Simulative Bestimmung von Gelenkleistungen – Erschließung von Leistungsreserven im Gewichtheben

Norman Hofmann[1], Oliver Ebitsch[1], Heike Hermsdorf[1], Ingo Sandau[2], Axel Schleichardt[2]

[1]Institut für Mechatronik e.V., Chemnitz

[2]Institut für Angewandte Trainingswissenschaft, Leipzig

E-Mail: Norman.Hofmann@ifm-chemnitz.de

Schlüsselwörter: digitale Menschmodelle, Bewegungserfassung, Muskelmodellierung

Einleitung

Die Sportart Gewichtheben, mit den beiden Wettkampfdisziplinen Reißen und Stoßen, stellt neben den hohen konditionellen Leistungsvoraussetzungen ebenso hohe Anforderungen an die Beherrschung der sportartspezifischen Technik (Kurch, 2020). Beide Aspekte sind Gegenstand der Beurteilung in einer Leistungsdiagnostik (LD), da nur dann ein erfolgreicher maximaler Hebeversuch absolviert wird, wenn sowohl die Anforderungen an konditionelle Fähigkeiten als auch an die sportartspezifische Technik bestmöglich erfüllt sind. Für die Beurteilung eines Versuches bei einer LD sind objektive, hochqualitative und schnell verwendbare Daten notwendig. Digitale Technologien zur Bewegungserfassung, -simulation und Auswertung bieten dabei die Möglichkeit, die komplexen Abläufe der Sportart Gewichtheben transparent darzustellen, objektive Daten zu generieren und eine tiefgreifende biomechanische Analyse durchzuführen.

Im Rahmen einer LD im Gewichtheben erfolgte der Einsatz dieser digitalen Technologien beispielhaft an vier Athleten für beide Wettkampfdisziplinen.

Methode

Die angewendete Methodik umfasst die gesamte Kette der Bewegungsaufzeichnung mit einem optischen markerbasierten Motion-Capture-System und einem Kraftmesssystem, der Übertragung der Messdaten auf ein digitales Menschmodell sowie der Berechnung der biomechanischen Kenngrößen und deren Darstellung in den sportartrelevanten Phasen.

Die Aufzeichnung der sportlichen Bewegungen und der Bodenreaktionskräfte wurde mit zwei gekoppelten Messsystemen durchgeführt. Die Bewegungsaufzeichnung erfolgte mit einem optischen Motion-Capture-System (ART - Advanced Realtime Tracking GmbH, Weilheim in OB, Deutschland). Dabei werden 19 Markercluster, sogenannte Targets, auf den Segmenten des Probanden befestigt, deren Bewegung im Raum durch die Kameras erfasst wird. Zusätzlich zu den Markern am Körper wurden ebenso Marker an den Enden der Hantelstange befestigt. Für die Aufzeichnung der Bodenreaktionskräfte wurden die Kraftmessplatten des IAT Leipzig (Kistler Instrumente AG, Winterthur, Schweiz) verwendet. Die zeitliche Triggerung beider Messsysteme erfolgte über ein aktives Target.

Für die biomechanische Analyse wurde das Menschmodell **alaska/Dynamicus** (Hermsdorf, 2019) eingesetzt. Die Segmente des menschlichen Körpers sind dabei als starre Körper modelliert, die mit idealen Gelenken verbunden sind. Jeder dieser Körper ist über seine geometrischen Eigenschaften und seine Masseverteilung (Schwerpunkt und Trägheitseigenschaften) definiert. Dadurch ist es möglich, die im Menschen wirkenden Kräfte

(z. B. in Form von Gelenkmomenten), die zur Ausführung der Bewegungen geführt haben, zu berechnen.
Die Individualisierung und Parametrisierung des Menschmodells erfolgen anhand der anthropometrischen Daten des Probanden, die in einem Bodyscanner ermittelt wurden (Human Solutions GmbH, Kaiserslautern, Deutschland). Auf Basis der erfassten Bewegungsdaten der Targets wird mittels einer Optimierung die Bewegung des Menschmodells rekonstruiert. Diese dient als Grundlage zur Berechnung einer Inversen Dynamik.
Das Resultat der Simulation sind biomechanische Kenngrößen, welche die kinematischen und dynamischen Eigenschaften des Modells beschreiben. Dazu zählen bspw. die Gelenkwinkel, Geschwindigkeiten der Gelenke und der Segmente, die Lage des Körperschwerpunktes sowie die Gelenkmomente. Die beschriebenen hochpräzisen Methoden zur dynamischen Bewegungsanalyse gestatten zudem, die gewonnenen biomechanischen Kenngrößen auf Muskel-Skelett-Modelle zu übertragen. So können weiterführende Analysen auf Muskelebene zur Aufklärung komplexerer Zusammenhänge beitragen (Muskelbeteiligung, Muskel-aktivierungsmuster).
Zur Analyse der Simulationsdaten erfolgte eine ereignisorientierte Einteilung in die sportartspezifischen Phasen, welche hier am Beispiel der sechs Phasen des Reißens (Start, Zugphase 1, Kniepassage, Zugphase 2, Umgruppieren sowie Abbremsen, Fixieren, Aufstehen; Mantek, 2019) dargestellt wird. Genutzt werden dabei die Zeitreihen des rechten Knieextensionswinkels, die vertikale Geschwindigkeit des rechten Endes der Hantelstange und dem vertikalen Abstand zwischen rechtem Ende der Hantelstange und rechtem Schultergelenk (Abbildung 1).

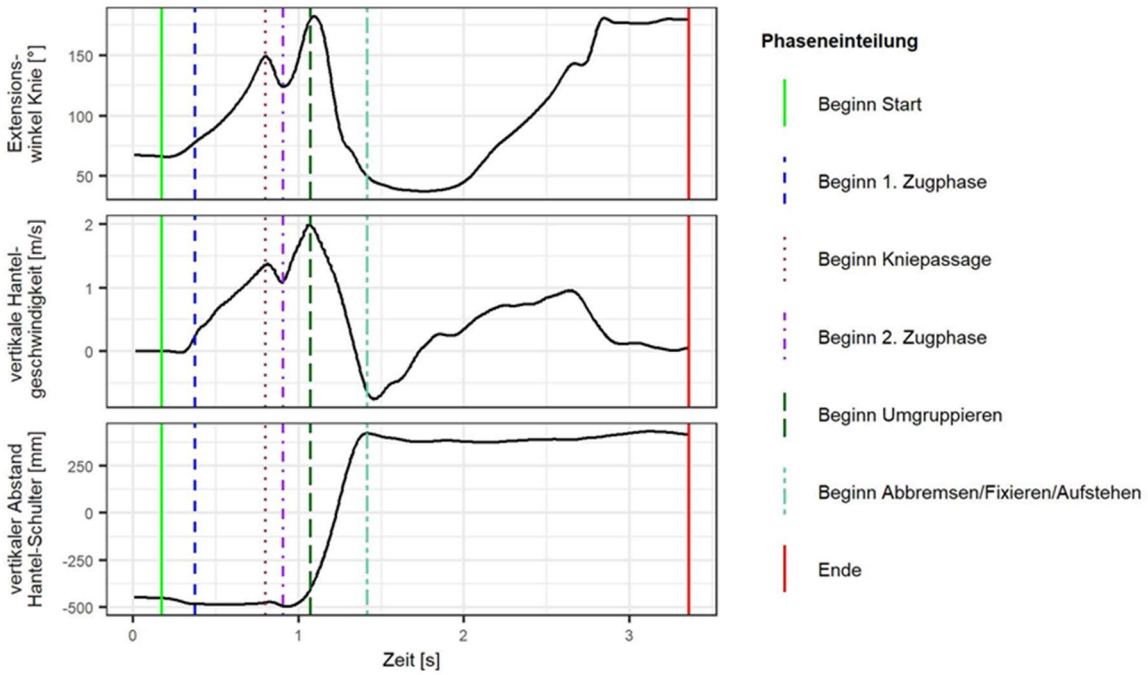

Abbildung 1: Einteilung der Bewegungsphasen beim Reißen anhand der zeitlichen Verläufe von rechtem Knieextensionswinkel, vertikaler Geschwindigkeit des rechten Endes der Hantelstange und vertikalem Abstand zwischen rechtem Ende der Hantelstange und rechte Schulter

Ergebnisse

Die Athleten absolvierten nach einem Aufwärmprogramm jeweils zwei Versuche mit 100% und 85% der aktuellen maximalen Leistungsfähigkeit. Für die weitere Betrachtung werden nur die Ergebnisse von zwei Athleten exemplarisch dargestellt, da beide eine ähnliche Technik beim Reißen nutzten. In der Abbildung 2 sind die kinematischen (Extensionswinkel) und dynamischen Kenngrößen (Extensionsmoment) der Bewegung für das Knie bei 100% der maximalen Leistungsfähigkeit dargestellt. Es sind je zwei Versuche für den Athleten LM (rötlich) und RF (bläulich) abgebildet.

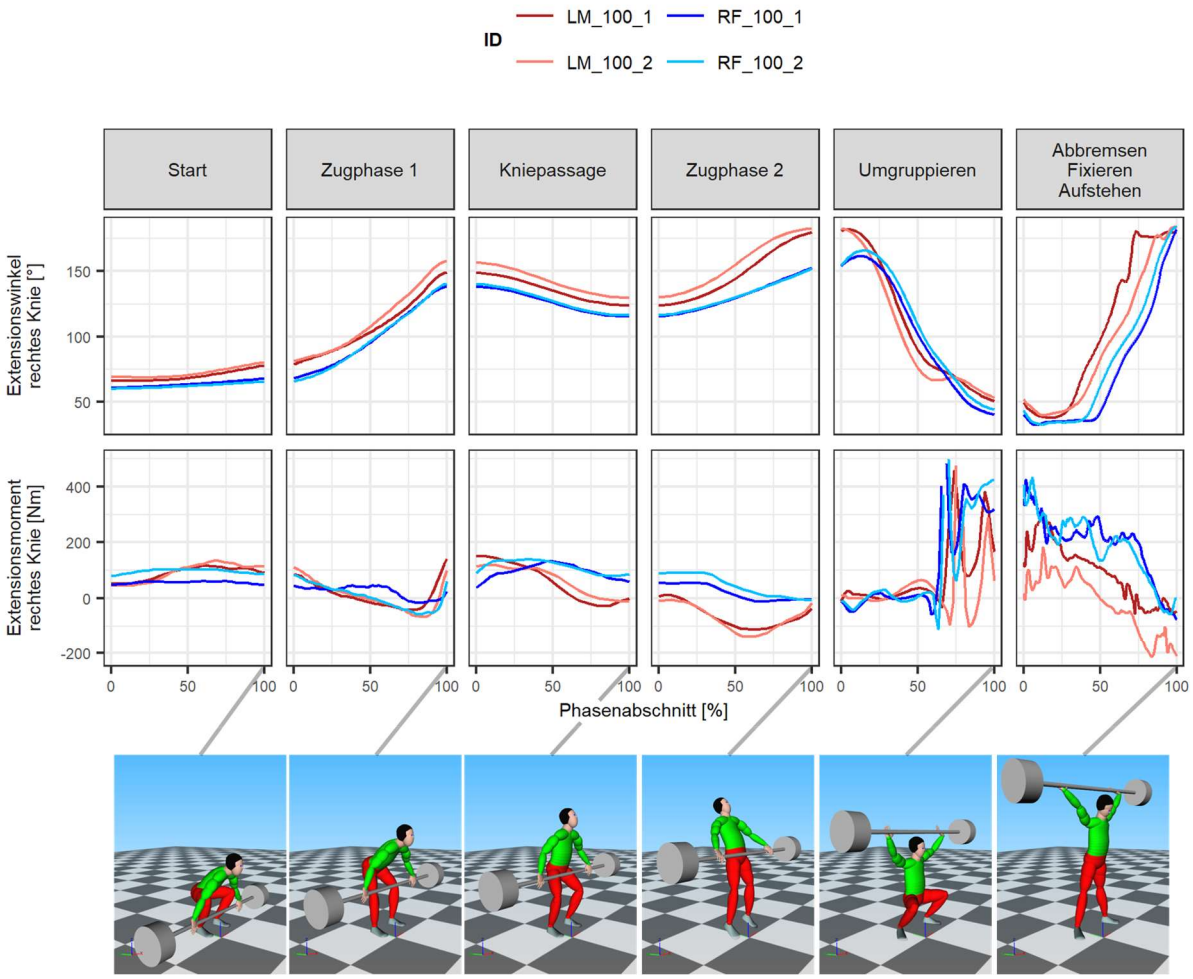

Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf des Extensionswinkels und -momentes im Kniegelenk in den Bewegungsphasen beim Reißen für die zwei Athleten LM und RF.

Diskussion

An hochtrainierten Gewichthebern wurden mit einem individuell skalierbaren Modell Simulationen durchgeführt. Bei der Gewinnung der Eingangsdaten konnten dabei methodisch hohe Standards genutzt werden. Das betrifft sowohl die Bewegungserfassung, die hochpräzise (markerbasiert) erfolgte, als auch die 3-D-Kraftmessung der Bodenreaktionskräfte. Weiterhin konnte im Bodyscanner die Masseverteilung für das Starrkörpermodell individuell bestimmt werden. Die Funktionalität des verwendeten Starrkörpermodells (**alaska/Dynamicus**, IfM Chemnitz) stellt mit seiner fein aufgelösten

Wirbelsäule und mit dem Algorithmus zur Ermittlung der kinematisch real wirksamen Segmentlängen einen weiteren großen Genauigkeitsgewinn dar.
Anhand der hier dargestellten Verläufe lässt sich bereits eine hohe Differenzierungsfähigkeit der eingesetzten Methoden erkennen. Aus Expertensicht lassen sich somit erwartungsgemäß die Kenngrößenverläufe der Sportler gruppieren und damit unterscheiden. Weiterhin treten in einzelnen Bewegungsphasen deutliche Unterschiede zwischen den Verläufen der Sportler auf. Das bedeutet, die individuelle Bewegungsstruktur als Wechselwirkung zwischen den konditionellen Voraussetzungen der Antriebe und der Bewegungstechnik können somit studiert und daraus Hinweise für das Training erarbeitet werden. Es ist aber ebenso möglich, die Bewegung hinsichtlich einer symmetrischen Ausführung zu analysieren bzw. die Bewegungstechnik bei unterschiedlichen Laststufen zu untersuchen.
Ausblickend können auf Basis dieser Ergebnisse weiterführende Untersuchungen an Muskel-Skelett-Modellen erfolgen. Erste Pilotstudien wurden bereits durchgeführt. Die Beschaffung individueller Eingangsdaten zur Muskeldynamik stellt hierbei bekanntermaßen eine große Herausforderung dar. Mit ergänzenden Krafttests zur konditionellen Charakterisierung der Antriebe können dort jedoch Fortschritte erwartet werden.

Literatur

Hermsdorf, H., Hofmann, N., and Keil, A. (2019): Chapter 16 - Alaska/dynamicus – human movements in interplay with the environment. Academic Press, DHM and Posturography, p. 187-198, 2019

Kurch, D. (2020, February). Planung und Gestaltung des Trainings im Gewichtheben. In Kräftiger, schneller, ausdauernder-Entwicklung der muskulären Leistung im Hochleistungstraining: Tagungsband zum gleichnamigen Spitzensport-Symposium am 21./22. Mai 2019 in Leipzig (p. 135). Meyer & Meyer.

Mantek, F. (Hrsg.). (2019). Rahmentrainingskonzeption & Nachwuchskonzept des Bundesverbandes Deutscher Gewichtheber e.V. Leimen (o.V.)

Sandau, I. (2017). Untersuchungen zur Bewegungsstruktur der Wettkampfübung Reißen. Meyer & Meyer Sportverlag. https://doi.org/10.5771/9783840312502