

19
↑

SCHRIFTENREIHE
FÜR ANGEWANDTE
TRAININGSWISSENSCHAFT

iAT



Christian Käding

**Entwicklung eines Strukturmodells
der Wettkampfleistung im
Kanuslalom und
Ableitungen für die Trainingspraxis**

MEYER
& MEYER
VERLAG

Die Reihe

In der *Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft* möchte das Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) zeitnah und themenorientiert wichtige Veranstaltungen des IAT dokumentieren, aktuelle Forschungsergebnisse aus der angewandten Trainingswissenschaft präsentieren sowie wissenschaftliche Qualifizierungsarbeiten veröffentlichen, die unter dem Dach des IAT entstanden sind. Die Schriftenreihe folgt der bisherigen Zeitschrift für Angewandte Trainingswissenschaft, die von 1996-2014 vom Institut für Angewandte Trainingswissenschaft ebenfalls gemeinsam mit dem Meyer & Meyer Verlag Aachen herausgegeben wurde.

- Band 1:** Ulf Tippelt & Jürgen Wick (Hrsg.) – Angewandte Trainingswissenschaft im Forschungs- und Serviceverbund Leistungssport
- Band 2:** Ronny Lüdemann – Belastungsinduzierte Veränderung der Kraft
- Band 3:** Thomas Moeller – Leistung und Training im Triathlon
- Band 4:** Ina Fichtner (Hrsg.) – Technologien im Leistungssport
- Band 5:** Dirk Büsch, Hans-Dieter Heinisch & Ronny Lüdemann (Hrsg.) – Leistungsfaktoren in den Spiel- und Zweikampfsportarten
- Band 6:** Ina Fichtner (Hrsg.) – Technologien im Leistungssport 2
- Band 7:** Jürgen Wick, Ilka Seidel & Dirk Büsch (Hrsg.) – Olympianalyse Rio 2016 – Olympiazyklusanalysen und Auswertungen der Olympischen Spiele 2016
- Band 8:** Jürgen Wick (Hrsg.) – Wettkampf, Training und Leistungsdiagnostik in den Ausdauersportarten
- Band 9:** Ingo Sandau – Untersuchungen zur Bewegungsstruktur der Wettkampfübung Reißen und der Trainingsübung Zug breit im Gewichtheben
- Band 10:** Antje Hoffmann/Juliane Wulff (Hrsg.) – Die Spitze im Blick. Tagungsband zum gleichnamigen Nachwuchsleistungssport-Symposium vom 8.-10. Mai 2017 in Leipzig
- Band 11:** Thomas Lehmann – Entwicklung eines Modells zur Bestimmung der Absprungkräfte auf dem Sprungbrett
- Band 12:** Sascha Kreibich – Präzisierung der Technikorientierung für die V-Skihaltung im Skispringen auf der Basis von Windkanaluntersuchungen
- Band 13:** Ina Fichtner (Hrsg.) – Technologien im Leistungssport 3
- Band 14:** Jürgen Wick & Frank Lehmann (Hrsg.) – Olympianalyse Pyeongchang 2018
- Band 15:** Frank Lehmann, Uwe Wenzel & Ingo Sandau (Hrsg.) – Kräftiger, schneller, ausdauernder – Entwicklung der muskulären Leistung im Hochleistungstraining
- Band 16:** Janine Blenke – Training und Diagnostik psychomotorischer Leistungsvoraussetzungen im Pistolenschießen
- Band 17:** Jürgen Wick, Frank Lehmann & Marc-Oliver Löw (Hrsg.) – Olympianalyse Tokio 2020
- Band 18:** Jürgen Wick & Ingo Sandau (Hrsg.) – Olympianalyse Peking 2022

Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft
Band 19

Christian Käding

Entwicklung eines Strukturmodells der Wettkampfleistung im Kanuslalom und Ableitungen für die Trainingspraxis

Von der Sportwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Leipzig
genehmigte

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor philosophiae
(Dr. phil.)

vorgelegt von

Diplom-Sportlehrer, Christian Käding
geboren am 20.08.1982 in Spremberg

Betreuerin: Prof. Dr. Maren Witt

Gutachter: Prof. Dr. Maren Witt

Prof. Dr. René Schwesig

Eingereicht am 22.08.2023

Verteidigung der Dissertation am: 20.12.2023

Meyer & Meyer Verlag

Herausgeber der Schriftenreihe für Angewandte Trainingswissenschaft:
Institut für Angewandte Trainingswissenschaft Leipzig

Redaktionskollegium: Dr. M.-O. Löw, B. Franz, K. Henschel
Assistenz des Redaktionskollegiums: L. Gentsch

Anschrift:
Marschnerstraße 29
D-04109 Leipzig
Tel.: 0341-4945-100
Fax: 0341-4945-400
iat@iat.uni-leipzig.de
www.sport-iat.de

Entwicklung eines Strukturmodells der Wettkampfleistung im Kanuslalom und Ableitungen für die Trainingspraxis

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Details sind im Internet über
<www.dnb.de> abrufbar.

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie das Recht der
Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form – durch Fotokopie,
Mikrofilm oder ein anderes Verfahren – ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reprodu-
ziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, gespeichert, vervielfältigt oder
verbreitet werden.

© 2024 by Meyer & Meyer Verlag, Aachen
Auckland, Beirut, Dubai, Hügendorf, Hongkong, Indianapolis, Kairo, Kapstadt,
Manila, Maidenhead, Neu-Delhi, Singapur, Sydney, Teheran, Wien



Member of the World Sport Publishers' Association (WSPA)

Titelbild: Sideris Tasiadis (Deutschland), Olympia-Dritter von Tokio 2021 und Weltmeister 2022.
© picture alliance/Eibner-Pressfoto | Krieger/Eibner-Pressfoto
ISBN: 9783840315527
E-Mail: verlag@m-m-sports.com
www.dersportverlag.de

Zusammenfassung

Kanuslalom ist eine olympische Sportart, bei der die Athleten, auf schnell fließendem Wasser, einen mit Toren gesteckten Kurs in schnellstmöglicher Zeit bewältigen. Dabei ist die Streckenführung durch Abwärts- und Aufwärtstorkombinationen sowie Passagen ohne Torbefahrungen gekennzeichnet. Nicht regelkonforme Torlinienüberquerungen werden mit Strafsekunden, addiert auf die Gesamtzeit, geahndet. Methoden zur Analyse modellhafter Leistungsstrukturen, wie sie sich in olympischen Sportarten etabliert haben, sind im Kanuslalom wenig existent. Insbesondere die Aufdeckung der Struktur zur Wettkampfleistung ist aufgrund nicht standardisierter Bedingungen sehr komplex. Das in dieser Untersuchung theoretisch erarbeitete Strukturmodell der Wettkampfleistung im Kanuslalom bezieht wettkampfübergreifend die Ebene der Wettkampffregulativen (Strafsekunden), die zeitliche Dauer der jeweiligen Torkombinationen (Ebene der Befahrungsanforderungen) und die Paddelschlaggestaltung zur Bewältigung von Torkombinationen (Ebene motorisch-zeitlicher Parameter) ein. Auf Basis von fünf Wettkämpfen (Weltcups, Weltmeisterschaft – Saison 2015) wurde das Beziehungsgefüge von Parametern der Wettkampfleistung innerhalb des erarbeiteten Strukturmodells disziplinspezifisch, ebenenintern sowie ebenübergreifend, anhand univariater und multivariater statistischer Verfahren geprüft. In einigen Fällen lassen sich Zusammenhänge zwischen der Anzahl an Torstabberührungen und der Platzierung des Wettkampfergebnisses bestätigen (Kajak-Einer Herren: $r = 0.639$, $p = 0.044$, $n = 8$; Kajak-Einer Damen: $r = 0.949$, $p = 0.000$, $n = 9$; Canadier-Einer Herren: $r = 0.640$, $p = 0.230$, $n = 10$ und $r = 0.770$, $p = 0.012$, $n = 8$). Anhand der multiplen Regressionsmodelle konnte ein signifikanter Einfluss kategoriebezogener Torpassagen innerhalb der Wettkampfläufe (Aufwärtstor rechts, Aufwärtstor links, abwärts Torkombinationen und Streckenabschnitte ohne Torbefahrungen) auf das Gesamtergebnis bestätigt werden (Kajak-Einer Herren: $R^2 = 92,4\%$, Kajak-Einer Damen: $R^2 = 83,9\%$, Canadier-Einer Herren: $R^2 = 95,4\%$). Dabei besitzen Abwärtstorphassagen in den Disziplinen Kajak-Einer Herren, Kajak-Einer Damen und Canadier-Einer Herren den größten Einfluss auf die Wettkampfgesamtfahrzeiten. Hinsichtlich der univariaten Betrachtung des Zusammenhangs zwischen den kategoriebezogenen Torpassagen und der Gesamtfahrzeit sind Abwärtstorphassagen durch die jeweils höchsten Korrelationskoeffizienten gekennzeichnet (Kajak-Einer Herren: $r = 0.812$, $p = 0.000$, Kajak-Einer Damen: $r = 0.651$; $p = 0.000$, Canadier-Einer Herren: $r = 0.864$, $p = 0.000$). Innerhalb der leistungsabhängigen Betrachtung zeichnen sich erfolgreiche Athleten gegenüber weniger erfolgreichen Athleten durch signifikant schnellere Fahrzeiten innerhalb der kategoriebezogenen Torpassagen aus (Kajak-Einer Herren: Aufwärtstor links – Mann-Whitney- U -Test $U = 1543.5$, $Z = -2.148$, $p = 0.032$; Aufwärtstor rechts – Mann-Whitney- U -Test $U = 1513.5$, $Z = -2.294$, $p = 0.022$; Streckenabschnitte ohne Torbefahrung – Mann-Whitney- U -Test $U = 458.5$, $Z = -2.756$, $p = 0.006$; Abwärtstorkombination – Mann-Whitney- U -Test $U = 6553.0$, $Z = -5.271$, $p = 0.000$; Kajak-Einer Damen: Aufwärtstor links –

Mann-Whitney-*U*-Test $U = 1521.0$, $Z = -2.632$, $p = 0.008$, Aufwärtstor rechts – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 1517.0$, $Z = -2.650$, $p = 0.008$, Abwärtstorkombination – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 8659.0$, $Z = -2.940$, $p = 0.003$, Canadier-Einer Herren: Aufwärtstor links – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 1710.0$, $Z = -2.496$, $p = 0.013$, Streckenabschnitte ohne Torbefahrung – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 493.5$, $Z = -3.064$, $p = 0.002$, Abwärtstorkombination – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 7334.5$, $Z = -5.569$, $p = 0.000$). Hinsichtlich der Ebene motorisch-zeitlicher Parameter ist für eine erfolgreiche Befahrung von Torkombinationen eine optimale Paddelschlaggestaltung mit einhergehendem geringen Geschwindigkeitsverlust kennzeichnend. Innerhalb der Paddelschlaggestaltung zur Bewältigung von Abwärtstorkombinationen zeichnen sich die Antriebsphasen erfolgreicher Athleten ($t = 0.446 \pm 0.156$ s, $n = 207$) gegenüber weniger erfolgreichen Athleten ($t = 0.480 \pm 0.160$, $n = 217$) durch eine annähernd identische Dauer der Unterwasserphasen und durch eine gleichzeitig geringere Anzahl realisierter Paddelschläge aus. Ableitend für den Trainingsprozess ist ganzheitlich die Entwicklung des sporttechnischen Niveaus der Athleten zu berücksichtigen. Das erarbeitete Strukturmodell der Wettkampfleistung bildet die Grundlage für weitere Analysen innerhalb der Teilgefüge mit dem Ziel der weiteren Kennzeichnung struktureller Beziehungen von Parametern der Wettkampfleistung im Kanuslalom.

Abstract

Canoe slalom is an Olympic water sport in which the athletes have to master a fast flowing watercourse set with gates in the fastest possible time. Downstream and upstream gate combinations as well as passages without gates characterize the course. Crossings of the gate line that do not comply with the rules are penalized with penalty seconds added to the total time. Methods for revealing model performance structures, as they have been established in Olympic sports, are hardly existent in canoe slalom. In particular, uncovering the structure of competitive performance is very complex because of non-standardized conditions in this sport. The structural model of competition performance in canoe slalom, which was theoretically developed in this study, includes various levels across competitions: the level of competition rules (penalty seconds), the level of temporal duration of respective gate combinations (level of navigation requirements) and the level of paddle stroke design for mastering gate combinations (duration movement phases). Based on five competitions (World Cups, World Championship, Season 2015) the relationship structure from parameters of the competition performance within the compiled structural model is examined within each discipline, inter- and intra-level and on the base of univariate and multivariate statistical procedures. Isolated correlations between the number of penalties and the ranking of the competition result can be confirmed (men's kayak: $r = 0.639$, $p = 0.044$, $n = 8$; women's kayak: $r = 0.949$, $p = 0.000$, $n = 9$, men's canoe: $r = 0.640$, $p = 0.230$, $n = 10$ and $r = 0.770$, $p = 0.012$, $n = 8$). Using the multiple regression models, the influence of categorical gate combinations within different runs in competitions (upstream right, upstream left, downstream gate combinations and sections without gates) on the overall result was confirmed with statistical significance (men's kayak: $R^2 = 92.4\%$, women's kayak: $R^2 = 83.9\%$, men's canoe: $R^2 = 95.4\%$). Downstream gate passages in the disciplines men's kayak, women's kayak and men's canoe have the greatest influence on the total time. With regard to the univariate observation of the correlation between the categorical gate combinations and the total race time, downstream gates are characterized by the highest correlation coefficients (men's kayak: $r = 0.812$, $p = 0.000$, women's kayak: $r = 0.651$, $p = 0.000$, men's canoe: $r = 0.864$, $p = 0.000$). Within the performance-dependent observation, successful athletes compared to less successful athletes are characterized by significantly faster times within the categorical gate combinations (men's kayak: upstream left – Mann-Whitney- U -Test $U = 1543.5$, $Z = 2.148$, $p = 0.032$; upstream right – Mann-Whitney- U -Test $U = 1513.5$, $Z = -2.294$, $p = 0.022$; sections without gates Mann-Whitney- U -Test $U = 458.5$, $Z = -2.756$, $p = 0.006$; downstream gates – Mann-Whitney- U -Test $U = 6553.0$, $Z = -5.271$, $p = 0.000$; women's kayak: upstream left – Mann-Whitney- U -Test $U = 1521.0$, $Z = -2.632$, $p = 0.008$, upstream right – Mann-Whitney- U -Test $U = 1517.0$, $Z = -2.650$, $p = 0.008$, downstream gates – Mann-Whitney- U -Test $U = 8659.0$, $Z = -2.940$, $p = 0.003$, men's canoe: upstream left – Mann-Whitney- U -Test $U = 1710.0$, $Z = -2.496$, $p = 0.013$,

downstream gates – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 493.5$, $Z = -3.064$, $p = 0.002$, downstream gates – Mann-Whitney-*U*-Test $U = 7334.5$, $Z = -5.569$, $p = 0.000$). With regard to the level of duration movement phases, an optimal paddle stroke design combined with minimal loss of speed is characteristic for successful navigation of gate combinations. Within the paddle stroke design for mastering downstream gates, the duration of paddle strokes water phases of successful athletes ($t = 0.446 \pm 0.156$ s, $n = 207$) compared to less successful athletes ($t = 0.480 \pm 0.160$, $n = 217$) are characterized by nearly identical water phases in terms of temporal duration with an lower number of executed paddle strokes. For the training process, one must consider the athlete's technical development level holistically. In addition, the developed structural model of competitive performance provides the basis for more in-depth analyses within the substructures with the aim of further uncovering structural relationships of parameters of competitive performance in canoe slalom.

Inhalt

	Seite
Abkürzungsverzeichnis.....	11
Abbildungsverzeichnis.....	12
Tabellenverzeichnis.....	15
1 Problemstellung.....	17
2 Theoretische Ausgangsposition.....	19
2.1 Modelle zur Leistungsstruktur – Struktur der Leistungsfähigkeit und Struktur der Wettkampfleistung.....	22
2.2 Anforderungen der Sportart Kanuslalom.....	32
2.2.1 Wettkampfgeregulieren.....	36
2.2.2 Klassifikation der Bewegungsanforderungen im Kanuslalom.....	41
2.3 Modellansatz zur Struktur der Wettkampfleistung im Kanuslalom.....	53
3 Fragestellung.....	55
4 Methoden.....	58
4.1 Stichprobenkonstruktion.....	59
4.2 Methoden der Datenerfassung und Datenaufbereitung.....	63
4.3 Statistische Aufarbeitung der Daten – Operationalisierung.....	65
4.4 Limitationen.....	70
4.4.1 Untersuchungsgruppen, Untersuchungsverfahren, Untersuchungsdesign.....	70
4.4.2 Statistische Verfahren.....	74
5 Ergebnisdarstellung.....	76
5.1 Ebene der Wettkampfgeregulieren.....	76
5.1.1 Einfluss von Torfehlern auf das Gesamtergebnis und leistungsrelevante Unterschiede.....	76
5.1.2 Interpretation der Ergebnisse auf der Ebene der Wettkampfgeregulieren.....	80
5.2 Ebene der Befahrungsanforderung.....	82
5.2.1 Einfluss kategoriebezogener Abschnittszeiten auf die Gesamt- fahrzeit.....	83
5.2.2 Unterschiede kategoriebezogener Abschnittszeiten zwischen Top ⁵ - und Bottom ⁵ -Athleten (ebenenintern).....	88
5.2.3 Interpretation der Ergebnisse auf der Ebene der Befahrungsanforderungen.....	95
5.3 Ebene der motorisch-zeitlichen Parameter.....	97

5.3.1	Kennzeichnung der Ergebnisse zur Struktur der Wettkampfleistung auf der Ebene motorisch zeitlicher Parameter am Beispiel der Kajak Einer-Damen	97
5.3.2	Interpretation der Ergebnisse auf der Ebene zeitlich-motorischer Parameter zur Struktur der Wettkampfleistung am Beispiel Kajak-Einer Damen	100
5.3.3	Hypothesengenerierend abgeleitete Erwartungen.....	103
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	105
7	Ableitung für die Trainings- und Wettkampfpraxis.....	114
	Literaturverzeichnis	123

Abkürzungsverzeichnis

Σ	..... Summe	m	..... Meter
Al	..... Aufwärts links	m ³ /s	.. Kubikmeter pro Sekunde
Ar	..... Aufwärts rechts	min	..... Minuten
C1D	.... Canadier-Einer Damen	MW	..... Mittelwert
C1H	.... Canadier-Einer Herren	MZA	..... Mittelzeitausdauer
C2H	.. Canadier-Zweier Herren	OSP	..... Olympiastützpunkt
ccc	..... competence clients creativity	R ²	..... Bestimmtheitsmaß
CEP	Complex Event Processing	rl	..... Rundschlag links
cm	..... Zentimeter	rr	..... Rundschlag rechts
dl	..... Drücken links	s	..... Sekunden
dr	..... Drücken rechts	SD	..... Standardabweichung
ECA	..... European Canoe Association	sl	..... Staken links
EM	..... Europameisterschaft	sr	..... Staken rechst
Fa.	..... Firma	srl	. Staken richtungsorientiert links
FSL	.. Forschungs- und Service ... Verbund Leistungssport	srr	. Staken richtungsorientiert rechts
GmbH	..... Gesellschaft mit beschränkter Haftung	T	..... Tempostrecken
Hz	..... Hertz	u	..... Umsetzphase
IAT	.... Institut für Angewandte Trainingswissenschaft	uw	..... Umsetzphase Wasser
ICF	..... International Canoe Federation	Vark	..... Variationskoeffizient
IOC	..... International Olympic Committee	vgl.	..... vergleiche
K1D	..... Kajak-Einer Damen	vl	Grundschatg vorwärts links
K1H	..... Kajak-Einer Herren	vr	..... Grundschatg vorwärts rechts
kg	..... Kilogramm	vs.	..... versus
KZA	..... Kurzeitausdauer	Vv	..... versetzt vorwärts
LZA	..... Langzeitausdauer	WC	..... Weltcup
		WM	..... Weltmeisterschaft
		zl	..... Zugschatg links
		zr	..... Zugschatg rechts

Abbildungsverzeichnis

Seite

<i>Abb. 1.</i> Modellansatz zur Struktur der sportlichen Leistungsfähigkeit (Schnabel et al., 2011, modifiziert nach Gundlach, 1980).....	24
<i>Abb. 2.</i> Modellebenen der Leistungsstruktur inklusive Leistungsmerkmale in der Sportart Skilanglauf (Ostrowski & Pfeiffer, 2007).....	27
<i>Abb. 3.</i> Modell der Leistungsstruktur – hierarchisierte Modellebenen horizontal/vertikal geordnete Leistungsmerkmale in der Sportart Skilanglauf (Ostrowski & Pfeiffer, 2007).....	28
<i>Abb. 4.</i> Anforderungsprofil/Strukturplan im Kanuslalom (Kahl, 2005, modifiziert nach Deppe, Gerlach & Knapp, 1979).....	30
<i>Abb. 5.</i> Modellvorstellung der sportlichen Leistung im Kanuslalom (Lange & Bley, 1997).....	31
<i>Abb. 6.</i> Simuliert prozentualer Anteil des alaktaziden, laktaziden und aeroben Energiestoffwechsels bei erschöpfenden Belastungen zwischen 10 Sekunden (s) und vier Minuten (min) in Anlehnung an Heck (1990), Davies et al. (2005) und Röcker (2020).....	33
<i>Abb. 7.</i> Grafische Datenaufbereitung einer unmittelbaren Wettkampfanalyse (Fahrzeitverlustkurven) am Beispiel des Finales der WM 2014 in Deep Creek (USA) in der Disziplin Canadier-Einer Herren.....	35
<i>Abb. 8.</i> Prozentuale Verweildauer während der Befahrung eines Aufwärtstors bei der WM 2005 (Hunter et al., 2008).....	36
<i>Abb. 9.</i> Exemplarische Darstellung eines Kursdesigns bei Kanuslalomwettkämpfen mit Hindernissen, Wildwassersituationen und Streckenführung (UK Slalom, 2019).....	38
<i>Abb. 10.</i> Paddelcharakteristik im Bereich Kajak (Doppelpaddel) und Canadier (Stechpaddel) sowie Bootsmaße(Paddel – G'POWER, 2019; Grafik – Bootskörper in Anlehnung an Galasport, 2018).....	39
<i>Abb. 11.</i> Erfassungsbereich des Paddels der Kajak- (Doppelpaddel) und Canadierdisziplinen (Stechpaddel), (modifiziert nach Wozniak, 1974).....	40
<i>Abb. 12.</i> Beispiel der Fahrliniengestaltung von Aufwärtstorbefahrungen (a) mit tiefer Anfahrt/enger Ausfahrt (–) enger Anfahrt/hoher Ausfahrt (···) und Abwärtstorbefahrungen (b) in Abhängigkeit von der Strömungssituation – (–) geringe Strömungsgeschwindigkeit (···) mittlere Strömungsgeschwindigkeit, (- - -) hohe Strömungsgeschwindigkeit (in Anlehnung an Seifritz, 2000).....	52
<i>Abb. 13.</i> Fahrliniengestaltung während der Befahrung eines Aufwärtstors in Abhängigkeit von den zwei schnellsten und langsamsten Athleten der Disziplinen Kajak-Einer Herren und Canadier-Einer Herren (Hunter, 2009).....	52