

# **Leistungsvariabilität als leistungsprognostischer Faktor im Spitzensport**

*Variation in performance as a key performance indicator in high performance sport*

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades  
der Philosophischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Christoph Clephas

Kiel

Februar 2019

Erstgutachter: Prof. Dr. Andreas Wilhelm

Zweitgutachter: Prof. Dr. Burkhard Weisser

Tag der mündlichen Prüfung: 06.06.2019

Durch den Prodekan für Studium und Lehre, Prof. Dr. Ulrich Müller, zum Druck  
genehmigt: 10.07.2019





“Ability is what you’re capable of doing. Motivation determines what you do.  
Attitude determines how well you do it.”

(Lou Holtz, American Football Trainer)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich auf dem langen Weg der Dissertation pausenlos unterstützt und begleitet haben. Allen, die mir die Treue gehalten haben und mir alle meine Fragen mit ihrer Fachkompetenz beantwortet haben.

Einen besonderen Dank möchte ich zudem meinem Doktorvater Prof. Dr. Andreas Wilhelm aussprechen, der mir einen sehr großen Freiraum bei der Entfaltung meiner Ideen gegeben hat und mir damit unglaublich viele Erfahrungen ermöglicht hat. Zudem möchte ich mich für die spannenden Diskussionen und den fachlichen Austausch bedanken. Die offene und ehrliche Art hat den Fortschritt nicht immer einfach gemacht, meine Persönlichkeit und das Projekt aber immer weiter nach vorne gebracht.

Ebenfalls einen besonderen Dank möchte ich meinem Zweitgutachter Prof. Dr. Burkhard Weisser für die freundliche Unterstützung aussprechen. Bedanken möchte ich mich auch für die Tatsache, dass er immer ein offenes Ohr für mich hatte. Zudem haben die Fachgespräche immer neue hilfreiche Facetten zu Tage gefördert.

Dr. Jan-Peter Brückner danke ich für die Begeisterung an meinem Thema, den engen fachlichen Austausch sowie für die Betreuung diverser Abschlussarbeiten. Unsere stundenlangen Gespräche über Begriffe und das Verständnis von Training haben einen wertvollen Beitrag für meine Arbeit geleistet.

In diesem Zusammenhang möchte ich auch den Studenten Paul Wiesner, Folke Grimm sowie Simon Bäcker danken, die mit ihren Abschlussarbeiten einen wichtigen Baustein für die erfolgreiche Fertigstellung meiner Dissertation beigetragen haben.

Darüber hinaus möchte ich allen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Abteilung „Angewandte Sportwissenschaft“ danken, dass sie viele Selbstverwaltungsaufgaben übernommen haben und ich mich so vollumfänglich um meine Dissertation kümmern konnte. Außerdem möchte ich Dr. Finja Rohkohl danken, die immer ein offenes Ohr für meine organisatorischen und bürokratischen Fragen hatte. Ich danke zudem Mareike Setzer, die das Doktorandenkolloquium organisiert hat und mit deren Hilfe ich so manche Ziele schneller erreicht habe.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir in den vergangenen Jahren den Rücken freigehalten haben und mich unterstützt haben. Im Besonderen möchte ich hier auch Dr. Severin Uebbing nennen, der mich stets unterstützt hat und große Geduld mit mir bewiesen hat. Ohne euch alle wären die folgenden Seiten nicht möglich gewesen.

Vielen Dank!

## Inhaltsverzeichnis

<b><u>INHALTSVERZEICHNIS.....</u></b>	<b><u>I</u></b>
<b><u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</u></b>	<b><u>V</u></b>
<b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</u></b>	<b><u>VI</u></b>
MANTELTEXT .....	VI
1. PUBLIKATION: VARIABILITY OF COMPETITION RESULTS DURING ONE SEASON IN SWIMMING .....	VII
2. PUBLIKATION: START PERFORMANCE AND ITS RELATION TO COMPETITION TIMES IN PARALYMPIC SWIMMERS .....	VII
3. PUBLIKATION: VARIATION AND PROGRESSION IN PERFORMANCE OF NATIONAL JUNIOR ATHLETES AND THEIR DEVELOPMENT TO NATIONAL ATHLETES .....	VIII
<b><u>TABELLENVERZEICHNIS .....</u></b>	<b><u>IX</u></b>
1. PUBLIKATION: VARIABILITY OF COMPETITION RESULTS DURING ONE SEASON IN SWIMMING .....	IX
2. PUBLIKATION: START PERFORMANCE AND ITS RELATION TO COMPETITION TIMES IN PARALYMPIC SWIMMERS .....	IX
3. PUBLIKATION: VARIATION AND PROGRESSION IN PERFORMANCE OF NATIONAL JUNIOR ATHLETES AND THEIR DEVELOPMENT TO NATIONAL ATHLETES .....	IX
<b><u>ZUSAMMENFASSUNG .....</u></b>	<b><u>XI</u></b>
<b><u>ABSTRACT.....</u></b>	<b><u>XIII</u></b>



<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTELLUNG UND EINLEITENDE THEORIE .....	2
1.2 RELEVANZ DER ARBEIT .....	6
1.3 AUFBAU DER ARBEIT.....	8
<b>2 THEORETISCHE NÄHERUNG ZUR VARIABILITÄT VON LEISTUNG .....</b>	<b>12</b>
2.1 VARIABILITÄT IN DER SPORTWISSENSCHAFT .....	12
2.2 LEISTUNGSVARIABILITÄT IM ENGEREN SINNE .....	16
2.3 HERLEITUNG DER FRAGESTELLUNG .....	18
<b>3 PUBLIKATIONEN.....</b>	<b>19</b>
3.1 PUBLIKATION I .....	20
VARIABILITY OF COMPETITION RESULTS DURING ONE SEASON IN SWIMMING .....	20
3.1.1 EINORDNUNG UND DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG.....	21
3.1.1.1 EINLEITUNG .....	21
3.1.1.2 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN.....	21
3.1.1.3 METHODE .....	21
3.1.1.4 ERGEBNISSE.....	22
3.1.1.5 DISKUSSION.....	22
3.1.2 EINGEREICHTES ENGLISCHSPRACHIGES ORIGINALMANUSKRIFT .....	23
3.1.2.1 ABSTRACT .....	23
3.1.2.2 INTRODUCTION.....	24
3.1.2.3 METHODS .....	26
3.1.2.4 RESULTS .....	29
3.1.2.5 DISCUSSION.....	31
3.1.2.6 CONCLUSION .....	34
3.1.2.7 ACKNOWLEDGEMENTS .....	34
3.1.2.8 DISCLOSURE STATEMENT .....	34

3.1.2.9 REFERENCES.....	35
3.1.2.10 TABLES AND FIGURES.....	37
3.1.2.11 FIGURE CAPTIONS.....	42
<b>3.2 PUBLIKATION II.....</b>	<b>43</b>
<b>START PERFORMANCE AND ITS RELATION TO COMPETITION TIMES IN PARALYMPIC SWIMMERS.....</b>	
<b>3.2.1 EINORDNUNG UND DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>44</b>
3.2.1.1 EINLEITUNG.....	44
3.2.1.2 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN.....	44
3.2.1.3 METHODE.....	44
3.2.1.4 ERGEBNISSE.....	45
3.2.1.5 DISKUSSION.....	45
<b>3.2.2 EINGEREICHTES ENGLISCHSPRACHIGES ORIGINALMANUSKRIFT.....</b>	<b>46</b>
3.2.2.1 ABSTRACT.....	46
3.2.2.2 INTRODUCTION.....	47
3.2.2.3 MATERIALS AND METHODS.....	49
3.2.2.4 RESULTS.....	51
3.2.2.5 DISCUSSION.....	53
3.2.2.6 CONCLUSION.....	56
3.2.2.7 ACKNOWLEDGMENTS.....	56
3.2.2.8 DECLARATION OF INTEREST.....	56
3.2.2.9 REFERENCES.....	57
3.2.2.10 TABLES AND FIGURES.....	59
<b>3.3 PUBLIKATION III.....</b>	<b>66</b>
<b>VARIATION AND PROGRESSION IN PERFORMANCE OF NATIONAL JUNIOR ATHLETES AND THEIR DEVELOPMENT TO NATIONAL ATHLETES.....</b>	
<b>3.3.1 EINORDNUNG UND DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>67</b>
3.3.1.1 EINLEITUNG.....	67
3.3.1.2 FRAGESTELLUNG UND HYPOTHESEN.....	67
3.3.1.3 METHODE.....	67
3.3.1.4 ERGEBNISSE.....	68
3.3.1.5 DISKUSSION.....	68

<b>3.3.2 EINGEREICHTES ENGLISCHSPRACHIGES ORIGINALMANUSKRIFT .....</b>	<b>70</b>
3.3.2.1 ABSTRACT .....	70
3.3.2.2 INTRODUCTION.....	71
3.3.2.3 MATERIAL AND METHODS .....	73
3.3.2.4 RESULTS .....	75
3.3.2.5 DISCUSSION.....	77
3.3.2.6 ACKNOWLEDGMENTS.....	80
3.3.2.7 DECLARATION OF INTEREST .....	80
3.3.2.8 REFERENCES.....	81
3.3.2.9 TABLES AND FIGURES.....	82
<b><u>4 ERGEBNISZUSAMMENFÜHRUNG .....</u></b>	<b><u>85</u></b>
<b><u>5 GESAMTDISKUSSION.....</u></b>	<b><u>87</u></b>
<b><u>6 LITERATUR MANTELTEXT UND DEUTSCHE ZUSAMMENFASSUNGEN .....</u></b>	<b><u>97</u></b>
<b><u>7 LITERATUR GESAMTDOKUMENT .....</u></b>	<b><u>100</u></b>
<b><u>LEBENS LAUF .....</u></b>	<b><u>106</u></b>

## Abkürzungsverzeichnis

ASA	Amateur Swimming Association	Britischer Amateur Schwimmverband
CV	Coefficient of Variation	Variationskoeffizient
doi	digital object identifier	Digitaler Identifikator für Online Artikel wissenschaftlicher Fachzeitschriften
DSV	German Swimming Association	Deutscher Schwimm-Verband
FINA	Fédération Internationale de Natation	Weltschwimmverband
FT	Final Time	Zielzeit
ICC	Intra-class correlation	Intra-Klassen-Korrelation
IM	Individual Medley	Lagenschwimmen
LMM	Linear Mixed Models	Gemischte lineare Modelle
RICS	Random Intercept Constant Slope	Gemischtes lineares Modell mit zufälligem Achsenabschnitt und konstanter Steigung
ST	Split Time	Zwischenzeit
T5	Time at 5 meter	5 Meter Startzeit
TOTimp	Total impulse	Gesamtkraft auf der Kraftmessplatte

## Abbildungsverzeichnis

### *Manteltext*

- Abbildung 1: Leistungsverlauf der fünf aussichtsreichsten deutschen Beckenschwimmer im Qualifikationszeitraum der Olympischen Spiele 2016 in Rio de Janeiro bis zum Olympiawettkampf in Woche 30 (siehe rote Umrandung) 4
- Abbildung 2: Verlauf der Wettkampfzeiten zweier fiktiver Athleten über acht Wettkämpfe, Athlet 1 stellt beispielhaft die Leistungsvariabilität dar; Athlet 2 zeigt exemplarisch die Leistungssteigerung 7
- Abbildung 3: Aufbau der kumulativen Dissertation: Artikel 1 bildet die Grundlage für die weiterführenden Ideen der Leistungsvariabilität, die in Artikel 2 und 3 diskutiert werden 11
- Abbildung 4: Modell der variablen Leistungsprogression: Die Variabilität nimmt im Jahresverlauf ab. Auch von Jahr zu Jahr verringert sich die Variabilität bei schneller werdenden Wettkampfzeiten 93

*1. Publikation: Variability of Competition Results During One Season in Swimming*

Figure 1:	Competition schedule for all athletes in the study. The header row indicates the week number. The first 30 weeks are divided into three sections, indicated by solid lines. Each athlete is represented by a row, in which crosses indicate weeks with competitions. Weeks connected into a common grey painted area form a cluster, i.e., competition streaks with less than 14 days of a break in between. Competitions separated by more than two weeks were treated as independent events as indicated by the arrow in row	39
Figure 2:	Comparison of the distribution of race times of two frequent competitors. Boxes show the interquartile range with the median shown in red. Error bars show 1.5 times the interquartile range or the maximum of the distributions, whichever is smallest. Measures outside the interquartile range are shown as outliers	40
Figure 3:	The within-athlete cluster CV overall athletes decreases over three sections	41

*2. Publikation: Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers*

Figure 1:	Pasco Forceplate	63
Figure 2:	Scatterplot of the correlation between within-athlete CV final times and within- athlete CV 5m times for 7 objects	63
Figure 3a:	Scatterplot of the correlation between the total impulse and the 5m time for 11 athletes	64
Figure 3b:	Scatterplot of the correlation between the 5m time at the performance analysis and 50m split competition time for 11 athletes	64
Figure 3c:	Scatterplot of the correlation between the 5m time at the performance analysis and final competition time for 11 athletes	65

*3. Publikation: Variation and Progression in performance of national junior athletes and their development to national athletes*

- Figure 1a: Within-athlete CV of 18-year old female swimmers separated in athletes that made the senior national team at least once in their career (“in”) and those athletes that never made the senior national team in their career (“out”) 83
- Figure 1b: Within-athlete CV of 20-year old male swimmers separated in athletes that made the senior national team at least once in their career (“in”) and those athletes that never made the senior national team in their career (“out”) 83
- Figure 2: Performance progression during the measuring period separated in three groups: “Out” included all athletes that have been junior national team members, but did become a senior national team member ever in their career (N= 30). “In” included all junior national team athletes that made the senior national team at least once in their career (N= 10). “Olympic” included all athletes that are in the highest squat in the DSV (Olympic squat) in 2018/2019 (N= 10) 84

## Tabellenverzeichnis

### *1. Publikation: Variability of Competition Results During One Season in Swimming*

Table 1	Within-athlete CV's of different subgroups	37
Table 2	Within-athlete cluster CV's of different sections	38

### *2. Publikation: Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers*

Table 1	Overview of the participants and their disability class	59
Table 2	Overview of within-athlete CVs in different disability classes	60
Table 3	Overview of all calculated correlations	61
Table 4	Progression per season expressed as the best performances compared to the season before	62

### *3. Publikation: Variation and Progression in performance of national junior athletes and their development to national athletes*

Table 1	Overview of measured within-athlete CV s in different career stages. The number of data points per subgroup is presented as well as the 95% confidence limit	82
---------	--	----





## Zusammenfassung

Die vorliegende publikationsbasierte Dissertation beschäftigt sich mit Leistungsschwankungen bei Spitzenathleten und deren Auswirkungen auf zukünftige Wettkampfleistungen. Seit nahezu zwei Jahrzehnten beschäftigen sich internationale Studien mit Variabilität von Spitzenleistungen. Die Grundlage für diese Arbeit bietet hierbei ein systematisches Review von Malcata und Hopkins (2014). Ziel dieser Arbeit war es anhand von drei eigenen, bereits publizierten Studien die Leistungsvariabilität im Schwimmsport allgemein auf eine Saison bezogen zu untersuchen. Darüber hinaus soll die Leistungsvariabilität von Teilleistungen an Hand des Startsprunges untersucht werden, sowie geprüft werden ob die Leistungsvariabilität als Selektionskriterium für den Nachwuchsleistungssport geeignet ist.

In retrospektiven Analysen von Wettkampfdaten, vereinzelt vorliegenden Leistungsdiagnostik - Daten sowie Kaderlisten wurde die intraindividuelle Leistungsvariabilität der Athleten pro Saison berechnet. Zudem wurde die Leistungsvariabilität in verschiedenen Altersklassen erhoben und verglichen. Ebenso wurden Korrelationen zwischen Teilleistungen in Bezug auf die Gesamtleistung gemessen, sowie die Variabilität der verschiedenen leistungsrelevanten Parameter in Bezug gesetzt.

Die Ergebnisse der einzelnen Studien zeigen, dass die Leistungsvariabilität auf den verschiedenen Ebenen ein leistungsdeterminierender Faktor ist. Die erste Untersuchung zeigt einen Unterschied in der Leistungsvariabilität von Olympiamedaillengewinnern (0,52 %) im Vergleich zu den medaillenlosen deutschen Athleten (0,68 %). Zudem wird deutlich, dass die Variabilität innerhalb des Saisonverlaufes bis hin zum Saisonhöhepunkt immer geringer wird (abnehmend von 0,55 % auf 0,21 %).

Die Ergebnisse der zweiten Studie zeigen, dass die Startphase im Schwimmen einen großen Zusammenhang mit der Gesamtleistung hat ( $r^2 = 0,78$ ). Ebenso kann ein Zusammenhang zwischen der Variabilität der Startanalyse mit der Variabilität des Gesamtergebnisses hergestellt werden.

In einer weiteren Studie kann nachgewiesen werden, dass sich die Leistungsvariabilität bei Nachwuchsathleten unterscheidet. Athleten, die über mehrere Jahre im Kader waren, weisen sowohl bei den männlichen als auch bei den weiblichen Sportlern eine geringere Variabilität auf. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass sich die Steigerung innerhalb des achtjährigen Untersuchungszeitraumes zwischen den Athleten, die es in die Nationalmannschaft geschafft haben und denen, die es nicht geschafft haben deutlich unterscheidet.

Die vorliegenden Studien konnten zeigen, dass eine niedrige Leistungsvariabilität immer wichtiger wird, je näher der Hauptwettkampf rückt. Ebenso konnte nachgewiesen werden, dass auch bei Teilleistungen eine geringe Leistungsschwankung eine hohe Relevanz hat. Diskutiert wird zudem die Relevanz der Leistungsvariabilität für die Talentselektion. Die Ergebnisse deuten auf einen Zusammenhang hin. Weitere Studien müssen dies jedoch noch bestätigen.

## **Abstract**

The present cumulative dissertation deals with performance fluctuations of top athletes and their effects on future results. For almost two decades, international studies have been dealing with variability of excellence. The idea of variation in performance is based upon a systematic review by Malcata and Hopkins (2014). Aim of this work was to investigate the performance variability in swimming in general for one season by means of three own, already published studies. In addition, the performance variability of partial services on the basis of the initial jump is to be examined and whether the performance variability is suitable as a selection criterion for the youth performance sport.

In retrospective analyzes of competition data, occasionally available performance diagnostic data and squad lists, the intra-individual performance variability of the athletes was calculated per season. In addition, performance variability was assessed and compared in different age groups. Similarly, correlations between partial performance in relation to overall performance were measured and the variability of the various performance-related parameters related.

The results of the individual studies show that performance variability at different levels is a performance determining factor. The first investigation shows a difference in the performance variability of Olympic medal winners (0.52 %) compared to medalless German athletes (0.68 %). In addition, it becomes clear that the variability within the course of the season up to the peak of the season is decreasing (0.55 % - 0.21 %).

The results of the second study show that the starting phase in swimming has an exorbitantly high impact on overall performance ( $r^2 = 0.78$ ). Likewise, a connection between the variability of the start analysis and the variability of the overall result can be established.

In another study it can be shown that the performance variability differs for junior athletes. Athletes who have been in the squad for several years show less variability in both male and female athletes. In addition, the results show that the increase within

the eight-year period between the athletes who made it into the national team and those who did not make it significantly different.

The available studies have shown that performance variability becomes more important as the main competition gets closer. It could also be demonstrated that a small variation in performance is also highly relevant for partial services. Also discussed is the relevance of performance variability for talent selection. The results indicate a link. However, further studies have yet to confirm this.

# 1 Einleitung

Die vorliegende publikationsbasierte Dissertation mit dem Titel „Leistungsvariabilität als leistungsprognostischer Faktor im Spitzensport“ beschäftigt sich mit der Analyse von Wettkampfergebnissen sowie vereinzelt vorliegenden Trainingsdaten. In drei international veröffentlichten wissenschaftlichen Beiträgen wurde die Schwankung von Wettkampfleistungen im Hochleistungssport innerhalb einer Saison oder auch von Saison zu Saison untersucht.

Da eine Wettkampfleistung ein komplexes Gebilde ist, das sich aus vielen verschiedenen Parametern zusammensetzt, ist es wichtig, die Analyse auf Basis objektiv messbarer Ergebnisse durchzuführen. Eine Hallensportart mit normierten Bedingungen wie es sie Schwimmsport bietet, ist daher ideal. Schwimmen ist eine zyklische Sportart, die ein hohes Maß an Wiederholbarkeit und Messbarkeit zulässt, da die Leistung stets über eine objektiv gemessene Zeit ermittelt wird. Dabei können äußere Faktoren, wie z.B. Wetterbedingungen, Höhenunterschiede oder Ähnliches ebenso ausgeschlossen werden wie Wettkampfformen, in denen Gruppen oder Mannschaften zusammen gewertet werden. Dies ermöglicht eine hohe Verlässlichkeit und Vergleichbarkeit sowie eine minimale Zufallsvariabilität.

Ein weiterer Aspekt den diese Arbeit einbezieht, ist der Bezug zur leistungssportlichen Praxis, um neue Erkenntnisse für die Trainerinnen und Trainer<sup>1</sup> zu generieren. Objektiv messbare Informationen sind für Trainer besonders wichtig, da sie häufig nicht alle leistungsbestimmenden Variablen beeinflussen können. Ihre Leistung wird dennoch fast ausschließlich an Wettkampfergebnissen ihrer Athleten gemessen. Häufig entscheidet nur ein Wettkampfergebnis über den Erfolg oder Misserfolg einer ganzen Saison oder sogar den Erfolg des gesamten Olympiazklus. Wie Trewin, Hopkins und Pyne (2004) darlegten, sind die Olympischen Spiele der wichtigste Wettkampf für

---

<sup>1</sup> Im Folgenden wird für das weibliche und männliche Geschlecht der Begriff Trainer verwendet.

Schwimmerinnen und Schwimmer<sup>2</sup>. Die Bewertung von ausschließlich einem Wettkampfergebnis führt gerade für die verantwortlichen Trainer zu einer starken Drucksituation. Diese Arbeit soll dazu beitragen, dass Trainer ein zusätzliches und leicht zu bestimmendes Bewertungsinstrument an die Hand bekommen, um die Wettkampfergebnisse ihrer Athletinnen und Athleten<sup>3</sup> besser bewerten zu können. Im Optimalfall können die Ergebnisse dieser Arbeit sogar helfen, Rückschlüsse auf die Trainingssteuerung für die kommenden Trainingszyklen zu liefern.

### **1.1 Problemstellung und einleitende Theorie**

Die Olympischen Spiele 2016 in Rio de Janeiro verliefen für die deutschen Beckenschwimmer nicht erfolgreich. Trotz einiger sehr guter Leistungen in der Olympiasaison und damit verbundenen Top 3 Platzierungen in der Weltrangliste der *Fédération Internationale de Natation* (FINA) konnten keine Medaillen bei den Beckenwettbewerben errungen werden. Das deutet an, dass keine ausreichende Leistungssteigerung oder Wiederholung einer bereits innerhalb der Saison erbrachten Spitzenleistung erreicht werden konnte. Ein Grund dafür könnte beispielsweise in einer nicht optimal gelungenen Trainingssteuerung sowie der damit verbundenen Zuspitzung der sportlichen Form liegen.

Das Konzept der sportlichen Form wurde vor über vier Jahrzehnten von den Ideen sowjetischer Sportwissenschaftler geprägt. Nachdem Kalinin und Osolin (1975) feststellten, dass Ergebnisse, die in einer 2 % Zone der persönlichen Bestleistung liegen, als Kriterium sportlicher Form angesehen werden können (vgl. Kalinin & Osolin, 1975), beschrieb Matvejev (1981) in seinem Werk „Grundlagen des sportlichen Trainings“ die sportliche Form präziser. Demnach „kann man in zyklischen Sportarten (ausgenommen Langstrecken) als untere Grenze des Bereiches der sportlichen Form ein Ergebnis ansehen, das nicht kleiner als 98 bis 98,5 Prozent der persönlichen Bestleistung ist“.

---

<sup>2</sup> Im Folgenden wird für das weibliche und männliche Geschlecht der Begriff Schwimmer verwendet.

<sup>3</sup> Im Folgenden wird für das weibliche und männliche Geschlecht der Begriff Athleten verwendet.

Leistungen, die in einem Segment von 2 % liegen oder Leistungen von 98 % der Bestleistung, dienen also als Indikator für das Minimum der sportlichen Form in Individualausdauersportarten. Die 2 % Zone wird im Folgenden synonym für alle Leistungen jenseits von 98 % der persönlichen Bestleistung beschrieben. Neben der 2 % Zone gilt das Verhältnis der Gesamtzahl der Wettkämpfe im Verhältnis zu den Wettkämpfen der 2 % Zone als wichtiger Indikator für die Stabilität der sportlichen Form (Matvejev, Kalinin & Ozolin, 1975). So ist die Definition der 2 % Zone hilfreich, um Leistungen von Sportlerinnen und Sportlern einzuschätzen. Seit der Übersetzung der Arbeit von Matvejev (1981) wurde jedoch kaum weitere deutschsprachige Literatur zu diesem Thema veröffentlicht.

Eine Analyse der (laut Weltrangliste) fünf aussichtsreichsten Athleten in der Olympiasaison 2016 zeigt, dass die Leistungen der Spitzenathleten, wie in Abbildung 1 beschrieben, Schwankungen unterliegen. Der abschließende Wettkampf bei den Olympischen Spielen ist durch die rote Umrandung gekennzeichnet. Die Ergebnisse beim Saisonhöhepunkt zeigen, dass alle Athleten mindestens 98 % ihrer persönlichen Bestzeit erreichten. Eine Leistungsfähigkeit von 98 % ist in Abbildung 1 durch die hervorgehobene schwarze Linie gekennzeichnet. Diese geringe Abweichung von maximal 2 % zur persönlichen Bestzeit bei den Olympischen Spielen von Rio de Janeiro zeigt, dass die Definition des „in Form sein“ nach Matvejev *et al.* (1975) hier nicht passend sein konnte. Denn die Athleten konnten, obwohl sie laut Definition „in Form“ waren, ihre Ziele bei den Olympischen Spielen nicht erreichen. Abbildung 1 weist zudem die Ergebnisse der fünf aussichtsreichsten deutschen Sportler im Jahr 2016 inklusive der Olympischen Spiele von Rio de Janeiro aus. Unabhängig von Geschlecht, Schwimmart und Streckenlänge liegen alle Ergebnisse von Rio im Bereich von mindestens 98 % der Saisonbestleistung.



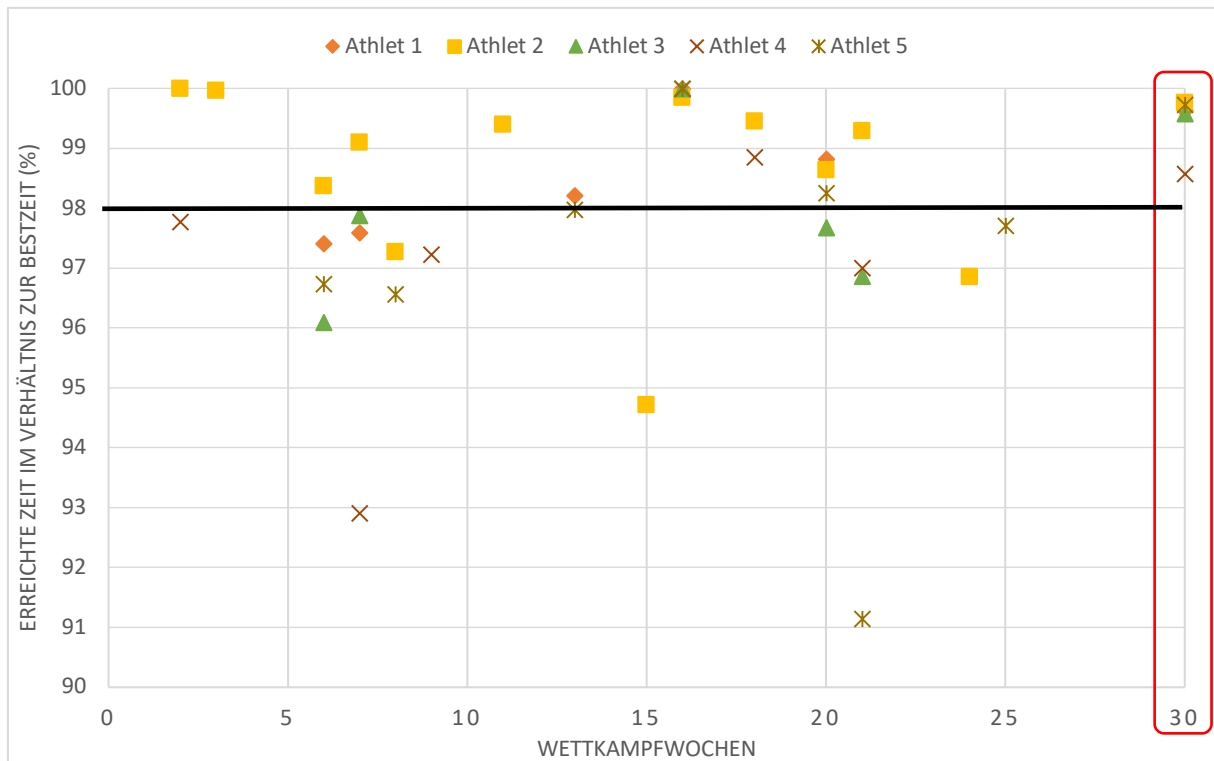


Abbildung 1. Leistungsverlauf der fünf aussichtsreichsten deutschen Beckenschwimmer im Qualifikationszeitraum der Olympischen Spiele 2016 in Rio de Janeiro bis zum Olympiawettkampf in Woche 30 (siehe rote Umrandung).

Die Beobachtung, dass die Definition der sportlichen Form als 2 % Zone nicht mehr zeitgemäß ist, unterstützt Tschiene (2011). Er beschreibt eine größer werdende Leistungsdichte im Spitzensport, die das Erreichen der Ziele „unter den heute vorherrschenden harten Konkurrenzbedingungen nicht immer erreichbar“ macht. Eine enorme Leistungsdichte zeigen auch die Ergebnisunterschiede zwischen dem Sieger und Viertplatzierten der Olympischen Spiele Rio de Janeiro 2016. Über alle olympischen Strecken bis zu 400 Meter liegen zwischen Platz eins und vier durchschnittlich 1,5 %. Ein wesentlicher Unterschied zwischen männlichen (1,4 %) und weiblichen Athleten (1,5 %) ist nicht festzustellen. Am höchsten ist die Leistungsdichte über die 200 Meter-Strecken (1,2 %). Bei den 100 Meter-Strecken liegt sie bei 1,5 % und den 400 Meter-Strecken bei 2,0 %.

In Bezug auf die sportliche Form zeigen die Ergebnisse, dass der Olympiasieger bei Ergebnissen innerhalb der 2 % Zone zwar nach Matvejev (1981) sportlich in Form ist, jedoch völlig aussichtslos im Rennen um eine Medaille sein kann. Mit der unteren

Grenze der sportlichen Form von 98 % ihrer persönlichen Bestleistung hätten lediglich einzelne Ausnahmeal Athleten über 400 Meter Strecken noch eine Medaille bei den Olympischen Spielen gewinnen können. Der Terminus „in Form“ sein und der eng damit verknüpfte Indikator von mindestens 98 % der persönlichen Bestleistung in Ausdauersportarten wird in der Sportpraxis vielfach dafür genutzt, Leistungen einzuschätzen. Somit ist es inzwischen populärwissenschaftlich auch ein Indikator für Erfolg und Misserfolg geworden. Dieses Verständnis weist jedoch einige Schwächen auf. So fehlt bei dieser Begriffsverwendung beispielsweise der Bezug zur Siegerzeit oder die Differenz zum besten Kontrahenten. Ebenso gibt diese Definition keine Auskunft über den Verlauf oder Trend der sportlichen Leistungsfähigkeit. Beispielsweise können sich die Ergebnisse zwischen der persönlichen Bestzeit und 98 % der persönlichen Bestzeit bewegen und es ist nicht klar, ob sich Leistungen stetig verbessern, stagnieren oder gar rückläufig sind. Darüber hinaus lassen sich Erfolge auf Grund einer hohen Leistungsdichte fast ausschließlich mit Bestleistungen erreichen (Tschiene, 2011). Dies macht deutlich, dass die beschriebene Definition des „in Form sein“ für das Einschätzen von Leistungen bei heutigen Wettkämpfen nicht mehr ausreichend ist. Zudem führen die verdichteten Wettkampftermine gerade in den Ausdauersportarten zu einer veränderten Trainingssteuerung über den Saisonverlauf. Mit dem traditionellen Modell der Periodisierung nach Matvejev (1981) können Ausdauersportler ihre Topform nicht über eine komplette Wettkampfperiode aufrechterhalten (Verchoshanskij, 1999). Die daraus resultierenden Ableitungen, z.B. zur Stabilität der Leistung erscheint somit ebenso nicht mehr zeitgemäß.

Am Beispiel eines deutschen Athleten, der bei Olympischen Spielen 2016 in Rio de Janeiro als amtierender Weltmeister antrat, soll die Problematik noch einmal verdeutlicht werden. Die größte deutsche Medaillenhoffnung hätte mit 98 % seiner Bestzeit nicht das Finale erreicht. Im Finale selbst zeigte sich dann die enorme Leistungsdichte. Das gesamte Feld (Platz 1 - 8) trennten nach 200 Metern und nahezu 130 Sekunden gerade einmal 0,88 Sekunden. Bezogen auf die Siegerzeit sind das nur 0,7 %. Sowohl mit der persönlichen Bestzeit als auch der Saisonbestleistung wäre ein Medaillengewinn möglich gewesen. Auch die anderen Ergebnisse des Athleten innerhalb des Saisonverlaufes waren auf einem sehr hohen Niveau und zeigen somit eine

hohe Stabilität der Leistung. Insgesamt lagen mehr als drei Viertel der absolvierten Wettkämpfe in der 2 % Zone. Die weiteren Ergebnisse der sportlichen Form zeigen, dass alle Deutschen Schwimmerinnen und Schwimmer nach der Definition von Matvejev (1981) in Form waren. Das reicht beim Blick auf die Ergebnisse jedoch nicht mehr aus, um international erfolgreich zu sein und untermauert noch einmal, dass die Definition einer sportlichen Form nach Matvejev (1981) nicht mehr zeitgemäß ist.

## **1.2 Relevanz der Arbeit**

Neben der Vermutung, dass eine Leistung von mindestens 98 % der persönlichen Bestzeit nicht mehr zeitgemäß für die Einschätzung des Erfolges ist, untermauert eine Aussage von Lambertz (2017), verantwortlicher Chefbundestrainer Schwimmen für die Olympischen Spiele in Rio 2016, die Relevanz der vorliegenden Arbeit. Er erklärte das medaillenlose Abschneiden bei den Olympischen Spielen in Rio de Janeiro damit, dass die Athleten nicht in der Lage wären, ihre vorher erbrachten Spitzenleistungen zu wiederholen. Die Wiederholbarkeit von Spitzenleistungen ist für Lambertz (2017) ein Schlüssel für eine erfolgreiche Zukunft (Swimsportnews).

Eine Wiederholbarkeit absoluter Topleistungen beweist eine hohe Stabilität der Leistung. Stewart und Hopkins (2000) wiesen für erfolgreiche Schwimmer eine höhere Stabilität und eine damit verbundene geringere Variabilität als bei weniger erfolgreichen Athleten nach. Seitdem zeigen internationale Studien (Pyne, Trewin & Hopkins, 2004; Trewin *et al.*, 2004) im Schwimmsport übereinstimmend, dass die Variabilität der Leistung ein leistungsbestimmender Faktor für zukünftige Wettkämpfe ist. Abgeleitet wird die Idee der Leistungsvariabilität von der im Englischen genutzten wissenschaftlichen Bezeichnung der *smallest meaningful change in performance* (geringste bedeutsame Veränderung in der sportlichen Leistung). Für diese geringste bedeutsame Veränderung wiesen Hopkins, Hawley und Burke (1999) eine Spanne von 0,7 % bis 0,4 % Leistungssteigerung nach. Diese Steigerung würde die Medaillenchance eines Athleten bedeutsam erhöhen. Berechnet wurden diese bedeutsamen Leistungssteigerungen anhand einer zufälligen intraindividuellen Veränderung der Leistung zwischen zwei Wettkämpfen (Hopkins *et al.* 1999).

Eine Leistungsentwicklung ist somit eng mit der Leistungsvariabilität verknüpft. Trotz einer geringen Variabilität scheint eine zusätzliche Leistungsentwicklung ein entscheidender Parameter für erfolgreiche Athleten zu sein. In einer internationalen Studie von Costa *et al.* (2010) wird dafür der Begriff „Progression“ (Leistungssteigerung) genutzt. Dabei wurde in einer Longitudinalstudie mit Spitzenschwimmern über vier Saisons eine Leistungssteigerung von 0,6 % bis 1 % pro Saison nachgewiesen (Costa *et al.*, 2010).

Abbildung 2 macht deutlich, dass sich beim Vergleich zweier fiktiver Athleten mit dem gleichen Ausgangsniveau sowie dem gleichen Abschlussniveau über acht Messzeitpunkte der Verlauf der Leistungsvariabilität und der Verlauf der Leistungssteigerung unterscheiden. Athlet 2 weist über die acht Wettkämpfe eine lineare Leistungssteigerung auf, wogegen sich die Leistungen von Athlet 1 nicht linear entwickeln. Vielmehr zeigt Athlet 1 schwankende Wettkampfergebnisse. Über den Gesamtzeitraum steigern sich beide Athleten um 3,5 Sekunden bzw. 6,7 %. Die Variabilität unterscheidet sich jedoch zwischen den Athleten. Athlet 1 weist eine Leistungsvariabilität von 2,1 % auf, während die Leistungen von Athlet 2 um 2,3 % schwanken. Trotz eines gleichen Anfangs- und Endniveaus unterscheidet sich also die Variabilität. Der Athlet mit der linearen Entwicklung weist über den Gesamtzeitraum sogar größere Leistungsschwankungen auf.

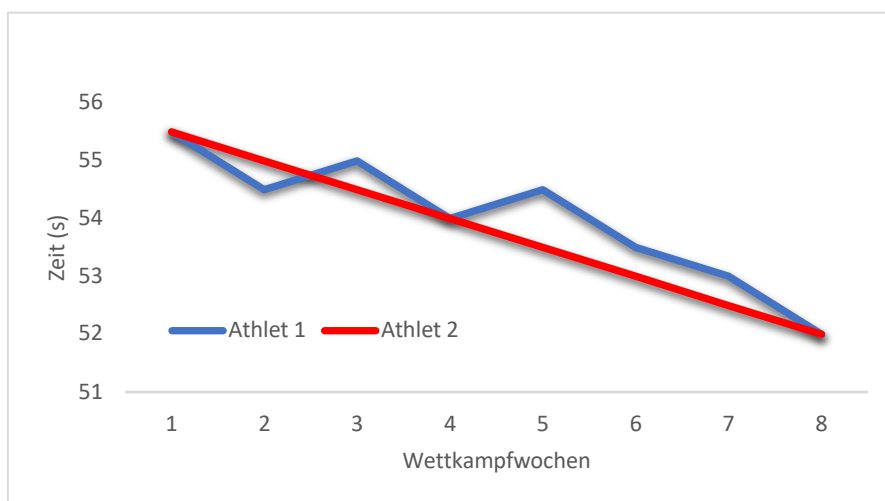


Abbildung 2.

Verlauf der Wettkampfzeiten zweier fiktiver Athleten über acht Wettkämpfe, Athlet 1 stellt beispielhaft die Leistungsvariabilität dar; Athlet 2 zeigt exemplarisch die Leistungssteigerung.

Die vorliegende Dissertation fügt bisherige Untersuchungen zu Leistungsvariabilität und Leistungsentwicklung zusammen und prüft diese auf ihre Aktualität. Darüber hinaus soll das Wissen über die hohe Relevanz der Leistungsvariabilität im Spitzensport auf Teilleistungen sowie auf den Nachwuchsleistungssport übertragen werden. Ein weiterer Aspekt dieser Arbeit ist folglich, diesen Parameter als Kriterium für die Talentselektion für Trainer zu prüfen.

### **1.3 Aufbau der Arbeit**

Nachdem die Relevanz der vorliegenden Arbeit anwendungsorientiert und wissenschaftsbezogen dargestellt wurde, folgt nun ein knapper Überblick über den weiteren Aufbau der Arbeit. Die theoretische Grundlage für die vorliegende Dissertation soll in Kapitel 2 beschrieben werden. Dabei ist es dem Autor wichtig, dass sowohl wortverwandte Themenbereiche in der deutschen Sportwissenschaft Gegenstand der theoretischen Auseinandersetzung sind, als auch eine Einordnung der speziellen Thematik in den internationalen Wissenschaftskontext vorzunehmen. In der deutschen Sportwissenschaft ist diese spezielle Herangehensweise an die Variabilität bisher noch nicht diskutiert worden. Obwohl eine hohe Relevanz für sportlichen Erfolg in diversen Sportarten bereits nachgewiesen werden konnte (Malcata & Hopkins, 2014), wurde dieses Forschungsgebiet bisher lediglich im englischsprachigen Bereich diskutiert. Da die vorliegende Dissertation diese Thematik auch in deutscher Sprache erörtert, ist es unumgänglich, eine genaue Begriffserklärung zur vorliegenden Thematik vorzunehmen, um die in englischer Sprache verfassten Publikationen innerhalb dieser Dissertation und den deutschen Manteltext miteinander zu verbinden sowie ein einheitliches Begriffsverständnis herzustellen.

Wie bereits in Kapitel 1.1 dargestellt, sind die bisherigen Definitionen von Stabilität von Spitzenleistungen auf Grund einer sehr hohen Leistungsdichte nicht mehr zeitgemäß. In der internationalen Sportwissenschaft wird dabei in mehreren Zusammenhängen der Begriff Variabilität verwendet. Variabilität beschreibt Veränderungen bzw. Abweichungen von vorherigen oder Normwerten. In der deutschen Sportwissenschaft wird der Begriff Variabilität nicht zwingend mit Leistungsschwankungen in Verbindung gebracht. Der Variabilitätsbegriff ist zwar immer mit Schwankungen konnotiert, jedoch

nicht immer in Bezug auf leistungsbestimmende Faktoren. In erster Linie werden Schwankungen von Bewegungsabläufen oder physiologischen Parametern gemessen. Dies wird in Kapitel 2 verdeutlicht.

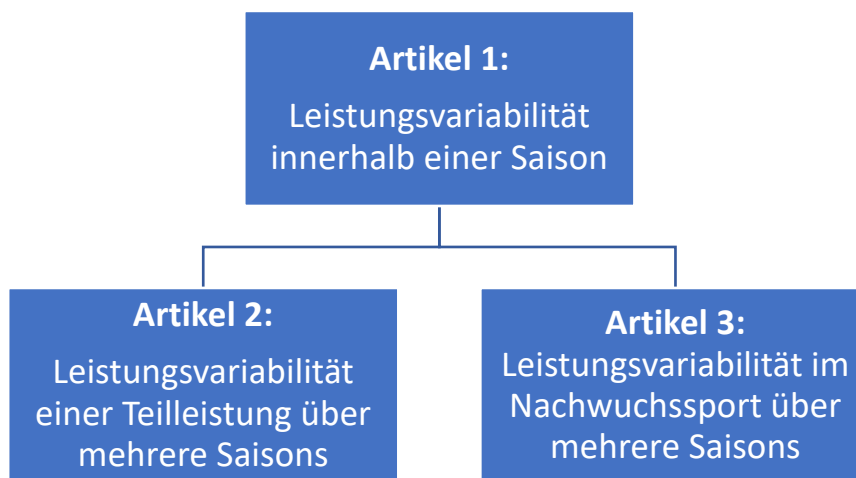
Die vorliegende Dissertation verbindet drei Veröffentlichungen. Die erste Veröffentlichung widmet sich dabei der Leistungsvariabilität von Spitzenathleten innerhalb einer Saison am Beispiel des Schwimmsports. Dabei werden die Ergebnisse der deutschen Schwimmer bei den Olympischen Spielen in Rio de Janeiro mit denen der internationalen Medaillengewinner verglichen. Die Stabilität der Leistung soll durch einen Variationskoeffizienten eingeschätzt werden. Dieser beschreibt die Variation eines Athleten auf einer Strecke über verschiedene Wettkämpfe. In diesem Artikel wurde die Olympiasaison im Detail betrachtet. Dabei wurden sowohl die Veränderungen innerhalb der Saison als auch Veränderungen von Saisonphase zu Saisonphase analysiert. Das Neuartige hierbei ist, dass alle bisher veröffentlichten Artikel lediglich Hauptwettkämpfe miteinander verglichen haben. In diesem Artikel werden jedoch alle Wettkämpfe während des Untersuchungszeitraumes eingeschlossen. Damit entsteht ein erweiterter Blick zum Verständnis der Variabilität von Spitzenleistungen innerhalb eines Saisonverlaufes.

In der zweiten Veröffentlichung wurde versucht, eine Verbindung zwischen der Variabilität von Wettkampfleistungen sowie der Variabilität von Testleistungen herzustellen. Dabei wurden bei paralympischen Athleten neben den erzielten Wettkampfergebnissen auch ausgewählte Leistungsdiagnostikdaten der Sportler erhoben. Bei der Analyse der Korrelation zwischen Leistungssteigerungen im Wettkampf sowie den gemessenen leistungsdiagnostischen Daten wurde versucht, eine Verbindung zwischen Leistungssteigerung („Progression“) und der Variabilität herzustellen. Dieser Zusammenhang ist sehr bedeutsam, denn die Variabilität von Leistung beschreibt lediglich die Unterscheidung der Ergebnisse, nicht jedoch, ob die Entwicklung positiv oder negativ verläuft. Ein weiteres Ziel dieses zweiten Artikels war es, das Phänomen der Variabilität von Leistungen auch im paralympischen Leistungssport zu untersuchen. Damit sollen vor allem die im paralympischen Sport wachsenden professionelleren Strukturen mit Informationen zu leistungsprognostischen Daten und deren Zusammenhängen

unterstützt werden. Zudem konnte die Leistungsvariabilität als leistungsprognostizierender Faktor bereits von Fulton, Pyne, Hopkins und Burkett (2009) für paralympische Schwimmer nachgewiesen werden. Mit dieser Studie soll das Wissen bestätigt und erweitert werden. Diese Studie wurde im Rahmen einer internationalen Kooperation mit Kollegen aus Calgary (Kanada) durchgeführt. In Kanada hat der paralympische Sport schon seit längerem eine ähnliche Rolle wie der Leistungssport nicht behinderter Athleten. Die Athleten haben gleiche Trainingsbedingungen und Trainingsumfänge wie olympische Athleten. Dadurch war es möglich, eine umfangreiche Untersuchung mit paralympischen Athleten durchzuführen.

Im Mittelpunkt des dritten Artikels steht die Entwicklung von Athleten. In diesem wird geprüft, inwieweit sich die Kenntnisse der Leistungsvariabilität aus dem Spitzensport auf den Nachwuchsleistungssport übertragen lassen. Leistungsvariabilität könnte als ein zusätzlicher objektiver Indikator für die Talentselektion genutzt werden. Dazu wurden Wettkampfdaten von deutschen Nachwuchsathleten über einen Zeitraum von sieben Jahren gesammelt und analysiert. Dabei wurde eine Verbindung zwischen der Variabilität von Wettkampfleistungen und der Entwicklung von Talenten hergestellt. Ein weiterer Schwerpunkt dieses Artikels ist die Analyse der Korrelation zwischen der Leistungsvariabilität innerhalb einer Saison und dem Alter der jeweiligen Nachwuchsathleten. Eine aktuelle Studie von Boccia *et al.* (2017) zeigt, dass ältere Sportler stabilere Leistungen zeigen. Zusätzlich ist die Leistungssteigerung der Athleten von Jahr zu Jahr erneut ein zentraler Baustein dieser Veröffentlichung. Außerdem soll geprüft werden, wie wichtig die Unterstützung des nationalen Kader- und Stützpunktsystems für die Athleten ist.

Innerhalb dieser drei wissenschaftlichen Beiträge besteht eine Verknüpfung, die in Abbildung 3 dargestellt ist. Die erste Veröffentlichung bildet die Anknüpfung an die bisher vorhandene Literatur (Kapitel 2.2) und prüft diese auf ihre Aktualität. Dabei erfolgt in diesem ersten Beitrag eine Betrachtung der Leistungsvariabilität im Schwimmen. Die erste Veröffentlichung ist die Grundlage für die beiden folgenden wissenschaftlichen Beiträge. In den beiden weiteren Beiträgen stehen die Variabilität einer komplexen Teilleistung anhand von Trainings- und Wettkampfdaten sowie der Erweiterung auf den Nachwuchs im Mittelpunkt.



*Abbildung 3.*

Aufbau der kumulativen Dissertation: Artikel 1 bildet die Grundlage für die weiterführenden Ideen der Leistungsvariabilität, die in Artikel 2 und 3 diskutiert werden.

In einem abschließenden Kapitel werden die Ergebnisse dieser internationalen Studien noch einmal zusammengeführt und die neuen Erkenntnisse dieser Dissertationsschrift erläutert. Am Ende dieser Arbeit soll der Nutzen der gewonnenen Erkenntnisse anwendungsorientiert erörtert werden, bevor sich ein Ausblick auf neue Forschungsfragen anschließt.



## **2 Theoretische Näherung zur Variabilität von Leistung**

Die Leistungsvariabilität eines Athleten ist die Voraussetzung für Leistungssteigerungen sowie eine Spitzenleistung im folgenden Wettkampf (Pyne *et al.*, 2004). Allerdings gibt es keine eindeutigen Hinweise, wie groß der Formverlust und die damit verbundene Leistungsschwankung vom besten zum schlechtesten Wettkampf innerhalb einer Saison sein können. Eine geringe Variabilität und eine damit verbundene hohe Stabilität von Wettkampfergebnissen ist in Verbindung mit einer hohen Leistungsfähigkeit jedoch ein starker Indikator für eine hohe Leistungsfähigkeit bei nachfolgenden Wettkämpfen (Pyne *et al.* 2004). Dabei meint Stabilität in diesem Zusammenhang die Gleichheit oder Ähnlichkeit von Messergebnissen zu verschiedenen Zeitpunkten. Bezogen auf die vorliegende leistungssportliche Forschung bedeutet das, dass gleiche oder ähnliche Leistungen bei verschiedenen Wettkämpfen über die gleiche Strecke als stabil bezeichnet werden können. Im Gegensatz zur Leistungssteigerung beschreibt die Variabilität nicht ausschließlich die Verbesserung der Leistung, sondern kann sowohl eine Leistungszunahme als auch eine Leistungsabnahme ausdrücken (Abb. 2). Der Begriff Variabilität steht im Mittelpunkt der drei durchgeführten Untersuchungen und wird daher in den folgenden Kapiteln differenzierter beschrieben.

### **2.1 Variabilität in der Sportwissenschaft**

Nachdem die Variabilität von Wettkampfleistungen im bisherigen Verlauf der Arbeit im Mittelpunkt stand, widmet sich der folgende Abschnitt der Variabilität in wissenschaftlichen Untersuchungen in angrenzenden Feldern. So wird das Verständnis der Variabilität noch einmal erweitert und verdeutlicht, dass die Variabilität in diversen Bereichen der Sportwissenschaft eine Relevanz hat.

In der deutschen Sportwissenschaft ist vor allem die Herzfrequenzvariabilität direkt mit dem Begriff der Variabilität verknüpft. Hottenrott (2002) zeigte, dass die Herzfrequenzvariabilität im Ruhezustand deutlich höher ist als bei Aktivität. Die Herzfrequenzvariabilität reagiert sehr empfindlich auf innere und äußere Einflüsse, die das Befinden des Sportlers beeinträchtigen. Eine Leistungsbestimmung anhand der Herzfrequenzvariabilität ist daher bei Messungen im Ruhezustand deutlich

aufschlussreicher. Solche Messungen der Herzfrequenzvariabilität sind ein praktisches Verfahren um den Regenerationsstatus eines Athleten festzustellen. Die Gesamtvariabilität beschreibt dabei das Spektrum zwischen dem längsten und kürzesten Abstand der Herzschläge innerhalb des getesteten Frequenzzeitraums (Hottenrott, 2002).

Die Variation stellt eine natürliche Anpassungsreaktion des Herzens dar, um auf innere und äußere Belastungen und Anforderungen reagieren zu können. Somit beschreibt die Herzfrequenzvariabilität eine Schwankung der Herzfrequenz über einen definierten Zeitraum von weniger als einer Minute. Das dieser Arbeit zu Grunde liegende Verständnis des Begriffs „Variabilität“ basiert auf einer im Ansatz vergleichbaren Idee. Das Wissen und die Messverfahren der Herzfrequenzvariabilität sind jedoch nicht direkt übertragbar auf die Variabilität von Spitzenleistungen. Vor allem der völlig andere Zeithorizont der beiden Arten von Variabilität macht die nicht vollständige Vergleichbarkeit deutlich. Denn im Gegensatz zur Herzfrequenzvariabilität wird bei der Leistungsvariabilität zumeist ein Zeitraum von einer bis hin zu mehreren Saisons gemessen (Malcata & Hopkins, 2014).

Auch in den wissenschaftlichen Arbeiten in der Motorik ist die Variabilität ein zentraler Bestandteil. So berichten Stergiou und Decker (2011), dass Variabilität in allen biologischen Systemen zu finden ist und damit auch in menschlichen Bewegungen. In Bezug auf die sportliche Leistung bedeutet dies, dass die Variabilität einer menschlichen Bewegung möglicherweise auch zu Schwankungen in Wettkampfergebnissen führt. In der Motorik beschreibt Variabilität u.a. die Abweichungen bei zyklischen Bewegungen oder mehrfach hintereinander wiederholten gleichen Bewegungen. Vereinfacht gesagt, beschreiben Stergiou und Decker (2011), dass zwei aufeinanderfolgende gleiche Bewegungen niemals identisch sind. Für zyklische Bewegungen, wie sie in den meisten Schwimmmarten vorkommen, bedeutet das, dass die vielfach wiederholten Schwimmbewegungen unterschiedlich ausgeführt werden und es somit auch immer minimale Veränderungen im Wettkampfergebnis geben wird. Denn die Schwimmbewegungen unterliegen - wie alle biologischen Systeme - einer Variabilität, wobei zufällige Abweichungen, ein so genanntes Rauschen (eng.: *noise*), die Messungen bzw. die Messgenauigkeit beeinträchtigen. Über Veränderungen im Ergebnis gibt die

Leistungsvariabilität Aufschluss, jedoch besteht ein großer Unterschied in der Messbarkeit der Leistungsvariabilität im Vergleich zur Variabilität in der Motorik. Die Leistungsvariabilität lässt sich gerade in standardisierten Settings sehr gut messen. Ein hohes Maß an Standardisierung ist somit wichtig für eine valide Aussage über die Variabilität.

Auch innerhalb des Schwimmsports gibt es leistungsbestimmende Parameter, die einer Variabilität unterliegen. Neben der Variabilität der verschiedenen Teilstrecken bzw. Zwischenzeiten innerhalb eines Rennens, die meist einer Renntaktik geschuldet sind, ist auch die Schwankung der Zugfrequenz innerhalb eines Rennens Gegenstand wissenschaftlicher Beiträge. So zeigten Sidney, Delhay, Baillon und Peylo (1999), dass eine geringe Variabilität in der Zugfrequenz von Spitzenathleten ein besonders hohes Maß für die Qualität eines Athleten darstellt. Diese bereits von Sidney *et al.* (1999) gewonnene Erkenntnis unterstützen Hellard *et al.* (2008). Bei der Untersuchung von weiblichen Schwimmern bei nationalen und internationalen Meisterschaften wurde deutlich, dass die Zuglänge sowie die Zugfrequenz abhängig vom Leistungsniveau sind. Dabei wiesen die Athleten auf olympischem Level eine geringere Schwankung in der Zugfrequenz auf als ihre nationale Vergleichsgruppe. Eine gleichbleibende Zugfrequenz ermöglicht es dem Schwimmer konstante Leistungen über die gesamte Renndauer zu realisieren. Dabei sollten die Athleten versuchen, ihre Zugfrequenz auf einem hohen Niveau zu halten. So konnten beispielsweise Hellard *et al.* (2008) über die 200 Meter Strecken nachweisen, dass die Schwimmer auf olympischem Level eine höhere Zugfrequenz realisieren konnten und diese auch über die gesamte Renndauer aufrechterhalten konnten. Eine hohe und vor allem stabile Zugfrequenz innerhalb eines Rennens ist also ein leistungsbestimmender Faktor für Erfolg im Schwimmen. Diese hohe Stabilität innerhalb eines Rennens führt zu einer Stabilität in der Gesamtleistung. Denn geringe Schwankungen innerhalb von Teilleistungen ermöglichen eine stabile Reproduktion der Leistung von Rennabschnitt zu Rennabschnitt. In der Gesamtleistung wirkt sich die Reproduktion in einem konstant erzielten Rennergebnis aus. Wenn diese Konstanz innerhalb des Rennverlaufes reproduzierbar auf die nächsten Wettkämpfe ist, unterliegen auch die Gesamtleistungen einer geringen Schwankung.

Diese Stabilität der Gesamtleistung wurde in dem bereits mehrfach zitierten Review von Malcata und Hopkins (2014) zur Leistungsvariabilität zusammengefasst. Eine direkte Verbindung besteht jedoch nicht zwischen der Variabilität der Zugfrequenz und der Leistungsvariabilität. Dabei bezieht sich die Variabilität der Zugfrequenz nur auf ein Rennen bzw. wird innerhalb eines Rennens ermittelt. Dagegen bezieht die Leistungsvariabilität diverser Ergebnisse verschiedener Rennen ein. So ist es beispielsweise möglich, dass Athleten mit gleichen Zugfrequenzen unterschiedliche Wettkampfergebnisse erzielen. Eine konstante Zugfrequenz über die gesamte Wettkampfdauer ist ein wichtiger Faktor für Erfolg, klärt jedoch nicht eindeutig die Leistungsschwankung auf.

Die Wichtigkeit einer geringen Variabilität innerhalb eines Rennens sowie von Rennen zu Rennen, mit der zu Beginn genannten marginalen Zufallsvariabilität machen deutlich, dass sich vor allem der Schwimmsport für Untersuchungen von Ergebnisschwankungen eignet. Vor allem die daraus resultierende Vergleichbarkeit aller Wettkampfergebnisse innerhalb eines Saisonverlaufs ist für die Aussage besonders bedeutsam. Um einen Anknüpfungspunkt an die aktuelle Studienlage im Bereich der Leistungsvariabilität zu erhalten, widmet sich das folgende Kapitel den bisherigen Erkenntnissen und wie diese zu den Fragestellungen der internationalen wissenschaftlichen Beiträge passen.

## 2.2 Leistungsvariabilität im engeren Sinne

In ausschließlich englischsprachigen Studien findet sich der Terminus *variation in performance* (Variation von Leistungen). Die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Leistungsvariabilität von Spitzensportlern wurde bereits für viele Sportarten von Hopkins und Kollegen untersucht (Malcata & Hopkins, 2014). Dabei fand Hopkins (2000) heraus, dass die Leistungsvariabilität am besten mit der Standardabweichung von einer mehrfach wiederholten Messung bestimmt werden kann. Eine extrem hohe Reliabilität ist sehr wichtig für die Aussagekraft der Ergebnisse, da eine hohe Verlässlichkeit eine große Relevanz für die Sportpraxis darstellt. Wie bereits erwähnt, gibt es im Schwimmen eine nur minimale Zufallsvariabilität. Auf Grund der sehr guten Reproduzierbarkeit ist dieses Verfahren sehr gut nutzbar. Auch andere Sportarten mit einer hohen Wiederholbarkeit oder kalkulierbaren Einflussgrößen können bei erfolgreichen Untersuchungen im Schwimmen profitieren. Das Anwendungsfeld Spitzensport kann somit eine zusätzliche objektive Kenngröße hinzugefügt werden.

Im Schwimmsport wiesen Trewin *et al.* (2004) mit der oben beschriebenen Methode von Hopkins (2000) eine Leistungsvariabilität von 0,8 % für internationale Spitzenathleten nach. Dieses, im Vergleich zur geringsten bedeutsamen Veränderung in der sportlichen Leistung nahezu identische Ergebnis, zeigt noch einmal die Verbindung zwischen diesen beiden theoretischen Ansätzen. Jedoch stellten Trewin *et al.* (2004) beim Vergleich der bei den Olympischen Spielen erbrachten Zeit und der vorher erbrachten Zeit in der Weltrangliste fest, dass es keine großen Zeitenentwicklungen zwischen den Geschlechtern oder Nationen gibt. Es handelte sich also nicht zwingend um eine Leistungssteigerung, sondern lediglich um eine Abweichung. Allerdings fanden bereits Stewart und Hopkins (2000) heraus, dass die Leistungen von erfolgreichen Schwimmern von Wettkampf zu Wettkampf konstanter sind als bei weniger erfolgreichen Schwimmern. In einer weiteren Studie konnten Pyne *et al.* (2004) zeigen, dass eine geringe Leistungsvariabilität Auskunft über Erfolg- und Misserfolgsaussichten geben kann. Costa *et al.* (2010) bringen in ihrer mehrjährigen Studie den Aspekt der Leistungsschwankung sowie die Leistungssteigerung zusammen. Sie fanden heraus, dass sich Schwimmer um 0,6 % bis 1 % pro Saison steigern und die Stabilität der Leistungen größer wurde, je näher der Wettkampfhöhepunkt rückte. Daraus folgerten

sie, dass diese Informationen besonders wichtig für Trainer bei einer realistischen Zielsetzung sind. Dadurch werden noch einmal der hohe Praxisbezug sowie die Relevanz dieser Thematik unterstrichen. Außerdem ist die Studie von Costa *et al.* (2010) die einzige dem Autor bekannte Studie einer anderen Arbeitsgruppe als der von Hopkins.

Bei paralympischen Schwimmern wurden ebenso bereits Studien zur Leistungsvariabilität durchgeführt. Dabei wiesen Fulton *et al.* (2009) nach, dass die Leistungsvariabilität abhängig vom Grad der körperlichen Beeinträchtigung ist. Bei Athleten mit einer geringeren Einschränkung wurden ähnliche Werte nachgewiesen (1,2 %) wie bei nicht behinderten Schwimmern. Athleten mit einer größeren Beeinträchtigung wiesen eine Leistungsvariabilität von bis zu 3,7 % auf. Diese Studie ist besonders interessant, da diese die Leistungsvariabilität als einen wichtigen Aspekt im paralympischen Sport identifiziert und somit die Grundlage für die zweite Studie in dieser Dissertation schafft. Die große Streuung der Ergebnisse innerhalb der Leistungsvariabilität der verschiedenen Athleten lässt sich vor allem auf den unterschiedlichen Grad der Behinderung zurückführen. So wiesen Fulton *et al.* (2009) nach, je stärker die körperliche Beeinträchtigung ist, umso größer fiel in dieser Untersuchung die intraindividuelle Leistungsvariabilität aus. Dies kann unter anderem auf eine geringere Trainierbarkeit bei größeren körperlichen Beeinträchtigungen zurückgeführt werden.

Malcata und Hopkins (2014) zeigten in einem Review, dass Leistungsvariabilität auch in vielen weiteren Sportarten nachgewiesen werden kann. Dabei zeigt das Review, dass der Wert der Leistungsvariabilität in nahezu allen Sportarten vergleichbar ist. Dieser Wert schwankt zwischen knapp unter 1 % bis maximal knapp über 3 %. Lediglich die Leistungsvariabilität von paralympischen Schwimmern schwanken zum Teil etwas stärker, wie es bereits Fulton *et al.* (2009) zeigten. Die einzige deutliche Abweichung bildet das Surfen. Hier wurde eine Leistungsvariabilität jenseits der 20 % nachgewiesen. Jedoch handelt es sich beim Surfen auch um eine Sportart, die von sehr vielen äußeren Faktoren abhängig ist. Davon abgesehen macht das Review deutlich, dass die Leistungsvariabilität auch für andere Sportarten ein relevanter Faktor ist. Beispielsweise wird in einer aktuellen Studie von Noordhof, Mulder, de Koning und Hopkins (2016) festgestellt, dass erwachsene Eisschnellläufer über eine Leistungsvariabilität

von 0,6 % verfügen. Anders als in den bereits zitierten Studien zur Leistungsvariabilität, unterscheidet sich diese darin, dass nicht nur die Hauptwettkämpfe betrachtet wurden, sondern sich die Analyse über eine komplette Wettkampfperiode erstreckt.

### **2.3 Herleitung der Fragestellung**

Die vorherigen Perspektiven machen deutlich, dass die Variabilität von Spitzenleistungen bei der Analyse von Leistungsverläufen berücksichtigt werden müssen. Die Leistungsvariabilität wurde bereits mehrfach als wichtiger Indikator für Spitzenleistungen genannt (Malcata & Hopkins, 2014). Jedoch beziehen sich gerade im Schwimmsport alle vorgestellten Studien auf einen Vergleich von Saison zu Saison oder beziehen nur die Hauptwettkämpfe in ihre Untersuchungen ein. Diese Arbeit dagegen soll die intra-individuelle Leistungsvariabilität innerhalb von einer oder mehreren Saisons ermitteln. Dabei stehen Gruppenvergleiche von erfolgreichen und weniger erfolgreichen Athleten sowie die Einbeziehung von wichtigen Teilleistungen im Vordergrund. Dies wird in drei Studien behandelt, in denen zunächst die Aktualität der Variabilität geprüft wird, um das Wissen der Leistungsvariabilität als leistungsrelevanten Faktor auf weitere Bereiche zu übertragen. Die drei Studien verbindet die übergeordnete Frage, inwieweit die Leistungsvariabilität als leistungsprognostischer Faktor sich am Beispiel des Schwimmsports auf übergeordnete Parameter übertragen lässt.

### **3 Publikationen**

In diesem Kapitel werden die drei international veröffentlichten wissenschaftlichen Publikationen vorgestellt. In dieser Arbeit finden sich die eingereichten englischsprachigen Originalmanuskripte. Die akzeptierte und formatierte Version kann zum Teil etwas abweichen. Unter der angefügten Quellenangabe ist der veröffentlichte Beitrag zu finden.

Jedem der drei in englischer Sprache veröffentlichten Artikel geht eine deutsche Zusammenfassung sowie eine kurze Einordnung in den Gesamtkontext voraus. Beim Einordnen in den Gesamtkontext werden die Ideen aus der Literaturrecherche sowie den jeweiligen vorangegangenen Veröffentlichungen aufgegriffen, um eine Verbindung zwischen den einzelnen Veröffentlichungen herzustellen. Mögliche Rückschlüsse aus diesen Verbindungen können bei der Zusammenführung der Ergebnisse helfen sowie den Übergang zu neuen Forschungsfeldern ebnen.



### 3.1 Publikation I

#### Variability of Competition Results During One Season in Swimming

Title: Variability of Competition Results During One Season in Swimming

Christoph Clephas<sup>1</sup> and Prof. Dr. Andreas Wilhelm<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Sport Science, Christian-Albrechts-University Kiel, Germany

Corresponding Author:

Christoph Clephas

christoph.clephas@email.uni-kiel.de

Keywords: variability, coefficient of variation, high performance sport, swimming, season planning

Das Manuskript wurde im Dezember 2018 vom *German Journal of Exercise and Sport Research* angenommen. Der überarbeitete und formatierte Originalartikel ist unter folgender doi (*digital object identifier*) abrufbar.

doi: 10.1007/s12662-018-0563-7

Quelle: Clephas, C., & Wilhelm, A. (2019). Variability of competition results during one season in swimming. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 49 (1), 20-26.

### **3.1.1 Einordnung und deutsche Zusammenfassung**

Die Publikation „*Variability of Competition Results During one Season in Swimming*“ knüpft an den in Kapitel 2.2 dargestellten Forschungsstand zur Leistungsvariabilität an. Dieser weist für den Schwimmsport eine Leistungsvariabilität von unter einem Prozent von Saison zu Saison aus. Darüber, wie sich die Leistungsvariabilität innerhalb des Saisonverlaufes verhält, geben die wissenschaftlichen Untersuchungen jedoch bisher keinen Aufschluss. Genau diese Lücke soll diese Veröffentlichung schließen und Aufschluss über die Leistungsvariabilität in der Olympiasaison 2016 geben.

#### *3.1.1.1 Einleitung*

Der Begriff Leistungsvariabilität taucht in der deutschsprachigen Sportwissenschaft nicht auf. Seit dem Beginn der 2000er Jahre widmen sich jedoch immer mehr englischsprachige Autoren diesem Phänomen, welches eine enorme Leistungsdichte und geringe Unterschiede zwischen Wettkampfergebnissen beschreibt. So fanden Stewart und Hopkins (2000) heraus, dass „schnellere Schwimmer von Wettkampf zu Wettkampf konstanter sind“ als ihre Konkurrenten. Die Veränderung der Leistung von Rennen zu Rennen bestimmt die Chance eines Athleten dieses auch zu gewinnen, stellten Pyne *et al.* (2004) fest. Ziel dieser Studie ist es, den Begriff der Leistungsvariabilität auf eine ganze Saison zu übertragen und nicht nur Hauptwettkämpfe zu vergleichen.

#### *3.1.1.2 Fragestellung und Hypothesen*

Es wird überprüft, wie sich der leistungsprognostische Faktor Leistungsvariabilität innerhalb des Saisonverlaufes verhält. Es wird vermutet, dass die erfolgreichen Athleten der Olympischen Spiele von Rio de Janeiro eine geringere Leistungsvariabilität aufweisen als ihre deutschen Konkurrenten, die bei den Beckenwettbewerben ohne Medaille blieben.

#### *3.1.1.3 Methode*

Eine retrospektive Analyse berücksichtigt N = 19 deutsche und internationale Schwimmer, die über mindestens eine Einzelstrecke zwischen 100- und 400 Meter ein Ergebnis erzielen konnten. Dazu wurden im Olympiajahr 2016, über die achtmonatige Langbahnsaison, 141 Wettkampfergebnisse untersucht und auf Leistungsschwankungen der einzelnen Athleten geprüft. Die Leistungsschwankungen werden durch einen

Variationskoeffizienten ausgedrückt. Dieser berechnet sich aus der prozentualen Abweichung jeder erreichten Zeit, zur besten erreichten Zeit. Als weiterer Indikator wird die Steigerung der Sportler, anhand des Vergleiches der Saisonbestzeit vor den Olympischen Spielen und der Leistung bei den Olympischen Spielen verglichen.

#### *3.1.1.4 Ergebnisse*

Die intraindividuelle Leistungsvariabilität der deutschen Athleten beträgt bei allen Wettkämpfen über den gesamten Zeitraum von acht Monaten im Durchschnitt 0,68 %. Die Leistungsvariabilität der internationalen Medaillengewinner lag bei 0,52 %. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass sich die Leistungsvariabilität von Saisonabschnitt zu Saisonabschnitt vom 0,55 % zu Beginn der Saison bis hin zu 0,21 % kurz vor dem Saisonhöhepunkt verringert.

#### *3.1.1.5 Diskussion*

Die Studie zeigt, dass die Leistungen von Schwimmern über einen gesamten Saisonverlauf in einem geringeren Maße variieren. Außerdem wird deutlich, dass die Variabilität zum Hauptwettkampf immer geringer wird. Die geringen Leistungsschwankungen von weniger als 2 % weisen auf eine sehr hohe Konstanz hin.

### 3.1.2 Eingereichtes englischsprachiges Originalmanuskript

#### 3.1.2.1 Abstract

**Aims:** The purpose of this study was to investigate how performance of elite swimmers develop during one season from competition to competition. A small variability of performance has been suggested to correlate with superior competition results, which is why understanding the connection between performance and its variability is interesting for sports science researchers, coaches, and athletes alike.

**Methods:** We analysed all competitions of ten European Olympic medallists and nine German Olympic swimmers in an eight-month competition period culminating in the Rio Olympics in 2016. We analysed the variability in performance using the coefficient of variation (CV).

**Results:** We estimated CV's for German (0.68%) and European (0.52%) athletes, as well as for certain subgroups (sprinters (0.60%), middle distance athletes (0.45%), males (0.57%), females (0.40%). The variability decreased from the first section of the measurement to its end period by 71%.

**Conclusion:** We conclude that a small performance variability is an important indicator for peaking performance at the season's major event.

### *3.1.2.2 Introduction*

In many sports, it is very difficult to measure and compare the individual performance of an athlete objectively. An athlete in team sports is dependent on the performance of the team mates and in most individual sports external factors limit optimal performance such as weather conditions in track and field or the opponent in contact and racket sports. By contrast in swimming, we are able to measure competition performances in a highly objective manner. All international events are measured by automatic time-keeping systems. In official FINA (Federation Internationale de Natation Amateur) rules, competition pools for long course events are normed by exact 50.00 meters with a tolerance of 0.01 meters from touch pad to touch pad. Other conditions, like the temperature of the water and the depth of the pool are also standardized. This makes swimming an optimal sport for reliably and comparably measuring racing times. Taken together, due to the combination of a task that is straight forward to both execute and measure and a high level of standardization, swimming enables researchers to attribute results and athlete progression mostly to the performance of the athletes themselves and thus to easily compare athletes to one another.

Another feature that makes swimming an interesting research objective is that the gap between athletes to each other and to the world record times is small. Every international championship leads to new world records. Costa, Marinho, Reis, Silva, Marques, Bragada and Barbosa (2010) observed that there is permanent development in swimming performance. During the Rio 2016 Olympics, there were six world records in swimming compared to two world records in the running competitions in track and field. Both these sports have comparable numbers of events. Even some single events in swimming may be very close. For instance, in the 2016 Olympics men's two-hundred-meter breaststroke final, all eight athletes were within 0.88 seconds. This is 0.7% of the winning-time, or less than 1.4 meter converted to distance.

With increasing professionalism in sports, practitioners have tried to optimize training and competitions schedules. Nevertheless Summer Olympic Games is the most important competition in swimming.

Research interest in performance progression has increased markedly since the beginning of the 21<sup>st</sup> century. The variability of swim performances offers practitioners

useful insights into how champions are made, because “the variation in performance from race to race is an important determinant of an athlete’s chances of winning the race” (Pyne, Trewin, and Hopkins, 2004, p. 613). This “random variability of a single individual’s values on repeated testing is the standard deviation of the individual’s values” (Hopkins, 2000) and is measured as coefficient of variation (CV). Although performance variability is a crucial parameter in swimming, research on this topic is still in its infancy.

Of the few studies published to date Pyne et al. (2004) analysed performance variability in swimming over a 12-month period of time, measured at three major events. They found an improvement rate of 0.9% averaged over all athletes. Trewin, Hopkins, and Pyne (2004) compared FINA world ranking results with the results at the 2000 Olympics and found a within-athlete variability of 0.8%.

Third Stewart, and Hopkins (2000) investigated junior and professional athletes and found that faster swimmers were more consistent in their performance than slower ones. They proposed two explanations: “First, the faster swimmers may prepare for competitions more consistently and therefore compete more consistently. Second, the faster swimmers may have more competitive experience and may therefore select a pace closer to their optimum for a given stroke and distance” (p. 1001).

Finally, Costa et al. (2010) tracked the season’s best performance of top ranked free-style swimmers over a five-year interval to analyse their stability. They found a 0.6% - 1% improvement per season.

These four studies are limited in that they do not investigate performance variability over a continuous period of time but rather compare just a few fixed dates. Hence, it is difficult to draw conclusions as a coach or athlete for planning and peaking the season. An example for a study with a continuous measurement scheme is provided by Noordhof, Mulder, de Koning, and Hopkins (2016) who investigated performances of speed skaters. The authors looked at a continuous period of time and clustered results which are close (less than 14 days in between two competitions). They found that the race-to-race variability of an athlete ranged from 0.32% to 1.3% and that speed skaters were faster in competitions that are more important.

The purpose of the present study is to investigate how performances of elite swimmers develop during an eight-month period of time within one competition season. The

period of eight month equals the long course season in swimming. In general, it starts in January, after a short transition period past the major competition on short course (European or World Championships) in December. By analysing continuous periods of performances assessed in clusters, this study provides a more complete picture of athlete performance during the entire season. This will enable practitioners to design an optimized training and competition schedule around the major competitions in a season.

### *3.1.2.3 Methods*

#### *Data*

We selected all German swimmers who finished an individual event at the Rio 2016 Olympics and all individual athletes from other European countries who either won a medal at the Rio 2016 Olympics or won the FINA World Championships in Kazan 2015. If an athlete won more than one medal, we used data from his or her best event defined as the one at which the athlete won gold medals at the Olympics 2016 and World Championships 2015. We filtered this set of athletes to only include those who competed in seven or more events during the long course season (January through August) 2016. A minimum of six competitions per athlete, in addition to the Olympics, was necessary to include every athlete in every cluster (see below). The final dataset includes 19 athletes, all stroke types, and Olympic distances from 50 to 400 m on long course in 155 single performances from all over the world. Those 19 athletes are divided in different subgroups. We merged in total six female and thirteen male athletes. For another subgroup, we merged all 50m and 100m athletes together (short distances) as well all 200m and 400m athletes (middle-distance). In total this investigation included eight short distance athletes and eleven middle distance athletes. The distances included compare well to other individual endurance sports. Swimming competition times are publicly available so that no consent was obtained from individual athletes. The ethics committee of the Institute of Sport Science at the University of Kiel accepted and has approved this investigation. We downloaded all data from [www.swimrankings.net](http://www.swimrankings.net).

### *Experimental design*

We analysed past competition results of the study participants. For measuring the coefficient of variation, we followed Trewin et al. (2004). They described the within-athlete CV as “the random variation in performance between competitions for a group of swimmers” (p. 340).

In a first step, the within-athlete CV’s of all results during this period of time were analysed, followed by analysis of different subgroups including nationality, distance, and sex. We focussed our investigation during the eight-month period of time on similarities, differences and individual specifics. We wanted to see if competitions were planned similarly in different nations and different athletes.

In a second step, we wanted to see if the final weeks of the eight-month training cycles we investigated in the first step, were the most important. Therefore, we split those eight months into three sections of ten weeks each and clustered competitions. A fourth sections with weeks 31 and 32 include only one competition, the Olympics. Because there were no competitions close to the Olympics and the special value of the Olympics, we made this classification. Figure 1 shows all competitions of all nineteen athletes. The eight-month period of time this research includes comprises 32 weeks (Figure 1).

\*\*\*\*Figure 1 near here\*\*\*\*

To cluster competitions results, we put all those races into one cluster, where the time interval between consecutive races was less than 14 days (grey in Figure 1, Noordhof et al., 2016). Competitions with more than two weeks in between were treated as single events or groups of events. An example of competitions with two or more weeks in between is shown at “Athlete 1” with an arrow (Figure 1). Some athletes had no clustered competitions at all, like “Athlete 9”.

We then analysed if the within-athlete cluster CV was different over the three sections and compared to the overall within-athlete CV. We also investigated if the within-athlete CV in clusters was different going closer to the Olympics. This should help us to investigate how meaningful the results of each cluster are.



To compare clustered results of different sections, we assigned clusters to three sections (1-3, Figure 1). In the case of a cluster overlapping two sections, clusters were assigned by their midpoint. In the case when there was more than one cluster in one section, clusters were assigned to neighbouring clusters (cluster 2 of Athlete 1 and cluster 2 of Athlete 16).

### *Statistical analysis*

Before we examined the CV's, we checked if using a linear mixed model (LMM) with the full information maximum likelihood estimator was more appropriate for our data than general linear models by calculating intra-class correlations. We tested three different mixed models against each other and decided to use the random intercept constant slope model (RICS).

We used mixed models, because those are often used to measure inter and intra subject variability. Here, we followed the recommendations of Tabachnick and Fidell (2013) and first examined null models for each task with no predictors. According to Hox, Moerbeek and van de Schoot (2010) the intra-class correlation should be interpreted as large for each task (ICC =.99) indicating that a high percentage of the total variance was explained by the difference between our participants and warranting LMMs with random effects to be more appropriate for our data than general linear models.

To examine the variability of competition results during the eight-month period of time with LMMs, we followed the statistical design by Noordhof et al. (2016). Estimating the practical significance of observed effects addresses a potential limitation of statistical significance testing, where an outcome is declared as non-significant but is of sufficient magnitude to be practically or clinically important. In a first step, we calculated several LMMs for the variation of performance to examine the within-athlete CV with the week of the competition as independent variable. Following Trewin et al. (2004) we calculated the dependent variable as 100 times the natural logarithm of race time, which produces results approximately in percent. First, we separately analysed the variability of different sexes, distances and nationalities. Second, we measured the variability of clusters. Our results showed that models with random intercept constant slope were the most appropriate for all measurements. For this analysis, it is irrelevant whether an

athlete performed better or worse. The interesting information is the value of the deviation.

When comparing, and estimating the trend of the athletes during this time period towards the Olympics, we set the fastest time of the seven week cycles to one-hundred percent and estimated deviations from there.

All statistical analysis and figures were done using R Studio (Version 1.0.153) and Microsoft Excel.

### *3.1.2.4 Results*

#### *Variability of Performances*

We first compared different groups of athletes for their within-athlete CV (Table 1). The overall variability of all German athletes was 0.68% (n= 9) while the variability of the other European athletes was estimated to be 0.52% (n= 10). The within-athlete CV of sprinters (50 and 100 metre swimmers) was bigger (0.60%, n= 8) than the within-athlete CV of the 200 and 400 metre middle distance swimmers (0.45%, n= 11). We estimated a larger within-athlete CV of 0.57% for male swimmers (n= 13) than for females (0.40%, n= 6).

Looking specifically at the subgroups, it appears that German athletes, sprinters and male athletes all have a higher variability than their comparables (other European athletes, middle distance athletes and females). Surprisingly the gap between the opponents in each subgroup was very close (0.15% in sprinters vs. middle distance athletes to 0.17% males vs. females).

\*\*\*\*Table 1 near here\*\*\*\*

Looking more specifically into the competition schedule in Figure 1, there are various differences between athletes in the different sections. Section 1 and section 3 had a similar amount of competitions (49 competitions in section 1 and 47 in section 3) and both more than section 2 (40 competitions). The amount of competitions also affected the number of clusters in all sections, although the number of clusters deviates much

more. While sections 1 and 3 again had similar numbers of clusters, section two had only the half number of clusters (Tab. 2).

\*\*\*\*Table 2 near here\*\*\*\*

Nine out of ten athletes of the other European countries competed at the European Championships. Three of them made their best pre-Olympics results there. All other European athletes made their best competitions at the national championships which serve as trials for the Olympics. Every nation made their trials in a different week between week 13 and 22. German trials were split into two competitions. The first one was in week 18, in the middle of the other European trials and the second one was in week 27, five weeks before the Olympics. Eight of nine German athletes performed best at one of those two qualification events, but only two athletes were able to increase their performance at the Olympics. In contrast, eight out of the ten European athletes were able to increase their performance at the Olympics. There were also weeks, where a few athletes competed at the same day or event like in weeks 4, 9, 20 and 23. In contrast there were also weeks without any competition like weeks 12 or 29 to 31.

Only two athletes competed very frequently over the entire eight months. The data of those two athletes are very interesting, because they had also the highest volume of competitions during the eight month time period. We are therefore able to get a good understanding of their performance. Those two athletes competed 14 times each in 32 weeks respectively. Over all competitions, their performances changed in less than 1.8% (Figure 2). The two distributions have different shapes. The results of Athlete 2 are quite evenly spread around the median. Athlete 1 had a number of slower results, generating a tail to the distribution, while many of his fastest results cluster closely together with the median.

\*\*\*\*Figure 2 near here\*\*\*\*

Both athletes ranked top three in the FINA world ranking in all disciplines in which they started at the Olympics. Although their performances during the season were

comparable, their results at the Olympics were strikingly different. One athlete won three gold medals and one silver medal (Athlete 2) whereas the other athletes (Athlete 1) finished seventh in his only competition. The main difference between those two athletes was in the progression. The Olympic champion swam faster during the Olympics than at any other time during the eight-month measurement period. The second athlete was not able to improve the performance. Compared to the fastest time before, the Olympic champion improved by 0.56%, while the other athlete decreased by 0.24%.

#### *Variability of clusters in different sections*

The within-athlete cluster CVs over all athletes of the sections are shown in Figure 3. The variability of section 1 is very similar to the measured variabilities in the analyses above. Section 1 includes the results all athletes during the first third of the eight-month period.

\*\*\*\*Figure 3 near here\*\*\*\*

Interestingly the variability of section 2 is nearly half of the variability of section 1 (0.31% to 0.55%). The variability of section 3 is again smaller than the variability of section 2 (0.31% to 0.21%). The performances in section 3 are more than twice as constant as in section 1 (Tab. 2). Overall, performance variability decreased steadily throughout the season.

#### *3.1.2.5 Discussion*

In this study, we tracked performance variability of swimming athletes over the course of one competition season. We focussed only on the Olympic season, because results are getting more consistent going closer to the Olympics (Costa et al., 2010). The main finding of our study lends further support to that finding within one season as well. We found that the within-athlete CV decreases over time towards the peak of the season. Importantly, those athletes that stabilize their CV most, end up being more successful than those athletes with higher variance at the season's end. In addition, we have estimated a within-athlete CV of 0.52% for European medallist athletes and 0.68% for

German athletes. Although the variability between the German athletes and the European medallists is not that large, it may indicate a difference in success, Olympic medallists from many European countries excluding Germany had a smaller variability than the German athletes. This finding again indicates that the variability is one predictor for this success and that a larger variability could be one reason why no German athlete was able to win a medal. This conclusion is supported by the results of Stewart and Hopkins (2000), showing that more successful swimmers had more constant results than their competitors.

Similarly, to the variability we measured, Pyne et al. (2004) found that the variation of performance between competitions was 0.8 %. It indicates that athletes are within one season are more stable than from one major event to another. Because a small variability is a determinant for success, this finding underlines the importance of a small variability from competition to competition within one season. In addition, Macata and Hopkins (2014) showed in a systematic review that in many sports, variability has a huge impact. In total, they included 16 investigations in their study and found that some investigations on variability also measured predictability. Indeed, we found that more successful athletes had a smaller within-athlete CV and that the within-athlete CV overall athletes were getting smaller towards the final section close to the major competition. Further investigation could be focus on predicting results via the variability.

As illustrated in Figure 3, the within-athlete CV's decrease from section to section as would be expected for athletes preparing to peak at the main event at the end of the season. The mean CV over those three sections was 0.36% which is similar to the results from Noordhof et al. (0.47%; 2016). Successful season planning and preparation should lead to an increase in performance which we see reflected in lower CVs as time progresses through the season. The regression of the within-athletes over the clusters might underline the assumption, that the last (here, third) period is the most important in stabilizing and peaking an athlete's performance. The overview of Figure 1 lead to hypotheses how high performance athletes plan their training. In section two we found the smallest number of competitions, but most athletes made their fastest time before the Olympics in section 2. This finding suggests that athletes need to be prepared for best performances. Because we had no additional training data, we can only assume that the small number of competitions in contrast to the highest number

of seasonal best ahead the Olympics is based on a training strategy in high performance athlete. In addition to that we found in weeks 4, 9, 20 and 23 ten or more athletes competed at the same time. There seemed to be interesting events in those weeks for coaches to peak the performance of their athletes. In week, 4 most athletes competed at the same event. At an international competition where most European athletes start into the long course season. The European championships took place in week 20. It was the first major event for European athletes in 2016. In weeks 9 and 23, there were also high level competitions. Therefore, they may represent a good opportunity to simulate a major event for coaches and swimmers. In contrast, during the final weeks before the Olympics (week 29 to 31) no athletes competed anywhere at all. This fact suggests that those weeks were important for final preparations. Usual training strategies in swimming are still based on 8-16 week cycles (Hellard, Scordia, Avalos, Mujika and Pyne, 2017). This is in line with the fact that we found the fastest time ahead the Olympics was measured in the second section.

Another interesting finding in this investigation was that two athletes out of the participants showed a very individual approach of planning their competition. They competed in more than ten competitions during the season and their results are in a small range of less than 1.8%. Compared to all other athletes this amount of competitions was an outstanding performance. This high amount of competitions indicates that the competitions are integrated into the peaking process like Tønnessen et al. (2014) showed, but this strategy lead to very different results in both athletes. One athlete became Olympic Champion and the other athlete was not able to reach the personal best at the Olympic final. In research, there are few investigations on the development of performances during one season. For example a retrospective study by Suslov (2001) found a few stable performances in track and field during the 1990s. Sergey Bubka, long time world record holder in pole vault is one of those athletes. In a nine-month period of time Bubka “took part in a number of competitions and his results ranged from 92% to 100% of personal best” (Issurin, 2010). Issurin (2008) asserts that such performances requested a different training approach, because such a performance would not be possible with a traditional periodization design. Already Kalinin and Osolin (1974) defined performances in a 2% range of the best time as a criterion of the so called “sporting form”, when they investigated ten competition periods of the world’s

best middle distance runners all over the world. They reached this conclusion, because nearly half of all performances were in this 2% area. Compared to our results all competition results are in this 2% range, but not all results have been performed in the best shape. In contrast, our results show that it is possible to reach a lot of results with a variability of less than 1% during an eight-month period of time. This again leads to the conclusion that variability is an important performance indicator and performance predictor.

#### *3.1.2.6 Conclusion*

In sum, this paper points out the importance of a small variability in swimming. For peaking the performance, our data suggest that it is necessary to decrease the variability to a minimum. For winning a medal at a major event, we can conclude that it is important to show stable performances before. A small performance variability is an important indicator for peaking performance to the major event of a season.

#### *3.1.2.7 Acknowledgements*

I would like to thank Lukas Mundelsee for the intense discussions about the results. Many thanks to Severin Uebbing for comments on earlier versions of the manuscript.

#### *3.1.2.8 Disclosure statement*

The authors declare no competing interests.

### 3.1.2.9 References

- Costa, M. J., Marinho, D. A., Reis, V. M., Silva, A. J., Marques, M. C., Bragada, J.A., & Barbosa, T.M. (2010). Tracking the performance of world-ranked swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9, 411-417.
- FINA [http://www.fina.org/sites/default/files/fina\\_certificate\\_fr3.pdf](http://www.fina.org/sites/default/files/fina_certificate_fr3.pdf) (last access 18.7.2017)
- Hellard, P., Scordia, C., Avalos, M., Mujika, I. & Pyne, D. B. (2017). Modelling of optimal training load patterns during the 11 weeks preceding major competition in elite swimmers. *Appl Physiol Nutr Metab.*, 42(10):1106–1117.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Medicine*, 30, 1-15.
- Hox, J. J., Moerbeek, M., van de Schoot, R. (2010). *Multilevel Analysis: Techniques and Applications*, Second Edition (Quantitative Methodology Series). New York: Routledge
- Issurin, V. B. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *The Journal of Sports Medicine and physical fitness*, 40 (1) 65-75.
- Issurin, V. B. (2010). New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization. *Sports Medicine*, 40 (3), 189-206.
- Kalinin, V. K., & Ozolin, N. N. (1974). Zur Struktur der Wettkampfperiode. [Structure of a competition period]. *Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury*, Moskau 37 (1974), 2. Translated to German by Peter Tschiene (1975).
- Malcata, R. M., Hopkins, W. G., Variability of competition performance of elite athletes: a systematic review. (2014). *Sport Med.* 44 (12): 1763-1774.
- Noordhof, D. A., Mulder, R. C. M., de Koning, J. J., & Hopkins, W. G. (2016). Race Factors Affecting Performance Times in Elite Long-Track Speed Skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 535-542.
- Pyne, D. B., Trewin, C.B., Hopkins, W.G. (2004). Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 22, 613-620.



- Tønnessen, E., Sylta, Ø., Haugen, T.A., Hem, E., Svendsen, I.S., and Seiler, S. 2014. The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One*, 9(7): 1–13.
- Stewart, A.M., & Hopkins, W.G. (2000). Consistency of swimming performance within and between competitions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 997-1001.
- Suslov, F.P. (2001). Annual training programs and the sport specific fitness levels of world class athletes. In: Annual training plans and the sport specific fitness levels of world class athletes. URL: [http://www.coachr.org/annual\\_training\\_programmes.htm](http://www.coachr.org/annual_training_programmes.htm) (last access 14.08.2017)
- Tabachnick, B. G., Fidell, L. S. (2013). Using multivariate statistics. Harlow, United Kingdom: Pearson Education Ltd.
- Trewin, C. B., Hopkins, W. G., & Pyne, D. B. (2004). Relationship between world-ranking and Olympic performance of swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 22, 339-345.

### 3.1.2.10 Tables and Figures

Table1: Within-athlete CV's of different subgroups

Athlete group	N	Within-athlete CV
German athletes	9	0.68%
European athletes	10	0.52%
sprinters	8	0.60%
middle distance athletes	11	0.45%
male athletes	13	0.57%
female athletes	6	0.40%

Table 2: Within-athlete cluster CV's of different sections

	N of clusters	Within-athlete CV
cluster Section 1	11	0.55%
cluster Section 2	6	0.31%
cluster Section 3	13	0.21%

Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Athlete 1				x	x			x	x	x			x				x	x		x		x	x			x							OG
Athlete 2				x				x	x								x	x		x		x	x		x	x							OG
Athlete 3				x					x					x			x					x	x				x						OG
Athlete 4								x						x			x					x	x	x				x					OG
Athlete 5				x					x					x			x					x	x				x						OG
Athlete 6				x				x	x								x					x	x										OG
Athlete 7				x					x		x						x	x		x			x										OG
Athlete 8								x	x									x				x	x					x					OG
Athlete 9				x						x					x			x					x					x					OG
Athlete 10		x	x	x	x					x						x	x			x		x	x	x				x					OG
Athlete 11		x		x	x					x										x			x					x					OG
Athlete 12			x												x					x			x	x			x						OG
Athlete 13			x							x					x					x			x					x					OG
Athlete 14			x							x					x					x			x	x									OG
Athlete 15				x	x					x					x					x							x						OG
Athlete 16				x		x			x	x					x													x					OG
Athlete 17										x							x	x					x	x					x				OG
Athlete 18								x	x						x					x		x						x					OG
Athlete 19								x	x						x					x			x					x					OG

Figure 1

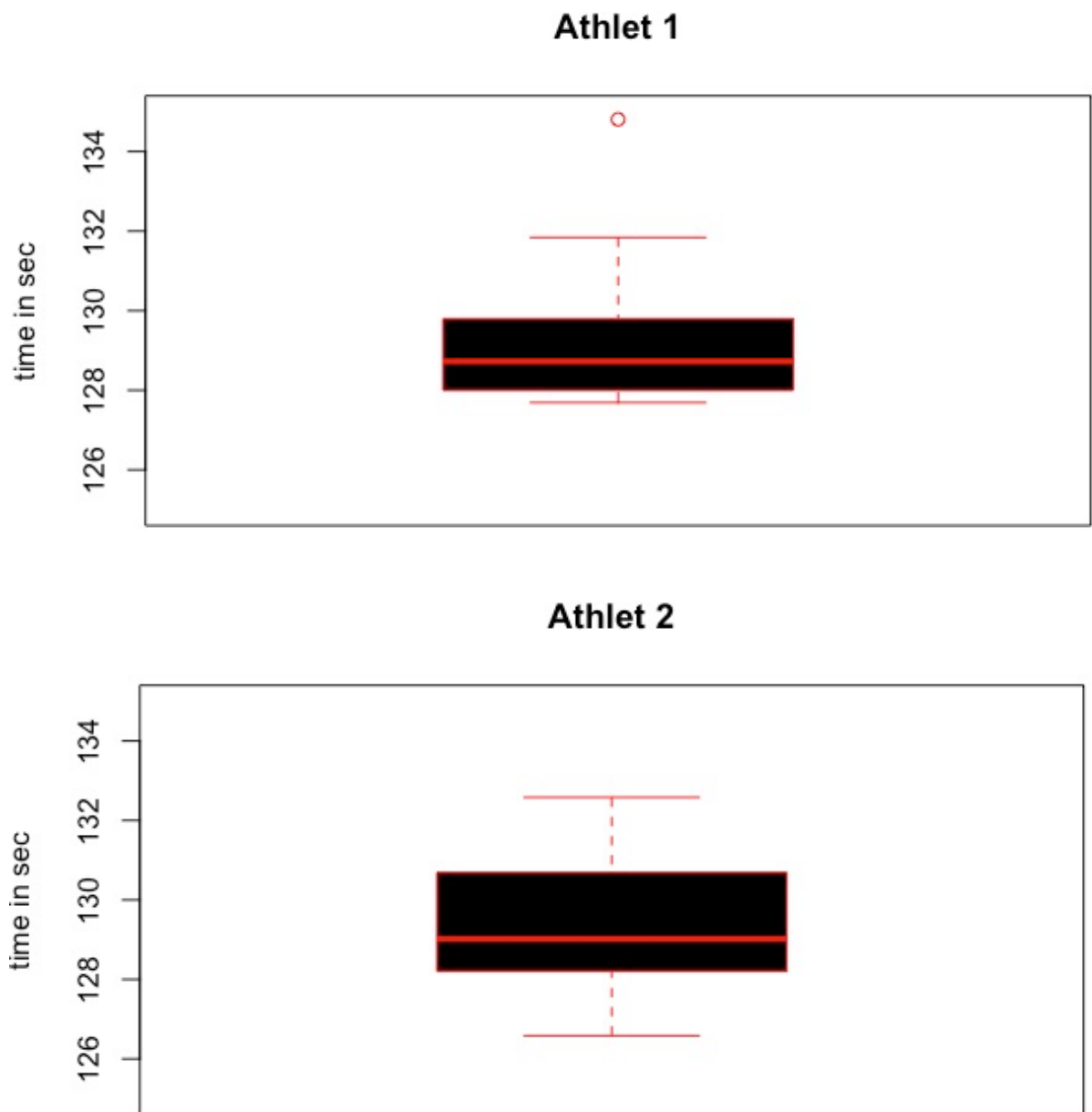


Figure 2

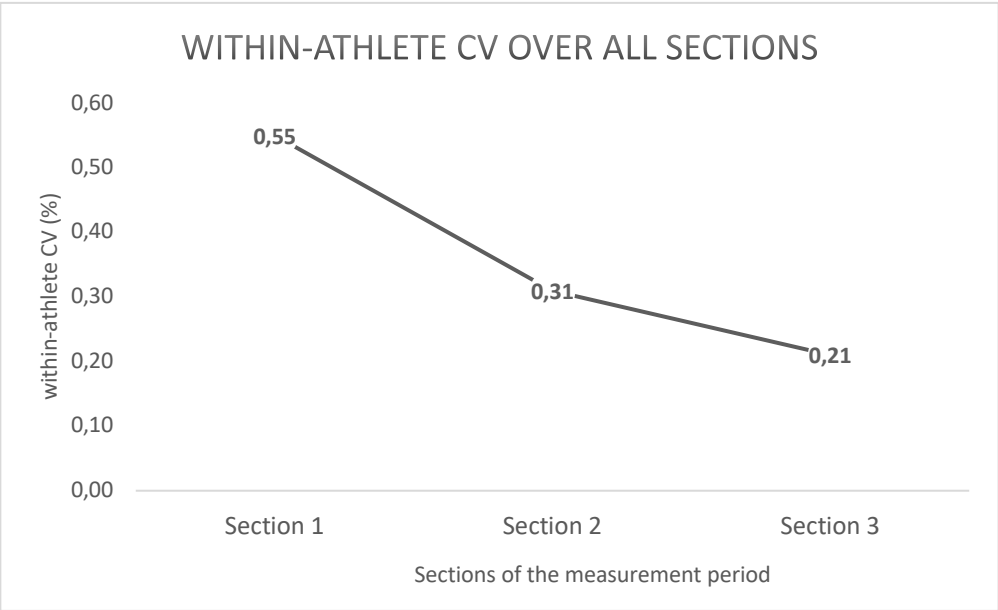


Figure 3

### 3.1.2.11 Figure captions

Figure 1: Competition schedule for all athletes in the study. The header row indicates the week number. The first 30 weeks are divided into three sections, indicated by solid lines. Each athlete is represented by a row, in which crosses indicate weeks with competitions. Weeks connected into a common grey painted area form a cluster, i.e., competition streaks with less than 14 days of a break in between. Competitions separated by more than two weeks were treated as independent events as indicated by the arrow in row 1.

Figure 2: Comparison of the distribution of race times of two frequent competitors. Boxes show the interquartile range with the median shown in red. Error bars show 1.5 times the interquartile range or the maximum of the distributions, whichever is smallest. Measures outside the interquartile range are shown as outliers.

Figure 3: The within-athlete cluster CV overall athletes decreases over three sections.

## 3.2 Publikation II

### **Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers**

Title: Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers

Christoph Clephas<sup>1</sup> and Pro Stergiou<sup>2</sup> and Larry Katz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Sport Science, Christian-Albrechts-University Kiel, Germany

<sup>2</sup>Canadian Sport Institute, Calgary

<sup>3</sup>University of Calgary

Corresponding Author:

Christoph Clephas

christoph.clephas@email.uni-kiel.de

Keywords: coefficient of variation, Paralympic sport, swimming starts, force measurements

Das Manuskript wurde im November 2018 vom *Journal of Human Sport & Exercise* akzeptiert. Der überarbeitete und formatierte Originalartikel ist unter folgender doi abrufbar.

doi: 10.14198/jhse.2019.143.14

Quelle: Clephas, C., Stergiou, P., & Katz, L. (2018). Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers. *Journal of Human Sport and Exercise*, in press.



### *3.2.1 Einordnung und deutsche Zusammenfassung*

Nachdem die Ergebnisse von Trewin *et al.* (2004) sowie Pyne *et al.* (2004) in der ersten Veröffentlichung mit aktuellen Wettkampfergebnissen bestätigt werden konnten und die Idee der Leistungsvariabilität erfolgreich auf viele Wettkämpfe innerhalb einer Saison übertragen werden konnte, erfolgt in der zweiten Veröffentlichung „*Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers*“ die Prüfung leistungsbestimmender Teilleistungen. Diese zweite Veröffentlichung soll die Leistungsvariabilität des Startsprungs mit der Leistungsvariabilität von Wettkampfleistungen in Verbindung bringen und deren Zusammenhang prüfen.

#### *3.2.1.1 Einleitung*

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Zusammenhang zwischen der Variabilität der Startleistung und der Gesamtvariabilität eines Rennens bei paralympischen Athleten zu analysieren. Fulton *et al.* (2009) wiesen vergleichbare Werte in der Leistungsvariabilität bei paralympischen Sportlern mit geringeren Beeinträchtigungen nach. Ebenfalls bei paralympischen Athleten wiesen Daly, Malone, Smith, Vanlandewijk und Steadward (2001) eine enorme Relevanz der Startleistung über kurze Schwimmstrecken nach. Die beiden genannten Studien stellten die Grundlage der Forschungsfrage dar.

#### *3.2.1.2 Fragestellung und Hypothesen*

In dieser Studie soll geprüft werden, wie die leistungsbestimmenden Faktoren der intraindividuellen Leistungsvariabilität von Wettkampf zu Wettkampf mit dem Startsprung zusammenhängen. Ebenso soll die Variabilität des Startsprungs geprüft werden, um Rückschlüsse über den Zusammenhang der Variabilität des Startsprungs im Verhältnis zur Gesamtvariabilität des Rennens zu ziehen.

#### *3.2.1.3 Methode*

Zwischen 2010 und 2014 wurden  $N = 11$  kanadische paralympische Schwimmer retrospektiv untersucht. Über fünf Saisons wurden insgesamt 231 Wettkampfdaten sowie 321 Daten aus leistungsdiagnostischen Trainingsanalysen ausgewertet. Die Daten aus den Leistungsdiagnostiken beinhalteten Informationen zur 5 m Zeit sowie Kraftmessungen auf dem Startblock. Als Wettkampfdaten lagen alle Ergebnisse über

100 m Freistil zwischen 2010 und 2014 inklusive der paralympischen Sommerspiele von London 2012 vor. Es wurden die Variabilität für die verschiedenen Parameter (Startkraft, 5 m Zeit, Endzeit) als Variationskoeffizienten ausgedrückt. Als weiterer Indikator wurde die Korrelation zwischen der Startleistung in der Leistungsdiagnostik und der Wettkampfzeit berechnet.

#### *3.2.1.4 Ergebnisse*

Die intraindividuelle Leistungsvariabilität der kanadischen Athleten betrug bei allen Wettkämpfen pro Saison 2,6 %. Die Variabilität der Startleistung bei den Leistungsdiagnostiken betrug 18,2 %. Zudem wurde eine Korrelation von  $r^2 = 0,57$  zwischen diesen beiden Parametern gemessen. Starke Korrelation konnte zwischen der Steigerung in der Startleistung und der 100 Meter Rennleistung nachgewiesen werden ( $r^2 = 0,78$ ). Darüber hinaus wurde eine Leistungssteigerung über den gesamten Messzeitraum von insgesamt 6,4 % gemessen.

#### *3.2.1.5 Diskussion*

Die Studie zeigt eine moderate Korrelation zwischen der Variabilität der Startleistung, gemessen als 5 m Leistung bei einer Leistungsdiagnostik und der Variabilität der Wettkampfleistung über 100 m Freistil. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass auch die Variabilität von Trainingsdaten, wie beispielsweise bei Leistungsdiagnostiken einen nennenswerten Effekt für Leistungsschwankungen bei Wettkämpfen haben. Somit eignen sich diese als zusätzliche Indikatoren.

## **3.2.2 Eingereichtes englischsprachiges Originalmanuskript**

### *3.2.2.1 Abstract*

The purpose of this study was to investigate the relationship between the variability of the 100m freestyle final race time to start performance in a population of Paralympic swimmers using the coefficient of variation (CV). A secondary purpose of study was to investigate the correlation between start performance and competition results in this population of athletes. A total of 321 data points were collected on start performances and 231 data points were collected from competition results. It was found that there was a within-athlete CV in final times of 2.6% and a within-athlete CV in start performances of 18.2%. These two parameters were moderately correlated having an  $r^2$  of 0.57. The athletes improved their performances across five-consecutive seasons by 6.4%. In addition, it was found that a strong correlation existed between the 5m start time compared to the final race time in the 100m freestyle ( $r^2=0.78$ ). The results showed that the variability of start performance was moderately correlated to the variability of the final times and there was a strong correlation between start performance and competition results.

### *3.2.2.2 Introduction*

It is commonly understood by coaches and athletes alike that the start of a swim race is an important factor in the overall performance of a race. This topic has been given little attention in Paralympic swimming. Daly and colleagues (Daly, et al., 2001) described the ratio of different parameters like start, swimming or the turn of a swim race and demonstrated a positive relationship between the start and the swimming speed. Over all disability classes and in freestyle breaststroke and butterfly they found a correlation of .67. In freestyle, the highest correlation was found between the start speed and final time in freestyle for the disability classes S6 (.83) and S4 (.82) (Daly et al., 2001). The classification system in swimming contains 14 different disability classes. Locomotor impairments includes classes 1 (highest disability class) to 10 (lowest disability class). From class 11-13 the athletes have visual disabilities and in class 14 athletes have a intellectual disabilities (Dingley, Pyne, Youngson, Burkett, B., 2015). As freestyle is the most common stroke and is the easiest to learn, it is used to make comparisons between Paralympic swimming athletes in different disability classes (Daly, 2001). Different disability classes were compared to each other, because we want to see if there a different impact on different classes. In addition to this, there is only a small amount of high performance athletes per disability class competing for one nation, compared to abled body athletes.

In 2010, the new Omega OSB 11 starting block was approved for use in competition by the Fédération Internationale de Natition (FINA). Since then all international competitions are done with this start block. Tor, Pease & Ball (2014) showed that this block can help athletes gain an advantage in start performance time. Also, Honda, Sinclair, Mason & Pease (2010) showed that the new kick plate of the Omega starting block helped athletes increase their start performance in 5m-times. They measured significantly faster 5m ( $p=0.002$ ) and 7.5m times ( $p=0.0032$ ) (Honda et al., 2010). New technology in start platforms and higher training loads indicates that start and final times are still highly correlated.

Start performances are understood to be valuable indicators to overall race performance. Arellano, Brown, Cappaert & Nelson (1994) showed that there is a significant

correlation between start performance expressed as 10m-time and the turn in, measured as the final 7.5m into the wall. They measured a correlation coefficient of .93 in men's and .90 in women for 100m freestyle events. Mason and Cossor (2000) also found high correlations between start performances and 50m times in their competition analysis of the Pan Pacific swimming championships (.84 for both sexes). The above studies show the importance of the starts to overall race results and thus the importance to understand the factors associated with starts. In addition to start times, force plate measurements have been used to assess performance in swimming. For example, Silveira et al. (2018) found that the block and flight time together, as well as the block time and the flight distance together, were very good predictors for the start performance. From these data, impulses were calculated under each foot as the product of horizontal force by time. This provided a measured impulse (Nm) under each foot.

A second objective of this study was to investigate the variability of start performances expressed as the within-athlete variability. The variability is expressed as the coefficient of variation (CV) and has been measured in single events for Paralympic swimmers (Daly, Djobova, S. K. Malone, Vanlandewijck, Steadward, 2003) and able-bodied swimming and other individual endurance sport (Malcata & Hopkins, 2014) previously. In high performance swimming, within- athlete variability of competition results is an important factor, where less variability was related to better performance and was a good predictor of success in the next race (Pyne, Trewin & Hopkins, 2004). A previous within-athlete comparison of the 100m freestyle event found a variation of 1.2% to 3.7% in different disability classes (Fulton, Pyne, Hopkins & Burkett, 2009). This variation is higher than in able bodied athletes. Pyne et al. (2004) found a within-athlete variability of 0.6% to 1.0% for different strokes and distances. To the authors' knowledge, this is the only investigation looking specifically into the within-athlete variability in different disability classes for more than one competition in Paralympic swimming.

Because these investigations showed that a low variability is a good predictor for success in swimming and the huge impact on the start performance, it is interesting to

investigate how the variability of the swimming start interacts with the overall variability of a race. Start performances in swimming are so important to the overall performance and can be easily measured, this investigation can provide additional information on the variability. To the knowledge of the authors, there are no published investigations examining variability in swimming start performance and variability's relationship to overall performance of Paralympic athletes. Therefore, the purpose of this investigation was twofold. First, to investigate if there is a correlation between variation in start performance and variation in the overall performance of Paralympic swimmers. Second, it was hypothesized that the horizontal impulse, which is related to the final horizontal velocity of the athlete, will be related to a better start performance, and to overall performance.

### *3.2.2.3 Materials and methods*

#### *Participants and Measures*

Eleven Paralympic athletes participated in this study from 2010-2014. Seven female and four male athletes with disability rankings ranging from S6-S10 participated (see Table 1).

Every 100m freestyle long course competition result over the five consecutive seasons were sourced from the public domain *SWIMRANKINGS* ([www.swimrankings.net](http://www.swimrankings.net)). Split time data was not available at every competition over the study period. In total, we sourced 231 data points from competition data. Additionally, 321 data points from start analysis during 2010-2014 were collected.

\*\*\*\*Table 1 near here\*\*\*\*

#### *Procedures*

In order to assess start performances, force and video data were collected on all 11 athletes during various training sessions by the authors. Pasco force plates sampling at 1000Hz (PS-2142, Pasco Scientific Inc., USA) were mounted to a start block and used to collect vertical and horizontal forces under each individual foot as each athlete performed their start (Figure 1). Pasco force plates were validated for use in a

swimming environment, demonstrating very good measurement of horizontal impulses (Silveira, 2017).

\*\*\*\*Figure 1 near here\*\*\*\*

Additionally, video cameras collected information related to time to 5m. An over water video camera was used to determine the start, via a light flash from a start gun, and a synchronized underwater camera was used to record video and determine when the athlete crossed the 5m point in the water. The performance time was recorded from the video cameras.

This study was approved by the ethics committee of the Faculty of Kinesiology at the University of Calgary and was conducted in accordance to the standards set by the Declaration of Helsinki.

### *Analysis*

Variability of performance was calculated using the CV. The CV was calculated as the standard deviation of performance time, represented as a percentage of the mean performance time (Trewin, Hopkins & Pyne, 2004). We measured three different CVs on individual athletes:

- $CV_{\text{final}}$  = CV of total swimming time per season (%)
- $CV_{\text{split}}$  = CV of the 50m split time per season (%)
- $CV_{T5}$  = CV of the 5m time per season (%)

To obtain the most accurate  $CV_{\text{final}}$  results, we only included athletes who competed in at least five competitions per season. Only athletes with at least four split time results were included in analysis of  $CV_{\text{split}}$ . For  $CV_{T5}$  only those athletes were included with at least two start analyses in one season within a minimum of ten trials per season. In total,  $N=26$   $CV_{\text{final}}$ ,  $N=10$   $CV_{\text{split}}$  and  $N=12$   $CV_{T5}$ . In  $CV_{\text{final}}$  and  $CV_{T5}$  we had some athletes who reached those criteria's for more than one season. In contrast in  $CV_{\text{split}}$  not all athletes had a minimum of one season reaching the criteria.

To calculate the progression from year to year, we took the fastest split time and the fastest final time in competition results per season and measured the development

from year to year. In an additional measurement, we calculated the correlation between  $CV_{\text{final}}$  to  $CV_{T5}$ . For this analysis, we included only athletes with at least five competitions during one season and two performance analyses with a minimum of ten trials (N=7).

The following variables were extracted to measure the correlation between the performance analysis of the swimming start and the competition result:

- T5 = 5m start times (s)
- FT = total or final race time (s)
- ST = 50m split time (s)
- TOTimp = total horizontal impulse of force under both feet (N.s)

We calculated the r-square correlation of the following six comparisons:

- T5 to FT
- T5 to ST
- ST to FT
- TOTimp to T5
- TOTimp to ST
- TOTimp to FT

All calculations, tables and graphs were calculated by Microsoft Excel version 15.28 and R-studio version 1.0.155. To pick the right data in R-studio, we used the dplyr-package and sorted our data by the needed parameters.

### *3.2.2.4 Results*

#### *Variation of performance and correlations*

Over five consecutive seasons, the within-athlete  $CV_{\text{final}}$  was 2.6% (N=26), the within-athlete split times ( $CV_{\text{split}}$ ) was 2.1% (N=10). Within-athlete start times ( $CV_{T5}$ ) was 18.2% (N=12). We found a moderate correlation between  $CV_{\text{final}}$  and  $CV_{T5}$  of 0.57.

\*\*\*\*Figure 2 near here\*\*\*\*



Looking specifically into the different disability classes (Table 2), the S6 athlete (n=1) had a higher within-athlete  $CV_{\text{final}}$  (4.5%) than S7 athletes (3.5%, n= 2), S8 athletes (2.3%, n= 3), S9 athletes (3.3%, n= 1), S10 athletes (1.7%, n= 3) and S13 athletes (3.1%, n=1).

\*\*\*\*Table 2 near here\*\*\*\*

#### *Correlation between start analysis and competition results*

Table 3 gives an overview of all six-measured correlations. All calculated  $r^2$  correlations were at least moderate. The highest  $r^2$  relationship was between ST and FT (.99). Also, high  $r^2$  values were found between T5 from a performance analysis and ST in competition ( $r^2=0.81$ ), as well as in T5 from a performance analysis and FT in competition ( $r^2=0.78$ ). Two other indicators were highly correlated: TOTimp measured and ST from competition data ( $r^2=0.70$ ); and TOTimp and FT in competition ( $r^2=0.69$ ). Lowest but still moderate correlations were measured for the performance analysis in TOTimp and T5 ( $r^2=0.55$ ).

\*\*\*\*Table 3 and Figures 3a to 3c near here\*\*\*\*

#### *Progression of race performances*

On average, all athletes improved their final competition performance in 100m freestyle by 6.4% (+/- 6.4) over the measurement period. Split times also improved by 5.7% (+/- 6.2). Looking more specifically from season to season, it was seen that the results from 2010 to 2011 and from 2011 to 2012 increased towards the major competition, the 2012 Paralympic Games in London. The first season after the Paralympic Games split times decreased, and final results were not improved over the Paralympics year. In the 2014 season, athletes showed improvements again.

\*\*\*\*Table 4 near here\*\*\*\*

In addition, the following average of competitions per athlete per season were included in analysis by year: 2010, 3.3; 2011, 5; 2012, 5.3; 2013, 3.3; and 2014, 4.5. 2012 was the year of the Paralympic Games, hence the higher number of competitions.

### *3.2.2.5 Discussion*

This investigation looked into different within-athlete CV's and their correlation as well as the impact of the start in Paralympic swimming. The main finding is the moderate correlation between the  $CV_{\text{final}}$  and the  $CV_{T5}$  (0.57). The  $CV_{T5}$  is much bigger than the within-athlete CV in able-bodied swimmers (Trewin et al. 2004 and Pyne et al. 2004). The high  $CV_{T5}$  is possible for two reasons. First, the  $CV_{T5}$  is an interval of only a few seconds, where a bad trial in start analysis has a larger influence on variability than would a final time, which can be longer than one minute. The second reason lies in the measurement of T5. T5 measurements were done with an underwater camera at different venues. The 5m indicator was marked on the rope between the lanes, noted by a change in colour. The constant movement of the rope with the shifting water may reduce the reliability of the camera measurement. We tried to minimize the effect of rope movement by including at least ten trials for each athlete. In future investigations, it will be important to conduct all measurement at the same venue, or mark the five-meter point independently from the swimming rope.

This study also showed that the within-athlete CVs of Paralympic athletes is much larger than in research related to able-bodied Olympic athletes (Pyne et al., 2004 and Trewin et al, 2004). Fewer Paralympic competitions per might be a reason for a bigger CV, because more competitions on a similar level lead to a smaller variability. In this case, a poor result may have a much higher impact on the within-athlete  $CV_{\text{final}}$  than in able-bodied swimmers who compete in many more events per year. A second interpretation of this finding could be that Olympic swimmers are more homogeneous leading to closer results and better performances in every single competition. If an athlete is not able to perform close to their personal best, he or she was not able to make the podium or at least win the race. In Paralympic swimming the gap in performance between athletes is larger and there are fewer athletes competing in each disability class, therefore, the variability of a Paralympic athlete might be larger than in able-bodied athletes.

There is also a difference between disability classes on the within-athlete  $CV_{\text{final}}$  variable. The values range from S10 (2.0% in men and 1.4% in female) to S6 (4.5% only female). Despite the typical small sample size in high performance sport, this result indicates a higher within-athlete CV from disabled class S10 to S6 leads us to speculate that the higher the disability level classification, the less consistent the results of the athlete. Fulton et al. (2009) supports our findings in their investigation using a larger sample size and fewer competition results. They merged different disability classes (S5-S7 and S8-S10) and found that female athletes had a smaller variability in disability classes S8-S10 than in S5-S7 (Fulton et al., 2009).

In another investigation, Daly et al. (2003) found that an athlete's CV in a 100m freestyle event increased from 3.0% in S10 to 7.7% in S4. To make better interpretations on results in Paralympic swimmers, more research with bigger sample sizes need to be done. Our investigation can give a first impression on variation in start performance in Paralympic athletes.

In the present study, CV in the 100m freestyle performances increased by 6.4% over five consecutive seasons. On average, this is an increase of 1.6% per season, a result similar to previously published data (Fulton et al., 2009). A 3-4% increase over five consecutive seasons in world-ranked able-bodied swimmers has been measured elsewhere (Costa, 2010). By comparison, the improvement of Paralympic athletes in this study is more than twice that of world-ranked able-bodied swimmers.

Additionally, our study estimated that the 50m competition split times were highly related to the start performance analysis expressed as the 5m start time ( $r^2=0.81$ ). Mason and Cossor (2000) found a very similar correlation (0.84) in Mason able bodies athletes. This supports the importance of the start for 50m events and the split times for longer races. In addition, Daly et al. (2001) found a strong correlation between the start and the final result in freestyle in Paralympic athletes. Our findings underlines the importance of the swimming start in Paralympic athletes.

Our hypothesis that new technology would have an impact on start times was found to be incorrect.

Not surprisingly, the 50m split time and the final competition time of the 100m freestyle events are highly correlated (0.99). Because of this extreme high in race correlation, the 5m start performance analysis time is also highly correlated with the final competition time (0.78). Because the 5m time is highly correlated to the final race time, it is a very good indicator to predict a final race time of a 100m freestyle event in Paralympic swimming.

In addition, the total impulse measured at the start analysis is also correlate to the 50m competition split time as well as the final competition. Therefore, total impulse is also a good predictor for competitions results in 100m freestyle. That means, it is useful for Paralympic athletes to measure the total impulse at the start and improve this performance.

We also found a good correlation between the TOTimp and T5 (.55). Different disabilities can impact these two parameters significantly. For example, small athletes are able to generate similar impulses as taller athletes, but their 5m time will not improve so much because their body angles are worse than in taller athletes. The correlation of TOTimp to the competition results (ST and FT), as well as the correlation of the T5 to the competition results (ST and FT) show that both parameters have a big impact on performance. Therefore, start analysis in swimming are an important tool in training.

This investigation shows that research with disabled athletes of one national team is only possible with small sample sizes, because of the individual specifics of the handicap in every single athlete and the various different classifications. Because training data is not shared in international teams, this investigation is a snapshot of one successful Paralympic country. In addition, the gap between elite and sub elite athletes in one nation is huge. This makes inter-athlete comparisons very complicated. The original objective of this study to compare different CV's from Paralympic athletes to each other. It was shown that there are large differences in CVs. Nevertheless, the within-athlete CVs in Paralympic athletes seems to be an important factor that warrants further investigation in future research.

### *3.2.2.6 Conclusion*

For coaches, it is important to understand that the swimming start is an important predictor for sprint events (Mason & Cossor, 2000). The value of the CV for coaches seemed to be not as important as in abled bodied athletes, because of the lower number of competitions and the larger within-athlete CV. Nevertheless, it could be interesting to focus on that parameter if the improvement of an athlete is regressive.

### *3.2.2.7 Acknowledgments*

We would like to thank Kimberly Nagan for comments on earlier versions of the manuscript. Many thanks to Geneva Kennedy for conducting the literature search and to the Canadian Paralympics swim team for supporting the investigation.

### *3.2.2.8 Declaration of interest*

The authors declare no competing interests.

### 3.2.2.9 References

- 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*, 189-199.
- Daly, D. J., Djjobova, S. K. Malone, L. A., Vanlandewijck, Y., Steadward, R. D. (2003). Swimming speed patterns and stroking variables in the Paralympics 100-m freestyle. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *20*, 260-278.
- Daly, D. J., Malone, L. A., Smith, D. J., Vanlandewijck, Y., Steadward, R. D. (2001). The contribution of starting, turning, and finishing to total race performance in male Paralympic swimmers. *Adapted Physical Activity Quarterly*, *18*, 316-333.
- Dingley, A. A., Pyne, D. B., Youngson, J. & Burkett, B. (2015). Effectiveness of a Dry-Land Resistance Training Program on Strength, Power, and Swimming Performance in Paralympics Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. *29*, 619-626.
- Fulton S. K., Pyne D. B., Hopkins W. G., Burkett, B. (2009). Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *Journal Sports Sciences*, *27*, 535–9.
- Honda, K. E., Sinclair, P. J., Mason, B. R. & Pease, D. L. (2010). A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. Conference: *Biomechanical and Medicine in Swimming XI*, 94-96. Oslo, Norway.
- Mason, B. & Cossor, J. (2000). What can we learn from competitions analysis at the 1999 Pan Pacific swimming championships? Conference: 18. International Symposium on Biomechanics in Sports. Hong Kong, China.
- Pyne, D. B., Trewin, C.B., Hopkins, W.G. (2004). Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, *22*, 613-620.
- Silveira, R. P., Stergiou, P., Carpes, F. P., de S. Castro, F. A., Katz, L. & Stefanyshyn, D. J. (2017). Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks. *Sports Biomechanics*, *16*(2), 177-186.

- Silveira, R. P., Stergiou, P., Figueiredo, P., de S. Castro, F. A., Katz, L. & Stefanyshyn, D. J. (2018). Key determinants of time of 5m in different ventral swimming start techniques. *European Journal of Sport Science*, 24, 1-10.
- Tor, E., Pease, D., Ball, K. (2014). Characteristics of an elite swimming start. Conference: Biomechanics and Medicine in Swimming. Canberra, Australia.
- Trewin, C. B., Hopkins, W. G., & Pyne, D. B. (2004). Relationship between world-ranking and Olympic performance of swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 22, 339-345.

### 3.2.2.10 Tables and Figures

Table 1.

*Overview of the participants and their disability class*

Disabled class	Female athletes	Male athletes
S6	1	0
S7	2	0
S8	2	1
S9	1	0
S10	1	2
S13	0	1



Table 2.

*Overview of within-athlete CVs in different disability classes*

Disability class	Number of athletes	Within-athlete CV in one season
S6	1	4.5%
S7	2	3.5%
S8	3	2.3%
S9	1	3.3%
S10	3	1.7%
S13	1	3.1%

Table 3.

*Overview of all calculated correlations*

Correlations	R <sup>2</sup>
ST and FT	0.99
T5 and ST	0.81
T5 and FT	0.78
TI and ST	0.70
TI and FT	0.69
T5 and TI	0.55

Table 4

*Progression per season expressed as the best performances compared to the season before*

	2010 2011	to	2011 to 2012	2012 to 2013	2013 to 2014
Split times	5.38%		0.29%	-0.53%	1.43%
Final results	3.34%		2.24%	0.12%	0.34%

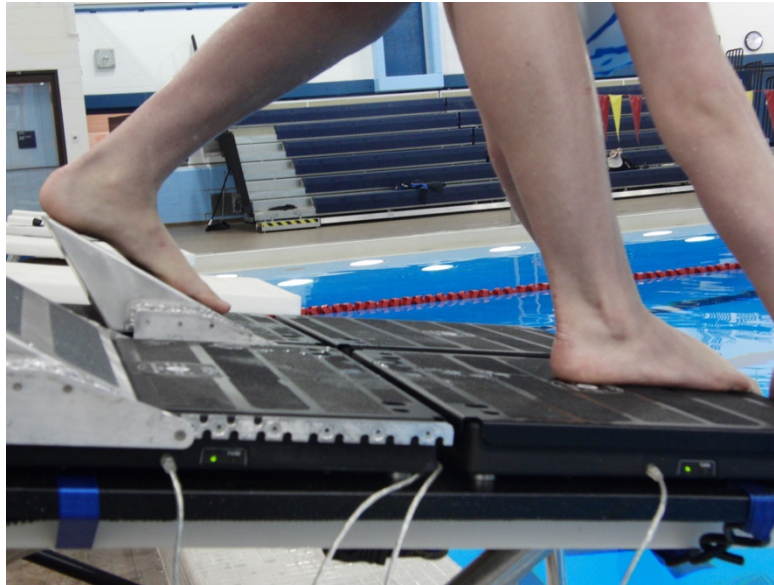


Figure 1. Pasco Forceplate

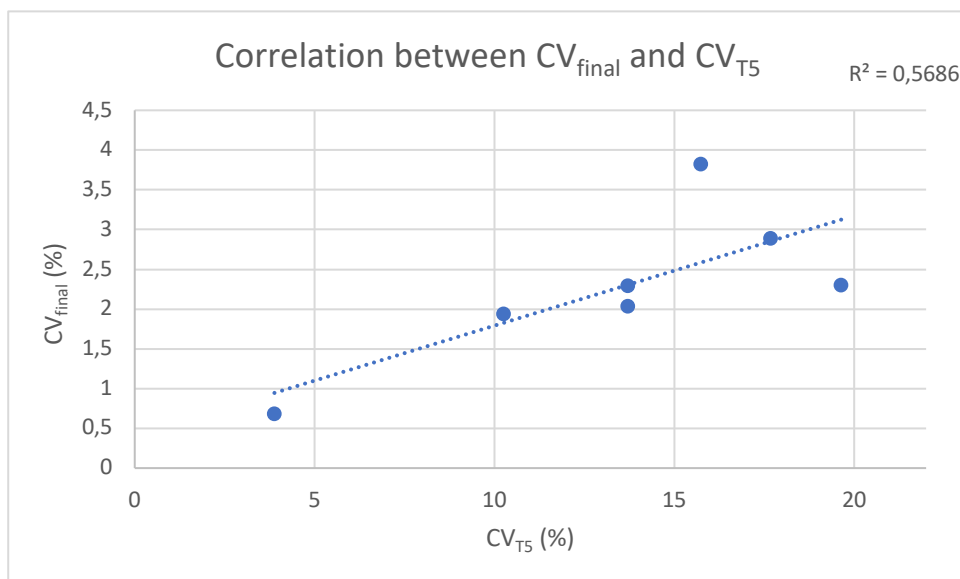


Figure 2. Scatterplot of the correlation between within-athlete CV final times and within-athlete CV 5m times for 7 objects.

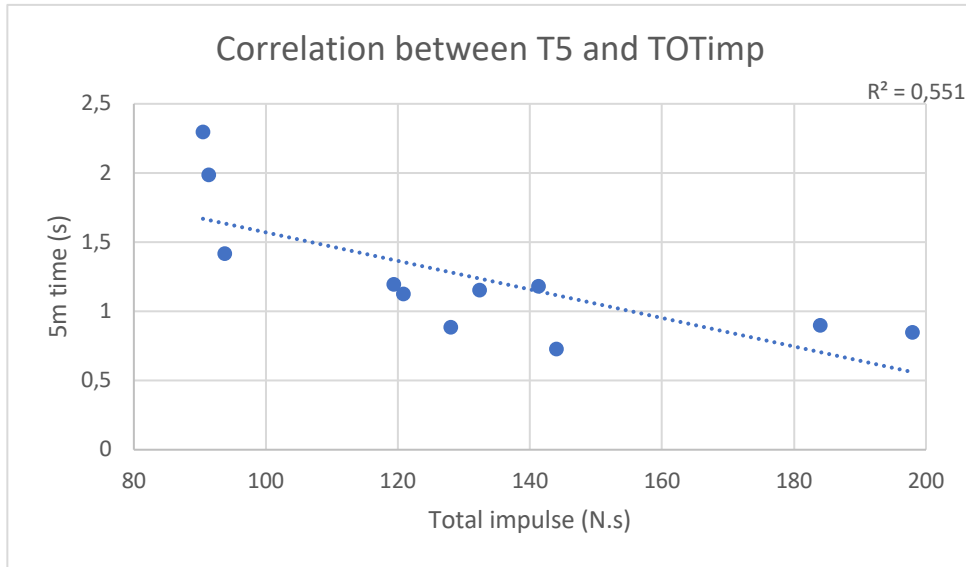


Figure 3a. Scatterplot of the correlation between the total impulse and the 5m time for 11 athletes.

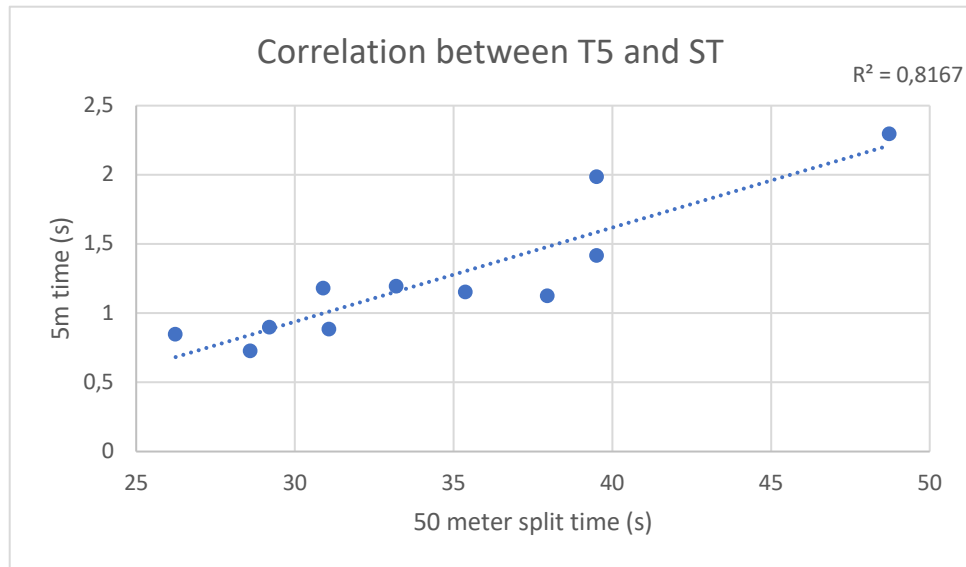
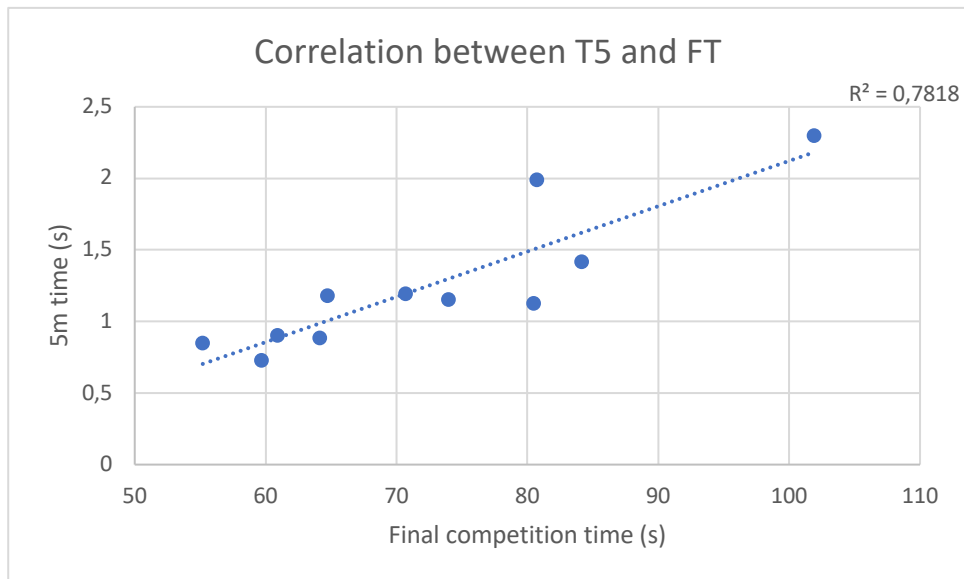


Figure 3b. Scatterplot of the correlation between the 5m time at the performance analysis and 50m split competition time for 11 athletes.



*Figure 3c.* Scatterplot of the correlation between the 5m time at the performance analysis and final competition time for 11 athletes.

### 3.3 Publikation III

#### **Variation and Progression in performance of national junior athletes and their development to national athletes**

Title: Variation and Progression in performance of national junior athletes and their development to national athletes

Christoph Clephas<sup>1</sup> and Jan-Peter Brückner<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Sport Science, Christian-Albrechts-University Kiel, Germany

Corresponding Author:

Christoph Clephas

christoph.clephas@email.uni-kiel.de

Keywords: coefficient of variation, talent selection, swimming, talent development

Das Manuskript wurde im Juni 2019 vom *German Journal of Exercise and Sport Research* angenommen. Der überarbeitete und formatierte Originalartikel ist unter folgender doi abrufbar.

doi: 10.1007/s12662-019-00602-4

Quelle: Clephas, C., & Brückner, J. P. Variation and progression in performance of national junior athletes and their development to national athletes. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 1-6.

### **3.3.1 Einordnung und deutsche Zusammenfassung**

Nachdem nun sowohl allgemein für Leistungen innerhalb einer Saison als auch spezifisch für den Startsprung die Wichtigkeit der Leistungsvariabilität nachgewiesen wurde, dient die Veröffentlichung „*Variation and Progresion in performance of national junior athletes and their development to national athletes*“ dazu, die Leistungsvariabilität nun auf ein neues Themenfeld zu übertragen. Es wird geprüft, ob die Leistungsvariabilität ein geeigneter Indikator für die Identifizierung von Talenten ist.

#### *3.3.1.1 Einleitung*

Seit nahezu zwei Jahrzehnten beschäftigen sich internationale Studien mit Variabilität von Spitzenleistungen. Im Jahr 2000 fanden Stewart und Hopkins bei Schwimmern heraus, dass „schnellere Schwimmer von Wettkampf zu Wettkampf konstanter sind“ als ihre Konkurrenten. Wenige Jahre später stellten Pyne *et al.* (2004) fest, dass die Veränderung der Leistung von Rennen zu Rennen die Chance eines Athleten bestimmt, dieses auch zu gewinnen. In einem systematischen Review von Malcata & Hopkins (2014) wurden sechszehn Studien zur Leistungsvariabilität von Spitzenathleten zusammengeführt. Bei all diesen Sportarten handelt es sich um Individualsportarten, bei den meisten um Ausdauersportarten zu denen auch der Schwimmsport zählt. Das Review bestätigt die bereits dargestellten Ergebnisse von Pyne *et al.* (2004) für viele weitere Sportarten. Im Nachwuchsleistungssport wurde Leistungsvariabilität dagegen noch nicht langfristig untersucht. Da eine geringe Variabilität vor allem im Schwimmsport ein wichtiger Faktor im Spitzensport ist, soll nun geklärt werden, welche Relevanz der Variabilität im Nachwuchsleistungssport zukommt.

#### *3.3.1.2 Fragestellung und Hypothesen*

Ziel dieser Studie ist es, den Begriff der Leistungsvariabilität auf den Nachwuchsleistungssport zu übertragen. Dabei wird überprüft, wie stark die Ergebnisse in den einzelnen Altersklassen schwanken und ob die Leistungsvariabilität ein Indikator für Talent und späteren Erfolg ist.

#### *3.3.1.3 Methode*

Dieser Studie wurden die Kaderlisten des Deutschen Schwimm-Verbandes (DSV) von 2011 bis 2018 zu Grunde gelegt. Die Ergebnisse aller C-Kader Athletinnen und



Athleten des Jahres 2011 wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum (Januar 2012 bis August 2018) gesammelt. Insgesamt umfasst die Studie N = 50 Athletinnen und Athleten mit insgesamt mehr als 1300 Wettkampfergebnissen verteilt auf sieben Saisons. Für die Untersuchung wurden die C-Kader Athletinnen und Athleten in zwei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe bildeten alle Sportlerinnen und Sportler, die zwischen 2011 und 2018 den Sprung in den A- oder B- Kader geschafft haben (N = 10), die andere Gruppe umfasst die Athletinnen und Athleten, denen dieser Weg verwehrt blieb (N = 30). Zum Vergleich wurden die Ergebnisse aller aktuellen Olympiakader Athletinnen und Athleten (die aktuell höchste Kaderstufe im DSV; N = 10) bis 2011 retrospektiv verfolgt. Für alle drei Gruppen wurde die Variabilität sowie die jährliche Steigerung der Wettkampfergebnisse auf der jeweiligen Hauptstrecke (zwischen 100- und 400 Meter) in den verschiedenen Altersstufen untersucht und auf Unterschiede überprüft. Diese Hauptstrecke wurde an Hand der höchsten „FINA Punktzahl“, die sich am aktuellen Weltrekord orientiert, bestimmt.

#### *3.3.1.4 Ergebnisse*

Die Ergebnisse zeigen, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen dem Alter der Sportler und deren Variabilität gibt. Betrachtet man jedoch nur einzelne Jahrgänge lassen sich deutliche Unterschiede in der Leistungsvariabilität zwischen den Sportlern aus der Seniorennationalmannschaft im Vergleich zu den Sportlern, die den Sprung in den Erwachsenenbereich nicht geschafft haben erkennen. Dabei weisen die Athleten, die es in die Nationalmannschaft geschafft haben eine geringe Variabilität auf.

Bei der Leistungssteigerung über den gesamten Messzeitraum unterscheiden sich die Athletengruppen stark. Sportler, die es niemals in die Nationalmannschaft im Erwachsenenbereich geschafft haben, steigerten sich nur um 1,8 %. Athleten, die mindestens einmal Mitglieder des Nationalkaders waren um 3 % und Sportler, die im aktuell höchsten Kader sind, wiesen über den gesamten Messzeitraum eine Steigerung von 5,5 % auf.

#### *3.3.1.5 Diskussion*

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Steigerung innerhalb des Untersuchungszeitraumen zwischen den Athleten, die es in die Nationalmannschaft geschafft haben und denen, die es nicht geschafft haben, deutlich unterscheiden. Die Athleten des aktuellen

Olympiakaders konnten sich im Untersuchungszeitraum sogar noch deutlicher steigern. Die gemessenen Steigerungen über den sechsjährigen Untersuchungszeitraum liegen zwischen den gemessenen Werten von Allen *et al.* (2014). In dieser Studie wurden Steigerungen von 2,5 % in einem Vierjahres-Zeitraum und 9,5 % in einem Achtjahres-Zeitraum bei Spitzenathleten gemessen. Auch wenn die allgemeinen Ergebnisse keine Tendenz erlauben, deuten Einzelergebnisse schon einen Zusammenhang an. Diese Andeutung wird durch die Ergebnisse der Einzeljahrgänge untermauert. Diese zeigen, dass sich die Variabilität von Wettkampfergebnissen auch bei Nachwuchssportlern unterscheidet.

Die Auseinandersetzung mit der Variabilität im Nachwuchsleistungssport bringt eine völlig neue Facette in diese Überlegungen. Möglicherweise kann die Variabilität ein solcher Indikator für Entwicklungspotentiale oder die Selektion von Talenten sein.

### **3.3.2 Eingereichtes englischsprachiges Originalmanuskript**

#### *3.3.2.1 Abstract*

In high performance sport, it is important to predict future performance in junior athletes. In swimming, different selection criteria have been tested in past research papers. The purpose of this study was to investigate if variability could be a selection criteria in junior athletes. We analysed more than 1300 competition results of German national team athletes over seven consecutive years to investigate the development of junior into high performance athletes. We found that variability in general could be a predictor for future success. Different subgroups varied in the age their performance showed less variability. Our investigation showed that variability could be a predictor in junior athletes by looking at specific subgroups.

Keywords: coefficient of variation, talent selection, swimming, talent development

### *3.3.2.2 Introduction*

Being successful in sports can be measured by objective indicators. Time is one good objective indicator. The final time in swimming is an objective indicator for performance progression and success.

Looking for talents at an early age is important for coaches and national sports organizations to support the most promising athletes in an efficient way. In swimming, it seems to be easy to predict future performance because the swimming time is objective and the most important indicator for following performance in the near future. But there is an issue with predicting long-term future success based on times only as the best junior athletes are not necessarily the best adult athletes. Therefore, the German Swimming Association's (DSV) long-term athlete development concept (Rudolph et al. 2015) focuses on different selection criteria in different development stages.

In addition to swimming specific criteria, the first stage focuses on anthropometrics. During the second stage of talent development, the biological age is considered a meaningful indicator for predicting future performance by the DSV. In addition to that, and because of the different maturation of males and females, the German Swimming Association selects female athletes two years earlier into the junior national team than male athletes.

International research supports this approach. For example, Allen et al. (2014) found that on average male Olympic swimmers are two years older than female Olympians. Dormehl and Williams (2016) support this finding. They found that female athletes select their favorite stroke earlier than male swimmers. The importance of stroke selection underline Stewart and Hopkins (2000), showing that it is more important for swimmers to focus on a stroke than on a specific distance.

In swimming research, most studies use cross sectional designs (Costa et al. 2010). In contrast, in talent research, it is getting more and more important to use a longitudinal design because talent development is a difficult process that depends on many factors and that does not proceed linearly. The importance of longitudinal studies in talent development underlined Dormehl et al. (2016) by pointing out the opportunity to follow athletes over a period of time and show their development in different aspects in their performance. These findings indicated that a longitudinal study design fits very well into talent prediction studies.

Recent research showed that benchmarking has an important role in predicting future success (Allen et al. 2014). In swimming, for instance, benchmarking was an important factor to predict future performance because there are many different factors that influence swimming performance as well as the talent pathway (Allen et al., 2014). By tracking track and field jumping athletes for up to twenty years of their career Boccia et al. (2017) suggested that the stability of performance increases with age. In addition, Stewart and Hopkins (2000) found that also faster swimmers are more constant than slower ones as they have a lower variability of performance.

One common method to describe how constant an athlete's performance is the variability in an athlete's performance in between competitions calculated as the coefficient of variation (CV). A meta-analysis including 16 investigations, Malcata and Hopkins (2014) showed that variation in performance is well established in many different sports. In individual endurance sports the results are nearly the same. In swimming Pyne et al. (2004) found the same within-athlete variation (0.7%) between different distances from 50- to 400-meter. Trewin et al. (2004) supported those findings. They found a within-athlete variation of 0.8%.

In junior athletes Stewart and Hopkins (2000) found a variability of 1.4%. Those three investigations reported a range of variability from 0.7% in elite athletes to 1.4% in junior athletes.

In a longitudinal study, Costa et al. (2010) underlined the importance of performance constancy. They found a moderate consistency in swimmers competition performances over a 5-year measurement period. They also found that swimmers performances' become more constant going closer to the Olympics, the most important competition in elite swimming. All those findings underlined Pyne et al. (2004), who showed that the variation of performance is a determining factor to win in an upcoming competition. In addition, the variability of competition performance was shown to be a good performance indicator in high performance sports (Malcata and Hopkins, 2014).

To our knowledge, variability of performance has not been used for long term performance prediction in swimming so far, and it is to investigate if the CV is an appropriate tool for valid long run performance prediction. This investigation aims to focus on the development of competition results in swimming and the variability of performance at different career stages by calculating the within-athlete variability in different career

stages and age groups. Because the CV can determine the next competition performance as shown above, we hypothesize that the CV in early stages of a career in swimming is a good indicator to predict performance in later stages and could become a criterion in talent selection.

### *3.3.2.3 Material and Methods*

#### *Participants*

All athletes who were nominated for the German national junior team for the season 2011/2012 have been included in this investigation. That includes a total of 40 swimmers split in 22 male and 18 female athletes. Additionally, we included all athletes from the so called “Olympia squat” of the season 2017/18 (N= 10).

Over the study period from January 2012 to August 2018 all competition results of the athletes’ best event were collected. The best event of an athlete was defined as the Olympic event between 50 m and 400 m with the best FINA points in the season where the athletes were nominated for a squat. We included only Olympic events from 50 m to 400 m, which we used for comparability because Pyne et al. (2004), who used this range of events, showed similar results for those distances.

All data is publicly available and was downloaded from the database of the DSV. The study was approved by the local ethics committee and conducted in accordance to the standards set by the Declaration of Helsinki.

#### *Measures*

Collectively we gathered more than 1300 single competition results and calculated the variability of the best event of every athlete at different ages. For calculating the different CV’s, we merged two age classes together. Collectively we put together three different age groups:

First, the 15- and 16-year-old girls as well as the 17- and 18-year-old boys are merged together as juniors, because they are allowed to start at international junior championships and belonged to the junior national team.

Second, the 17- and 18-year-old females as well as the 19- and 20-year-old male athletes are merged together as transition group, because they are on the gap between junior and senior athletes.

Third, the 19- and 20-year-old female as well as the 21- and 22-year-old male swimmers are merged together as veterans, because they are at least in the third or fourth year at the seniors.

In total, we measured 10 different CV's as the performance variability per season for the following groups of individual athletes:

- $CV_{\text{overall}}$  = CV of all athletes (%)
- $CV_{\text{Olympic}}$  = CV of all Olympic squat athletes (%)
- $CV_{\text{in}}$  = CV of all junior national team athletes, that made senior national team (%)
- $CV_{\text{out}}$  = CV of all junior national team athletes, that didn't make senior national team (%)
- $CV_{\text{Fjun}}$  = CV of all female athletes at the age of 15 and 16 (%)
- $CV_{\text{Ftran}}$  = CV of all female athletes at the age of 17 and 18 (%)
- $CV_{\text{Fvet}}$  = CV of all female athletes at the age of 19 and 20 (%)
- $CV_{\text{Mjun}}$  = CV of all female athletes at the age of 16 and 17 (%)
- $CV_{\text{Mtran}}$  = CV of all female athletes at the age of 18 and 19 (%)
- $CV_{\text{Mvet}}$  = CV of all female athletes at the age of 20 and 21 (%)

Those different CV's were only calculated for athletes that competed in a minimum of five competitions in one season. Altogether, we calculated N=171 different within-athlete CV's per season, separated in N=52 for the Olympic squat, N=37 for all athletes that made the national team and N=82 for those athletes who did not make the national team.

### *Design and Procedure*

We separated all athletes from the German national junior team into two groups and measured the objectives in the section above. One group (N = 10) included all athletes that made it to the senior national team in at least one season between 2011 and 2018. The other group (N = 30) included all athletes that never qualified for the German senior nation team during the measurement period. Additionally, all athletes from the Olympic squat of the season 2017/18 (N = 10) were included and their results were analyzed because there are only ten out of the 40 swimmers that made the national

team. All three groups, we measured the progression from season to season for the seven consecutive seasons of the measurement period.

### *Statistical Analysis*

Variability of performance was expressed as the CV. The CV was measured as the quotient of the standard deviation and the mean expressed as a percentage (Trewin et al, 2004). Therefore, we calculated the standard deviation and the mean of swimming performance time in every single athlete for each season.

To calculate the progression of an athlete we picked the fastest time between 2013 and 2018 and compared this to the fastest time of 2012 of an athlete. In a second step, we compared the rates of progression of the different subgroups.

All calculations, tables and graphs were calculated using Microsoft Excel version 15.28 and R-studio version 1.0.155. To pick the right data in R-studio, we used dplyr-package and sorted our data by the needed parameters.

### *3.3.2.4 Results*

#### *Variation of performance*

Table 1 summarizes the within-athlete CV's for different stages of German junior athletes. We found an overall variability in performance during the measurement period of seven consecutive seasons of 1.7% (95% confidence limits 1.6 to 1.8%) during one season. Similar results were found for different subgroups. We calculated a within-athlete  $CV_{Olympic}$  of 1.6% (95% confidence limits 1.4 to 1.8%) per season. The same result was measured for  $CV_{in}$  (1.6%, 95% confidence limits 1.4 to 1.8%). The within-athlete  $CV_{out}$  were little larger (1.8%, 95% confidence limits 1.6 to 1.9%). For both sexes we found very little changes in during the athletes' development through their different career stages. At junior national team age, we measured a within-athlete CV overall athletes of 1.6%. At their transition into the seniors we found a within-athlete CV of 1.8% and as veterans we measured a within-athlete CV of 1.7%.

\*\*\*Insert Table 1 here\*\*\*



Female athletes between age 15 and 20 showed different CV's from age group to age group. During the time at the junior age we measured a within-athlete CV in females of 1.5% (95% confidence limits 1.3 to 1.6%). We found the same result in female veteran athletes (1.5%; 95% confidence limits 1.2 to 1.7%). At the transition from junior to veteran athlete the within-athlete CV in female athlete raised to 1.7% (95% confidence limits 1.4 to 2.0%). In male athletes, the within-athlete CV's increased from the junior athletes (1.8%; 95% confidence limits 1.5 to 2.2%) to the transition age (2.0%; 95% confidence limits 1.7 to 2.3%) and the veterans (2.0%; 95% confidence limits 1.6 to 2.4%). We didn't find any correlation between age and the within-athlete CV neither in female athletes ( $r^2 = .07$ ) nor in male athletes ( $r^2 = .10$ ).

The major findings of this investigation are shown in Figure 1a and 1b: We calculated different within-athlete CV's for female athletes at the age of 18 and male athletes at the age of 20 and distinguished between athletes that did not make senior national team and those who did make the national team. For the 18-year old female athletes we calculated a within-athlete CV of 1.9% (95% confidence limits 1.0 to 2.7%) for those who did not make the senior national team (N=6) and 1.4% (95% confidence limits 1.1 to 1.7%) for those who did (N=4). The results of female athletes at the age of 18 are shown in Figure 1a. For the 20-year old male athletes we calculated a within-athlete CV of 2.4% (95% confidence limits 1.9 to 2.9%; N=8) for those who did not make the senior national team and 1.5% (95% confidence limits 0.9 to 2.1%; N=8) for those who did. The men's results are shown in Figure 1b.

\*\*\*Insert Figure 1a and Figure 1b here\*\*\*

### *Progression in performance*

Figure 2 shows the progression in performance from 2012 to the best result between 2013 and 2018 in different subgroups. Every subgroup showed a progression during the measurement period, but the progression in the Olympic squat athletes was three times bigger compared to the athletes that never made the seniors national team. We found a progression of 5.5% in the athletes of the Olympic squat, 3.0% in all athletes that made the national team and 1.8% in those athletes that didn't make the national team.

\*\*\*Insert Figure 2 here\*\*\*

In addition, we measured a progression between 2.0% and 2.7% over all different strokes and distances. The biggest progression in distance was found in 400 m events (2.7%), compared to 100 m (2.0%) and 200 m (2.0%). Over all strokes the biggest progression was found in freestyle (2.7%), followed by individual medley (IM; 2.1%). All three other strokes progressed by 2.0%. The different subgroups, junior athletes that made the senior national team (in), junior athletes that did not make the senior national team (out) and the Olympic squad (Olympic) showed diverse results.

### *3.3.2.5 Discussion*

This study aimed to find out if the CV in early stages of a career in youth swimming is a good indicator to predict future performance and could become a criterion in talent selection. This section will discuss the results of this investigation. First, we discuss the correlation between CV and age group. The second paragraph will compare our results of developing athletes to further investigations with high performance athletes. The third segment of this discussion will look deeper at the one age group that had the most participants. The fourth section of the discussion will deal with the analysis of the progression of athletes during the measurement period. Finally, and fifth, we will conclude this investigation and give an advice for coaches and sport organizations.

We did not find a correlation between the CV and the age groups. In contrast to Boccia et al (2017), the results of older athletes have not been more stable in our investigation. Surprisingly, our results for different age groups showed that there are no correlations ( $r^2 = .07$  in females and  $r^2 = .10$  in male athletes) between age and the consistency of the results in German junior athletes. However, we found no differences in male and female athletes. Our findings probably traced back to different sizes of the subgroups. The subgroup “out” includes more athletes than any other subgroup. Hence there is a larger influence in the results because the size of a subgroup has a big impact on the overall results. It is important to equal subgroups in future research because we hypothesized that variability is an indicator in talent selection. Equal subgroups could lead to a more relevant correlation between age and stability because the impact of

the athletes that make a senior national team is higher. Hence, the different subgroup-size could be the reason for various findings in our investigation compared to Boccia et al. (2017). Therefore, further investigations should focus on smaller groups of athletes and follow them more individualized. It could be helpful to compare two more similar groups.

Secondly, this study also investigated the variability over different age groups. We found a within-athlete variability over all athletes and age groups of 1.7% per season. This variability is larger than the within-athlete variability that was measured in previous studies (Trewin et al. 2004, Pyne et al. 2004) which may be due to the fact that those studies measured within-athlete variability in high performance athletes and compared only a few major completions with each other; both these aspects could be expedited to lead to smaller variances. Trewin et al. (2004) measured a within-athlete variability of 0.8% in between two competitions and Pyne et al. (2004) measured a within-athlete variability of 0.7% for 50m to 400m between three competitions. In contrast, our findings raise the possibility that talents show a larger variability because they are still developing on their way to the elite. This development needs a progression in competition results and a progression in competition results also is a variation in performance. Nevertheless, our results in variability in the Olympic squat (1.7%) showed that these athletes had a larger variability than the elite athletes in previous investigations (Pyne et al. 2004, Trewin et al. 2004). This finding indicates an issue in consistency in German athletes and might be one reason in the lack of success at international championships.

The third focus in this discussion is on 18-year old female- and 20-year old athletes. Looking more specifically into these one-year age groups, we found clear differences between those athletes who became a member of the senior national team and those who did not make the senior national team. Athletes from the national team were more constant in their results than those who failed to make the senior national team. For us this is a clear indicator, that variability in junior or young elite athlete could be an important predictor for talent. Further investigation needs to focus on a more individual perspective. Looking more individualized on age groups could help to find more results in junior athletes and supports our findings.

The progression of all athletes from Olympic squat athletes in the measurement period of seven-consecutive season was 5.5%. This finding is supported by the studies of Allen et al. (2014). They measured a progression of 2.5% in four years and 9.5% in eight years. In addition, Costa et al. (2010) found a progression in world ranked swimmers of 3% to 4% over five-consecutive seasons. This leads to the conclusion that a progression of at least 0.7% per year is characteristic to progress into the elite level. Additionally, our results showed that Olympic squat athletes had a nearly two times higher progression than any other group we analyzed. In fact, there were no differences in different strokes or different distances. In contrast, we found a huge difference in progression during the measurement period between those athletes who did not make a senior national team and the Olympic squat, that include the most elite athletes of the DSV. Our finding suggests that it is important to be in a national squat for a long time, because national team athletes are getting support by the Olympic sport facilities. The professional infrastructure at Olympic sport facilities in combination with experienced and well educated coaches as well as additional experts is a huge advantage compared to athletes that train out of this system. This competitive advantage of national team athletes raises the chance for international success. In combination with the knowledge that best junior athletes are not necessarily the best adult athletes (Rudolph et al, 2015), it is important to find a tool to identify the athletes with the most promising future development at an early age.

The section above led to the conclusion that an objective indicator is necessary for talent selection in swimming. It could be helpful for coaches to have such an indicator for predicting talents. Our results show that it is reasonable to assume that variability in junior or young elite athletes is an important predictor in talent selection. Variation in performance can be measured at any time without the need to consider anthropometrics. Further investigations need to focus more detailed on the informative value for different ages in male and female athlete to support our findings. Another important aspect for further investigations is the relation between progression from one age group to another and the variability of the same age group. It is still to investigate how strong correlations between variability and age within same sample sizes are. In addition to that, the development of successful athletes needs to be tracked more individualized to find proper benchmark in variability during talent development.

### *3.3.2.6 Acknowledgments*

We would like to thank Severin Uebbing for comments on earlier versions of the manuscript.

### *3.3.2.7 Declaration of interest*

The authors declare no competing interests.

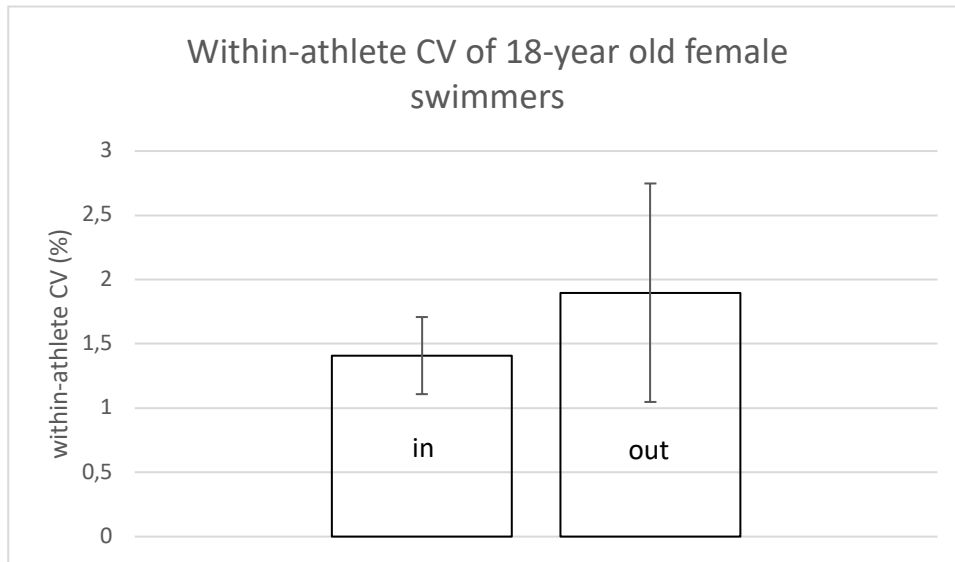
### 3.3.2.8 References

- Allen, S. V., Vandenberg, T. J., Hopkins, W. G. Career performance trajectories of Olympic swimmers: benchmarks for talent development. *European Journal of Sport Science*, 2014; 14 (7): 643-651
- Boccia G, Moisé P, Franceschi A, Trova F, Panero D, La Torre A, et al. Career Performance Trajectories in Track and Field Jumping Events from Youth to Senior Success: The Importance of Learning and Development. *PLoS ONE* 12(1): e0170744, (2017) doi:10.1371/journal.pone.0170744
- Costa, M. J., Marinho, D. A., Reis, V. M., Silva, A. J., Marques, M. C., Bragada, J.A., Barbosa, T.M. Tracking the performance of world-ranked swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2010; 9: 411-417.
- Dormehl, S. J., Williams, C. A. Stability of within-sport specialisation in competitive adolescent sub-elite swimmers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 2016; 16: 12-29
- Malcata, R. M., Hopkins, W. G., Variability of competition performance of elite athletes: a systematic review. *Sport Med.*, 2014; 44 (12): 1763-1774.
- Pyne, D. B., Trewin, C.B., Hopkins, W.G. Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2004; 22: 613-620.
- Rudolph, K., Bußmann, G., Döttling, H. W., Jankowski, A., Jedamsky, A., Lambertz, H., Lamodke, F., Ludewig, B., Staufekbiel, K. & Spahl, O. (2015). Nachwuchskonzeption Schwimmen 2020 Vom Grundlagen- bis zum Anschlussstraining. Available at: [http://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/schwimmen/Amtliches/150327\\_Nachwuchskonzeption\\_Schwimmen\\_2020.pdf](http://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/schwimmen/Amtliches/150327_Nachwuchskonzeption_Schwimmen_2020.pdf); accessed on 30.10.2018
- Stewart, A.M., and Hopkins. W.G. Consistency of swimming performance within and between competitions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000; 32: 997-1001.
- Trewin, C. B., Hopkins, W. G., & Pyne, D. B. Relationship between world-ranking and Olympic performance of swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 2004; 22: 339-345.

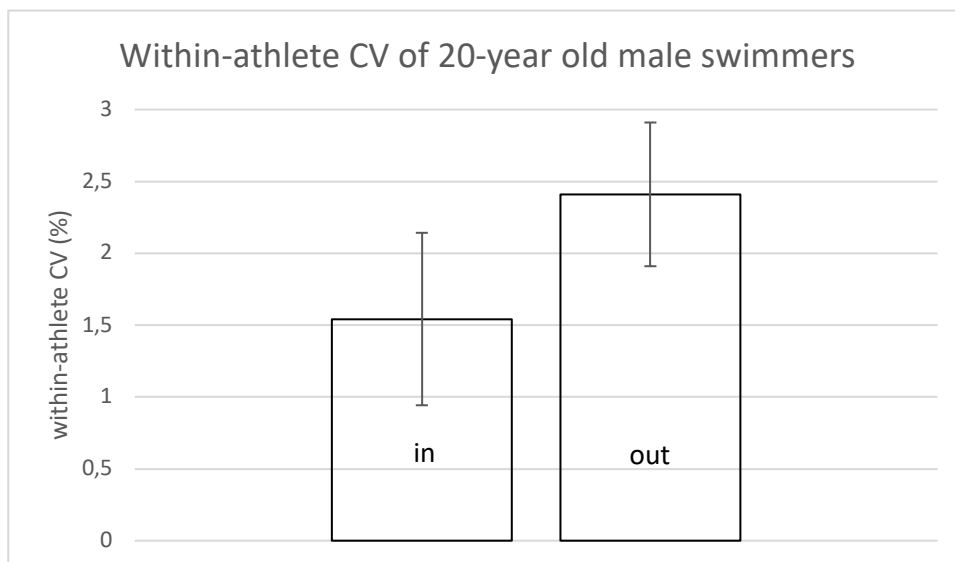
### 3.3.2.9 Tables and Figures

**Table 1: Overview of measured within-athlete CV's in different career stages. The number of data points per subgroup is presented as well as the 95% confidence limit.**

Subgroup	N	Within-athlete CV per season (%)	95% confidence limits (%)
within-athlete CV <sub>overall</sub>	171	1.7	1.6 – 1.8
within-athlete CV <sub>Olympic</sub>	52	1.6	1.4 – 1.8
within-athlete CV <sub>in</sub>	37	1.6	1.4 – 1.8
within-athlete CV <sub>out</sub>	82	1.8	1.6 – 1.9
within-athlete CV <sub>Fjun</sub>	22	1.5	1.3 – 1.6
within-athlete CV <sub>Ftran</sub>	26	1.7	1.4 – 2.0
within-athlete CV <sub>Fvet</sub>	17	1.5	1.2 – 1.7
within-athlete CV <sub>Mjun</sub>	22	1.8	1.5 – 2.2
within-athlete CV <sub>Mtran</sub>	28	2.0	1.7 – 2.3
within-athlete CV <sub>Mvet</sub>	14	2.0	1.6 – 2.4

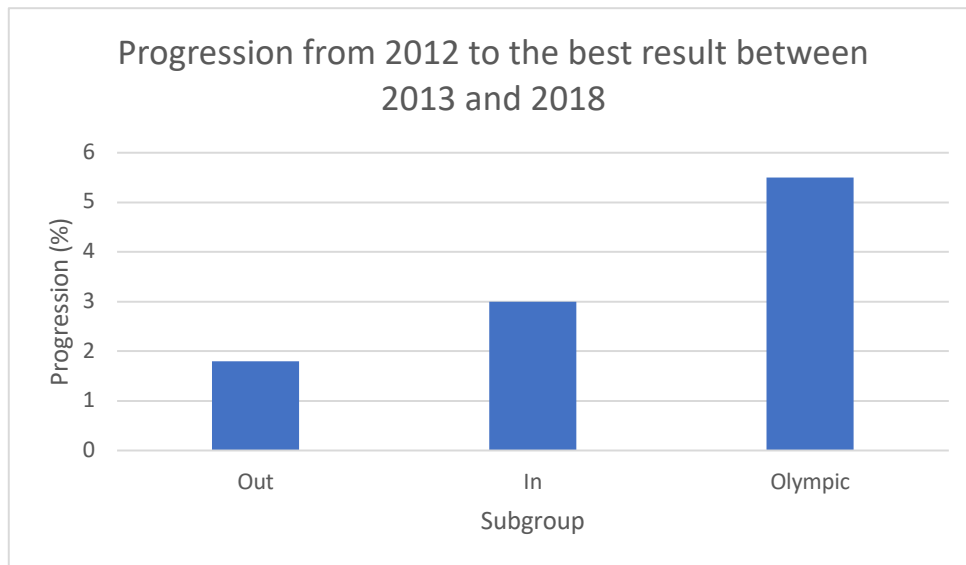


**Figure 1a: Within-athlete CV of 18-year old female swimmers separated in athletes that made the senior national team at least once in their career (“in”) and those athletes that never made the senior national team in their career (“out”).**



**Figure 1b: Within-athlete CV of 20-year old male swimmers separated in athletes that made the senior national team at least once in their career (“in”) and those athletes that never made the senior national team in their career (“out”).**





**Figure 2: Performance progression during the measuring period separated in three groups: “Out” included all athletes that have been junior national team members, but did not become a senior national team member ever in their career (N= 30).**

**“In” included all junior national team athletes that made the senior national team at least once in their career (N= 10).**

**“Olympic” included all athletes that are in the highest squad in the DSV (Olympic squad) in 2018/2019 (N= 10).**

## 4 Ergebniszusammenführung

Im Folgenden werden die Hauptergebnisse aus den drei international veröffentlichten Journalbeiträgen zusammengeführt und abschließend diskutiert. Auf Grundlage der vorliegenden Literatur untersuchte die erste Publikation die Leistungsvariabilität von Schwimmern innerhalb eines Saisonverlaufes. Die Ergebnisse deuten trotz geringer Unterschiede zwischen den Untergruppen darauf hin, dass auch innerhalb einer Saison eine geringe Leistungsvariabilität positiv mit Folgeleistungen zusammenhängt. Diese Konstanz innerhalb des Saisonverlaufes bestätigt die Erkenntnisse aus den bereits mehrfach zitierten Studien von Pyne *et al.* (2004) und Trewin *et al.* (2004). Diese beiden Studien wiesen eine geringe Variabilität von Saisonhöhepunkt zu Saisonhöhepunkt als leistungsbestimmenden Faktor für Folgewettkämpfe aus.

Eine weitere Erkenntnis aus der ersten Studie ist, dass die intraindividuelle Leistungsvariabilität eines Athleten innerhalb des Saisonverlaufes kleiner wird. Je näher der Hauptwettkampf rückt, desto geringer werden auch die Schwankungen von Wettkampfergebnis zu Wettkampfergebnis. Das beste Ergebnis vor dem Saisonhöhepunkt lag jedoch deutlich vor dem eigentlichen Hauptwettkampf. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass Leistungsvariabilität bei Spitzensportlern ein wichtiges Indiz für Sieg oder Niederlage ist. Gerade in objektiv messbaren Sportarten, wie dem Schwimmsport, ist eine konstante Leistung ein leistungsprognostischer Faktor.

Auf Basis dieses Wissens zur Aktualität der Leistungsvariabilität prüft die zweite Studie die Variabilität von Trainingstests und deren Korrelation mit der Variabilität von Wettkampfergebnissen. Dabei wurde festgestellt, dass die Entwicklung der Leistungsvariabilität von Wettkampf zu Wettkampf sowie die Entwicklung der Variabilität von Leistungstests im Training moderat miteinander korrelieren ( $r^2 = 0,57$ ). Ebenso wurden bereits bekannte Ergebnisse gestützt. So wurden die Ergebnisse von Fulton *et al.* (2009) untermauert, die herausfanden, dass die Leistungsvariabilität bei paralympischen Athleten größer wird, je größer der Grad der körperlichen Beeinträchtigung ist. Ebenso wurden Arellano, Brown, Cappaert und Nelson (1994) darin bestätigt, dass die

Startleistung einen enormen Beitrag an der Gesamtleistung bei 100 Meter Freistil Rennen hat.

Mit dem Wissen, dass sich die Leistungsvariabilität innerhalb einer Saison verändert, war das Ziel der dritten Studie, dieses Wissen in die Talentselektion zu übertragen. Dabei wurde geprüft, inwieweit die Leistungsvariabilität in verschiedenen Altersgruppen ein wichtiger Faktor bzw. ein Talentselektionskriterium für spätere Spitzenleistungen sein kann. Es stellte sich heraus, dass die Leistungsvariabilität in einzelnen Altersgruppen deutliche Unterschiede aufwies. Talenten, die den Weg in die Nationalmannschaft geschafft haben, zeigten im Vergleich zu den Athleten, die es nicht in die Nationalmannschaft geschafft haben, eine geringere Variabilität. Jedoch können mit der Leistungsvariabilität keine generellen prospektiven Aussagen über zukünftige Leistungen getroffen werden. Es wurde jedoch deutlich, dass, ein Zusammenhang zwischen der Dauer der Kaderzugehörigkeit und der Leistungssteigerung über den Messzeitraum bestand. Ob eine Kaderzugehörigkeit jedoch die Voraussetzung für solche Leistungssteigerungen sind oder die Leistungssteigerung die Kaderzugehörigkeit bestimmt, bleibt unklar.

## 5 Gesamtdiskussion

In diesem abschließenden Kapitel sollen die in Kapitel 4 dargestellten Einzelergebnisse aus den Studien abschließend diskutiert werden. Basierend auf der Idee, den Nutzen der Leistungsvariabilität auf anderen Feldern zu etablieren und eine aktuelle Standortbestimmung am Beispiel des Schwimmsports zu erhalten, bildeten vor allem das Review von Malcata und Hopkins (2014) sowie die Arbeiten von Pyne *et al.* (2004) und Trewin *et al.* (2004) die Grundlage dieser Arbeit. Die Leistungsvariabilität auch innerhalb des Saisonverlaufes zu untersuchen, wie es Noordhof *et al.* (2016) machten, diente als Vorlage für alle drei Studien, um eine präzisere Vorstellung des Leistungsverlaufes eines Spitzenathleten innerhalb eines Jahres zu erhalten.

Die Übertragbarkeit auf einen früheren Karrierezeitpunkt eines Athleten stellt einen interessanten Aspekt dieser Dissertation und einen zusätzlichen Blickwinkel auf die Variabilität dar. Dabei wurde die Übertragung der Leistungsvariabilität in der Talentselektion und damit verbunden im Nachwuchsleistungssport geprüft. Diese Erweiterung ermöglicht es, die Entwicklung von Nachwuchsleistungssportlern an Hand der Leistungsvariabilität objektiv einschätzen zu können. Auch wenn die Ergebnisse dieser Stichprobe noch keine allgemeingültigen Aussagen zulassen, so deuten Einzelergebnisse jedoch auf interessante Zusammenhänge hin. Es konnte nachgewiesen werden, dass ein Zusammenhang zwischen einer stetigen Entwicklung eines Nachwuchsathleten bis in den Erwachsenenbereich und einer dauerhaften Kaderkarriere besteht. Ebenso konnte für eine kleine Stichprobe beispielhaft gezeigt werden, dass eine geringere Leistungsvariabilität ein Unterscheidungsmerkmal zwischen Nachwuchsathleten, die es in die Nationalmannschaft geschafft haben, im Vergleich zu denen, die es nicht geschafft haben, war. Eine solche unabhängige und leicht messbare Größe wäre vor allem für Talentsuche nützlich. Denn häufig, so zeigen die im nächsten Abschnitt vorgestellten Auszüge aus Nachwuchsleistungskonzepten, sind es ausschließlich leistungsbezogene oder subjektive Eindrücke, die über eine Eignung in einer gut messbaren Sportart wie dem Schwimmen entscheiden. Das Hinzuziehen der Variabilität über einen längeren Zeitraum könnte daher bei der objektiven Auswahl von Talenten sehr nützlich sein. Die Nachwuchsleistungssportkonzepte im Schwimmsport aus

verschiedenen Nationen weisen wie erwähnt aktuell andere, deutlich schwieriger messbare Selektionskriterien für Talente auf:

Das Konzept des australischen Schwimmverbandes beispielsweise fokussiert sich bei der Leistungsentwicklung von Talenten vor allem auf schwimmtechnische Aspekte. In Australien ist es besonders wichtig, technisch gut schwimmen zu können, um als Nachwuchstalent gefördert zu werden. Daher ist anzunehmen, dass die Technik trotz fehlender objektiv messbarer Hilfsmittel als eines der zentralen Talentselektionskriterien gilt (Raleigh, 2011).

Der britische Schwimmverband legt bei der Entwicklung von Talenten einen großen Wert auf Wettkampfhäufigkeit und Wettkampfergebnisse. So sollen Talente sich zwar bei Wettkämpfen ausprobieren und mit ihren Konkurrenten messen, jedoch sollen die Talente nicht mehr als zwölf Wettkampfwochenenden im Jahr absolvieren. Ein weiteres wichtiges Kriterium im britischen Schwimmverband ist die Auswahl der Wettkampfstrecken. Nachwuchsathleten sollen sich nicht zu früh auf 100 m Strecken spezialisieren und sich dort messen. Wichtiger ist es dem Verband, dass sich Athleten in der frühen Phase ihrer Karriere auf den längeren Strecken etablieren. Ein weiteres Selektionskriterium im britischen Schwimmsport bildet ein selbst konzipiertes zusätzliches Punktesystem. Es unterscheidet sich deutlich vom Punktesystem des Weltverbandes. Der Weltverband FINA orientiert sein Punktesystem ausschließlich am Weltrekord, der mit 1000 Punkten auf jeder Strecke bewertet wird. Im britischen Schwimmverband dagegen wird zusätzlich der „*British Age Group Correlation Factor*“ einbezogen. Dieser Altersklassenfaktor soll zusätzlich die Entwicklung in der jeweiligen Altersstufe des Athleten berücksichtigen. Insgesamt fokussiert sich die Konzeption des britischen Verbandes jedoch vorrangig auf Wettkampfergebnisse von Nachwuchsathleten (Amateur Swimming Association (ASA), 2003).

In Kanada dagegen wird versucht, die Entwicklung von Nachwuchsathleten möglichst individuell zu betrachten und zu beurteilen. Dabei steht die persönliche Entwicklung des Erwachsenwerdens im Fokus. Für den kanadischen Schwimmverband ist dies besonders wichtig, da auf Grund von Früh- und Spätentwicklern der zukünftige Erfolg

eines Sportlers nicht vorhergesagt werden kann. Ein Schlüsselaspekt im Konzept des kanadischen Schwimmverbandes ist daher ein starker Fokus auf den Zeitpunkt des Wachstumsspurts. Dabei stehen das Monitoring sowie die richtige Dosierung des Trainings während des Wachstumsspurts im Mittelpunkt (Swimming Canada, 2008).

Der deutsche Schwimmverband weist in seinem Konzept ebenfalls auf Schwierigkeiten bei der Auswahl durch beispielsweise die unterschiedliche Entwicklung von Talenten hin. Wenn es jedoch um die Kriterien der Kaderbildung und somit der Förderung von Athleten geht, sind es fast ausschließlich Wettkampfergebnisse bei einem oder wenigen ausgewählten Wettkämpfen, die darüber entscheiden, ob und wie stark die Förderung für das nächste Jahr ausfällt. Diese kurzfristige Planung und Fokussierung auf wenige Termine erhöht zudem den Druck auf die Nachwuchssportler (Rudolph *et al.*, 2015). Ein objektives und von der körperlichen Entwicklung unabhängiges Kriterium fehlt. Ein solches könnte beispielsweise die Leistungsvariabilität sein, wie sie in dieser Arbeit vorgestellt wird. Diese Idee wird in den folgenden Abschnitte weiter konkretisiert.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz, Talente möglicherweise an Hand ihrer Leistungsvariabilität innerhalb einer Saison oder anderer objektiver Messverfahren zu bestimmen, kann für die Trainingspraxis eine hohe Relevanz erhalten. Wie die ausgewählten Auszüge aus den jeweiligen Nachwuchskonzepten zeigen, gibt es für eine objektiv messbare Sportart mit einer minimalen Zufallsvariabilität wie dem Schwimmsport kein einheitliches Selektionskriterium. Häufig wird die Selektionsentscheidung trotz des Wissens um die unterschiedliche Entwicklung von Nachwuchsathleten ausschließlich auf Grund von Leistungsparametern zu einem speziellen Zeitpunkt getroffen. In den vorgestellten Beispielen stehen lediglich in Australien und Kanada nicht oder nicht nur die Wettkampfergebnisse der Nachwuchsathleten im Mittelpunkt der Sichtungskriterien. Sollte der bereits beschriebene Zusammenhang zwischen einer geringen Variabilität in Kombination mit einer stetigen Leistungssteigerung in zukünftigen Studien mit einer größeren Stichprobe bestätigt werden, kann die Variabilität ein objektives Kriterium sein Potentiale von Nachwuchsathleten einzuschätzen. Im besten Fall kann die Variabilität dann sogar eine Aussage über die Talententwicklung machen

und zukünftige Erfolgsaussichten prognostizieren. Wie Malcata und Hopkins (2014) beschrieben, wird die Variabilität in einigen Studien bereits als Maß zur Vorhersage genutzt. Dies könnte dann auch auf Nachwuchsathleten übertragen werden.

Sollten zukünftige Studien die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse unterstützen und zeigen, dass die Variabilität ein Indikator für Talent bzw. für Entwicklungspotential von Nachwuchstalenten ist, kann dies für die Praxis ein wichtiger Baustein in der Talentsichtung sein. Diese zukünftigen Studien sollten die Entwicklung der Athleten möglichst langfristig verfolgen um eine fundierte Einschätzung geben zu können. Ebenso wäre es ein lohnenswerter Ansatz, die Untersuchungen zunächst auf eine spezielle Altersklasse zu beschränken, um dann für die verschiedenen Schwimmmarten und Streckenlängen eine Aussage treffen können. All dies führt dazu, individuelle und altersgerechte Vergleiche und Entwicklungen zu erstellen. Erst in einem weiteren Schritt sollte dann nur noch die Leistungsvariabilität von ausgewählten Athleten aus verschiedenen Altersgruppen betrachtet werden. Bei positiven Erfahrungen in der Diagnose zukünftiger erfolgreicher Sportler im Rahmen einer Talentidentifikation sollte die Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf weitere Sportarten geprüft werden. Ebenso wäre es bei positiven Ergebnissen lohnenswert, die Ergebnisse auf die Sportarten zu übertragen, für die Malcata und Hopkins (2014) in ihrem Review ähnliche Resultate bei erwachsenen Sportlern nachwiesen. Abschließend ist in diesem Zusammenhang wichtig zu erwähnen, dass die Leistungsvariabilität allein kein Talentselektionskriterium darstellt. Vielmehr kann ein zusätzlich erhobener objektiver Messwert in der Entwicklung des Athleten genutzt werden, um den aktuellen Leistungsstand sowie die Fortschritte eines Sportlers zu beschreiben. Dabei sind die absolute Spitzenleistung, die Leistungssteigerungen von Entwicklungsstufe zu Entwicklungsstufe sowie die Leistungsschwankungen nur ihrer wechselseitigen Ergänzung zu betrachten. Die Leistungsvariabilität sollte also nicht unabhängig vom aktuellen Leistungsstand betrachtet werden.

Weiterhin macht diese Arbeit deutlich, dass eine große Stabilität der Ergebnisse auf einem hohen Leistungsniveau wichtig für Erfolg ist. Die bis zu zwei Prozent große Zone, die nach Kalinin und Osolin (1975) die Stabilität der Leistung beschreibt, lässt sich bei der in der ersten Studie gemessenen geringen Variabilität nicht

aufrechterhalten. Bei internationalen Spitzenathleten wurde über einen gesamten Saisonzeitraum eine Variabilität von unter 0,7 % gefunden. Dieses Ergebnis deckt sich somit mit Ergebnissen von Trewin *et al.* (2004). Die Leistungsschwankung von 0,7 % umfasst auch die Steigerung zum Saisonhöhepunkt. Sollte ein Athlet also zu weit von seiner persönlichen Bestzeit entfernt sein oder sich gar außerhalb der 2 % Zone befinden und somit auch nach der Definition von Matvejev (1981) nicht in Form sein, so müsste die Variabilität dieses Athleten deutlich über 2 % liegen um zum einen die zweiprozentige Differenz zur persönlichen Bestzeit auszugleichen und zusätzlich noch eine Leistungssteigerung zu generieren. Eine Variabilität von 0,7 % unterstreicht noch einmal wie gering inzwischen die Veränderungen sind und macht deutlich, dass eine 2 % Zone nicht mehr zeitgemäß ist.

Auch wenn die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Ergebnisse darauf hindeuten, dass die beschriebene Definition der sportlichen Form von Matvejev (1981) für das Einschätzen von Leistungen bei heutigen Wettkämpfen nicht mehr aktuell ist, muss an dieser Stelle auch auf die genannten Limitationen hingewiesen werden. Da sich diese Arbeit ausschließlich auf Wettkampfergebnisse aus speziellen Saisonzeiträumen bezieht, ist eine weitere Erkenntnis dieser Arbeit, dass kein kausaler Zusammenhang zwischen der Leistungsvariabilität und einer hohen Leistungsfähigkeit besteht. Der Rückschluss, dass im Rahmen dieser Arbeit ein Rückgang der Variabilität kurz vor dem Hauptwettkampf festgestellt werden kann, lässt aber nicht den Rückschluss zu, dass dies eine Leistungsvoraussetzung für Erfolg ist. Es besteht also nicht zwingend ein Ursache-Wirkungs-Prinzip zwischen einer geringen Leistungsvariabilität und sportlichem Erfolg. Es wäre daher wünschenswert, dass zukünftige Studien neben einer Analyse der Wettkampfergebnisse auch das in der Zwischenzeit durchgeführte Training mit einbeziehen. Damit können die Verläufe der Leistungsvariabilität innerhalb einer Saison noch besser erklärt werden und bessere Rückschlüsse für das Training gezogen werden. Vor allem zwischen Wettkämpfen, die mehrere Wochen auseinander liegen ist es schwierig Gründe für Leistungsentwicklung ausschließlich an Hand der Wettkampfergebnisse abzuleiten. In einem solchen Fall kann das tatsächlich durchgeführte Training und die damit verbundene Trainingssteuerung möglicherweise die Ergebnisse erklären. Ebenso liegen die Wettkampfergebnisse jeweils nur für einen



bestimmten Saisonzeitraum vor und nicht über den kompletten Zeitraum. Somit geben die Ergebnisse zwar erste Hinweise für die Trainingssteuerung, jedoch können Trainingsempfehlungen nur im geringen Maße abgeleitet werden. Zusätzliche Trainingsdaten könnten Leistungsschwankungen erklären. Mit Trainingstests könnten sogar zusätzliche objektive Leistungsdaten zwischen den Wettkämpfen erhoben werden.

Dennoch lässt sich anhand der gewonnenen Ergebnisse ein erstes Modell zur Leistungsentwicklung und Variabilität generieren (siehe Abb. 4). Denn alle drei in dieser Arbeit vorgestellten Studien zeigen, dass erfolgreiche Athleten sowohl geringe Leistungsschwankungen als auch höhere Steigerungsraten als ihre Vergleichsgruppen aufweisen. Beispielsweise zeigen die Erkenntnisse der ersten Studie, dass sich die Leistungsvariabilität innerhalb einer Saison zum Saisonhöhepunkt verringert. Dieses Ergebnis bestätigten auch Costa *et al.* (2010), als diese bei der Analyse von fünf aufeinanderfolgenden Saisons herausfanden, dass Leistungen vor den Olympischen Spielen 2008 konstanter wurden. Es scheint daher nicht nur wichtig zu sein, dass Leistungen von Saisonhöhepunkt zu Saisonhöhepunkt einer geringen Variabilität unterliegen, wie es beispielsweise Malcata und Hopkins (2014) für verschiedene Sportarten bereits nachwiesen, sondern auch konstante Leistungen innerhalb des Saisonverlaufes erbracht werden müssen. Ebenfalls wiesen Costa *et al.* (2010) für den Schwimmsport nach, dass es eine stetige Leistungsentwicklung von Saison zu Saison gab. Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass sowohl eine stetige Steigerung als auch geringe Leistungsschwankungen leistungsprognostische Faktoren für Erfolg sind. Möglicherweise deutet dies darauf hin, dass eine Zuspitzung der Leistung mit nur geringen Abweichungen bereits kurz vor dem Saisonhöhepunkt erreicht werden sollte. Gleichwohl machen sowohl die in diesem Abschnitt zitierten Studien als auch die im Rahmen dieser Arbeit erstellten Studien deutlich, dass eine geringe Variabilität nur in Verbindung mit einer Leistungssteigerung zum Saisonhöhepunkt zum Erfolg führt. Entscheidend für den Erfolg eines Athleten ist dabei vor allem die Steigerung zum Saisonhöhepunkt, wie es Hopkins *et al.* (1999) anhand des *smallest meaningful change* deutlich machten. Die folgende Grafik (Abb. 4) nimmt die in diesem Abschnitt diskutierten Ergebnisse auf und stellt diese modellhaft dar.

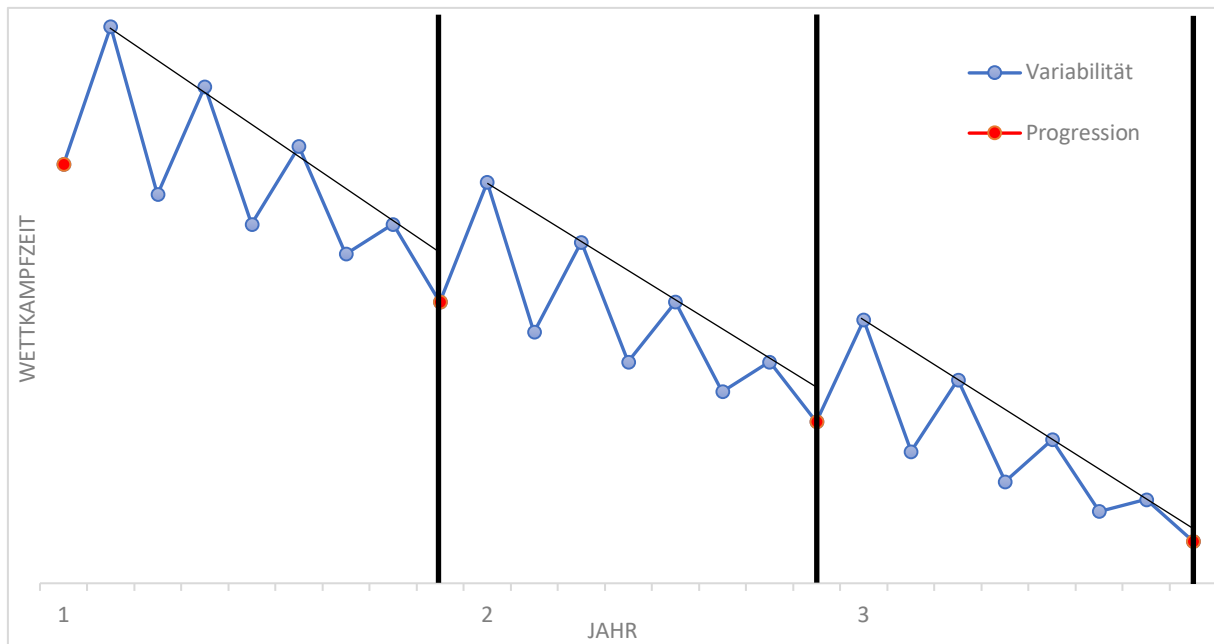


Abbildung 4. Modell der variablen Leistungsprogression: Die Variabilität nimmt im Jahresverlauf ab. Auch von Jahr zu Jahr verringert sich die Variabilität bei schneller werdenden Wettkampfzeiten.

Abbildung 4 beschreibt die Schwankungen von Wettkampfzeiten (blau) und die Progression dieser Zeiten (rot). Dabei wird deutlich, dass das Verständnis der Variabilität eng mit der Progression verknüpft ist. Denn nur in Kombination mit einer Leistungssteigerung von Jahr zu Jahr, sind geringe Leistungsschwankungen innerhalb einer Saison besonders effektiv. Wie in Abbildung 2 entwickeln sich die Variabilität und die Progression vom selben Ausgangsniveau zum selben Endniveau. Erkenntnisse von Stewart und Hopkins (2000) zeigen, dass sich die Variabilität bei verbessernden Wettkampfzeiten verringert. Diese Feststellung ist in Abbildung 4 durch eine von Jahr zu Jahr geringer werdende Schwankung dargestellt. Zusätzlich konnte in dieser Arbeit nachgewiesen werden, dass die Schwankungen der Wettkampfleistung innerhalb eines Saisonverlaufes geringer werden. Auch diese Erkenntnis wurde in das Modell (Abbildung 4) integriert. Innerhalb eines jeden dargestellten Jahres ist zu erkennen, dass die Leistungsvariabilität zum Jahresende (Saisonhöhepunkt) geringer wird. In zukünftigen Studien kann durch Trainingsdaten ein Versuch unternommen werden die geringer werdenden Schwankungen zu erklären. Sollte dies gelingen, muss das Modell verfeinert und weiterentwickelt werden.

Für die Anwendung im Leistungssport kann das Wissen über die Bedeutung einer konstanten Leistungsfähigkeit vor einem Saisonhöhepunkt auch einen Einfluss auf die Trainingssteuerung haben. Denn in der zweiten Studie konnte ein Zusammenhang der Entwicklung der Variabilität eines Trainingsparameters (in diesem Fall der Startsprung) und der Entwicklung der Leistungsvariabilität bei Wettkämpfen festgestellt werden. Dieser Zusammenhang macht deutlich, dass auch standardisierte Trainingstests eine hohe prognostische Aussagekraft für die Leistungsfähigkeit im Wettkampf haben. Trainer können somit die Konstanz der Trainingsleistungen regelmäßig überprüfen und eine direkte Verbindung zu möglichen Wettkampfleistungen ziehen. Für Kurzstrecken wurde dieses vor allem über den Startsprung nachgewiesen, da zwischen diesen Parametern eine sehr hohe Korrelation festgestellt werden konnte. In weiteren Studien sollte daher versucht werden, die Variabilität von weiteren standardisierten Trainingstests mit der Entwicklung der Leistungsfähigkeit auf der Wettkampfstrecke in Verbindung zu bringen. Für die Praxis sind dies wichtige Informationen, die bei der Trainingssteuerung hilfreich sein können, vor allem da die Variabilität anhand weniger Parameter sowie mit einem wenig komplexen Modell berechnet werden kann.

Ebenso gilt es, in weiteren Studien den Zusammenhang der Entwicklung von Leistungstests im Training und der Entwicklung von Wettkampfergebnissen weiter zu analysieren. Dies ist vor allem bei der Identifizierung der leistungsbestimmenden Faktoren für eine Sportart wichtig. Bezogen auf die Variabilität wäre es entscheidend, die Schwankungen von valide messbaren Trainingsparametern mit den dazugehörigen Wettkampfleistungen im selben Zeitraum zu untersuchen und auf Zusammenhänge zu prüfen. Vor allem der Zusammenhang zwischen einer geringer werdenden Variabilität innerhalb des Saisonverlaufes und der Idee der Zuspitzung der Leistung zum Saisonhöhepunkt (Peaking) wäre ein interessanter Gegenstand von zukünftigen wissenschaftlichen Untersuchungen, um die Trainingspraxis im Spitzensport zu unterstützen. In diesen Studien sollten, wie erwähnt, Trainingsdaten unbedingt mit einbezogen werden.

Darüber hinaus können anhand von Trainings- und Wettkampfdaten Anschlussfragestellungen für die Variabilität von Bewegungsabläufen gefunden werden. So kann es

beispielsweise wichtig sein, die Analyse zur Variabilität der Zugfrequenz nach Hellard *et al.* (2008) weiterzuführen und enger mit der Entwicklung der Leistung zu verknüpfen. Hierbei könnte der Zusammenhang zwischen Leistungsschwankungen und der veränderten Anzahl von Zügen, beispielsweise von Bahn zu Bahn interessant sein. Bei den bereits gezeigten geringen Unterschieden zwischen den Athleten in der Weltspitze kann es einen großen Unterschied machen, ob beispielsweise der letzte Armzug genau die Wand trifft oder einige Zentimeter fehlen und der Athlet zur Wand gleiten muss. Der exakte Ablauf des Rennens (am Beispiel der Anzahl der Schwimmszüge) kann dabei ein entscheidender Parameter sein, der über Erfolg und Misserfolg entscheidet. Zusätzlich könnten Trainingsdaten in diese Studie mit einfließen, indem die Anzahl der Züge sowie die Zugfrequenz im Training mit der im Wettkampf verglichen wird. Dies wäre vergleichbar mit der in dieser Arbeit vorgestellten Studie „*Start performance and its relation to competition times in Paralympic swimmers*“, bei der Trainingsdaten von Startsprüngen mit Wettkampfdaten verglichen wurden. Dabei wurde neben den Erkenntnissen zur Leistungsvariabilität auch die Relevanz des Startsprunges noch einmal deutlich.

Auch wenn diese Arbeit weitere Indizien liefert, dass die Leistungsvariabilität ein leistungsprognostischer Faktor ist, bleibt auf Grund der Komplexität einer sportlichen Leistung die Ursache unklar. So könnte in weiteren Studien geprüft werden, welche Gründe Einfluss auf Leistungsschwankungen zwischen Wettkämpfen haben. Gerade bei großen Events wie den Olympischen Spielen sind z.B. psychologische Gründe nicht zu unterschätzen. Stress, der beispielsweise in einem Olympischen Finale auf einem Sportler lastet, kann sowohl beflügeln als auch hemmen. Exemplarisch machte Lohaus (2018) deutlich, dass akute Überaktivierungen negative Folgen haben können, jedoch in einer Wettkampfsituation auch Leistungsreserven freigesetzt werden können. Somit könnte eine psychologische Facette weitere Klärung bringen.

Trotz der Tatsache, dass die Ursache der Leistungsvariabilität nicht eindeutig zugewiesen werden konnte, wird im Verlauf der Arbeit deutlich, dass sich vielfältige Anknüpfungspunkte sowohl für das Anwendungsfeld im Leistungssport als auch für die theoretische Auseinandersetzung in der Wissenschaft ergeben. Alles in allem zeigt die

Arbeit, dass die Leistungsvariabilität als leistungsprognostischer Faktor vielversprechend ist und zukünftig in weiteren anwendungsorientierten Untersuchungsfeldern etabliert werden sollte.

## 6 Literatur Manteltext und deutsche Zusammenfassungen

- Amateur Swimming Association (ASA). (2003). The Swimmer Pathway: Long Term Athlete Development, ASA. Zugriff am 13. November 2018 unter [www.swimming.org](http://www.swimming.org)
- 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, 189-199.
- Boccia G., Moisè, P., Franceschi, A., Trova, F., Panero, D., La Torre A., Rainoldi, A., Schena, F. & Cardinale, M. (2017). Career Performance Trajectories in Track and Field Jumping Events from Youth to Senior Success: The Importance of Learning and Development. *PLOS ONE*, 12 (1): e0170744, doi:10.1371/journal.pone.0170744.
- Costa, M. J., Marinho, D. A., Reis, V. M., Silva, A. J., Marques, M. C., Bragada, J. A. & Barbosa, T. M. (2010). Tracking the performance of world-ranked swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9 (3), 411-417.
- Daly, D. J., Malone, L. A., Smith, D. J., Vanlandewijck, Y. & Steadward, R. D. (2001). The contribution of starting, turning, and finishing to total race performance in male Paralympic swimmers. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 18, 316-333.
- Fulton, S. K., Pyne, D. B., Hopkins, W. G. & Burkett, B. (2009). Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *Journal Sports Sciences*, 27 (5), 535–9.
- Hellard, P., Deckerle, J., Avalos, M., Cuada, N., Knopp, M. & Hausswirth, C. (2008). Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. *Journal of Sport Sciences*, 26 (1), 35–46.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A. & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 31 (3), 472-485.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Medicine*, 30 (1), 1-15.

- Hottenrott, K. (2002). *Herzfrequenzvariabilität im Sport Prävention – Rehabilitation – Training*. Hamburg: Czwalina Verlag.
- Kalinin, V. K. & Ozolin, N. N. (1974). *Zur Struktur der Wettkampfperiode. Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury, Moskau 37 (1974), 2*. Ins Deutsche übersetzt von Peter Tschiene (1975).
- Lohaus, A. (2018). Stressmanagementtrainings für Kinder und Jugendliche. In R. Fuchs & M. Gerber (Hrsg.), *Handbuch Stressregulation und Sport* (S. 163-178). Berlin: Springer.
- Malcata, R. M. & Hopkins, W. G. (2014). Variability of competition performance of elite athletes: a systematic review. *Sports Medicine, 44 (12)*, 1763-1774.
- Matvejev, L. P., Kalinin, V. K. & Ozolin, N. N. (1975). Charakteristika der sportlichen Form und einige Wege zur Optimierung der Wettkampfperiode. *Theorie und Praxis des Leistungssports, 13 (5/6)*, 164-177.
- Matvejev, L. P. (1981). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag Berlin.
- Noordhof, D. A., Mulder, R. C. M., de Koning, J. J., & Hopkins, W. G. (2016). Race Factors Affecting Performance Times in Elite Long-Track Speed Skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 11 (4)*, 535-542.
- Pyne, D. B., Trewin, C. B. & Hopkins, W. G. (2004). Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences, 22 (7)*, 613-620.
- Raleigh, V. (2011). Long term development in Swimming – Swimming Australia. Zugriff am 27. Dezember 2018 unter <http://www.saintsswimming.com.au/site/user-assets/docs/long-term-swimming-development-model.pdf>

- Rudolph, K., Bußmann, G., Döttling, H. W., Jankowski, A., Jedamsky, A., Lambertz, H., Lamodke, F., Ludewig, B., Staufelbiel, K. & Spahl, O. (2015). Nachwuchskonzeption Schwimmen 2020 Vom Grundlagen- bis zum Anschlussstraining. Zugriff am 30. Oktober 2018 unter [http://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/schwimmen/Amtliches/150327\\_Nachwuchskonzeption\\_Schwimmen\\_2020.pdf](http://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/schwimmen/Amtliches/150327_Nachwuchskonzeption_Schwimmen_2020.pdf)
- Sidney, M., Delhaye, B., Baillon, M. & Pelyo, P. (1999). Stroke frequency evolution during 100 and 200 m events front crawl swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp. 71-75.
- Stergiou, N. & Decker, L. M. (2011). Human Movement Variability, Nonlinear Dynamics, and Pathology: Is There a Connection?. *Human Movement Science*, 30 (5), 869-888.
- Stewart, A. M., & Hopkins. W. G. (2000). Consistency of swimming performance within and between competitions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (5), 997-1001.
- Swimming Canada. (2008). *Long Term Athlete Development Strategy – Swimming to Win; Winning for Life*. Zugriff am 16. Dezember 2018 unter [https://www.swimming.ca/content/uploads/2015/06/ltad\\_en.pdf](https://www.swimming.ca/content/uploads/2015/06/ltad_en.pdf)
- Swimspornews. (2017, 30. Juli). Bundestrainer Lambertz „WM macht Mut für die Zukunft“. Zugriff am 22. Dezember 2018 unter <https://swimspornews.de/7745-bundestrainer-lambertz-wm-macht-mut-fuer-die-zukunft.html>
- Trewin, C. B., Hopkins, W. G. & Pyne, D. B. (2004). Relationship between world-ranking and Olympic performance of swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 22 (4), 339-345.
- Tschiene, P. (2011). Sportliche Form oder Topform? Disput um das Erbe von L. P. Matvejev. *Leistungssport*, 41 (1), 7-8.
- Verchoshanskij, J. V. (1998). Das Ende der “Periodisierung” des sportlichen Trainings im Spitzensport. *Leistungssport*, 28 (5), 14-19.



## 7 Literatur Gesamtdokument

- Allen, S. V., Vandenbogaerde, T. J. & Hopkins, W. G. (2014). Career performance trajectories of Olympic swimmers: benchmarks for talent development. *European Journal of Sport Science*, 14 (7), 643-651.
- Amateur Swimming Association (ASA). (2003). The Swimmer Pathway: Long Term Athlete Development, ASA. Zugriff am 13. November 2018 unter [www.swimming.org](http://www.swimming.org)
- 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, 189-199.
- Boccia G., Moisè, P., Franceschi, A., Trova, F., Panero, D., La Torre A., Rainoldi, A., Schena, F. & Cardinale, M. (2017). Career Performance Trajectories in Track and Field Jumping Events from Youth to Senior Success: The Importance of Learning and Development. *PLOS ONE*, 12 (1): e0170744, doi:10.1371/journal.pone.0170744.
- Costa, M. J., Marinho, D. A., Reis, V. M., Silva, A. J., Marques, M. C., Bragada, J. A. & Barbosa, T. M. (2010). Tracking the performance of world-ranked swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 9 (3), 411-417.
- Daly, D. J., Malone, L. A., Smith, D. J., Vanlandewijck, Y. & Steadward, R. D. (2001). The contribution of starting, turning, and finishing to total race performance in male Paralympic swimmers. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 18, 316-333.
- Daly, D. J., Djjobova, S. K. Malone, L. A., Vanlandewijck, Y. & Steadward, R. D. (2003). Swimming speed patterns and stroking variables in the Paralympics 100-m freestyle. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 20, 260-278.
- Dingley, A. A., Pyne, D. B., Youngson, J. & Burkett, B. (2015). Effectiveness of a Dry-Land Resistance Training Program on Strength, Power, and Swimming Performance in Paralympics Swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (3), 619-626.
- Dormehl, S. J. & Williams, C. A. (2016). Stability of within-sport specialisation in competitive adolescent sub-elite swimmers. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 16 (1), 12-29.

- Fédération Internationale De Natation (FINA). (2017). Swimming Pool Certificate for Olympic Games and World Championships. Abgerufen von [http://www.fina.org/sites/default/files/fina\\_certificate\\_fr3.pdf](http://www.fina.org/sites/default/files/fina_certificate_fr3.pdf)
- Fulton, S. K., Pyne, D. B., Hopkins, W. G. & Burkett, B. (2009). Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. *Journal Sports Sciences*, 27 (5), 535–9.
- Hellard, P., Deckerle, J., Avalos, M., Cuada, N., Knopp, M. & Hauswirth, C. (2008). Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. *Journal of Sport Sciences*, 26 (1), 35–46.
- Hellard, P., Scordia, C., Avalos, M., Mujika, I. & Pyne, D. B. (2017). Modelling of optimal training load patterns during the 11 weeks preceding major competition in elite swimmers. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 42 (10), 1106–1117.
- Honda, K. E., Sinclair, P. J., Mason, B. R. & Pease, D. L. (2010). A biomechanical comparison of elite swimmers start performance using the traditional track start and the new kick start. *Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, pp. 94-96.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A. & Burke, L. M. (1999). Design and analysis of research on sport performance enhancement. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 31 (3), 472-485.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of Reliability in Sports Medicine and Science. *Sports Medicine*, 30 (1), 1-15.
- Hottenrott, K. (2002). *Herzfrequenzvariabilität im Sport Prävention – Rehabilitation – Training*. Hamburg: Czwalina Verlag.
- Hox, J. J., Moerbeek, M. & van de Schoot, R. (2010). *Multilevel Analysis: Techniques and Applications, Second Edition (Quantitative Methodology Series)*. New York: Routledge.
- Issurin, V. B. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *The Journal of Sports Medicine and physical fitness*, 40 (1), 65-75.

- Issurin, V. B. (2010). New Horizons for the Methodology and Physiology of Training Periodization. *Sports Medicine*, 40 (3), 189-206.
- Kalinin, V. K. & Ozolin, N. N. (1974). *Zur Struktur der Wettkampfperiode. Teorija i praktika fiziceskoj kul'tury, Moskau* 37 (1974), 2. Ins Deutsche übersetzt von Peter Tschiene (1975).
- Lohaus, A. (2018). Stressmanagementtrainings für Kinder und Jugendliche. In R. Fuchs & M. Gerber (Hrsg.), *Handbuch Stressregulation und Sport* (S. 163-178). Berlin: Springer.
- Malcata, R. M. & Hopkins, W. G. (2014). Variability of competition performance of elite athletes: a systematic review. *Sports Medicine*, 44 (12), 1763-1774.
- Mason, B. & Cossor, J. (2000). *What can we learn from competitions analysis at the 1999 Pan Pacific swimming championships?* Hong Kong: 18. International Symposium on Biomechanics in Sports.
- Matvejev, L. P., Kalinin, V. K. & Ozolin, N. N. (1975). Charakteristika der sportlichen Form und einige Wege zur Optimierung der Wettkampfperiode. *Theorie und Praxis des Leistungssports*, 13 (5/6), 164-177
- Matvejev, L. P. (1981). *Grundlagen des sportlichen Trainings*. Berlin: Sportverlag Berlin.
- Noordhof, D. A., Mulder, R. C. M., de Koning, J. J., & Hopkins, W. G. (2016). Race Factors Affecting Performance Times in Elite Long-Track Speed Skating. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11 (4), 535-542.
- Pyne, D. B., Trewin, C. B. & Hopkins, W. G. (2004). Progression and variability of competitive performance of Olympic swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 22 (7), 613-620.
- Raleigh, V. (2011). Long term development in Swimming – Swimming Australia. Zugriff am 27. Dezember 2018 unter <http://www.saintsswimming.com.au/site/user-assets/docs/long-term-swimming-development-model.pdf>

- Rudolph, K., Bußmann, G., Döttling, H. W., Jankowski, A., Jedamsky, A., Lambertz, H., Lamodke, F., Ludewig, B., Staufelbiel, K. & Spahl, O. (2015). Nachwuchskonzeption Schwimmen 2020 Vom Grundlagen- bis zum Anschlussstraining. Zugriff am 30. Oktober 2018 unter [http://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/schwimmen/Amtliches/150327\\_Nachwuchskonzeption\\_Schwimmen\\_2020.pdf](http://www.dsv.de/fileadmin/dsv/documents/schwimmen/Amtliches/150327_Nachwuchskonzeption_Schwimmen_2020.pdf)
- Sidney, M., Delhaye, B., Baillon, M. & Pelyo, P. (1999). Stroke frequency evolution during 100 and 200 m events front crawl swimming. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*, pp. 71-75.
- Silveira, R. P., Stergiou, P., Carpes, F. P., de S. Castro, F. A., Katz, L. & Stefanyshyn, D. J. (2017). Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks. *Sports Biomechanics*, 16 (2), 177-186.
- Silveira, R. P., Stergiou, P., Figueiredo, P., de S. Castro, F. A., Katz, L. & Stefanyshyn, D. J. (2018). Key determinants of time of 5m in different ventral swimming start techniques. *European Journal of Sport Science*, 18 (10), 1317-1326.
- Stergiou, N. & Decker, L. M. (2011). Human Movement Variability, Nonlinear Dynamics, and Pathology: Is There a Connection?. *Human Movement Science*, 30 (5), 869-888.
- Stewart, A. M., & Hopkins, W. G. (2000). Consistency of swimming performance within and between competitions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (5), 997-1001.
- Suslov, F.P. (2001). Annual training programs and the sport specific fitness levels of world class athletes. *Annual training plans and the sport specific fitness levels of world class athletes*. Zugriff am 14. August 2017 unter [http://coachr.org/annual\\_training\\_programmes\\_and\\_the\\_sport\\_specific.htm](http://coachr.org/annual_training_programmes_and_the_sport_specific.htm)
- Swimming Canada. (2008). *Long Term Athlete Development Strategy – Swimming to Win; Winning for Life*. Zugriff am 16. Dezember 2018 unter [https://www.swimming.ca/content/uploads/2015/06/ltad\\_en.pdf](https://www.swimming.ca/content/uploads/2015/06/ltad_en.pdf)

- Swimsportnews. (2017, 30. Juli). Bundestrainer Lambertz „WM macht Mut für die Zukunft“. Zugriff am 22. Dezember 2018 unter <https://swimsportnews.de/7745-bundestrainer-lambertz-wm-macht-mut-fuer-die-zukunft.html>
- Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2013). *Using multivariate statistics*. Harlow, United Kingdom: Pearson Education Ltd.
- Tønnessen, E., Sylta, Ø., Haugen, T.A., Hem, E., Svendsen, I.S. & Seiler, S. 2014. The road to gold: training and peaking characteristics in the year prior to a gold medal endurance performance. *PLoS One*, 9 (7), 1–13.
- Tor, E., Pease, D. & Ball, K. (2014). Characteristics of an elite swimming start. *Biomechanics and Medicine in Swimming XII*, pp. 257-263.
- Trewin, C. B., Hopkins, W. G. & Pyne, D. B. (2004). Relationship between world-ranking and Olympic performance of swimmers. *Journal of Sport Sciences*, 22 (4), 339-345.
- Tschiene, P. (2011). Sportliche Form oder Topform? Disput um das Erbe von L. P. Matvejev. *Leistungssport*, 41 (1), 7-8.
- Verchoshanskij, J. V. (1998). Das Ende der “Periodisierung” des sportlichen Trainings im Spitzensport. *Leistungssport*, 28 (5), 14-19.



# Lebenslauf

## Persönliche Angaben

---

Vor- und Nachname: Christoph Clephas

## Akademischer Werdegang

---

- |            |  |
|------------|--|
| 2019       | <b>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel</b><br>Abschluss des Promotionsvorhabens  |
| 2018       | <b>University of Calgary</b><br>Visiting Researcher im "Centre of Video and Performance Analysis" an der<br>Faculty of Kinesiology   |
| 17.04.2017 | <b>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel</b><br>Annahme als Doktorand  |
| 2016       | <b>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel</b><br>Beginn des Promotionsvorhabens   |
| 2016–heute | <b>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel</b><br>Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsbereich Angewandte Sportwissen-<br>schaft (Prof. Dr. Andreas Wilhelm) am Institut für Sportwissenschaft |
| 2013       | <b>University of Calgary</b><br>Visiting Student im "Centre of Video and Performance Analysis" an der Fac-<br>ulty of Kinesiology  |
| 2012-2014  | <b>Hochschule für Gesundheit und Sport Campus Berlin</b><br>Masterstudiengang Sportwissenschaft<br>Erlangung des akademischen Grades „Master of Arts (M.A.)“                                       |
| 2008–2012  | <b>Hochschule für Gesundheit und Sport Campus Berlin</b><br>Bachelorstudiengang Sport und angewandte Trainingslehre<br>Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Arts (B.A.)“                 |