

Schriften des Europäischen  
Instituts für Sozioökonomie e.V. Band 11

# Zur Strukturanalyse des Mehrkampfes in der Leichtathletik

Eine empirische Studie zum Zusammenhang von  
Leistung und Erfolg im Siebenkampf der Frauen  
und Zehnkampf der Männer

Herausgegeben von:

Michael Fröhlich

Freya Gassmann

Eike Emrich



*universaar*

Universitätsverlag des Saarlandes  
Saarland University Press  
Presses Universitaires de la Sarre



Schriften des Europäischen  
Instituts für Sozioökonomie e.V.  
Band 11

Michael Fröhlich, Freya Gassmann, Eike Emrich [Hrsg.]

## Zur Strukturanalyse des Mehrkampfes in der Leichtathletik

Eine empirische Studie zum Zusammenhang von  
Leistung und Erfolg im Siebenkampf der Frauen  
und Zehnkampf der Männer



*universaar*

Universitätsverlag des Saarlandes  
Saarland University Press  
Presses Universitaires de la Sarre

© 2015 *universaar*  
Universitätsverlag des Saarlandes  
Saarland University Press  
Presses Universitaires de la Sarre



Postfach 151150, 66041 Saarbrücken

ISBN 978-3-86223-171-3 gedruckte Ausgabe  
ISBN 978-3-86223-172-0 Online-Ausgabe  
URN mit Prüfziffer: urn:nbn:de:bsz:291-universaar-1403

Projektbetreuung *universaar*: Susanne Alt, Matthias Müller

Satz: Michael Fröhlich

Umschlaggestaltung: Julian Wichert

Gedruckt auf säurefreiem Papier von Monsenstein & Vannerdat

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen  
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

## Inhaltsverzeichnis

Freya Gassmann, Michael Fröhlich, Robert Meurer & Eike Emrich <i>Strukturanalyse des Siebenkampfs der Frauen</i>	9
Michael Fröhlich, Freya Gassmann & Eike Emrich <i>Zehn Einzeldisziplinen = Zehnkampf?</i> <i>Eine erweiterte Replikationsstudie zum Einfluss der Einzeldisziplinen im Zehnkampf</i>	37
Michael Fröhlich, Freya Gassmann, Michael Koch & Eike Emrich <i>Wer ist der beste Mehrkämpfer der Leichtathletik?</i> <i>Eine analytische Betrachtung im Sieben- und Zehnkampf</i>	65



## Vorwort

Der Leistungsbewertung innerhalb der Leichtathletik kommt gemeinhin eine hohe objektive Bedeutung zu. Sie ist auch wesentliche Bedingung für die Attraktivität der Sportart, ist es doch schnell und leicht ersichtlich, wer den Lauf gewinnt und über die gemessene Zeit klar, wie schnell der Lauf im Verhältnis zu sonst gemessenen Zeiten ist. Ebenso ist leicht zu erkennen, welche Frau am höchsten springen bzw. den Speer am weitesten werfen kann. Die Leistungsermittlung erfolgt unter jeweils standardisierten Bedingungen mittels Quantifizierung der für die Überwindung von Distanzen in den verschiedenen Laufwettbewerben benötigten Zeit sowie durch genaue Weiten- oder Höhenbestimmung in den Sprung-, Wurf- und Stoßdisziplinen. Die so ermittelte Leistung in Zentimetern, Metern und Sekunden entscheidet unter sonst gleichen Bedingungen sodann über die Platzierung bzw. den Rangplatz im Wettbewerb.

Während diese Leistungsermittlung für die verschiedenen Einzeldisziplinen innerhalb der Leichtathletik eine hinreichend genaue Art der Transformation eines empirischen Relativs (u.a. gemessene Zeit, Höhe und Weite) in ein numerisches Relativ (z. B. Rangplatz, Platzierung, aktueller Weltmeister bzw. Olympiasieger) darstellt, ergeben sich für Mehrkämpfe in der Leichtathletik Probleme, die so gemessenen Werte einzelner Disziplinen individuell und/oder interindividuell gleichgewichtig zu summieren, was in der Folge auch den objektiven Vergleich der Leistungen verschiedener Wettbewerbe erschwert.

Das bedeutet, es entscheidet nicht mehr nur die absolute erbrachte Leistung in der Einzeldisziplin über die Platzierung, sondern die Transformation der Leistung wird ebenfalls zu einem leistungs- und erfolgsbestimmenden Kriterium. Somit wird die Transformationsregel als solche ein wichtiges Moment innerhalb der objektiven Leistungsermittlung. Inwieweit eine solche Art der Leistungsbewertung – welche auf normativen Setzungen beruht – selbst das Wettkampfergebnis beeinflusst, soll im Rahmen von drei empirischen Studien untersucht werden.

Aufbauend auf der bisherigen empirischen Kenntnislage und sodann weiterführend im Hinblick auf Altersverschiebungen, nationale Einflüsse und Rangplatzverschiebungen, wird im Siebenkampf der Frauen und Zehnkampf der Männer der Beitrag der einzelnen Disziplinen auf das Wettkampfergebnis untersucht.

Hierzu werden die jeweils erbrachten Leistungen der Frauen- und Männerwettbewerbe der Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen einerseits sowie die jeweils aktuell besten 100 Athletinnen und Athleten der jeweiligen Punkterangliste des Sieben- und Zehnkampfs (Allzeitbestenliste) andererseits analysiert. Abgeleitet daraus werden anhand verschiedener Zusammenhagsuntersuchungen Disziplingruppen identifiziert, welche eine hohe Bedeutung für das Gesamtergebnis im Sieben- bzw. Zehnkampf besitzen. Welche Implikationen daraus abgeleitet werden können, soll Gegenstand der Diskussion sein.

Michael Fröhlich

Freya Gassmann

Eike Emrich

Saarbrücken im Juni 2015

# **Freya Gassmann, Michael Fröhlich, Robert Meurer & Eike Emrich**

## **Strukturanalyse des Siebenkampfs der Frauen**

### **Summary**

Heptathlon represents the sum of individual performances in seven disciplines, implicitly and explicitly assuming an equal influence of these disciplines depending on the performance. The transformation of the performance in the seven disciplines from seconds, centimeters, and meters into points, however, shows that the individual disciplines do not equally affect the overall competition result. The currently valid conversion formula for the run, jump, and throw disciplines prefers the sprint and jump disciplines, while penalizing the athletes performing in the 800-m run, javelin throw, and shot put disciplines. Furthermore, 21 % to 48 % of the variance of the sum of points can be attributed to the performances in the disciplines long jump, 200-m sprint, 100-m hurdles, and high jump. In order to equal weight the effects of the single disciplines in heptathlon, the formula to calculate points should be reevaluated.

### **Zusammenfassung**

Im Siebenkampf der Frauen setzt sich die Leistung additiv aus den Einzelleistungen der sieben Einzeldisziplinen zusammen, die im Sinne der Ausgeglichenheit in jeweils gleichem Maß das Gesamtergebnis bestimmen sollten. Die erbrachten sieben Einzelleistungen gemessen in Sekunden, Zentimetern und Metern und deren Transformation in Punkte zeigen jedoch, dass die Einzeldisziplinen nicht gleichgewichtig in das Gesamtwettkampfergebnis eingehen. Die gültigen Umrechnungsformeln für die Lauf-, Sprung- und Wurfdisziplinen messen Leistungen in den Sprint- und Sprungdisziplinen, verglichen mit den Leistungen im 800-m-Lauf, Speerwurf und Kugelstoßen, überproportional Punkte zu. Der stärkste Einfluss zeigte sich dabei für die Teildisziplinen Weitsprung, 200-m-Lauf, 100-m-Hürdenlauf und Hochsprung mit einer klärenden Varianz von 21 % bis 48 %. Um der Forderung nach möglichst gleichem Einfluss der Einzeldisziplinen im Siebenkampf gerecht zu werden, sollte eine Neubewertung der Punkteformel vorgenommen werden.

## Einleitung und theoretische Verortung

Der Siebenkampf der Frauen, als Pendant zum Zehnkampf der Männer, ist als jeweils additiver Wettbewerb von sieben Einzeldisziplinen konzipiert. An zwei Wettkampftagen werden von den Frauen nacheinander die Disziplinen 100-m-Hürdenlauf, Hochsprung, Kugelstoßen und 200-m-Lauf sowie Weitsprung, Speerwurf und abschließend der 800-m-Lauf absolviert. Das Gesamtergebnis des Wettbewerbs in erzielten Punkten setzt sich dabei aus den sieben Einzelleistungen zusammen und wird anhand einer Punktetabelle, welche letztmalig 1985<sup>1</sup> geändert wurde, bestimmt (vgl. Trkal, 2003; Westera, 2007). In der Idee des Siebenkampfs ist implizit eine relative Gleichgewichtung der einzelnen Disziplinen angelegt. Daher werden die erbrachten Einzelleistungen über eine Umrechnungsformel anhand der Lauf-, Sprung- und Wurfdisziplinen bestimmt. Die nach Karl Ulbrich entwickelten und nunmehr seit fast dreißig Jahren geltenden Berechnungsformeln<sup>2</sup> sind nach der International Association of Athletics Federations (IAAF) (Zugriff am 10.11.2014 unter <http://www.iaaf.org>):

- [1] Laufwettbewerbe (200-m-Lauf, 800-m-Lauf und 100-m-Hürdenlauf) =  
 $P = A \cdot (B - T)^C$  [T = Zeit in Sek.]
- [2] Sprungwettbewerbe (Hochsprung und Weitsprung) =  $P = A \cdot (M - B)^C$   
 [M = Messergebnis in cm]
- [3] Wurfwettbewerbe (Kugelstoßen und Speerwurf) =  $P = A \cdot (D - B)^C$   
 [D = Distanz in m]

Es ergeben sich somit drei Potenzfunktionen mit den disziplinspezifischen Konstanten A, B und C, wie sie in Tabelle 1 wiedergegeben sind. Die jeweiligen Konstanten unterliegen dabei einerseits normativen Setzungen, wie sie von Pitsch et al. (2006) herausgearbeitet wurden, und andererseits sollen leicht progressive Anstiege der Punktezumessung mit zunehmender Leistung hierbei zum Tragen kommen.

---

<sup>1</sup> Westera (2007, S. 1) schreibt hierzu: “[...] the heptathlon tables are being used without modifications since 1984 and it turns out that today quite some unbalance has arisen.”

<sup>2</sup> Zur historischen Entwicklung der Bewertungstabellen sei auf Trkal (2003) sowie Pitsch, Emrich, Fröhlich und Flatau (2006) verwiesen.

Tab. 1. Konstanten für die Lauf-, Sprung- und Wurfwettkämpfe der Frauen im Siebenkampf (siehe IAAF, 2001)

Disziplin	A	B	C
200-m-Lauf	4,99087	42,5	1,81
800-m-Lauf	0,11193	254	1,88
100-m-Hürdenlauf	9,23076	26,7	1,835
Hochsprung	1,84523	75	1,348
Weitsprung	0,188807	210	1,41
Kugelstoßen	56,0211	1,50	1,05
Speerwurf	15,9803	3,80	1,04

Das generelle Problem in der Bestimmung der Gesamtpunkteleistung im Siebenkampf liegt u.a. darin, dass die Bewertung der Einzelleistung der jeweiligen Disziplin normativen Prämissen folgt und keine linearen Zuordnungen von gemessenen Leistungen und erzielten Punkten gemacht werden können (Cox & Dunn, 2002; Pitsch et al., 2006). Auf diese Fehlerquelle hat bereits Letzelter (1985, S. 226) hingewiesen, indem er ausführte, dass die lineare Transformation der Leistung in Punkte das „Quantitätsgesetz“ des Trainings verneint sowie das „Prinzip der progressiven Belastung“ negiert. Somit wird die geforderte Gleichgewichtung der Einzeldisziplinen durch normative Wertungen per se beeinflusst (Westera, 2006) und widerspricht den Disziplin-gleichgewichtsprinzipien wie sie bspw. von Trkal (2003, S. 11) formuliert wurden:

... that the new tables should be developed according to the following nine principles: ... 3). The tables in all disciplines should be: a modification of current tables, linear in all disciplines, very slightly progressive in all disciplines [...]

9) As far as possible, the tables should eliminate the possibility that an athlete specializing in one discipline is able to acquire sufficient points in that disciplines to overcome a low scores in weaker disciplines and beat more versatile all-round athletes.

Für die generellen Gleichgewichtsprinzipien, explizit in Prinzip 9 zum Ausdruck gebracht, wurde u.a. von Kenny, Sprevak, Sharp und Boreham (2005) sowie Westera (2006) im Rahmen des Zehnkampfs angemerkt, dass zu

analysieren sei, inwieweit die einzelnen Leistungen gleichgewichtet in die Gesamtwertung eingehen und welchen Einzelbeitrag jede Teildisziplin für das Gesamtergebnis hat. Bezogen auf die einzelnen Disziplinen im Siebenkampf wird von Westera (2007, S. 2) weiter ausgeführt:

When starting from the principle of all roundness [sic], the ideal score distribution should be uniform over the disciplines. The large deviations from uniformity prompt for a revision of the current scoring method.

In Analogie zu den Studien, welche sich mit dem Einfluss der Einzeldisziplin auf das Gesamtergebnis im Zehnkampf der Männer beschäftigt haben (Schomaker & Heumann, 2011; Wimmer, Fenske, Pyrka & Fahrmeir, 2011; Woolf, Ansley & Bidgood, 2007), soll daher geprüft werden:

- [1] Inwieweit eine bestimmte Disziplin und/oder Disziplingruppe die Gesamtpunktzahl in überzufälligem Ausmaß im Siebenkampf der Frauen determinieren (vgl. Dawkins, Andrae & O'Conner, 1994; Karlis, Saporta & Spinakis, 2003; Letzelter, 1985; Westera, 2007).
- [2] Inwieweit auf individueller Ebene Stärken und Schwächen in einzelnen Disziplinen und/oder Disziplingruppen (Clustern) ausgeglichen bzw. überkompensiert werden können; zudem werden altersbedingte Verschiebungen innerhalb der Disziplinen analysiert.
- [3] Zusätzlich soll die Wirkung unterschiedlicher nationaler Trainingseinflüsse auf die Leistungsentwicklung (vgl. Van Damme, Wilson, Vanhooydonck & Aerts, 2002) sowie auf den Typus der Siebenkämpferin untersucht werden.

## Methodik

### Stichprobe und Erhebungsverfahren

Die Analyse der Daten erfolgte auf der Datengrundlage der erfassten Einzelleistungen der jeweils 10 Erstplatzierten Siebenkämpferinnen der Leichtathletik Weltmeisterschaften von 1987 bis 2013 sowie der Olympischen Spiele von 1988 bis 2012. Vorherige Ergebnisse wurden nicht einbezogen, da sich die aktuelle Punkteformel auf den Zeitraum ab 1985 bezieht (Trkal, 2003, S. 12). Von den einzelnen Athletinnen wurden Platzierung, Name, Nationalität, Geburtsdaten, Wettkampffahr, erzielte Leistungen in Sekunden, Zentimetern und Metern, die berechneten Punkte für die jeweilige Disziplin sowie die Endpunktzahl erhoben. Als Datenquellen dienten die publizierten Siebenkampfergebnisse in der Zeitschrift Leichtathletik, auf der Homepage Sports Reference – Sports Statistics Quickly, Easily und Accurately (Zugriff am 18.11.2014 unter <http://www.sports-reference.com/>) sowie auf der offiziellen Webseite des internationalen Leichtathletikverbandes IAAF (Zugriff am 10.11.2014 unter <http://www.iaaf.org/home>). Durch Abgleich der unterschiedlichen Medien konnte die Datenkonsistenz geprüft und gesichert werden. Durch weitere individuelle Internetrecherchen zu unterschiedlichen Schreibweisen des Namens, der Namensänderung, der Geburtsdaten etc., konnte im Weiteren eine vollständige Athletinnenliste mit insgesamt 200 konsistenten Datensätzen (darin enthalten waren Daten zu 13 Weltmeisterschaften und 7 Olympischen Spielen) erstellt werden.

### Datenanalyse

Die Datenanalyse erfolgte mit dem Stata 12. Insgesamt wurden neben den deskriptiven Analyseverfahren wie Mittelwerten, Standardabweichungen und Häufigkeiten zur Untersuchung von Zusammenhängen Korrelationen, bi- und multivariate lineare Regressionen sowie weiterführend Panel-Daten-Regressionen angewendet. Zur Untersuchung des Einflusses der Einzelleistung auf die in der jeweiligen Disziplin erreichten Punkte musste eine Standardisierung dieser Werte vorgenommen werden, da die Einzelleistungen in ihrer jeweiligen Einheit gemessen und somit Zeiten, Weiten bzw. Höhen nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Daher wurden die Leistungen zunächst standardisiert bzw. z-transformiert (Bortz & Schuster, 2010).

Um den Einfluss der standardisierten Leistung auf die erreichten Punkte zu analysieren, wurden bivariate OLS-Regressionen geschätzt und daraus marginale Effekte berechnet (Greene, 2008). Zur Analyse der Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte wurden ebenfalls OLS-Regression sowie Korrelationen berechnet. Um neben der Korrelationsmatrix Hinweise darauf zu erhalten, welche Teildisziplinen nach den erreichten Leistungen zusammengehören, wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit einer Orthogonalisierung durchgeführt (zur Hauptkomponentenanalyse siehe Wolff & Bacher, 2010). Neben dieser explorativen Faktorenanalyse, durch die eine Zusammenfassung der Teildisziplinen möglich wird, wurde eine K-Means-Clusteranalyse gerechnet, um zu untersuchen, ob sich Athletinnen finden lassen, die in den erreichten Punkten systematische Ähnlichkeiten mit andern Athletinnen aufweisen (zur Clusternalyse siehe Wiedenbeck & Züll, 2010).

Für die länderspezifischen Analysen wurden die Athletinnen nach Ländern gruppiert. Da sich nur 129 Beobachtungen zu Ländern mit genügend großen Fallzahlen zusammenfassen ließen, reduzierte sich die Stichprobe von 200 entsprechend. Neben Gruppenmittelwerten wurden zur Analyse auf OLS-Regressionen mit Länderinteraktionen zurückgegriffen.

Um den individuellen Alterseffekt der Athletinnen auf die Zusammensetzung der erreichten Punkte zu untersuchen, wurden u.a. Fixed-Effects-Modelle geschätzt (Greene, 2008; Verbeek, 2008). Dadurch wird es möglich, intraindividuelle Unterschiede sichtbar zu machen und das Problem der unbeobachteten Heterogenität wird zumindest für zeitkonstante Einflussfaktoren gelöst (Brüderl, 2010).

Das Signifikanzniveau wurde bei allen Testverfahren einheitlich auf 5 % festgelegt. Für den Erklärungswert werden die einschlägigen Effektstärken berechnet.

## Ergebnisse

### Zusammenhang von erbrachter Leistung und Teilpunkten in den einzelnen Disziplinen

Mittels bivariater Regressionsberechnungen kann im Folgenden anhand der standardisierten Leistungen gezeigt werden, dass Athletinnen, die in den Disziplinen Speerwurf, Weitsprung und Kugelstoßen eine um eine, zwei oder drei Standardabweichung bessere Leistung als der Durchschnitt erreichen, relativ gesehen den höchsten Punktezuwachs erzielen (Steigungskoeffizienten), während der relative Zuwachs für den 200-m-Lauf und 800-m-Lauf, Hochsprung sowie für den 100-m-Hürdenlauf deutlich geringer ausfällt. So kann beispielsweise durch eine um eine Standardabweichung höhere Leistung im Speerwurf eine relative Punkteverbesserung von 12,5 % erzielt werden, während im 100-m-Hürdenlauf eine Steigerung um eine Standardabweichung eine höhere Leistung nur mit ca. 5 % bedingt (vgl. Tabelle 2). Andererseits wird anhand dieses Beispiels deutlich, dass eine um drei Standardabweichungen höhere Leistung im Speerwurf (1047,1 Punkte) einer nur durchschnittlichen Leistung im 100-m-Hürdenlauf (1047,3 Punkte) entspricht.

Tab. 2. Ergebnisse der einzelnen Regressionen der standardisierten Leistungen auf die jeweiligen Teilpunkte (n = 200)

Einzeldisziplinen	Steigungs- koeffizient	Konstante	Marginaler Effekt		
			(+1 STD)	(+2 STD)	(+3 STD)
100-m-Hürden	52,16***	1047,3***	1099,4	1151,6	1203,8
Hochsprung	71,41***	993,7***	1065,1	1136,5	1207,9
Kugelstoßen	75,73***	800,9***	876,6	952,4	1028,1
200-m-Lauf	63,63***	952,0***	1015,7	1079,3	1142,9
Weitsprung	86,66***	949,3***	1036,0	1122,6	1209,3
Speerwurf	95,23***	761,6***	856,8	952,0	1047,1
800-m-Lauf	60,52***	909,8***	970,4	1030,9	1091,4
*** $p < 0,001$					

Des Weiteren kann anhand der Konstanten abgeleitet werden, dass einerseits die einzelnen Disziplinen einen unterschiedlichen Effekt zum Gesamtergebnis beitragen (Westera, 2007), was u.a. sehr stark im 100-m-Hürdenlauf in positiver sowie beim Speerwurf in negativer Richtung zum Ausdruck kommt. Andererseits zeigen die Konstanten beim Hoch- und Weitsprung eine hohe Ausprägung, welche noch durch hohe Steigungskoeffizienten zusätzlich verstärkt werden.

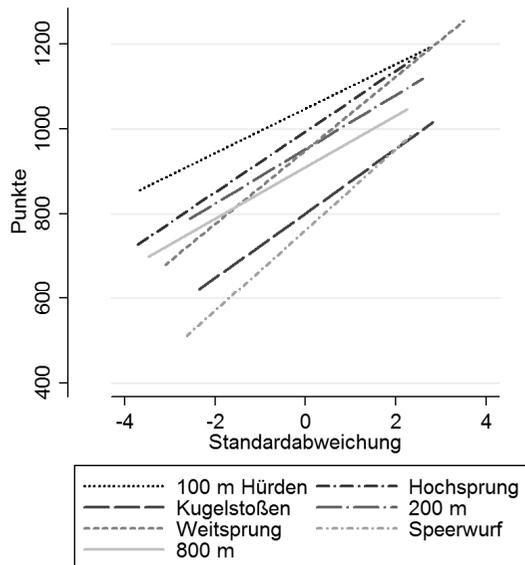


Abb. 1. Graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen standardisierter Leistung und den Einzelpunkten der jeweiligen Disziplin

Wie Abbildung 1 und Tabelle 2 entnommen werden kann, sind absolut betrachtet beim Speerwurf, Weitsprung, Kugelstoßen und Hochsprung die gefundenen Effekte auf die jeweiligen Teilpunkte am größten, während 200-m-Lauf, 800-m-Lauf und 100-m-Hürdenlauf deutlich geringere Effekte ausweisen (Steigungskoeffizient). Daher könnte man zunächst vermuten, dass Athletinnen, welche in diesen Disziplinen eine hohe Leistungsfähigkeit zeigen, durch eine hohe Punktevergabe belohnt werden.

Dies ist aber mitnichten so – eine Ausnahme stellt der Speerwurf und das Kugelstoßen dar (hoher Steigungskoeffizient, aber geringe Konstante) – da die mittleren Punkte der Disziplinen Kugelstoßen, Speerwurf als auch beim 800-m-Lauf unter den erzielten Punkten der anderen Disziplinen liegen und somit hier eine relativ höhere Leistungsfähigkeit stärker zum Tragen kommt. Der 800-m-Lauf ist hier besonders zu diskutieren, da einerseits der Einfluss auf die Gesamtleistung insgesamt am geringsten ist und andererseits die relative Leistungsverbesserung ebenfalls nicht so stark ins Gewicht fällt. Gleichzeitig erreichen die Athletinnen in den entsprechenden Teildisziplinen jedoch durch die geringe Konstante deutlich weniger Punkte als in anderen Disziplinen. Somit kann für die betrachtete Stichprobe der weltbesten Siebenkämpferinnen geschlossen werden, dass die standardisierte Leistung in den verschiedenen Disziplinen unterschiedlich stark mit dem Teilresultat (erzielbare Punkte) in Zusammenhang stehen und nicht gleichgewichtet die Siebenkampfleistung abbilden (Letzelter, 1985). Dies legt die Vermutung nahe, dass bestimmte Disziplinen oder Fähigkeitsausprägungen (Strukturgruppen) im Ergebnis mehr bzw. weniger das Endresultat im Siebenkampf determinieren, was uns zur Prüfung des Zusammenhangs von Teilpunkten und Gesamtpunkten veranlasst.

### Zusammenhang zwischen Teilpunkten und Gesamtpunkten

Im Weiteren wird überprüft, inwieweit verschiedene Fähigkeitsausprägungen auf Athletenseite durch die vorgegebene disziplinäre Zusammensetzung des Siebenkampfs begünstigt werden (Van Damme et al., 2002).

Obwohl in der Struktur des Siebenkampfs – wie auch im Zehnkampf der Männer – implizit eine, bezogen auf die verschiedenen Disziplinen, möglichst ausgeglichene Sportlertypologie angelegt ist (Westera, 2007), scheinen durch die Zusammenstellung der einzelnen Disziplinen Athletinnen mit hohem Anteil an schnellzuckenden Muskelfasern bevorteilt zu sein (Kunz, 1984). So sind in hohem Maße sehr gute Leistungen im Bereich Schnelligkeit, Explosivkraft und Schnellkraft mit hohen Leistungsausprägungen in den Sprung, Wurf, Stoß und Sprint Disziplinen assoziiert, während eher aerobe bzw. anaerobe ausdauerorientierte Anforderungen mit einem höheren Anteil an langsamen Muskelfasern mehr oder weniger nur im 800-m-Lauf zum Tragen kommen. Vindusková (2003, S. 29) verweist in diesem Kontext darauf, dass der Siebenkampf eine technische Disziplin mit Kraft- und Schnelligkeitscharakter sei, indem „maximum speed“, „explosive power“ sowie „speed endurance“ die Schlüsselfaktoren für die Leistung sind. Um dies zu prüfen, wurden die einzelnen Punkte in der Disziplin mit den Gesamtpunkten im Rahmen einer linearen

Regression in Beziehung gebracht. Des Weiteren wurden Korrelationsberechnungen zwischen den einzelnen Disziplinen durchgeführt.

Tabelle 3 und Tabelle 4 kann entnommen werden, dass alle Teildisziplinen einen hoch signifikanten Einfluss auf das Endergebnis mit jedoch variierender Erklärungskraft haben, was mit der unterschiedlichen Korrelation der Punkte in den Einzeldisziplinen untereinander zusammenhängt. Der stärkste Einfluss zeigte sich für die Teildisziplinen Weitsprung, 200-m-Lauf, 100-m-Hürdenlauf und Hochsprung mit einer Varianzklärung von 48 % bis 21 %.

Die hohe Erklärungskraft von bis zu 48 % im Falle des Weitsprungs ist durch die Interkorrelation mit den Zubringerleistungen wie Anlaufgeschwindigkeit (100-m-Hürdenlauf und 200-m-Lauf) und Absprungimpuls (siehe Korrelationskoeffizient von  $r = 0,32$  ( $p < 0,001$ ) zwischen Hoch- und Weitsprung) zu begründen (Letzelter, 1985; Park & Zatsiorsky, 2011; Woolf et al., 2007). Kugelstoßen, Speerwurf und abschließender 800-m-Lauf stehen zwar ebenfalls signifikant mit dem Endresultat in Beziehung, können aber in ihrer Erklärungskraft anhand der  $R^2$ -Werte als marginal bezeichnet werden (Varianzklärung 7 % bis 8 %).

Tab. 3. Ergebnisse der einzelnen linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte ( $n = 200$ )<sup>3</sup>

Einzeldisziplinen	Steigungskoeffizient	Konstante	$R^2$
100-m-Hürden	2,479***	3827,1***	0,333
Hochsprung	1,533***	4903,4***	0,208
Kugelstoßen	0,705**	5858,1***	0,075
200-m-Lauf	2,141***	4384,7***	0,380
Weitsprung	1,818***	4698,3***	0,480
Speerwurf	0,629***	5943,1***	0,078
800-m-Lauf	0,958**	5553,8***	0,069
** $p < 0,01$ , *** $p < 0,001$			

<sup>3</sup> Um für den Umstand zu kontrollieren, dass die Beobachtungen der einzelnen Wettbewerbe nicht unabhängig voneinander sind, da beispielsweise zwei Athleten bei den Olympischen Spielen in Athen nahezu identische Wetterbedingungen vorfanden, die beispielsweise von den Wetterbedingungen in Berlin bei den Weltmeisterschaften 2009 different sind, wurden robuste Standardfehler berechnet, indem Cluster für jeden Wettbewerb erstellt wurden.

Betrachtet man die Einzeldisziplinen, so lassen sich signifikante und schwache bis mittlere Korrelationen zwischen den Disziplinen 100-m-Hürdenlauf und 200-m-Lauf, 100-m-Hürdenlauf und Weitsprung, Hochsprung und Weitsprung, 200-m-Lauf und Weitsprung sowie 200-m-Lauf und 800-m-Lauf feststellen (vgl. Fanshawe, 2012). Dabei stehen Speerwurf und 800-m-Lauf negativ miteinander in Beziehung.

Tab. 4. Korrelationsmatrix der Teilpunkte der Disziplinen und der Gesamtpunkte (Signifikanztest untere Zeile)

	GP	100	HS	KS	200	WS	SW	800
GP	1							
100	0,58	1						
	0,00							
HS	0,49	0,04	1					
	0,00	0,59						
KG	0,24	-0,14	-0,06	1				
	0,00	0,04	0,44					
200	0,61	0,61	0,10	-0,15	1			
	0,00	0,00	0,14	0,04				
WS	0,70	0,45	0,32	-0,03	0,48	1		
	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00			
SP	0,26	-0,09	0,07	0,19	-0,24	-0,13	1	
	0,00	0,18	0,31	0,01	0,00	0,06		
800	0,26	0,25	-0,01	-0,26	0,41	0,12	-0,35	1
	0,00	0,00	0,89	0,00	0,00	0,09	0,00	

GP = Gesamtpunkte, 100 = 100-m-Hürdenlauf, HS = Hochsprung, KS = Kugelstoßen, 200 = 200-m-Sprint, WS = Weitsprung, SW = Speerwurf, 800 = 800-m-Lauf

Anhand der Interkorrelation der Disziplinen ist zu erkennen, dass ein bestimmter Typus von Athletinnen in diesen Einzeldisziplinen gleichermaßen eine gute Leistung erreicht. Phänotypisch weist dieser Typus ausgeprägte Stärken im Sprint-Sprung Bereich aus, was genotypisch auf einen hohen Anteil an schnellen Muskelfasern schließen lässt. Um dies weiter inhaltlich zu ergründen, wird folgend faktorenanalytisch geprüft, inwieweit bestimmte Disziplingruppen im Siebenkampf zu erkennen sind und welche Merkmale diese zeigen (vgl. Kenny et al., 2005; Letzelter, 1985; Woolf et al., 2007).

## Faktorenanalytische Struktur des Siebenkampfes

Nach dem Screeplot der Faktorenanalyse (Eigenwertediagramm) ergeben sich zwei Faktoren:

- Faktor 1: 100-m-Hürdenlauf, 200-m-Lauf, Weitsprung und Hochsprung
- Faktor 2: Speerwurf und Kugelstoßen

Die abschließenden 800 m sind keinem Faktor zuzurechnen (siehe Tabelle 5). Nimmt man das Eigen-Value-Kriterium als Grundlage, so ergibt sich eine dreistufige Faktorenlösung mit Faktor 1 bestehend aus 100-m-Hürdenlauf, 200-m-Lauf und Weitsprung, Faktor 2 mit den Disziplinen Kugelstoßen und Speerwurf sowie Faktor 3 mit dem Hochsprung. Die 800 m sind wiederum keinem Faktor zuzuordnen (vgl. Karlis et al., 2003; Letzelter, 1985).

Da der Hochsprung aus trainingswissenschaftlicher Sicht hochgradig durch Schnelligkeit, Explosivkraft sowie Schnellkraft determiniert ist und somit deutlich enger mit den Sprint-/Sprungdisziplinen in Zusammenhang steht (vgl. Tabelle 4), haben wir uns für die erste Variante entschieden, in der der Hochsprung Faktor 1 zugeschrieben wird.

Für die weiteren Analysen ergeben sich somit drei prinzipielle Disziplinengruppen: Typ „Schnelligkeit“ bestehend aus 100-m-Hürdenlauf, Hochsprung, 200-m-Lauf und Weitsprung. Typ „Kraft“ (u.a. Maximalkraft, Schnellkraft und Explosivkraft) bestehend aus Kugelstoßen und Speerwurf sowie Typ „Ausdauer“ aus dem 800-m-Lauf (vgl. Letzelter, 1985, S. 235).

Tab. 5. Ergebnisse der einzelnen multivariaten linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte (n = 200)<sup>4</sup>

	<b>Modell 1</b>	<b>Modell 2</b>	<b>Modell 3</b>
100-m-Hürden	1,077*** (4,60)		
Hochsprung	1,064*** (11,16)		
200-m-Lauf	0,872*** (5,94)		
Weitsprung	0,925*** (7,05)		
Kugelstoßen		0,578* (2,54)	
Speerwurf		0,537*** (4,50)	
800-m-Lauf			0,958** (3,22)
Konstante	2531,1*** (11,88)	5548,0*** (30,37)	5553,8*** (20,64)
N	200	200	200
R <sup>2</sup>	0,721	0,102	0,069
Adjusted R <sup>2</sup>	0,715	0,093	0,065
R <sup>2</sup> / Anzahl der UV	0,180	0,051	0,069
t Statistik in Klammern; + p < 0,10, * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001			

---

<sup>4</sup> Auch hier wurde für den Umstand der nicht-unabhängigen Beobachtungen kontrolliert und robuste Standardfehler berechnet.

## Clusteranalytische Struktur des Siebenkampftypus

In der Struktur des Siebenkampfs ist implizit und explizit die Vielseitigkeit der Athletinnen angelegt (u.a. im Ausdruck Königinnendisziplin der Frauenleichtathletik dokumentiert). Daher ist im Folgenden zu prüfen, inwieweit man diesem Anspruch gerecht wird und/oder ob Spezialistinnen in einzelnen Disziplinen bzw. Disziplinengruppen einen Vorteil gegenüber Generalistinnen besitzen.

Mittels Clusteranalyse konnte anhand des Dendrograms eine Zweicusterlösung für Generalistinnen und Spezialistinnen gefunden werden (nach Duda/Hart ergeben sich vier Cluster, welche jedoch inhaltlich nicht zu interpretieren sind). Die Generalistinnen erzielen eine mittlere Punktezahl von  $6349 \pm 166$  ( $n = 109$ ), während die Spezialistinnen  $6518 \pm 246$  Punkte ( $n = 85$ ) erreichen. Die Generalistinnen sind im Sample mit 56 % gegenüber 44 % der Spezialistinnen vertreten (siehe Abbildung 2). Im Sample konnten sechs Siebenkämpferinnen keinem Typus zugerechnet werden.

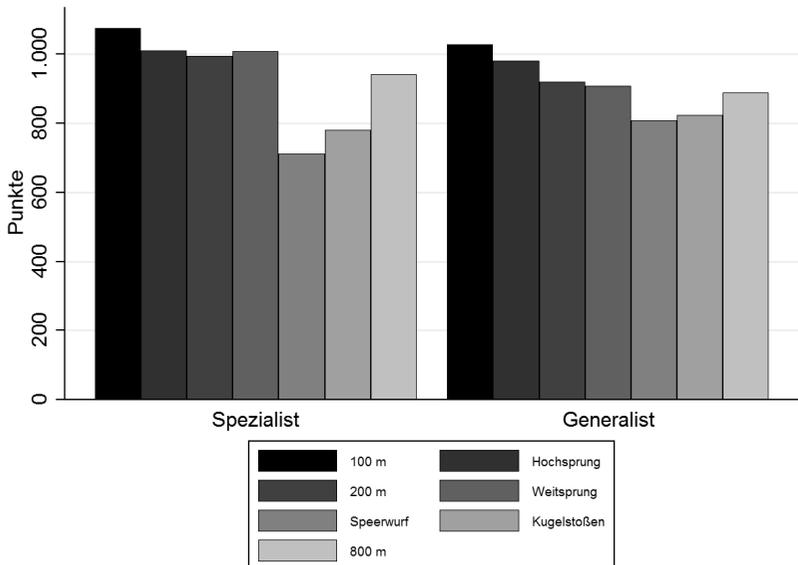


Abb. 2. Erreichte Punkte von Spezialistinnen und Generalistinnen in den einzelnen Disziplinen mittels Zweicusterlösung

Eine Sequenzanalyse zur Betrachtung der Veränderung des Typs zwischen den Teilnahmen bei mehreren Wettbewerben einer Athletin ergab, dass Athletinnen, die mehrmals eine Platzierung unter den Top 10 von Olympischen Wettkämpfen oder Weltmeisterschaften erreicht haben, in der Regel ihrem Typ treu bleiben bzw. ihn nicht verändern. Das bedeutet, dass eine Athletin, die als Spezialistin diagnostiziert wurde, auch in den Folgewettkämpfen als solche identifiziert wurde.

Unter den 82 Athletinnen, die insgesamt 194 Teilnahmen zu verbuchen haben, befinden sich lediglich elf Athletinnen, die ihren Typus während ihrer Teilnahmen variierten, bei 33 blieb der Typus unverändert über die Zeit, die übrigen 38 Athletinnen nahmen nur an einem Wettkampf teil.

### Nationenspezifische Analyse

Zur Analyse nationenspezifischer Athletentypologien wurden zunächst im Athletensample diejenigen Länder identifiziert, die im Zeitraum von 1987 bis 2012 mindestens 10 Teilnahmen nachweisen konnten, was die Stichprobe auf 129 Athletinnen reduzierte. Auf Platz 1 der Rangliste der Teilnahme-nationen nach Zahl der Teilnehmerinnen liegt Deutschland mit 28 (22 %), gefolgt von Russland mit 26 (20 %) und den USA mit 23 (18 %). Großbritannien kommt auf 16 Teilnahmen (12 %), Polen auf 14 (11 %) und Ukraine sowie Frankreich auf jeweils 11 (9 %).

Wie aus Tabelle 6 ersichtlich, führt Großbritannien die nationenspezifische Analyse an und zeigt signifikante Unterschiede in der Summe erzielter Punkte zu Deutschland, Polen und Russland. Ansonsten bestehen keine bedeutsamen Unterschiede zwischen den Ländern in den erzielten Gesamtpunkten.

Bezogen auf die sich aus der Faktorenanalyse ergebenden drei Faktoren Schnelligkeit, Kraft und Ausdauer zeigen sich punktuelle signifikante Unterschiede.

Athletinnen aus Großbritannien erzielten in den Schnelligkeitsdisziplinen wesentlich mehr Punkte als solche aus Deutschland, der Ukraine, Russland, Polen und den USA. In den Kraftdisziplinen erreichten die ukrainischen und die deutschen Athletinnen mehr Punkte als die Athletinnen aus Polen, den USA, Großbritannien und Russland. Die Ausdauerleistung der russischen und polnischen Athletinnen war gemessen an den erreichten Punkten im 800-m-Lauf signifikant besser als die Leistung der Athletinnen aus der Ukraine, den USA, Deutschland und Frankreich.

Insgesamt erzielten die Athletinnen aus Großbritannien also i.d.R. mehr Punkte in den Schnelligkeitsdisziplinen, die Athletinnen aus der Ukraine und Deutschland mehr Punkte in den kraftgeprägten Wurfdisziplinen und die Athletinnen aus Polen sowie Russland mehr Punkte im Ausdauerbereich. Generell lässt sich aber festhalten, dass dies auf das Gesamtergebnis einen eher geringen systematischen Einfluss hat. Zwar waren die Athletinnen aus Großbritannien mit ihren favorisierten Schnelligkeitsdisziplinen in dem betrachteten Zeitfenster erfolgreicher als Athletinnen aus Polen, Deutschland und Russland. Aber die Athletinnen aus Frankreich und den USA, die sich in keinem der Teilbereiche durch ihre Punkte besonders hervortun, unterscheiden sich nicht signifikant in den Gesamtpunkten zu Großbritannien. Lediglich der Befund, dass Polen und Russland als Ausdauerspezialisten bedeutsam weniger Punkte erreichen als Großbritannien als Nation der schnellen Athletinnen unterstützt die Hypothese von ländertypischen Spezifika und deren Auswirkungen auf das Gesamtergebnis.

Tab. 6. Mittelwerte der Gesamtpunkte und der drei Teildisziplin-Gruppen (Schnelligkeit, Kraft und Ausdauer) innerhalb der Länder

Land	Gesamt	Schnelligkeit	Kraft	Ausdauer
GB	6519 ± 208	4085 ± 173	1516 ± 193	919 ± 65
UA	6462 ± 201	3944 ± 190	1619 ± 124	899 ± 39
FRA	6448 ± 255	3988 ± 237	1574 ± 149	886 ± 68
USA	6438 ± 329	3979 ± 284	1558 ± 80	902 ± 44
GER	6412 ± 172	3902 ± 142	1605 ± 112	905 ± 55
RUS	6410 ± 212	3941 ± 173	1533 ± 126	937 ± 66
PL	6383 ± 110	3916 ± 109	1535 ± 80	933 ± 66

GB = Großbritannien, UA = Ukraine, FRA = Frankreich, USA = Vereinigte Staaten von Amerika, GER = Deutschland, RUS = Russland, PL = Polen

Zur Analyse des Einflusses der erreichten Punkte auf die Gesamtpunkte innerhalb der Nationen wurden lineare Regressionen der Teildisziplinen auf die Gesamtpunkte mit entsprechenden Länderinteraktionen gerechnet (siehe Abbildung 3.1 bis 3.3)<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Auf die Darstellung der Regressionstabellen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Da innerhalb der Länder auch gleiche Athletinnen antreten und somit die Beobachtungen nicht unabhängig sind, wurden robuste Standardfehler geschätzt.

Für den Einfluss der erzielten Punkte im 100-m-Hürdenlauf auf die Gesamtpunkte lassen sich für polnische Siebenkämpferinnen signifikante Unterschiede im Vergleich zu Athletinnen aus der Ukraine, Frankreich und den USA aufzeigen sowie für die Athletinnen aus Frankreich im Vergleich zu Athletinnen aus Deutschland, Russland und Großbritannien.

Im Hochsprung unterscheiden sich ebenfalls die Polinnen im Vergleich zu den Athletinnen aus Deutschland, Russland und Großbritannien, zudem lassen sich signifikante Ergebnisse in den Länderinteraktionen mit den erzielten Punkten im Hochsprung zwischen Athletinnen aus Deutschland und Großbritannien finden.

Für die Teildisziplin Kugelstoßen zeigen sich signifikante Unterschiede zwischen Athletinnen aus Großbritannien und der Ukraine. Bezüglich des Zusammenhangs zwischen den erreichten Punkten im 200-m-Lauf ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen Amerikanerinnen zu russischen, polnischen und ukrainischen Athletinnen, die Athletinnen aus Frankreich unterscheiden sich zusätzlich noch signifikant zu deutschen und britischen Mehrkämpferinnen. Im Einfluss der erreichten Punkte im Weitsprung auf die Gesamtpunkte unterscheiden sich Athletinnen aus den USA signifikant zu Deutschen und Polinnen, die Ukrainerinnen unterscheiden sich zusätzlich noch zu Athletinnen aus Großbritannien. Im Regressionsmodell zum Einfluss des Sperrwurfs zeigte sich nur ein signifikanter Unterschied zwischen den deutschen und den britischen Athletinnen. Bezüglich des Einflusses der 800 m zeigten sich keine signifikanten Unterschiede der Länder.

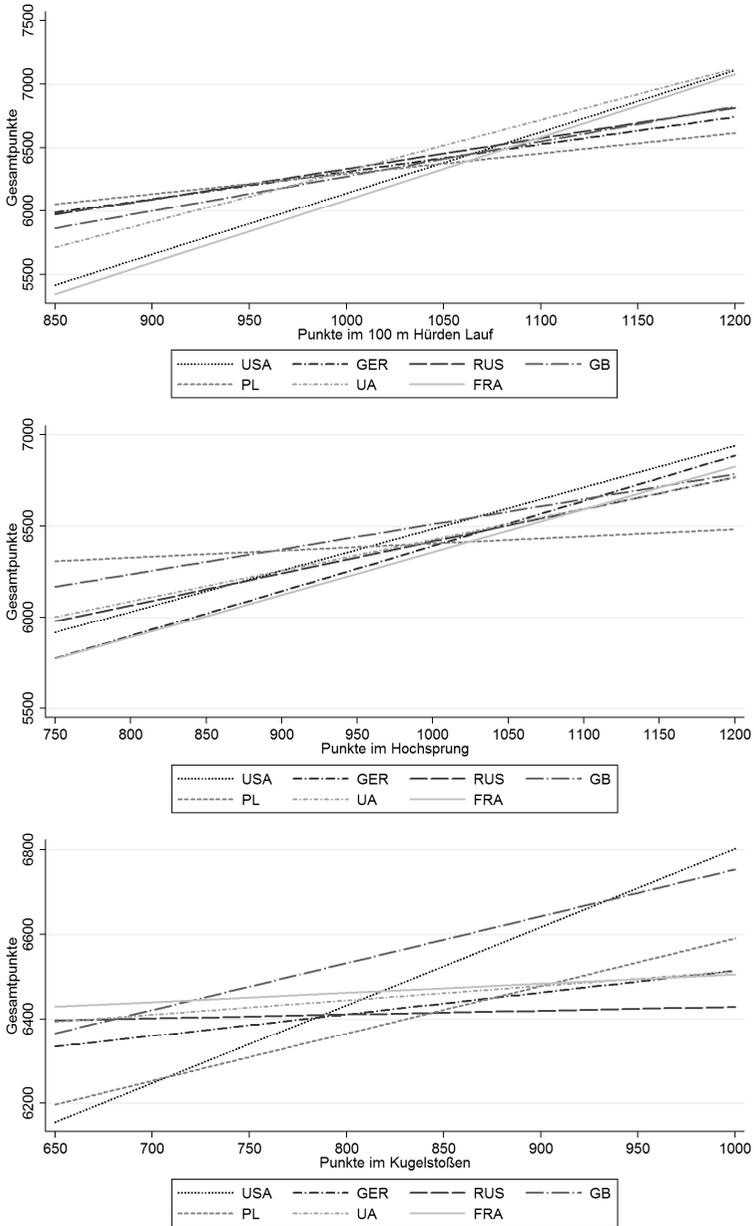


Abb. 3.1 Regression für die einzelnen Länder in Bezug zu den erreichten Disziplinleistungen

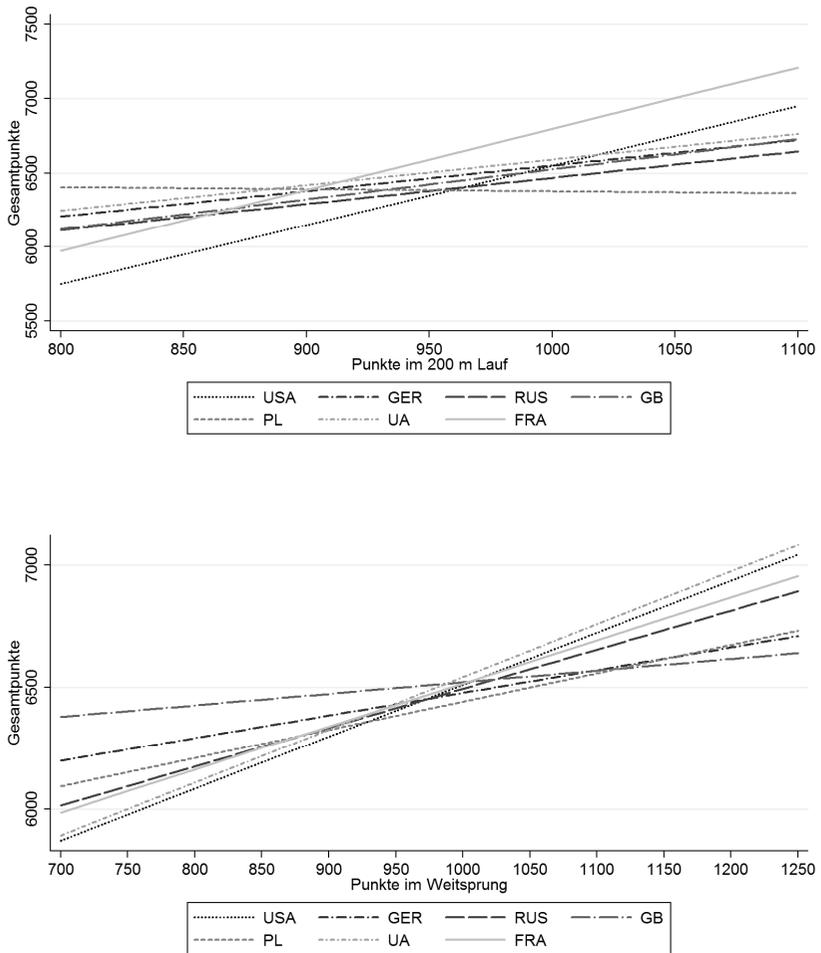


Abb. 3.2 Regression für die einzelnen Länder in Bezug zu den erreichten Disziplinleistungen

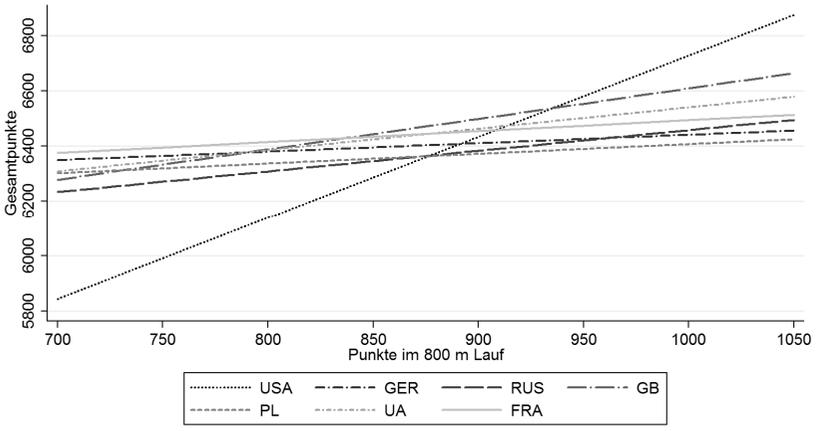
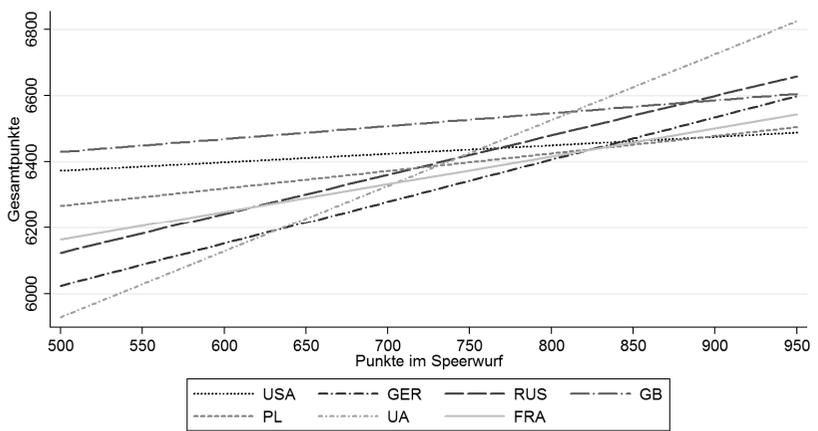


Abb. 3.3 Regression für die einzelnen Länder in Bezug zu den erreichten Disziplinerleistungen

## Individueller Einfluss des Alters auf die Leistung

Im Folgenden wird geprüft, inwieweit das Alter der Athletinnen einen Einfluss auf die Leistung in den einzelnen Disziplinen bzw. Disziplingruppen hat bzw. inwieweit sich im Altersverlauf Veränderungen der Disziplinleistungen ergeben. Zunächst kann man konstatieren, dass das mittlere Alter aller Siebenkämpferinnen ( $n = 200$ ) im Sample bei  $26,5 \pm 3,6$  Jahren liegt (Median = 26 Jahre, 1. Quartil 24 Jahre und 3. Quartil 29 Jahre).

Wie anhand von Abbildung 4 ersichtlich, ergibt sich aus den Fixed-Effects-Regressionen je nach Einzeldisziplin ein unterschiedlich gekrümmter kurvenlinearer Zusammenhang von erbrachter Leistung in Abhängigkeit vom Alter der Athletinnen. Bis zum Altersbereich von ca. 26 bis 28 Jahren steigt die erbrachte Leistung mit dem Alter stetig monoton an, um dann kontinuierlich wieder abzunehmen. Insgesamt ist sowohl für die Disziplin bzw. Disziplingruppe als auch für die einzelne Athletin im Sample eine hohe Variabilität der erzielten Leistung zu erkennen.

Auffallend ist die Tatsache, dass die Variabilität zu Beginn der Leistungssportkarriere als auch zum Ende hin deutlich größer ausgeprägt ist, als in der Phase des Höchstleistungsalters, was durch die hohe intraindividuelle Variabilität zum Ausdruck gebracht wird (Wimmer et al., 2011).

Betrachtet man auf Disziplinenebene die Altersstruktur, so kann man erkennen, dass das mittlere Höchstleistungsalter in den schnellkeitsorientierten Disziplinen 200-m-Lauf, Hoch- und Weitsprung bei 24 bis 26 Jahren liegt, während in den eher kraftorientierten Wurf- und Stoßdisziplinen ein höheres mittleres Alter von 29 Jahren beim Speerwurf und von 32 Jahren im Kugelstoßen mit der höchsten Leistung korrespondiert.

Auffallend ist jedoch das mittlere Alter von 30 Jahren im 100-m-Hürdenlauf. So könnte vermutet werden, dass im 100-m-Hürdenlauf der Rückgang der Schnellkeitsleistung durch einen höheren Anteil von Technik und somit Erfahrung (über-)kompensiert wird. Das würde bedeuten, dass der Technikanteil beim Hürdenlauf sich erst über längere Zeiträume stabil auf die Wettkampfleistung auswirkt.

Für den abschließenden 800-m-Lauf liegt das Höchstleistungsalter bei 28 bis 29 Jahren. Da diese Distanz einerseits noch von den Sprintleistungen bzw. Schnellkeitsleistungen abhängt und andererseits auch nicht lang genug ist, um ausschließlich Ausdauerfähigkeiten zu überprüfen, kann der Altersbefund als plausibel angesehen werden.

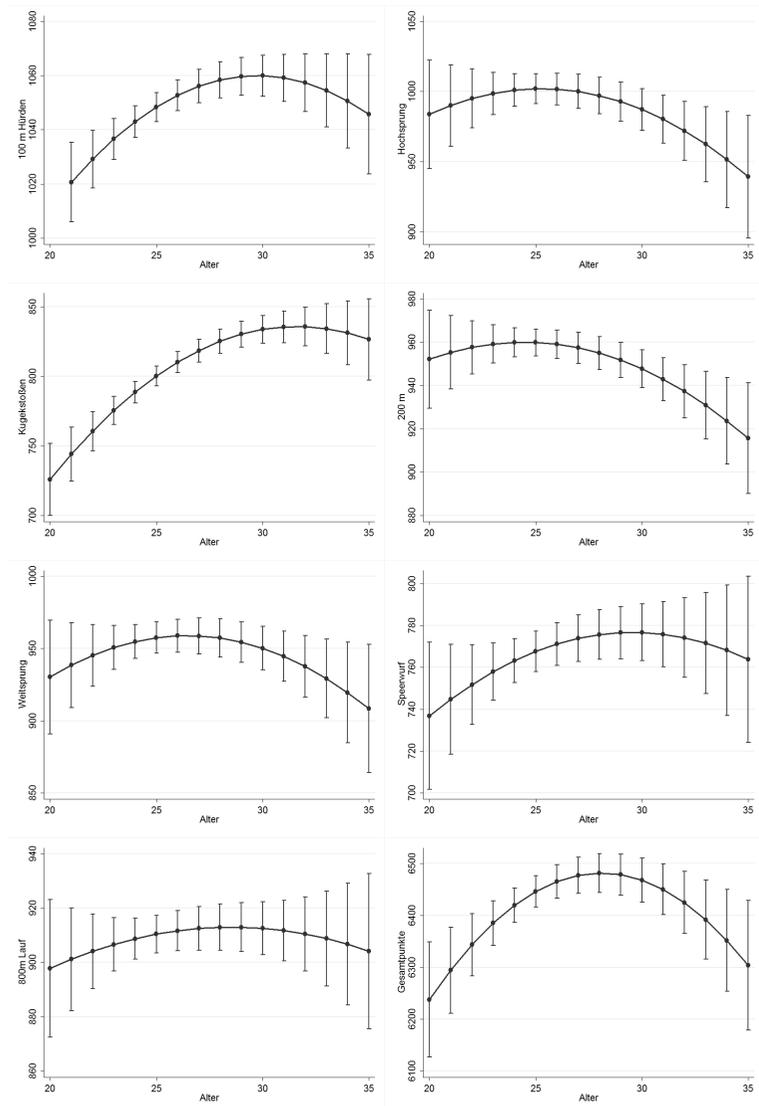


Abb. 4. Graphische Darstellung der Ergebnisse der Fixed-Effects-Regression von Alter und erbrachter Leistung in den einzelnen Disziplinen sowie der Gesamtpunkte

## Diskussion

Anhand der Strukturanalyse des leichtathletischen Siebenkampfs der Frauen konnte empirisch gezeigt werden, dass in einer vermeintlich objektiv quantifizierenden Sportart wie im Siebenkampf der Frauen die normativ vorgenommene Transformation von Leistungen in Punkte mittels Umrechnungsformel im Verhältnis von Schnelligkeitsdisziplinen wie Sprint und Sprung zu Kraftanforderungen (Wurf- und Stoßdisziplinen) und letztlich der Ausdauerfähigkeit (800-m-Lauf) zu einer Ungleichgewichtung der Leistungen in den Einzeldisziplinen führt und damit das Endresultat unterschiedlich prägt (Cox & Dunn, 2002). Dies deckt sich nahezu vollständig mit den Ergebnissen, wie sie für den Zehnkampf der Männer gefunden wurden (Kenny et al., 2005; Linden, 1977; Park & Zatsiorsky, 2011; Westera, 2006).

Aktuell wird die Siebenkampfleistung der Frauen überproportional durch eine hohe Leistungsfähigkeit im 100-m-Hürdenlauf sowie durch die Hoch- und Weitsprungleistung beeinflusst, während die Speerwurfleistung in die Gesamtwettkampfleistung deutlich unterrepräsentiert eingeht und somit das größte trainingsspezifische Entwicklungspotenzial besitzen dürfte. Dem Weitsprung kommt im Siebenkampf der Frauen eine besondere Bedeutung zu, der sich in der hohen Varianzklärung von 48 % zeigt, welche durch die hohe Interkorrelation mit den Disziplinen 100-m-Hürden, Hochsprung und 200-m-Sprint zu erklären ist. Physiologisch lässt sich dies durch die hohe Ausprägung von Schnelligkeit, Schnellkraft und Explosivkraft für diesen Disziplin komplex erklären, was phänotypisch sodann als „Sprint-Sprung-Typ“ durch die Clusteranalyse mit einer Zweifaktorenlösung bestätigt wird. Park und Zatsiorsky (2011) fanden im Vergleich für den Zehnkampf der Männer eine 43,1 %-ige Varianzklärung für das Cluster aus 100-m-Sprint, 400-m-Lauf, 110-m-Hürdenlauf und Weitsprung, welches von den Autoren als „sprinting performance“<sup>6</sup> interpretiert wird (siehe auch Schomaker & Heumann, 2011; Wimmer et al., 2011).

Die höheren Anteile von Maximalkraftanforderungen laden auf dem zweiten Faktor und kommen in den Disziplinen Speerwurf und Kugelstoßen zum Ausdruck.

---

<sup>6</sup> Von Wimmer et al. (2011, S. 12) wurde im Zehnkampf eine Vierfaktorenlösung, bestehend aus den Faktoren „sprint abilities“ (100-m-Lauf, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf), „jumping abilities“ (Weitsprung, Hochsprung und Stabhochsprung), „throwing abilities“ (Kugelstoßen, Speer- und Diskuswurf) und „endurance abilities“ (400-m-Lauf und 1500-m-Lauf), identifiziert (siehe hierzu auch Fan, 2014).

Der abschließende 800-m-Lauf als vermeintlicher Ausdaueranteil im Siebenkampf kann keinem Faktor zugeordnet werden, da dieser wie bereits Letzelter (1985, S. 235) postuliert hat, ... „nicht lang genug, um ausschließlich Ausdauer abzutüpfen“ ist.

Anhand der Zehnkampfergebnisse der Männer wird von Schomaker und Heumann (2011) eine Dreifaktorenlösung mit den Faktoren „speed-and-athletic“ (100-m-Lauf, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf), „strength-and-technique“ (Kugelstoßen, Hochsprung und Diskuswurf) und „endurance“ als Spezialfaktor mit dem abschließenden 1500-m-Lauf identifiziert, was sich somit in weiten Teilen mit den vorliegenden Siebenkampfdaten in Deckung bringen lässt.

Daher wäre zu überlegen, inwieweit einerseits die Dominanz der Schnelligkeits- und Kraftanteile zugunsten der Ausdaueranteile im Sinne einer Gleichgewichtung der motorischen Fähigkeiten Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit geändert werden kann und inwieweit die Binnenstruktur von Disziplinen auch eindeutig die motorischen Grundfähigkeiten abbilden. Führt man diese beiden Gedanken fort, so wäre zu diskutieren, ob beispielsweise die Einführung des Hammerwurfs zugunsten des Speerwurfs als eher kraftdeterminierte Teildisziplin eine höhere Gleichgewichtung der einzelnen Disziplinen innerhalb des Siebenkampfs bedingen würde bzw. inwieweit z. B. ein abschließender 3000-m-Hindernislauf oder 5000-m-Dauerlauf die Ausdauer besser repräsentierte und entsprechend gewichtete als der 800-m-Lauf.

Implizit ist in der Idee des Siebenkampfs der Frauen und des Zehnkampfs der Männer die Spezialistin bzw. der Spezialist der Vielseitigkeit als Leitbild angelegt, was beispielsweise im Ausdruck „Königin der Athletinnen“ bzw. „König der Athleten“ zum Ausdruck kommt. Inwieweit u.a. durch historisch veränderte Rahmenbedingungen, spezifische Selektions- und Fördermechanismen, gerätebedingte Neuerungen und auch durch die 30 Jahre alte Transformationsregel selbst eher der echte Spezialist aktuell höhere Leistungsfähigkeit und somit Siegeswahrscheinlichkeit erreicht, wird kontrovers diskutiert (Kenny et al., 2005; Van Damme et al., 2002). Durch die Clusteranalyse konnte für das vorliegende Untersuchungssample der Teilnehmerinnen der Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen gezeigt werden, dass die Spezialisten einerseits im Mittel ca. 170 Punkte mehr erreichen als die Generalisten und andererseits auch ca. 12 % häufiger in der Weltspitze vertreten sind, was frühe Selektionsmechanismen aufgrund guter Sprint-Sprung-Leistungen erklären würde.

Darüber hinaus kommt zum Tragen, dass die Typen Generalist vs. Spezialist relativ zeitstabil ausgeprägt sind und die eingeschlagene Typologie über die Wettkämpfe hinweg konsistent vorgefunden wird.

Betrachtet man Athletentypologien länderspezifisch in den drei Kategorien „Schnelligkeit“, „Kraft“ und „Ausdauer“, so kann insgesamt konstatiert werden, dass Athletinnen aus Großbritannien relativ mehr Punkte in den schnellkeitsdeterminierten Disziplinen erzielen, während deutsche und ukrainische Athletinnen Stärken in den Kraftdisziplinen und russische und polnische Siebenkämpferinnen in den Ausdauerbereichen zeigen, wobei der Ausdauerbereich allgemein einen eher geringen Einfluss auf die Gesamtleistung hat.

Über alle sieben Disziplinen manifestiert sich eine hohe individuelle und intraindividuelle Variabilität des kalendarischen Alters der Athletinnen (für das biologische und trainingsspezifische Alter können anhand der Daten keine Aussagen getroffen werden), welche zu Beginn und am Ende der Leistungssportkarriere die größten Ausprägungen hat (für den Zehnkampf siehe Wimmer et al., 2011).

In Analogie zu den Ergebnissen, wie sie für den Zehnkampf der Männer gefunden wurden (Geese, 2004; Westera, 2006), lässt sich anhand der vorliegenden Erkenntnisse für den Siebenkampf die Notwendigkeit einer strukturellen Neubewertung der Punkteformel und/oder eine Ausweitung der Disziplinen (Zehnkampf oder Zwölfkampf) ableiten, da die nunmehr 30 Jahre gültige Transformation der Leistungen in den Einzeldisziplinen zu Verwerfungen im Gesamtergebnis führt (Trkal, 2003), sofern man Ausgeglichenheit und annähernd gleiches Gewicht der Disziplinen anstrebt. So wäre bspw. im Sinne der Gleichberechtigung für Frauenmehrkämpfe der Zehnkampf statt des Siebenkampfes als offizielle Disziplin vorstellbar (Marek, 2012).

Auf nationaler und internationaler Ebene wäre eine Diskussion zu führen, inwieweit im Mehrkampf der Leichtathletik eine mögliche Gleichgewichtung von Teildisziplinen durch neue Konstanten zielführend ist und inwieweit eventuell neue Disziplinen mit höherem Zusammenhang zur zugrunde liegenden motorischen Grundfähigkeit sinnvoll integriert werden können. So wären beispielsweise längere Ausdauerstrecken wie 5000 m flach oder 3000 m Hindernis potenziell besser geeignet, die Ausdauer im Sieben- oder Zehnkampf adäquat zu gewichten.

## Literatur

- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brüderl, J. (2010). Kausalanalyse mit Paneldaten. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 963-994). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Cox, T. F., & Dunn, R. T. (2002). An analysis of decathlon data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 51 (2), 179-187.
- Dawkins, B. P., Andrae, P. M., & O'Conner, P. M. (1994). Analysis of olympic heptathlon data. *Journal of the American Statistical Association*, 89 (427), 1100-1106.
- Fan, Y. (2014). Decathlon each interaction regression factors analysis based on GRA and FAM. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (2), 261-268.
- Fanshawe, T. (2012). Seven into two: Principal components analysis and the olympic heptathlon. *Significance*, 9 (2), 40-42.
- Geese, R. (2004). Ist eine Revision der internationalen Mehrkampfwertung überfällig? *Leistungssport*, 34 (5), 9-12.
- Greene, W. H. (2008). *Econometric Analysis*. New Jersey: Pearson Education.
- IAAF. (2001). Scoring tables for combined events. 18.08.2014, from <http://www.iaaf.org/home>.
- Karlis, D., Saporta, G., & Spinakis, A. (2003). A simple rule for the selection of principal components. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 32 (3), 643-666.
- Kenny, I. C., Sprevak, D., Sharp, C., & Boreham, C. (2005). Determinants of success in the olympic decathlon: some statistical evidence. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 1 (1), Article 5.
- Kunz, H. (1984). Leistungsbestimmende Faktoren und Bewegungsverwandtschaften im Zehnkampf. *Leistungssport* 14 (5), 19-25
- Letzelter, M. (1985). Zur Struktur des Siebenkampfes: Einflusshöhe und interne Verwandtschaft der Einzelübungen. In N. Müller, D. Augustin & B. Hunger (Hrsg.), *Frauenleichtathletik* (S. 226-238). Niederhauen/Taunus: Schors-Verlag.
- Linden, M. (1977). Factor analytical study of olympic decathlon data. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48 (3), 562-568.
- Marek, C. (2012). Zehnkampf statt Siebenkampf: Mehr Gleichberechtigung für die Damen. 17.11.2014 from [dpa/sportal.de](http://dpa/sportal.de).

- Park, J., & Zatsiorsky, V. M. (2011). Multivariate statistical analysis of decathlon performance results in olympic athletes (1988-2008). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5 (5), 985-988.
- Pitsch, W., Emrich, E., Fröhlich, M., & Flatau, J. (2006). Zur Legitimation von Normen im Sport am Beispiel des Mehrkampfs in der Leichtathletik - Rechtsphilosophische und rechtssoziologische Positionen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 47 (2), 80-92.
- Schomaker, M., & Heumann, C. (2011). Model averaging in factor analysis: an analysis of olympic decathlon data. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 7 (1), Article 4.
- Trkal, V. (2003). The development of combined events scoring tables and implications for the training of decathletes. *New Studies in Athletics*, 18 (4), 7-12.
- Van Damme, R., Wilson, R. S., Vanhooydonck, B., & Aerts, P. (2002). Performance constraints in decathletes. *Nature*, 415 (14 February), 755-756.
- Verbeek, M. (2008). *A guide to modern econometrics*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Vindusková, J. (2003). Training women for the heptathlon – A brief outline. *New Studies in Athletics*, 18 (2), 27-45.
- Westera, W. (2006). Decathlon, towards a balanced and sustainable performance assessment method. *New Studies in Athletics, IAAF*, 21 (1), 39-51.
- Westera, W. (2007). Under attack: the heptathlon scoring method. 1.11.2014 from <http://www.athleticscoaching.ca>.
- Wiedenbeck, M., & Züll, C. (2010). Clusteranalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 525-552). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Wimmer, V., Fenske, N., Pyrka, P., & Fahrmeir, L. (2011). Exploring competition performance in decathlon using semi-parametric latent variable models. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 7 (4), Article 6.
- Wolff, H.-G., & Bacher, J. (2010). Hauptkomponentenanalyse und explorative Faktorenanalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 333-365). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Woolf, A., Ansley, L., & Bidgood, P. (2007). Grouping of decathlon disciplines. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 3 (4), Article 5.



# Michael Fröhlich, Freya Gassmann & Eike Emrich

## Zehn Einzeldisziplinen = Zehnkampf? Eine erweiterte Replikationsstudie zum Einfluss der Einzeldisziplinen im Zehnkampf<sup>1</sup>

### Summary

Olympic decathlon represents the sum of individual performances in ten disciplines, implicitly and explicitly assuming an equal influence each of these disciplines depending on the performance. The normative transformation of the performance in the ten disciplines from seconds, centimeters, and meters into points, however, shows that the individual disciplines do not equally affect the overall competition result. The currently valid conversion formula for the run, jump, and throw disciplines prefers the sprint and jump disciplines, while penalizing the athletes performing in the 1500-m run, javelin throw, discus, and shot put disciplines. Furthermore, 55 % of the variance of the sum of points can be attributed to the performances in the disciplines 100-m and 400-m runs, long jump, and 110-m hurdles. At the discipline level, a high degree of individual and intra-individual variability concerning athletes' age and competitive performance has been observed. In order to equal weight the effects of the single disciplines in decathlon, the formula to calculate points should be reevaluated, even though a normative specification of the transformation rule obviously can solve the equal weight problem only temporary.

### Zusammenfassung

Die sportliche Leistung im Olympischen Zehnkampf setzt sich additiv aus den Leistungen in den Einzeldisziplinen zusammen. Dabei sollten die Einzeldisziplinen leistungsabhängig in gleichem Maß das Gesamtergebnis bestimmen. Die Transformation der erbrachten Leistungen der zehn Einzeldisziplinen von Sekunden, Zentimetern und Metern in Punkte zeigt jedoch, dass die Disziplinen nicht gleichgewichtig das Gesamtwettkampfergebnis determinieren. Die aktuell gültige Umrechnungsformel für die verschiedenen Lauf-, Sprung- und Wurfdisziplinen misst Leistungen in Sprint- und Sprungdisziplinen überproportional Punkte zu, verglichen mit Leistungen im 1500-m-Lauf, Speerwurf, Diskuswurf und Kugelstoßen. Anhand der Leistungen in den Disziplinen

---

<sup>1</sup> Der Beitrag ist eine erweiterte und ergänzte Fassung einer vorherigen Publikation, welche in der Zeitschrift Leistungssport erscheinen wird.

100-m-Lauf, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf können insgesamt 55 % der Varianz der Gesamtpunkte erklärt werden. Um der Forderung nach möglichst gleichem Einfluss der Einzeldisziplinen im Zehnkampf gerecht zu werden, sollte eine Neubewertung der Punkteformel vorgenommen werden. Allerdings kann eine Setzung der Transformationsregel die Probleme einer gleichgewichtigen Berücksichtigung von Leistungen nicht dauerhaft lösen. Zudem bevorteilen die bisherigen Regeln Athleten mit hohen Leistungen in jungem Alter im 100-m-Lauf, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden-Lauf sowie im Weitsprung im Sinne eines Anfangsvorteils.

## Einleitung und theoretische Verortung

Zehnkampf<sup>2</sup> wird anlässlich der Olympischen Spiele seit 1912 als additiver Wettbewerb von Einzeldisziplinen an zwei aufeinander folgenden Tagen durchgeführt, wobei am ersten der beiden Wettkampftage der 100-m-Lauf, Weitsprung, Kugelstoßen, Hochsprung und der 400-m-Lauf zu absolvieren sind. Am zweiten Wettkampftag finden der 110-m-Hürdenlauf, Diskuswurf, Stabhochsprung, Speerwerfen und der abschließende 1500-m-Lauf statt.

Üblicherweise umfasst das Starterfeld eines internationalen Zehnkampfbewerbs zwischen 20 und 30 Athleten, die sich zuvor über eine bestimmte Normerfüllung qualifiziert haben. Sieger ist, wer nach dem abschließenden 1500-m-Lauf die höchste Gesamtpunktzahl erreicht hat. Dabei gilt unter der Voraussetzung der Ausgeglichenheit implizit und explizit die relative Gleichgewichtigkeit der einzelnen Disziplinen, um die Vielseitigkeit der Athleten zu dokumentieren.

Die Punktezuteilung orientiert sich in jeder Einzeldisziplin an den jeweiligen Maximalleistungen der Spezialisten und wird mittels einer Umrechnungsformel für Lauf- sowie Sprung- und Wurfdisziplinen bestimmt.

---

<sup>2</sup> Zum historischen Entstehen des Mehrkampfs sowie zum Wandel des Mehrkampfs in der Leichtathletik siehe Bernett (1987).

Die seit nunmehr 1985<sup>3</sup> laut International Association of Athletics Federations (IAAF) (Zugriff am 18.06.2014 unter <http://www.iaaf.org>) geltenden Berechnungsformeln sind:

[1] Laufwettbewerbe =  $P = A \cdot (B - T)^C$  [T = Zeit in Sek.]

[2] Sprungwettbewerbe =  $P = A \cdot (M - B)^C$  [M = Messergebnis in cm]

[3] Wurfwettbewerbe =  $P = A \cdot (D - B)^C$  [D = Distanz in m]

Für die einzelnen Formeln [1-3] ergibt sich eine Potenzfunktion mit den Konstanten A, B und C. Diese Transformationsregeln mit ihren jeweiligen ausgewiesenen Konstanten werden bei allen Mehrkämpfen der Frauen- und Männerklassen sowie bei Drei-, Fünf-, Sieben- und Zehnkämpfen sowohl im Freien als auch in der Halle angewendet, allerdings mit jeweils anderen Konstanten für die Punkteermittlung in Frauenwettbewerben.

Resultiert aus der Berechnung des Punktwertes innerhalb einer Disziplin ein un rundes Ergebnis, bspw. 843,447 Punkte, wird prinzipiell auf 843 Punkte abgerundet, weiterhin werden nur ganze Zentimeter in Punkte verrechnet, was schon zu Verzerrungen und Rangplatzänderungen führen kann.

Die disziplinspezifischen Konstanten unterliegen dabei einerseits normativen Setzungen und andererseits sollen leicht progressive Anstiege zum Tragen kommen (Pitsch, Fröhlich & Emrich, 2005). Die Exponenten für die Laufwettbewerbe liegen in einem Wertebereich von 1,81 für den 100-m-Lauf bis 1,92 für den 110-m-Hürdenlauf (1,81 für den 400-m-Lauf und 1,85 für den 1500-m-Lauf), während die Sprungdisziplinen einen Exponenten von etwa 1,4 haben (Weitsprung 1,40, Hochsprung 1,42 und Stabhochsprung 1,35) und die geringsten Werte im Bereich Wurf mit ca. 1,1 zu finden sind (Kugelstoßen 1,05, Diskuswurf 1,10 und Speerwurf 1,08) (IAAF, 2001; Ludwig, 2008).

---

<sup>3</sup> Die Zehnkampfregeln wurden seit der offiziellen Wertung bei den Olympischen Spielen 1912 bisher fünfmal den jeweils aktuellen Rahmenbedingungen angepasst, wobei Geese (2004) bereits eine erneute Änderung der normativen Bewertungsregeln diskutierte. 1912 wurde für die Leistungsbewertung eine Ober- und eine Untergrenze festgelegt und jeder Leistung innerhalb dieser Grenze ein Punktwert zwischen 1000 und 1 Punkt zugeordnet. 1920 erfolgte durch die IAAF die erste Regelanpassung. Die zweite und dritte Modifikation fand 1922 und 1950 statt. 1964 und 1985 folgten weitere Aktualisierungen (Pitsch et al., 2006, S. 4). Die derzeit gültige Punktwertung ist seit dem 1. April 1985 in Kraft und wurde von dem Tschechen Viktor Trakl entwickelt. Grundlage hierfür waren die Weltrekorde in den zehn einzelnen Disziplinen 1984, die Mittelwerte der 30 weltbesten Spezialisten 1984 und die Mittelwerte der 100 weltbesten Zehnkämpfer 1984 (Pitsch et al., 2006, S. 4).

Das generelle Problem der Bestimmung der Gesamtpunkteleistung im Zehnkampf besteht darin, dass die Bestimmung der Einzelleistung in der Disziplin normativen Vorannahmen unterliegt und keiner linearen Zuordnung von gemessener Leistungsfähigkeit und erzielten Punkten folgt (Cox & Dunn, 2002; Pitsch et al., 2006). Somit wird die geforderte Gleichgewichtung der Einzeldisziplinen durch normative Wertungen beeinflusst (Westera, 2006).

In diesem Zusammenhang wurde bereits von Kenny et al. (2005) sowie Westera (2006) die Frage gestellt, inwieweit die Ausbalanciertheit der einzelnen Leistungen in den Disziplinen noch adäquat abgebildet ist und welchen anteiligen Beitrag Einzeldisziplinen damit für den Gesamtsieg leisten.

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen war mit Hilfe aggregierter Daten einerseits empirisch zu prüfen, inwieweit überproportional hohe Einzelleistungen in bestimmten Einzeldisziplinen in einem signifikanten Zusammenhang mit einer hohen Gesamtpunktzahl stehen. Andererseits sollte in Analogie zu den Studien von Schomaker und Heumann (2011), Wimmer et al. (2011) sowie Woolf et al. (2007) analysiert werden, ob bestimmte Disziplingruppen<sup>4</sup> die Gesamtpunktzahl in überzufälligem Ausmaß determinieren.

Des Weiteren sollte in einem methodologisch individualistischen Zugang untersucht werden, ob bzw. inwieweit individuelle und intraindividuelle Verschiebungen von Punkteleistungen in den Einzeldisziplinen das Gesamtergebn beeinflussen.

Theoretisch sind dabei grundsätzlich zwei Mechanismen denkbar, welche zu einer ungleichen Verteilung<sup>5</sup> führen können. Da die Leistungen in den zehn Disziplinen des Zehnkampfs nicht wie beispielsweise im Triathlon als Summe der Zeiten von Schwimmen, Radfahren und Laufen aufaddiert werden können (Fröhlich, Balter, Emrich & Pieter, 2014; Fröhlich, Balter, Pieter, Schwarz &

---

<sup>4</sup> Im Gegensatz zu den Studien von Schomaker und Heumann (2011); Wimmer et al. (2011); Woolf et al. (2007) beziehen sich die Ergebnisse einerseits auf die Daten der ersten 10 der Weltmeisterschaften von 1987 bis 2013 und der Olympischen Spiele von 1988 bis 2012, also eine sehr hochleistungshomogene Stichprobe, und gehen andererseits über reine cluster- bzw. faktorenanalytische Verfahren zu Gruppierungseffekten hinaus.

<sup>5</sup> Ungleichheitsverteilungen der Disziplinen wurden bereits von Westera (2006) bei den 100 besten Zehnkämpfern aller Zeiten untersucht. Die vorliegende erweiterte Replikationsstudie möchte einerseits bei einem anderen Sample (10 Erstplatzierte bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen) sowie anhand weitergehender Untersuchungen und neuer Daten zusätzliche Erkenntnisse gewinnen. Erste Untersuchungen wurden bereits von Linden (1977) für 160 Teilnehmern von acht Olympischen Spielen berichtet.

Emrich, 2013), müssen die Einzelleistungen der Disziplinen zunächst in Punkte transformiert werden, welche dann zu einer Gesamtpunktzahl summiert werden. Zur Transformation der erzielten Leistungen werden Konsensus-Verrechnungsfaktoren (IAAF, 2001, S. 24) genutzt, welche häufig diskutiert wurden (Geese, 2004; Unwin, 2007). Möglicherweise entstehen dadurch Ungleichheiten und einzelne Disziplinen werden durch die Verrechnungsfaktoren (Konstanten) benachteiligt oder bevorzugt, was durch die IAAF Punktetabelle prinzipiell vermieden werden sollte (Unwin, 2007; Westera, 2006). Ob ein Mechanismus dieser Art vorliegt, wird durch eine Standardisierung der Leistung und bivariate Regressionen mit den Teilpunkten überprüft. Für die folgenden Überlegungen gehen wir davon aus, dass die Ermittlung der erbrachten Leistung keinen verzerrenden Faktoren unterliegt, da die vorgeschriebene Messgenauigkeit für die Bewertung der Einzeldisziplinen hinreichend gegeben ist.

Ein zweiter denkbarer Mechanismus, der dazu führen könnte, dass einzelne Athleten im Vorteil sind, wäre die Auswahl der Teildisziplinen selbst. Die Vermutung lautet, dass allein durch die Zusammensetzung der Disziplinen oder Disziplingruppen solche Athleten, die besonders gute Sprinter oder besonders gute Werfer sind, einen Vorteil gegenüber jenen Athleten haben, die ihre Stärken im Ausdauersport haben (Van Damme et al., 2002; Westera, 2006).

Daher wird im Weiteren der Einfluss der Punkte in den Teildisziplinen auf die Gesamtpunkte untersucht und aufbauend die Wirkung von Trainingseinflüssen auf die Leistungsentwicklung diskutiert (Van Damme et al., 2002).

## Methodik

### Stichprobe und Erhebungsverfahren

Zur Datenanalyse wurden die Einzelleistungen der jeweils 10 Erstplatzierten der Leichtathletik Weltmeisterschaften von 1987 bis 2013 sowie der Olympischen Spiele von 1988 bis 2012 verwendet, da sich die aktuelle Punkteformel auf den Zeitraum ab 1985 bezieht. Von den einzelnen Athleten wurden Name, Nationalität, Wettkampffahr, erzielte Leistungen in Sekunden, Zentimetern und Metern und die berechneten Punkte für die jeweilige Disziplin sowie die Endpunktzahl erhoben. Als primäre Datengrundlage dienten die publizierten Zehnkampfergebnisse in der Zeitschrift Leichtathletik. Darüber hinaus wurden neben den offiziellen IAAF Dokumenten Internetrecherchen zu den verschiedenen Wettbewerben durchgeführt. Eine Datenkonsistenzprüfung anhand der erzielten Leistungen ergab, dass bei insgesamt 20 Athleten fehlerhafte Angaben in den unterschiedlichen Dokumenten vorzufinden waren, welche sodann anhand einer weiteren Internetrecherche bereinigt werden konnten. Die Fehler waren zum größten Teil klassische Dateneingabefehler in den veröffentlichten Tabellen. Teilweise wurde für einzelne oder mehrere Leistungen des Athleten die Leistungen des Vor- oder Nachplatzierten berichtet, hier lag also ein Vertauschen der Zeilen vor. Stellenweise kam es auch zu Spaltenfehlern, es wurde statt der Zeit für den 110-m-Hürdenlauf die Weite des Kugelstoßen (vice versa) oder für die Weite des Diskuswurfes die Zeit für den 400-m-Lauf (vice versa) berichtet. Neben Zahlendrehern, vor allem in den Nachkommazahlen, zeigten sich ebenfalls unsystematische Fehler. Insgesamt konnten so nach Datenkonsistenzprüfung für alle relevanten Wettkämpfe die entsprechenden Ergebnisse in die Datenanalyse aufgenommen werden. Da 1989 keine Leichtathletik Weltmeisterschaft im Freien stattfand (1989 IAAF World Indoor Championship in Budapest ohne Zehnkampf der Männer) und somit insgesamt 13 Weltmeisterschaften und sieben Olympische Spiele in die Auswertung eingingen, lag die Stichprobengröße bei 200 Athleten.

## Datenanalyse

Neben deskriptiven Darstellungsverfahren wie Mittelwerten und Standardabweichungen, wurden Korrelationen, bi- und multivariate OLS-Regressionsmodelle sowie Panel-Daten-Regressionen zur Identifikation möglicher Zusammenhänge berechnet. Die Datenanalyse erfolgte mit Stata 12. Da die Einzelleistungen in ihrer jeweiligen Einheit gemessen werden, d.h. in Zeiten, Weiten bzw. Höhen und somit nicht direkt miteinander vergleichbar sind, war es zunächst notwendig, die Leistungen derart zu transformieren, dass ein Vergleich zwischen den Ausprägungen möglich wird. Daher wurden die Daten standardisiert bzw. z-transformiert (Bortz & Schuster, 2010), um die Leistungen über alle Einzeldisziplinen vergleichen zu können. Dabei tauchen einige methodische Probleme auf.

Zunächst ist anzumerken, dass die Transformation aufgrund der Standardisierung zwangsläufig von der Zusammensetzung der Leistungen in den Daten beeinflusst wird.

Um den Einfluss der standardisierten Leistung auf die erreichten Punkte zu analysieren, wurden bivariate OLS-Regressionen geschätzt und daraus marginale Effekte berechnet, welche auch graphisch dargestellt wurden (Greene, 2008). Für die Analyse des Einflusses der Einzelpunkte auf die Gesamtpunktzahl wurden bi- und multivariate OLS-Regressionen und Korrelationen berechnet.

Um schließlich den individuellen Effekt des vorschreitenden Alters der Athleten auf die Zusammensetzung der erreichten Punkte zu untersuchen, wurden sowohl Fixed-Effects-Modelle als auch Between-Regressionen geschätzt (Greene, 2008; Verbeek, 2008). Durch Fixed-Effects-Regressionen können intraindividuelle Unterschiede sichtbar gemacht werden, die zeitliche Abfolge von Veränderungen wird feststellbar und das Problem der unbeobachteten Heterogenität wird zumindest für zeitkonstante Einflussfaktoren gelöst (Brüderl, 2010). Das Signifikanzniveau wurde bei allen Testverfahren einheitlich auf 5 % festgelegt.

## Ergebnisse

### Zusammenhang von erbrachter Leistung und Teilpunkten in den einzelnen Disziplinen

Anhand bivariater Regressionsberechnungen der standardisierten Leistungen zeigte sich, dass Athleten, welche in den Disziplinen Stabhochsprung, Speerwurf, Weitsprung, Hochsprung und 1500-m-Lauf um eine Standardabweichung besser sind als der Durchschnitt, relativ betrachtet den höchsten Punktezuwachs erzielen (Steigungskoeffizienten).

Tab. 1. Ergebnisse der einzelnen Regressionen der standardisierten Leistungen auf die jeweiligen Teilpunkte (n = 200)

Einzeldisziplinen	Steigungs- koeffizient	Konstante	Marginaler Effekt		
			(+1 STD)	(+2 STD)	(+3 STD)
100-m-Lauf	54,4***	887,0***	941,4	995,8	1050,2
Weitsprung	65,2***	918,5***	983,7	1048,9	1114,1
Kugelstoßen	56,2***	788,6***	844,8	901,0	957,2
Hochsprung	63,5***	834,6***	898,1	961,5	1025,0
400-m-Lauf	49,7***	876,5***	926,2	975,9	1025,6
110-m-Hürden	57,0***	921,3***	978,3	1035,3	1092,3
Diskus	62,4***	782,5***	844,9	907,3	969,7
Stabhochsprung	81,3***	875,7***	957,0	1038,2	1119,5
Speerwurf	77,9***	771,5***	849,5	927,4	1005,4
1500-m-Lauf	62,6***	713,5***	776,1	838,7	901,2
*** $p < 0,001$					

Auf den ersten Blick könnte man anhand dieser Ergebnisse schließen, dass Athleten, die in diesen leichtathletischen Disziplinen besonders hohe Leistungen zeigen, durch eine hohe Punktevergabe belohnt werden.

Wie jedoch aus Abbildung 1 zu erkennen ist, liegen die Punkte, die im Mittel in den Disziplinen 1500-m-Lauf, Speerwurf, Diskus und Kugelstoßen zu erreichen sind, stark unter den erzielten Punkten der Disziplinen 110-m-Hürdenlauf, Weitsprung, Stabhochsprung, 100-m-Sprint und 400-m-Lauf. Das bedeutet, dass ein Athlet, der auf den 1500 m eine Topleistung erbringt, welche

beispielsweise zwei Standardabweichungen über der mittleren Leistung liegt, noch lange nicht die gleiche Punkteanzahl erhält, wie ein Athlet, der eine durchschnittliche Zeit im 100-m-Lauf erreicht. Von der durchschnittlichen Leistung im Weitsprung wäre er sogar noch weiter entfernt. Um die entsprechende Punktezahl über 1500 m erreichen zu können, müsste der Athlet mehr als drei Standardabweichungen schneller auf 1500 m laufen als der Durchschnitt der Athleten.

Die unterschiedlichen Disziplinen werden somit, zumindest bezogen auf die teilnehmenden Zehnkampf-Athleten an Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen, nicht gleich gewichtet und entsprechend in Punkten bewertet. Zudem kann vermutet werden, dass die Selektionsbedingungen, die schnelle Läufer bevorzugen, dazu führen, dass mehr oder minder bei allen hoch ausgeprägten Laufleistungen bereits kleinere Unterschiede hohen Einfluss haben.

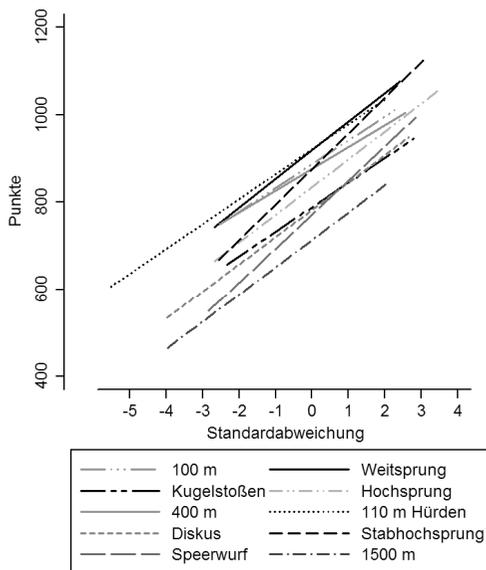


Abb. 1. Zusammenhang zwischen standardisierter Leistung und den Einzelpunkten der jeweiligen Disziplin

## Zusammenhang zwischen Teilpunkten und Gesamtpunkten

Im Weiteren soll überprüft werden, ob bestimmte Sportlertypen durch die disziplinäre Zusammensetzung des Zehnkampfs im Vorteil sind (Van Damme et al., 2002). Der Erfolg in vielen Disziplinen durch einen hohen Anteil an schnellen Muskelfasern determiniert (Kunz, 1984) und somit hätten Athleten mit einem hohem Anteil an schnellen Muskelfasern per se einen Wettbewerbsvorteil, während nur der 1500-m-Lauf Athleten mit einer höheren Anzahl an langsamen Muskelfasern und höherer aerober Kapazität begünstigen würde. Zunächst soll daher der Zusammenhang der jeweiligen disziplinären Teilpunkte mit den Gesamtpunkten untersucht werden.

Bis auf die Leistung im Hochsprung und die Leistung im 1500-m-Lauf haben alle Teildisziplinen einen hoch signifikanten Einfluss auf das Endergebnis mit variierender Erklärungskraft, welche mit der unterschiedlichen Korrelation der Punkte in Einzeldisziplinen untereinander zusammenhängt. Der stärkste Einfluss ergibt sich für die Teildisziplinen 400-m-Lauf, 110-m-Hürden, 100-m-Sprint und Weitsprung (vgl. Park & Zatsiorsky, 2011). Durch die jeweiligen Einzeldisziplinen können rund 28 % bis 35 % in der Variation der Gesamtpunkte erklärt werden. Die hohe Erklärungskraft der Einzeldisziplinen 400-m-Lauf, 110-m-Hürden, 100-m-Sprint und Weitsprung legt nahe, dass die Punkte in diesen Disziplinen mit den in anderen Disziplinen erzielten Punkten korrelieren (Park & Zatsiorsky, 2011; Woolf et al., 2007).

Tab. 2. Ergebnisse der einzelnen linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte (n = 200)<sup>6</sup>

Einzeldisziplinen	Steigungskoeffizient	Konstante(t-Statistik)	R <sup>2</sup>
100-m-Lauf	2,129***	6481,1***	0,287
Weitsprung	1,944***	6584,4***	0,343
Kugelstoßen	1,240***	7391,7***	0,104
Hochsprung	0,612*	7858,6***	0,032
400-m-Lauf	2,273***	6377,6***	0,273
110-m-Hürden	1,999***	6528,0***	0,278
Diskus	1,162***	7460,7***	0,112
Stabhochsprung	0,772***	7693,9***	0,084
Speerwurf	0,829***	7730,0***	0,089
1500-m-lauf	-0,232	8535,2***	0,005
* $p < 0,05$ , *** $p < 0,001$			

In Tabelle 3 sind die Korrelationen der Punkte aus den Einzeldisziplinen mit den Gesamtpunkten abgebildet. Grundsätzlich könnte man davon ausgehen, dass für jede Einzeldisziplin ein signifikanter Zusammenhang mit den Gesamtpunkten zu erkennen ist, da der Logik folgend jede Einzeldisziplin das Wettkampfergebnis mit beeinflusst. Empirisch kann dies jedoch nicht für alle Einzeldisziplinen gezeigt werden (Van Damme et al., 2002). So haben die erreichten Punkte im 1500-m-Lauf keinen signifikanten Einfluss auf das Endergebnis, sind aber unabhängig davon unabdingbare Voraussetzung, um einen Erfolg zu erringen und in die Wertung zu gelangen. Für den Hochsprung, den Stabhochsprung und den Speerwurf ergeben sich signifikante, aber eher geringe Steigungskoeffizienten (vgl. Tabelle 2).

---

<sup>6</sup> Um für den Umstand zu kontrollieren, dass die Beobachtungen der einzelnen Wettbewerbe nicht unabhängig voneinander sind, da beispielsweise zwei Athleten bei den Olympischen Spielen in Athen nahezu identische Wetterbedingungen vorfanden, die beispielsweise von den Wetterbedingungen in Berlin bei den Weltmeisterschaften 2009 different sind, wurden robuste Standardfehler berechnet, indem Cluster für jeden Wettbewerb erstellt wurden.

Zwischen den Punkten aus den Einzeldisziplinen lassen sich ebenfalls Korrelationen finden. Die Punkte aus Weitsprung, 100-m-Sprint und 400-m-Lauf sowie 110-m-Hürden korrelieren alle mittel bis hoch untereinander. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass ein bestimmter Typ von Athlet in diesen Einzeldisziplinen gleichermaßen eine gute Leistung erreicht.

Aus den Daten lässt sich ebenfalls ein sogenannter „Kraft-Wurf-Typ“ erkennen. Die erreichten Punkte im Kugelstoßen und dem Diskuswerfen korrelieren ebenfalls miteinander.

Ansonsten zeigten sich keine signifikanten positiven Korrelationen zwischen den Teildisziplinen, die über 0,3 liegen. Zwischen den erzielten Punkten im 1500-m-Lauf und den erreichten Punkten in den Teildisziplinen 100-m-Sprint, Kugelstoßen und Diskus ergeben sich jedoch signifikante negative Korrelationen.

Im Folgenden soll daher überprüft werden, inwieweit sich im multivariaten Modell ebenfalls ein „Sprint-Weitsprung-Typ“ und ein „Diskuswurf-Kugelstoß-Typus“ finden lassen (Kenny et al., 2005; Woolf et al., 2007).

Tab. 3. Korrelationsmatrix der Teilpunkte der Disziplinen und der Gesamtpunkte (Signifikanztest untere Zeile)

	GP	100	WS	KS	HS	400	110	DW	SH	SW	1500
GP	1,00										
100	0,54	1,00									
	0,00										
WS	0,59	0,47	1,00								
	0,00	0,00									
KS	0,32	0,11	-0,04	1,00							
	0,00	0,13	0,56								
HS	0,18	-0,15	0,11	0,12	1,00						
	0,01	0,03	0,11	0,08							
400	0,52	0,58	0,35	-0,11	-0,14	1,00					
	0,00	0,00	0,00	0,13	0,05						
110	0,53	0,47	0,27	-0,01	-0,15	0,36	1,00				
	0,00	0,00	0,00	0,86	0,04	0,00					
DW	0,33	0,07	-0,05	0,65	0,09	-0,10	0,01	1,00			
	0,00	0,31	0,46	0,00	0,21	0,16	0,91				
SH	0,29	-0,01	0,07	-0,22	-0,19	0,10	0,16	-0,13	1,00		
	0,00	0,86	0,33	0,00	0,01	0,14	0,02	0,06			
SW	0,30	-0,08	0,01	0,12	-0,09	-0,09	-0,01	0,05	-0,01	1,00	
	0,00	0,27	0,94	0,08	0,19	0,22	0,89	0,45	0,91		
1500	-0,07	-0,30	-0,08	-0,38	0,03	0,12	-0,11	-0,34	-0,06	-0,13	1,00
	0,35	0,00	0,28	0,00	0,71	0,08	0,12	0,00	0,42	0,06	

GP = Gesamtpunkte, 100 = 100-m-Lauf, WS = Weitsprung, KS = Kugelstoßen, HS = Hochsprung, 400 = 400-m-Lauf, 110 = 110-m-Hürdenlauf, DW = Diskuswurf, SH = Stabhochsprung, SW = Speerwurf, 1500 = 1500-m-Lauf

Modell 1 mit den Disziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf hat im Vergleich mit den anderen Modellen in der multivariaten Regression den stärksten Einfluss auf die Gesamtpunktzahl und kann die Varianz in den Gesamtpunkten zu 55 % erklären (vgl. Park & Zatsiorsky, 2011).

Modell 2 enthält die beiden Wurfdisziplinen Kugelstoßen und Diskuswerfen und das  $R^2$  beträgt 13 %.

Die Modelle 3 bis 6 enthalten nur jeweils eine Teildisziplin, da sich zwischen diesen keine nennenswerten Korrelationen zeigten. Unter diesen kann durch den Speerwurf 9 % Varianz erklärt werden, für den Stabhochsprung sind es 8 %, für den Hochsprung rund 3 % und für den 1500-m-Lauf lediglich 0,5 %.

Die Varianzaufklärung der Modelle 1 und 2 kann jedoch nicht ohne weiteres mit der des Modells 3 bis 6 verglichen werden, da die Modelle unterschiedlich viele Variablen enthalten.

Um diesen Umstand zu kontrollieren, wurde das jeweilige  $R^2$  durch die Anzahl der unabhängigen Variablen dividiert. Hier zeigte sich, dass das Modell 1 auch relativ gesehen zur Anzahl der enthaltenen Variablen die größte Erklärungskraft besitzt, danach folgt der Speerwurf vor dem Stabhochsprung und Modell 2 mit den beiden Wurfdisziplinen (Schomaker & Heumann, 2011). Nahezu identische Ergebnisse wurden von Park und Zatsiorsky (2011) sowie Wimmer et al. (2011) für ein Modell 1 mit den zentralen Faktoren 100-m-Lauf, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf sowie für ein Modell 2 mit den Faktoren Weit- und Hochsprung berichtet.

Tab. 4. Ergebnisse der einzelnen multivariaten linearen Regressionen der gerundeten Einzel-  
punkte auf die Gesamtpunkte (n = 200)<sup>7</sup>

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5	Modell 6
100-m-Sprint	0,296 (1,47)					
Weitsprung	1,282*** (5,60)					
400-m-Lauf	1,027** (3,50)					
110-m-Hürden	1,142*** (6,75)					
Kugelstoßen		0,699+ (1,98)				
Diskus		0,756* (2,32)				
Hochsprung			0,612* (2,37)			
Stabhochsprung				0,772*** (4,04)		
Speerwurf					0,829*** (6,44)	
1500-m-Lauf						-0,232 (-1,16)
Konstante	4978,0*** (22,15)	7227,5*** (29,33)	7858,6*** (35,92)	7693,9*** (46,29)	7730,0*** (78,40)	8535,2*** (61,28)
N	200	200	200	200	200	200
R <sup>2</sup>	0,548	0,131	0,032	0,084	0,089	0,005
Adjusted R <sup>2</sup>	0,539	0,123	0,027	0,079	0,085	-0,001
R <sup>2</sup> / Anzahl der UV	0,137	0,066	0,032	0,084	0,089	0,005
t Statistik in Klammern; + $p < 0,10$ , * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$ , *** $p < 0,001$						

<sup>7</sup> Auch hier wurde für den Umstand der nicht-unabhängigen Beobachtungen kontrolliert und robuste Standardfehler berechnet.

## Individueller Einfluss des Alters auf die Leistung

Im Weiteren wird geprüft, inwieweit das Alter der Athleten einen Einfluss auf die Leistung in den einzelnen Disziplinen hat bzw. inwieweit sich im Altersverlauf Veränderungen der Disziplinleistungen ergeben. Dazu wurde die Leistung bzw. Leistungsentwicklung der besten 10 Athleten der Weltmeisterschaften bzw. Olympischen Spielen als Datengrundlage ausgewählt und deren Leistung im Zeitverlauf untersucht. Der Datensatz enthielt insgesamt 53 Beobachtungen, die den zehn Top-Athleten zuzuordnen sind.

Anhand des Korrelationskoeffizienten kann man erkennen, dass zwischen dem Alter und dem Anteil der Punkte, welche in den schnelligkeitsorientierten Disziplinen (100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf) erzielt werden, ein signifikant negativer Zusammenhang besteht ( $r = -0,467$ ;  $p < 0,05$ ), während für die Disziplinen Kugelstoßen und Diskuswurf (Wurf-Kraft-Disziplinen) ein tendenziell positiver Zusammenhang mit dem Alter festzustellen ist ( $r = 0,252$ ;  $p = 0,07$ ).

Im Querschnitt zeigte sich ein negativer Zusammenhang zwischen dem Alter der Athleten und dem Anteil der Punkte, die in den Schnelligkeitsdisziplinen erreicht wurden, während eine positive Korrelation zwischen dem Anteil der Punkte, die in den Disziplinen Kugelstoßen und Diskuswurf erreicht wurden, festzustellen ist. Diese Analyse beruht jedoch auf Querschnittsdaten und stellt keine individuellen Veränderungen dar. Um den vermuteten Zusammenhang weiter zu untersuchen, sollen im Folgenden Methoden der Längsschnittanalyse angewandt werden.

Tab. 5. Panel-Datenanalyse für die anteiligen Punkte aus den Sprint- und Wurfdisziplinen<sup>8</sup>

	<b>1 – Sprint Fixed- Effects</b>	<b>1b – Sprint Between- Effects</b>	<b>2 – Wurf Fixed- Effects</b>	<b>2b – Wurf Between- Effects</b>
Alter	-0,000895+ (-2,00)	-0,00320* (-2,45)	0,000932** (2,83)	0,00110 (0,55)
Konstante	0,463*** (37,59)	0,526*** (15,01)	0,163*** (17,98)	0,158* (2,92)
Beobachtungen	53	53	53	53
N	10	10	10	10
Within-R <sup>2</sup>	0,0869	0,0869	0,160	0,160
Between-R <sup>2</sup>	0,429	0,429	0,0361	0,0361
Overall-R <sup>2</sup>	0,218	0,218	0,0634	0,0634
t Statistik in Klammern; + $p < 0,10$ , * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$ , *** $p < 0,001$				

In Tabelle 5 sind jeweils die Fixed-Effects und die Between-Regressionen dargestellt, die abhängige Variable wird in den Modellen 1 und 1b durch den Anteil abgebildet, der in den Sprintdisziplinen erreicht wurde, und in den Modellen 2 und 2b durch den Anteil, der in den Wurfdisziplinen erzielt wurde. Mittels der Fixed-Effects-Regression können individuelle Veränderungen sichtbar gemacht werden, die Between-Regression hingegen zeigt die Veränderungen zwischen den Athleten.

Aus den Modellen 1 und 1b ist ein negativer Effekt der Variable Alter auf den Anteil der Punkte, die im 100-m-Lauf, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf erreicht wurden, abzulesen, jedoch ist dieser Effekt in der Fixed-Effect-Regression lediglich auf dem 10 % Niveau signifikant. Anhand der drei R<sup>2</sup>-Werte ist zu erkennen, dass die Varianz zwischen den Athleten in diesem Modell erheblich größer ist als die individuelle Varianz, d.h. die Top-Ten-Athleten unterscheiden sich stark in Bezug auf den Anteil der Punkte, die sie in diesen Disziplinen erreicht haben, während das steigende Alter kaum einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Punkte hat.

<sup>8</sup> In allen Modellen wurde ebenfalls auf nichtlineare Alterszusammenhänge geprüft, diese lagen jedoch nicht vor.

Dies wird auch in Modell 1b ersichtlich, hierbei handelt es sich um eine Between-Regression. Der Alterseffekt ist hier stärker und signifikant.

In Modell 2 und 2b ist der Einfluss des Alters auf den Anteil der Punkte in den Disziplinen Kugelstoßen und Diskuswurf abgebildet, dieser ist wie erwartet positiv, d.h. mit steigendem Alter steigt der Anteil der Punkte, die in den Disziplinen Kugelstoßen und Diskuswurf erreicht werden. Anhand der  $R^2$ -Werte ist erkennbar, dass der intraindividuelle Unterschied deutlich größer ist als zwischen den Personen. Mit steigendem Alter steigt der Anteil der Punkte, die in den Disziplinen Kugelstoßen und Diskuswerfen erreicht werden. Um nun jedoch zu überprüfen, ob ein Verlust im Schnelligkeitsbereich auch gleichzeitig mit einem Gewinn im Kraftbereich einhergeht, muss der Zusammenhang zwischen diesen Anteilwerten überprüft werden, dazu werden die Variablen jeweils wechselseitig in das Regressionsmodell aufgenommen (vgl. Tabelle 6).

Tab. 6. Panel-Datenanalyse für die anteiligen Punkte aus den Sprint- und Wurfdisziplinen (unabhängige Variable ist jeweils der andere Anteil)

	<b>Modell 1 – Sprint Fixed-Effects-Regression</b>	<b>Modell 2 – Wurf Fixed-Effects-Regression</b>
Alter	-0,0000520 (-0,14)	0,000493+ (1,89)
Anteil Wurf	-0,904*** (-5,72)	
Anteil Sprint		-0,491*** (-5,72)
Konstante	0,610*** (22,27)	0,390*** (9,68)
Beobachtungen	53	53
N	10	10
Within-R <sup>2</sup>	0,492	0,533
Between-R <sup>2</sup>	0,328	0,281
Overall-R <sup>2</sup>	0,352	0,323
t Statistik in Klammern; + $p < 0,10$ , * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$ , *** $p < 0,001$		

Modell 1, eine Fixed-Effects-Regression auf den Anteil der Punkte, die in den Schnelligkeitsdisziplinen erreicht wurden, mit den erklärenden Variablen Alter und Anteil der Punkte aus den Disziplinen Diskuswurf und Kugelstoßen, zeigt keinen individuellen Alterseffekt. Jedoch hat der Anteil der Punkte in den Wurf-Disziplinen einen signifikanten negativen Effekt. D.h., wenn der Anteil der Punkte, die ein Athlet im Kugelstoßen und Diskuswerfen erzielt, steigt, sinkt der Anteil der Punkte, die er in den Disziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf erreicht.

Modell 2 zeigt, dass das Alter einen kleinen positiven, lediglich auf dem 10 % Niveau signifikanten Effekt auf den Anteil der Punkte, die im Kugelstoßen und Diskuswerfen errungen werden, hat. Das bedeutet, wenn ein Athlet anteilig in den Disziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf mehr Punkte erhält, erreicht er im Kugelstoßen und Diskuswerfen weniger Punkte.

In Abbildung 2 und Abbildung 3 sind die kurvenlinearen Zusammenhänge von Alter und Disziplinleistung graphisch dargestellt. Je nach Disziplin ist ab einem Altersbereich von ca. 25 Jahren mit einem Rückgang der erreichten Punkte zu rechnen, wobei eine deutliche Variationsbreite zwischen den Athleten sowie zwischen den Einzeldisziplinen zu erkennen ist (Wimmer et al., 2011).

Hier ist insgesamt zu vermuten, dass aufgrund der Tatsache, dass höher gewichtete, hohe Sprint- bzw. Schnelligkeitsleistungen bereits in jungen Jahren erbracht werden können, eine Vorselektion in internationalen Wettbewerben stattfindet, als deren Folge jene Athleten, die später in höherem Alter sehr ausgeprägt hohe Stoß- und Wurfleistungen zeigen würden, gar nicht mehr im Wettbewerb sind. Dabei taucht das Phänomen auf, dass bei den schnellen Läufern dann wahrscheinlich die gewinnen, die das Maximum aus in jüngerem Alter begünstigten Schnelligkeitsleistungen und in höherem Alter begünstigten Wurf- und Stoßleistungen erzielen. Wobei im höherem Alter jene fehlen, die erst gar nicht mehr im Wettbewerb sind, weil sie aufgrund geringerer Schnelligkeitsleistungen in jungen Jahren ausselektiert, nicht nominiert wurden, andere Karrierepfade eingeschlagen haben usw., und zwar nicht zuletzt wegen der Ungleichgewichte in der Punktezumessung. Wie zudem deren individuelles Maximum im Verhältnis von beiden Leistungskategorien aussähe, kann empirisch nicht geklärt werden und bleibt somit offen.

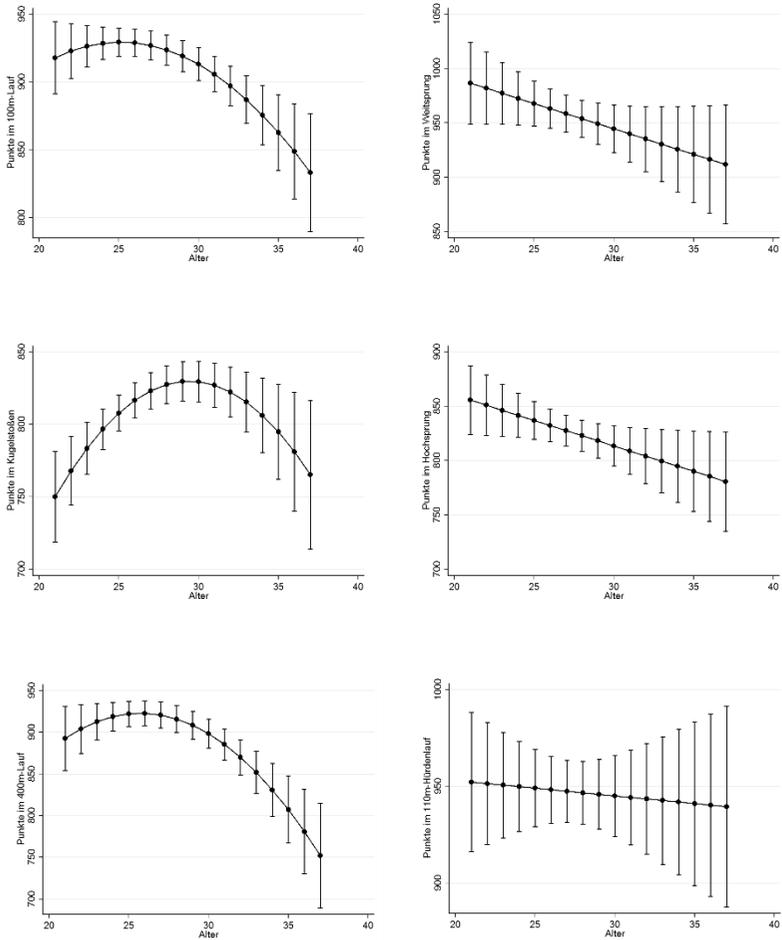


Abb. 2. Zusammenhang von Alter und Disziplinleistung für die Einzeldisziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, Kugelstoßen, Hochsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf

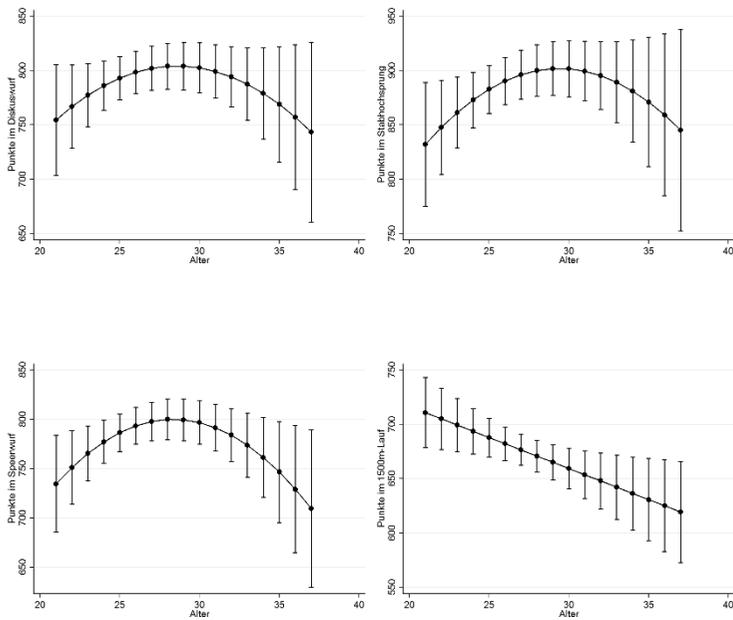


Abb. 3. Zusammenhang von Alter und Disziplinleistung für die Einzeldisziplinen Diskuswurf, Stabhochsprung, Speerwurf und 1500-m-Lauf

## Diskussion

Anhand des leichtathletischen Zehnkampfs konnte empirisch gezeigt werden, dass in einer schein-objektiv quantifizierenden Sportart die normativ beeinflusste Transformation in Punkte mittels Umrechnungsformel im Verhältnis von Laufdisziplinen zu Sprung- und Wurfdisziplinen zu einer Ungleichgewichtung der Leistungen in den Einzeldisziplinen führt (Cox & Dunn, 2002).

So werden auf internationalem Leistungsniveau wie Weltmeisterschaften und/oder Olympischen Spielen Athleten mit einer bereits in jungen Jahren ausgeprägten hohen Leistungsfähigkeit in den Sprint- und Sprungdisziplinen präferiert, während Athleten mit hoher Leistungsfähigkeit in den Disziplinen 1500-m-Lauf, Speerwurf, Diskus und Kugelstoßen benachteiligt sind und im Altersverlauf diesen Nachteil auch nicht mehr ausgleichen können.

Anhand der Leistungen in den vier Disziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf können im Datensetting 55 % der Varianz der Gesamtpunkte erklärt werden. Dies deckt sich mit den clusteranalytischen Daten von Cox und Dunn (2002), welche eine Dreiclusterlösung mit den Disziplinen 100-m-Lauf, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden-Lauf für das erste Cluster und mit Kugelstoßen, Diskuswurf, Speerwurf und Stabhochsprung für das zweite Cluster fanden. Im dritten Cluster vereinigten sich die Disziplinen Hochsprung und 1500-m-Lauf, welche keinen großen Erklärungswert für das Endergebnis zeigten. Park und Zatsiorsky (2011) fanden für das erste Cluster eine Varianzklärung von 43,1 %, welche als „sprinting performance“ interpretiert wird.

Von Wimmer et al. (2011, S. 12) wurde eine Vierfaktorenlösung bestehend aus den Faktoren „sprint abilities“<sup>9</sup> (100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden), „jumping abilities“ (Weitsprung, Hochsprung und Stabhochsprung), „throwing abilities“ (Kugelstoßen, Speer- und Diskuswurf) und „endurance abilities“ (400-m-Lauf und 1500-m-Lauf) identifiziert (siehe hierzu auch Fan, 2014).

---

<sup>9</sup> Trainingswissenschaftlicher Terminologie folgend, handelt es sich bei den von Wimmer et al. (2011) aufgeführten „abilities“ (Fähigkeiten) nur bedingt um relativ verfestigte, mehr oder weniger generalisierte individuelle Voraussetzungen (Eigenschaften), welchen den Fähigkeitsbegriff rechtfertigen. Vielmehr sind durch Übungs- und Wiederholungsprozesse speziell erworbene Tätigkeiten und Handlungen auf sportartspezifischer Handlungsebene inkludiert, so genannten sportartenspezifischen Fertigkeiten („skills“).

Dieses Ergebnis lässt sich ebenfalls konsistent mit der korrelationsanalytischen Auswertung der vorliegenden Daten in Verbindung bringen (siehe hierzu bereits Linden, 1977).

Schomaker und Heumann (2011, S. 10) präferieren anhand der Zehnkampfteilnehmer der Olympischen Spiele 2004 in Athen eher eine Dreifaktorenlösung mit den Faktoren „speed-and-athletic“ (100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf), „strength-and-technique“ (Kugelstoßen, Hochsprung und Diskuswurf) und „endurance“ als Spezialfaktor mit dem abschließendem 1500-m-Lauf. Der Speerwurf und der Stabhochsprung lassen sich keinem Modell zuordnen. Zu einer Dreifaktorenlösung<sup>10</sup> gelangte auch Ertel (2011) im Rahmen einer explorativen Faktorenanalyse mit jedoch unterschiedlichen Faktorladungen in Abhängigkeit der Varimin- bzw. Varimax-Rotation oder Anfangslösung.

Van Damme et al. (2002) fanden bei 600 Weltklasse Zehnkämpfern signifikante, positive Korrelationen zwischen den Disziplinleistungen 100-m-Lauf und Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürdenlauf, während die 100 m Laufleistung negativ mit der 1500 m Laufleistung korrelierte ( $n = 133$ ;  $r = -0,21$ ;  $p = 0,016$ ). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Fan (2014, S. 268), der dem abschließenden 1500-m-Lauf ebenfalls den geringsten Einfluss auf das Wettkampfergebnis unterstellt und als die vier gewichtigsten Disziplinen 110-m-Hürdenlauf, Weitsprung, 100-m-Sprint und 400-m-Lauf ausweist. Danach folgen Stabhochsprung, Hochsprung, Speerwurf, Kugelstoßen und Diskus.

Nahezu identische Ergebnisse wurden im vorliegenden Athletensample gefunden, was die Diskussion von Spezialist oder Generalist im Zehnkampf erneut aufkommen lässt. Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse einfacher Korrelationsberechnungen von Kunz (1984), der dem Einfluss des 1500-m-Laufs eine höhere Bedeutung zuspricht.

Implizit ist in der Idee des Zehnkampfs der Spezialist der Vielseitigkeit als Leitbild angelegt, was bspw. im Ausdruck „König der Athleten“ zum Vorschein kommt. Inwieweit durch veränderte Rahmenbedingungen, spezifische Selektionsmechanismen, gerätebedingte Neuerungen etc. jedoch eher der echte Spezialist aktuell höhere Leistungsfähigkeit und somit Siegwahrscheinlichkeit erreicht, wird kontrovers diskutiert (Kenny et al., 2005; Van Damme et al., 2002). Die aktuellen Erkenntnisse tendieren eher in Richtung früher Selektion

---

<sup>10</sup> Ertel (2011) definiert die drei Faktoren als „general athletic energy“, „pacing of energy expenditure: explosive speed vs. endurance“ und „locus of prime energy expenditure“.

aufgrund laufspezifischer Schnelligkeitsanforderungen. Inwieweit dabei die normative Transformation von erbrachten Leistungen in Punkte für das derzeitige überproportionale Gewichten der laufspezifischen Schnelligkeitsanforderungen entscheidend ist, oder ob selektive Rekrutierungs- bzw. Auswahlkriterien auf Athletenebene verantwortlich sind, kann anhand der vorliegenden Daten nicht ergründet werden. Hier vermischen sich Befunde, die auf methodologisch kollektivistischer und methodologisch individualistischer Ebene gewonnen wurden.

Festzustellen bleibt, dass die seit 1985 gültige Transformationsregel für die Lauf-, Sprung- und Wurfdisziplinen in Anlehnung an Geese (2004) sowie Pitsch et al. (2006) einer Modifikation bedarf, da eine Gleichgewichtung der Einzeldisziplinen im Zehnkampf nicht mehr gewährleistet ist und somit Disziplingruppen für die Leistungsbewertung über- bzw. unterschätzt werden (Westera, 2006). Wie Pitsch et al. (2006) herausgearbeitet haben, besitzt die normative Transformationsregel nur für einen zeitlich begrenzten Bereich eine zufriedenstellende Gültigkeit und sollte somit in bestimmten Abständen an die aktuellen Bedingungen angepasst werden.

Darüber hinaus kommt zum Tragen, dass auf Disziplinebene eine hohe individuelle und intraindividuelle Variabilität in Bezug auf kalendarisches Alter der Athleten und die Wettkampfleistung festzustellen ist. Während für die Einzeldisziplinen 100-m-Sprint, 400-m-Lauf, Kugelstoßen, Diskus- und Speerwurf sowie Stabhochsprung bis zum Altersbereich von ca. 25 bis 27/28 Jahre eine Zunahme der Leistungsfähigkeit im Kollektiv vorliegt, kommt es bei den Disziplinen Weit-, Hochsprung, 110-m-Hürden- und 1500-m-Lauf zu einem linearen Abfall der Leistungsfähigkeit (Punkte in der Disziplin) in Abhängigkeit vom Alter der Athleten (vgl. Abbildung 2 und Abbildung 3).

In der Studie von Wimmer et al. (2011) wurden vergleichbare Zusammenhänge identifiziert, wobei das Alter mit der höchsten Leistungsausprägung in den Disziplinen insgesamt höher ausgeprägt war (> 30 Jahre), was unter anderem am untersuchten Athletenpool liegen dürfte. So beziehen sich die Daten der Wimmer Studie auf 3103 Athleten der Weltbestenliste von 1998 bis 2009, was einerseits eine deutliche Erweiterung des Leistungsniveaus darstellt und andererseits auch Personen betrifft, die Wettkämpfe nach Überschreiten des Höchstleistungsalters absolvieren.

Auffallend erscheint, dass entgegen unserer Ergebnisse der Bereich „endurance abilities“ (400 m und 1500 m) in der Studie von Wimmer et al. (2011, S. 16) deutlich in den Altersbereich größer 35 Jahre ausgeweitet ist, was die Autoren zu der Aussage gelangen lässt:

An interesting result could be obtained for the non-linear indirect effect of age. Older athletes still perform very well compared to younger athletes, especially with respect to throwing and endurance abilities. For sprint and jumping abilities, a performance decrease for athletes older than 30 years was estimated. This confirms the theory that for some events experience and technical skills of older athletes overwhelm the negative effect of age.

Dabei handelt es sich jedoch vermutlich um jene Athleten, die in jüngeren Jahren besondere Schnelligkeitsleistungen erbrachten und deren Stoß-, Wurf- und Ausdauerleistungen mit zunehmendem Alter wuchsen, während jene, die in jungen Jahren hohe Wurf- und Stoßleistungen erbrachten bei mittleren Schnelligkeitsleistungen regelbedingt nicht mehr „im Rennen“ sind.

Um dem möglichst gleichgewichteten Einfluss der Einzeldisziplinen im Zehnkampf gerecht zu werden, sollte eine regelmäßige Neubewertung der Punkteformel vorgenommen werden. Dabei kann eine normative Setzung der Transformationsregel die Gleichverteilungsprobleme nur für eine bestimmte Zeitspanne lösen und muss daher in regelmäßigen Abschnitten erneut vorgenommen werden, da die Maximalpunkte der Leistungen in den Einzeldisziplinen sich nicht gleichmäßig verändern.

## Literatur

- Bernett, H. (1987). *Leichtathletik im geschichtlichen Wandel*. Schorndorf: Hofmann.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brüderl, J. (2010). Kausalanalyse mit Paneldaten. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 963-994). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Cox, T. F., & Dunn, R. T. (2002). An analysis of decathlon data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 51 (2), 179-187.
- Dawkins, B. P., Andrae, P. M., & O'Conner, P. M. (1994). Analysis of olympic heptathlon data. *Journal of the American Statistical Association*, 89 (427), 1100-1106.
- Ertel, S. (2011). Exploratory factor analysis revealing complex structure. *Personality and Individual Differences*, 50 (2), 196-200.
- Fan, Y. (2014). Decathlon each interaction regression factors analysis based on GRA and FAM. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (2), 261-268.
- Fanshawe, T. (2012). Seven into two: Principal components analysis and the olympic heptathlon. *Significance*, 9 (2), 40-42.
- Fröhlich, M., Balter, J., Emrich, E., & Pieter, A. (2014). Can the influence of running performance in olympic-distance triathlon be compensated for? *Journal of Athletic Enhancement*, 3 (1), 1-5.
- Fröhlich, M., Balter, J., Pieter, A., Schwarz, M., & Emrich, E. (2013). Model-theoretic optimization approach to triathlon performance under comparative static conditions - results based on the olympic games 2012. *International Journal of Kinesiology & Sports Science*, 1 (3), 9-14.
- Geese, R. (2004). Ist eine Revision der internationalen Mehrkampfwertung überfällig? *Leistungssport*, 34 (5), 9-12.
- Greene, W. H. (2008). *Econometric analysis*. New Jersey: Pearson Education.
- IAAF. (2001). Scoring tables for combined events. 18.08.2014 from <http://www.iaaf.org/home>.
- Karlis, D., Saporta, G., & Spinakis, A. (2003). A simple rule for the selection of principal components. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 32 (3), 643-666.

- Kenny, I. C., Sprevak, D., Sharp, C., & Boreham, C. (2005). Determinants of success in the olympic decathlon: some statistical evidence. *Journal of Quantitative Analysis in Sports, 1* (1), Article 5.
- Kunz, H. (1984). Leistungsbestimmende Faktoren und Bewegungsverwandtschaften im Zehnkampf. *Leistungssport 14* (5), 19-25
- Letzelter, M. (1985). Zur Struktur des Siebenkampfes: Einflusshöhe und interne Verwandtschaft der Einzelübungen. In N. Müller, D. Augustin & B. Hunger (Hrsg.), *Frauenleichtathletik* (S. 226-238). Niederhauen/Taunus: Schors-Verlag.
- Linden, M. (1977). Factor analytical study of olympic decathlon data. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation, 48* (3), 562-568.
- Ludwig, M. (2008). *Mathematik + Sport*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Marek, C. (2012). Zehnkampf statt Siebenkampf: Mehr Gleichberechtigung für die Damen. 17.11.2014 from dpa/sportal.de.
- Park, J., & Zatsiorsky, V. M. (2011). Multivariate statistical analysis of decathlon performance results in olympic athletes (1988-2008). *World Academy of Science, Engineering and Technology, 5* (5), 985-988.
- Pitsch, W., Emrich, E., Fröhlich, M., & Flatau, J. (2006). Zur Legitimation von Normen im Sport am Beispiel des Mehrkampfes in der Leichtathletik - Rechtsphilosophische und rechtssoziologische Positionen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge, 47* (2), 80-92.
- Pitsch, W., Fröhlich, M., & Emrich, E. (2005). Normative Wertung in additiven Leistungsgefügen - Dargestellt am Beispiel des Mehrkampfes in der Leichtathletik. In S. Würth, S. Panzer, J. Krug, & D. Alfermann (Hrsg.), *Sport in Europa. 17. Sportwissenschaftlicher Hochschultag der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft* (S. 248). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Schomaker, M., & Heumann, C. (2011). Model averaging in factor analysis: an analysis of olympic decathlon data. *Journal of Quantitative Analysis in Sports, 7* (1), Article 4.
- Trkal, V. (2003). The development of combined events scoring tables and implications for the training of decathletes. *New Studies in Athletics, 18* (4), 7-12.
- Unwin, A. (2007). Parallel coordinates for parallel events - Graphical analysis of decathlon results and the decathlon points system (14.02.2015 Publication from Universität Augsburg. Institut für Mathematik: <http://www.math.uni-augsburg.de/forschung/preprint>).

- Van Damme, R., Wilson, R. S., Vanhooydonck, B., & Aerts, P. (2002). Performance constraints in decathletes. *Nature*, *415* (14 February), 755-756.
- Verbeek, M. (2008). *A guide to modern econometrics*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Vindusková, J. (2003). Training women for the heptathlon – A brief outline. *New Studies in Athletics*, *18* (2), 27-45.
- Westera, W. (2006). Decathlon, towards a balanced and sustainable performance assessment method. *New Studies in Athletics, IAAF*, *21* (1), 39-51.
- Westera, W. (2007). Under attack: the heptathlon scoring method. 01.11.2014 from <http://www.athleticscoaching.ca>.
- Wiedenbeck, M., & Züll, C. (2010). Clusteranalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 525-552). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Wimmer, V., Fenske, N., Pyrka, P., & Fahrmeir, L. (2011). Exploring competition performance in decathlon using semi-parametric latent variable models. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, *7* (4), Article 6.
- Wolff, H.-G., & Bacher, J. (2010). Hauptkomponentenanalyse und explorative Faktorenanalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 333-365). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Woolf, A., Ansley, L., & Bidgood, P. (2007). Grouping of decathlon disciplines. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, *3* (4), Article 5.

# Michael Fröhlich, Freya Gassmann, Michael Koch & Eike Emrich

## Wer ist der beste Mehrkämpfer der Leichtathletik? Eine analytische Betrachtung im Sieben- und Zehnkampf<sup>1</sup>

### Summary

Olympic heptathlon and decathlon represents the sum of individual performances in seven respectively ten disciplines, implicitly assuming an equal influence of these disciplines depending on the performance. The transformation of the performance in the disciplines shows that the individual disciplines do not equally affect the overall competition result. The currently valid conversion formula prefers the “sprint-and-jump” as well as the “throw-and-put” disciplines, while penalizing the athletes performing in the 800-m run and 1500-m run. Athletes from the all-time-best-rank prefer a “sprint-and-jump-typ”.

### Zusammenfassung

Die sportliche Leistung im Siebenkampf der Frauen und im Zehnkampf der Männer setzt sich additiv aus den Leistungen der Einzeldisziplinen zusammen. Diese gehen jedoch nicht gleichgewichtet in das Gesamtwettkampfergebnis ein, sondern werden stark durch „Sprint-Sprung“ und „Kraft-Wurf“ Leistungen determiniert. Die Ausdauerdisziplinen 800-m-Lauf und 1500-m-Lauf stehen insgesamt in keinem engen Zusammenhang mit der Siebenkampf- und Zehnkampfleistung. In der Allzeitbestenliste sind sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern die „Sprint-Sprung-Typen“ auf den vorderen Plätzen zu finden.

---

<sup>1</sup> Der Titel ist in Analogie zum Beitrag von Stadelmann und Eichenberger (2008) „Wer ist der beste Formel 1 Fahrer?“ gewählt. In Anlehnung daran greifen wir die Frage auf, wer ist die „beste“ Siebenkämpferin und wer ist der „beste“ Zehnkämpfer der Leichtathletik.

## Einleitung und theoretische Verortung

Fragen wie „Wer ist der schnellste Mann der Welt?“, „Wer ist der beste Fußballer aller Zeiten?“ oder „Wer ist der Herr der Berge“ interessieren und faszinieren Großteile der sportinteressierten Öffentlichkeit. Während die Beantwortung der ersten Frage relativ schnell und eindeutig ausfällt, da man nur die schnellste jemals in offiziellen Wettbewerben gelaufene Zeit über die offizielle Distanz von 100 Meter als Maßstab zu Grunde legen muss, fallen die Antworten auf die Fragen zwei und drei je nach Perspektive durchaus unterschiedlich aus. So ist der Maßstab für den schnellsten Mann der Welt die aktuelle Bestzeit von 9,58 Sekunden von Usain Bolt, gelaufen bei den Weltmeisterschaften in Berlin am 16. August 2009.

Wer jedoch den besten Fußballer aller Zeiten benennen möchte, erhält unter „Fußball Historie – Die Geschichte des Fußballs“ (Zugriff am 07.01.2015 unter <http://www.fussball-geschichte.com/besten-spieler.htm>) die Rangreihe Pele, Cruyff und Maradona, während die Vereinigung der Fußball-Statistiker Pele, Ronaldo und Romario benennen.

Welche Kriterien und Maßstäbe für die Bewertung<sup>2</sup> des Einzelspielers oder der Rangplatzierung herangezogen wurden, ist jedoch nicht ersichtlich und dürfte subjektiven Wertungen unterliegen.

Noch schwieriger wird die Antwort auf die Frage nach dem erfolgreichsten Bergsteiger ausfallen, da die Operationalisierung der Bewertungskriterien nochmals komplexer ausfällt (z. B. in Abhängigkeit des Terrains wie Eis, Fels oder Höhen, mit oder ohne Sauerstoffunterstützung, Erstbesteigung oder Rekordbesteigungen, Geschwindigkeitsrekord usw.).

Auf die Frage, wer ist die beste Mehrkämpferin bzw. der beste Mehrkämpfer<sup>3</sup> der Leichtathletik, könnte man zunächst eine relativ einfache und zunächst

---

<sup>2</sup> Würde man die Bewertung des besten Fußballers über den aktuellen Marktwert in Millionen Euro operationalisieren, so wäre die Rangreihe Messi mit 138,1 Millionen Euro, Ronaldo mit 107,3 Millionen Euro und Bale mit 71,3 Millionen Euro (Zugriff am 08.01.2015 unter [http://www.fussballtransfers.com/andere-ligen/top-10-die-teuersten-spieler-der-welt\\_42247](http://www.fussballtransfers.com/andere-ligen/top-10-die-teuersten-spieler-der-welt_42247)). Allerdings handelt es sich bei der Höhe des Marktwertes um ein über die Zeit relativ variables Kriterium.

<sup>3</sup> Unter Mehrkampf soll im Folgenden nur der Siebenkampf und Zehnkampf verstanden werden. Andere Mehrkampfformate in der Leichtathletik wie Fünfkampf, Blockkampf, Mannschaftsmehrkämpfe etc. sind hierbei ausgeschlossen.

leicht einsichtige Antwort geben, nämlich die Siebenkämpferin bzw. der Zehnkämpfer mit den derzeit meisten Punkten im Mehrkampf (z. B. aktuelle IAAF Allzeitbestenliste). Folgt man dieser durch das gültige Regelwerk gedeckten Ansicht, so ist die Antwort präzise und die Frage an dieser Stelle hinlänglich beantwortet: Mit Stand vom 19.02.2015 wäre die U.S. Amerikanerin Jackie Joyner-Kersey mit 7291 Punkten die Königin der Athleten und der U.S. Amerikaner Ashton Eaton mit 9039 der beste Zehnkämpfer (Zugriff am 19.02.2015 unter <http://www.iaaf.org>).

Repräsentieren die beiden Athleten jedoch tatsächlich den besten Mehrkämpfer oder die beste Mehrkämpferin? Versucht man die gestellte Frage differenzierter zu beantworten, so stellt man fest, dass zunächst zahlreiche normative Vorannahmen zu jeweils unterschiedlichen Antworten führen. So könnte man die Anzahl an gewonnen Medaillen bei Olympischen Spielen oder Weltmeisterschaften als Kriterium für die Bewertung zu einem bestimmten Stichtag heranziehen, je nachdem ob man die in Punkten gemessene Leistung oder das in Platzierungen gemessene Ergebnis des Wettbewerbes heranzieht. In diesem Zusammenhang entstünde jedoch die nur normativ durch ein Werturteil zu lösende Problematik, wie etwa die zwei Olympiasiege von Jackie Joyner-Kersey in den Jahren 1988 und 1992 im Gegensatz zu den drei Weltmeisterschaftstiteln von Carolina Klüft von 2003, 2005 und 2007 zu bewerten sind, zumal der Teilnehmerinnenkreis bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen weitgehend personenidentisch ist.

Weiterhin könnte man unter Gewichtung eines Konstanz-Faktors die Anzahl an gewonnen internationalen Wettbewerben (z. B. Medaillen<sup>4</sup>) oder die Anzahl an Wettbewerben über eine bestimmte Punktezahl (z. B. für die Frauenwettbewerbe 7000 Punkte und für die Männerwettbewerbe 8500 Punkte) als Maßstab zu Grunde legen. Darüber hinaus wäre weiter zu überlegen, inwieweit einzelne Leistungen<sup>5</sup> innerhalb des Mehrkampfs das Endergebnis bestimmen

---

<sup>4</sup> Bei der Anzahl an gewonnen Medaillen wäre noch zusätzlich der Problematik der Platzierung „Gold“, „Silber“ und „Bronze“ zu berücksichtigen, da z. B. für die Nationenwertung lediglich die Goldmedaillen ausschlaggebend sind und Silber- und Bronzemedailles nur bei der gleichen Anzahl von Goldmedaillen eingerechnet werden, während auf der subjektiven Athletenebene möglicherweise eine Bronzemedaille einen eigenen relativen Wert zur Goldmedaille hat. Zusätzlich ergäbe sich noch die Problematik, ob man Medaillen aus Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen gleich bewerten würde.

<sup>5</sup> Jackie Joyner-Kersey erzielte mit 7,27 m die weiteste Weitsprunghöhe, die jemals in einem offiziellen Siebenkampf erreicht wurde. Des Weiteren konnte sie insgesamt sechsmal die 7000 Punkte Marke übertreffen.

oder inwieweit durch eine gleichgewichtige Berücksichtigung aller Einzeldisziplinergebnisse der Allroundcharakter stärker betont werden könnte.

Betrachtet man die Weltrekordentwicklung in Abhängigkeit von den Transformationsformeln des Regelwerkes im Zehnkampf der Männer (zur Analyse der Punktetabelle siehe Gassmann, Fröhlich, Meurer und Emrich sowie Fröhlich, Gassmann und Emrich in diesem Band), so erreichte Hans-Heinrich Sievert 8790 Punkte anhand der gültigen Punktetabelle des Jahres 1920, während Bob Mathias 8042 Punkte auf Basis der Punktetabelle ab 1936 erzielte. Anhand der ab 1952 eingeführten Punktetabelle konnte Rafer Johnson 8683 Punkte erzielen, während Daley Thompson am 09.08.1984 bei den Olympischen Spielen in Los Angeles 8798 Punkte anhand der Punktetabelle erreichte, die seit 1962 galt. Auf Grundlage der aktuell gültigen und seit 1985 nicht mehr geänderten Punktetabelle (vgl. Trkal, 2003; Westera, 2007) liegt der derzeitige Zehnkampfweltrekord bei 9039 Punkten und wird gehalten von Ashton Eaton aus den USA.

Somit ist bereits an dieser Stelle ersichtlich, dass einerseits die jeweilige Punktetabelle per se die Frage nach dem König bzw. der Königin der Athleten beeinflusst (Geese, 2004; Ludwig, 2008; Pitsch et al., 2006) und andererseits der unterschiedlich gewichtete Einfluss der einzelnen Disziplinen zu berücksichtigen ist (Kenny et al., 2005; Westera, 2006).

In Anlehnung an die beiden Beiträge von Gassmann et al. sowie Fröhlich et al. in diesem Band soll im Folgenden untersucht werden, welchen Einfluss die verschiedenen Einzeldisziplinen auf das Gesamtergebnis im Siebenkampf der Frauen und Zehnkampf der Männer haben (vgl. Dawkins et al., 1994; Fanshawe, 2012; Linden, 1977; Park & Zatsiorsky, 2011; Schomaker & Heumann, 2011; Westera, 2007; Wimmer et al., 2011; Woolf et al., 2007) und es sollen tragfähige Überlegungen zur empirischen Begründung des besten Mehrkämpfers abgeleitet werden (vgl. Stadelmann & Eichenberger, 2008 für die Formel 1).

Konkret soll auf Basis der besten 100 Athletinnen und Athleten nach der seit 1985 gültigen Punktregel (Association of Athletics Federations (IAAF) Zugriff am 12.01.2015 unter <http://www.iaaf.org>) untersucht werden:

- [1] Inwieweit bestimmte Disziplinen- und/oder Disziplingruppen die Gesamtpunktzahl im Siebenkampf der Frauen und Zehnkampf in überzufälligem Ausmaß bestimmen (vgl. Dawkins et al., 1994; Karlis et al., 2003; Letzelter, 1985; Westera, 2007).

- [2] Inwieweit auf individueller Ebene Stärken und Schwächen in einzelnen Disziplinen oder Disziplingruppen (Clustern) durch Stärken und Schwächen in anderen ausgeglichen oder überkompensiert werden können.
- [3] Inwieweit eher Spezialisten oder Generalisten im Sieben- bzw. Zehnkampf in der Allzeitbestenliste vertreten sind und inwieweit es zwischen den Geschlechtern Unterschiede in diesem Punkt gibt.
- [4] Darüber hinaus wird ein möglicher Weg zur Identifikation der besten Siebenkämpferin und des besten Zehnkämpfers sowie des besten Mehrkämpfers eröffnet und zur Diskussion gestellt.

## Methodik

### Stichprobe und Erhebungsverfahren

Die Datenanalyse erfolgte auf der Grundlage der erfassten Einzelleistungen sowie der erzielten Gesamtleistungen im Siebenkampf der Frauen bzw. Zehnkampf der Männer. In die Datenberechnung gingen die jeweils besten 100 Siebenkämpferinnen und 100 besten Zehnkämpfer ein, deren Punkte nach der seit 1985 gültigen Regel gemessen wurden (Stand 01.02.2015).

Erzielte eine Athletin bzw. ein Athlet mehrfach eine Top-Einhundert-Platzierung<sup>6</sup>, so wurde nur das jeweils beste Resultat anhand der erzielten Gesamtpunkte gewertet. Die weiteren Resultate wurden für diese Person gestrichen, sodass die jeweils rangnächste Person in das Top-100-Ranking aufrückte. So ist jede Athletin und jeder Athlet nur mit ihrer jeweils besten Punktezahl im Ranking vertreten, damit bezieht sich die Auswertung insgesamt auf die jeweils besten 100 Siebenkämpferinnen bzw. Zehnkämpfer.

Von den einzelnen Athletinnen und Athleten wurden die erreichte Platzierung, Name, Nationalität, Geburtsdatum, Wettkampfsjahr, erzielte Leistungen in Sekunden, Zentimetern und Metern und die berechneten Punkte für die jeweilige Disziplin sowie die Endpunktzahl erhoben.

Als Datenquelle dienten die publizierten Siebenkampf- und Zehnkampfergebnisse in der Zeitschrift Leichtathletik, auf der Homepage Sports Reference

---

<sup>6</sup> So ist bspw. Tomáš Dvorak, der aktuell Drittplatzierte der IAAF Allzeitbestenliste, nur mit seinem besten Resultat von 8994 Punkten vertreten, obwohl er mit 8902 und 8900 Punkten noch zweimal vor dem Viertplatzierten Roman Šebrle mit 8893 Punkten liegt.

– Sports Statistics Quickly, Easily und Accurately (Zugriff am 28.01.2015 unter <http://www.sports-reference.com>), der Homepage Athlestats (Zugriff am 20.01.2015 unter <http://www.athlestats2010.izihost.com>) sowie auf der offiziellen Webseite des internationalen Leichtathletikverbandes IAAF (Zugriff am 10.11.2014 unter <http://www.iaaf.org/home>). Durch Abgleich der unterschiedlichen Medien und individuelle Prüfung konnte die Datenkonsistenz gesichert werden.

Durch weitergehende Internetrecherchen zu verschiedenen Schreibweisen des Namens, der Namensänderung, der Geburtsdaten etc. konnte im Verlauf eine vollständige Athletenliste mit insgesamt 200 konsistenten Datensätzen der jeweils 100 besten Siebenkämpferinnen und 100 besten Zehnkämpfer erstellt werden.

## Datenanalyse

Angelehnt an das Vorgehen von Gassmann et al. sowie Fröhlich et al. in diesem Band erfolgte die Datenanalyse ebenfalls mit Stata 12. Neben den deskriptiven Auswerteverfahren wie Berechnung von Mittelwerten, Standardabweichungen und absoluten und prozentualen Häufigkeiten wurden zur inferenzstatistischen Analyse von Zusammenhängen Korrelationsberechnungen sowie bi- und multivariate lineare Regressionen durchgeführt. Damit die Einzelleistungen in den Disziplinen in ihren verschiedenen Einheiten wie Weiten, Höhen und Zeiten (Zentimeter, Meter und Sekunden) vergleichend berücksichtigt werden konnten, wurden diese zunächst standardisiert (z-transformiert) (Bortz & Schuster, 2010).

Zur Überprüfung, inwieweit die jeweiligen standardisierten Leistungen sich im jeweiligen Endresultat zeigen, wurden bivariate OLS-Regressionen geschätzt und daraus marginale Effekte berechnet (Greene, 2008). Der Zusammenhang der Einzelleistungen im Sieben- und Zehnkampf wurde über Korrelationsanalysen geprüft und sodann mittels Hauptkomponentenanalyse mit einer Orthogonalisierung für verschiedene Merkmalsgruppen geprüft (zur Hauptkomponentenanalyse siehe Jolliffe, 2002; Wolff & Bacher, 2010), die dann mit den Erkenntnissen aus den Trainingswissenschaften abgeglichen wurden. Die sich daraus ergebenden Disziplingruppen bildeten die Grundlage für die multivariaten linearen Regressionen auf die jeweiligen Gesamtpunkte.

Neben diesen Analysen zu den empirischen Disziplingruppen, wurde weiter durch eine Clusteranalyse (zur Clusteranalyse siehe Wiedenbeck & Züll, 2010) untersucht, inwieweit sich unterschiedliche Typen von Athletinnen und Athleten zeigen.

Das Signifikanzniveau und damit die Sicherheit für den Vorhersagewert wurden bei allen Testverfahren einheitlich auf 5 % festgelegt, jedoch genau berechnet und mit den üblichen Symbolen dargestellt. Für den jeweiligen Einflussfaktor wurden die einschlägigen Effektstärken berechnet.

## Ergebnisse

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse und Auswerteschritte für den Zehnkampf dargestellt, danach folgen die Analysen zum Siebenkampf, abschließend werden die Mehrkämpferinnen und Mehrkämpfer gemeinsam analysiert und vergleichend gegenüber gestellt.

### Zusammenhang von erbrachter Leistung und Teilpunkten in den einzelnen Disziplinen im Zehnkampf der Männer

Betrachtet man die Konstanten der bivariaten Regressionsberechnungen der standardisierten Leistungen im Zehnkampf der Männer, so kann man erkennen, dass der Weitsprung, 110-m-Hürdenlauf und 100-m-Sprint den höchsten Einfluss auf das Gesamtpunkteergebnis zeigen, während die Konstanten von 1500-m-Lauf, Speerwurf und Kugelstoßen den geringsten Einfluss haben. So wäre beispielsweise eine realisierte Leistung, welche drei Standardabweichungen über der mittleren Leistung im 1500-m-Lauf liegt (942,1 Punkte), nahezu identisch mit einer normalen standardisierten Leistung von 942,4 Punkten im Weitsprung. Im Speerwurf müsste ein Athlet eine um zwei Standardabweichungen höhere Leistung erzielen (930,7 Punkte), um eine vergleichbare Punktezahl wie im 110-m-Hürdenlauf (932,6 Punkte) zu erreichen.

Den höchsten Steigungskoeffizient findet man für die Einzeldisziplin Stabhochsprung mit 76,3, was zunächst bedeuten würde, dass in dieser Disziplin der höchste relative Punktezuwachs zu verzeichnen ist. Da auch die Konstante mit 897,1 Punkten den vierthöchsten Wert annimmt, scheint zunächst für diese Disziplin innerhalb des Zehnkampfs eine Disziplin ausgemacht zu sein, die einen hohen relativen und absoluten Einfluss auf das Gesamtpunkteergebnis hat.

Tab. 1. Ergebnisse der einzelnen Regressionen der standardisierten Leistungen auf die jeweiligen Teilpunkte im Zehnkampf der Männer (n = 100)

Einzeldisziplinen	Steigungs- koeffizient	Konstante	Marginaler Effekt		
			(+1 STD)	(+2 STD)	(+3 STD)
100-m-Lauf	52,0+	898,5+	950,5***	1002,5***	1054,6***
Weitsprung	66,5	942,4	1008,8***	1075,3***	1141,8***
Kugelstoßen	54,8*	794,7*	849,5***	904,3***	959,1***
Hochsprung	62,8+	846,5+	909,3***	972,2***	1035,0***
400-m-Lauf	46,6+	886,5+	933,1***	979,7***	1026,3***
110-m-Hürden	48,8	932,6	981,4***	1030,2***	1079,0***
Diskus	65,5*	792,6*	858,1***	923,7***	989,2***
Stabhochsprung	76,3	897,1	973,4***	1049,8***	1126,2***
Speerwurf	75,2*	780,4*	855,5***	930,7***	1005,9***
1500-m-Lauf	71,4	727,8	799,2***	870,7***	942,1***

+  $p < 0,10$ ; \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,001$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

Insgesamt kann man anhand der Relation von standardisierter Leistung, ausgedrückt über die Konstante der Regressionsberechnung und des Steigungskoeffizienten, konstatieren, dass die in den Einzeldisziplinen gezeigten Leistungen im Zehnkampf der jeweils 100 besten Athleten einen unterschiedlichen Einfluss auf das Gesamtpunkteresultat haben und somit nicht gleichgewichtet das Endergebnis determinieren. Darüber hinaus kann anhand der Konstanten abgeleitet werden, dass bei mehr oder minder allen hoch ausgeprägten Laufleistungen bereits kleinere Unterschiede einen hohen Einfluss auf das Enderesultat im Zehnkampf haben (vgl. Abbildung 1).

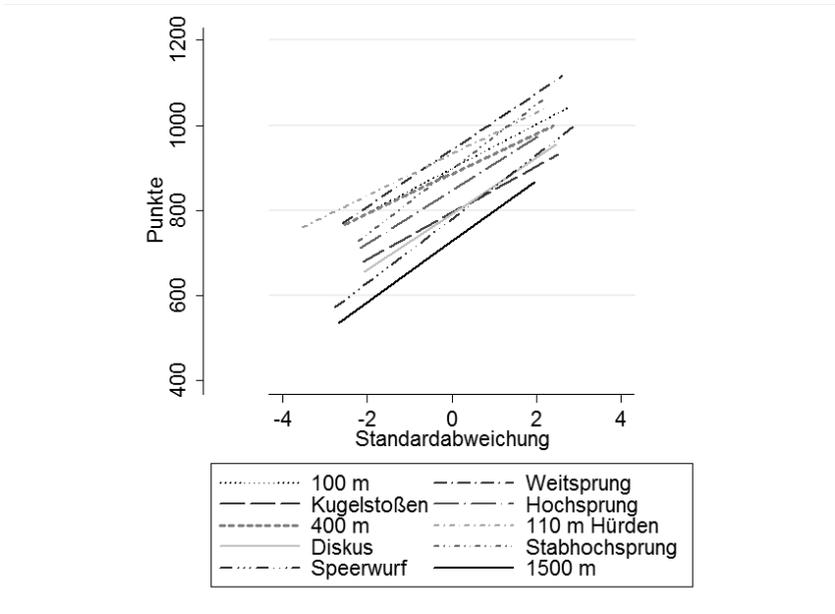


Abb. 1. Zusammenhang zwischen standardisierter Leistung und den Einzelpunkten der jeweiligen Disziplin im Zehnkampf der Männer

### Zusammenhang zwischen Teilpunkten und Gesamtpunkten im Zehnkampf der Männer

Wie aus den Tabellen 2 und 3 entnommen werden kann, ist beim Athletensample der besten 100 Zehnkämpfer der Einfluss der Disziplinen 100-m-Sprint, 110-m-Hürdenlauf und Weitsprung am höchsten ausgeprägt.

Die jeweilige Erklärungskraft der Einzeldisziplin liegt hierbei zwischen rund 29 % und 33 % auf das Gesamtergebnis, was unter anderem auf die Interkorrelation der Disziplinen des Sprint-Sprungbereiches zurückzuführen ist. So korreliert einerseits der 100-m-Sprint mit dem Weitsprung ( $r = 0,44; p < 0,05$ ) sowie mit dem 110-m-Hürdenlauf ( $r = 0,54; p < 0,05$ ) und andererseits findet man einen signifikanten Zusammenhang von Weitsprungleistung und 110-m-Hürdenleitung ( $r = 0,32; p < 0,05$ ).

Das Kugelstoßen und der 400-m-Lauf haben jeweils mit ca. 10 % Varianzklärung einen geringeren Einfluss auf das Wettkampfgesamtergebnis, was auch

durch die geringere Korrelation von  $r = 0,32$  und  $r = 0,33$  zum Ausdruck kommt ( $p < 0,05$ ). Das Kugelstoßen und der 400-m-Lauf sind unterschiedlichen Disziplingruppen wie „Sprint-Sprung“ bzw. „Kraft-Wurf“ oder sportmotorischen Fähigkeiten wie eher Maximalkraft, Explosivkraft und anaerobe Ausdauer, Schnelligkeitsausdauer zuzuordnen und korrelieren entsprechend negativ miteinander ( $r = -0,11$ ;  $p = -0,29$ ). Den absolut betrachtet geringsten Einfluss auf das Endresultat im Zehnkampf besitzt der abschließende 1500-m-Lauf ( $r = -0,01$ ;  $p = -0,94$ ), wobei dieser sogar nahezu mit allen anderen Disziplinen, teils signifikant negativ, in Zusammenhang steht (vgl. Tabelle 3).

Tab. 2. Ergebnisse der einzelnen linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte im Zehnkampf der Männer ( $n = 100$ )

Einzeldiszipli-	Steigungskoeffizient	Konstante	R <sup>2</sup>
100-m-Lauf	1,912***	6781,4***	0,327
Weitsprung	1,405***	7174,9***	0,289
Kugelstoßen	1,009***	7696,8***	0,101
Hochsprung	0,510*	8067,1***	0,034
400-m-Lauf	1,229***	7409,8***	0,109
110-m-Hürden	1,972***	6659,6***	0,307
Diskus	0,552*	8061,6***	0,043
Stabhoch-	0,315	8216,7***	0,019
Speerwurf	0,407***	8181,8***	0,031
1500-m-Lauf	-0,0175	8511,8***	0,000
+ $p < 0,10$ ; * $p < 0,05$ ; ** $p < 0,001$ ; *** $p < 0,001$			

Darüber hinaus lässt sich anhand der Daten mittels Interaktionsmatrix ein „Kraft-Wurf-Typ“ begründen (siehe Fröhlich et al. in diesem Band), was u.a. durch die relativ hohe Korrelation von  $r = 0,53$  von Diskuswurf- und Kugelstoßleistung zum Ausdruck kommt (Woolf et al., 2007).

Tab. 3. Korrelationsmatrix der Teilpunkte der Disziplinen und der Gesamtpunkte im Zehnkampf der Männer (Signifikanztest untere Zeile)

	GP	100	WS	KS	HS	400	110	DW	SH	SW	1500
GP	1,00										
100	0,57	1,00									
	0,00										
WS	0,54	0,44	1,00								
	0,00	0,00									
KS	0,32	0,05	-0,04	1,00							
	0,00	0,61	0,72								
HS	0,18	0,11	0,14	-0,02	1,00						
	0,07	0,26	0,16	0,82							
400	0,33	0,45	0,18	-0,11	-0,09	1,00					
	0,00	0,00	0,07	0,29	0,39						
110	0,55	0,54	0,32	-0,01	0,03	0,29	1,00				
	0,00	0,00	0,00	0,89	0,75	0,00					
DW	0,21	0,05	-0,12	0,53	-0,11	-0,26	-0,09	1,00			
	0,04	0,62	0,25	0,00	0,28	0,01	0,35				
SH	0,14	-0,09	-0,10	-0,16	-0,08	-0,10	0,11	-0,22	1,00		
	0,17	0,37	0,33	0,10	0,43	0,33	0,26	0,03			
SW	0,18	-0,24	-0,02	0,02	-0,13	-0,25	-0,09	0,07	-0,14	1,00	
	0,08	0,01	0,83	0,86	0,19	0,01	0,40	0,46	0,17		
1500	-0,01	-0,23	-0,14	-0,23	-0,27	0,21	-0,18	-0,26	-0,05	-0,03	1,00
	0,94	0,02	0,17	0,02	0,01	0,03	0,08	0,01	0,62	0,78	

GP = Gesamtpunkte, 100 = 100-m-Lauf, WS = Weitsprung, KS = Kugelstoßen, HS = Hochsprung, 400 = 400- m-Lauf, 110 = 110- m- Hürdenlauf, DW = Diskuswurf, SH = Stabhochsprung, SW = Speerwurf, 1500 = 1500-m-Lauf

Zur weiteren Ergründung möglicher Typendifferenzierung der besten Zehnkämpfer sind in Tabelle 4 im Rahmen von multivarianten linearen Regressionsmodellen verschiedene Zehnkampftypenmodelle berechnet worden.

Tab. 4. Ergebnisse der einzelnen multivariaten linearen Regressionen der gerundeten Einzel-  
punkte auf die Gesamtpunkte im Zehnkampf der Männer (n = 100)<sup>7</sup>

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4	Modell 5	Modell 6
100-m-Sprint	0,787* (2,43)					
Weitsprung	0,847*** (3,99)					
400-m-Lauf	0,287 (0,95)					
110-m-Hürden	1,071*** (3,47)					
Kugelstoßen		0,919* (2,55)				
Diskus		0,142 (0,47)				
Hochsprung			0,510+ (1,86)			
Stabhochsprung				0,315 (1,38)		
Speerwurf					0,407* (1,77)	
1500-m-Lauf						-0,0175 (-0,07)
Konstante	5740,0*** (18,35)	7656,2*** (29,70)	8067,1*** (34,60)	8216,7*** (40,10)	8181,8*** (45,39)	8511,8*** (47,37)
N	100	100	100	100	100	100
R <sup>2</sup>	0,501	0,103	0,034	0,019	0,031	0,000
Adjusted R <sup>2</sup>	0,480	0,085	0,024	0,009	0,021	-0,010
R <sup>2</sup> / Anzahl der UV	0,13	0,05	0,034	0,019	0,031	0,000
t Statistik in Klammern; + p < 0,10; *p < 0,05; **p < 0,001; *** p < 0,001						

<sup>7</sup> Der Umstand der nicht-unabhängigen Beobachtungen wurde kontrolliert und robuste Standardfehler wurden berechnet.

Wie aus Tabelle 4 zu ersehen ist, weist das Modell 1 mit 50 % Varianzklärung für das Gesamtergebnis die höchste Erklärungskraft aus. In diesem Modell vereinen sich die Teildisziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden, was in Analogie zur Literatur als „sprint-performance“ (Park & Zatsiorsky, 2011), „speed-and-athletic“ (Schomaker & Heumann, 2011) oder „Sprint-Sprung-Typ“ (Letzelter, 1985) bezeichnet werden kann.

Auf der motorischen Fähigkeitsebene sind die Schnelligkeitsleistungen in den vier Disziplinen durch einen hohen Anteil an schnellen Muskelfasern (motorischen Einheiten), einer gut ausgeprägten Bewegungskoordination und einem hohen Technikniveau determiniert. Hinzu kommen hohe Ausprägungen in der Schnellkraft sowie in der Schnelligkeitsausdauer (Kunz, 1984).

Das Kugelstoßen und der Diskuswurf verdichten sich im Modell 2 und erklären ca. 10 % der Gesamtwettkampfleitung.

Die Disziplinen Hochsprung, Stabhochsprung, Speerwurf und abschließender 1500-m-Lauf sind einerseits nur gering miteinander korreliert (in weiten Teilen sogar negativ, vgl. Tabelle 3) und sind im Rahmen der multivariaten linearen Regression somit auch jeweils einzelnen Modellen zuzuordnen. Die Varianzklärung der einzelnen Disziplinen in den verschiedenen Modellen ist insgesamt zu vernachlässigen (< 3,5 %).

## Zusammenhang zwischen Platzierung und Athletentypus im Zehnkampf der Männer

Aufbauend auf der Analyse zu verschiedenen Disziplingruppen wie „Sprint-Sprung-Typus“ bzw. „Wurf-Kraft-Typus“ soll im Folgenden untersucht werden, in welchem Umfang in der aktuellen Allzeitbestenliste die jeweiligen Typen repräsentiert und auf welchen Rangplätzen eventuelle Typen überrepräsentiert sind.

Hierzu wurden zunächst die Punkte anhand der Leistungen in den Disziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden (siehe Modell 1) sowie Kugelstoßen und Diskuswurf (siehe Modell 2) jeweils aufsummiert (siehe Anhang 6 und Anhang 9). Sodann wurde anhand dieser Punkteleistung eine jeweilige Rangreihe für den „Sprint-Sprung-Typus“<sup>8</sup> und den „Kraft-Wurf-Typus“<sup>9</sup> gebildet.

Betrachtet man die aktuell fünf bestplatzierten Zehnkämpfer, so sind diese im „Sprint-Sprung-Typus“ viermal vertreten und zusätzlich noch dreimal im „Kraft-Wurf-Typus“ repräsentiert (vgl. Tabelle 5 und Anhang 9). Interessant ist die Tatsache, dass der Allzeitbeste im „Kraft-Wurf-Typus“ Maurice Smith mit erzielten 1853 Punkten für die beiden Disziplinen Kugelstoßen und Diskuswurf im Gesamtklassement über alle zehn Disziplinen den Rangplatz 20 belegt.

Nimmt man die jemals erreichte beste Punkteleistung im 1500-m-Lauf als Bezugspunkt für die Allzeitbestenliste im Zehnkampf, so reichen die 874 Punkte von Dezső Szabo nur für einen Gesamtrangplatz 61. Wie ausgeglichen die Zehnkampfleistung vom aktuell führenden Asthon Eaton ist, kann zusätzlich an den 850 Punkten für den 1500-m-Lauf abgelesen werden (insgesamt Rangplatz 5 der jeweils besten 1500-m-Laufleistung).

---

<sup>8</sup> Anhand der erbrachten Leistungen in den Disziplinen 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden haben z. B. in der Reihenfolge Asthon Eaton 4151 Punkte, Frank Busemann 3968 Punkte, Daley Thompson 3948 Punkte, Roman Šebrle 3935 Punkte und Dan O'Brien 3935 Punkte erreicht (Anhang 9).

<sup>9</sup> Die Rangreihe anhand der erzielten Punkte für das Kugelstoßen und Diskuswerfen liegt für die ersten fünf Athleten bei: Maurice Smith 1853 Punkten, Mike Smith 1840 Punkten, Alexey Sysoev 1776 Punkten, Johannes Hock 1765 Punkten und Chris Huffins 1754 Punkten (siehe Anhang 9).

Tab. 5. Rangplatz der Top-20-Athleten nach Gesamtpunkten, nach Punkten in den Sprint-Sprung-Disziplinen und nach Punkten in den Kraft-Wurf-Disziplinen

	Allzeitbestenliste		Modell 1		Modell 2	
R	GS	Name	GS	Name	GS	Name
1	9039	Ashton EATON	9039	Ashton EATON	8644	Maurice SMITH
2	9026	Roman SEBRLE	8706	Frank BUSEMANN	8626	Mike SMITH
3	8994	Tomas DVORAK	8811	Daley THOMPSON	8497	Alexey SYSOEV
4	8891	Dan O'BRIEN	9026	Roman SEBRLE	8293	Johannes HOCK
5	8832	Bryan CLAY	8891	Dan O'BRIEN	8694	Chris HUFFINS
6	8815	Erki NOOL	8725	Dimitriy KARPOV	8725	Dimitriy KARPOV
7	8811	Daley THOMPSON	8994	Tomas DVORAK	8506	Valter KÜLVET
8	8790	Trey HARDEE	8790	Trey HARDEE	8558	Pascal BEHRENBRUCH
9	8784	Tom PAPPAS	8627	Robert ZMELIK	8994	Tomas DVORAK
10	8735	Eduard HÄMÄLÄINEN	8574	Christian PLAZIAT	8891	Dan O'BRIEN
11	8727	Dave JOHNSON	8694	Chris HUFFINS	8528	Aleksandr POGORELOV
12	8725	Dimitriy KARPOV	8320	Gernot KELLERMAYR	8519	Guido KRATSCHMER
13	8706	Frank BUSEMANN	8815	Erki NOOL	8832	Bryan CLAY
14	8694	Chris HUFFINS	8357	Yunior DIAZ	8475	Aleksey DROZDOV
15	8680	Torsten VOSS	8680	Torsten VOSS	8735	Eduard HÄMÄLÄINEN
16	8670	Michael SCHRADER	8617	Andrei RAUCHANKA	8526	Kristjan RAHNU
17	8654	Leonel SUAREZ	8363	Chiel WARNERS	8485	Jürgen HINGSEN
18	8645	Siegfried WENTZ	8784	Tom PAPPAS	8478	Antonio PENALVER
19	8644	Steve FRITZ	8603	Dean MACEY	8573	Jon Arnar MAGNUSSON
20	8644	Maurice SMITH	8670	Michael SCHRADER	8644	Steve FRITZ

R = Rangplatz, GS = Gesamtpunkte im Zehnkampf, Modell 1 = 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden, Modell 2 = Kugelstoßen und Diskuswurf

## Clusteranalytische Struktur des Zehnkampftypus

Anhand des Dendrogramms der Clusteranalyse konnte eine Zweicusterlösung für den Zehnkampf gefunden werden (vgl. für den Siebenkampf den Beitrag von Gassmann et al. in diesem Band), welche inhaltlich als Generalisten und Spezialisten zu interpretieren ist. Von den jeweils 100 besten Zehnkämpfern aller Zeiten fallen 61 in das Cluster der Spezialisten und 33 in die Gruppe der Generalisten. Sechs Athleten konnten keinem der beiden Cluster zugeordnet werden. Somit sind im Athletensample rund 65 % als Spezialisten und 35 % als Generalisten enthalten. Die mittlere Punktezahl der Spezialisten beträgt  $8502 \pm 157$  Punkte, während die Generalisten im Mittel geringfügig weniger Punkte erzielen, jedoch eine etwas größere Streuung zeigen ( $8470 \pm 173$  Punkte).

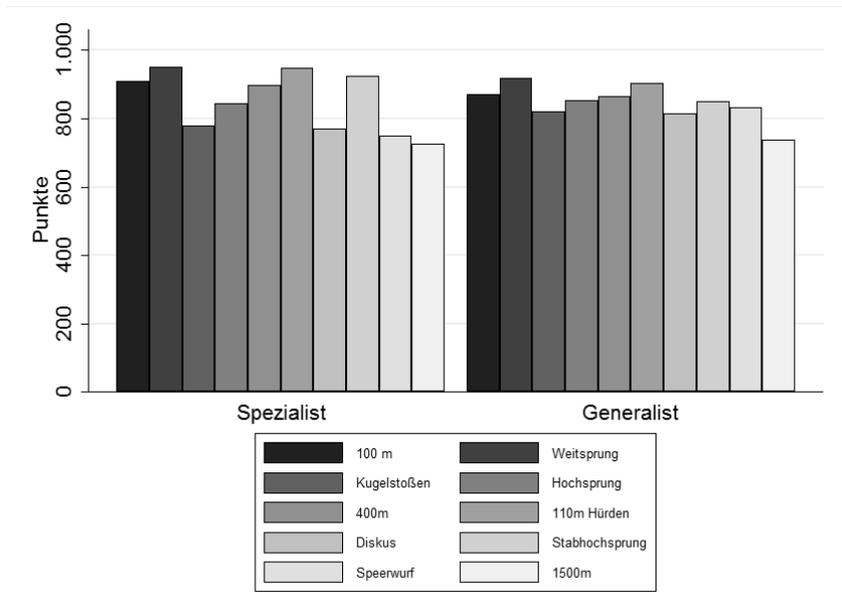


Abb. 2. Erreichte Punkte von Spezialisten und Generalisten in den einzelnen Disziplinen des Zehnkampfs der Männer mittels Zweicusterlösung

Zusammenhang von erbrachter Leistung und Teilpunkten in den einzelnen Disziplinen im Siebenkampf der Frauen

Im Siebenkampf der Frauen zeigt sich im Athletensample der 100 besten Athletinnen aller Zeiten, dass die Disziplinen 100-m-Hürden, Hochsprung und Weitsprung im Rahmen bivariater Regressionsberechnungen die höchsten Konstanten von jeweils über 1000 Punkten haben (vgl. Tabelle 6). Der Speerwurf weist die geringste Konstante mit 783,1 Punkten auf und erreicht erst bei einer um drei Standardabweichungen höheren Leistung einen durchschnittlichen Wert wie beim 100-m-Hürdenlauf (1066,6 Punkten).

Andererseits ist der Steigungskoeffizient der Regressionsgeraden mit 94,5 nahezu doppelt so hoch wie beim 100-m-Hürdenlauf, was bedeutet, dass eine um eine Standardabweichung höhere Leistung im Speerwurf ca. 12,1% relative Leistungsverbesserung bewirkt, während die gleiche Leistungsverbesserung im Hürdenlauf nur mit ca. 4,5 % quotiert wird.

Der Hochsprung und der Weitsprung haben das günstigste Verhältnis von hohem Steigungskoeffizient (relativer Leistungszuwachs) und Konstante (hoher Punktezuwachs innerhalb der Disziplinen), was bedeutet, dass in diesen beiden Disziplinen überdurchschnittliche Leistungen besonders hoch bewertet werden.

Tab. 6. Ergebnisse der einzelnen Regressionen der standardisierten Leistungen auf die jeweiligen Teilpunkte im Siebenkampf der Frauen (n = 100)

Einzeldisziplinen	Steigungs-koeffizient	Konstante	Marginaler Effekt		
			(+1 STD)	(+2 STD)	(+3 STD)
100-m-Hürden	47,4+	1064,4+	1111,8***	1159,2***	1206,6***
Hochsprung	71,1+	1022,1+	1093,2***	1164,3***	1235,5***
Kugelstoßen	65,0*	811,9*	876,9***	941,9***	1006,9***
200-m-Lauf	60,3	975,3	1035,6***	1095,9***	1156,3***
Weitsprung	76,7	1001,7	1078,4***	1155,1***	1231,7***
Speerwurf	94,5*	783,1*	877,6***	972,1***	1066,6***
800-m-Lauf	62,8	931,6	994,3***	1057,1***	1119,9***
+ p < 0,10; *p < 0,05; **p < 0,001; *** p < 0,001					

Wie aus der Tabelle 6 und der Abbildung 3 ersichtlich, markieren der 100-m-Hürdenlauf als obere Grenze und der Speerwurf als untere Grenze die standardisierten Leistungen im Siebenkampf, während sich die anderen Disziplinen zwischen diesen beiden Polen aufspannen. Darüber hinaus wird anhand der Steigungskoeffizienten und der Konstanten ersichtlich, dass eine Gleichgewichtung der Disziplinen im Siebenkampf nicht gegeben ist (vgl. Dawkins et al., 1994; Letzelter, 1985).

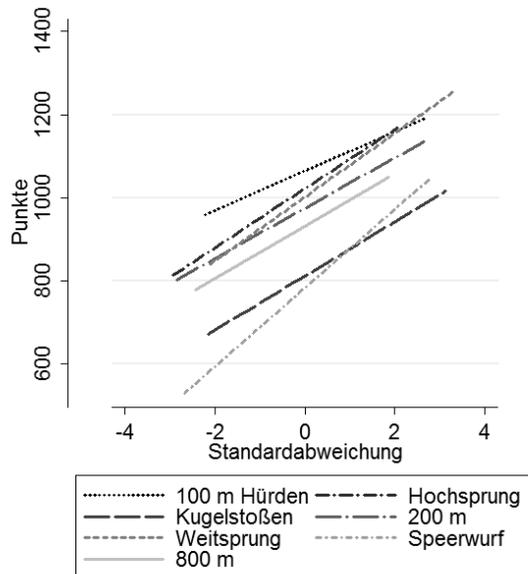


Abb. 3. Graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen standardisierter Leistung und den Einzelpunkten der jeweiligen Disziplin im Siebenkampf der Frauen

## Zusammenhang zwischen Teilpunkten und Gesamtpunkten im Siebenkampf der Frauen

Untersucht man die Erklärungskraft der einzelnen Disziplinen auf die Gesamtpunkte, so kann man sehr eindeutig erkennen, dass der Weitsprung mit knapp 40 % den höchsten Einfluss hat. Danach folgen die Disziplinen 100-m-Hürdenlauf (25 %), 200-m-Sprint (24 %) und Hochsprung (12 %). Der abschließende 800-m-Lauf und der Speerwurf sind im erfolgsgdifferenzierenden Einfluss als marginal zu betrachten.

Tab. 7. Ergebnisse der einzelnen linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte im Siebenkampf der Frauen (n = 100)

Einzeldisziplinen	Steigungskoeffizient	Konstante	R <sup>2</sup>
100-m-Hürden	1,901***	4566,5***	0,252
Hochsprung	0,876***	5694,8***	0,120
Kugelstoßen	0,806*	5936,0***	0,085
200-m-Lauf	1,462***	5163,8***	0,241
Weitsprung	1,467***	5120,7***	0,392
Speerwurf	0,391*	6283,9***	0,042
800-m-Lauf	0,958**	5948,0***	0,058
+ p < 0,10; *p < 0,05; **p < 0,001; *** p < 0,001			

Der hohe Einfluss des Weitsprungs ist u.a. durch die Interaktion mit den Schnelligkeitsanforderungen, wie sie beispielsweise in den Disziplinen 100-m-Hürdenlauf und 200-m-Sprint ebenfalls zum Tragen kommen, begründet. So korrelieren diese Disziplinen mit  $r = 0,33$  ( $p = 0,0007$ ) und  $r = 0,40$  ( $p = 0,00001$ ) signifikant mit dem Weitsprung (vgl. Tabelle 8). Hürdenlauf und 200-m-Sprint weisen wiederum einen signifikanten Zusammenhang von  $r = 0,49$  ( $p = 0,00001$ ) aus.

Interessant ist die Betrachtung von 200-m-Sprint und 800-m-Laufleistung, welche signifikant positiv mit  $r = 0,43$  ( $p = 0,00001$ ) in Zusammenhang stehen. So ist die zu erbringenden 800-m-Distanz im Gegensatz zu den 1500 m im Zehnkampf der Männer nicht lange genug, um der reinen anaeroben Ausdaueranforderung zugerechnet werden zu können, sondern ist zusätzlich durch Schnelligkeits-Ausdaueranteile in einer Mischform geprägt (Letzelter, 1985).

Tab. 8. Korrelationsmatrix der Teilpunkte der Disziplinen und der Gesamtpunkte im Siebenkampf der Frauen (Signifikanztest untere Zeile)

	GP	100	HS	KS	200	WS	SW	800
GP	1							
100	0,50	1						
	0,00							
HS	0,35	-0,01	1					
	0,00	0,89						
KG	0,29	-0,1	0,09	1				
	0,00	0,33	0,38					
200	0,49	0,49	-0,14	-0,19	1			
	0,00	0,00	0,16	0,06				
WS	0,63	0,33	0,13	0,00	0,40	1		
	0,00	0,00	0,18	0,98	0,00			
SP	0,21	-0,15	-0,05	0,11	-0,32	-0,18	1	
	0,04	0,13	0,60	0,28	0,00	0,07		
800	0,24	0,15	-0,17	-0,21	0,43	0,06	-0,33	1
	0,02	0,14	0,09	0,04	0,00	0,58	0,00	
GP = Gesamtpunkte, 100 = 100-m-Hürdenlauf, HS = Hochsprung, KS = Kugelstoßen, 200 = 200-m-Sprint, WS = Weitsprung, SW = Speerwurf, 800 = 800-m-Lauf								

In Analogie zur Typendifferenzierung im Zehnkampf, wurden die Einzeldisziplinen im Siebenkampf der 100 besten Allzeitathletinnen mittels multivariater linearer Regression verschiedenen Typenmodellen zugeordnet. Wie aus Tabelle 9 ersichtlich konnte eine Modellvariante 1 mit einer Varianzklärung von 61 % bestehend aus den Disziplinen 100-m-Hürden, Hochsprung, 200-m-Sprint und Weitsprung berechnet werden („Spring-Sprung-Typus“).

Im Modell 2 sind die beiden Wurf-Stoß-Disziplinen mit einer Erklärungskraft von rund 12 % vertreten („Kraft-Wurf-Typus“), während der 800-m-Lauf in einem eigenen Modell rund 6 % der Varianz erklärt (vgl. Tabelle 9). Im Modell 1 sind somit die schnellkeits-, schnellkeitsausdauer- und schnellkraftdeterminierten Disziplinen mit hohem Technikanteil vertreten, während in der Modellvariante 2 eher Explosiv- und Maximalkraftanteile determinierend für hohe Wettkampfleistungen sind.

Die 800 m sind hingegen durch anaerobe Ausdauer und hohe Ermüdungswiderstandsfähigkeit charakterisiert.

Tab. 9. Ergebnisse der einzelnen multivariaten linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte im Siebenkampf der Frauen mit einer Dreimodelllösung (n = 100)

	<b>Modell 1</b>	<b>Modell 2</b>	<b>Modell 3</b>
100-m Hürden	0,944** (3,02)		
Hochsprung	0,843*** (5,90)		
200-m-Lauf	0,768** (3,40)		
Weitsprung	0,924*** (4,61)		
Kugelstoßen		0,752* (2,11)	
Speerwurf		0,334+ (1,73)	
800-m-Lauf			0,689* (2,29)
Konstante	3047,8*** (8,43)	5717,6*** (20,02)	5948,0*** (21,78)
N	100	100	100
R <sup>2</sup>	0,615	0,115	0,058
Adjusted R <sup>2</sup>	0,599	0,097	0,048
R <sup>2</sup> / Anzahl der UV	0,154	0,058	0,058
t Statistik in Klammern; + p < 0,10, * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001			

In Tabelle 10 ist eine weitere Modelllösung mit insgesamt vier Disziplinen bzw. Disziplingruppe dargestellt, bei der der Hochsprung als eigener Faktor mit einer Varianzklärung von 12 % auszumachen ist.

Im Gegensatz zu den Zehnkampfauswertungen, sind für die Siebenkampfresultate zwei unterschiedliche Modelle dargestellt. Begründet wird dies u.a. damit, dass Modellvariante 1 (vgl. Tabelle 9) in weiten Teilen der Disziplinstruktur im Zehnkampf entspricht.

Andererseits ist der Hochsprung im Siebenkampf mit keiner weiteren Disziplin positiv korreliert, was einen eigenständigen Faktor rechtfertigen würde und somit zu einer vier Disziplinlösung führt (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 10).

100-m-Hürdenlauf, 200-m-Sprint und Weitsprung sind wie in der Dreimodelllösung in einem Disziplinkomplex vereint und können 51 % der Varianz klären. Das Kugelstoßen und der Speerwurf vereinen sich im „Kraft-Wurf-Typus“ (11,5 %), während der 800-m-Lauf wiederum als einzelner Modelltypus die anaerobe Ausdauer sowie physische und psychische Ermüdungswiderstandsfähigkeit abbildet.

Tab. 10. Ergebnisse der einzelnen multivariaten linearen Regressionen der gerundeten Einzelpunkte auf die Gesamtpunkte im Siebenkampf der Frauen mit einer Viermodelllösung (n = 100)

	Modell 1	Modell 2	Modell 3	Modell 4
100-m Hürden	0,987** (3,09)			
Hochsprung			0,876*** (4,06)	
200-m-Lauf	0,521* (2,06)			
Weitsprung	1,099*** (4,78)			
Kugelstoßen		0,752* (2,11)		
Speerwurf		0,334+ (1,73)		
800-m-Lauf				0,689* (2,29)
Konstante	3930,0*** (11,41)	5717,6*** (20,02)	5694,8*** (26,67)	5948,0*** (21,78)
N	100	100	100	100
R <sup>2</sup>	0,510	0,115	0,120	0,058
Adjusted R <sup>2</sup>	0,495	0,097	0,111	0,048
R <sup>2</sup> / Anzahl der UV	0,170	0,058	0,120	0,058
t Statistik in Klammern + $p < 0,10$ , * $p < 0,05$ , ** $p < 0,01$ , *** $p < 0,001$				

## Zusammenhang zwischen Platzierung und Athletentypus im Siebenkampf der Frauen

Betrachtet man die Allzeitbestenliste der Siebenkämpferinnen, so rangiert Jackie Joyner-Kersey sowohl über alle Disziplinen als auch in der Differenzierung „Sprint-Sprung-Typus“ auf Rangplatz eins. Die Berechnung der Rangplätze für den „Sprint-Sprung-Typus“ als auch für den „Kraft-Wurf-Typus“ wurde analog der Auswertung im Zehnkampf der Männer vorgenommen. Im „Sprint-Sprung-Typus“ sind die Disziplinen 100-m-Hürden, 200-m-Sprint und Weitsprung zusammengefasst (Modell 1 in Tabelle 11). Modell 2 vereint die „Kraft-Wurfdisziplinen“ Kugelstoßen und Speerwurf.

Unter den ersten fünf Athletinnen sind vier im „Sprint-Sprung-Typus“ zu finden und zusätzlich noch zweimal im „Kraft-Wurf-Typus“ vertreten. Die Führende im „Kraft-Wurf-Typus“ Austra Skujyte kann jedoch keinen Platz unter den 20 besten Athletinnen im Gesamtklassement erreichen (vgl. Tabelle 11 und Anhang 10).

Die beste deutsche Athletin Sabina Braun auf Rangplatz vier der Allzeitbestenliste ist in Modellvariante 1 – „Sprint-Sprung-Typus“ – auf Platz 18 und in der Modellvariante 2 – „Kraft-Wurf-Typus“ – auf Platz 12, was insgesamt für eine sehr ausgeglichene Leistung spricht.

Die beste Leistung im abschließenden 800-m-Lauf erreichte Anke Vater-Behmer mit 1051 Punkten, was addiert mit den weiteren sechs Disziplinen zu Rangplatz 11 und 6858 Punkten führt. Knapp dahinter liegt Elena Prokhorova mit 1050 Punkten für den 800-m-Lauf und Endresultat von 6765 Punkten (Rangplatz 16).

Tab. 11. Rangplatz der Top-20-Athletinnen nach Gesamtpunkten, nach Punkten in den Sprint-Sprung-Disziplinen und nach Punkten in den Kraft-Wurf-Disziplinen

	Allzeitbestenliste		Modell 1		Modell 2	
1	7291	Jackie JOYNER-KERSEE	7291	Jackie JOYNER-KERSEE	6599	Austra SKUJYTE
2	7032	Carolina KLÜFT	6741	Heike DRECHSLER	7007	Larisa TURCHINSKAYA
3	7007	Larisa TURCHINSKAYA	6955	Jessica ENNIS-HILL	6942	Ghada SHOUBA
4	6985	Sabine BRAUN	6735	Hyleas FOUNTAIN	6430	Julia MÄCHTIG
5	6955	Jessica ENNIS-HILL	7032	Carolina KLÜFT	6396	Nathalie TEPPE
6	6942	Ghada SHOUBA	6545	Dafne SCHIPPERS	6576	Antoinette NANA DJIMOUIDA
7	6897	Sabine JOHN	6889	Eunice BARBER	6778	Natallia DOBRYNSKA
8	6889	Eunice BARBER	6845	Irina BELOVA	6494	Kamila CHUDZIK
9	6880	Tatyana CHERNOVA	6859	Natalya SHUBENKOVA	6508	Nafissatou THIAM
10	6859	Natalya SHUBENKOVA	6897	Sabine JOHN	6703	Tatyana BLOKHINA
11	6858	Anke VATER-BEHMER	6858	Anke VATER-BEHMER	6666	Jane FREDERICK
12	6845	Irina BELOVA	6682	Katarina JOHNSON-THOMPSON	6985	Sabine BRAUN
13	6832	Lyudmyla BLONSKA	6598	Svetlana MOSKALETS	6500	Birgit CLARIUS
14	6831	Denise LEWIS	6472	Shelia BURRELL	6649	Lilli SCHWARZKOPF
15	6778	Natallia DOBRYNSKA	6832	Lyudmyla BLONSKA	6880	Tatyana CHERNOVA
16	6765	Elena PROKHOROVA	6658	Svetla PISHTIKOVA	6430	Yana PANTELEEVA
17	6750	Miaolan MA	6635	Svetlana BURAGA	6390	Irina VOSTRIKOVA
18	6741	Heike DRECHSLER	6985	Sabine BRAUN	6831	Denise LEWIS
19	6735	Hyleas FOUNTAIN	6765	Elena PROKHOROVA	6635	Sibylle THIELE
20	6703	Tatyana BLOKHINA	6641	Brianne THEISEN EATON	6577	Le Shundra NATHAN

R = Rangplatz, GS = Gesamtpunkte im Siebenkampf, Modell 1 = 100-m-Hürden, 200-m-Sprint und Weitsprung, Modell 2 = Kugelstoßen und Speerwurf

### Clusteranalytische Struktur des Siebenkampftypus

Berechnet man analog zur Vorgehensweise im Zehnkampf Cluster zur Zusammenfassung von Typen von Athletinnen, so findet man anhand des Dendograms in der Allzeitbestenliste der Siebenkämpferinnen eine Zweicusterlösung mit 42 % Spezialistinnen und 58 % Generalistinnen. Insgesamt können sieben Athletinnen keinem der beiden Cluster zugeordnet werden. Die Spezialistinnen können im Mittel  $6592 \pm 153$  Punkte erzielen, während die Generalistinnen geringfügig weniger Punkte  $6579 \pm 175$  erreichen.

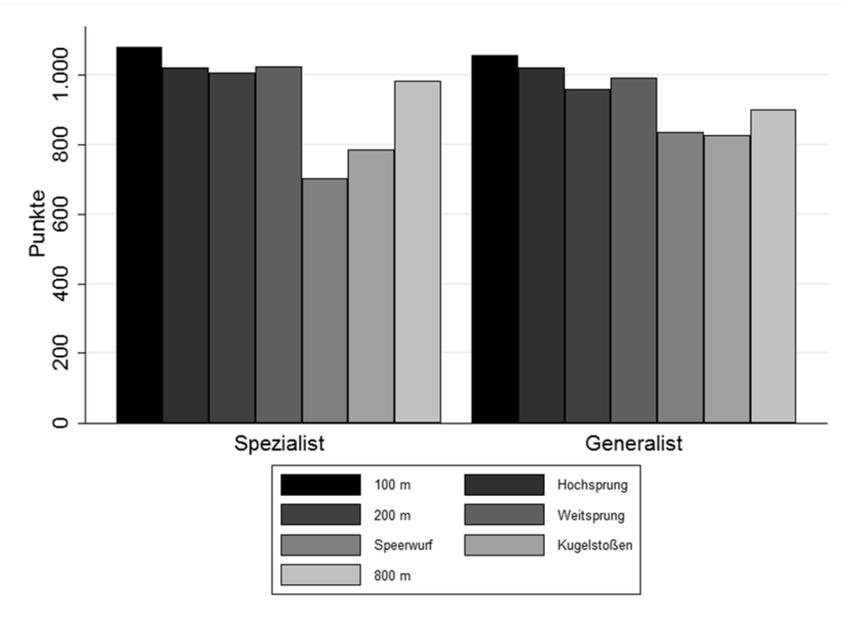


Abb. 4. Erreichte Punkte von Spezialistinnen und Generalistinnen in den einzelnen Disziplinen des Siebenkampfs der Frauen mittels Zweicusterlösung

## Individueller Vergleich im Sieben- und Zehnkampf

Um die Frage nach dem besten Mehrkämpfer zu beantworten, wurden zunächst für den Sieben- und den Zehnkampf die mittleren Punkte berechnet und dann je nach Disziplin die individuelle Abweichung von diesem Mittelwert (vgl. Tabelle 12).

Da im Zehnkampf und im Siebenkampf unterschiedlich viele Punkte – einerseits durch die unterschiedliche Disziplinanzahl und andererseits durch die verschiedenen Transformationsregeln – erzielt werden können (mittlere Punkte Zehnkampf: 8499 vs. Siebenkampf: 6590,1) wurde die absolute Differenz noch mit den durchschnittlich erreichten Punkten relativiert.

Das Ergebnis ist eine prozentuale Abweichung von den durchschnittlich erreichten Punkten, die sich auch zwischen den Disziplinen Zehn- und Siebenkampf als relatives Maß vergleichen lassen. Nach diesen Analysen ist Jackie Joyner-Kersey die erfolgreichste Mehrkämpferin mit rund 11 % mehr Punkten als die durchschnittlichen Top 100 Siebenkämpferin und „schlägt“ damit Carolina Klüft auf Platz zwei sowie den erfolgreichsten männlichen Mehrkämpfer Ashton Eaton, der rund 6 % mehr Punkte als der durchschnittliche Top 100 Zehnkämpfer erreichte, deutlich.

Indirekt könnte man mittels dieser Vorgehensweise eine Aussage zur Leistungsdichte im Sample als auch zur individuellen Abweichung im Kollektiv treffen. So ist beispielsweise 13-mal der Siebenkampf und nur siebenmal der Zehnkampf im Feld der relativen Punkteunterschiede vertreten und auch der aufsummierte mittlere prozentuale Punkteunterschied ist bei den Athletinnen mit 5,4 % größer als bei den Athleten mit 4,9 % (vgl. Tabelle 12).

Entfernt man jedoch die herausragende Siebenkämpferin Jackie Joyner-Kersey aus dem Sample der Athletinnen, so relativiert sich die mittlere prozentuale Abweichung auf ebenfalls 4,9 % wie bei den Männern.

Tab. 12. Vergleich der relativen und absoluten Punkteunterschiede in Bezug zur mittleren Punktezahl der jeweils 100 besten Athletinnen und Athleten

R	Disziplin	GS	Name	Mean P	Abs. Different	% Differenz
1	Siebenkampf	7291	Jackie JOYNER-KERSEE	6590,1	701	10,64 %
2	Siebenkampf	7032	Carolina KLÜFT	6590,1	442	6,71 %
3	Zehnkampf	9039	Ashton EATON	8499,0	540	6,35 %
4	Siebenkampf	7007	Larisa TURCHINSKAYA	6590,1	417	6,33 %
5	Zehnkampf	9026	Roman SEBRLE	8499,0	527	6,20 %
6	Siebenkampf	6985	Sabine BRAUN	6590,1	395	5,99 %
7	Zehnkampf	8994	Tomas DVORAK	8499,0	495	5,82 %
8	Siebenkampf	6955	Jessica ENNIS-HILL	6590,1	365	5,54 %
9	Siebenkampf	6942	Ghada SHOUBA	6590,1	352	5,34 %
10	Siebenkampf	6897	Sabine JOHN	6590,1	307	4,66 %
11	Zehnkampf	8891	Dan O'BRIEN	8499,0	392	4,61 %
12	Siebenkampf	6889	Eunice BARBER	6590,1	299	4,54 %
13	Siebenkampf	6880	Tatyana CHERNOVA	6590,1	290	4,40 %
14	Siebenkampf	6859	Natalya SHUBENKOVA	6590,1	269	4,08 %
15	Siebenkampf	6858	Anke VATER-BEHMER	6590,1	268	4,07 %
16	Zehnkampf	8832	Bryan CLAY	8499,0	333	3,92 %
17	Siebenkampf	6845	Irina BELOVA	6590,1	255	3,87 %
18	Zehnkampf	8815	Erki NOOL	8499,0	316	3,72 %
19	Siebenkampf	6832	Lyudmyla BLONSKA	6590,1	242	3,67 %
20	Zehnkampf	8811	Daley THOMPSON	8499,0	312	3,67 %

R = Rangplatz, GS = Gesamtpunkte im Sieben- bzw. Zehnkampf, % Differenz = prozentuale Differenz zwischen individueller Leistung in Punkten und mittlerer Leistung in Punkte der 100 Besten, abs. Different = absolute Differenz zwischen individueller Leistung in Punkten und mittlerer Leistung in Punkten der 100 Besten, Mean P = mittlere Punktezahl der 100 besten Sieben- bzw. Zehnkämpfer

Diese Analysen müssen jedoch mit einer gewissen Einschränkung betrachtet werden, da die durchschnittlich erreichten Punkte in den Disziplinen von den teilnehmenden Athletinnen und Athleten abhängen. Es wäre zu vermuten, dass unter den Männern mehr Profis existieren, und so das Leistungsniveau unter den Männern insgesamt höher und vor allem im oberen Rankingbereich auch deutlich dichter ist. Diese Überlegung lässt sich jedoch empirisch nicht vollkommen bestätigen.

In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass in der Verteilung die standardisierte Leistung der Siebenkämpferinnen und der Zehnkämpfer sehr ähnlich verteilt ist. Es ist jedoch denkbar, dass das Niveau bei den Männern generell höher ist und eine außergewöhnliche Athletin wie Jackie Joyner-Kersey es dann relativ gesehen etwas leichter hat sich nach oben abzusetzen.

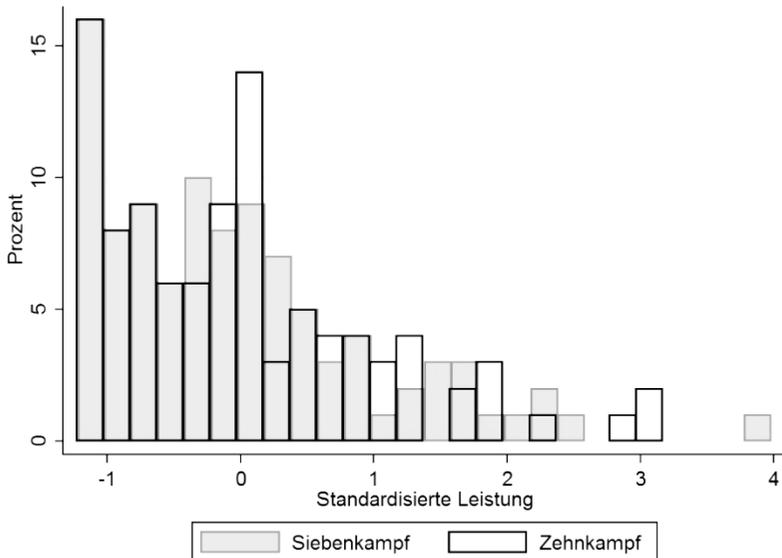


Abb. 5. Histogramm der prozentualen Verteilung der standardisierten Leistung der Gesamtpunkte

## Diskussion

Im Siebenkampf der Frauen und im Zehnkampf der Männer gehen die jeweils sieben bzw. zehn Einzeldisziplinen nicht gleichgewichtet in das Gesamtwettkampfergebnis ein. Dieser Umstand konnte nunmehr empirisch für die jeweils 200 besten Athletinnen und Athleten bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen (siehe Gassmann et al. sowie Fröhlich et al. in diesem Band) als auch für die 100 Allzeitbesten der aktuellen Weltrangliste gezeigt werden und deckt sich weitgehend mit den Befunden der Literatur (Cox & Dunn, 2002; Geese, 2004; Kenny et al., 2005; Park & Zatsiorsky, 2011; Westera, 2006; Wimmer et al., 2011).

So werden im Sieben- als auch im Zehnkampf Leistungen aus den Disziplingruppen „Sprint-Sprung“ und „Kraft-Wurf“ mit überproportional mehr Punkten bewertet als die Leistungen in den Disziplinen, die eher den Ausdauercharakter „endurance abilities“ wie 800-m-Lauf und 1500-m-Lauf abbilden sollen. Geese (2004, S. 12) führte hierzu aus:

Leistungen in den Wüfren und bei der Mittelstrecke werden für Mehrkämpfer ungleich schwächer bewertet als alle restlichen Disziplinen; Athleten mit überdurchschnittlichen Leistungen in diesen Disziplinen haben erhebliche Nachteile gegenüber jenen, die in den Sprint- und Sprungdisziplinen überdurchschnittlich sind. Mit dieser eklatanten Ungleichbewertung der Disziplinen wird das Grundprinzip der Chancengleichheit im Mehrkampf in keiner Weise realisiert.

Im Siebenkampf der Frauen kommt somit auf Disziplinebene den Disziplinen Weitsprung (39 % bis 48 %), 100-m-Hürden (24 % bis 38 %) und 200-m-Lauf (25 % bis 33 %), durch die Interkorrelation der Disziplinen, der höchste Einfluss zu. Im Zehnkampf der Männer findet man ein nahezu identisches Bild: Weitsprung (29 % bis 34 %), 100-m-Sprint (29 % bis 32 %) und 110-m-Hürden (28 % bis 31 %) sind hier die einflussreichsten Disziplinen.

Fast man die einzelnen Disziplinen von Sieben- und Zehnkampf über einerseits multivariate lineare Regressionen sowie andererseits cluster- und faktoranalytische Verfahren zusammen, so findet man in Analogie zur Literatur je nach Betrachtung „Sprint-Sprung-Disziplinen“, „Kraft-Wurf-Disziplinen“ und „Ausdauer-Disziplinen“ bzw. auch einzelne Disziplinen, die sich keinem der drei Bereiche direkt zuordnen lassen.

Die einzelnen Gruppen umfassen dabei sowohl für die Teilnehmer an den Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen als auch für die 100 besten Zehnkämpfer:

- Faktor 1: 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden
- Faktor 2: Kugelstoßen und Diskuswurf
- Faktor 3: 1500-m-Lauf
- Faktor 4: Hochsprung, Stabhochsprung und Speerwurf

Inhaltlich bzw. trainingswissenschaftlich sind dabei jedoch nur die drei ersten Faktoren zu interpretieren. In Anlehnung an die nationale und internationale Terminologie subsumiert Faktor 1 als „sprint-performance“, „speed-and-athletic“ oder „Spring-Sprung“ (Letzelter, 1985; Park & Zatsiorsky, 2011; Schomaker & Heumann, 2011). Faktor 2 kann als „Kraft-Wurf“, „strength-and-technique“ oder „throwing abilities“ aufgefasst werden und Faktor 3 als „endurance abilities“ (Fan, 2014; Schomaker & Heumann, 2011; Vindusková, 2003; Wimmer et al., 2011).

Für den Siebenkampf findet man eine inhaltliche Dreifaktorenlösung mit den Faktoren (streng genommen handelt es sich um eine Zweifaktorenlösung, da der 800-m-Lauf keinem eigenen Faktor zugerechnet werden kann und die Varianzklärung für das Gesamtergebnis im Siebenkampf kleiner 1 % ist):

- Faktor 1: 100-m-Hürdenlauf, 200-m-Lauf, Weitsprung und Hochsprung
- Faktor 2: Speerwurf und Kugelstoßen
- Faktor 3: 800-m-Lauf

Die Varianzklärung des ersten Faktors beträgt je nach betrachtetem Sample zwischen 62 % (Allzeitbestenliste) und 72 % für die 200 besten Athletinnen der Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen.

Verdichtet man die verschiedenen Einzelfaktoren zur Wettkampftypologie Generalist versus Spezialist, so findet man bei den Zehnkämpfern im Sample rund 65 % Spezialisten und 35 % Generalisten, während sich im Siebenkampf 42 % Spezialistinnen und 58 % Generalistinnen zeigen (vgl. Gassmann et al. in diesem Band). Die unterschiedliche Verteilung in Generalist und Spezialist zwischen den beiden Mehrkampfdisziplinen dürfte dabei einerseits durch die Anzahl an Disziplinen per se als auch durch die Interaktion der Einzeldisziplinen begründet sein.

Im Siebenkampf und im Zehnkampf erreichen die Spezialisten insgesamt mehr Punkte, während die Variabilität innerhalb der Generalisten etwas größer ist. Interessant wäre in diesem Kontext zu untersuchen, inwieweit eine Ausweitung des Siebenkampfs der Frauen auf einen Zehnkampf eine ähnliche Verteilung wie bei den Männern bewirken würde (Marek, 2012). Des Weiteren wäre generell zu prüfen, inwieweit eine Ausweitung auf zehn Disziplinen die Attraktivität im Mehrkampf der Frauen günstig beeinflussen würde, was u.a. in dem Zitat von Christian Schenk, Zehnkampf-Olympiasieger von Seoul 1988, in der Frankfurter Allgemeinen Zeitung zum Ausdruck kommt (Dreis, 2011 Zugriff am 12.03.2015 unter <http://www.faz.net/aktuell/sport/french-open/kernsport-kolumne-wann-kommt-die-koeniginnendisziplin-16429.html>):

In zehn bis 15 Jahren wird es ganz normal sein, dass sie auch Zehnkampf machen.

Im Gegensatz dazu steht jedoch die Prognose von Siebenkämpferin Jennifer Oeser WM-Zweite von 2009 (Dreis, 2011 Zugriff am 12.03.2015 unter <http://www.faz.net/aktuell/sport/french-open/kernsport-kolumne-wann-kommt-die-koeniginnendisziplin-16429.html>):

... eine gute Spezialistin, die 4,50 Meter (die Disziplin Stabhochsprung ist gemeint, Anmerkung der Autoren) springen könne – „während wir bei zwei Metern rumkriechen“ – würde dabei so viele Punkte machen, dass sie den ganzen Zehnkampf gewänne.

Diese Aussage verdeutlicht, dass eine Ausweitung der Disziplinen das Normengefüge, wie es aktuell existiert, deutlich verändern würde, was die generelle Frage nach einer Aktualisierung der seit 30 Jahren gültigen Transformationsregel erneut aufwerfen würde (siehe hierzu auch Westera, 2006, 2007).

In der rund hundertjährigen Geschichte des Olympischen Zehnkampfs – siehe Bernett (1987) – gab es bisher mehrfach Änderungen der Bewertungstabellen zur Berechnung der Gesamtleistung. So existieren Bewertungstabellen für die Jahre 1912, 1920, 1936, 1952, 1964 und 1985, während in den Jahren 1920, 1936, 1952, 1962 und 1985 jeweils aktualisierte Bewertungstabellen für nationale und internationale Meisterschaften als Grundlage für die Leistungs-transformation dienten.

Dass diese Änderungen dabei jeweiligen impliziten und expliziten Annahmen der jeweiligen Bewertungskommissionen folgten, wird u.a. in dem Zitat von Geese (2004, S. 10) deutlich:

Möglich ist, dass die IAAF-Bewertungskommission zu der Auffassung gelangt ist, dass das menschliche Leistungsvermögen in bestimmten Disziplinen hinter anderen zurück geblieben ist, wobei das Maß des potenziellen Abstandes von den Experten relativ willkürlich gesetzt worden zu sein scheint. Eine Begründung für eine solche, mögliche Auffassung wäre m.E. ebenso wenig nachvollziehbar wie das Maß der Abstände der einzelnen Disziplinen zueinander. Fehlbewertungen sind natürlich unvermeidlich, jedoch wird das Ausmaß nicht unwesentlich von der Zusammensetzung der Bewertungskommission abhängen. Es ist anzunehmen, dass durch mehrkampfereahene Experten in einer solchen Kommission Fehlbewertungen minimiert werden könnten.

Folgt man diesen Hinweisen und berücksichtigt dabei weiter, dass der Mehrkampf (hier empirisch für den Sieben- und Zehnkampf untersucht) eine relativ ausgeglichene Sportlertypologie verfolgt und nicht einzelne motorisch-physiologische Anforderungen wie im „Sprint-Sprung-Typ“ oder „Wurf-Kraft-Typ“ präferiert, wird deutlich, dass eine inhaltlich Diskussion über die aktuelle Bewertung im Mehrkampf – explizit im Siebenkampf der Frauen und Zehnkampf der Männer – aussteht.

Daher sollte auf empirischer Grundlage eine Neubewertung der Transformationsregeln und Bewertungstabellen vorgenommen werden, um dem Anspruch der relativen Gleichgewichtung der einzelnen Disziplinen im Mehrkampf gerecht zu werden. Somit ist das Fragezeichen in der von Geese (2004, S. 9) formulierten Frage „Ist eine Revision der internationalen Mehrkampfwertung überfällig?“ durch ein Ausrufezeichen (!) zu ersetzen.

Abgeleitet daraus sollen im Folgenden einige Diskussionspunkte für eine Revision der Bewertungsgrundlage im Mehrkampf der Leichtathletik formuliert werden.

Inwieweit eine Umsetzung perspektivisch wahrscheinlich scheint oder aber auch, welche Implikationen damit verbunden sind, soll zunächst vernachlässigt werden:

- Modifikation der Konstanten A, B und C in der Bewertungsformel auf empirischer Grundlage anhand der aktuellen Leistungsfähigkeit der Weltspitze in der Einzeldisziplin oder der Mehrkampfweltspitze.

- Orientierung der Leistungsbewertung an den motorisch-physiologischen Anforderungen des Mehrkampfs, indem ein Korrekturfaktor für unterbewertete Disziplinen eingeführt wird (z. B. für den 1500-m-Lauf der Männer und 800-m-Lauf der Frauen).
- Gleichgewichtung der Disziplinen in Disziplingruppen mit gleicher Anzahl an Einzeldisziplinen für „Schnelligkeit“, „Kraft“ und „Ausdauer“, sodass entweder in den aktuell überbewerteten Disziplingruppen „Schnelligkeit“ („Sprint-Sprung“) und „Kraft“ („Kraft-Wurf“) Disziplinen gestrichen werden, oder im Bereich „Ausdauer“ Disziplinen wie 3000-m-Hindernislauf oder 5000-m-Lauf hinzukommen. Dies würde bedeuten, dass z. B. aus dem Zehnkampf ein Neunkampf oder ein Zwölfkampf entstehen könnte.
- Anlehnung der Disziplinen an motorische Grundfähigkeiten wie Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit und Koordination und sodann möglichst gleichgewichtete Abbildung durch die Einzeldisziplinen der Leichtathletik. Dies könnte bedeuten, dass pro Grundeigenschaft zwei oder drei zentrale Einzeldisziplinen die Fähigkeit abbilden. Inwieweit die Einzeldisziplinen das jeweilige Konstrukt trennscharf abbilden, könnte zunächst empirisch untersucht werden.
- Reduktion der Versuche zur Erzielung der Leistung in der Einzeldisziplin, indem bspw. in den Sprung- und/oder Wurfdisziplinen die Anzahl der gültigen Versuche auf eine bestimmte Anzahl limitiert wird, sodass der Gesamtwettbewerb an einem Tag absolviert werden könnte.

Möchte man die eingangs gestellte Frage „Wer ist der beste Mehrkämpfer der Leichtathletik?“ differenzierter beantworten, so fällt auf, dass je nach Perspektive und unterschiedlicher Schwerpunktsetzung die Antworten etwas unterschiedlich ausfallen.

Folgt man der relativen Gleichgewichtung der Disziplinen, so dürfte bei den Männern Ashton Eaton der leistungsmäßig ausgeglichenste Zehnkämpfer sein, während bei den Frauen die überragende Siebenkämpferin nach Punkten Jackie Joyner-Kersey durch extreme Leistung in den „Sprint-Sprung“ und Schnellkeits- und Schnellkraftleistungen durch das Regelwerk profitiert haben dürfte.

## Literatur

- Bernett, H. (1987). *Leichtathletik im geschichtlichen Wandel*. Schorndorf: Hofmann.
- Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Brüderl, J. (2010). Kausalanalyse mit Paneldaten. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 963-994). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Cox, T. F., & Dunn, R. T. (2002). An analysis of decathlon data. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*, 51 (2), 179-187.
- Dawkins, B. P., Andrae, P. M., & O'Conner, P. M. (1994). Analysis of olympic heptathlon data. *Journal of the American Statistical Association*, 89 (427), 1100-1106.
- Dreis, A. (2011). Wann kommt die Königinnendisziplin? 23.4.2015 from <http://www.faz.net/aktuell/sport/french-open/kernsport-kolumne-wann-kommt-die-koeniginnendisziplin-16429.html>.
- Ertel, S. (2011). Exploratory factor analysis revealing complex structure. *Personality and Individual Differences*, 50 (2), 196-200.
- Fan, Y. (2014). Decathlon each interaction regression factors analysis based on GRA and FAM. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6 (2), 261-268.
- Fanshawe, T. (2012). Seven into two: Principal components analysis and the olympic heptathlon. *Significance*, 9 (2), 40-42.
- Fröhlich, M., Balter, J., Emrich, E., & Pieter, A. (2014). Can the influence of running performance in olympic-distance triathlon be compensated for? *Journal of Athletic Enhancement*, 3 (1), 1-5.
- Fröhlich, M., Balter, J., Pieter, A., Schwarz, M., & Emrich, E. (2013). Model-theoretic optimization approach to triathlon performance under comparative static conditions - results based on the olympic games 2012. *International Journal of Kinesiology & Sports Science*, 1 (3), 9-14.
- Geese, R. (2004). Ist eine Revision der internationalen Mehrkampfwertung überfällig? *Leistungssport*, 34 (5), 9-12.
- Greene, W. H. (2008). *Econometric analysis*. New Jersey: Pearson Education.
- IAAF. (2001). Scoring tables for combined events. 18.08.2014 from <http://www.iaaf.org/home>.
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis*. New York: Springer-Verlag.

- Karlis, D., Saporta, G., & Spinakis, A. (2003). A simple rule for the selection of principal components. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 32 (3), 643-666.
- Kenny, I. C., Sprevak, D., Sharp, C., & Boreham, C. (2005). Determinants of success in the olympic decathlon: some statistical evidence. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 1 (1), Article 5.
- Kunz, H. (1984). Leistungsbestimmende Faktoren und Bewegungsverwandtschaften im Zehnkampf. *Leistungssport* 14 (5), 19-25
- Letzelter, M. (1985). Zur Struktur des Siebenkampfes: Einflusshöhe und interne Verwandtschaft der Einzelübungen. In N. Müller, D. Augustin & B. Hunger (Hrsg.), *Frauenleichtathletik* (S. 226-238). Niederhauen/Taunus: Schors-Verlag.
- Linden, M. (1977). Factor analytical study of olympic decathlon data. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48 (3), 562-568.
- Ludwig, M. (2008). *Mathematik + Sport*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Marek, C. (2012). Zehnkampf statt Siebenkampf: Mehr Gleichberechtigung für die Damen. 17.11.2014 from [dpa/sportal.de](http://dpa/sportal.de).
- Park, J., & Zatsiorsky, V. M. (2011). Multivariate statistical analysis of decathlon performance results in olympic athletes (1988-2008). *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5 (5), 985-988.
- Pitsch, W., Emrich, E., Fröhlich, M., & Flatau, J. (2006). Zur Legitimation von Normen im Sport am Beispiel des Mehrkampfes in der Leichtathletik - Rechtsphilosophische und rechtssoziologische Positionen. *Leipziger Sportwissenschaftliche Beiträge*, 47 (2), 80-92.
- Pitsch, W., Fröhlich, M., & Emrich, E. (2005). Normative Wertung in additiven Leistungsgefügen - Dargestellt am Beispiel des Mehrkampfes in der Leichtathletik. In S. Würth, S. Panzer, J. Krug, & D. Alfermann (Hrsg.), *Sport in Europa. 17. Sportwissenschaftlicher Hochschultag der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft* (S. 248). Hamburg: Czwalina Verlag.
- Schomaker, M., & Heumann, C. (2011). Model averaging in factor analysis: an analysis of Olympic decathlon data. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 7 (1), Article 4.
- Stadelmann, D., & Eichenberger, R. (2008). Wer ist der beste Formel 1 Fahrer? Eine ökonometrische Talentbewertung. *Perspektiven der Wirtschaftspolitik*, 9 (4), 486-512.

- Trkal, V. (2003). The development of combined events scoring tables and implications for the training of decathletes. *New Studies in Athletics*, 18 (4), 7-12.
- Unwin, A. (2007). Parallel coordinates for parallel events - Graphical analysis of decathlon results and the decathlon points system (14.02.2015 Publication from Universität Augsburg. Institut für Mathematik: <http://www.math.uni-augsburg.de/forschung/preprint>).
- Van Damme, R., Wilson, R. S., Vanhooydonck, B., & Aerts, P. (2002). Performance constraints in decathletes. *Nature*, 415 (14 February), 755-756.
- Verbeek, M. (2008). *A guide to modern econometrics*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
- Vindusková, J. (2003). Training women for the heptathlon – A brief outline. *New Studies in Athletics*, 18 (2), 27-45.
- Westera, W. (2006). Decathlon, towards a balanced and sustainable performance assessment method. *New Studies in Athletics, IAAF*, 21 (1), 39-51.
- Westera, W. (2007). Under attack: the heptathlon scoring method. 11.2014 from <http://www.athleticscoaching.ca>.
- Wiedenbeck, M., & Züll, C. (2010). Clusteranalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 525-552). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Wimmer, V., Fenske, N., Pyrka, P., & Fahrmeir, L. (2011). Exploring competition performance in decathlon using semi-parametric latent variable models. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 7 (4), Article 6.
- Wolff, H.-G., & Bacher, J. (2010). Hauptkomponentenanalyse und explorative Faktorenanalyse. In C. Wolf & H. Best (Hrsg.), *Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse* (S. 333-365). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Woolf, A., Ansley, L., & Bidgood, P. (2007). Grouping of decathlon disciplines. *Journal of Quantitative Analysis in Sports*, 3 (4), Article 5.

## Anhang

Anhang 1. Deskriptive Daten der Top 100 Siebenkämpferinnen der Allzeitbestenliste in Zentimeter, Meter und Sekunden für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Hürden	100	13,4	0,3	13,3	13,5	12,5	14,1
Hochsprung	100	183,4	5,6	182,3	184,5	167,0	195,0
Kugelstoßen	100	14,3	1,0	14,1	14,5	12,2	17,3
200-m-Lauf	100	24,1	0,6	23,9	24,2	22,4	25,9
Weitsprung	100	648,1	23,7	643,4	652,8	598,0	727,0
Speerwurf	100	46,0	4,9	45,0	47,0	32,9	59,8
800-m-Lauf	100	132,3	4,4	131,5	133,2	124,2	143,0

Anhang 2. Deskriptive Daten der Top 100 Siebenkämpferinnen der Allzeitbestenliste in erreichten Punkten für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Hürden	100	1064,0	47,4	1055,0	1073,8	961	1195
Hochsprung	100	1022,0	71,1	1008,0	1036,2	818	1171
Kugelstoßen	100	811,9	65,0	799,0	824,8	672	1016
200-m-Lauf	100	975,3	60,3	963,3	987,3	809	1145
Weitsprung	100	1001,7	76,7	986,5	1017,0	843	1264
Speerwurf	100	783,1	94,5	764,3	801,8	531	1050
800-m-Lauf	100	931,5	62,8	919,1	944,0	783	1051
Gesamtpunkte	100	6590	180	6554,4	6625,7	6371	7291

Anhang 3. Deskriptive Daten der Siebenkämpferinnen bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen in Zentimeter, Meter und Sekunden für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Hürden	200	13,5	0,4	13,5	13,6	12,5	14,8
Hochsprung	200	181,1	5,7	180,3	181,9	160,0	195,0
Kugelstoßen	200	14,2	1,1	14,0	14,3	11,4	17,3
200-m-Lauf	200	24,3	0,7	24,2	24,4	22,6	26,0
Weitsprung	200	631,9	27,2	628,1	635,6	547,0	727,0
Speerwurf	200	45,2	4,7	44,5	45,8	31,9	56,4
800-m-Lauf	200	133,9	4,3	133,3	134,5	124,2	148,7

Anhang 4. Deskriptive Daten der Siebenkämpferinnen bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen in erreichten Punkten für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Hürden	200	1048,0	52,4	1040,9	1055,5	863	1195
Hochsprung	200	992,5	72,0	982,5	1002,6	736	1171
Kugelstoßen	200	804,7	74,9	794,2	815,1	623	1016
200-m-Lauf	200	953,2	64,0	944,2	962,1	794	1123
Weitsprung	200	950,1	86,6	938,0	962,2	691	1264
Speerwurf	200	767,3	91,5	754,5	780,0	513	984
800-m-Lauf	200	909,5	61,4	900,9	918,1	709	1051
Gesamtpunkte	200	6425	223,6	6394,3	6456,6	6002	7291

Anhang 5. Deskriptive Daten der Top 100 Zehnkämpfer der Allzeitbestenliste in Zentimeter, Meter und Sekunden für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Lauf	100	10,8	0,2	10,8	10,9	10,2	11,2
Weitsprung	100	752,8	26,9	747,4	758,1	683,0	823,0
Kugelstoßen	100	15,1	0,9	14,9	15,3	13,2	17,3
Hochsprung	100	204,6	6,8	203,3	206,0	190,0	219,0
400-m-Lauf	100	48,5	1,0	48,3	48,7	46,2	51,0
110-m-Hürden	100	14,3	0,4	14,3	14,4	13,5	15,7
Diskus	100	46,2	3,2	45,6	46,9	39,6	54,1
Stabhochsprung	100	495,4	25,0	490,5	500,4	440,0	550,0
Speerwurf	100	62,8	5,0	61,8	63,8	49,0	77,5
1500-m-Lauf	100	272,8	11,1	270,6	275,0	251,1	302,7

Anhang 6. Deskriptive Daten der Top 100 Zehnkämpfer der Allzeitbestenliste in erreichten Punkten für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Lauf	100	898,5	52,0	888,2	908,8	808,0	1044
Weitsprung	100	942,4	66,5	929,2	955,6	774,0	1120
Kugelstoßen	100	794,7	54,8	783,8	805,6	679,0	933
Hochsprung	100	846,5	62,8	834,1	859,0	714,0	982
400-m-Lauf	100	886,5	46,6	877,2	895,7	771,0	1001
110-m-Hürden	100	932,6	48,8	922,9	942,3	766,0	1,044
Diskus	100	792,6	65,5	779,6	805,6	657,0	956
Stabhochsprung	100	897,0	76,4	881,9	912,2	731,0	1067
Speerwurf	100	780,4	75,2	765,4	795,3	574,0	1004
1500-m-Lauf	100	727,8	71,5	713,6	742,0	544,0	874
Gesamtpunkte	100	8499	173,8	8464,5	8533,5	8285	9039

Anhang 7. Deskriptive Daten der Zehnkämpfer bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen in Zentimeter, Meter und Sekunden für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Lauf	200	10,9	0,2	10,9	10,9	10,3	11,4
Weitsprung	200	743,1	26,5	739,4	746,8	672,0	807,0
Kugelstoßen	200	15,0	0,9	14,9	15,1	12,9	17,5
Hochsprung	200	203,3	6,8	202,4	204,3	185,0	227,0
400-m-Lauf	200	48,7	1,0	48,5	48,8	46,0	51,4
110-m-Hürden	200	14,4	0,5	14,4	14,5	13,5	17,0
Diskus	200	45,8	3,0	45,3	46,2	33,7	53,8
Stabhochsprung	200	488,4	26,7	484,7	492,1	420,0	570,0
Speerwurf	200	62,2	5,2	61,5	62,9	47,5	76,9
1500-m-Lauf	200	275,0	9,9	273,6	276,4	255	314,4

Anhang 8. Deskriptive Daten der Zehnkämpfer bei Weltmeisterschaften und Olympischen Spielen in erreichten Punkten für die einzelnen Disziplinen

Einzeldisziplin	N	M	SD	95 % Konfidenzintervall		Min	Max
100-m-Lauf	200	887,0	54,4	879,4	894,6	769	1013
Weitsprung	200	918,5	65,2	909,4	927,6	748	1079
Kugelstoßen	200	788,6	56,2	780,8	796,5	658	946
Hochsprung	200	834,6	63,5	825,8	843,5	670	1061
400-m-Lauf	200	876,5	49,7	869,6	883,4	753	1007
110-m-Hürden	200	921,3	57,0	913,4	929,3	627	1044
Diskus	200	782,5	62,4	773,8	791,2	538	950
Stabhochsprung	200	875,7	81,3	864,4	887,0	673	1132
Speerwurf	200	771,5	77,9	760,7	782,4	552	996
1500-m-Lauf	200	713,5	62,6	704,8	722,2	480	846
Gesamtpunkte	200	8370	216,4	8339,6	8400,0	7853	8902

Anhang 9. Rangplatz der Top-20-Athleten nach Allzeitbestenliste, Modell 1 und Modell 2

R	Allzeitbestenliste			Modell 1			Modell 2		
	GS	Name	GS	Name	DP	GS	Name	DP	
1	9039	Ashton EATON	9039	Ashton EATON	4151	8644	Maurice SMITH	1853	
2	9026	Roman SEBRLE	8706	Frank BUSEMANN	3968	8626	Mike SMITH	1840	
3	8994	Tomas DVORAK	8811	Daley THOMPSON	3948	8497	Alexey SYSOEV	1776	
4	8891	Dan O'BRIEN	9026	Roman SEBRLE	3935	8293	Johannes HOCK	1765	
5	8832	Bryan CLAY	8891	Dan O'BRIEN	3935	8694	Chris HUFFINS	1754	
6	8815	Erki NOOL	8725	Dimitriy KARPOV	3933	8725	Dimitriy KARPOV	1752	
7	8811	Daley THOMPSON	8994	Tomas DVORAK	3916	8506	Valter KÜLVET	1751	
8	8790	Trey HARDEE	8790	Trey HARDEE	3900	8558	Pascal BEHRENBROUCH	1740	
9	8784	Tom PAPPAS	8627	Robert ZMELIK	3882	8994	Tomas DVORAK	1735	
10	8735	Eduard HÄMÄLÄINEN	8574	Christian PLAZIAT	3856	8891	Dan O'BRIEN	1734	
11	8727	Dave JOHNSON	8694	Chris HUFFINS	3852	8528	Aleksandr POGORELOV	1729	
12	8725	Dimitriy KARPOV	8320	Gernot KELLERMAYR	3847	8519	Guido KRATSCHMER	1728	
13	8706	Frank BUSEMANN	8815	Erki NOOL	3840	8832	Bryan CLAY	1728	
14	8694	Chris HUFFINS	8357	Yunior DIAZ	3832	8475	Aleksey DROZDOV	1724	
15	8680	Torsten VOSS	8680	Torsten VOSS	3830	8735	Eduard HÄMÄLÄINEN	1718	
16	8670	Michael SCHRADER	8617	Andrei KRAUCHANKA	3830	8526	Kristjan RAHNU	1708	
17	8654	Leonel SUAREZ	8363	Chiel WARNERS	3822	8485	Jürgen HINGSEN	1704	
18	8645	Siegfried WENTZ	8784	Tom PAPPAS	3817	8478	Antonio PENALVER	1698	
19	8644	Steve FRITZ	8603	Dean MACEY	3810	8573	Jon Arnar MAGNUSSON	1678	
20	8644	Maurice SMITH	8670	Michael SCHRADER	3807	8644	Steve FRITZ	1676	

R = Rangplatz, GS = Gesamtpunkte im Zehnkampf, DP = Punkte in den Disziplinen von Modell 1 oder Modell 2, Modell 1 („Sprint-Sprung“) = 100-m-Sprint, Weitsprung, 400-m-Lauf und 110-m-Hürden, Modell 2 („Kraft-Wurf“) = Kugelstoßen und Diskuswurf

Anhang 10. Rangplatz der Top-20-Athletinnen nach Allzeitbestenliste, Modell 1 und Modell 2

Allzeitbestenliste			Modell 1			Modell 2		
R	GS	Name	GS	Name	DP	GS	Name	DP
1	7291	Jackie JOYNER-KERSEE	7291	Jackie JOYNER-KERSEE	3559	6599	Austra SKUIYTE	1898
2	7032	Carolina KLÜFT	6741	Heike DRECHSLER	3324	7007	Larisa TURCHINSKAYA	1895
3	7007	Larisa TURCHINSKAYA	6955	Jessica ENNIS-HILL	3292	6942	Ghada SHOJAA	1856
4	6985	Sabine BRAUN	6735	Hyleas FOUNTAIN	3288	6430	Julia MÁCHTIG	1805
5	6955	Jessica ENNIS-HILL	7032	Carolina KLÜFT	3265	6396	Nathalie TEPPE	1805
6	6942	Ghada SHOJAA	6545	Dafne SCHIPPERS	3251	6576	Antoinette NANA DJIMOU IDA	1785
7	6897	Sabine JOHN	6889	Eunice BARBER	3250	6778	Natalia DOBRYNSKA	1766
8	6889	Eunice BARBER	6845	Irina BELOVA	3244	6494	Kamila CHUDZIK	1763
9	6880	Tatyana CHERNOVA	6859	Natalya SHUBENKOVA	3239	6508	Nafissatou THIAM	1760
10	6859	Natalya SHUBENKOVA	6897	Sabine JOHN	3238	6703	Tatyana BLOKHINA	1759
11	6858	Anke VATER-BEHMER	6858	Anke VATER-BEHMER	3229	6666	Jane FREDERICK	1755
12	6845	Irina BELOVA	6682	Katarina JOHNSON-THOMPSON	3217	6985	Sabine BRAUN	1742
13	6832	Lyudmyla BLONSKA	6598	Svetlana MOSKALETS	3202	6500	Birgit CLARIUS	1740
14	6831	Denise LEWIS	6472	Shelia BURRELL	3195	6649	Lilli SCHWARZKOPF	1739
15	6778	Natalia DOBRYNSKA	6832	Lyudmyla BLONSKA	3191	6880	Tatyana CHERNOVA	1722
16	6765	Elena PROKHOROVA	6658	Svetla PISHTIKOVA	3189	6430	Yana PANTELEEVA	1718
17	6750	Miaolan MA	6635	Svetlana BURAGA	3176	6390	Irina VOSTRIKOVA	1718
18	6741	Heike DRECHSLER	6985	Sabine BRAUN	3172	6831	Denise LEWIS	1715
19	6735	Hyleas FOUNTAIN	6765	Elena PROKHOROVA	3165	6635	Sibylle THIELE	1706
20	6703	Tatyana BLOKHINA	6641	Brianne THEISEN EATON	3160	6577	Le Shundra NATHAN	1705

R = Rangplatz, GS = Gesamtpunkte im Siebenkampf, DP = Punkte in den Disziplinen von Modell 1 oder Modell 2, Modell 1 („Spring-Sprung“) = 100-m-Hürden, 200-m-Sprint und Weitsprung, Modell 2 („Kraft-Wurf“) = Kugelstoßen und Speerwurf

## Autoren

Eike Emrich, Prof. Dr., Professur für Ökonomie und Soziologie des Sports, Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken. Forschungsschwerpunkte: Organisationssoziologie, Soziologie abweichenden Verhaltens, Institutionenökonomik.

Michael Fröhlich, Prof. Dr., Professur für Bewegungs- und Trainingswissenschaft, Fachrichtung Sportwissenschaft, Technische Universität Kaiserslautern, 67663 Kaiserslautern. Forschungsschwerpunkte: Ökonomische Aspekte von Intervention, Evaluationsforschung, Haltungs- und Bewegungsanalysen im Sport.

Freya Gassmann, M.A., Arbeitsbereich Sportökonomie und Sportsoziologie, Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken. Forschungsschwerpunkte: Hochschulforschung, Sportsoziologie, Methoden der empirischen Sozialforschung.

Michael Koch, M.Sc. Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Sportökonomie und Sportsoziologie, Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken. Forschungsschwerpunkte: Sportökonomie, Bewegungsanalysen im Ausdauerbereich.

Karl-Robert Meurer, Akad. Rat, Sportwissenschaftliches Institut, Universität des Saarlandes, 66123 Saarbrücken. Forschungsschwerpunkte: Sportpädagogik, Leichtathletik, Schulsportforschung.

Der objektiven Leistungsbewertung innerhalb der Leichtathletik kommt eine hohe Bedeutung zu, sie bedingt auch zu einem hohen Anteil die Attraktivität dieser Sportart für Wettkämpfer und für Zuschauer. Jeder kann z.B. sofort erkennen, wer den 100-m-Lauf gewonnen hat und über die objektive Zeitmessung weiß man sofort, in welchem Verhältnis die gemessenen Zeiten zum Rekordinhaber bzw. anderen Mitbewerbern im selben und in anderen Wettkämpfen stehen. Mittels Höhen- und Weitemessung ist ebenfalls sofort ersichtlich, welche Frau am höchsten springen bzw. den Speer am weitesten werfen kann. Die gemessene Leistung in Zentimetern, Metern und Sekunden ist es dann, die unter sonst gleichen Bedingungen über den Rangplatz im Wettbewerb entscheidet.

Während diese Leistungsermittlung für die verschiedenen Einzeldisziplinen innerhalb der Leichtathletik eine hinreichend genaue Art der Messung und damit der Transformation eines empirischen Relativs in ein numerisches Relativ darstellt, ergeben sich für die Mehrkämpfe in der Leichtathletik Probleme, die gemessenen Werte in den Einzeldisziplinen gleichgewichtet in Punkte zu übertragen, woraus wiederum einerseits Probleme für die Objektivität der Rangplätze resultieren können und andererseits der raum-zeitlich übergreifende Leistungsvergleich in Punkten ebenfalls ebenso Unsicherheiten aufweisen kann wie die Gleichgewichtung der Einzeldisziplinen in ihrem Beitrag zur in Punkten transformierten Gesamtleistung. Das bedeutet, es entscheidet nicht mehr nur die absolute erbrachte Leistung in der Einzeldisziplin über die Platzierung, sondern die Transformation der Leistung wird mithin zum leistungsbestimmenden Kriterium. Damit werden die Transformationsregeln als solche wichtig. Ihr Einfluss auf das Ergebnis der Leistungsbewertung und damit auf das Wettkampfergebnis wird im Rahmen von drei empirischen Studien untersucht.