
Weiterentwicklung und Anwendung des Prototyps Doppelklappschlittschuh

C.-D. Wolf

Technische Universität Chemnitz

Institut für Mechatronik e.V.

(In Kooperation mit DESG, TU München, FES Berlin, OSP Chemnitz/Dresden)

1 Problem

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Weiterentwicklung von Klappschlittschuhen“ wurden biomechanische Untersuchungen zur komplexen Bewegung Eisschnelllaufen durch mehrkörperdynamische Modellbildung und Simulation durchgeführt. Darauf aufbauend wurde ein Prototyp „Doppelklappschlittschuh“ gemeinsam mit Kooperationspartnern entwickelt. Ziel dieser Untersuchungen war es, insbesondere den Einfluss der Plantarflexion und die Lage des Klappgelenkes auf die Vortriebswirksamkeit beim Eisschnelllaufen zu untersuchen sowie die gewonnenen Ergebnisse bei der Entwicklung eines Doppelklappschlittschuhs zu berücksichtigen und auch durch Laufversuche zu validieren. Das praktische Ergebnis des Projektes war Ende 2001 ein in Kooperation entwickeltes Doppelklappsystem bestehend aus einem K2-Schuh mit Scharniergelenk in der Schuhsohle und einem speziellen FES-Klappmechanismus „FES-2002“.

Dieses System wurde vom Sportler Knut Morgenstern (Chemnitz) erstmals im Juli 2001 in Calgary getestet und zur Deutschen Meisterschaft im November 2001 in Berlin im Wettkampf gelaufen. Bei dieser DM erreichte er eine für ihn respektable 10000-Meter-Laufzeit, konnte aber leider über 5000 Meter nicht überzeugen. Im Gegensatz zu den bis dahin positiven Einschätzungen durch den Sportler haben diese ersten Tests unter Wettkampfbedingungen neue Aspekte ergeben, die im Training nicht festgestellt wurden.

Der Sportler hatte folgende kritische Anmerkungen zu seinen Wettkampferfahrungen mit diesem Prototypen:

- Schmerzhaftes Verhärtung der Oberschenkelmuskulatur im Gegensatz zum Training,
- zu geringer Widerstand in der Push-off-Phase insbesondere im Kurvenausgang.

Diese Einschätzung war Anlass zu einer nochmaligen Überprüfung der getroffenen Annahmen der biomechanischen Untersuchungen sowie einer erneuten Analyse seines Laufverhaltens mit dem Doppelklappsystem. Die Auswertungen haben ergeben, dass der Sportler offensichtlich eine notwendige Streckung der Zehen für eine zusätzliche An-

triebsleistung im Großzehengrundgelenk nicht realisiert, weil er offensichtlich diese Streckung bisher nicht trainiert hat. Ferner wurde festgestellt, dass die Plantarflexion zu früh einsetzt und dadurch der Knieextension nachteilig entgegenwirkt.

Eine erneute Untersuchung dieser Phänomene und die Ermittlung des Einflusses einer „Sohlensteifigkeit“ im Scharniergelenk des Schuhs durch Parameterstudien mittels mehrkörperdynamischer Simulation haben gezeigt, dass ohne eine solche Streckung der Zehen der reale Doppelklappschlittschuh wie ein Einfachklappsystem wirkt, bei dem sich das Klappgelenk unter dem Schuhgelenk befindet. Andererseits konnte durch diese Parameterstudien gezeigt werden, dass durch einen Rotationswiderstand im Schuhgelenk der gewünschte Doppelklapp-Effekt erreicht wird. Daraufhin wurde im November 2001 zwischen Schuh und Hebel des Klappsystems provisorisch eine Karbon-Blatfeder eingebaut, die ein frühzeitiges Anheben der Ferse verhindern soll und in Abhängigkeit von der Steifigkeit der Feder das zweiphasige Klappen während der Push-off-Phase – zuerst im Schuhgelenk und dann im Klappgelenk – mit der gewünschten Verlagerung der Bodenreaktionskraft nach vorn bis unter das Klappgelenk ermöglicht.



Abb. 1: Doppelklappschlittschuh, Model K2S/FES2002F

Dieser Prototyp K2S/FES2002F eines Doppelklappschlittschuh wurde von Knut Morgenstern in der Saison 2001/2002 nicht weiter getestet, weil dieses Modell zu diesem Zeitpunkt leider noch nicht die notwendige praktische Reife erlangt hatte, die für einen ständigen Wettkampfeinsatz notwendig ist. Von der Deutschen Eisschnelllauf-Gemeinschaft (DESG) wurde gefordert, diesen Doppelklappschlittschuh insbesondere im Hinblick auf die Olympischen Spiele 2006 in Turin weiter zu entwickeln und eine anwendungsreife Lösung zu schaffen. Im Rahmen dieses Projektes hatte das IfM folgende inhaltliche Schwerpunkte zu bearbeiten:

- Durchführung umfangreicher Testläufe;
- Videoaufnahmen und Bildanalysen von Testläufen;
- Messung der Sohlendruckverteilung im Eisschnelllaufschuh;
- Auswertung und Bewertung der Ergebnisse.

Die dazu notwendigen Versuche mit diesem Prototypen eines Doppelklappschlittschuhs wurden durch den Sportler Knut Morgenstern im Rahmen von Trainings-, Wettkampf- und Testläufen durchgeführt. Als eine wichtige Zielstellung des Projektes sollte insbesondere die Wirkungsweise des Doppelklappschlittschuhs durch videometrische Auswertungen des Laufstils und durch Kraftmessungen weiter objektiviert werden. An der Planung und Durchführung notwendiger Versuche und Läufe mit dem Doppelklappschlittschuh sowie an der Auswertung von Videoaufnahmen und Messdaten waren die Kooperationspartner DESG, TU München (Fakultät für Sportwissenschaft, Fachgebiet Theorie und Praxis der Sportarten) und TU Chemnitz beteiligt. Materialtechnische Leistungen wurden durch das FES Berlin erbracht.

2 Methode

2.1 Video-Aufnahmen und Bildanalyse

In Vorbereitung der neuen Eisschnelllauf-Saison fand im Juli 2002 in der Gunda-Niemann-Stirnemann-Halle in Erfurt ein dreiwöchiger Eislehrgang der DESG statt. Zur Chemnitzer Trainingsgruppe um Bundestrainer Klaus Ebert gehörte auch Knut Morgenstern, der seine Vorbereitungen und Testläufe mit dem Doppelklappschlittschuh durchführte. Zum Abschluss dieses Eislehrganges fand am 27./28. Juli 2002 erstmals in dieser Halle der Sommerwettkampf „Cool Running“ statt. An diesen Rennen hat auch Morgenstern teilgenommen. Er ist ausschließlich mit dem Doppelklappschlittschuh gelaufen. Am ersten Wettkampftag hat sich bei den Läufen mit dem Doppelklappschlittschuh über 500 m und auch über 3000 m gezeigt, dass die eingebaute Klappgelenkfeder zu steif war. Eine steifere Feder war gewählt worden, weil durch die veränderten Hebelverhältnisse infolge des nach vorn verschobenen Klappgelenkes größere Massenträgheitsmomente beim Schließen des Systems auftreten. Mit einer üblichen Feder eines Einfachklappschlittschuhs schließt das Doppelklappsystem zu langsam. Das zu kleine Federmoment führt auch beim Aufsetzen der Schiene auf das Eis zu instabilen Zuständen im Klappsystem, die den Bewegungsablauf erheblich stören. Das FES Berlin hat deshalb noch vor dem 1500-m-Lauf am 28. Juli 02 das Federsystem verändert. Sportler und Trainer haben die Laufergebnisse positiv eingeschätzt:

500 m: 39,49 s; 1500 m: 1:58,38 min; 3000 m: 4:05,25 min.

1500 m - Lauf (Knut Morgenstern - Doppelklappschlittschuh)



Abb. 2: Push-off-Phase Doppelklappschlittschuh

2.2 Messung des plantaren Sohlendruckes

Weitere Versuche wurden am 18. September 2002 in Erfurt zur Messung der plantaren Sohlendruckverteilung mit dem Messsystem PAROTEC durch Mitarbeiter der TU München durchgeführt. Das Messsystem verwendet flexible Messsohlen, die für den nicht mehr starren „Doppelklappschuh“ auch benötigt werden. Diese Messungen erfolgten für Start und Lauf jeweils mit dem Einfach- und dem Doppelklappschlittschuh sowie für eine „fliegenden Runde“ nur mit dem Doppelklappsysteem. Zusätzlich wurde die Laufbewegung des Eisschnellläufers mit einer Videokamera (50 Hz) gefilmt. Ziel dieser Laufversuche war es, die plantaren Druckverhältnisse in den Schuhen und die zugehörigen Laufpositionen für beide Schlittschuhmodelle zu ermitteln, um weiterführende Aussagen zur Funktionalität des Doppelklappschlittschuhs in Abhängigkeit auch vom Laufstil gewinnen zu können.

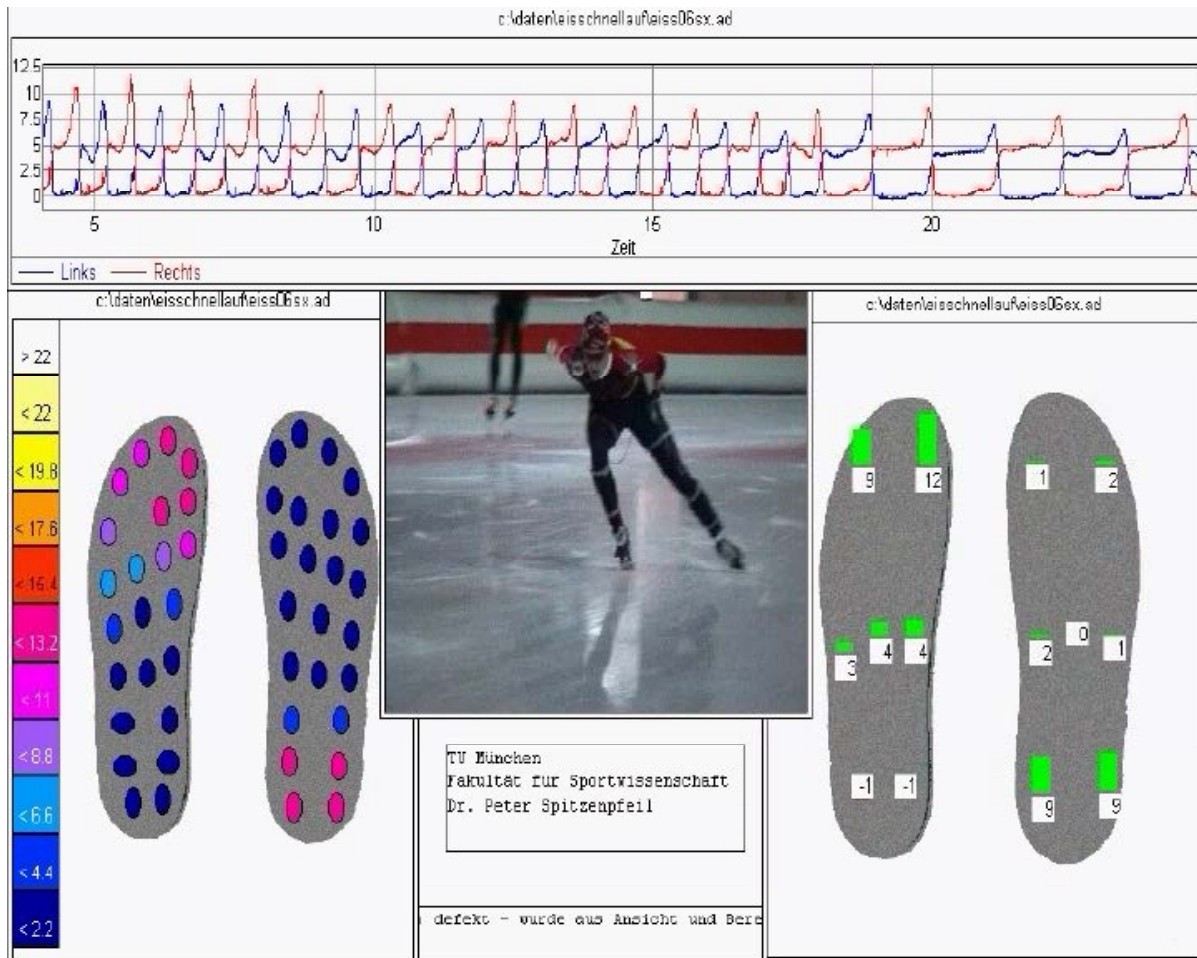


Abb. 3: Simultane Darstellung von Laufhaltung, Sohlenkraft und Druckverteilung

3 Ergebnisse

Die Daten der Sohlendruckmessungen wurden nachträglich kalibriert und normiert, weil eine exakte Festlegung des Offset-Punktes während der Messungen nicht möglich war. Als Bezugsgröße dient dabei das bekannte Körpergewicht des Sportlers, das in der Gleitphase senkrecht auf nur einen Fuß wirkt. Die Auswertung der Messdaten hinsichtlich Betrag, Verteilung und zeitlichen Änderung des Sohlendruckes wurde für vergleichbare „Schritte“ der Testläufe mit den beiden Klappsystemen durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die Summe aller 24 Sensorwerte für einen Testlauf mit dem Doppelklappschlittschuh für eine Messzeit von 25 s.

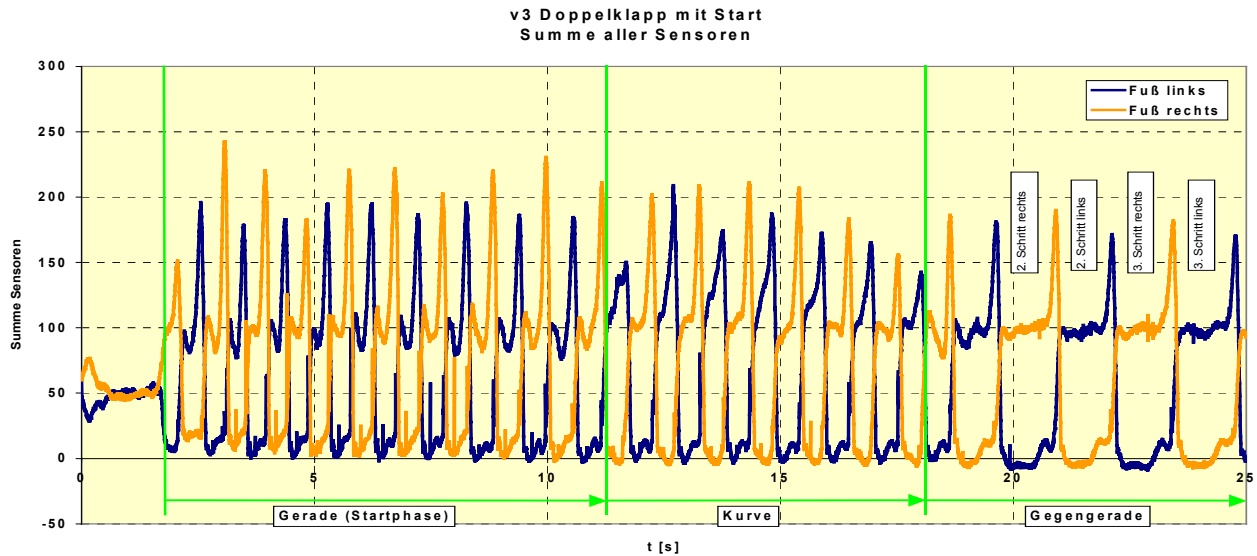


Abb. 4: Summe aller Sensorwerte, Doppelklappschlittschuh (v3)

Zur besseren Bewertung der Ergebnisse wurden die vier relevanten Sohlenbereiche Ferse, Ferse/Ballen, Ballen, Zehen gebildet und die Sensordaten entsprechend zusammengefasst. Die Berechnungen mechanischer Kenngrößen aus diesen Messdaten erfolgte mit dem Simulationsprogramm alaska [6]. In Abbildung 5 sind die resultierenden Teilkräfte für diese Bereiche im Vergleich von Einzel- und Doppelklappschlittschuh dargestellt. Diese Ergebnisse zu den beiden Systemen zeigen in Bezug auf Kraftmaximum, Schrittdauer, Verlagerung des Körperschwerpunktes und Druckverteilung deutliche Unterschiede. Aus der simultanen Darstellung der Laufhaltung und diesen Werten konnten im Rahmen einer Bewertung mit Sportler und Trainer wertvolle Erkenntnisse auf den Einfluss des Laufstils und auch wesentlicher Parameter der Schlittschuhsysteme gewonnen werden. Der Doppelklappschlittschuh ermöglicht durch das vorhandene Schuhgelenk unter dem Fußballen eine größere Kraftentfaltung bei entsprechendem Laufstil.

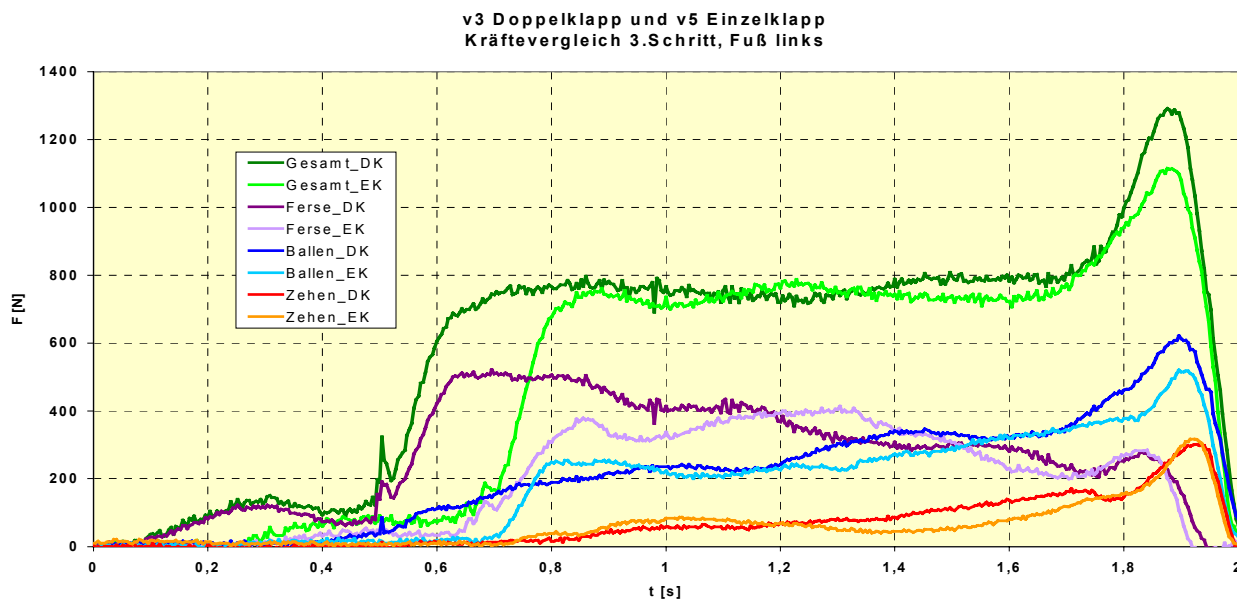


Abb. 5: Kraftverläufe für die gewählten vier Sohlenbereiche, 3. Schritt, Fuß links

4 Diskussion

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen zum Doppelklappschlittschuh, Prototyp K2S/FES2002F, haben zur Weiterentwicklung dieses Prototypen beigetragen. Der Sportler Knut Morgenstern hat in Vorbereitung der Saison 2002/2003 dieses Modell im Training, auf Trainingslehrgängen der DESG und auch im Wettkampf umfangreich getestet. Seine erzielten Leistungen waren respektabel. Dabei sind nach Einschätzung seines Trainers vorhandene Defizite in seinem Leistungsvermögen nicht auf das Schlittschuhmodell zurückzuführen.

Insbesondere der mit flexiblen Messsohlen ermittelte plantare Sohlendruck in Verbindung mit Videoaufzeichnung der Testläufe hat weitreichende und insbesondere für den Trainer aufschlussreiche Ergebnisse geliefert. Dabei wurden Läufe mit dem Einfach- und Doppelklappschlittschuh durchgeführt und ausgewertet. Die gleichzeitige Darstellung der gemessenen resultierenden Sohlenkraft, plantaren Druckverteilung und der Laufhaltung liefert hervorragende Möglichkeiten zur Beurteilung der komplexen Bewegung Eisschnelllaufen. So konnten mit dieser leistungsfähigen Messtechnik auch Defizite im Laufstil von Morgenstern festgestellt werden. Mit dieser Technik konnte auch die komplizierte Wechselwirkung zwischen Laufstil und Kraftentwicklung anschaulich dargestellt werden.

Die detaillierte Auswertung der Messergebnisse hat gezeigt, dass mit dem Doppelklappschlittschuh bessere Ergebnisse erzielt werden können. Die Ergebnisse haben erneut

belegt, welchen bedeutenden Einfluss Laufstil und Sportgerät auf die Kraftentwicklung haben.

Eine erfolgreiche Nutzung des Doppelklappschlittschuhs erfordert ein materialtechnisch perfektes Sportgerät. Der Prototyp erhielt weitere konstruktive Veränderungen. Eine weichere Klappgelenkfeder und eine zusätzliche Rückhaltefeder an der Fersenstütze haben die dynamischen Eigenschaften des Doppelklappschlittschuhs verbessert. Dadurch ergeben sich insbesondere während der Push-off-Phase und beim Aufsetzen auf das Eis positive Effekte. Diese Lösung des FES Berlin könnte auch vorteilhaft beim Einfachklappsystem angewendet werden. Eine weitere wissenschaftlich-technische Betreuung der Entwicklung des Doppelklappschlittschuhs wird als erforderlich eingeschätzt.

5 Literatur

- (1) Firma PAROMED Vetriebs GmbH & Co. KG, Neubeuern: www.paromed.de
- (2) WOLF, C.-D.; ROEMER, K.; BIKOWSKI, S.; KIELAU, G.: Biomechanische Untersuchungen zur Gewinnung von Trendaussagen zur Weiterentwicklung von Klappschlittschuhen. Abschlussbericht zum BISp-Projekt (VF 0408/06/04). Chemnitz 2002.
- (3) Unveröffentlichte Unterlagen des Instituts für Mechatronik e.V. an der TU Chemnitz.
- (4) SPITZENPFEIL, P.; HARTMANN, U.; EBERT, C.: Techniktraining im alpinen Skirennlauf – Der Einsatz von Druckmesssohlen zur Objektivierung der Technikanalyse. 5. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft. München 2002, 82.
- (5) Faraday Sensoren, GISMA GmbH: www.faraday-sensor.com
- (6) alaska-Referenzhandbuch: Institut für Mechatronik e.V. an der TU Chemnitz, 2002.