abgekürzt OSV, diese Abkürzung wird im Folgenden anstatt der vollen Bezeichnung verwendet) 2,50 m breit und durch Schwimmleinen abgegrenzt zu sein hat (OSV Wettkampfbestimmungen, 2015, §101 Nr. 6), muss die Drehung 180° betragen. Bei einem 100 m Bewerb auf einer 25 m Bahn erfordert das drei Wenden, bei einem 800 m Bewerb ergeben sich jedoch bereits 30 Wenden. Im Falle einer 50 m Bahn halbiert sich die Anzahl der Wenden. Trotzdem ist die Anzahl der Wenden sehr hoch und daher der Anteil an der endgültigen Schwimmzeit entsprechend entscheidend, sodass eine Optimierung der Wende eine bedeutende zeitliche Verbesserung bringen kann (Ungerechts et al., 2002). Die Wettkampfbestimmungen des OSV geben die Ausführung der Schwimmlagen sowie deren Wenden genau vor. Im Brust- und Delfinschwimmen ist eine Kippwende vorgesehen, bei welcher beide Hände nebeneinander gleichzeitig an der Wand anschlagen müssen (OSV Wettkampfbestimmungen, 2015, §109 Nr. c6 & d4). Bei dem Kraul- und Rückenschwimmen ist die Wende so auszuführen, dass „ein beliebiger Körperteil die Wand berühren“ muss (OSV Wettkampfbestimmungen, 2015, §109 Nr. a2 & b4). Da sich die Rollwende als die schnellste Form der Wende etabliert hat, wird aufgrund der Formulierung dieser Regel bei Wettkämpfen im Leistungsbereich während Kraulbewerben im Zuge der Wende die Wand nur mit den Füßen berührt (Hahn, 2009). Laut Ungerechts et al. (2002) ergibt sich durch eine Rollwende eine deutliche Zeitersparnis aufgrund einer geringeren Wendenzeit gegenüber einer Kippwende. Da der Schwimmer oder die Schwimmerin bei der Rollwende zirka 0,70 m bis 0,90 m weniger Distanz zurücklegen muss, da die Wende früher gestartet wird, kann Zeit gespart werden. Zusätzlich ergibt sich durch die Rollwende ein „höheres Maß an Bewegungsfluss“ (Ungerechts et al., 2002, S. 142). Aus diesen Gründen nutzen alle wettkampfmäßigen Kraulschwimmer und –schwimmerinnen die Technik der Rollwende (Puel, Morlier, Avalos, Mesnard, Cid & Hellard, 2012). Wo die Entstehungsgründe des

Schwimmens und somit der Rollwende liegen, wird im nächsten Kapitel erläutert. Dadurch soll ein Einblick gegeben werden, wie und warum sich die Rollwende etablierte hat.

2.1 Geschichte des Schwimmens und der Rollwende

Die Entstehung des sportlichen Schwimmens legt den Grundstein für die Entstehung der Rollwende. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel zuerst auf die Geschichte des Schwimmens, vor allem des Kraulschwimmens, eingegangen.

Die ersten bekannten Felsenmalereien von Menschen im Wasser stammen von 5000 Jahre vor Christus. Später wurde das Schwimmen von Menschen in ägyptischen Hieroglyphen und Darstellungen um 3000 vor Christus erwähnt, jedoch noch lange nicht in der Form, in der es heutzutage ausgeführt wird (Lewillie, 1982; Hahn et al., 2010). Das bedeutet, dass bereits in frühesten Zeiten eine Form der Badekultur existierte. Jedoch mit dem Untergang der Antike verschwand offensichtlich das Kraulschwimmen, denn es gibt nichts, das auf etwas Ähnliches schließen ließe (Richter, 1952). Doch auch wenn eine Form des Schwimmens bereits 5000 Jahre vor Christus bekannt war, wurde in früheren Zeiten der Sinn des Schwimmens nicht erkannt, da das Wasser zum „Baden aus Vergnügen“ in den meisten Ländern zu kalt war. Außerdem hatte das Schwimmen keinerlei praktischen Nutzen, weil Bauern und Soldaten Gewässer mit Gewand, Ausrüstung oder anderen Utensilien durchqueren mussten. Die Gewässer konnten mit eben Genanntem nicht schwimmend durchquert werden, weil die Strecken dafür zu weit und die Strömungen der Flüsse zu kräftig waren. Zusätzlich waren einfachere Methoden der Überquerung, wie Brücken oder Flöße, zumindest teilweise verfügbar (Lewillie, 1982).

Vom 16. Jahrhundert sind Malereien bekannt, in denen französische und assyrische Männer dargestellt sind, die eine Technik anwendeten, die dem Kraulschwimmen sehr ähnlich sah. Ende des 18. Jahrhunderts wurden mehrere Bücher publiziert, die in verschiedenen Sprachen die Kunst des Schwimmens beschrieben (Lewillie, 1982). Hahn (2010, S. 15) bemerkt in seinem Buch „Die Ausprägung der Kraultechnik lässt sich ca. 1875 auf den Engländer John Trudge zurückführen. Er schwang als einer der Ersten die Arme wechselseitig nach vorn und führte dabei mit den Beinen eine Scherbewegung durch“. Gut Muths jedoch war laut Lewillie (1982) der Erste, der eine Wende erwähnte. Im 19. Jahrhundert wurden Maschinen gebaut, die den Soldaten beim Trainieren des Schwimmens helfen sollten. Auch Rudern und ähnliche Sportarten, welche auf dem Wasser ausgeübt wurden, entwickelten sich. Bald jedoch empfand man das Bewegen im Wasser als spaßvoller und die ersten Schwimmvereine wurden gegründet. Die Technik des „Kraulschwimmens“ wurde im 20. Jahrhundert wieder entdeckt und erlebte einen Aufschwung (Lewillie, 1982). 1906 kam die heute bekannte sportliche Form des

Kraulschwimmens auf unseren Kontinent durch Cecil Healy, der das „Crawlschwimmen“ begann (Richter, 1952).

Im Laufe der Jahre änderten sich die Wendentechniken. Gründe für die Veränderungen waren neue Bewegungslösungen, auf die Sportler und Sportlerinnen oder Trainer und Trainerinnen kamen. Neuerungen im Bäderbau und auch Veränderungen der Wettkampfbestimmungen wirkten auf die Entwicklung der Wende ebenfalls ein. Beispielsweise änderte sich die Rückenwende im Jahr 1991 durch eine Regeländerung. Bis dahin musste die Wand mit der Hand berührt werden, sobald das jedoch abgeschafft worden war, konnte die Rückenrollwende, die der Kraulwende sehr ähnlich ist und enorme Zeitersparnis bedeutet, praktiziert werden (Ungerechts et al., 2002). Das Schwimmen von heute begann laut Lewillie (1982) erst vor etwa einem Jahrhundert, wann die Rollwende in der heutigen Form zum ersten Mal ausgeführt wurde, ist jedoch nicht bekannt.

2.2 Biomechanische Einflussgrößen beim Schwimmen

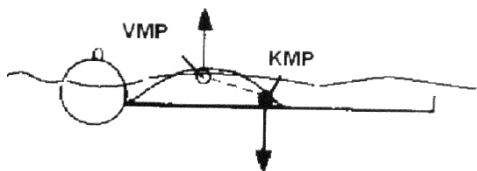


Abb. 2: Volumenmittelpunkt (VMP) und Körperschwerpunkt (KMP) in labilem Gleichgewicht. Ungerechts et al., 2002, S. 16.

Grundsätzlich wirken auf im Wasser liegende Schwimmer und Schwimmerin zwei äußere Kräfte. Die Schwerkraft (in den Abbildungen 2 und 3 der Pfeil vom Körpermittelpunkt weggehend), welche sich aus Masse mal Erdbeschleunigung definiert, ist eine nach unten gerichtete, am Körperschwerpunkt angreifende Kraft. Zudem wirkt der statische Auftrieb, eine nach oben gerichtete Kraft, die am

Volumenmittelpunkt der verdrängten Flüssigkeit angreift, und die der Gewichtskraft des vom eingetauchten Körper verdrängten Wasservolumens entspricht. Da diese beiden Kräfte an zwei unterschiedlichen Punkten des Schwimmers oder der Schwimmerin angreifen, ist deren Körper nur solange in einem stabilen Gleichgewichtszustand, solange der Körperschwerpunkt genau unterhalb des Volumenmittelpunktes liegt. Die Lage des Volumenmittelpunktes und Körperschwerpunktes bei stabilem Gleichgewicht ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Pfeile stellen die wirkenden Kräfte, den statischen Auftrieb und die Schwerkraft dar. Sobald sich diese zwei Punkte jedoch leicht verschieben, kommt dieses stabile Gleichgewicht durcheinander. Wenn der Körperschwerpunkt verlagert wird oder sich sogar über dem Volumenmittelpunkt befindet, gerät der Körper in einen labilen Gleichgewichtszustand.

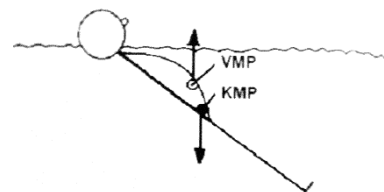


Abb. 3: Volumenmittelpunkt (VMP) und Körperschwerpunkt (KMP) in stabilem Gleichgewicht. Ungerechts et al., 2002, S. 16.

Für Rotationen ist eine Kraft notwendig, deren Angriffspunkt nicht durch den Schwerpunkt geht. Dadurch ergibt sich ein Drehmoment, welches von dem Kraftbetrag und der Länge des Hebelarms abhängig ist. Diese sind in Abbildung 2 und Abbildung 5 dargestellt. Die in Abbildung 2 und Abbildung 3 veranschaulichten Lagepunkte von Körpermittelpunkt und Volumenmittelpunkt sind von der Körperlage im Wasser, Teilkörperbewegungen und Ein- sowie Ausatmung abhängig. Aufgrund dieser Abhängigkeiten kann die Lage der Punkte verändert werden. Dadurch kann der Schwimmer oder die Schwimmerin den Gleichgewichtszustand und somit die Lage im Wasser und eventuelle Rotationen beeinflussen (Reischle, 1988; Hahn et al., 2010; Ungerechts et al., 2002).

Bei der Rollwende und dem Abstoß sind im Besonderen Reibungswiderstand, Formwiderstand und Wellenwiderstand zu betrachten (Lyttle, Blanksby, Elliott & Lloyd, 1998). Diese Widerstände, und wo sie am menschlichen Körper angreifen, sind in Abbildung 4 anhand eines Brustschwimmers verdeutlicht.

Der Abstoß- oder Abdruckwiderstand ist in Abbildung 4 ebenfalls dargestellt, auf diesen wird jedoch nicht eingegangen, da er für die Rollwende zu vernachlässigen ist. Hahn et al. (2010) erklären den *Reibungswiderstand* durch eine Wasserschicht, die durch Kohäsion direkt am Körper des Schwimmers oder der Schwimmerin anhaftet und sich mit dem Körper fortbewegt. Dieser Widerstand wird auch Haftreibung genannt. Je weiter die Wasserschichten

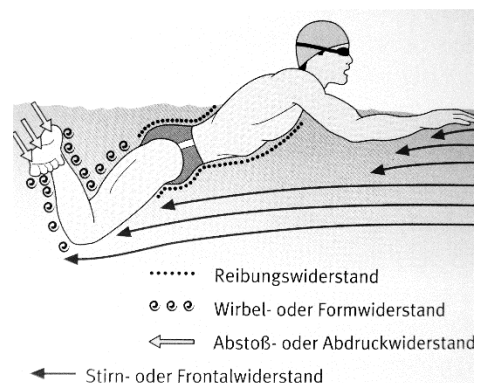


Abb. 4: Widerstandsarten. Hahn, 2009, S. 14

vom Körper entfernt sind, desto langsamer wird deren Fortbewegungsgeschwindigkeit. Durch diese Geschwindigkeitsdifferenz kommt es zu einer Reibung der Wasserschichten aneinander und einer Sogwirkung durch Wirbelbildung hinter dem Körper des Schwimmers oder der Schwimmerin. Durch die Form des menschlichen Körpers, die Körperbehaarung und die Bekleidung wird die Anhaftung der Wasserteilchen gefördert. Der Betrag des Reibungswiderstandes hängt ab „von der gesamten eingetauchten Oberfläche des Schwimmers“ (Hahn et al., 2010, S. 23f.) und der Schwimmerin sowie der Beschaffenheit der Oberfläche, „von den Strömungsbedingungen innerhalb der Grenzschichten; von den Strömungsgeschwindigkeiten und von der Dichte und Zähigkeit des Wassers“ (Hahn et al., 2010, S. 24). Zudem ist der *Formwiderstand* nicht zu vernachlässigen, er ist der den Menschen am stärksten beeinflussende Widerstand. Dieser ergibt sich aus $F_D = \rho/2 * C_D * A * v^2$ [N] (Hahn et al. 2010, S. 24). F_D steht für den Druckwiderstand; ρ für die Dichte des Mediums Wasser; C_D für den Widerstandsbeiwert; A für die Fläche des Körpers senkrecht zur Anströmrichtung und v für die Geschwindigkeit des Körpers beziehungsweise seiner

Teile. Da der Wasserwiderstand quadratisch von der Geschwindigkeit abhängt, spielt die Geschwindigkeit, insbesondere Geschwindigkeitsspitzen, wie sie speziell während des Abstoßes nach der Rollwende oft auftreten, eine besondere Rolle. Außerdem wird durch diese Formel gezeigt, wie wichtig es ist, eine möglichst strömungsgünstige Körperlage einzunehmen um dem Wasser möglichst wenig Angriffsfläche zu bieten (Hahn et al., 2010). Abschließend bleibt noch der *Wellenwiderstand* zu erläutern. Sobald der Schwimmer oder die Schwimmerin an der Wasseroberfläche oder sehr nahe an der Wasseroberfläche schwimmt, kommt der Wellenwiderstand zum Tragen, da Wellen erzeugt werden oder die bestehenden Wellen auf den schwimmenden Körper einwirken. Aus diesem Grund sollten sich Schwimmer und Schwimmerinnen in genügender Tiefe nach dem Start und den Wenden befinden um diesem zusätzlichen Widerstand möglichst lange zu entgehen (Hahn et al., 2010).

Die biomechanischen Kräfte, die während der Rollwende wirken, werden hier an einem Beispiel aus der Praxis erläutert. Damit wird erklärt, wie die Rollwende biomechanisch funktioniert.

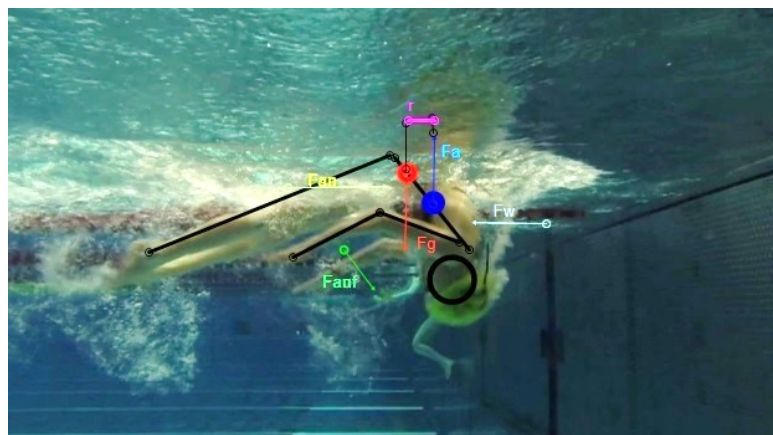


Abb. 5: Darstellung der auf den rotierenden Körper wirkenden Kräfte. F_w als Widerstandskraft, F_{auf} in grün als dynamische Auftriebskraft, F_{an} in gelb für die Vortriebskraft, F_g in rot für Schwerkraft, F_a in blau für Auftriebskraft und r in rosa für normaler Abstand zur Drehachse.

Es wirken auf den Körper

mehrere Kräfte; die relevantesten sind in Abbildung 5 dargestellt. Dazu zählen Kräfte wie die Schwerkraft (F_g , in rot) und die Auftriebskraft (F_a , in dunkelblau), und die dynamischen Kräfte, wie die dynamische Auftriebskraft (F_{auf} in grün), die Vortriebskraft (F_{an} in blau) und die Widerstandskräfte (F_w in hellblau). Wenn der Schwimmer oder die Schwimmerin gerade auf der Wasseroberfläche liegt und Antriebsbewegungen für den Vortrieb erzeugt, greift die Auftriebskraft am Volumenmittelpunkt (blauer Punkt) und die Schwerkraft am Körperschwerpunkt (roter Punkt) an. Beide befinden sich in etwa auf Höhe der Wasseroberfläche. Eine stabile Lage wäre erst erreicht, wenn sich der Körperschwerpunkt unter dem Volumenmittelpunkt befindet. Wenn sich der Körperschwerpunkt nicht unter dem Volumenmittelpunkt befindet, ergibt sich ein normaler Abstand zur Drehachse (r , in rosa), wodurch ein Drehmoment entsteht. Dieses Drehmoment kann jedoch nicht wirken, weil andere Kräfte dagegen wirken. Während der Körper in der Hüfte weiter nach vorne gebeugt wird, verursacht der Oberkörper einen Widerstand, der den Impuls des Oberkörpers bremst. „Der Vorwärtsimpuls des Unterkörpers und der Beine wird durch diesen Widerstand nicht

so sehr betroffen und geht weiter nach vorn und über den Oberkörper hinaus“, beschreibt Counsilman (1977). Bei einer schnellen Anschwimmgeschwindigkeit reicht die Einleitung der Rotation über den Kopf für die Drehung. Für die Einleitung der Rollwende zieht der Athlet oder die Athletin das Kinn zur Brust und führt einen kräftigen Delfinbeinschlag aus, wodurch sich die Hüfte nach oben und Kopf und Schultern nach unten bewegen. Nun lösen die Widerstandskraft, am Volumenmittelpunkt/unteren Rücken angreifend (F_w in hellblau) und die Antriebskraft am Körperschwerpunkt angreifend (F_{an} in gelb), ein Drehmoment aus, da sie aufgrund der Schräglage des Körpers nicht mehr durch die Achse gehen. Nun kommt es zu dem normalen Abstand r zur Drehachse, wodurch es zu einer Drehbewegung kommt. Die Schnelligkeit der Drehbewegung wird beeinflusst von dem Trägheitsmoment und weiteren Kräften wie der Widerstandskraft. Das Trägheitsmoment ist der Widerstand, den der Körper der Veränderung seiner Drehbewegung entgegensetzt. Je weiter die Masse des Schwimmers oder der Schwimmerin von der Drehachse entfernt ist, desto größer ist das Trägheitsmoment und desto geringer ist die Winkelbeschleunigung. Alle anderen Einflussfaktoren ignorierend, bedeutet das, wenn sich der Athlet oder die Athletin während der Drehung kleiner macht, also einen kleineren Hüft- und Kniewinkel hat, ist das Trägheitsmoment kleiner, die Winkelgeschwindigkeit höher, und daher dauert die Rotation kürzer. Bei größerem Hüft- und Kniewinkel ist das Trägheitsmoment größer, da die Masse weiter vom Drehzentrum entfernt ist. Daher sollte die Rotation mit größerem Hüft- und Kniewinkel länger dauern. Dies würde zutreffen, wenn sich der Körper statt im Wasser in der Luft befände und andere Kräfte, wie die Widerstandskraft, nicht zusätzlich auf den Körper einwirken würden. Doch auch die Widerstandskraft sollte bei geringerer Fläche, also kleinerem Hüft- und Kniewinkel, geringer sein. Daher spricht auch der Faktor der Widerstandskraft für eine engere Position während der Rotation. Nicht betrachtet werden bei dieser theoretischen Überlegung jedoch Faktoren wie optimaler Winkel für den Abstoß, Distanz zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation und ähnliche. Diese Faktoren werden im Laufe der Arbeit näher hinterleuchtet und die theoretische Annahme in der Praxis überprüft.

2.3 Bewegungsbeschreibung und Phaseneinteilung der Rollwende

Das Schwimmen zählt zu einer zyklischen Bewegungsform. Beim Wettkampfschwimmen jedoch kommen Startsprung, Wende und Anschlag hinzu. Diese sind azyklische Bewegungen. Daher kann gesagt werden, dass ein Schwimmer und eine Schwimmerin beim Schwimmen von mehr als einer Länge zyklische Bewegungen durchführt, welche am Ende jeder Länge durch eine azyklische Bewegung durchbrochen werden um eine Richtungsänderung zu vollbringen (Pfeifer, 1991). Es gibt momentan zwei Formen von wettkampfmäßig geschwommenen Wenden, die Kippwende und die Rollwende. Das Ziel

der Wende ist, diese in möglichst kurzer Zeit unter Einhaltung der Wettkampfregeln zu absolvieren und durch diese den Körper in eine für den Abstoß günstige Lage zu bringen (Recht, 2003; Ungerechts et al., 2002). Maglischo (1993), Maglischo (2003), Pfeifer (1991), Ungerechts et al. (2002) und Costill, Maglischo und Richardson (1992) beschreiben die Rollwende detailreicher und unterteilen die Rollwende in Anschwimmphase und Adaptation, Rotationsphase, Abstoßphase/Wandkontaktphase, Gleitphase und Auftauchphase. Auf eine nähere Beschreibung dieser Phasen wird im Folgenden eingegangen.

Um eine Rollwende auszuführen, muss ein Schwimmer oder eine Schwimmerin einige komplexe Bewegungen hintereinander ausführen, da die Richtung zu wechseln ist. Laut Maglischo (1993), Pfeifer (1991), Reischle (1988) und Ungerechts et al. (2002) ist einer der entscheidendsten Punkte bei der gesamten Rollwende, eine möglichst hohe Anschwimmgeschwindigkeit zu haben und mit dieser die Rotation einzuleiten. Auch die Zykluslänge und Zyklusfrequenz sollten bis zur Einleitung der Rotation gleich bleiben. Die Adaptation findet die letzten zwei bis drei Zyklen vor Start der Rotation statt. Die Adaptation ist gekennzeichnet durch ein Abschätzen der Distanz zur Wand und der benötigten verbleibenden Züge bis zur Einleitung der Rollwende. Shahbazi et al. (2006), Bahadoran et al. (2012) und Costill et al. (1992) geben an, dass die Einleitung der Rollwende von dem Schwimmer oder der Schwimmerin zirka eine Körperlänge von der Wand entfernt stattfindet. Diese Einleitung ist definiert durch ein geradliniges Senken des Kinns zur Brust, und einen darauffolgenden Delphinbeinschlag während des letzten Kraularmzuges. Bis zu diesem Punkt sind sich die Autoren noch einigermaßen einig, was die Beschreibung der Rollwende betrifft. Bezüglich der genauen Beschreibung oder Analyse der Rotation wurde bisher kaum etwas publiziert. Shahbazi, Sanders, McCabe und Adams (2007) und Hahn (2009) geben die Ausführung der Rotation mit eher gestreckten Beinen an, während Bahadoran et al. (2012), Recht (2003), Reischle (1988) und Costill et al. (1992) eine Rollwende mit sehr stark gebeugten Gelenken in Hüfte und Knie beschreiben. Diesbezüglich wird die Wende mit länger gestreckten Knie- und Hüftwinkel als „pike turn“ und die, bei der sich der Schwimmer und die Schwimmerin mehr zusammenrollt als „tuck turn“ von Blanksby, Gathercole und Marshall (1996) und Shahbazi et al. (2006) bezeichnet. Auf diese Unterschiede wird in Kapitel 2.3.2 näher eingegangen.

Bei der Wende kommt es zusätzlich zur Rotation um die frontotransversale Achse auch zu einer Rotation um die frontosagittale Achse. Diesbezüglich sind Meinungsverschiedenheiten bei Autoren zu erkennen sowie unterschiedliche Beschreibungen in Büchern und Fachartikeln festzustellen. Recht (2003), Maglischo (2003), Pfeifer (1991), Reischle (1991) und Ungerechts et al. (2002) schreiben bereits

während der Rotation um die frontotransversale Achse von einer zeitlich nur leicht verzögerten „geringen Verwindung des Rumpfes, eine[r] Viertel Drehung um die Längsachse“ (Recht, 2003, S. 19). Dabei befindet sich der Schwimmer oder die Schwimmerin bei Wandkontakt mit den Füßen in Seitenlage. Auch diese Autoren unterscheiden sich in der Ansicht, wann genau diese Viertel Drehung um die Längsachse im Optimalfall passieren soll. Pereira untersuchte vier unterschiedliche Varianten, kam jedoch zu keinem eindeutigen Ergebnis. Diesbezüglich kann mehr in Kapitel 2.3.4 gelesen werden.

Die Arme unterstützen die Rotation mit einer Gegenbewegung. Nach der Rotation erfolgt die Wandkontaktphase, welche von den Autoren in eine abbremsende und eine überwindende Phase unterteilt wird. Verschiedene Autoren geben unterschiedliche optimale Winkelgrade während des Abstoßes an. Diese reichen von 33° (Takahashi, Yoshida & Tsubakimoto, 1982) bis zu einer Empfehlung von deutlich mehr als 90° (Pfeifer, 1991). Normalerweise ist die Abstoßgeschwindigkeit um einiges höher als die mittlere Schwimmgeschwindigkeit (Recht, 2003; Richter, 1952). Nach der Abstoßphase, die in möglichst widerstandsarmer Position zu erfolgen hat, kommt es zu einer kurzen Gleitphase. Es ist empfehlenswert, diese kurz zu halten und schnellstmöglich die Übergangsphase einzuleiten, um einen Geschwindigkeitsabfall zu vermeiden. Auch die Übergangsphase wird in strömungsgünstiger Körperhaltung mit kräftigen Delphin- oder Kraulbeinbewegungen durchgeführt. Bei der Delphin- und Rückenwende werden Delphinbeinschlagbewegungen unter Wasser bis zu 15 m durchgeführt, beim Freistilschwimmen jedoch wird die Übergangsphase nur optimal kurz durchgeführt (Recht, 2003). Laut Regelwerk dürfen die Schwimmer und Schwimmerinnen während aller Schwimmlagen bis zu 15 m tauchen. Ab der 15 m Markierung muss der Kopf die Wasseroberfläche durchbrochen haben (OSV Wettkampfbestimmungen, 2015, §109).

Bei Wettkämpfen können viele unterschiedliche Ausführungsarten der Rollwende beobachtet werden. Aufgrund verschiedener Voraussetzungen ist es nicht sinnvoll, nur eine Methode als die einzige richtige darzustellen. Der Grund dafür ist, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen sich in vielen Eigenschaften unterscheiden, welche die Rollwende und das Schwimmen an sich beeinflussen. So spielen die Größe, die Masse, die Schwimmerfahrung und Schwimmausbildung und vieles mehr eine bedeutende Rolle (Ungerechts et al., 2002; Cossor, Slawson, Conway & West, 2014). Selbst kleine Verbesserungen in nur einer Phase der Rollwende können bereits entscheidende Zeitvorteile für den Schwimmer oder die Schwimmerin bringen (Slawson, Conway, Justham, Le Sage & West, 2010). Die endgültige Wendenzeit ergibt sich aus Anschwimmzeit, Adaptationszeit, Drehzeit, Wandkontaktzeit, Gleitzeit und Übergangszeit

(Pfeifer, 1991). Jedoch gibt es unterschiedliche Formen der Messung, da sich die Autoren bis jetzt nicht auf eine einheitliche Messdistanz einigen konnten. Die meisten Autoren messen die 2,5 m RTT, 5 m RTT, 7,5 m RTT, 10 m RTT oder 15 m RTT. RTT steht in diesem Zusammenhang für „round trip time“ (Slawson et al., 2010, S. 3392) und bedeutet übersetzt ‚Rundenzeit‘. In dieser Arbeit wird das Kürzel RTT verwendet. Die RTT wird erhoben um eine Vergleichbarkeit zwischen den Schwimmern und Schwimmerinnen herstellen zu können. An dieser Zeit kann gemessen werden, wie effektiv die Ausführung der Wende tatsächlich war. Die 2,5 m RTT wird gemessen anhand der Durchgangszeit des Kopfes der Markierung von 2,5 m vor der Wand, bis 2,5 m nach der Wand, die 5 m RTT 5 m vor bis 5 m nach der Wand, die 7,5 m RTT 7,5 m vor und nach der Wand. Wie in Tabelle 1 dargestellt, gibt es in der Literatur Angaben zu den Kraulwendenzeiten von 10 m RTT bei Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen zwischen 11 bis 12 Jahren mit einer durchschnittlichen Zeit von 7,66 s (Blanksby et al. 1996, S. 41). Bei Cossor et al. (1999) ergab sich bei der gleichen Distanz eine RTT von durchschnittlich 6,92 s bei Nachwuchsschwimmern sowie Nachwuchsschwimmerinnen zwischen 10 und 15 Jahren. Eine dritte Studie beschäftigte sich ebenfalls mit Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen der nationalen Talentauswahl: Newble (1982) und kam auf eine durchschnittliche Durchgangszeit von 5,97 s.

Die Frage, was die Dauer der Rollwende am meisten beeinflusst, wird in der Literatur nicht eindeutig beantwortet. Eine wichtige Rolle bei dieser Beurteilung spielt natürlich, wie viele Meter Rundenzeit für die Messung verwendet werden. Wenn eine 15 m RTT gewählt wird, spielt die Schwimmleistung eine größere Rolle, als bei 5 m RTT, wo kaum schwimmende Zeit mit einfließt. Einen hohen Einfluss auf die Dauer und Geschwindigkeit der Rollwende hat laut Recht (2003) die Geschwindigkeit des Anschwimmens. Sie gibt an, dass „Ein um 0.3 m/s höherer/niedrigerer Wert [...] eine um 0,2 s kürzere/längere Wendezeit [bewirkt]“ (Recht, 2003, S. 23). Die Dauer der Drehzeit spielt nach ihren Berechnungen eine untergeordnete Rolle, jedoch der Geschwindigkeit am Ende der Drehung und der Geschwindigkeit nach dem Abstoß wäre ein größerer Stellenwert einzuräumen. In diesem Zusammenhang ist auch der Widerstandsbeiwert, der möglichst gering zu halten ist, zu beachten. Weniger entscheidend ist hingegen laut Blanksby, Gathercole und Marshall (1998) die Körpergröße des Schwimmers oder der Schwimmerin. Der einzige Vorteil liegt darin, dass größere Schwimmer oder Schwimmerinnen weniger Distanz zurücklegen müssen, um mit den Füßen die Wand zu berühren. Recht (2003, S. 23) gibt die Relationen des Vorteils oder Nachteils von größeren/kleineren oder leichteren/schwereren Schwimmern oder Schwimmerinnen bezüglich der Rollwende folgendermaßen an: „Ein um ca. 10 cm größerer/kleinerer und ca. 10 kg schwererer/leichterer Sportler würde einen

Vorteil/Nachteil von 0,1-0,15 s in der Wendezeit haben, wenn alle anderen Parameter gleich blieben“.

Tab. 1: Ergebnisse verschiedener Studien zur 15 m-Wendenzeit (t_{15m}), 10 m-Wendenzeit (t_{10m}) und 5 m-Wendenzeit (t_{5m})

Studie	Personenstichprobe	$T_{7,5m}$ [s]	T_{5m} [s]	$t_{2,5m}$ [s]
Arellano et al., 2002	Weibliche Finalisten der European Youth Olympic Days 2001 im Alter von 13-14 Jahren	8,92	--	--
	Männliche Finalisten der European Youth Olympic Days 2001 im Alter von 15-16 Jahren	7,93		
Blanksby et al., 1996	36 Nachwuchsschwimmer und Nachwuchsschwimmerinnen im Alter von 11 bis 12 Jahren	--	$7,66 \pm 0,79$	$3,70 \pm 0,47$
Burghardt et al., 1992	Weibliche Finalteilnehmer über 50m Freistil bei den 1. Sprinteuropameisterschaften in Gelsenkirchen	7,44 - 7,82	--	--
	Männliche Finalteilnehmer über 50m Freistil bei den 1. Sprinteuropameisterschaften in Gelsenkirchen	6,56 - 6,82		
Cossor et al., 1999	38 Nachwuchsschwimmer und Nachwuchsschwimmerinnen im Alter von 10 bis 15 Jahren	--	$6,92 \pm 0,65$	$3,30 \pm 0,40$
Küchler & Leopold, 2000	Weibliche Finalisten über 100 m Freistil der Europameisterschaften 2000 (Bestwert)	7,80	--	--
	Männliche Finalisten über 100m Freistil der Europameisterschaften 2000 (Bestwert)	7,04		
Leopold et al., 1998	Weibliche Finalisten der Dtsch. Meisterschaften 1996 (Bestwerte)	100F	--	--
		200F		
		400F		
		800F		
	Männliche Finalisten der Dtsch. Meisterschaften 1996 (Bestwert)	100F		
		200F		
		400F		
		800F		
	Weibliche Finalisten der Weltmeisterschaften 1994 (Bestwert)	100F		
		200F		
		400F		
		800F		
	Männliche Finalisten der Weltmeisterschaften 1994 (Bestwert)	100F		
		200F		
		400F		
		800F		
Newble, 1982	33 Nachwuchsschwimmer und Schwimmer (nationale Talentauswahl)	--	$5,97 \pm 0,51$	--
Recht, 2003	22 17 ± 4 Jahre alte Schwimmer und Schwimmerin der 1. Bundesliga	$8,65 \pm 0,63$	--	$2,54 \pm 0,24$

Quelle: mod. n. Recht (2003, S. 22)

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die jeweiligen Phasen der Rollwende detailreicher eingegangen.

2.3.1 *Anschwimmphase und Adaptation*

Der Start- und Endpunkt der Anschwimmphase ist laut Cossor, Slawson, Chakravorti, Mason, Conway und West (2012) definiert als der Zeitpunkt wenn der Kopf die 5 m Markierung vor der Wand passiert, bis zum Eintauchen des Armes vor dem letzten Armzug vor der Wand. In der Anschwimmphase ist eine maximal hohe Anschwimmgeschwindigkeit besonders entscheidend. Schwimmer und Schwimmerinnen sollten die Distanz zur Wand bereits mehrere Armzügen entfernt einschätzen (Maglischo, 2003). Hahn et al. (2010) schlägt vor, dass sich die Schwimmer und Schwimmerinnen an der T-Linie am Boden orientieren um ihr Anschwimmen entsprechend einzuteilen, damit sie in die Wende ohne Geschwindigkeitsverlust hineinschwimmen (Maglischo, 1993; Maglischo, 2003). Wenn notwendig, haben sie eine zielgerichtete Variation der Zyklusparameter für die Schaffung optimaler Bedingungen für die Drehung durchzuführen (Pfeifer, 1991; Rudolph, 2014; Ungerechts et al., 2002; Volck, Freitag, Hohmann, Ungerechts, 2012). Maglischo (1993), Pfeifer (1991), Reischle (1988) und Ungerechts et al. (2002) sprechen bei dieser Anpassung je nachdem, ob sich der Schwimmer oder die Schwimmerin weiter weg oder näher bei der Wand befindet, von einer Erhöhung oder Verringerung der Zyklusfrequenz, um ein Angleiten zu vermeiden. Ein Angleiten bedeutet eine Phase ohne Antrieb, wodurch die Geschwindigkeit verringert wird. Es ist sehr wichtig, die Geschwindigkeit beizubehalten, weil dies einen Vorteil bedeutet, weil vor allem weniger erfahrene Schwimmer und Schwimmerinnen ihre Geschwindigkeit verlangsamen (Maglischo 2003). Maglischo (1993) empfiehlt außerdem während des letzten Armzuges nicht zu atmen, da dies sonst ebenfalls einen Geschwindigkeitsabfall bedeutet. Bei der Beschreibung des letzten Armzuges beziehungsweise der Einleitung der Rollwende unterscheiden sich die Autoren. Vor- oder Nachteile jeweiliger Varianten sind jedoch nicht beschrieben. Eine Variante ist, einen Arm nach der Unterwasserphase an der Hüfte zu lassen bis der zweite Arm den Unterwasserzug beendet hat. Diese Variante wird auch von Costill et al. (1992) beschrieben. Eine andere Ausführungsweise ist, den ersten Arm die Unterwasserphase zeitverzögert beginnen zu lassen, sodass mit beiden Armen ein leicht versetzter Doppelarmzug ausgeführt wird. Als dritte Ausführungsmöglichkeit nennen Bahadoran et al. (2012) den Beginn der Rotation mit einem Arm vorne und die vierte Variante als Beginn der Rotation mit beiden Armen vorne. Shahbazi et al. (2007), Bahadoran et al. (2012) und Costill et al. (1992) geben an, dass die Einleitung der Rollwende von dem Schwimmer oder der Schwimmerin zirka eine Körperlänge von der Wand entfernt durch ein gerades zur Brust Ziehen des Kinns und einen darauffolgenden Delphinbeinschlag während des letzten Kraularmzuges stattfindet. Maglischo (2003) spezifiziert die Distanz zwischen Kopf des Schwimmers oder der Schwimmerin bei Beginn des letzten Armzuges mit 1,70 m bis 2,00 m, Counsilman (1977) hingegen spricht von 1,2 bis 2 m, abhängig von der Größe des Schwimmers oder der

Schwimmerin und der Effizienz des letzten Armzuges. Sprinter starten die Wende früher als Langstreckenschwimmer, vermutlich weil sie eine höhere Anschwimmgeschwindigkeit haben. Jedoch weisen Puel, et al. (2012) darauf hin, dass bei ihrer Studie eine weitere Distanz zwischen Kopf und Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation ein Indikator für eine schnellere 3 m Rundenzeit war.

2.3.2 Rotationsphase

Die Rotationsphase ist definiert als die Zeitperiode vom Ende der Anschwimmphase und dem Eintauchen des letzten Armzuges bis die Füße die Wand berühren (Cossor et al., 2012). Die Phase der Rotation soll mit einer hohen Drehgeschwindigkeit in minimaler Zeit absolviert werden, und zu einer optimalen Körperposition für einen kraftvollen Abstoß sorgen (Volck et al., 2012). Die Drehzeit wird durch äußere Kräfte, wie dem Wasserwiderstand und durch Kopplung verschiedener Teilkörperbewegungen, welche die Trägheitskräfte beeinflussen, bestimmt (Pfeifer, 1991). Maglischo (2003) gibt an, dass verschiedene Körperpositionen während der Rotation einen Einfluss auf die Schwimmleistung haben können, weil die Haltung mehr als nur die Dauer der Rotation beeinflusst.

Manche Autoren beschreiben den Start der Rollwende als das Eintauchen des letzten Armzuges. Dieser Punkte wäre 1,2 m bis 2,0 m von der Wand entfernt (Maglischo 1993; Counsilman, 1977; Hahn, 2009). Andere wiederum geben vagere Distanzen wie zirka eine Körperlänge von der Wand entfernt (Ungerechts et al., 2002) an. Andere Autoren (Recht, 2003) sprechen vom Start der Rotation als das Senken des Kopfes. Einig erscheinen sich jedoch die Autoren, dass Sprinter die Wende weiter weg von der Wand starten als Langstreckenschwimmer, möglicherweise weil sie mit einer höheren Geschwindigkeit in die Wende hineinschwimmen (Maglischo 1993). Shabazi et al. (2007) wollten dies mithilfe einer empirischen Untersuchung bestätigen. Es wurden jedoch keine signifikanten Ergebnisse diesbezüglich festgestellt. Der Abstand von der Wand für die Einleitung der Rotation hängt laut Pfeifer (1991) von anatomischen Gegebenheiten, der Schwimmgeschwindigkeit und der Drehzeit ab, und muss für jeden Schwimmer und jede Schwimmerin empirisch bestimmt werden. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sämtliche in dieser Arbeit genannte Autoren die genaue Ausführung der Kopplung der Bewegungssegmente während der Rotation nur sehr vage erläutern, da diesbezüglich noch sehr wenig veröffentlicht und untersucht wurde. Maglischo (2003), Pfeifer (1991), Rudolph (2014), Hahn et al. (2010) und Maglischo (1993) beschreiben die Rollwende folgendermaßen: Eingeleitet wird die Rotation durch einen Doppelarmzug beziehungsweise einen versetzten Doppelarmzug oder normalen Armzug, der laut Maglischo (1993) abläuft, indem ein Arm an der Hüfte liegen bleibt und nur ein Arm den letzten Armzug macht. Laut Ungerechts et al. (2002) taucht der

Führungsarm tiefer als normale Armzüge während der zyklischen Schwimmbewegungen ab. Danach bleiben beide Arme an der Seite des Schwimmers oder der Schwimmerin liegen (Hahn et al., 2010). Dabei ziehen die Schwimmer und Schwimmerinnen das Kinn zur Brust und beginnen mit der Rotation. Der Athlet oder die Athletin fokussiert am Anfang des letzten Armzuges mit den Augen die Wand, dann zieht er oder sie den Kopf zum Kinn, wodurch der Blickkontakt mit der Wand abgebrochen wird. Dann machen die Schwimmer und Schwimmerinnen einen kleinen Delfinbeinschlag während des letzten Armzuges, um die Hüfte über Wasser zu bringen (Counsilman, 1977). Laut Maglischo (1993) und Hahn et al. (2010) kann dadurch schneller in der Hüfte gebeugt werden. Durch das Beugen im Hüftgelenk wird die strömungsgünstige Lage verlassen, jedoch der Wasserwiderstand, welcher dadurch am Oberkörper angreift, unterstützt die Rotation (Maglischo, 1993). Dann rotieren sie laut Maglischo (2003) mit fast gestreckten Beinen bis der Kopf zwischen die Arme kommt. Die Beine sollen angezogen werden während sie über Wasser sind, damit der Körper schneller rotieren kann. Diese Beschreibung deutet darauf hin, dass Maglischo (2003) ein verzögertes Anhocken der Beine empfiehlt, speziell in diesem Bereich wurde jedoch noch sehr wenig untersucht. Blanksby et al. (1996) und Shahbazi et al. (2007) unterscheiden zwischen Hechtwende („pike turn“) mit Winkeln größer als 90° in Hüfte und Knie und kleinere Winkel mit weniger als 90° als eine gehockte Wende („tuck turn“), darauf wird jedoch im Kapitel 2.3.2.1 näher eingegangen. Die Hände, die zuerst an der Hüfte waren, werden mit den Handflächen nach unten gedreht und drücken gegen das Wasser um dem Kopf zu helfen, sich Richtung Oberfläche zu bewegen (Maglischo, 2003; Maglischo, 1993; Counsilman, 1977). Dann kommt der Kopf zwischen die Arme, bevor die Füße die Wand berühren, damit der Körper in einer strömungsgünstigen Position und sofort bereit für den Abstoß ist, sobald die Füße in Wandkontakt kommen. Die Hände sind über Kopf, mit den Ellbogen gebeugt, bevor die Füße an der Wand sind. Bei Wandkontakt setzen sich die Füße an die Wand mit den Zehen nach oben zeigend, oder leicht, ein Achtel auf die Seite in dieselbe Richtung, in die sich der Körper rotiert. Schwimmer und Schwimmerinnen befinden sich in Rückenlage, wenn die Füße die Wand berühren. Diese kleine Rotation wird erreicht, indem der Kopf leicht zu einer Seite dreht, während die Füße zur Wand kommen. Als nächstes erfolgt die Rotation.

2.3.2.1 Rotation um die frontotransversale Achse

Rotation um die frontotransversale Achse bedeutet, dass der Schwimmer oder die Schwimmerin kopfwärts um die Breitenachse, wie bei einem Salto vorwärts, rotiert. Nur sehr wenig Information kann über die exakte Kopplung der Körpersegmente während der Rotation um die frontotransversale Achse gefunden werden. Maglischo (1993) fasst die Ergebnisse sämtlicher Studien und Berichte bis zum Jahr 1993 zu diesem Thema

zusammen, indem er angibt, dass sich Experten uneinig über die relative Geschwindigkeit der Rotation in einer gestreckten Position gegenübergestellt einer Rotation in einer geduckten Position, sind.

Aussagen für eine eher gestreckte Position während der Rollwende sind in Shahbazi et al. (2007) und Hahn (2009) zu finden. Diese geben an, dass die Füße, nach Einleitung der Rotation über das Heranziehen des Kinnes und den leichten Delphinbeinschlag, gestreckt bleiben, bis sie aus dem Wasser herauskommen. Das unterstützt Hahn (2009, S. 101) durch die Aussage: „Die Rollwende ähnelt mehr einer turnerischen Flugrolle als einem einfachen ‚Purzelbaum‘“. Diese Beschreibung deutet auf eine Verzögerung der gestreckten Beine an der Wasseroberfläche hin, was Maglischo (1993) in seiner Beschreibung unterstreicht. Laut Hahn et al. (2010) und Ungerechts et al. (2002) werden die Beine erst angezogen, „wenn die Schultern senkrecht zum Boden zeigen“ (Hahn et al., 2010, S. 124). Diese Ausführung der Rotation wird von Blanksby et al. (1996) und Shahbazi et al. (2006) als Hechtwende („pike turn“), mit Winkeln größer als 90° in Hüfte und Knie, tituiert. Cossor et al. (1999) zeigen in ihrer Studie, dass der Tuck Index signifikant mit der 5m RTT korrelierte, dabei drehten die schnelleren Schwimmer weiter weg von der Wand mit weiter gestreckten Beinen. Jedoch die Mehrheit der Autoren weist auf die, zumindest theoretischen, Vorteile einer gebeugteren Rollwende hin. Maglischo (1993) berichtet, dass die Hechtwende vor einigen Jahren sehr populär gewesen wäre, wegen des falschen Glaubens, dass länger gestreckte Beine schneller über Wasser wären als gebeugte Beine. In Wirklichkeit wäre es genau umgekehrt. Die gebeugte Wende wäre laut ihm viel schneller. Der Grund dafür läge in der Tatsache, dass die Füße der Schwimmer und Schwimmerinnen über Wasser viel schneller in einer gebeugten Position wären, aus dem gleichen Grund, warum Taucher und Taucherinnen in einer gebeugten Position schneller eine Rolle vorwärts machen würden: deren Rotationsaxe („axis of rotation“) ist vermindert. Zusätzlich käme hinzu, dass sich die Beine des Schwimmers oder der Schwimmerin in gebeugten Zustand zurück anstatt hinunter bewegen würden, wenn sie Kontakt mit der Wand machten. Das würde einen schnelleren Abstoß erlauben, weil die Beine sich auf den Abstoß vorbereiten könnten, bevor sie mit der Wand überhaupt in Kontakt kämen. Bahadoran et al. (2012) und Costill et al. (1992) unterstützen diese Ansicht. Die Beine werden sofort bei Einleitung der Rotation zur Brust gebracht indem in Hüfte und Knie gebeugt wird. Diese Bewegung führt zu einer Verkleinerung des Trägheitsmoments um die Rotationsachse, wodurch der Schwimmer oder die Schwimmerin einfacher die Rotation vorwärts ausführen kann. Durch die Verkleinerung des Massenträgheitsmoments kommt es zu einer Zentrierung der Körpermasse zur Rotationsachse, wodurch die Drehgeschwindigkeit erhöht wird (Pfeifer, 1991; Rudolph, 2014; Ungerechts et al., 2002; Maglischo, 1993; Richter, 1952;

Pereira et al., 2007; Recht, 2003). Außerdem schlagen die Ergebnisse der Studie von Shabahazi et al. (2007) vor, dass ein möglichst kleinen Hüft- und Kniewinkel während der Rotation deshalb von Vorteil ist, weil dadurch der Wasserwiderstand vermindert und so die Geschwindigkeit der Füße Richtung Wand erhöht wird. Ein weiterer physikalischer Aspekt ist, dass „die angeströmte Fläche [...] bei gestreckter Körperlage größer [ist]. Um die Schwimmer in Bockschwebe-Position unter Wasser zu drücken muss demnach weniger Kraft aufgewandt werden. Es gilt $p=F/A$ “, wobei p für den Wasserdruck steht, F für die Kraft und A für die Angriffsfläche (Reischle 1988, S. 53). Dadurch wird zwar die Rotation an sich nicht beschleunigt, es erleichtert jedoch dem Schwimmer oder der Schwimmerin abzutauchen, wodurch die Rotation überhaupt ermöglicht wird.

Auch Reischle (1988) beschreibt diese Art der Einleitung der Rollwende durch ein Anhocken der Beine. Laut ihm ist ein großer Kniewinkel (mehr dazu in Kapitel 2.3.3) für einen erfolgreichen Abstoß sehr wichtig. Es soll jedoch ein großer Kniewinkel zu Beginn des Abstoßes nicht mit offenem Kniewinkel bei der Drehbewegung gekoppelt sein, weil sonst größere Wasserwiderstandskräfte wirken, wodurch es zu einer langsameren Drehzeit kommt (Blanksby et al., 1998). Diese Erkenntnis fordert einen möglichst kleinen Kniewinkel während der Drehung, aber einen möglichst großen Kniewinkel bei Wandkontakt. Dafür ist ein aktives Strecken der Beine Richtung Beckenwand notwendig (Pereira et al., 2007; Recht, 2003).

Eine andere Herangehensweise an die Thematik der Heck- oder Hockwende zeigt Maglischo (1993). Er sagt, dass Schwimmer und Schwimmerinnen, die ihre Beine über Wasser schmeißen, ihren Rücken verbiegen, um ihre Beine aus dem Wasser zu heben. Das von ihm so bezeichnete „Schmeißen“ steht für eine lange Verzögerung der gestreckten Beine an der Wasseroberfläche sowie größere Kniegelenkwinkel während der Rotation. Laut ihm ist der Körper der Schwimmer und Schwimmerinnen, welche diese Variante ausführen, daher nicht in stromlinienförmiger Position, wenn ihre Füße die Wand berühren. Dadurch würden die Schwimmer und Schwimmerinnen Zeit verschwenden, um ihren Körper in die gewünschte Position zu bringen bevor sie sich abstoßen können. Schwimmer und Schwimmerinnen, die ihre Beine über Wasser schmeißen, erreichen die Wand für gewöhnlich in der Position auf Abbildung 6 gezeigt. Eine zeitliche Analyse dieser Art der Wende zeigte, dass der analysierte Schwimmer 0,41 s

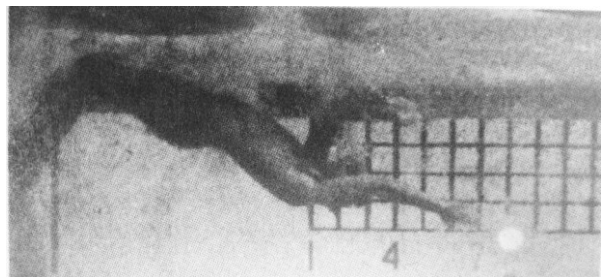


Abb. 6: Abstoßposition nach Überwurf der Beine. Maglischo, 1993, S. 569.

verschwendete, um seinen Körper in Position zu bringen bevor er sich abstoßen konnte.

Laut Maglischo (1993) glauben viele Schwimmer und Schwimmerinnen, dass sie ihre Füße in die Wand werfen müssen für eine schnellere Wende. Jedoch tatsächlich würde dies die Wende verlangsamen anstatt sie schneller zu machen. Die Schnelligkeit der Wende wäre jedoch bestimmt von dem Faktor, wie schnell der Schwimmer oder die Schwimmerin seinen oder ihren Kopf rotiert und diesen wieder in strömungsgünstige Haltung bringt, gemeinsam mit dem Rest des Körpers. Daher sollten sie ihren Kopf so schnell wie möglich durch die Wende und hinauf an die Wasseroberfläche bewegen. Wenn sie das erfolgreich schaffen, folgen ihre Beine sehr schnell rotierend. Dafür ist es jedoch nicht notwendig, die Beine zu „schmeißen“, sagt Maglischo (1993).

Es fehlt jedoch an Studien, um die Aussagen der Autoren über einen zeitlichen Vorteil der Hockwende zu untermalen. Ein Versuch über eine derartige Studie wird in dieser Arbeit gemacht, näheres dazu ab Kapitel 0.

2.3.2.2 Rotation um die frontosagittale Achse

Bei einer Rotation um die frontosagittale Achse vollführt der Schwimmer oder die Schwimmerin eine Drehung um die Körperlängsachse, wie bei einer Pirouette oder Schraube. Diese ist nach einer Rotation um die frontotransversale Achse notwendig, da der Athlet oder die Athletin sonst in Rückenlage weiterschwimmen würde. Das bedeutet, dass der Schwimmer oder die Schwimmerin während oder nach der Rotation um die frontotransversale Achse auch um die frontosagittale Achse rotieren muss, um von der Rücken- in die Bauchlage zu gelangen und den Wettkampf in kraulschwimmender Weise fortführen zu können.

Pereira et al. (2011) und Pereira et al. (2015) untersuchten vier verschiedene Rollwendentechniken. Die Unterschiede dieser sind in Abbildung 7 erkennbar.

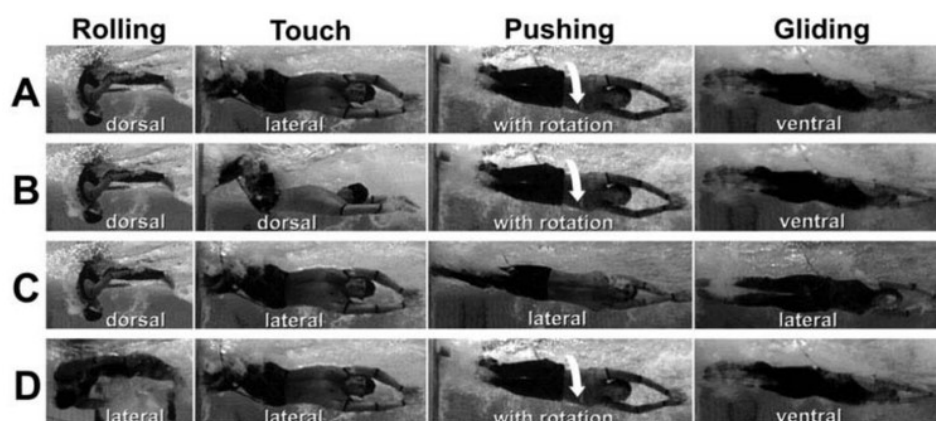


Abb. 7: Darstellung der Körperpositionen während der Schwimmphasen der vier Wendentechniken. Pereira et al., 2015.

Beobachtungspunkte sind, wann um die frontotransversale Achse und wann um die frontosagittale Achse gedreht wird, und welchen Einfluss die Unterschiede auf die Dauer der Wende haben. Wie in Abbildung 7 dargestellt, startet Technik A mit der Rotation um die

frontotransversale Achse, in lateraler Position (Seitenlage) kommen die Füße an die Wand, abgestoßen wird mit Rotation um die frontosagittale Achse und danach kommt es zu einem Gleiten in ventraler Körperposition.

Die zweite beschriebene Technik, Technik B, wird ebenfalls mit einer Rotation um die frontotransversale Achse eingeleitet, jedoch kommen die Füße in dorsaler Position (Rückenlage) an die Wand, während des Abstoßens rotiert der Schwimmer oder die Schwimmerin um die frontosagittale Achse und gleitet in ventraler Position.

Nach der Rotation um die frontotransversale Achse kommen bei Technik C die Füße in lateraler Position an die Wand, abgestoßen und geglitten wird in einer lateralen Position. Hier finden die letzten Grade der Rotation um die frontosagittale Achse erst während der Auftauchphase beziehungsweise Übergangsphase statt.

Technik D startet ebenfalls, wie die anderen drei, mit einer Rotation um die frontotransversale Achse. Jedoch wird bereits bei dieser Rotation eine Rotation um die frontosagittale Achse ausgeführt, wodurch der Schwimmer oder die Schwimmerin bereits in lateraler Position mit den Füßen an die Wand kommt. Beim Abstoß kommt es zu einer weiteren Rotation um die frontosagittale Achse und während des Gleitens rotiert der Schwimmer oder die Schwimmerin in ventrale Position. Jedoch kamen bei der Studie keine statistisch signifikanten Unterschiede heraus, was darauf hindeuten würde, dass es keinen (messbaren) Unterschied macht, ob sich die Schwimmer und Schwimmerinnen während des Abstoßens und Gleitens in Rückenlage, Seitenlage oder Bauchlage befinden. Jedoch sind die Studienleiter und Studienleiterinnen der Meinung, dass die Technik bei der während des Abstoßes rotiert wird, wie in Technik A, B und D, die schnellste ist. Deren Analysen geben an, dass bei 84,9% aller Rollwenden der weltbesten Schwimmern und Schwimmerinnen, während des Abstoßens rotiert wird. Diese Art erscheint die nächste Phase, das Gleiten, betreffend, am effizientesten. Jedoch sind die Studien von Pereira et al. (2011) und Cossor, et al. (2014) die einzigen, die diesen Aspekt der Rollwende näher untersuchen. Sie analysierten bei internationalen Wettkämpfen die Kraulrollwenden und stellten fest, dass zwei hauptsächliche Unterschiede zu erkennen waren.

Erstere Variante ist gekennzeichnet durch eine schnellere Rotation um die frontotransversale Achse, dabei kommen die Füße mit den Zehen Richtung Wasseroberfläche zeigend an die Wand, was bedeutet, dass die Orientierung gleich 0° ist. Die zweite Technik zeigte eine zusätzliche Rotation des Körpers um die frontosagittale

Achse während der Rotation um die frontotransversale Achse. Daher kommen die Füße in einer Drehung um 45-90°, also seitwärtszeigend, an die Wand.

In dieser Studie wurde ebenfalls kein zeitlich signifikanter Unterschied zwischen den beiden Wendenarten festgestellt.

Recht (2003), Pfeifer (1991), Reischle (1988) und Ungerechts et al. (2002), Hahn et al. (2010) sprechen sich für eine zeitlich nur leicht verzögerte „geringe Verwindung des Rumpfes, [nämlich] eine Viertel Drehung um die Längsachse“ (Recht, 2003, S. 19) bereits während der Rotation um die frontotransversale Achse aus. Dabei befindet sich der Schwimmer oder die Schwimmerin bei Wandkontakt mit den Füßen bereits in Seitenlage. Diese Autoren sind der Meinung, dass diese Art der Rotation dem Schwimmer oder der Schwimmerin zeitliche und abstoß- sowie gleitbedingte Vorteile bringt. Im Gegensatz hierzu ist Maglischo (1993) der Ansicht, dass die Schwimmer oder die Schwimmerinnen zuerst um die frontotransversale Achse rotieren, in Rückenlage mit den Beinen anschlagen und sich erst während und nach des Abstoßes in Bauchlage um die frontosagittale Achse rotieren sollen. Er ist der Überzeugung, dass dies die schnellere Variante ist. Laut Rudolph (2014) hängt die zu wählende Variante davon ab, ob eine lange oder kurze Auftauchphase gewählt wird. Bei einer langen Auftauchphase wäre es laut Rudolph (2014) von Vorteil, wenn die Füße in Rückenlage an der Wand auftreffen und sich der Schwimmer oder die Schwimmerin in Rückenlage von der Wand abstößt und erst während der Delfinbewegungen über eine größere Distanz in Bauchlage rotiert. Bei einer kürzeren Auftauchphase jedoch wäre es notwendig, bereits während der Rotation um die frontotransversale Achse ebenfalls um die frontosagittale Achse zu rotieren. Das bedeutet, in Seitenlage mit den Füßen an die Wand aufzutreffen, sich in Seitenlage abzustoßen und danach die verbleibende Vierteldrehung während des kurzen Gleitens und der kurzen Auftauchphase zu vollenden (Rudolph, 2014). Auch Volck, et al. (2012) sind der Ansicht, dass die Rotation in Bauchlage erst während der Auftauchphase stattfinden sollte.

2.3.3 Abstoßphase/Wandkontaktzeit

Die Abstoßphase, die der Wandkontaktzeit in dieser Untersuchung gleichzusetzen ist, wird von den Autoren unterschiedlich bezeichnet. Grundsätzlich ist sie definiert als die Zeitspanne ab Wandkontakt bis die Füße die Wand verlassen (Cossor et al., 2012; Shahbazi et al., 2006). Die Funktion der Abstoßphase ist, den Körper bei minimal kurzer Abstoßdauer maximal schnell zu beschleunigen (Volck et al., 2012). Bahadoran et al. (2012) haben in deren Studie festgestellt, dass eine positive Korrelation zwischen Anschwimmgeschwindigkeit und Wandkontaktzeit besteht. Das bedeutet, dass laut ihren Erkenntnissen eine höhere Anschwimmgeschwindigkeit zu einer kürzeren Wandkontaktzeit führt. Es stellte sich als wichtig heraus, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen sobald

die Fußballen festen Halt an der Wand haben, mit der Streckung in Hüft-, Knie- und Fußgelenk beginnen sollten. Während der aktiven Streckung, müssen Füße, Hüfte, Schultern und Hände in nahezu horizontale Ausrichtung, möglichst parallel zur Wasseroberfläche, in eine Linie gebracht werden. Der Kopf befindet sich zwischen den gestreckten Armen und die Hände liegen aufeinander. Je früher während des Abstoßes der Schwimmer oder die Schwimmerin dieses Ziel erreicht, desto weniger Wasserwiderstand wird erzeugt, und desto schneller und effektiver ist der Abstoß (Ungerechts et al., 2002; Maglischo, 1993). Ob bereits während der Rotation um die frontotransversale Achse ebenfalls um die frontosagittale Achse gedreht werden soll, oder erst nach dem Abstoß, wird in Kapitel 2.3.4 näher erläutert. Jedoch schlagen Ungerechts et al. (2002), Maglischo (1993) und Volck et al. (2012) den Anschlag der Beine in Rückenlage, ein Drehen in Seitenlage während des Abstoßes, und eine Drehung in Bauchlage, sobald die Füße die Wand verlassen, vor. Bei der empfohlenen Abstoßtiefe scheiden sich die Meinungen der Autoren. Volck et al. (2012) sprechen von 90 cm, Lyttle et al. (1998) sowie Lyttle, Blanksby, Elliott und Lloyd (1999) von mindestens 40 cm, weil in dieser Tiefe der Wasserwiderstand um 15 % bis 23 % niedriger ist, als an der Wasseroberfläche. Die Mehrheit der Autoren (Pfeifer, 1991; Rudolph, 2014; Hahn et al., 2010; Maglischo, 1993; Maglischo, 2003) raten in einer Tiefe von 30 bis 40 cm unter der Wasseroberfläche mit den Füßen Wandkontakt zu haben während des Abstoßes. Die jeweilige Tauchtiefe ergibt sich aus der Tiefe des Abstoßes, hängt jedoch auch von dem Abstoßwinkel zwischen Schwimmer oder Schwimmerin und Wand ab. Optimalerweise findet der Abstoß in einem 90° Winkel statt, wodurch der Schwimmer oder die Schwimmerin parallel zur Wasseroberfläche gleitet (Pfeifer, 1991; Rudolph, 2014; Hahn et al., 2010). Die Position der Hüfte in Relation zu den Füßen während des Wandkontaktes bestimmt den Abstoßwinkel und somit die Tiefe des Schwimmers oder der Schwimmerin während der Unterwasserphase. Wenn beide auf gleicher Höhe sind, verläuft der Abstoß parallel zur Wasseroberfläche. Jedoch im Falle, dass die Füße höher als die Hüfte sind, ist ein Abtauchen Richtung Boden zu verzeichnen. Andersherum, wenn die Hüfte höher ist als die Füße, orientiert sich der Abstoß Richtung Wasseroberfläche (Cossor et al., 2014).

Die Abstoßphase/Wandkontaktphase wird in der Literatur in einen *abbremsenden Teil* (passiv) beim Ansetzen der Fußballen an die Beckenwand und eine *konzentrische Abstoßbewegung* (aktiv) unterteilt (Recht, 2003). Der passive Teil der Wandkontaktzeit dauert vom Ende der Rotation um die frontotransversale Achse bis zur Öffnung in Hüft- und Kniegelenken durch Auflösung der Hockstellung. Zuerst muss der Schwimmer oder die Schwimmerin die Bewegung Richtung Beckenwand komplett abbremsen um sie danach in Gegenrichtung zu beschleunigen, diese Zeitspanne zwischen Abstoppen und erneutem

Erreichen der höchsten Geschwindigkeit ist möglichst klein zu halten (Pfeifer, 1991; Richter, 1952). Die Streckbewegung geht ohne Pause in den Abstoß über. Gleichzeitig muss der Fußgelenkwinkel fixiert sein, um für eine möglichst kurze Bremsphase und günstige Bedingungen für muskuläre Antriebe, die für die Öffnung des Fußgelenks eingesetzt werden, zu sorgen. Dadurch kommt es zu einer wirksamen Beschleunigung durch Streckung im Fußgelenk am Ende des Abstoßes. Es ist empfehlenswert, nur mit den Ballen in Wandkontakt zu treten, da Fersenkontakt mit der Beckenwand zu einem negativen Kraftaufbau und daher einer längeren Abstoßzeit führt (Pfeifer, 1991). Der aktive Teil der Wandkontaktphase wird auch konzentrische Abstoßphase genannt und ist das Zeitintervall vom Entfernen der Hüfte von der Wand bis zum letzten Fußkontakt (Lyttle et al., 1998; Lyttle et al., 1999; Shahbazi et al., 2006). Der Hauptantrieb während der konzentrischen Bewegung passiert über Streckung in Hüft-, Knie- und Fußgelenken (Pfeifer, 1991).

Als weitere, nicht zu vernachlässigende Faktoren, während des Abstoßes haben sich die Winkel in Hüfte und Knie erwiesen. Auch hier sind sich die Autoren nicht ganz einig, ob ein großer Kniewinkel während des Abstoßes von Vorteil ist. Pfeifer (1991), Puel, Morlier, Mesnard, Cid und Hellard (2011), Maglischo (1993), Lyttle et al. (1998), Takahashi et al. (1982) und Maglischo (2003) empfehlen einen Winkel von beinahe 90° in der Hüfte und mehr als 90° in den Knien, wenn die Füße in Wandkontakt kommen. Pereira, Araújo, Freitas, Gatti, Silveira und Roesler (2006) empfehlen sogar einen Kniewinkel von 110° bis 120°. Blanksby et al. (1996) beobachteten in ihrer Studie, je größer der Tuck Index (also je gestreckter die Knie), desto schneller wäre die 5 m RTT. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn die Beine komplett gestreckt sind, weil dann keine Muskelkraft erzeugt werden kann. Dieser empfohlene große Kniewinkel zu Beginn des Abstoßes sollte nicht mit offenen Kniegelenkwinkel während der Drehbewegung gekoppelt sein, da sonst größere Wasserwiderstandskräfte wirken würden, was zu langsameren Drehzeiten führt (Blanksby et al., 1998). Dies trifft jedoch nur bedingt auf alle Schwimmer und Schwimmerinnen zu. Takahashi et al. (1983) haben untersucht, dass Freizeitschwimmer oder Freizeitschwimmerinnen sowie weniger erfahrene Schwimmer und Schwimmerinnen mit einem eher kleinen Kniewinkel von zirka 90° bessere Resultate erzielen als mit größeren. Auch Rudolph (2014), Hahn (2009) und Hahn et al. (2010) empfehlen ein Setzen der Füße in enger Körperposition mit einem Kniewinkel von in etwa 90°. Leistungsschwimmer jedoch würden von einem größeren Kniewinkel profitieren. Diese Ergebnisse unterstützen Bahadoran et al. (2012) mit ihrer Studie. Dabei ergab eine längere Abstoßzeit eine höhere Abstoßgeschwindigkeit, was wiederum einen kleinen Kniewinkel fordert. Puel et al. (2011) fassen vorhandene Studien zusammen, und erkennen zwei Strategien um die Wendenzeit zu verbessern: Erstere gilt für weniger erfahrene Athleten und Athletinnen. Hier zeigt sich

ein möglichst kleinen Tuck Index, um die Abstoßgeschwindigkeit zu verbessern, von Vorteil. Die Geschwindigkeit direkt nach dem Abstoß kann durch längere Kontaktzeit erhöht werden, weil die Höhe des Kraftstoßes abhängig von der Zeitdauer der konzentrischen Abstoßphase ist. Die Dauer der Kontaktzeit soll zwar verlängert werden, jedoch nicht *maximal* lange sondern *optimal* lange. Für erfahrenere Schwimmer und Schwimmerinnen sind die Füße bei Wandkontakt weniger gebeugt um die Streckphase zu verkürzen. Eine zu kurze Kontaktphase ergibt einen geringeren Kraftstoß trotz gleichem, maximalem Kraftwert. Jedoch eine zu lange Kontraktion beeinflusst den Kraftanstieg und das Kraftmaximum bezüglich des Gesamtimpulses negativ (Lyttle et al., 1998). Auch Puel, Morlier, Mesnard, Cid und Hellar (2010) weisen auf einen Zusammenhang zwischen Grad der Beugung der Beine sowie der Kontaktzeit hin. Deren Studie deutet darauf hin, dass bei einem kleineren Kniewinkel die Kontaktzeit länger würde, die horizontale Maximalkraft später während des Abstoßes erfolgte, wodurch sich die Abstoßgeschwindigkeit erhöhen würde. Diese Erkenntnis lässt vermuten, dass die Kraft- und Geschwindigkeitsentwicklung nach und nach stattfinden und steigen sollte bis zu einem Maximum kurz vor dem Verlassen der Füße der Wand. Während des Maximums sollte der Körper in einer komplett stromlinienförmigen Position sein (Maglischo, 2003). Lyttle et al. (1998) fassen zusammen, dass die Abstoßgeschwindigkeit von der Dauer des konzentrischen Abstoßes, der maximalen Widerstandskraft sowie dem Kraftmaximum beim Abstoß abhängt.

Cossor et al. (1999) untersuchten drei Abstoßvarianten von Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen auf ihre Effektivität hin.

Die erste wurde betitelt mit „kräftig und schnell“, war definiert von hohen Kraftmaxima mit 1396 N und einer kurzen Abstoßdauer von 0,18 s. Doch war sie auch von sehr hohen Widerstandskräften von 929 N geprägt, wodurch sich eine relativ geringe Abstoßgeschwindigkeit von 2,46 m/s ergab.

Die zweite Variante nennen sie „nachfedern ab Wandkontakt“. Das bedeutet, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen, wenn ihre Füße in Wandkontakt kommen, nicht sofort mit der Streckung, dem Abstoß, beginnen. Stattdessen federn sie davor ein wenig weiter Richtung Wand, indem sie in den Gelenke beugen. Dadurch ergibt sich ein noch kleinerer Tuck Index, weil die Hüft-, Knie- und Fußgelenkbeugung noch stärker wird. Bei dieser Methode erreichten die Schwimmer und Schwimmerinnen ein durchschnittliches Kraftmaximum von 1727 N. Die Wandkontaktzeit erhöhte sich mit 0,23 s sowie auch die maximalen Widerstandskräfte mit 1085 N. Trotz der höheren Widerstandskräfte wurde eine durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit von 2,64 m/s erzielt.

Als Drittes testeten sie eine „extra kurze passive Phase, mit einer allmählichen und kontrollierten aktiven Phase“. In etwa 90% der Wandkontaktzeit sollten für die konzentrische Phase genutzt werden. Indem die aktive Phase allmählich und kontrolliert ausgeführt wurde, fand die Kraftspitze nicht am Anfang, sondern bei Verlassen der Wand, in strömungsgünstiger Körperposition, statt. Dadurch ergaben sich zwar geringere Maximalkraftwerte mit 1074 N und eine längere Abstoßzeit von 0,27 s, jedoch ebenfalls eine sehr geringe maximale Widerstandskraft von 235 N. Die ermittelte maximale Abstoßgeschwindigkeit von 3,03 m/s deutet darauf hin, dass das durch ein stetig schneller werdendes Abstoßen, sowie größer werdende Kraft, höhere Geschwindigkeitsspitzen erreicht werden können, als bereits zu Beginn maximal wirkender Kraft oder maximaler Geschwindigkeit. Daher kann vermutet werden, dass das biomechanische Prinzip der optimalen Tendenz des Beschleunigungsverlaufes (Hochmuth, 1967) hier anzuwenden ist. Puel et al. (2011) und (Lyttle et al., 1998) bemerken, dass der aktive Teil des Abstoßes bei der Wende so schnell wie möglich passieren sollte. Jedoch, wie bereits Cossor et al. (1999) zeigten, würden bei zu explosiver Kraftentwicklung von Anfang an, die hydrodynamischen Gegebenheiten zu einer sehr großen Widerstandskraft führen. Aus diesem Grund hat sich eine sehr kurze passive Phase der Wandkontaktzeit und eine sich entwickelnde schnellere und stärkere, kontrollierte aktive Phase am vorteilhaftesten für die gewählte Stichprobe erwiesen (Cossor et al., 1999; Puel et al., 2011; Lyttle et al., 1998).

Training der Beinextensoren durch Sprungkrafttraining zeigte sich als bedeutsam für die Abstoßleistung bei der Wende (Rudolph, 2014; Takahashi et al., 1983; Recht, 2003). Cossor et al. (1999) konnten jedoch keinen extra-positiven Einfluss auf die Wendenleistung im Gegensatz zum normalen Wendentraining finden.

Die Studien, die sich mit der Abstoßgeschwindigkeit beschäftigten, ergaben leicht variierende Werte, wie in Tabelle 2 verdeutlicht. Die Wandkontaktzeit beläuft sich bei zirka 0,3 bis 0,8 s, die Abstoßgeschwindigkeit auf 2,5 bis 3 m/s und die Maximalkraft während des Abstoßes variiert enorm. Normalerweise ist die Abstoßgeschwindigkeit deutlich höher als die mittlere Schwimmggeschwindigkeit (Recht, 2003).

Tab. 2: Ergebnisse angegebener Studien bezüglich der Messungen in Zusammenhang mit der Abstoßphase.

Studie	Wandkontaktzeit [s]	Abstoßgeschwindigkeit [m/s]	Maximalkraft bei Abstoß [N]	Tuck Index [%]
Bahadoran et al., 2012 (10 erfahrene erwachsene Schwimmer)	$0,32 \pm 0,08$	$2,45 \pm 0,31$	--	--
Blanksby et al., 1996 (36 Nachwuchsschwimmer und Nachwuchsschwimmerinnen)	$0,58 \pm 0,20$	$2,05 \pm 0,29$	693 ± 228	56 ± 17
Cossor et al., 1999 (38 Nachwuchsschwimmer und Schwimmerinnen)	$0,55 \pm 0,05$	$1,18 \pm 0,4$	582 ± 18	62 ± 2
Recht, 2003 (22 Schwimmer und Schwimmerinnen der 1. Bundesliga)	338 ± 66 ms	$2,46 \pm 0,19$	1427 ± 443	--
Cossor et al., 2014 (34 Universitätschwimmer und Schwimmerinnen)	$0,31 \pm 0,06$	--	--	94 ± 11
Lyttle et al., 1998 (30 erfahrene Schwimmer)	$0,32 \pm 0,04$	$2,75 \pm 0,25$	1189 ± 246	--
Prins & Patz, 2006 (23 erwachsene Schwimmer und Schwimmerinnen)	0,28	$2,47 \pm 0,4$	--	57 ± 14

2.3.4 Gleit- und Auftauchphase

Während der Gleitphase liegt der Körper in einer völlig gestreckten Haltung, der Kopf ist zwischen den Armen, die Hände übereinander, Beine und Zehen gestreckt und speziell der Rumpf steht unter Spannung. Diese Position wird auch stromlinienförmige Körperhaltung genannt und ist einzunehmen, um ein Gleiten durch das Wasser möglichst widerstandslos zu ermöglichen. Mit dieser Körperhaltung kommt weniger Frontalwiderstand zustande, weil die Querschnittsfläche minimiert wird. Die Länge der Schwimmer und Schwimmerinnen wird stattdessen maximiert, weil ein längerer Körper weniger Verwirbelungen mit kleinen Sogwirkungen im Nachlauf erzeugt (Pfeifer, 1991). Für eine nähere Erklärung der Widerstandsarten siehe Kapitel 2.2. Gleiten in diesem Bezug bedeutet, dass keine Bewegungen ausgeführt werden. Diese Phase ist laut Pfeifer (1991), Ungerechts et al. (2002) und Maglischo (1993) kurz zu halten. Die Frage, ob es widerstandsärmer ist in Bauch-, Seiten- oder Rückenlage zu gleiten, konnte noch nicht durch Studien beantwortet werden (Recht, 2003). Die Tiefe ist so zu wählen, dass an der Wasseroberfläche keine Wellen entstehen, weil diese Wellen zu zusätzlichem Widerstand führen (Pfeifer, 1991; Maglischo, 1993). Hahn et al. (2010) erklären die Problematik der Gleittiefe über die Diagonalwellen, die von dem Schwimmer oder der Schwimmerin wegläufen. Deren

Erzeugung sowie deren Überwindung kosten den Athleten oder die Athletin zusätzlichen Energieaufwand. Diese Wellen werden von schwimmenden Personen an der Wasseroberfläche oder in geringer Tiefe erzeugt. Besonders hohe Geschwindigkeiten führen daher bei Bewegungen in der Nähe der Wasseroberfläche zu starken Widerständen. Dieser Wellenwiderstand kann minimiert werden, indem sich die Schwimmer oder Schwimmerinnen während erlaubter Bewegungsabschnitte wie dem Abstoß, des Gleitens oder der Auftauchphase in genügender Tiefe befinden. Diese Tiefe muss mindestens 30 cm betragen, um effektiv zu sein. Lyttle et al. (2000), Maglischo (1993) und Ungerechts et al. (2002) schlagen vor, zirka 1 m lang in 40 cm Tiefe zu gleiten, bis die Gleitgeschwindigkeit bis auf die Schwimmgeschwindigkeit absinkt. Danach sollte über einen weiteren Meter mit Delphinkicks oder Kraulbeinschlägen über ein Anheben des Kopfes, der Arme und Hände bis an die Wasseroberfläche die Auftauchphase durchgeführt werden. Die Angabe der Gleit- und Auftauchphase mit jeweils 1 m variiert jedoch laut Rudolph (2014) beträchtlich zwischen den Schwimmern und Schwimmerinnen. Nicht nur die Voraussetzungen der Athleten oder Athletinnen, sondern auch die Anforderungen im Wettkampf, wie die Höhe der Anfangsgeschwindigkeit in der zyklischen Bewegung der Schwimmart und die Wettkampfregeln, spielen eine Rolle. Dieser Faktor ist mit der Höhe der erzielten Abstoßgeschwindigkeit zu relativieren. Der Grund liegt darin, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen die Abstoßgeschwindigkeit von der Wand maximieren, jedoch zu schwimmen beginnen müssen, bevor sie die Schwimmgeschwindigkeit während des Gleitens erreichen. Personen, die zu lange nach dem Abstoß gleiten, werden langsamer als ihre durchschnittliche Schwimmgeschwindigkeit und benötigen daher zusätzliche Zeit und Energie um dieses Tempo wieder zu erreichen. Im Falle eines zu frühen Auftauchens jedoch, hat der Schwimmer oder die Schwimmerin noch nicht die Abstoßgeschwindigkeit und positiven Eigenschaften des Tauchens ausgenutzt. Die längste Gleitphase nach dem Abstoß war 3,9 m von einem Schwimmer, welcher mit einer Anschwimmgeschwindigkeit von 1,55 m/s geschwommen ist. Als er wieder zu schwimmen begann, betrug die Geschwindigkeit nur 1,2 m/s, was bedeutet, dass der Schwimmer zu lange gewartet hatte. Im Gegensatz dazu war die kürzeste Gleitphase 1,7 m von einem Schwimmer mit 1,25 m/s Anschwimmgeschwindigkeit. Dieser nahm das Kraulschwimmen mit einer Geschwindigkeit von 1,3 m/s wieder auf, was bedeutet, dass er zu einem guten Zeitpunkt auftauchte. Das weist darauf hin, wie wichtig das Gefühl ist, wann begonnen werden soll zu schwimmen, nämlich knapp bevor die Wettkampfgeschwindigkeit erreicht wird (Blanksby et al., 1996). Die Leistungsfähigkeit des Antriebes im Übergang, wie Delphinbewegungen beim Kraul und Delphinschwimmen sind ebenfalls in Betracht zu ziehen um eine Empfehlung über die Länge der Auftauchphase abzugeben. Zielführend ist, durch effiziente

Antriebsbewegungen während der Auftauchphase einen regelkonformen und fließenden Übergang in das Schwimmen zu finden (Volck et al., 2012).

Laut Recht (2003) tauchten männliche Finalisten einer Weltmeisterschaft während eines 1500 m Bewerbs durchschnittlich bei 4,64 m auf, und bei einem 100 m Bewerb im Durchschnitt bei 5,07 m. Diese Erkenntnisse deuten darauf hin, dass bei Kurzstreckenbewerben die Gleit- und Auftauchphase über längere Distanzen ausgeführt werden als bei Langstreckenbewerben. Gleiches ist bei weiblichen Finalistinnen zu beobachten. Während eines 800 m Bewerbs lag der durchschnittliche Auftauchpunkt bei 3,82 m und bei einem 100 m Bewerb bei 4,38 m.

2.4 Beteiligte Muskulatur

Für die Rollwende ist zusätzlich zur technischen Korrektheit der Ausführung ebenfalls die Ausprägung der eingesetzten Muskulatur entscheidend. Aus diesem Grund wird die Rollwende anhand jener Muskulatur analysiert, welche vordergründig aktiv ist. Durch ein zusätzliches funktionelles Training dieser Muskulatur kann die Wendenzeit zusätzlich verbessert werden (Pereira et al., 2007).

Anhand einer elektromyographischen Untersuchung fanden Pereira et al. (2007) heraus, welche Muskelgruppen während der Rollwende hauptsächlich zum Einsatz kommen. Eine detaillierte Beschreibung der Rollwende findet sich in Kapitel 2.3, hier werden nur kurz die Hauptbewegungen mitsamt der Aktivität der wichtigsten Muskulatur währenddessen analysiert. Während des Starts der Rotation um die frontotransversale Achse wird ein Schlag mit beiden Beinen gleichzeitig ausgeführt, der Delphinbeinschlag. Dabei kommt es zu einer Aktivierung von *Musculus Biceps Femoris* und *Musculus Tibialis Anterior*. Durch diese Aktion gelangt die Hüfte in eine höhere Position, wobei die Beine nahe der Wasseroberfläche sind, und der Kopf und die Schultern nach unten zeigen. Der *Musculus Tibialis Anterior* ist verantwortlich für die Dorsalflexion der Füße, wodurch weniger Wasserwiderstand entsteht, solange sich die Beine im Wasser befinden. Die Beugung der Knie ist eine wichtige Aktion während der Rotation, weil dadurch die Geschwindigkeit der Rotation durch eine Verkleinerung des Trägheitsmoments durch eine Zentrierung der Körpermasse zur Rotationsachse erhöht wird. Die Hauptaktion während des Knieanziehens geht vom *Musculus Biceps Femoris* aus, welcher für die Beugung der Knie verantwortlich ist. Danach werden die Beine aktiv gestreckt, während sich die Füße der Wand nähern, wobei es zu einer Aktivierung des *Musculus Gastrocnemius* und *Musculus Biceps Femoris* kommt, während die Füße sich auf das Auftreffen an der Wand vorbereiten. Während die Füße die Wand berühren ist der *Musculus Vastus Lateralis* aktiv. Während des Abstoßes sind *Musculus Tibialis Anterior* und *Musculus Gastrocnemius* parallel aktiviert. Während

des Gleitens werden alle vier Muskeln leicht angespannt um für eine möglichst stromlinienförmige Körperposition zu sorgen (Pereira et al., 2007).

Zwei Studien haben sich aufgrund dieses Wissens näher mit der zu trainierenden Muskulatur für den Abstoß beschäftigt. Da der Abstoß ein sehr wesentlicher Aspekt während der Rollwende ist, wollten die Autoren (Cossor et al., 1999; Recht, 2003) herausfinden, ob durch ein Training der abstoßspezifischen Muskulatur eine signifikante Verbesserung der Wendenzeit erreicht werden kann. Die Studie von Recht (2003) ergab, dass durch das Training der Beinextensoren sehr wohl eine Verbesserung der Wendenzeit erreicht werden kann.

2.5 Beschreibungsmerkmale der Rollwende

Die Rollwende wurde in Kapitel 2.3 in unterschiedliche Phasen eingeteilt. Insgesamt werden diese Phasen, wie auch die gesamte Rollwende, von gewissen Beschreibungsmerkmalen beeinflusst. Diese wirken auf die Rollwende bezüglich Ausführung und zeitlicher Ausprägung ein.

In Abbildung 8 sind die Beschreibungsmerkmale der Rollwende, modifiziert nach der Darstellung von Recht (2003, S. 26), dargestellt. Küchler und Leopold (2000; zit. n. Recht, 2003) haben die Einflussfaktoren der Rollwende detaillierter untersucht. In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Anschwimmzeit (t_{AN}), die Adaptationszeit (t_{ADAPT}), die Drehzeit (t_D), die Wandkontaktzeit (t_{KONT}) sowie die Abschwimmzeit (t_{AB}) die 5 m Wendenzeit ausmachen. Die Anschwimmzeit wird „definiert als das Zeitintervall vom Kopfdurchgang bei [5 m] bis zum Kopfdurchgang bei 2,5 m vor Erreichen der Beckenwand“ (Recht, 2003, S. 26) und wird von der Anschwimmgeschwindigkeit (v_{AN}) beeinflusst. Maglischo (1993) beschreibt Untersuchungen, die ergeben haben, dass Sprinter die Wende weiter weg von der Wand einleiten als Langstreckenschwimmer. Der Grund dafür ist, dass ihre Anschwimmgeschwindigkeit höher ist. Diese beeinflusst die Adaptationsgeschwindigkeit (v_{ADAPT}), welche wiederum die Adaptationszeit beeinflusst. Die Adaptationszeit wird gemessen von dem Zeitpunkt, an dem der Kopf die 2,5 m Markierung vor der Wende passiert, „bis zum Beginn der Drehung durch Absenken des Kopfes“ (Küchler, 1998, S. 81, zit. n. Recht, 2003, S. 27). Die Adaptationszeit wird außerdem von dem Hüft- und Kniewinkel während der Rotation ($\alpha_{K\&H}$) beeinflusst, weil je nach Größe der Winkel, der Schwimmer oder die Schwimmerin näher zur Wand schwimmen muss, oder die Rotation in größerer Distanz zur Wand einleiten kann (Pfeifer, 1991). Wie bereits erwähnt, beeinflusst der Abstand zur Beckenwand zu Beginn der Rotation (s_D) die Adaptationszeit. Dadurch muss entweder eine weitere oder eine kürzere Strecke zurückgelegt werden. Zudem ist die Drehzeit ein Teil der 5 m Wendenzeit. Um diese so effektiv wie möglich auszuführen, müssen Teilkörperbewegungen sehr präzise koordiniert sein, um bei der Einleitung der

Rollwende ein großes Drehmoment zu erzeugen. Während der Rotation sollen dabei die Beine möglichst gebeugt sein um das Massenträgheitsmoment zu verkleinern und die Widerstandskräfte zu minimieren (Recht, 2003). Die Wandkontaktzeit wird beeinflusst von dem Knie- und Hüftwinkel während der Rotation und dem Abstoßwinkel im Kniegelenk. Die Vorteile und Nachteile eines kleineren oder größeren Winkels sind in Kapitel 2.3.3 dargestellt. Wenn der Schwimmer oder die Schwimmerin jedoch in einer ungünstigen Abstoßposition mit den Füßen an die Wand kommt, benötigt er oder sie zusätzliche Zeit um den Körper zu adjustieren, da es sonst zu einem langsameren Abstoß kommt. Die Zeit, während der die Füße guten Halt an der Wand suchen, wird auch passive Phase des Abstoßes oder abbremsende Aktion genannt. Diese ist möglichst kurz zu halten und die konzentrische Abstoßbewegung, die aktive Phase, sollte den Großteil der Wandkontaktzeit darstellen (Shahabazi et al., 2007). Der Abstoßwinkel in Hüfte und Knie beeinflusst die Dauer des Wandkontaktes, indem der Schwimmer oder die Schwimmerin sich mit größeren Winkeln schneller abstoßen kann, wodurch es zu einer kürzeren Wandkontaktzeit kommt. Dies erklärt auch, in welchem Verhältnis die Abstoßgeschwindigkeit (v_{ABST}) mit der Wandkontaktzeit steht. Die Abschwimmzeit (t_{AB}) wird hauptsächlich von der Abschwimmgeschwindigkeit (v_{AB}) beeinflusst, welche wiederum von der Abstoßgeschwindigkeit abhängt. Die Abstoßgeschwindigkeit wird durch mehrere Faktoren bestimmt. Zuerst muss der Kraftstoß (Δp_{ABST}) genannt werden, weil dieser eine sehr entscheidende Rolle einnimmt. Ein höherer Kraftstoß führt zu einer höheren Abstoßgeschwindigkeit, jedoch wirken Faktoren wie der Abstoßwinkel in Hüfte und Knie, sowie die Körperhöhe (H) und Körpermasse (M), der Körperlagewinkel während der Abstoßzeit (ϕ_{ABST}) und der Widerstandsbeiwert (c_W), zusätzlich auf die Abstoßgeschwindigkeit ein. Laut Küchler et al. (2000; zit. n. Recht, 2003) kann ein 10 cm größerer oder kleinerer sowie ein etwa 10 kg schwererer oder leichterer Körper einen Vor- oder Nachteil von in etwa 0,1 bis 0,15 s pro Wende erreichen, vorausgesetzt es blieben alle anderen Parameter gleich. Ungerechts et al. (2002) und Pfeifer (1991) geben an, dass größere Schwimmer oder Schwimmerinnen einen Vorteil haben, weil sie weniger Distanz zurücklegen müssen, da die Rollwende in etwa eine Körperlänge von der Wand entfernt eingeleitet wird. Weiters hat die Länge des Schwimmers oder der Schwimmerin Einfluss auf die Gleit- und Abstoßgeschwindigkeitseigenschaften des Körpers auf Grund eines verringerten Nachlaufsogs (Pfeifer, 1991). Eine detailliertere Erklärung der Widerstandsarten ist in Kapitel 2.2 zu finden. Die Masse des schwimmenden Körpers im Wasser beeinflusst die Abstoßgeschwindigkeit, weil mehr Masse ebenfalls mehr Frontalwiderstand bedeutet. Es kann daher gesagt werden, dass die anatomischen Gegebenheiten einen Einfluss auf die 5 m Wendenzeit haben.

Der Knie- und Hüftwinkel während des Abstoßes wirkt auf die Abstoßgeschwindigkeit ein, indem der Kraftstoß entweder kräftiger oder weniger kräftig ausfällt, je nachdem, wie stark die Beugung in Hüfte und Knien ist. In einigen Studien wird der Winkel, in anderen der Tuck Index gemessen. Mehr bezüglich Tuck Index und Abstoßwinkel ist im Kapitel 2.3.3 und 3.4.9 zu lesen. Der Kraftstoß an sich hängt von der maximalen Abstoßkraft ($F_{\max\text{ABST}}$), dem Kraftanstieg (RFD_{ABST}) sowie der Kraftstoßdauer (t_{ABDR}) ab (Pereira et al., 2006; Blanksby et al., 1996; Puel et al., 2011).

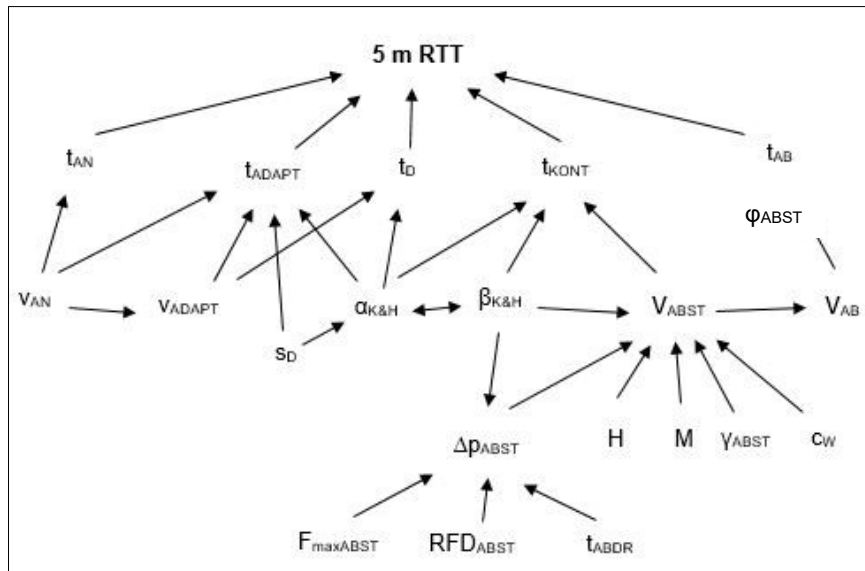


Abb. 8: Beschreibungsmerkmale der Rollwende (mod. n. Recht, 2003, S. 26).

t_{AN}	Anschwimmzeit	Δp_{ABST}	Kraftstoß
t_{ADAPT}	Adaptationszeit	H	Körperhöhe Schwimmer/ Schwimmerin
t_{D}	Drehzeit	M	Masse Schwimmer/ Schwimmerin
t_{KONT}	Wandkontaktzeit	ϕ_{ABST}	Körperlagewinkel während der Abstoßzeit
t_{AB}	Abschwimmzeit	c_{W}	Widerstandsbeiwert
V_{AN}	Anschwimmgeschwindigkeit	$F_{\max\text{ABST}}$	Kraftmaximum
V_{ADAPT}	Adaptationsgeschwindigkeit	RFD_{ABST}	Kraftanstieg
$\alpha_{\text{K\&H}}$	Knie- & Hüftwinkel während Rotation	t_{ABDR}	Kraftstoßdauer
β_{K}	Kniewinkel während Abstoß (Tuck Index)	S_{D}	Abstand zur Beckenwand zu Beginn der Drehung
V_{ABST}	Abstoßgeschwindigkeit		
V_{AB}	Abschwimmgeschwindigkeit		

3 Empirische Studie

Aufgrund der Wissenslücke bezüglich der Bedeutung des Einflusses des Hüft- und Kniewinkels zu Beginn und während der Rotation, wurde diese Studie durchgeführt. In den nachfolgenden Kapiteln wird näher auf die Forschungsdefizite, sowie die Ziele der Untersuchung, die Hypothese, die Methodik der Studie und schließlich auf die Ergebnisse eingegangen.

3.1 Forschungsdefizite und Untersuchungsziele

Bei der Analyse der wissenschaftlichen Studien und Literatur zur Wendenanalyse musste festgestellt werden, dass gewisse Mängel bestehen. Einerseits wurden wenige Studien bisher veröffentlicht, und hinzu kommt die Widersprüchlichkeit der Studien aufgrund von „uneinheitlichen Messmethoden“ (Recht, 2003, S. 68). Bis dato wurden bereits verhältnismäßig viele Studien über den Abstoß (Lyttle et al., 1999; 1997; Blanksby et al., 1998; 1996; Cossor et al., 2012; 2014; Recht, 2003) sowie die Gleitphase und die Auftauchphase (Lyttle et al., 1999b; Lyttle et al., 2000; Recht, 2003; Blanksby et al., 1996) publiziert. Jedoch über die Rotation können nur wenige Studien oder wissenschaftliche Erkenntnisse gefunden werden (Pereira et al., 2015). Aus diesem Grund stehen kaum detaillierte Informationen zur Verfügung. Die einzigen Studien, und daher wissenschaftlichen Informationen, bezüglich der Rotation, stammen von Pereira et al. (2006), Pereira et al. (2007), Pereira et al. (2011) und Pereira et al. (2015), welche die Rotation um die frontosagittale Achse untersuchten. Pereira et al. (2015) bestätigen, dass kleine Unterschiede in der Ausführung der Rotation, wie verschiedene Körperhaltungen, direkten und indirekten Einfluss auf die Wendenzeit haben. Jedoch in keiner Studie sowie keiner wissenschaftlichen Abhandlung wurde bis dato explizit die Ausführung der Rotation um die frontotransversale Achse ausführlicher analysiert. Diese Lücken über die Erforschung des Hüft- und Kniewinkels zu Beginn sowie während der Rotation könnten darin begründet sein, dass es äußerst schwierig ist, einen Unterschied quantitativ zu messen. Die notwendigen wasserfesten Technologien, die sehr kurze Dauer des Bewegungsablaufes, der Fakt, dass die Bewegung unter wie auch über Wasser stattfindet, machen eine Messung äußerst schwierig und kompliziert (Bahadoran et al., 2012). Blanksby et al. (1998) streichen die Tatsache heraus, dass bereits eine hundertstel Sekunde für einen Sieg entscheidend sein können. Auch Maglischo (2003) und Pereira et al. (2015) betonen die Bedeutung der Rollwende für die Gesamtschwimmzeit durch eine mögliche Zeitersparnis von mindestens zwei zehntel Sekunden pro Länge. Dadurch erscheint der Aufwand für eine Analyse der Rotation als gerechtfertigt. Die Rotation stellt einen wichtigen Teil während der Rollwende dar, weil deren Ausführung viele andere biomechanische und kinematische Parameter beeinflusst. Die Distanz zur Wand zum

Zeitpunkt der Einleitung der Rotation, das Trägheitsmoment während der Rotation, daher die Geschwindigkeit der Rotation und der Winkel mit dem die Beine auf die Wand treffen, sind nur ein paar dieser Parameter, welche durch eine Veränderung des Knie- und Hüftwinkels während der Rotation beeinflusst werden. Zusätzlich kommt die Dauer der Rotationszeit hinzu. Deren Bedeutung für die Dauer der Rotation wird ebenfalls in dieser Studie untersucht.

Die einzige Studie bezüglich dieses Aspekts der Rotation wurde von Shahbazi et al. (2007) anhand einer theoretisch-mathematischen Berechnung unternommen. Dabei setzten sie sich mit der Rotation um die frontotransversale Achse anhand mathematischer Kalkulationen auseinander. Dieser Berechnung zufolge ist ein kleinerer Winkel in Hüfte und Knien von Vorteil. Da dies jedoch nur eine theoretisch- mathematische Kalkulation ist und diese möglicherweise nicht mit der Praxis vereinbar ist, besteht der Bedarf an einer praxisorientierten Anwendungserforschung. Diese wurde anhand einer kleinen Vorstudie im Zuge einer Seminarpräsentation von der Diplomandin Kerstin Baumgartner ausprobiert. Bei dieser wurde jedoch ein zu geringer Aufwand betrieben, wodurch die Genauigkeit sowie die Aussagekraft sehr stark anzuzweifeln sind. Vier Probanden wurden für diese Vorstudie herangezogen. Sie trainierten eine Stunde lang beide Extreme der Ausführung der Rollwende, danach führten sie drei Mal eine Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel sowie drei Mal eine Rollwende mit großem Hüft- und Kniewinkel aus. Dies wurde mit einer 23 Hz Sony Unterwasserkamera aufgezeichnet, mit der open source Bewegungsanalyse Software Kinovea 0.8.15 (www.kinovea.org) analysiert und mit Excel® (Microsoft) ausgewertet. Das Ergebnis konnte nicht als aussagekräftig gewertet werden, da die Auswertung sehr fehlerbehaftet, die Personenstichprobe viel zu klein und die Trainingszeit viel zu kurz war. Jedoch mit Hilfe der Erkenntnisse, welche während dieser Vorstudie gesammelt wurden, sowie durch Angaben aus der Literatur, war das Ziel die aktuelle Studie dieser Diplomarbeit viel exakter, präziser und möglichst frei von Fehlern, durchzuführen.

Das Ziel dieser Studie war es, anhand einer Vorher-Nachher Analyse den Vergleich zwischen der Ausführung der Rollwende mit kleinem und großem Hüft- und Kniewinkel anzustellen. Da eine vorherige qualitative Beobachtung der bei der Studie teilnehmenden Schwimmer und Schwimmerinnen ergab, dass alle unter normalen Trainingsbedingungen eine Rollwende mit großem beziehungsweise mittlerem Hüft- und Kniewinkel ausführten, wurde bei der ersten Aufnahme eine Ausführung mit großem Hüft- und Kniewinkel gefilmt. Dann wurden die Testpersonen in eine Versuchs- und eine Kontrollgruppe eingeteilt. Die Testpersonen wurden über die kleine Rollwende aufgeklärt und erhielten ein Trainingsprogramm für eine 16-wöchige Ausführung der kleinen Rollwende, die Testpersonen erhielten keine Aufklärung und trainierten unter gewohnten Bedingungen mit

gewohnter Technik die Rollwende ebenfalls für die Dauer von 16 Wochen. Danach wurden die Schwimmer und Schwimmerinnen nochmals gefilmt. Das Ziel war herauszufinden, ob sich die Testgruppe signifikant verglichen mit der Kontrollgruppe verbessert. Dies würde die theoretisch- mathematischen Ergebnisse von Shahbazi et al. (2006) bestätigen, dass die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel die effizientere Variante ist.

3.2 Fragestellung und Hypothese

Die Fragestellung dieser Studie lautet, ob die Ausführung der Rollwende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel effizienter für die 5 m Rundenzeit ist, als jene mit größerem Knie- und Hüftwinkel. Der Kontrast dieser beiden Ausführungsarten ist in Abbildung 9 dargestellt. Die

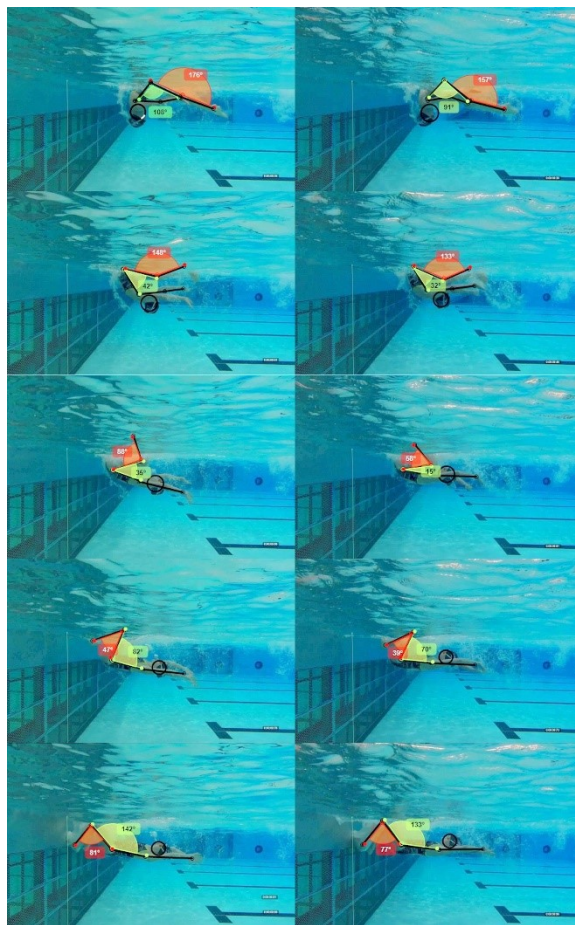


Abb. 9: Darstellung der Ausführung der Rollwende mit großem Knie- und Hüftwinkel (links) und jener mit kleinem Knie- und Hüftwinkel (rechts).

linke Bilderreihe veranschaulicht die Ausführung der Rollwende mit großem Knie- und Hüftwinkel und die rechte Bildreihe jene mit kleinerem Knie- und Hüftwinkel. Für eine bessere Vergleichbarkeit, veranschaulicht jede Zeile die gleiche Position während der Rollwende. Die linke Spalte zeigt die Bilderreihe der Rotation mit größerem Hüft- und Kniewinkel und die rechte Spalte die Ausführung mit kleinerem Hüft- und Kniewinkel. Die Position in der ersten Zeile veranschaulicht, ist jener Moment der Einleitung der Rotation nach dem Delfinbeinschlag, zu dem der Kniewinkel am größten ist. Die der zweiten Zeile ist definiert als 2 hundertstel Sekunden nachdem der Markerpunkt am Malleolus lateralis die Wasseroberfläche durchbrochen hat. Die Position der dritten Zeile ist jene, bei der die Schwimmerin den kleinsten Hüftwinkel während der gesamten Rotation einnimmt.

In der vierten Zeile befinden sich die Füße der Schwimmerin 4 hundertstel Sekunden vor Wandkontakt und in der fünften Zeile besteht ein erster Wandkontakt mit den Füßen. Der Kniewinkel ist in Rot dargestellt, der Hüftwinkel in Grün. Alle Schwimmer und Schwimmerinnen führten vor der Untersuchung eine Rollwende mit großem Knie- und Hüftwinkel durch, und durch diese Studie soll herausgefunden werden, ob das Training der

Rollwende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel zu einer signifikanten Verbesserung im Vergleich zwischen Versuchsgruppe und Kontrollgruppe führt.

Dies soll anhand einer Untersuchung von Schwimmern und Schwimmerinnen, die in eine Versuchsgruppe und eine Kontrollgruppe eingeteilt werden und während der zwei Messtermine ein 16-wöchiges Trainingsprogramm durchlaufen. Die Versuchsgruppe trainiert speziell eine Ausführung mit kleinem Hüft- und Kniewinkel. Das Training der Kontrollgruppe sieht während des Trainings einen generellen Fokus auf die Wende vor, ohne dass die Athleten und Athletinnen jedoch von der Unterscheidung erfahren. Dabei wird angenommen, wenn die Differenz der 5 m Rundenzeiten der Versuchsgruppe nach den 16 Wochen signifikant schneller ist als die der Kontrollgruppe, dass die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel sich zeitsparend auf die 5 m Rundenzeit auswirkt.

Daher lautet die *Hypothese (H1)* „Es gibt einen Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2“. Die *Gegenhypothese (H0)* hingegen lautet: „Es gibt keinen Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2“. Dies ist die Haupthypothese. Zusätzlich gibt es Nebenhypothesen, welche den Zusammenhang zwischen Faktoren wie großer/kleiner Knie- und Hüftwinkel und Abstoßgeschwindigkeit, Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation, Dauer des Wandkontaktes, Dauer der Rotation und Tuck Index, hinterfragen sollen (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012).

3.3 Methodik

In diesem Kapitel wird auf die Methodik dieser Untersuchung näher eingegangen. Zuerst werden die allgemeine Vorgehensweise sowie die organisatorischen Rahmenbedingungen erläutert. Danach sind die Kameradetails sowie andere verwendete Materialien angeführt. Die Personenauswahl und die an den Athleten und Athletinnen angebrachten Marker werden im darauffolgenden Kapitel erklärt. Danach findet die Erläuterung der Wendenanalyse statt. Anschließend wird auf die möglichen Fehler während dieser Studie eingegangen und welchen Einfluss diese auf die Ergebnisse haben könnten. Ebenfalls behandelt wird die Erfassung der kinematischen Daten, welche mittels Videoanalyse stattfand. Abschließend werden die relevantesten Gütekriterien erklärt und deren Erfüllung oder Nicht-Erfüllung im Zuge dieser Untersuchung hinterleuchtet.

Von allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen der Studie wurde eine Einverständniserklärung der Eltern eingesammelt. In dieser stimmten die Eltern zu, dass das Videomaterial der Schwimmer und Schwimmerinnen für die Zwecke der aktuellen

Studie verwendet werden darf, die Videos mit der Diplomarbeit veröffentlicht werden dürfen, mit der Bedingung, dass sämtliche Daten und Videos anonymisiert werden. Diese Untersuchung wurde von der Ethischen Kommission der Universität Wien genehmigt.

3.3.1 Vorgehensweise und organisatorische Rahmenbedingungen

Die Vorbereitungen sowie Durchführung der Videoaufnahmen wurden von der Studienleiterin sowie zwei Studienkollegen, Annika R. und Niki S., durchgeführt. Bevor das Abfilmen stattfand, füllten die Schwimmer und Schwimmerinnen einen Fragebogen bezüglich Namen, Alter, Gewicht, Größe, Geschlecht des Athleten oder der Athletin, des Namens ihres Trainers oder ihrer Trainerin aus. Weiters war zu beantworten, wie viele Stunden pro Woche der Schwimmer oder die Schwimmerin insgesamt



Abb. 10: Test auf Beweglichkeit.

trainiert, die Bestzeit über 100 m Kraul, die Hauptlage mitsamt Distanz und die Anzahl der Trainingsjahre. Nach dem Ausfüllen dieses Fragebogens wurde allen Teilnehmern und Teilnehmerinnen ein Streifen Sporttape-Verband auf die jeweiligen Gelenke der dem Video zugewandten Seite aufgeklebt. Auf diese Streifen wurde mit Permanentmarker ein schwarzer Punkt gemalt. Der Abstand vom Hüftmarker zum Boden, von Kniemarker zum Hüftmarker und vom Kniemarker zum Boden wurde gemessen und ebenfalls auf dem Fragebogen vermerkt. Danach wärmten die Schwimmer und Schwimmerinnen an Land mittels eines vom Trainer oder der Trainerin vorgegebenen Trockentrainings auf. Direkt auf diese Erwärmung wurden die Beweglichkeit im Hüftgelenk und die Dehnbarkeit des Musculus Biceps Femoris ermittelt. Für diesen Test stellten sich die Athleten und Athletinnen einzeln auf eine Erhöhung und mussten mit geschlossenen gestreckten Beinen möglichst weit hinunter greifen, wie in Abbildung 10 dargestellt. Die Fläche, auf der sie standen, markierte den Nullpunkt. Konnten die Schwimmer oder Schwimmerinnen weiter hinunter greifen, ergab dies einen negativen Wert, reichten sie mit den Fingerspitzen nicht bis zu der Nullebene, war dieser positiv.

Nach diesen Abmessungen wurden die Instruktionen bezüglich Anzahl der Versuche und des Anschwimmens gegeben. Betont wurde auch, die Rollwende so auszuführen, wie sie es gewohnt waren, sich jedoch in Rückenlage von der Wand abzustößen, damit die Markerpunkte jederzeit sichtbar sind. Nach dem Abstoßen sollten sie so schnell wie möglich weiterschwimmen. Der Zweck dieser Studie wurde noch nicht erwähnt. Danach führte der Schwimmtrainer oder die Schwimmtrainerin mit den Athleten und Athletinnen ein Aufwärmprogramm im Wasser durch. Dieses wurde wie bei einem gewöhnlichen Training absolviert, mit den Zusätzen einiger kurzer Sprints, ähnlich wie bei Blanksby et al. (1996) und des Praktizierens des Abstoßes in Rückenlage beim Kraulschwimmen. Danach wurde mit dem Filmen begonnen. Jeder Schwimmer und jede Schwimmerin absolvierte 3

Wendendurchgänge mit maximaler Geschwindigkeit. Es wurden sehr ähnliche Instruktionen gegeben bezüglich Vorgehensweise, Anzahl der Versuche und Pause zwischen den Versuchen wie bei Blanksby et al. (1996) und Pereira et al. (2015). Start war 12,5 m vor der Wende (wie bei Pereira et al., 2011; Pereira et al., 2015), maximales Anschwimmen, maximal schnelle Wende sowie ein maximal schnelles Passieren der 12,5 m Marke waren die Aufgabenstellung. Nach jeweils einem Durchgang hatte die Person mindestens drei Minuten Pause, währenddessen die anderen an der Reihe waren. Pereira et al. (2015) erachteten ein Minimum von zwei Minuten Pause zwischen den einzelnen Versuchen als ausreichend.

Nach den drei Aufnahmen kamen die Schwimmer und Schwimmerinnen aus dem Wasser. Ihnen wurden die Tape Streifen abgezogen und danach informierte die Studienleiterin die Personen, die der Versuchsgruppe zugeordnet waren (siehe bezüglich Zuordnung Kapitel 3.3.3), über die Ausführung der Rollwende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel, deren Vorteile sowie das weitere Vorgehen. Diese Instruktionen beinhalteten einen in das normale Trainingsprogramm des Schwimmtrainers oder der Schwimmtrainerin miteinbezogenen Schwerpunkt auf Kraulwenden. Dabei war vorgesehen, dass die Rollwende extra oft geübt werden konnte. In dem Trainingsprogramm waren technische Intervalle geplant, bei denen nur das Anschwimmen, die Ausführung der kleinen Rollwende in verschiedenen Varianten sowie der Abstoß praktiziert wurden. Weiters wurde bei allen Kraulstrecken Rollwenden gefordert, damit die Athleten und Athletinnen auf die notwendige Wiederholungszahl kamen. Auch der Trainer oder die Trainerin wurde über die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel genau informiert um Korrekturanweisungen während des Trainings geben zu können. Im Gegensatz dazu bekamen die Personen, welche der Kontrollgruppe zugeordnet wurden, keinerlei Informationen über die unterschiedlichen Ausführungen der Rollwende. Jedoch erhielten sie die gleichen Schwerpunkte, wie die Versuchsgruppe, jedoch ohne dem Aspekt des kleinen Hüft- und Kniewinkels. Dieses Training fand über 16 Wochen ab dem ersten Filmtermin statt, danach wurden die finalen Filmaufnahmen gemacht. 16 Wochen wurden als ausreichend angesehen um die Technik zu ändern, zu verfeinern und so weit zu stabilisieren, dass sie unter maximaler Geschwindigkeit umgesetzt werden konnte. Bei Pereira et al. (2015) hatten die Schwimmer und Schwimmerinnen nur zwei praktische und zwei theoretische Stunden mit jeweils eineinhalb Stunden. Während einer Praxisstunde führten sie insgesamt 15 Versuche pro Ausführungsvariante durch und erhielten währenddessen gezieltes Feedback. Im Laufe der Theoriestunden erhielten sie audiovisuelle Instruktionen. In der Studie von Recht (2003) mussten die Schwimmer und Schwimmerinnen keine Technikänderungen umsetzen sondern sollten durch Kraftgewinn eine kürzere Wendenzeit erreichen. Recht (2003) setzte

ein 12 wöchiges Training an. Da der Technikerwerb und dessen Umsetzung etwas länger dauerten und insgesamt 30 Versuche (wie in Pereira et al., 2015) als zu wenig für eine Technikumstellung bei maximal schneller Ausführung erachtet wurden, wurden für die aktuelle Studie die Dauer von 16 Wochen gewählt.

3.3.2 Kameras und Material

Es wurde von jedem Schwimmer und jeder Schwimmerin jeweils drei Videos aufgezeichnet mit zwei GoPro Hero 3+ Kameras sowie einer GoPro Hero 3 White Kamera. Die GoPro Hero 3 White Kamera, Kamera Nummer 1, in Abbildung 11 als K1 dargestellt, war 5 m von der Abstoßwand entfernt, 22 cm unter der Wasseroberfläche mittels Saugnapf angebracht. In Abbildung 15 ist die Kamera mitsamt Befestigung und Saugnapf dargestellt. Ebenfalls abgebildet sind Kamera 2 und 3 (K2 und K3) in Abbildung 11.

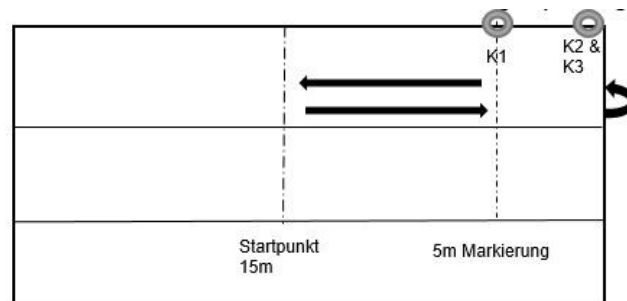


Abb. 11: Darstellung des Versuchsaufbaus mit Positionierung der Kameras, 5m Markierung sowie Startpunkt.

Diese beiden Kameras wurden mittels eines Saugnapfes an einer Stange montiert. Bei den beiden Kameras handelt es sich um GoPro Hero 3+ Kameras. Diese waren 1 m von der

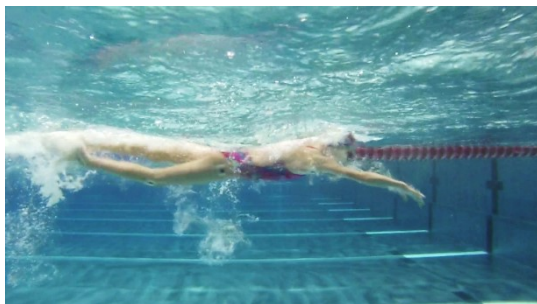


Abb. 12: Bild von Kamera 1.

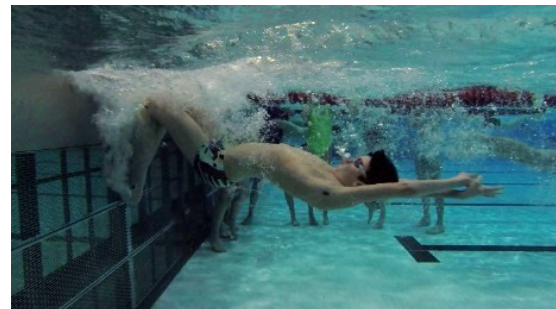


Abb. 13: Bild von Kamera 2.



Abb. 14: Bild von Kamera 3.



Abb. 15: Abbildung der verwendeten Materialien während der Untersuchung.

Abstoßwand entfernt, mittels Saugnapf angebracht. Über eine im Montagerohr integrierte Metallkette, konnte ausgelotet werden, in welcher Ausrichtung die Kamera an der Wand montiert ist. Die Kameras K2 und K3 sowie deren Befestigungsrohr und Saugnapf sind in Abbildung 15 veranschaulicht.

Während der Saugnapf an der Beckenwand montiert war, befand sich Kamera Nummer 1 5 cm über der Wasseroberfläche und Kamera Nummer 2 22 cm unter der Wasseroberfläche. Kamera 3 war auf 1280x720 mp, weiten Winkel und 60 Hz eingestellt. Kamera 1 und 2 waren auf 1280x1080 mp, mittleren Winkel und ebenfalls auf 60 Hz eingerichtet. Vergleichbare Studien dienten als Vorlage der Einstellungen und Platzierungen der Kameras. Außerdem wurde im Vorhinein ein Selbstversuch unternommen, um möglichst ideale Einstellungen und Positionen der Kameras zu erreichen. Da viele Studien die Kamera seitlich sehr weit weg von dem Schwimmer oder der Schwimmerin platzierten, wurden für eine einfachere und genauere Analyse eine kürzere Distanz gewählt, als bei ähnlichen Studien gefunden. Hatze (1986) schrieb, dass die Bildfrequenz von dem Zweck der Analyse sowie der Schnelligkeit der Bewegungen abhängt. Bei sportlichen Bewegungen sollte die Kamera für optimale Berechnungen mit mindestens 500 Hz aufzeichnen. Aufgrund eines Vergleichs mit ähnlichen Untersuchungen wurden jedoch 60 Hz als ausreichend empfunden. Charkravorti et al. (2012) filmten mit einer Frequenz von 25 Hz. Bahadoran et al. (2012), Shahbazi et al. (2007), Blanksby et al. (1996), Cossor et al. (1999), Pereira et al. (2011), Puel et al. (2010); Puel et al. (2012) und Pereira et al. (2015) verwendeten 50 Hz und Lyttle et al. (1998), Lyttle et al. (1999) und Pereira et al. (2006) setzten Kameras mit 60 Hz ein. Da diese Autoren mit einer gleichen oder geringeren Frequenz filmten, wurden die in dieser Untersuchung angewandten 60 Hz als ausreichend angesehen. Grundsätzlich war Kamera 1 dafür zuständig die 5 m Rundenzeit zu messen. Dazu wurden entweder die Markierung an der Leine, oder eine Markierung an der gegenüberliegenden Beckenwand verwendet. Die Kamera wurde positioniert, indem bei beiden Terminen die genaue Stelle mithilfe eines Maßbandes bestimmt wurde. Das Bild von Kamera 1 ist in Abbildung 12 erkennbar. Kamera 2 nahm die Ausführung der Rollwende über Wasser auf, siehe Abbildung 13, und Kamera 3 unter Wasser, siehe dafür Abbildung 14. Mithilfe der Aufzeichnungen von Kamera 3 sollten sämtliche Informationen bezüglich Anschwimm- und Abstoßgeschwindigkeit, Drehzeit, Wandkontaktzeit, Winkelmessungen und ähnliches gewonnen werden. Kamera 2 war dafür gedacht, den Kniewinkel über Wasser zu messen, jedoch konnten mit den Bildern von Kamera 2 keine Zeiten oder aussagekräftigen Winkel gemessen werden, weshalb die Videos von Kamera 2 nicht für die Messungen der Studie herangezogen wurden. Sämtliche Videos, die für die Untersuchung verwendet wurden, sind auf der beigelegten DVD

verfügbar. Die Distanz zwischen der Wand, an der die Kameras befestigt waren, und der Ebene, auf der sich die Schwimmer und Schwimmerinnen bewegten und die Rollwenden ausführten, variierte. Für eine Aufnahme mit optimaler Perspektive wurde eine Entfernung von 2 m vorgegeben. Eine ähnliche Distanz wurde auch von Bahadoran et al. (2012), Shahbazi et al. (2007) und Cossor et al. (1999) vorgeschlagen. Jedoch aufgrund der Durchführung des Anschwimmens, welche oftmals schräg praktiziert wurde, variierten diese Werte enorm. Dies wurde jedoch nicht als schwerwiegende Fehlerquelle bei der Analyse gewertet, weil mehrmals pro Analyse eine Kalibration durchgeführt wurde.

Ein Fehler trat während des Einsatzes der Kameras auf. Da diese nach Abfilmen des ersten Termins abmontiert und für den zweiten Termin wieder montiert wurden, waren zwei Kameras vertauscht. Bei dem ersten Termin waren die Kameras wie beschrieben, jedoch bei Termin 2 wurde Kamera 1 mit Kamera 3 vertauscht. Dies hatte zur Folge, dass bei dem ersten Termin Kamera 1 mit mittlerem Winkel und bei Termin 2 mit weitem Winkel, sowie Kamera 3 bei Termin 1 mit weitem Winkel und bei Termin 2 mit mittlerem Winkel aufnahmen. Dies passierte durch eine Verwechslung der Kameras, weil diese nicht genügend gekennzeichnet worden waren. Der Fehler, welcher sich möglicherweise daraus ergab, wird in Kapitel 3.3.6 analysiert.

3.3.3 Personenauswahl

Teilnehmer und Teilnehmerinnen für diese Studie zu finden stellte sich als Herausforderung dar. Ursprünglich war das Bestreben, möglichst erfahrene und daher auch ältere Schwimmer und Schwimmerinnen, als schlussendlich gewählt, für die Studie heranzuziehen. Es wurden mehrere Vereine in und im Umkreis von Wien kontaktiert, jedoch die Gespräche mit den Trainern der Leistungsgruppen verliefen nicht erfolgreich. Daher wurde auf der Studienleiterin bekannte Trainer und Trainerinnen zurückgegriffen. Ausgewählt wurden zwei Nachwuchsgruppen des SV Krems mit der Trainerin Martina Seifert, eine Nachwuchsgruppe des SV Schwechat mit der Trainerin Nina Dittrich sowie zwei unterschiedliche Nachwuchsgruppen des SC Donau mit dem Trainer Markus Bohn. Alter sowie Leistungsniveau variierte innerhalb der jeweiligen Gruppen genauso wie zwischen den fünf Gruppen. Dies musste jedoch in Kauf genommen werden, weil keine homogenen Probandengruppen zur Verfügung standen. Publiizierte Studien, die ebenfalls in diesem Bereich forschten (Pereira et al., 2011) $17,9 \pm 3,2$, Cossor et al. (1999) $11,7 \pm 1,16$, verzeichnen eine noch größere Standardabweichung bezüglich des Alters der Teilnehmer und Teilnehmerinnen. Daher wurde dieser Faktor als vernachlässigbar betrachtet. Ebenfalls war nicht optimal, dass einige Schwimmer und Schwimmerinnen noch sehr jung waren und daher ein geringes Trainingsalter aufwiesen. Das Leistungsniveau der Probanden sollte möglichst hoch sein, da der Aspekt, welcher in dieser Studie untersucht

wurde, eine stabile Ausführung (Meinel, 1960) der Rollwende verlangte. Anderenfalls wären die Verbesserungen der Athleten und Athletinnen zu sehr auf Grund der allgemeinen technischen Verbesserung der Rollwende durch ein vermehrtes Training derer zu verzeichnen gewesen. Daher kann gesagt werden, dass die Auswahl der Probanden und Probandinnen nicht optimal war, jedoch die Auswahl der in der Trainingspraxis im Schwimmtraining typischen Nachwuchsmannschaft typisch ist (Rockmann & Bömermann, 2006). In Tabelle 3 sind die Mittelwerte mitsamt Standardabweichungen der Schwimmer und Schwimmerinnen bezüglich Alter, Masse, Größe, Trainingsalter und Trainingsumfang pro Woche veranschaulicht.

Tab. 3: Mittelwerte mit Standardabweichungen für Alter, Masse, Größe, Trainingsalter und Trainingsumfang pro Woche der Gesamtstichprobe sowie der Probanden und Probandinnen getrennt.

Geschlecht	Alter [Jahre]	Masse [kg]	Größe [m]	Trainingsalter [Jahre]	Trainingsumfang pro Woche [Stunden]
Insgesamt [n 27]	13,63 ± 1,88	52,26 ± 13,07	1,67 ± 0,10	4,55 ± 1,42	12,88 ± 3,40
weiblich [n 14]	13,57 ± 2,14	49,57 ± 11,36	1,65 ± 0,09	4,35 ± 1,34	12,93 ± 3,15
männlich [n 13]	13,7 ± 1,65	55,15 ± 14,6	1,7 ± 0,11	4,77 ± 1,54	12,85 ± 3,87

Ursprünglich nahmen 37 Schwimmer und Schwimmerinnen an der Studie teil und wurden bei dem ersten Termin gefilmt. Diese Anzahl entspricht jener, welche auch Blanksby et al. (1996), Cossor et al. (1999) und Pereira et al. (2006) testeten. Jedoch mussten ein paar von der Untersuchung ausgenommen werden, weil sie zu jung waren oder die Technik der Rollwende noch nicht in Feinform (Meinel, 1960) beherrschten. Weiters fielen ein paar Testpersonen aus, weil sie nur beim ersten Termin anwesend waren, beim zweiten Termin jedoch fehlten. Schlussendlich wurden die Videos und Analyseergebnisse von 27 Schwimmern und Schwimmerinnen gewertet. Da einige publizierte wissenschaftliche Studien mit ähnlichem Testdesign gleich viel oder sogar weniger Testpersonen (Bahadoran et al., 2012; Blanksby et al., 1998; Lyttle et al., 1998; Lyttle et al. 1999; Pereira et al., 2011; Pereira et al., 2015; Puel et al., 2012) untersuchten, wurden 27 als ausreichend angenommen. Niemand von den in dieser Studie gewerteten Testpersonen war während der 16-wöchigen Trainingsperiode krank oder verletzt. Von den 27 sind 14 Personen weiblich und 13 männlich, wodurch das Verhältnis sehr ausgewogen ist. Das Durchschnittsalter der Personen liegt bei 13,6 Jahren, der Durchschnitt ist bei weiblichen wie auch männlichen sehr ähnlich. Die relativ große Standardabweichung mit bis zu 2,14 Jahren bedeutet, dass die jüngste Testperson 11 und die älteste 16 Jahre war. Die durchschnittliche Masse der Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen liegt bei 52,26

kg und die Größe bei 1,67 m, die Mädchen weisen einen entsprechend leichteren und kleineren Durchschnitt auf als die Burschen. Das durchschnittliche Trainingsalter der Schwimmer und Schwimmerinnen liegt bei $4,55 \pm 1,42$ Jahren mit einem durchschnittlichen Trainingsumfang von fast 13 Stunden pro Woche. Weder in Trainingsalter noch in Trainingsumfang unterscheiden sich die Schwimmerinnen von den Schwimmern auffällig.

Für die Studie wurden eine Versuchsgruppe sowie eine Kontrollgruppe benötigt, um eine mögliche Entwicklung der Kontrollgruppe durch das Training der Rollwende mit kleinem Kniewinkel zu untersuchen (Rockmann & Bömermann, 2006). Die Versuchspersonen sollten über die unterschiedlichen Ausführungen sowie die potenzielle Bedeutung dieser aufgeklärt werden, während die Kontrollgruppe nichts davon erfahren sollte. Aus diesem Grund wurden die Personen, je nachdem bei welchem Verein sie schwimmen, eingeteilt, ob sie zur Versuchs- oder zur Kontrollgruppe gehörten. Dadurch konnte ausgeschlossen werden, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen untereinander über die Studie oder die Anweisungen bezüglich der Ausführung der Rollwende, miteinander kommunizierten. Es wurden die Probanden und Probandinnen des SV Krems als Kontrollgruppe eingeteilt und die der anderen zwei Vereine als Versuchsgruppen. Dies ergab für die Auswertung, wie in Tabelle 4 dargestellt, 18 Personen in der Versuchsgruppe. Davon 10 weibliche Schwimmerinnen und 8 männliche Schwimmer. In der Kontrollgruppe waren 9 Personen, 4 weibliche Athletinnen sowie 5 männliche. In beiden Gruppen war daher das Verhältnis ähnlich. Die Werte der Versuchsgruppe betragen bezüglich des Alters $13,56 \pm 2,12$ Jahre, der Masse $50 \pm 13,76$ kg, der Größe $1,66 \pm 0,11$ m, des Trainingsalters $4,50 \pm 1,49$ Jahre, und des Trainingsumfangs pro Woche $13,50 \pm 4,02$ Stunden. Die durchschnittlichen Werte der Kontrollgruppe lauteten $13,78 \pm 1,39$ Jahre, $56,78 \pm 10,90$ kg, $1,69 \pm 0,76$ m, ein Trainingsalter von $4,67 \pm 1,50$ Jahren und einem Trainingsumfang von $11,67 \pm 1,32$ Stunden pro Woche. Das Alter, die Größe sowie das Trainingsalter der beiden Gruppen kann als vergleichbar angesehen werden, jedoch bezüglich Größe als auch Trainingsumfang pro Woche sind leichte Unterschiede erkennbar.

Tab. 4: Mittelwerte mit Standardabweichungen für Alter, Masse, Größe, Trainingsalter, Trainingsumfang pro Woche sowie der Anzahl der weiblichen und männlichen Teilnehmer und Teilnehmerinnen in der Versuchsgruppe sowie der Kontrollgruppe.

Gruppe	Alter [Jahre]	Masse [kg]	Größe [m]	Trainingsalter [Jahre]	Trainingsumfang pro Woche [Stunden]	Anzahl weiblich	Anzahl männlich
Versuchsgruppe [n 18]	$13,56 \pm 2,12$	$50,00 \pm 13,76$	$1,66 \pm 0,11$	$4,50 \pm 1,49$	$13,50 \pm 4,02$	10	8
Kontrollgruppe [n 9]	$13,78 \pm 1,39$	$56,78 \pm 10,90$	$1,69 \pm 0,76$	$4,67 \pm 1,50$	$11,67 \pm 1,32$	4	5

3.3.4 Markerpunkte

Die Markerpunkte wurden vor dem Einschwimmen von der Studienleiterin und den Helfern Annika R. und Niki S. auf der Seite der Schwimmer und Schwimmerinnen, die der Kamera zugewandt war, aufgeklebt. Aus diesem Grund war es wichtig, dass sich die Athleten und Athletinnen in Rückenlage von der Wand abstießen, da sie sonst die Marker auf die andere Seite drehen würden und Messungen während des Abstoßes im Knie- und Hüftgelenk nicht möglich wären.



Abb. 16: Die mit Markern versehenen Schwimmer und Schwimmerinnen des SV Schwechat mit ihrer Trainerin.

In Abbildung 16 sind die Trainerin sowie die Schwimmer und Schwimmerinnen des SV Schwechat, mit Markern beklebt, abgebildet.

Bei der Planung der Studie wurden die Punkte durch theoretische Überlegungen und Selbstversuche ermittelt. Wichtige Kriterien waren, dass die Marker gute Klebeeigenschaften auch im Wasser aufwiesen, jedoch wieder möglichst schmerzlos von der Haut zu lösen waren. Außerdem mussten sie gut unter Wasser während der Filmaufnahmen zu erkennen sein. Die Marker wurden an Gelenkspunkten aufgeklebt, durch die der Hüft- & Kniewinkel gemessen werden konnte. Für den Hüftwinkel wurden Hüft-, Schulter- und Kniegelenk als wichtig definiert, und für den Kniewinkel Knie-, Hüft und Fußgelenk. Als Aufklebepunkte für diese Gelenke wurden für das Fußgelenk der Malleolus lateralis, das Caput Fibulae für das Kniegelenk und der Trochanter Major an der Hüfte gewählt, weil diese Punkte leicht zu ertasten sind. Diese Punkte wurden ebenfalls von Pereira et al. (2006) gewählt. Der Punkt für die Schulter musste unter der Achsel liegen, weil er anderenfalls zu oft vor der Kamera verdeckt wäre. Da unter der Achsel jedoch kein Knochenvorsprung zu ertasten ist, wurde der ertastbare Übergang zwischen den drei Muskeln latissimus dorsi, teres major und coracobrachialis gewählt. Das Tape wurde großflächiger über diesen Punkt geklebt, damit es sich während des Schwimmens nicht löste. Darauf wurde mit Permanentmarker ein schwarzer Punkt mit dem Durchmesser von zirka einem Zentimeter gemalt, wie bei Lyttle et al. (1999). Durch diese Markerpunkte sollte das Tracken vereinfacht, und die Messungen präziser gestaltet werden. Lyttle et al. (1999) wendeten die gleiche Technik für das Tracken von Punkten im Wasser an.

Zum Tracken für Geschwindigkeits- oder Längenbestimmung wurden je nach Bedarf und Sichtbarkeit der Hüftmarker, der Schultermarker oder das Auge verwendet. Bei der Bestimmung der Anschwimmgeschwindigkeit wurde das Auge und bei der Bestimmung der

Abstoßgeschwindigkeit der Hüftmarker gewählt. Wenn jedoch Aufgrund von Rotations- oder Armbewegungen dieser Marker verdeckt wurde, musste auf einen der anderen Marker als Alternative zurückgegriffen werden. Für das Ermitteln der 5 m Rundenzeit wurde das Passieren des Scheitels der 5 m Markierung gewertet. Bei Blanksby et al. (1996) ist ein ähnliches Verfahren nachzulesen.

3.3.5 Wendenanalyse

Die Schwimmer und Schwimmerinnen trainierten aufgrund der unterschiedlichen Vereinszugehörigkeit in drei verschiedenen Becken. Die des SV Schwechat trainieren im Schwimmbecken der Südstadt, welches eine 50 m Bahn mit 22 m Breite und einer Tiefe von 2 m. Die Wassertemperatur beträgt in etwa 28°C.

Der SC Donau Wien trainiert in zwei unterschiedlichen Becken. Einerseits im Trainingsbecken der Stadthalle und andererseits im Hallenbad Floridsdorf. Das Trainingsbecken der Stadthalle hat eine 50 m Bahn, welche für Trainingszwecke jedoch in der Mitte geteilt ist, wodurch die Athleten und Athletinnen auf einer 25 m Bahn trainieren. Die Breite des Beckens beträgt 10 m und die Wassertemperatur zwischen 26,5 und 27°C. Das Floridsdorfer Becken hat eine Länge von 25 m, eine Breite von 16,3 m. An der tiefsten Stelle ist das Becken 5 m tief, an der seichtesten Stelle 1,60 m. Die Wassertemperatur beträgt ebenfalls 28°C.

Das Becken in Krems ist 25 m x 18 m und ist an der tiefsten Stelle 2,5 m sowie an der seichtesten 1,2 m tief. Die Wassertemperatur beträgt in etwa 28°C. Die Schwimmer und Schwimmerinnen trainierten immer in dem gleichen Becken, außer die des SC Donau Wien, welche in beiden Bädern trainierten. Die Athleten und Athletinnen waren an die jeweiligen Becken und deren Eigenschaften gewöhnt. Trotzdem praktizierten sie während des Einschwimmens des jeweiligen Termins ein paar Gewöhnungsversuche, um die Rollwende anschließend schnellst möglich ausführen zu können. Die Pausen zwischen den einzelnen Aufnahmen beider Termine waren in etwa gleich lang, weil die Schwimmer und Schwimmerinnen an beiden Terminen in der gleichen Reihenfolge in etwa den gleichen Abständen starteten.

Bei der Beobachtung der Schwimmer und Schwiminnen während des Trainings vor Start der Untersuchung, wurde festgestellt, dass praktisch alle Athleten und Athletinnen die Rollwende mit großem Hüft- und Kniewinkel ausführten. Daher waren die Instruktionen an die Versuchs- sowie Kontrollgruppe, ab der 12,5 m Markierung mit maximaler Geschwindigkeit anzuschwimmen, die Rollwende schnellst möglich auszuführen, sich in Rückenlage abzustößen und nach Abstoß entweder in Rücken- oder Bauchlage in Wettkampfgeschwindigkeit die 12,5 m zurück zu schwimmen. Sie erhielten für den ersten

Termin keine Anleitung bezüglich der Ausführung der Rollwende, außer dass sie sich in Rückenlage abstoßen mussten. Nach diesem Termin wurde die Versuchsgruppe instruiert, die Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel zu trainieren und bei Termin 2 ebenso auszuführen. Die Studienleiterin führte Protokoll über die jeweiligen Versuche, wodurch die Technik der Rollwende als „groß“ oder „klein“ direkt vor Ort eingestuft werden konnte, falls die Athleten und Athletinnen bei Termin 2 eine zu kleine Ausführung praktizierten. Ungültige Versuche wurden bereits während der Aufnahmen gekennzeichnet.

Alle Videos wurden vor jeglicher anderer Bearbeitung mit der kostenlosen Software Go Pro Studio (<http://de.shop.gopro.com/EMEA/softwareandapp/gopro-studio/GoPro-Studio.html>) mit dem Werkzeug „fish-eye-Effekt entfernen“ von möglicher Linsenverzerrung entzerrt. Danach wurde von drei Wendendurchgängen pro Termin der Durchgang mit der schnellsten 5 m RTT (5 m Rundenzeit) ermittelt und dieser für die Analyse herangezogen (vgl. wie in Lyttle et al. 1999; Pereira et al., 2006). Der schnellste Versuch wurde mittels Kinovea Version 0.8.15 (www.kinovea.org) ermittelt. Dabei wurden die drei Versuche analysiert und die Zeit des Athleten oder der Athletin vom Passieren der 5 m Markierung bis erneutes Passieren beim Zurückschwimmen gestoppt. Dabei wurde in dem Video der Kamera 1 das Passieren des Kopfes des Schwimmers oder der Schwimmerin der 5 m Markierung der Schwimmleine oder einer andern Markierung an der Beckenwand gewertet. Alle drei ermittelten Zeiten wurden in einer Excel[®] (Microsoft) Tabelle festgehalten und das Video, in welchem die geringste Zeit benötigt wurde, gab den zu analysierenden Versuch von Kamera 3 an. Danach wurde eben jener Versuch von dem jeweiligen Schwimmer oder der jeweiligen Schwimmerin von Kamera 3 mit Kinovea Version 0.8.15 (www.kinovea.org) analysiert. Die Schwerpunkte lagen auf Anschwimmgeschwindigkeit, Abstoßgeschwindigkeit, Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation, Dauer der Rotation, Dauer des Wandkontaktes, größter Hüft- und Kniewinkel während der Rotation, kleinster Kniewinkel sowie Dauer des Einnehmens dieses kleinsten Kniewinkels, Tuck Index, Kniewinkel während des Abstoßes sowie Winkel zwischen Schwimmer oder Schwimmerin und Wand während des Abstoßens. Die wichtigsten Daten wurden in IBM[®] SPSS[®] Statistics, Version 21.0.0.0, übertragen und mit diesem ausgewertet.

3.3.6 Fehlerabschätzung

Als Störgrößen während der Filmaufnahmen können laut Pereira et al. (2011) Temperatur, Beckenbeschaffenheit, Anzahl der Personen im Becken, Marker, das absolvierte Einschwimmen der Athleten und Athletinnen und ähnliches sein. Diese Faktoren können die Schwimmer und Schwimmerinnen bezüglich der Ausführung beeinflussen. Die Bedingungen für die Personengruppen waren jedoch annähernd gleich. Die Aufnahmen fanden bei Termin 1 und 2 für alle drei Gruppen in den gleichen Schwimmbecken statt,

wodurch sowohl die Raum- und Wassertemperatur als auch die Anzahl der Personen im Becken ähnlich waren. Die Schwimmer und Schwimmerinnen befanden sich alle gleichzeitig im Wasser, wie auch mögliche andere Badegäste. Dies war während beider Termine gleich. Falls dadurch störende Wellenbewegungen oder Ablenkungen entstanden sein sollten, war dies an beiden Tagen der Fall. Die Marker wurden zu beiden Terminen an den gleichen Positionen angebracht und das Einschwimmen wurde vom Trainer oder der Trainerin mit einem jeweiligen Schwerpunkt auf Rollwenden vorgegeben. Für die Wendenanalyse könnten die Marker eine mögliche Störgröße darstellen. Die Marker können die Testpersonen insofern beeinflussen, da diese versuchen so zu schwimmen, dass sich die Marker nicht lösen. Bei einem Lösen können die Punkte nicht mehr aussagekräftig gewertet werden. Dies passierte jedoch nur einmal bei einem Schwimmer; nach jenem Versuch wurde ihm sofort ein neues Tape aufgeklebt. Der Versuch wurde nicht gewertet. Da für die Marker handelsübliches Tape verwendet wurde, welches flach auf dem Körper aufklebte, wurden die strömungsmechanischen Bedingungen nicht verändert und die Schwimmer und Schwimmerinnen nicht in ihrer Bewegungsfreiheit beeinträchtigt. Da die Markierungen jedoch auf die Haut aufgeklebt wurden, kam es durch Bewegungen zu Verschiebungen der Markerpunkte relativ zu den Skelettteilen. Dadurch kann es zu Beeinträchtigungen während der Messungen gekommen sein (Hatze, 1986).

Eine weitere mögliche Beeinflussung stellt dar, dass die Athleten und Athletinnen in einem gewissen Abstand zur Kamera schwimmen sollten und demzufolge der Weg vorgegeben war. Dadurch könnten sie irritiert worden sein. Zusätzlich sollten sich die Schwimmer und Schwimmerinnen in Rückenlage von der Wand abstoßen, wodurch die Rollwende etwas verfälscht wurde. Normalerweise schwimmen sie in Bauchlage an und stoßen sich zumindest leicht seitlich gedreht wieder ab. Um jedoch den Abstoßwinkel besser messen zu können und die Abstoßgeschwindigkeit berechnen zu können, mussten sie sich in Rückenlage abstoßen. Diese Aufgabenstellung könnte die Versuchspersonen irritiert haben. Daher sind die während dieser Analyse gemachten Messungen möglicherweise nicht zu hundert Prozent mit den Ergebnissen von Untersuchungen einer normal ausgeführten Kraulrollwende zu vergleichen. Um jedoch die Beeinflussung dieser Faktoren möglichst gering zu halten trainierten die Schwimmer und Schwimmerinnen die Ausführung dieser Art der Rollwende während der 16 Wochen und auch während des Einschwimmens vor der Filmaufnahmen. Während der Untersuchungen war immer der Trainer oder die Trainerin der jeweiligen Gruppe anwesend, wodurch sichergestellt wurde, dass tatsächlich ein schnellst mögliches Anschwimmen ausgeführt wurde. Außerdem konnten die Trainer und Trainerinnen besser beurteilen, ob eine Wende optimal ausgeführt wurde oder nicht, da sie die Schwimmer und Schwimmerinnen kennen. Die Wendenversuche des Athleten

oder der Athletin, welche auch in nur einem Punkt nicht den Kriterien entsprachen, wurden als ungültig gewertet.

Außerdem kommen die Fehler, welche die Untersuchungsleiterin selber verursachte, hinzu. In Kapitel 3.3.2 wurde bereits erwähnt, dass die Kameras vertauscht wurden, weil diese nicht genügend gekennzeichnet waren. Die unterschiedlichen Einstellungen der Brennweiten der Kamera haben zur Folge, dass bei Termin 1 die Personen in den Videos von Position 1 näher und beim zweiten Termin weiter entfernt wirken. Bei Kamera 3 ist dies genau umgekehrt, hier wirken bei Termin 1 die Personen weiter entfernt und bei Termin 2 viel näher. Dadurch ist die Testperson einmal größer im Bild und einmal kleiner. Da jedoch der Winkel und die Position der Kameras gleich blieben und sich nur die Größe der Testpersonen im Bild änderte, veränderten sich nicht die relativen sondern nur die absoluten Werte. Diese können jedoch durch Kalibration der Länge errechnet werden. Daher kann davon ausgegangen werden, dass dies keinen großen Einfluss auf die Ergebnisse hat.

Für die Bestimmung der Phasen und Geschwindigkeiten nehmen Pereira et al. (2011), mit 50 Hz filmend, einen Fehler von 0,02 s an. Der Grund dafür liegt darin, dass der zeitliche Abstand zweier Bilder durch die Verwendung einer 50 Hz Kamera 0,02 s entspricht. Bei der aktuellen Untersuchung filmten die Kameras mit einer Frequenz von 60 Hz. Dies entspricht einem zeitlichen Abstand zweier Bilder von 0,0167 s. In dieser Untersuchung wird daher ein Fehler von 0,0167 s in Betracht gezogen.

3.3.7 Gütekriterien

Die Gütekriterien zu hinterleuchten bedeutet, die Güte der Messung zu bestimmen. Im Nachfolgenden wird auf jene Gütekriterien eingegangen, welche für diese Messungen relevant sind. Zuerst werden diese erläutert, und danach wird deren Einhaltung oder Nichteinhaltung diskutiert. Zu den Hauptgütekriterien gehört die Reliabilität. Diese betrifft die Messgenauigkeit des Tests. Ein Test ist dann reliabel (zuverlässig), wenn er das Merkmal, das er misst, exakt, d.h. ohne Messfehler, misst.“ (Moosbrugger & Kelava 2012, S. 11). Dabei sollten die Messinstrumente überprüft sein und geringe Fehlbeträge aufweisen. Bei einer wiederholten Analyse sollten nur geringe Unterschiede auftreten (O'Donoghue, 2012). Dass die Messungen die Kriterien der *Reliabilität* erfüllen, wird als hoch eingeschätzt, weil die Messinstrumente gut gewählt sind. Die Kamera hat eine gute Auflösung, die Belichtung ist ausreichend und die Anzahl der Bilder pro Sekunde erlaubt für diese Zwecke ebenfalls eine genaue Messung. Die Analysesoftware Kinovea (www.kinovea.org) kann zu einer gewissen Ungenauigkeit führen, insbesondere bei Distanz- und Geschwindigkeitsmessungen, da eine absolut zuverlässige Kalibration nicht möglich ist. Wie die Kalibration durchgeführt wurde, ist in Kapitel 3.3.1 näher beschrieben.

Durch die Messungen mit Kamera und Analyseprogramm kommt es zu den in Kapitel 3.3.6 diskutierten Fehlbeträgen für die kinematographisch und dynamometrisch erhobenen Messwerte. Dies ist auf die Phase der Analyse zurück zu führen, welche sehr zeitaufwendig ist und manuell durchgeführt werden muss. Daher ist diese sehr fehleranfällig, speziell für Parallaxenfehler. Nur sehr wenige Prozesse können automatisch oder halb automatisch durchgeführt werden. Das Bearbeiten und Analysieren von Videos benötigt sehr viel „theoretisches und praktisches Wissen“ (Chakravorti et al., 2012, S. 586). Laut Recht (2003) haben selbst Hochleistungsschwimmer und Hochleistungsschwimmerinnen intraindividuelle Schwankungen bei der Ausführung der Rollwende. Um in diesem Bezug für eine höhere Reliabilität zu sorgen, führten die Athleten und Athletinnen drei Versuche aus, wovon der schnellste ausgewählt wurde. Um mehr bezüglich dieses Verfahrens zu erfahren siehe Kapitel 3.5.3 „Bestimmung der Bestversuche der Wendenanalyse“.

Bei der *Validität* geht es um die „inhaltliche Übereinstimmung zwischen dem vom Test gemessenen Merkmal und dem Merkmal, das man messen will. Ein Test gilt dann als valide (‚gültig‘), wenn er das Merkmal, das er messen soll, auch wirklich misst und nicht irgendein anderes.“ (Moosbrugger & Kelava 2012, S. 13). Um diesem Kriterium zu entsprechen, wurde im Vorhinein eine detaillierte Analyse der vorhandenen Literatur betrieben, damit auch tatsächlich gemessen wurde, was gemessen werden sollte. Die Inhaltsvalidität stellt in Frage, ob die Rollwende, wie sie während dieser Studie ausgeführt wurde, gleichermaßen während eines Wettkampfes praktikierbar ist. Einerseits stellt der Abstoß in Rückenlage einen Punkt dar, welcher im Wettkampf nicht umgesetzt werden kann. Andererseits ist die Ausführung eines kleinen oder großen Hüft- und Kniewinkels ebenfalls von der Anschwimmgeschwindigkeit sowie der Einschätzung des Abstandes zur Wand, also der Einteilung der Armzüge zur Wand, abhängig. Erfahrenere und professionellere Schwimmer und Schwimmerinnen werden auch während des Wettkampfes fähig sein, die Anschwimmgeschwindigkeit maximal zu halten und trotzdem bestimmen können, in welcher Distanz die Rollwende eingeleitet werden soll. Je nach Entfernung zur Wand zum Zeitpunkt der Rollwende muss der Hüft- und Kniewinkel größer oder kleiner sein. Aus diesem Grund ist die Erfüllung der Inhaltsvalidität abhängig vom Niveau der Schwimmer und Schwimmerinnen (O'Donoghue, 2012). Durch aktuelle Studie sollte untersucht werden, ob ein kleinerer Hüft- und Kniewinkel zu einer zeitlichen Verbesserung der Rollwende führen. Jedoch wurde dieser Test bei Schwimmern und Schwimmerinnen von Nachwuchsgruppen durchgeführt, weshalb deren geringes Alter und Leistungsniveau möglicherweise eine generalisierende Aussage bezüglich dieser Fragestellung zusätzlich erschwert.

Die *Objektivität* stellt die Vergleichbarkeit von Testleistungen verschiedener Testpersonen sicher (O'Donoghue, 2012). „Ein Test ist dann objektiv, wenn er dasjenige Merkmal, das er misst, unabhängig von Testleiter und Testauswerter misst. Außerdem müssen klare und anwenderunabhängige Regeln für die Ergebnisinterpretation vorliegen.“ (Moosbrugger & Kelava 2012, S. 8). Sie kann durch nähere Betrachtung der Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität analysiert werden. Standardisierte Bedingungen bei der Erhebung der Messwerte sowie gleiche Rahmenbedingungen während der Datenerhebung und der Instruktionen an die Athleten und Athletinnen sind Voraussetzungen für die Durchführungsobjektivität (Rockmann & Bömermann, 2006). Diese wurde eingehalten, da im Vorhinein genau geplant war, wie die Bedingungen während der Erhebung sein sollten, beziehungsweise wenn Bedingungen aufgrund der Situation in einem Schwimmbad nicht änderbar waren, verhielten sich diese Bedingungen innerhalb einer Gruppe von Testpersonen gleich. Als Beispiel kann hier genannt werden, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen des SV Schwechat in einem 50 m Becken trainierten und die Aufnahmen absolvierten, die des SC Donau Wien jedoch in einem 25 m Becken. Die Rahmenbedingungen der Datenerhebung waren sehr ähnlich. Die Kameras waren die gleichen, die Zeit der Trainingsperiode war ident. Die Instruktion der Testgruppe war gleich, da alle genau die gleichen Informationen erhielten. Die Schwimmer und Schwimmerinnen der Kontrollgruppe erfuhren im Gegensatz zu denen der Testgruppe nichts über die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel. Die Auswertungsobjektivität stellt sicher, dass die Wendenanalysewerte unabhängig von der Person aufbereitet waren. Dafür sind die registrierten Daten mit dem Ergebnis identisch. Es notwendig, dass es nur geringe interpersonale Untersuchereffekte bei der Aufbereitung der Daten durch Mehrfachauswertung auf Grund von verschiedenen Auswertern gibt (Recht, 2003). In dieser Studie wurden die Ergebnisse nur von der Studienleiterin ausgewertet, jedoch durch stichprobenartige wiederholte Analyse sollten die Messfehler gering sein. Einen weiteren Aspekt der Objektivität stellt die Interpretationsobjektivität dar. Für diese ist es notwendig, dass numerische Werte und repräsentative Vergleichsdaten vorliegen. Dies ist in dieser Untersuchung der Fall, weil die meisten der erhobenen Werte in publizierten Studien veröffentlicht wurden. Daher sind Vergleichswerte mit anderen Studien sowie Schwimmern und Schwimmerinnen vorhanden.

Ein weiterer relevanter Aspekt der Nebengütekriterien ist die *Normierung*. Der Zweck ein Verfahren zu normieren ist, aussagekräftige „Vergleichswerte“ von den Testpersonen zu erhalten. Diese Werte sollen mit den Testpersonen ähnlichen Personen bezüglich relevanter Merkmale wie Alter, Geschlecht, Trainingszustand, Trainingsalter und vieles mehr, vergleichbar sein. Dafür wird ein Bezugssystem erstellt „mit dessen Hilfe die

Ergebnisse einer Testperson im Vergleich zu den Merkmalsausprägungen anderer Personen eindeutig eingeordnet und interpretiert werden können.“ (Moosbrugger & Kelava 2012, S. 19). Dies steht in enger Verbindung mit einer hohen Interpretationsobjektivität (Recht, 2003). In diesem Fall sind die gewonnenen Daten zu einer hohen Wahrscheinlichkeit von guter Normierung und für andere Personen mit ähnlichen Merkmalen anwendbar. Der Grund, warum von einer Normierung dieser Studie ausgegangen werden kann, ist, dass die Personen der Test- und Versuchsgruppe ähnliche Voraussetzungen wie andere Schwimmer und Schwimmerinnen in anderen Nachwuchsgruppen aufweisen. Die Personen wurden nicht speziell ausgesucht, sondern jeweils eine Gruppe aus drei unterschiedlichen Vereinen wurde herangezogen. Von diesen Gruppen sollten alle Schwimmer und Schwimmerinnen in die Untersuchung eingeschlossen werden, was jedoch nicht möglich war, weil einige bei dem zweiten Termin nicht anwesend waren. Dadurch kam es jedoch zu keiner Separation der Studienteilnehmer und Studienteilnehmerinnen.

Die letzten beiden zu nennenden Gütekriterien sind Ökonomie und Nützlichkeit. *Ökonomie* „bezieht sich auf die Wirtschaftlichkeit eines Tests und wird durch die Kosten bestimmt, welche bei einer Testung entstehen.“ (Moosbrugger & Kelava 2012, S. 21). Die aktuelle Untersuchung ist finanziell sehr ökonomisch, weil kaum Kosten dabei entstanden sind. Die Kameras waren ausgeborgt, die Schwimmer und Schwimmerinnen hatten Training, daher mussten keine zusätzlichen Hallen gemietet werden, und es wurde eine kostenlose Analysesoftware verwendet. Zeitlich gesehen war die Studie mäßig ökonomisch, da für die Athleten und Athletinnen kein zusätzlicher Zeitaufwand benötigt wurde. Jedoch nahmen Organisation, Aufbau, Einweisung, Durchführung, Videoanalyse, Auswertung der Ergebnisse und ähnliches, viel Zeit in Anspruch. Der Aufbau des Messplatzes war sehr ökonomisch, da dies sehr schnell ging. Außerdem wurde nur wenig Material benötigt. Ein Test ist dann nützlich, wenn das von ihm gemessene Merkmal praktische Relevanz besitzt und die auf seiner Grundlage getroffenen Entscheidungen (Maßnahmen) mehr Nutzen als Schaden erwarten lassen.“, ist die Definition von Moosbrugger und Kelava (2012, S.22). Diese Untersuchung hat den Studienteilnehmern und Studienteilnehmerinnen keinesfalls Schaden beigefügt, auch wenn sie eine Ausführung der Rollwende trainiert haben sollten, die zeitlich gesehen weniger vorteilhaft wäre. Falls die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel für den jeweiligen Schwimmer oder die jeweilige Schwimmerin zeitliche Nachteile bedeuten sollte, kann dies innerhalb kürzester Zeit wieder umgelernt werden. Daher würde das Training dieser Ausführung eine Schulung der koordinativen Fähigkeiten bedeuten, da diese ein variantenreicheres Bewegungsrepertoire erlernen. Falls sich die Variante mit kleinem Hüft- und Kniewinkel für einen Schwimmer oder

eine Schwimmerin als vorteilhaft herausstellt, kann dieser oder diese dadurch Zeit sparen. Außerdem wird durch diese Untersuchung das Bewusstsein der Trainer und Trainerinnen auf diesen Aspekt gelenkt. Durch das Wissen, dass es möglicherweise einen Unterschied macht, ob die Rollwende mit großem Hüft- und Kniewinkel ausgeführt wird, können die Trainer und Trainerinnen während des Trainings darauf achten. Dadurch sollte es den Athleten und Athletinnen ermöglicht werden, verschiedene Varianten zumindest auszuprobieren, um ihr persönliches Optimum herauszufinden.

3.3.8 Methoden der Datenverarbeitung

Die Versuche der Schwimmer und Schwimmerinnen wurden während eines Termins auf einem Video pro Kamera aufgenommen. Danach folgte der Prozess der Kalibration der Videos. Alle Videos, die mit Go Pro Kameras aufgenommen wurden, haben aufgrund der geringeren Brennweite einen breiteren Aufnahmewinkel, wodurch sich jedoch speziell an den Rändern unterschiedlich starke Verzerrungen ergeben. Go Pro Studio kann diese Verzerrung entzerren. Dadurch konnten korrektere Werte zu gewonnen werden, mit denen genauere Messungen möglich waren. Nach dieser Entzerrung wurden die Videos mithilfe von Kinovea geschnitten, damit pro Video nur ein Versuch von einem Schwimmer oder einer Schwimmerin zu sehen ist. Nach dem Beschneiden des Videomaterials wurde die 5 m Rundenzeit von jedem Versuch von jeder Testperson ermittelt. Dafür diente ebenfalls Kinovea. Dabei wurde das Passieren des Kopfes der 5 m Markierung gewertet, und die Zeit mittels einer in Kinovea integrierten Stoppuhr gemessen. Durch die Vermessung der Länge von Trochanter Major zu Caput Fibulae wurden die Distanzen im Video in Relation zur Wirklichkeit gesetzt, wodurch korrekte Messungen möglich waren. Die Wendenteilzeiten, wie Rotationszeit und Wandkontaktzeit wurden anhand einer genauen Definition von Start und Ende der jeweiligen Phase im Video mittels Kinovea mit der integrierten Stoppuhr ermittelt. Die Methode der Geschwindigkeitsbestimmungen, wie der Anschwimm- und Abstoßgeschwindigkeit, war automatische Punktverfolgung des Auges oder Hüftmarkers mittels Kinovea. Die vom Programm durchgeführte automatische Verfolgung des Markers funktionierte nicht immer einwandfrei, wodurch immer wieder manuell nachgebessert werden musste. Dadurch ergaben sich pro Bild Momentangeschwindigkeiten, eine Mittelwertberechnung ergab die sodann die Durchschnittsgeschwindigkeit. Auge und Hüftmarker wurden verwendet, da angenommen werden konnte, dass diese möglichst wenig Winkelveränderungen oder eigenständige Bewegungen erfahren, und der dadurch entstehende Fehler vernachlässigbar ist. Für genauere Informationen zur Bestimmung der biomechanischen Parameter während der Kraulrollwende siehe Kapitel 3.4. Die ermittelten Werte der Versuchs- und Kontrollgruppe wurden in Excel® (Microsoft) eingetragen und mittels IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, ausgewertet.

3.4 Analyse leistungsrelevanter biomechanischer Parameter der Kraulrollwende

In diesem Kapitel wird näher auf die konkrete Analyse der jeweiligen biomechanischen Parameter eingegangen. Ein Vergleich der Vorgehensweise in dieser Untersuchung mit anderen publizierten Studien beleuchtet, warum welche Methoden und Vorgehensweisen gewählt wurden. Die kinematischen Daten in dieser Studie wurden mittels Videoanalyse erhoben, wie in vielen anderen Studien ebenfalls. Als Potential für Fehler hat sich jedoch herausgestellt, dass bei Videoanalysen unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung von kinematischen Daten herangezogen wurden. So wurde in vielen Studien nicht beschrieben, wie die Abstoßgeschwindigkeit ermittelt wurde, manche machten dies mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit durch die Berechnung „Kopf durchschwimmt Punkt A zu Zeitpunkt x und Punkt B zu Zeitpunkt x“, unter Nutzung der Formel Geschwindigkeit = Weg/Zeit. Andere Studien, wie auch diese hier, nutzen die automatische Punktverfolgung von Hüfte oder Auge mittels eines Videoanalyseprogramms.

In dieser Studie wurden folgende Parameter, deren Einfluss auf die Gesamtzeit der Wende beziehungsweise der 5 m Rundenzeit in Abbildung 8 in Kapitel 2.5 dargestellt ist, näher betrachtet:

- 5 m Rundenzeit (t_{5m}),
- Rotationszeit (t_D),
- Kontaktzeit ($t_{KONTAKT}$),
- Anschwimmgeschwindigkeit (v_{AN}),
- Abstoßgeschwindigkeit (v_{AB}),
- Distanz zur Wand zum Zeitpunkt des Starts der Rotation (s_{WAND}),
- Kleinster Kniegelenkwinkel zu Beginn der konzentrischen Abstoßbewegung (φ_{KNIE}),
- Kleinster Hüftwinkel zu Beginn der konzentrischen Abstoßbewegung ($\varphi_{HÜFTE}$),
- Größe des Kniewinkels bei Einleitung der Rotationsbewegung (α_{KNIE}),
- Größe des Hüftwinkels bei Einleitung der Rotationsbewegung ($\alpha_{HÜFTE}$),
- Kleinster Kniewinkel während der Rotation (β_{KNIE}),
- Kleinster Hüftwinkel während der Rotation ($\beta_{HÜFTE}$).

Diese Werte wurden, wie in den folgenden Kapiteln beschrieben, gemessen und berechnet und anschließend für die Beschreibung der Rollwende und Vergleiche zwischen den verschiedenen Ausführungen verwendet.

3.4.1 5 m Rundenzeit

Die 5 m Rundenzeit (5 m RTT) wird von der Literatur unterschiedlich als 5 m RTT oder 10 m RTT bezeichnet, je nachdem, ob die tatsächlichen zurückgelegten Meter oder die Distanz Wand-Markierung gemessen wird. Die 5 m Rundenzeit ist jene Zeit, die der Schwimmer oder die Schwimmerin benötigt um die 5 m Markierung vor bis nach der Wende zu durchschwimmen.



Abb. 17: Bild der Kamera 1 für die Bestimmung der 5 m RTT.

Gemessen wird dies in dieser Untersuchung an der Kopfdurchgangszeit sowie der genauen Markierung an der Leine oder Beckenwand. Die Kamera wurde genau bei 5 m montiert, wodurch eine geradlinige Betrachtung auf die Markierung an der Wand oder Leine erfolgen konnte. Dadurch war gewährleistet, dass die Messung präzise, und nicht durch einen falschen Blickwinkel verfälscht, war. Dies ist auf Abbildung 17 sichtbar. Abbildung 17 zeigt das Bild von Kamera 1, bearbeitet mit Kinovea. Bei der Bearbeitung wurde eine Linie auf Höhe der 5 m Markierung, für eine leichtere Bestimmung des Zeitpunktes, wann der Kopf diese passiert, eingefügt. Zusätzlich wurde eine Stoppuhr inkludiert.

Die Abkürzung „RTT“ wird laut Slawson et al. (2010, S. 3392) als Abkürzung für „round trip time“ verwendet. „Round trip time“ auf Deutsch übersetzt heißt Rundenzeit. Sie wird ermittelt, um die Wendenleistung der Schwimmer und Schwimmerinnen vergleichbar zu machen. Mithilfe dieser Zeit kann die Effektivität der Wende beurteilt werden. Unterschiedliche Studien wählten verschiedene Distanzen für die Messung der Rundenzeit, abhängig von der Zielsetzung der Untersuchung. Die häufigsten Messungen gibt es für 2,5 m RTT, 5 m RTT, 7,5 m RTT und 10 m RTT. Nur teilweise argumentieren die Autoren, warum sie welche Distanzen gewählt haben. Blanksby et al. (1996) verwendeten die 5 m RTT, auch wenn sie sie in ihrer Studie als 10 m RTT bezeichneten. Dies entspricht jedoch der 5 m RTT dieser Untersuchung. Sie argumentierten, diese Distanz gewählt zu haben, da bei einer Messung von nur 2,5 m vor bis nach der Wende die Distanz fehle, um wieder auf die Schwimmgeschwindigkeit zu kommen. Diese Geschwindigkeitsaufnahme würde jedoch einen wichtigen Teil der Rollwende ausmachen. Weiters wäre es bei einer Messung von nur 2,5 m vor der Wand nicht möglich, die Höchstgeschwindigkeit zu messen, was ebenfalls als entscheidend betrachtet. Außerdem wäre die 5 m RTT praktisch für Schwimmtrainer und Schwimmtrainerinnen, weil sie die Rückenmarkierung verwenden könnten. Daher würden die in der Studie gewonnenen Werte einfacher in der Praxis für Kontrollen verwendet werden können. Seine Studie wurde mit 36 Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen im Alter von 11 bis 12 Jahren durchgeführt, dabei ergab

sich eine 5 m Rundenzeit im Durchschnitt von $7,66 \pm 0,79$ s. Cossor et al. (1999) wählten ebenfalls die 5 m Rundenzeit, bei welcher bei einer Testpersonengruppe von 38 Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen im Alter von 10 bis 15 Jahren ein Durchschnitt von $6,92 \pm 0,65$ s gemessen wurde. Newble (1982) verwendete ebenfalls diese Distanz für eine Bewertung der Effizienz der Rollwende und testete 33 Nachwuchsschwimmer und Schwimmer der nationalen Talentauswahl. Die 5 m Rundenzeit ergab hier einen Wert von $5,97 \pm 0,51$ s. Eine weitaus schnellere 5 m Rundenzeit ergab sich bei Lyttle et al. (1999), weil hier erwachsene männliche Schwimmer analysiert wurden. Die 5 m Rundenzeit betrug $5,07 \pm 0,21$ s. Pereira et al. (2015) verwendeten ebenfalls die 5 m RTT, welche mit einer Stichprobe von 17 im Durchschnitt 19 jährigen Schwimmern und Schwimmerinnen $5,8 \pm 0,8$ s betrug. Recht (2003) ermittelte in ihrer Studie die 7,5 m sowie die 2,5 m Rundenzeit, sie erwähnt die Untersuchungen von Arellano et al. (2002), Burghardt et al. (1992) sowie Kuchler und Leopold (2000) und Leopold et al. (1999), welche alle die 7,5 m Rundenzeit verwendeten.

Für den Vergleich der Rollwendenzeit wurde in dieser Untersuchung die 5 m Rundenzeit als am aussagekräftigsten und präzisesten für die Wendeleistung gewertet. Bei mehr als 5 m wäre bereits mehr Schwimmleistung in die Zeit integriert, was bei dieser Studie unwesentlich ist, da sich diese Studie auf die Wendenleistung konzentriert. Wenn jedoch nur die 2,5 m Rundenzeit gewählt wird, sind wichtige Parameter, welche auf die Wendenleistung einen wichtigen Einfluss haben, ausgeschlossen. Zusätzlich kann die 5 m Rundenzeit leicht von Trainern und Trainerinnen während des Trainings gemessen und der sich in dieser Untersuchung ergebende Wert als Vergleichswert verwendet werden (Blanksby et al., 1996).

3.4.2 Bestimmung der Bestversuche der Wendenanalyse

Im Laufe dieser Studie führten die Testpersonen pro Analysetermin drei Versuche aus. Jeder dieser Versuche wurde mit Videokamera aufgezeichnet. Jedoch nur einer der drei Versuche pro Termin wurde näher untersucht. Dafür wurde der schnellste Versuch herangezogen, wie bei Puel et al. (2012). Der schnellste Versuch wurde ermittelt, indem für jedes der sechs Videos pro Schwimmer oder Schwimmerin in Kinovea die 5 m Rundenzeit bestimmt wurde, wie in Kapitel 3.4.1 beschrieben. Der Versuch, bei dem die Rundenzeit am kürzesten war und die Rollwende korrekt ausgeführt worden war, wurde für eine detailliertere Analyse herangezogen.

Tab. 5: Darstellung der Ergebnisse der 5 m Rundenzeiten.

	Termin 1			Termin 2		
	Versuch 1 [s]	Versuch 2 [s]	Versuch 3 [s]	Versuch 1 [s]	Versuch 2 [s]	Versuch 3 [s]
S1	7,43	7,38	6,88	7,52	7,43	7,6
S2	6,33	6,42	6,42	6,41	6,71	6,53
S3	6,27	6,23	6,42	6,23	6,61	6,33
S4	5,5	5,43	5,47	5,41	5,52	5,49
S6	5,28	5,67	5,58	5,67	5,45	5,51
S7	5,03	4,9	5,05	4,76	4,8	4,79
S10	6,16	6,23	6,19	6,15	6,2	6,03
S11	6,85	6,61	6,75	6,91	7,03	6,93
S13	6,46	6,37	6,3	6,56	6,43	6,35
S16	4,9	5,1	5,08	4,92	4,86	4,99
S17	5,66	5,85	5,7	5,9	5,82	5,73
S18	5,78	5,56	5,59	5,55	5,6	5,73
S20	5,46	5,54	5,6	5,58	Fehlversuch	5,62
S21	5,33	5,25	5,4	5,2	5,3	5,42
S22	5,6	5,46	5,38	5,33	5,35	5,43
S23	6,21	6,3	6,25	6,11	6,15	6,23
S26	6,75	6,91	6,68	Fehlversuch	6,61	7,86
S27	6,13	6,05	6,4	5,63	5,7	5,77
S28	6,55	6,65	6,85	Fehlversuch	6,76	6,81
S29	6,55	6,63	6,63	6,16	6,23	6,25
S30	6,55	5,67	5,65	5,5	5,75	5,66
S31	6,55	6,08	6,27	6,13	6,15	6,13
S32	6,55	6,2	6,12	5,83	5,98	5,85
S33	6,55	7,23	7,98	7,08	7,23	6,93
S34	6,55	6,77	6,98	6,46	6,7	6,88
S36	7,28	7,5	7,37	7,1	6,73	6,7
S37	6,03	6,05	6,5	6,25	6,5	6,16

In Tabelle 5 sind die 5 m Rundenzeiten aller Versuche aufgelistet. Die grau hinterlegte Zelle hebt den schnellsten Versuch hervor. Takahashi et al. (1982) führten ebenfalls pro Termin drei Versuche durch und analysierten den „besten“, warum jedoch dieser als der Beste zählte, wurde nicht näher definiert. Recht (2003) filmte jeweils acht Versuche der Probanden und Probandinnen und wählte ebenfalls die drei besten aus. Aus diesen „drei Besten“ wurde der Mittelwert für die Ergebnisse gewertet.

3.4.3 **Anschwimmgeschwindigkeit**

Die Anschwimmgeschwindigkeit (v_{AN}) ist in dieser Untersuchung die Geschwindigkeit des Anschwimmens während der letzten 0,2 Sekunden vor Einleitung der Rotation. Diese Zeitspanne ist in etwa gleich zu setzen mit der der „Adaptationsgeschwindigkeit“ bei Recht

(2003). Diese definiert die Adaptationsgeschwindigkeit als die „Geschwindigkeit bei der Adaptation vom Kopfdurchgang bei 2,5 m vor der Wende bis zum Beginn der Drehung“ (Recht, 2003, S. 194). Die Anschwimmgeschwindigkeit wird bei Recht (2003, S. 93) definiert als die „Geschwindigkeit beim Anschwimmen vom Kopfdurchgang bei 5 m vor der Wende bis zum Kopfdurchgang bei 2,5 m vor der Wende.“ Für diese Untersuchung wurde eine kürzere Distanz vor der Einleitung der Rollwende bevorzugt, auch wenn Recht (2003) eine größere Distanz wählte. Der Grund dafür liegt darin, dass die Geschwindigkeit knapp vor der Rotation den größten Einfluss auf die Rotation hat. Der besseren Verständlichkeit wegen wurde die Adaptationszeit, wie bei Recht (2003) verwendet, in die Anschwimmgeschwindigkeit umbenannt, weil die Geschwindigkeit von 5 m bis 2,5 m vor der Einleitung der Rotation nicht berechnet wurde.

Die Berechnung der Anschwimmgeschwindigkeit wurde mithilfe von Kinovea gemacht. Dafür wurden, wenn möglich das Auge des Schwimmers oder der Schwimmerin durch halbautomatische Punktverfolgung mit Hilfe der Software Kinovea getrackt. Wenn es nicht möglich war das Auge zu verfolgen, wurde der Hüftmarker verwendet. Gründe für eine Bevorzugung des Hüftmarkers statt des Auges waren bei zu starker Sichtbeeinträchtigung durch Luftblasen unter Wasser auf Höhe des Auges, wenn das Auge durch Einatmung während dieses Zeitraumes nicht sichtbar war, oder wenn das Auge während dieses Zeitraumes durch einen Arm verdeckt wurde. Grundsätzlich wurde das Auge als Marker für die Bestimmung der Geschwindigkeit bevorzugt, weil dieses sich im Normalfall sehr geradlinig, ohne Rotation (außer bei Einatmung), vorwärts bewegt. Der Hüftmarker kann eventuell zu leichten Verfälschungen der Geschwindigkeit führen, weil die Hüfte während des Schwimmens leichte Rotationsbewegungen vollführt. Dadurch würde der Hüftmarker bei einer Verfolgung leichte Auf- und Abwärtsbewegungen aufweisen. Auch Recht (2003) verwendete für die Geschwindigkeitsbestimmungen den Hüftmarker, weil dieser von allen anderen Punkten noch die geringsten Vertikalbewegungen aufweist. Der Fehler der dadurch entsteht ist laut Recht (2003) vernachlässigbar. Auch bei Blanksby et al. (1998) wurde die Anschwimmgeschwindigkeit mit einem an der Hüfte befestigten Marker durch Punktverfolgung über einen Zeitraum von 1 m gemessen.

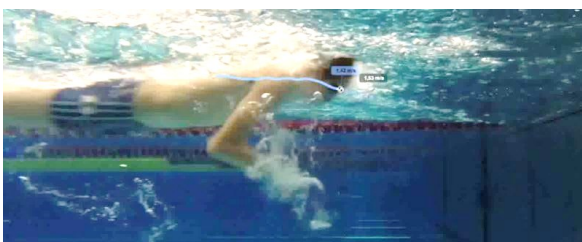


Abb. 18: Punktverfolgung des Auges für die Ermittlung der Anschwimmgeschwindigkeit in Kinovea.

Bei der Bestimmung der Geschwindigkeit wurde der jeweilige Punkt durch Kinovea verfolgt. Dies ist in Abbildung 18 dargestellt. Wenn die Software den Punkt falsch verfolgte oder es zu einem Abbruch der Verfolgung kam, wurde der Punkt händisch verfolgt. Wie in Abbildung 18 veranschaulicht, entstand durch die Verfolgung des Punktes

in Kinovea eine Linie, welche den zurückgelegten Weg des Punktes beschreibt. Mithilfe von Kinovea wurden durch Angabe der Längenverhältnisse, welche durch die Distanz der zwei Markerpunkte am Trochanter Major und Caput Fibulae kalibriert wurde, die Strecke gemessen, die während der letzten 0,2 Sekunden vor Start der Rotation zurückgelegt wurde. Durch Weg/Zeit ergab sich die Durchschnittsgeschwindigkeit für die letzten 0,2 Sekunden vor Einleitung der Rotation. Dies ergab die durchschnittliche Anschwimmgeschwindigkeit der Schwimmer und Schwimmerinnen dieser Untersuchung. Tabelle 6 diese dar.

Tab. 6: Darstellung der durchschnittlichen Anschwimmgeschwindigkeiten der Testpersonen.

	vAN 1 [m/s]	vAN 2 [m/s]		vAN 1 [m/s]	vAN 2 [m/s]
S1	1,61	1,41	S22	1,52	1,48
S2	1,88	1,54	S23	1,48	1,28
S3	1,99	1,69	S26	1,55	1,42
S4	1,79	1,56	S27	1,75	1,74
S6	1,82	2,18	S28	1,15	1,31
S7	1,74	2,17	S29	1,31	1,82
S10	1,59	2,09	S30	1,56	1,58
S11	1,53	1,61	S31	1,67	1,31
S13	1,61	1,82	S32	1,24	1,9
S16	1,96	1,96	S33	1,31	1,26
S17	1,77	1,74	S34	1,40	1,15
S18	1,69	1,86	S36	1,72	1,55
S20	1,79	1,44	S37	1,63	1,94
S21	1,67	1,65			

Laut Recht (2003) reicht die Anschwimmgeschwindigkeit von bis zu $v_{AN} = 2 \text{ m/s}$ bei weiblichen erfolgreichen Freistilsprintern und $v_{AN} = 2,2 \text{ m/s}$ bei männlichen. Bahadoran et al. (2012) gibt bei seiner Studie Anschwimmgeschwindigkeiten von $1,31 \pm 0,25 \text{ m/s}$ an. Die durchschnittliche Anschwimmgeschwindigkeit der Schwimmer und Schwimmerinnen während des ersten Termins der aktuellen Untersuchung betrug $1,62 \pm 0,62 \text{ m/s}$.

3.4.4 Abstoßgeschwindigkeit



Abb. 19: Punktverfolgung des Hüftmarkers für die Ermittlung der Abstoßgeschwindigkeit in Kinovea.

Recht (2003, S. 93) definiert die Abstoßgeschwindigkeit (v_{ABST}) als die „Geschwindigkeit unmittelbar nach dem Abstoß während des Gleitweges.“ Während dieser Untersuchung wird selbige Definition verwendet. Für die Berechnung der Abstoßgeschwindigkeit wurde der Zeitraum auf die ersten acht Bilder, nachdem die Füße

die Wand verlassen haben, eingegrenzt. Dies entspricht einer Zeitspanne von 0,13 Sekunden. Die Dauer dieser Zeitspanne ist lange genug, um eine durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit zu errechnen. Zusätzlich jedoch ist sie kurz genug, sodass die diese nur direkt nach dem Abstoß gemessen wird, ohne dass die bereits abnehmende Geschwindigkeit zu viel Einfluss hat. Wie auch bei der Anschwimmgeschwindigkeit findet die Berechnung der Abstoßgeschwindigkeit über eine automatische Punktverfolgung in Kinovea statt. Anstatt wie bei der Anschwimmgeschwindigkeit das Auge zu verfolgen, wurde bei der Abstoßgeschwindigkeit der Hüftmarker verfolgt. Der Grund dafür liegt darin, dass der Kopf zu große Vertikalbewegungen durchläuft. Der Hüftpunkt erfährt keine Rotationsbewegung, weil während der ersten 0,13 Sekunden nach Verlassen der Füße der Wand keine Bewegungen von dem Schwimmer oder der Schwimmerin durchgeführt werden. Wenn die automatische Punktverfolgung trotzdem abbrach, wurde sie manuell weitergeführt. Die Verfolgung des Hüftmarkers über eine Zeitdauer von acht Bildern ist in Abbildung 19 zu erkennen. Auch hier wurde wie bei der Berechnung der Anschwimmgeschwindigkeit Weg/Zeit berechnet. Daher wurde zuerst der Weg bestimmt, den der Schwimmer oder die Schwimmerin während der ersten 0,13 Sekunden nach Verlassen der Wand zurücklegte. Dieser Wert wurde durch die 0,13 Sekunden dividiert, wodurch sich die Geschwindigkeit ergab. Tabelle 7 veranschaulicht die durchschnittlichen Abstoßgeschwindigkeiten von Termin 1 (v_{AB1}) und Termin 2 (v_{AB2}) der Schwimmer und Schwimmerinnen (S1, S2,...) in m/s.

Tab. 7: Darstellung der durchschnittlichen Abstoßgeschwindigkeiten der Testpersonen.

	$v_{AB\ 1}$ [m/s]	$v_{AB\ 2}$ [m/s]
S1	2,41	2,54
S2	2,3	2,09
S3	2,5	2,49
S4	2,73	2,61
S6	2,85	2,72
S7	2,84	2,88
S10	2,85	3,02
S11	2,21	2,21
S13	2,36	2,86
S16	2,89	2,41
S17	2,53	2,88
S18	2,45	2,43
S20	2,42	2,37
S21	2,46	2,44

	$v_{AB\ 1}$ [m/s]	$v_{AB\ 2}$ [m/s]
S22	2,68	2,61
S23	2,06	2,45
S26	2,3	2,13
S27	2,77	2,54
S28	2,02	2,2
S29	2,16	2,4
S30	1,98	2,01
S31	2,35	2,28
S32	1,9	2,39
S33	2,08	1,92
S34	2,07	1,71
S36	2,53	2,12
S37	2,41	2,7

Cossor et al. (1999) bestimmten während ihrer Studie eine durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit bei Nachwuchsschwimmern und Nachwuchsschwimmerinnen über

eine Distanz von 60 cm nach Lösen der Füße von der Beckenwand. Der errechnete Werte war $0,74 \text{ m/s} \leq v_{\text{ABST}} \leq 1,23 \text{ m/s}$. Bei Blanksby et al. (1996) ergab sich eine Abstoßgeschwindigkeit von $2,05 \pm 0,29 \text{ m/s}$, ebenfalls über das Verfahren der Punktverfolgung. Um einiges schneller waren die Werte bei Bahadoran et al. (2012) mit $2,45 \pm 0,31 \text{ m/s}$. Lyttle et al. (1999) stellten eine Durchschnittsgeschwindigkeit von $3,03 \text{ m/s}$ bei männlichen, erfahrenen Schwimmern fest. Die durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit der Schwimmer und Schwimmerinnen während des ersten Termins der aktuellen Untersuchung betrug $2,41 \pm 0,29 \text{ m/s}$.

3.4.5 Abstand zur Wand zum Start der Rotation

Der Startzeitpunkt, an dem der Schwimmer oder die Schwimmerin den Kopf aus seiner oder ihrer normalen Position bringt und ihn dabei nach unten absenkt, wird als der Start der Rotation angesehen (Recht, 2003, Blanksby et al., 1996). Sobald diese Bewegung im Video sichtbar ist, wird angenommen, dass die Rotation eingeleitet

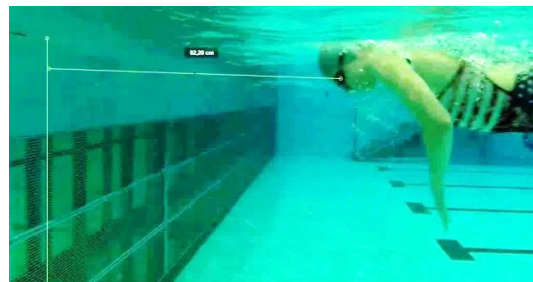


Abb. 20: Distanzmessung zwischen Auge und Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation.

wird. Dieser Zeitpunkt ist in Abbildung 20 sichtbar. Hier wurde auf der Höhe, auf der die Füße während des Abstoßes die Wand berühren, eine Linie mit Kinovea eingezeichnet. Der Abstand zur Wand zum Zeitpunkt des Starts der Rotation (s_D) wird von dieser Linie bis zum Auge des Athleten, oder der Athletin gemessen. Durch die Kalibrierung des bekannten Abstandes zwischen den Punkten Trochanter Major und Caput Fibulae, wie auch in Kapitel 3.4.2 und 3.4.4 erwähnt, konnten die exakten Längenmaße bestimmt werden.

Die Beobachtungen während dieser Untersuchung ergaben, dass der Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation abhängig davon ist, wie klein sich der Schwimmer oder die Schwimmerin während der Rotation macht. Bei einer Rotation mit engerer Körperhaltung, also kleinerem Hüft- und Kniewinkel, ist der Abstand zur Wand geringer. Bei einer offeneren Körperhaltung, also größerem Hüft- und Kniewinkel, leiten die Athleten und Athletinnen die Rotation weiter weg von der Wand ein. Zusätzlich hängt der Abstand zur Wand von der Anschwimmgeschwindigkeit und der Körperhöhe des Schwimmers oder der Schwimmerin ab. Daher ist der ideale Abstand zur Wand bei Einleitung der Rotation individuell von einigen Faktoren abhängig (Pfeifer, 1991; Blanksby et al., 1996; Puel et al., 2011).

Errechnet wird der Abstand zwischen Kopf und Wand zum Zeitpunkt des Starts der Rotation, indem mit der Software Kinovea zum Start der Rotation der Abstand von Auge des Schwimmers oder der Schwimmerin bis zur an der Wand eingezeichneten Linie

gemessen wird. Der durchschnittliche Abstand zur Wand bei Einleitung der Rotation der Schwimmer und Schwimmerinnen der aktuellen Studie während des ersten Termins betrug $99,28 \pm 19,81$ cm.

Tab. 8: Darstellung der Abstände der Schwimmer und Schwimmerinnen zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation während Termin 1 und Termin 2.

	s _D 1 [cm]	s _D 2 [cm]		s _D 1 [cm]	s _D 2 [cm]
S1	82,6	101,6	S22	105,6	119,2
S2	110,8	126,4	S23	100,1	92,3
S3	137,7	142,9	S26	90,5	93,9
S4	123,9	125,5	S27	86,9	111,6
S6	95,1	128,6	S28	96,3	52,1
S7	121,1	129,8	S29	81	88,6
S10	112,9	125,7	S30	101,8	65,4
S11	118	95,6	S31	78,5	68,1
S13	89	88,4	S32	68,1	85,5
S16	129,7	98	S33	82,4	75,6
S17	61,5	69,5	S34	86,90	82,1
S18	107,2	106,5	S36	104	89,1
S20	96,4	90,6	S37	129,1	116
S21	106,8	116			

Vorteil einer Einleitung der Rotation weiter weg von der Wand ist, dass weniger Distanz zurückgelegt werden muss. Dafür wird jedoch oft die Anschwimmgeschwindigkeit reduziert, beziehungsweise findet oft eine leichte Verzögerung zwischen aktiven Antriebsbewegungen und Einleitung der Rotation statt. Meistens findet die Rotation in diesem Fall mit offenerer Körperhaltung, also größerem Hüft- und Kniewinkel, statt. Dadurch kommt es zu einem größeren Trägheitsmoment und einer niedrigeren Drehgeschwindigkeit. Im Gegensatz dazu hat eine Einleitung der Rotation näher bei der Wand den Vorteil, dass der Schwimmer oder die Schwimmerin mit höherer Anschwimmgeschwindigkeit und ohne Verzögerung in die Rotation schwimmen kann. Durch das schnelle Anhocken und die Verteilung der Masse nahe beim Drehzentrum kommt es zu einem geringen Trägheitsmoment und einer hohen Rotationsgeschwindigkeit.

Die in Tabelle 8 dargestellten Werte veranschaulichen den Abstand, den die jeweiligen Schwimmer oder Schwimmerinnen (S1, S2,...) während des jeweiligen Versuches (t_D1, t_D2) zum Start der Rotation zur Wand hatten (Werte in Meter).

Blanksby et al. (1996) untersuchten Schwimmer und Schwimmerinnen im Alter von 11 bis 12 Jahren mit einer durchschnittlichen Größe von 156 cm. Deren durchschnittlicher Abstand zur Wand betrug $0,62 \pm 0,18$ m. In dieser Studie wurde der Abstand gemessen an dem

horizontaler Abstand zwischen dem Scheitel des Kopfes des Schwimmers oder der Schwimmerin und der Wand zu dem Zeitpunkt, als der Kopf in einer vertikalen Ebene abwärts bewegt wurde. Die Studie von Puel et al. (2011) analysierte 10 männliche Eliteschwimmer, welche zum Zeitpunkt des Starts der Rotation einen Abstand von $1,2 \pm 0,13$ m zu Wand hatten. Die Schwimmer und Schwimmerinnen in der Untersuchung von Lyttle und Mason (1997) wiesen einen Abstand von in etwa 0,97 m auf. Jedoch bei beiden Studien wurde der Start der Rotation nicht definiert oder welcher Referenzpunkt für die Messung des Abstandes gewählt wurde. Um also Studien diesbezüglich vergleichbarer zu machen, müsste eine diesbezügliche Messung standardisierter ablaufen, beziehungsweise, genauere Definitionen vorhanden sein, welche für alle Studien gelten. Puel et al. (2011) und Blanksby et al. (1996) stellten fest, dass ein größerer Abstand sich positiv auf die Dauer der Wendenzeit auswirkte.

3.4.6 Drehzeit

Die Dauer der Rotation (t_D) ist bei Recht (2003, S. 93) definiert als das „Zeitintervall vom Senken des Kopfes bis zum Setzen der Füße“. Die publizierten Studien geben unterschiedliche Zeitpunkte als den Start der Rotation an. Einige Studien nehmen das Eintauchen des letzten Armzuges vor der Rotation als Beginn der Rotation (Pereira et al., 2011), andere jedoch, wie auch in dieser Studie, sehen den Beginn als das Absenken des Kopfes (Recht 2003, S. 27; Blanksby et al., 1996). Dies macht jedoch einen großen Unterschied aus, weil oftmals der letzte Armzug um einige zehntel Sekunden früher ins Wasser eintaucht, als schlussendlich der Kopf abgesenkt wird. Theoretisch sollte zwar mit dem letzten Armzug der Kopf abgesenkt werden, aber einige Schwimmer und Schwimmerinnen weisen eine leichte Verzögerung auf, warten also mit dem Absenken bis beide Arme an den Oberschenkeln liegen. Dies bedeutet, dass große Unterschiede zwischen den Messungen bestehen können. Da viele Studien nicht angeben, was sie als Start der Rotation werten, ist eine Vergleichbarkeit schwierig. Der Zeitpunkt des Endes der Rotation ist viel einheitlicher, er wird als das letzte Bild, bevor die Füße die Wand berühren, gewertet.

Die Dauer der Rotation wird bestimmt durch eine Optimierung der Koordination von Teilkörperbewegungen zu Beginn und während der Drehung. Um ein großes Drehmoment zu erzeugen, soll eine enge Körperhaltung für eine hohe Drehgeschwindigkeit eingenommen werden. Dabei bedeutet ein Anhocken der Beine für eine Verkleinerung des Massenträgheitsmoments und eine Minimierung der Widerstandskräfte. Auch der Abstand zur Beckenwand zum Start der Rotation beeinflusst die Dauer der Rotationszeit, wie in Kapitel 3.4.5 erklärt (Recht, 2003). Lyttle und Mason (1997) stellten bei ihrer Studie mit 4 Elite-Freistilschwimmern eine durchschnittliche Drehzeit von 0,72 s fest. Recht (2003)

berechnete eine durchschnittliche Drehzeit ihrer im Durchschnitt 19 Jahre alten Schwimmer und Schwimmerinnen von 0,65 s bis 0,75 s. Eine weitere Studie mit 10 männlichen Eliteschwimmern ergab eine durchschnittliche Drehzeit von 0,85 s (Puel et al., 2011). Diese Werte verdeutlichen die großen Unterschiede, speziell angesichts der unterschiedlichen Leistungsniveaus. Laut einer Studie von Bahadoran et al. (2012) gibt es keinen direkten Zusammenhang zwischen der Dauer der Rotation und der Anschwimmgeschwindigkeit oder der Abstoßgeschwindigkeit. Anfänglich gingen Bahadoran et al (2012) davon aus, dass eine schnellere Anschwimmgeschwindigkeit zu einer kürzeren Rotation führen würde. Die durchschnittliche Rotationszeit seiner Probanden und Probandinnen betrug $1,08 \pm 0,11$ s. Tabelle 9 veranschaulicht die Drehzeiten der Schwimmer und Schwimmerinnen (S1, S2,...) des ersten (t_{D1}) und zweiten Termins (t_{D2}) dieser Untersuchung. Die durchschnittliche Drehzeit der Schwimmer und Schwimmerinnen während des ersten Termins dieser Untersuchung betrug $0,91 \pm 0,12$ s.

Tab. 9: Drehzeiten der Schwimmer und Schwimmerinnen des 1. und 2. Termins.

	t_D 1 [s]	t_D 2 [s]		t_D 1 [s]	t_D 2 [s]
S1	1,1	1,11	S22	0,86	0,83
S2	1,2	1,15	S23	0,93	0,83
S3	1,06	1,01	S26	0,98	1,08
S4	0,85	0,88	S27	0,95	1
S6	0,68	0,8	S28	0,75	0,85
S7	0,8	0,86	S29	0,81	0,81
S10	0,95	0,91	S30	0,88	0,91
S11	1,03	0,98	S31	0,83	0,88
S13	0,81	0,81	S32	0,85	0,81
S16	0,88	0,81	S33	1,13	1,16
S17	0,73	0,76	S34	1,13	1
S18	0,91	0,96	S36	0,9	0,88
S20	0,81	0,86	S37	0,98	0,85
S21	0,9	0,83			

3.4.7 Wandkontaktzeit

Die Wandkontaktzeit (t_{KONT}) ist bei Bahadoran et al. (2012) und Recht (2003) definiert als das Zeitspanne von der ersten Berührung der Wand mit den Füßen bis zum letzten Kontakt. Diese Definition wird ebenfalls für diese Untersuchung verwendet. Zusätzlich wird in der Literatur, wie bereits im Kapitel 2.3.3 näher erläutert, in eine Brems- (t_{BREMS}) und Abdruckzeit (t_{ABDR}), auch genannt exzentrische und konzentrische Phase, unterteilt. Die Bremszeit ist laut Recht (2003, S. 93) das „Zeitintervall vom Setzen der Füße bis zum Beginn der konzentrischen Abstoßbewegung“. Die Abdruckzeit ist jene Zeit, von der konzentrischen Abstoßbewegung, welche die erste Vorwärtsbewegung der Hüfte darstellt, bis zum Ende des Fußkontaktes (Bahadoran et al., 2012). In dieser Studie wird jedoch nur auf die Gesamtzeit eingegangen, da eine Messung der passiven und aktiven Phase separat erst ab einer Bildfrequenz von 100 Hz sinnvoll ist (Pereira et al., 2011).

In dieser Studie wurde mittels einer in Kinovea integrierten Stoppuhr die Zeit vom ersten Kontakt der Füße mit der Wand bis zum ersten Bild, bei dem kein Kontakt mehr mit der Wand besteht, gemessen. Bei Blanksby et al. (1996) ergab sich eine durchschnittliche Wandkontaktzeit von $0,58 \pm 0,2$ s und bei Cossor et al. (1999) von 0,60 s. Diese Werte sind sehr ähnlich, weil die Voraussetzungen der Probanden und Probandinnen ähnlich waren und die Phase verständlich definiert ist, wodurch alle Studien diese Phase auf die gleiche Weise messen. Puel et al. (2011) weist auf eine Wandkontaktphase von $0,34 \pm 0,05$ s hin. In Tabelle 10 sind die Wandkontaktzeiten aller Schwimmer und Schwimmerinnen der aktuellen Untersuchung von beiden Terminen ($t_{\text{KONT}1}$ und $t_{\text{KONT}2}$) aufgelistet. Die

durchschnittliche Wandkontaktzeit der Schwimmer und Schwimmerinnen während des ersten Termins der aktuellen Studie beträgt $0,31 \pm 0,08$ s.

Tab. 10: Darstellung der Wandkontaktzeit der Schwimmer und Schwimmerinnen bei Termin 1 und 2.

	$t_{\text{KONT 1 [s]}}$	$t_{\text{KONT 2 [s]}}$		$t_{\text{KONT 1 [s]}}$	$t_{\text{KONT 2 [s]}}$
S1	0,38	0,63	S22	0,15	0,16
S2	0,43	0,35	S23	0,21	0,31
S3	0,46	0,45	S26	0,45	0,31
S4	0,26	0,2	S27	0,28	0,26
S6	0,28	0,25	S28	0,35	0,41
S7	0,34	0,28	S29	0,35	0,36
S10	0,28	0,26	S30	0,31	0,28
S11	0,33	0,4	S31	0,35	0,31
S13	0,28	0,31	S32	0,28	0,28
S16	0,21	0,23	S33	0,31	0,25
S17	0,48	0,45	S34	0,38	0,26
S18	0,25	0,15	S36	0,31	0,26
S20	0,26	0,26	S37	0,23	0,25
S21	0,23	0,16			

3.4.8 Größter Knie- & Hüftwinkel zu Beginn der Rotation

Werte, die bisher bei keiner publizierten Studie erhoben wurden sind der größte Knie- (α_{KNEE}) und Hüftwinkel ($\alpha_{\text{HÜFT}}$) zu Beginn der Rotation. Diese beiden Winkel wurden erhoben, um

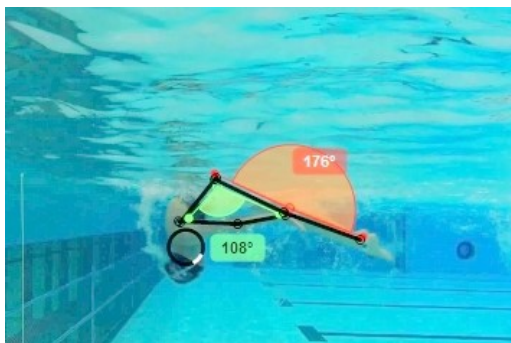


Abb. 21: Ausführung der Rollwende mit großem Knie- und Hüftwinkel.

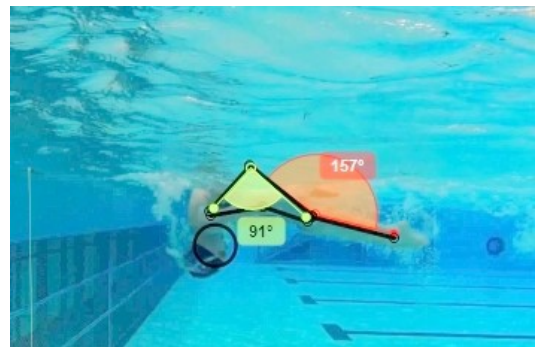


Abb. 22: Ausführung der Rollwende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel.

eine Vergleichbarkeit zwischen der Ausführung der Wende während des ersten und zweiten Termins zu haben. Bei der Ausführung der Rollwende mit einem großen Knie- und Hüftwinkel, wie in Abbildung 21 gezeigt, sind die Knie während der Einleitung der Rollwende gestreckter und auch länger gestreckt als bei einer Rollwende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel. Bei der Ausführung mit kleinen Winkeln, in Abbildung 22 gezeigt, sollte es zu gar keiner kompletten Streckung in den Knien kommen, sondern die Fersen sollten so schnell wie möglich zum Gesäß und die Knie so schnell wie möglich zur Brust gebracht werden. Im Gegensatz dazu sind die Knie bei der Ausführung mit großem Knie- und Hüftwinkel zu Beginn der Rotation komplett gestreckt und der Hüftwinkel auch viel größer

als bei kleiner Ausführung. In dieser Position kommt es zu einer kurzen Verzögerung mit den gestreckten Beinen an der Wasseroberfläche, bis der Oberkörper senkrecht zu Boden zeigt. Dann erst werden die Knie leicht gebeugt und über Wasser Richtung Wand geschmissen.

In Kinovea wurde der größte Winkel nach dem Delphinbeinschlag gemessen, wenn der Kniegelenkwinkel maximal groß ist. Dafür wurden die Markerpunkte auf den jeweiligen Gelenken verwendet.

3.4.9 Knie- und Hüftwinkel während des Abstoßes und Tuck Index

Der Kniegelenkwinkel (φ_{KNIE}) zu Beginn der konzentrischen Abstoßbewegung wird in manchen Studien gemessen, in anderen wird der Tuck Index berechnet. Auf den Tuck Index wird in Kapitel 2.3.3 eingegangen. Jedoch hängen der Kniegelenkwinkel während des Abstoßes und der Tuck Index sehr eng zusammen. Laut Recht (2003) ist es nicht gewiss, dass eine kürzere Wandkontaktzeit durch größere Kniegelenkwinkel zu einer schnelleren 5 m Rundenzeit führt. Dem wird entgegen gestellt, den Abstoß mit kleineren Kniegelenkwinkeln durchzuführen und dadurch einen höheren Kraftstoß durch einen längeren Beschleunigungsweg und längere Beschleunigungsdauer aufgrund der längeren Kontaktzeit zu erreichen. Diesbezüglich sind jedoch unterschiedliche strömungsmechanische Einflussfaktoren zu berücksichtigen. Dazu zählen der hemmende Widerstand während des Abstoßes, das Phänomen der elastischen Potenzierung bei reaktiver Muskelarbeitsweise und ähnliches (Blanksby et al., 1998; Cossor et al., 1999). Gleichzeitig wird der Hüftwinkel ($\varphi_{\text{HÜFT}}$) gemessen, weil diese beiden Winkel die Abstoßrichtung ergeben und die Richtung der Wirkung der Kraft beeinflussen.

Einige Studien messen anstatt des Kniewinkels während des Abstoßes den Tuck Index. Dieser gibt relativiert an, wie nahe sich das Gesäß bei der Wand befindet. Er wird berechnet, indem der Abstand der Marker am Trochanter Major bis zur Wand zum Zeitpunkt des ersten Bildes, bei dem es zu einer Vorwärtsbewegung des Körpers in Horizontalrichtung kommt, gemessen wird. Dieser Wert wird mit der Trochanterhöhe des Schwimmers oder der Schwimmerin relativiert. Dazu muss die Trochanterhöhe im Stehen gemessen werden und der Wert Trochanter Major-Wand wird durch die individuelle Trochanterhöhe dividiert (Blanksby et al., 1996; Blanksby et al., 1998; Cossor et al., 1999). Dadurch ergibt sich ein Prozentwert. Auch andere Studien (Blanksby et al., 1996; Cossor et al., 1999) haben den Tuck Index gemessen und als wertvoll befunden. In dieser Studie wird der Tuck Index ebenfalls gemessen, um ihn mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen zu können. Es wird angenommen, dass der Tuck Index bei einer Ausführung der Rollwende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel kleiner ist, als bei der Ausführung mit

großem Hüft- und Kniewinkel. Cossor et al. (1999), Lyttle et al. (1998) und Blanksby et al. (1996) geben an, dass ein größerer Tuck Index zu einer schnelleren 5 m Rundenzeit führt. Je größer der Tuck Index, desto gestreckter sind die Knie während des Abstoßes. Wenn jedoch die Beine komplett gestreckt sind, kann es zu keinem Abstoß mehr kommen, weil keine Muskelkraft wirken kann, wodurch der Abstoß absolut ineffektiv wäre. Bei Cossor et al. (1999) findet sich ein Prozentwert von $56,6 \pm 17,2$ %.

Der Tuck Index in dieser Studie wurde gemessen, indem der Abstand zwischen dem Marker auf dem der Kamera zugewandten Tochanter und der Markierung an der Wand, auf der die Füße auftreffen, gemessen wurde. Dieser Wert wurde in Excel® übertragen und durch den Wert, der sich während der Vermessungen ergeben hat, dividiert. Dadurch ergab sich der gesuchte Prozentwert, der in Tabelle 11 von beiden Terminen von jedem Schwimmer und jeder Schwimmerin angeführt ist. Der durchschnittliche Tuck Index der Gesamtstichprobe während des ersten Termins der aktuellen Studie beträgt 64,7 %.

Tab. 11: Darstellung des Tuck Index der Schwimmer und Schwimmerinnen bei Termin 1 und 2.

	Tuck Index 1 [%]	Tuck Index 2 [%]		Tuck Index 1 [%]	Tuck Index 2 [%]
S1	48	33	S22	84	86
S2	61	60	S23	75	61
S3	66	63	S26	70	80
S4	67	73	S27	76	73
S6	59	80	S28	77	35
S7	57	66	S29	53	51
S10	62	83	S30	60	76
S11	64	48	S31	37	55
S13	61	68	S32	68	64
S16	83	61	S33	64	62
S17	29	49	S34	70	66
S18	75	68	S36	60	66
S20	73	61	S37	73	67
S21	78	89			

3.5 Datenverarbeitung

Um korrekte Werte aus den Videos herausmessen zu können, war es notwendig zu kalibrieren. Geometrische Kamerakalibration bedeutet, durch diesen Vorgang unter Berücksichtigung von Verzerrung Maße im Video korrekt zu verstehen (Kannala, Heikkilä & Brandt, 2009). Dabei müssen für die Kamerakalibration Pixel- in Weltkoordinaten umgerechnet werden durch Bestimmung von einigen Parametern, welche die Abbildung

der Kamera beschreiben (Graf, 2007). Alle Linsenkameras weisen eine deutliche Verzerrung auf, weil diese aus einem Objektiv mit mehreren Linsen bestehen. Alle auf die Linsen treffenden Lichtstrahlen des Aufnahmebildes werden daher in einem gemeinsamen Fokus vereinigt. Dieser Fokus verändert sich, abhängig von der Entfernung zwischen Objekt und Kamera. Dieser Abstand wird als Brennweite bezeichnet. Wenn diese Brennweite größer oder kleiner ist, muss die Linse dementsprechend verschoben werden, um ein scharfes Bild zu erzeugen. Durch diesen Prozess werden die Bilder verzerrt (Hoffmann, 2009). Weitwinkelkameras weisen eine stärkere Verzerrung auf als Kameras mit einem schmäleren Winkel. Da für diese Untersuchung mit GoPro Kameras gefilmt wurde, ist die Gefahr einer Verzerrung relativ hoch, weil diese Kameras für Weitwinkelaufnahmen entwickelt wurden. Die verwendeten Kameras waren während der Aufnahmen für die aktuelle Studie auf schmalen beziehungsweise mittleren Fokus eingestellt. Um Fehler bei den Berechnungen zu vermeiden, wurden die Videos zusätzlich kalibriert. Dafür wurde GoPro Studio verwendet, wodurch eine optische Entzerrung der Videos möglich war.

Für die Auswertung der Ergebnisse mit IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0 (Bühl, 2012), wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % angenommen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit ist jene Wahrscheinlichkeit, mit der man sich irrt, wenn die H_0 ablehnt und mit einem vorher festgesetzten Signifikanzniveau „ α “ verglichen wird (O'Donoghue, 2012). Die Messgenauigkeit steigt mit der Stichprobengröße. Je größer daher eine Stichprobe ist, umso leichter wird ein Ergebnis signifikant. Bei zu kleinen Stichproben leidet die Messgenauigkeit und daher wird eine Signifikanzfindung erschwert. Allzu große Stichproben führen allerdings oft zu inhaltlich nicht relevanten Ergebnissen. Daher muss die Stichprobe immer aus dem Design der Studie hergeleitet werden (Bühl, 2012).

Bei dieser Studie wurde eine Stichprobenanzahl von 37 Personen angestrebt, von denen einige während der Studie abbrachen. Daher blieben 27 Probanden und Probandinnen für die Testungen übrig. Diese Anzahl wird als für diese Messungen ausreichend angenommen (O'Donoghue, 2012), da sich die mithilfe des Komolgorov-Smirnov Tests überprüfte Normalverteilung stets als gegeben zeigte.

3.5.1 Differenz der 5 m RTT vom 1. zum 2. Termin – absoluter Wert

Um eine Aussage treffen zu können, ob das Training der Wende mit kleinem Knie- und Hüftwinkel vorteilhaft für die Schwimmer und Schwimmerinnen ist, wurden zwei Hypothesen gebildet, die mittels Unterschiedshypothese überprüft werden sollen (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012). Für eine Vergleichbarkeit der zwei Ausführungsarten werden die Differenzen der 5 m Rundenzeiten von Termin 1 minus

Termin 2 der Versuchsgruppe sowie der Kontrollgruppe gegenübergestellt. Die Formulierung der Hypothese (H1) sowie der Gegenhypothese (H0) lautet wie folgend:

H1: Es gibt einen Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der absoluten 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2.

H0: Es gibt keinen Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der absoluten 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2.

Tab. 12: Darstellung der durchschnittlichen 5 m Rundenzeiten der Versuchs- und Kontrollgruppe an Terminen 1 und 2.

5mRTT	Termin 1	Termin 2
Versuchsgruppe	6,1767 s	6,2006 s
Kontrollgruppe	5,692 s	5,622 s

Nun wurde die Prüfung auf Normalverteilung beider Gruppen bezüglich der Differenz des absoluten 5mRTT Wertes, gemacht. Der Kolmogorov-Smirnov Test

lässt für die Kontrollgruppe eine Normalverteilung annehmen, da das Signifikanzlevel der Probandengruppe 0,20 beträgt, welches dadurch weit über dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt. Desweiteren wird die Versuchsgruppe auf Normalverteilung geprüft. Laut Kolmogorov-Smirnov Test beläuft sich der Signifikanzlevel der Kontrollgruppe auf 0,157 und liegt damit deutlich über dem Signifikanzniveau von 0,05. Daher muss die theoretische Annahme einer Normalverteilung beider Gruppen, aufgrund der Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov Tests, nicht verworfen werden (O'Donoghue, 2012).

Der Levene-Test überprüft die Daten auf Varianzhomogenität. Dabei sollte der p-Wert größer oder gleich groß 0,05 sein, damit der Test nicht signifikant und die Varianzen homogen wären. In diesem Fall ergibt der Levene Test eine Signifikanz von 0,172. Dieser Wert ist deutlich über 0,05 und daher sind die Varianzen homogen. Es wurde der T-Test für unabhängige Stichproben verwendet, weil dessen Voraussetzungen erfüllt sind: zwei unabhängige Gruppen mit einer Variablen, intervallskalierte Daten, normalverteilte Daten je Gruppe und Homogenität der Stichprobenvarianzen. Der unabhängige T-Test gibt ein Signifikanzniveau von 0,315 an, was deutlich über dem Wert von 0,05 liegt und daher besagt, dass die H0 angenommen und die H1 verworfen werden muss (Rockmann & Bömerman, 2006; O'Donoghue, 2012). Die H0 besagt, dass es keinen Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der absoluten 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2 gibt. Wie in Tabelle 12 veranschaulicht, beträgt der Mittelwert der Versuchsgruppe während des ersten Termins 6,1767 s und des zweiten 6,2006 s. Dadurch ergibt sich ein durchschnittlicher Differenzwert von 0,0239 s. Dies bedeutet, dass die Versuchsgruppe bei Termin 1 schneller war, als bei Termin 2. Die Kontrollgruppe erreicht eine durchschnittliche 5 m Rundenzeit von 5,692 s bei Termin 1 und 5,622 bei Termin 2, wodurch sich ein durchschnittlicher Differenzwert von

0,07 s ergibt. Dies bedeutet, dass die Versuchsgruppe durch das 16 wöchige Training im Durchschnitt um 0,0239 s langsamer geworden ist, wohingegen die Kontrollgruppe nach dem 16 wöchigen Training im Durchschnitt um 0,07 s schneller war.

3.5.2 Differenz der 2 m bis 5 m Rundenzeit vom 1. zum 2. Termin

Da die 5 m Rundenzeit stark von der Anschwimmgeschwindigkeit beeinflusst wird, welche pro Person und Termin verhältnismäßig stark variiert, soll dieser Fehler etwas relativiert werden, indem für diese Vergleichswerte die Rundenzeit 2 m vor bis 5 m nach der Wand von jedem Schwimmer und jeder Schwimmerin und jedem Termin berechnet wird. Diese Berechnung ist nicht exakt, weil eine schnellere Anschwimmgeschwindigkeit nicht nur die Anschwimmzeit sondern auch die Drehzeit, die Wandkontaktzeit und die Abstoßzeit beeinflussen könnte. Die hier genannte Formel relativierte jedoch nur die Anschwimmzeit. Daher handelt es sich bei der 2 m bis 5 m Rundenzeit nur um eine geschätzte Zeit, wodurch erhofft wird, den Fehler, der sich durch die unterschiedlichen Anschwimmgeschwindigkeiten ergibt, zu relativieren. Die Formel hierfür lautet: $t_3 = t_1 + t_2 - 3/v_{AN}$. Dabei ist v_{AN} die durchschnittliche Anschwimmgeschwindigkeit knapp vor der Einleitung der Rotation, wie in Kapitel 3.4.3 beschrieben, berechnet. Die Abkürzung t_1 ist die Zeit, die der Schwimmer oder die Schwimmerin benötigt vom Kopfdurchgang bei der 5 m Markierung bis Wandkontakt. Bei t_2 handelt es sich um die Zeit ab Wandkontakt bis zum erneuten Durchschwimmen der 5 m Markierung. In diesem Fall stellt t_3 die Zeit 2 m vor bis 5 m nach der Wand dar. Da t_1 plus t_2 die 5mRTT ergeben, lautet die Formel $7mRTT = 5mRTT - 3/v_{AN}$. Durch diese Berechnung ist der Anschwimmweg um 3 m verkürzt. Die Unterschiedshypothese (H_1) und Gegenhypothese (H_0) (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012) für eine exaktere Analyse lauten:

H_1 : Es besteht ein Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der 2 m bis 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2.

H_0 : Es besteht kein Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der 2 m bis 5 m Rundenzeit von Termin 1 minus Termin 2.

Nun findet eine Überprüfung der Normalverteilung beider Gruppen bezüglich der Differenz der berechneten 2 m bis 5 m Rundenzeit statt. Der Kolmogorov-Smirnov Test bestätigt durch das Signifikanzlevel der Probandengruppe von 0,2, welches weit über dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt, eine Normalverteilung. Als nächstes wird die Vergleichsgruppe auf Normalverteilung geprüft. Laut Kolmogorov-Smirnov Test beläuft sich das Signifikanzlevel der Vergleichsgruppe ebenfalls bei 0,2 und liegt damit deutlich über dem Signifikanzniveau von 0,05. Die theoretische Annahme einer Normalverteilung beider

Gruppen muss aufgrund der Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov Tests, nicht verworfen werden (O'Donoghue, 2012).

Mithilfe des Levene-Tests werden die Daten auf Varianzhomogenität überprüft. Dabei sollte der p-Wert größer oder gleich 0,05 sein, damit der Test nicht signifikant und daher die Varianzen homogen wären. In diesem Fall ergibt der Levene Test eine Signifikanz von 0,01. Dieser Wert ist deutlich geringer als 0,05, die Varianzen sind folglich inhomogen. Daher erfüllen die Werte nicht die Voraussetzung für den unabhängigen T-Test, somit muss der U-Test (Mann Whitney) verwendet werden (O'Donoghue, 2012).

Tab. 13: Darstellung der durchschnittlichen 7 m Zeit der Versuchs- und Kontrollgruppe an Terminen 1 und 2.

	1. Termin	2. Termin
Versuchsgruppe [n=18]	4,25 s	4,33 s
Kontrollgruppe [n=9]	3,9 s	3,74 s

Die asymptotische Signifikanz des Mann-Whitney-Tests beläuft sich auf 0,089 und ist damit höher als 0,05. Daher muss die H0 angenommen und die H1 verworfen werden (O'Donoghue, 2012). Die H0 besagt, dass es keinen Unterschied zwischen der Versuchsgruppe und der Kontrollgruppe hinsichtlich der Differenz der 7 m Zeit von Termin 1 minus Termin 2 gibt. In Tabelle 13 sind die Durchschnittlichen 7 m Zeiten der Versuchs- sowie der Kontrollgruppe dargestellt. Daraus ergeben sich die Differenzen der beiden Termine. Der Mittelwert der Differenz der Kontrollgruppe liegt bei 0,16 s und der der Versuchsgruppe bei 0,08 s. Dies bedeutet, dass die Versuchsgruppe durch das 16- wöchige Training im Durchschnitt um 8 hundertstel Sekunden langsamer geworden ist. Die Kontrollgruppe hingegen war nach dem 16- wöchigen Training im Durchschnitt um 16 hundertstel Sekunden schneller.

3.5.3 Abstoßgeschwindigkeit und Tuck Index

Dieses Kapitel ist von Wichtigkeit, da eine schnellere Abstoßgeschwindigkeit zu einer schnelleren Abschwimmgeschwindigkeit und dadurch zu einer kürzeren 5 m Rundenzeit führt. Aus diesem Grund wird der mögliche Einfluss eines kleineren Knie- und Hüftwinkels während der Rotation auf die Abstoßgeschwindigkeit diskutiert. Dabei wird angenommen, dass die Größe des Knie- und Hüftwinkel die Abstoßgeschwindigkeit beeinflusst. Die Behauptung lautet, dass der Schwimmer oder die Schwimmerin mit einem größeren Kniewinkel während der Rotation sich ebenfalls mit einem größeren Kniewinkel von der Beckenwand abstößt. Durch einen Abstoß mit kleinerem Kniewinkel wäre laut Pfeifer (1991), Puel et al. (2011), Maglischo (1993), Lyttle et al. (1998), Takahashi et al. (1982), Maglischo (2003), Pereira et al. (2006) und Blanksby et al. (1996) die Abstoßgeschwindigkeit langsamer. Sie argumentieren, dass ein größerer Hüft- und Kniewinkel von mindestens 90°, während des Abstoßes zu einem Zeitgewinn führt. Die

Abstoßgeschwindigkeit hängt auch stark mit der Wandkontaktzeit und dem Tuck Index zusammen, mehr diesbezüglich ist in den Kapiteln 2.3.3 und 3.4.4 sowie 3.4.7 zu lesen. Da sich eben genannte Autoren für einen Abstoß mit größerem Knie- und Hüftwinkel aussprechen, und die Wandkontaktzeit, vor allem der passive Teil, möglichst kurz gestaltet sein sollte (Pfeifer, 1991; Richter, 1952), ist es erstrebenswert, dass die Füße bereits mit optimalen Winkelpositionen mit der Wand in Kontakt kommen. Das bedeutet, dass es für eine schnellere Abstoßgeschwindigkeit von Vorteil wäre, auch die Rotation mit größerem Knie- und Hüftwinkel durchzuführen.

Ein kleinerer Kniewinkel während des Abstoßes würde zu einer längeren Abstoßzeit führen. Diese längere Wandkontaktzeit könnte jedoch auch durch längere Krafteinwirkung zu einer höheren Abstoßgeschwindigkeit führen (Bahadoran et al., 2012). Puel et al. (2011) schlagen vor, dass ein kleiner Tuck Index, also kleiner Kniewinkel während des Abstoßes, für weniger erfahrene Schwimmer und Schwimmerinnen bezüglich der Abstoßgeschwindigkeit von Vorteil ist. Dieser kleinere Kniewinkel während des Abstoßes würde auch während der Rotation einen kleineren Knie- und Hüftwinkel fordern. Da die Schwimmer und Schwimmerinnen dieser Untersuchung in Nachwuchsmannschaften trainieren, wird davon ausgegangen, dass sie zu der Gruppe gehören, die Puel et al. (2011) als weniger erfahren bezeichnen. Daher sollte für die Testpersonen dieser Stichprobe ein kleinerer Winkel während des Abstoßes und der Rotation für die Abstoßgeschwindigkeit von Vorteil sein.

Diese Annahme setzt voraus, dass ein Zusammenhang zwischen der Änderung der Größe des Kniewinkels während der Rotation und der Änderung des Kniewinkels während des Abstoßes besteht. Diese Annahme wird durch IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, untersucht, wobei eine Zusammenhangshypothese (H1) mitsamt Gegenhypothese (H0) aufgestellt werden (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012):

H0: Eine Änderung des Hüftwinkels hängt nicht mit einer Änderung des Tuck Index zusammen.

H1: Eine Änderung des Hüftwinkels hängt mit einer Änderung des Tuck Index zusammen.

Um diese Hypothesen zu überprüfen wird die Pearson Produkt-Moment-Korrelation berechnet. Die Voraussetzungen dafür sind, dass beide Differenzen intervallskaliert und normalverteilt sind. Die Voraussetzung der Intervallskalierung ist für beide Variablen gegeben. Die Normalverteilung wird mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Der p-Wert der Differenz des Hüftwinkels ergibt 0,2 und der der Differenz des Tuck Indexes beträgt 0,199. Beide Werte sind größer als 0,05, wodurch der p-Wert nicht signifikant ist und von einer Normalverteilung ausgegangen werden darf (O'Donoghue, 2012). Danach

wird mit IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0 die Pearson Produkt-Moment-Korrelation berechnet. Der Korrelationskoeffizient, die Änderung des Hüftwinkels und des Tuck Indexes vergleichend, beträgt 0,081. Dies deutet auf einen sehr geringen positiven Zusammenhang hin. Der p-Wert der Pearson Produkt-Moment-Korrelation beträgt 0,748. Dieser Wert ist nicht signifikant, weshalb der sehr geringfügige Zusammenhang als zufällig angenommen werden muss. Das bedeutet, dass eine Änderung des Hüftwinkels nicht mit einer Änderung des Tuck Index zusammen hängt. Auch der Korrelationskoeffizient besagt, dass selbst wenn die H1 angenommen werden dürfte, der Zusammenhang extrem gering wäre.

Tab. 14: Darstellung des Durchschnitts des kleinsten Hüftwinkels sowie des Tuck Index zu Termin 1 und 2 der Versuchsgruppe.

N = 18	Termin 1	Termin 2	Differenz	Der durchschnittlich kleinste Hüftwinkel während der Rotation
kleinster Hüftwinkel [°]	47,33	42,67	4,67	
Tuck Index [%]	61,56	62,11	0,55	

betrug bei Termin 1 47,33° und bei Termin 2 42,67°, wie in Tabelle 14 zu erkennen ist. Dies ergibt einen Unterschied von 4,67°. Der durchschnittliche Tuck Index zu Termin 1 betrug 61,56 % und der bei Termin 2 betrug 62,11 %. Die Differenz beträgt daher 0,55 %. Bei dem durchschnittlich kleinsten Hüftwinkel während der Rotation ist die Tendenz zu erkennen, diesen nach dem Trainingsprogramm von 16 Wochen kleiner auszuführen. Dies führte jedoch in der Versuchsgruppe dieser Untersuchung nicht zu einem durchschnittlich kleineren Tuck Index, wie sowohl die Durchschnittswerte optisch als auch statistisch vergleichend, ergeben.

Tab. 15: Darstellung der Mittelwerte des Tuck Index und der 5 m Rundenzeit von Termin 1 und Termin 2 der Versuchsgruppe.

N = 18	Termin 1	Termin 2	Differenz	Desweiteren soll untersucht werden, ob eine Änderung des Tuck Index bei der
Tuck Index [%]	61,56	62,11	0,55	
5 m RTT [s]	6,1767	6,2006	0,0239	

Versuchsgruppe in dieser Studie mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammenhängt. Bei der Überprüfung dessen mittels IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, soll die Pearson Produkt-Moment-Korrelation herangezogen werden. Die Voraussetzung der Intervallskalierung ist gegeben; die Irrtumswahrscheinlichkeit bei einer Annahme der Normalverteilung beträgt laut Kolmogorov-Smirnov-Test für die Differenz des Tuck Indexes 0,199 und für die Differenz der 5 m Rundenzeit 0,2. Da beide Werte über 0,05 betragen, sind die p-Werte nicht signifikant und es darf von einer Normalverteilung ausgegangen werden (O'Donoghue, 2012). Daher wird die Pearson Produkt-Moment-Korrelation durchgeführt. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0,370, was besagt, dass ein geringer negativer Zusammenhang besteht. Die Irrtumswahrscheinlichkeit der Pearson Produkt-Moment-Korrelation ergibt 0,131 wodurch der Wert nicht signifikant ist. Daher muss davon ausgegangen werden, dass der geringfügige Zusammenhang zwischen der Änderung des

Tuck Indexes und der 5 m Rundenzeit zufällig zustande gekommen ist (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012).

Dies wird mittels eines Vergleichs der Mittelwerte in Excel überprüft. In Tabelle 15 sind der Mittelwert des Tuck Index und der Mittelwert der 5 m Rundenzeit zu Termin 1 und Termin 2 der Teilnehmer und Teilnehmerinnen der Versuchsgruppe veranschaulicht. Die Differenz gibt jeweils den Unterschied von Termin 1 zu Termin 2 an. Der Tuck Index war bei Termin 2 durchschnittlich um 0,55 % größer als bei Termin 1, die 5 m Rundenzeit verlangsamte sich im Durchschnitt um 0,0239 s. Optisch betrachtet sieht es so aus, als würde ein größerer Tuck Index zu einer langsameren 5mRTT führen. Jedoch die Ergebnisse in IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0 ergeben, dass der geringfügige Zusammenhang als zufällig betrachtet werden muss.

3.5.4 Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation

Ein geringerer Abstand zur Wand bedeutet, dass sich der Schwimmer oder die Schwimmerin während der Rotation kleiner machen muss, daher also einen kleineren Knie- und Hüftwinkel hat. Bei einer größeren Distanz zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation können Knie- und Hüftwinkel größer bleiben. In ersterem Fall ist es für den Athleten oder die Athletin möglich, mit vollem Tempo bis zur Wand zu schwimmen und die Rotation ohne Verzögerung einzuleiten. Wenn die Rotation jedoch weiter weg von der Wand eingeleitet wird, ist eine kurze Verzögerung der gestreckten Beine an der Wasseroberfläche notwendig. Zusätzlich wird in diesem Fall sehr oft die Geschwindigkeit zumindest geringfügig vermindert. Eine Verminderung des Tempos vor der Einleitung der Rotation führt zu einer langsameren Rotationsgeschwindigkeit und somit zu einer längeren Drehzeit und einer geringeren Abstoßgeschwindigkeit (Pereira et al., 2006). Zusätzlich würde in diesem Fall die Drehgeschwindigkeit durch eine engere Position während der Rotation erhöht (Maglischo, 2003). Ein weiterer Faktor ist der geringere Tuck Index, welcher sich aus dieser engeren Position während der Rotation ergibt (siehe Kapitel 2.3.3 und 3.5.3). Aus diesen Gründen wäre eine geringere Distanz zur Wand zum Zeitpunkt der Rotation vorteilhaft. Diese Annahme soll durch diese Studie unterstützt werden. Dafür werden eine Zusammenhangshypothese (H1) und eine Gegenhypothese (H0) gebildet (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012):

H0: Es besteht kein Zusammenhang zwischen der Änderung des Abstands zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation und der Änderung der 5 m Rundenzeit.

H1: Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Änderung des Abstands zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation und der Änderung der 5 m Rundenzeit.

Tab. 16: Darstellung der Mittelwerte des Abstandes zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation sowie der 5 m Rundenzeit während Termin 1 und Termin 2 der Versuchsgruppe.

N = 18	Termin 1	Termin 2	Differenz
s _D [cm]	99,78	101,46	1,68
5 m RTT [s]	6,1767	6,2006	0,0239

Nun soll untersucht werden, ob eine Änderung des durchschnittlichen Abstandes zur

Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation mit einer Änderung der durchschnittlichen 5 m Rundenzeit zusammenhängt. Dafür soll die Pearson Produkt-Moment-Korrelation angewendet werden. Die Voraussetzung der Intervallskalierung ist gegeben; zur Überprüfung der Normalverteilung wird der Kolmogorov-Smirnov Test ausgeführt. Die p-Werte der Differenz des Abstandes zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation sowie der Differenz der 5 m Rundenzeit betragen 0,2. Da beide Werte über 0,05 sind, sind beide Ergebnisse nicht signifikant und es darf von einer Normalverteilung beider Varianzen ausgegangen werden (O'Donoghue, 2012). Aus diesem Grund darf die Pearson Produkt-Moment-Korrelation durchgeführt werden. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,027 was auf eine sehr geringfügige Korrelation hinweist. Der p-Wert liegt bei 0,914 und somit ist das Ergebnis nicht signifikant. Daher ist der bereits sehr geringfügige Zusammenhang zufälliger Natur (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012).

Diese Daten werden mithilfe eines Vergleichs der Mittelwerte des Abstandes zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation sowie der 5 m Rundenzeiten zwischen Termin 1 und Termin 2 auf Praxisrelevanz überprüft. Tabelle 16 veranschaulicht die Mittelwerte des Abstandes zur Wand zum Zeitpunkt der Rotation sowie der 5 m Rundenzeiten zu beiden Terminen. Der Mittelwert des Abstands zur Wand ist bei dem zweiten Termin im Durchschnitt um 1,68 cm kleiner als bei Termin 1, und die Rundenzeit bei Termin 2 um 0,0239 s langsamer. Optisch betrachtet ergibt dies die Tendenz, dass in diesem Fall bei den Schwimmern und Schwimmerinnen der Versuchsgruppe durch eine im Durchschnitt 1,62 cm größere Distanz zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Wende die 5 m Rundenzeit um 2 hundertstel Sekunde langsamer wird. Dies kann jedoch auch mit anderen Faktoren zusammenhängen und ist nicht eindeutig auf die Distanz zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Wende rückführbar, wie das Ergebnis der Untersuchung mit IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0 zeigt.

3.5.5 Wandkontaktzeit

Diese Studie versucht ebenfalls einen Zusammenhang zwischen der Wandkontaktzeit und der 5 m Rundenzeit herzustellen. Die Zusammenhangshypothese (H1) und deren Gegenhypothese (H0) lauten wie folgt (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012):

H0: Eine Änderung der Wandkontaktzeit hängt nicht mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen.

H1: Eine Änderung der Wandkontaktzeit hängt mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen.

Um diese Hypothesen zu überprüfen, sollte eine Pearson Produkt-Moment-Korrelation durchgeführt werden. Die Voraussetzung der Intervallskalierung ist erfüllt, die der Normalverteilung wird mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft. Die p-Werte der Differenz der 5 m Rundenzeit sowie der Differenz der Wandkontaktzeit betragen 0,2. Da beide Werte größer als 0,05 sind, sind die Ergebnisse nicht signifikant und es darf von einer Normalverteilung ausgegangen werden (O'Donoghue, 2012). Daher gelten die Voraussetzungen für eine Durchführung der Pearson Produkt-Moment-Korrelation als erfüllt. Der Korrelationskoeffizient dieses beträgt 0,696 und deutet somit auf einen mittleren positiven Zusammenhang hin. Der p-Wert beträgt 0,001, wodurch von einem signifikanten Wert und einem über den Zufall hinausgehenden Zusammenhang ausgegangen werden kann (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012).

Tab. 17: Darstellung der Durchschnittswerte der Wandkontaktzeit (t_{KONT}) sowie der 5 m RTT der Versuchsgruppe.

N = 18	Termin 1	Termin 2	Differenz
t_{KONT} [s]	0,328	0,322	0,007
5mRTT [s]	6,1767	6,2006	0,0239

Bei der Betrachtung der Durchschnittswerte, die in Tabelle 17 dargestellt sind, ist zu erkennen, dass die Wandkontaktzeit der Versuchsgruppe beim zweiten Termin im Durchschnitt um 0,007 s kürzer wurde. Jedoch die 5 m Rundenzeit verlangsamte sich im Durchschnitt um 0,0239 s. Da die Ergebnisse von IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0 auf einen positiven mittleren Zusammenhang hindeuten, könnte dies gedeutet werden, dass eine kürzere Wandkontaktzeit zu einer langsameren 5 m Rundenzeit geführt haben könnte. Dies kann jedoch nicht verallgemeinert werden, da noch viele andere Faktoren die 5 m Rundenzeit beeinflussen.

3.5.6 Drehzeit

Ein größerer Knie- und Hüftwinkel bewirkt eine größere Angriffsfläche und daher größere Wasserwiderstandskräfte, was zu langsameren Drehzeiten führt (Blanksby et al., 1998). Dies trifft jedoch nur bedingt auf alle Schwimmer und Schwimmerinnen zu, denn Takahashi et al. (1983) haben untersucht, dass Freizeitschwimmer oder Freizeitschwimmerinnen, sowie weniger erfahrene Schwimmer und Schwimmerinnen mit einem eher kleinen Kniewinkel von zirka 90° bessere Resultate erzielen. Dies soll mithilfe einer

Zusammenhangshypothese (H1) und einer Gegenhypothese (H0) in dieser Studie anhand der Gesamtstichprobe untersucht werden (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012).

H0: Eine Änderung der Drehzeit hängt nicht mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen.

H1: Eine Änderung der Drehzeit hängt mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen.

Bei der Überprüfung dieser Hypothese soll abermals die Pearson Produkt-Moment-Korrelation angewendet werden. Die Voraussetzung der Intervallskalierung ist auch in diesem Fall gegeben. Die Normalverteilung soll mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests überprüft werden. Dieser ergibt für beide Varianzen einen p-Wert von 0,2 wodurch beide Werte größer als 0,05 sind. Daher sind die Ergebnisse nicht signifikant und es darf von einer Normalverteilung ausgegangen werden (O'Donoghue, 2012). Aus diesem Grund darf die Pearson Produkt-Moment-Korrelation durchgeführt werden. Deren Korrelationskoeffizient beträgt 0,193. Dies deutet auf einen geringen positiven Zusammenhang hin. Der p-Wert mit 0,443 ist größer als 0,05, wodurch der Wert nicht signifikant ist und der geringe Zusammenhang zufällig begründet ist (Rockmann & Bömermann, 2006; O'Donoghue, 2012).

Tab. 18: Darstellung der durchschnittlichen Werte der Rotationszeit (t_D) sowie der 5 m RTT der Versuchsgruppe

N=18	Termin 1	Termin 2	Differenz
t_D [s]	0,927	0,926	0,001
5mRTT [s]	6,1767	6,2006	0,0239

Tabelle 18 stellt die Durchschnittswerte der Rotationszeit sowie der 5

m Rundenzeit dar. Die Werte der Rotationszeit sind an beiden Terminen sehr ähnlich und unterscheiden sich nur durch eine Verbesserung von 0,001 s; von 0,927 s zu 0,926 s. Die Verschlechterung der 5 m Rundenzeit beträgt im Durchschnitt 0,0239 s. Laut IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, Auswertung würde die Verbesserung von 0,001 s der Rotationszeit mit einer Verschlechterung der 5 m Rundenzeit von 0,0239 s in sehr geringem zufälligen Zusammenhang stehen. Es kann daher nicht generalisierend gesagt werden, dass eine Verkürzung der Rotationszeit zu einer Verbesserung/Verschlechterung der 5 m Rundenzeit führt, da viele zusätzliche Faktoren die Dauer der 5 m Rundenzeit beeinflussen, die bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden.

3.6 Resultate

In Tabelle 19 und Tabelle 20 sind die Ergebnisse der Auswertung der Videos dargestellt. Die analysierten Werte wurden mit Hilfe von IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, ausgewertet. Diese Auswertungen der 5 m Rundenzeit des ersten Termins (5mRTT1), des zweiten Termins (5mRTT2) sowie die Anschwimmgeschwindigkeit (v_{AN}), die

Abstoßgeschwindigkeit (v_{AB}), die Distanz zwischen Kopf und Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation (s_D), die Dauer der Rotation (t_D), die Dauer des Wandkontaktes (t_{KONT}), der Tuck Index und der kleinste Hüftwinkel während der Rotation (ϕ_{ABST}) sind dargestellt. Die Zahlen hinter den Abkürzungen weisen darauf hin, ob es sich um Termin 1 (1) oder um Termin 2 (2) handelt. In den Tabellen ist ebenfalls gekennzeichnet, in welchen Einheiten die Werte angegeben sind. Tabelle 19 stellt die Ergebnisse der Versuchsgruppe und Tabelle 20 die Ergebnisse der Kontrollgruppe dar. Von beiden Gruppen sind jeweils die Mittelwerte, die Standardabweichungen (sd), der minimale (Min) sowie der maximale (Max) Wert angegeben, um einen Eindruck der restlichen Ergebnisse zu vermitteln. Die 5 m Rundenzeit des ersten Termins betrug bei der Versuchsgruppe mit 18 Personen ($n=18$) im Durchschnitt 6,1767 s mit einer Standardabweichung von 0,61 s. Die kürzeste Zeit, die ein Schwimmer oder eine Schwimmerin der Versuchsgruppe für die 5 m vor bis 5 m nach der Wende benötigte, lag bei 4,9 s und die längste bei 7,28 s. Die durchschnittliche 5 m Rundenzeit der Kontrollgruppe betrug 5,69 s, mit einer Standardabweichung von 0,54 s, einem Minimalwert von 4,9 s und einem Maximalwert von 6,68 s. Nach dem 16-wöchigen Trainingsprogramm betrug die mittlere 5 m Rundenzeit der Schwimmer und Schwimmerinnen der Versuchsgruppe 6,2006 s, mit einer Standardabweichung von 0,65 s, einer minimalen Zeit von 4,76 s und einer maximalen Zeit von 7,43 s. Die Kontrollgruppe erreichte beim zweiten Termin einen Mittelwert von 5,62 s bei der 5 m Rundenzeit, eine Standardabweichung von 0,51 s, ein Minimum von 4,86 s und ein Maximum von 6,61 s. Die Anschwimmzeit während des ersten Termins betrug bei der Versuchsgruppe 1,59 m/s, mit einer Standardabweichung von 0,23 m/s. Der oder die langsamste Schwimmer oder Schwimmerin schwamm 1,15 m/s und der oder die schnellste 1,99 m/s. Beim zweiten Termin betrug die durchschnittliche Geschwindigkeit der Versuchsgruppe 1,66 m/s, die Standardabweichung 0,31 m/s, der langsamste Wert abermals 1,15 m/s und die maximale Geschwindigkeit bei 2,19 m/s. Bei der Kontrollgruppe lag der Mittelwert der Anschwimmgeschwindigkeit des ersten Termins bei 1,69 m/s, die Standardabweichung 0,15 m/s, der langsamste Wert bei 1,48 m/s und der schnellste bei 1,96 m/s. Nach dem Trainingsprogramm betrug die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kontrollgruppe 1,62 m/s, die Standardabweichung 0,23 m/s, die langsamste Anschwimmgeschwindigkeit 1,28 m/s und die schnellste 1,96 m/s. Die durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit der Versuchsgruppe während des ersten Termins betrug 2,36 m/s, die Standardabweichung 0,31 m/s, der minimale Wert 1,9 m/s und der maximale Wert 2,85 m/s. Beim zweiten Termin betrug die durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit der Versuchsgruppe 2,4 m/s, die Standardabweichung lag bei 0,36 m/s, die langsamste Abstoßgeschwindigkeit lag bei 1,71 m/s und die schnellste bei 3,02 m/s. Die Kontrollgruppe erreichte während des ersten Termins eine durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit von 2,51 m/s mit einer

Standardabweichung von 0,25 m/s, einem minimalen Wert von 2,06 m/s und einem maximalen Wert von 2,89 s. Nach den 16 Wochen betrug die durchschnittliche Abstoßgeschwindigkeit 2,47 m/s, die Standardabweichung 0,2 m/s, die schnellste Abstoßgeschwindigkeit lag bei 2,13 m/s und die schnellste bei 2,88 m/s. Der durchschnittliche Abstand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation lag bei dem ersten Termin bei 99,78 cm, bei Termin 2 bei 101,45 cm. 98,29 cm betrug die mittlere Distanz des Schwimmers oder der Schwimmerin der Kontrollgruppe während des ersten Termins zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation. Bei Termin 2 betrug der durchschnittliche Wert 99 cm. Die durchschnittliche Dauer der Rotation liegt bei der Versuchsgruppe während des ersten Termins bei 0,93 s, bei der Kontrollgruppe bei 0,88 s. Bei Termin 2 liegen die durchschnittlichen Werte beider Gruppen mit Termin 1 überein. Die Versuchsgruppe erreichte eine mittlere Kontaktdauer von 0,33 s und die Kontrollgruppe von 0,28 s bei dem ersten Termin. Beim zweiten Termin lag der Mittelwert der Versuchsgruppe bei 0,32 s und der Kontrollgruppe bei 0,25 s. Der durchschnittliche Tuck Index betrug bei Termin 1 der Versuchsgruppe 61,56 % und bei Termin 2 62,11 %, die Versuchsgruppe hatte einen Durchschnitt von 71,44 % und beim zweiten Termin 69,78 %. Der durchschnittliche kleinste Hüftwinkel der Versuchsgruppe lag bei 47,33 ° beim ersten und bei 42,67 ° beim zweiten Termin. Verglichen dazu hatte die Kontrollgruppe einen kleineren Mittelwert mit 37,78 ° und 34,89 °.

Tab. 19: Darstellung der Ergebnisse der Auswertung der Versuchsgruppe.

N=18	Mittelwert	sd	Min	Max
5mRTT1 [s]	6,1767	0,61	4,9	7,28
5mRTT2 [s]	6,2006	0,65	4,76	7,43
V _{AN} 1 [m/s]	1,59	0,23	1,15	1,99
V _{AN} 2 [m/s]	1,66	0,31	1,15	2,18
V _{AB} 1 [m/s]	2,364	0,31	1,9	2,85
V _{AB} 2 [m/s]	2,40	0,36	1,71	3,02
S _D 1 [cm]	99,778	20,93	65,4	137,7
S _D 2 [cm]	101,45	24,61	52,1	142,9
t _D 1 [s]	0,927	0,14	0,68	1,15
t _D 2 [s]	0,93	0,12	0,8	1,16
t _{KONT} 1 [s]	0,328	0,06	0,23	0,46
t _{KONT} 2 [s]	0,32	0,10	0,2	0,63
Tuck Index1 [%]	61,56	9,21	37	77
Tuck Index2 [%]	62,11	13,52	33,5	83
α _{HÜFT} 1 [°]	47,33	14,07	31	93
α _{HÜFT} 2 [°]	42,67	10,63	15	58

Tab. 20: Darstellung der Ergebnisse der Auswertung der Kontrollgruppe.

N=9	Mittelwert	sd	Min	Max
5mRTT1 [s]	5,69	0,54	4,9	6,68
5mRTT2 [s]	5,62	0,51	4,86	6,61
V _{AN} 1 [m/s]	1,69	0,15	1,48	1,96
V _{AN} 2 [m/s]	1,62	0,23	1,28	1,96
V _{AB} 1 [m/s]	2,51	0,25	2,06	2,89
V _{AB} 2 [m/s]	2,47	0,20	2,13	2,88
S _D 1 [cm]	98,29	18,51	61,5	129,7
S _D 2 [cm]	99,80	15,57	69,5	119,2
t _D 1 [s]	0,88	0,8	0,73	0,98
t _D 2 [s]	0,88	0,10	0,76	1,08
t _{KONT} 1 [s]	0,28	0,11	0,15	0,48
t _{KONT} 2 [s]	0,25	0,09	0,15	0,45
Tuck Index1 [%]	71,44	16,53	29	84
Tuck Index2 [%]	69,78	13,29	49	89
α _{HÜFT} 1 [°]	37,78	6,04	24	44
α _{HÜFT} 2 [°]	34,89	6,62	24	44

4 Diskussion

Die Versuchsgruppe erreichte während des ersten Termins eine durchschnittliche 5 m Rundenzeit von 6,1767 s und beim zweiten Termin verschlechterte sich die 5 m Rundenzeit im Durchschnitt 0,0239 s auf 6,2006 s. Die Kontrollgruppe jedoch benötigte im Mittel 5,692 s bei Termin 1 und 5,622 s bei Termin 2, was einen Unterschied von 0,07 s ergibt. Dabei wurde die Kontrollgruppe, im Gegensatz zur Versuchsgruppe, um 0,07 s schneller nach dem 16- wöchigen Training. Die Versuchsgruppe war beim ersten Termin schneller als beim zweiten und die Kontrollgruppe war beim zweiten Termin schneller als bei dem ersten. Das lässt darauf schließen, dass das Training der Ausführung der Wende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel bei den Probanden und Probandinnen dieser Studie zu einer langsameren Zeit führte, als mit größerem Hüft- und Kniewinkel. Jedoch kann nicht darauf geschlossen werden, dass nur die Ausführung des kleineren Hüftwinkels zu einer derartigen Verschlechterung führte, da noch viele andere, vernachlässigte, Aspekte auf die 5 m Rundenzeit einwirken. Bei der Beobachtung der Durchführung der Wendes des zweiten Termins konnte bestätigt werden, dass die Schwimmer und Schwimmerinnen nach dem 16- wöchigen Training während der Rollwende tatsächlich einen kleineren Hüft- und Kniewinkel ausführten. Die Winkel während der Rollwende vergleichbar zu messen erwies sich als äußerst schwierig. Grundsätzlich war gedacht, die Überwasserkamera für diese Messungen zu verwenden, jedoch zeigte sich, dass die Videos für derartige Messungen unbrauchbar waren. Daher musste auf qualitative Beobachtung statt quantitative Messung zurückgegriffen werden. Demnach beurteilte die Studienleiterin die Wendes vor Ort, ob diese mit großem oder kleinem Hüft- und Kniewinkel ausgeführt wurden. Zwei Winkel konnten jedoch gemessen werden, mit welchen eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den Schwimmern und Schwimmerinnen als auch zwischen Termin 1 und Termin 2 erreicht werden konnte. Diese Winkel waren der größte Kniewinkel bei Start der Rotation sowie der kleinste Hüftwinkel während der Rotation. Jedoch erwies sich bei der Messung des kleinsten Hüftwinkels, dass sowohl die Versuchsgruppe als auch die Kontrollgruppe, beim zweiten Termin einen um mindestens 3° kleineren Wert aufwiesen. Es ist aber nicht möglich, alleine durch diesen Winkel zu beurteilen, welche Ausführung der Wende praktiziert wurde. Der Grund dafür liegt daran, dass bei dem Unterschied, ob die Wende mit kleinem oder großem Hüft- und Kniewinkel ausgeführt wird, es sich auch um zeitliche Faktoren handelt. Diese zeitlichen Unterschiede, wie lange die Beine an der Wasseroberfläche verzögert werden, wie lange die Knie brauchen, um einen minimalen Winkel zu erreichen, ist kaum messbar, sondern nur optisch qualitativ erkennbar.

Ein möglicher Grund, warum die Kontrollgruppe von der Intervention profitierte und die Versuchsgruppe langsamer wurde, könnte sein, dass die kleine Rollwende für die

untersuchten Schwimmer und Schwimmerinnen die langsamere Variante darstellt. Möglicherweise profitieren diese Athleten und Athletinnen mehr von einer Rollwende mit größerem Hüft- und Kniewinkel. Eine andere Möglichkeit ist, dass das Leistungsniveau einiger Schwimmer und Schwimmerinnen zu niedrig sind, oder die anthropometrischen Voraussetzungen bedingen, dass eine größere Ausführung Zeit sparender ist. Weiters könnte ein Punkt sein, dass mögliche Messfehler die Untersuchung verfälschten. Ebenfalls könnte ein Punkt sein, dass die Ausführung während des Trainings nicht effizient genug trainiert wurde. Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt ist die Erkenntnis, dass bei motorischem Umlernen einer Technik Nebeneffekte auftreten können. Diese können zu einer Leistungsbeeinträchtigung, wie in diesem Fall, einer zeitlichen Verschlechterung der 5 m Rundenzeit führen, bevor es zu einer Leistungsverbesserung kommt. Oft wird eine Eingewöhnungsphase nach der Umstellung der Technik benötigt (Meinel & Schnabel, 2007). Dieses Wissen wurde bei der Durchführung der Untersuchung in Betracht gezogen. Da jedoch die Dauer Eingewöhnungsphase sehr individuell ist (Meinel & Schnabel, 2007), kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass die 16 Wochen, die für diese Studie gewählt worden sind, ausreichend waren.

Desweiteren wurde untersucht, ob gewisse Änderungen in der Ausführung der Rotation sich gegenseitig beeinflussen beziehungsweise mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen hängen. Die Untersuchung ergab, dass eine Änderung des Hüftwinkels während der Rotation nicht mit einer Änderung des Tuck Index zusammen hängt, wie ursprünglich angenommen. Die Distanz zwischen Wand und Kopf zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation beeinflusst laut Pereira et al. (2006) die Größe des Kniewinkels während der Rotation, und die Anschwimmgeschwindigkeit knapp vor der Einleitung der Wende. Bei einem größeren Abstand zur Wand würden die Knie gestreckter und die Geschwindigkeit, mit der der Schwimmer oder die Schwimmerin in die Wende startet, geringer sein. Dadurch würde es zu einer langsameren Rotationsgeschwindigkeit, einer längeren Drehzeit und einer geringeren Abstoßgeschwindigkeit kommen. Auch Maglischo (2003) empfiehlt weniger Abstand zur Wand, damit eine engere Position während der Rotation eingenommen und dadurch höhere Drehgeschwindigkeiten erzielt werden können. Die Analyse der Änderungen dieser Werte bei dieser Untersuchung ergab, dass eine Änderung des Abstands zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen hängen kann. Dass ein größerer Abstand zur Wand zu einem größeren Tuck Index führt, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, da noch viele andere Faktoren, die bei dieser Untersuchung möglicherweise nicht berücksichtigt wurden, diesen beeinflussen.

Bei den Schwimmern und Schwimmerinnen der Versuchsgruppe hing eine Änderung des Tuck Index mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen. Die Ergebnisse der Studie sowie der Vergleich der Mittelwerte lassen ahnen, dass ein durchschnittlich größerer Tuck Index mit einer durchschnittlich langsameren Rundenzeit der Versuchsgruppe dieser Untersuchung zusammenhängt. Dieser Zusammenhang kann jedoch nur als Vermutung dargestellt werden, da zusätzlich viele andere Faktoren die 5 m Rundenzeit beeinflussen, die nicht in dieser Untersuchung erhoben sind. Diese Vermutung stünde zusätzlich im Gegensatz zu der Erkenntnis, die Blanksby et al. (1996) gemacht haben. Das mag auf das junge Alter und die daher noch nicht perfektionierte Technik der Athleten und Athletinnen zurückzuführen sein. Takahashi et al. (1983) empfehlen für weniger erfahrene Schwimmer und Schwimmerinnen einen kleineren Kniewinkel von in etwa 90° , verglichen mit den Winkeln, die Topschwimmer und Topschwimmerinnen bevorzugen sollten. Es konnte jedoch ermittelt werden, dass eine Änderung der Wandkontaktzeit sowie eine Änderung des Tuck Index mit einer Änderung der 5 m Rundenzeit zusammen hängt. Es kann aufgrund von Mittelwertvergleichen sowie den Ergebnissen der IBM® SPSS® Statistics, Version 21.0.0.0, Auswertungen vermutet werden, dass durch eine durchschnittlich kürzere Wandkontaktzeit und ein durchschnittlich kleinerer Tuck Index die durchschnittliche 5 m Rundenzeit der Gesamtstichprobe dieser Untersuchung verkürzt werden konnte. Dies kann jedoch nicht mit Sicherheit auf diese Faktoren zurückgeführt werden, da auch viele andere Einflussfaktoren zu berücksichtigen sind.

Messfehler können während dieser Studie nicht komplett ausgeschlossen werden. Wie in Kapitel 3.3.2 erwähnt, wurden zwei Kameras während der Erhebungen vertauscht, wodurch die Kameraeinstellungen leichte Unterschiede aufwiesen. Desweiteren ist das Alter der Schwimmer und Schwimmerinnen teilweise sehr unterschiedlich, mit einem Minimum von 10 und einem Maximum von 17 Jahren. Wenn das Leistungsniveau und das Alter sowie die Trainingshäufigkeit homogener wären, könnten aussagekräftigere Werte erhoben werden.

Außerdem ist die gewählte Aufnahmefrequenz von 60 Hz für diese Erhebungen an der unteren Grenze. Auch ist die Software Kinovea (www.kinovea.org) vermutlich nicht für derartig genaue Messungen gedacht, weil ein Messfehler von einem Millimeter auf dem Bild zu mehreren Zentimetern in Wirklichkeit führen kann. Daher kann es ebenfalls zu Messfehlern kommen. Zusätzlich wurde während der Untersuchung festgestellt, dass GoPro Kameras für diese Messungen nicht optimal sind, weil durch den Fisch-Augen-Effekt Verzerrung entstanden sind. Diese wurden versucht mithilfe des Programms Go Pro Studio zu eliminieren, es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass immer noch leichte Verzerrungen zu erkennen und zu messen sind. Diese würden die Ergebnisse beeinflussen.

Ein weiterer Aspekt, der möglicherweise zu Messfehlern geführt haben könnte ist, dass das Anfangsniveau der Schwimmer und Schwimmerinnen sehr unterschiedlich war. Grundsätzlich sollten für diese Untersuchung Nachwuchsschwimmer und Nachwuchsschwimmerinnen herangezogen werden, jedoch war die Ausführung einiger Personen zu schlecht um für die Untersuchung gewertet werden zu können. Aus diesem Grund wurden diejenigen, deren Ausführung als zu schlecht angesehen wurde, von der Studie ausgeschlossen. Trotzdem wurden ein paar Schwimmer und Schwimmerinnen in die Untersuchung miteinbezogen, deren Rollwenden erst am Beginn einer „Feinform“ standen. Außerdem wurde im Laufe der Studie das Erkenntnis gewonnen, dass der untersuchte Aspekt relevanter für Hochleistungsschwimmer und Hochleistungsschwimmerinnen wäre als für Nachwuchsschwimmer und Nachwuchsschwimmerinnen, weil dieser eine sehr stabile „Feinform“ der Rollwende fordert um einen wirklichen Unterschied zu messen. Daher wäre es erstrebenswert, diese Studie nochmal mit Hochleistungsschwimmern und Hochleistungsschwimmerinnen durchzuführen.

Erschwert wurde die Vergleichbarkeit der Wenden auch durch die individuelle unterschiedliche Anschwimmgeschwindigkeit während der beiden Termine der Schwimmer und Schwimmerinnen. In Kapitel 2.3.1 wird erläutert, welchen großen Einfluss die Anschwimmgeschwindigkeit auf die darauffolgenden Phasen der Rollwende hat. Da die Schwimmer und Schwimmerinnen unterschiedlich schnell anschwammen, trotz der Anweisung, bei beiden Terminen das Anschwimmen mit maximaler Geschwindigkeit durchzuführen, kann dies zu einer Beeinträchtigung der Ergebnisse geführt haben. Wie dies jedoch in Zukunft verbessert werden kann, ist fraglich. Pereira et al. (2015) führten eine Studie durch, in welcher sie 17 Schwimmern und Schwimmerinnen jeweils vier unterschiedliche Wendentechniken schwimmen ließen. Diese wurden jeweils gefilmt, auf gewisse kinematische und kinetische Parameter hin analysiert und anschließend miteinander verglichen. Um jedoch die Werte tatsächlich miteinander vergleichen zu können, mussten Pereira et al. (2015) ebenfalls die Anschwimmgeschwindigkeit berücksichtigen. Diese ist aber mit keinem Wort erwähnt, woraus geschlossen werden kann, dass auch für diese Studie keine Möglichkeit gefunden wurde, die Werte mithilfe der Anschwimmgeschwindigkeit zu relativieren. In der aktuellen Studie wurde versucht deren Einflussfaktor zu minimieren, indem die Zeit von 2 m vor bis 5 m nach der Wende, wie in Kapitel 3.5.2 beschrieben, gemessen wurde. Jedoch ergab die Untersuchung dieser Distanz, dass die Versuchsgruppe beim zweiten Termin um im Durchschnitt 8 hundertstel Sekunden langsamer waren, die Kontrollgruppe um durchschnittlich 16 hundertstel Sekunden schneller. Es muss beachtet werden, dass bei der Berechnung dieser Zeit nicht

mit eingerechnet wurde, dass bei höherer Anschwimmgeschwindigkeit auch die Rotationszeit minimiert wird. Zusätzlich könnte sich bei guter Umsetzung durch den Schwimmer oder die Schwimmerin und durch eine höhere Anschwimmgeschwindigkeit, auch die Wandkontaktzeit und die Abstoßgeschwindigkeit verkürzen.

Schlussendlich kann nicht gesagt werden, dass die Ausführung der Rollwende mit kleinem Hüft- und Kniewinkel dem Schwimmer oder der Schwimmerin zeitliche Vorteile verschafft, wie es die theoretischen Grundlagen vermuten hätten lassen. Dies könnte jedoch durch etwaige Messfehler oder die Eigenschaften der Personenstichprobe verfälscht sein.

Des Weiteren fiel bei Beobachtungen der verschiedensten Wettkampfschwimmer und Wettkampfschwimmerinnen auf, dass diese unterschiedlichste Techniken der Rollwende ausführen. Verschiedene Teilelemente der Rollwende werden unterschiedlich praktiziert. Aus diesem Grund untersuchten Pereira et al. (2015) und Pereira et al. (2011) vier unterschiedliche Arten, wann die Rotation um die frontosagittale Achse passieren soll. In deren Studie konnte kein signifikanter Zeitgewinn bei einer der vier Ausführungen festgestellt werden. Keine der Varianten konnte als durchschnittlich die langsamste festgestellt werden, und jede Ausführungsform bot zumindest einem Schwimmer oder einer Schwimmerin den zeitsparendsten Durchgang. Jedoch streichen Pereira et al. (2015) hervor, dass bei Schwimmwettkämpfen bereits sehr geringe Zeitunterschiede entscheidend sein können, diese Unterschiede sind jedoch teilweise zu gering um sie statistisch messbar zu machen. Daher ist es umso wichtiger, nicht nur die zu analysierende Gruppe zu betrachten sondern den individuellen Schwimmer oder die Schwimmerin. Des Weiteren lautet die Empfehlung für den Tuck Index während des Abstoßes, dass erfahrenere Schwimmer und Schwimmerinnen von einem größeren profitieren würden, jene, die jedoch leistungsmäßig schwächer wären, sollten einen Abstoß mit kleinerem Tuck Index wählen (Takahashi et al., 1983). Jedoch unterscheiden sich die verschiedenen Autoren bei diesen Empfehlungen teilweise sehr stark. Diese Unterschiede bei der Beschreibung der vorteilhaftesten Variante mögen daran liegen, dass bisher zu wenig Forschung in diesem Bereich betrieben wurde, oder dass die individuellen Faktoren der Athleten und Athletinnen derartig starken Einfluss auf die Ausführung der Rotation haben, dass nicht von einer optimalen Technik gesprochen werden kann. Diesbezüglich können Größe, Gewicht, Länge der Gliedmaßen, Beweglichkeit, Kraft in den unteren Extremitäten, geschwommene Distanz und vieles mehr, derartig starken Einfluss auf die Ausführung der Rollwende haben, dass diese nicht generell zwischen Schwimmern und Schwimmerinnen verglichen werden können. So sagt auch Pfeifer (1991), der unter anderem die Rollwenden während der Olympischen Spiele 1988 in Seoul beobachtete, dass gravierende Unterschiede bei den Finalteilnehmern und Finalteilnehmerinnen für eine Strecke bestehen. Er gibt an, dass er

kein einheitliches Technikleitbild, das zum Erfolg führt, beobachten konnte. Stattdessen hätte er eine sehr starke Individualisierung bei der Ausführung der Rollwenden und die Nutzung der jeweiligen Stärken, gesehen. Maglischo (2003) nahm bei Analysen wahr, dass Sprinter oder Sprinterinnen die Rotation mit weniger Distanz zur Wand einleiten, als jene, die längere Strecken schwimmen. Des Weiteren empfehlen Ungerechts et al. (2002), dass die Distanz zur Wand beim Start der Rotation die Körpergröße des Athleten oder der Athletin betragen soll. All dies lässt darauf schließen, dass sehr große individuelle optimale Bewegungsformen bei der Ausführung bestehen und nicht eine einzige ideale Variante besteht. Daher müsste für jeden Schwimmer und jede Schwimmerin einzeln die individuelle optimale Ausführung ermittelt werden.

5 Ausblick

Aufgrund sehr unterschiedlicher Vorgangsweisen bei der Ermittlung von Daten der Rollwende, der teilweise sehr vagen Beschreibung der Methoden von Studien und unterschiedlichen Bezeichnungen, kommt es zu einer äußerst schweren Vergleichbarkeit der Studien und der Messergebnisse (Puel et al., 2012). Beispielsweise bezeichnen manche Studienleiter die Distanz von 5 m vor bis 5 m nach der Rollwende als 5 m RTT und andere als 10 m RTT. Außerdem verwenden Puel et al. (2006) und Puel et al. (2010) die 3 m RTT, Shahabazi et al. (2007) die 7,5 m RTT, Blanksby et al. (1996) die 5 m RTT, Cossor et al. (1999) die 2,5 m RTT, Puel et al. (2011), Puel et al. (2012) die 3 m RTT und Bahadoran et al. (2012) die 15 m RTT. Aufgrund dieser unterschiedlichen Distanzen der Messungen von Rundenzeiten, ist eine einheitliche Vergleichbarkeit kaum möglich. Jede Studie gibt an, etwas anderes zu messen und begründet darin die gewählte Distanz. Wenn jedoch eine einheitliche Distanz der Rundenzeit gewählt wäre, beispielsweise 5 m, und die Studien zusätzlich eine individuelle Distanz der RTT wählen würden, wäre eine Vergleichbarkeit zwischen den Studien möglich.

Außerdem gibt es keine einheitliche Definition, wann welche Phase der Rollwende startet und wann diese endet. Als Beispiel sei hier genannt, dass manche Autoren (Pereira et al., 2011) vom Start der Rotation als Eintauchen des letzten Armzuges, und andere (Recht, 2003; Blanksby et al., 1996) als Start der Rotation bei Absenken des Kopfes, sprechen. In manchen Studien (Lyttle und Mason, 1997) wird des Weiteren nicht erklärt, was als Start oder Ende der jeweiligen Phase gewertet wird. Dadurch werden die Angaben der Dauer der Phasen teilweise stark verfälscht, was eine generelle Vergleichbarkeit auch hier praktisch unmöglich macht.

Daher wäre es erstrebenswert, um eine generelle Vergleichbarkeit zwischen den Studien zu ermöglichen, genaue Definitionen der Phasen, präzise Beschreibungen der Methoden sowie einheitliche Distanzen für Messungen anzugeben.

Jedoch wurden bisher nur sehr wenige detaillierte Untersuchungen bezüglich der Rollwende durchgeführt. Am häufigsten wurde eindeutig bis dato bezüglich des Abstoßes geforscht. Eine genauere Betrachtung und Erforschung der anderen Phasen und Teilaspekte der Rollwende könnten zu aufschlussreichen Informationen, möglichen leichten Technikveränderungen und einer Zeitersparnis während des Wettkampfes führen.

6 Abbildungsverzeichnis

ABB. 1: DARSTELLUNG DER AUSFÜHRUNG DER ROLLWENDE MIT GROSSEM HÜFT- UND KNIIEWINKEL (LINKS) UND KLEINEM HÜFT- UND KNIIEWINKEL (RECHTS).	5
ABB. 2: VOLUMENMITTELPUNKT (VMP) UND KÖRPERSCHWERPUNKT (KMP) IN LABILEM GLEICHGEWICHT. UNGERECHTS ET AL., 2002, S. 16.	9
ABB. 3: VOLUMENMITTELPUNKT (VMP) UND KÖRPERSCHWERPUNKT (KMP) IN STABILEM GLEICHGEWICHT. UNGERECHTS ET AL., 2002, S. 16.	9
ABB. 4: WIDERSTANDSARTEN. HAHN, 2009, S. 14	10
ABB. 5: DARSTELLUNG DER AUF DEN ROTIERENDEN KÖRPER WIRKENDEN KRÄFTE. F_W ALS WIDERSTANDSKRAFT, F_{AUF} IN GRÜN ALS DYNAMISCHE AUFTRIEBSKRAFT, F_{AN} IN GELB FÜR DIE VORTRIEBSKRAFT, F_G IN ROT FÜR SCHWERKRAFT, F_A IN BLAU FÜR AUFTRIEBSKRAFT UND R IN ROSA FÜR NORMALER ABSTAND ZUR DREHACHSE.	11
ABB. 6: ABSTOßPOSITION NACH ÜBERWURF DER BEINE. MAGLISCHO, 1993, S. 569.	21
ABB. 7: DARSTELLUNG DER KÖRPERPOSITIONEN WÄHREND DER SCHWIMMPHASEN DER VIER WENDENTECHNIKEN. PEREIRA ET AL., 2015.	22
ABB. 8: BESCHREIBUNGSMERKMALE DER ROLLWENDE (MOD. N. RECHT, 2003, S. 26).	34
ABB. 9: DARSTELLUNG DER AUSFÜHRUNG DER ROLLWENDE MIT GROSSEM KNIE- UND HÜFTWINKEL (LINKS) UND JENER MIT KLEINEM KNIE- UND HÜFTWINKEL (RECHTS).	37
ABB. 10: TEST AUF BEWEGLICHKEIT.	39
ABB. 11: DARSTELLUNG DES VERSUCHSAUFBAUS MIT POSITIONIERUNG DER KAMERAS, 5M MARKIERUNG SOWIE STARTPUNKT.	41
ABB. 12: BILD VON KAMERA 1.	41
ABB. 13: BILD VON KAMERA 2.	41
ABB. 14: BILD VON KAMERA 3.	41
ABB. 15: ABBILDUNG DER VERWENDETEN MATERIALIEN WÄHREND DER UNTERSUCHUNG.	41
ABB. 16: DIE MIT MARKERN VERSEHENEN SCHWIMMER UND SCHWIMMERINNEN DES SV SCHWECHAT MIT IHRER TRAINERIN.	46
ABB. 17: BILD DER KAMERA 1 FÜR DIE BESTIMMUNG DER 5 M RTT.	56
ABB. 18: PUNKTVERFOLGUNG DES AUGES FÜR DIE ERMITTLUNG DER ANSCHWIMMGESCHWINDIGKEIT IN KINOVEA.	59
ABB. 19: PUNKTVERFOLGUNG DES HÜFTMARKERS FÜR DIE ERMITTLUNG DER ABSTOßGESCHWINDIGKEIT IN KINOVEA.	60
ABB. 20: DISTANZMESSUNG ZWISCHEN AUGE UND WAND ZUM ZEITPUNKT DER EINLEITUNG DER ROTATION.	62
ABB. 21: AUSFÜHRUNG DER ROLLWENDE MIT KLEINEM KNIE- UND HÜFTGELENKWINKEL.....	67
ABB. 22: AUSFÜHRUNG DER ROLLWENDE MIT GROSSEM KNIE- UND HÜFTGELENKWINKEL.....	67

7 Tabellenverzeichnis

TAB. 1: ERGEBNISSE VERSCHIEDENER STUDIEN ZUR 15 M-WENDENZEIT (T_{15M}), 10 M-WENDENZEIT (T_{10M}) UND 5 M-WENDENZEIT (T_{5M}).....	16
TAB. 2: ERGEBNISSE ANGEGEBENER STUDIEN BEZÜGLICH DER MESSUNGEN IN ZUSAMMENHANG MIT DER ABSTOßPHASE.	29
TAB. 3: MITTELWERTE MIT STANDARDABWEICHUNGEN FÜR ALTER, MASSE, GRÖßE, TRAININGSALTER UND TRAININGSUMFANG PRO WOCHE DER GESAMTSTICHPROBE SOWIE DER PROBANDEN UND PROBANDINNEN GETRENNT.	44
TAB. 4: MITTELWERTE MIT STANDARDABWEICHUNGEN FÜR ALTER, MASSE, GRÖßE, TRAININGSALTER, TRAININGSUMFANG PRO WOCHE SOWIE DER ANZAHL DER WEIBLICHEN UND MÄNNLICHEN TEILNEHMER UND TEILNEHMERINNEN IN DER VERSUCHSGRUPPE SOWIE DER KONTROLLGRUPPE.	45
TAB. 5: DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER 5 M RUNDENZEITEN.	58
TAB. 6: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN ANSCHWIMMGESCHWINDIGKEITEN DER TESTPERSONEN.....	60
TAB. 7: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN ABSTOßGESCHWINDIGKEITEN DER TESTPERSONEN. .	61
TAB. 8: DARSTELLUNG DER ABSTÄNDE DER SCHWIMMER UND SCHWIMMERINNEN ZUR WAND ZUM ZEITPUNKT DER EINLEITUNG DER ROTATION WÄHREND TERMIN 1 UND TERMIN 2.	63
TAB. 9: DREHZEITEN DER SCHWIMMER UND SCHWIMMERINNEN DES 1. UND 2. TERMINS.....	66
TAB. 10: DARSTELLUNG DER WANDKONTAKTZEIT DER SCHWIMMER UND SCHWIMMERINNEN BEI TERMIN 1 UND 2.....	67
TAB. 11: DARSTELLUNG DES TUCK INDEX DER SCHWIMMER UND SCHWIMMERINNEN BEI TERMIN 1 UND 2.	69
TAB. 12: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN 5 M.....	71
TAB. 13: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN 7 M ZEIT DER VERSUCHS- UND KONTROLLGRUPPE.	73
TAB. 14: DARSTELLUNG DES DURCHSCHNITTS DES KLEINSTEN HÜFTWINKELS	75
TAB. 15: DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DES TUCK INDEX UND DER 5 M	75
TAB. 16: DARSTELLUNG DER MITTELWERTE DES ABSTANDES ZUR WAND	77
TAB. 17: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTSWERTE DER WANDKONTAKTZEIT (T_{KONT}).....	78
TAB. 18: DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN WERTE DER ROTATIONSZEIT (T_D).....	79
TAB. 19: DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER AUSWERTUNG DER VERSUCHSGRUPPE	81
TAB. 20: DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE DER AUSWERTUNG DER KONTROLLGRUPPE	81

8 Literaturverzeichnis

- Bahadoran, M., Mosavi, S., Hasannejad, E. & Moradlo, H. (2012, Juli). Investigating kinematic of the technique in front crawl swimming. In *30th Annual Conference on Biomechanics in Sports in Melbourne*, (76-79). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/5190/4766>.
- Blanksby, B., Gathercole, D. & Marshall, R. (1996). Force plate and Video Analysis of the Tumble Turn by Age-Group Swimmers. *Journal of Swimming Research* 11, 40-45.
- Blanksby, B., Simpson, J., Elliott, B. & McElroy, K. (1998). Biomechanical Factors Influencing Breaststroke Turns by Age-Group Swimmers. *Journal of Applied Biomechanics* 14, 180-189.
- Bühl, A. (2012). *SPSS 20. Einführung in die modern Datenanalyse* (13., neu bearb. Aufl.). München: Pearson.
- Chakravorti, N., Slawson, S., Cossor, J., Conway, P. & West, A. (2012). Swimming Turn Technique Optimisation by Real-Time Measurement of Foot Pressure and Position. *Procedia Engineering* 34, 586-591.
- Cossor, J., Blanksby, B. & Elliott, B. (1999). The Influence of Plyometric Training on the Freestyle Tumble Turn. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2(2), 106-116.
- Cossor, J., Slawson, S., Chakravorti, N., Mason, B., Conway, P. & West, A. (2012, Juli). An investigation in the use of a pressure mat to monitor turn performance in swimming. In *30th Annual Conference on Biomechanics in Sports in Melbourne*, (S. 236-239). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/5272/4846>.
- Cossor, J., Slawson, S., Conway, P. & West, A. (2014). The effect of feet placement during wall contact phase on freestyle turns. In *Proceedings of the XIInd International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming in Canberra*, (S. 107-111). ISBN 978-0-646-91869-3.
- Costill, D., Maglischo, E. & Richardson, A. (1992). *Swimming: Handbook of Sports Medicine and Science*. Oxford: Blackwell Scientific publication.
- Counsilman, J. (1977). *Schwimmen. Technik Trainingsmethoden Trainingsorganisation* (4., neu bearb. Aufl.). Bad Homburg: Limpert.
- Go Pro Studio. Letzter Zugriff am 08. Februar 2016 unter <http://de.shop.gopro.com/EMEA/softwareandapp/gopro-studio/GoPro-Studio.html>.
- Graf, S. (2007). *Kamerakalibrierung mit radialer Verzeichnung – die radiale essentielle Matrix*. Passau: Universität Passau, Fakultät für Informatik und Mathematik.
- Hahn, A., Markatsch, I. & Strass, D. (2010). *Kraulschwimmen. Erlernen - verbessern - trainieren*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Hahn, M. (2009). *Besser Schwimmen in allen Stilarten*. München: BLV.
- Hatze, H. (1986). *Methoden biomechanischer Bewegungsanalyse*. Wien: Österreichischer Bundesverlag.
- Hochmuth, G. (1967). *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Frankfurt (Main): Limpert.
- Hoffmann, T. (2009). Geometrische Kalibrierung. <http://www.mi.hs-rm.de/~schwan/Projects/CG/CarreraCV/doku/intrinsisch/intrinsisch.htm> (Zugriff am 22.10.2015)
- Kannala, J., Heikkilä, J. & Brandt, S. (2009). Geometric Camera Calibration. In B. Wah (Hrsg.), *Wiley Encyclopedia of Computer Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons.
- Kinovea. Letzter Zugriff am 08. Februar 2016 unter www.kinvea.org.
- Lewillie, L. (1982). Research in Swimming: Historical and Scientific Aspects. In: A. Hollander, p. Huijing & G. Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming. IV Symposium on Swimming Science in Amsterdam* (7-16). Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Lyttle, A., Blanksby, B., Elliott, B. & Lloyd, D. (1998, Juli). Optimising kinetics in the freestyle flip turn push-off. In *16th Annual Conference on Biomechanics in Sports in Konstanz*, (S. 225-228). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/980/894>.

- Lyttle, A., Blanksby, B., Elliott, B. & Lloyd, D. (1999) Investigating Kinetics in the Freestyle Flip Turn Push-Off. *Journal of Applied Biomechanics* 15, 242-252.
- Maglischo, E. (1993). *Swimming Even Faster: A Comprehensive Guide to the Science of Swimming* (2. neu bearbeitete Aufl.). Pennsylvania: Mayfield Publishing Company.
- Maglischo, E. (2003). *Swimming Fastest*. Champaign: Human Kinetics.
- Manson, B. (2013, Juli). Biomechanical support to a national swim program and research required to perform that service. In *31st Annual Conference on Biomechanics in Sports in Taipei*. Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/5522/5016>.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre – Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., neu bearb. Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Meinel, K. (1960). *Bewegungslehre: Versuch einer Theorie der sportlichen Bewegung unter pädagogischem Aspekt*. Berlin: Volk u. Wissen.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). Qualitätsanforderungen an einen psychologischen Test (Testgütekriterien). In H. Moosbrugger & A. Kelava (Hrsg.), *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion* (S. 8-22). Wiesbaden: Springer.
- Newble, D. (1982). A method of analysing starts and turns in competitive swimming. *Australian Journal of Sport Sciences* 2(1), 11-13.
- O'Donoghue, P. (2012). *Statistics for Sport and Exercise Studies*. Oxon: Routledge.
- OSV Wettkampfbestimmungen für Schwimmen. http://www.osv.or.at/cms/upload/files/files/2015-07-03_wkb_schwimmen.pdf Zugriff am 17.09.2015.
- Pereira, S., Araújo, L., Freitas, E., Gatti, R., Silveira, G. & Roesler, H. (2006). Biomechanical analysis of the turn in front crawl swimming. *Portuguese Journal of Sports Sciences*, 6(2), 77-79.
- Pereira, S., Ruschel, C., Hubert, M., Machado, L., Roesler, H., Fernandes, R. & Vilas-Boas, J. (2015). Kinematic, kinetic and EMG analysis of four front crawl flip turn techniques. *Journal of Sport Sciences*, 33(19), 2006-2015.
- Pereira, S., Ruschel, C., Souza, T., Araujo, L., Goncalves, P., Fernandes, R., Roesler, H. & Vilas-Boas, J. (2011, Juli). Comparative analysis of temporal parameters of different techniques of the freestyle flip turn. In *29th International Conference on Biomechanics in Sports in Porto*, (S. 359-362). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/4847/4487>.
- Pereira, S., Vilar, S., Goncalves, P., Fernandes, S., Fernandes, R., Roesler, H. & Vilas-Boas, J. (2007, Juli). Electromyographic analysis of the flip turn technique. In *25th International Conference on Biomechanics in Sports in Ouro Preto*, (S. 55-58). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/395/335>.
- Pfeifer, H. (1991). *Schwimmen. Technik der Topathleten*, 4. Berlin: Sportverlag.
- Prins, J. & Patz, A. (2006). The influence of tuck index, depth of foot-plant, and wall contact time on the velocity of push-off in the freestyle flip turn. *Portuguese Journal of Sports Sciences*, 6(2), 82-84.
- Puel, F., Morlier, J., Avalos, M., Mesnard, M., Cid, M. & Hellard, P. (2012). 3D kinematic and dynamic analysis of the front crawl tumble turn in elite male swimmers. *Journal of Biomechanics*, 45, 510-515. doi: 10.1016/j.jbiomech.2011.11.043.
- Puel, F., Morlier, J., Mesnard, M., Cid, M. & Hellard, P. (2010). Dynamics and kinematics in tumble turn: an analysis of performance. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 13 (S1), 109-111. doi: 10.1080/10255842.2010.495586.
- Puel, F., Morlier, J., Mesnard, M., Cid, M. & Hellard, P. (2011). Three-dimensional kinematic and dynamic analysis of the crawl tumble turn performance: the expertise effect [Elektronische Version]. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 14(S1), 215-116. doi: 10.1080/10255842.2011.595190.
- Recht, M. (2003). Analyse und Ansteuerung leistungsrelevanter Parameter der Kraulrollwende. Inauguraldissertation. Frankfurt am Main: Johann Wolfgang Goethe-Universität.

- Reischle, K. (1988). *Biomechanik des Schwimmens*. Bockenem: Sportfahnenmann.
- Richter, H. (1952). *Schwimmen. Eine Physikalische Untersuchung*. Berlin: Sportverlag.
- Rockmann, U., Bömermann, H. (2006). *Grundlagen der sportwissenschaftlichen Forschungsmethoden und Statistik*. Schorndorf: Hoffmann.
- Rudolph, K. (2014). *Wege zum Topschwimmer. Band 3. Hochleistungstraining*. Schorndorf: Hoffmann.
- Shahbazi, M., Sanders, R. & Tonddast, N. (2006, Juli). A mathematical simulation to study pike turn characteristics in front crawl swim. In *24th International Conference on Biomechanics in Sports in Salzburg*, (S. 1-4). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/103/66>.
- Shahbazi, M., Sanders, R., McCabe, C. & Adams, D. (2007, Juli). Investigating correlations between swim pike turn kinematics variables in front crawl. In *25th International Conference on Biomechanics in Sports in Ouro Preto*, (381-384). Abgerufen von <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/490/429>.
- Slawson, S., Conway, P., Justham, T., Le Sage, T. & West, A. (2010). Dynamic Signature for Tumble Turn Performance in Swimming. *Procedia Engineering* 2, 3391-3396.
- Takahashi, G., Yoshida, A. & Tsubakimoto, S. (1982). Propulsive force generated by swimmers during a turning motion. In: A. Hollander, P. Huijing & G. Groot (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming. IV Symposium on Swimming Science in Amsterdam* (193-198). Champaign: Human Kinetics Publishers.
- Ungerechts, B., Volck, G. & Freitag, W. (2002). *Lehrplan Schwimmsport. Band 1: Technik*. Schorndorf: Hoffmann.
- Volck, G., Freitag, W. Hohmann, A. & Ungerechts, B. (2012). *Lehrplan Schwimmsport. Band 2: Vermittlung und Training im Schwimmen*. Schorndorf: Hoffmann.
- Whitten, P. (1994). *The complete book of swimming*. New York: Random House.
- Wilke, K. & Madsen, O. (1997). *Das Training des jugendlichen Schwimmers*. Schorndorf: Hoffmann.
- Wilke, K. (1990). Analysis of Sprint Swimming: The 50m Freestyle. In: D. Maclaren, T. Reilly & A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming. VI Symposium on Swimming Science in Liverpool* (33-46). Cambridge: Chapman & Hall.
- Willimczik, K. (1993). *Forschungsmethoden in der Sportwissenschaft. Statistik im Sport. Grundlagen Verfahren Anwendungen* (2., neu bearb. Aufl.). Hamburg: Czwalina.

9 Anhang

I Lebenslauf

II Eidesstaatliche Erklärung

III Fragebogen Schwimmer und Schwimmerinnen

IV TeilnehmerInneninformation und Einwilligungserklärung

V Berechnung der Differenz der 5 m RTT vom 1. Und zweiten Termin mittels SPSS

VI Berechnung der Differenz der 5 m RTT vom 1. Und zweiten Termin mittels SPSS

VII Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Tuck Index und kleinstem Hüftwinkel während der Rotation mittels SPSS

VIII Untersuchung des Zusammenhangs zwischen 5mRTT und Tuck Index mittels SPSS

IX Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung der Rotation und der 5mRTT mittels SPSS

X Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Wandkontaktzeit und der 5mRTT mittels SPSS

XI Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Drehzeit und der 5mRTT

XII Darstellung der Mittelwertanalyse der gesammelten Daten der Schwimmer und Schwimmerinnen zu beiden Terminen mittels SPSS

XIII DVD mit sämtlichen für diese Studie verwendeten Videos

I Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Kerstin Baumgartner
Geburtsdatum: 11.12.1991
Wohnort: Wien
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: Österreich

Bildungsgang

2010-2016 Studium der Fächer Bewegung und Sport und Anglistik für das Lehramt an Sekundarschulen an der Universität Wien
2010 Schulabschluss Matura, Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife
2007-2010 De La Salle Strebersdorf; Oberstufenrealgymnasium mit Schwerpunkt Sport
2002-2007 De La Salle Strebersdorf; Realgymnasium
1998-2001 Volksschule Bisamberg

Weitere Ausbildungen

2013 Abschluss staatliche geprüfte Schwimmtrainerin 3. Semester (BSPA Graz); Rettungsschwimmlehrerin (Österreichisches Jugendrotkreuz)
2012 Abschluss staatlich geprüfte Trainerin (1. & 2. Semester) und staatliche geprüfte Fittest Instruktorin (BSPA Graz); Rettungsschwimmerin (Österreichisches Jugendrotkreuz)
2010 Abschluss staatlich geprüfte Schwimm Instruktorin (BSPA Graz)

Nebenberufliche Tätigkeiten

2008-2013 Schwimmtrainerin bei SV Strebersdorf
Seit 2011 Schwimmtrainerin für die Sportuniversität Wien

2013	Swiminstructor und Lifeguard bei Crane Lake Camp (USA-MA) während der Sommerferien
Seit 2013	Swimcoach bei Flowsports
Seit 2013	Schwimmtrainerin bei 1. SC Donau Wien
Seit 2015	Headcoach des Kinderbereichs bei Flowsports

II Eidesstaatliche Erklärung

Ich, Kerstin Baumgartner, erkläre, dass ich die vorliegende *Arbeit selbstständig verfasst* habe und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht noch von anderen Personen vorgelegt.

III Fragebogen Schwimmer und Schwimmerinnen

Personen-Nummer (von der Studienleiterin auszufüllen):

Name Trainer oder Trainerin:

Name Athlet oder Athletin:

Alter:

Gewicht: ____ kg

Größe: ____ cm

Geschlecht: m w

Durchschnittliche Trainingszeit pro Woche: ____ h

Bestzeit über 100m Kraul: __:__,__

Trainingsalter (seit wieviel Jahren schwimmst du Wettkämpfe und trainierst regelmäßig): ____ Jahre

Hauptlage (+Distanz):

Von der Studienleiterin auszufüllen:

Beweglichkeit: ____ cm

Proportionen der unteren Extremitäten

Länge Caput fibulae - Boden: ____ cm

Länge Trochanter Major - Boden: ____ cm

Länge Caput fibulae - Trochanter Major: ____ cm

IV TeilnehmerInneninformation und Einwilligungserklärung

zur Teilnahme an der Studie für Minderjährige:

Biomechanische Analyse der Rollwende im Kraulschwimmen

Sehr geehrte Teilnehmerin, sehr geehrter Teilnehmer!

Wir laden Sie ein, an der oben genannten Studie teilzunehmen. Die Aufklärung darüber erfolgt in einem ausführlichen Gespräch.

Ihre Teilnahme an dieser Studie erfolgt freiwillig. Sie können jederzeit ohne Angabe von Gründen aus der Studie ausscheiden. Die Ablehnung der Teilnahme oder ein vorzeitiges Ausscheiden aus dieser Studie haben keine nachteiligen Folgen für Sie.

Diese Art von Studien ist notwendig, um verlässliche neue (biomechanische) Forschungsergebnisse zu gewinnen. Unverzichtbare Voraussetzung für die Durchführung von Studien ist jedoch, dass Sie Ihr Einverständnis zur Teilnahme an dieser Studie schriftlich erklären. Bitte lesen Sie den folgenden Text als Ergänzung zum Informationsgespräch sorgfältig durch und zögern Sie nicht, Fragen zu stellen.

Bitte unterschreiben Sie die Einwilligungserklärung nur

- wenn Sie Art und Ablauf der Studie vollständig verstanden haben,
- wenn Sie bereit sind, der Teilnahme zuzustimmen und
- wenn Sie sich über Ihre Rechte als TeilnehmerIn an dieser Studie im Klaren sind.

Zu dieser Studie, sowie zur TeilnehmerInneninformation und Einwilligungserklärung wurde von der zuständigen Ethikkommission eine befürwortende Stellungnahme abgegeben.

1. Was ist der Zweck der Studie?

Der Zweck dieser Studie ist, mittels biomechanischer Bewegungsanalysemethoden herauszufinden, ob die Bewegungsausführungen der Rollwende nach einer 16 wöchigen Intervention zeitliche Vorteile gegenüber einer Bewegungsausführung der Rollwende davor bringt.

2. Wie läuft die Studie ab?

Die Studie wird an mehreren Tagen durchgeführt. Die Anzahl und Datierung der Untersuchungstage richtet sich nach der Anzahl und den Möglichkeiten der TeilnehmerInnen. Bei Zusage werden mögliche Termine bekannt gegeben, an denen sie an der Untersuchung teilnehmen können. Insgesamt werden ca. 30 Personen an der Studie teilnehmen. Ihre Teilnahme an dieser Studie wird für die Videoaufzeichnung maximal eine halbe Stunde an zwei Tagen ihre Zeit in Anspruch nehmen. Ansonsten werden Sie wie gewohnt an dem Schwimmtraining mit Ihrem Trainer/Ihrer Trainerin teilnehmen, wobei jedoch 12 Wochen lang Interventionen des Trainers/ der Trainerin bezüglich der Rollwende stattfinden werden.

Der Ablauf der Durchführung Ihrer Versuche wird folgendermaßen sein:

Anfänglich füllen Sie einen einseitigen Fragebogen aus, welcher als Hilfestellung zur Auswertung der Ergebnisse dienen wird. Danach wird ihre Größe sowie die Länge ihrer unteren Extremitäten (Hüfte – Knie, Knie – Boden) abgemessen und abschließend ein Beweglichkeitstest (Oberschenkelrückseite) durchgeführt. Danach bekommen Sie vor Beginn der Durchführung ausreichend Zeit, sich einzuschwimmen. Sind Sie nach Ihrem Befinden soweit, werden Sie mit Markern an Schulter, Hüfte, Knie und Knöchel versehen. Die Versuche finden während Ihres normalen Trainings in ihrem gewohnten Trainingsbecken in Anwesenheit Ihres Trainers und Ihrer Trainingskollegen statt unter normalen Trainingsumständen statt. Während der Videoaufzeichnung wird eine GoPro Kamera auf Sie gerichtet. Diese Kamera stellt kein Gesundheitsrisiko für Sie dar. Lediglich filmt sie Ihren Bewegungsablauf während der Rollwende.

Sie werden drei Mal am ersten Versuchstag gefilmt. Dann findet das 16 wöchige Training statt und nach diesem werden Sie abermals drei Mal gefilmt. Das Video mit dem besten Versuch wird gewertet.

Sollten Sie sich zu irgendeinem Zeitpunkt nicht fähig fühlen, die Aufgaben durchzuführen, können Sie den Versuch jederzeit ohne Folgen abbrechen und auf eigenen Wunsch zu einem späteren Termin nachholen.

3. Worin liegt der Nutzen einer Teilnahme an der Studie?

Da es bislang wenige biomechanische Studien zum Thema Rollwende im Kraulschwimmen gibt, stellt jede Studie dieser Art einen Nutzen für die Sportart dar. Individuell für den Sportler bzw. die Sportlerin ist es ebenso möglich, wichtige Kenntnisse aus den Ergebnissen dieser Studie zu ziehen um dadurch die Schwimmzeit zu verkürzen.

4. Gibt es Risiken bei der Durchführung der Studie?

Die von Ihnen durchzuführenden Bewegungsabläufe simulieren einen 50m Kraul Sprint samt Rollwende, wie Sie ihn auch im Schwimmtraining oder Wettkampf durchführen.

5. Hat die Teilnahme an der Studie sonstige Auswirkungen auf die Lebensführung und welche Verpflichtungen ergeben sich daraus?

Nach spätestens 17 Wochen gemessen ab der ersten Videoaufzeichnung ist Ihre Teilnahme an der Studie beendet. Es ergeben sich weder Auswirkungen auf die Lebensführung noch Verpflichtungen durch die Teilnahme an der Studie. Die Teilnahme erfolgt anonym, sämtliche erhobenen Daten können jederzeit eingesehen und zurückgenommen werden.

6. Wann wird die Studie vorzeitig beendet?

Sollten wider Erwarten Gründe, beispielsweise in Form von Verletzung, auftreten, die Ihre Leistungsfähigkeit zum Zeitpunkt der Messung maßgeblich beeinträchtigen, so wird Ihre persönliche Messung, falls möglich, zu einem anderen Zeitpunkt stattfinden.

Sie können jederzeit auch ohne Angabe von Gründen, Ihre Teilnahmebereitschaft widerrufen und aus der Studie ausscheiden.

Es werden keine Umstände erwartet, die zu einem Abbruch der Studie führen.

Es ist aber auch möglich, dass der Studienleiter entscheidet, Ihre Teilnahme an der Studie vorzeitig zu beenden, ohne vorher Ihr Einverständnis einzuholen. Die Gründe hierfür können sein:

- a) Sie können den Erfordernissen der Studie nicht entsprechen.
- b) Der Studienleiter hat den Eindruck, dass eine weitere Teilnahme an der Studie nicht in Ihrem Interesse ist.

7. In welcher Weise werden die im Rahmen dieser Studie gesammelten Daten verwendet?

Ihr Name sowie Ihre Daten sind ausschließlich dem Übungsleiter bekannt. In weiterer Folge wird Ihr Name durch eine Zahl „ProbandIn X“ ersetzt. Es werden Videoaufzeichnungen ausschließlich zur Bewertung der Technik genutzt und ebenfalls nicht an Dritte weitergegeben. Ihre im Fragebogen angegebenen Daten werden anonym in die Studie in folgender Form einfließen:

Die aufgenommenen Daten werden gesammelt und statistisch ausgewertet. Bei erfolgreicher Durchführung der Studie ist es Ziel, die Ergebnisse in Fachjournalen zu publizieren. Sollte dieser Fall eintreten, werden Sie darüber informiert.

8. Entstehen für die TeilnehmerInnen Kosten?

Durch Ihre Teilnahme an dieser Studie entstehen für Sie keine zusätzlichen Kosten.

9. Möglichkeit zur Diskussion weiterer Fragen.

Für weitere Fragen im Zusammenhang mit dieser Studie steht Ihnen der Versuchsleiter gerne jederzeit zur Verfügung. Auch Fragen, die Ihre Rechte als TeilnehmerIn an dieser Studie betreffen, werden gerne beantwortet.

Name der Kontaktperson: Kerstin Baumgartner

10. Einwilligungserklärung

Name der Teilnehmerin/des Teilnehmers in Druckbuchstaben:

.....

Ich erkläre mich bereit, an der Studie Biomechanische Analyse der Rollwende im Kraulschwimmen teilzunehmen.

Ich bin von Frau Baumgartner Kerstin ausführlich und verständlich über Wesen, Bedeutung und Tragweite der Studie und sich für mich daraus ergebenden Anforderungen aufgeklärt worden. Ich habe darüber hinaus den Text dieser TeilnehmerInneninformation und Einwilligungserklärung, die insgesamt 4 Seiten umfasst, gelesen. Aufgetretene Fragen wurden mir vom Versuchsleiter verständlich und genügend beantwortet. Ich hatte ausreichend Zeit, mich zu entscheiden. Ich habe zurzeit keine weiteren Fragen.

Ich werde den Anordnungen, die für die Durchführung der Studie erforderlich sind, Folge leisten, behalte mir jedoch das Recht vor, meine freiwillige Mitwirkung jederzeit zu beenden, ohne dass daraus Nachteile für mich entstehen.

Ich bin zugleich damit einverstanden, dass meine im Rahmen dieser Studie ermittelten Daten aufgezeichnet werden. Beim Umgang mit den Daten werden die Bestimmungen des Datenschutzgesetzes eingehalten.

Eine Kopie dieser TeilnehmerInneninformation und Einwilligungserklärung habe ich erhalten. Das Original verbleibt beim Versuchsleiter.

Geb. Datum:

.....

(Datum und Unterschrift der Teilnehmerin/des Teilnehmers)

.....

(Datum, Name und Unterschrift des/der Erziehungsberechtigten)

.....

(Datum, Name und Unterschrift des Studienleiters)

V Berechnung der Differenz der 5 m RTT vom ersten und zweiten Termin mittels SPSS

Tests auf Normalverteilung

	Gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz 5mRTT	Versuchsgruppe	,133	18	,200 [*]	,973	18	,846
	Kontrollgruppe	,236	9	,157	,868	9	,116

Unabhängiger T-Test

Gruppenstatistiken

	Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Differenz 5mRTT	Versuchsgruppe	18	-,0239	,25086	,05913
	Kontrollgruppe	9	,0700	,15313	,05104

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Differenz 5mRTT	Varianzen sind gleich	1,977	,172	-1,025	25	,315	-,09389	,09156	-,28246	,09468
	Varianzen sind nicht gleich			-1,202	23,750	,241	-,09389	,07811	-,25520	,06742

VI Berechnung der Differenz der 5 m RTT vom ersten und zweiten Termin mittels SPSS

Tests auf Normalverteilung

	Gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz t3	Versuchsgruppe	,165	18	,200 [*]	,930	18	,190
	Kontrollgruppe	,122	9	,200 [*]	,965	9	,846

Unabhängiger T-Test

Gruppenstatistiken

	Gruppe	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Differenz 7mRTT	Versuchsgruppe	18	-,0767	,44256	,10431
	Kontrollgruppe	9	,1622	,20179	,06726

Test bei unabhängigen Stichproben

		Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
		F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere
Differenz t3	Varianzen sind gleich	7,712	,010	-1,530	25	,138	-,23889	,15611	-,56039	,08262
	Varianzen sind nicht gleich			-1,925	24,921	,066	-,23889	,12412	-,49456	,01678

Mann Whitney-U-Test

Ränge

	Gruppe	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
Differenz7mRTT	Versuchsgruppe	18	12,17	219,00
	Kontrollgruppe	9	17,67	159,00
	Gesamt	27		

Statistik für Test^a

	Differenz7mRT T
Mann-Whitney-U	48,000
Wilcoxon-W	219,000
Z	-1,698
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,089
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	,095 ^b

a. Gruppenvariable: Gruppe

b. Nicht für Bindungen korrigiert.

VII Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Tuck Index und kleinstem Hüftwinkel während der Rotation mittels SPSS

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
DifferenzKI Hüftwinkel	,163	18	,200*	,770	18	,001
DifferenzTuckIndex	,167	18	,199	,909	18	,083

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Korrelationen

		Differenz KI Hüftwinkel	Differenz TuckIndex
DifferenzKI Hüftwinkel	Korrelation nach Pearson	1	,081
	Signifikanz (2-seitig)		,748
	N	18	18
DifferenzTuckIndex	Korrelation nach Pearson	,081	1
	Signifikanz (2-seitig)	,748	
	N	18	18

VIII Untersuchung des Zusammenhangs zwischen 5mRTT und Tuck Index mittels SPSS

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
DifferenzTuckIndex	,167	18	,199	,909	18	,083
Differenz5mRTT	,133	18	,200*	,973	18	,846

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Korrelationen

		Differenz TuckIndex	Differenz 5mRTT
DifferenzTuckIndex	Korrelation nach Pearson	1	-,370
	Signifikanz (2-seitig)		,131
	N	18	18
Differenz5mRTT	Korrelation nach Pearson	-,370	1
	Signifikanz (2-seitig)	,131	
	N	18	18

IX Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Abstand zur Wand zum Zeitpunkt der Einleitung Rotation und der 5mRTT mittels SPSS

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz5mRTT	,133	18	,200 [*]	,973	18	,846
DifferenzSD	,120	18	,200 [*]	,956	18	,528

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Korrelationen

		Differenz 5mRTT	Differenz SD
Differenz5mRTT	Korrelation nach Pearson	1	,027
	Signifikanz (2-seitig)		,914
	N	18	18
DifferenzSD	Korrelation nach Pearson	,027	1
	Signifikanz (2-seitig)	,914	
	N	18	18

X Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Wandkontaktzeit und der 5mRTT mittels SPSS

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz5mRTT	,133	18	,200*	,973	18	,846
DifferenzWandkontaktzeit	,157	18	,200*	,837	18	,005

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Korrelationen

		Differenz 5mRTT	Differenz Wandkontaktzeit
Differenz5mRTT	Korrelation nach Pearson	1	,696**
	Signifikanz (2-seitig)		,001
	N	18	18
DifferenzWandkontaktzeit	Korrelation nach Pearson	,696**	1
	Signifikanz (2-seitig)	,001	
	N	18	18

** . Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

XI Untersuchung des Zusammenhangs zwischen der Drehzeit und der 5mRTT

Tests auf Normalverteilung

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Differenz5mRTT	,133	18	,200*	,973	18	,846
DifferenzDrehzeit	,123	18	,200*	,960	18	,607

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Korrelationen

		Differenz 5mRTT	Differenz Drehzeit
Differenz5mRTT	Korrelation nach Pearson	1	,193
	Signifikanz (2-seitig)		,443
	N	18	18
DifferenzDrehzeit	Korrelation nach Pearson	,193	1
	Signifikanz (2-seitig)	,443	
	N	18	18

XII Darstellung der Mittelwertanalyse der gesammelten Daten der Schwimmer und Schwimmerinnen zu beiden Terminen mittels SPSS

Gruppe		Fünfm RTT1	VAN1	VAB1	Abstand 1	Dauer Rot1	DauerWandk ontakt1	TuckIndex1	AbstoßwinkelK nie1	AbstoßwinkelHori zontale1	KleinsterHü ftwinkel1
Versuchs- gruppe	Mittelwert	6,1767	1,5878	2,3639	99,778	,9272	,3283	61,5611	72,722	91,833	47,33
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
	Standardabweichung	,61333	,23018	,30688	20,9299	,14425	,05904	9,21477	15,1300	9,4822	14,071
	Minimum	4,90	1,15	1,90	65,4	,68	,23	37,00	45,0	78,0	31
	Maximum	7,28	1,99	2,85	137,7	1,15	,46	77,00	110,0	110,0	93
Kontroll- gruppe	Mittelwert	5,6922	1,6867	2,5067	98,289	,8833	,2800	71,4444	91,111	89,889	37,78
	N	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	Standardabweichung	,53626	,15240	,25050	18,5098	,07616	,11147	16,53112	20,8773	3,1798	6,037
	Minimum	4,90	1,48	2,06	61,5	,73	,15	29,00	40,0	85,0	24
	Maximum	6,68	1,96	2,89	129,7	,98	,48	84,00	110,0	94,0	44
Insgesamt	Mittelwert	6,0152	1,6207	2,4115	99,281	,9126	,3122	64,8556	78,852	91,185	44,15
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
	Standardabweichung	,62338	,20987	,29256	19,8080	,12584	,08149	12,73367	19,0217	7,9229	12,718
	Minimum	4,90	1,15	1,90	61,5	,68	,15	29,00	40,0	78,0	24
	Maximum	7,28	1,99	2,89	137,7	1,15	,48	84,00	110,0	110,0	93

FünfmRTT2	VAN2	VAB2	Abstand2	DauerRot2	DauerWandkontakt2	TuckIndex2	AbstoßwinkelKnie2	AbstoßwinkelHorizontale2	KleinsterHüftwinkel2
6,2006	1,6606	2,3972	101,4556	,9256	,3217	62,1111	77,9444	91,3333	42,67
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
,64956	,31403	,36089	24,60773	,11713	,10142	13,52300	20,29915	7,02935	10,633
4,76	1,15	1,71	52,10	,80	,20	33,50	33,00	76,00	15
7,43	2,18	3,02	142,90	1,16	,63	83,00	104,00	102,00	58
5,6222	1,6189	2,4733	99,8000	,8844	,2544	69,7778	93,6667	90,5556	34,89
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
,50953	,22652	,20143	15,57145	,10477	,09606	13,29265	20,31010	3,84419	6,623
4,86	1,28	2,13	69,50	,76	,15	49,00	64,00	86,00	24
6,61	1,96	2,88	119,20	1,08	,45	89,00	123,00	99,00	44
6,0078	1,6467	2,4226	100,9037	,9119	,2993	64,6667	83,1852	91,0741	40,07
27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
,65798	,28402	,31461	21,70642	,11287	,10299	13,69312	21,29290	6,08229	10,069
4,76	1,15	1,71	52,10	,76	,15	33,50	33,00	76,00	15
7,43	2,18	3,02	142,90	1,16	,63	89,00	123,00	102,00	58