
Unterstützung der Trainingsmethodik bei Inline-Speed-Skatern durch Druckverteilungsmessungen im Schuh mit dem Ziel der Verbesserung und Optimierung der Abstoßtechnik¹

Dieter Rosenbaum*, Olaf Hoos**, Eric Eils* & Kuno Hottenrott***

* Orthopädische Universitätsklinik Münster, Funktionsbereich Bewegungsanalytik

**Institut für Sportwissenschaft, Universität Marburg

***Universität Halle

1 Problem

Seit dem offiziellen Umstieg von klassischen Rollschuhen auf Inline-Skates 1995 und der anfangs kopierten Eisschnelllauftechnik befindet sich die Speed-Skating-Technik in einem permanenten Entwicklungsprozess. Sie weist zwar nach wie vor viele Gemeinsamkeiten mit dem Eisschnelllauf auf, Unterschiede zeigen sich jedoch aufgrund des höheren Reibungswiderstandes in einer unterschiedlichen Gewichtung der zu leistenden mechanischen Arbeit und dem veränderten Bodenkontaktverhalten (De Boer et al., 1987). Zusätzlich bedingen die unterschiedlichen Wettkampfmodi disziplinspezifische Anforderungen, die sich von denen des Eisschnelllaufes abheben (Hottenrott, 1999). Die Abstoßtechnik im Speed-Skating unterscheidet sich grundsätzlich von anderen Arten der menschlichen Fortbewegung wie Gehen und Laufen, bei denen der Abstoß über den Vorfuß stattfindet. Für eine effiziente Kraftübertragung zwischen Skate und Boden sollte der Abstoß über den gesamten Fuß erfolgen. Ferner erfolgt der Abstoß senkrecht zur Laufrichtung – ein Abstoß nach hinten ist aufgrund der hohen Laufgeschwindigkeiten und der niedrigen Reibungskräfte ähnlich wie im Eisschnelllauf nicht möglich (Gemser et al., 1999; Hoos, 2003). Das Erlernen dieses veränderten Abdrucks ist ein zentraler Bestandteil des technischen Trainings und der Leistungsentwicklung. Zur Vermeidung eines Vorfußabdruckes wird den Athleten im Trainingsprozess geraten, sich stärker von der Ferse abzudrücken. Der Abstoß im Schuh bzw. die Lastverteilung auf Vor- und Rückfuß ist von außen für den Trainer nicht erkennbar. Die Athleten müssen sich auf ihre sensorischen Informationen von der Fußsohle verlassen. Um den Trainingsprozess an dieser Stelle zu unterstützen wäre ein objektives Messsystem von Nutzen, das den Athleten ein direktes Feedback über die Ausführung des Abstoßes geben kann.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens war die Unterstützung der Trainingsmethodik bei Speed-Skatern zur Verbesserung der individuellen Abstoßtechnik durch

¹ VF 0407/06/16/2002-2003

Druckverteilungsmessungen im Schuh. Mit Hilfe der Druckverteilungsanalyse kann dem Athleten direkt nach der Bewegungsausführung Rückmeldung über die Ausführung des Abstoßes gegeben werden, um den Trainingsprozess und die Leistungsentwicklung positiv zu beeinflussen. Die Studie war in zwei aufeinander aufbauende Teile aufgeteilt:

- **Teil 1:**
Zunächst wurde durch die Untersuchung von Speed-Skatern der nationalen Spitzenklasse relevante Parameter zur Abstoßoptimierung aus der Druckverteilungsanalyse in Zusammenarbeit mit den Athleten und Trainern erarbeitet. Subjektive Erfahrungen/Empfindungen wurden mit objektiven Messdaten zusammengeführt. Daraus wurden Trainingsübungen für eine verbesserte Abstoßtechnik abgeleitet.
- **Teil 2:**
Anschließend wurden diese Trainingsübungen prospektiv-randomisiert bei fortgeschrittenen Inline-Skatern in einen sechswöchigen Trainingsprozess eingebaut und mit Hilfe von Leistungsmessungen vor und nach der Trainingsperiode überprüft.

Teil 1: Abstoßoptimierung bei Spitzenathleten

2 Methode

Von Juli bis August 2003 beteiligten sich elf nationale und internationale Spitzenathleten aus dem Langstreckenbereich des Speed-Skatings am ersten Teil des Projektes. Bei drei der elf Athleten konnten aufgrund von Hardwareproblemen keine verwertbaren Ergebnisse erhoben werden, so dass zur Auswertung die Daten von acht Athleten zur Verfügung standen (6 männlich; 2 weiblich; Alter: $27,8 \pm 5,1$ Jahre; Gewicht: $72,1 \pm 4,1$ kg; Größe: $177,5 \pm 7,0$ cm). Zum Zeitpunkt der Studie waren alle Skater verletzungsfrei und hatten innerhalb der letzten drei Monate keine Verletzung an den unteren Extremitäten erlitten. Vor Beginn gaben die Probanden schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Studie.

Zur Erfassung der plantaren Druckverteilung im Schuh wurde das Pedar-mobile-System genutzt (Novel GmbH München). Die Messapparatur war auf dem Rücken befestigt, so dass eine Behinderung der Athleten minimiert wurde. Gemessen wurde im linken Schuh mit einer Frequenz von 50 Hz. Mit Hilfe der Bluetooth-Telemetrie wurden die Druckverteilungsdaten online im vorausfahrenden PKW aufgezeichnet und von den Untersuchern mitverfolgt. Synchron zur Druckverteilungsmessung wurden zur qualitativen Begutachtung digitale Videodaten erhoben. Um standardisierte Bedingungen zu erhalten, folgten die Athleten im Abstand von ca. 5 m einem PKW mit vorgegebener Geschwindigkeit von 35 km/h, was einer typischen aerob-intensiven Trainingsgeschwindigkeit entsprach. Es

wurde kein Armschwung eingesetzt; die Arme wurden in der Langstreckenposition auf dem Rücken gehalten. Alle Probanden absolvierten verschiedene Versuchsdurchläufe auf vergleichbaren Straßenabschnitten von ca. 1.000 m Länge in randomisierter Reihenfolge:

- *Normale Technik:* Dem Athleten war nicht bewusst, wann bzw. dass gemessen wurde. Diese Messungen wurden im Rahmen des Aufwärmens durchgeführt.
- *Konzentrierte Ausführung:* Der Athlet sollte bei dieser Bedingung bewusst eine möglichst gute Abstoßtechnik realisieren.
- *Ballenabdruck:* Der Athlet sollte möglichst stark über den Ballen abstoßen.
- *Fersenabdruck:* Der Athlet sollte möglichst stark über die Ferse abstoßen.

Nach Erreichen der Zielgeschwindigkeit wurden jeweils fünf gültige Zyklen ausgewertet. Zur Datenanalyse wurde das Belastungsmuster von jedem Schritt mit Hilfe einer standardisierten „Maske“ in zehn Regionen eingeteilt: Mediale und laterale Ferse, medialer und lateraler Mittelfuß, medialer, zentraler und lateraler Vorfuß, Großzehe, zweite Zehe und die restlichen Zehen. Für diese Regionen wurden Impuls, Maximalkraft und Spitzendruck berechnet und die Stütz- und Zyklusdauer abgeleitet. Anhand dieser Daten wurden die Bedingungen verglichen und individuelle und übergreifende Besonderheiten herausgestellt.

Anschließend füllten die Athleten einen standardisierten Fragebogen zur Charakterisierung eines optimalen Abstoßes und zur Selbsteinschätzung des eigenen Abstoßes bzw. dessen Eigenwahrnehmung aus. Der Trainer beantwortete zusätzlich Fragen zum technischen Vermögen jedes einzelnen Athleten. Der Fragebogen umfasste Fragen zur generellen Einschätzung von Parametern zur Charakterisierung eines technisch guten Abstoßes, zur Beurteilung des eigenen Abstoßes und zum subjektiven Empfinden bei einem guten bzw. weniger guten Abstoß. Neben den acht Athleten wurden als weitere Experten zwei Trainer befragt, die als aktueller bzw. ehemaliger Teambetreuer alle Athleten sehr gut kannten.

Anhand der Informationen aus der Druckverteilungsmessung und den Fragebögen wurde in Zusammenarbeit mit den Athleten und dem Trainer ein optimaler Abstoß erarbeitet. Dies geschah, indem die pedografischen Daten mit der qualitativen Videoanalyse und der subjektiven Beurteilung der Abstoßtechnik der Athleten durch sich selbst und den Trainer anhand des standardisierten Fragebogens abgeglichen wurden. Dabei wurden solche Parameter als Ansteuerungsgrößen extrahiert, die sowohl von Trainer- und Athletenseite als relevant für einen optimierten Abstoß angesehen werden und sich in objektiven Parametern der Druckverteilungsmessung bei den Spitzenathleten wiederfinden.

3 Ergebnisse

Bezogen auf die Dauer des Gesamtzyklus und der Stützphase ergaben sich im Vergleich der verschiedenen Bewegungsaufforderungen keine statistischen Unterschiede. Im Mittel lag die Stützdauer je nach Bewegungsaufforderung zwischen 888 ± 102 ms und 922 ± 116 ms und die Zyklusdauer zwischen 1441 ± 143 ms und 1517 ± 141 ms, so dass der relative Anteil der Stützzeiten zwischen $61,3 \pm 3,2$ % und $62,5 \pm 3,6$ % betrug. Die absolute Dauer der Kontaktzeiten in den zehn Regionen veränderte sich durch die Bewegungsaufforderungen nicht, allerdings ist ein statistisch signifikanter Unterschied für die relative Kontaktdauer im Bereich der lateralen Ferse ($p = 0,012$) und ein Trend im Bereich der medialen Ferse ($p = 0,053$) nachweisbar. Der Ballenabdruck führte im Vergleich zu allen drei anderen Bedingungen zu einer signifikant reduzierten relativen Kontaktzeit der lateralen Ferse um 6 % bis 7 % ($p < 0,05$). Die relative Kontaktzeit der medialen Ferse ist ebenfalls zwischen normaler Technik ($p = 0,10$) und Fersenabdruck ($p = 0,04$) tendenziell um 5 % bis 6 % reduziert. Die Reduktion der relativen Kontaktzeit resultierte hauptsächlich daraus, dass der Kontakt im medialen und lateralen Fersenbereich bei den verschiedenen Bewegungsaufforderungen differiert, wobei der letzte Bodenkontakt im Bereich der medialen und lateralen Ferse beim Ballenabdruck relativ gesehen früher erfolgt. Somit sind die Bodenkontaktzeiten in den anatomischen Zonen mit Ausnahme des Fersenbereichs bei den Spitzenathleten trotz unterschiedlicher Bewegungsaufforderungen stabil.

Die Kraft-Zeit-Kurven aller Spitzensportler wiesen bei allen Bewegungsmodi drei Extrema auf. Sie zeigten ein erstes relatives Maximum mit Beginn des Einbeinstützes nach etwa 20 % der Stützzeit (= Initialmaximum; ca. 100% des Körpergewichts BW), erreichten ein relatives Minimum während der Gleitphase bei circa 60 % der Stützphase (= Gleitminimum; ca. 80-60 % BW), stiegen bei rund 80% auf ein zweites lokales Maximum an, welches gleichzeitig dem Gesamtmaximum entspricht (= Abdruckkraft; ca. 120 %-160 % BW).

Zwischen den Bewegungsaufforderungen ließen sich keine signifikanten Unterschiede für die Maximalkraft und den Gesamtimpuls nachweisen. Auch bezogen auf das absolute und relative Timing sind keine Veränderungen der Maximalkraft zwischen den verschiedenen Bewegungsaufforderungen statistisch abzusichern. Grundsätzlich war eine relativ homogene Verteilung der Kraftspitzen in allen Fußzonen beim Vergleich der Bewegungsaufforderungen *normal*, *konzentriert* und *Fersenabdruck* zu verzeichnen. Dabei waren Ferse und zentraler Vorfuß den höchsten Kräften ausgesetzt. Im Fersenbereich lagen die maximalen Kräfte bei bis zu 45 % BW (mediale Ferse) bzw. bis zu 50 % BW (laterale Ferse), während im medialen Vorfußbereich bis zu 20 % BW zu tolerieren waren. Alle an-

deren anatomischen Bereiche wiesen deutlich niedrigere Kraftwerte auf. Diese lagen im Fußgewölbe zwischen 10 %-15 % BW, im mittleren und lateralen Vorfuß zwischen 10 %-13 % BW und im Bereich der Zehen zwischen 4 %-11 % BW. Die Bewegungsaufforderung *Ballenabdruck* brachte eine veränderte Verteilung der lokalen Kraftspitzen mit sich. Signifikante Unterschiede bzw. statistische Trends ergaben sich dabei in der Ferse (medial: $p = 0,058$; lateral: $p = 0,038$) und der zweiten Zehe ($p = 0,057$). Dabei war im Vergleich zum *Fersenabdruck* ein signifikant reduzierter Krafteinsatz im lateralen Fersenbereich und eine signifikant erhöhte Kraftspitze im Bereich der zweiten Zehe sowie ein Trend zu höheren Kraftspitzen im Bereich der medialen Ferse zu verzeichnen.

Das relative Timing der lokalen Kraftspitzen unterschied sich nicht zwischen den Bewegungsaufforderungen. Die lokalen Maxima traten dabei im Fersenbereich mit Ausnahme der Bewegungsaufforderung *Ballenabdruck* zwischen 60 % und 75 % der Stützdauer auf. Die Kraftspitzen in den anderen Fußzonen traten $\pm 10\%$ um die maximale Gesamtkraftspitze herum auf, die bei ca. 80 % der Stützdauer lag. Beim Ballenabdruck traten die Kraftspitzen im Fersenbereich früher auf (ca. 45-50 % der Stützdauer), auch wenn dies statistisch nicht abgesichert werden konnte.

Ähnlich homogen wie die Verteilung der lokalen Kraftspitzen in den Fußzonen beim Vergleich der Bewegungsaufforderungen normal, konzentriert und Fersenabdruck fiel die Impulsverteilung aus. Dabei hatten die Bereiche Ferse und zentraler Vorfuß den höchsten Anteil am Gesamtimpuls (ca. 18 % BWs mediale Ferse bzw. ca. 20 % BWs laterale Ferse). Der mediale Vorfußbereich trug noch mit etwa 10 % BWs zum Gesamtimpuls bei. Alle anderen anatomischen Bereiche lagen zwischen 1 % und 7 % BWs (Tabelle 1).

Durch die Bewegungsaufforderung *Ballenabdruck* veränderte sich auch die lokale Lastverteilung. Signifikante Unterschiede ergaben sich im lateralen Bereich der Ferse ($p=0,023$) mit im Vergleich zur Bewegungsaufforderung Fersenabdruck signifikant reduziertem Impuls und einem Trend zur Impulsreduktion im Vergleich zur Bewegungsaufforderung *konzentrierte Technik*. Im Bereich der medialen Ferse ($p = 0,086$) war ein Trend zu verzeichnen, wo im Vergleich mit der Bewegungsaufforderung Fersenabdruck eine Tendenz zur reduzierten Impulsgebung zu verzeichnen ist.

Tab. 1: Impuls in den verschiedenen Fußregionen bei den vier Bewegungsaufforderungen. Ein „*“ in der ersten Spalte kennzeichnet einen signifikanten Unterschied der ANOVA, ein „<“ bzw. „>“-Zeichen in der letzten Spalte kennzeichnet signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen Normal (N), Konzentriert (K), Ballen (B) und Ferse (F). Weitere Abkürzungen: med.= medial, lat.= lateral, zent.= zentral, n.s.= nicht signifikant.

Impuls [%BWs] (n=8)	Bewegungsaufforderung				Signifikante Unterschiede zwischen den Bewegungs- aufforderungen
	Normal (N)	Konzentr(K)	Ballen (B)	Ferse (F)	
• Med. Ferse	16,5±6,3	18,4±7,2	11,2±6,8	19,8±6,9	Trend (B<F)
• Lat. Ferse *	18,5±5,8	20,2±7,2	11,8±6,3	22,7±7,6	B<F, p=0,023; Trend (B<K)
• Med. Mittelfuß	3,1±3,3	3,0±3,2	3,8±3,4	2,8±3,0	n.s.
• Lat. Mittelfuß	3,1±2,1	3,4±2,2	4,3±3,1	3,0±1,9	n.s.
• Med. Vorfuß	9,5±5,6	9,6±5,7	12,9±7,3	8,5±5,2	n.s.
• Zent. Vorfuß	4,6±3,3	4,5±3,4	6,7±3,9	3,7±2,8	n.s.
• Lat. Vorfuß	4,5±3,0	4,5±3,3	6,9±3,9	4,0±3,3	n.s.
• Hallux	3,2±2,1	2,7±2,0	4,1±1,9	2,0±1,5	n.s.
• Zweite Zehe	1,6±1,3	1,4±1,1	2,5±1,8	0,9±0,8	n.s.
• Lat. Zehen	1,6±0,8	1,6±1,2	2,5±1,5	1,2±1,2	n.s.

Grundsätzlich lassen sich bei den Spitzenathleten bei allen vier Bewegungsaufforderungen vier Hauptbelastungszonen während der Stützphase diskriminieren: Der mediale und laterale Fersenbereich sowie der mediale Vorfußbereich und der Hallux. Dabei traten die höchsten Belastungen von bis zu 24 N/cm² im medialen und lateralen Fersenbereich auf. Die beiden anderen Regionen wurden mit bis zu 19 N/cm² belastet (Tabelle 2). Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Bewegungsmodi ergaben sich nur für den lateralen Vorfußbereich (p = 0,041). In diesem Bereich lagen die Druckmaxima beim Ballenabdruck tendenziell über denen des Bewegungsmodus Fersenabdruck und konzentrierte Technik. Ein Trend ist für die mediale (p = 0,099) und laterale Ferse (p = 0,100) zu verzeichnen mit jeweils niedrigeren Werten (p ≤ 0,10) beim Ballenabdruck im Vergleich zum Fersenabdruck.

Tab. 2: Spitzendruck in den verschiedenen Fußregionen bei den vier Bewegungsaufforderungen. Ein „*“ in der ersten Spalte kennzeichnet einen signifikanten Unterschied der ANOVA, ein „<“ bzw. „>“-Zeichen in der letzten Spalte kennzeichnet signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen Normal (N), Konzentriert (K), Ballen (B) und Ferse (F). Weitere Abkürzungen: med.= medial, lat.= lateral, zent.= zentral, n.s.= nicht signifikant.

Spitzendruck [N/cm ²] (n=8)	Bewegungsaufforderung				Signifikante Unterschiede zwischen den Bewegungs- aufforderungen
	Normal (N)	Konzentr(K)	Ballen (B)	Ferse (F)	
• Med. Ferse	21,4±6,8	22,5±6,9	15,4±7,7	23,8±6,5	Trend (B<F)
• Lat. Ferse *	21,1±7,3	21,5±6,1	15,2±7,3	23,4±6,3	Trend (B<F)
• Med. Mittelfuß	8,0±4,7	8,0±4,4	8,2±5,2	8±4,3	n.s.
• Lat. Mittelfuß	5,9±2,7	6,1±2,2	6,3±1,8	6,1±2,4	n.s.
• Med. Vorfuß	18,0±7,9	17,7±7,9	19,0±9,3	16,8±7,8	n.s.
• Zent. Vorfuß	7,7±2,9	8,2±3,0	10,9±5,3	7,7±3,4	n.s.
• Lat. Vorfuß	7,8±2,0	7,1±2,0	10,9±3,2	7,0±3,9	Trend (B>K; B>F).
• Hallux	19,3±14,9	16,9±12,1	19,4±9,0	13,0±8,5	n.s.
• Zweite Zehe	7,8±2,0	7,1±2,0	10,9±3,2	7,0±3,9	n.s.
• Lat. Zehen	8,7±3,5	9±2,7	11,3±4,7	7,4±3,6	n.s.

3.1 Subjektive Einschätzung des Abdruckverhaltens

Aus der subjektiven Einschätzung der eigenen Abstoßtechnik ergaben sich die folgenden wichtigsten Kriterien für einen guten Abstoß:

- Abstoß zur Seite;
- gleichmäßige bzw. maximale Kraft-/Druckübertragung auf Schiene und Rollen beim Abstoß mit dem ganzen Fuß/der ganzen Schiene;
- hoher Beschleunigungseffekt in der Abstoßphase;
- gleichmäßige Kraft- und Druckerzeugung im Schuh und ein Abstoß vom Rückfuß.

Unbedingt zu vermeiden sind nach Expertenmeinung ein Abdruck mit dem Vorfuß und eine Abdruckrichtung nach hinten. Neben den beiden Hauptkriterien generelles Fahrgefühl und Abstoß zur Seite waren auch die weiteren Kriterien, die die Athleten gefühlsmäßig beim Skaten mit einem guten Abdruck in Verbindung brachten, vergleichbar mit den oben angeführten: Abstoß mit dem ganzen Fuß/der ganzen Schiene bzw. mit dem Rückfuß sowie gleichmäßiges Kraft- und Druckgefühl im Schuh beim Abstoß. Hinzu kam das Gefühl eines hohen Beschleunigungseffektes beim Abstoß sowie eines geringen Geschwindigkeitsverlustes während des gesamten Bewegungszyklus. Das Gefühl einer maximalen Kraft- und Druckerzeugung im Schuh schien nach Meinung der Athleten für ihre Abstoßtechnik kein einheitliches Kriterium zu sein. Ein Abstoß mit dem Vorfuß und einer Abdruckausrichtung nach hinten wurden wiederum als Negativkriterium eingestuft.

Schließlich wurde von Athleten und Trainern die Rückmeldung von Kraft- und Druckwerten im Schuh als potentiell hilfreich für eine Techniko Optimierung angesehen.

3.2 Ansteuerungsgrößen zur Optimierung des Abstoßverhaltens

Aus den Druckverteilungsdaten und dem Expertenrating der Athleten und Trainer können die folgenden Kriterien für die Abstoßtechnik von Spitzenathleten festgehalten werden:

- Für Spitzenathleten ist ein Ballenabdruck eine Form der Abdruckgestaltung, die sich in den Parametern der Druckverteilung des Timings, der Lastverteilung und der Impulsgebung von deren Standardtechnik unterscheidet. Diese Form der Abstoßgestaltung ist zusätzlich aus Expertensicht als negativ anzusehen.
- Ein verstärkter Fersenimpuls durch Bewegungsaufforderung ist bei Spitzenathleten möglich und in der Druckverteilungsmessung nachweisbar, allerdings nur im Vergleich zu einer bewusst über den Ballenbereich durchgeführten Impulsgebung. Beim Standardabstoß ist bereits ein hoher Fersenimpuls vorhanden.
- Eine gleichmäßige Lastverteilung insbesondere zwischen Fersenbereich und medialem Vorfußbereich ist bei Spitzenathleten über die Druckverteilungsmessung nachweisbar und wird im Expertenrating nicht nur als wichtig für eine gute Abstoßtechnik erachtet, sondern zusätzlich auch als „gefühlsmäßig“ erfassbar und damit als sinnvolle Feedback-Information angesehen.

Zusammenfassend muss somit neben einer seitlichen Abstoßrichtung insbesondere der Abstoß über den gesamten Fuß bzw. die gesamte Schiene unter verstärktem Ferseneinsatz als ein wesentliches Kriterium für eine gute Abstoßtechnik angesehen werden, was durch die Druckverteilungsmessung erfassbar wird und von Expertenseite als sinnvolle Feedbackinformation für den Trainingsprozess anzusehen ist. Aus diesen zentralen Aspekten wurden schließlich verschiedene Trainingsübungen abgeleitet:

- Sensibilisierung zur Erfüllung des KSP im Skate, z.B. Rollen in Skate-Position mit Vor- und Rückverlagerung des KSP; Rollen mit ungeschnürtem Skate.
- Abdruckübungen:
 - o Beide Füße am Boden und Abstoß zur Seite über alle Rollen beim langsamen Fahren;
 - Verbale Information: Gewicht auf das Abdruckbein, Abdruck möglichst parallel, Fuß muss seitlich beim Abdruck noch sichtbar sein; Abdruck auf „3 Uhr“ (rechts) bzw. „9Uhr“ (links).
 - o Beide Füße am Boden und beginnend aus dem Stand, Abstoß nur mit einem Bein;
 - Verbale Information: Im Stand Abdruck nach hinten, mit zunehmender Geschwindigkeit immer stärker zur Seite.
 - o Außenabdruck beim Kurvenfahren;

- Verbale Information: Skate muss seitlich sichtbar bleiben.
- Sensibilisierung für Abdruckwinkel relativ zur Fahrtrichtung, d.h. verschiedene Winkelvorgaben machen und Probanden Abdruckwirkung erfühlen lassen;
 - Verbale Information: Abdruckrichtung bestimmt Vortrieb.
- Sensibilisierung für Abdruck über die Ferse bzw. die mittleren und hinteren Rollen durch Herausnehmen der vordersten Rolle bzw. ersetzen durch kleinere Rolle (in Abhängigkeit vom Fahrkönnen; eher nur für Fortgeschrittene);
- Abdruckvariationen durch bewusste Vorgabe des Abdrucks über die Ferse bzw. über den Fußballen;
 - Verbale Information: Wann ist mehr Widerstand zum Abstoßen, wann weniger? Wann erzeuge ich mehr Vortrieb, wann weniger?

Die Wirksamkeit dieser Grundübungen und deren Abwandlungen wurden in einem perspektiv-randomisierten Studiendesign im zweiten Teil des Projektes überprüft.

Teil 2: Wirksamkeitsüberprüfung abgeleiteter Trainingsübungen

4 Methode

Aus den zuvor genannten Ansteuerungsgrößen wurden Trainingshinweise erarbeitet, in die Praxis transferiert und deren Wirksamkeit mittels einer Trainingsstudie an fortgeschrittenen Inline-Skatern überprüft. Dazu wurden 69 Probanden prospektiv-randomisiert in eine Trainings- (n=39) und Kontrollgruppe (n=30) eingeteilt (Tabelle 3).

Tab. 3: Persönliche Daten der Kontroll- und Trainingsgruppe. Beide Gruppen unterschieden sich statistisch nicht voneinander.

	Kontrollgruppe (n=30)	Trainingsgruppe (n=39)
Alter (Jahre)	38,4 ± 8,6	36,5 ± 9,8
Größe (cm)	171,7 ± 7,6	174,2 ± 9,9
Gewicht (kg)	67,2 ± 9,9	69,6 ± 11,9
Wie viele Stunden Sport treiben Sie wöchentlich? (h)	3,8 ± 2,3	3,6 ± 1,8
Seit wann betreiben Sie Inline-Skating? (Jahre)	2,2 ± 1,1	3,2 ± 1,1
Wie viele Stunden Skating fahren Sie wöchentlich? (h)	2,2 ± 1,3	3,0 ± 1,8

Zu Beginn der Studie wurden alle Probanden über die Ziele und Inhalte der Studie aufgeklärt. Voraussetzungen für die Teilnahme an der Untersuchung waren sicheres Fahren und Bremsen auf Inline-Skates. Beide Gruppen nahmen über einen Zeitraum von sechs Wochen an einem Techniktrainingsprogramm teil. In der Trainingsgruppe wurden die im ersten Teil erarbeiteten Anweisungen zur Abstoßoptimierung eingesetzt, die Kontroll-

gruppe absolvierte ein Standard-Trainingsprogramm. Jede Gruppe trainierte einmal pro Woche (je Einheit 105 min). Um die Hypothese eines verbesserten Abstoßes und einer daraus resultierenden Geschwindigkeitssteigerung in der Trainingsgruppe zu überprüfen, wurden im Anschluss an die erste und letzte Trainingseinheit Leistungsmessungen in Form eines fliegenden Sprints über 200 Meter mit einem Lichtschrankensystem durchgeführt. An beiden Messtagen war es niederschlagsfrei, windstill und trocken.

In beiden Gruppen wurden verschiedene Techniken wie das Kurvenfahren, Übersetzen, etc. trainiert. Die Kontrollgruppe hatte diese Übungsinhalte intensiver geübt und zudem verschiedene Übungen zur Verbesserung der Stabilität und des Gleichgewichts auf Skates durchgeführt. Die Trainingsgruppe hatte ebenfalls das Gleichgewicht und die Stabilität zu verbessern, allerdings standen gezielte Übungen zur Abstoßoptimierung im Vordergrund. Die Übungszeiten in beiden Gruppen waren gleich lang, um einen vergleichbaren Trainingsreiz zu setzen. Die Trainingsgruppe wurde nicht nur während der Übungen der Abstoßoptimierung immer wieder verbal auf das korrekte Abdruckverhalten hingewiesen, sondern auch bei anderen Übungen bzw. beim Fahren in der Gruppe. Einige Übungen beinhalteten zusätzliche Modifikationen am Skatingschuh, bei dem z.B. die erste Rolle ausgebaut wurde, um den Abdruck über die mittleren bzw. hinteren Rollen zu schulen. Generell galt als Ziel der Trainingsgruppe das „Erfühlen“ des eigenen Abdrucks bzw. dessen Effektivität durch variable Übungsformen zu erlernen und damit in die Lage versetzt zu werden, die sensorischen Informationen der Fußsohle in Verbindung mit der daraus resultierenden Geschwindigkeitsänderung ins Verhältnis setzen zu können.

5 Ergebnis

Bei der Eingangsuntersuchung brauchten die Probanden der Kontrollgruppe für die 200 m lange Strecke im Durchschnitt $38,9 \pm 7,0$ sek., die Trainingsgruppe $35,1 \pm 4,5$ sek. Die Laufzeiten waren etwas langsamer als erwartet, was auf die leicht ansteigende Messstrecke zurückzuführen ist. Das Leistungsniveau der beiden Gruppen unterschied sich in der Voruntersuchung signifikant voneinander ($p=0,03$). In der Nachuntersuchung ergaben sich für die Kontrollgruppe eine Durchschnittszeit von $39,1 \pm 6,3$ sek. und in der Trainingsgruppe von $33,9 \pm 4,0$ sek. In der Kontrollgruppe war keine signifikante Veränderung ($p=0,84$), in der Trainingsgruppe aber eine signifikante Verbesserung ($p=0,0005$) festzustellen.

6 Diskussion

Im Rahmen des dargestellten Projektes wurde der Versuch unternommen, den Abstoß beim Inline-Speed-Skating durch Druckverteilungsanalysen im Schuh in Kombination mit einer subjektiven Evaluation des Abstoßes der Athleten zu optimieren. Darüber hinaus

wurde versucht, die von Spitzensportlern abgeleiteten Trainingsübungen auf eine andere Trainingsgruppe (hier: fortgeschrittene Freizeit-Skater) zu übertragen und die Wirksamkeit in einem prospektiv-randomisierten Versuchsdesign zu überprüfen.

Die Ergebnisse des Projektes zeigen, dass das Ziel eindeutig erreicht wurde und die Übungen zu einer Leistungsverbesserung in der Trainingsgruppe führten. Damit erwies sich das Druckverteilungsanalyzesystem als geeignet, für den Trainer von außen nicht zugängliche Informationen nutzbar zu machen, die durch eine geeignete trainingspraktische Umsetzung die Leistungsentwicklung positiv beeinflussten. Bei der Betrachtung der Ergebnisse zur Dauer des Gesamtzyklus und der Stützphase ist zu erkennen, dass die „übergeordnete“ Phasenstruktur sich nicht ändert. Bei den vier verschiedenen Bewegungsaufforderungen wird bei den Athleten also kein komplett anderes Timing initiiert. Beim Ballenabdruck ist allerdings zu erkennen, dass es zu einer reduzierten relativen Kontaktzeit im Bereich der lateralen Ferse kommt. Der Abrollprozess erfolgt im Vergleich zu allen anderen Bewegungsaufforderungen früher. Die normale Bewegungstechnik ähnelt vom Abrollprozess stärker dem Fersenabstoß und deutet auf einen verlangsamten Abrollprozess im Vergleich zum Ballenabdruck hin. Ferner zeigten die Druckverteilungsmessungen, dass die hohe Fersenbelastung bei den Spitzenathleten kurz vor der maximalen Belastung des Gesamtfußes auftritt, die in den ersten Teil des Abstoßes hineinfällt (Hoos, 2003). Dies deutet darauf hin, dass die Athleten tatsächlich eine Abstoßinitiierung unter relativ starkem Ferseneinsatz realisieren können, was auch objektiv auf das in der Trainingspraxis proklamierte Bestreben nach einem Abstoß über den gesamten Fuß bzw. die gesamte Schiene hinweist.

Die beiden Probandengruppen hatten zu Anfang der Untersuchung nicht das gleiche Ausgangsniveau (Trainingsgruppe signifikant schneller als die Kontrollgruppe). Dennoch lassen die Ergebnisse einen positiven Schluss bezüglich der Veränderungen zu: Aus trainingswissenschaftlicher Sicht ist eine signifikante Verbesserung bei höherem Leistungsniveau schwieriger zu erreichen, so dass die Verbesserung in der Trainingsgruppe umso höher zu bewerten ist.

7 Fazit

Abschließend ist zu bemerken, dass das vorliegende Projekt erfolgreich in Bezug auf die Erarbeitung abstoßspezifischer Charakteristiken beim Inline-Speed-Skating war. Als zentraler Faktor stellte sich dabei der Einsatz von Druckverteilungsanalysen zur Bio-Feedback-Analyse heraus. Darüber hinaus konnte im vorliegenden Projekt gezeigt werden, dass die Ableitung spezifischer Übungen aus der Analyse der Bewegung von Spitzenathleten auch für weniger Geübte zu einer sinnvollen und Erfolg versprechenden Erweite-

rung des Übungsrepertoires führen kann. Die Wirksamkeit der Übungen konnte ebenfalls nachgewiesen werden. Eine Übertragung des vorgestellten Projektdesigns auf andere Sportarten mit ähnlich anspruchsvollen Bewegungstechniken, wie z.B. Skilanglauf oder Eisschnelllauf, erscheint daher denkbar und durchaus empfehlenswert.

8 Literatur

- De Boer, R.W., Vos, E., Hutter, W., de Groot, G. & van Ingen Schenau, G.J. (1987). Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice. *Eur J Appl Physiol.* 56, 562-569.
- Eils, E. (1999). *Plantare Druckverteilung beim Inline Skating - Eine biomechanische Untersuchung des Inline Skatings mit Hilfe einer flexiblen Druckverteilungseinlegesohle*. Doktorarbeit, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.
- Eils, E. & Jerosch, J. (2000). Plantare Druckverteilung beim Inline Skating auf Geraden. *Sportverletz Sportschaden.* 14, 134-138.
- Gemser, H., de Koning, J. J. & van Ingen Schenau, G. J. (1999). *Handbook of competitive speed skating*. Leeuwarden: Eisma Publishers.
- Hoos, O. (2003). *Bewegungsstruktur, Bewegungstechnik und Geschwindigkeitsregulation im ausdauerorientierten Inline-Skating*. Doktorarbeit, Universität Marburg. (Verlag Görich & Weiershäuser, Marburg).
- Hoos, O. & Hottenrott, K. (2000). *Basic stride characteristics and push-off techniques in in-line speed skating*. Emed Millenium Meeting, Munich, Germany.
- Hottenrott, K. (1999). Leistungs- und Trainingsstruktur im Speed-Skating. In F. Hänsel, K. Pfeifer & A. Woll (Hrsg.), *Lifetime-Sport Inline-Skating* (S. 78-86). Schorndorf: Hofmann.