



Beurteilung des Gleitverhaltens von Sprungski in der Anlaufspur

Matthias Scherge, Sepp Heumann*

*Sprungtrainer, WSV Oberaudorf

ARTIKELINFORMATION

Deskriptoren:
Skispringen
Jugendarbeit

KURZFASSUNG

Der Artikel berichtet über einen speziellen Skisprungwettkampf im Kinder- und Jugendbereich, bei dem es ausschließlich um den Anlauf ging. Insgesamt 42 Athleten sind gegen einen Schlitten, der mit den jeweiligen Skiern des Athleten ausgerüstet war, angetreten. Mit dieser Methode konnte der Einfluss von Ski und Athlet auf das Gleitverhalten effektiv getrennt werden. Darüber hinaus wurden durch die Kenntnis von Körpergewicht, Größe, Skilänge und Skimarke sehr viele Detailanalysen möglich. In vielen Fällen werden Ski gesprungen, die nicht die maximal mögliche Länge aufweisen. Nutzt aber ein Athlet die volle Skilänge, so findet er sich im vorderen Teil des Klassements wieder. Die Skimarke hat einen gewissen Einfluss auf das Ergebnis. Der Einfluss individueller Gleitfehler ist aber signifikant größer.

©Team Snowstorm

1 Einführung

Eine hohe Anlaufgeschwindigkeit ist eine der Grundvoraussetzungen für eine gute Weite und einen sicheren Flug. Jedes km/h mehr im Anlauf beschert dem Athleten bis ca. 7 m Weite. Gleichzeitig stellt aber der Anlauf mit seiner engen Spur und seiner Länge eine große Herausforderung an die Biomechanik des Athleten dar [1–3]. Körperhaltung und -bewegung beeinflussen die Entwicklung der Geschwindigkeit ebenso wie ein gut gleitender Ski. Im Gegensatz zum kompletten Sprung, der mit High-Speed Kameras und Sensoren überwacht werden kann, stellt die Analyse und vor allem die Optimierung ausschließlich des Anlaufs ein großes Problem dar. Bedingt durch die ausschlaggebende Wirkung des Absprungs und die damit verbundene Konzentration des Athleten auf diesen Mikromoment, müssen die Bewegungsabläufe im Anlauf automatisch erfolgen. Eine Entkopplung des Trainings von Anlauf und Sprung ist daher nur möglich, wenn die Trainingsanlage über einen Anlauf ohne Schanzentisch verfügt. Auf einer derartigen Anlage, über die z.B. der WSV Oberaudorf verfügt, kann die volle Konzentration des Athleten der Gleitphase gewidmet werden.

Im Oktober 2018 fand ein Vergleichswettkampf von 7 Skisprungvereinen beim WSV Oberaudorf statt. Insgesamt waren 42 Athleten aus dem Kinder- und Jugendbereich am Start. Neben dem Gleitwettkampf um die größte Anlaufgeschwindigkeit musste sich jeder Athlet auch gegen einen Schlitten behaupten, der mit den eigenen Skiern bestückt war. Somit konnten die Gleiteigenschaften der Ski von den biomechanischen Voraussetzungen der Athleten getrennt voneinander betrachtet werden.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Auswertung der Gleitphase der Athleten im Vergleich zum Schlitten. Im Fokus stehen Korrelationen zwischen Skilänge und Athletenmasse und -größe sowie die

Zusammenhänge zur Biomechanik. Weiterhin wird analysiert, unter welchen Voraussetzungen die maximal erlaubte Skilänge bevorzugt wird und wie sich die Leistungsentwicklung der Athleten gestaltet.

2 Experimente

Die Anlage beim WSV Oberaudorf verfügt über einen 45 m langen Anlauf mit Kunststoffspur. Als Gleitelemente sind Keramikknoppen im Abstand von ca. 5 cm in die Spur eingesetzt, siehe Bild 1, links. Der Anlauf wurde für den Wettkampf nicht bewässert, es handelt sich also um trockene Reibung. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgte mittels Lichtschranke. Zur Bewertung der Gleiteigenschaften wurde ein Schlitten konstruiert, der beide Ski führt und mit Gewichten beaufschlagt werden kann. Für die hier vorgestellten Messungen trug der Schlitten eine Masse von 10 kg. Der Schlitten wurde in die Spur gesetzt und absolvierte denselben Gleitweg wie die Athleten. Die Auswahl der Athleten umfasste die Altersklassen 7 bis 14 Jahre mit 9 weiblichen Startern. Insgesamt waren 8 Skimarken am Start, die sich jedoch 3 Designtypen zuordnen lassen. Die Ski wurden gewachst und abgezogen. Die Wachsauswahl war allerdings nicht einheitlich, wobei die Farbkodierung in folgender Tabelle auf keinerlei Häufung besonders gleitfreudiger Ski einzelner Vereine hinweist.



Rang	Alter	Größe [cm]	Masse [kg]	Skilänge [cm]
1	11	150	44,6	190
2	11	145	39,0	195
3	9		35,3	190
4	10		39,0	180
5	10	138	37,0	185
6	12	151	38,5	210
7	10	129	30,2	175
8	10		30,2	170
9	12	165	53,3	220
10	8	125	30,2	170
11	11		44,0	190
12	12	136	35,0	185
13	10		39,0	185
14	12	163	49,2	215
15	10	146	41,0	190
16	10		34,9	180
17	10		28,0	180
18	14		63,0	235
19	9		30,5	170
20	11	130	29,2	170
21	10		34,0	180
22	11	143	38,1	190
23	9		33,2	180
24	13		51,6	210
25	9		31,0	170
26	10		35,3	190
27	8		26,9	170
28	11	148	35,4	190
29	12		45,0	205
30	9		32,5	180
31	8		33,7	160
32	9		30,9	160
33	10		31,0	190
34	7		31,0	170
35	9		30,0	180
36	11	145	35,8	180
37	7		24,0	160
38	9		34,5	170
39	7	131	28,5	160
40	9		33,5	180
41	8		27,0	170
42	8		30,0	160

Abb. 1: Links: Anlaufspur mit Schlitten. Rechts: Platzierung der Athleten, deren Alter, Größe, Körpergewicht und gesprungene Skilänge. Die Athleten wurden mit Anzug, Helm und Schuhen gewogen. Die Farbkodierung zeigt den Verein an.

3 Ergebnisse

3.1 Anfahrt des Athleten

Wird die Athletenmasse in Abhängigkeit des Athletenalters betrachtet fällt auf, dass die beteiligten Athleten bis zum Alter von 10 Jahren im Mittel schwerer als gleichaltrige Kinder sind, was vermutlich daran liegt, dass die Athleten mit Anzug, Helm und Schuhen gewogen wurden, siehe Bild 2, links. Die Athletenmasse wächst leicht exponentiell mit dem Alter. Auf den einzelnen Altersstufen findet man Massenunterschiede von bis zu 20 kg. Die roten Vierecke in Bild 2, links stellen Referenzwerte von Kindern im selben Alterssegment dar (Quelle: Robert Koch Institut).

Athletenmasse und Körpergröße stehen ebenfalls in einem schwach exponentiellen Zusammenhang. Die Referenzwerte des Robert Koch Instituts (rote Symbole in Bild 2, rechts) zeigen bei Athletengrößen

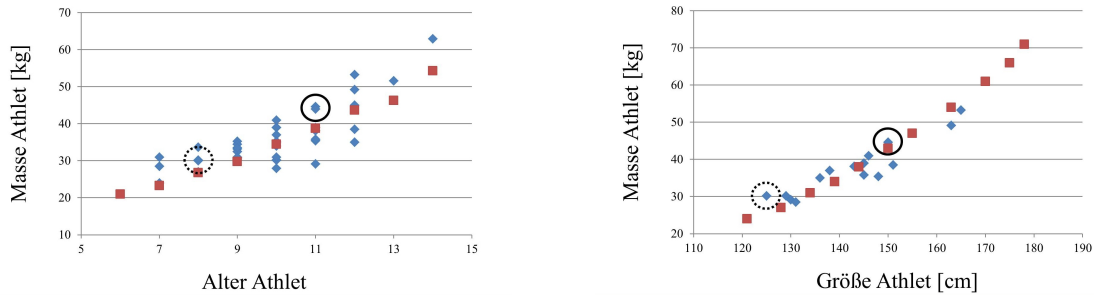


Abb. 2: Links: Masse der Athleten in Abhängigkeit ihres Alters. Rechts: Masse der Athleten in Abhängigkeit ihrer Größe. Der Kreis mit durchgezogener Linie kennzeichnet den Erstplatzierten und der Kreis mit durchbrochener Linie den Letztplatzierten des Starterfeldes.

ab 145 cm tendenziell größere Massen als die der beteiligten Springer. Unter 145 cm sind die Athleten ähnlich schwer wie gleichaltrige Kinder.

Die Skilänge zeigt eine klare Korrelation zur Athletenmasse, siehe Bild 3, links. Mit zunehmender Masse steigt die Skilänge linear. Umgekehrte Verhältnisse findet man bei der Streuung. Während bei geringer Athletenmasse (30 kg) eine Streuung um ca. 40 cm auftritt, verringert sich die Streuung bei einer Athletenmasse von 50 kg auf etwa 10 cm.

Die Skilänge als Funktion des Athletenalters zeigt eine exponentielle Zunahme (Bild 3, rechts). Im Alter von 7 Jahren werden 160 cm lange Ski gesprungen und im Alter von 14 Jahren bereits 235 cm lange Ski. Es zeigt sich, dass die längeren Ski von größeren und somit auch schwereren Athleten gesprungen werden. Die unterschiedlichen Skilängen auf den einzelnen Altersstufen sind durch die unterschiedlichen Athletenmassen begründet. Die exponentielle Zunahme der Skilänge ist durch die ebenso exponentielle Zunahme der Athletenmasse mit steigendem Alter begründet, siehe Bild 2, rechts.

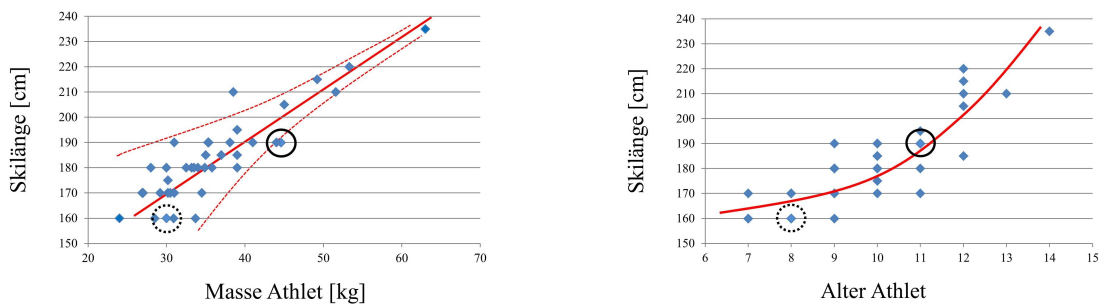


Abb. 3: Links: Skilänge in Abhängigkeit der Athletenmasse. Rechts: Skilänge in Abhängigkeit des Athletenalters. Der Kreis mit durchgezogener Linie kennzeichnet den Erstplatzierten und der Kreis mit durchbrochener Linie den Letztplatzierten des Starterfeldes.

Mit steigendem Athletenalter nimmt auch die Geschwindigkeit zu, wobei die maximalen Werte bereits im Alter von 10 Jahren erreicht werden, siehe Bild 4, links. Die Streuung nimmt mit steigendem Alter ab und zeigt weder Korrelation zu Skimarke noch zu Skilänge (nicht gezeigt im Bild).

Durch den leicht exponentiellen Zusammenhang von Athletenmasse und Alter (siehe Bild 2, links), wächst auch die Anlaufgeschwindigkeit mit der Athletenmasse an, Bild 4, rechts. Einige Athleten erreichen unabhängig von ihrer Masse und Alter die Maximalwerte.

3.2 Anfahrt von Athleten und Schlitten

Trägt man die Athletengeschwindigkeit gegen die Schlittengeschwindigkeit auf, so erkennt man keinerlei Korrelation. Die Athletengeschwindigkeiten schwanken in einem Band zwischen 48,5 und 51,5 km/h. Ein Unterschied zwischen Jungen und Mädchen ist nicht zu erkennen, siehe Bild 5 links.

Bei der Betrachtung der Differenzen zwischen Athleten- und Schlittengeschwindigkeiten in Bild 5 rechts wird sichtbar, dass eine ganze Reihe von Athleten schneller als der Schlitten sind. Die Auftragung der Daten erfolgte in Abhängigkeit des Athletenalters. Es ist zu erkennen, dass mit zunehmendem Alter

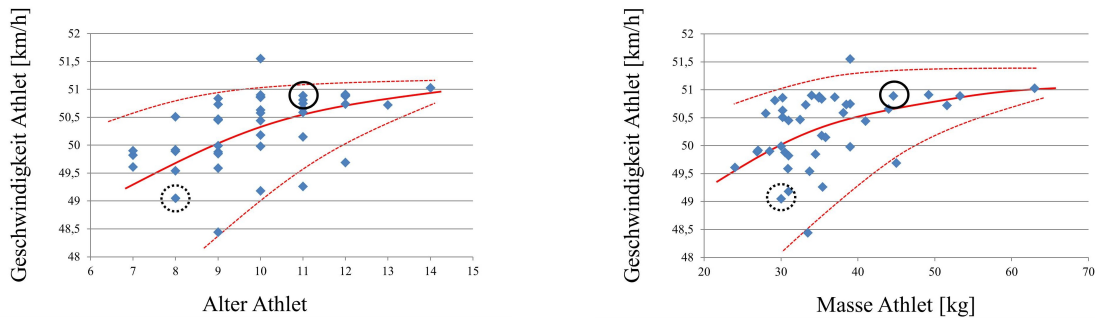


Abb. 4: Links: Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Athletenalters. Rechts: Anlaufgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Athletenmasse. Der Kreis mit durchgezogener Linie kennzeichnet den Erstplatzierten und der Kreis mit durchbrochener Linie den Letztplatzierten des Starterfeldes.

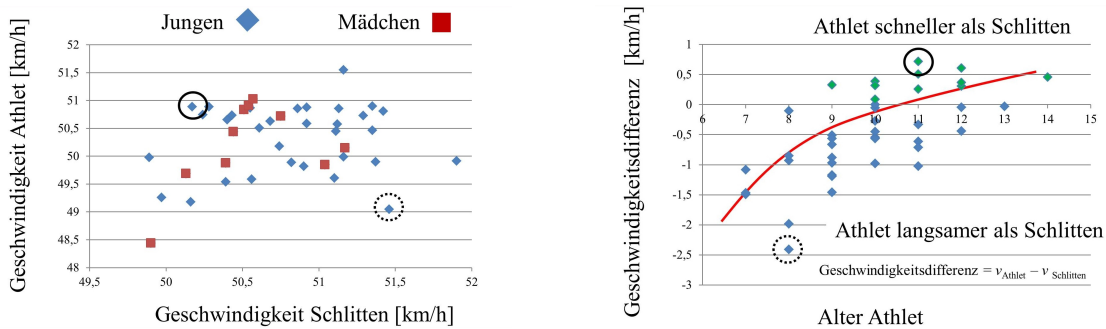


Abb. 5: Links: Anlaufgeschwindigkeit von Athlet und Schlitten. Rechts: Differenzen zwischen Athleten- und Schlittengeschwindigkeiten. Der Kreis mit durchgezogener Linie kennzeichnet den Erstplatzierten und der Kreis mit durchbrochener Linie den Letztplatzierten des Starterfeldes.

die Differenzen geringer werden und ab ca. 9 Jahren erstmals positive Vorzeichen auftreten, d.h. der Athlet schneller als der Schlitten ist.

Während im Erwachsenenbereich der BMI (body mass index) zur Bestimmung der Skilänge herangezogen wird, nutzt man bei Kindern bis 15 Jahren eine vereinfachte Formel: $l_{\text{ski}} = 1,4 * l_{\text{athl}}$. Damit sind bei einer Körpergröße von 120 cm bis 170 cm Skilängen zwischen ca. 170 cm und 240 cm möglich. Die Mehrzahl der beteiligten Athleten blieb allerdings unterhalb der maximalen Skigröße, siehe Bild 6, links. Im rechten Teil des Bildes ist die Differenzskilänge (= berechnete Skilänge - tatsächlich gesprungene Skilänge) als Funktion der Wettkampfplatzierung gezeigt. Vordere Plätze belegten – bis auf den Erstplatzierten – Athleten, die nah (d.h. 5 cm bis 10 cm) an die berechnete, d.h. maximale Skilänge, gegangen sind. Bei den hinteren Platzierungen betrug die Differenz fast 25 cm.

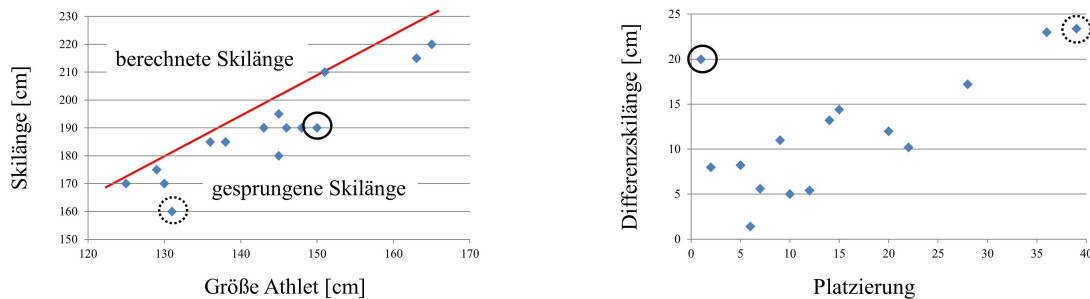


Abb. 6: Links: Berechnete und tatsächlich gesprungene Skilänge. Rechts: Differenz von berechneter und tatsächlicher Skilänge in Abhängigkeit der Platzierung. Der Kreis mit durchgezogener Linie kennzeichnet den Erstplatzierten und der Kreis mit durchbrochener Linie den Letztplatzierten des Starterfeldes.

Zur Quantifizierung des Einflusses des Materials wurde Bild 7 eingefügt. Links ist die Geschwindigkeit des Schlittens der 3 Hauptgruppen dargestellt. Die rote horizontale Linie zeigt die mittlere Geschwindigkeit aller Versuche. Sie liegt bei 50,76 km/h. Somit besitzt Gruppe 1 eine um ca. 0,5 km/h höhere und

Gruppe 3 eine um ca. 0,6 km/h niedrigere Gleitgeschwindigkeit. Im rechten Teil von Bild 7 wurde die Geschwindigkeitsdifferenz $v_{\text{athl}} - v_{\text{schlitten}}$ dargestellt. Je negativer der Ordinatenwert ist, desto langsamer war der Athlet gegenüber dem Schlitten.

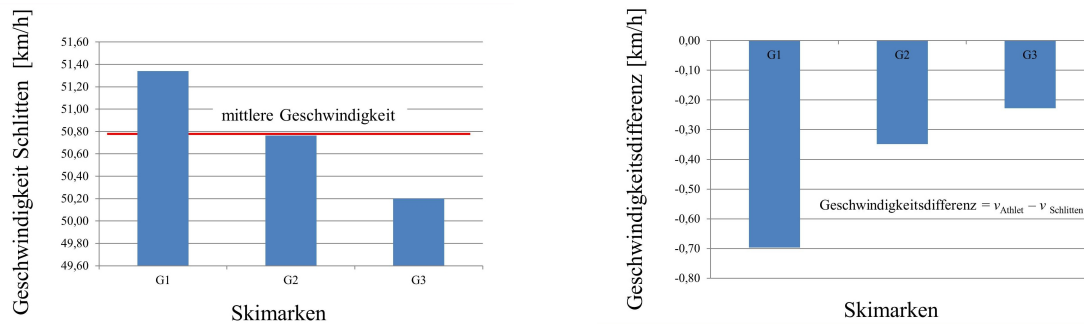


Abb. 7: Links: Schlittengeschwindigkeit der 3 Skigruppen. Rechts: Differenz zwischen Athleten- und Schlittengeschwindigkeit.

Vordere Platzierungen im Wettkampf wurden von Athleten mit großer Masse und dementsprechend langen Ski erreicht, siehe Bild 8.

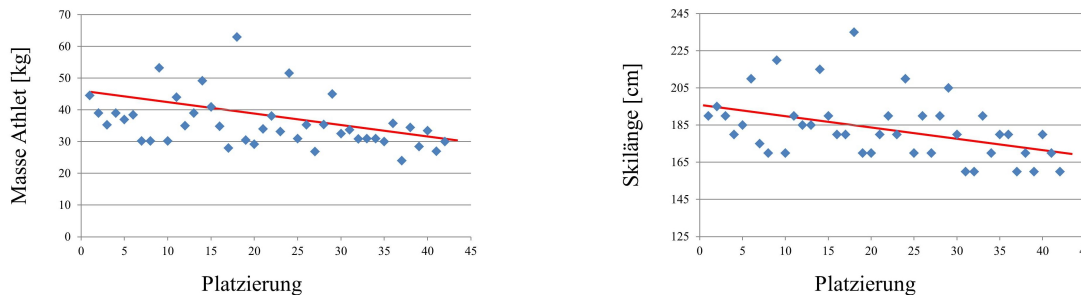


Abb. 8: Links: Platzierung und Athletenmasse. Rechts: Platzierung und Skilänge.

3.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bild 9 zeigt eine Gegenüberstellung der maßgeblichen Einflussfaktoren für den erst- und den letztplatzierten Starter. Als Ausrüstungsfaktoren sind Skilänge und Schlittengeschwindigkeit in die Darstellung aufgenommen worden. Die Skilängen wurden auf die Dimension des längsten Skis im Starterfeld (235 cm) normiert. Der Letztplatzierte startete mit dem Ski, welcher unter dem Schlitten die größte Gleitgeschwindigkeit erzielte. Daher hat nach der Normierung dieser Faktor den Wert 1. Die Schlittengeschwindigkeit des Siegers war unwesentlich geringer.

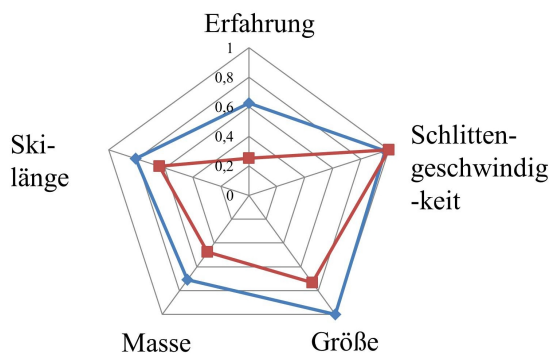


Abb. 9: Zusammenstellung der normierten Einflussfaktoren. Die Normierung erfolgte gegenüber dem Maximalwert des jeweiligen Faktors im Klassement. Blau: Erstplatziertes; Rot: Letztplatziertes.

Der Faktor Erfahrung basiert auf dem Trainingsalter mit Bezug auf das sechste Lebensjahr. Normiert wurde hier auf das größte Trainingsalter des Starterfeldes (8 Jahre). Somit sind Erfahrung, Körpergröße und Masse über das Alter gekoppelte Größen. Beide letztgenannten Faktoren wurden auf den größten Wert des Klassement normiert.

4 Diskussion

Der Diskussion werden 3 zentrale Thesen vorangestellt:

- Die Skilänge bestimmt zu einem großen Teil die Anlaufgeschwindigkeit.
- Biomechanische Fähigkeiten überlagern den Einfluss der Skiauswahl.
- Psychologische Faktoren spielen eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

Dass längere Ski zu höheren Anlaufgeschwindigkeiten führen, kann mit reibungsphysikalischen Ursachen begründet werden. Im hier dargestellten Wettkampf handelte es sich um das Phänomen der trockenen Reibung, da die Spur nicht mit Wasser gespült wurde. Daher dürfen strömungstechnische Aspekte (Hydrodynamik) unberücksichtigt bleiben. Der Kontakt von Ski und Spur erfolgte ausschließlich auf Keramiknoppen und führte zu einer sehr kleinen Kontaktfläche. Mit länger werdendem Ski nimmt die Kraft pro Kontaktpunkt ab, da die Anzahl der Keramiknoppen, mit denen der Ski in Kontakt ist, zunimmt. Damit verringert sich die lokale Deformation des Skibelags, die durch Pflügen des Skibelags Reibungsverluste erzeugt. Die Auswertung der Schlittengeschwindigkeit hat ergeben, dass der Faktor Reibung wichtig ist, aber von biomechanischen Faktoren überlagert wird.

Mit Bezug auf These 2 lässt sich feststellen, dass ab einem Alter von 9 Jahren einzelne Athleten schneller als der Schlitten fahren. Daher liegt die Vermutung nahe, dass ältere Athleten ein besseres Gleitvermögen entwickelt haben als jüngere. Unterstützt wird diese These durch die Abnahme der Streuung mit zunehmender Athletenmasse, d.h. –alter, siehe Bild 4, links. Bei den jungen Springern beeinflussen offenbar stochastisch oder systematisch auftretende Fahrfehler das Gleitverhalten. Als bemerkenswertes Faktum sticht heraus, dass der Letztplatzierte mit einem etwa gleich schnellen Ski wie der Erstplatzierte antrat und dennoch nicht in den Bereich der höchsten Anlaufgeschwindigkeiten vorstossen konnte, was auf biomechanisch begründete schlechtere Gleitfähigkeiten des Athleten schließen lässt. Es ist zu vermuten, dass der Erstplatzierte durch Wahl eines längeren Skis eine noch höhere Anlaufgeschwindigkeit erreicht hätte.

Hinsichtlich psychologischer Faktoren, d.h. korrekte Selbsteinschätzung und Vertrauen des Trainers in die Fähigkeiten seines Athleten zeigt sich, dass ab einem Athletenalter von 10 bis 11 Jahren eine gewisse Sättigung in der Anfahrtschwindigkeit eintritt. In diesem Alter liegen 4 bis 5 Jahre Training bereits hinter den Athleten, die offenbar zu verbesserter Selbsteinschätzung und zu gefestigtem Vertrauen des Trainers geführt haben. Damit einher geht die Auswahl größerer Skilängen, die zu höheren Anlaufgeschwindigkeiten führen, vorausgesetzt die biomechanischen Fähigkeiten des Athleten lassen dies zu. Wir sehen, dass mit größerem Alter auch Körpergröße und Körpermasse zugenommen haben und spekulieren, dass dies ein Nebeneffekt aber nicht der Grund für die Wahl des längeren Skis ist. Diese basiert auf den Vertrauenswerten von Athlet und Trainer. Wenn vertrauensbedingt die Differenz zwischen maximal möglicher Skilänge und tatsächlich gesprungener gering ist, stellt sich der Erfolg ein.

5 Fehlerquellen

Es gibt eine ganze Reihe von Fehlerquellen, die analysiert werden müssen. Mit jedem Ski wurden insgesamt 2 Versuche unternommen, was nur eine geringe statistische Breite bedeutet. Allerdings ist die Konsistenz der Daten sehr gut, so dass das Maß an praktischer Signifikanz das der statistischen übertrifft. Die Schwankungen der Athletenmassen werden neben den körperlichen Voraussetzungen natürlich vom Material (Helm, Anzug, Schuhe) beeinflusst. Da die Athleten unterschiedliches Material nutzen und es z.B. signifikante Unterschiede bei der Masse der Schuhe gibt, kann es Differenzen bei sonst gleich schweren Athleten geben.

Eine weitere Quelle, die zu Schwankungen führen kann, liegt in der Auswahl der Ski für diesen speziellen Wettkampf, der kurz vor der Wintersaison stattfand. In der Regel wird bei Wettkämpfen vor der Wintersaison noch der im Jahr zuvor angeschaffte Ski – passend zur augenblicklichen Körpergröße – gesprungen. Somit kann es sein, dass die Ski auch deswegen eine geringere Länge als die maximal

mögliche hatten. Ein weiterer ausrüstungstechnischer Grund für die Wahl kürzerer Ski kann auch in der Verfügbarkeit bestimmter Skilängen begründet sein. Ski im Kinderalter sind in Abstufungen von 5 cm erhältlich, was bei jeder Skineuauwahl einen großen Schritt bedeutet und möglicherweise vermieden wird.

Schließlich sei noch darauf hingewiesen, dass die verwendeten Ski hauptsächlich auf den Schanzentyp und nicht auf den Anlaufstyp hin ausgewählt werden. Athleten, die erst Vertrauen zum Ski aufbauen, bevorzugen zudem auch kürzere Ski.

6 Zusammenfassung

Die präsentierten Ergebnisse belegen eindrucksvoll, dass mit dem gewählten experimentellen Ansatz die Einflüsse von Athlet und Material auf die Anlaufgeschwindigkeit getrennt werden können. Die Palette der Einflüsse reicht von ausrüstungstechnischen über biomechanischen zu psychologischen Faktoren. Somit liegt ein Werkzeug vor, mit dem Optimierungen sowohl der Biomechanik als auch des Materials vorgenommen werden können. Mit den Daten konnte belegt werden, dass das Trainingsalter des Athleten von ausschlaggebender Bedeutung für das Erreichen hoher Anlaufgeschwindigkeiten ist. Mit dem Alter steigt sowohl die Fähigkeit des Athleten, seine Ski zu führen, als auch das Vertrauen des Trainers, einen längeren Ski zuzulassen. Mit der hier vorliegenden Analyse konnte allerdings nicht gezeigt werden, wie die Biomechanik – z.B. Vor- oder Rücklage im Anlauf – wirkt. Derartige Analysen bedürfen weiterer Forschung.

Danksagung

Die Danksagung der Autoren für Kritik und sehr konstruktive Anregungen geht an Sepp Buchner und Dr. Reinhard Groß.

Über die Autoren



Matthias Scherge ist Professor für Tribologie. Das ist die Wissenschaft von Reibung, Verschleiß und Schmierung. Prof. Scherge leitet das Fraunhofer MikroTribologie Centrum, lehrt am Karlsruher Institut für Technologie und managed das Team Snowstorm. Darüber hinaus berät er das Nordic Paraski Team Deutschland sowie mehrere nationale und internationale Athleten in wissenschaftlich-technischen Fragen.



Sepp Heumann, ein ehemaliger aktiver Skispringer und mehrfacher Teilnehmer der Vierschanzentournee arbeitet als Trainer beim WSV Oberaudorf und ist dort für den Kinder- und Jugendbereich zuständig.

References

- [1] H. Schwammeder. Biomechanics research in ski jumping. *Sports Biomech.*, 7:114–136, 2008.
- [2] M. Janura, L. Cabell, M. Elfmark, and F. Vaverka. Kinematic characteristics of the ski jump inrun. *J Appl Biomech.*, 26:196–204, 2010.
- [3] E. Janurová, M. Janura, L. Cabell, Z. Svoboda, I. Vařeka, and M. Elfmark. Kinematic Chains in Ski Jumping In-run Posture. *J Hum Kinet.*, 39:67–72, 2013.