

Katharina Kochinke

Entwicklung und Erprobung eines
leistungsdiagnostischen Verfahrens zur
biomechanisch orientierten Technikanalyse
in der ersten Beschleunigungsphase im
leichtathletischen Sprint

Diplomarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

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

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Impressum:

Copyright © 2010 GRIN Verlag
ISBN: 9783640828531

Dieses Buch bei GRIN:

<https://www.grin.com/document/166762>

Entwicklung und Erprobung eines leistungsdiagnostischen Verfahrens zur biomechanisch orientierten Technikanalyse in der ersten Beschleunigungsphase im leichtathletischen Sprint

GRIN - Your knowledge has value

Der GRIN Verlag publiziert seit 1998 wissenschaftliche Arbeiten von Studenten, Hochschullehrern und anderen Akademikern als eBook und gedrucktes Buch. Die Verlagswebsite www.grin.com ist die ideale Plattform zur Veröffentlichung von Hausarbeiten, Abschlussarbeiten, wissenschaftlichen Aufsätzen, Dissertationen und Fachbüchern.

Besuchen Sie uns im Internet:

<http://www.grin.com/>

<http://www.facebook.com/grincom>

http://www.twitter.com/grin_com

Universität der Bundeswehr München

Fakultät für Pädagogik

Institut für Sportwissenschaften und Sport

Lehrgebiet für Trainings- und Bewegungswissenschaften

Diplomarbeit

***Entwicklung und Erprobung eines leistungsdagnostischen Verfahrens zur
biomechanisch orientierten Technikanalyse der ersten
Beschleunigungsphase im leichtathletischen Sprint***

vorgelegt von

Katharina Kochinke

2010

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist im Zeitraum zwischen Mai und November 2010 an der Universität der Bundeswehr München, am Institut für Sportwissenschaften und Sport für das Lehrgebiet Bewegungs- und Trainingswissenschaften, entstanden.

Diese Arbeit schloss sich, fast nahtlos, an ein zuvor bearbeitetes Projekt zur maximalen Geschwindigkeit im Sprint an. Mein Dank gilt deshalb allen Beteiligten, die am Entstehen dieser Diplomarbeit mitgewirkt haben. Ich möchte Trainer Tobias Heller danken, der diese Untersuchungen durch die Organisation der Probanden erst möglich machte und ich danke ihm für seine Geduld, die er hatte bis die Endfassung der Untersuchungsergebnisse vorlag.

Vor allem möchte ich mich auch bei Herrn Diplomsportlehrer Andreas Born bedanken, der mich während der gesamten Zeit mit hohem Engagement betreute. Besonderer Dank gilt ihm, da er jederzeit bei Fragen oder Problemen zur Verfügung stand und mich durch seine fachkundige Beratung unterstützte. Mit seinen Vorstellungen von Bewegung gab er stets wertvolle Ideen.

Katharina Kochinke,
Neubiberg, im November 2010

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	XXIII
Abkürzungsverzeichnis	XXV
1 Einleitung	1
2 Problemstellung.....	3
3 Theoretische Betrachtung der Thematik.....	5
3.1 Aktueller Forschungsstand im Sprint.....	5
3.1.1 Abgrenzung der einzelnen Laufabschnitte der Sprinttechnik.....	5
3.1.2 Die Phasenstruktur des „freien“ Sprintschrittes	8
3.2 Entwicklung eines Technikleitbildes des Sprints im Abschnitt der Startbeschleunigung	11
3.2.1 Allgemeines zur Schrittlänge und Schrittfrequenz	12
3.2.2 Stützzugphase.....	14
3.2.3 Ausschwingphase	19
3.2.4 Kniehubschwungphase	23
3.2.5 Schwungzugphase.....	24
3.2.6 Allgemeine Merkmale	26
3.2.6.1 Maximale KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	26
3.2.6.2 Schrittlänge	27
3.2.6.3 Schrittfrequenz.....	27
3.2.6.4 Verlauf der Oberkörpervorlage	28
3.2.6.4 KSP-Schwankung	29
3.2.7 Zusammenfassung des Technikleitbildes	31
4 Untersuchung der Bewegungskinematik in der ersten Beschleunigungsphase	33

4.1 Methodik	33
4.1.1 Untersuchungsgut	33
4.1.2 Räumliche Gegebenheiten	34
4.1.3 Materielle Gegebenheiten	34
4.1.4 Messgeräte	35
4.1.4.1 Motion Analysis	35
4.1.4.2 Cortex Software 1.1.4.368	37
4.1.4.3 SIMI Motion 7.5	38
4.1.4.4 Videokamera	39
4.1.4.5 Startblock	40
4.1.5 Untersuchungsdesign	40
4.1.6 Untersuchungsdurchführung	41
4.1.6.1 Vorbereitungen der Aufnahmen	41
4.1.6.2 Durchführung der Aufnahmen	46
4.1.7 Bearbeitung der Aufnahmen	47
4.1.7.1 Marker Zuordnung	47
4.1.7.2 Glätten	48
4.1.7.3 Schneiden	49
4.1.7.4 Bestimmung bester Lauf	50
4.1.7.5 Virtuelle Marker	52
4.1.7.6 KSP-Berechnung	53
4.1.8 Auswertung der Daten	55
4.1.8.1 Berechnung der allgemeinen Merkmale	55
4.1.8.2 Messung der Merkmale in der Stützzugphase	61
4.1.8.3 Messungen der Merkmale in der Ausschwingphase	64
4.1.8.4 Messungen der Merkmale in der Kniehubschwungphase	68
4.1.7.5 Messungen der Merkmale in der Schwungzugphase	69
4.2 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse	72
4.2.1 Ergebnisse Proband 1	72
4.2.2 Ergebnisse Proband 2	86
4.2.3 Ergebnisse Proband 3	100
4.2.4 Ergebnisse Proband 4	114

4.2.5 Ergebnisse Proband 5.....	129
4.2.6 Ergebnisse Proband 6.....	143
4.2.7 Ergebnisse Proband 7.....	157
4.2.8 Ergebnisse Proband 8.....	171
4.2.9 Ergebnisse Proband 9.....	186
4.2.10 Ergebnisse Proband 10.....	200
4.3 Diskussion der Ergebnisse.....	216
4.3.1 Methodenkritik.....	216
4.3.1.1 Untersuchungsgut.....	216
4.3.1.2 Aufnahme und Messgeräte	217
4.3.1.3 Auswertung	219
4.3.2 Interpretation der Ergebnisse	220
4.3.2.1 Ergebnisse der allgemeinen Merkmale.....	221
4.3.2.2 Ergebnisse der Stützzugphase	222
4.3.2.3 Ergebnisse der Ausschwingphase	223
4.3.2.4 Ergebnisse der Kniehubschwungphase	224
4.3.2.5 Ergebnisse der Schwungzugphase.....	225
4.3.2.6 Exemplarischer Vergleich schneller und langsamer Proband	227
4.4 Schlussfolgerungen	238
5 Ausblick.....	242
6 Zusammenfassung	244
7 Literaturverzeichnis	247
8 Anhang	253

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.: Phasenstruktur des Sprintschrittes – orthodoxer Absatz (Letzelter & Letzelter 2005, S. 272)	8
Abb. 2: Phasenstruktur des Sprints: Unterscheidung in hintere und vordere Schwung- und Stützphase (Bauersfeld & Schröter, 1998, S. 121)	9
Abb. 3: Phasenstruktur des Sprintschrittes – funktionaler Ansatz (Letzelter & Letzelter, 2005, S. 273)	10
Abb. 4: Strukturierung des Sprintlaufs nach TIDOW & WIEMANN (1994, S. 19).....	11
Abb. 5: Impact – Beginn der Stützzugphase	14
Abb. 6: Bild 1 – Guter Fußaufsatz mit dem Ballen; Bild 2 – Schlechter Fußaufsatz mit der Ferse	14
Abb. 7: Niedrige und positive Bremsstöße während der Startbeschleunigung	17
Abb. 8: Horizontale Bodenreaktionskräfte und ihre Wirkungsdauer im Abschnitt der Beschleunigung und der maximalen Geschwindigkeit (Letzelter & Letzelter, 2005, S. 266)	18
Abb. 9: Darstellung der Vektoren der Impulsänderung (Schritt 8 hier zu hoch)	18
Abb. 10: Kontaktzeiten während der Startbeschleunigung	19
Abb. 11: Altes (links) und neues Ende der Ausschwingphase (rechts)	20
Abb. 12: Messpunkte der Hüftstreckung (Winkel im Take Off, Maximum und wenn die	21
Abb. 13: Hüftstreckung zu Beginn (rechts) und Ende der Beschleunigungsphase (links).....	22
Abb. 14: Ende der Kniehubschwungphase mit gemessenen Winkel.....	23
Abb. 15: Ende der Schwungzugphase unmittelbar vor dem Bodenkontakt	24
Abb. 16: Darstellung der Hüftwinkelgeschwindigkeit	25
Abb. 17: Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung	26
Abb. 18: Verlauf der Oberkörpervorlage mit Kennzeichnung der Werte	28
Abb. 19: Verlauf der Oberkörpervorlage eines guten rhythmischer Läufers	29
Abb. 20: Betrachtung der KSP-Schwankung	29
Abb. 21: Darstellung der Zeiten über 5 und 10 m	30
Abb. 22: Digitalkamera Typ Eagle.....	36

Abb. 23: Aufnahme- und Auswerteprogramm Cortex der Firma Motion Analysis	37
Abb. 24: Auswertesoftware SIMI Motion 7.5	39
Abb. 25: Digitalkamera zur Aufnahme der Referenzvideos	39
Abb. 26: Startblock - Typ Dynamic.....	40
Abb. 27: Kameraaufstellungen mit jeweiligem Aufnahmebereich	42
Abb. 28: Untersuchungsaufbau	43
Abb. 29: Markerpositionen.....	45
Abb. 30: Zuordnung der einzelnen Markerpunkte.....	47
Abb. 31: Festlegung Schnittpunkt für Start anhand der Schulterbewegung.....	50
Abb. 32: Vergleich von zwei Läufen.....	51
Abb. 33: Berechnung der virtuellen Marker	52
Abb. 34: KSP-Berechnung in Cortex	53
Abb. 35: Beschleunigungskurve zur Ermittlung von Impact, Abdruck und Take Off..	56
Abb. 36: Bestimmung der Schrittlänge	57
Abb. 37: Bestimmung der Beinlänge	57
Abb. 38: Beispiel Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	58
Abb. 39: Verwendeter Winkel zur Bestimmung der Oberkörpervorlage.....	59
Abb. 40: Laden des TRC-File in SIMI Motion	59
Abb. 41: Darstellung der Oberkörpervorlage in SIMI mit Markierung der Schritte und Maximalwerte	60
Abb. 42: Darstellung der KSP-Schwankung	60
Abb. 43: Beschleunigungskurve bei hoher Anfangsbeschleunigung und großer Körpervorlage	61
Abb. 44: Unterschiedlicher Verlauf der KSP- Beschleunigungskurve	62
Abb. 45: Bestimmung des Kniewinkels.....	64
Abb. 46: Bestimmung Phasenende Ausschwingphase (Oberschenkel senkrecht zum Boden).....	65
Abb. 47: Zeitpunkt der maximalen Hüftstreckung mit falscher Darstellung im Cortex66	
Abb. 48: Winkeleigenschaften zur Bestimmung der Hüftstreckung	67
Abb. 49: Auswahl der korrekten Winkelberechnung für den Hüftwinkel in SIMI Motion	68
Abb. 50: Winkeleigenschaften zur Bestimmung des Hüftwinkelgeschwindigkeit	70

Abb. 51: Darstellung der Hüftwinkelgeschwindigkeit in der Schwungzugphase	70
Abb. 52: Veranschauung der vertikalen Distanz Sprunggelenk – Hüfte unmittelbar vor dem Fußaufsatz.....	71
Abb. 53: Proband 1 - Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	73
Abb. 54: Proband 1 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	73
Abb. 55: Proband 1 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	73
Abb. 56: Proband 1 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt....	74
Abb. 57: Proband 1 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz.	74
Abb. 58: Proband 1 – Verlauf der Körpervorlage	75
Abb. 59: Proband 1 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf.	75
Abb. 60: Proband 1 – Weg-Zeit-Diagramm.....	76
Abb. 61: Proband 1 – Kontaktzeiten	76
Abb. 62: Proband 1 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	77
Abb. 63: Proband 1 – Kniegelenksbeugung und –streckung	78
Abb. 64: Proband 1 – Phasendauer Ausschwingphase.....	78
Abb. 65: Proband 1 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	79
Abb. 66: Proband 1 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	79
Abb. 67: Proband 1 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	80
Abb. 68: Proband 1 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	80
Abb. 69: Proband 1 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	81
Abb. 70: Proband 1 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	81
Abb. 71: Proband 1 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	82
Abb. 72: Proband 1 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts).....	83

Abb. 73: Proband 1 – Phasendauer Gesamt.....	83
Abb. 74: Proband 2 – Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	86
Abb. 75: Proband 2 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	87
Abb. 76: Proband 2 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	87
Abb. 77: Proband 2 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt....	88
Abb. 78: Proband 2 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz.	88
Abb. 79: Proband 2 – Verlauf der Körpervorlage	89
Abb. 80: Proband 2 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf.	89
Abb. 81: Proband 2 – Weg-Zeit-Diagramm.....	90
Abb. 82: Proband 2 – Kontaktzeiten	90
Abb. 83: Proband 2 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	91
Abb. 84: Proband 2 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	92
Abb. 85: Proband 2 – Phasendauer Ausschwingphase.....	92
Abb. 86: Proband 2 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	93
Abb. 87: Proband 2 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	93
Abb. 88: Proband 2 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	94
Abb. 89: Proband 2 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	94
Abb. 90: Proband 2 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	95
Abb. 91: Proband 2 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	96
Abb. 92: Proband 2 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	96
Abb. 93: Proband 2 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts)	97
Abb. 94: Proband 2 – Phasendauer Gesamt.....	97

Abb. 95: Proband 3 - Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	100
Abb. 96: Proband 3 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	101
Abb. 97: Proband 3 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	101
Abb. 98: Proband 3 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt..	102
Abb. 99: Proband 3 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	103
Abb. 100: Proband 3 – Verlauf der Körpervorlage	103
Abb. 101: Proband 3 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	104
Abb. 102: Proband 3 – Weg-Zeit-Diagramm.....	104
Abb. 103: Proband 3 – Kontaktzeiten	104
Abb. 104: Proband 3 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	105
Abb. 105: Proband 3 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	106
Abb. 106: Proband 3 – Phasendauer Ausschwingphase.....	107
Abb. 107: Proband 3 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	107
Abb. 108: Proband 3 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	108
Abb. 109: Proband 3 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	108
Abb. 110: Proband 3 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	109
Abb. 111: Proband 3 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	109
Abb. 112: Proband 3 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	110
Abb. 113: Proband 3 – Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit während der Schwungzugphase und Entfernungen des Fußaufsatzes zur Hüfte	110
Abb. 114: Proband 3 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts).....	111
Abb. 115: Proband 3 – Phasendauer Gesamt	112
Abb. 116: Proband 4 - Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den	

Differenzen zum vorhergehenden Schritt	114
Abb. 117: Proband 4 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung	115
Abb. 118: Proband 4 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	115
Abb. 119: Proband 4 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt ..	116
Abb. 120: Proband 4 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	116
Abb. 121: Proband 4 – Verlauf der Körpervorlage	117
Abb. 122: Proband 4 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	118
Abb. 123: Proband 4 – Weg-Zeit-Diagramm	118
Abb. 124: Proband 4 – Kontaktzeiten	119
Abb. 125: Proband 4 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung	119
Abb. 126: Proband 4 – Kniegelenksbeugung und –streckung	120
Abb. 127: Proband 4 – Phasendauer Ausschwingphase	121
Abb. 128: Proband 4 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	121
Abb. 129: Proband 4 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	122
Abb. 130: Proband 4 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	122
Abb. 131: Proband 4 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	123
Abb. 132: Proband 4 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	124
Abb. 133: Proband 4 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit	124
Abb. 134: Proband 4 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	124
Abb. 135: Proband 4 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts)	125
Abb. 136: Proband 4 – Phasendauer Gesamt	126

Abb. 137: Proband 5 – Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	129
Abb. 138: Proband 5 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	130
Abb. 139: Proband 5 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	130
Abb. 140: Proband 5 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt	131
Abb. 141: Proband 5 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	131
Abb. 142: Proband 5 – Verlauf der Körpervorlage	132
Abb. 143: Proband 5 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	133
Abb. 144: Proband 5 – Weg-Zeit-Diagramm.....	133
Abb. 145: Proband 5 – Kontaktzeiten	133
Abb. 146: Proband 5 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	134
Abb. 147: Proband 5 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	135
Abb. 148: Proband 5 – Phasendauer Ausschwingphase.....	135
Abb. 149: Proband 5 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	136
Abb. 150: Proband 5 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	136
Abb. 151: Proband 5 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	137
Abb. 152: Proband 5 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	137
Abb. 153: Proband 5 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	138
Abb. 154: Proband 5 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	138
Abb. 155: Proband 5 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	139
Abb. 156: Proband 5 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts).....	140
Abb. 157: Proband 5 – Phasendauer Gesamt.....	140

Abb. 158: Proband 6 – Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	143
Abb. 159: Proband 6 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	144
Abb. 160: Proband 6 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	144
Abb. 161: Proband 6 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt	145
Abb. 162: Proband 6 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	145
Abb. 163: Proband 6 – Verlauf der Körpervorlage	146
Abb. 164: Proband 6 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	147
Abb. 165: Proband 6 – Weg-Zeit-Diagramm.....	147
Abb. 166: Proband 6 – Kontaktzeiten	147
Abb. 167: Proband 6 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	148
Abb. 168: Proband 6 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	149
Abb. 169: Proband 6 – Phasendauer Ausschwingphase.....	149
Abb. 170: Proband 6 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	150
Abb. 171: Proband 6 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	150
Abb. 172: Proband 6 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila =Links, Rosa = Rechts).....	151
Abb. 173: Proband 6 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	151
Abb. 174: Proband 6 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	152
Abb. 175: Proband 6 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	152
Abb. 176: Proband 6 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	153
Abb. 177: Proband 6 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts).....	153

Abb. 178: Proband 6 – Phasendauer Gesamt.....	154
Abb. 179: Proband 7 – Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	157
Abb. 180: Proband 7 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	158
Abb. 181: Proband 7 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	158
Abb. 182: Proband 7 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt	159
Abb. 183: Proband 7 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	159
Abb. 184: Proband 7 – Verlauf der Körpervorlage	160
Abb. 185: Proband 7 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	161
Abb. 186: Proband 7 – Weg-Zeit-Diagramm.....	161
Abb. 187: Proband 7 – Kontaktzeiten	161
Abb. 188: Proband 7 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	162
Abb. 189: Proband 7 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	163
Abb. 190: Proband 7 – Phasendauer Ausschwingphase.....	163
Abb. 191: Proband 7 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	164
Abb. 192: Proband 7 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	164
Abb. 193: Proband 7 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	165
Abb. 194: Proband 7 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	165
Abb. 195: Proband 7 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	166
Abb. 196: Proband 7 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	166
Abb. 197: Proband 7 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	167
Abb. 198: Proband 7 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts).....	168

Abb. 199: Proband 7 – Phasendauer Gesamt.....	168
Abb. 200: Proband 8 – Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	171
Abb. 201: Proband 8 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	172
Abb. 202: Proband 8 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	172
Abb. 203: Proband 8 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt	173
Abb. 204: Proband 8 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	173
Abb. 205: Proband 8 – Verlauf der Körpervorlage	174
Abb. 206: Proband 8 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	175
Abb. 207: Proband 8 – Weg-Zeit-Diagramm.....	175
Abb. 208: Proband 8 – Kontaktzeiten	176
Abb. 209: Proband 8 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	176
Abb. 210: Proband 8 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	177
Abb. 211: Proband 8 – Phasendauer Ausschwingphase	177
Abb. 212: Proband 8 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	178
Abb. 213: Proband 8 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	178
Abb. 214: Proband 8 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	179
Abb. 215: Proband 8 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	180
Abb. 216: Proband 8 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	181
Abb. 217: Proband 8 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	181
Abb. 218: Proband 8 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	182
Abb. 219: Proband 8 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links,	

Blau = Rechts).....	182
Abb. 220: Proband 8 – Phasendauer Gesamt.....	183
Abb. 221: Proband 9 – Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	186
Abb. 222: Proband 9 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	187
Abb. 223: Proband 9 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und Differenzen zum vorhergehenden Schritt in Prozent zur v_{max}	187
Abb. 224: Proband 9 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt	188
Abb. 225: Proband 9 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	188
Abb. 226: Proband 9 – Verlauf der Körpervorlage	189
Abb. 227: Proband 9 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	190
Abb. 228: Proband 9 – Weg-Zeit-Diagramm.....	190
Abb. 229: Proband 9 – Kontaktzeiten	190
Abb. 230: Proband 9 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	191
Abb. 231: Proband 9 – Kniegelenksbeugung und –streckung.....	192
Abb. 232: Proband 9 – Phasendauer Ausschwingphase.....	192
Abb. 233: Proband 9 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	193
Abb. 234: Proband 9 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	193
Abb. 235: Proband 9 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	194
Abb. 236: Proband 9 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	194
Abb. 237: Proband 9 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	195
Abb. 238: Proband 9 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	195
Abb. 239: Proband 9 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	196
Abb. 240: Proband 9 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links,	

Blau = Rechts).....	196
Abb. 241: Proband 9 – Phasendauer Gesamt.....	197
Abb. 242: Proband 10 - Maximale KSP-Geschwindigkeiten in Laufrichtung mit den Differenzen zum vorhergehenden Schritt	200
Abb. 243: Proband 10 – Verlauf der KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung.....	201
Abb. 244: Proband 10 – KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung und	201
Abb. 245: Proband 10 – Schrittlänge und Differenzen zum vorhergehenden Schritt	202
Abb. 246: Proband 10 – Relation der Schrittlänge zur Beinlänge und Schrittfrequenz	203
Abb. 247: Proband 10 – Verlauf der Körpervorlage	204
Abb. 248: Proband 10 – KSP-Schwankung in Z-Richtung: Maximalwerte und Verlauf	204
Abb. 249: Proband 10 – Weg-Zeit-Diagramm.....	205
Abb. 250: Proband 10 - Kontaktzeiten.....	205
Abb. 251: Proband 10 – Geschwindigkeitsänderung im KSP und Vektoren der Impulsänderung.....	206
Abb. 252: Proband 10 – Kniegelenksbeugung und -streckung.....	207
Abb. 253: Proband 10 – Phasendauer Ausschwingphase.....	207
Abb. 254: Proband 10 – Hüftwinkel nach dem Take Off und Maximalwerte	208
Abb. 255: Proband 10 – Dauer der Hüftstreckung und Kniegeschwindigkeit bei Phasenende	208
Abb. 256: Proband 10 – Screenshots am Ende der Ausschwingphase (Lila = Links, Rosa = Rechts).....	209
Abb. 257: Proband 10 – Phasendauer Kniehubschwungphase und maximaler Kniehub	210
Abb. 258: Proband 10 – Screenshots am Ende der Kniehubschwungphase (Lila = Links, Rosa = Rechts)	211
Abb. 259: Proband 10 – Phasendauer Schwungzugphase und Verlauf der Hüftwinkelgeschwindigkeit.....	211
Abb. 260: Proband 10 – Entfernungen des Fußaufsatzes vom Sprunggelenk zur Hüfte	211

Abb. 261: Proband 10 – Screenshots zum Ende der Schwungzugphase (Lila = Links, Blau = Rechts)	212
Abb. 262: Proband 10 – Phasendauer Gesamt.....	213
Abb. 263: Vergleich der KSP-Schwankung – Proband 8 und 10	229
Abb. 264: Vergleich der Impulsvektoren – Proband 8 und 10.....	230
Abb. 265: Vergleich der Winkelwege im Knie – Proband 8 und 10.....	230
Abb. 266: Vergleich der maximalen Hüftwinkel – Proband 8 und 10	232
Abb. 267: Vergleich der Kniewinkelgeschwindigkeiten Proband 8 und 10.....	232
Abb. 268: Vergleich der Körperhaltung in der Ausschwingphase beim neunten Schritt – Proband 8 und 10.....	233
Abb. 269: Vergleich der Kniewinkelgeschwindigkeiten – Proband 8 und 10.....	234
Abb. 270: Vergleich des Kniehubs – Proband 8 und 10	234
Abb. 271: Vergleich der Screenshots zum max. Kniehub – Proband 8 und 10 (Lila = Links, Rosa = Rechts)	235
Abb. 272: Vergleich der Zeiten in der Schwungzugphase	235
Abb. 273: Vergleich der Hüftwinkelgeschwindigkeiten – Proband 8 und 10	236
Abb. 274: Vergleich der Entfernungen der Fußaufsätze – Proband 8 und 10.....	236
Abb. 275: Vergleich der Screenshots unmittelbar vor dem Fußaufsatz – Proband 8 und 10	237

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Technikleitbild im Überblick.....	31
Tab. 2: Probandenübersicht.....	33
Tab. 3: Entfernungen der Infrarotkameras zum L-Frame (in Metern).....	42
Tab. 4: Differenzen und Prozente der max. KSP-Geschwindigkeit in Laufrichtung... 58	
Tab. 5: Berechnung des Hüftwinkels zur Horizontalen im höchsten Punkt	69
Tab. 6: Zusammenfassende Tabelle Proband 1.....	84
Tab. 7: Zusammenfassende Tabelle Proband 2.....	98
Tab. 8: Zusammenfassende Tabelle Proband 3.....	112
Tab. 9: Zusammenfassende Tabelle Proband 4.....	126
Tab. 10: Zusammenfassende Tabelle Proband 5.....	141
Tab. 11: Zusammenfassende Tabelle Proband 6	154
Tab. 12: Zusammenfassende Tabelle Proband 7	169
Tab. 13: Zusammenfassende Tabelle Proband 8.....	183
Tab. 14: Zusammenfassende Tabelle Proband 9.....	197
Tab. 15: Zusammenfassende Tabelle Proband 10.....	213
Tab. 16: Ergebnisse der allgemeinen Merkmale.....	221
Tab. 17: Ergebnisse der Stützzugphase	222
Tab. 18: Ergebnisse der Ausschwingphase	224
Tab. 19: Ergebnisse der Knieschwungphase.....	225
Tab. 20: Ergebnisse der Schwungzugphase.....	226
Tab. 21: Rangfolge der Probanden nach der 10 m-Zeit.....	227
Tab. 22: Vergleich der allgemeinen Merkmale	229
Tab. 23: Vergleich der Stützzugphase	231
Tab. 24: Vergleich der Ausschwingphase	233
Tab. 25: Vergleich der Kniehubschwungphase.....	235
Tab. 26: Schwungzugphase.....	237
Tab. 27: Datenübersicht Proband 1	254
Tab. 28: Übersicht Daten Proband 2.....	255
Tab. 29: Übersicht Daten Proband 3.....	256
Tab. 30: Übersicht Daten Proband 4.....	257

Tab. 31: Übersicht Daten Proband 5.....	258
Tab. 32: Übersicht Daten Proband 6.....	259
Tab. 33: Übersicht Daten Proband 7.....	260
Tab. 34: Übersicht Daten Proband 8.....	261
Tab. 35: Übersicht Daten Proband 9.....	262
Tab. 36: Übersicht Daten Proband 10.....	263

Abkürzungsverzeichnis

A	-	Abdruck
cm	-	Zentimeter
F	-	Frequenz
Hz	-	Hertz
I	-	Impact
KSP	-	Körperschwerpunkt
max.	-	maximal
m	-	Meter
mm	-	Millimeter
n.a.	-	nicht angegeben
n.r.	-	nicht relevant
s	-	Strecke
sec.	-	Sekunde
t	-	Zeit
TO	-	Take Off
unv.	-	unvollständig
v	-	Geschwindigkeit