

# **Analyse von Start-, Wenden- und Schwimmleistungen im Hochleistungsschwimmen**

Abschlussarbeit zur Erlangung des  
Master of Science in Sportwissenschaften  
Option Unterricht

eingereicht von

**Jeanine Rütschi**

an der  
Universität Freiburg, Schweiz  
Mathematisch-Naturwissenschaftliche und Medizinische Fakultät  
Abteilung Medizin  
Department für Neuro- und Bewegungswissenschaften

in Zusammenarbeit mit der  
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent  
Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer  
Dennis Born

Bern, Mai 2022

## **Dank**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während dem Analysieren und Auswerten meiner Daten sowie dem Verfassen und Fertigstellen dieser Arbeit unterstützt und motiviert haben.

Ein grosser Dank gebührt meinem Betreuer, Dennis Born. Für seine grossartige Unterstützung, das zur Verfügung stellen der Videoaufnahmen, die hilfreichen Anregungen und Tipps, die konstruktive Kritik und Hilfestellungen während dem Anfertigen dieser Arbeit, möchte ich mich herzlich bedanken.

Ich bedanke mich auch bei meinem Referenten, Silvio Lorenzetti, der mir bei Fragen zur Hilfestand und diese Arbeit begutachten wird.

Ein besonderer Dank gilt auch Willi Dahinden, Lena Brack und Klaas Klaasen für das Korrekturlesen meiner Arbeit und das Einbringen von interessanten Inputs und Verbesserungsvorschlägen. Abschliessend möchte ich mich bei meinem Freund, Julian Dahinden, bedanken, der mir während dem ganzen Prozess mit viel Geduld und Hilfsbereitschaft zur Seite stand. Die vielen Diskussionen und Ideen mit ihm haben massgeblich dazu beigetragen, dass meine Masterarbeit in dieser Form vorliegt.

Jeanine Rütschi

Bern, 16. Mai 2022

## **Zusammenfassung**

Analysen von Langbahnrennen auf allen Distanzen und Vergleiche zwischen allen Disziplinen sind limitiert. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war das Erstellen von Normwerten und das Untersuchen von den Anteilen der Start-, Wenden- und Finishleistungen auf die Rennresultate an den Langbahn Europameisterschaften im Jahre 2021 in Budapest. Zudem wurden die Pacingstrategien untersucht und die Lagenschwimmerinnen mit den Lagenspezialistinnen verglichen. Die Basis lieferten die gefilmten Finalläufe der Frauen, welche mithilfe der Computer Software Kinovea eruiert und später in der Statistik Software JASP auf signifikante Differenzen untersucht wurden. Die Normwerte dienen als Vergleichswerte für Schwimmerinnen verschiedener Leistungsniveaus. Die Resultate zeigten, dass die Rückenschwimmerinnen, die im Wasser starten, bei allen Startvariablen signifikant langsamer ( $p < 0.008$ ) als die Startblock Starterinnen der anderen Disziplinen waren. Die «Tumble Turns» der Freistilschwimmerinnen wurden signifikant schneller ( $p < 0.001$ ) absolviert als diejenigen der Rückenschwimmerinnen und als die «Open Turns» der Brust- und Delfinschwimmerinnen. Die Freistilschwimmerinnen wiesen auch bei den Schwimmzeiten, den erreichten Geschwindigkeiten, den Finishzeiten und den Rennresultaten die signifikant ( $p < 0.004$ ) schnellsten Zeiten auf. Start-, Wenden- und Finishleistungen machten dabei bis zu 38% des Rennens aus. Die Relevanz der Startzeiten nahm mit der Distanz ab, während diejenige der Wendezeiten mit der Distanz an Bedeutung gewann. In Bezug auf die Pacingstrategie wurde von den Schwimmerinnen der 50-, 100- und 200-m-Rennen eine positive Pacingstrategie verfolgt, das heisst sie wurden im Verlaufe des Rennens konstant langsamer. Die Schwimmerinnen der längeren Distanzen verfolgten jedoch parabolische Rennverläufe, bei denen die Geschwindigkeiten am Anfang und am Ende des Rennens höher waren. Die Lagenschwimmerinnen konnten in Hinblick auf die Rennzeiten und die erreichten Geschwindigkeiten sehr gut mit den Lagenspezialistinnen mithalten. In der Disziplin Butterfly wurden sogar signifikant ( $p < 0.001$ ) schnellere Geschwindigkeiten erreicht. Einzig und allein in der Disziplin Breaststroke wiesen die Brustschwimmerinnen signifikant ( $p = 0.003$ ) schnellere Zeiten und Geschwindigkeiten als die Lagenschwimmerinnen auf. In Betracht der grossen Einflussnahme von Start-, Wenden- und Finishleistungen auf die Rennzeit sollten die bisherigen Trainingsmethoden, die sich unter anderem auf die Gesamtschwimmlage konzentrieren, überdacht werden. Durch die vorliegenden Resultate stellte sich heraus, dass die Lagenschwimmerinnen die Strategie verfolgen sollten, ihre Geschwindigkeit vor allem anhand einer höheren «Strokerate» zu kontrollieren.

# Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung .....	5
1.1 Theoretischer Hintergrund.....	5
1.2 Problemstellung .....	10
1.3 Zielsetzung.....	18
2 Methode.....	19
2.1 Untersuchungsdesign.....	19
2.2 Untersuchungsteilnehmende.....	19
2.3 Untersuchungsverfahren .....	19
2.4 Untersuchungsdurchführung .....	20
2.5 Untersuchungsauswertung.....	21
3 Resultate .....	27
3.1 Normwerte und Vergleiche zwischen den Distanzen und Disziplinen .....	27
3.2 Anteile der Start-, Wende- und Finishleistungen .....	37
3.3 Resultate bezüglich des Pacingverhaltens .....	38
3.4 Vergleich der Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen .....	44
4 Diskussion .....	46
4.1 Diskussion der Startvariablen.....	46
4.2 Diskussion der Turnvariablen.....	49
4.3 Diskussion der Swimvariablen .....	52
4.4 Diskussion der Prozentanteile von Start, Wenden und Finish an der Rennleistung.....	56
4.5 Diskussion des Pacingverhaltens.....	57
4.6 Diskussion des Vergleichs von Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen .....	59
4.7 Weiterführende Diskussionen und Reflexion.....	61
4.8 Ausblick und Limitationen .....	64
5 Konklusion .....	65
Glossar.....	66
Literatur .....	68
Anhang .....	74

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1</b> Start-, Wende- und Schwimmleistungen aller acht Finalistinnen der 50-, 100-, 200- und 400-m-Rennen. Vergleich zwischen den Disziplinen. Daten werden als Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen dargestellt. ....	28
<b>Tabelle 2</b> Start-, Wenden- und Schwimmleistungen aller acht Finalistinnen der 50, 100, 200, 400, 800 und 1500 m Freistilrennen. Vergleich zwischen den Distanzen. Die Daten werden als Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen dargestellt. ....	34
<b>Tabelle 3</b> Delta zwischen der maximal und minimal erreichten Geschwindigkeit pro Länge aller Rennen. Vergleich zwischen den Distanzen und Disziplinen. Die Daten werden als Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen dargestellt. ....	39
<b>Tabelle 4</b> «Distance per Stroke», «Strokerate», «Swimtime» und «Velocity» der Lagenspezialistinnen und Lagenschwimmerinnen der 200-m-Rennen aufgeteilt in die vier Längen. Die Daten werden als Mittelwerte $\pm$ Standardabweichungen dargestellt. ....	44

## **Abbildungsverzeichnis**

<b>Abbildung 1</b> Prozentanteil von Start, Wenden und Finish an den Rennzeiten der verschiedenen Disziplinen .....	37
<b>Abbildung 2</b> Prozentanteil von Start, Wenden und Finish an den Rennzeiten der verschiedenen Distanzen .....	38
<b>Abbildung 3</b> Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 1500-m-Freistilrennen der Frauen .....	40
<b>Abbildung 4</b> Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 800-m-Freistilrennen der Frauen .....	41
<b>Abbildung 5</b> Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 400-m-Rennen der Frauen .....	42
<b>Abbildung 6</b> Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 200-m-Rennen der Frauen .....	43

# 1 Einleitung

Im Sport werden dauernd neue Rekorde aufgestellt. Ganz nach den drei Leitworten der Olympischen Spiele von Pierre Coubertin aus dem Jahre 1894 «Citius, altius, fortius – schneller, höher, stärker» (Neuner-Jehle, 2013) werden Jahr für Jahr neue Bestleistungen erzielt. Dies betrifft auch den Schwimmsport. So werden im Wettkampfschwimmen regelmässig neue Bestzeiten an Grossanlässen wie den Olympischen Spielen, Weltmeisterschaften oder Europameisterschaften aufgestellt (Marinho et al., 2020).

## 1.1 Theoretischer Hintergrund

Der Schwimmsport unterscheidet sich von anderen Sportarten dadurch, dass die Charaktereigenschaften durch das Medium Wasser geprägt sind. Aufgrund seiner physikalischen Grundlagen, zum Beispiel der Dichte, die 800-mal grösser als die Dichte der Luft ist (Reischle, 1988), erfordert es eine andere Fortbewegung als an Land (Mullen, 2018). Göhner (2013) beschreibt folgende prägenden mechanischen und biomechanischen Begriffe, Grössen und Prinzipien für die Bewegung im Wasser. Dabei wird in diesem Medium zwischen dem statischen und dynamischen Auftrieb unterschieden. Der statische Auftrieb ist gegen die Gewichtskraft gerichtet, die am Körperschwerpunkt ansetzt, und ist identisch mit der Gewichtskraft des verdrängten Wassers. Der dynamische Antrieb wird durch eine Bewegung des Körpers im Wasser erzeugt. Dabei sind die Geschwindigkeit, der Anstellwinkel und die Form des Körpers die entscheidenden Faktoren für diese Art des Auftriebs. Ausserdem wirkt der hydrostatische Druck auf den ganzen Körper. Je weiter unten sich dieser befindet, desto grösser ist der auf ihn einwirkende Druck. Dies führt zu einer erhöhten Beanspruchung der Atemmuskulatur, da gegen den Wasserdruck ausgeatmet werden muss. Ein weiteres Merkmal ist der Wasserwiderstand. Soll eine ökonomische Fortbewegung im Wasser stattfinden, wird eine widerstandsarme Position angestrebt. So kann die Geschwindigkeit durch die Minimierung des gegen die Bewegung gerichteten Wasserwiderstands erhöht werden. Zur optimalen Nutzung des Antriebs wird hingegen ein möglichst grosser Widerstand gesucht. Ein weiterer wichtiger Faktor nach Wilke et al. (2015), der vor allem im Wettkampfschwimmen eine grosse Rolle spielt, ist die unterschiedliche Bereitstellung der Energie in Abhängigkeit der Renndistanz. Dabei wird zwischen aerobem und anaerobem Energieumsatz unterschieden. Der aerobe Energieumsatz beschreibt den Abbau von Kohlenhydraten und Fetten mit Hilfe von Sauerstoff in den Mitochondrien der Muskelzellen.

Für die anaerobe Energiebereitstellung wird Kreatinphosphat oder Glykogen gespalten, dies geschieht ohne den Einfluss von Sauerstoff. Mit zunehmender Renndistanz nimmt der Anteil der anaeroben Energiebereitstellung ab und der der aeroben zu. So ist der Anteil der aeroben Energiebereitstellung ab Rennen von 200 m grösser als der der anaeroben. Im Gegensatz dazu spielt die anaerobe Energiebereitstellung bei den 50- und 100-m-Rennen die grössere Rolle.

Im Schwimmsport werden nach FINA (2020) unterschiedliche Disziplinen auf verschiedene Distanzen absolviert. Dabei wird bei den Einzelwettbewerben, auf welchen diese Arbeit beruht, zwischen Freestyle, Backstroke, Breaststroke, Butterfly und Individual Medley unterschieden. Die Freistilrennen werden über die Distanzen von 50 m, 100 m, 200 m, 400 m, 800 m und 1500 m bestritten. Die Disziplinen Backstroke, Breaststroke und Butterfly hingegen finden nur über die Distanzen von 50 m, 100 m und 200 m statt. Die letzte Einzeldisziplin, das Individual Medley, wird auf die Distanzen von 200 m und 400 m bestritten.

Die vorher genannten Begriffe werden in der Schwimmszene so verwendet, weshalb in dieser Arbeit die Disziplinen anhand der englischen Begrifflichkeiten umschrieben werden. Da es jedoch auch eine dazugehörige deutsche Übersetzung der Disziplinen gibt: Freestyle [FR] = Freistil, Backstroke [BA] = Rücken, Breaststroke [BR] = Brust, Butterfly [FLY] = Delfin oder Schmetterling und Individual Medley [IM] = Lagen (Special Olympics Deutschland, 2015), werden diese Begrifflichkeiten ebenfalls in der vorliegenden Arbeit verwendet, zum Beispiel Backstroke Rennen aber Freistilrennen und Rückenschwimmerinnen.

Rennen über eine Distanz von 50 und 100 m werden wegen ihres erhöhten anaeroben Profils (Wilke et al., 2015) als Kurzdistanz- oder Sprintevents, 200- und 400-m-Rennen als Mitteldistanzevents (Marinho et al., 2020) und 800- und 1500-m-Rennen als Langdistanzevents eingestuft (Marinho et al., 2020; Morais et al., 2019b).

Eine wichtige Rolle im Schwimmsport spielt die Ausdauer, welche folgendermassen definiert wird:

„Die Ausdauer ist die konditionelle Fähigkeit, die eine belastungsadäquate Energieversorgung des Organismus sichert, ermüdungsbedingte Leistungs- und Geschwindigkeitsabnahmen bei sportlichen Belastungen verzögert und Einfluss auf die Erholungsfähigkeit nimmt.“ (Hottenrott & Neumann, 2008, S. 2).

Wilke et al. (2015) beschreiben die Schwimmausdauer durch Beteiligung der konditionellen motorischen Fähigkeiten Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer. Dabei ergeben Schnelligkeit und Ausdauer die Schnelligkeitsausdauer und Kraft zusammen mit Ausdauer die Kraftausdauer. Schnelligkeitsausdauer und Kraftausdauer ergeben zusammengesetzt die spezielle Schwimmausdauer. Die Anteile der Schnelligkeits- und Kraftausdauer unterscheiden sich dabei je nach Dauer und Intensität des Schwimmrennens.

Laut Skorski (2015) ist das Einteilen der energetischen Ressourcen, um eine optimale Gesamtleistung erzielen zu können, ein wichtiges Ziel von AusdauersportlerInnen an Wettkämpfen. Die Geschwindigkeit muss so eingeteilt werden, dass eine frühzeitige Ermüdung vermieden und dennoch bestmögliche Leistungen erzielt werden können. Dieses Phänomen ist auch als Pacing oder Pacingstrategie bekannt (Abbiss & Laursen, 2008). Dabei wird vorausgesetzt, dass die AthletInnen alle vorhandenen Energiereserven bis zum Beenden des Rennens aufbrauchen, jedoch nicht zu schnell, sodass es nicht zu einer einschneidenden Verlangsamung kommt (Foster et al., 2003). Bisherige Studien im Bereich des Pacings wurden vor allem im Rad- oder Laufsport durchgeführt. Es wird vermutet, dass Pacing jedoch auch im Schwimmsport eine zentrale Rolle einnimmt. Durch den erhöhten Widerstand des Wassers können bereits minimale Änderungen der Geschwindigkeit zu einer signifikanten Erhöhung des Energieverbrauchs führen und damit einen Einfluss auf die Gesamtleistung mit sich bringen (Skorski., 2015). Marinho et al. (2011) bestätigten die Annahme, dass Pacingstrategien im Schwimmsport wegen der vorherrschenden Widerstandskräfte, die sich exponentiell mit zunehmender Geschwindigkeit erhöhen, von grosser Bedeutung sind. Deshalb sollten SchwimmerInnen fluktuierende Geschwindigkeiten vermeiden, um einen erhöhten Energieverlust zu verhindern (Mauger et al., 2012). Je nachdem, wie die Energieeinteilung vorgenommen wird, ergeben sich verschiedene Pacingprofile im Ausdauersport. Dazu gehören zum Beispiel das «positive» (abnehmende Leistung), das «negative» (zunehmende Leistung) oder das «even» (gleichmässige Leistung) Pacingprofil (Abbiss & Laursen, 2008).

Das Pacingverhalten im Schwimmsport wird durch die Renndistanz und die Disziplin bestimmt (Menting et al., 2019). In allen Rennen wird die erste Länge durch den Start und die weiteren Längen durch die Wenden beeinflusst (Morais et al., 2019). Der Grund dafür liegt unter anderem in der Unterwasserphase nach dem Start und den Wenden, die auch als Schlüsselphase des Rennens bezeichnet werden können, da dabei die höchsten Geschwindigkeiten durch das Abstossen vom Startblock oder der Wand erreicht werden (Hochstein & Blickhan, 2014). Die erste Länge wird



also positiv durch den Start und nicht nur durch die Schwimmleistung beeinflusst. Äquivalent dazu wird die Leistung nach jeder Wende positiv durch den Abstoss unterstützt. Die letzte Länge des Rennens wird durch die Absicht, das Rennen möglichst schnell zu beenden, gekennzeichnet (Lipinska et al., 2016b). So ist es wenig überraschend, dass sich viele Schwimmrennen durch eine signifikant höhere Geschwindigkeit auf der ersten und letzten Länge auszeichnen (Menting et al., 2019). Diese Pacingstrategie wird auch als «parabolic» (parabolisch) oder «U-shaped» bezeichnet und zeichnet sich durch einen schnellen Start, einen gleichmässigen Mittelteil und einem schnellen Endspurt auf der letzten Länge aus (Skorski et al., 2014).

Ein Schwimmrennen kann in verschiedene Phasen aufgeteilt werden: «Start», «Cleanswimming» (Gesamtschwimmlage: der Teil des Schwimmrennens, bei welchem der Start und die Wenden ausgenommen sind, das heisst, wenn die schwimmende Person das zyklische Schwimmen ausübt), «Turn» (Wende) und «Finish» (Morais et al., 2019b). Die Startzeit bezieht sich dabei auf die Zeit, die zwischen dem Startsignal und dem Erreichen der 15-m-Marke vergeht. Die Dauer von fünf Meter vor bis 15 Meter nach der Wende wird als Wendezeit beschrieben. Der Finish bezeichnet die letzten fünf Meter bis zum Beenden des Rennens (Marinho et al., 2020). Die Schwimmgeschwindigkeit wird dabei durch die «Strokerate» (Anzahl Armzüge pro Minute), kurz SR, und die «Strokelength» (Distanz, die mit einem Armzug zurückgelegt wird) bestimmt (Craig & Pendergast, 1979). Letztere wird auch als «Distance per Stroke», kurz DPS, bezeichnet. In den letzten Jahren wurden Leistungssteigerungen meist durch eine Verbesserung dieser beiden Aspekte erreicht (McGibbon et al., 2018; Menting et al., 2019). Der Fokus ändert sich jedoch vermehrt in Richtung der Phasen Start, Turn und Finish (Morais et al., 2019). In vielen Studien konnte herausgefunden werden, dass die Zeit des «Cleanswimmings» allein nicht ausschlaggebend für das Endresultat ist. Die Start- und Wendezeiten machen 26 – 56% der gesamten Rennzeit aus (Born et al., 2021; Veiga et al., 2014). So bestimmten diese bei Rennen über eine kurze Distanz fast ein Drittel der gesamten Rennzeit (Morais et al. 2019b). Je länger jedoch das Rennen dauert, desto weniger wichtig ist die Startzeit (Marinho et al., 2020). Im Gegensatz zur Startzeit weisen die Wendezeiten in diesen Rennen einen signifikanten Einfluss auf das Rennergebnis auf, da sich mit zunehmender Distanz auch die Anzahl der Wenden erhöht (Morais et al., 2019b; 2020). Dabei spielt die Länge des Schwimmbeckens eine zentrale Rolle, weil die Anzahl Wenden in einem 25-m-Becken im Vergleich zum 50-m-Becken mehr als doppelt so hoch ist (Born et al., 2020; FINA, 2020). Deshalb konnte der

Unterschied in den Leistungen zwischen Rennen in 25-m- und 50-m-Becken auf die Wenden zurückgeführt werden (Kiskinen et al., 2007). Folglich waren sowohl nationale wie auch internationale SchwimmerInnen im Durchschnitt schneller auf der Kurzbahn (2.0 s +/- 0.6%). Wenden führen zu einer kurzfristig erhöhten Geschwindigkeit und Erholung. In Freistilwettkämpfen auf der Kurzbahn konnten von Wolfrum et al. (2013) zudem tiefere Herzraten und Blutlaktatlevel nachgewiesen werden. Geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich der Geschwindigkeiten erwiesen sich auf der Kurzbahn im Vergleich zu der Langbahn als grösser. Die Männer haben gegenüber den Frauen einen Vorteil auf der Kurzbahn, da sie in der Lage sind höhere Geschwindigkeiten aus den Wenden zu generieren.

Korrelationsanalysen haben ergeben, dass die Unterwasserphase den grössten Einfluss auf die Startzeit hat (Cossor & Mason, 2001; Pereira et al., 2006). Die besten SchwimmerInnen verbringen nach dem Start und den Wenden eine längere Zeit in der Unterwasserphase (Cossor & Masson, 2001; Seifert et al., 2007). Dabei sollte versucht werden, den Kontakt an der Wand möglichst gering zu halten, die Geschwindigkeit nach der Wand zu maximieren, die Abbremsung durch Delphinkicks oder Kraulbeinschlag zu minimieren und ein angemessenes Timing für den Start der Gesamtschwimmlage zu wählen (Blanksby et al., 2004; Hubert et al., 2006). Längere Unterwasserphasen nach Start und Wenden wurden laut Veiga et al. (2014) erreicht, wenn die Unterwassergeschwindigkeit schneller als die Gesamtschwimmlagesgeschwindigkeit war. Wenn die Unterwasserkicks nach einer Gleitgeschwindigkeit zwischen 1.9 – 2.2 m/s gestartet werden, kann die Unterwasserdistanz vergrössert und die Rennzeit, je nach Rennen, um 0.1 – 0.2 Sekunden reduziert werden. Dies entspricht der Differenz zwischen dem/der Erst- und Drittplatzierten in einem Sprintevent (Breed & McElroy, 2000; Galbraith et al., 2008). Laut Marinho et al. (2020) hat im Gegensatz zu den Startzeiten bei den Wendezeiten nicht die Unterwasserphase, sondern das «Surface Profile» (der Anteil des Rennens, bei dem sich die schwimmende Person an der Wasseroberfläche befindet) den Haupteinfluss.

In Anbetracht des enormen Einflusses von Start- und Wendezeiten sollten sowohl TrainerInnen wie auch SchwimmerInnen in Hinblick auf Verbesserungen der Rennzeiten mehr Fokus auf diese Phasen im Training legen (Marinho et al., 2020; Morais et al., 2019b). Deshalb ist wichtig, eine genaue Analyse dieser drei Phasen (Start, Turn, Finish) vorzunehmen und die Relevanz jeder einzelnen Phase herauszufinden (Marinho et al., 2020). Videoanalysen von EliteschwimmerInnen

stellen dabei das Haupttool für AthletInnen, TrainerInnen und ForscherInnen dar, um die Schwimmleistungen zu erfassen und zu verbessern (O' Donoghue, 2006).

## **1.2 Problemstellung**

Vergleiche zwischen Start- und Wendeleistungen in den vier verschiedenen Schwimmdisziplinen in grossen Events für beide Geschlechter sind limitiert (Morais et al., 2019b). Ausserdem haben bisher nur wenige Studien den Finish und dessen Einfluss auf die Rennzeit untersucht (Ikuta, 1998; Suito et al. 2015). Mehr Nachweise in diesem Feld wären von grosser Bedeutung (Marinho et al., 2020).

Aus diesem Grund werden in dieser Arbeit die Finalrennen der Frauen an den Weltmeisterschaften in Budapest 2021 erforscht und analysiert, um wichtige Vergleiche und daraus folgende Schlüsse zu ermöglichen. Damit können TrainerInnen und SchwimmerInnen den Fokus im Training richtig setzen, Defizite ausgleichen und somit zukünftig bessere Leistungen erzielen, ganz nach dem Motto von Pierre Coubertin (Neuner-Jehle, 2013).

Eine ähnliche Studie wie jene in dieser Arbeit führten Born et al. (2021) durch. Dabei filmten sie 932 individuelle Rennen der Männer an den Kurzbahn Europameisterschaften in Glasgow im Jahre 2019 und erstellten «Benchmarks» (Normwerte). Start- und Wendeleistungen standen dabei in besonderem Fokus, da sich diese Elemente in der Vergangenheit als leistungsentscheidende Faktoren im modernen Wettkampfschwimmen herausgestellt hatten. Die daraus entstandenen Benchmarks dienen als Vergleichswerte für SchwimmerInnen verschiedener Leistungsniveaus.

Dabei wurde festgestellt, dass in der Disziplin Freestyle die schnellsten Schwimmzeiten über 100 und 200 m erreicht wurden, während Breaststroke auf diese Distanzen die langsamste Disziplin darstellte. Butterfly und Backstroke unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Hinsichtlich der Startzeiten ergaben sich folgende Resultate. Die Startzeit wies einen signifikanten Unterschied bezüglich der Distanz auf, wobei sie in Rennen ab 200 m signifikant zunahm. Born et al. (2021) erklärten das mit der Tatsache, dass 50- und 100-m-Rennen erhöhte anaerobe Energiebeiträge verlangen, was zu schnelleren und explosiveren Starts führt, während bei längeren Distanzen die aeroben Beiträge wichtiger sind und so die Startgeschwindigkeit langsamer ist. Ausserdem nimmt die Relevanz der Startleistung mit zunehmender Renndistanz ab.

In Bezug auf die Disziplinen zeigten Freestyle und Butterfly die schnellsten 15-m-Starts auf, gefolgt von Backstroke und Breaststroke, wobei bei den 200-m-Rennen der Freestyle Start zusätzlich

signifikant schneller war als der Butterfly Start. Mit diesen Resultaten geht die Tatsache einher, dass Schwimmer, die die Starts vom Startblock ausführten (Freestyle, Butterfly, Breaststroke), die 5- und 10-m-Marke schneller erreichten im Vergleich zu den Backstroke Starts, welche im Wasser ausgeführt werden. Dies wird durch die erhöhte horizontale Geschwindigkeit beim Verlassen des Startblockes, verglichen mit den Starts im Wasser, erklärt. Ausserdem liegen beim Backstroke Start tiefere «Flighttimes» (Flugzeiten), «Entrytimes» (der Zeitunterschied zwischen dem Startsignal und dem ersten Kontakt der Hände mit dem Wasser) und «Entrydistances» (die Distanz zwischen der Wand und dem Eintritt der Hände ins Wasser) vor (Morais et al., 2019b). Bei den Analysen der Wenden ergaben sich erneut einige aussagende Ergebnisse. So wiesen die Wendezeiten einen signifikanten Unterschied mit zunehmender Distanz auf. Je länger das Rennen dauerte, desto langsamer waren die Wendezeiten. Freestyle zeigte wiederum die schnellsten Wendezeiten, gefolgt von Backstroke, Butterfly und Breaststroke. Nach Slawson et al. (2019) waren «Tumble Turns» (werden bei den Disziplinen Freestyle und Backstroke ausgeführt, bei denen die Schwimmenden eine Vorwärtsrolle an der Wand ausführen und sich danach mit den Füßen abstossen) signifikant schneller als «Open Turns» (wird von den Delfin- und Brustschwimmenden verwendet, wobei sie die Wand mit beiden Händen berühren, sich drehen und danach mit den Füßen von der Wand abstossen). So zeigten sich bei den Freistilschwimmern die schnellsten Wendezeiten, welche bei den Rückenschwimmern, Delfinschwimmern und Brustschwimmern sukzessive abnahmen. Letztere wiesen die langsamsten Zeiten in den Start- und Wendeleistungen auf. In Hinblick auf den Einfluss der Start- und Wendezeiten konnte festgestellt werden, dass die Startzeit mit zunehmender Distanz an Wichtigkeit verliert, während die Wendezeiten mit zunehmender Distanz an Bedeutung gewinnen. Bei den 50-m-Rennen hingegen waren beide Faktoren von grosser Bedeutung für die Schwimmzeit. Abschliessend kann gesagt werden, dass in Hinsicht auf die grossen Anteile der Starts (bis zu 26%) und Wendeleistungen (bis zu 56%) die Menge an Start- und Wendeübungen der bisherigen Trainingspläne überdacht werden sollten (Born et al., 2021).

Die Umsetzung ähnlicher Untersuchungen wie derjenigen von Born et al. (2021) ist hinsichtlich zweier Faktoren von grossem Interesse. Dies betrifft einerseits das Analysieren der Frauenrennen anstelle der Männerrennen und andererseits das Fehlen von solchen Untersuchungen auf einer Langbahn. Analysen von Langbahnrennen sind limitiert. Morais et al. (2019b) untersuchten den Einfluss von Start- und Wendeleistungen auf die Rennzeiten der 100-m-Rennen auf einer Langbahn an den Europameisterschaften der Männer und Frauen in London im Jahre 2016. Dabei wurde

festgestellt, dass Freestyle die schnellste Disziplin darstellte, gefolgt von Butterfly, Backstroke und Breaststroke. Freestyle und Butterfly wiesen signifikant schnellere Startgeschwindigkeiten im Vergleich zu Backstroke und Breaststroke auf. Dieser Unterschied wird durch die geringe Anzahl von Delfinkicks im Breaststroke hervorgerufen. Freistil-, Delfin-, und RückenschwimmerInnen nutzen die Delfinkicks aus, um länger unter Wasser zu bleiben, da ihre Geschwindigkeit unter Wasser höher ist (Morais et al., 2019b). Die Variablen «Reactiontime» (Zeitdifferenz zwischen dem Startsignal und dem letzten Kontakt der Füße mit dem Startblock), «Entrytime», «Flighttime» und «Entrydistance» unterschieden sich signifikant zwischen Backstroke und allen anderen Disziplinen. Die RückenschwimmerInnen wiesen dabei die tieferen Werte auf. Dieser Unterschied wird durch die Differenz im Start erklärt, welche bei den RückenschwimmerInnen im Wasser stattfindet. Im Vergleich zu den DelfinschwimmerInnen war die «Underwatertime» (Zeitunterschied zwischen dem Eintritt der Hände ins Wasser und dem Ausbrechen des Kopfes aus dem Wasser) und die «Waterbreakouttime» (vergangene Zeit zwischen dem Startsignal und dem Ausbrechen des Kopfes aus dem Wasser) der FreistilschwimmerInnen kürzer, da die Schwimmgeschwindigkeit höher ausfällt. So verbrachten diese die kürzeste Zeit unter Wasser. Auch in Bezug auf die Wendezeiten hoben sich die FreistilschwimmerInnen von den anderen ab. Die Männer wie auch die Frauen absolvierten den «Total Turn» (Zeitunterschied zwischen 45 m einer Länge und 15 m nach der Wende) am schnellsten. Gemeinsam mit der Startzeit wiesen die Wendezeiten einen signifikanten Einfluss auf die Rennzeit auf, welche 31-32% ausmachten. Die Wichtigkeit von Start- und Wendezeiten unterschied sich je nach Disziplin. Der höchste Beitrag dieser wurde sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen im Freestyle erreicht. Diese Ergebnisse zeigen erneut auf, dass diese Phasen des Rennens eine Schlüsselrolle in Schwimmrennen bei ElitesprinterInnen einnehmen. Marinho et al. (2020) führten ähnliche Untersuchungen durch, wobei sie den Einfluss von Start-, Wende- und Finishleistungen von EliteschwimmerInnen in 100- und 200-m-Rennen identifizierten. Diese Analyse wurde anhand der Finalrennen der Langbahn Europameisterschaften in Glasgow im Jahre 2018 vorgenommen. In Hinblick auf den Einfluss des Starts wurde bei den Männern folgendes eruiert: Die 15 m Zeit nach dem Start wies für die Disziplinen Freestyle, Backstroke und Butterfly einen signifikanten Unterschied zwischen den 100- und 200-m-Rennen auf. Dabei waren die 15 m Zeiten bei den 200-m-Rennen langsamer als bei den 100-m-Rennen. Hinsichtlich der «Reactiontime» ergab sich ein signifikanter Unterschied bei den Delfinschwimmern, die in den

100-m-Rennen schneller reagierten. Bei den Freistilrennen zeigte sich ein signifikanter Unterschied in der Flugzeit, wobei die Schwimmer der 100-m-Rennen mehr Zeit in der Luft verbrachten. Damit einhergehend ist auch eine signifikant weitere «Entrydistance» in den 100-m-Rennen im Freestyle. Betreffend der «Underwater time» wiesen nur die Breaststroke Rennen einen signifikanten Unterschied auf. Die Schwimmer der 200-m-Rennen befanden sich längere Zeit unter Wasser. Korrelierend dazu ist ebenfalls eine signifikant weitere «Underwaterdistance» (Distanz zwischen dem Eintritt der Hände ins Wasser und dem Ausbrechen des Kopfes aus dem Wasser) auf dieser Renndistanz in der Disziplin Breaststroke. Auch die «Waterbreaktime» und «Waterbreakdistance» (Distanz zwischen der Wand und dem Ausbrechen des Kopfes aus dem Wasser) ergaben nur bei den Brustschwimmern einen signifikanten Unterschied, wobei beide in den 200-m-Rennen länger waren. Die Variable «Underwaterspeed» (Geschwindigkeit zwischen der «Entrytime» und «Waterbreaktime») wies einen signifikanten Unterschied bei den Disziplinen Backstroke, Breaststroke und Butterfly auf. Während der 100-m-Rennen wurden höhere Geschwindigkeiten erreicht. Betreffend der Variablen der Kategorie «Turn» zeigten sich folgende Muster: Die «Total Turn Time» erwies sich bei allen Disziplinen der 100-m-Rennen als signifikant schneller. Das gleiche konnte bei den Variablen «5-m-in» und «15-m-out» festgestellt werden. Hinsichtlich der «Waterbreaktime» und «Waterbreakdistance» liess sich nur zwischen den Delfinschwimmern einen signifikanten Unterschied ausmachen. Die 200-m-Schwimmer erreichten dabei die höheren Werte in diesen Variablen. Beim Finish zeigte sich eine signifikante Differenz nur bei den Delfinschwimmern. Dabei war der Finish der 100-m-Rennen schneller und gleichzeitig die Geschwindigkeit des Finishes höher. Die Analyse der Frauenrennen wiesen ähnliche Resultate auf. Der Start unterschied sich hierbei in den Rennen der Disziplinen Freestyle, Breaststroke und Butterfly. Bei den 100-m-Rennen erfolgte wiederum der schnellere Start. Hinsichtlich der Reaktionszeit wiesen die 100-m-Delfinschwimmerinnen eine schnellere Reaktion auf. Derselbe Unterschied wurde auch bei den Freistilrennen festgestellt. Während bei den Männern ein signifikanter Unterschied der Flugzeit im Freestyle identifiziert wurde, ergab sich dieser bei den Frauen im Butterfly. Die 100-m-Delfinschwimmerinnen verbrachten mehr Zeit in der Luft als die 200-m-Schwimmerinnen. Bei der «Entrytime» und «Entrydistance» ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Die Variablen «Underwatertime» und «Underwaterspeed» waren analog zu den Männern. Nur im Breaststroke zeigte sich ein signifikanter Unterschied, wobei die Brustschwimmerinnen der 100-m-Rennen jeweils tie-

fere Werte aufwiesen. Hinsichtlich des «Underwaterspeeds» ergab sich eine kleine Differenz zwischen den Männern und den Frauen. Während bei den Männern eine Signifikanz bei den Disziplinen Backstroke, Breaststroke und Butterfly festgestellt werden konnte, zeigte sich bei den Frauen ein solcher Unterschied nur in den Disziplinen Breaststroke und Butterfly. Die Schwimmerinnen der 100-m-Rennen erreichten höhere Geschwindigkeitswerte als diejenigen der 200-m-Rennen. Auch beim «Breakoutprofile» des Starts tauchten Similaritäten auf. Die «Waterbreaktime» wies bei den Frauen im Breaststroke einen signifikanten Unterschied auf, wobei bei der «Waterbreakdistance» in keiner Disziplin ein signifikanter Unterschied zwischen den 100- und 200-m-Rennen festgestellt werden konnte. Wurden die Variablen der Kategorie «Turn» der Frauen betrachtet, liessen sich erneut Similaritäten zu den Männern erkennen. Die Variablen «Total Turn Time», «5-m-in» und «15-m-out» zeigten bei allen Disziplinen einen signifikanten Unterschied. Die 100-m-Schwimmerinnen erwiesen sich dabei als schnellere Absolventinnen der Wenden. Die «Waterbreaktime» wies keinen signifikanten Unterschied auf, wohingegen bei der «Waterbreakdistance» bei den Rückenschwimmerinnen ein solcher zu erkennen war. Die 100-m-Schwimmerinnen erreichten die höheren Werte. Bei der letzten Variablen der Kategorie «Turn», «Underwaterspeed», liess sich einzig und allein bei den Delfinschwimmerinnen ein signifikanter Unterschied erkennen. Diese erreichten höhere Geschwindigkeiten als die Absolventinnen der 200-m-Rennen. Beim Finish korrelierten die Resultate der Frauen mit denen der Männer hinsichtlich der Tatsache, dass der Finish und die Geschwindigkeit des Finishes bei den Delfinschwimmerinnen einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Renndistanzen aufwiesen. Dabei waren die 100-m-Schwimmerinnen wiederum schneller als die 200-m-Schwimmerinnen. Der gleiche Unterschied wurde auch bei den Frauen in den Breaststrokerennen festgestellt. Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den 100- und 200-m-Rennen bei den Männern und den Frauen sowohl beim Start als auch bei den Wenden beobachtet wurde. Beim Finish konnte eine signifikante Differenz nur im Butterfly für beide Geschlechter und im Breaststroke bei den Frauen festgestellt werden.

Weiter stellten auch Veiga et al. (2014) Forschungen zwischen 100- und 200-m-Rennen an. Dabei verglichen sie jedoch die Leistungen zwischen nationalen und regionalen SchwimmerInnen auf diesen Distanzen. Die nationalen SchwimmerInnen wiesen bei 39 von 64 Variablen einen signifikanten Unterschied zu den regionalen SchwimmerInnen auf. Die meisten Unterschiede wurden in den Disziplinen Backstroke und Butterfly erreicht. Bei den Freistilrennen konnten die wenigsten

signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Auffallende Resultate ergaben sich bezüglich der Geschwindigkeiten der Wenden. Es wurde in allen vier 100- wie auch 200-m-Rennen bei den Frauen und den Männern in jeder Disziplin ein signifikanter Unterschied zwischen den nationalen und regionalen SchwimmerInnen festgestellt. Hinsichtlich der signifikanten Unterschiede in der «Startdistance» (Distanz zwischen der Wand und dem Ausbrechen des Kopfes aus dem Wasser) erreichten die nationalen SchwimmerInnen die signifikant weiteren Werte. Das gleiche Phänomen zeigt sich auch bei der Variablen «Turndistance» (Distanz vom letzten Armzug vor der Wende bis zum Ausbrechen des Kopfes nach der Wende). Bei Vorliegen eines signifikanten Unterschiedes der nationalen und regionalen WettkämpferInnen zeigten sich bei den nationalen SchwimmerInnen die weiteren «Turndistances». In Bezug auf die «Startvelocity» (mittlere Geschwindigkeit über die «Startdistance») wiesen die nationalen SchwimmerInnen im Falle eines signifikanten Unterschiedes jeweils die höheren Geschwindigkeiten auf. Während bei den bisherig analysierten Variablen jeweils nur einige der Disziplinen signifikante Unterschiede zwischen den nationalen und regionalen Schwimmerinnen vorwiesen, zeigte sich bei der Variablen «Turn Velocity» in allen eruierten Rennen der Männer und Frauen eine Signifikanz. Diese Resultate werden mit der Tatsache erklärt, dass nationale SchwimmerInnen die Wand mit höheren Geschwindigkeiten und Kräften vor Initiierung der Wende erreichen. Ein weiteres Argument der Autoren ist, dass die nationalen SchwimmerInnen besser mit Müdigkeit umgehen und ihre Kräfte während des Rennens besser einteilen können, was die schnelleren Wendeleistungen unterstützen würde. Zusammenfassend konnte festgestellt werden, dass sich die nationalen WettkämpferInnen in den Start- und Wendeleistungen betreffend Geschwindigkeiten und Distanzen in mehr als der Hälfte der untersuchten Rennen von den regionalen SchwimmerInnen unterschieden, das heisst, sie wiesen die besseren Werte auf. Diese Feststellung verweist erneut auf die Wichtigkeit dieser Phasen des Rennens und das Einbeziehen dieser im Training.

In der Einleitung wurde die Theorie des Pacings bereits erläutert. Im Folgenden sollen bisherige Resultate aus der Literatur präsentiert werden. Lopez-Belmonte et al. (2022) haben Untersuchungen in diesem Gebiet angestellt. Dabei eruierten sie 400-m-, 800-m- und 1500-m-Freistilrennen an den Langbahn Europameisterschaften in Budapest im Jahre 2021. Es stellte sich heraus, dass sich die erste und letzte Länge durch signifikant schnellere Geschwindigkeiten auszeichneten. Die Längen dazwischen wiesen gleichmässige Geschwindigkeiten auf. Das bestätigt die Anwendung einer



parabolischen Pacingstrategie in den 400-, 800- und 1500-m-Rennen. Das Phänomen einer signifikant schnelleren ersten Länge des Rennens konnte auch im systematischen Review von Menting et al. (2019) bestätigt werden. In 12 von 16 Studien wurde eine erhöhte Geschwindigkeit in der Startphase des Rennens festgestellt. Dies konnte für die vier Distanzen 100 m, 200 m, 400 m und 800 m sowie für alle Disziplinen beobachtet werden. In den meisten Studien wurde das Pacing anhand einer gesamten Länge festgelegt. Dabei wird jedoch das «Cleanswimming» mit den Wenden zusammen betrachtet, wobei ein Vorteil in der Geschwindigkeit durch das Abstoßen erreicht werden kann (Morais et al., 2020). Die Wende entspricht dabei den letzten 5 m vor der Wand und den ersten 15 m nach der Wand (Morais et al., 2019a). Morais et al. (2020) wollten diesen Unterschied minimieren, weshalb sie nur das «Cleanswimming», welches die Phase zwischen 15 und 45 m einer Länge beschreibt (Morais et al., 2019a), miteinbezogen. So konnten mögliche Vorteile durch die Wenden ausgeschlossen werden. Einen weiteren Einfluss auf die Geschwindigkeit hatten Start und Finish (Lipinska et al., 2016a), weshalb auch diese zwei Phasen für einen Teil der Analyse entfernt wurden. Dazu untersuchten diese die Stabilität der Leistungs-, Pacing- und Wendenparameter von Elite-Langdistanz-Schwimmern während einem 800-m-Rennen an den Europameisterschaften im Jahre 2016 in London. Dabei konnte herausgefunden werden, dass die erste Hälfte des Rennens mit ( $p < 0.001$ ) und ohne ( $p < 0.002$ ) den Start und Finish höhere Geschwindigkeiten aufwiesen als die zweite Hälfte des Rennens. Elite-Langdistanz-Schwimmer zeigten eine positive Pacingstrategie auf, wobei die Leistungen während des Rennens abnahmen.

In dieser Arbeit sollen durch das gleiche Verfahren wie in der Studie von Born et al. (2021) Normwerte für Langbahn-Rennen aufgestellt werden. Dafür sollen Start-, Wende- und Schwimmleistungen verschiedener Rennen analysiert und die daraus gewonnenen Normwerte als Vergleichswerte sowohl zwischen den verschiedenen Lagen als auch zwischen den unterschiedlichen Distanzen dienen. So können mögliche Defizite durch TrainerInnen und SchwimmerInnen besser erkannt und behoben werden, um die Leistung zu verbessern.

Die Relevanz dieser Arbeit liegt im Untersuchen und Analysieren von Aspekten in Schwimmrennen, die in der Vergangenheit noch nicht betrachtet wurden. Es existieren erst wenige Untersuchungen, die alle Renndistanzen und alle Disziplinen gleichzeitig miteinander verglichen haben. Das Ziel der meisten Studien waren 200- oder 400-m-Rennen, wobei die Disziplin Freestyle am häufigsten untersucht wurde (Menting et al., 2019). Des Weiteren fokussierten sich bisher nur wenige Studien auf die Start-, Wende- und Finishleistungen. Diese wiesen jedoch wichtige Einflüsse

auf die Rennleistungen auf. Durch das Zurverfügungstellen von Benchmarks als Vergleichswerte sollen zukünftige Leistungsverbesserungen ermöglicht werden. Zudem sollen die Anteile der Start-, Wende- und Schwimmphasen am Gesamtergebnis identifiziert werden, um die Wichtigkeit dieser Phasen zu unterstreichen. Im Bereich des Pacings soll untersucht werden, welche Strategie in den verschiedenen Rennen in Bezug auf die Geschwindigkeitseinteilung verfolgt wird. Dabei werden im Gegenteil zu vielen bisherigen Studien die ersten 15 m des Startes sowie der Finish nicht in die Analyse miteinbezogen. Des Weiteren werden auch die Wenden, sprich 5 m vor der Wand und 15 m nach der Wand (Morais et al., 2019a), eliminiert. Es ist bekannt, dass durch den Start ein Peak in der Geschwindigkeit erreicht wird. Auch die Finishzeit führt zu verzerrten Daten, da diese auch schneller absolviert wird (Lipinska et al., 2016a). Somit werden auf der ersten und letzten Länge oft die schnellsten Geschwindigkeiten erreicht (Lopez-Belmonte et al., 2022; Menting et al., 2019). In den vorliegenden Untersuchungen sollen diese Unterschiede minimiert und die Geschwindigkeiten ohne Einfluss der erhöhten Start- und Finishgeschwindigkeiten verglichen werden. Der Vorteil des Abstossens nach den Wenden soll ebenfalls ausgeschlossen werden. Es wird also ein ähnlicher Ansatz wie in der Studie von Moraes et al. (2020) gewählt, wobei ihre Studie nur einen Einblick in die 1500-m-Rennen gab. Mit Hilfe dieser Studie soll zudem Aufschluss über die Pacingstrategien der 100-, 200-, 400-, 800- und 1500-m-Rennen aller Disziplinen gegeben werden. Die erhöhten Geschwindigkeiten, hervorgerufen durch Start, Wenden und Finish, sollen dabei weggelassen und nur die Geschwindigkeiten des «Cleanswimmings» zwischen 15 und 45 m jeder Länge des Rennens verglichen werden. Die letzten Untersuchungen in dieser Arbeit betreffen einen Vergleich, der in der Literatur bisher noch nicht eruiert wurde, nämlich zwischen Lagenspezialistinnen und Lagenschwimmerinnen. Damit wird ein weiteres unerforschtes Gebiet im Schwimmsport abgedeckt. Es existieren bisher keine Studien, die eine solche Gegenüberstellung von Rennen der Lagenschwimmerinnen (Individual Medley) und den Lagenspezialistinnen (Backstroke, Breaststroke, Butterfly, Freestyle) vorgenommen haben. Die vorliegenden Untersuchungen sollen dies ändern.

Die Begriffe Benchmarks, Time on Block, Flighttime, Breakoutdistance, Strokerate, Distance per Stroke, Turn, Tumble Turn, Open Turn, Total Turn Times, Cleanswimming, Surfaceprofile, Racetime, Swim, Swimtime, Finish sind feststehende Begriffe in der Schwimmszene und werden daher als solche in dieser Arbeit genutzt. Sie werden im Glossar am Ende beschrieben.

### **1.3 Zielsetzung**

Diese Arbeit setzt sich das Ziel herauszufinden, welchen Einfluss Start-, Wende- und Schwimmleistungen in den verschiedenen Langbahn-Schwimmrennen auf die Endzeiten haben.

Dadurch sollen Normwerte für Langbahn-Wettkämpfe erstellt und somit aufgezeigt werden, wie diese Faktoren verwendet werden können, um die Leistung zu verbessern.

Weitere Untersuchungen werden in Bezug auf das Pacing und dem Vergleich von Lagschwimmerinnen und Lagspezialistinnen vorgenommen.

Die konkret formulierten Zielsetzungen lauten:

- I. Erstellung von Normwerten für Langbahn-Wettkämpfe
- II. Bestimmung der prozentualen Anteile der Schwimmabschnitte der einzelnen Disziplinen und Strecken im Vergleich und Bestimmung der Anteile der Gesamtzeit
- III. Analyse der Geschwindigkeiten und Pacingstrategien
- IV. Identifizierung von Unterschieden zwischen Lagschwimmerinnen und Lagspezialistinnen

## **2 Methode**

In diesem Bereich der Arbeit werden die angewandten Verfahren von der Datenmessung bis hin zur Datensammlung und Auswertung detailliert beschrieben.

### **2.1 Untersuchungsdesign**

Die vorliegende Studie repräsentiert eine Querschnittstudie, bei welcher die einzelnen Daten der absolvierten Finalläufe der Europameisterschaften 2021 in Budapest gefilmt und analysiert wurden. Da keine Intervention vorliegt, handelt es sich um eine Evaluationsstudie.

### **2.2 Untersuchungsteilnehmende**

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden alle 136 individuellen Finalläufe der weiblichen Teilnehmerinnen an den Europameisterschaften 2021 in Budapest analysiert und ausgewertet. Dies beinhaltete folgende Rennen: 50 m Butterfly, 50 m Backstroke, 50 m Freestyle, 50 m Breaststroke, 100 m Butterfly, 100 m Backstroke, 100 m Freestyle, 100 m Breaststroke, 200 m Butterfly, 200 m Backstroke, 200 m Freestyle, 200 m Breaststroke, 200 m Individual Medley, 400 m Freestyle, 400 m Individual Medley, 800 m Freestyle, 1500 m Freestyle.

### **2.3 Untersuchungsverfahren**

Die zu untersuchenden Rennen wurden von zwölf stationären Kameras am Beckenrand gefilmt. Die Aufnahmegeschwindigkeit betrug 50 Herz (Hz). Alle zehn Schwimmbahnen wurden von einer der Kameras gefilmt, die somit die Bewegungen aller Schwimmerinnen festhielt. Damit das Startsignal bei der Analyse ersichtlich war, wurde dieses anhand eines Lichtsignals synchronisiert, welches beim Startpfiff aufleuchtete und auf dem Video erkennbar wurde. Das Sammeln der Daten geschah mithilfe der Analysesoftware (Kinovea, 0.9.4; Charmant, o.D.). Dabei wurden die Aufnahmen aus den Finalläufen in der Software geöffnet und bei den vorgegebenen Variablen ein sogenanntes Schlüsselbild gemacht. Zu jedem Schlüsselbild speicherte die Software eine Zeitangabe in Millisekunden. Die Zeitangabe entsprach der Differenz zwischen dem Start des Videos und dem Zeitpunkt des Schlüsselbildes. Die «Breakoutdistance» (das Durchbrechen der Wasseroberfläche mit dem Kopf) wurde als einziger Wert in Metern angegeben. Nachdem alle Schlüsselbilder festgelegt waren, wurde die Datei als Exceltabelle exportiert. Anhand eines Templates wurde aus den gespeicherten Zeitangaben von der Analysesoftware für jede Variable den dazugehörigen Wert

ermittelt. Daraus ergab sich eine Datensammlung, wobei für jede Schwimmerin die ausgerechneten Werte aufgelistet wurden, welche in der Statistiksoftware miteinander verglichen werden konnten.

### **2.3.1 Variablen der Kategorien «Start», «Turn» und «Swim»**

Die folgenden Variablen wurden für die Auswertung der Kategorie «Start» ausgewählt: (i) «Time on Block» (die Zeit zwischen dem Startsignal und dem Verlassen des Startblockes, sprich der letzte Zeitpunkt, zu welchem die Zehen den Startblock noch berühren); (ii) «Flighttime» (die Zeit zwischen dem Verlassen des Startblockes und dem ersten Kontakt des Kopfes mit dem Wasser); (iii) «5-m-out» (die Zeit zwischen dem Startsignal und dem Erreichen des Kopfes der Schwimmerin der 5-m-Marke); (iv) «Breakoutdistance» (die Distanz zwischen dem Beckenrand des Starts und dem Durchbrechen der Wasseroberfläche mit dem Kopf); (v) «15-m-out» (die Zeit zwischen dem Startsignal und dem Erreichen der 15-m-Marke).

Die Auswertung der Kategorie «Turn» umfasste folgende Variablen: (i) «5-m-in» (die Zeit zwischen Erreichen der 45-m-Marke und dem Wandkontakt); (ii) «5-m-out» (die Zeit zwischen dem Wandkontakt und dem Erreichen der 5-m-Marke der neuen Länge); (iii) «Breakoutdistance» (die Distanz zwischen der Wand und dem Durchbrechen der Wasseroberfläche mit dem Kopf); (iv) «15-m-out» (die Zeit zwischen dem Wandkontakt und dem Erreichen der 15-m-Marke); (v) «Total Turn Time» (die vergangene Zeit zwischen Erreichen der 5-m-Marke vor der Wende und der 15-m-Marke nach der Wende).

In der Kategorie «Swim» wurden folgende Variablen gemessen: (i) «Strokerate» (SR = Anzahl Armzüge pro Minute); (ii) «Distance per Stroke» (DPS = Distanz, die mit einem Armzug zurückgelegt wird); (iii) «Velocity» (Geschwindigkeit); (iv) «Swimtime» (Schwimmzeit = Rennzeit minus die Start-, Wende-, und Finishzeiten) und (v) «Racetime» (Rennzeit). Hinzu kamen (vi) «Splittimes», die alle 25 m festgehalten wurden. So entstanden pro Länge die Zeiten zwischen 0 und 25 m, 25 und 50 m, 50 und 75 m und zwischen 75 und 100 m. Der (vii) «Finish» wurde anhand der Zeit der letzten fünf Meter vor Beenden des Rennens berechnet.

## **2.4 Untersuchungsdurchführung**

Nach Start der Videoanalysen wurden zu Beginn nur acht Rennen ausgewertet und mit Daten eines Experten verglichen. Durch die daraus gemessenen Reliabilitätswerte konnte ermittelt werden, bei welchen Schlüsselbildern Defizite vorherrschten. Insbesondere die Variabel «5-m-out» nach dem

Start und die Wendezeiten wiesen tiefe Reliabilitätswerte auf. Dies konnte bereits im nächsten Versuch optimiert werden. Dabei lagen alle Interklassen-Korrelations-Werte (ICC) zwischen 0.903 und 1.000 (siehe Anhang 3). Im weiteren Verlauf der Rennanalysen tauchten erneut Schwierigkeiten auf. Nach dem Beenden der Analysen und vor dem Excelimport konnte häufig eine Verschiebung der Schlüsselbilder festgestellt werden. So war auf dem ersten Schlüsselbild das Lichtsignal nicht erkennbar. Die Analyse musste neu begonnen beziehungsweise alle Schlüsselbilder zum richtigen Zeitpunkt vorgerückt werden. Lange war unklar, wieso dieses Verschieben der Bilder auftrat. Es wurde angenommen, dass das Problem durch ein zu häufiges Zurückklicken zustande kam, was die Software überforderte. Durch das Vergleichen von Daten einer verschobenen mit einer korrekten Analyse konnte jedoch festgestellt werden, dass die Verschiebung nur die Schlüsselbilder, nicht jedoch die Zeitangaben beeinflusste. Das Problem wurde somit nicht vollends gelöst, es konnte jedoch sichergestellt werden, dass es keinen Einfluss auf die darauffolgenden Analysen hatte.

## **2.5 Untersuchungsauswertung**

Die Untersuchungsauswertung wurde mit Hilfe der Software JASP 0.14.10 (JASP Team, 2022) vorgenommen. Dazu wurden die Daten aus der Template Exceltabelle, die zuerst in das spezielle Format csv. umgewandelt werden mussten, in die Software geladen, um darin die Statistiken durchzuführen. Dabei sollten sowohl die Normwerte erstellt und Analysen zu Unterschieden zwischen den Rennen der verschiedenen Distanzen und Disziplinen vorgenommen wie auch Aufschluss über das Pacing hervorgebracht werden. Die letzte Untersuchung betraf das Vergleichen der Lagen-schwimmerinnen mit den Spezialistinnen der vier Lagen.

### ***2.5.1 Normwerte und Vergleiche zwischen den Distanzen und Disziplinen***

Ein Ziel der statistischen Auswertung war das Ausrechnen der Normwerte für die unterschiedlichen Disziplinen und Distanzen. Da die Freistilrennen von 50 m bis 1500 m geschwommen wurden, eigneten sich diese Rennen zum Vergleichen und Erstellen der Normwerte der verschiedenen Distanzen. Für den Vergleich der unterschiedlichen Disziplinen dienten die Rennen auf 200 m, da alle fünf Schwimmstile auf dieser Distanz absolviert wurden. Da durch das Einfügen des kompletten Templates auch Rennen in der Software waren, die in den beiden Untersuchungen nicht verglichen werden sollten, mussten vor Analysestart immer zuerst die richtigen Werte ausgewählt wer-

den. Dazu wurden jeweils in der Spalte Distanz oder Disziplin die richtigen Rennen zum Auswerten gefiltert, beispielsweise alle Freistilrennen oder alle 200-m-Rennen. Die anderen Daten wurden stummgeschaltet und flossen damit nicht fälschlicherweise in die Resultate mit ein. Zum Erstellen der Normwerte in einer Tabelle wurde jeweils sowohl eine deskriptive Statistik als auch eine einfaktorielle ANOVA vorgenommen, da Mittelwerte zwischen acht Schwimmerinnen verglichen wurden. Mit der deskriptiven Statistik konnten die Normwerte, dargestellt als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung, herausgefunden werden. Die ANOVA diente zum Vergleichen der verschiedenen Variablen der Rennen. Mit Hilfe der deskriptiven Statistik wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der acht Finalrennen aller 200-m-Rennen sowie aller Freistilrennen berechnet. Zum Vergleichen und Herausfinden, ob ein Unterschied zwischen den Distanzen und Disziplinen der vorgestellten Variablen vorlag, wurde der F-Wert, der p-Wert und das partial eta<sup>2</sup> ( $\eta^2 p$ ) berechnet. Diese Werte gaben Aufschluss über den Mittelwertsunterschied, die Signifikanzstärke und die Effektstärke, wobei letztere folgendermassen interpretiert werden kann: minimaler Effekt  $0.04 < \eta^2 p \leq 0.25$ ; moderater Effekt  $0.25 < \eta^2 p \leq 0.64$  und starker Effekt  $0.64 < \eta^2 p$  (Ferguson, 2009). Die Signifikanzgrenze wurde bei  $p < 0.05$  angesetzt. Ein Quantil-Quantil-Diagramm (Q-Q-Diagramm) diente zusammen mit dem Bonferroni-Post-hoc-Test zum genaueren Überprüfen der Daten. Wenn die Punkte im Q-Q Diagramm annähernd auf einer Geraden liegen, kann vermutet werden, dass die Daten normalverteilt sind (Keller, 2018). Der Bonferroni-Post-Hoc-Test diente dem genaueren Anzeigen der Unterschiede, wenn eine Signifikanz zwischen den Mittelwerten vorlag (Bortz & Schuster, 2011). So konnte festgestellt werden, welche Werte der verschiedenen Distanzen und Disziplinen sich signifikant von den anderen unterschieden.

Die Werte der Kategorien «Start» sowie diejenigen der 50-m-Rennen, die Variablen «Finish» und «Racetime» konnten direkt vom Template übernommen werden, da es sich bei diesen jeweils nur um einen einzigen Wert handelte. Bei allen anderen Kategorien und Rennen mussten weitere Massnahmen getroffen werden, bevor diese in der Software verglichen werden konnten. So wurde für die «Strokerate», die «Distanz per Stroke», die «Velocity» und für die Wenden ab 100-m-Rennen in der Exceltabelle für jede Schwimmerin zuerst deren Mittelwerte berechnet.

Zum Berechnen der «Swimtime» und der «Velocity» mussten mehrere Werte miteinbezogen werden. So setzte sich die «Swimtime» aus der «Racetime» minus der Zeit für den Start, die Wenden und den Finish zusammen. Die Variable «Velocity» berechnete sich aus den Zeiten zwischen 15 m nach dem Start oder den Wenden und 5 m vor der nächsten Wende. Diese Entscheidung wurde

getroffen, da die weggelassenen Geschwindigkeiten im Vergleich zu den durchschnittlichen Werten erhöht vorlagen. Dies wird, wie in der Theorie des Pacing bereits beschrieben, durch einen Geschwindigkeitspeak nach dem Start oder dem Abstoss nach den Wenden erzeugt.

Anhand dieser Daten und den daraus hervorgehenden Resultaten wurde eine Tabelle erstellt, die sowohl die Normwerte als auch die Unterschiede zwischen den verschiedenen Disziplinen und Distanzen aufzeigt. Diese Tabelle wird im Kapitel 3 vertieft vorgestellt und interpretiert.

### ***2.5.2 Anteile der Start-, Wende- und Finishleistungen an der gesamten Rennzeit***

Zum Eruiere, wie gross der Anteil der Start-, Wende- und Finishleistungen innerhalb der gemessenen Rennen waren, wurde das Verhältnis der jeweiligen Abschnittsdauer zur gesamten Renn-dauer berechnet. Die Startzeit wurde anhand der «15-m-out» Zeit festgelegt, da sich diese Zeit aus den Zeiten aller Variablen des Startes zusammensetzt. Für die Wendezeiten wurde die «Total Turn Time» zur Berechnung verwendet. Dabei musste je nach Renndistanz jedoch noch eine Anpassung vorgenommen werden. Die «Total Turn Time» bezieht sich auf den Mittelwert aller Wenden und stellt somit die mittlere Zeit einer Wende dar. Um den Gesamtanteil mehrerer Wenden herauszufinden, wie es ab Rennen von 200 m der Fall ist, musste die «Total Turn Time» mit der Anzahl absolvierter Wenden in einem Rennen, im Fall von 200 m sind das drei, multipliziert werden. Die Zeit des «Finishes» bezieht sich auf die letzten fünf Meter eines Rennens. Gerechnet wurde dann das Verhältnis der jeweiligen Zeiten, zum Beispiel der Startzeit, zur «Racetime». Dadurch entstand ein Prozentwert, welcher den Anteil der jeweilig berechneten Zeit an die Gesamtzeit wiedergab. Zum Veranschaulichen der Beiträge der jeweiligen Phasen des Rennens wurden diese sowohl für die Disziplinen als auch für die Distanzen anhand einer Grafik dargestellt.

### ***2.5.3 Pacing***

Zum Vergleichen der Geschwindigkeiten zwischen den verschiedenen Rennen, um damit Aufschluss über die Pacingstrategien zu gewinnen, wurde ein gezielter Fokus auf diesen Aspekt gelegt. Dazu wurden die Geschwindigkeiten jedes Rennens für jede Länge berechnet. Dabei musste mit-einbezogen werden, dass die Geschwindigkeit nach dem Start und der Wenden erhöht waren. Damit dies die Resultate nicht beeinflusste, wurden gezielte Anpassungen vorgenommen. So berechnete sich die Geschwindigkeit jeder Länge aus den Geschwindigkeiten von 15 m nach dem Start respektive der Wende bis fünf Meter vor der nächsten Wende. Somit konnten vorausszusehende



Verfälschungen durch erhöhte Geschwindigkeiten minimiert werden. Daraus entstanden die durchschnittlichen Geschwindigkeiten für jede Länge der verschiedenen Rennen, die dann in JASP miteinander verglichen werden konnten. Das Ziel der statistischen Analyse stellte sowohl das Hervorbringen der am schnellsten und der am langsamsten absolvierten Länge wie auch das Herausfinden möglicher Aufschlüsse zum Pacing dar.

Als erstes wurden die Geschwindigkeiten der verschiedenen Längen in Excel aufgelistet und die schnellsten und langsamsten Geschwindigkeiten farblich hervorgehoben. So konnte in einem nächsten Schritt eruiert werden, zu welchem Zeitpunkt im Rennen die schnellsten und die langsamsten Geschwindigkeiten auftraten. Damit auch eine statistische Analyse durchgeführt werden konnte, wurde jeweils das Delta, das heisst die Differenz, zwischen der jeweils schnellsten und langsamsten Geschwindigkeit, berechnet. Diese Werte konnten dann in der Software JASP miteinander verglichen werden. Da die 50-m-Rennen nur eine einzige Geschwindigkeit mit sich brachten, konnte kein Delta ausgerechnet und diese Rennen somit nicht in der Untersuchung miteinbezogen werden. Mittels der Analyse sollten auf der einen Seite Unterschiede zwischen den verschiedenen Distanzen (100 m – 1500 m) wie auch Differenzierungen zwischen den verschiedenen Disziplinen (Butterfly, Backstroke, Breaststroke, Freestyle und Individual Medley) identifiziert werden.

Zur Untersuchung der verschiedenen Distanzen wurde bei der Disziplin Freestyle eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt, da hier fünf verschiedene Deltas (100 m, 200 m, 400 m, 800 m, 1500 m) miteinander verglichen wurden. Bei den Resultaten der ANOVA's wurde der Mittelwertsunterschied, die Signifikanz und die Effektstärke anhand des F-Wertes, des p-Wertes und des partiellen  $\eta^2$  ( $\eta^2_p$ ) dargestellt. Da alle anderen Disziplinen nur über 100 m und 200 m, oder im Falle von der Disziplin Individual Medley über 200 m und 400 m, absolviert wurden, stellte der ausgewählte statistische Test der unabhängige t-Test dar. Berechnet wurde der Mittelwertsunterschied, die Signifikanz und die Effektstärke anhand des t-Wertes, des p-Wertes und des Cohen's d, welches folgendermassen interpretiert werden kann: kleiner Effekt  $d \leq 0.2$ ; mittlerer Effekt  $0.2 \leq d \leq 0.8$ ; grosser Effekt  $d \geq 0.8$  (Cohen, 1988). Dabei wurde jeweils immer auf Normalität (Shapiro-Wilk-Test) und Gleichheit der Varianzen (Levene-Test) geprüft. In einigen Fällen waren die Daten nicht normalverteilt ( $p < 0.05$ ), weshalb der Mann-Whitney-U-Test zum Einsatz kam und somit das Cohen's d durch die biseriale Rangkorrelation ersetzt wurde. Bei Ungleichheiten in den Varianzen (Levene Test  $< 0.05$ ) wurde anstelle des Student's t-Test der Welch's t-Test verwendet.

Zum Eruiere von Unterschieden zwischen den verschiedenen Disziplinen wurden im Falle der 100- und 200-m-Rennen, welche beide die Disziplinen Butterfly, Backstroke, Breaststroke und Freestyle beinhalteten, eine einfaktorielle ANOVA durchgeführt. Da die Distanz 400 m nur durch die Disziplinen Freestyle und Individual Medley vertreten war, wurde hier erneut ein unabhängiger t-Test durchgeführt. Anhand des Shapiro-Wilk-Test und Levene-Test wurde auf Normalität und Gleichheit der Varianzen geprüft. Im Falle von nicht normalverteilten Daten oder ungleichen Varianzen wurde auf den Mann-Whitney-U-Test respektive Welch's t-Test gewechselt.

Zur grafischen Darstellung der Pacingprofile wurden die mittleren Geschwindigkeiten jeder einzelnen Länge der verschiedenen Distanzen und Disziplinen anhand eines Liniendiagrammes aufgeführt. Mit Hilfe dieser Grafiken können Aufschlüsse über das Pacingverhalten der Schwimmerinnen gewonnen werden.

#### ***2.5.4 Lagenschwimmerinnen verglichen mit Lagenspezialistinnen***

Wie in der Einleitung beschrieben, ist ein weiteres Ziel der Arbeit die Untersuchung, wie und ob sich Lagenschwimmerinnen von Lagenspezialistinnen differenzieren. Mit Lagenschwimmerinnen sind diejenigen Schwimmerinnen gemeint, die in der vorliegenden Untersuchung die Disziplin 200 m Individual Medley absolvierten. Die Lagenspezialistinnen sind diejenigen Schwimmerinnen, die 200 m in nur einer der vier Disziplinen zurücklegten. Die 200-m-Rennen wurden gewählt, weil da alle Disziplinen vertreten sind und somit miteinander verglichen werden konnten. Damit ein korrekter Vergleich möglich war, mussten die Rennen auf 50 m heruntergebrochen werden, da sich die Disziplin bei den Lagenschwimmerinnen immer nach 50 m ändert. Gestartet wird mit der Disziplin Butterfly, gefolgt von Backstroke, Breaststroke und zum Schluss Freestyle. So wurden die Werte aus den ersten 50 m der Lagenschwimmerinnen mit den Werten aus den ersten 50 m der Delfinschwimmerinnen verglichen. Die Werte von 50 bis 100 m wurden den zweiten 50 m der Rückenschwimmerinnen gegenübergestellt. Analog dazu wurden die dritten 50 m der Lagenschwimmerinnen mit den dritten 50 m der Brustschwimmerinnen und die letzten 50 m der Lagenschwimmerinnen mit den letzten 50 m der Freistilschwimmerinnen berechnet. Von Interesse waren die Variablen «Strokerate», «Distance per Stroke», «Swimtime» und «Velocity». Dies aus dem Grund, weil hier keine Unterschiede bei der Ausführung des Starts und Finishes zwischen den Disziplinen vorlagen. Des Weiteren konnten auch die Wenden nicht miteinander verglichen werden,

da die Lagenschwimmerinnen sowohl «Tumble Turns» wie auch «Open Turns» ausführen, während die Lagenspezialistinnen in ihren Rennen jeweils nur eine Art anwenden. Anhand der eruierten Daten konnten in der Software JASP Vergleiche vorgenommen werden. Da es sich bei den zu vergleichenden Datensätzen jeweils um zwei Werte handelte (Lagenspezialistinnen vs. Lagenschwimmerinnen), wurde der unabhängige t-Test verwendet.

Der t-Wert, das Cohen's d und der p-Wert gaben die Resultate bei den t-Tests an. Das Signifikanzniveau lag erneut bei  $p \leq 0.05$ . Der Shapiro-Wilk- und der Levene-Test massen die Normalverteilung und die Gleichheit der Varianzen. Bei den nicht-normalverteilten Werten ( $p < 0.05$ ) wurde der Mann-Whitney-U-Test anstelle des Student's t-Test und die biseriale Rangkorrelation anstelle des Cohen's d verwendet.

### **3 Resultate**

Die folgenden Unterkapitel präsentieren die analysierten Daten. Dabei werden die Normwerte und die Vergleiche zwischen den Distanzen und Disziplinen, der Anteil der Start-, Wende- und Finishphase am Rennergebnis, die Ergebnisse des Pacings und die Unterschiede zwischen den Lagschwimmerinnen und den Lagenspezialistinnen ersichtlich.

#### **3.1 Normwerte und Vergleiche zwischen den Distanzen und Disziplinen**

Die Tabelle 1 repräsentiert alle Start-, Wende- und Schwimmleistungen der Rennen über 50 bis 400 m. Dabei werden die verschiedenen Variablen auf Unterschiede zwischen den Disziplinen geprüft. In der Tabelle 2 sind die Start-, Wende- und Schwimmleistungen aller Freistilrennen zu erkennen. Es wird auf Differenzen zwischen den verschiedenen Distanzen analysiert.

Mit Hilfe der beiden Tabellen können die Normwerte anhand der Mittelwerte und Standardabweichungen aller Disziplinen und Distanzen eingesehen werden. Die Resultate werden auf Grund der hohen Anzahl an Signifikanzen in der Auswertung der Daten nur anhand der signifikanten Unterschiede zwischen den Disziplinen (Tabelle 1) respektive den Distanzen (Tabelle 2) beschrieben, die F-Werte und Effektstärken können in der jeweiligen Tabelle nachgelesen werden.

**Tabelle 1**

*Start-, Wende- und Schwimmleistungen aller acht Finalistinnen der 50-, 100-, 200- und 400-m-Rennen. Vergleich zwischen den Disziplinen. Daten werden als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen dargestellt.*

	Race Distance	BA	BR	FLY	FR	IM	F-Wert	p-Wert	$\eta^2$ p
<b>Start</b>									
<b>Time on Block</b>	50	0.57 $\pm$ 0.05 <sup>BR FLY FR</sup>	0.69 $\pm$ 0.02	0.69 $\pm$ 0.05	0.68 $\pm$ 0.03		20.96	< .001	0.69
	100	0.85 $\pm$ 0.63	0.68 $\pm$ 0.03	0.69 $\pm$ 0.03	0.70 $\pm$ 0.03		0.50	0.683	0.05
	200	0.62 $\pm$ 0.06 <sup>BR FLY FR IM</sup>	0.72 $\pm$ 0.03	0.73 $\pm$ 0.05	0.71 $\pm$ 0.03	0.71 $\pm$ 0.04	8.32	< .001	0.49
	400				0.74 $\pm$ 0.05	0.74 $\pm$ 0.04	0.00	1.000	0.00
<b>Flighttime</b>	50	0.18 $\pm$ 0.06 <sup>BR FLY FR</sup>	0.34 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.06	0.32 $\pm$ 0.05		13.85	< .001	0.60
	100	0.17 $\pm$ 0.04 <sup>BR FLY FR</sup>	0.36 $\pm$ 0.06	0.30 $\pm$ 0.05	0.31 $\pm$ 0.05		23.68	< .001	0.72
	200	0.14 $\pm$ 0.05 <sup>BR FLY FR IM</sup>	0.33 $\pm$ 0.06	0.32 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.04	0.35 $\pm$ 0.06	21.34	< .001	0.71
	400				0.26 $\pm$ 0.07	0.31 $\pm$ 0.06	2.39	0.145	0.15
<b>5-m-out</b>	50	1.79 $\pm$ 0.18 <sup>BR FLY FR</sup>	1.61 $\pm$ 0.09 <sup>FR</sup>	1.52 $\pm$ 0.04	1.44 $\pm$ 0.09		14.75	< .001	0.61
	100	2.04 $\pm$ 0.63 <sup>BR FLY</sup>	1.56 $\pm$ 0.09	1.48 $\pm$ 0.05	1.59 $\pm$ 0.10		4.94	0.007	0.35
	200	1.77 $\pm$ 0.08 <sup>BR FLY FR IM</sup>	1.63 $\pm$ 0.04 <sup>FR</sup>	1.66 $\pm$ 0.04 <sup>FR IM</sup>	1.50 $\pm$ 0.07	1.57 $\pm$ 0.03	28.02	< .001	0.76
	400				1.70 $\pm$ 0.07	1.60 $\pm$ 0.12	3.95	0.067	0.22
<b>15-m-out</b>	50	6.89 $\pm$ 0.25 <sup>BR FLY FR</sup>	7.39 $\pm$ 0.22 <sup>FLY FR</sup>	6.04 $\pm$ 0.17	6.01 $\pm$ 0.17		86.39	< .001	0.90
	100	7.32 $\pm$ 0.66 <sup>FLY FR</sup>	7.55 $\pm$ 0.25 <sup>FLY FR</sup>	6.33 $\pm$ 0.18	6.25 $\pm$ 0.20		25.06	< .001	0.73
	200	7.61 $\pm$ 0.24 <sup>FLY FR IM</sup>	7.83 $\pm$ 0.15 <sup>FLY FR IM</sup>	6.96 $\pm$ 0.19 <sup>FR</sup>	6.65 $\pm$ 0.17	6.74 $\pm$ 0.24	55.36	< .001	0.86
	400				7.15 $\pm$ 0.23	7.08 $\pm$ 0.28	0.26	0.620	0.02
<b>Breakoutdistance</b>	50	13.83 $\pm$ 0.61 <sup>BR FR</sup>	11.93 $\pm$ 0.54 <sup>FLY</sup>	13.78 $\pm$ 0.52 <sup>FR</sup>	11.84 $\pm$ 0.86		23.24	< .001	0.71
	100	13.46 $\pm$ 0.52 <sup>FR</sup>	12.55 $\pm$ 0.48	13.25 $\pm$ 1.00 <sup>FR</sup>	11.85 $\pm$ 1.10		6.28	0.002	0.40
	200	13.09 $\pm$ 0.68 <sup>FR</sup>	13.15 $\pm$ 0.81 <sup>FR</sup>	12.05 $\pm$ 1.09 <sup>FR</sup>	10.56 $\pm$ 0.70 <sup>IM</sup>	12.38 $\pm$ 1.12	10.95	< .001	0.56
	400				9.94 $\pm$ 1.13	12.08 $\pm$ 1.07	15.21	0.002	0.52
<b>Turn</b>									
<b>5-m-in</b>	100	3.53 $\pm$ 0.09 <sup>FLY FR</sup>	3.42 $\pm$ 0.09 <sup>FLY FR</sup>	2.81 $\pm$ 0.14 <sup>FR</sup>	3.24 $\pm$ 0.12		62.10	< .001	0.87
	200	3.81 $\pm$ 0.06 <sup>BR FLY FR IM</sup>	3.59 $\pm$ 0.08 <sup>FLY</sup>	3.43 $\pm$ 0.14	3.46 $\pm$ 0.09	3.52 $\pm$ 0.08	22.08	< .001	0.72
	400				3.61 $\pm$ 0.09	3.85 $\pm$ 0.08	29.70	< .001	0.68
<b>5-m-out</b>	100	2.03 $\pm$ 0.16 <sup>BR FLY</sup>	2.87 $\pm$ 0.14 <sup>FR</sup>	3.03 $\pm$ 0.24 <sup>FR</sup>	1.96 $\pm$ 0.12		84.21	< .001	0.90
	200	2.00 $\pm$ 0.13 <sup>BR FLY IM</sup>	2.92 $\pm$ 0.16 <sup>FR</sup>	2.87 $\pm$ 0.17 <sup>FR</sup>	1.93 $\pm$ 0.12 <sup>IM</sup>	2.79 $\pm$ 0.13	94.27	< .001	0.92
	400				2.08 $\pm$ 0.14	2.72 $\pm$ 0.16	77.37	< .001	0.85
<b>15-m-out</b>	100	7.95 $\pm$ 0.23 <sup>BR FLY FR</sup>	9.95 $\pm$ 0.16 <sup>FLY FR</sup>	8.83 $\pm$ 0.33 <sup>FR</sup>	7.38 $\pm$ 0.14		192.27	< .001	0.95
	200	8.61 $\pm$ 0.18 <sup>BR FLY FR IM</sup>	10.45 $\pm$ 0.22 <sup>FLY FR IM</sup>	9.46 $\pm$ 0.22 <sup>FR</sup>	8.04 $\pm$ 0.11 <sup>IM</sup>	9.65 $\pm$ 0.21	185.43	< .001	0.96
	400				8.50 $\pm$ 0.14	9.91 $\pm$ 0.22	234.66	< .001	0.94
<b>Total Turn Time</b>	100	11.48 $\pm$ 0.29 <sup>BR FR</sup>	13.37 $\pm$ 0.16 <sup>FLY FR</sup>	11.63 $\pm$ 0.25 <sup>FR</sup>	10.62 $\pm$ 0.15		213.65	< .001	0.96
	200	12.43 $\pm$ 0.22 <sup>BR FLY FR IM</sup>	14.05 $\pm$ 0.24 <sup>FLY FR IM</sup>	12.88 $\pm$ 0.16 <sup>FR</sup>	11.51 $\pm$ 0.16 <sup>IM</sup>	13.17 $\pm$ 0.23	164.99	< .001	0.95
	400				12.11 $\pm$ 0.14	13.76 $\pm$ 0.26	245.37	< .001	0.95
<b>Breakoutdistance</b>	100	10.03 $\pm$ 2.05 <sup>FR</sup>	8.69 $\pm$ 0.49	9.74 $\pm$ 2.18 <sup>FR</sup>	7.18 $\pm$ 1.28		4.92	0.007	0.35
	200	8.52 $\pm$ 1.58 <sup>FR</sup>	9.13 $\pm$ 0.56 <sup>FR IM</sup>	7.97 $\pm$ 1.50 <sup>FR</sup>	5.46 $\pm$ 0.76	7.09 $\pm$ 1.24	11.38	< .001	0.57
	400				3.95 $\pm$ 0.72	6.24 $\pm$ 0.43	60.01	< .001	0.81
<b>Swim</b>									
<b>Distance per Stroke</b>	50	2.02 $\pm$ 0.11 <sup>BR FLY</sup>	1.57 $\pm$ 0.12 <sup>FLY FR</sup>	1.87 $\pm$ 0.06 <sup>FR</sup>	2.07 $\pm$ 0.09		41.05	< .001	0.82
	100	2.11 $\pm$ 0.15 <sup>FLY</sup>	1.91 $\pm$ 0.24 <sup>FR</sup>	1.87 $\pm$ 0.11 <sup>FR</sup>	2.31 $\pm$ 0.14		11.95	< .001	0.56
	200	2.30 $\pm$ 0.21 <sup>FLY</sup>	2.40 $\pm$ 0.26 <sup>FLY IM</sup>	1.82 $\pm$ 0.10 <sup>FR</sup>	2.36 $\pm$ 0.15 <sup>IM</sup>	2.07 $\pm$ 0.11	15.15	< .001	0.63
	400				2.17 $\pm$ 0.24	2.09 $\pm$ 0.10	0.78	0.393	0.05
<b>Strokerate</b>	50	53.76 $\pm$ 3.14 <sup>BR FLY FR</sup>	63.79 $\pm$ 4.99	63.09 $\pm$ 4.99	60.19 $\pm$ 2.85		14.50	< .001	0.61
	100	48.10 $\pm$ 3.38 <sup>FLY</sup>	48.59 $\pm$ 6.14 <sup>FLY</sup>	56.38 $\pm$ 3.05 <sup>FR</sup>	49.13 $\pm$ 2.80		7.40	< .001	0.44
	200	41.13 $\pm$ 3.98 <sup>BR FLY</sup>	35.78 $\pm$ 3.78 <sup>FLY FR IM</sup>	51.61 $\pm$ 2.49 <sup>FR IM</sup>	43.68 $\pm$ 2.80	45.21 $\pm$ 2.42	26.83	< .001	0.75
	400				45.26 $\pm$ 4.80	42.00 $\pm$ 2.26	3.01	0.105	0.18
<b>Swimtime</b>	50	15.18 $\pm$ 0.46 <sup>BR FLY FR</sup>	16.91 $\pm$ 0.48 <sup>FLY FR</sup>	14.20 $\pm$ 0.19 <sup>FR</sup>	13.31 $\pm$ 0.18		152.42	< .001	0.94
	100	34.63 $\pm$ 0.91 <sup>BR FR</sup>	39.14 $\pm$ 0.36 <sup>FLY FR</sup>	34.08 $\pm$ 0.38 <sup>FR</sup>	31.36 $\pm$ 0.31		278.85	< .001	0.97
	200	78.21 $\pm$ 1.83 <sup>BR FR</sup>	86.84 $\pm$ 1.06 <sup>FLY FR IM</sup>	77.15 $\pm$ 1.00 <sup>FR IM</sup>	70.94 $\pm$ 0.80 <sup>IM</sup>	79.08 $\pm$ 0.76	193.29	< .001	0.96
	400				150.42 $\pm$ 1.83	170.7 $\pm$ 3.08	255.99	< .001	0.95
<b>Velocity</b>	50	1.90 $\pm$ 0.04 <sup>BR FLY FR</sup>	1.83 $\pm$ 0.03 <sup>FLY FR</sup>	2.11 $\pm$ 0.02 <sup>FR</sup>	2.22 $\pm$ 0.04		222.54	< .001	0.96
	100	1.73 $\pm$ 0.06 <sup>BR FLY FR</sup>	1.65 $\pm$ 0.02 <sup>FLY FR</sup>	1.87 $\pm$ 0.02 <sup>FR</sup>	1.98 $\pm$ 0.02		124.76	< .001	0.93
	200	1.59 $\pm$ 0.02 <sup>BR FLY FR IM</sup>	1.47 $\pm$ 0.02 <sup>FLY FR IM</sup>	1.63 $\pm$ 0.02 <sup>FR</sup>	1.78 $\pm$ 0.03 <sup>IM</sup>	1.63 $\pm$ 0.02	246.88	< .001	0.97
	400				1.63 $\pm$ 0.02	1.48 $\pm$ 0.02	293.02	< .001	0.95
<b>Finish</b>	50	3.17 $\pm$ 0.12 <sup>BR FLY FR</sup>	3.34 $\pm$ 0.09 <sup>FLY FR</sup>	2.90 $\pm$ 0.16 <sup>FR</sup>	2.59 $\pm$ 0.06		67.82	< .001	0.88
	100	3.37 $\pm$ 0.20 <sup>BR FR</sup>	3.68 $\pm$ 0.15 <sup>FLY FR</sup>	3.35 $\pm$ 0.16 <sup>FR</sup>	2.73 $\pm$ 0.10		53.09	< .001	0.85
	200	3.47 $\pm$ 0.17 <sup>BR FR IM</sup>	3.81 $\pm$ 0.11 <sup>FLY FR IM</sup>	3.37 $\pm$ 0.27 <sup>FR</sup>	2.98 $\pm$ 0.16	3.17 $\pm$ 0.10	27.43	< .001	0.76
	400				2.99 $\pm$ 0.11	3.21 $\pm$ 0.14	13.29	0.003	0.49
<b>Raceresult</b>	50	27.78 $\pm$ 0.27 <sup>BR FLY FR</sup>	30.27 $\pm$ 0.43 <sup>FLY FR</sup>	25.67 $\pm$ 0.21 <sup>FR</sup>	24.34 $\pm$ 0.25		591.05	< .001	0.98
	100	59.84 $\pm$ 1.22 <sup>BR FLY FR</sup>	66.32 $\pm$ 0.34 <sup>FLY FR</sup>	57.87 $\pm$ 0.39 <sup>FR</sup>	53.55 $\pm$ 0.33		485.01	< .001	0.98
	200	129.1 $\pm$ 2.11 <sup>BR FR</sup>	143.3 $\pm$ 1.76 <sup>FLY FR IM</sup>	128.83 $\pm$ 1.17 <sup>FR</sup>	117.61 $\pm$ 1.34 <sup>IM</sup>	131.11 $\pm$ 1.21	273.57	< .001	0.97
	400				247.99 $\pm$ 2.33	279.96 $\pm$ 4.15	361.00	< .001	0.96

*Abkürzungen:* BA, BU, FLY, FR, IM: signifikanter Unterschied ( $p \leq 0.05$ ) verglichen mit Backstroke, Breaststroke,

Butterfly, Freestyle, Individual Medley innerhalb der spezifischen Renndistanz.

### ***3.1.1 Vergleich der Startvariablen zwischen den Disziplinen***

Bei der ersten Variablen des Starts, der «Time on Block», konnten bei den Disziplinen der 50- und 200-m-Rennen signifikante Unterschiede ( $p < 0.001$ ) festgestellt werden. Dabei verbrachten die Rückenschwimmerinnen signifikant weniger Zeit am Startblock im Vergleich zu den anderen Disziplinen der entsprechenden Distanz. Zwischen all den anderen Disziplinen lag kein signifikanter Unterschied vor. Innerhalb der 100-m-Rennen traten keine signifikanten Differenzen auf ( $p = 0.683$ ) und die «Time on Block» der 400-m-Rennen waren nahezu identisch ( $p = 1.000$ ). Hinsichtlich der Flugzeit lagen bei den Rennen über 50, 100 und 200 m signifikante Unterschiede ( $p < 0.001$ ) zwischen der Disziplin Backstroke und allen anderen vor. Die Rückenschwimmerinnen verbrachten die kürzeste Zeit in der Luft. Bei den beiden 400-m-Rennen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p = 0.145$ ). Auch die Athletinnen der anderen Disziplinen (50, 100 und 200 m) unterschieden sich nicht signifikant zueinander in Bezug auf die Flugzeit. Bei den «5-m-out» Zeiten lagen innerhalb der 50- ( $p < 0.001$ ), 100- ( $p = 0.007$ ) und 200-m-Rennen ( $p < 0.001$ ) signifikante Unterschiede vor. Zwischen den Disziplinen der 400-m-Rennen konnte erneut kein signifikanter Unterschied festgemacht werden ( $p = 0.067$ ). Die «5-m-out» der 200-m-Backstroke-Rennen unterschieden sich erneut signifikant von allen anderen Disziplinen, nämlich dass die Rückenschwimmerinnen die langsamsten Zeiten aufwiesen. Die signifikant schnellsten «5-m-out» Zeiten nach dem Start der 200-m-Rennen wurden von den Freistilschwimmerinnen erreicht, wobei nur der Unterschied zu den Lagenschwimmerinnen nicht signifikant war. Auch bei den 50- und 100-m-Rennen wiesen die Rückenschwimmerinnen die langsamsten «5-m-out» Zeiten auf, wobei sich die Zeiten der 50-m-Rennen signifikant von allen anderen Disziplinen unterschieden. Bei den 100-m-Rennen unterschieden sich diese nur von Butterfly und Breaststroke. Die 50-m-Brustschwimmerinnen waren im Vergleich zu den Freistilschwimmerinnen auf die gleiche Distanz auch signifikant langsamer. Bei der nächsten Variablen, «15-m-out», herrschte innerhalb der 50-, 100- und 200-m-Rennen signifikante Unterschiede ( $p < 0.001$ ). Zwischen den 400-m-Rennen konnte erneut kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p = 0.620$ ). Die langsamsten «15-m-out» Zeiten wiesen auf 50, 100 und 200 m die Brustschwimmerinnen auf und unterschieden sich signifikant von den Delfin- und Freistilschwimmerinnen, innerhalb der 200-m-Rennen auch von den Lagenschwimmerinnen. Auf 50 m waren die «15-m-out» Zeiten der Brustschwimmerinnen zusätzlich signifikant langsamer als die der Rückenschwimmerinnen. Die Letzteren wiesen die zweitlangsamsten «15-m-out» Zeiten auf und unterschieden sich, sowie die Brustschwimmerinnen,

signifikant von den Delfin- und Freistilschwimmerinnen, und bei den 200-m-Rennen zusätzlich von den Lagenschwimmerinnen. Die schnellsten «15-m-out» Zeiten wurden von den Freistilschwimmerinnen erreicht, welche sich in den 200-m-Rennen ebenfalls signifikant von den Delfinschwimmerinnen unterschieden. Die letzte Variable des Starts ist die «Breakoutdistance». Dabei konnte bei allen vier Distanzen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dieser lag bei den 50- und 200-m-Rennen bei  $p < 0.001$ , bei den 100- und 400-m-Rennen bei  $p = 0.002$ . Bei den 200-m-Rennen brachen die Freistilschwimmerinnen am frühesten aus dem Wasser aus und unterschieden sich signifikant von allen anderen Disziplinen, bei denen noch länger unter Wasser geblieben wurde. Ein ähnliches Muster war bei den 100-m-Rennen erkennbar, wobei sich die kürzere «Breakoutdistance» der Freistilschwimmerinnen nur signifikant von Backstroke und Butterfly unterschied. Der gleiche signifikante Unterschied wurde auch bei den 400-m-Rennen ersichtlich, wobei auch hier die Freistilschwimmerinnen signifikant früher aus dem Wasser kamen als die Lagenschwimmerinnen. Bei den 50-m-Rennen waren die Rückenschwimmerinnen länger unter Wasser als die Brust- und Freistilschwimmerinnen, zudem hielten sich die Delfinschwimmerinnen länger unter Wasser auf als die Freistilschwimmerinnen. Die Brustschwimmerinnen hingegen brachen signifikant früher aus dem Wasser als die Delfinschwimmerinnen.

### ***3.1.2 Vergleich der Turnvariablen zwischen den Disziplinen***

Bei der ersten Variablen der Kategorie «Turn», «5-m-in», konnte bei allen drei Distanzen ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) festgestellt werden. Die Delfinschwimmerinnen wiesen dabei die schnellsten «5-m-in» Zeiten auf und unterschieden sich bei den 100-m-Rennen signifikant von allen anderen Disziplinen. Brust- und Rückenschwimmerinnen wiesen signifikant langsamere «5-m-in» Zeiten als die Freistilschwimmerinnen auf. In den 200-m-Rennen konnten bei den Rücken- und Brustschwimmerinnen die langsamsten Zeiten festgestellt werden. Dabei waren die Zeiten der Rückenschwimmerinnen signifikant langsamer als in allen anderen Disziplinen und die Brustschwimmerinnen waren signifikant langsamer als die schnellsten «5-m-in» Absolventinnen, die Delfinschwimmerinnen. Die 400-m-Freistilschwimmerinnen waren signifikant schneller als die Lagenschwimmerinnen. Bei den fünf Metern nach den Wenden, die «5-m-out», zeigte sich ein analoges Muster. Zwischen allen drei Distanzen konnte ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) aufgezeigt werden. Dabei wiesen die Freistilschwimmerinnen die schnellsten Zeiten nach den

Wenden auf und unterschieden sich in den 200-m-Rennen signifikant von allen anderen Disziplinen, ausser den Rückenschwimmerinnen. Diese zeigten die zweitschnellsten «5-m-out» Zeiten auf und unterschieden sich ebenfalls signifikant von den anderen Disziplinen. Das gleiche Muster war bei den 100-m-Rennen zu erkennen. Erneut zeigten sich in der Disziplin Freestyle signifikant schnellere Zeiten als bei allen anderen Disziplinen ausser Backstroke. In den 100-m-Rennen waren die Rückenschwimmerinnen mit den zweitschnellsten «5-m-out» Zeiten signifikant schneller als die Schwimmerinnen der beiden anderen Disziplinen Butterfly und Breaststroke. Die Freistilschwimmerinnen waren zudem auf 400 m signifikant schneller nach den Wenden als die Lagenschwimmerinnen. Das Signifikanzniveau von  $p < 0.001$  wurde bei der Variablen «15-m-out» erneut bei allen drei Distanzen erreicht. Die Freistilschwimmerinnen wiesen aufs Neue die schnellsten «15-m-out» Zeiten nach den Wenden auf und unterschieden sich damit innerhalb der 100-m-Rennen signifikant von allen anderen Disziplinen. Die zweitschnellsten «15-m-out» Zeiten auf dieser Distanz wurden von den Rückenschwimmerinnen erreicht, die bei dieser Variablen damit signifikant schneller als die Delfin- und Brustschwimmerinnen waren. Die Brustschwimmerinnen erreichten die 15-m-Marke nach den Wenden als letztes und waren somit signifikant langsamer als alle anderen Disziplinen. Bei den 200-m-Rennen änderte sich in Hinsicht auf das schnellste Absolvieren der «15-m-out» durch die Freistilschwimmerinnen nichts. Auch unterschieden sie sich damit signifikant von allen anderen Disziplinen. Die Disziplin Backstroke, mit den zweitschnellsten «15-m-out» Zeiten, differenzierte sich hier erneut signifikant von allen anderen Disziplinen. Die Brustschwimmerinnen erreichten in diesen Rennen die 15-m-Marke nach den Wenden als letztes und waren damit erneut signifikant langsamer als alle anderen Disziplinen. Bei den 400-m-Rennen waren die Freistilschwimmerinnen signifikant schneller als die Lagenschwimmerinnen. Hinsichtlich der bisherigen Ergebnisse der Wendezeiten war es wenig erstaunlich, dass die Freistilschwimmerinnen die insgesamt schnellsten Wendezeiten («Total Turn Time») erreichten. Auch war bei den 100-, 200- und 400-m-Rennen ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) zu erkennen. Die «Total Turn Time» der Freistilschwimmerinnen der 400-m-Rennen war signifikant schneller als diejenige der Lagenschwimmerinnen. Die Freistilschwimmerinnen der 100-m-Rennen wiesen im Vergleich zu allen anderen Disziplinen die signifikant schnellsten «Total Turn Times» auf, während die Brustschwimmerinnen die signifikant langsamsten Zeiten in dieser Variablen aufzeigten. Ebenfalls bei den 200-m-Rennen erwiesen sich die Freistilschwimmerinnen als signifikant schnellere Wen-



denabsolventinnen als die Schwimmerinnen aller anderen Disziplinen. Die Wenden wurden ebenfalls am langsamsten von den Brustschwimmerinnen bewältigt, wobei sich diese signifikant von allen anderen Disziplinen unterschieden. Auf der Distanz von 200 m differenzierten sich zusätzlich die Rückenschwimmerinnen von den Delfinschwimmerinnen, wobei die Ersteren die Wenden signifikant schneller durchführten. Die letzte eruierte Variable der Kategorie «Turn» war die «Breakoutdistance» nach der Wende. Zwischen allen Disziplinen konnte ein signifikanter Unterschied erkannt werden, wobei dieser bei den 200- und 400-m-Rennen bei  $p < 0.001$  und bei den 100-m-Rennen bei  $p = 0.007$  lag. Die Freistilschwimmerinnen der 400-m-Rennen brachen, wie auch bereits nach dem Start, signifikant früher aus dem Wasser als die Lagenschwimmerinnen. Auch bei den Rennen über 100 m und 200 m verbrachten die Freistilschwimmerinnen nach dem Wenden die geringste Zeit unter Wasser. Dabei unterschieden sie sich innerhalb der 100-m-Rennen signifikant von den Rücken- und Delfinschwimmerinnen. Innerhalb der 200-m-Rennen differenzierten sie sich zusätzlich signifikant von den Brustschwimmerinnen, welche auf dieser Distanz zudem langsamer als die Lagenschwimmerinnen waren.

### ***3.1.3 Vergleich der Swimvariablen zwischen den Disziplinen***

Die erste Variable der Kategorie «Swim» ist die «Distance per Stroke» (DPS), bei welcher bei den Rennen über 50, 100 und 200 m ein signifikanter Unterschied zwischen den Disziplinen gefunden werden konnte ( $p < 0.001$ ). Die Rennen über 400 m unterschieden sich hinsichtlich dieser Variablen nicht signifikant voneinander ( $p = 0.393$ ). Bei den 50-m-Rennen wurde die kürzeste «Distance per Stroke» von den Brustschwimmerinnen erreicht, die sich signifikant von den Rücken-, Delfin- und Freistilschwimmerinnen unterschieden. Die Delfinschwimmerinnen wiesen die zweitkürzeste DPS auf und differenzierten sich damit signifikant von den Rücken- und Freistilschwimmerinnen. Die grösste Distanz pro Armzug wurde innerhalb der 100-m-Rennen von den Freistilschwimmerinnen erreicht, welche sich damit signifikant von den Brust- und Delfinschwimmerinnen unterschieden, nicht aber von den Rückenschwimmerinnen. Diese wiesen auf dieser Distanz die zweitgrösste DPS auf und unterschieden sich damit signifikant von den Delfinschwimmerinnen. Die 200-m-Rennen zeigten ein ganz anderes Muster auf. Dabei erreichten die Delfinschwimmerinnen signifikant tiefere DPS-Werte als die Rücken-, Brust- und Freistilschwimmerinnen. Im Gegensatz zu den 50-m-Rennen zeigten sich bei den Brustschwimmerinnen innerhalb der 200-m-Rennen die

weitesten DPS, womit sie sich zusätzlich signifikant von den Lagenschwimmerinnen differenzierten. Analog erzielten die Freistilschwimmerinnen signifikant höhere DPS-Werte als die Lagenschwimmerinnen. Bei der Variablen der «Strokerate» (SR) konnte hinsichtlich der Signifikanzen ein vergleichbares Bild wie bei der DPS festgestellt werden. Die Disziplinen der 400-m-Rennen wiesen keinen signifikanten Unterschied auf ( $p = 0.105$ ), wohingegen bei den anderen Rennen ein signifikanter Unterschied von  $p < 0.001$  festgemacht werden konnte. Der Unterschied lag je nach Rennen bei verschiedenen Disziplinen vor. So wiesen die Rückenschwimmerinnen der 50-m-Rennen im Vergleich zu allen anderen Disziplinen signifikant tiefere SR auf. Innerhalb der 100-m-Rennen bestand ein Unterschied zwischen den Delfinschwimmerinnen und allen anderen Disziplinen, wobei erstere eine signifikant höhere SR aufwiesen. Über 200 m zeigte sich bei den Brustschwimmerinnen die tiefsten Werte hinsichtlich der SR und sie unterschieden sich damit signifikant von allen anderen Disziplinen. Die Disziplin Butterfly zeichnete sich erneut durch signifikant höhere SR-Werte aus. In Bezug auf die «Swimtime» liess sich bei allen Rennen ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) festmachen. Die im Vergleich zu den anderen Disziplinen signifikant schnellsten Schwimmzeiten auf 50 m wurden von den Freistilschwimmerinnen erreicht, gefolgt von den Delfinschwimmerinnen, deren Schwimmzeiten sich signifikant von den Rücken- und Brustschwimmerinnen unterschieden. Letztere wiesen auf 50 m die langsamsten Schwimmzeiten auf und unterschieden sich damit auch signifikant von den Rückenschwimmerinnen. Innerhalb der 100-m-Rennen dominierten die Freistilschwimmerinnen hinsichtlich der signifikant schnelleren Schwimmzeiten verglichen mit allen anderen Disziplinen. Die Brustschwimmerinnen erwiesen sich auf dieser Distanz erneut als Schwimmerinnen mit den langsamsten «Swimtimes» und unterschieden sich damit signifikant von den Schwimmerinnen aller anderen Disziplinen. Innerhalb der 200 m änderte sich betreffend der signifikant schnellsten Schwimmzeiten durch die Freistilschwimmerinnen verglichen mit allen anderen Disziplinen nichts. Die Brustschwimmerinnen waren weiterhin diejenigen mit den signifikant langsamsten «Swimtimes» und unterschieden sich damit von allen anderen Disziplinen. Ein zusätzlicher signifikanter Unterschied konnte auf dieser Distanz zwischen den schnelleren Delfinschwimmerinnen und den langsameren Lagenschwimmerinnen festgemacht werden. Die Freistilschwimmerinnen erwiesen sich auch auf 400 m als signifikant schneller betreffend der «Swimtime» verglichen mit den Lagenschwimmerinnen. Bei der «Velocity» konnte erneut bei allen Rennen ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) erkannt werden. Dabei wiesen die Freistilschwimmerinnen in allen Rennen die höchsten Geschwindigkeiten

auf und differenzierten sich damit signifikant von allen anderen Disziplinen. Die signifikant tiefsten Geschwindigkeiten wurden von den Brustschwimmerinnen erreicht, gefolgt von den Rückenschwimmerinnen, die sich auch signifikant von allen anderen Disziplinen unterschieden. Beim «Finish» konnte zwischen den 400-m-Rennen ein signifikanter Unterschied von  $p = 0.003$  und innerhalb der anderen Rennen ein signifikanter Unterschied von  $p < 0.001$  erkannt werden. Der signifikant schnellste «Finish» wurde über alle vier Rennen von den Freistilschwimmerinnen erreicht, ausser im Vergleich zu den Lagenschwimmerinnen auf 200 m, wo kein signifikanter Unterschied vorlag. Darauf folgten die Delfinschwimmerinnen, die sich in allen Rennen signifikant von den Brustschwimmerinnen unterschieden und auf 50 m zusätzlich von den Rückenschwimmerinnen. Die Brustschwimmerinnen wiesen dabei den signifikant langsamsten «Finish» auf. Die Lagenschwimmerinnen auf 200 m waren signifikant schneller als die Rückenschwimmerinnen. Die letzte Variable dieser Kategorie war die «Racetime», welche bei allen Rennen einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.001$ ) aufwies. Die Freistilschwimmerinnen zeigten dabei auf alle Distanzen die signifikant schnellsten Rennresultate auf. Darauf folgten die Delfinschwimmerinnen, die auf 50 m und 100 m signifikant schnellere «Racetimes» aufwiesen als die Rücken- und Brustschwimmerinnen. Letztere zeichneten sich durch die signifikant langsamsten «Racetimes» aus.

**Tabelle 2**

*Start-, Wenden- und Schwimmleistungen aller acht Finalistinnen der 50, 100, 200, 400, 800 und 1500 m Freistilrennen. Vergleich zwischen den Distanzen. Die Daten werden als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen dargestellt.*

	50	100	200	400	800	1500	F-Wert	p-Wert	$\eta^2 p$
<b>Start</b>									
Time on Block	0.68 $\pm$ 0.03 <sup>800 1500</sup>	0.70 $\pm$ 0.03	0.71 $\pm$ 0.03	0.74 $\pm$ 0.05	0.75 $\pm$ 0.06	0.76 $\pm$ 0.04	4.86	0.001	0.37
Flighttime	0.32 $\pm$ 0.05	0.31 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.04	0.26 $\pm$ 0.07	0.27 $\pm$ 0.07	0.27 $\pm$ 0.06	2.03	0.094	0.20
5-m-out	1.44 $\pm$ 0.09 <sup>100 400 800 1500</sup>	1.59 $\pm$ 0.10	1.50 $\pm$ 0.07 <sup>400 800 1500</sup>	1.70 $\pm$ 0.07	1.70 $\pm$ 0.01	1.65 $\pm$ 0.07	17.17	< .001	0.67
15-m-out	6.01 $\pm$ 0.17 <sup>200 400 800 1500</sup>	6.25 $\pm$ 0.20 <sup>200 400 800 1500</sup>	6.65 $\pm$ 0.17 <sup>400 800 1500</sup>	7.15 $\pm$ 0.23 <sup>1500</sup>	7.23 $\pm$ 0.22	7.51 $\pm$ 0.18	74.87	< .001	0.90
Breakoutdistance	11.84 $\pm$ 0.86 <sup>400 800 1500</sup>	11.85 $\pm$ 1.10 <sup>400 800 1500</sup>	10.56 $\pm$ 0.70	9.94 $\pm$ 1.13	9.73 $\pm$ 0.94	9.10 $\pm$ 1.30	9.90	< .001	0.54
<b>Turn</b>									
5-m-in		3.24 $\pm$ 0.12 <sup>200 400 800 1500</sup>	3.46 $\pm$ 0.09 <sup>400 800 1500</sup>	3.61 $\pm$ 0.09	3.69 $\pm$ 0.08	3.71 $\pm$ 0.08	34.60	< .001	0.80
5-m-out		1.96 $\pm$ 0.12	1.93 $\pm$ 0.12	2.08 $\pm$ 0.14	1.96 $\pm$ 0.13	2.08 $\pm$ 0.14	2.45	0.064	0.22
15-m-out		7.38 $\pm$ 0.14 <sup>200 400 800 1500</sup>	8.04 $\pm$ 0.11 <sup>400 800 1500</sup>	8.5 $\pm$ 0.14 <sup>1500</sup>	8.52 $\pm$ 0.15	8.74 $\pm$ 0.15	123.17	< .001	0.93
Total Turn Time		10.62 $\pm$ 0.15 <sup>200 400 800 1500</sup>	11.51 $\pm$ 0.16 <sup>400 800 1500</sup>	12.11 $\pm$ 0.14 <sup>1500</sup>	12.22 $\pm$ 0.16 <sup>1500</sup>	12.45 $\pm$ 0.18	167.24	< .001	0.95
Breakoutdistance		7.18 $\pm$ 1.28 <sup>200 400 800 1500</sup>	5.46 $\pm$ 0.76 <sup>400 800 1500</sup>	3.95 $\pm$ 0.72	4.05 $\pm$ 0.50	3.79 $\pm$ 0.49	25.88	< .001	0.75
<b>Swim</b>									
Distance per Stroke	2.07 $\pm$ 0.09 <sup>200</sup>	2.31 $\pm$ .014	2.36 $\pm$ 0.15 <sup>1500</sup>	2.17 $\pm$ 0.24	2.13 $\pm$ 0.17	2.09 $\pm$ 0.14	4.57	0.002	0.35
Strokerate	60.19 $\pm$ 2.85 <sup>100 200 400 800 1500</sup>	49.13 $\pm$ 2.80 <sup>200</sup>	43.68 $\pm$ 2.80	45.26 $\pm$ 4.80	44.84 $\pm$ 3.81	44.71 $\pm$ 3.20	26.40	< .001	0.76
Swimtime	13.31 $\pm$ 0.18 <sup>100 200 400 800 1500</sup>	31.36 $\pm$ 0.31 <sup>200 400 800 1500</sup>	70.94 $\pm$ 0.80 <sup>400 800 1500</sup>	150.42 $\pm$ 1.83 <sup>800 1500</sup>	311.89 $\pm$ 3.51 <sup>1500</sup>	597.37 $\pm$ 7.67	32260.80	< .001	1.00
Velocity	2.22 $\pm$ 0.04 <sup>100 200 400 800 1500</sup>	1.98 $\pm$ 0.02	1.78 $\pm$ 0.03 <sup>400 800 1500</sup>	1.63 $\pm$ 0.02	1.56 $\pm$ 0.02 <sup>1500</sup>	1.52 $\pm$ 0.02	1008.40	< .001	0.99
Finish	2.59 $\pm$ 0.06 <sup>200 400 800 1500</sup>	2.73 $\pm$ 0.10 <sup>200 400 800 1500</sup>	2.98 $\pm$ 0.16 <sup>1500</sup>	2.99 $\pm$ 0.11 <sup>1500</sup>	3.07 $\pm$ 0.07	3.22 $\pm$ 0.14	34.57	< .001	0.81
Racetime	24.34 $\pm$ 0.25 <sup>100 200 400 800 1500</sup>	53.55 $\pm$ 0.33 <sup>200 400 800 1500</sup>	117.61 $\pm$ 1.34 <sup>400 800 1500</sup>	247.99 $\pm$ 2.33 <sup>800 1500</sup>	508.12 $\pm$ 5.11 <sup>1500</sup>	971.79 $\pm$ 11.91	36409.13	< .001	1.00

*Abkürzungen:* 50, 100, 200, 400, 800, 1500: signifikanter Unterschied ( $p \leq 0.05$ ) verglichen mit 50, 100, 200, 400, 800, 1500 m innerhalb der Freistilrennen

### ***3.1.4 Vergleich der Startvariablen zwischen den Distanzen***

Wie bereits in der Methodik erwähnt, wurde beim Vergleich der Distanzen jeweils nur die Disziplin Freestyle betrachtet, da es sich dabei um den einzigen Schwimmstil handelt, der auf allen Rennstrecken absolviert wird. Bei vier der fünf Variablen der Kategorie «Start» konnte innerhalb der sechs untersuchten Distanzen ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dieser betrug bei der «Time on Block», den «5-m-out», den «15-m-out» und der «Breakoutdistance»  $p \leq 0.001$ . Die einzige Variable, welche keinen signifikanten Unterschied zwischen den Rennen aufwies ( $p = 0.094$ ), war die «Flighttime». Die Freistilschwimmerinnen der 50-m-Rennen verbrachten verglichen mit denjenigen der 800- und 1500-m-Rennen signifikant weniger Zeit auf dem Startblock. Auch erreichten die Freistilschwimmerinnen der 50-m-Rennen die 5-m-out-Marke signifikant früher als die Freistilschwimmerinnen aller anderen Rennen, ausser derjenigen der 200-m-Rennen. Diese wiesen die zweitschnellsten «5-m-out» Zeiten auf und unterschieden sich damit signifikant von den 400-, 800- und 1500-m-Rennen. Die schnellsten «15-m-out» Zeiten wurden von den 50-m- und 100-m-Freistilschwimmerinnen erreicht, die sich damit signifikant von allen anderen Rennen unterschieden, nicht aber voneinander. Danach folgten die 200-m-Freistilschwimmerinnen, deren «15-m-out» Zeiten schneller als jene der 400-, 800- und 1500-m-Rennen waren. Die 400-m-Freistilschwimmerinnen unterschieden sich in ihrer «15-m-out» Zeit signifikant von den 1500-m-Schwimmerinnen. Die 50-m- und 100-m-Freistilschwimmerinnen verbrachten nach dem Start die längste Zeit unter Wasser und ihre «Breakoutdistance» unterschied sich somit signifikant von den 400-, 800- und 1500-m-Rennen.

### ***3.1.5 Vergleich der Turnvariablen zwischen den Distanzen***

Im Folgenden werden die Variablen der Kategorie «Turn» verglichen. Da die analysierten Rennen in einem 50-m-Becken stattgefunden hatten, enthielten die 50-m-Rennen keine Wende, weshalb diese Distanz hier nicht miteinbezogen wurde. In der Kategorie «Turn» wiesen alle Variablen ausser die «5-m-out» ( $p = 0.064$ ) einen signifikanten Unterschied auf ( $p < 0.001$ ). Hinsichtlich der fünf Meter vor der Wende («5-m-in») konnten bei den 100-m- und 200-m-Schwimmerinnen die schnellsten Zeiten nachgewiesen werden, womit sie sich signifikant von allen anderen Rennen unterschieden. Die Schwimmerinnen auf 100 m waren dabei zusätzlich signifikant schneller als diejenigen der 200 m. Analog dazu wiesen die gleichen Schwimmerinnen (100 m und 200 m) die

schnellsten «15-m-out» Zeiten auf, wobei sie sich aufs Neue signifikant von allen anderen Freistilschwimmerinnen der anderen Distanzen unterschieden. Erneut waren diejenigen Schwimmerinnen über 100 m zusätzlich signifikant schneller als diejenigen über 200 m. Ausserdem erreichten die 400-m-Schwimmerinnen die 15-m-Marke nach der Wende signifikant früher als die 1500-m-Schwimmerinnen. Auch bei der «Total Turn Time» zeigten die 100-m- und 200-m-Schwimmerinnen die signifikant schnellsten Zeiten und unterschieden sich damit ebenfalls von allen anderen Rennen. Dabei waren die 100-m-Freistilschwimmerinnen abermals signifikant schneller als diejenigen über 200 m. Die langsamsten «Total Turn Times» wurden in den 1500-m-Rennen erreicht, die sich damit zusätzlich signifikant von den totalen Wendezeiten der 400- und 800-m-Rennen differenzierten. Nach dem Wenden verbrachten die Schwimmerinnen der 100-m-Rennen die meiste Zeit unter Wasser, bevor sie dieses durchbrachen. Ihre «Breakoutdistance» war signifikant weiter als bei allen anderen Rennen. Die zweitlängste «Breakoutdistance» wiesen die 200-m-Schwimmerinnen auf, die sich damit ebenso signifikant von allen anderen Rennen unterschieden.

### ***3.1.6 Vergleich der Swimvariablen zwischen den Distanzen***

In der Kategorie «Swim» konnte bei allen Variablen ein signifikanter Unterschied erkannt werden ( $p = 0.002$  für die «Distance per Stroke»,  $p < 0.001$  für die restlichen Variablen). Die Schwimmerinnen über 200 m wiesen dabei die höchsten DPS-Werte auf und unterschieden sich damit signifikant von den 50-m- und 1500-m-Schwimmerinnen. Die höchste «Strokerate» wurde von den 50-m-Schwimmerinnen erreicht, die sich signifikant von allen anderen Rennen unterschieden. Die zweithöchste «Strokerate» wiesen die 100-m-Schwimmerinnen auf, die sich zusätzlich zu den 50-m- auch signifikant von den 200-m-Schwimmerinnen unterschieden, welche die tiefsten SR-Werte erreichten. Bei der «Swimtime» zeigten sich in allen Rennen signifikante Unterschiede. Dabei konnte bei den 50-m-Schwimmerinnen die schnellsten und bei denjenigen über 1500 m die langsamsten Schwimmzeiten nachgewiesen werden. Genau gleich verhielt es sich bei der «Velocity» und der «Racetime». Auch hier unterschieden sich alle Rennen signifikant voneinander, wobei die 50-m-Schwimmerinnen die höchsten Geschwindigkeiten und schnellsten «Racetimes» und diejenigen über 1500 m die tiefsten Geschwindigkeiten und langsamsten «Racetimes» aufwiesen. Der «Finish» wurde von den 50-m- und 100-m-Freistilschwimmerinnen am schnellsten absolviert, die

sich damit signifikant von den anderen Freistilschwimmerinnen unterschieden, nicht jedoch voneinander. Die langsamsten Finisherinnen waren die 1500-m-Schwimmerinnen, die sich dabei signifikant von den 200- und 400-m-Schwimmerinnen unterschieden.

### 3.2 Anteile der Start-, Wende- und Finishleistungen

Im Folgenden werden die Anteile der drei Phasen Start, Wende und Finish an der gesamten Rennleistung analysiert.

#### Abbildung 1

*Prozentanteil von Start, Wenden und Finish an den Rennzeiten der verschiedenen Disziplinen*

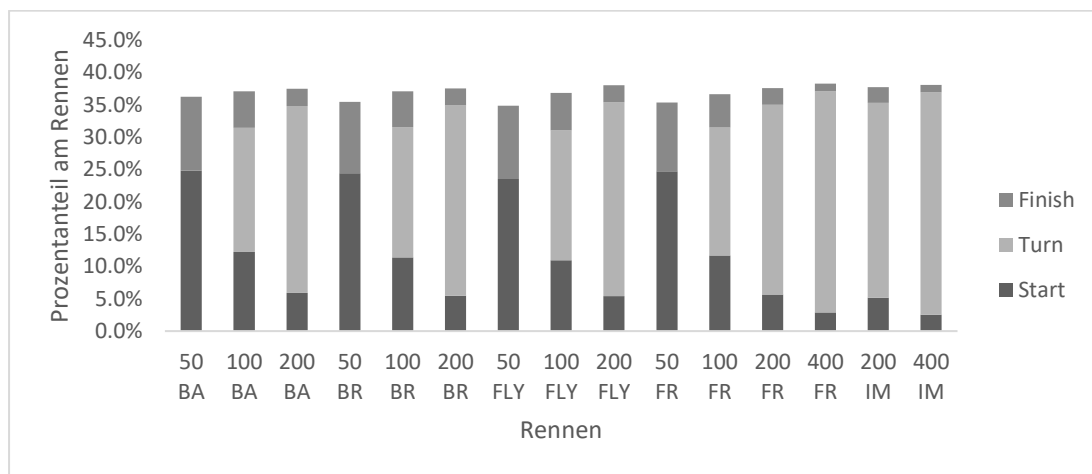


Abbildung 1 stellt die Prozentanteile von Start, Wenden und Finish an der totalen Rennzeit dar. Dabei ist zu erkennen, dass der Anteil des Starts und des Finishes mit zunehmender Renndistanz in allen Disziplinen abnimmt. Im Gegensatz dazu nehmen die Wenden mit zunehmender Distanz einen grösseren Anteil ein. Die Prozentanteile erweisen sich über alle Disziplinen als sehr ähnlich.

## Abbildung 2

*Prozentanteil von Start, Wenden und Finish an den Rennzeiten der verschiedenen Distanzen*

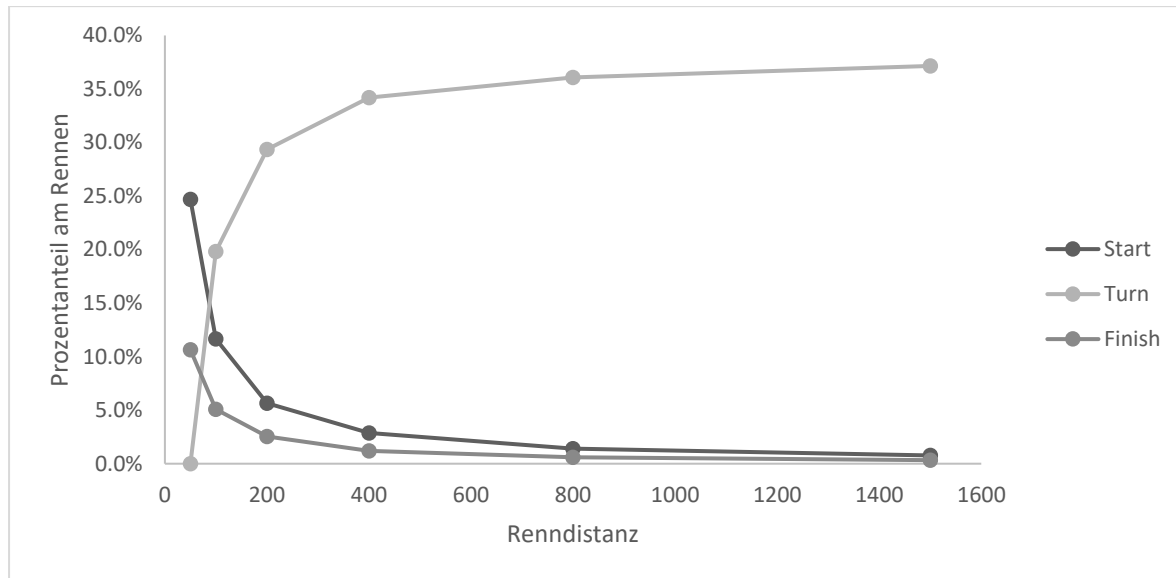


Abbildung 2 veranschaulicht die Prozentanteile von Start, Wenden und Finishlesitungen an den Rennzeiten der verschiedenen Distanzen in der Disziplin Freestyle. Es wird klar ersichtlich, dass Start und Finish vor allem bei den kurzen Distanzen von grosser Bedeutung sind. Der Start nahm bei den 50-m-Rennen einen Viertel der Gesamtzeit ein, während auch der Finish einen Anteil von 10% vorwies. Mit zunehmender Renndistanz nahmen die Wichtigkeiten dieser beiden Phasen jedoch ab und bei den 1500-m-Rennen machten Start und Finish gemeinsam noch 1.1% der Rennzeit aus. Im Gegensatz dazu gewannen die Wenden mit zunehmender Distanz an Bedeutung. Während sie bei den 100-m-Rennen bereits 20% des Rennens ausmachten, war ihr Anteil an der Rennzeit der 1500-m-Rennen auf 37% gestiegen.

### 3.3 Resultate bezüglich des Pacingverhaltens

Die Tabelle 3 spiegelt die Unterschiede zwischen der maximalen und minimalen Geschwindigkeit der verschiedenen Rennen anhand des Deltawertes wider. Dabei wurden Differenzen sowohl zwischen den verschiedenen Disziplinen als auch zwischen den verschiedenen Distanzen festgemacht. Daraus soll, mit Hilfe der Abbildungen 3 – 6, Aufschluss über allfällige Pacingstrategien gewonnen werden.

**Tabelle 3**

*Delta zwischen der maximal und minimal erreichten Geschwindigkeit pro Länge aller Rennen. Vergleich zwischen den Distanzen und Disziplinen. Die Daten werden als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen dargestellt.*

Disziplinen	Renndistanz	Delta Velocity	F / t / W	p	$\eta^2$ p / Cohens'd / Rank-Biserial Correlation
<b>Backstroke</b>	100	0.22 $\pm$ 0.16	1.96 <sup>ac</sup>	0.082	0.98 <sup>ac</sup>
	200	0.10 $\pm$ 0.06			
<b>Breastroke</b>	100	0.16 $\pm$ 0.09	30.5 <sup>b</sup>	0.916	-0.05 <sup>b</sup>
	200	0.16 $\pm$ 0.10			
<b>Butterfly</b>	100	0.11 $\pm$ 0.03	-1.85 <sup>ac</sup>	0.092	-0.93 <sup>ac</sup>
	200	0.15 $\pm$ 0.06			
<b>Freestyle</b>	100 <sup>200</sup>	0.07 $\pm$ 0.04	9.69	< .001	0.53
	200 <sup>400 800 1500</sup>	0.20 $\pm$ 0.07			
	400	0.09 $\pm$ 0.04			
	800	0.10 $\pm$ 0.03			
	1500	0.11 $\pm$ 0.04			
<b>Individual Medley</b>	200	0.43 $\pm$ 0.10	38 <sup>b</sup>	0.563	0.19 <sup>b</sup>
	400	0.41 $\pm$ 0.10			
Renndistanz	Disziplinen	Delta Velocity	F / t / W	p	$\eta^2$ p / Cohens'd / Rank-Biserial Correlation
<b>100</b>	BA <sup>FR</sup>	0.22 $\pm$ 0.16	3.43	0.030	0.27
	BR	0.16 $\pm$ 0.09			
	FLY	0.11 $\pm$ 0.03			
	FR	0.07 $\pm$ 0.04			
<b>200</b>	BA <sup>IM</sup>	0.10 $\pm$ 0.06	20.13	< .001	0.70
	BR <sup>IM</sup>	0.16 $\pm$ 0.10			
	FLY <sup>IM</sup>	0.15 $\pm$ 0.06			
	FR <sup>IM</sup>	0.20 $\pm$ 0.07			
	IM	0.43 $\pm$ 0.10			
<b>400</b>			-8.94 <sup>ac</sup>	< .001	-4.47 <sup>ac</sup>
			0.00 <sup>b</sup>	< .001	-1.00 <sup>b</sup>
	FR	0.09 $\pm$ 0.04			
	IM	0.41 $\pm$ 0.10			

*Abkürzungen:* a kennzeichnet die t-Werte und die dazugehörige Cohens'd Effektstärke

b kennzeichnet die nicht normalverteilten Werte, bei welchen der Mann-Whitney-U Test und die biseriale Rangkorrelation für die Effektstärke angewendet wurde

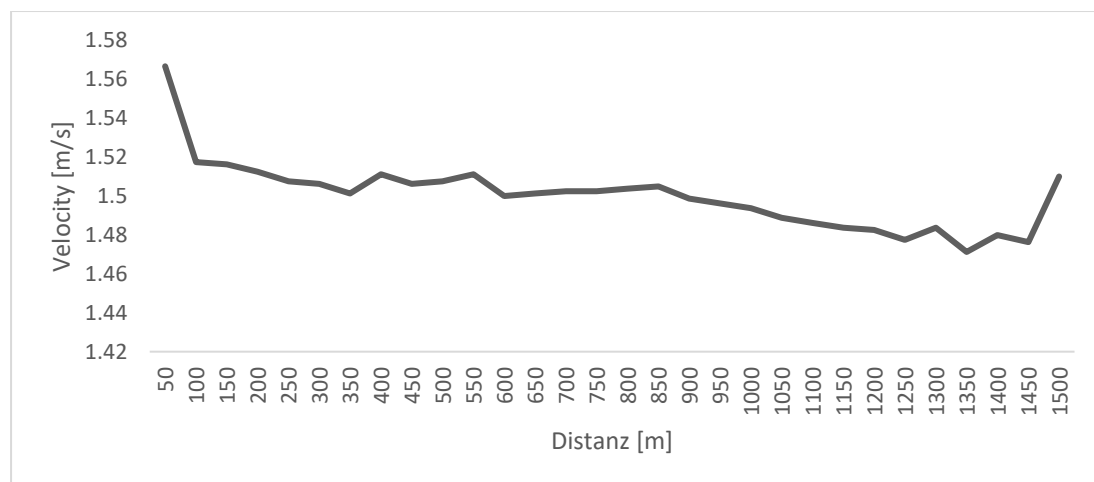
c kennzeichnet die Daten mit ungleichen Varianzen, bei welchen der Welch's t-Test angewendet wurde



Beim Eruiieren der verschiedenen Distanzen konnten nur innerhalb der Freistilrennen signifikante Unterschiede festgestellt werden ( $p < 0.001$ ). Die Freistilschwimmerinnen über 200 m wiesen, verglichen zu allen anderen Freistilschwimmerinnen, die signifikant grössten Delta-Werte zwischen der minimalen und maximalen Geschwindigkeit auf. Sowohl bei den Backstroke ( $p = 0.082$ ), den Breaststroke ( $p = 0.916$ ), den Butterfly ( $p = 0.092$ ) und den Individual Medley Rennen ( $p = 0.563$ ) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Distanzen erkannt werden. Wurde auf signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Disziplinen geprüft, konnte bei allen drei Distanzen, bei denen mehrere Disziplinen absolviert wurden (100 m, 200 m, 400 m), signifikante Unterschiede festgestellt werden. Bei den 100-m-Rennen betrug der p-Wert 0.030. Dieser Unterschied bestand zwischen den Rücken- und Freistilschwimmerinnen. Dabei wiesen die Rückenschwimmerinnen auf 100 m die grössten Unterschiede in den Geschwindigkeiten auf, während die Freistilschwimmerinnen die kleinsten Deltawerte erreichten. Bei den 200-m-Rennen lag der signifikante Unterschied ( $p < 0.001$ ) zwischen den Individual Medley Rennen und allen anderen Disziplinen, wobei die Differenz der maximalen und minimalen Geschwindigkeit der Individual Medley Rennen verglichen mit den anderen Disziplinen signifikant grösser war. Das gleiche Phänomen wurde auch bei den 400-m-Rennen ersichtlich. Zwischen den Freistilschwimmerinnen und den Lagenschwimmerinnen bestand ebenso ein signifikanter Unterschied ( $p < 0.001$ ) betreffend des Deltawertes. Dabei lagen in der Disziplin Freestyle kleinere Deltawerte vor als in der Disziplin Individual Medley.

### Abbildung 3

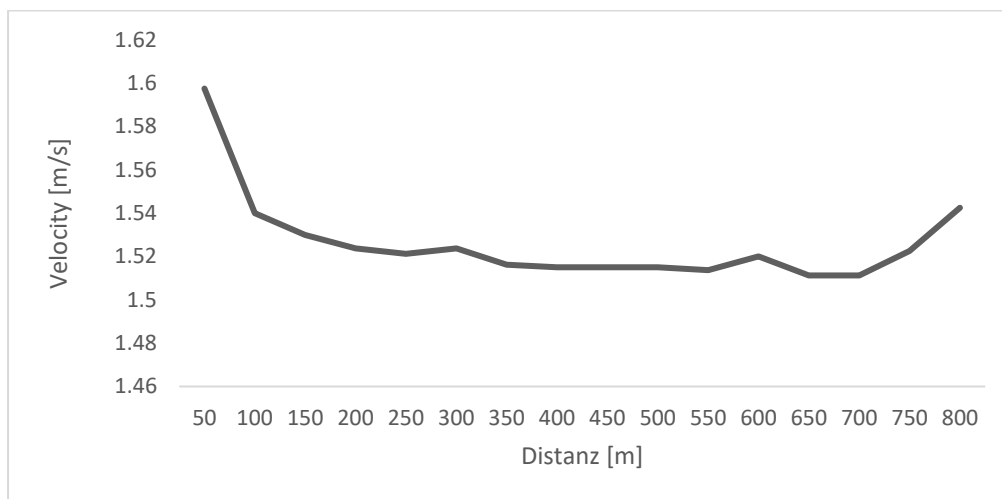
*Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 1500-m-Freistilrennen der Frauen*



Auf der Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die Freistilschwimmerinnen der 1500-m-Rennen einen parabolischen Rennverlauf hinsichtlich der Geschwindigkeiten aufwiesen. Auf der ersten Länge wurden die schnellsten Geschwindigkeiten erreicht und auf der letzten Länge stiegen die Geschwindigkeiten erneut an, was zu dieser, für die parabolischen Pacingstrategie typischen, U-Form führte. Im Verlaufe des Rennens nahmen die Geschwindigkeiten mit zunehmender Distanz kontinuierlich ab, wobei die grösste Änderung zwischen den ersten beiden Längen zu erkennen ist.

#### Abbildung 4

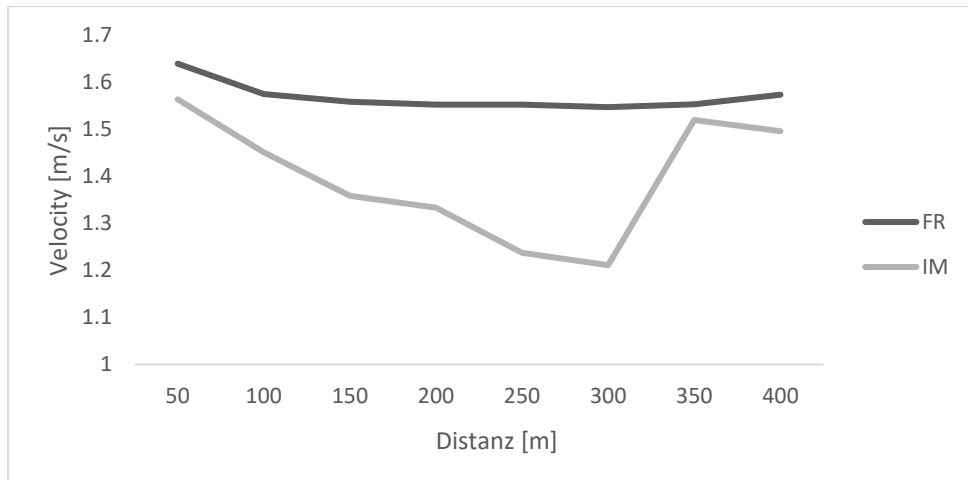
*Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 800-m-Freistilrennen der Frauen*



Die Abbildung 4 präsentiert den Verlauf der Geschwindigkeiten innerhalb der 800-m-Freistilrennen der Frauen. Es konnte, wie auch bei den 1500-m-Rennen, ein parabolischer Rennverlauf nachgewiesen werden. Auf der ersten Länge wurde die maximale Geschwindigkeit erreicht, danach nahmen die Geschwindigkeiten im Verlauf des Rennens mehrheitlich kontinuierlich ab, während sie auf den letzten Längen wieder zunahmen. Die Abnahme von der ersten auf die zweite Länge erwies sich als sehr steil. Ausserdem nahm die Geschwindigkeit nicht erst auf der letzten Länge zu, sondern stieg bereits ab 700 m wieder an.

## Abbildung 5

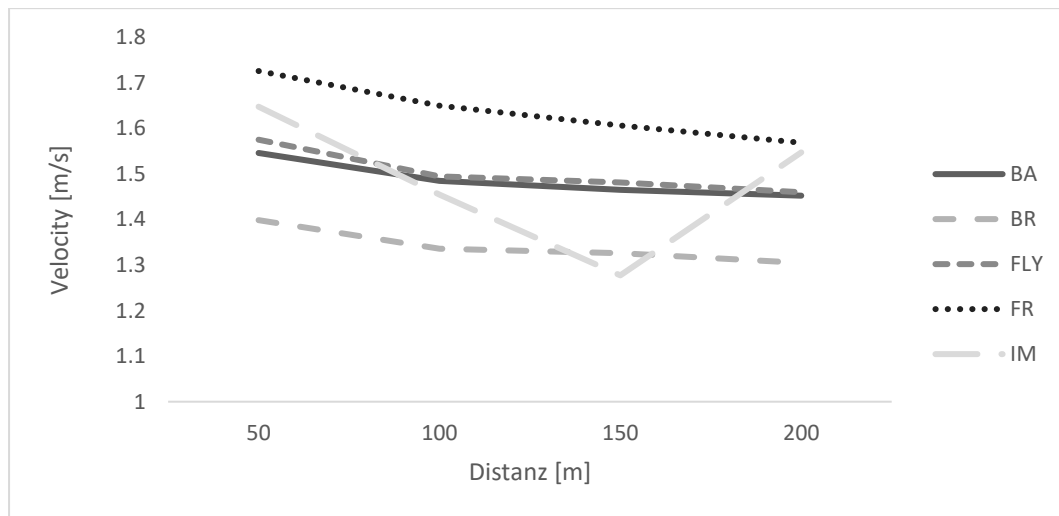
*Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 400-m-Rennen der Frauen*



Die Abbildung 5 weist die Geschwindigkeiten der 400-m-Rennen der Frauen auf. Zwischen den beiden Disziplinen Freestyle und Individual Medley sind dabei grosse Unterschiede zu erkennen. Während die Freistilschwimmerinnen sehr konstante Geschwindigkeiten über den gesamten Rennverlauf vorwiesen, nahmen diese bei den Lagenschwimmerinnen während des Rennverlaufs stetig ab und stiegen auf den letzten 100 m erneut an. Die schnellsten Geschwindigkeiten wurden dabei auf den ersten und letzten 100 m erreicht, wobei die letzten 50 m verglichen zu der zweitletzten Länge etwas tiefere Geschwindigkeiten aufwiesen. Bei den Freistilschwimmerinnen erwiesen sich ebenfalls die erste und letzte Länge schneller als die anderen. Dieser Unterschied war jedoch gering. Die Geschwindigkeiten in der Disziplin Freestyle zeigten sich als auffällig konstant.

## Abbildung 6

*Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 200-m-Rennen der Frauen*



Die Abbildung 6 repräsentiert die Geschwindigkeiten der verschiedenen 200-m-Rennen der einzelnen Längen. Die Disziplinen Freestyle (FR), Butterfly (FLY), Backstroke (BA) und Breaststroke (BR) wiesen dabei similäre Muster auf. Die höchsten Geschwindigkeiten wurden jeweils auf den ersten 50 m erreicht. Im Verlaufe des Rennens nahmen die Geschwindigkeiten kontinuierlich ab. Dieses Muster entspricht einem positiven Pacingverhalten. Auffallend sind die fast überlappenden Geschwindigkeiten der Rücken- und Delfinschwimmerinnen über alle vier Längen. Die einzige Disziplin, die von allen anderen abwich, war das Individual Medley (IM). Die Lagenschwimmerinnen erreichten die höchsten Geschwindigkeiten auf den ersten und letzten 50 m. Die tiefsten Geschwindigkeiten lagen auf der dritten Länge vor. Dieser Verlauf ist am ehesten einem parabolischen Rennverlauf gleichzusetzen. Damit glich der Rennverlauf der 200-m-Lagenschwimmerinnen demjenigen der 400-m-Lagenschwimmerinnen. Der parabolische Rennverlauf war auch bei den 800- und 1500-m-Rennen der Freistilschwimmerinnen zu erkennen. Bei den 100-m-Rennen (siehe Anhang 1) war bei allen vier Disziplinen das gleiche Muster betreffend den Geschwindigkeiten zu erkennen. Dabei wurden die ersten 50 m schneller absolviert als die zweiten 50 m. Die Freistilschwimmerinnen erreichten, wie auch bei den 200-m-Rennen, die höchsten Werte, die Rücken- und Delfinschwimmerinnen lagen nahe beisammen, und die Brustschwimmerinnen wiesen die tiefsten Werte auf.

### 3.4 Vergleich der Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen

Tabelle 4 zeigt den Unterschied der Lagenspezialistinnen und der Lagenschwimmerinnen der 200-m-Rennen mit Hilfe der Variablen «Distance per Stroke», «Strokerate», «Swimtimes» und «Velocity». Die Lagenschwimmerinnen stellen die Absolventinnen der Disziplin Individual Medley dar, während die Lagenspezialistinnen diejenigen Schwimmerinnen repräsentieren, die sich auf eine der Disziplinen Butterfly, Backstroke, Breasstroke oder Freestyle spezialisiert haben. Die Werte der Lagenspezialistinnen setzen sich dabei aus den Mittelwerten der jeweiligen Disziplin analog zu dem Schwimmstil zusammen, welche die Lagenschwimmerinnen pro 50 m absolvierten. Die ersten 50 m repräsentieren jeweils die Mittelwerte der Delfinschwimmerinnen, die zweiten 50 m diejenigen der Rückenschwimmerinnen, die dritten 50 m diejenigen der Brustschwimmerinnen und die letzten 50 m diejenigen der Freistilschwimmerinnen.

**Tabelle 4**

*«Distance per Stroke», «Strokerate», «Swimtime» und «Velocity» der Lagenspezialistinnen und Lagenschwimmerinnen der 200-m-Rennen aufgeteilt in die vier Längen. Die Daten werden als Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichungen dargestellt.*

	Distanzen	Lagenschwimmerinnen	Lagenspezialistinnen	t/W	p	Cohens'd / Rank-Biserial Correlation
<b>Distance per Stroke</b>	0-50	2.00 $\pm$ 0.13	2.00 $\pm$ 0.11	0.06	0.951	0.03
	50-100	2.14 $\pm$ 0.15	2.39 $\pm$ 0.22	2.63	0.020	1.31
	100-150	2.04 $\pm$ 0.20	2.37 $\pm$ 0.25	2.92	0.011	1.46
	150-200	2.09 $\pm$ 0.08	2.26 $\pm$ 0.13	56.00 <sup>a</sup>	0.013	0.75 <sup>a</sup>
<b>Strokerate</b>	0-50	53.96 $\pm$ 3.67	51.71 $\pm$ 2.48	-1.44	0.172	-0.72
	50-100	42.44 $\pm$ 3.13	39.08 $\pm$ 3.86	-1.92	0.076	-0.96
	100-150	38.98 $\pm$ 3.73	34.66 $\pm$ 3.51	-2.39	0.032	-1.19
	150-200	45.44 $\pm$ 1.42	44.17 $\pm$ 2.49	-1.26	0.229	-0.63
<b>Swimtime</b>	0-50	23.26 $\pm$ 0.44	24.19 $\pm$ 0.32	64.00 <sup>a</sup>	< .001	1.00 <sup>a</sup>
	50-100	20.63 $\pm$ 0.40	20.21 $\pm$ 0.56	-1.74	0.104	-0.87
	100-150	23.48 $\pm$ 0.50	22.62 $\pm$ 0.32	3.50 <sup>a</sup>	0.003	-0.89 <sup>a</sup>
	150-200	19.38 $\pm$ 0.31	19.14 $\pm$ 0.57	-1.05	0.310	-0.53
<b>Velocity</b>	0-50	1.72 $\pm$ 0.03	1.65 $\pm$ 0.02	0.00 <sup>a</sup>	< .001	-1.00 <sup>a</sup>
	50-100	1.46 $\pm$ 0.03	1.49 $\pm$ 0.04	1.68	0.115	0.84
	100-150	1.28 $\pm$ 0.03	1.33 $\pm$ 0.02	60.00 <sup>a</sup>	0.003	0.88 <sup>a</sup>
	150-200	1.55 $\pm$ 0.03	1.57 $\pm$ 0.04	1.18	0.256	0.59

*Abkürzungen:* a kennzeichnet die nicht normalverteilten Daten, bei denen der Mann-Whitney-U Test und für die Effektstärke jeweils die biseriale Rangkorrelation angewendet wurde

Hinsichtlich der ersten Variablen, der «Distance per Stroke», konnte erkannt werden, dass auf den ersten 50 m kein signifikanter Unterschied zwischen den Lagenspezialistinnen und den Lagenschwimmerinnen vorlag ( $p = 0.951$ ). Die Schwimmerinnen erreichten die exakt gleiche Distanz pro Armzug von zwei Metern. Beim Vergleichen der zweiten Länge konnte ein signifikanter Unterschied identifiziert werden ( $p = 0.020$ ), dabei erreichten die Lagenspezialistinnen die höheren DPS-Werte als dies bei den Lagenschwimmerinnen der Fall war. Auch auf der dritten ( $p = 0.011$ ) und auf der letzten ( $p = 0.013$ ) Länge unterschieden sich die Lagenspezialistinnen signifikant von den Lagenschwimmerinnen. Erstere erreichten in beiden Fällen die grössere Distanz pro Armzug. In Betracht der zweiten Variablen, der «Strokerate», wiesen die ersten ( $p = 0.172$ ), die zweiten ( $p = 0.076$ ) und die letzten 50 m ( $p = 0.229$ ) keinen signifikanten Unterschied zwischen den Lagenschwimmerinnen und -spezialistinnen auf. Zwischen 100 m und 150 m zeigte sich bei den Brustschwimmerinnen eine signifikant tiefere «Strokerate» ( $p = 0.032$ ) als bei den Lagenschwimmerinnen in dieser Disziplin. Beim Vergleichen der Schwimmzeiten, der Variablen «Swimtimes», ergab sich auf den ersten 50 m eine signifikante Differenz ( $p < 0.001$ ) zwischen den Lagenschwimmerinnen und -spezialistinnen, wobei die Lagenschwimmerinnen die 50 m Butterfly signifikant schneller absolvierten als die Delfinschwimmerinnen. Auf der dritten Länge (100 – 150 m) war ein weiterer signifikanter Unterschied ersichtlich ( $p = 0.003$ ). Im Gegensatz zur ersten Länge schnitten hier jedoch die Lagenspezialistinnen in der Disziplin Breasstroke signifikant besser ab als die Lagenschwimmerinnen. Für die Disziplinen Backstroke auf der zweiten Länge (50 – 100 m) und Freestyle auf der vierten Länge (150 – 200 m) liessen sich keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0.104$ , respektive  $p = 0.310$ ) feststellen. Analog sah es bei der letzten verglichenen Variablen, der «Velocity», aus. Auf der zweiten sowie der letzten Länge des Rennens liessen sich keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0.115$ , respektive  $p = 0.256$ ) zwischen den Lagenschwimmerinnen und den Lagenspezialistinnen ausmachen. Anders sah es für die erste und dritte Länge der 200-m-Rennen aus. Auf den ersten 50 m zeigte sich erneut ein signifikanter Unterschied von  $p < 0.001$ . Dabei zeigten die Lagenschwimmerinnen in der Disziplin Butterfly die höheren Geschwindigkeiten als die 200-m-Delfinschwimmerinnen auf den ersten 50 m. Im Gegensatz dazu erreichten die 200-m-Brustschwimmerinnen auf der dritten Länge signifikant höhere Geschwindigkeiten ( $p = 0.003$ ) als die Lagenschwimmerinnen in dieser Disziplin.

## 4 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war es, Normwerte für die Start- («Time on Block», «Flighttime», «5-m-out», «15-m-out», «Breakoutdistance»), Turn- («5-m-in», «5-m-out», «15-m-out», «Total Turn Time», «Breakoutdistance») und Swimleistungen («Distance per Stroke», «Strokerate», «Swimtime», «Velocity», «Finish», «Racetime») zur Verfügung zu stellen. Des Weiteren sollte Aufschluss über Pacingstrategien in den verschiedenen Events und über einen allfälligen Unterschied zwischen Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen (gemäss Tabelle 4) gegeben werden. Die Resultate von Kapitel 3 werden in den nachfolgenden Unterkapiteln diskutiert.

### 4.1 Diskussion der Startvariablen

Es folgt die Diskussion und Einordnung der eruierten Resultate betreffend der Variablen der Kategorie «Start» aus Kapitel 3.1.1 und 3.1.4. Dabei werden die Vergleiche innerhalb der Disziplinen und Distanzen thematisiert.

#### *4.1.1 Vergleiche der Startvariablen innerhalb der Disziplinen*

Die Rückenschwimmerinnen wiesen bei den 50- und 200-m-Rennen verglichen mit den anderen Disziplinen eine signifikant kürzere «Time on Block» auf. Dies könnte auf die unterschiedlichen Startpositionen zurückzuführen sein. Während die Delfin-, Brust-, und Freistilschwimmerinnen von einem Startblock starten, auch bekannt als «Ventral Start», starten die Backstroke Rennen im Wasser. Die Rückenschwimmerinnen stossen sich also von der Poolwand ab und tauchen rückwärts ins Wasser ein, während bei den anderen Disziplinen von einem Startblock abgestossen werden kann und vorwärts eingetaucht wird (Barkwell & Dickey, 2018). Dabei werden bei den Starts vom Startblock höhere horizontale Geschwindigkeiten erreicht als bei den Starts im Wasser. Tor et al. (2014) untersuchten Startzeiten von Männern ( $4.85 \text{ s} \pm 0.17$ ) und Frauen ( $4.33 \text{ s} \pm 0.19$ ) vom Startblock aus, während Barkwell & Dickey (2018) Startzeiten von beiden Geschlechtern vom Wasser aus ( $3.06 \text{ s} \pm 0.55$ ) eruierten. Bei den 100-m-Rennen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Rückenschwimmerinnen und allen anderen festgestellt werden, erstere verbrachten sogar am meisten Zeit auf dem Startblock. Diese Tatsache ist hinsichtlich der signifikant kürzeren Zeiten auf dem Startblock in den beiden anderen Rennen erstaunlich. Dies kann jedoch dadurch erklärt werden, dass eine Schwimmerin eine klar höhere «Time on Block» Zeit aufwies als die

anderen sieben, was auf einen Fehlstart zurückgeführt werden könnte. Wird ihre Zeit herausgefiltert ergibt sich ein Mittelwert von 0.63, was wiederum der geringsten mittleren «Time on Block» verglichen mit den anderen Disziplinen bedeuten würde.

Betreffend der Flugzeiten verbrachten die Rückenschwimmerinnen signifikant weniger Zeit in der Luft. Durch die erhöhte horizontale Geschwindigkeit des Startes auf dem Block und eines erhöhten Startes (0.7 m) verglichen mit den RückenschwimmerInnen, die tiefer unten starten (auf Wasseroberfläche) und weniger hohe Geschwindigkeiten erreichen, ist dieser Unterschied zu erklären (Takeda et al., 2014). Grundsätzlich wird versucht möglichst lange Flugzeiten zu erreichen, da der Luftwiderstand geringer als der Wasserwiderstand ist (Peterson et al., 2018; Reischle, 1988).

Laut Takeda et al. (2014) ist beim Start der Disziplin Backstroke jedoch nicht das Erreichen einer hohen horizontalen Geschwindigkeit das Wichtigste, sondern das Anwenden der «Hole-entry Technique». Diese verlangt das Eintauchen des ganzen Körpers durch das gleiche «Loch» im Wasser, um somit eine möglichst kleine Eintrittsfläche und wenig Widerstand zu erreichen. Ist die Oberfläche während des Eintritts ins Wasser erhöht, zum Beispiel bei einem misslungenen Start, führt dies zu einer starken Verlangsamung des Schwimmenden. Die Rückenschwimmerinnen erreichten im vorliegenden Fall die 5-m-Marke nach dem Start signifikant später als die Schwimmerinnen der anderen Disziplinen. Dies resultiert aus den tieferen Geschwindigkeiten und Flugdistanzen nach dem Start (Born et al., 2021). Die schnellsten «5-m-out» und «15-m-out» Zeiten wurden von den Freistilschwimmerinnen erreicht, wobei sich bei der Variablen «15-m-out» auch die Delfinschwimmerinnen dazu gesellten. Diese beiden Disziplinen verfolgen den gleichen Ansatz des Startens auf dem Startblock und nach dem Eintauchen ins Wasser des Absolvierens von Delfinkicks unter Wasser (FINA, 2020). Innerhalb der 200-m-Rennen herrschte jedoch ein signifikanter Unterschied zwischen der 15-m-out Zeit der Freistil- und jener der Delfinschwimmerinnen, wobei letztere signifikant später die 15-m-out-Marke erreichten. Bei Born et al. (2020) konnte das genau gleiche Phänomen festgestellt werden, wobei dies durch einen von McGibbon et al. (2018) eruierten Unterschied der Pacingstrategien der Delfin- und Freistilschwimmenden auf dieser Distanz erklärt wird. Eine weitere Differenz zwischen der Disziplin Butterfly und Freestyle zeigte sich bei der «Breakoutdistance», und dies trotz ähnlichem Startprofil. Die Freistilschwimmerinnen brachen nach dem Start signifikant früher aus dem Wasser als alle anderen und damit auch als die Delfinschwimmerinnen. Zu diesem Ergebnis kamen auch Morais et al. (2019b). Dies wird durch



den Anteil des «Cleanswimmings» und des «Underwater Profiles» erklärt. SchwimmerInnen werden zwar oft dazu ermutigt, die Unterwasserphase so weit wie erlaubt zu nutzen (Cossor & Mason, 2001). In der Realität ist es aber laut Veiga et al. (2014) oftmals so, dass die schnelleren SchwimmerInnen die Start- und Wendedistanzen nur dann maximieren, wenn dadurch eine Steigerung der Geschwindigkeit erreichbar ist. So bleiben diese nur so lange unter Wasser wie ihre Unterwassergeschwindigkeit durch den Abstoss vom Startblock oder der Wand verglichen mit der Schwimmgeschwindigkeit höher ist. Da die Freistilschwimmenden jedoch höhere Schwimmgeschwindigkeiten als die Delfinschwimmenden vorweisen, ist ihre «Breakoutdistance» nach dem Start kleiner als bei der Disziplin Butterfly (Morais et al., 2019b). Die Schwimmenden dieser Disziplin verbringen mehr Zeit unter Wasser, da ihre Schwimmgeschwindigkeit langsamer ist (Tor et al., 2014). Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich in dieser Arbeit bei den Variablen der Kategorie «Start» vor allem die Rückenschwimmerinnen mit den mehrheitlich kürzeren «Time on Block» und «Flighttime» Zeiten, längeren «5-m-out» Zeiten und den weiteren «Breakoutdistances» von den anderen Disziplinen differenzierten. Dem gegenüber stehen die Freistilschwimmerinnen, die sich durch schnellere «5-m-out», «15-m-out» und kürzere «Breakoutdistances» von den Schwimmerinnen der anderen Disziplinen unterscheiden.

#### ***4.1.2 Vergleiche der Startvariablen innerhalb der Distanzen***

Die Freistilschwimmerinnen der 50-m-Rennen wiesen im Vergleich zu den 800- und 1500-m-Schwimmerinnen signifikant kürzere Zeiten auf dem Startblock auf. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die 50 und 100 m Disziplinen durch ihr erhöhtes anaerobes Profil (Wilke et al., 2015) als Sprintdisziplinen angesehen werden (Morais et al., 2019b). Da die «Racetime» auf 50 m sehr gering ausfällt und die Startzeit somit einen sehr hohen Stellenwert einnimmt, sind diese Schwimmerinnen mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf trainiert, einen explosiveren und schnelleren Start an den Tag zu legen (Born et al., 2020). Die längeren Distanzen weisen einen höheren Anteil von aerober Energiebereitstellung und ausserdem verminderte Relevanz des Startes auf, womit dieser Unterschied erklärt werden kann. Bei den «5-m-out» nach dem Start wiesen die 50- und 200-m-Freistilschwimmerinnen die schnellsten Zeiten auf, obwohl die Startprofile der 50- und 100-m-Rennen ähnlicher sind (Born et al., 2020). Dieser Unterschied könnte mit den Schwierigkeiten des korrekten Erfassens der «5-m-out» Zeiten der Autorin zusammenhängen. Dabei sind die

schnellen «5-m-out» Zeiten der 50-m-Freistilschwimmerinnen auf den explosiven Start zurückzuführen, bei den 200 m Zeiten könnten die signifikanten Ergebnisse durch Abweichungen von den realen Zeiten beim Analysieren entstanden sein. Bei den «15-m-out» Zeiten lagen erneut keine Unterschiede zwischen den 50- und 100-m-Rennen vor. Die beiden ähnlichen Startprofile dieser Rennen resultieren in keinen signifikant abweichenden Zeiten. Mit zunehmender Renndistanz nahmen diese jedoch signifikant ab. Marinho et al. (2020) konnten mit ihren Untersuchungen das gleiche Resultat aufzeigen, nämlich dass Schwimmende der 100-m-Rennen schnellere «15-m-out» Zeiten aufwiesen als diejenigen der 200-m-Rennen. Sie erklärten diesen Unterschied durch die Tatsache, dass die 100-m-Rennen als Sprint angesehen werden können und eine Verbesserung beim Start einen grossen Einfluss haben kann. Die Wichtigkeit des Startes nimmt mit zunehmender Renndistanz ab, weshalb längere Rennen abnehmende «15-m-out» Zeiten aufwiesen. Ausserdem sind SpinterInnen darauf trainiert, durch erhöhte Kraft, Power und schneller Reaktion, weniger Zeit auf dem Startblock zu verbringen (Marinho et al., 2020). Das gleiche Phänomen trat bei der «Breakoutdistance» auf. Dabei unterschieden sich die beiden Distanzen der Sprintrennen nicht signifikant voneinander. Die 50- und 100-m-Schwimmerinnen legten, verglichen mit denjenigen der 400-, 800- und 1500-m-Rennen, die signifikant weitesten Distanzen unter Wasser zurück, bevor sie aus dem Wasser brachen. Je länger die Renndistanz, desto früher brachen die Schwimmerinnen nach dem Start aus dem Wasser. Die genau gleichen Resultate wurden von Cossor und Mason (2001) festgestellt. Dabei erreichten diejenigen SchwimmerInnen, welche längere Zeit unter Wasser verbrachten und damit eine längere «Breakoutdistance» aufwiesen, schnellere «15-m-out» Zeiten. Mit zunehmender Unterwasserphase nahm die 15 m Startzeit ab. Dies wurde auch bei den vorliegenden Resultaten ersichtlich. Die signifikant schnellsten «15-m-out» Zeiten wurden von denjenigen Schwimmerinnen erreicht, die eine signifikant weitere «Breakoutdistance» erreichten (50- und 100-m-Rennen).

#### **4.2 Diskussion der Turnvariablen**

Im Folgenden werden die Resultate aus Kapitel 3.1.2 und 3.1.5 hinsichtlich der Variablen der Kategorie «Turn» diskutiert und mit Resultaten aus der Literatur verglichen. Es werden erneut Vergleiche innerhalb der Disziplinen und Distanzen betrachtet.

#### ***4.2.1 Vergleiche der Turnvariablen innerhalb der Disziplinen***

Bei der Kategorie «Turn» war deutlich zu erkennen, dass die Disziplin Freestyle bei fast allen Variablen einen signifikanten Unterschied zu den anderen Disziplinen aufwies. Dies wird sehr gut an den signifikant schnelleren «Total Turn Times» ersichtlich, welche die «5-m-in», «5-m-out» und «15-m-out» Zeiten zusammenfasst. Die Wand wurde am signifikant schnellsten von den Freistil- und Delfinschwimmerinnen angeschwommen. Dies kann durch die höheren Geschwindigkeiten dieser Disziplinen (siehe Abb. 5 & 6 und Anhang 1 sowie Morais et al., 2019b) erklärt werden. Die 5-m-out-Marke hingegen wurde von den Rücken- und Freistilschwimmerinnen signifikant früher erreicht als von den Schwimmerinnen der anderen beiden Disziplinen. Der Unterschied kann mit Hilfe der Wendearten erklärt werden. Während bei den Disziplinen Freestyle und Backstroke ein sogenannter «Flip Turn» oder «Tumble Turn» ausgeführt wird, wobei die Hände die Wand nicht berühren, müssen die Delfin- und Brustschwimmerinnen beim Wenden mit beiden Händen die Wand berühren (Slawson et al., 2010). Deshalb wird in diesen beiden Disziplinen ein sogenannter «Open Turn» durchgeführt. Da sich die «Tumble Turns» als schneller erweisen (Lyttle & Mason., 1997), ist es nicht weiter erstaunlich, dass die Schwimmerinnen der beiden Disziplinen, welche diese Art von Wende ausführten, schnellere «5-m-out» Zeiten aufwiesen. Bei den «15-m-out» Zeiten zeigten die Brustschwimmerinnen die signifikant langsamsten Zeiten auf. Dies könnte auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass bei dieser Disziplin nur ein einziger Delfinkick pro Armzug erlaubt ist, während bei den anderen Disziplinen durchgehende Delfinkicks ausgeführt werden dürfen (FINA, 2020). Das Ausführen von kontinuierlichen Delfinkicks im Vergleich zu einem einzigen pro Armzug resultiert logischerweise in einer höheren Geschwindigkeit, womit diese Unterschiede in den «15-m-out» Zeiten zu erklären sind. Mit den bisherigen Resultaten einhergehend ist auch die Tatsache, dass die Freistilschwimmerinnen die schnellsten und die Brustschwimmerinnen die langsamsten «Total Turn Times» erreichten. Die Freistilschwimmerinnen näherten sich der Wand mit der höchsten Geschwindigkeit, führten einen schnelleren «Tumble Turn» und nach der Wende kontinuierliche Delfinkicks durch. Die Brustschwimmerinnen hingegen erreichten die Wand mit einer tieferen Geschwindigkeit, absolvierten einen «Open Turn» und durften nach der Wende nur einen Delfinkick pro Armzug ausführen. Hinsichtlich der «Breakoutdistance» brachen die Freistilschwimmerinnen, wie dies auch beim Start der Fall war, signifikant früher aus dem Wasser und starteten somit vorzeitig mit dem «Cleanswimming», da in dieser Disziplin die

höchsten Schwimmgeschwindigkeiten erreicht werden (siehe Abb. 5 & 6 und Anhang 1 sowie Morais et al., 2019b).

#### ***4.2.2 Vergleiche der Turnvariablen innerhalb der Distanzen***

Bei den vorliegenden Resultaten der Kategorie «Turn» zeigten sich die «Total Turn Times» als signifikant langsamer, je länger das Rennen war. Dies wiesen auch Born et al. (2020) nach. Damit einhergehend sind die Ergebnisse der «15-m-out» Analysen, wobei auch hier die Zeiten bis zum Erreichen der 15-m-Marke mit zunehmender Renndistanz zugenommen haben. Bei der Variablen «5-m-out» ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Distanzen zu erkennen. Dies könnte an der Tatsache liegen, dass bei allen Rennen die gleiche Art von Wenden durchgeführt wurde und somit alle die gleichen Voraussetzungen für die ersten fünf Meter auf der neuen Länge hatten. Durch die höheren Geschwindigkeiten der Schwimmerinnen der kürzeren Rennen zeigten sich jedoch bereits bei der Variablen «15-m-out» signifikante Unterschiede. Marinho et al. (2020) erklärten die signifikant schnellsten Zeiten der 100-m-Schwimmerinnen mit der Tatsache, dass diese nach dem Wenden versuchten ihre Geschwindigkeit zu erhalten oder sogar zu erhöhen, um das Rennen zu beenden, während die Geschwindigkeiten bei allen anderen Rennen kontinuierlich abnahmen. Die längsten «Breakoutdistances» wurden auch hier, wie nach dem Start, in den kürzeren Rennen erreicht. So verbrachten die 100- und 200-m-Schwimmerinnen nach der Wende signifikant mehr Zeit unter Wasser als dies die Schwimmerinnen der anderen Rennen taten. Zu diesem Resultat kamen auch Marinho et al. (2020). Dabei haben die Schwimmenden zwei Möglichkeiten: Sie erhöhen ihre Unterwasserphase («Underwater Profile»), um damit Energie zu sparen, oder sie starten früher mit dem «Cleanswimming» und brechen daher früher aus dem Wasser («Surface Profile»). So wiesen die Schwimmerinnen der kürzeren Distanzen ein grösseres «Underwater Profile» auf, um damit Energie zu sparen als die Schwimmerinnen der längeren Distanzen. Dies kann durch die zunehmende Müdigkeit der Schwimmerinnen erklärt werden, da sich mit zunehmender Distanz auch die Zeit erhöht, die mit dem Wenden verbracht wird (Marinho et al., 2020). Dies wurde von Marinho et al. (2020) als Punkt angesehen, indem sich die Schwimmenden noch verbessern können. Durch erhöhte Kraft an der Wand vor dem Abstossen könnten ihre Gleitgeschwindigkeiten erhöht, die «Breakoutdistance» verlängert und damit mehr Energie gespart werden. Analog könnte die Unterwasserphase nach dem Start durch verbesserte Kräfte auf dem Startblock verlängert werden.

### **4.3 Diskussion der Swimvariablen**

Im folgenden Abschnitt werden die Resultate hinsichtlich der Variablen der Kategorie «Swim» diskutiert. Laut Craig et al. (1985) wird die Geschwindigkeit im Wasser durch die «Strokerate» und die «Distance per Stroke» bestimmt. Eine Zunahme der Geschwindigkeit wird durch eine Erhöhung der «Strokerate» und der «Distance per Stroke» erreicht. Eine weitere Erhöhung der Geschwindigkeit wurde durch die Zunahme der «Strokerate» und die Abnahme der DPS charakterisiert. Maximale Geschwindigkeiten werden durch eine optimale Kombination dieser beiden Variablen erreicht. Ab einem gewissen Punkt führt jedoch eine zusätzliche Steigerung der «Strokerate» zu einer Abnahme der Geschwindigkeit.

#### ***4.3.1 Vergleiche der Swimvariablen innerhalb der Disziplinen***

Hinsichtlich der «Distance per Stroke» wiesen die Freistilschwimmerinnen jeweils die längsten und die Delfinschwimmerinnen die kürzesten Distanzen pro Armzug auf. Bezüglich der «Strokerate» lassen sich je nach Distanz des Rennens unterschiedliche Signifikanzen feststellen. So zeigte die Disziplin Backstroke bei den 50-m-Rennen die geringste «Strokerate» auf. Bei den 100-m-Rennen erreichten die Delfinschwimmerinnen die höchsten «Strokerate»-Werte. Die 200-m-Rennen wiesen komplett unterschiedliche «Strokerates» zwischen allen Disziplinen auf, die Delfinschwimmerinnen wiederum die höchsten und die Brustschwimmerinnen die tiefsten Werten. Die Disziplinen Backstroke und Freestyle lagen dabei nahe zusammen und unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Craig et al. (1985) erklärten die kürzeren DPS-Werte der Delfinschwimmerinnen durch eine lokale Muskelermüdung, die vor allem in dieser Disziplin schwerwiegend ausfällt. Die langsamsten «Strokerates» der Brustschwimmerinnen sind wahrscheinlich auf die Diskontinuität der Vortriebskraft (Armzug nicht gleichzeitig wie der Beinschlag) nach Magel (1970) und die wichtige Rolle des Gleitens nach Naemi et al. (2010) zurückzuführen. Das Aufweisen von ähnlichen «Strokerates» der Freistil- und Rückenschwimmerinnen könnte sich durch das ähnliche Schwimmprofil der beiden Disziplinen erklären lassen. Bei beiden wird ein kontinuierliches Ausführen des Armzuges und Beinschlags angewendet. Der offensichtlichste Unterschied ist dabei nur, dass dies von den Freistilschwimmerinnen auf dem Bauch und von den Rückenschwimmerinnen auf dem Rücken erfolgt.

In Hinblick auf die Variabel «Velocity» wurden die höchsten Geschwindigkeiten von den Freistilschwimmerinnen erreicht, gefolgt von den Delfinschwimmerinnen und den Rückenschwimmerinnen. Die Disziplin Breaststroke wies die tiefsten Geschwindigkeiten auf. Dabei zeigte sich, dass die Brustschwimmerinnen in jedem Rennen entweder die kürzesten DPS- oder die tiefsten SR-Werte aufwiesen. Da die Geschwindigkeit von diesen beiden Werten beeinflusst wird, ist es nicht weiter erstaunlich, dass die Brustschwimmerinnen allgemein die langsamsten Geschwindigkeiten aufzeigten. Weitere Gründe für die Geschwindigkeiten der jeweiligen Schwimmstile können in der Ausführung dieser gefunden werden. Die Brustschwimmenden wiesen in einer Studie von Magel (1970) zwar die höchsten Vortriebskräfte durch den Beinschlag auf, dadurch, dass sie ihre Arme jedoch in einer abbremsenden Gegenbewegung unter Wasser nach vorne holten, wurde der Widerstand erhöht. Durch diesen relativ hohen Widerstand und der Diskontinuität der Vortriebskraft kommt es zu diesen, im Vergleich zu den anderen Disziplinen, signifikant langsameren Geschwindigkeiten. Die anderen Schwimmstile zeichnen sich durch einen Überwasseraufschwung der Arme und kontinuierliche Vortriebsbewegungen aus, welche zu einem effizienteren Einsatz der Vortriebskraft führen. Das könnte der Grund für die höheren Geschwindigkeiten sein, die in diesen Disziplinen erreicht werden. Die Rückenschwimmerinnen wiesen die zweitlangsamsten Geschwindigkeiten auf. Dies kann auf die Tatsache zurückgeführt werden, dass beim Gleiten auf dem Rücken ein grösserer Widerstand erzeugt wird als dies auf dem Bauch der Fall ist. Ausserdem wiesen die Rückenschwimmenden langsamere Startzeiten auf, was dieses Ergebnis unterstützt. Der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten der Disziplinen Butterfly und Freestyle lässt sich womöglich mit folgenden Differenzen nach Holmér (1974) zwischen den Disziplinen ansatzweise erklären. Die Delfinschwimmenden haben einen höheren Sauerstoffverbrauch als die Freistilschwimmenden. Das kann darauf zurückzuführen sein, dass die gebrauchte mechanische Arbeit während des Delfinschwimmens extensiver ist als beim Freistilschwimmen. Auf kurzer Distanz ist Butterfly eine der schnellsten Schwimmstile. Durch das Anheben des oberen Körpers während der Rückholphase der Arme, was sich als unökonomisch erweist, wird sehr viel Energie verbraucht, weshalb eine hohe Geschwindigkeit nicht über lange Strecken aufrechterhalten werden kann. Die Disziplin Butterfly und deren Beinschlag, der die geringsten maximalen Geschwindigkeiten aufzeigte, erwiesen sich ausserdem als energieaufwändigste Antriebsform verglichen mit den anderen

Schwimmstilen. Des Weiteren ist die mechanische Effizienz der Disziplin Butterfly tiefer im Vergleich zur Disziplinen Freestyle (McGibbon et al., 2020). All diese Faktoren könnten dazu beitragen, dass Butterfly tiefere Geschwindigkeiten aufwies als Freestyle.

Da die «Swimtime» und die «Racetime» stark von der Geschwindigkeit einer Disziplin abhängen, ist es nicht weiter erstaunlich, dass die Freistilschwimmerinnen die schnellsten Schwimmzeiten und Rennresultate hervorbrachten. Folglich waren die langsamsten «Swimtimes» und «Racetimes» die der Brustschwimmerinnen, die auch die langsamsten Geschwindigkeiten vorwiesen. Die zweit-schnellsten Schwimmzeiten und Rennresultate wurden dementsprechend von den Delfinschwimmerinnen erreicht, gefolgt von der Disziplin Backstroke. Genau gleich verhielt es sich auch bei der Variabel «Finish». Die Freistilschwimmerinnen waren wiederum die schnellsten Finisherinnen, gefolgt von den Delfinschwimmerinnen, den Rückenschwimmerinnen und zum Schluss den Brustschwimmerinnen. Das kann ebenfalls mit Hilfe der unterschiedlichen Geschwindigkeiten erklärt werden. Da alle am Ende des Rennens die Absicht hatten, noch einmal alles zu geben, änderte sich hier nichts in der Reihenfolge der Schwimmerinnen, da diejenigen mit den höchsten Geschwindigkeiten auch beim Endspurt einen Vorteil hatten.

#### ***4.3.2 Vergleiche der Swimvariablen innerhalb der Distanzen***

Werden die Variablen der Kategorie «Swim» in Hinblick auf die unterschiedlichen Distanzen betrachtet, fällt auf, dass die 50- und 1500-m-Schwimmerinnen die kleinsten Distanzen pro Armzug aufwiesen, während die 200-m-Schwimmerinnen die höchsten Werte erzielten. Ein gegenteiliges Muster wird bei den «Strokerates» ersichtlich. Hierbei zeigten sich bei den 50-m-Rennen die höchsten Werte, während die 200-m-Schwimmerinnen die tiefsten «Strokerates» vorwiesen. Mit diesen Werten unterschieden sich die 200-m-Schwimmerinnen in beiden Fällen signifikant von den 50-m-Schwimmerinnen, im Falle der DPS ausserdem von den 1500-m-Rennen und im Falle der «Strokerate» zusätzlich von den 100-m-Schwimmerinnen. Die SR der 50-m-Rennen war im Vergleich zu allen anderen Rennen signifikant höher. Zum gleichen Resultat, dass kürzere Rennen die höheren SR-Werte erreichen, kamen auch Craig et al. (1985). Dabei unterschieden sich die 100-m-SchwimmerInnen durch eine höhere «Strokerate» und einer tieferen DPS im Vergleich zu den 200-m-SchwimmerInnen. Auch bei der Studie von Arellano et al. (1994) nahm die «Distance per Stroke» von den 50-m-Rennen zu den 200-m-Rennen zu. Die vorliegenden Resultate sind in Bezug auf die sehr ähnlichen DPS-Werte der 50- und 1500-m-Rennen überraschend, da sich diese Rennen

normalerweise stark voneinander unterscheiden. Ersteres ist eine Sprintdisziplin und ausserdem das Rennen auf die kürzeste Distanz. Die 1500-m-Rennen stellen die längsten geschwommenen Distanzen dar und sind eine Ausdauerdisziplin. Des Weiteren ist es interessant, dass sich die 200-m-Rennen signifikant von den 50- und 1500-m-Rennen abhoben. Zu diesen Resultaten kamen auch Pelayo et al. (1996). Die Distanz pro Armzug nahm von den 50-m-Rennen zu den 200-m-Rennen zu und danach wieder ab. Dieses Phänomen könnte auf den unterschiedlichen Energieverbrauch zurückzuführen sein. Die höchsten Leistungen pro Zyklus können tatsächlich in den 200-m-Rennen erreicht werden. In den längeren Rennen, ab 400 m, wird die Strategie verfolgt, die DPS zu reduzieren, um die höchstmögliche «Strokerate» während des gesamten Rennens aufrecht zu erhalten. Eine gegenteilige Strategie wird hingegen von den Schwimmenden der kürzeren Distanzen (50 m und 100 m) verfolgt. Diese versuchen eine möglichst hohe «Strokerate» zu erreichen, was keine hohen DPS-Werte zulässt. Da die 200-m-Rennen sich bezüglich der Distanz ungefähr in der Mitte befinden, könnte damit das spezielle Muster der DPS und SR erklärt werden. Beim «Finish» zeigte sich, dass die Zeiten der 50- und 100-m-Rennen sehr ähnlich sind und sich damit signifikant von allen anderen unterscheiden, wobei diese Schwimmerinnen die schnellsten Finishzeiten aufwiesen. Die zweitschnellsten Finisherinnen waren die Schwimmerinnen der 200- und 400-m-Rennen, die fast gleichschnelle Finishzeiten aufwiesen und sich damit zusätzlich signifikant von den Schwimmerinnen der 800-m- und 1500-m-Rennen unterscheiden. Dieses Phänomen lässt sich erneut mit Hilfe der Geschwindigkeiten erklären, die in den verschiedenen Rennen erreicht wurden. Auf der Abbildung im Anhang 2 ist zu erkennen, dass die Geschwindigkeiten am Ende des Rennens mit zunehmender Distanz kontinuierlich abnahmen. So wiesen die Schwimmerinnen der 100-m-Rennen auch am Ende des Rennens die schnellsten und die Schwimmerinnen der 1500-m-Rennen die langsamsten Geschwindigkeiten auf. Durch schnellere Geschwindigkeiten kann auch ein schnellerer «Finish» hervorgerufen werden, während langsamere Geschwindigkeiten einen langsameren «Finish» erzeugen. Die letzten drei Variablen dieser Kategorie, «Swimtime», «Velocity» und «Racetime», wiesen alle die gleichen Ergebnisse auf. Dabei erreichten die 50-m-Schwimmerinnen die signifikant höchsten Geschwindigkeiten und damit die schnellsten «Swimtimes» und «Racetimes». Die Geschwindigkeit nahm mit zunehmender Distanz ab und somit die «Swimtime» und «Racetime» zu. Analog dazu wiesen die 1500-m-Rennen die signifikant tiefsten Geschwindigkeiten und damit einhergehend die langsamsten «Swimtimes» und «Racetimes» auf. Magel (1970)



kam in seinen Untersuchungen der Vortriebskräfte in den verschiedenen Schwimmstilen zum gleichen Ergebnis, dass über kürzere Distanzen höhere Vortriebskräfte und Geschwindigkeiten generiert und aufrechterhalten werden können. Je grösser die Schwimmdauer oder die Intensität, desto mehr wird die muskuläre Ausdauer zu einem begrenzenden Faktor. Mit höheren Geschwindigkeiten einhergehend sind schnellere Schwimm- und Rennzeiten.

#### **4.4 Diskussion der Prozentanteile von Start, Wenden und Finish an der Rennleistung**

Wie in Abbildung 1 und 2 in Kapitel 3.2 zu erkennen ist, nahmen die Anteile von Start und Finish in allen analysierten Rennen mit zunehmender Distanz ab. Im Gegensatz dazu gewannen die Wendezeiten mit zunehmender Distanz an Bedeutung. Dies ist damit zu erklären, dass die gesamte Rennzeit der Kurzdistanzrennen so kurz ausfällt, dass die Zeit, die bis zur «15-m-out»-Marke vergeht und die letzten fünf Meter des Rennens, einen grossen Teil der Gesamtzeit ausmachen. Je länger die Renndistanz und damit die einhergehende gesamte Rennzeit, desto weniger Einfluss haben die Start- und Finishzeiten. Anders verhält es sich jedoch bei den Wenden. Während bei den 50-m-Rennen keine und bei den 100-m-Rennen nur eine Wende ausgeführt wird, nimmt die Anzahl dieser mit zunehmender Distanz zu. So müssen die Schwimmerinnen der 1500-m-Rennen 29 Wenden ausführen. Dadurch verbringen die Schwimmerinnen der längeren Rennen mehr Zeit mit Wenden als dies bei den Kurzdistanzrennen der Fall ist. Deshalb haben die Wenden mit zunehmender Distanz einen grösseren Einfluss auf die gesamte Rennzeit. In Anbetracht dieser Resultate wird deutlich, welche Schwimmerinnen sich im Training mit welchen Phasen des Rennens verstärkt auseinandersetzen sollten. Da Start- und Finishzeiten vor allem bei den Kurzdistanzrennen von grosser Bedeutung sind, sollten diese beiden Phasen im Training berücksichtigt und gezielt trainiert werden. Das Optimieren von Wenden ist bei den 50-m-Schwimmerinnen etwas weniger zentral, da die Wendeleistungen keinen Anteil an der gesamten Rennzeit haben. Die 100-m-Schwimmerinnen haben in Hinblick auf die vorliegenden Resultate die schwierigste Aufgabe. Ihre Start- und Finishzeiten nahmen gemeinsam ungefähr 17% des Rennens ein, während ihre Wendezeiten ungefähr 20% des Rennens ausmachen. Diese Schwimmerinnen müssen ihren Fokus im Training sowohl auf die Starts und Finishes wie auch auf ihre Wendeleistungen legen, da diese Phasen auf ihre Renndistanz gemeinsam über einen Drittel des Rennens ausmachen. Bei den Mittel- und Langdis-

tanzrennen sind die Start- und Finishleistungen zunehmend zu vernachlässigen. Diese Schwimmerinnen müssen hingegen einen starken Fokus auf ihre Wendeleistungen legen, da diese im Mittel einen Drittel der Rennzeit ausmachen. Zum selben Resultat kamen auch Morais et al. (2019b).

#### **4.5 Diskussion des Pacingverhaltens**

Im Schwimmsport werden Rennen in verschiedenen Disziplinen und auf unterschiedliche Distanzen geschwommen. Dadurch entstehen unterschiedliche Anforderungen an die jeweiligen Schwimmerinnen. Während die Energiebereitstellung über Kurzstanzrennen vorwiegend anaerober Natur ist, nimmt der Anteil der aeroben Energiebereitstellung mit steigender Distanz zu (Born et al., 2021). Daher ist es wenig erstaunlich, dass auf die verschiedenen Renndistanzen die Geschwindigkeiten und Energiereserven unterschiedlich eingeteilt werden. Während die SprinterInnen versuchen, auf diese kurze Distanz möglichst hohe Geschwindigkeiten zu erreichen und zu erhalten, ist das Ziel der 1500-m-SchwimmerInnen, die Energie so einzuteilen, dass die Geschwindigkeiten über das ganze Rennen hinweg gesehen möglichst gleichbleiben. Dadurch entstehen unterschiedliche Pacingstrategien. Durch das Analysieren der Geschwindigkeiten der verschiedenen Freistilrennen kristallisierten sich solche Unterschiede heraus. Im Folgenden werden die Pacingstrategien der verschiedenen Freistilrennen präsentiert und interpretiert. Dabei wird sowohl auf die Tabelle 3 als auch auf die Grafiken 3-6 aus Kapitel 3 eingegangen.

In der Tabelle 3 ist hinsichtlich der unterschiedlichen Distanzen zu erkennen, dass nur innerhalb der Disziplin Freestyle signifikante Unterschiede zwischen den Deltawerten auftauchten. Das bedeutet, dass in den Disziplinen Backstroke, Butterfly, Breaststroke und Individual Medley die Schwimmerinnen der verschiedenen Distanzen ähnliche Deltawerte vorwiesen, sprich die Geschwindigkeitsdifferenzen unterschieden sich nicht signifikant zwischen den verschiedenen Rennen der jeweiligen Disziplin. Die 200-m-Freistilschwimmerinnen wiesen über alle Distanzen hinweg die signifikant grössten Deltawerte und damit die grössten Unterschiede zwischen der maximalen und minimalen Geschwindigkeit auf. Damit unterschieden sie sich von allen anderen Distanzen dieser Disziplin. Dies könnte auf die Energieeinteilung zurückzuführen sein. Die 200-m-Rennen sind dabei als Mitteldistanzevent eingestuft. Die Schwimmerinnen absolvieren somit weder einen Sprint, wobei sie von Anfang bis am Ende alles aus sich herausholen, und die maximal möglichen Geschwindigkeiten versuchen zu erreichen, noch ist es ein Ausdauerereignis, wobei sie versuchen, eine möglichst konstant hohe Geschwindigkeit beizubehalten. Folglich starteten diese

Schwimmerinnen etwas langsamer ins Rennen als dies bei den Sprinterinnen der Fall war, gegen Ende des Rennens versuchen sie dennoch die maximalen Geschwindigkeiten herauszuholen. Simbaña et al. (2018) erklärten sich diese höheren Varianzen der Schwimmgeschwindigkeiten der 200-m-Rennen durch Ermüdung und einer Verschlechterung der mechanischen Effizienz im Verlaufe des Rennens. Dadurch ist mit grosser Wahrscheinlichkeit dieser signifikante Unterschied der maximalen und minimalen Geschwindigkeit zu erklären. Beim Vergleichen der Disziplinen der 100-m-Rennen unterschieden sich die Freistilschwimmerinnen hinsichtlich ihres Deltawertes signifikant von den Rückenschwimmerinnen. Dabei wies die Disziplin Freestyle den tiefsten und die Disziplin Backstroke den höchsten Deltawert und damit den grössten Unterschied zwischen der minimalen und maximalen Geschwindigkeit auf. Zu erkennen ist die grosse Standardabweichung bei den Rückenschwimmerinnen, was darauf hindeutet, dass die Schwimmerinnen sehr unterschiedliche Deltawerte aufwiesen und so auf diesen im Mittel hohen Deltawert kamen. Über die Distanz von 200 m hob sich die Disziplin Individual Medley signifikant von den anderen Disziplinen ab, wobei diese Schwimmerinnen die höchsten Deltawerte aufwiesen. Analog dazu lagen bei den 400-m-Lagenschwimmerinnen signifikant höhere Deltawerte vor als dies bei den Freistilschwimmerinnen der Fall war. Der grosse Unterschied in den Deltawerten der Lagenschwimmerinnen lässt sich durch die Tatsache erklären, dass bei dieser Rennart alle vier Disziplinen absolviert werden. Wie bereits angedeutet, können in der Disziplin Freestyle durch die zyklische Bewegung in Bauchlage deutlich schnellere Geschwindigkeiten erreicht werden als dies zum Beispiel in der Disziplin Breaststroke der Fall ist (siehe Kapitel 4.3.1). Dadurch ergeben sich grosse Differenzen in den maximalen und minimalen erreichten Geschwindigkeiten.

Die verschiedenen Pacingstrategien können anhand der Abbildungen 3-6 sowie denjenigen im Anhang 1 und 2 ausgemacht werden. Dabei ist bei den 400-m-Rennen zu erkennen, dass die Freistilschwimmerinnen einen leicht parabolischen (erste und letzte Länge schneller) und die Lagenschwimmerinnen einen ausgeprägteren parabolischen Verlauf der Geschwindigkeiten aufwiesen. Ein vergleichbarer Verlauf ist auch innerhalb der 200-m-Rennen zu erkennen. Während die Lagenschwimmerinnen einen parabolischen Verlauf der Geschwindigkeiten aufwiesen, zeigte sich bei allen anderen Disziplinen ein positiver Geschwindigkeitsverlauf (Geschwindigkeit kontinuierlich abnehmend). Das gleiche Muster ist auch bei den 100-m-Rennen zu sehen. Das Aufweisen einer parabolischen Pacingstrategie der Lagenschwimmerinnen lässt sich durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der verschiedenen Disziplinen des Individual Medley erklären. Auf der

ersten Länge wird die zweitschnellste Disziplin, Butterfly, geschwommen. Der Start wirkt sich dabei positiv auf die Geschwindigkeiten der Schwimmerinnen auf, da beim Start die Höchstgeschwindigkeiten erreicht werden. Auch wenn das Startsegment nicht in die Analysen miteinbezogen wurde, ist eine positive Auswirkung des Starts auf die Geschwindigkeit der ersten Länge denkbar. Auf der zweiten Länge wird die Disziplin Backstroke absolviert, welche wegen des Schwimmens auf dem Rücken langsamer ist als die Disziplin Butterfly (siehe Kapitel 4.3.1). Es folgt die Disziplin Breaststroke, welche sich als langsamste Disziplin auszeichnete. Auf der letzten Länge wird die schnellste der vier Disziplinen, Freestyle, absolviert. Dies führte zu einem parabolischen Verlauf der Geschwindigkeiten. Das Vorweisen einer positiven Pacingstrategie auf einer Distanz bis zu 200 m wurde bereits im Review von Menting et al. (2019) festgestellt. Dies erklärt die positiven Geschwindigkeitsverläufe aller anderen Disziplinen über 100 und 200 m. Dieselben Autoren berichteten auch, dass ab 400 m oft eine parabolische Pacingstrategie verfolgt wurde, dies erklärt auch den leicht parabolischen Verlauf der Geschwindigkeiten bei den 400-m-Freistilschwimmerinnen. Beim Vergleichen der Pacingprofile der verschiedenen Freistilschwimmerinnen der unterschiedlichen Distanzen (Anhang 2) ist ein identisches Bild zu erkennen. Während die kürzeren Distanzen ein positives Pacingprofil aufwiesen, zeigte sich bei den längeren Distanzen ein parabolisches Pacingprofil. So nahmen die Geschwindigkeiten im Verlaufe des Rennverlaufes der 100- und 200-m-Rennen kontinuierlich ab. Bei den längeren Distanzen (400 m, 800 m und 1500 m) war das Abnehmen der Geschwindigkeiten im Verlaufe des Rennens ebenfalls zu beobachten, sie nahmen jedoch am Ende des Rennens wieder zu. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die vorliegenden Resultate trotz weggelassenen Start-, Wende- und Finishzeiten denjenigen Resultaten aus der Literatur gleichen, welche diese Phasen des Rennens miteinbezogen haben. Nämlich, dass in den kürzeren Rennen vermehrt eine positive und in den längeren Rennen meist eine parabolische Pacingstrategie verfolgt wird.

#### **4.6 Diskussion des Vergleichs von Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen**

Da in bisherigen Studien kein Vergleich zwischen Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen vorgenommen wurde, können die vorliegenden Resultate nicht mit anderen Ergebnissen aus der Forschung verglichen werden. Deshalb werden die Ergebnisse aus dieser Arbeit ohne Vergleiche mit anderen Studien interpretiert und diskutiert.

Beim Betrachten der «Distance per Stroke» fällt auf, dass die Lagenspezialistinnen auf der ersten Länge die gleichen DPS-Werte wie die Lagenschwimmerinnen aufwiesen. Das bedeutet, dass der Schwimmstil Butterfly bei beiden Rennen mit der genau gleichen Distanz pro Armzug absolviert wurde. Beim weiteren Verlauf des Rennens wiesen die Lagenspezialistinnen jeweils signifikant höhere DPS-Werte als die Lagenschwimmerinnen auf. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass es einfacher ist, eine höhere Distanz pro Armzug zu erreichen, wenn dies über eine längere Distanz ausgeführt wird. Die DPS konnte bei den Lagenspezialistinnen über die gesamte Länge von 200 m beibehalten werden, während die Lagenschwimmerinnen durch das Wechseln der Disziplinen jeweils nur 50 m pro Lage absolvierten. Dabei mussten sie jeweils nach 50 m das Armzug- und Beinschlagmuster wechseln. Das könnte dazu führen, dass es schwierig ist, eine hohe DPS zu erreichen. Die «Strokerate» kann dabei möglicherweise besser angepasst werden. Dies kann durch die ausgewerteten Resultate bestätigt werden. Die Lagenschwimmerinnen wiesen über den gesamten Rennverlauf höhere «Strokerates» auf. In den Disziplinen Backstroke und Breaststroke waren die Unterschiede zu den Lagenspezialistinnen signifikant. Wie bereits erwähnt kann die Geschwindigkeit anhand der Parameter DPR und SR beeinflusst werden (Craig et al., 1985). Eine höhere Geschwindigkeit kann dabei entweder durch eine schnellere «Strokerate» oder eine höhere «Distance per Stroke» erreicht werden. Im Falle der Lagenschwimmerinnen ist es wahrscheinlich einfacher, die Geschwindigkeit anhand einer höheren «Strokerate» zu beeinflussen. Dies kann bei jedem der vier Schwimmstile und unabhängig von der Distanz vorgenommen werden. Das Erhöhen der DPS könnte schwieriger anzupassen sein, da dazu ein erhöhter Kraftaufwand notwendig ist. Dieser muss je nach Armzugart angepasst werden. Da die Lagenschwimmerinnen den Armzug und Beinschlag nach jeder Länge wechseln, haben sie sich wahrscheinlich für die Strategie entschieden, ihre Geschwindigkeit durch eine erhöhte «Strokerate» zu steigern. Die Lagenspezialistinnen, die über 200 m das gleiche schwimmen und somit auch den gleichen Armzug und Beinschlag ausführen, können die eingesetzte Kraft für eine höhere DPS besser kontrollieren und diese über das gesamte Rennen behalten, weshalb sich diese Schwimmerinnen wohl für die Strategie der höheren DPS und tieferen SR entschieden. In Hinblick auf die Geschwindigkeiten scheint diese Strategie für die Lagenschwimmerinnen beim Backstroke und Freestyle gut aufzugehen, da sich diese nicht signifikant von den Lagenspezialistinnen unterschieden. Dennoch waren die Geschwindigkeiten der Lagenspezialistinnen jeweils höher als diejenigen der Lagenschwimmerinnen, mit Ausnahme

der Disziplin Butterfly. Die Brustschwimmerinnen erreichten signifikant höhere Geschwindigkeiten als die Lagenschwimmerinnen. Im Gegensatz dazu wiesen die Lagenschwimmerinnen in der Disziplin Butterfly signifikant höhere Geschwindigkeiten als die Lagenspezialistinnen auf. Diese Tatsache könnte auf die Energieeinteilung zurückgeführt werden. Während die Delfinschwimmerinnen diese anspruchsvolle Disziplin über die Distanz von 200 m absolvieren müssen, wechseln die Lagenschwimmerinnen die Disziplin bereits nach 50 m und können sich während dem Rückenschwimmen möglicherweise sogar etwas erholen. Da die Schwimmzeit von der Geschwindigkeit abhängt, ist es nicht erstaunlich, dass diese Werte das gleiche Muster wie die Geschwindigkeiten aufzeigten. So waren die Schwimmzeiten auf der ersten Länge der Lagenschwimmerinnen signifikant schneller als diejenigen der Lagenspezialistinnen. In den Disziplinen Backstroke und Freestyle auf der zweiten und letzten Länge bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Schwimmzeiten. Die Brustschwimmerinnen wiesen hingegen die schnelleren Schwimmzeiten als die Lagenschwimmerinnen auf. Die Tatsache, dass die Lagenschwimmerinnen so gut mithalten können, ist sehr erstaunlich, da diese alle vier Disziplinen trainieren müssen, um in allen gute Leistungen zu erbringen. Die Lagenspezialistinnen hingegen können sich auf ihre Spezialisierung fokussieren. Dabei nehmen auch die Wenden einen grossen Einfluss ein. Während die Lagenspezialistinnen jeweils nur eine Art der Wenden anwenden, müssen die Lagenschwimmerinnen beide Wendetechniken beherrschen.

#### **4.7 Weiterführende Diskussionen und Reflexion**

Im Folgenden werden einige Schwierigkeiten aufgeführt, die bei der Analyse und Auswertung der Videos und Daten aufgetreten sind, welche in zukünftigen Forschungen beachtet werden sollten. Eine erste Schwierigkeit war das Analysieren der Schwimmerinnen mit einer weissen Badekappe, da sich dabei wenig Kontrast zum Wasser bot. Je nach Studie, die durchgeführt wird, könnte das verhindert werden. In diesem Fall war dies leider nicht beeinflussbar, da es sich beim analysierten Event um eine Europameisterschaft handelte, bei der jedes Land eine bestimmte Badekappe trug. Eine allgemeine Schwierigkeit war das Feststellen der «5-m-out» Zeit. Je nach Kameraeinstellung, Winkel und Bahn war es schwierig zu erkennen, wann die Schwimmerinnen die 5-m-Marke erreichten, da sie sich unter Wasser befanden und durch den Winkel die Sicht erschwert war. Vor allem das Erkennen der Schwimmerinnen auf der Bahn 1 stellte eine grosse Herausforderung dar, da die Kamera meist auf der Seite der Bahn 8 stationiert war. Dies könnte dazu geführt haben, dass

die «5-m-out» Daten zu Beginn geringere Reliabilitätswerte aufwiesen. Dennoch hat die Autorin bei der Analyse anhand von synchronisierten Videos, wobei die Schwimmerinnen von oben gefilmt wurden, die «5-m-out» so genau wie möglich zu bestimmen versucht. Die Kameraführung stellte auch in Hinsicht auf andere Abschnitte des Rennens eine Herausforderung dar. So kam es einige Male vor, dass eine Schwimmerin abgeschnitten wurde oder die Leinenmarkierung nicht ersichtlich waren. Deshalb fehlten bei einigen Schwimmerinnen eine «Breakoutdistance» oder eine «5-m-out» nach der Wende. Dadurch, dass eine grosse Menge an Daten erhoben wurde, war dies am Ende jedoch ein vernachlässigbares Problem. Dennoch könnte dies behoben werden, wenn zum Beispiel mehr Kameras zum Einsatz kämen, und zusätzlich aus verschiedenen Winkeln und Positionen des Beckens filmen würden. Weitere Störfaktoren, welche die Analyse erschwerten, jedoch nicht beeinflusst werden konnten, war zum Beispiel, wenn eine Welle zu einem falschen Zeitpunkt erzeugt wurde. So war die Stirn der Schwimmerinnen nicht mehr sichtbar oder die Hand war verdeckt. Das Feststellen der «Strokerate» war erschwert, wenn die Schwimmerin in diesem Zyklus atmete, da sie dadurch den Armzug anders durchführte. Für die Reliabilität wäre es am besten, wenn die «Strokerate» anhand derjenigen Armzüge gemessen wird, bei denen die Schwimmerinnen nicht atmen, so dass sie sich immer gleich berechnet. Das Bestimmen der «Breakoutdistance» nach einer Wende, wenn die Schwimmerin nahe an der Wasseroberfläche glitt, war auch nicht einfach. Den genauen Zeitpunkt festzumachen, an dem die Schwimmerin das Wasser durchbrach, wenn sie sich die ganze Zeit schon sehr nahe an der Wasseroberfläche befand, war auf dem Video schwer zu erkennen.

Zum Eruiere der Videos wurde eine Computersoftware eingesetzt. Vor allem bei den grösseren Videodateien, sprich bei den 1500-m-Rennen, kam es zu Abstürzen der Software, wenn sich zu viele Screenshots ansammelten. Auch kam es vor, dass sich die Screenshots verschoben. Zu Beginn wurde jedes der Rennen mit verschobenen Screenshots erneut analysiert. Nach einiger Zeit wurde jedoch bemerkt, dass sich nur die Screenshots, nicht jedoch die Zeiten verschoben und die Daten dadurch nicht beeinflusst wurden. Dennoch lassen sich solche Probleme bestimmt durch das korrekte Wählen, Einstellen oder Updaten der Software vermeiden. Auch bei der verwendeten statistischen Software gibt es einiges zu beachten. Eine grosse Schwierigkeit war das Umwandeln der Excel Datei in das richtige Format. In der Excel Landeinstellung «Schweiz» werden Zahlenwerte mit Hilfe von Punkten angegeben. Die Datei für das Statistikprogramm erfordert jedoch Kommata

statt Punkten zwischen den Zahlen. So mussten zuerst alle Punkte in der Datei in Kommata umgewandelt werden. Ist das im Vorhinein bekannt, kann viel Zeit gespart werden. Ein nächster Aspekt ist die Erfahrung beim Analysieren. Da die Autorin dieses Verfahren zum ersten Mal anwendete, war die Auswertung am Anfang möglicherweise noch etwas ungenauer. Mit jedem analysierten Rennen gewann sie jedoch an Erfahrung und damit wurden auch die Analysen immer genauer. Deshalb ergab sich möglicherweise eine kleine qualitative Differenz zwischen den Analysen der Rennen zu Beginn und am Ende der Auswertung. Da jedoch jeweils immer die acht Rennen einer Disziplin und Distanz analysiert wurden, wirkte sich dies nicht weiter negativ auf die Daten aus. Dennoch stellt eine gewisse Erfahrung im Analysieren von solchen Videos bestimmt einen grossen Vorteil dar. Im vorliegenden Fall war es sicherlich von grosser Bedeutung, dass die Daten, die am Ende miteinander verglichen wurden, gleichzeitig analysiert worden waren. Ein letzter Punkt, ist der Umgang mit den englischen Begrifflichkeiten. Die meisten Studien, die in diese Arbeit einfließen, waren in Englisch verfasst. So war es nicht ganz einfach zu entscheiden, wie sich mit den englischen Begriffen und deren Übersetzungen eine gute Lösung finden lässt.

Trotz all dieser Schwierigkeiten sind auch sehr viele gelungene Punkte hervorzuheben. Bereits beim Betrachten der Resultate fallen die vielen Signifikanzen ins Auge. Ausserdem konnten viele Resultate aus anderen Studien durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt werden, was für die Richtigkeit dieser Daten spricht. Ein weiterer grosser Vorteil liegt in den Gütekriterien der Studie. Dadurch, dass es sich bei den analysierten Rennen um offizielle Rennen der Europameisterschaften handelt, sind die Validität und die Objektivität gegeben. Auch die Reliabilität erwies sich als sehr hoch (siehe Anhang 3). Dies bestätigt und verstärkt erneut, dass die eruierten Daten und Ergebnisse einen hohen Stellenwert haben. Des Weiteren bietet die vorliegende Arbeit einen grossen Überblick und liefert sehr viele Daten zu den verschiedenen Distanzen wie auch zu den unterschiedlichen Disziplinen. So sind Daten für jede Disziplin und über alle Distanzen zu finden. Ausserdem wird ein Vergleich gezogen, der in der bisherigen Literatur nicht zu finden ist. Lagenschwimmerinnen werden mit Lagenspezialistinnen verglichen, wobei dies vor allem für Erstere einen interessanten Einblick bieten kann. Defizite können besser erkannt und ausgemerzt werden. Auch in Bezug auf Pacingstrategien sind in der vorliegenden Arbeit Resultate und Daten von Renndistanzen sowie Disziplinen vorzufinden, die bisher nicht eruiert wurden. Diese Arbeit bietet somit einen sehr grossen und breiten Einblick in verschiedene Anwendungsgebiete.



#### **4.8 Ausblick und Limitationen**

In diesem Abschnitt soll auf die Limitationen dieser Studie eingegangen und mögliche Ausblicke für zukünftige Studien präsentiert werden. Durch die hohe Anzahl an vorliegenden Resultaten hätten noch viele weitere Untersuchungen vorgenommen werden können. Zum Beispiel sind in der Tabelle 1 die Werte der verschiedenen Variablen aller Disziplinen ersichtlich. Dabei ist vieles zu erkennen, was noch weiter analysiert werden könnte. Dies würde jedoch den Umfang dieser Arbeit überschreiten, weshalb dies nicht vorgenommen wurde. In zukünftigen Studien wäre es jedoch interessant zu sehen, wie sich die Daten der Disziplinen innerhalb der verschiedenen Renndistanzen unterscheiden. Anschliessend an diese Studie wäre es sicherlich für die TrainerInnen und SchwimmerInnen interessant, die gleichen Kennwerte auch für die Männer auf der Langbahn zu generieren. So müssten die gleichen Untersuchungen auch anhand der Männerrennen durchgeführt werden. Danach wären zum Beispiel auch Vergleiche zwischen den Kurz- und Langbahnrennen möglich. Ein weiterer Ansatzpunkt wäre das Durchführen von Studien zu den Unterschieden zwischen den Lagenschwimmerinnen und Lagenspezialistinnen. Da dies in der vorliegenden Studie das erste Mal untersucht wurde, müssten weitere Analysen dazu gemacht werden, um die vorliegenden Resultate zu stützen. So mangelt es in der Literatur auch stark an Vergleichen zwischen allen Renndistanzen. Wenige Studien zuvor haben Rennen aller Distanzen und Disziplinen analysiert, wie dies hier gemacht wurde. Das wäre ein weiterer Ansatzpunkt für zukünftige Untersuchungen.

## **5 Konklusion**

Da sich der Schwimmsport immer weiterentwickelt und bestmögliche Leistungen angestrebt werden, liefert diese Arbeit Normwerte von den Europameisterschaften 2021 in Budapest der Finalrennen der Frauen. Diese Werte können von TrainerInnen und SchwimmerInnen unterschiedlichen Niveaus als Anhaltspunkt für den Defizitausgleich eingesetzt werden. Dabei stehen Vergleichswerte aller Distanzen und Disziplinen zur Verfügung. Es hat sich gezeigt, dass die Start-, Wenden- und Finishphasen im Mittel bis zu einem Drittel der Gesamtzeit ausmachten. Dies verweist auf die Wichtigkeit des Miteinbeziehens dieser Phasen im Training. Zudem hat sich gezeigt, dass vor allem bei Rennen ab 400 m die Energiereserven so eingeteilt werden müssen, dass die Schwimmerinnen dazu in der Lage sind, die erste und letzte Länge mit schnelleren Geschwindigkeiten zu absolvieren als die anderen Längen. Dies verweist auf die Relevanz einer angepassten Pacingstrategie je nach Distanz des Rennens. Die vorliegenden Untersuchungen haben einen Einblick in die unterschiedlichen Strategien der Lagenschwimmerinnen verglichen mit den Lagenspezialistinnen gegeben. Ein interessantes Ergebnis vor allem für die Lagenschwimmerinnen ist, dass sie mit dem Anwenden der richtigen Strategie sehr ähnliche Geschwindigkeiten und Schwimmzeiten erreichen können, wie die Lagenspezialistinnen in ihren Disziplinen. Dabei gilt es aus Sicht der Lagenschwimmerinnen die «Distance per Stroke» etwas geringer zu halten und die Geschwindigkeit vor allem anhand einer höheren «Strokerate» zu kontrollieren. Mit dieser Strategie konnten die Lagenschwimmerinnen in der Disziplin Butterfly höhere Geschwindigkeiten und Rennzeiten erreichen, in den beiden Disziplinen Backstroke und Freestyle mithalten und mussten sich nur in der Disziplin Breaststroke den Lagenspezialistinnen geschlagen geben.

## **Ethische Abwägungen**

Die Studie ist bereits von Internal Review Board der EHSM genehmigt worden. Reg.-Nr.: 140\_LSP\_Born\_Benchmarks LC.

## **Glossar**

Backstroke (BA):	Rückenschwimmen
Benchmark:	Normwerte
Breakoutdistance:	Ausbrechen der Schwimmerinnen aus der Unterwasserphase nach dem Start oder der Wende
Breaststroke (BR):	Brustschwimmen
Butterfly (FLY):	Delfinschwimmen
Cleanswimming:	Gesamtschwimmlage, der Teil des Schwimmrennens, bei welchem der Start und die Wenden ausgenommen sind, sprich dann, wenn die schwimmende Person das zyklische Schwimmen ausübt
Distance per Stroke (DPS):	Distanz pro Armzug
Flighttime:	Flugzeit
Freestyle (FR):	Freistil
Individual Medley (IM):	Lagenschwimmen
Kurzbahn:	Rennen in einem 25m Becken
Langbahn:	Rennen in einem 50-m-Becken
Open Turns:	wird von den Delfin- und Brustschwimmenden verwendet, wobei sie die Wand mit beiden Händen berühren, sich drehen und danach mit den Füßen von der Wand abstossen
Racetime:	Rennzeit
Startzeit:	Zeit vom Startsignal bis zum Erreichen der 15-m-Marke
Strokerate (SR):	Anzahl Armzüge pro Minute
Surface Profile:	der Anteil des Rennens, bei welchem sich die schwimmende Person an der Wasseroberfläche befindet
Swimtime:	Racetime minus die Start-, Turn-, und Finishzeiten; Schwimmzeit
Tumble Turn:	wird bei den Disziplinen Freestyle und Backstroke ausgeführt, bei denen die Schwimmenden eine Vorwärtsrolle an der Wand ausführen und sich danach mit den Füßen abstossen
Turn:	Wende

Time on Block:	die Zeit zwischen dem Startsignal und dem Verlassen des Startblockes, sprich der letzte Zeitpunkt, zu welchem die Zehen den Startblock noch berühren
Velocity:	Geschwindigkeit
Wendezeit:	Zeit von fünf Meter vor der Wende bis 15 Meter nach der Wende
5-m-out:	die Zeit zwischen dem Startsignal/Wandkontakt und dem Erreichen des Kopfes der Schwimmerin der 5-m-Marke
15-m-out:	die Zeit zwischen dem Startsignal/Wandkontakt und dem Erreichen der 15-m-Marke
5-m-in:	die Zeit zwischen Erreichen der 45-m-Marke und dem Wandkontakt

## Literatur

- Abbiss, C. R., & Laursen, P. B. (2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports medicine*, 38(3), 239-252. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838030-00004>
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R. C. (1994). Analysis of 50-, 100-, and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *Journal of applied biomechanics*, 10(2), 189-199. <https://doi.org/10.1123/jab.10.2.189>
- Barkwell, G. E., & Dickey, J. P. (2018). Backstroke start performance: The impact of using the Omega OBL2 backstroke ledge. *Sports biomechanics*, 17(4), 429-441. <http://dx.doi.org/10.1080/14763141.2017.1353130>
- Blanksby, B., Skender, S., Elliott, B., McElroy, K., & Landers, G. (2004). Swimming: An analysis of the rollover backstroke turn by age-group swimmers. *Sports Biomechanics*, 3(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/14763140408522826>
- Born, D. P., Kuger, J., Polach, M., & Romann, M. (2021). Start and turn performances of elite male swimmers: benchmarks and underlying mechanisms. *Sports Biomechanics*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1872693>
- Bortz, J., & Schuster, C. (2011). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler: Limitierte Sonderausgabe*. Springer-Verlag.
- Breed, R. V. P., & McElroy, G. K. (2000). A biomechanical comparison of the grab, swing and track starts in swimming. *Journal of Human Movement Studies*, 39(5), 277-293.
- Charmant, J. (n.D.). Kinovea (Version 0.9.4) [Computer software]. <https://www.kinovea.org>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2. Aufl.). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Cossor, J., & Mason, B. (2001). Swim start performances at the Sydney 2000 Olympic Games. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Craig, A. B., & Pendergast, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Med Sci Sports*, 11(3), 278-283.
- Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A., & Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 17(6), 625-634.

- Ferguson, C. J. (2016). An effect size primer: A guide for clinicians and researchers. In A. E. Kazdin (Ed.), *Methodological issues and strategies in clinical research* (S. 301–310). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/14805-020>
- FINA. (2020). *Swimming and history-and-presentation* Fédération Internationale de Natation. <https://www.fina.org/swimming/history-and-presentation>
- Foster, C., De Koning, J. J., Hettinga, F., Lampen, J., La Clair, K. L., Dodge, C., Bobbert, M., & Porcari, J. P. (2003). Pattern of energy expenditure during simulated competition. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(5), 826-831. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000065001.17658.68>
- Galbraith, H., Scurr, J., Hencken, C., Wood, L., & Graham-Smith, P. (2008). Biomechanical comparison of the track start and the modified one-handed track start in competitive swimming: an intervention study. *Journal of applied biomechanics*, 24(4), 307-315. <https://doi.org/10.1123/jab.24.4.307>
- Göhner, U. (2013). *Sportliche Bewegungen erfolgreich analysieren*. Tübingen: Eigenverlag.
- Hochstein, S., & Blickhan, R. (2014). Body movement distribution with respect to swimmer's glide position in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science*, 38, 305-318. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2014.08.017>
- Holmér, I. (1974). Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 33(2), 105-118. <https://doi.org/10.1007/BF00449512>
- Hottenrott, K., & Neumann, G. (2008). *Methodik des Ausdauertrainings*. Schorndorf: Hofmann.
- Hubert, M., Silveira, G. A., Freitas, E., Pereira, S., & Roesler, H. (2006). Speed variation analysis before and after the beginning of the stroke in swimming starts. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(Suppl. 2), 44-45.
- Ikuta, Y. (1998). Science of butterfly stroke: start, turn, finish phases. *Japan Swimming Federation, Research Report on butterfly stroke in Japanese*, 51-64.
- JASP Team (2022). JASP (Version 0.14.10) [Computer software]. <https://jasp-stats.org/>
- Keller, D. (2018). *Überblick NORMALVERTEILUNG*. Statistik + Beratung. <https://statistik-und-beratung.de/wp-content/uploads/2018/07/Normalverteilung-180607.pdf>

- Keskinen, O. P., Keskinen, K. L., & Mero, A. A. (2007). Effect of pool length on blood lactate, heart rate, and velocity in swimming. *International journal of sports medicine*, 28(05), 407-413. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924505>
- Lipińska, P., Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2016a). Modeling params that characterize pacing of elite female 800-m freestyle swimmers. *European Journal of Sport Science*, 16(3), 287-292. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1013996>
- Lipińska, P., Allen, S. V., & Hopkins, W. G. (2016b). Relationships between pacing params and performance of elite male 1500-m swimmers. *International journal of sports physiology and performance*, 11(2), 159-163. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0117>
- López-Belmonte, Ó., Gay, A., Ruiz-Navarro, J. J., Cuenca-Fernández, F., González-Ponce, Á., & Arellano, R. (2022). Pacing profiles, variability and progression in 400, 800 and 1500-m freestyle swimming events at the 2021 European Championship. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 22(1), 90-101. <https://doi.org/10.1080/24748668.2021.2010318>
- Magel, J. R. (1970). Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 41(1), 68-74. <https://doi.org/10.1080/10671188.1970.10614948>
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Neiva, H. P., Silva, A. J., & Morais, J. E. (2020). Comparison of the start, turn and finish performance of elite swimmers in 100 m and 200 m races. *Journal of sports science & medicine*, 19(2), 397.
- Marinho, D. A., Barbosa, T. M., Rouboa, A. I., & Silva, A. J. (2011). The hydrodynamic study of the swimming gliding: A two-dimensional computational fluid dynamics (CFD) analysis. *Journal of Human Kinetics*, 29(2011), 49-57. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0039-4>
- Mauger, A. R., Neuloh, J., & Castle, P. C. (2012). Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle swimming. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(11), 2205-2212. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182604b84>
- McGibbon, K. E., Shephard, M. E., Osborne, M. A., Thompson, K. G., & Pyne, D. B. (2020). Pacing and performance in swimming: differences between individual and relay events. *International journal of sports physiology and performance*, 15(8), 1059-1066. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0381>

- Menting, S. G. P., Elferink-Gemser, M. T., Huijgen, B. C., & Hettinga, F. J. (2019). Pacing in lane-based head-to-head competitions: A systematic review on swimming. *Journal of sports sciences*, 37(20), 2287-2299. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1627989>
- Morais, J. E., Barbosa, T. M., Forte, P., Bragada, J. A., Castro, F. A. D. S., & Marinho, D. A. (2020). Stability analysis and prediction of pacing in elite 1500 m freestyle male swimmers. *Sports Biomechanics*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1810749>
- Morais, J. E., Barbosa, T. M., Neiva, H. P., & Marinho, D. A. (2019a). Stability of pace and turn params of elite long-distance swimmers. *Human movement science*, 63, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.11.013>
- Morais, J. E., Marinho, D. A., Arellano, R., & Barbosa, T. M. (2019b). Start and turn performances of elite sprinters at the 2016 European Championships in swimming. *Sports Biomechanics*, 18(1), 100-114. <https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1435713>
- Mullen, J. G. (2018). *Swimming Science: Optimum performance in the water*. Ivy Press.
- Naemi, R., Easson, W. J., & Sanders, R. H. (2010). Hydrodynamic glide efficiency in swimming. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(4), 444-451. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2009.04.009>
- Neuner-Jehle, S. (2013). Mittelmass statt Spitzenleistung. *PrimaryCare*, 13(17), 320. <https://doi.org/10.5167/uzh-93674>
- O'Donoghue, P. (2006). The use of feedback videos in sport. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(2), 1-14. <https://doi.org/10.1080/24748668.2006.11868368>
- Pelayo, P., Sidney, M., Kherif, T., Chollet, D., & Tourny, C. (1996). Stoking characteristics in freestyle swimming and relationships with anthropometric characteristics. *Journal of applied biomechanics*, 12(2), 197-206. <https://doi.org/10.1123/jab.12.2.197>
- Pereira, S., Ruschel, C., & Araujo, L. G. (2006). Biomechanical analysis of the underwater phase in swimming starts. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 6(Suppl. 2), 79-81.
- Peterson Silveira, R., Stergiou, P., Figueiredo, P., Castro, F. D. S., Katz, L., & Stefanyshyn, D. J. (2018). Key determinants of time to 5 m in different ventral swimming start techniques. *European journal of sport science*, 18(10), 1317-1326. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1486460>
- Reischle, K. (1988). *Biomechanik des Schwimmens*. Sport-Fahnenmann-Verlag.



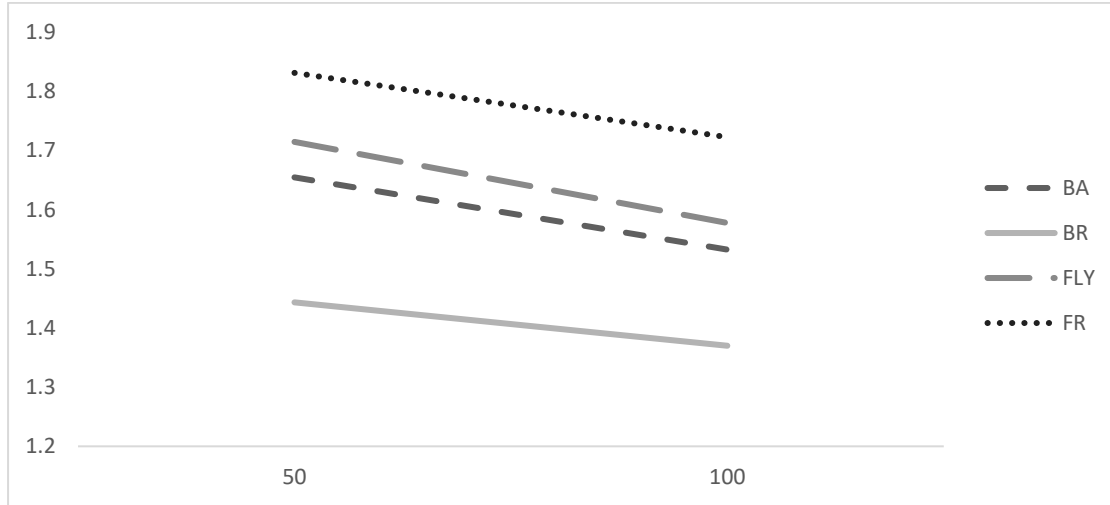
- Seifert, L., Vantorre, J., & Chollet, D. (2007). Biomechanical analysis of the breaststroke start. *International journal of sports medicine*, 28(11), 970-976. DOI: 10.1055/s-2007-965005
- Simbaña, E. D., Hellard, P., & Seifert, L. (2018). Modelling stroking parameters in competitive sprint swimming: Understanding inter-and intra-lap variability to assess pacing management. *Human Movement Science*, 61, 219-230.
- Skorski, S., Faude, O., Caviezel, S., & Meyer, T. (2014). Reproducibility of pacing profiles in elite swimmers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 217-225. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2012-0258>
- Skorski, S. (2015). Pacing in swimming-variability and effects of manipulations.
- Slawson, S., Conway, P., Justham, L., Le Sage, T., & West, A. (2010). Dynamic signature for tumble turn performance in swimming. *Procedia Engineering*, 2(2), 3391-3396. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.04.163>
- Special Olympics Deutschland. (2015). *Schwimmen*. Special Olympics Deutschland in Leichter Sprache. [https://leichtesprache.specialolympics.de/wp-content/uploads/2016/11/Schwimmen-SOD\\_web.pdf](https://leichtesprache.specialolympics.de/wp-content/uploads/2016/11/Schwimmen-SOD_web.pdf)
- Suito, H., Nunome, H., & Ikegami, Y. (2015). Relationship between 100 m race times and start, stroke, turn, finish phases at the freestyle japanese swimmers. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Takeda, T., Itoi, O., Takagi, H., & Tsubakimoto, S. (2014). Kinematic analysis of the backstroke start: differences between backstroke specialists and non-specialists. *Journal of sports sciences*, 32(7), 635-641. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.845678>
- Tor, E., Pease, D., & Ball, K. (2014). Characteristics of an elite swimming start. In *Biomechanics and Medicine in Swimming Conference* (Vol. 1, pp. 257-263).
- Veiga, S., Cala, A., G. Frutos, P., & Navarro, E. (2014). Comparison of starts and turns of national and regional level swimmers by individualized-distance measurements. *Sports Biomechanics*, 13(3), 285-295. <https://doi.org/10.1080/14763141.2014.910265>
- Wilke, K., & Madsen, Ø. (2015). Aufbau- und Anschlussstraining. In Ø. Madsen, K. Reischle, K. Rudolph, & K. Wilke (Hrsg.), *Wege zum Topschwimmer: Bd. 2*. Schorndorf: Hofmann.
- Wolfrum, M., Knechtle, B., Rüst, C. A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2013). The effects of course length on freestyle swimming speed in elite female and male swimmers—a comparison of

swimmers at national and international level. *Springerplus*, 2(1), 1-12.  
<https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-643>

## Anhang

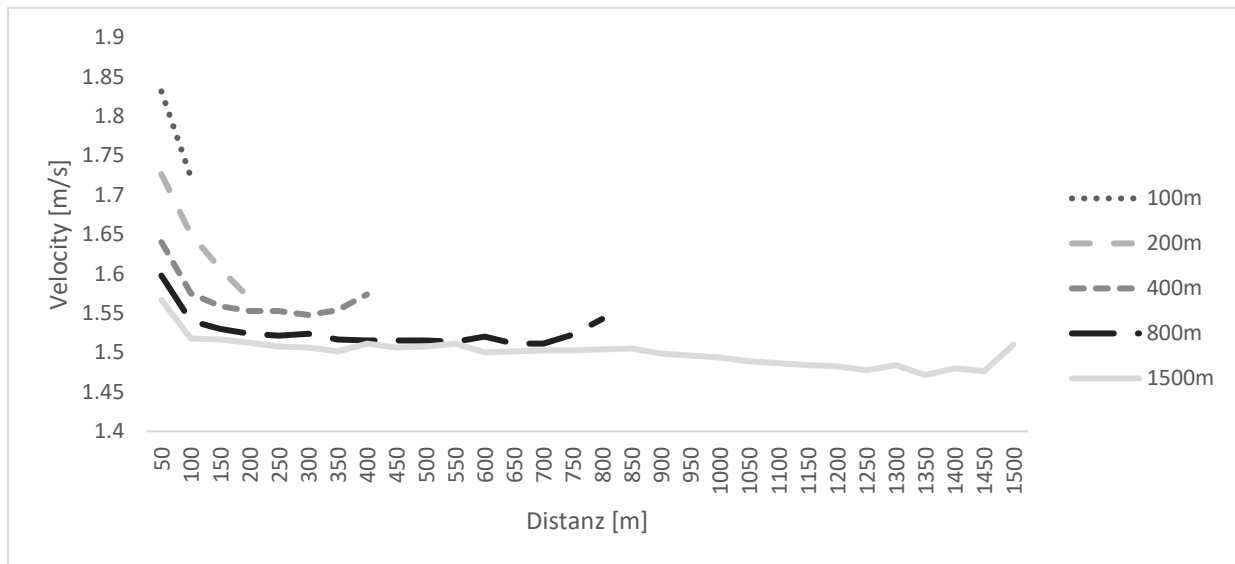
### Anhang 1

*Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb der 100-m-Rennen der Frauen*



### Anhang 2

*Geschwindigkeiten der einzelnen Längen innerhalb aller Freistilrennen der Frauen*



### Anhang 3

*Reliabilitätswerte der eruierten Variablen inklusive upper und lower CI*

	Racetime	Starttime	Breakout	Turntime	Swimtime	Velocity	Strokerate	Distance per Stroke
ICC	1.000	0.996	0.990	0.903	0.981	0.981	0.990	0.991
95% CI lower bound	1.000	0.981	0.948	0.517	0.904	0.904	0.952	0.954
95% CI upper bound	1.000	0.999	0.998	0.981	0.996	0.996	0.998	0.998