

Rückwirkungsarmes Messsystem mit drahtloser Datenübertragung zur Messung von Kräften und Biegungen an einem Langlauf-Ski-stock

Philip Johannes Steinbild¹, Axel Schürer²,
Uwe Hentschel¹, Andree Schwaar¹ & Niels Modler¹

¹TU Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (TUD-ILK), Dresden

²Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT), Leipzig

E-Mail: philip.steinbild@tu-dresden.de

Schlüsselwörter: Kraftmessung am Skistock, drahtlose Datenübertragung, Smart Device Konnektivität

Einleitung

Die individuelle Überwachung der technikbezogenen Parameter von Aktiven beim Skilanglauf birgt ein immenses Potenzial, mögliche athletenindividuelle Defizite zu identifizieren. Durch das Aufzeigen dieser Defizite können Trainingsoptimierungen durchgeführt werden. Um relevante biomechanische Parameter während des Trainings im Gelände erfassen zu können, ist die Entwicklung von Monitoringsystemen zur Aufnahme und Analyse von relevanten Trainingsdaten von immer größerer Bedeutung (Düking, 2016).

Im Bereich des Skilanglaufs sind zwei Ansätze für Messsysteme bekannt: a) Kraftmessplatten auf dem Laufweg (bspw. Vähäsöyrinki, 2008) und b) Kraftaufnehmer am Skistock (bspw. Wank, 2014).

Einschränkungen und Herausforderungen sind insbesondere hinsichtlich der uniaxialen Kraftaufnahme, des Gewichts des Messsystems und der Signalbereitstellung gegeben. Aufgrund komplexer Bewegungsabläufe bringen Aktive zusätzlich zur uniaxialen Längskraft noch andere Belastungen wie Querkräfte und Momente in den Stock ein, welche die Effizienz des Stockschubs vermindern.

Durch Kraftaufnehmer mit Scherkraftentkopplung bringen bekannte Messsysteme aus dem Stand der Technik (u. a. Wank, 2014) viel Gewicht in den Stock ein, was zu einer Verschlechterung des Schwungverhaltens führt und ein Ablehnen der Aktiven nach sich zieht. Hinsichtlich der Signalbereitstellung sind mittlerweile auch Systeme bekannt, die die Messdaten drahtlos übertragen können und so den Einsatz von Übertragungskabeln überflüssig machen. Jedoch waren solche Systeme im fokussierten Einsatzgebiet Skistock bisher nicht in der Lage, allen angeführten Einschränkungen und Herausforderungen hinreichend zu begegnen. Ein Monitoringsystem, welches über ein Smart Device einfach zu bedienen ist, ein Live-Feedback mit erweiterten Effizienzmessungen ermöglicht und gleichzeitig eine geringe Masse aufweist, wurde in den letzten Jahren im Rahmen der durch das Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp) geförderten Projekte EviS (Höhne, 2018) und SmaPole (Steinbild, 2021) entwickelt.

In diesem Beitrag wird zunächst die Mess- und Auswertemethode des entstandenen Monitoringsystems beschrieben. Anschließend werden Ergebnisse erster sportwissenschaftlicher Untersuchungen gezeigt.

Methode

Das grundlegende Konzept des Monitoringsystems besteht in der Betrachtung des Skistocks als Teil des Messelements, da sein mechanisches Verhalten direkt zur Belastungsmessung genutzt wird. Dieser Betrachtungsweise folgend, wurden insgesamt sechs metallische Dehnungsmessstreifen (DMS) knapp unterhalb des Griffs an jeden Stock angebracht (vgl. Abb. 1). Drei der sechs DMS messen die Verformung des Stocks, die anderen drei DMS werden zur Temperaturkompensation genutzt.



Abb. 1. Skistockgriff mit applizierten DMS am Skistock und Verbindungskabel zur Energieversorgung und Übertragung von Messdaten (oben), Aufnahmeinsert (mittig) und Gesamtmesssystem mit Li-Ion-Akku und Kabeln (unten).

Im Inneren von jedem Stock ist ein separates drahtloses Messsystem montiert, Abbildung 1. Das speziell entwickelte miniaturisierte elektronische System besteht aus zwei Elektronikplatinen, dem Messmodul und dem Signalverarbeitungsmodul, welche „Rücken an Rücken“ montiert sind. Aufgrund des begrenzten Platzes im Inneren des Stocks hat das so entstandene Elektronikmodul eine maximale Breite von 15 mm. Aufgrund der geringen Breite weist das Elektronikmodul eine relativ hohe Länge auf (100 mm). Der Messaufbau, die Hard- und die Software, sowie die Berechnung der Kräfte und Biegewinkel aus den Messdaten sind im Detail in (Steinbild, 2020; Hentschel, 2021) beschrieben.

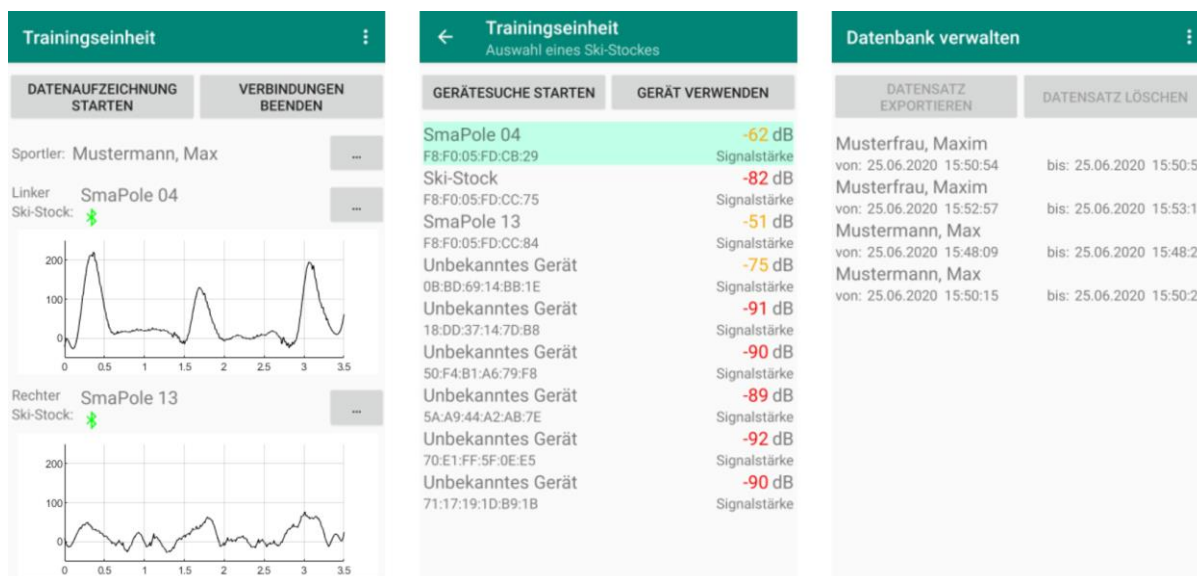


Abb. 2. Übersicht über die SmaPole-App; Visualisierung der Messwerte während einer Trainingseinheit (links), Bluetooth-Gerätesuche und Geräteauswahl (mittig) und Datenbankverwaltung mit verschiedenen Trainingseinheiten bzw. Messungen (rechts).

Die Messgrößen (Dehnung, Beschleunigung, Temperatur) werden vom Messmodul erfasst, verstärkt, über einen Tiefpassfilter gefiltert und an das Signalverarbeitungsmodul weitergeleitet. Das Signalverarbeitungsmodul digitalisiert die analogen Signale des Messmoduls und

überträgt sie mit Hilfe eines Bluetooth-Moduls auf ein Android 7.0-fähiges Smart Device, beispielsweise ein Smartphone. Das Smart Device empfängt die Daten mit Hilfe einer speziell für Android 7.0 und höher entwickelten App. Die Gestaltung der App ermöglicht eine einfache Bedienung des Messsystems, was für eine hohe Akzeptanz bei den Anwendenden sorgt. Die Oberfläche der App ist in Abbildung 2 dargestellt.

Ergebnisse

Am Institut für Angewandte Trainingswissenschaft (IAT) wurden erste Laufbandtests durchgeführt. Der Aktive benutzte hierfür eines der beschriebenen Messsysteme pro Stock. Die Ergebnisse der Tests sind exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt. Die zwei Diagramme zeigen die wirksame Axialkraft (links), und den Biegewinkel des Skistocks (rechts).

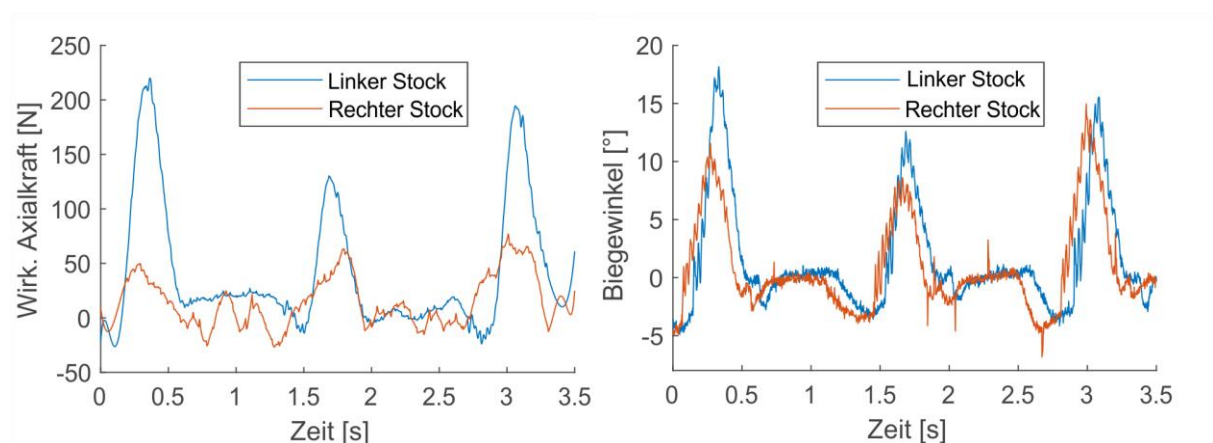


Abb. 3. Wirksame Axialkraft (links) und Biegewinkel (rechts) über eine Zeit von 3,5 s.

In diesen Diagrammen ist eine Abfolge von drei Stockeinsätzen zu sehen, die in Doppelstockschubtechnik durchgeführt wurden. Die Lateralitäten in Kraft und Biegung zwischen dem rechten und linken Stock sind nicht nur im Wert, sondern auch in der Zeitdifferenz zwischen den Anfängen der Stockeinsätze zu sehen. Der Einsatz des rechten Stocks beginnt früher als der Einsatz des linken Stocks. Der linke Stock erfährt Kräfte von bis zu 200 N, während der rechte Stock Kräfte von nur 50 N oder weniger erfährt. Der Aktive belastete also beide Stöcke unterschiedlich stark bzw. mit unterschiedlich starken Verlusten durch Biegebelastung des Stocks und minimal zeitlich versetzt.

Diskussion

Im Rahmen der Projekte EviS und SmaPole wurde ein Monitoringsystem entwickelt, mit dem die Messung von Axialkräften und Biegungen, die ein Skistock beim Skilanglauf erfährt, möglich ist. Das Messsystem basiert auf Dehnungsmessungen, die mit drei DMS durchgeführt werden, die um den Umfang des Skistocks verteilt sind. Das Signal der DMS wird von einer speziell entwickelten miniaturisierten Elektronik erfasst, digitalisiert und dann über Bluetooth an ein Smart Device gesendet. Das Messsystem ermöglicht es, die gemessenen Daten in Echtzeit zu analysieren und Trainern und Wissenschaftlern zur Verfügung zu stellen. Mit einer Masse von ca. 32 g pro Stock, die zum Großteil im Inneren des Stockgriffs positioniert ist, wird das Schwingverhalten des Skistocks nur geringfügig beeinflusst. Das Messsystem übertrifft den Stand der Technik in Bezug auf Spezifikationen, mögliche Messfrequenz und Benutzerfreundlichkeit bei relativ geringer Masse des Gesamtsystems im Vergleich zu anderen in der Literatur beschriebenen Systemen (u. a. Wank, 2014).

Durch den entstandenen Messstock-Pool am IAT werden die dortigen Sportwissenschaftler:innen dazu befähigt, detaillierte Technikanalysen für Aktive im Feld durchzuführen. Dies erweitert die Möglichkeiten, die Leistungsreserven von Aktiven im Spitzensport weiter auszunutzen und grundsätzliche sportwissenschaftliche Annahmen zu bestätigen und weiterzuentwickeln.

Danksagung

Die Projekte SmaPole und EviS wurden mit Forschungsmitteln des Bundesinstituts für Sportwissenschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Literatur

- Düking, P., Hotho, A., Holmberg, H.-C., Fuss, F.K., Sperlich, B. (2016). Comparison of Non-Invasive Individual Monitoring of the Training and Health of Athletes with Commercially Available Wearable Technologies. *Frontiers in Physiology*, 7, 71.
- Vähäsöyrinki, P., Komi, P.V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J.A. & Linnamo, V. (2008). Effect of Skiing Speed on Ski and Pole Forces in Cross-Country Skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40 (6), 1111–1116.
- Wank, V., Heger, H. & Rapp, W. (2014). Optimierung der Lauftechnik entsprechend den individuellen Voraussetzungen der Athleten im Sitzschlitten-Skilanglauf (AZ IIA1-070403/13). In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch 2012/13* (S. 141-146). Köln: Sportverlag Strauß.
- Höhne, R., Filippatos, A., Pärschke, R., Modler, N., Schürer, A. & Wilhelm, A. (2018). Evaluation eines innovativen Monitoringsystems zur uniaxialen Stockkraftmessung mittels applizierter Dehnmessstreifen – EviS. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch 2016/17* (S. 297-301). Sportverlag Strauß.
- Steinbild, P.J., Hentschel, U., Schwaar, A., Dannemann, M., Modler, N., Schürer, A. & Wilhelm, A. (2021). Entwicklung eines mobilen, rückwirkungsfreien Monitoringsystems zur dehnungsbasierten Erfassung von Belastungen am Skistock - SmaPole. In Bundesinstitut für Sportwissenschaft (Hrsg.), *BISp-Jahrbuch 2019/20* (S. 165–170). Bundesinstitut für Sportwissenschaft (BISp).
- Steinbild, P.J., Hentschel, U., Schwaar, A., Dannemann, M., Modler, N., Schürer, A. & Wilhelm, A. (2020). Strain-based monitoring system for ski poles with low impact on their total mass and inertia. *Procedia Manufacturing*, 52, 187–192.
- Hentschel, U., Steinbild, P.J., Dannemann, M., Schwaar, A., Modler, N., Schürer, A. (2021). Functional Design Employing Miniaturized Electronics with Wireless Signal Provision to a Smartphone for a Strain-Based Measuring System for Ski Poles. *Computers* 10 (6), 77.