

Wettkampfanalyse im Nachwuchsbereich Ski Alpin

*Ein Vergleich zwischen Leistungs- und Kurssetzungsparametern zwischen den
Kategorien U12 bis U21 im Riesenslalom*

Abschlussarbeit zur Erlangung des
Master of Science in Sportwissenschaften
Option Unterricht

eingereicht von

Bruno Sumi

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

in Zusammenarbeit mit der
Eidgenössischen Hochschule für Sport Magglingen

Referent
PD Dr. Silvio Lorenzetti

Betreuer
Björn Bruhin

Grund bei Gstaad, August 2020

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1. Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage	4
1.1 Einleitung	4
1.2 Leistungsparameter	5
1.3 Kurssetzungsparameter	14
1.4 Forschungslücke	16
1.5 Ziele und konkrete Fragestellungen	17
2 Methoden.....	18
2.1 Beschrieb der Stichprobe.....	18
2.2 Studiendesign	19
2.3 Messinstrumente.....	20
2.4 Datenauswertung	21
3 Resultate	23
3.1 Leistungsparameter	23
3.2 Kurssetzungsparameter	27
3.3 Lineare Regressionsanalyse	28
4 Diskussion	31
4.1 Interpretation der Ergebnisse.....	31
4.2 Stärken und Schwächen der Arbeit	38
4.3 Ausblick auf mögliche weiterführende Fragestellungen.....	39
5 Schlussfolgerung	40
Literaturverzeichnis.....	41

Zusammenfassung

Einleitung. Der alpine Skirennsport ist in der Schweiz sehr beliebt und erfolgreich aufgestellt. Die Disziplin Riesenslalom wird als Kerndisziplin und Grundlage angeschaut. Damit ein Rennfahrer schnell sein kann, muss er die bestmögliche Leistung in einer fremdbestimmten Kurssetzung abrufen können. Es findet immer eine Wechselbeziehung zwischen Leistungs- und Kurssetzungsparametern statt. Die horizontale Tordistanz ist mitentscheidend, wie stark eine Kurssetzung dreht und hat Einfluss auf das Leistungsverhalten eines Rennfahrers. Ein Schwung besteht aus einer Einleitungsphase, einer Steuerphase und einer Gleitphase. Die Gleitphase zwischen zwei Toren ist die kürzeste Phase. Daher wird in dieser Arbeit untersucht, ob es Unterschiede für die Gleitphase in den verschiedenen Alterskategorien gibt und wie die Gleitphase mit der horizontalen Tordistanz in Verbindung gebracht werden kann.

Methode. Die Datenerhebung für die Leistungs- und Kurssetzungsparameter fand mit Sensoren des GNSS (global navigation satellite system) statt. Vier verschiedene Wettkämpfe auf JO- und FIS-Stufe mit 76 Teilnehmern der Kategorie U12, U14, U16, U18 und U21 konnten in mittelsteilem Gelände gemessen und verglichen werden. Die Datenauswertung erfolgte via ANOVA one-way und einer linearen Regressionsanalyse.

Resultate. Fast alle Alterskategorien hatten signifikante Unterschiede innerhalb der Gleitphase vorzuweisen. Tendenziell wurde die Gleitphase mit zunehmendem Alter länger. Nur Kategorie U14 mit U16 und U18 mit U21 zeigten keine Signifikanz. Zwischen der horizontalen Tordistanz und der Gleitphase waren keine Signifikanzen zu finden. Dennoch waren leicht positive wie auch negative Effekte zu erkennen.

Diskussion und Konklusion. Die Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände unterscheidet sich zwischen fast allen Alterskategorien und zeigen die Wichtigkeit dieser Kurvenphase auf. Aus den fünf Alterskategorien könnten drei Gruppen gebildet werden, die für die Gleitphase ähnliche Werte aufweisen. Die Bestimmung der horizontalen Tordistanz bei der Kurssetzung und ihre Auswirkungen auf die Gleitphase konnten nicht aussagekräftig belegt werden. Die leichten Effekte können aber trotzdem Tendenzen erkennen lassen und für die Praxis entsprechend umgesetzt werden. Weitere Studien sind nötig, um mehr Daten über den Zusammenhang zwischen horizontaler Tordistanz und der Gleitphase erhalten zu können. Das Ziel muss bleiben durch die altersadäquate Anpassung der Kurssetzung, die Bewegungsstruktur eines Riesenslalomfahrers in jungen Jahren erfolgreich aneignen zu können.

1. Wissenschaftlicher Hintergrund und Ausgangslage

1.1 Einleitung

Der alpine Skisport ist eine der bekanntesten und traditionsreichsten Sportarten in der Schweiz. 35.4% der Schweizer Bevölkerung fährt Ski (Lamprecht et al., 2014). Dies bedeutet Rang vier aller Sportarten. Der alpine Skirennsport, als spezifischer Teil der Schneesportlandschaft, ist in der Schweizer Bevölkerung sehr beliebt. Dies zeigen die Publikumszahlen des schweizerischen Radios und Fernsehen (SRF) seit 2013. Unter den hundert meistgesehenen Sendungen von SRF fallen neun Übertragungen auf den Skirennsport. Dies ist neben Fussball die zweithöchste Sportquote zwischen 9.7% bis 12.7% der Schweizer (Schweizer Radio und Fernsehen, 2020). An den Olympischen Winterspielen zwischen 1988 bis 2010 gingen 37% aller 68 gewonnenen Medaillen auf das Konto der alpinen Skirennfahrer (Kempf et al., 2013). Die alpinen Wettkämpfe werden in vier Hauptdisziplinen durchgeführt: Slalom, Riesenslalom (RS), Super-G und Abfahrt. RS wird als Kerndisziplin und Grundlage des Skirennfahrers angeschaut. Im alpinen Skirennsport werden unterschiedliche Alterskategorien geführt. In der Schweiz werden ab der Stufe U12 die ersten regionalen Kaderstrukturen erhoben. Zusammen mit der Kategorie U14 und U16 werden die Rennen der Jugendorganisation (JO) organisiert. Für die Regulierung der JO-Stufe ist in der Schweiz die Kommission für Wettkampfordnung (KWO) von Swiss-Ski zuständig (Swiss-Ski-KWO, 2019). Die internationalen Reglemente der FIS (Fédération Internationale de Ski) gelten bei einem Übertritt in die FIS-Stufe, ab dem siebzehnten Lebensjahr (FIS, 2019). Swiss-Ski führt aber weiterhin eine U18 und U21 Kategorie für die Schweiz. Diese dienen zur adäquaten Selektion in ein nächst höheres Kader von Swiss-Ski. Weiter kann ein internationaler Vergleich mit den Gleichaltrigen über die Landesgrenzen hinaus stattfinden.

Der Skirennsport ist aus physischer, technischer und taktischer Sicht, sehr komplex (Hébert-Losier et al., 2014). Laut den Autoren (Läuppi & Spörri, 2014) gibt es unzählige Faktoren, die einen Skirennfahrer schnell machen können. Diese Faktoren müssen grob unterteilt werden. Die individuellen Voraussetzungen werden definiert durch Kondition, Koordination, Psyche, Trainingsalter, biologisches Alter und der Persönlichkeit. Die äusseren Bedingungen werden durch das Wetter, die Schneebedingungen, Wind, Temperatur und Pistenbedingungen definiert (Läuppi & Spörri, 2014). Weiter kommen Faktoren wie Materialbeschaffenheit (Ski, Skischuhe, Bindungen, Renndress, etc.), die individuelle Skitechnik und die Taktik dazu. All diese Faktoren stehen in einer komplexen Wechselbeziehung zueinander und sind für Athleten

gleichermaßen wichtig wie für die Trainer, die mit den Athleten zusammen arbeiten (Läuppi & Spörri, 2014). Eine effektive Skileistung beinhaltet nach Hébert-Losier et al. (2014) die effiziente Nutzung von potenzieller Energie und die Fähigkeit die Schneereibung zu minimieren. Weiter soll durch individuelles Training der Technik und Taktik, eine hohe Linienwahl ermöglicht werden, damit die hohe Geschwindigkeit möglichst aufrecht erhalten werden kann (Hébert-Losier et al., 2014). Die Linienwahl basiert laut den Autoren (Läuppi & Spörri, 2014) auf der Unterschiedlichkeit einer Kurssetzung und den individuellen Voraussetzungen eines Skirennfahrers, damit die Linienwahl umgesetzt werden kann. Ein grosser und wichtiger Teil beim Skitraining ist dabei das Techniktraining. Die Umsetzung der Technik vom freien Fahren in die Tore erfolgt durch Hilfe des technikorientierten Kurssetzens. Im Technikleitbild von Swiss-Ski wird der zeitliche Aspekt von Tor zu Tor berücksichtigt, die ein Fahrer bei der Durchfahrt benötigt. Dieser beträgt im RS von Tor zu Tor zirka 1.3 Sekunden, bei langen Zügen aus zwei Toren gesteckt, sogenannten "Bananen", zirka 2.0 Sekunden. Um diesen Zeitaspekt erfüllen zu können, sind unter Miteinbezug der unterschiedlichen Materialeigenschaften in den verschiedenen Kategorien die Tordistanzen entsprechend angegeben. Dies soll erlauben, das Bewegungsmuster der Athleten alterssegmentgerecht zu fördern (Läuppi & Spörri, 2014). Die beste Leistung wird im Skirennsport so definiert, dass der schnellste Fahrer im Ziel den Sieger darstellt. Die folgenden Abschnitte liefern Hintergrundinformationen über Themengebiete dieser Studie und stellen die Forschungsfragen näher dar.

1.2 Leistungsparameter

Als Leistungsparameter werden alle spezifischen Daten definiert, die über das Fahrverhalten und die Fahrt eines Rennläufers Auskunft geben. Darunter gehört die Geschwindigkeit, die Zeit pro Kurve oder auch Teilen davon und die Bestimmung des minimalen Kurvenradius pro Kurve (Bruhin et al., 2019). Darüber hinaus kann der prozentuale Anteil der Aufenthaltsdauer in einer spezifischen Kurvenphase abgeleitet werden.

1.2.1 Verschiedene Konzepte zur Bestimmung der Kurvenphasen. Innerhalb einer Kurve werden verschiedene Kurvenphasen bestimmt. Diese helfen den Trainern bei der Bestimmung der Technikscherpunkte für einen Athleten (Läuppi & Spörri, 2014). Swiss-Ski unterteilt die Kurve im verfeinerten Technikleitbild in drei Hauptphasen (Läuppi & Spörri, 2014). Die erste Phase ist der Schwung weg vom Tor. Die Hauptaufgabe in diesem Teil, ist durch die Erhöhung des Kantenwinkels, den Schwungradius zu verkürzen. In diesem Teil wirken die grössten Kräfte auf den Körper. Die zweite Phase des Schwungwechsels wird noch spezifischer in einen

ausleitenden, überleitenden und einem einleitenden Teil gegliedert. Im ausleitenden Teil nimmt der Rennläufer den Druck vom Aussenski weg und führt mit einer aktiven Vor-Hoch-Bewegung den Belastungswechsel gegen den neuen Aussenski durch. Im überleitenden Teil kommt es kurz zu einer Gleitphase, bei welcher der Ski flach auf dem Schnee aufliegt. Je nach Situation kann diese länger, kürzer oder gar nicht stattfinden. Keine Gleitphase wird dann erreicht, wenn der Ski direkt von Kante zu Kante gefahren wird. Im einleitenden Teil wird der Ski kontinuierlich aufgekantet und hinter das Tor gefahren. Hier entscheidet der Fahrer, wann genau die dritte Hauptphase gestartet wird. In dieser beginnt der dynamische und progressive Druckaufbau in Richtung der Falllinie. Die Falllinie ist immer der direkteste Weg ins Tal (Läuppi & Spörri, 2014).

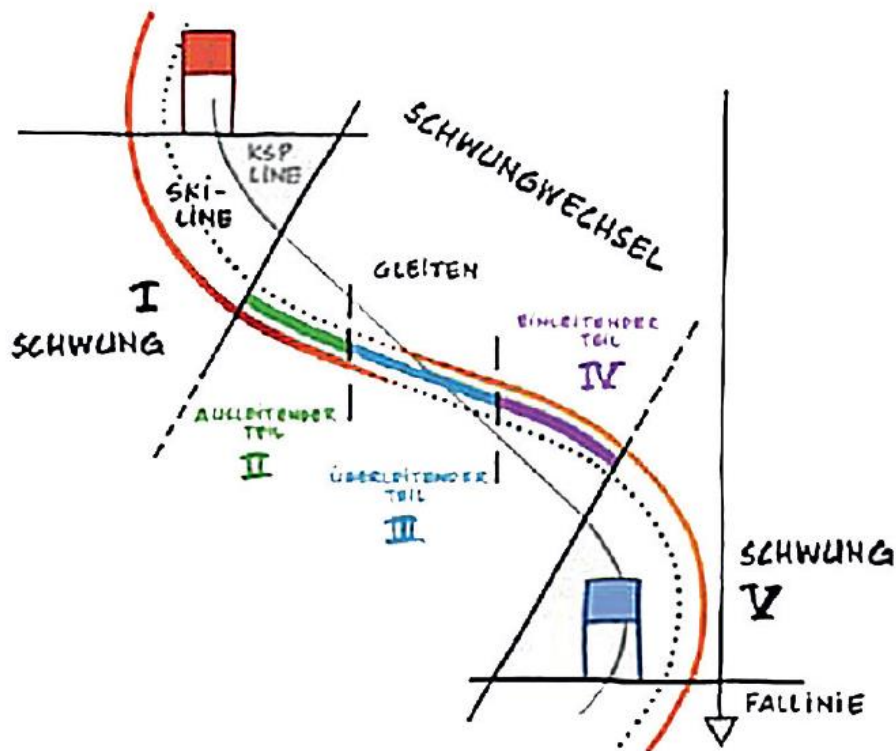


Abbildung 1. Kurvenphasen aus Ski Alpin Racing Konzept (Läuppi & Spörri, 2014)

Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller et al. (2012) führten eine 3D-kinematische Feldmessung durch und unterteilten die Kurve anhand der Körperschwerpunktslinie (COM) und dem für RS angepassten Radius von 30m in vier Hauptphasen auf. Die Kurve beginnt beim Schnittpunkt der Körperschwerpunktslinie (COM) mit der Skilinie und dauert bis sich die beiden Linien erneut schneiden. Die Kurve startet mit einer einleitenden Phase, gefolgt von einer Phase der Richtungsänderung (COM Direction Change I und II) und einer Abschlussphase. Die einleitende Phase dauert so lange, bis der Kurvenradius das erste Mal kleiner als 30 Meter wird (Punkt b). Die COM Direction Change I Phase dauert bis zum Tor (c). Die COM Direction Change II Phase dauert so lange, bis der Kurvenradius das erste Mal grösser als 30 Meter wird (d). Die Abschlussphase dauert bis zur erneuten Kreuzung der COM-Linie mit der Skilinie (e) (Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al., 2012).

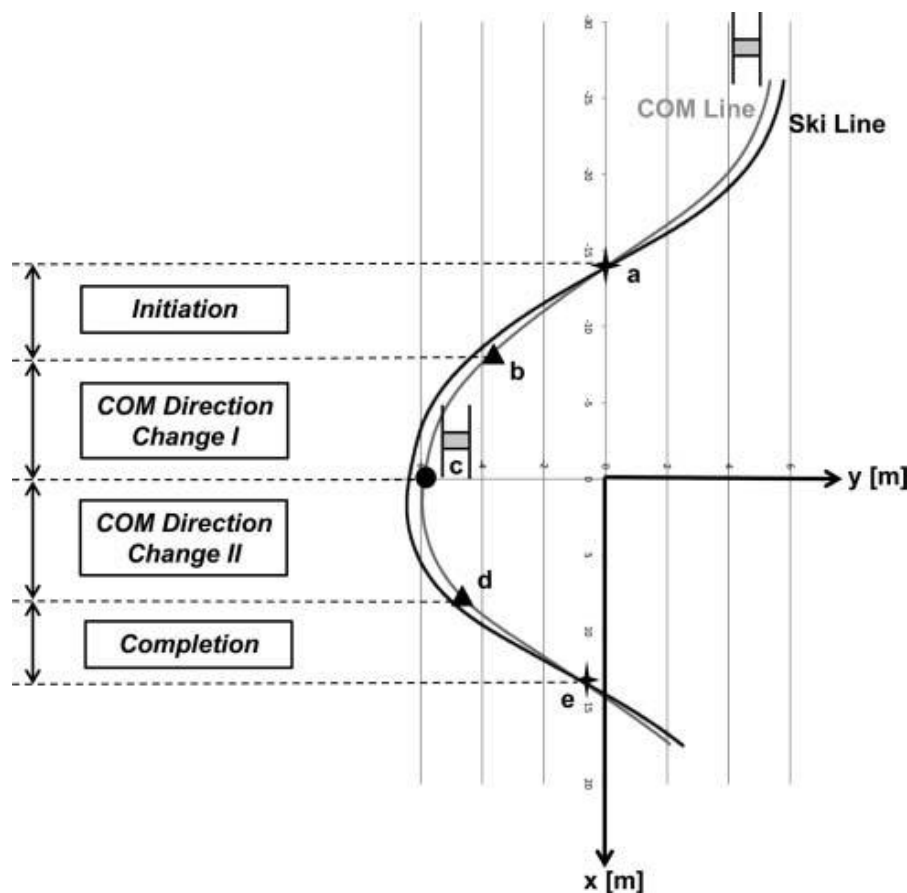


Abbildung 2. Kurvenphasen nach Spörri (Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al., 2012)

Bruhin et al. (2019) teilten die Kurve in drei Phasen auf. Auf die Einleitungsphase folgt die Abschlussphase und die Gleitphase. Die Einleitungsphase startet, wo der Kurvenradius kleiner als 80 Meter (C) wird. Der Punkt zwischen Einleitungsphase und Abschlussphase wird dort festgelegt, wo die Kurve den kleinsten Radius beschreibt (D). Dies ist im Normalfall in der Nähe des Tores, kann aber durch die Kurssetzung auch abweichen. Wird der Kurvenradius grösser als 80 Meter, ist die Abschlussphase zu Ende (E) und die Gleitphase beginnt. Die Gleitphase dauert bis der Radius der nächsten Kurve kleiner wird als 80 Meter (F) und erneut die Einleitungsphase startet (Bruhin et al., 2019). Die Gleitphase lässt sich vergleichen mit dem Schwungwechsel aus dem Technik Racing Konzept von Swiss Ski in Abbildung 1.

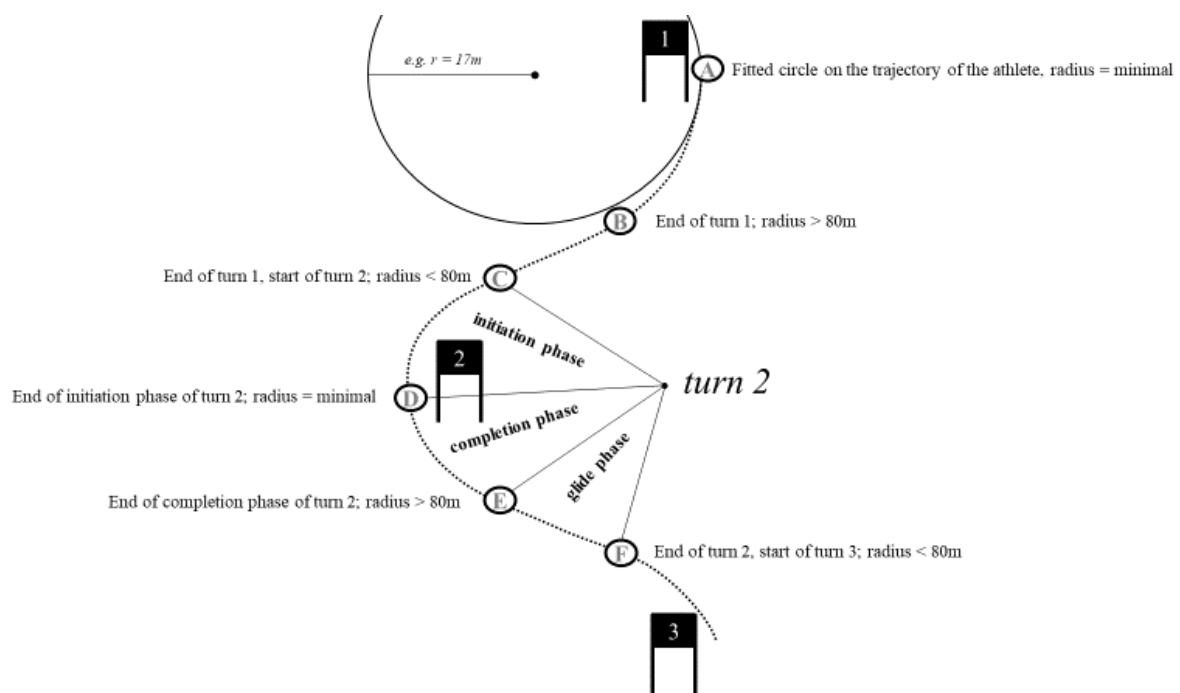


Abbildung 3. Kurvenphasen nach Bruhin (Bruhin et al., 2019).

1.2.2 Spezifische Daten der Leistungsparameter. Unabhängig von der Definition der verschiedenen Kurvenphasen ist entscheidend, welche Verlaufslinie zwischen den Toren die schnellste ist. Dabei scheint das mechanische Energieverhalten eine wichtige Rolle zu spielen (Supej, 2008). Die Konsequenz der energetischen Analyse ergab, dass der Skirennfahrer eine möglichst hohe kinetische Energie aufrechterhalten muss. Je kleiner der Energieverlust ist, desto direkter kann die potenzielle Energie in kinetische Energie abgeleitet werden. Luftwiderstand und Schneereibung begünstigen dabei den Energieverlust. Daher ist die Technik oder Fähigkeit, den Luftwiderstand oder die Schneereibung zu minimieren, essentiell (Supej, 2008). Laut den Autoren Meyer, Le Pelley & Borrani (2012) ist dem Luftwiderstand im Speed-Bereich (Abfahrt und Super-G) grösseren Stellenwert beizumessen als im RS. Im RS sind die Rennläufer in ständiger Bewegung - längere Abschnitte in der Hocke sind Seltenheit. Im RS können aber aerodynamische Luftwiderstandsenergieverluste von 10%, von einer dynamischen zu einer kompakten Position auftreten (Meyer et al., 2012). Die gerechneten Modelle erlauben es nur den aerodynamischen Luftwiderstand zu schätzen (Meyer et al., 2012). Gemäss Supej (2008) ist in der Nähe des Tores der Energieverlust am höchsten. Die Bodenreaktionskraft steigt, die Drehgeschwindigkeit steigt und der Ski läuft nicht optimal, weil der Schneewiderstand am grössten ist. Im Gegensatz dazu ist bei der Gewichtsverlagerung beim Umkanten des Skis der Energieverlust am tiefsten. Die Bodenreaktionskraft sinkt, die Drehgeschwindigkeit sinkt und der Ski läuft reibungsloser, weil er einen kurzen Moment gleitet (Supej, 2008). Im Gegensatz zur Annahme, dass der kürzeste Kurvenradius mit der direktesten Linie die schnellste Zeit ergibt, hat Supej (2008) damit das Gegenteil gemessen. Eine höhere und rundere Linie ergab höhere Werte für die kinetische Energie, was sich auch positiv auf die Zeit auswirkte (Supej, 2008). Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller et al. (2012) bestätigten diese Erkenntnisse dadurch, dass der Radius der Körperlinie (COM) bei den schnellsten Kurven grösser war als bei den langsamsten Kurven. Je näher und länger sich die Bewegungsrichtung an der Falllinie orientierte, desto besser war die Übertragungsrate von potenzieller Energie in kinetische Energie (Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al., 2012).

Einen weiteren Einfluss auf die kinetische Energie hat die Schneebeschaffenheit. Die Dichte der Schneekristalle, die Art der Schneekörner, die Schneetemperatur und die Schneereflection sind zu beachtende Punkte (Wolfspurger et al., 2014). Wolfspurger et al. (2014) untersuchten die Beschaffenheit nach einem Dreipunkteplan. Bei der subjektiven Beurteilung des Schnees wurde die Härte, die Griffigkeit, die Welligkeit und der Schaden nach einem Wettkampf anhand einer Sechser-Skala charakterisiert. Mit einer Feldmessung mit Instrumenten wurde die Temperatur, Dichte, Schneebeschaffenheit und die Schneereflection gemessen. In einem dritten Teil

wurde die Schneemikrostruktur visualisiert, was zusätzliche Informationen über die mechanischen Eigenschaften gab. Zwischen den gemessenen Rennen gab es grosse Unterschiede betreffend Schneebeschaffenheit (Wolfsperger et al., 2014).

Die Leistungsparameter sind abhängig von den Kurssetzungsparametern. Es findet daher immer ein Ursache-Wirkungs-Prozess statt. Wird die Kurssetzung verändert, hat dies Auswirkungen auf jeden Leistungsparameter. Ein wichtiger Bestandteil zur Bestimmung der Leistungsparameter ist die Geschwindigkeit. Die Durchschnittsgeschwindigkeiten im RS scheinen im Vergleich zwischen den Studien ähnlich zu sein, trotz unterschiedlichen Studiendesigns. Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al. (2012) verglichen den Unterschied zwischen einer schnelleren und langsameren Kurssetzung mit einem Skirennfahrer. Gilgien, Crivelli, et al. (2015) verglichen während zwei Wintersaisons sieben Weltcupriesenslalom der Männer miteinander. Bruhin et al. (2019) verglichen die Geschwindigkeiten bei den Herren auf JO-Stufe und FIS-Stufe. Bei allen drei Studien pendelten sich die Geschwindigkeiten bei den Herren zwischen 62 und 69 km/h ein. Einzig auf JO-Stufe waren die Geschwindigkeiten um einiges tiefer, bei 48 bis 53 km/h. Die Mittelwerte der Geschwindigkeiten der JO-Stufe waren signifikant tiefer als die der gemessenen FIS-Fahrer (Bruhin et al., 2019). Die positiven oder negativen Einflüsse der kinetischen Energie haben Auswirkungen auf die Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeit verändert sich dauernd. Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al. (2012) hatten in ihrem Modell die höchste Geschwindigkeit gegen Ende der Einleitenden Phase erreicht. In der COM Direction Change I Phase, also kurz vor dem Tor, ist die Geschwindigkeit am tiefsten. Bis in die Mitte der COM Direction Change II Phase nimmt die Geschwindigkeit wieder zu. Im Übergang zur Abschlussphase nimmt sie nochmals ab. Dies passiert, weil dort oft der Kurvenradius durch den Fahrer justiert werden muss, um die optimale Linie zu treffen. In der Abschlussphase beginnt die Geschwindigkeit wieder anzusteigen. Die Geschwindigkeitskurven sehen auch bei unterschiedlichen Kurssetzungen alle ähnlich aus. Nur im Übergang zur und in der Abschlussphase selber sind die Geschwindigkeiten tiefer bei stark drehenden Kursen (Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al., 2012). Wie in Abbildung 4 zu erkennen ist, wird unter drehenden Kursen die Zunahme der horizontalen Tordistanz bei gleichbleibender vertikalen Tordistanz verstanden oder die Verkleinerung der vertikalen Tordistanz bei gleichbleibender horizontalen Tordistanz. Einen maximal drehenden Kurs ergibt sich auch aus der gleichzeitigen Zunahme der horizontalen, wie Verkleinerung der vertikalen Tordistanz. Bruhin et al. (2019) stellten ebenfalls eine Geschwindigkeitsverzögerung vom Kurvenanfang bis zum minimalen Kurvenradius beim Tor fest. Nach dem minimalen Kurvenradius erfolgte wieder eine Zunahme der Geschwindigkeit (Beschleunigung). Auffallend war, dass FIS-Fahrer

eine geringere Verzögerung vor und eine geringere Beschleunigung nach dem minimalen Kurvenradius hatten. Die Geschwindigkeit bleibt somit konstant höher als die der JO-Stufe bei Knaben. Diese hatten eine deutlich grössere Verzögerung bis und eine grössere Zunahme der Geschwindigkeit nach dem minimalen Kurvenradius. Dies entspricht einem grösseren Wechselspiel zwischen Bremsen und Beschleunigen. Der Unterschied der Werte bei der Verzögerung war unter allen Gruppen signifikant (Bruhin et al., 2019). Damit diese Geschwindigkeitsdifferenzen sichtbar gemacht werden können, ist es hilfreich die Weglänge zu bestimmen. Mit der Formel $s = \left(\frac{at^2}{2}\right) + (v_0 \times t)$ für beschleunigende Bewegung kann die Strecke aus allen Mittelwerten der Parameter errechnet werden. Die Parameter stehen für s = Strecke in Meter; a = Beschleunigung in $(\text{m/s})^2$; t = Zeit; v_0 = Geschwindigkeit in m/s zum Zeitpunkt 0 am Anfang der entsprechenden Kurvenphase (Gieck & Gieck, 2019). Der Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit muss die grössere Priorität haben, als die Verkürzung der COM-Weglänge (Spörri et al., 2018). Für Spörri et al. (2018) ist die Eingangsgeschwindigkeit und Platzierung der Linie ein wichtiger Punkt. Durch das frühere Timing und dadurch höhere Platzierung der COM-Weglänge, muss weniger gedriftet werden und der Geschwindigkeitsverlust kann begrenzt werden. Es findet ein permanenter Kompromiss zwischen der Verkürzung des Weges und der Aufrechterhaltung der Geschwindigkeit statt (Spörri et al., 2018). Driften ergibt sich aus verschiedenen Gründen und wird zum Beispiel in der Einleitungsphase benutzt und als Rutschen beobachtet. Oft wird es unbewusst als Geschwindigkeitsbarriere benutzt oder als Raumgewinn, für das Zurückerreichen der optimalen Rennlinie (Bruhin et al., 2019).

Ein weiterer Leistungsparameter ist die Zeit pro Kurve. Unterschiedliche Kurssetzungen gehen mit einer Veränderung des Geschwindigkeitsprofils einher. Die Zeit pro Kurve verändert sich dabei nur geringfügig. In der Studie von Bruhin et al. (2019) haben sich die Geschwindigkeiten zwischen der männlichen JO-Stufe und der FIS-Stufe signifikant unterschieden. Die Zeit pro Kurve war aber praktisch identisch. In der Studie von Spörri, Kröll, Fasel, Aminian, Müller (2016) wurden die Zeiten bei Weltcup- und Europacup erprobten Fahrern gemessen. Bei ähnlichen Kurssetzungsparametern pendelte sich die Zeit pro Kurve bei 1.45 Sekunden \pm 0.11 ein (Spörri et al., 2016). In einer anderen Studie von Spörri, Kröll, Schwameder & Müller (2012) lag die Zeit pro Kurve zwischen 1.68 – 1.72 Sekunden. Diese Messungen wurden jedoch mit einem Weltklasseathleten und den Kurssetzungsparametern von 26 Meter für die Tordistanz und 10–12 Meter für die horizontale Tordistanz durchgeführt (Spörri, Kröll, Schwameder, & Müller, 2012). Beim Vergleich der drei Studien pendelte sich die Zeit pro Kurve im Durchschnitt zwischen 1.45–1.72 Sekunden ein. Durch die Aufteilung der Zeit pro Kurvenphase

lassen sich noch viel detailliertere Aussagen machen. In allen drei Kurvenphasen von Bruhin et al. (2019) gibt es signifikante Unterschiede der JO-Stufe zur FIS-Stufe, nicht aber auf gleicher Stufe zwischen den Damen und Herren, resp. Mädchen und Knaben. Auffallend ist, dass die Fahrer auf FIS-Stufe zirka 10% länger in der Gleitphase fahren als die JO-Stufe. Bei der Abschlussphase sind dagegen die Fahrer der JO-Stufe ungefähr 8% länger unterwegs. Dies bedeutet, dass die FIS-Fahrer die Geschwindigkeit hochhalten können. Die JO-Stufe verliert viel Tempo in diesen beiden Phasen. Den kleinsten Unterschied wird in der Einleitungsphase gemessen. Ein direkter Vergleich mit der Studie von Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller et al. (2012) kann nicht gemacht werden, weil diese die Kurve in vier Teile unterteilt haben. Die COM Direction Change I+II Phase addiert, ergibt einen Kurvenanteil zwischen 58% und 65%, je nach Kurssetzung. Bei der Zusammenführung der Einleitungs- und Abschlussphase von Bruhin et al. (2019) sind die Werte bei ca. 85% bei den JO-Fahrern und ca. 75% bei den FIS-Fahrern. Diese Differenz liegt an der unterschiedlichen Definition des Kurvenradius und deren Weiterverarbeitung in den beiden Studien.

Durch die Geschwindigkeit kann der Schwungradradius beeinflusst werden (Mössner et al., 1997). Je grösser die Geschwindigkeit wird, desto kleiner wird der Schwungradradius. Ebenfalls kann der Schwungradradius durch den Skiradius verändert werden. Der Skiradius ist eine Annäherung an den Krümmungsradius der Taillierungskurve des Skis. Je kleiner der Skiradius wird, desto kleiner wird der Schwungradradius (Mössner et al., 1997). Die Skihersteller deklarieren jeden Ski mit der Skilänge und dem Skiradius R in Meter. Zur Bestimmung von R wird nur die Schwer- und Zentripetalkraft gerechnet. Luft- und Schneewiderstand, sowie Reibungskräfte und vom Fahrer erzeugte Kräfte werden nicht berücksichtigt. Mössner et al. (1997) hat R des geschnittenen Schwunges wie folgt definiert:

Der aufgekantete Ski wird unter Belastung durchgebogen bis der Schneewiderstand den angreifenden Kräften entspricht. Die Projektion der verformten Skikante auf den Hang ergibt in erster Näherung ein Kreissegment. Man spricht von einem geschnittenen Schwung, wenn sich der Ski entlang dieses Kreises weiterbewegt. Bei solchen Schwüngen verliert der Skifahrer keine Energie durch seitliches Rutschen und/oder Abscheren.

(S. 3)

Durch die Materialbestimmungen der FIS und von Swiss-Ski werden die spezifischen Richtlinien für die Kategorien U12 bis Weltcup für Damen und Herren für jedes Jahr neu bestimmt (FIS, 2019; Swiss-Ski-KWO, 2019). Sind bei den FIS-Fahrern die Richtlinien sehr restriktiv, sind auf Stufe JO mehr Möglichkeiten offen. Auf Stufe U12 wird nur eine Minimallänge des Skis vorgeschrieben. Auf Stufe U14 und U16 wird die Maximallänge des Skis und den

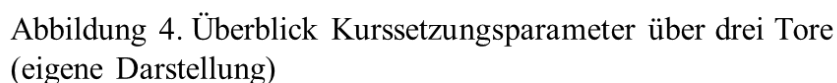
möglichen Minimalradius vorgeschrieben. So sind auf JO-Stufe trotz Reglementierung grosse Variationsmöglichkeiten bei der Skiauswahl möglich.

Ein Kurssetzer hat immer Einfluss auf die Leistungsparameter eines Rennfahrers. Bei einer Veränderung der horizontalen Tordistanz wird die Geschwindigkeit und der Kurvenzyklus beeinflusst. Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al. (2012) hatten gezeigt, dass bei grösserer horizontaler Tordistanz und gleichbleibender vertikalen Tordistanz der Kurvenzyklus COM Direction Change I+II um signifikante 6.3% länger dauerte. Die Durchschnittsgeschwindigkeit wurde ebenfalls langsamer. Diese war nicht signifikant aber entsprach einem mittelstarken Effekt nach Cohen's d. Der Geschwindigkeitsverlust fängt vor allem im Übergang der COM Direction Change II zur Abschlussphase an und ist am stärksten in der Abschlussphase. In dieser Übergangsphase nahm die Zentripetalkraft und der Winkel des Körperknicks signifikant zu. Auch der Fussgelenkwinkel (Rücklage) ging in dieser Phase nach hinten, jedoch nicht signifikant. Durch die längere horizontale Tordistanz muss der Körperknick so stark angepasst werden, dass der Ski mehr Aufkantwinkel erreicht, um dadurch eine engere Linie fahren zu können. Die Zentripetalkraft nimmt zu und der Körperschwerpunkt geht dadurch nach hinten (Spörri, Kröll, Schwameder, Schieffermüller, et al., 2012). Eine Studie von Falda-Buscaiot, Hintzy, Rougier, Lacouture, Coulmy (2017) hat diese Druckverteilung Verlaufsmässig mit einer Fusssohlenmessung analysiert. In flachem Gelände war der Druck auf der Ferse, ausser in der Einleitungsphase immer höher - in der Abschlussphase am höchsten. In steilem Gelände war der Druck bis zum Übergang zur COM Direction Change II Phase immer auf dem Vorfuss, in der Abschlussphase wieder auf der Ferse (Falda-Buscaiot et al., 2017). In der Studie von Gilgien (2014) wurde aufgezeigt, dass die resultierende Geschwindigkeit am Ende der Abschlussphase auch eine Auswirkung auf die Fortführung des Geschwindigkeitsprofils im Zusammenhang mit der horizontalen Tordistanz zu haben scheint. Er hat einen leichten bis mittleren Effekt des Korrelationskoeffizienten nach Spearman zwischen der horizontalen Tordistanz und der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Ende der Kurve und Anfang der nächsten Kurve gerechnet. Je grösser die horizontale Tordistanz wurde, desto langsamer war der Fahrer am Anfang der nächsten Kurve. Die Daten waren signifikant bis hochsignifikant. Dies war unabhängig für flaches, mittleres und steiles Gelände der Fall (Gilgien, 2014). Gilgien, Crivelli et al. (2015) hatten auch die Steilheit in Verbindung gebracht mit der horizontalen Tordistanz. Je steiler das Gelände bei den sieben untersuchten Weltcup-Riesenslaloms der Herren wurde, desto grösser wurde die horizontale Tordistanz. Sobald die Geländeneigung von -10° auf -30° anstieg verdoppelte sich ungefähr die horizontale Tordistanz. Die Geschwindigkeit verringerte sich dabei signifikant. Im Umkehrschluss nahm die Geschwindigkeit signifikant zu, wenn das Gelände

flacher wurde und die horizontale Tordistanz kleiner. Die Veränderung der horizontalen Tordistanz wird als Werkzeug gebraucht, um die Geschwindigkeit der Fahrer zu regulieren. Die Geschwindigkeit kann also durch die Geländeneigung und der Veränderung der horizontalen Tordistanz beeinflusst werden. Die Tordistanz und die vertikale Tordistanz kann dagegen als konstant bezeichnet werden (Gilgien, Crivelli, et al., 2015).

1.3 Kurssetzungsparameter

Die spezifischen Gelände- und Streckeneigenschaften sind bei jedem Rennen anders. Der internationale Skiverband (FIS) schreibt in seinem Reglement zahlreiche und umfassende Kriterien für jede Disziplin vor. Dabei sollen die körperlichen Fähigkeiten der Wettkämpfer berücksichtigt werden (FIS, 2019). Alle FIS-Rennen werden vom Dachverband homologiert. Die vorgesehenen Strecken werden bewertet und als gültig erklärt. Für die spezifische Kurssetzung im RS ist mitunter der Höhenunterschied vom Start zum Ziel entscheidend. Dieser darf zwischen 250 Meter bis 450 Meter betragen. Zwischen 11% bis 15% des effektiven Höhenunterschiedes kann der Kurssetzer Tore stecken. Lange Züge oder Bananen werden mit zwei Toren gesetzt, zählen aber nur als eine Richtungsänderung (FIS, 2019). Anders verhält es sich bei den Jugendwettkämpfen innerhalb der Schweiz. Die maximal zulässige Höhendifferenz im RS beträgt 300 Meter. Die Distanz von Tor zu Tor beträgt 22 Meter, ± 5 Meter und dreimal darf der Abstand maximal 35 Meter betragen (Swiss-Ski-KWO, 2019). Bei allen Wettkämpfen sind die Tordistanzen von Tor zu Tor reguliert, nicht aber die horizontale und vertikale Tordistanz. Der Kurssetzer fokussiert sich beim Stecken vor allem auf die Tordistanz, welche mit Distanzmessgeräten genau gemessen wird. Den horizontalen Torabstand bestimmt er nur von Auge. Dabei werden die Geländeeigenschaften mitberücksichtigt. Fast nie wird eine vertikale Tordistanz gemessen (Gilgien, Crivelli, et al., 2015). Aus den Mittelwerten der Daten kann theoretisch der Radius der Kurve mit dem Cosinus Satz und der Formel für Kreissegmente errechnet werden (Gieck & Gieck, 2019). Die Kreissegmentkurve ist jedoch nur eine Annäherung an den effektiven Radius im RS, der sich dynamisch verhält.



15

theoretisch der Radius berechnet werden (Gieck & Gieck, 2019). Die Formel wird für die Bestimmung eines Kreissegments benötigt. Dabei steht r für Radius des Kreises, h für Höhe des Kreissegments und s für die Länge der Kreissehne (Gieck & Gieck, 2019).

Trotz den Einschränkungen durch die Anzahl Tore, bleiben dem Kurssetzer genügend Variationen, einen Lauf ins Gelände zu stecken. Diese Kurssetzungsvariationen erklären auch, warum es für denselben Hang unterschiedliche Laufzeiten gibt. Das Reglement sieht vor, dass der zweite Durchgang auf demselben Hang durch einen anderen Kurssetzer gesteckt wird (FIS, 2019; Swiss-Ski-KWO, 2019).

Die Geländeeigenschaften werden durch die Steilheit bestimmt. Es werden drei Kategorien der Steilheit definiert. Von flacher Steilheit wird ab einer Neigung von weniger als 13.5° gesprochen. Die mittlere Steilheit wird zwischen 13.5° bis 18.9° definiert. Neigt sich das Gelände grösser als 18.9° , ist es steil (Bruhin et al., 2016). Im Ski Alpin Racing Concept von Swiss Ski wird den Trainern für die Kurssetzung eine Empfehlung abgegeben. Es geht unter Berücksichtigung der drei unterschiedlichen Geländeneigungen darum, die horizontale Tordistanz entsprechend anzupassen. In flachem Gelände soll die horizontale Tordistanz ungefähr 15% der Tordistanz betragen. In mittelsteilem Gelände handelt es sich um ungefähr 30% und im steilen Gelände um zirka 45% (Läuppi & Spörri, 2014). Die Berücksichtigung der Schnee- und Pistenbeschaffenheit ist für den Kurssetzer gleichermassen wichtig wie für den Rennfahrer selbst. Diese Punkte wurden im Kapitel der Leistungsparameter spezifisch erklärt.

1.4 Forschungslücke

In den letzten Jahren haben sich wenige Studien mit den möglichen Auswirkungen von unterschiedlichen Kurssetzungsvarianten bezüglich horizontaler Distanz auseinandergesetzt. Mit dem Fortschritt in der Technologie des globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) haben sich neue Türen geöffnet in Bezug auf die Geschwindigkeitsmessung und Positionierung von Sportlern (Gløersen et al., 2018). Unter diesen Umständen gibt es nur eine beschränkte Anzahl Messungen für den Bereich U14, U16 und Elite Level unter Wettkampfbedingungen (Bruhin et al., 2019). Im Bereich der U12 Kategorie gibt es fast keine und im Bereich der U16 bis U21 nur wenige Messungen, um eine Wettkampfanalytische Aussage machen zu können. Die vorliegende Studie setzt daher an dieser Forschungslücke an und möchte noch ungeklärte und ergänzende Fragen in diesem Bereich abdecken.

1.5 Ziele und konkrete Fragestellungen

Das Ziel dieser Arbeit ist eine Wettkampfanalyse im Nachwuchsbereich Ski Alpin durchzuführen von der Kategorie U12 bis U21 im RS. Spezifisch werden Vergleiche zwischen Kurssetzungsparametern und Leistungsparametern verglichen und in Zusammenhang gebracht. Das Ziel ist es herauszufinden, ob sich die Gleitphase zwischen den Kategorien unterscheiden und wie sich die Kurssetzungsparameter auf die Gleitphase auswirken. Bei den Kurssetzungsparametern wurde die horizontale Tordistanz gewählt. Hierfür wurden folgende konkrete Fragestellungen formuliert und nachfolgende Hypothesen aufgestellt.

Fragestellung 1:

Unterscheidet sich die Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände zwischen den Alterskategorien (U12, U14, U16, U18, U21)?

H1: Die Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände unterscheidet sich zwischen den Alterskategorien.

H0: Die Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände unterscheidet sich nicht zwischen den Alterskategorien.

Fragestellung 2:

Führt eine kürzere horizontale Tordistanz zu einer längeren Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände?

H1: Eine kürzere horizontale Tordistanz führt zu einer längeren Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände.

H0: Eine kürzere horizontale Tordistanz führt zu keiner längeren Gleitphase zwischen den Toren in mittelsteilem Gelände.

2 Methoden

2.1 Beschrieb der Stichprobe

An der Studie nahmen 76 Fahrer teil ($M=15.62 \pm 2.78$ Jahre). Gemäss Wettkampfbreglement der Kommission für Wettkampfordnung (KWO) von Swiss-Ski wurden die Fahrer in die dafür vorgesehenen Alterskategorien U12, U14 und U16 eingeteilt. Auf FIS-Stufe gibt es keine spezifischen Alterskategorien mehr. Diese werden von Swiss-Ski zusätzlich mit U18 und U21 bestimmt. Alle Alterskategorien umfassten nur männliche Teilnehmer. In dieser Arbeit sind die Alterskategorien U12, U14 und U16 in die JO-Stufe eingeteilt worden. U18 und U21 sind in die FIS-Stufe eingeteilt worden. Die Stichprobengrösse war unterschiedlich und ist in Tabelle 1 ersichtlich. Die Trainer und die Verantwortlichen der drei Nationalen Leistungszentren (NLZ) und den Regionalkadern definierten gleichmässig die Fahrer pro Alterskategorie. Dabei ging es darum, die leistungsstärksten Fahrer in der jeweiligen Wettkampfphase zu bestimmen. Dieses Vorgehen wiederholte sich, sobald ein Fahrer nach dem ersten Lauf oder Rennen ausschied und ersetzt werden musste. Die Verteilung der Alterskategorien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Verteilung der Alterskategorien

	N	Hoch-Ybrig 2020		Les Diablerets 2020		Meiringen-Hasliberg 2020		1.Lauf 2019
		1.Lauf	2.Lauf	1.Lauf	2.Lauf	1.Lauf	2.Lauf	
U12	12					5	5	2
U14	15					3	4	8
U16	9					2	4	3
U18	20	5	7	5	3			
U21	20	5	5	6	4			

Anmerkung. N = Anzahl Teilnehmer pro Kategorie Total; U12 = Jg. 2008; U14 = Jg. 2007-2006; U16 = Jg. 2005-2004; U18 = Jg. 2003-2002; U21 = Jg. 2001-1999

Das Alterssegment der Untersuchungsgruppen beinhaltete von Kindern bis zu jungen Erwachsenen alles. Dementsprechend war auch das Material vielschichtig. Um für gewisse Aussagen und Resultate bessere Interpretationsmöglichkeiten zu erhalten wurden die Materialeigenschaften der Ski aufgenommen. Die Werte pro Kategorie sind in Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2

Deskriptive Charakteristika der Skilängen und Skiradius der Alterskategorien

		U12	U14	U16	U18	U21
Skilänge (cm)	<i>M</i>	167.75	180.20	184.25	193.00	193.00
	$\pm SD$	2.28	2.56	1.92	0.00	0.00
Skiradius (m)	<i>M</i>	19.25	23.80	26.25	30.00	30.00
	$\pm SD$	0.83	0.98	0.83	0.00	0.00

Anmerkung. *M* = Mittelwert. $\pm SD$ = Standardabweichung.

2.2 Studiendesign

Die beiden gemessenen FIS-Rennen fanden am 14.01.20 in Hoch-Ybrig und am 08.02.20 in Les Diablerets statt. Die JO-Rennen fanden am 26.01.20 in Meiringen-Hasliberg und das Interregionale JO-Rennen am 25.01.20 in Les Diablerets statt. Da es sich bei den JO-Rennen in Les Diablerets um ein Interregionales Rennen handelte und nur Jugendliche der Altersstufe U14 und U16 teilnahmen, wurde noch ein zusätzliches JO-Rennen in Meiringen-Hasliberg geplant, wo auch die Kinder der Kategorie U12 teilnahmen. Die Organisatoren und Trainer-Verantwortlichen wurden drei Wochen vor dem Rennen kontaktiert und informiert. An der Mannschaftsführersitzung am Tag vor dem Wettkampf wurden die Fahrer bestimmt und entsprechend informiert. Bei allen FIS-Rennen wurden die Wettkämpfe in zwei Läufen ausgetragen. Beim JO-Rennen war jeder Lauf ein Rennen. In dieser Arbeit wird zum besseren Verständnis nur von Läufen gesprochen. Für die Studie waren die verschiedenen Läufe entscheidend und nicht, aus wie vielen Läufen ein Rennen besteht. Vorgesehen war, dass die ausgewählten Fahrer beide Läufe im Rennmodus bestritten. Dies änderte sich nur, wenn jemand ausgeschieden war. Hier wurde unter Berücksichtigung der Rangliste nach dem ersten Lauf und dem Jahrgang ein adäquater Ersatz bestimmt. Das Interregionale JO-Rennen in Les Diablerets wurde komplett gemessen. Es trat ein Fehler in der firmware auf. Aufgrund dessen mussten diese Daten ausgeschlossen werden. Die Genauigkeit der Messung konnte nicht garantiert werden. Das JO-Rennen in Hoch-Ybrig vom 21.03.20, konnte gar nicht erst gemessen werden. Die Organisatoren sagten das Rennen wegen der Corona-Pandemie ab. Als Ersatz für die vorgesehenen JO-Rennen, konnte ich die Daten eines Laufes vom Jahr 2019 aus der Studie von Bruhin benutzen (Bruhin et al., 2019).

Hoch-Ybrig und Les Diablerets waren die einzigen Austragungsorte in der Saison 19/20 bei welchen die JO-Fahrer wie auch die Junioren-Fahrer jeweils auf demselben Wettkampfhang Rennen durchgeführt hätten. Die drei verschiedenen Kategorien der Steilheit wären vergleichbar gewesen. Aus den bereits erwähnten Gründen konnten die auf den gleichen Pisten geplanten Vergleiche über alle Kategorien, nicht gemessen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Schneebeschaffenheit nicht spezifisch nach dem Dreipunktplan von Wolfesperger et al. (2014) kontrolliert, sondern nach subjektiver Einschätzung. Sämtliche Läufe wurden auf griffigem Kunstschnee durchgeführt. Das Wetter war bei jedem Lauf konstant schön.

2.3 Messinstrumente

Die Kurssetzungsparameter konnten mit einem Differential globalen Navigationssatellitensystem (GNSS) mittels eines Sensors, Marke "*FieldWiz*" der Firma ASI (Advanced Sport Instruments, Lausanne, Schweiz) aufgenommen werden. Dieses Gerät empfing Frequenzen von verschiedenen Satelliten wie GLONASS (RU), BeiDou (CN), Galileo (EU) und GPS (USA). Somit konnten über neunzig Satelliten für eine Messung berücksichtigt werden. Damit ein GNSS-Gerät seine eigene Position ermitteln konnte, musste es Kontakt mit mindestens vier GNSS-Satelliten haben. Je mehr Satelliten, umso genauer konnte die eigene Position und Geschwindigkeit ermittelt werden (Feldmann-Westendorff, 2012). Für die Aufnahme der Tore wurde ein Sensor horizontal und 2 Meter über dem Einstichloch der Innenstange aufgestellt. Auch die Start- und Ziellinie wurde so gemessen. Der Messvorgang dauerte ca. 15 Sekunden pro Tor. Innert kürzester Zeit konnten die Kurssetzungsparameter, bestehend aus Tordistanzen, horizontalen und vertikalen Tordistanzen, der Steilheit und den Drehwinkeln, zwischen den Toren gemessen werden.

Die Sensoren für die Fahrer wurden seitlich der Wirbelsäule positioniert, um die Sicherheit im Falle eines Sturzes zu gewährleisten. Auf dieser Höhe war der Empfang der Satelliten am besten. Nach jedem Durchgang mussten die Fahrer die Sensoren im Ziel ausschalten und abgeben. Für den zweiten Durchgang erhielten sie die Sensoren kurz vor dem Start wieder.

Durch die GNSS-Technologie können ganze Pisten und ganze Läufe verfolgt werden. Die gemessenen Bereiche sind viel umfassender und geben mehr Datensätze als es bei der videobasierten Fotogrammetrie üblich war (Gilgien, Spörri, et al., 2015).

2.4 Datenauswertung

Sämtliche Rohdaten der Athletenmessungen wurde im Tabellenkalkulationsprogramm *Microsoft Excel 2016* (Microsoft Excel für Windows 2016, Microsoft Corporation, Redmond, USA) weiterverarbeitet. Die Rohdaten von Positionsmessungen wurden mit einem speziellen Matlab Code von Björn Bruhin gerechnet und in Rohwerten zur Verfügung gestellt. Die Daten wurden vor der Datenauswertung bereinigt. Daten von Fahrern, die nicht bis ins Ziel gefahren sind, konnten nicht berücksichtigt werden. Die statistischen Auswertungen erfolgten mit *RStudio* (RStudio Inc, Version 1.1.423, Boston, USA). Für die deskriptive Statistik wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen gerechnet. Für beide Fragestellungen wurden die Daten auf die Normalverteilung überprüft. Mit dem anschliessenden Levenetest wurde die Homogenität der Varianzen getestet. Die Unterschiede zwischen den Gruppen wurde mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA one-way) überprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgelegt. Signifikante Unterschiede wurden mit einem paarweisen T-Test (Two Sample T-Test) mit Bonferroni-Korrektur überprüft. Dabei wurde zuerst ein Levenetest durchgeführt, um das Signifikanzniveau bestimmen zu können. Bei ungleichen Varianzen wurde der Welch-Test, bei gleichen Varianzen der T-Test angewendet.

Für die Leistungsparameter wurde der prozentuale Anteil der Einleitungs-, Steuer-, und Gleitphase gerechnet. Weiter wurden die Zeit pro Kurve, die Geschwindigkeiten und die Geschwindigkeitsdifferenzen berechnet. Bei den Kurssetzungsparametern wurde die Tordistanz, die horizontale und vertikale Tordistanz, die Steilheit und der Drehwinkel gerechnet. Für die lineare Regressionsanalyse wurde die horizontale Tordistanz mit der Gleitphase verglichen.

Nullwerte in der Gleitphase wurden in den Resultaten berücksichtigt und normal gerechnet. Die Geschwindigkeiten wurden nach dem Kurvenphasenmodell von Bruhin et al. (2019) gerechnet. Die Geschwindigkeitsdifferenzen der Einleitungsphase ergaben sich aus den Differenzen der Geschwindigkeit D mit der Geschwindigkeit C. Die Differenzen der Steuerphase rechneten sich aus der Geschwindigkeit D minus Geschwindigkeit E. Die Differenzen der Gleitphase rechneten sich aus der Geschwindigkeit F minus Geschwindigkeit E. Geschwindigkeit E galt noch für die aktuelle Kurve. Geschwindigkeit F stand für die folgende Kurve. Um eine Kontrolle der Wichtigkeit der Gleitphase zu erhalten musste die Weglänge bestimmt werden. Mit der Formel $s = \left(\frac{at^2}{2}\right) + (v_0 \times t)$ für beschleunigende Bewegung konnte die Strecke aus allen Mittelwerten der Parameter errechnet werden (Gieck & Gieck, 2019). Die Parameter stehen für s = Strecke in Meter; a = Beschleunigung in $(\text{m/s})^2$; t = Zeit; v_0 = Geschwindigkeit in m/s zum Zeitpunkt 0 am Anfang der entsprechenden Kurvenphase (Gieck & Gieck, 2019). Mit dem Cosinussatz und der

Formel für Kreissegmente $r = \left(\frac{h}{2}\right) + \left(\frac{s^2}{8h}\right)$ konnte aus den Kurssetzungsparametern der Radius berechnet werden (Gieck & Gieck, 2019). Dabei steht r für Radius des Kreises, h für Höhe des Kreissegments und s für die Länge der Kreissehne (Gieck & Gieck, 2019).

Für die Fragestellung 2 erfolgte mittels *RStudio* eine lineare Regressionsanalyse. Dies um einen möglichen Zusammenhang und eine Vorhersage zwischen der Gleitphase und der horizontalen Tordistanz zu finden. Mit dem Korrelations-Test wurden die Werte der Signifikanz $p < 0.05$, das Bestimmtheitsmass R^2 und die Effektstärke r nach Pearson gerechnet. Für die Berechnung der linearen Regressionsanalyse mussten in einem ersten Schritt die Kurssetzungsdaten der JO-Stufe mit 3 Läufen zusammengerechnet und mit den Daten der Gleitphase pro Kategorie verglichen werden. Dasselbe wurde für die FIS-Stufe mit 4 Läufen durchgeführt. In einem zweiten Schritt wurde die lineare Regressionsanalyse pro Lauf und Kategorie gerechnet. In einem dritten Schritt wurde die lineare Regressionsanalyse aus den gemessenen Läufen pro Kategorie gerechnet. Für die Effektstärke von r nach Pearson wurde für einen schwachen Effekt $r = 0.10$ – 0.30 genommen, für einen mittelstarken Effekt $r = 0.30$ – 0.50 und für einen starken Effekt $r > 0.50$.

Kategorie U12 bis U16 fuhren nur in mittelsteilem Gelände. Kategorie U18 bis U21 fuhren in flachem, mittelsteilem und steilem Gelände. Für die Berechnung über alle Kategorien wurden die Daten für mittelsteiles Gelände berücksichtigt.

3 Resultate

3.1 Leistungsparameter

In Tabelle 3 und 4 sind die statistischen Kenngrößen Mittelwerte, Standardabweichung für die Leistungsparameter der Kategorie U12, U14, U16, U18, U21 für mittlere Steilheit ersichtlich. Daten der Kategorien U12 bis U16 wurden aus den 3 Läufen am Hasliberg gerechnet. Daten der Kategorie U18 und U21 von den 4 Läufen am Hoch-Ybrig und Les Diablerets.

Tabelle 3 bezieht sich auf den prozentualen Anteil der Einleitungs-, Steuer-, und Gleitphase pro Kurve und die Zeit pro Kurve. Die Prozentangaben richteten sich nach der Dauer der einzelnen Phasen einer Kurve.

Tabelle 3

Durchschnittlicher Prozentsatz der Alterskategorien in der Einleitungs-, Steuer- und Gleitphase, sowie Zeit pro Kurve für mittlere Steilheit

		U12	U14	U16	U18	U21
Einleitungsphase (%)	<i>M</i>	44.37^{*†}	40.73^{+''}	43.92[*]	42.53	41.36⁺
	$\pm SD$	13.12	9.44	12.38	10.25	9.99
Steuerphase (%)	<i>M</i>	43.31^{#†}	43.95^{''#†}	41.68[*]	40.28^{+*}	40.57^{+*}
	$\pm SD$	11.86	8.51	9.74	8.17	8.38
Gleitphase (%)	<i>M</i>	12.31^{***#†}	15.33^{+##†}	14.40^{+##†}	17.18^{+***}	18.07^{+***}
	$\pm SD$	8.81	8.02	9.07	7.99	9.41
Zeit pro Kurve (s)	<i>M</i>	1.77^{***#†}	1.61⁺	1.58⁺	1.60⁺	1.53⁺
	$\pm SD$	0.27	0.44	0.26	0.30	0.30

Anmerkung. *M* = Mittelwert. *SD* = Standardabweichung. Signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) sind fett und einem spezifischen Marker (⁺U12, ^{*}U14, ^{''}U16, [#]U18, [†]U21) gekennzeichnet.

Für alle drei Kurvenphasen und die Zeit pro Kurve ergab ANOVA one-way einen hochsignifikanten Unterschied $p < 0.001$ zwischen den Gruppen. Im anschliessenden paarweisen T-Test war ein signifikanter Unterschied $p < 0.05$ mit Bonferroni Korrektur massgebend. Die jüngsten Fahrer der Kategorie U12 waren in der Gleitphase und in der Zeit pro Kurve zu allen anderen Altersgruppen signifikant $p < 0.05$ unterschiedlich.

Tabelle 4 bezieht sich auf die Geschwindigkeiten pro Kurvenphase. Dabei wurden die Kurvenbezeichnungen gemäss Kurvenphasenmodell aus Abbildung 3 nach Bruhin et al. (2019) gekennzeichnet.

Tabelle 4

Durchschnittliche Geschwindigkeit am Ende der jeweiligen Kurvenphase in den Alterskategorien für mittlere Steilheit

		U12	U14	U16	U18	U21
Geschwindigkeit D	<i>M</i>	49.62^{**!#}	52.89^{+''#!}	54.92^{+*#!}	59.49^{+*''!}	62.37^{+*''#}
	$\pm SD$	6.94	6.76	6.38	7.13	6.51
Geschwindigkeit E	<i>M</i>	50.38^{**!#}	54.27^{+''#!}	55.88^{+*#!}	62.25^{+*''!}	64.61^{+*''#}
	$\pm SD$	6.80	6.50	6.01	6.54	5.69
Geschwindigkeit F oder C	<i>M</i>	50.49^{**!#}	54.41^{+''#!}	56.48^{+*#!}	61.85^{+*''!}	65.06^{+*''#}
	$\pm SD$	7.01	6.85	6.31	8.98	7.04

Anmerkung. *M* = Mittelwert. $\pm SD$ = Standardabweichung. Geschwindigkeit D = Geschwindigkeit am Ende der Initiierungsphase; Geschwindigkeit E = Geschwindigkeit am Ende der Steuerphase; Geschwindigkeit F oder C = Geschwindigkeit am Ende der Gleitphase; Signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) sind fett und einem spezifischen Marker (⁺U12, ^{*}U14, ^{''}U16, [#]U18, [!]U21) gekennzeichnet.

Für alle drei Geschwindigkeiten ergab der ANOVA one-way Test einen hochsignifikanten Unterschied $p < 0.001$ zwischen den Gruppen. Im anschliessenden Two Sample T-Test für gleiche oder ungleiche Varianzen war ein signifikanter Unterschied $p < 0.05$ mit Bonferroni Korrektur massgebend. Alle drei gemessenen Geschwindigkeiten hatten zwischen allen Kategorien einen signifikanten Wert $p < 0.05$ erreicht. Von der Kategorie U12 bis zur Kategorie U21 hat sich die Geschwindigkeit kontinuierlich gesteigert.

In Abbildung 5 ist der Mittelwert der Geschwindigkeitsdifferenz in Prozent pro Kurve für die Kategorien U12, U14, U16, U18, U21 für mittlere Steilheit ersichtlich. Die Geschwindigkeiten im Minusbereich bedeuteten eine Abnahme der Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeiten im Plusbereich waren einer Zunahme der Geschwindigkeit zuzuordnen.

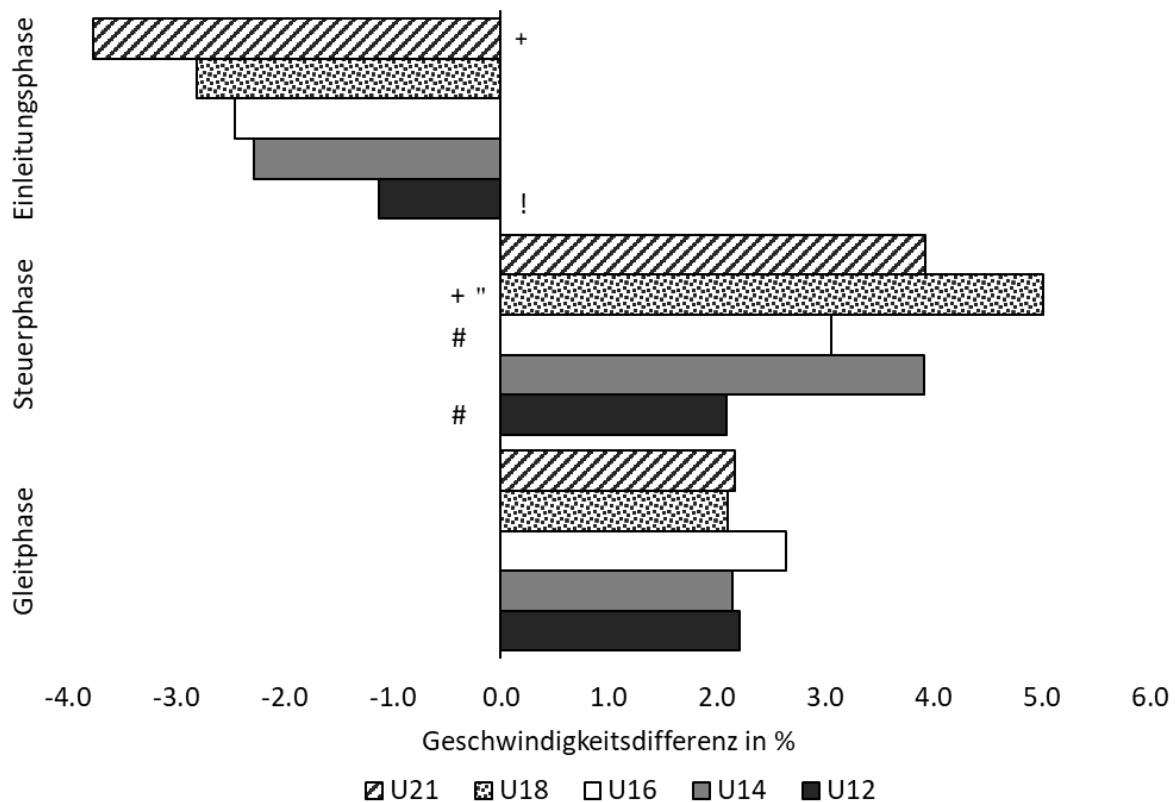


Abbildung 5. Geschwindigkeitsdifferenz in Prozent pro Kurve der Alterskategorien für mittlere Steilheit, gemessen am Anfang und am Schluss der Phase. Balken sind Mittelwerte der Geschwindigkeitsdifferenz. Balken stehen für die Differenz zur Anfangsgeschwindigkeit der entsprechenden Phase. Signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) zwischen den Alterskategorien sind mit einem gruppenspezifischen Marker (+U12; *U14; "U16; #U18; !U21) gekennzeichnet.

Für die Geschwindigkeitsdifferenz in Prozent in der Einleitungsphase ergab der ANOVA one-way Test einen signifikanten Unterschied von $p = 0.012$ zwischen den Gruppen, für die Steuerphase $p = 0.019$. Im anschliessenden Two Sample T-Test für gleiche oder ungleiche Varianzen war ein signifikanter Unterschied $p < 0.05$ mit Bonferroni Korrektur vorhanden, welcher in Abbildung 5 zu sehen ist. Für die Geschwindigkeitsdifferenz in Prozent der Gleitphase ergab

der ANOVA one-way Test einen p -Wert von $p = 0.285$ zwischen den Gruppen, welcher nicht signifikant war.

Die Berechnung der Weglänge für beschleunigte Bewegung ergab für die Gleitphase für U12 eine Streckenlänge von 3.05 Meter, U14 von 3.73 Meter, U16 von 3.55 Meter, U18 von 4.77 Meter und U21 von 4.97 Meter.

3.2 Kurssetzungsparameter

In Tabelle 5 sind die statistischen Kenngrößen, Mittelwerte und Standardabweichung für die Kurssetzungsparameter für mittlere Steilheit ersichtlich. Tabelle 5 bezieht sich auf die drei gemessenen Rennen der JO-Stufe in Hasliberg und vier gemessenen Läufe der FIS-Stufe in Hoch-Ybrig und Les Diablerets.

Tabelle 5

Kurssetzungsparameter der JO-Stufe in Hasliberg und FIS-Stufe in Hoch-Ybrig und Les Diablerets für mittlere Steilheit

		Hasliberg 2019 1.Lauf	Hasliberg 2020 1.Lauf	Hasliberg 2020 2.Lauf	Hoch- Ybrig 2020 1.Lauf	Hoch- Ybrig 2020 2.Lauf	Les Diab- lerets 2020 1.Lauf	Les Diab- lerets 2020 2.Lauf
Vertikale Tordistanz (m)	<i>M</i>	25.78^{**'}	22.61^{++°°}	23.15⁺⁺	25.12	26.42^{**}	25.07	24.56
	$\pm SD$	2.46	3.06	4.61	4.28	1.71	4.10	4.07
Horizontale Tordistanz (m)	<i>M</i>	7.28	6.61^{°°}	6.80	8.24^{^^}	8.39^{*** ^^}	6.20^{°°}	5.96^{°°°°}
	$\pm SD$	1.92	2.08	2.68	2.12	1.92	2.05	1.85
Tordistanz (m)	<i>M</i>	26.87^{**'}	23.67^{++°°}	24.29⁺⁺	26.60	27.50^{**}	25.49	24.98
	$\pm SD$	2.37	3.06	4.68	3.99	2.07	4.27	4.13
Steilheit (°)	<i>M</i>	-14.66	-17.84	-17.72	-17.35	-16.58	-14.60	-14.66
	$\pm SD$	5.03	5.17	4.88	5.36	7.49	5.48	5.02
Drehwinkel (α)	<i>M</i>	31.70	32.42	32.69	36.46	35.48	28.43	27.97
	$\pm SD$	8.47	9.55	10.52	8.91	7.77	7.65	7.47

Anmerkung. *M* = Mittelwert. $\pm SD$ = Standardabweichung. Signifikante Unterschiede ($p < 0.05$) sind fett und mit einem gruppenspezifischen Marker (++)Hasliberg 2019 1.Lauf; **Hasliberg 2020 1.Lauf; 'Hasliberg 2020 2.Lauf; °Hoch-Ybrig 2020 1.Lauf; °°Hoch-Ybrig 2020 2.Lauf; ^^Les Diablerets 2020 1.Lauf; ^^Les Diablerets 2020 2.Lauf) gekennzeichnet.

Für die vertikale Tordistanz und Tordistanz gab der ANOVA one-way Test einen hochsignifikanten Unterschied $p < 0.001$ zwischen den Läufen. Für die horizontale Tordistanz wurde ein signifikanter Unterschied $p = 0.004$ zwischen den Läufen gemessen. Für die Steilheit gab es einen signifikanten Unterschied $p = 0.049$ zwischen den Läufen. Für den Drehwinkel gab es keinen signifikanten Unterschied $p = 0.069$ zwischen den Läufen. Die Resultate des anschliessend durchgeführten Two Sample T-Test war ein signifikanter Unterschied $p < 0.05$ mit Bonferroni Korrektur massgebend und ist in Tabelle 5 ersichtlich. Der berechnete Radius r für

Kreissegmente der Kategorie U12 bis U16 betrug 22.50 Meter aus den Mittelwerten gerechnet. Der Radius r der Kategorie U18 bis U21 betrug 23.96 Meter aus den Mittelwerten gerechnet.

3.3 Lineare Regressionsanalyse

Tabelle 6 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen der horizontalen Tordistanz mit der Gleitphase für die drei zusammengefassten Läufen der JO-Stufe und den vier zusammengefassten Läufen der FIS-Stufe.

Tabelle 6

Deskriptive Statistik der horizontalen Tordistanz mit Gleitphase für mittlere Steilheit, über alle JO-Läufe und alle FIS-Läufe

	Gleitphase (%)		horizontale Tordistanz (m)		p -Wert	R^2	r Pearson
	M	$\pm SD$	M	$\pm SD$			
U12	12.31	8.81	6.92	2.22	0.85	0.00	0.02
U14	15.33	8.02	6.92	2.22	0.69	0.00	0.04
U16	14.40	9.07	6.92	2.22	0.08	0.03	0.17
U18	17.18	7.99	7.23	2.25	0.79	0.00	-0.03
U21	18.07	9.41	7.23	2.25	0.83	0.00	0.03

Anmerkung. M = Mittelwert. $\pm SD$ = Standardabweichung. p -Wert, R^2 , r nach Pearson. Leichte Effekte sind fett markiert.

Die horizontale Tordistanz im Vergleich zur Gleitphase hatte bei allen Kategorien keine Signifikanz vorzuweisen. Kategorie U16 hatte einen leichten, positiven Effekt nach Pearson ($r = 0.17$; $p = 0.08$) der Gleitphase (%) zur horizontalen Tordistanz (m). Alle anderen Kategorien hatten keinen Effekt.

Tabelle 7 umfasst die Daten getrennt nach Kategorie und den einzelnen Läufen für die Gleitphase und horizontaler Tordistanz für mittlere Steilheit. Kein Lauf hatte eine signifikante Korrelation zwischen Gleitphase und horizontaler Tordistanz.

Tabelle 7

Deskriptive Statistik der horizontalen Tordistanz mit Gleitphase für mittlere Steilheit, über alle Läufe und Kategorien

	Gleitphase (%)		horizontale Tordistanz (m)		<i>p</i> -Wert	<i>R</i> ²	<i>r</i> Pearson
	<i>M</i>	$\pm SD$	<i>M</i>	$\pm SD$			
U12 19 1.Lauf	13.64	6.93	7.28	1.92	0.14	0.06	0.24
U12 20 1.Lauf	11.05	8.77	6.61	2.08	0.56	0.01	-0.10
U12 20 2.Lauf	13.29	9.14	6.80	2.68	0.22	0.05	0.21
U14 19 1.Lauf	15.62	6.52	7.28	1.92	0.27	0.03	-0.18
U14 20 1.Lauf	14.66	7.76	6.61	2.08	0.61	0.01	-0.09
U14 20 2.Lauf	15.33	10.4	6.80	2.68	0.21	0.05	0.22
U16 19 1.Lauf	14.26	7.35	7.28	1.92	0.30	0.03	0.16
U16 20 1.Lauf	15.26	7.41	6.61	2.08	0.12	0.07	-0.27
U16 20 2.Lauf	14.03	10.79	6.80	2.68	0.80	0.00	0.04
U18 HY 1.Lauf	14.98	6.23	8.24	2.12	0.85	0.00	-0.05
U18 HY 2.Lauf	16.47	6.19	8.39	1.92	0.93	0.00	0.02
U18 LesD 1.Lauf	21.93	14.32	6.20	2.05	0.28	0.09	0.29
U18 LesD 2.Lauf	23.43	5.93	5.96	1.85	0.57	0.02	-0.16
U21 HY 1.Lauf	15.76	6.69	8.24	2.12	0.82	0.00	0.06
U21 HY 2.Lauf	16.80	5.35	8.39	1.92	0.51	0.03	-0.18
U21 LesD 1.Lauf	22.73	18.35	6.20	2.05	0.86	0.00	-0.05
U21 LesD 2.Lauf	23.91	6.09	5.96	1.85	0.06	0.25	-0.50

Anmerkung. *M* = Mittelwert. $\pm SD$ = Standardabweichung. *p*-Wert für Gleitphase mit Einzellauf, *R*², *r* nach Pearson. Leichte bis starke positive und negative Effekte wurden fett markiert.

In Abbildung 6 sind die Trendlinien grafisch dargestellt, die sich aus der Berechnung der linearen Regressionsanalyse der horizontalen Tordistanz mit der Gleitphase für mittlere Steilheit aus Tabelle 7 für die gemessenen Läufe pro Kategorie ergaben.

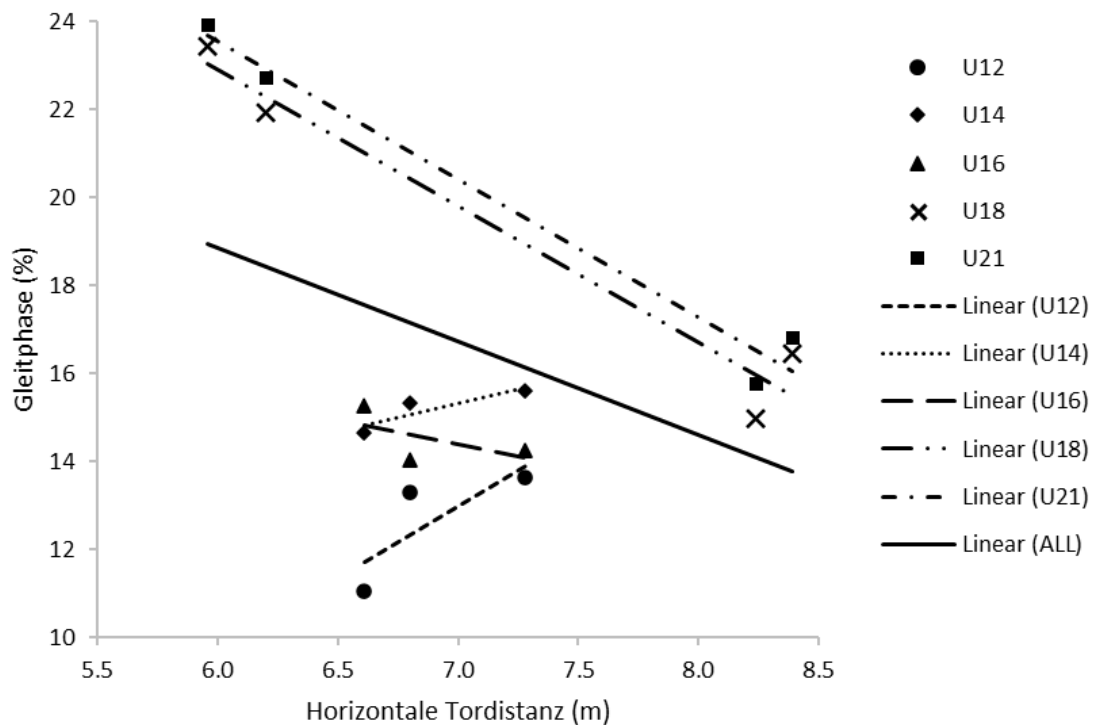


Abbildung 6. Lineare Regressionsanalyse für horizontale Tordistanz (m) mit Gleitphase (%) für mittlere Steilheit. Dargestellt sind Punkte jedes einzelnen Laufes mit den Mittelwerten der horizontalen Tordistanz und Gleitphase. Die Trendline zeigt die Richtung der einzelnen Kategorien und von allen (ALL) an.

Für die Kategorie U12 wurde ein starker positiver Effekt r nach Pearson ($r=0.80$; $p=0.41$; $n=3$) gerechnet. Für die Kategorie U14 wurde ein starker positiver Effekt r nach Pearson ($r=0.89$; $p=0.29$; $n=3$) gerechnet. Für die Kategorien U16 ($r=-0.59$; $p=0.60$; $n=3$), U18 ($r=-0.98$; $p=0.02$; $n=4$) und U21 ($r=-0.99$; $p=0.01$; $n=4$) wurde ein starker negativer Effekt gerechnet. Über alle 17 gerechneten Läufe ergab sich ein mittelstarker negativer Effekt ($r=-0.46$; $p=0.06$; $n=17$).

4 Diskussion

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Wettkampfanalyse im Nachwuchsbereich Ski Alpin zwischen den Kategorien U12 bis U21 durchgeführt. Ziel war es herauszufinden, ob sich die Gleitphase zwischen den Kategorien unterscheidet und wie sich die horizontale Tordistanz auf die Gleitphase einer Kurve auswirkt. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Resultate näher betrachtet und diskutiert.

4.1 Interpretation der Ergebnisse

4.1.1 Leistungsparameter. Die erste Fragestellung ist davon ausgegangen, dass sich die Gleitphase in den verschiedenen Alterskategorien für mittlere Steilheit unterscheidet. Die vorliegenden Resultate zeigten signifikante Unterschiede in den verschiedenen Alterskategorien für die Gleitphase. Auffallend war Kategorie U12, welche die kürzeste Gleitphase mit signifikanten Unterschieden zu allen anderen Kategorien aufzeigte. Am längsten befanden sich die Fahrer auf FIS-Stufe in der Gleitphase. Dazwischen positionierten sich die Fahrer der U14 und U16 Kategorie, die sowohl zu Kategorie U12 wie auch zu U18 und U21 signifikante Unterschiede hatten – untereinander aber nicht. Die Fahrer U18 zu U21 hatten keine signifikanten Unterschiede untereinander für die Gleitphase. Aus den Resultaten können somit drei Gruppen unterteilt werden. Kategorie U12 als eigenständige Gruppe mit der kürzesten Gleitphase. Gruppe 2 mit den JO-Fahrern der Kategorie U14 und U16 und Gruppe 3 mit den FIS-Fahrern der Kategorie U18 und U21 mit der längsten Gleitphase. Die erzielten Resultate sind vergleichbar mit der Studie von Bruhin et al. (2019), bei welcher sich die jüngsten Fahrer ebenfalls viel kürzer in der Gleitphase befanden als die älteren Fahrer. Zu beachten ist aber, dass die Mittelwerte der JO-Stufe vergleichbar, diejenigen der Elite-Gruppe aber deutlich höher sind als in dieser Arbeit. Es waren jedoch viel weniger FIS Werte enthalten als in dieser Arbeit. Die Gleitphase war die kürzeste Phase innerhalb einer Kurve und vergleichbar mit der Studie von Bruhin et al. (2019). H1 der Fragestellung 1 dieser Arbeit konnte mehrheitlich angenommen werden. H0 der Fragestellung 1 musste nur für die Kategorie U14 mit U16 und U18 mit U21 angenommen werden. Die Einleitungsphase war mit Ausnahme der Kategorie U14 die längste Phase der Kurve. Um eine schnelle Linie fahren zu können, hatte Spörri, Kröll, Schwameder, & Müller (2012) eine 2.5 % längere Auslösung gemessen. Zudem war die schnellste Linie 1.6 Meter höher bei der Einleitungsphase als beim langsamsten Versuch. Die gewonnene Höhe gab den Fahrern nach Supej (2008) grössere mechanische Energie für die nächste Kurve. So scheint es, dass in der

Einleitungsphase versucht wird "hinter" das Tor zu fahren, um eine hohe Linie finden zu können, damit der Ski beim Tor die Richtung zum nächsten Tor bereits hat, um die Geschwindigkeit aufbauen zu können. Zudem wird der Aufkantwinkel der Ski zum Tor hin immer grösser, was eine grössere Reibung zur Folge hat. Dies würde mit der Studie von Supej (2008) übereinstimmen, welcher grössere Bodenreaktionskräfte gemessen hat und dadurch der Ski nicht optimal lief und bremste. Nur die Fahrer der Kategorie U14 waren kürzer in der Einleitungsphase als in der Steuerphase. Dies könnten Hinweise sein, dass die U14 eine etwas direktere Linie zum Tor wählten und in der Steuer- und anschliessenden Gleitphase mit einer längeren Aufenthaltsdauer kompensieren mussten. Bei der Addition der prozentualen Werte der Steuer- und Gleitphase war die Kategorie U14 mit 59.27% am längsten unterwegs. Als Vergleich hielten sich U21 mit 58.64%, U18 mit 57.46%, U16 mit 56.08% und U12 mit 55.62% in diesen beiden Phasen auf.

In allen Kategorien ausser der Kategorie U14, war die Einleitungsphase die längste Phase, die Steuerphase die zweitlängste Phase und die Gleitphase die kürzeste Phase. Nur bei der Kategorie U14 war die Steuerphase länger als die Einleitungsphase. Gründe müssen weder bei den Geschwindigkeiten noch bei den Geschwindigkeitsdifferenzen gesucht werden. Verglichen mit der Kategorie U16 sind diese Werte ähnlich. Ein möglicher Erklärungsansatz könnte das Material sein. Der kürzere Skiradius der Kategorie U14 begünstigt eine direktere Linie zum Tor hin, was mit einer kürzeren Aufenthaltsdauer in der Einleitungsphase einhergeht. Trotz der nötigen Korrektur in den beiden folgenden Phasen kann weiterhin auf der Taillierung gecarvt werden, was zu fast keinem Geschwindigkeitsverlust führt.

Die Zeit pro Kurve pendelte sich ab U14 zwischen 1.53 und 1.61 Sekunden ein. Dies widerspiegelte die Resultate der Studie von Bruhin et al. (2019) für Männer, welche zwischen 1.50 und 1.55 Sekunden betrugen. Auch Spörri et al. (2016) hatte für den RS mit einer Tordistanz von 25 Meter und einer horizontalen Tordistanz von 6 Meter für die Zeit pro Kurve 1.45 ± 0.11 Sekunden gemessen. Kategorie U12 in dieser Arbeit war mit 1.77 Sekunden viel höher und signifikant unterschiedlich zu allen anderen Kategorien. Nur die Messungen von Spörri, Kröll, Schwameder, & Müller (2012) waren in einem ähnlichen Bereich. Diese hatten pro Kurve zwischen 1.68 bis 1.72 Sekunden gemessen – dies jedoch in einem Lauf mit 26 Meter Tordistanz und 10 bis 12 Meter horizontaler Tordistanz mit einem Weltklasse Athleten. Im Ski Alpin Racing Concept von Swiss-Ski wird die optimale Richtzeit von Tor zu Tor bei offenen Toren bei 1.30 Sekunden angegeben (Läuppi & Spörri, 2014). Nach den vorliegenden Messungen müsste diese Richtzeit angepasst werden.

Da die Geschwindigkeit der Fahrer pro Kategorie sehr unterschiedlich war, muss diese spezifisch angeschaut werden. Sämtliche gemessenen Geschwindigkeiten D, E und F/C für alle Kategorien unterschieden sich signifikant zueinander. Die Unterschiede innerhalb der Kategorien für die Geschwindigkeiten anfangs Gleitphase waren beträchtlich und hatten eine Spannweite von 50.38 km/h bis 64.61 km/h. Bruhin et al. (2019) hatte in seinen Messungen eine Bandbreite von 53.63 km/h bis 68.83 km/h für Männer für die ganze Kurve, was vergleichbar war. Ähnliche Resultate fand auch Spörri, Kröll, Schwameder, Schiefermüller et al. (2012) mit ihren Messungen. Ein Weltcup-Fahrer fuhr in zwölf Läufen für zwei unterschiedliche Kurse, Geschwindigkeiten zwischen 62.89 km/h und 63.47 km/h jedoch für die ganze Kurve. Vergleichbar waren die Werte von Spörri, Kröll, Schwameder, Schiefermüller et al. (2012) mit der Kategorie U21 dieser Arbeit. Die Bandbreite von 62.37 km/h bis 65.06 km/h lag im ähnlichen Bereich. In dieser Arbeit war die Anfangsgeschwindigkeit E bei der Gleitphase für alle Kategorien signifikant unterschiedlich. Die Geschwindigkeitszunahme in der Gleitphase hatte jedoch für alle Kategorien keine Signifikanz. Die berechneten Streckenlängen für Geschwindigkeitszunahme in der Gleitphase als Kontrollorgan, hatten dieselbe Verlaufsstruktur wie der prozentuale Anteil der Gleitphase pro Kurve. Zudem nahm die Streckenlänge bei gleichbleibenden Parametern aber längerer Zeit zu.

Die Geschwindigkeitsdifferenzen der Gleitphase waren gleichmässig und nicht signifikant zueinander. Bei allen Kategorien kam es zu einer Zunahme der Geschwindigkeit von 2.10 bis 2.64% aus den Anfangsgeschwindigkeiten der Gleitphase. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeit in der Gleitphase bei allen Kategorien entsprechend gleichmässig zunahm. Weiter verläuft die Struktur der Geschwindigkeitsdifferenzen entgegengesetzt zur Studie von Bruhin et al. (2019). Bei der Geschwindigkeitsverzögerung waren ihre Werte grösser auf JO-Stufe und kleiner auf FIS-Stufe, mit signifikanten Unterschieden. In dieser Arbeit war es gerade umgekehrt und zwischen U12 und U21 ebenfalls signifikant. Bei der Geschwindigkeitszunahme waren Bruhin et al. (2019) ihre Werte auf JO-Stufe grösser und auf FIS-Stufe kleiner ohne signifikante Unterschiede. In dieser Arbeit war es gerade umgekehrt in der Steuerphase. Kategorie U12 konnte in den Fahrten zu dieser Arbeit die Geschwindigkeit am besten aufrechterhalten. Die Fahrer der FIS-Stufe verzögerten, respektive beschleunigten viel mehr in den Kurven. Auch dies war bei Bruhin et al. (2019) umgekehrt der Fall. Zu erwähnen ist, dass Bruhin et al. (2019) ihre Daten nur über zwei Phasen definiert hat und mit mehr Daten aus Elitefahrern errechnet wurde. Die Vergleiche mit dieser Arbeit können als Annäherung verstanden werden.

Was nicht gemessen wurde, war das technische, taktische und konditionelle Niveau der Fahrer. Sind die Fahrer retardiert oder akzeleriert wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. In diesem

Alterssegment können diese Parameter Einfluss auf die Leistung haben (Conzelmann, 2014). Die Schneebeschaffenheit und das Wetter konnte als vergleichbar eingestuft werden, obschon diese Faktoren nicht nach dem Dreipunkteplan von Wolfsberger et al. (2014) gemessen, sondern subjektiv beurteilt wurden.

Die Geschwindigkeiten der Fahrer über alle Kategorien lagen in dieser Arbeit weit auseinander. Sie bestimmten die Zeit pro Kurve, die Auswirkungen auf die kinetische Energie der Fahrer und die Geschwindigkeitsdifferenzen. Die Materialeigenschaften für die Kategorien U12 und U14 könnten für einen Unterschied sorgen.

4.1.2 Kurssetzungsparameter. Um eine Antwort erhalten zu können für die zweite Fragestellung, mussten zuerst die Kurssetzungsparameter gemessen und ausgewertet werden. Für die Steilheit wurde in dieser Arbeit die mittlere Steilheit von 13.5° bis 18.9° als Basis genommen (Bruhin et al., 2016). Dies vor allem deshalb, weil die Rennen der JO-Stufe in Hasliberg nur in mittelsteilem Gelände durchgeführt wurden. Die ermittelten Werte für mittlere Steilheit über alle Kategorien konnten so miteinander verglichen werden. Für die mittlere Steilheit wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den sieben Läufen gefunden.

Die Werte des Drehwinkels α hatten keine Signifikanz aufzuweisen. Die Drehwinkel sind abhängig von der horizontalen und vertikalen Tordistanz und sagen aus, wie stark ein Riesenslalom dreht. Je grösser die horizontale Tordistanz wird, desto grösser ist der Drehwinkel α bei gleichbleibender vertikaler Tordistanz. Obschon die verschiedenen Tordistanzen signifikante Unterschiede aufwiesen, war dies bei den Drehwinkeln nicht der Fall. Zwischen Hasliberg 2020, 1.Lauf und Hoch-Ybrig, 2020 2.Lauf wurden signifikante Unterschiede für die vertikale Tordistanz, die horizontale Tordistanz und die Tordistanz gemessen. Es waren die beiden einzigen Läufe, bei welchen die JO-Stufe deutlich kürzere Distanzen aufwiesen als die Fahrer auf FIS-Stufe. Sie waren somit vergleichbar mit den Ergebnissen der Studie von Bruhin et al. (2019). Die Tordistanzen der FIS-Stufe und Hasliberg 2019, 1.Lauf waren alle sehr ähnlich und hatten keinen signifikanten Wert. Für die Tordistanz und vertikale Tordistanz wurden signifikante Unterschiede innerhalb der JO-Stufe gerechnet. Für die horizontale Tordistanz wurden auf FIS-Stufe signifikante Unterschiede zwischen Hoch-Ybrig und Les Diablerets gemessen. Zwischen den sieben gemessenen Läufen kamen signifikante Unterschiede für die verschiedenen Tordistanzen vor. Eine deutliche Tendenz konnte aber nicht gefunden werden, die aussagt, dass sich die Kurssetzungen der JO-Stufe von den Kurssetzungen der FIS-Stufe unterscheiden lassen. Dies unterstreicht die offenen Möglichkeiten der Kurssetzer, sich innerhalb der vorgeschriebenen Richtlinien zu bewegen (FIS, 2019; Swiss-Ski-KWO, 2019).

4.1.3 Korrelation zwischen der horizontalen Tordistanz und Gleitphase. In sämtlichen fünf gerechneten Kurssetzungsparametern waren keine Signifikanzen festzustellen in Bezug auf die Gleitphase. Nur gerade in der Kategorie U16 konnte ein leicht positiver Effekt r nach Pearson der horizontalen Tordistanz auf die Gleitphase festgestellt werden. Der leicht positive Effekt zeigte auf, dass mit zunehmender horizontaler Tordistanz der Anteil der Gleitphase pro Kurve länger wurde. Da dies nur bei der Kategorie U16 der Fall war und nur einen leicht positiven Effekt hatte, kann ich die zweite Hypothese mit diesem Setting nicht bestätigen und die Hypothese 0 muss angenommen werden. Es konnten daher keine gültigen Aussagen über alle, wie auch für die einzelnen Kategorien, gemacht werden. Innerhalb der Kurssetzung kann mit der Veränderung der horizontalen Distanz keine Beeinflussung der Länge der Gleitphase erreicht werden. Um eine zuverlässigere Aussage zu erhalten, müsste man jeden einzelnen Lauf für jede Kategorie rechnen oder eine grössere Stichprobe messen.

In einem zweiten Schritt wurde deshalb die lineare Regressionsanalyse pro Lauf und Kategorie gerechnet, wie es in Tabelle 7 zu sehen ist. Keiner der 17 gerechneten Läufe hatte ein signifikantes Niveau ($p < 0.05$) zwischen der horizontalen Tordistanz und der Gleitphase erreicht. Jedoch hatten mindestens zwei Läufe pro Kategorie einen leicht positiven oder negativen Effekt. Einzig in der Kategorie U21 hatte ein Lauf einen starken und einen leichten negativen Effekt. Dies bedeutete, dass die Gleitphase länger wurde bei kürzer werdender horizontaler Tordistanz. Auch mit diesem verfeinerten Setting konnte H1 der Fragestellung 2 nicht bestätigt werden. Jedoch gab es viel mehr Effekte zu erkennen, die aber entgegengesetzt auftraten.

In einem dritten Schritt wurde mit den gemessenen Läufen pro Kategorie aus Tabelle 7 gerechnet. Über alle Kategorien und Daten gesehen, gab es einen mittelstarken negativen Effekt. Im Detail betrachtet haben die Kategorien U12 und U14 einen starken positiven Effekt die Kategorien U16 bis U21 einen starken negativen Effekt. Ein negativer Effekt begünstigt die Annahme der zweiten Hypothese. Diese sagt aus, dass kürzere horizontale Tordistanzen zu einer längeren Gleitphase zwischen den Toren führen wird. Da es für die lineare Regressionsanalyse mit Ausnahme der Kategorie U18 und U21 keine Signifikanz aus der horizontalen Tordistanz und der Gleitphase gab, muss H1 der Fragestellung 2 abgelehnt werden. Die schmale Datenlage lässt keine zuverlässige Aussage zu. Dennoch können die Resultate über die Effektstärke weiterführend genutzt werden.

Die Differenzen zwischen den einzelnen Rennen für die horizontale Tordistanz können beträchtlich sein, nicht aber zwischen einem ersten und zweiten Lauf was in Tabelle 5 gut zu erkennen ist. Gründe dafür sind bei der Kurssetzung zu suchen. Die Freiheit eines Kurssetzers ist trotz Einschränkungen der FIS und Swiss-Ski-KWO relativ gross, insbesondere für den

ersten Lauf. Oft muss sich der Kurssetzer des zweiten Laufes an den Gegebenheiten des ersten Laufes orientieren. Um einem Fahrer eine möglichst glatte Piste zu ermöglichen, wird häufig entgegengesetzt gesteckt oder leicht versetzt im gleichen Rhythmus. Gewisse Alternativen in der Kurssetzung werden auch durch die Beschaffenheit des Geländes verhindert. Die erhobenen Daten dieser Studie haben dies bestätigt. Die Differenz für die horizontale Tordistanz zwischen einem ersten und zweiten Lauf, war nie grösser als 24 Zentimeter. Beim genaueren Betrachten der Mittelwerte aus Tabelle 7 in der Kategorie U12 und U14 wird die Tendenz erkennbar, dass bei kürzer werdenden horizontalen Tordistanzen eine kürzere Gleitphase erreicht wurde, obschon die 3 Läufe nur 67 Zentimeter auseinander lagen. Diese Tendenz entsprach den Resultaten aus der Studie von Spörri, Kröll, Schwameder, Schiefermüller, et al. (2012). Die Mittelwerte von Hoch-Ybrig verglichen mit den Mittelwerten von Les Diablerets für die Kategorie U18 und U21 verhielt sich gegenteilig dazu. Kürzer werdende horizontale Tordistanz führte zu einer längeren Gleitphase. Diese Tendenz entspricht der Hypothese 1 aus der Fragestellung 2 dieser Arbeit. Bei der Kategorie U16 war keine Tendenz erkennbar ausser, dass es leichte Effekte gab. Auch durch die Berechnung aus dem dritten Setting ist zu erkennen, dass U16 Fahrer den schwächsten Effekt von allen Kategorien hatten. Die Trendlinie zeigte, dass diese Kategorie eher Richtung Resultate auf FIS-Stufe tendierte.

Die Resultate zeigten, dass es in keiner Alterskategorie signifikante Korrelationen zwischen der horizontalen Tordistanz und der Gleitphase gab. Trotzdem waren vor allem leichte Effekte zu erkennen – dies kann für die Interpretation der Trainer hilfreich sein. Dennoch müssen andere Gründe gesucht werden, damit die JO-Stufe auf ähnliche Werte der Gleitphase kommen können wie die FIS-Fahrer. Dies ist umso wichtiger, damit das Bewegungsmuster schon in jungen Jahren antrainiert werden kann (Läuppi & Spörri, 2014). Gründe die nachfolgend behandelt werden und möglicherweise einen Einfluss haben könnten.

Die Mittelwerte der Differenz zwischen Fahrern der Kategorie U12 und der Kategorie U21 in der Gleitphase beträgt 6 Hundertstelsekunden pro Kurve. Bei einer gängigen Anzahl von 40 Toren für eine Kurssetzung ergibt dies 2.40 Sekunden Differenz. Gemäss Supej (2008) war der Belastungswechsel, sprich Gleitphase, der Moment, wo der Ski mit wenig Reibung fährt. Im Umkehrschluss sind die Einleitungsphase und Steuerphase die beiden Teile mit der meisten Reibung. 87.68% der Kategorie U12, hielten sich in diesen beiden Phasen auf, dagegen nur 81.93% der Kategorie U21 was in Tabelle 3 zu entnehmen ist. Unter Berücksichtigung der Zeit pro Kurve machte das einen zeitlichen Unterschied von 30 Hundertstelsekunden pro Kurve aus. Bei einer gängigen Anzahl von 40 Toren für eine Kurssetzung beträgt die Differenz 12 Sekunden, welche bei Fahrern der Kategorie U12 länger auf den Kanten fährt und die grössere

Reibung erzielt. Kategorie U12 hatte von allen Kategorien die kleinsten Geschwindigkeitsdifferenzen in der Einleitungsphase und Steuerphase. Sie konnten die Geschwindigkeit am besten aufrechterhalten. Wird der Kantenwinkel der Ski zum Schnee grösser, wird die Reibung grösser und hat einen positiven oder negativen Einfluss auf die Geschwindigkeit (Supej, 2008). Bleibt die Verzögerung oder Beschleunigung klein, kann davon ausgegangen werden, dass der Ski immer in einem ähnlichen Winkel zum Schnee gefahren wird. Wird die kleinste Gleitphase dazu genommen, begünstigt das ein Fahren "von Kante zu Kante". Der berechnete Radius des Kreissegmentes von 22.50 Meter war dem durchschnittlichen Radius des Skis der Fahrer der Kategorie U12 von 19.25 Meter sehr ähnlich. Der berechnete Radius gilt als Annäherung, weil die Kurve selten regelmässig wird. Demzufolge brauchte es keine extremen Anforderungen um den Radius verkleinern oder vergrössern zu können, damit der Radius gefahren werden kann. Die Resultate aus den Messungen dieser Arbeit bestätigten diese Theorie. Die Fahrer folgten dem Ski. Dieses Fahrverhalten kann oft bei jungen Rennfahrern beobachtet werden. Es braucht dazu noch keine verfeinerte Technik. Die Voraussetzungen müssen noch nicht auf hohem Niveau sein. Je grösser der Skiradius der Athleten, desto wichtiger werden technische und physische Aspekte, um dem theoretischen Radius folgen zu können. Bei einem theoretischen Radius von 23.96 Meter auf FIS-Stufe und einem Skiradius von 30 Meter wird dies unterstrichen. Aus all diesen Überlegungspunkten kann gesagt werden, dass die Wettkämpfe auf JO-Stufe für U14 und U16 geeignet sind, für U12 aber kaum. Innerhalb der JO-Stufe müssten zwei verschiedene Kurse ausgesteckt werden, damit die Bedürfnisse die ein Ski Alpin Racing Concept vorschreibt, umgesetzt werden können (Läuppi & Spörri, 2014). Auf FIS-Stufe müssen für die Kurssetzung keine Anpassungen vorgenommen werden.

4.2 Stärken und Schwächen der Arbeit

Der Ansatz dieser Arbeit, eine Wettkampfanalyse über sämtliche Kategorien im Nachwuchsbereich Ski Alpin durchzuführen, kann als gelungen betrachtet werden. Technische Schwierigkeiten und äussere Umstände waren aber dafür verantwortlich, dass die vorgesehenen Daten für die JO-Rennen in Les Diablerets und Hoch-Ybrig ausblieben. Durch diese massiven Einschränkungen des Datenverlusts konnte die erhoffte Datenmenge nicht voll ausgeschöpft werden. Glücklicherweise konnte ein kompletter Datensatz für die JO-Stufe aus der Studie von Bruhin et al. (2019) in diese Arbeit eingliedert werden. Somit war die Datenlage mit den drei Datensätzen von Hasliberg für die JO-Stufe und vier Datensätzen für die FIS-Stufe genügend. In den vier Läufen in Hoch-Ybrig und Les Diablerets kamen alle drei Stufen der Steilheit vor. Da es sich aber an diesen beiden Orten nur um FIS-Rennen der Kategorie U18 und U21 handelte, konnten keine Aussagen über die flachen oder steilen Geländeneigungen über alle Kategorien gemacht werden. Für die Fragestellung 1 konnten genügend Fahrer für die einzelnen Kategorien verarbeitet werden. Nur gerade die Kategorie U16 war mit neun Fahrern an der unteren Limite vertreten. Zwischen einem bis sieben Fahrern pro Lauf, im Schnitt 25% über alle sechs gemessenen Läufe, sind ausgeschieden. Mit diesen Ausfällen musste gerechnet werden. Mit noch mehr Sensoren hätte entgegengewirkt werden können. Für die Fragestellung 2 war die Menge an Daten möglicherweise unzureichend. Für die Berechnung der linearen Regressionsanalyse war der Ansatz der Datenzusammenführung der Kurssetzungsparameter, wie in Tabelle 6 erkennbar, ungeeignet. Zu ähnlich waren die Mittelwerte und es gab keine relevanten Aussagen. Erst mit dem Auseinandernehmen der Daten jedes einzelnen Laufes für jede einzelne Kategorie konnten Effekte erkennbar gemacht werden, obwohl es keine Signifikanzen gab. Dies geschah mit eindeutig weniger Daten pro Lauf. Mit dem erneuten Zusammenführen der drei bis vier Daten pro Kategorie ergab es signifikante Unterschiede, wie auch starke Effekte. Für diese Methode müssten viele Datensätze dazukommen.

Um Leistungs- und Kurssetzungsparameter in flachem und steilem Gelände zwischen den Alterskategorien zu vergleichen, sollten zukünftige Studien Rennen in dementsprechendem Gelände berücksichtigen. Ein Vergleich zwischen den Kategorien im flachen und steilen Gelände blieb deshalb verwehrt. Insbesondere Gilgien, Crivelli, et al. (2015) haben gemessen, dass sobald die Piste steiler wurde, die horizontale Tordistanz zunahm und die Geschwindigkeit abnahm. Unter diesem Aspekt sind grössere Datenmengen in diesem Bereich unabdingbar.

Die Arbeit mit den Fahrern war positiv. Erstens waren sie neugierig auf die Datenauswertung und zweitens hatte der kleine Sensor keinen Einfluss auf die Wettkampfleistung und somit auf die erhobenen Daten. Niemand fühlte sich während der Fahrt durch den Sensor gestört. Diese

Arbeit hat zumindest Anhaltspunkte gegeben, dass die Veränderung der horizontalen Tordistanz Effekte erzielen kann.

4.3 Ausblick auf mögliche weiterführende Fragestellungen

Eine Wettkampfanalyse durchzuführen soll Aufschluss geben über das Leistungsverhalten von Fahrern während eines Wettkampfes. Diese Ist-Analyse soll Rückschlüsse ermöglichen für Ansatzpunkte im Training auf dem Schnee. Eine erste Möglichkeit wäre die Anzahl Rennen pro Stufe für Messungen zu erhöhen. Da die Differenzen der Tordistanz, der horizontalen und vertikalen Tordistanz zwischen einem ersten und einem zweiten Lauf zu klein sind, müssten mehrere Rennen gemessen werden. In einem solchen Design ist der Operateur immer abhängig vom Kurssetzer, was nicht optimal ist.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Messungen unter standardisierten Bedingungen durchzuführen, was in dieser Arbeit explizit nicht gewünscht wurde. Hier müssten mit gleichbleibenden vertikalen Tordistanzen die horizontalen Tordistanzen variiert und gemessen werden. Mit Berücksichtigung der gleichen Steilheit könnten aussagekräftigere Messungen erzielt werden. Der Effekt des Wettkampfes bleibt zwar aus, aber man kann die Kurssetzung genau planen und ist nicht direkt abhängig vom Kurssetzer.

Die Anzahl der Probanden, die Länge der Messstrecke und die Anzahl der Messungen kann dank den Möglichkeiten mit den Sensoren flexibel und den Bedürfnissen angepasst bestimmt werden. Die Gleitphase pro Kategorie könnte noch besser analysiert werden - unter Einbezug der horizontalen Tordistanz.

Weitere Details könnten aus jeglicher Art des Designs gemessen werden. So wäre vertieft zu klären, wie sich die Abnahme der Geschwindigkeit zum Tor hin und die Zunahme im zweiten Teil der Kurve in den Alterskategorien verhält. Durch die Berücksichtigung der drei unterschiedlichen Arten der Steilheit könnten mehr Aussagen zur Gleitphase und der horizontalen Tordistanzen gemacht werden.

Der Ansatz, dass durch die Kurssetzung ähnliche Bewegungsmuster für Nachwuchsfahrer der JO-Stufe erzwungen werden könnten wie bei FIS-Fahrern, scheint ein wichtiger Punkt zu sein.

5 Schlussfolgerung

In der vorliegenden Arbeit wurden die Leistungs- und Kurssetzungsparameter zwischen den Alterskategorien U12 bis U21 in der Disziplin Riesenslalom Ski Alpin untersucht. Im Teil der Leistungsparameter wurden in den drei Kurvenphasen die Geschwindigkeiten, die Geschwindigkeitsdifferenzen und die Zeit pro Kurve geprüft, um für die Gleitphase in mittelsteilem Gelände wichtige Erkenntnisse zu erhalten. Die Gleitphase war die kürzeste aller Kurvenphasen und hat sich mehrheitlich signifikant zwischen den Alterskategorien unterschieden. H1 der Fragestellung 1 konnte daher grösstenteils angenommen werden. H0 der Fragestellung 1 musste nur für die Kategorie U14 mit U16 und U18 mit U21 angenommen werden.

Um eine Erklärung zu finden, ob die Kurssetzung auf die Dauer der Gleitphase einen Einfluss hat, wurde eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Dabei konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der horizontalen Tordistanz und der Dauer der Gleitphase gefunden werden. H1 der Fragestellung 2 musste verworfen werden. Leichte positive und negative Effekte waren jedoch sichtbar und lassen möglicherweise eine Tendenz erkennen. Die Tendenz zeigte, dass für die Kategorie U12 und U14 eine Erhöhung der horizontalen Tordistanz zu einer längeren Gleitphase führte, welche H0 der Fragestellung 2 entspricht. Im Gegenteil dazu war die Tendenz der Kategorie U16, U18 und U21. Die Erhöhung der horizontalen Tordistanz führte zu einer kürzeren Gleitphase was H1 der Fragestellung 2 entspricht. Die Gesamttendenz entspricht H1 der Fragestellung 2.

Mögliche Implikationen für Trainer könnten bei der Kurssetzung die Anpassung der horizontalen Tordistanz bei gleichbleibender vertikalen Tordistanz sein. Damit kann die Gleitphase pro Kategorie möglicherweise beeinflusst werden. Bei Wettkämpfen auf JO-Stufe müssten optimalerweise zwei verschiedene Läufe für U12 und U14/U16 gesteckt werden.

Zukünftige Studien müssten bei ähnlichem Design mehr Daten liefern, damit eine zuverlässigere Aussage gemacht werden kann. Mit einer Änderung des Studiendesigns könnten Daten über standardisierte Bedingungen bezüglich verschiedenen horizontalen Tordistanzen gemessen und gesammelt werden.

Literaturverzeichnis

- Bruhin, B., Janssen, R., Guillaume, S., Oberle, F., Lorenzetti, S., & Romann, M. (2019). Giant Slalom: Analysis of course Setting, steepness and Performance of different age groups—A pilot Study. *in Review Protest*.
- Bruhin, B., Senn, I., Flury, S., Wolfsperger, F., Boffi, G., & Lorenzetti, S. (2016). A SYSTEMATIC RACE COURSE ANALYSIS AND A DESCRIPTION OF MEN'S RACE PERFORMANCE IN THE PARALYMPIC ALPINE SKIING WORLD CUP SLALOM AND GIANT SLALOM RACES OF THE 2014/15 AND 2015/16 SEASONS. *Science and Skiing VII. 7th International Congress on Science and Skiing, St. Christopher/Arberg, Austria, December 10-15, 2016*.
- Conzelmann, A. (2014). *Sportliche Entwicklung im Kindes-und Jugendalter*.
- Falda-Buscaiot, T., Hintzy, F., Rougier, P., Lacouture, P., & Coulmy, N. (2017). Influence of slope steepness, foot position and turn phase on plantar pressure distribution during giant slalom alpine ski racing. *PLOS ONE*, 12(5), e0176975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176975>
- Feldmann-Westendorff, U. (2012). *Divergenz globaler und kontinentaler Bezugssysteme: Auswirkungen auf die hochgenaue GNSS-Positionsbestimmung im ETRS89*. na.
- FIS. (2019). *Internationale Skiwettkampfordnung (IWO)*. INTERNATIONALER SKI VERBAND. https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1565935843/fis-prod/assets/TWO_August_2019_14082019.pdf
- Gieck, K., & Gieck, R. (2019). *Technische Formelsammlung*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- Gilgien, M. (2014). *Characterisation of skiers' mechanics, course setting and terrain geomorphology in World Cup Alpine Skiing using global navigation satellite systems: Injury risk, performance and methodological aspects*.

- Gilgien, M., Crivelli, P., Spörri, J., Kröll, J., & Müller, E. (2015). Characterization of Course and Terrain and Their Effect on Skier Speed in World Cup Alpine Ski Racing. *PLOS ONE*, 10(3), e0118119. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118119>
- Gilgien, M., Spörri, J., Chardonnens, J., Kröll, J., Limpach, P., & Müller, E. (2015). Determination of the centre of mass kinematics in alpine skiing using differential global navigation satellite systems. *Journal of sports sciences*, 33(9), 960–969.
- Gløersen, Ø., Kocbach, J., & Gilgien, M. (2018). Tracking performance in endurance racing sports: Evaluation of the accuracy offered by three commercial GNSS receivers aimed at the sports market. *Frontiers in physiology*, 9, 1425.
- Hébert-Losier, K., Supej, M., & Holmberg, H.-C. (2014). Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers. *Sports Medicine*, 44(4), 519–533.
- Kempf, H., Weber, A. C., Renaud, A., & Stopper, M. (2013). Der Leistungssport in der Schweiz: Momentaufnahme SPLISS-CH 2011 [Elite sport in Switzerland: Snapshot SPLISS-CH 2011]. *Magglingen: Federal Office of Sport*.
- Lamprecht, M., Fischer, A., & Stamm, H. (2014). *Sport Schweiz 2014: Sportaktivität und Sportinteresse der Schweizer Bevölkerung*. Observatorium Sport und Bewegung Schweiz c/o Lamprecht & Stamm
- Läuppi, P., & Spörri, J. (2014). Ski Alpin Racing Concept. *Muri bei Bern: Swiss-Ski*.
- Meyer, F., Le Pelley, D., & Borrani, F. (2012). Aerodynamic drag modeling of alpine skiers performing giant slalom turns. *Med. Sci. Sports Exerc*, 44, 1109–1115.
- Mössner, M., Nachbauer, W., & Schindelwig, K. (1997). *Einfluss der Skitaillierung auf Schwungradradius und Belastung (Influence of the Ski's Sidecut on the Turning Radius and Strain)*, *Sportverletzung Sportschaden*, 1997.

- Schweizer Radio und Fernsehen. (2020). *Top 100 SRF-Sendungen seit 2013*. Mediapulse TV Data. https://medien.srf.ch/documents/20142/2175971/Hitliste_2013_bis_06_2020.pdf/be5c3f11-96ea-2050-c80e-faede077867c
- Spörri, J., Kröll, J., Fasel, B., Aminian, K., & Müller, E. (2016). Course setting as a prevention measure for overuse injuries of the back in alpine ski racing: A kinematic and kinetic study of giant slalom and slalom. *Orthopaedic journal of sports medicine*, 4(2), 2325967116630719.
- Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., & Müller, E. (2012). Turn Characteristics of a Top World Class Athlete in Giant Slalom: A Case Study Assessing Current Performance Prediction Concepts. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 7(4), 647–659. <https://doi.org/10.1260/1747-9541.7.4.647>
- Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., & Müller, E. (2018). The role of path length-and speed-related factors for the enhancement of section performance in alpine giant slalom. *European journal of sport science*, 18(7), 911–919.
- Spörri, J., Kröll, J., Schwameder, H., Schiefermüller, C., & Müller, E. (2012). Course setting and selected biomechanical variables related to injury risk in alpine ski racing: An explorative case study. *British Journal of Sports Medicine*, 46(15), 1072–1077. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091425>
- Supej, M. (2008). Differential specific mechanical energy as a quality parameter in racing alpine skiing. *Journal of applied biomechanics*, 24(2), 121–129.
- Swiss-Ski-KWO. (2019). *Wettkampfbeglement 2020 Ski Alpin*. Swiss-Ski Kommission Wettkampfordnung. https://www.swiss-ski-kwo.ch/docs/WR2020_Alpin.pdf
- Wolfspurger, F., Hinterberger, B., Christian, J., Matzl, M., Jahnel, R., Spörri, J., & Müller, E. (2014). Quantifying snow conditions of World Cup alpine ski racing tracks. *Science and skiing VI*, 330–339.

