

# **Der Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**



„Fußballspieler“ Renée Sintenis 1927

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
des Doktors der Philosophie (Dr. phil.)  
an der Universität Duisburg-Essen  
Fachbereich Bildungswissenschaften, Sport- und Bewegungswissenschaften

vorgelegt von Thorsten Sterzing, geb. am 07.10.1971 in Essen

Juni 2007

Datum der Disputation: 13. November 2007

Erstgutachter: Prof. Ewald M. Hennig, Ph. D.

Zweitgutachter: Prof. Dr. rer. soc. Dieter Rosenbaum

---

## **II. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Ewald M. Hennig, Ph. D. meinen herzlichen Dank aussprechen. Unter seiner Leitung im Biomechaniklabor der Fachgruppe Sport- und Bewegungswissenschaften der Universität Duisburg-Essen habe ich mich als studentischer und wissenschaftlicher Mitarbeiter von 1998 bis 2006 auf vielfältige Weise beruflich und persönlich weiterentwickelt. Während dieser Zeit lernte ich Herausforderungen in der akademischen Forschung und Lehre anzunehmen.

Ebenfalls möchte ich Herrn Prof. Dr. Thomas L. Milani danken. Meine Einstellung als studentischer Mitarbeiter im Biomechaniklabor der Fachgruppe Sport der Universität Gesamthochschule Essen im Jahr 1998 bedeutete den Beginn meines Weges in der akademische Forschung und Lehre.

Mein Dank gilt auch Frau Dr. Daniela Nass, Herrn Dr. Stefan Kimmeskamp und Marco Hagen. Während meiner Tätigkeit an der Universität Duisburg-Essen waren sie wertvolle und hilfsbereite Diskussionspartner und haben meine Sichtweise der akademischen Forschung und Lehre bereichert.

Mein besonderer Dank gilt meinen langjährigen studentischen Mitarbeitern Torsten Brauner, Marlene Hilger und Janina Kroihner. In den Jahren unserer Zusammenarbeit konnte ich in vielfältiger Weise von Euren fachlichen und persönlichen Fähigkeiten lernen und im Berufsalltag davon profitieren. Unsere Zusammenarbeit hat mir eindrucksvoll demonstriert, dass Lehren und Lernen stets miteinander verknüpft sind. Vielen Dank für Eure wertvolle Unterstützung!

Auch gilt mein Dank den vielen weiteren studentischen Mitarbeitern, mit denen ich in den zurückliegenden Jahren zusammenarbeiten durfte und ohne die mein berufliches Wirken sehr viel schwieriger gewesen wäre.

Mein großer Dank gilt der Firma Nike Inc., USA. Die spannende und herausfordernde Forschungskooperation zwischen Nike Inc., USA und dem

---

Biomechaniklabor der Universität Duisburg-Essen ermöglichte es mir, in der Sportartikelforschung zu arbeiten und dabei meinen beruflichen wie persönlichen Horizont zu erweitern. Während dieser Kooperation stellte mich gerade Erez Morag, Ph. D., stetig vor neue Herausforderungen in der Fußballschuhforschung. Ihm gebührt mein herzlicher Dank für eine hervorragende und lehrreiche Zusammenarbeit.

Mein ausdrücklicher Dank in Bezug auf das Gelingen dieser Dissertation gilt Stefan Witzel, Meister der Orthopädieschuhtechnik in Essen. Seine Unterstützung ermöglichte erst die Durchführung und das Gelingen von Teilen dieser Arbeit. Neben der handwerklichen Unterstützung möchte ich mich zudem für die Fachgespräche bedanken, die mir einen kleinen, sehr interessanten Einblick in die Orthopädieschuhtechnik gewährt haben.

Schließlich möchte ich mich ganz herzlich bei den vielen Probanden bedanken, mit denen ich in den zurückliegenden Jahren zusammenarbeiten durfte. Ohne sie, ihren Einsatz und ihre Zuverlässigkeit sind empirische wissenschaftliche Arbeiten wie auch die vorliegende nicht durchzuführen.

### III. Inhaltsverzeichnis

I.	Deckblatt .....	I
II.	Danksagung .....	II
III.	Inhaltsverzeichnis .....	IV
IV.	Abbildungsverzeichnis .....	VII
V.	Abkürzungsverzeichnis .....	IX
0.	Zusammenfassung/Abstract .....	1
1.	Einleitung .....	9
2.	Literaturbesprechung .....	14
	2.1 Terminologie .....	14
	2.2 Beschleunigung von Objekten .....	16
	2.3 Der Vollspannstoß .....	22
	2.3.1 Pass- und Schussaktionen im Fußball .....	22
	2.3.2 Ablauf des Vollspannstoßes .....	26
	2.3.2.1 Sportmotorische Betrachtung .....	26
	2.3.2.2 Biomechanische Betrachtung .....	27
	2.3.2.2.1 Anlauf .....	28
	2.3.2.2.2 Schwungphase .....	30
	2.3.2.2.3 Kontaktphase .....	34
	2.3.2.2.4 Endphase .....	39
	2.3.2.3 Anatomische Betrachtung .....	40
	2.4 Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß .....	41
	2.4.1 Einflussgrößen der Schussgeschwindigkeit .....	42
	2.4.1.1 Anlauf und Einstimmverhalten des Standbeins .....	44
	2.4.1.2 Fußgeschwindigkeit des Spielbeins.....	45
	2.4.1.3 Kontaktzeit von Fuß/Schuh und Ball .....	46
	2.4.1.4 Effektive Masse und Rigidität des Fußes .....	48
	2.4.1.5 Der Fußballschuh .....	49
	2.5 Schussgeschwindigkeit unterschiedlicher Versuchsgruppen .....	51
	2.5.1 Schussgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Technikniveau ....	54
	2.5.2 Schussgeschwindigkeit und Dominanz des Spielbeins .....	56
	2.5.3 Schussgeschwindigkeit beim Schießen ohne und mit Anlauf .....	57
	2.5.4 Schussgeschwindigkeit vor und nach muskulärer Ermüdung .....	57
	2.5.5 Schussgeschwindigkeit von Männern und Frauen .....	58
	2.6 Erfassung von Schussgeschwindigkeit .....	59
	2.7 Maßnahmen zur Erhöhung der Schussgeschwindigkeit .....	60
	2.7.1 Trainingsmaßnahmen .....	61
	2.7.2 Der Fußballschuh .....	62
	2.8 Der Fußballschuh als Schnittstelle zwischen Fuß und Umwelt.....	63
3.	Methodik .....	65
	3.1 Einordnung und Zielstellung der Studienreihe .....	65
	3.2 Übersicht der Studienreihe .....	67
	3.3 Design der Studienreihe .....	69
	3.3.1 Instrumentarium .....	72



3.3.1.1 Kunstrasen .....	72
3.3.1.2 Radarpistolensystem .....	73
3.3.1.3 Kraftmessplatte .....	73
3.3.1.4 Lichtschranke .....	74
3.3.1.5 Ball .....	74
3.3.2 Probanden .....	75
3.3.3 Schussbedingungen .....	76
3.3.4 Neutralschuhmethodik .....	76
3.3.5 Parameter der Studienreihe .....	77
3.3.5.1 Biomechanische Parameter .....	77
3.3.5.1.1 Ballgeschwindigkeit .....	77
3.3.5.1.2 Schwungphasenzeit .....	78
3.3.5.1.3 Bodenreaktionskraftparameter .....	78
3.3.5.2 Subjektiv-Sensorische Parameter .....	79
3.3.5.2.1 Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit .....	79
3.3.5.2.2 Subjektiv-Sensorische Parameter der Einzelstudien .....	79
3.3.5.2.3 Allgemeine Kommentare .....	79
3.3.6 Statistische Auswertung .....	79
3.4 Methodenkritik .....	81
4. Darstellung der Einzelstudien, Ergebnisse und Diskussion .....	82
4.1 Allgemeine Ergebnisse der Studienreihe .....	82
4.1.1 Ballgeschwindigkeit .....	82
4.1.2 Schwungphasenzeit .....	84
4.1.3 Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit .....	85
4.2 Einzelstudien .....	87
4.2.1 Studie I: Der Einfluss der Traktion des Standbeins auf die Schussge- schwindigkeit beim Vollspannstoß .....	88
4.2.2 Studie II: Der Einfluss des Fußballschuhs am Spielbein auf die Schussge- schwindigkeit beim Vollspannstoß .....	102
4.2.3 Studie III: Der Einfluss aktueller Fußballschuhmodelle (Januar 2004) auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß .....	116
4.2.4 Studie IV: Der Einfluss aktueller Fußballschuhmodelle (Juli 2004) und des Schuhgewichts auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ....	122
4.2.5 Studie V: Der Einfluss unterschiedlicher Reibungseigenschaften des Schuh- obermaterials auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß .....	128
4.2.6 Studien VI-IX: Der Einfluss der Schuhaußensohlensteifigkeit auf die Schussge- schwindigkeit beim Vollspannstoß .....	135

---

5.	Ergebnisinterpretation im Zusammenhang .....	152
	5.1 Allgemeine Erkenntnisse .....	152
	5.2 Spezifische Erkenntnisse.....	153
	5.3 Konkretisierung der Erkenntnisse .....	162
6.	Zusammenfassung und Ausblick .....	165
7.	Literaturverzeichnis .....	173
8.	Anhang .....	182
	8.1 Einverständniserklärung .....	182
	8.2 Ranking- und Kommentarbogen .....	183
	8.3 Spezifische Wahrnehmungsbögen der Einzelstudien .....	184
	8.4 Anthropometrische Daten der Probanden .....	187
	8.5 Spielklassenzugehörigkeit der Probanden .....	188
	8.6 Statistik .....	189
9.	Wissenschaftliche Beiträge des Verfassers .....	193
10.	Erklärung .....	196
11.	Nachtrag .....	197

## IV. Abbildungsverzeichnis

### Abbildungen

- Abb. 0-1 „Fußballspieler“ RENÉE SINTENIS 1927 (BRÜGGEMEIER et al. 2000)
- Abb. 2-1 Charakteristik der Kollisionsphase beim Vollspanstoß (SHINKAI et al. 2007)
- Abb. 2-2 Passtechniken im Fußball (BISANZ und GERISCH 1999)
- Abb. 2-3 Schussphasen (NUNOME et al. 2002)
- Abb. 2-4 Ausführung des Vollspanstoßes (BAUER 1983)
- Abb. 2-5 Körperhaltung bei Ballkontakt (HOFFMANN 1984 in PREISS 1992)
- Abb. 2-6 Bodenreaktionskräfte beim Standbeinaufsatz (BARFIELD 1995)
- Abb. 2-7 Standbeinaufsatz, plantare Druckverteilung (STERZING und HENNIG 2005)
- Abb. 2-8 Fußausrichtung bei Ballkontakt (BAUER 1990)
- Abb. 2-9 Gelenkwinkelveränderungen Spielbein (PLAGENHOEF 1971)
- Abb. 2-10 Winkelgeschwindigkeit Ober- und Unterschenkel (DUNN und PUTNAM 1988)
- Abb. 2-11 Winkelgeschwindigkeit des Spielbeins (LEES und NOLAN 1998)
- Abb. 2-12 Segmentgeschwindigkeiten des Spielbeins (LEES und NOLAN 1998)
- Abb. 2-13 Beteiligte Muskulatur beim Vollspanstoß (WEINECK 1995)
- Abb. 2-14 Zehengeschwindigkeit und Ballgeschwindigkeit (APRIANTONO et al. 2006)
- Abb. 2-15 Schnittstellenfunktion des Fußballschuhs (modifiziert nach RODANO et al. 1988)
- Abb. 3-1 Untersuchungsaufbau
- Abb. 3-2 Kunstrasen
- Abb. 3-3 Radarpistole
- Abb. 3-4 Kraftmessplatten
- Abb. 3-5 Lichtschranke
- Abb. 3-6 Ball
- Abb. 3-7 Schwungphase
- Abb. 4-1 Standbeinreaktion
- Abb. 4-2 Ausgangsschuhmodell Studie I
- Abb. 4-3 Schuhbedingungen Studie I
- Abb. 4-4 Ballgeschwindigkeit Studie I
- Abb. 4-5 Schwungphasenzeit Studie I
- Abb. 4-6 Regression Schwungphasenzeit und Ballgeschwindigkeit Studie I
- Abb. 4-7 Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie I
- Abb. 4-8 Wahrnehmung Traktionsverhalten Studie I
- Abb. 4-9 Bodenreaktionskräfte Studie I
- Abb. 4-10 Kraftanstiegsraten der Bodenreaktionskräfte Studie I
- Abb. 4-11 Fußball und Strandfußball
- Abb. 4-12 Football Punt Kick Barfuß (PLAGENHOEF 1971)
- Abb. 4-13 Schussbedingungen Studie II
- Abb. 4-14 Neutralschuh Studie II
- Abb. 4-15 Ball Indoor
- Abb. 4-16 Ballgeschwindigkeit Studie II
- Abb. 4-17 Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie II
- Abb. 4-18 Wahrnehmung Schmerz Studie II
- Abb. 4-19 Regressionen Studie II
- Abb. 4-20 Parameter der Resultierenden Scherkraft Studie II
- Abb. 4-21 Kollisionsphasen: Ball – Fuß/Schuh und Ball – Fuß
- Abb. 4-22 Schuhbedingungen Studie III
- Abb. 4-23 Neutralschuh Studie III
- Abb. 4-24 Ballgeschwindigkeit Studie III

Abb. 4-25	Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie III
Abb. 4-26	Schuhbedingungen Studie IV
Abb. 4-27	Neutralschuh Studie IV
Abb. 4-28	Ballgeschwindigkeit Studie IV
Abb. 4-29	Schwungphasenzeit Studie IV
Abb. 4-30	Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie IV
Abb. 4-31	Schuhbasis Studie V
Abb. 4-32	Kappenkonstruktion – neutraler Träger
Abb. 4-33	Schuhbedingungen Studie V
Abb. 4-34	Ballgeschwindigkeit Studie V
Abb. 4-35	Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie V
Abb. 4-36	Vollspannstoßparameter (HENNIG und ZULBECK 1999)
Abb. 4-37	Schuhbedingungen Studie VI
Abb. 4-38	Ballgeschwindigkeit Studie VI
Abb. 4-39	Schuhbedingungen Studie VII
Abb. 4-40	Ballgeschwindigkeit Studie VII
Abb. 4-41	Schuhbedingungen Studie VIII
Abb. 4-42	Ballgeschwindigkeit Studie VIII
Abb. 4-43	Wahrnehmung Bequemlichkeit Studie VIII
Abb. 4-44	Schuhbedingungen Studie IX
Abb. 4-45	Ballgeschwindigkeit Studie IX
Abb. 4-46	Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie IX
Abb. 5-1	Einflussgrößen des Fußballschuhs für die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
Abb. 11-1	„Fußballspieler“ RENÉE SENTENIS 1927 (BRÜGGEMEIER et al. 2000)
Abb. 11-2	„Fußballspieler“ THORSTEN STERZING 2001

### **Tabellen**

Tab. 2-1	Kollisionsphasen A (TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY 1996)
Tab. 2-2	Kollisionsphasen B (TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY 1996)
Tab. 2-3	Literaturüberblick Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
Tab. 3-1	Anthropometrische Daten Gesamtkollektiv (n=41)
Tab. 3-2	Wettspielklassenzugehörigkeit Gesamtkollektiv (n=41)
Tab. 4-1	Ballgeschwindigkeit – Gesamtüberblick
Tab. 4-2	Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit – Gesamtüberblick

## V. Abkürzungsverzeichnis

bw	body weight
cm	Zentimeter
DFB	Deutscher Fußball Bund
e	Restitutionskoeffizient
FG	Firm Ground
F <sub>x</sub>	horizontale, medio-laterale Bodenreaktionskraft
F <sub>y</sub>	horizontale, anterior-posteriore Bodenreaktionskraft
F <sub>z</sub>	vertikale Bodenreaktionskraft
FIFA	Fédération Internationale de Football Association
°	Grad
g	Gramm
Hz	Hertz
IOC	International Olympic Committee
Kap.	Kapitel
KE	kinetische Energie
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
KSP	Körperschwerpunkt
m	Masse
m	Meter
M.	Musculus
Mm.	Musculi
max.	maximal
Max.	Maximum
min.	minimal
Min.	Minimum
m/s	Meter pro Sekunde
ms	Millisekunde
NMV	Nike Mercurial Vapor II
n.s.	nicht signifikant
r	Korrelationskoeffizient
r <sup>2</sup>	Regressionskoeffizient
rad/s	Radians pro Sekunde
rev/s	Umdrehungen pro Sekunde
s	Sekunde
SG	Soft Ground
v	Geschwindigkeit
v <sub>B</sub>	Ballgeschwindigkeit
v <sub>F</sub>	Fußgeschwindigkeit
vs.	versus

**Schuss- und Schuhbedingungen****Studie I:**

ZFG	NMV	Zero	FG	(Stollenlänge 0 %	keine Stollen)
HFG	NMV	Half	FG	(Stollenlänge 50 %	halbe Stollen)
FFG	NMV	Full	FG	(Stollenlänge 100 %	Normstollen)
FSG	NMV	Full	SG	(Stollenlänge 100 %	Normstollen)

**Studie II:**

BAR	Barfuß				
SOC	Socken				
APP	Adidas Predator Pulse 2 TRX	FG			
NMV	Nike Mercurial Vapor II	FG			
OSC	eigener Schuh der Probanden				

**Studie III:**

ACM	Adidas Copa Mundial	FG	288 g
APM	Adidas PR Mania XTRX	SG	304 g
NTP	Nike Tiempo Premier E	FG	315 g
NAZ	Nike Air Zoom Total 90 II	FG	271 g
NMV	Nike Mercurial Vapor II	FG	199 g

**Studie IV:**

APP	Adidas Predator Pulse 2 TRX	FG	
NAT	Nike Air Zoom Total 90 III	FG	
NMV	Nike Mercurial Vapor II	FG	
NMP	Nike Mercurial Vapor II	FG	+ 70 Gramm Einlegesohle

**Studie V:**

KR1	geringe Reibung	(geringere Reibung als reguläres Schuhobermaterial)
KR2	reguläre Reibung	(ähnliche Reibung wie reguläres Schuhobermaterial)
KR3	hohe Reibung	(höhere Reibung als reguläres Schuhobermaterial)
KR4	sehr hohe Reibung	(viel höhere Reibung als reguläres Schuhobermaterial)

**Studie VI:**

8798-Z	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	geringe Außensohlensteifigkeit
LV23H-Z	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	mittlere Außensohlensteifigkeit
LC3H-Z	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	hohe Außensohlensteifigkeit
NMV	Nike Mercurial Vapor II	aktuelles Schuhmodell

**Studie VII:**

8798	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	geringe Außensohlensteifigkeit
L20G	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	mittlere Außensohlensteifigkeit
LV23H	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	erhöhte Außensohlensteifigkeit
LC3H	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	hohe Außensohlensteifigkeit
NMV	Nike Mercurial Vapor II	aktuelles Schuhmodell

**Studie VIII:**

L30	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	geringe Außensohlensteifigkeit
L40a	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	mittlere Außensohlensteifigkeit a
L40b	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	mittlere Außensohlensteifigkeit b
L50	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	hohe Außensohlensteifigkeit
NMV	Nike Mercurial Vapor II	aktuelles Schuhmodell

**Studie IX:**

L30	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	geringe Außensohlensteifigkeit
L40a	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	mittlere Außensohlensteifigkeit a
L45	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	höhere Außensohlensteifigkeit
L50	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	hohe Außensohlensteifigkeit
APP	Adidas Predator Pulse 2 TRX FG	aktuelles Schuhmodell

---

## **0. Zusammenfassung/Abstract**

### **Der Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

#### **Schlüsselwörter:**

Ballgeschwindigkeit, Standbein, Spielbein, Fußballschuh, Fußballschuheigenschaften

#### **Einleitung/Zielsetzung:**

Der Vollspannstoß im Fußball ist die Schusstechnik, mit der die höchste Ballgeschwindigkeit unter den unterschiedlichen Schusstechniken erzielt werden kann. Er ist hinsichtlich seiner kinetischen und kinematischen Charakteristik sportmotorisch und biomechanisch ausführlich untersucht worden (BARFIELD 1998). Nur zwei Literaturbeiträge widmen sich jedoch dem Einfluss des Fußballschuhs auf die resultierende Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Es konnte gezeigt werden, dass ein höheres Gewicht von Fußballschuhen die Geschwindigkeit des Schussfußes verringert (AMOS und MORAG 2002). Außerdem ist belegt, dass die resultierende Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß dem Einfluss unterschiedlicher Fußballschuhmodelle unterliegt (HENNIG und ZULBECK 1999).

Generell muss der Fußballschuh als eine künstliche Schnittstelle zwischen Fuß und Ball sowie zwischen Fuß und Untergrund angesehen werden. Diese Schnittstellenfunktion gilt es in Bezug auf ihren Einfluss hinsichtlich der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu analysieren. Es war das Ziel dieser Untersuchungsreihe, den Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu untersuchen.

#### **Methodik:**

Das Untersuchungsdesign umfasste neun verschiedene Einzelstudien, in denen unterschiedliche Eigenschaften von Fußballschuhen isoliert auf ihre Wirkung bezüglich der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersucht wurden. Die Untersuchungsreihe war als Laborstudie angelegt und wurde auf Kunstrasen durchgeführt. Die durchzuführenden Schussversuche wurden auf ein über die Breite des Labors gespanntes Netz durchgeführt. Die Messung der maximalen



Ballgeschwindigkeit geschah mittels eines Radarpistolensystems (Stalker Pro, Applied Concepts Inc., Plano, Texas, USA). Zudem wurden in einigen Einzelstudien Bodenreaktionskräfte beim Standbeinaufsatz sowie die Schwungphasenzeit des Spielbeins gemessen.

Grundlegende Untersuchungsaspekte waren unterschiedliche Traktionsverhältnisse beim Standbeinaufsatz, das Schießen mit und ohne Schuh sowie die Reibungsverhältnisse zwischen Ball und Schuhobermaterial.

Angewandte Untersuchungsgegenstände waren der Einfluss verschiedener Schuhmodelle auf die Ballgeschwindigkeit allgemein, das Schuhgewicht, die Steifigkeit der Außensohle, die Zehenboxhöhe sowie die Bequemlichkeit.

Zusätzlich sollte festgestellt werden, inwiefern Fußballspieler ihre tatsächlich erzielte Ballgeschwindigkeit einschätzen können.

Zur Durchführung der neun Einzelstudien führten jeweils etwa 20 erfahrene Fußballspieler (Alter/Jahre:  $25,4 \pm 3,3$ ; Größe/cm:  $177,6 \pm 5,3$ ; Gewicht/kg:  $75,1 \pm 7,1$ ) sechs maximale Vollspannstöße in allen spezifischen Schussbedingungen einer Studie durch.

Für die statistische Auswertung wurden die Parameter der jeweils sechs Einzelversuche einer Schussbedingung hinsichtlich ihrer intraindividuellen Homogenität optimiert und im Anschluss gemittelt. Mittels der Varianzanalyse für Mehrfachmessungen und gegebenenfalls einer Post-Hoc Analyse nach Fisher's PLSD konnte zwischen Schussbedingungen diskriminiert werden. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  für signifikante und  $p < 0,01$  für hochsignifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Schussbedingungen festgelegt.

### **Ergebnisse:**

Die Traktion des Standbeins erwies sich als wichtiger Einflussfaktor zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit ( $p < 0,01$ ). Es zeigte sich, dass eine hohe aber notwendigerweise auch funktionale Traktion erforderlich ist, um einen optimalen Standbeinaufsatz in Vorbereitung auf den Vollspannstoß durchzuführen.

Das barfußige Schießen stellte sich als überlegen gegenüber den drei verschiedenen verwendeten Schuhbedingungen heraus ( $p = 0,05$ ). Wahrscheinlich ist der Grund in einer beim barfüssigen Schießen vorhandenen höheren Fußrigidität zu sehen, welche durch eine verstärkte Plantarflexion des Fußes zum Zeitpunkt des initialen Treffpunktes mit dem Ball zu verzeichnen ist.

Die Reibungsverhältnisse zwischen Ball und Schuhobermaterial erwiesen sich statistisch als nicht entscheidend für die erzielte Ballgeschwindigkeit ( $p=0,07$ ). Die ermittelten Zahlenwerte deuten jedoch an, dass ein mittlerer Reibungskoeffizient zwischen Ball und Schuhobermaterial am besten zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit geeignet ist.

Innerhalb der Anwendungsstudien wurde an Hand zweier Studien allgemein der Einfluss unterschiedlicher aktueller Fußballschuhmodelle am Spielbein auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß belegt. In beiden Studien konnten signifikante Unterschiede zwischen den Schuhbedingungen hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit festgestellt werden ( $p<0,01$  und  $p<0,05$ ). Somit konnten die Erkenntnisse aus der Literatur auch für aktuelle Fußballschuhmodelle nachvollzogen und die Thematik dieser Arbeit nachhaltig begründet werden.

Der Einfluss des Schuhgewichts konnte als nicht ausschlaggebend für die resultierende Ballgeschwindigkeit im Einklang mit den Erkenntnissen aus der Literatur bestätigt werden ( $p=0,29$ ).

Bei vier Studien zum Einfluss der Steifigkeit der Außensohle auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß konnte kein genereller Zusammenhang festgestellt werden. So wiesen in drei dieser Studien die verwendeten Schuhbedingungen mit unterschiedlichen Außensohlensteifigkeiten keine statistisch signifikanten Unterschiede zueinander auf ( $p=n.s.$ ).

Ein negativer Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit zeigte sich für den Aspekt der Erhöhung der Zehenbox von Fußballschuhen ( $p<0,01$ ). Es musste dabei jedoch offen bleiben, ob dies über biomechanische Gegebenheiten oder über die von Probanden wahrgenommene reduzierte Bequemlichkeit der in dieser Studie verwendeten Schuhmodelle zu erklären ist.

Eine verbesserte Bequemlichkeit von Fußballschuhen im Bereich der Fersenkappe führte hingegen eindeutiger Weise nicht zu einer Erhöhung der erzielten Ballgeschwindigkeit ( $p=n.s.$ ).

### **Schlussfolgerung/Ausblick:**

Unterschiedliche Schuhmodelle bewirken unterschiedliche Ballgeschwindigkeiten beim Vollspannstoß.

---

Der Schuh am Standbein bestimmt mit seiner Stollenkonfiguration die Voraussetzungen für einen günstigen Standbeinaufsatz zur Vorbereitung auf den Vollspannstoß.

Der Schuh am Spielbein verändert ganz grundsätzlich die Kollisionsmechanismen zwischen dem System Fuß/Schuh und Ball im Vergleich zum barfüßigen Schießen. Es kann festgestellt werden, dass sich die natürlichen anatomischen Strukturen des Fußes gegenüber der funktionalen Einheit aus Fuß und Schuh bei der Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit überlegen verhalten.

Im Hinblick auf die Interaktion zwischen Ball und Schuhobermaterial konnten tendenziell die momentan gängigen Reibungseigenschaften aktueller Fußballschuhmodelle als günstigste Variante ermittelt werden.

Ein gleichmäßig höheres Schuhgewichts und unterschiedliche Außensohlensteifigkeiten können, nach jeweiliger isolierter Betrachtung, als Einflussfaktoren für die resultierende Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ausgeschlossen werden.

Innerhalb dieser Arbeit ist es nicht gelungen, eindeutig einen isolierten Einflussfaktor für die Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit zu bestimmen. Daher ist davon auszugehen, dass ein Zusammenspiel verschiedener materialtechnischer und geometrischer Faktoren der einzelnen Schuhkomponenten notwendig ist, um die maximale Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu erzielen. Zur Verifizierung dieser Vermutung müssen weitere Studien durchgeführt werden. Auch müssen weitere Aspekte wie beispielsweise die Passform und die explizite Bequemlichkeit untersucht werden. Zudem erfordern die Erkenntnisse aus den durchgeführten Studien in einigen Fällen die Durchführung von Folgestudien um die jeweiligen Interpretationen zu manifestieren. Dies erlaubt, die gewonnenen Fakten dann direkt in zukünftige innovative Fußballschuhkonstruktionen einfließen zu lassen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass diese Untersuchungsreihe dazu beigetragen hat, die schuhspezifischen Vorgänge beim Vollspannstoß im Fußball detailliert zu verstehen.

---

## **The Influence of Soccer Shoes on Shooting Velocity during Full Instep Kicking**

### **Key Words:**

Ball Velocity, Stance Leg, Swing Leg, Soccer Shoe, Soccer Shoe Properties

### **Introduction/Objective:**

The full instep kick in soccer is the kicking technique that allows to achieve the highest ball velocity among the various kicking alternatives. It was examined from a biomechanical perspective in detail with regard to its kinetic and kinematic characteristics and was also paid attention to by the field of motor performance (BARFIELD 1998). However, only two contributions in the literature aim specifically at the influence of soccer shoes on resultant ball velocity during full instep kicking. It was shown that higher weight of soccer shoes reduces the speed of the kicking foot (AMOS und MORAG 2002). Also, resultant ball velocity of the full instep kick could be shown to be altered by usage of different soccer shoe models (HENNIG und ZULBECK 1999).

In general, the soccer shoe must be regarded as an artificial interface between foot and ball as well as between foot and playing surface. The characteristics of these two interfaces need to be analysed with respect to their influence on shooting velocity during full instep kicking. Therefore, the aim of this series of studies was to examine the influence of soccer shoes on shooting velocity during full instep kicking.

### **Methods:**

The chosen experimental design consisted of nine independent studies, in which different isolated soccer shoe properties were examined with respect to shooting velocity during full instep kicking. The series of studies was conducted as a laboratory investigation and took place on artificial turf. The kicking trials were performed towards a net that was spanned across the laboratory width. Measurement of peak ball velocity was carried out by usage of a radar gun system (Stalker Pro, Applied Concepts Inc., Plano, Texas, USA). In addition, during selected studies ground reaction forces of the stance leg and swing phase time of the kicking leg were taken.

Basic aspects of the investigation were traction characteristics during foot strike of the stance leg, kicking with and without a shoe and friction properties between the ball and the shoe upper material.

The influence of different soccer shoe models on ball velocity in general, shoe weight, outsole stiffness, toe box height and comfort were applied aspects of the investigation.

Additionally, a topic of interest was the capability of soccer players to perceive their actually achieved ball velocity.

Each single study was carried out with about 20 experienced soccer players (age/years:  $25,4 \pm 3,3$ ; height/cm:  $177,6 \pm 5,3$ ; weight/kg:  $75,1 \pm 7,1$ ). They performed six maximum instep kicks in each of the given kicking conditions in the various studies.

For the statistical analysis the six kicking trials of each kicking condition were optimized with regard to intraindividual variability of the subjects and mean values of the parameters were calculated thereafter. A Repeated Measures ANOVA and the Fisher's PLSD Post-Hoc Test were used to statistically discriminate between kicking conditions. Level of significance was set to  $p < 0,05$  for significant and to  $p < 0,01$  for highly significant differences between shoe conditions.

### **Results:**

Stance leg traction was identified as an important aspect for achieving high ball velocities ( $p < 0,01$ ). It was shown that high but necessarily functional traction properties are mandatory to perform a high quality foot strike of the stance leg in preparation of the full instep kicking movement.

Barefoot kicking was shown to be superior to shod kicking as performed in three different shoe models ( $p = 0,05$ ). Probably, the reason for this has to be seen in a higher amount of foot rigidity during barefoot kicking, caused by an extreme voluntary plantarflexion of the naked foot at initial ball contact.

Friction characteristics between ball and shoe upper material were statistically not decisive for the achieved ball velocity ( $p = 0,07$ ). However, measured numbers indicate that a medium coefficient of friction is suited best for achieving high ball velocities.

Two applied studies, that were designed to examine ball velocity differences of current soccer shoe models with no regard to specific isolated soccer shoe

characteristics, showed significant differences in ball velocity ( $p < 0,05$  and  $p < 0,01$ ). Thus, the findings in the literature could be confirmed for current soccer shoe models. Thereby, the topic of this piece of work was shown to be still relevant and worth to be investigated.

The findings in the literature telling that shoe weight does not have an influence on resulting ball velocity could be confirmed by one specific study ( $p = 0,29$ ).

Four studies, dealing with the influence of outsole stiffness of soccer shoes on ball velocity, did not reveal any systematic interaction between this specific feature and resultant ball velocity. Three of these four studies showed no significant differences between any of the shoes that had a different outsole stiffness ( $p = n.s.$ ).

A negative influence on ball velocity was present when the toe box of soccer shoes was lifted to be higher than usual ( $p < 0,01$ ). However, it remains unclear whether this is the case due to the altered biomechanical properties of the system of foot and shoe or whether this is due to the decreased level of comfort as it was perceived by the subjects in these shoes.

Improved comfort with respect to the heel counter of soccer shoes clearly did not result in an increase of achieved ball velocity ( $p = n.s.$ ).

### **Conclusion/Perspective:**

Different soccer shoe models evoke different ball velocities during full instep kicking.

The shoe, on the one hand, partly determines the interaction characteristics of the stance leg to the surface in preparation of the full instep kick.

On the other hand, the shoe modifies the collision biomechanics between the system of foot/shoe and ball with respect to the kicking leg. By this, it is concluded that pure anatomical structures of the foot show a superior behaviour compared to the shod foot with respect to achieving highest ball velocity.

With regard to ball interaction with the shoe upper material, friction coefficients of currently used shoe upper materials should work best to achieve maximum ball velocity.

Shoe properties like evenly added weight and degree of outsole stiffness may be neglected as influencing factors to modify kicking velocity due to the results of controlled and isolated examination of these features.

---

Within this investigation no single isolated feature of soccer shoes could be identified to determine ball velocity during full instep kicking. Therefore, it is assumed that multiple interactive components, their materials and their geometric shapes lead to the capability of soccer shoes to evoke maximum ball velocity. In order to verify this assumption further studies need to be conducted. This should also be done in order to examine aspects like shoe fit and, in a more sophisticated manner, shoe comfort. Additionally, the acquired knowledge of the single studies in many cases requires the implementation of follow-up studies in order to confirm the given interpretations. By this, the achieved results may go directly into future innovative soccer shoe constructions.

Finally, it may be stated that this whole investigation is suited to offer a detailed understanding of the mechanisms that occur during full instep kicking with specific regard to the soccer shoe.

## 1. Einleitung

Die Biomechanik des Fußballsports weist als ihre vornehmlichen Forschungsgegenstände die sportmotorische Ausführung der fußballspezifischen Bewegungen, die sportartspezifische Ausrüstung sowie ursächliche Mechanismen bezüglich der Entstehung von Verletzungen aus (LEES und NOLAN 1998). Der Fußballschuh nimmt bezüglich jeder dieser drei Forschungsgegenstände eine Schlüsselposition ein. Er ist daher heutzutage Gegenstand von intensiven und kostspieligen Forschungsbemühungen der Sportschuhindustrie aber auch von akademischen Forschungseinrichtungen.

Noch zum Ende des abgelaufenen Jahrhunderts wurde die Art der Verwertung und auch die Verwertbarkeit generell von wissenschaftlich gewonnenen Erkenntnissen bezüglich der Funktionalität von Fußballschuhen hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Fußballschuhkonstruktion kritisiert (LEES 1993). Diese Kritik ist so nicht mehr generell aufrecht zu halten, wie die wachsende Zahl von Veröffentlichungen im Hinblick auf umsetzbare wissenschaftliche Erkenntnisse hinsichtlich der Funktionalität von Fußballschuhen zeigt. Es ist festzuhalten, dass gerade im Bereich der Fußballschuhkonstruktion ein Umdenken in der Arbeitsweise der Sportschuhfirmen stattgefunden hat.

Das Fußballregelwerk des DFB schreibt im Bereich der Ausrüstung der Spieler (Regel 4) zwingend die Verwendung von Fußbekleidung vor. Der Fußballschuh muss unter anderem auch deswegen als wichtigster individueller Ausrüstungsgegenstand des Fußballspielers angesehen werden.

Generell soll der Fußballschuh, wie jeder andere Sportschuh auch, die sportartspezifischen Bewegungen des Fußballspielers optimieren. Dabei wirkt er als Schnittstelle zwischen dem Fuß des Sportlers und dem Ball sowie dem jeweiligen Untergrund. So ist es die Aufgabe des Fußballschuhs, die sportliche Leistung des Sportlers zu optimieren und ihn zudem vor Verletzungen zu schützen.

Der Aufbau des Fußballschuhs verändert sich seit jeher entlang kultureller und sozialer Gegebenheiten. Auch anfängliche systematische Überlegungen zur Verbesserung der Spielleistung durch den Fußballschuh sind schon lange vor der heutigen hochtechnischen Forschungslandschaft mit Erfolg angestellt worden. So kamen im Finale der Fußballweltmeisterschaft 1954 in der Schweiz bei der



deutschen Mannschaft erstmalig Schuhe mit Schraubstollen der Firma Adidas zum Einsatz (STUMPF und DIEL 1998, BRÜGGEMEIER et al. 2000). Es war die Einführung eines Konzeptes, das bis heute in der Fußballschuhkonstruktion sein Platz hat und eine wichtige, teilweise sogar spielentscheidende Bedeutung erfährt.

Das steigende industrielle Interesse am Fußballschuh wird vor dem Hintergrund der globalen Ausrichtung des Fußballsports offenkundig. Die alle vier Jahre stattfindende FIFA-Fußballweltmeisterschaft stellt das zweitgrößte Sportereignis nach den olympischen Sommerspielen des IOC dar. Dabei richtet sich das öffentliche Interesse nicht nur auf das Fußballspiel als solches, sondern auch auf Ausrüstungsgegenstände wie Schuhe, Trikots und weitere Sportartikel. Es ist dabei zwischen dem funktionalen und dem kommerziellen Interesse der Sportler und Sportartikelhersteller, Ausrüstungsgegenstände zu optimieren, zu unterscheiden. Die Sportartikelindustrie bemüht sich daher, auch kleinste, funktionale Vorteile ihrer Ausrüstungsgegenstände gegenüber den Produkten ihrer Konkurrenten zu erreichen. Dies gilt insbesondere für das Schuhwerk.

Vor diesem Hintergrund ist auch die Zielsetzung und Thematik der vorliegenden Arbeit zu betrachten:

### **Der Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

Gerade in der Betrachtung sportlicher Aktionen, aber häufig auch im alltäglichen Gebrauch wird die Maximierung von Geschwindigkeit als ein erstrebenswertes Ziel angesehen. In diesem Zusammenhang sind auch die Meldungen verschiedener Populärmedien bezüglich Schussgeschwindigkeiten im Fußball von bis zu 160km/h durch Roberto Carlos (Real Madrid) zu nennen.

Dem Fußballfachverständigen ist selbstverständlich klar, dass die Verbesserung der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß durch den Fußballschuh nur in sehr wenigen Ausnahmefällen über Sieg oder Niederlage einer Mannschaft im Wettkampf entscheiden wird. Auch ist es offensichtlich, dass neben den technischen, taktischen und konditionellen Fähigkeiten eines Spielers beziehungsweise einer gesamten Mannschaft der Fußballschuh nur eine unterstützende Funktion bezüglich der Spielleistung besitzen kann. In Bezug zur vorliegenden Arbeit ist zudem zu

bedenken, dass fast alle Schussaktionen im Fußball mit der Intention submaximaler Schussgeschwindigkeit durchgeführt werden.

In diesem Zusammenhang ist es außerdem sinnvoll über die Gewichtung von Schussgeschwindigkeit und Schussgenauigkeit sowie über deren Interdependenz nachzudenken.

Nichtsdestotrotz ist die Relevanz der vorliegenden Fragestellung durch Einzelfälle deutlich belegt, da vor allem bei Spielen auf höchstem Niveau stärker denn je Kleinigkeiten über Erfolg und Misserfolg entscheiden. Dies ist auch bei der Fußballweltmeisterschaft 2006 in Deutschland in vielen Spielen mit knappem Spielausgang zu beobachten gewesen. BULL ANDERSEN et al. (1999) verweisen auf die verkürzte Reaktionszeit des Torwarts zur Abwehr von Torschüssen mit höherer Ballgeschwindigkeit, auf Grund der banalen Tatsache, dass ein schneller fliegender Ball eine gegebene Wegstrecke innerhalb kürzerer Zeit zurücklegt.

Außer Frage steht zudem die unbestrittene Verbesserung der individuellen Leistungsfähigkeit eines Spielers, wenn es gelingt, ihn mit einem Schuh zu bestücken, mit dem er auch nur minimal höhere Schussgeschwindigkeiten erzielen kann. Diese Kleinigkeiten sind es zuweilen, welche die Sportartikelindustrie und unabhängige Forscher antreiben, die Interaktion zwischen Mensch und Material besser zu verstehen, um Sportausrüstung optimieren zu können.

Der mit ins Kalkül zu ziehende Marketingeffekt eines, wissenschaftlich nachgewiesen, überlegenen Produktes gegenüber Konkurrenzprodukten wird an dieser Stelle erkannt jedoch nicht weiter ausgeführt.

Die Rolle der Forschung in der Herstellung von Sportschuhen bezieht eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte in ihre Überlegungen hinsichtlich Verbesserung der Leistungsfähigkeit, der Verletzungsprophylaxe und der Bequemlichkeit ein. Dies sind beispielsweise die Sportart, das Geschlecht, das Leistungsniveau, die regionale Sportkultur und die physikalischen Rahmenbedingungen (LAFORTUNE 2001).

Umfassende Konzepte zur funktionalen Evaluierung der Eigenschaften von Sportschuhen bestehen im Allgemeinen aus drei unterschiedlichen, jedoch interdependenten, Testverfahren: subjektiv-sensorische Verfahren, mechanische Verfahren und biomechanische Verfahren (LAFORTUNE 2001). Hier verdeutlichen gerade die biomechanischen Testverfahren die Wichtigkeit der objektiven Analyse der Interaktion zwischen Mensch und Material, welche durch rein subjektiv-sensorische oder mechanische Testverfahren nicht erfasst werden kann.

---

Biomechanische Testverfahren können die zum Teil unbewusst stattfindende motorische Bewegungsadaptation des Menschen an veränderte Umweltbedingungen erkennen und quantifizieren. Ausschließlich durch mechanische Prüfverfahren gewonnene Erkenntnisse bezüglich der Wirkungsweise von Sportgeräten und Sportschuhen sind nicht ohne Einschränkung in die Sportpraxis zu transferieren. Dies zeigen Studien, in denen sowohl mechanische als auch biomechanische Daten erhoben und miteinander in Bezug gesetzt worden sind (MILANI 2001).

Die positive Wahrnehmung der Eigenschaften der Sportausrüstung durch den Sportler ist unbestritten ein wesentlicher funktionaler Faktor für den Athleten. Gerade im Hochleistungssport ist die psychologisch-kognitive Komponente oftmals ein entscheidender Faktor hinsichtlich der Qualität der Bewältigung einer sportlichen Aufgabe. Daher ist es von großer Bedeutung, dass ein Sportler seinem Material dahingehend vertraut, ihn bei der Ausübung seines Sports bestmöglich zu unterstützen. Grundsätzlich sollten Konstrukteure von Sportschuhen sich daran orientieren, eine biomechanische Unterstützung des Sportlers mit seinen anatomischen und physiologischen Gegebenheiten unter den gegebenen Rahmenbedingungen während der Ausführung sportmotorischer Bewegungsabläufe zu ermöglichen.

Gerade im Bereich der Fußballschuhforschung gibt es in der Historie hervorstechende Ereignisse, welche die Ansichten der Sportartikelindustrie bezüglich des Fußballschuhs maßgeblich beeinflusst haben.

Hier ist die schon erwähnte Konzeptidee der Schraubstollen durch die Firma Adidas zu nennen, welche die Optimierung der Traktionseigenschaften durch die Möglichkeit des Stollenwechsels gerade bei schwierigen Untergrundverhältnissen ermöglichte.

Eine relativ neue Entwicklungsrichtung stellt die Verringerung des Schuhgewichts auf etwa 200g beim Fußballschuhmodell *Nike Mercurial Vapor II* (2002) beziehungsweise *Puma VI.06* (2006) dar. Dabei konnte die physiologische Erkenntnis aus dem Laufsport, dass eine Gewichtsreduktion des Schuhs mit einem verringerten Sauerstoffbedarf einher geht (FREDERICK 1983), im Bereich der Fußballschuhkonstruktion umgesetzt werden.

Im Vergleich zum Laufschuhbereich finden sich erstaunlicherweise in der wissenschaftlichen Literatur nur wenige Beiträge, die sich mit Leistungseigenschaften von Fußballschuhen befassen.

Dies mag zum einen daran liegen, dass, anders als beim Laufsport, die verschiedenen Charakteristika eines „guten“ Fußballschuhs nicht allgemeingültig in der Biomechanik definiert sind. Zum anderen mag dies aber auch durch besondere Geheimhaltungsabsichten der Sportartikelindustrie begründet sein.

Trotz allem bietet die wissenschaftliche Literatur einige Beiträge zur Thematik des Vollspannstoßes im Fußball. Dieser wird dort detailliert in Bezug auf seine sportmotorische und biomechanische Ausprägung analysiert, stellt er doch eine der spektakulären Bewegungsaktionen des Fußballsports dar. Auch gibt es einige empirische Studien, die sich damit befassen, die Schussgeschwindigkeit verschiedener Untersuchungsgruppen vergleichend zu analysieren.

Stellvertretend für die zahlreichen Publikationen hinsichtlich biomechanischer Überlegungen zum Vollspannstoß sei der Übersichtsartikel von BARFIELD (1998): *The Biomechanics of Kicking in Soccer* genannt. Interessant ist hier jedoch, dass ein potentieller Einfluss des Fußballschuhs auf die Vorgänge beim Vollspannstoß nicht angesprochen wird. Dies belegt, dass die Thematik der vorliegenden Arbeit bisher keinen breiten Einzug in die wissenschaftliche Literatur gefunden hat.

Die Idee, dass Fußballschuhe die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß beeinflussen können, findet sich nur vereinzelt in der Literatur wieder (HENNIG und ZULBECK 1999, AMOS und MORAG 2002). Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die Sportartikelindustrie hinter verschlossenen Türen für sich bestrebt ist, diesen Aspekt zu untersuchen, da es sich um ein äußerst prestigeträchtiges und marketingrelevantes Detail im Forschungsfeld Fußballschuh handelt.

Das Anliegen dieser Arbeit ist es daher, die grundlegenden schuhspezifischen Prinzipien des Vollspannstoßes im Fußball auf Basis wissenschaftlicher Methoden zu untersuchen. Dabei wird mittels sehr spezifischen Modifikationen von Fußballschuhen überprüft, ob und in welchem Maße diese die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß beeinflussen. Die durchgeführte Studienreihe dient somit auch der allgemeinen Verbesserung des bewegungswissenschaftlichen Verständnisses der schuhspezifischen Vorgänge beim Vollspannstoß im Fußball.

---

## 2. Literaturbesprechung

Innerhalb dieses Kapitels werden die wesentlichen Aspekte aus der Literatur zum Vollspannstoß sowie im Speziellen der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß dargestellt. Entgegen der üblichen Vorgehensweise werden dabei einige spezifische Aspekte zur Thematik in diesem Kapitel ausgeklammert. Diese Aspekte, die dann später noch innerhalb der vorliegenden empirischen Untersuchungsreihe von Bedeutung sind und selbst Untersuchungsgegenstände dieser Arbeit darstellen, werden daher in der Darstellung der Einzelstudien separat aufgeführt und erörtert.

### 2.1 Terminologie

Nachfolgend wird die in dieser Arbeit verwendete Terminologie zum Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß festgelegt und erläutert.

Klärungsbedarf erfordert zunächst der Überbegriff dieser Studienreihe, die Schussgeschwindigkeit. Umgangssprachlich ist mit dem Begriff der Schussgeschwindigkeit die erzielte Geschwindigkeit des Balles gemeint. Dies ist die Größe, die innerhalb der vorliegenden Untersuchungsreihe auf die Möglichkeit ihrer Maximierung hin untersucht werden soll. In der Literatur und im Sinne dieser Arbeit darf der Begriff der Schussgeschwindigkeit jedoch nur als Oberbegriff angesehen werden. Es ist notwendig, diesen Oberbegriff differenziert, hinsichtlich seiner zwei relevanten Bedeutungen, der *Fußgeschwindigkeit* des Schussfußes während der Schussbewegung und der *Ballgeschwindigkeit* des geschossenen Balles, zu betrachten.

Dabei wird deutlich, dass im Grundsatz beide Ausprägungen für sich als zu maximierende Zielgrößen betrachtet werden müssen. So sind ein schneller fliegender Ball genauso wie ein sich schneller bewegender Fuß unabhängig voneinander als vorteilhaft für den Sportler im Fußball einzustufen. Letzteres wird schon von AMOS und MORAG (2002) in Bezug auf 50/50 Situationen im Kampf um den Ball beim Fußball erwähnt.

Der sich schneller bewegende Fuß beim Vollspannstoß ist zudem eine wichtige Voraussetzung zur Erzielung einer höheren Ballgeschwindigkeit (ANDERSON und SIDAWAY 1994). Diese Überlegungen erfordern in der speziellen Betrachtung der vorliegenden Fragestellung die methodische und terminologische Trennung der Schussgeschwindigkeit in Ballgeschwindigkeit und Fußgeschwindigkeit.

In der Literatur ist, wenn bezüglich des sportlichen Schießens im Fußball vom Fuß gesprochen wird, zumeist das System Fuß/Schuh gemeint. Aus vollständiger Sicht der biomechanischen Forschungsbemühungen ist es jedoch fahrlässig, den Schuh als Einflussfaktor für das Schießen zu vernachlässigen. Zur Bearbeitung der vorliegenden Fragestellung sind sowohl die gemeinsame als auch die getrennte Betrachtung vom Fuß des Sportlers sowie seinem Ausrüstungsgegenstand Schuh notwendig. Dies wird in der Untersuchungsmethodik dieser Studienreihe deutlich und findet sich folglich auch in der zu verwendenden Terminologie wieder.

Der Schuh muss in seiner Betrachtung zunächst als eine künstliche Schnittstelle zwischen dem Fuß des Sportlers und dem Ball sowie dem Untergrund angesehen werden. Seine Einflussmöglichkeiten hinsichtlich der Maximierung der Geschwindigkeit werden in dieser Arbeit analysiert. Innerhalb der vorliegenden Untersuchungsreihe wird auf Grund der vorgestellten Überlegungen zwischen dem *Fuß* und dem *Schuh* im Einzelnen sowie dem System aus *Fuß/Schuh* unterschieden.

Der Einflussfaktor Schuh wirkt sich dabei bei der fußballspezifischen Schussaktion potentiell auf Vorgänge am Standbein und am Spielbein aus. Der Erfolg einer Schussaktion ergibt sich aus der Gesamtwirkung aller Bewegungskomponenten der durch den Sportler mitsamt seiner Ausrüstung erzeugten kinetischen beziehungsweise kinematischen Kette. In diesem Sinne ist zwingend eine inhaltliche und terminologische Unterscheidung zwischen *Standbein* und *Spielbein* vorzunehmen.

Innerhalb dieser Arbeit wird der jeweilige Schuheinfluss der beiden Beine mit Beginn der Einstemphase zum Vollspannstoß als unabhängig von einander angesehen. Dies erlaubt hinsichtlich der Untersuchungsmethodik eine isolierte Betrachtung von Standbein und Spielbein, wobei die zugehörigen Vorgänge innerhalb dieser Studienreihe, zunächst per Definition, als additiv wirksam in Bezug auf die Maximierung der Schussgeschwindigkeit angesehen werden.

Die Studienreihe untersucht unterschiedliche *Schussbedingungen* hinsichtlich der zu erzielenden Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß und dabei insbesondere auch

unterschiedliche *Schuhbedingungen*. Diese beiden Begriffe sind zu trennen, da eine Schussbedingung nicht in jedem Fall die Verwendung von Schuhmaterial beinhalten muss. Der Terminus Schussbedingung stellt daher die allgemeingültigere Bezeichnung dar.

Festzuhalten ist, dass bei den Untersuchungen zur Maximierung der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß die Begriffspaare

- *Fußgeschwindigkeit* und *Ballgeschwindigkeit*
- *Fuß* und *Schuh* sowie *Fuß/Schuh*
- *Standbein* und *Spielbein*
- *Schussbedingung* und *Schuhbedingung*

sowohl isoliert als auch in ihrem Zusammenwirken betrachtet werden müssen.

## 2.2 Beschleunigung von Objekten

Diese Arbeit untersucht, wie ein ruhender Fußball beim Vollspannstoß mit Hilfe von Fußballschuhen maximal beschleunigt werden kann. Dazu ist es zunächst notwendig, sich die grundlegenden Mechanismen, die bei der Beschleunigung von Objekten wirksam werden, zu verdeutlichen.

TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) kritisierten bereits die unter einigen Forschern verbreitete Anwendung der klassischen Theorien zur Behandlung der Interaktion zwischen Fuß/Schuh und Ball beim fußballspezifischen Schießen (WAHRENBERG et al. 1978, HUANG et al. 1982, LINDBECK 1983). Sie selbst verweisen zunächst auf die beiden grundlegenden motorischen Bewegungsmuster zur Beschleunigung von Objekten am Ende der kinetischen Kette einer körperlichen Gesamtbewegung im Sport, den *Wurf* und den *Stoß (Schlag)*.

Charakteristisch für den Wurf ist demzufolge, dass das zu beschleunigende Objekt (beispielsweise ein Ball) und das finale Ausführungsorgan der kinetischen Kette des Sportlers (beispielsweise seine Hand) gemeinsam beschleunigt werden. Dies geschieht von Beginn der Beschleunigungsbewegung an bis zu dem Zeitpunkt, an dem der Ball die Hand verlässt. Ball und Hand haben folglich zu jedem Zeitpunkt der

gemeinsamen Beschleunigungsbewegung die gleiche Geschwindigkeit. Der Beschleunigungsweg des Systems aus Hand/Ball ist dabei gemeinhin relativ lang.

Unter der Annahme, dass der Beschleunigungsvorgang aus der Ruhe heraus beginnt, wird die kinetische Energie dabei vollständig von muskulärer Arbeit erzeugt. So wird beim Wurfmechanismus die durch den Beschleunigungsvorgang erzielte Endgeschwindigkeit eines Objektes durch die biomechanischen Gegebenheiten während der gemeinsamen Beschleunigungsphase des finalen Ausführungsorgans und des zu beschleunigenden Objektes bestimmt.

Charakteristisch für den Stoß (Schlag) ist, dass es zu einer Kollision zwischen zwei Objekten kommt. Allgemein teilen BULL ANDERSEN et al. (1999) Kollisionen im Sport in drei Kategorien ein und verweisen in diesem Zusammenhang auf das Zusammenspiel von unterschiedlichen Kollisionspartnern:

- Kollision von Sportlern (Rugby, Boxen)
- Kollision von Objekten (Tennis, Golf)
- Kollision von Sportler und Objekt (Fußball, Volleyball)

Es besteht somit eine generelle Einteilung von Kollisionen hinsichtlich der Charakteristik der jeweiligen Kollisionspartner.

Kollisionen im Sport geschehen zwischen aktiven (Sportlern), zwischen passiven (Sportgeräten) sowie zwischen aktiven und passiven Kollisionspartnern. Diese Kollisionen unterliegen zumeist dem Grundgedanken der jeweiligen Sportart und werden dabei von Sportlern bewusst initiiert oder zumindest beeinflusst. Demzufolge ist es eine Aufgabe des Sportlers, diese Kollisionen möglichst Erfolg versprechend zu initiieren und ihre Ausprägung zu optimieren. Auf eine Betrachtung der Kollisionen, die in den Bereich der Unfälle einzuordnen sind, wird an dieser Stelle verzichtet.

Bezüglich der Kollision von Objekten im Bereich der Schlaginstrumente und den jeweiligen Sportgeräten gelten die von ADRIAN und COOPER (1995) festgehaltenen Beobachtungen. Sie verweisen für die Geschwindigkeit des Schlaginstrumentes darauf, dass seine Geschwindigkeit während des Kontakts mit dem zu schlagenden Objekt absinkt. Das zu schlagende Objekt wird zusammengedrückt und behält dabei seinen Kontakt zum Schlaggerät bei. Schlussendlich erfolgt der Abprall des Objektes vom Schlaggerät.



Die für die Thematik des Vollspannstoßes im Fußball entscheidende Art der Kollision ist die zwischen Sportler und Objekt. Hier nähert sich das finale Ausführungsorgan der kinetischen Kette des Sportlers (Fuß) dem zu beschleunigenden Objekt (Ball). Dies geschieht mit einer bestimmten Geschwindigkeit, bevor es zur Kollision zwischen Fuß und Ball kommt.

Das Ergebnis des Beschleunigungsvorgangs beim Stoßmechanismus nach der klassischen, rein mechanischen Theorie ist dabei bereits durch die jeweilige Masse, die Geschwindigkeit und die Elastizität der Kollisionspartner zum Zeitpunkt der Kollision festgelegt. Im Folgenden wird jedoch die Berechtigung zur Anwendung dieser Theorie bezüglich der Thematik der vorliegenden Arbeit kritisch hinterfragt.

Dieser Arbeit liegt die Kollisionsart zwischen einem Sportler mit seinem finalen Ausführungsorgan, der funktionalen Einheit aus Fuß und Schuh, sowie einem Sportgerät, dem Fußball, zu Grunde. Derartige Kollisionen wurden schon früh als „contact of extremely short duration“ (DEN HARTOG 1948), also wie ein mechanischer Stoß, analysiert. Es wird in dieser Betrachtung davon ausgegangen, dass sich das zu beschleunigende Objekt, der Fußball, während der Kollisionszeit nicht bewegt. Gemäß dieser Vorgehensweise werden daher nur interne Kräfte der Kollision in die Analyse einbezogen und der Gesamtimpuls vor und nach der Kollision wird als gleich groß angesehen. Unter der Annahme, es gäbe keinen Energieverlust und keine Energiezufuhr im System von Ausführungsorgan und dem zu beschleunigenden Objekt zu verzeichnen, gilt dann:

$$m_1 v_{1a} + m_2 v_{2a} = m_1 v_{1b} + m_2 v_{2b}$$

Es verweist dabei  $m$  auf die Masse der Kollisionspartner und  $v$  auf deren Geschwindigkeit. Die Ziffern 1 und 2 beziehen sich hier auf die beiden Kollisionspartner. Die Buchstaben verweisen auf die Situation vor der Kollision (a) und auf die Situation nach der Kollision (b).

Unter dem wichtigen Aspekt der Energieerhaltung müssen Stöße jedoch weiterhin in den *vollständig elastischen Stoß* und den *unelastischen Stoß* unterteilt werden. Beim vollständig elastischen Stoß bleibt die kinetische Energie vollständig erhalten, während beim unelastischen Stoß ein Teil der eingesetzten Energie beispielsweise als Wärme verloren geht. Ein Zugewinn an Energie kann bei einem mechanischen Stoß

jedoch nicht auftreten. Der Verlust der kinetischen Energie (KE) lässt sich nach TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) folgendermaßen berechnen:

$$\Delta KE = \left( \frac{m_1 v_{1a}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2a}^2}{2} \right) - \left( \frac{m_1 v_{1b}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2b}^2}{2} \right)$$

Auch in dieser Formel beziehen sich die Ziffern 1 und 2 auf die beiden Kollisionspartner. Die Buchstaben verweisen wiederum auf die Situation vor der Kollision (a) und auf die Situation nach der Kollision (b).

Als Indikator für die Elastizität einer Kollision gilt der Restitutionskoeffizient (e) mit  $e \leq 1$ . Eine vollständig elastische Kollision unter vollständiger Erhaltung der kinetischen Energie wird durch den Restitutionskoeffizienten  $e=1$  beschrieben.

BULL ANDERSEN et al. (1999) beziffern den Restitutionskoeffizienten beim Vollspannstoß auf 0,58 als Mittelwert von sechs Probanden bei einem Range von 0,46 bis 0,68. Sie verweisen ferner darauf, dass der Wert des Restitutionskoeffizienten nicht ausschließlich von den mechanischen Eigenschaften des Balles abhängig sein kann, wenn man die für die Probanden ermittelte Spannbreite in Betracht zieht. Vielmehr handelt es sich hierbei um die Auswirkungen des komplexen Zusammenspiels von Ball, Schuh, Fuß sowie dem Fußgelenk.

Unterlegt wird diese Ansicht durch die Untersuchung von DÖRGE et al. (2002). Die Autoren konnten in ihrer Untersuchung nachweisen, dass die sportmotorische Qualität des Zusammenspiels der genannten Komponenten entscheidenden Einfluss auf den Wert des Restitutionskoeffizienten nimmt. Sie zeigten unterschiedliche Restitutionskoeffizienten für das dominante Bein (0,58) gegenüber dem nicht dominanten Bein (0,50) der Schützen.

Die Anwendung der vorangehenden Formeln setzt voraus, dass die zu analysierende Kollision einer rein mechanischen Stoßbewegung entspricht. Dies würde bedeuten, dass während der Kollision keine zusätzliche Energie durch muskuläre Arbeit eingebracht wird. Diese Annahme trifft in der Sportpraxis so jedoch nicht in jedem Fall zu. Der innerhalb dieser Arbeit zu analysierenden Kollisionspartner Fuß/Schuh weist diesbezüglich spezifische Eigenschaften auf, die im weiteren Verlauf genauer betrachtet werden.

Die Kollision beim Vollspannstoß zwischen Fuß/Schuh und Ball unterliegt sowohl mechanischen als auch biomechanischen Prinzipien, welche es zu beachten gilt. So ist zwischen zwei unterschiedlichen Interaktionsformen des finalen Ausführungsorgans, der Einheit Fuß/Schuh, und des zu beschleunigenden Objekts, dem Ball, zu unterscheiden. Es tritt bei dieser Art der Kollision sowohl eine *wurfähnliche* als auch eine *stoßähnliche* Interaktionsform auf. Diese beiden Interaktionsformen müssen daher im Zusammenhang betrachtet werden.

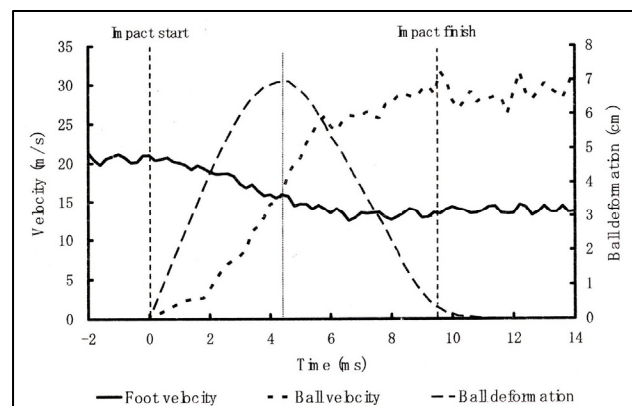
Bei Stoß- oder Schlagbewegungen im Sport allgemein ist im überwiegenden Maße eine Mischform bei der Beschleunigung von Objekten gegeben. Diese setzt sich aus zwei Komponenten, einer Wurfbewegung und einer Stoßbewegung, zusammen. Als anschauliche Beispiele dienen hier das Schlagen eines Tennisballs oder das fußballspezifische Passen des Balles mit der Innenseite.

Bei der sportmotorischen Beschreibung des Bewegungsablaufes des Innenseitstoß sprechen BISANZ und GERISCH (1999) ebenfalls von einer Stoßart. Diese Begriffswahl hat in der Sportpraxis durchaus ihre Berechtigung; sie ist in der hier vorliegenden physikalischen Betrachtung der Beschleunigung von Objekten jedoch nicht exakt und damit unzureichend. Mit dem Auftreffen der Einheit aus Fuß/Schuh auf den Ball, einer Stoßbewegung, beginnt ein gemeinsamer Beschleunigungsweg der beiden Kollisionspartner. Auf diesem stehen beide Kollisionspartner miteinander fortwährend in Verbindung. Dabei werden muskuläre Kräfte auf das nun kurzzeitig verbundenen Gesamtsystem aus Fuß/Schuh/Ball wirksam, die unter den Gesetzmäßigkeiten einer Wurfbewegung analysiert werden müssen. Daher ist die klassische, rein mechanische Betrachtungsweise der Impulserhaltung zur Analyse des Passes oder Schusses im Fußball nicht ausreichend.

Es ist für den Alltagsgebrauch zutreffend, dass bei der Interaktion von Sportler oder Sportgerät (Schläger) und dem zu beschleunigenden Objekt der Wurfmechanismus immer weniger augenscheinlich wird, je näher man an die Grenze der maximalen Beschleunigung gelangt. So ist der angesprochene Innenseitstoß mit moderater Ballgeschwindigkeit eher mit dem Wurfmechanismus in Verbindung zu bringen als der Vollspannstoß mit dem Ziel der maximalen Ballgeschwindigkeit, welcher eher im Zusammenhang mit dem Stoßmechanismus genannt wird.

TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) verweisen daher auf die Notwendigkeit, die Kollisionsphase zwischen Fuß/Schuh und Ball beim Vollspannstoß im Fußball genauer zu betrachten. Dieser Forderung ist in der Folgezeit gemäß der Literatur

auch nachgekommen worden (NUNOME et al. 2006, SHINKAI et al. 2007). SHINKAI et al. (2007) stellen nachfolgend die Charakteristik der Kollisionsphase beim Vollspannstoß hinsichtlich der Fuß- und Ballgeschwindigkeit sowie der Balldeformation an Hand einer Hochgeschwindigkeitsvideoanalyse bei einer Aufnahme­frequenz von 5000Hz dar (Abb. 2-1). Es wird deutlich, dass der gemeinsame Beschleunigungsweg, welcher einer Wurfbewegung entspricht, ungefähr 10ms andauert. Der Grund für die nur zu einem sehr kurzen Zeitpunkt der Kollisionsphase exakt gleiche Geschwindigkeit von Fuß und Ball liegt in der ausgleichenden Wirkung der Balldeformation begründet. Sie hat ihr Maximum zum Zeitpunkt der gleichen Geschwindigkeit von Fuß und Ball. Die Balldeformation sorgt dafür, dass der Kontakt von Fuß und Ball über die gesamte Zeit der Kollisionsphase bestehen bleibt.



**Abb. 2-1: Charakteristik der Kollisionsphase beim Vollspannstoß (SHINKAI et al. 2007)**

In einer weiteren Studie untersuchten ASAI et al. (2005) die Belastungsverteilung, die Deformation des Fußes und des Balles beim Impact sowie den Auftreffpunkt des Fußes mittels Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen bei einer Frequenz von 4500Hz. Im Vergleich dazu wurde der Vorgang mittels einer Methodik aus dem Bereich der Finiten Elemente modelliert. Sie konnten dabei eine Deformation des Balles auf 85% seiner Ausgangsgröße in der durchgeführten Modellierung verglichen mit 86% im ebenso durchgeführten realen Experiment zeigen.

Bezüglich der Kollisionsphase verweist LEES (1996) auf den Zusammenhang zwischen Fußgeschwindigkeit und Ballgeschwindigkeit. Danach beträgt die Ballgeschwindigkeit das 1,2-fache der Fußgeschwindigkeit, das heißt der Ball verlässt den Fuß mit einer höheren Geschwindigkeit im Vergleich zur

Bewegungsgeschwindigkeit des Fußes. Dieses wird auch durch die Graphik von SHINKAI et al. (2007) (Abb. 2-1) verdeutlicht. PLAGENHOEF (1971) spricht von einem Verhältnis von Ballgeschwindigkeit zu Fußgeschwindigkeit von 1,46, ASAMI und NOLTE (1983) von einem Verhältnis von 1,06.

ISOKAWA und LEES (1988) verdeutlichen, dass sich diese Verhältnis verändert, je nachdem welcher Teil des Fußes zur dessen Berechnung herangezogen wird. Sie verweisen auf Werte von 1,65, welche mit dem Bezugspunkt Sprunggelenk berechnet wurden. Die von ISOKAWA und LEES (1988) getroffene Aussage ist nachvollziehbar, wenn man sich vor Augen führt, dass die Lineargeschwindigkeit der Zehen beim Vollspannstoß größer sein wird als die des Sprunggelenks. Somit ändert sich dann auch das Verhältnis von Ballgeschwindigkeit zu Fußgeschwindigkeit, welches größer wird, je weiter proximal sich der Bezugspunkt des Fußes befindet.

## 2.3 Der Vollspannstoß

### 2.3.1 Pass- und Schussaktionen im Fußball

Der Fußstoß ist die charakteristische und namensgebende Spieltechnik im Fußballsport. Sie wird im Allgemeinen hinsichtlich der Kontaktregion des Balles mit der Einheit aus Fuß/Schuh eingeteilt.

Pässe und Schüsse im Fußball können sowohl mit dem ruhenden als auch mit dem bewegten Ball durchgeführt werden. BISANZ und GERISCH (1999) kategorisieren die standardisierten Passtechniken und Schusstechniken beim Fußball hinsichtlich des Innenseitstoßes und verschiedenen Ausführungen des Spannstoßes (Abb. 2-2).

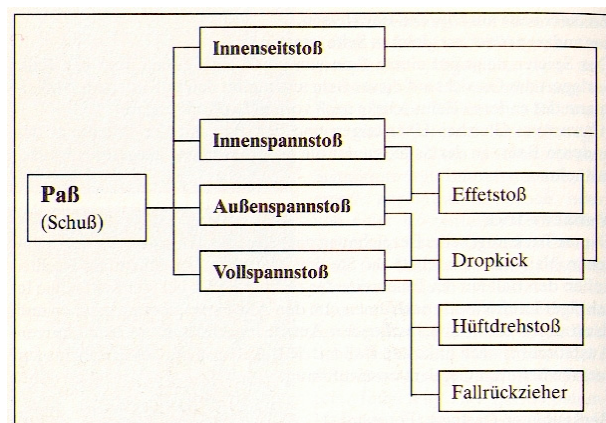


Abb. 2-2: Passtechniken im Fußball (BISANZ und GERISCH 1999)

In der Sportpraxis findet sich zudem auch der eher selten aber zum Teil sehr effektiv angewendete Schuss mit der Picke, auch Spitzenstoß oder Zehenstoß genannt

(KRISTENSEN et al. 2005). Diese Technik wird in den Lehrbüchern meist vernachlässigt, da sie teilweise als behelfsmäßige oder sogar unkorrekte Schusstechnik angesehen wird. Sie taucht daher in Übersichtsabbildungen zumeist nicht auf.

Die Ungerechtfertigkeit dieser Betrachtungsweise wird nachfolgend an Hand eines Beispiels verdeutlicht. Der Schuss mit der Picke hat, auch in Spielen auf höchstem Niveau, schon spielentscheidenden Charakter bewiesen. So wurde das Halbfinale der Fußballweltmeisterschaft 2002, Brasilien vs. Türkei (1:0), durch einen Schuss mit der Picke durch den Brasilianer Ronaldo entschieden. Der Schuss mit der Picke findet vor allem dann Anwendung, wenn für eine ausladende Schwungbewegung des Spielbeins keine Zeit oder kein Raum vorhanden ist. Er eignet sich auch für Situationen, in denen der Ball aus höchstem Bewegungstempo heraus gespielt werden soll.

Die Situationen, in denen die gängigen Schusstechniken zur Anwendung gelangen, sind unterschiedlich. So wird der Innenseitstoß vornehmlich für genaue Pässe über kurze Entfernungen oder für Torschüsse aus der Nahdistanz angewendet. Auch wird der Innenseitstoß zur Ausführung von Strafstoßen verwendet. So wurden bei der Fußballweltmeisterschaft 1998 in Frankreich 16 von 17 Strafstoßen als Innenseitstoß ausgeführt (GRANT et al. 1998). Der Innenseitstoß verlangt vom Spieler eine techniktypische Außenrotation des Beines im Hüftgelenk, eine Bewegungsform, die von den natürlichen Bewegungsmustern des Menschen abweicht. Unter anderem deswegen werden beim Innenseitstoß geringere Ballgeschwindigkeiten im Vergleich zum Vollspannstoß erreicht (LEVANON und DAPENA 1998, NUNOME et al. 2002). Der entscheidende Vorteil der Passtechnik des Innenseitstoßes ist ihre hohe Präzision, welche sie zur am häufigsten benutzten Passtechnik im Fußball werden lässt (NOTHELLE und SWOBODA 1998).

Spannstöße hingegen stellen die Passtechniken und Schusstechniken mit einem natürlicheren und flüssigeren Bewegungsablauf dar. Sie finden ihre Anwendung im Zusammenspiel über größere Entfernungen, als Flanke oder als scharfe Torschüsse. Es sind dabei drei unterschiedliche Arten von Spannstößen von Bedeutung: der Vollspannstoß, der Innenspannstoß und der Außenspannstoß. Während der Innenspannstoß und der Außenspannstoß Effetstöße darstellen, sollte der Vollspannstoß im Idealfall keine Rotation des Balles bewirken. Eine Rotation des Balles wird durch einen dezentralen Treffpunkt ermöglicht. Sie bietet dem Schützen

Variationsmöglichkeiten in der Schusstechnik und stellt für ihn zusätzliche technische und taktische Handlungsalternativen bereit. Die Ballgeschwindigkeit hinsichtlich der Hauptschussrichtung des Balles verringert sich dabei deutlich gegenüber Schüssen mit zentralem Treffpunkt (NEILSON und JONES 2005).

Als spezifische Varianten des Vollspannstoßes gelten der Dropkick, der Hüftdrehstoß und der Fallrückzieher. Im Einzelnen findet der Vollspannstoß im Fußball seine Anwendung als (modifiziert nach BISANZ und GERISCH 1999):

- Torschuss nach Dribbling oder Zuspiel
- Torschuss nach direktem oder indirektem Freistoß
- Flanke
- spielaufbauender Diagonalpass oder Steilpass
- Heber
- Befreiungsschlag
- Abschlag und Abstoß

Die unterschiedlichen Anwendungssituationen suggerieren, dass der Vollspannstoß normalerweise nur bei Torschüssen oder Befreiungsschlägen mit der Intention der maximalen Geschwindigkeit durchgeführt wird. Spielanalysen weisen darauf hin, dass die Anwendung des maximalen Vollspannstoßes im Spiel eher selten geschieht (NOTHELLE und SWOBODA 1998, STERZING und HENNIG 2005). Im Falle dessen kommt ihm jedoch eine möglicherweise spielentscheidende Bedeutung zu. So bedeutet ein härterer Torschuss beispielsweise eine kürzere Reaktionszeit zur Abwehr des Balles für den gegnerischen Torwart.

Trotz diesen Überlegungen erscheint es paradox, dass gerade der selten vorkommende Vollspannstoß in der fußballspezifischen, biomechanischen Literatur die am häufigsten untersuchte Schusstechnik darstellt, wie Beiträge verschiedener Autoren verdeutlichen (unter anderem: PLAGENHOEF 1971, ASAMI und NOLTE 1983, BARFIELD, 1995, LEES 1996, BARFIELD 1998, LEES und NOLAN 1998, NUNOME 2006). Wahrscheinlich ist das Forschungsinteresse zu diesen Untersuchungen vorrangig in der kinetischen und kinematischen Betrachtung von Schüssen mit maximalem Krafteinsatz begründet, im Gegensatz zur Perspektive der sportpraktischen Häufigkeit des Vollspannstoßes.

Schon ohne aufwendige Untersuchungen lässt sich vermuten, dass der Vollspannstoß die Schusstechnik ist, mit der die höchsten Ballgeschwindigkeiten erzielt werden können. Dies wird durch die Untersuchungen von LEVANON und DAPENA (1998) sowie NUNOME et al. (2002) bestätigt. In ihrer vergleichenden kinetischen und kinematischen Analyse des Innenseitstoßes mit dem Spannstoß stellen NUNOME et al. (2002) fest, dass beim Innenseitstoß eine koordinativ anspruchsvolle, eher unnatürliche Rotationsbewegung der Hüfte zu verzeichnen ist. Aus diesem Grunde ist die geringere Ballgeschwindigkeit beim Innenseitstoß zu erklären. Ebenso konnten unterschiedliche Gesamtzeitdauern der von NUNOME et al. (2002) untersuchten Schusstechniken, sowie auch der jeweiligen von den Autoren spezifisch definierten Schussphasen, aufgezeigt werden (Abb. 2-3).

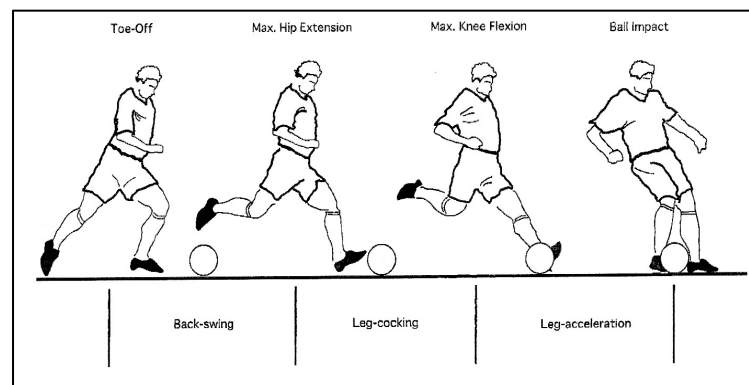


Abb. 2-3: Schussphasen (NUNOME et al. 2002)

Demnach beträgt die Zeitdauer des maximalen Vollspannstoßes  $221,0 \pm 20,1$  ms verglichen mit  $190,0 \pm 26,2$  ms für den Innenseitstoß.

Für die definierten Schussphasen lässt sich ablesen, dass die Ausholbewegung beim Vollspannstoß prozentual zur Gesamtzeitdauer mehr Zeit in Anspruch nimmt als beim Innenseitstoß ( $48,5 \pm 8,2\%$  zu  $33,7 \pm 6,3\%$ ). Dies ist durch die größere Bewegungsamplitude beim Vollspannstoß im Vergleich zum Innenseitstoß zu erklären. Hingegen nimmt die Phase von der maximalen Hüftstreckung bis zur maximalen Kniebeugung beim Vollspannstoß eine kürzere Zeit ein. ( $28,2 \pm 8,8\%$  zu  $46,3 \pm 5,2\%$ ). Die Beinbeschleunigung zum Ball hin nimmt bei beiden Schusstechniken in etwa den gleichen Zeitanteil in Anspruch ( $23,2 \pm 3,9\%$  zu  $20,0 \pm 1,8\%$ ). Die jeweiligen Zeitanteile sind dabei unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bewegungsamplituden der beiden Schusstechniken zu



interpretieren. So kommt es beim Vollspannstoß zu einer höheren Endgeschwindigkeit des Fußes als beim Innenseitstoß.

Für die Fragestellung der vorliegenden Arbeit, die Maximierung der Schussgeschwindigkeit im Fußball mittels Fußballschuhen, stellt aus den dargelegten Aspekten zunächst der Vollspannstoß die zu verwendende Schusstechnik dar.

### 2.3.2 Ablauf des Vollspannstoßes

#### 2.3.2.1 Sportmotorische Betrachtung

Die technische, sportmotorische Ausführung des Vollspannstoßes beschreiben BISANZ und GERISCH (1999) in ihrem Lehrbuch *Fußball* wie folgt: (zur Illustration ist eine Bildreihe zur Ausführung des Vollspannstoßes nach BAUER (1983) abgebildet (Abb. 2-4)).



Abb. 2-4: Ausführung des Vollspannstoßes (BAUER 1983)

Der Anlauf erfolgt kurzschrittig und gerade. Das Standbein wird in etwa fußbreit neben dem Ball aufgesetzt und trägt während des gesamten Stoßes das Körpergewicht. Hierbei wird das Knie des Standbeins leicht gebeugt. Das Spielbein vollzieht eine Ausholbewegung durch Zurückschwingen des Oberschenkels und Unterschenkels. Dabei erfolgt eine Streckung im Hüftgelenk sowie eine Beugung im Kniegelenk.

Beim folgenden Vorschwung des Beines wird das Spielbein im Kniegelenk nicht vollständig gestreckt. Der zum Boden zeigende Fuß steht in der Plantarflexion und

wird dort fixiert. Der Treffpunkt des Balles erfolgt mit dem vollen Spann, möglichst im Zentrum des Balles, bei festgestelltem Fußgelenk (WANG und WIESE-BJORNSTAL 1994).

Im Anschluss an den Ballkontakt schwingt das Spielbein aus, um eben diesen Schwung des Spielbeins besser kontrollieren zu können.

Die Aufgabe der Arme ist es, das Gleichgewicht des Schützen zu stabilisieren. Hierbei wird der dem Spielbein gegenüber liegende Arm nach vorne geführt.

Weitere Hinweise zur Durchführung des Vollspannstoßes finden sich bei CHYZOWYCH (1978).

### **2.3.2.2 Biomechanische Betrachtung**

Der Vollspannstoß und die Schusstechniken im Allgemeinen sind die fußballspezifischen Techniken, die aus biomechanischer Perspektive am häufigsten untersucht worden sind (LEES und NOLAN 1998).

Bei der Betrachtung des Vollspannstoßes aus Sicht der Biomechanik ist das Prinzip der kinetischen und kinematischen Kette für den Ablauf und für die Qualität des Schusses von entscheidender Bedeutung. Diese jeweiligen Ketten erstrecken sich über die verschiedenen Teilkomponenten des Schützen bis zum Ball. Zu diesen Teilkomponenten zählen der Standfuß, das Standbein, der Beckengürtel, der Spielbeinoberschenkel, der Spielbeinunterschenkel und der Schussfuß. LUHTANEN (1988) weist darauf hin, dass bei Schussausführungen die dominierende untere Extremität, also das Spielbein, als ein funktionales System gemäß dem Prinzip der offenen kinetischen Kette funktioniert.

Der Bewegungsablauf des Vollspannstoßes lässt sich zur genaueren biomechanischen Analyse in verschiedene Phasen einteilen.

PREISS (1992) gliedert den idealtypischen allgemeinen Spannstoß grundlegend in zwei Hauptabschnitte, den Anlauf und den Schuss. Der Anlauf dient dabei der Schaffung optimaler Voraussetzungen für den Schussabschnitt. Der Schussabschnitt selbst beginnt mit dem letzten Fußaufsatz des Standfußes vor dem Ballkontakt und endet mit dem Ausschwingen des Schussbeines bis zur Erreichung des Umkehrpunktes der Bewegung.

---

Den Schussabschnitt unterteilt PREISS (1992) dann weiter in die Schwungphase, die Kontaktphase und die Endphase.

### **2.3.2.2.1 Anlauf**

In wissenschaftlichen Untersuchungssituationen kann der Beginn des Anlaufs im Gegensatz zur Spielsituation klar definiert werden. So wird in empirischen Studien der Anlauf der Probanden aus methodischen Gründen genau festgelegt, unter anderem, um die einzelnen Schussversuche möglichst homogen gestalten zu können. Dies dient in vielen Studien dazu, die Variabilität der Schussausführung nicht durch unterschiedliche Anlaufbewegungen zu erhöhen und lässt sich mit den Erkenntnisse von ISOKAWA und LEES 1988 begründen. Die Autoren veränderten in ihrer Studie systematisch den Anlauf der Schützen, um so die Auswirkungen eines unterschiedlichen Anlaufwinkels auf das Schussergebnis zu untersuchen. Dabei stellten sie fest, dass sich die erzielte Ballgeschwindigkeit je nach Anlaufwinkel unterschiedlich gestaltete. Als günstigster Bereich für den Anlaufwinkel zur Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit erwies sich dabei eine Winkelspanne von 30 bis 60° zur Schussrichtung.

In Spielsituation der Sportpraxis kann der Anlauf zumeist nur bei der Ausführung von Standardsituationen genau abgegrenzt werden. Aus der Dynamik des Spiels heraus geht die Bewegungsaktion des Spielers zu einem nicht immer genau zu bestimmenden Zeitpunkt in die spezifische Anlaufaktion über.

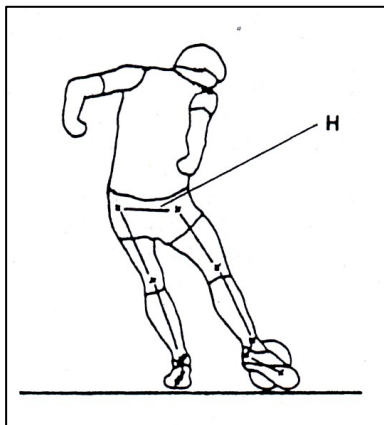
Der Anlauf beim Vollspannstoß dient generell der Erreichung einer optimalen Vorbereitungsgeschwindigkeit des KSP des Schützen für die nachfolgenden Phasen des Vollspannstoßes. Die Länge des Anlaufs beträgt bei ungestörter Bewegungsausführung in etwa fünf Schritte (PREISS 1992).

Aus Sicht der Biomechanik weist die KSP-Geschwindigkeit einen für verschiedene Schützen individuell unterschiedlichen Optimaltrend und keinen Maximaltrend zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit auf (HOFFMANN 1984 in PREISS 1992). Darauf weisen deutliche interindividuelle Unterschiede in der KSP-Geschwindigkeit zum Ende des Anlaufs und der im Anschluss daran erzielten Ballgeschwindigkeit hin. Diese interindividuellen Schwankungen sind nicht verwunderlich, da der Anlauf und das Einstemmen des Standbeins Teilbewegungen einer hoch koordinativen,

sportartspezifischen Technik darstellen. So ist zu vermuten, dass ein unterschiedliches Technikniveau von Fußballspielern auch eine unterschiedliche, individuell optimale Anlaufgeschwindigkeit bedingt. Auch ist bekannt, dass Hilfsaktionen sportlicher Bewegungen naturgemäß zum Teil stark unterschiedliche Ausprägungen zwischen verschiedenen Sportlern aufweisen.

Weiterhin ist die Gesamtbewegung und damit auch all ihre Teilbewegungen von der anthropometrischen und physischen Konstitution des Schützen abhängig. Interessant erscheint an dieser Stelle gerade die Betrachtung möglicher intraindividuelle Schwankungen der individuellen Anlaufgeschwindigkeit, welche vermutlich eine größere Homogenität aufweisen wird. Dazu finden sich in der Literatur jedoch bislang keine Angaben.

Nach dem Prinzip der Koordination der Teilimpulse der kinetischen Kette beim



**Abb. 2-5:**  
**Körperhaltung bei Ballkontakt**  
(HOFFMANN 1984 in PREISS 1992)

Vollspannstoß ist eine hohe Anlaufgeschwindigkeit wünschenswert, solange sie koordinativ und technisch einwandfrei auf das Spielbein und nachfolgend auf den Ball transferiert werden kann.

Der Anlauf dient zudem der optimalen Platzierung des Standbeins in Relation zum Ball. Zu Beginn der Kontaktphase beträgt dabei der Abstand des Schwerpunktes des Standfußes zum Mittelpunkt des Balles in anterior-posterior Richtung 0,06m und der medio-laterale Abstand 0,33m. Für den KSP beträgt der Abstand in anterior-posterior Richtung 0,18m

und der medio-laterale Abstand 0,48m (HOFFMANN 1984 in PREISS 1992) (Abb. 2-5). Die über vier Probanden gemittelten Zahlenwerte verweisen demnach auf eine leichte Rück- und Seitneigung des Schützen zum Zeitpunkt des Treffpunkts mit dem Ball.

Unabhängig davon fordern WANG und WIESE-BJORNSTAL (1994) für einen optimalen Vollspannstoß die folgenden Anlaufkriterien ein. Dies ist eine gute Aufsetzposition des Standfußes neben dem Ball unter Berücksichtigung der interindividuellen Abweichungen der exakten Fußposition je nach den spezifischen anthropometrischen Voraussetzungen des Schützen. Weiterhin verweisen sie auf die Notwendigkeit, den letzten Anlaufschritt schnell und weiträumig auszuführen, um

optimale Voraussetzungen für ein schnelles Vorschwingen des Spielbeins zu schaffen.

### 2.3.2.2.2 Schwungphase

Die Schwungphase beginnt mit dem letzten Aufsetzen des Standfußes vor dem Ballkontakt und endet mit dem initialen Ballkontakt des Schussfußes. Der Aufsatzen des Standfußes ist biomechanisch im Hinblick auf die Bodenreaktionskraft (ANJOS und ADRIAN 1986, BARFIELD 1995) und hinsichtlich der plantaren Druckverteilung (EILS et al. 2004, STERZING und HENNIG 2005) bereits charakterisiert worden.

Der Standbeinaufsatz ist als der Abschluss des Anlaufs und als der Beginn des eigentlichen Schusses und damit als Startpunkt der kinetischen Kette zur Impulsübertragung auf den Ball anzusehen.

BARFIELD (1995) beschreibt die beim Vollspannstoß auftretenden Bodenreaktionskräfte an Hand der obigen Abbildung (Abb. 2-6). Es wird deutlich, dass zu Beginn des Fußaufsatzes in allen drei Krafrichtungen relativ hohe Bremskräfte wirksam werden. Diese laufen dann im weiteren Verlauf der Bewegung langsam aus.

Die plantare Druckverteilung gibt einen Einblick bezüglich der Höhe der Druckbelastung unter dem Fuß hinsichtlich regionaler und zeitlicher Gesichtspunkte. Es wird deutlich, dass der Fußaufsatz mit der Ferse beginnt und sich dann hauptsächlich lateral in Richtung Vorfuß bis hin zum Hallux fortsetzt (Abb. 2-7).

Das sportmotorische Ziel der Schwungphase ist vornehmlich die Vorbereitung des optimalen Treffens des Balles. Auf Grund der sehr kurzen Kontaktzeit zwischen Fuß/Schuh und Ball ist ein Nachjustieren der Schussbewegung innerhalb der Kontaktphase sowohl willkürlich als auch reflektorisch auf Grund der neurophysiologisch notwendigen Zeiterfordernisse nicht möglich. Somit bestimmen

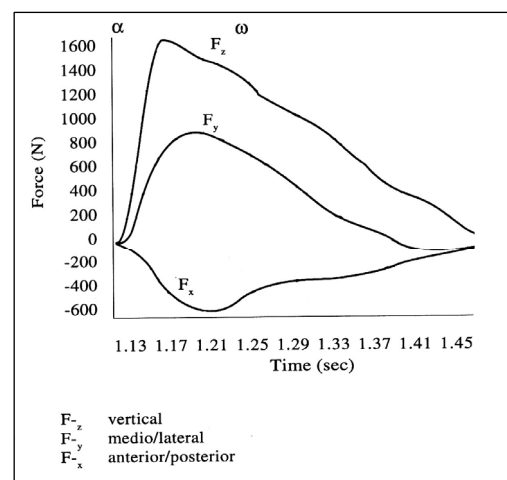
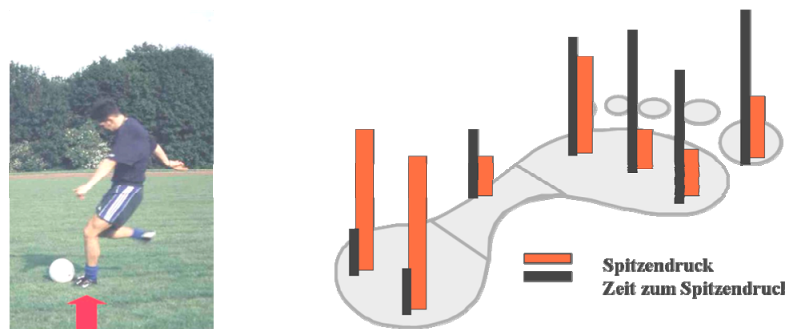


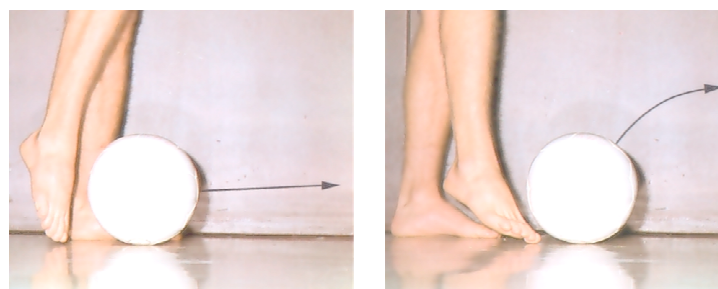
Abb. 2-6: Bodenreaktionskräfte beim Standbeinaufsatz (BARFIELD 1995)

die Vorgänge in der Schwungphase letztendlich den Erfolg der Schussaktion. Dies gilt für die Richtung, die Geschwindigkeit und den Effet des Balles.



**Abb. 2-7: Standbeinaufsatz, plantare Druckverteilung (STERZING und HENNIG 2005)**

Die biomechanischen Zielgrößen der Schwungphase sind daher abhängig von der sportpraktischen Aufgabe, welche mittels der genannten Aspekte Ballrichtung, Ballgeschwindigkeit und Effet des Balles definiert wird. Die Erfüllungsqualität der sportpraktischen Aufgabe hängt dann von der Einwirkung des Systems aus Fuß/Schuh auf den Ball ab. Die Einwirkung des Fußes auf den Ball wiederum wird durch die Fußposition zum Ball im Treffpunkt hinsichtlich der Trefffläche und Neigung sowie den Gesetzmäßigkeiten der Impulsübertragung charakterisiert, die während der zeitlich sehr kurzen Kontaktphase zum Tragen kommen (Abb. 2-8).

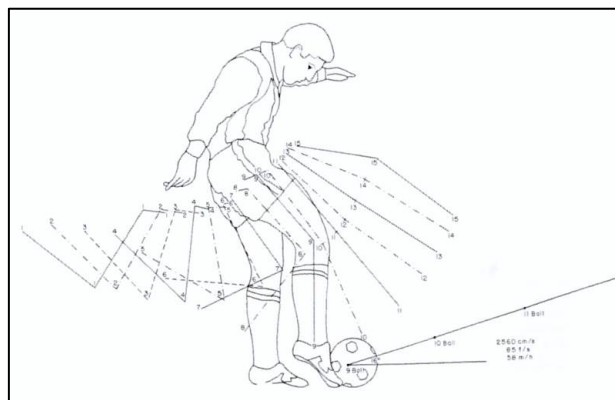


**Abb. 2-8: Fußausrichtung bei Ballkontakt (BAUER 1990)**

Die Schwungphase ist in Bezug auf die Erreichung einer hohen Ballgeschwindigkeit auch darauf angelegt, eine möglichst hohe Fußgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Ballkontaktes zu erzielen. Dies geschieht durch die Ausholbewegung des Schwungbeines zu Beginn der Schwungphase.

PREISS (1992) ebenso wie DUNN und PUTNAM (1988) behandeln in ihren Ausführungen nicht das Zurückführen des Schussbeines zu Beginn der Schwungphase. Dabei vernachlässigen sie den für die Erzielung einer hohen finalen

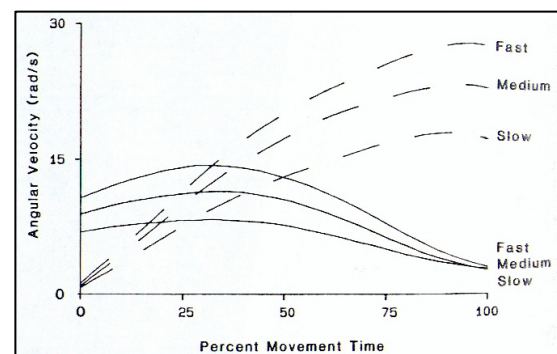
Fußgeschwindigkeit wichtigen Dehnungs-Verkürzungszyklus. Dieses Prinzip aus der Muskelmechanik wirkt sich im jeweiligen Umkehrpunkt des Spielbeins im Hüftgelenk auf die Hüftbeugemuskulatur sowie im Kniegelenk auf die Kniestreckmuskulatur aus. Gemäß diesem muskelmechanischen Prinzip werden die parallelelastischen Elemente der entsprechenden Muskulatur exzentrisch in Spannung versetzt und werden so bei den anschließend erfolgenden konzentrischen Kontraktionen des Spielbeins additiv zu den kontraktiven Mechanismen wirksam. Es erfolgt die Bewegung des Spielbeins in die Zielrichtung, welche durch die Hüftflexion eingeleitet wird und durch die Knieextension weitergeführt wird.



**Abb. 2-9: Gelenkwinkelveränderungen Spielbein (PLAGENHOEF 1971)**

Eine der ersten kinematischen Betrachtungen des Spielbeins beim Vollspannstoß publizierte PLAGENHOEF (1971). In seiner Darstellung werden die Gelenkwinkelveränderungen im Hüftgelenk und im Kniegelenk beim Vorschwingen des Spielbeins deutlich (Abb. 2-9).

Zur Analyse der Schussbewegung kann die untere Extremität als ein Zwei-Segment-System, welches aus Oberschenkel und Unterschenkel/Fuß besteht, angesehen werden. DUNN und PUTNAM (1988) zeigen mittels eines typischen Probanden, unabhängig von der jeweiligen Fußgelenkgeschwindigkeit, das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeit im Hüftgelenk (durchgezogene Linie) und der Winkelgeschwindigkeit im Kniegelenk (gestrichelte Linie) für die Zeit des

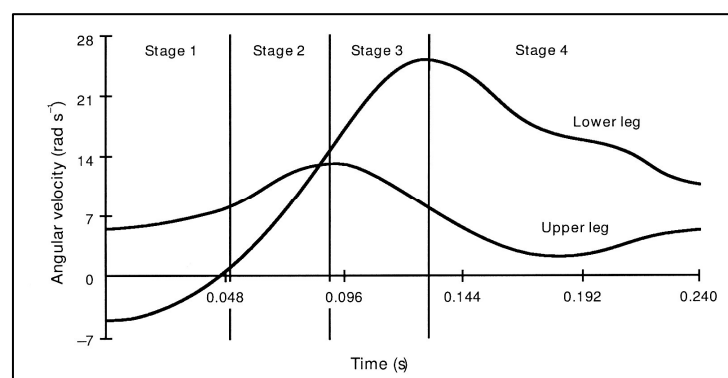


**Abb. 2-10: Winkelgeschwindigkeit Ober- und Unterschenkel (DUNN und PUTNAM 1988)**

Vorschwingen des Spielbeins bis zum Ballkontakt (Abb. 2-10). Es zeigt sich, dass dieses Verhältnis unabhängig von der Höhe der erzielten Ballgeschwindigkeit ist und somit als grundlegend betrachtet werden muss. Demnach wird die maximale Winkelgeschwindigkeit im Hüftgelenk nach etwa 35% der Bewegungszeit erreicht und fällt bis zum Ballkontakt auf annähernd Null ab, während die Winkelgeschwindigkeit im Kniegelenk sich von Beginn der Schwungphase an aufbaut und ihr Maximum unmittelbar vor dem Ballkontakt verzeichnet. Dies geschieht in Anlehnung an das biomechanische Prinzip der optimalen Koordination der Teilimpulse einer Gesamtbewegung.

Die negative Beschleunigung des Oberschenkelsegments im Verlauf der Bewegungszeit wurde von ALEXANDER (1983) der Aktivität der Hüftextensoren während der Schwungphase zugeschrieben. Jedoch konnten DUNN und PUTNAM (1988) schon für Schüsse mit maximaler Geschwindigkeit nachweisen, dass das resultierende Drehmoment in der Hüfte während der Phase der negativen Hüftbeschleunigung in Richtung Hüftflexion ausgerichtet bleibt. Daher favorisieren sie eher den Einfluss des Unterschenkelsegments, welches stark positiv beschleunigt wird, als möglichen Grund für den Rückgang der Hüftwinkelgeschwindigkeit.

Der Rückgang der Winkelgeschwindigkeit in der Hüfte beim Vorschwingen des Spielbeins wird allgemein bei der Betrachtung von Schussbewegungen im Fußball als ein Paradoxon bezeichnet. Nichtsdestotrotz lässt es sich über biomechanische Prinzipien schlüssig erklären.



**Abb. 2-11: Winkelgeschwindigkeit des Spielbeins (LEES und NOLAN 1998)**

DE PROFT et al. (1987) verweisen auf Untersuchungen, die gezeigt haben, dass während Beugebewegungen beispielsweise des Hüftgelenkes ebenso die Streckmuskulatur aktiv ist und umgekehrt. Dies ist im Sinne einer gut koordinierten

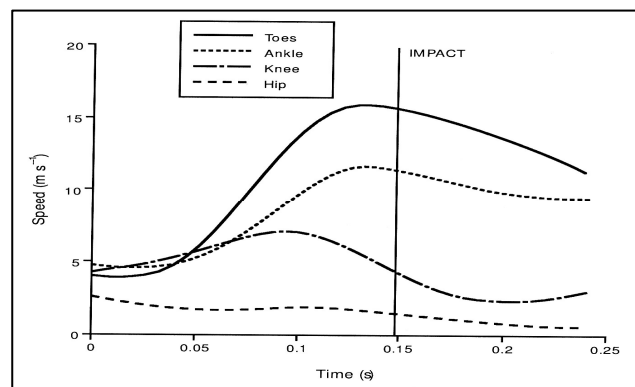


Bewegung ein absolutes Erfordernis und lässt sich an Hand des Spielbeins beim Vollspannstoß gut veranschaulichen.

LEES und NOLAN (1998) zeigen ebenfalls die Entwicklung der Winkelgeschwindigkeiten des Oberschenkels und des Unterschenkels des Spielbeins beim Vollspannstoß (Abb. 2-11). Es wird deutlich, dass zunächst sowohl der Oberschenkel, als auch der Unterschenkel einen Anstieg ihrer jeweiligen Winkelgeschwindigkeit zu verzeichnen haben. Im weiteren Verlauf der Bewegung sinkt die Winkelgeschwindigkeit des Oberschenkels ab, während die Winkelgeschwindigkeit des Unterschenkels bis zum Ballkontakt ansteigt. Dort erreicht sie dann ihr Maximum.

DÖRGE et al. (2002) erläutern, dass zum Zeitpunkt an dem sich die Winkelgeschwindigkeiten von Oberschenkel und Unterschenkel kreuzen, der Massenschwerpunkt des Fußes anfängt, seine Lineargeschwindigkeit bis hin zum Ballkontakt zu erhöhen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Segmentgeschwindigkeiten des Spielbeins beim Vollspannstoß nach LEES und NOLAN (1998) (Abb. 2-12). Bei Ballkontakt weisen die Zehen, als die am weitesten distalen Strukturen der unteren Extremität, die höchste Lineargeschwindigkeit auf, gefolgt vom Fußgelenk, dem Knie und der Hüfte.



**Abb. 2-12: Segmentgeschwindigkeiten des Spielbeins (LEES und NOLAN 1998)**

### 2.3.2.2.3 Kontaktphase

Die Kontaktphase beschreibt die Kollision zwischen dem System Fuß/Schuh und Ball beim Vollspannstoß. Ihre Dauer ist durch den ersten Kontakt von Fuß und Ball

bis zum finalen Kontakt von Fuß und Ball begrenzt. Innerhalb der Kontaktphase kommt es zu der angestrebten Impulsübertragung des Schützen auf den Ball.

Verschiedene Autoren beziffern die Dauer der Kontaktphase auf 6 bis 16ms (ROBERT und METCALFE 1968 in ASAMI und NOLTE 1983, PLAGENHOEF 1971, ASAMI und NOLTE 1983, TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY 1996). Sie ist auf Grund ihrer kurzen Dauer ausschließlich als das Produkt der vorangehenden Teilaktionen des Vollspannstoßes anzusehen. Ein sportmotorisches Eingreifen des Sportlers im Sinne einer Nachjustierung ist, wie erwähnt, hier aus neurophysiologischen Gegebenheiten nicht mehr möglich, da selbst Reflexantwortzeiten die Dauer der Kontaktphase deutlich übersteigen.

In der Trainingswissenschaft werden bereits Gesamtbewegungen von einer Dauer unter 200ms nach ADAMS (1971 in HOHMANN et al. 2003) als *Open Loop Bewegungen* klassifiziert, da bei ihnen eine rückgekoppelte Bewegungssteuerung aus den genannten Gründen fehlen muss. WULF (1994 in HOHMANN et al. 2003) ordnet dabei sowohl Fußstöße als auch schnelle Schläge und Würfe den Open Loop Bewegungen zu. Zur Einordnung des Vollspannstoßes in die Gruppe der Open Loop Bewegungen ist die Betrachtung der Schwungphasenzeit des Vollspannstoßes das entscheidende Kriterium. Diese wird in diesem Fall und innerhalb dieser Arbeit als die Zeitdauer vom Fußaufsatz des Standbeins bis hin zum initialen Ballkontakt des Spielbeins definiert. Sie beträgt bei ANJOS und ADRIAN (1986) 135ms. Innerhalb dieser Arbeit wurden Zeitdauern, wie später noch genauer dargestellt, von 118 bis 127ms ermittelt.

Nach TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) ist die Kollision des Systems Fuß/Schuh mit dem Ball als eine Mischform aus einer Stoßbewegung sowie einer Wurfbewegung anzusehen. Daher kann die Theorie der vollständigen Impulserhaltung unter anderem bedingt durch die wirksam werdende muskuläre Aktivität nicht als vollständige Erklärung der Vorgänge während der Kollision zwischen dem System Fuß/Schuh und dem Ball angesehen werden. Beim Vollspannstoß finden daher die klassischen mechanischen Gesetze nach NEWTON nur bedingt ihre Anwendung. Nach dessen Theorie würde der Impuls des stoßenden Körpers unmittelbar und verlustfrei auf den anderen Körper übertragen, ohne dass dieser während dessen seine Position verändert. TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) begründen ihre Bedenken gegenüber der Theorie nach NEWTON mit dem von ihnen, für rein elastische Kollisionen, beobachteten zu langen Kollisionszeitraum von 16ms.

Zudem stützen sie ihre Bedenken auf die zu beachtende gemeinsame Verschiebung des Fuß/Schuh-Ball Komplexes von 26cm. Die Autoren verweisen weiterhin darauf, dass mehr als 50% der Ballgeschwindigkeit und zumindest 30% der frei werdenden Energie nicht aus der potentiellen Energie der Balldeformation stammen und von daher als Resultat muskulärer Arbeit angesehen werden müssen.

Im Gegensatz dazu sprechen ASAI et al. (2002) von einer mittleren Kontaktdistanz von 15cm. Im Unterschied zu TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) handelt es sich bei diesen Untersuchungen jedoch nicht um den Zehenstoß mit der Picke sondern um den Vollspannstoß.

Die Kollision zwischen dem System Fuß/Schuh und dem Ball ist die entscheidende Phase für den Erfolg des Vollspannstoßes. Sie ist sportmotorisch betrachtet die Hauptaktion der Gesamtbewegung, während die verschiedenen Teilbewegungsaktionen vor und nach der Kollision als Hilfsaktionen betrachtet werden. Stellt die Kollision zwischen dem System Fuß/Schuh und dem Ball auch die entscheidende Phase des Gesamtbewegungsablaufes dar, so ist diese Phase mit ihren Abläufen schon bei ihrem Beginn genauestens festgelegt. Sie ist als Kern der sportmotorischen Hauptaktion sozusagen das Endprodukt aller zeitlich vorhergehenden vorbereitenden Aktionen, wie die des Anlaufs, der Ausholbewegung und des ersten Abschnittes der Vorschwungphase. Die Unveränderbarkeit der Bewegungsaktion mitsamt ihrem Ergebnis liegt unter anderem in der relativ kurzen Zeitdauer der Kollision begründet.

Wenn auch der Ablauf der Kollision bereits kurz vor dem Ballkontakt sportmotorisch und biomechanisch festgelegt ist, so lassen doch die quantitativen und qualitativen Parameter, die genau diesen Abschnitt beschreiben, entscheidende Rückschlüsse auf den Erfolg des Vollspannstoßes zu. Somit gilt es, diese Parameter herauszustellen und ihre Bedeutung für die Ballgeschwindigkeit zu analysieren.

Im Folgenden soll die Interaktion zwischen Fuß/Schuh und Ball beim Schießen im Fußball in Anlehnung an die Erkenntnisse von TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) verdeutlicht werden. Es ist zu beachten, dass sich während der Kollision sowohl der Ball als auch die Einheit aus Fuß/Schuh deformieren. Das Phänomen der Speicherung von Energie durch den Fuß ist beim Laufen und auch nach der Landung von Sprüngen bekannt (ALEXANDER 1983). Allerdings ist die Nachgiebigkeit des Balles größer als die des Fußes und so ist der Ball in der Lage, vergleichsweise mehr Energie zu speichern. Daher kann der Gedanke der Speicherung der Energie durch

den Fuß vernachlässigt werden, da sich die gespeicherte Energie proportional zur Deformation der kollidierenden Körper verhält.

Um die biomechanischen Vorgänge während der Kollision genauer erklären zu können, filmten TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) mittels einer Hochgeschwindigkeitsvideokamera bei einer Aufnahme­frequenz von 4000Hz die Kollision aus der seitlichen Perspektive, so dass die Vorgänge in der Saggitalebene analysiert werden konnten. Sie fanden heraus, dass die maximale Deformation des Balles zum Zeitpunkt gleicher Geschwindigkeit des Schussfußes und des Balles stattfindet. Zudem beschreiben sie die Entwicklung der Fußgeschwindigkeit in Relation zur Ballgeschwindigkeit.

TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) verdeutlichen die Interaktion zwischen Fuß/Schuh und Ball beim Schuss mit der Picke mittels zweier verschiedener Varianten (A) und (B). Die Schusstechnik mit der Picke wurde ausgewählt, da sich bei ihr die Deformation des Balles am exaktesten herausarbeiten lässt. Ein qualitativer Transfer der Erkenntnisse auf die Geschehnisse beim Vollspannstoß ist in diesem Fall jedoch durchaus gestattet. Von Bedeutung bei der Betrachtung der angesprochenen Interaktion sind die folgenden Aspekte: initiale Deformation des Balles, initiale Bewegung des Balles und Rückgang der Deformation des Balles. Es werden zwei verschiedene Betrachtungsweisen hinsichtlich der Charakteristika der Kollisionsphase herausgestellt.

Die Variante A beinhaltet dabei die folgenden drei Phasen mit ihren unterschiedlichen Charakteristika:

- A1: Die Phase A1 ist die Phase der initialen Deformation. In dieser deformiert sich der Ball ohne sich zu bewegen. Dabei reduziert sich die Fußgeschwindigkeit stark. Diese Phase endet mit der initialen Bewegung des Balles.
- A2: Die Phase A2 beginnt mit der initialen Bewegung des Balles. Während dieser Phase deformiert sich der Ball weiterhin. Dabei erhöht sich die Ballgeschwindigkeit rasch, hingegen wird der Fuß weiterhin abgebremst. Diese Phase endet zum Zeitpunkt der maximalen Balldeformation.

- A3: Die Phase A3 beginnt zum Zeitpunkt der maximalen Balldeformation. Der folgende Rückgang der Deformation geht einher mit einer Erhöhung der absoluten Ballgeschwindigkeit wie auch der relativen Ballgeschwindigkeit in Bezug zum Fuß. Die Fußgeschwindigkeit erscheint nahezu konstant. Diese Phase endet mit dem Ende des Kontaktes zwischen Fuß/Schuh und Ball.

Nachfolgend sind die jeweiligen gemittelten Zeitdauern der einzelnen Phasen angegeben sowie die Strecken der Ballbewegung und die Ballgeschwindigkeit zum Ende der jeweiligen Phasen für einen Probanden S1 mit seinen 10 Schussversuchen (Tab. 2-1).

Phase	Zeit [ms]	Wegstrecke [cm]	Endgeschwindigkeit [m/s]
A1	3,0 ± 0,9	-	-
A2	3,0 ± 1,2	2,8 ± 0,8	13,4 ± 1,2
A3	10,4 ± 1,0	23,2 ± 2,1	24,9 ± 1,1
<b>Gesamt</b>	16,4 ± 1,0	26,0 ± 2,3	24,9 ± 1,1

Tab. 2-1: Kollisionsphasen A (TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY, 1996)

Die Variante B beinhaltet die folgenden drei Phasen mit ihren Charakteristika. Ihr liegt der Begriff 'Phase der annähernd maximalen Deformation' zu Grunde:

- B1: Die Phase B1 beginnt mit dem initialen Fuß/Schuh-Ball Kontakt und der damit beginnenden Deformation des Balles. Sie endet mit dem Beginn der Phase der annähernd maximalen Deformation.
- B2: Die Phase B2 ist die Phase der annähernd maximalen Deformation. Während dieser Phase bleibt die Balldeformation annähernd konstant maximal und die Ballgeschwindigkeit steigt stark an.
- B3: Die Phase B3 beginnt mit dem Ende der Phase der annähernd maximalen Deformation und endet mit dem Ende des Kontaktes zwischen Fuß/Schuh und Ball.

Nachfolgend sind die jeweiligen gemittelten Zeitdauern der einzelnen Phasen angegeben und die Strecken der Ballbewegung sowie die Ballgeschwindigkeit zum Ende der jeweiligen Phasen für den Probanden S1 mit seinen 10 Schussversuchen (Tab. 2-2).

Phase	Zeit [ms]	Wegstrecke [cm]	Endgeschwindigkeit [m/s]
B1	3,5 ± 0,6	0,5 ± 0,3	5,9 ± 1,4
B2	5,4 ± 0,6	7,3 ± 1,2	20,5 ± 1,8
B3	7,5 ± 0,9	18,1 ± 2,1	24,9 ± 1,1
<b>Gesamt</b>	16,4 ± 1,0	25,9 ± 2,4	24,9 ± 1,1

**Tab. 2-2: Kollisionsphasen B (TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY 1996)**

Die Autoren stellen mit ihrer Arbeit quantitative Daten bezüglich der Kollisionsphase beim Schießen mit der Picke im Fußball zur Verfügung. Die von ihnen gewählte Schusstechnik der Picke ist unter den Schusstechniken am besten geeignet, die Kollisionsphase hinsichtlich der Balldeformation zu beschreiben. Nichtsdestotrotz sind die generellen Überlegungen der Autoren zur Kollisionsphase durchaus auf den Vollspannstoß im Fußball zu übertragen. Sie zeigen anschaulich, dass die Kollision zwischen Fuß/Schuh und Ball im Fußball auf Grund der Zeitdauer der Kollision sowie der verrichteten muskulären Tätigkeit während der Kollision nicht den klassischen Theorien der rein mechanischen Impulsübertragung zuzurechnen ist. Sie stimmen daher mit ENGIN und TÜMER (1993) inhaltlich überein, dass die klassische Theorie der Impulserhaltung bei der Betrachtung der Kollisionsphasen beim Schießen im Fußball keine Anwendung finden sollte.

#### **2.3.2.2.4 Endphase**

PREISS (1992) verzichtet auf die genauere Betrachtung der Endphase, da sie zum sportmotorischen Ziel des Ballstoßes keinen Beitrag liefert. So ist die Endphase eher als Resultat der vorweg stattfindenden Phasen des Vollspannstoßes anzusehen. Sie dient natürlicherweise dem Ausschwing der Schussbewegung.

BARFIELD (1998) verweist hingegen auf zwei unterschiedliche funktionale Aspekte des Spielbeinausschwungs. Zum einen erhöht der längere Kontakt des Fußes mit dem

Ball die Möglichkeit, muskulär erzeugte Energie auf den Ball zu übertragen. Zum anderen gilt der Ausschwingung auch als Schutzmechanismus, während dessen sich die generierten Muskelkräfte sowie die elastische Kräfte verflüchtigen können. Angelehnt an TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) erhöht der Ausschwingung zudem die mechanische Arbeit, welche durch die Muskelkraft auf den Ball angewendet wird. Dies führt dann möglicherweise auch zu einer höheren Ballgeschwindigkeit.

### 2.3.2.3 Anatomische Betrachtung

Eine oberflächliche Beschreibung der beteiligten Muskulatur beim Vollspannstoß bietet WEINECK (1995).

Danach kommt es auf der Standbeinseite vor allem durch den M. gluteus maximus und die Mm. ischiocrurales zu einer Hüftstreckung. Der M. quadriceps femoris bewirkt eine Kniestreckung. Der M. triceps surae bewirkt eine Plantarflexion am Standbein derart, dass der Schütze bei einer dynamisch ausgeführten Bewegung deutlich auf dem Vorfuß des Standbeins steht.

Das Spielbein erfährt eine Beugung im Hüftgelenk durch den M. rectus femoris, den M. iliopsoas und den M. tensor fasciae latae. Zudem kommt es zu einer explosiven Streckung im Kniegelenk durch den M. quadriceps femoris. Die nachfolgende Abbildung zeigt die beim Vollspannstoß hauptsächlich agierende Muskulatur nach WEINECK (1995) (Abb. 2-13).

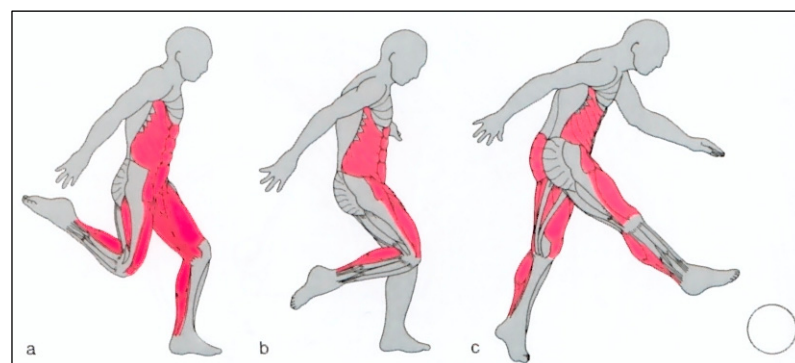


Abb. 2-13: Beteiligte Muskulatur beim Vollspannstoß (WEINECK 1995)

WANG und WIESE-BJORNSTAL (1994) verweisen darauf, dass beim Vollspannstoß der Schütze das Spielbein so schnell wie möglich in Richtung Ball vorschwingen

sollte. Zudem erklären sie, dass jegliches Nachgeben des Unterschenkel/Fuß Komplexes während der Kontaktphase mit dem Ball zu vermeiden ist.

Die während der Kontaktphase hauptsächlich aktiven Muskeln der unteren Extremität des Spielbeins sind in Bezug auf die Hüftflexion die Mm. rectus femoris, pectineus, psoas major, iliacus, sartorius, adductor brevis, adductor magnus sowie tensor fasciae latae.

Für die Streckung der unteren Extremität im Kniegelenk ist hauptsächlich der M. quadriceps femoris mit seinen vier Anteilen, den Mm. rectus femoris, vastus medialis, vastus lateralis, und vastus intermedius verantwortlich.

Die Plantarflexion des Schussfußes wird über die Mm. gastrocnemius, soleus, peroneus longus, peroneus brevis, tibialis posterior und flexor digitorum longus erreicht.

Mit dieser Aufzählung wird verdeutlicht, welcher hohen koordinativ muskulären Aufwand die Kollisionsphase des Vollspannstoßes allein in der unteren Extremität erfordert. Auch wenn in der Auflistung nach WANG und WIESE-BJORNSTAL (1994) die antagonistische Muskelaktivität im Bereich des Hüftgelenks außen vor bleibt, wird deutlich, dass die muskuläre Verspannung des Spielbeins ein hoch komplexes Zusammenspiel einer Vielzahl von beteiligten Muskeln bedeutet.

## **2.4 Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

Diese Arbeit analysiert den Fußballschuh als potentiellen Einflussfaktor für die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Die nachfolgenden Ausführungen geben einen Überblick über die bereits in der Literatur festgehaltenen und diskutierten Einflussfaktoren. Dabei ist anzumerken, dass die unterschiedlichen Einflussfaktoren gegebenenfalls interagieren und so im Zusammenhang betrachtet werden müssen.

Die biomechanischen Untersuchungen des Vollspannstoßes beziehen sich ausschließlich auf Schussaktionen des ruhenden Balles. Dieser Ansatz ist auf Grund methodischer Überlegungen im Hinblick auf die Verringerung der Bewegungsvervielfältigung nachzuvollziehen. Daher wird diese Vorgehensweise auch in den empirischen Studien der in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungsreihe



angewendet. Dieses Vorgehen spiegelt natürlich nicht die Gesamtheit der realen Sportpraxis im Fußball wieder. Dort findet der Vollspannstoß mit der Intention maximaler Geschwindigkeit sowohl nach Spielunterbrechungen als auch aus dem laufenden Spiel heraus statt.

LEVANON und DAPENA (1998) verglichen die kinematischen Gegebenheiten des Vollspannstoßes mit dem Innenseitstoß und registrierten auch die jeweiligen Ballgeschwindigkeiten. Hier zeigte sich die Technik des Vollspannstoßes ( $28,6 \pm 2,2 \text{ m/s}$ ) deutlich überlegen im Vergleich mit der des Innenseitstoßes ( $22,5 \pm 1,8 \text{ m/s}$ ).

NEILSON und JONES (2005) untersuchten die Ballgeschwindigkeiten der drei Spannstoßvarianten Vollspannstoß, Innenspannstoß und Außenspannstoß an Hand von 25 professionellen Fußballspielern. Diese gehörten drei Vereinen der englischen Premier League sowie jeweils einem Verein der ersten und dritten englischen Liga an. Als Ergebnis lässt sich festhalten, dass die unterschiedlichen Spannstoßtechniken statistisch signifikant unterschiedliche Ballgeschwindigkeiten hervorriefen. So wies der Vollspannstoß ( $27,05 \pm 2,23 \text{ m/s}$ ) die höchste Ballgeschwindigkeit auf, gefolgt vom Innenspannstoß ( $23,52 \pm 2,31 \text{ m/s}$ ) sowie dem Außenspannstoß ( $20,85 \pm 3,08 \text{ m/s}$ ). Das Rotationsverhalten der beiden Effetspannstöße hingegen zeigte keine quantitativen Unterschiede und belief sich auf  $7,91 \pm 2,27 \text{ rev/s}$  für den Innenspannstoß und auf  $7,87 \pm 2,46 \text{ rev/s}$  für den Außenspannstoß.

Mit ihrer Untersuchung legen NEILSON und JONES (2005) eine, auf Grund der Größe des Probandenkollektivs, quantitativ und qualitativ hochwertige Grundlage zur Bestimmung der in der Realität vorkommenden Ballgeschwindigkeiten bei Vollspannstößen im Fußball.

#### **2.4.1 Einflussgrößen der Schussgeschwindigkeit**

Die maximale Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ist zunächst abhängig von der qualitativen und quantitativen Bewegungsausführung des Schützen. Vergleichende Untersuchungen von unterschiedlichen Probandenkollektiven zur erzielten Ballgeschwindigkeit werden jedoch noch gesondert behandelt.

Zunächst sollen hier einzelne biomechanische Faktoren der Bewegungsausführung beim Vollspannstoß isoliert werden, um genaueren Aufschluss darüber zu

bekommen, warum ein spezifischer Bewegungsablauf zur Erzielung einer höheren Ballgeschwindigkeit führt als andere Bewegungsausführungen.

Nach ASAMI und NOLTE (1983) gibt es eine Vielzahl biomechanische Parameter, die mit der erzielten Ballgeschwindigkeit korrelieren. Die Autoren beschreiben den statistisch gesicherten ( $p < 0,01$ ) positiven Zusammenhang der folgenden Parameter mit der erzielten Ballgeschwindigkeit an Hand von Untersuchungen mittels sechs erfahrenen Probanden. Dabei sind die effektive Masse des Schussfußes und die mittlere wirksame Kraft bei Ballkontakt berechnete Größen. Die übrigen Parameter stellen hingegen gemessene Größen dar. Die Fußgeschwindigkeit ist mit  $v_F$  gekennzeichnet, die Ballgeschwindigkeit mit  $v_B$ .

- $v_F$  unmittelbar vor Ballkontakt (r = 0,74)
- $v_F$  unmittelbar nach Ballkontakt (r = 0,65)
- $v_B/v_F$  unmittelbar vor Ballkontakt (r = 0,82)
- Effektive Masse des Schussfußes (r = 0,72)
- Mittlere Kraft bei Ballkontakt (r = 0,95)

Einen bedeutsamen negativen Zusammenhang ( $p < 0,01$ ) beschreiben ASAMI und NOLTE (1983) für die folgenden Parameter und die erzielte Ballgeschwindigkeit.

- Ballkontaktzeit (r = -0,89)
- Winkelveränderung max. des Fußes (r = -0,81)

Für folgenden Parameter konnten ASAMI und NOLTE (1983) keinen statistisch gesicherten Zusammenhang bezüglich der erzielten Ballgeschwindigkeit feststellen ( $p = n.s.$ ).

- Winkelveränderung max. des Sprunggelenks (r = -0,41)

Nach PLAGENHOEF (1971) und BULL ANDERSEN et al. (1999, 2005) ist die Geschwindigkeit des Balles nach der Kollision durch die Fußgeschwindigkeit, die effektive Masse des Fußes und den Restitutionskoeffizienten bestimmt.

Der Restitutionskoeffizient ist dabei das Verhältnis aus  $v_B-v_F$  nach der Kollision im Verhältnis zu  $v_B-v_F$  vor der Kollision. BULL ANDERSEN et al. (2005) halten die mechanischen Eigenschaften des Systems Fuß/Schuh und des Balles unter Berücksichtigung der Steifigkeit, der Kontaktfläche und des Kontaktpunkts für entscheidend hinsichtlich des Ausmaßes des Restitutionskoeffizienten. Dabei ist der Wert des Restitutionskoeffizienten statistisch signifikant größer, wenn der Ball von einer kleineren Fläche beschleunigt wird. Dies konnten die Autoren bei vergleichenden mechanischen Untersuchungen mit einer kleinen und einer großen Kontaktfläche darlegen. Daraus folgt eine Analogie zu den verschiedenen Schusstechniken im Fußball, wo beispielsweise bei Schüssen mit der Picke im Vergleich zu Schüssen mit dem Vollspann eine kleinere Kontaktfläche vorliegt. BULL ANDERSEN et al. (2005) zeigten weiterhin, dass sich für niedrigere Fußgeschwindigkeiten beim Stoß mit der Picke höhere Restitutionskoeffizienten ergaben als für höhere Fußgeschwindigkeiten.

Für den Vollspannstoß konnte kein Einfluss der Fußgeschwindigkeit auf den Restitutionskoeffizienten gezeigt werden. Eine abschließende Ursachenzuschreibung konnte nicht durchgeführt werden, da das Ausmaß der Fußrigidität nicht messtechnisch für die beiden Schusstechniken erfasst worden ist.

#### **2.4.1.1 Anlauf und Einstemmverhalten des Standbeins**

Zur Erzielung einer maximalen Ballgeschwindigkeit ist es notwendig, die jeweiligen Schüsse mit Anlauf durchzuführen. OPAVSKY (1988) zeigte, dass die jeweiligen absoluten Schwerpunktgeschwindigkeiten des Fußes, des Unterschenkels und des Oberschenkels bei Schüssen mit einem 6 bis 8-Schritt-Anlauf höher lagen als bei Schüssen aus dem Stand heraus. Zugleich wurde in dieser Studie gezeigt, dass die muskuläre Kraftanstrengung bei Schüssen aus dem Stand heraus größer einzuschätzen ist als bei Schüssen mit Anlauf. Dies begründet sich dadurch, dass die relative Geschwindigkeit der einzelnen Körpersegmente zum Körper des Schützen beim Schießen aus dem Stand höher liegt. Im Ergebnis der Ballgeschwindigkeiten konnten die sechs Probanden mit 30,8 zu 23,5m/s eindeutig höhere Werte bei ihren Schüssen mit Anlauf erzielen.

In der Literatur (ISOKAWA und LEES 1988, PREISS 1992,) wird dargestellt, dass Veränderungen in Bezug auf Anlauflänge, Anlaufgeschwindigkeit und Anlaufwinkel die Ballgeschwindigkeit beeinflussen.

In den unterschiedlichen Methodiken diverser Studien in der Literatur kommt der 1-Schritt-Anlauf (ISOKAWA und LEES 1988, KRISTENSEN et al. 2005), der 2-Schritt-Anlauf (ANDERSON und SIDAWAY 1994, BARFIELD 1995, AMOS und MORAG 2002, BARFIELD et al. 2002) und der 3-Schritt-Anlauf (BULL ANDERSEN et al. 1999) bei der Schussausführung zum Einsatz.

Erstaunlicherweise findet sich in der Literatur keine systematische Untersuchung bezüglich des Zusammenhangs zwischen Anlauflänge, Anlaufgeschwindigkeit, Schussfußgeschwindigkeit und Ballgeschwindigkeit.

In Bezug auf wissenschaftliche Untersuchungsdesigns ist festzuhalten, dass ein kontrollierter, gleichförmiger Anlauf die Basis für vergleichende Untersuchungen darstellt.

#### **2.4.1.2 Fußgeschwindigkeit des Spielbeins**

Bei der Betrachtung der Fußgeschwindigkeit des Spielbeins ist es notwendig diese zu spezifizieren. So sprechen Autoren von der Fußgeschwindigkeit unmittelbar vor dem Ballkontakt, während des Ballkontakts und nach dem Ballkontakt. Übereinstimmend wird in der Literatur davon ausgegangen, dass unter anderem die Maximierung der Fußgeschwindigkeit des Spielbeins nachfolgend die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß maximiert (TOGARI et al. 1972, ASAMI und NOLTE 1983, ANDERSON und SIDAWAY 1984).

TOGARI et al. (1972) fanden zudem heraus, dass die Beschleunigung des Schussfußes in der Schwungphase bis hin zum Ballkontakt andauert. Dieser Vorgang sei bei technisch gut versierten Probanden deutlicher als bei technisch weniger versierten Probanden zu beobachten. Während der Kontaktphase zwischen Fuß/Schuh und Ball reduziert sich die Fußgeschwindigkeit. Hier berichten ASAMI und NOLTE (1983) von einer Reduzierung der Fußgeschwindigkeit von 28,3 auf 15,5m/s. PLAGENHOEF (1971) berichtet hingegen von einer Reduzierung der Fußgeschwindigkeit von 24,1 auf 21,0m/s.

TOGARI et al. (1972) bemerkten außerdem, dass technisch versierte Probanden trotz gleicher Fußgeschwindigkeit höhere Ballgeschwindigkeiten erzielen als technisch unversierte Probanden. Dies führte zu der Vermutung, dass neben der Fußgeschwindigkeit die Fußrigidität eine wichtige Einflussgröße bezüglich der erzielten Ballgeschwindigkeit darstellt.

APRIANTONO et al. (2006) bezieht zudem den Parameter der Zehengeschwindigkeit in seine Überlegungen zu Einflussgrößen auf die Ballgeschwindigkeit mit ein. Die Autoren zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen der Zehengeschwindigkeit und der Ballgeschwindigkeit ( $r=0,57$ ;  $p<0,01$ ).

Hinsichtlich verschiedener Schusstechniken stellen LEVANON und DAPENA (1998) fest, dass fast ausschließlich die geringere Fußgeschwindigkeit beim Innenseitstoß ( $18,3\pm 1,8\text{m/s}$ ) für die geringere erzielte Ballgeschwindigkeit ( $22,5\pm 1,8\text{m/s}$ ) im Vergleich zum Vollspannstoß ( $21,6\pm 2,0\text{m/s}$ ;  $28,6\pm 2,2\text{m/s}$ ) verantwortlich ist. Bei diesen Erkenntnissen werden sie von NUNOME et al. (2002) unterstützt, die in ihrer Studie vergleichbare Daten erfassen konnten.

#### **2.4.1.3 Kontaktzeit von Fuß/Schuh und Ball**

Die Ballkontaktzeiten zwischen Fuß/Schuh und Ball schwanken in der Literatur. Hierbei muss beachtet werden, dass nicht alle Autoren, den jeweiligen verwendeten Balldruck angeben, welcher als Einflussgröße für die Kontaktzeit zu beachten ist. So ermöglichen niedrigere Ballluftdrücke eine größere Balldeformation während der Kontaktphase zwischen Fuß/Schuh und Ball. Dies unterstreicht die Bedeutung des Balles als Einflussfaktor für die Vorgänge während der Kollisionsphase beim Vollspannstoß.

Das Regelwerk der FIFA (Fédération Internationale de Football Association, Hitzigweg 11, 8030 Zürich, Schweiz) hat bezüglich der Beschaffenheit des Balles verpflichtende Vorgaben erstellt. Im Folgenden sind die Anforderungen der FIFA in Bezug auf den Ball im Wortlaut wiedergegeben. Danach gilt ein Ball als regelgerecht wenn er:

- kugelförmig ist,
- aus Leder oder einem anderen geeignetem Material gefertigt ist,

- einen Umfang zwischen mindestens 68 und höchstens 70 cm hat,
- zu Spielbeginn mindestens 410 und höchstens 450 Gramm wiegt und
- sein Druck 0,6-1,1 Atmosphären beträgt, was 600-1100 g/cm<sup>2</sup> auf Meereshöhe entspricht.

Diese Angaben sind die so genannten Mindestanforderungen der FIFA an Fußbälle in Wettbewerbsspielen. LUHTANEN et al. (1993) verweisen auf die Unterschiedlichkeit von in Ballspielen verwendeten Bällen hinsichtlich Größe, Masse, Luftdruck, Material und Oberflächenstruktur sowie auf die damit verbundenen unterschiedlichen Spieleigenschaften hinsichtlich Geschwindigkeit, Flugweite und Rotationsverhalten.

In der Literatur finden sich die folgenden Werte für Ballkontaktzeiten beim Vollspanstoß:

- |                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| • ROBERT und METCALFE (1968)       | 15 ms |
| • PLAGENHOEF (1971)                | 08 ms |
| • ASAMI und NOLTE (1983)           | 12 ms |
| • TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) | 16 ms |
| • ASAI et al. (2002)               | 09 ms |
| • SHINKAI et al. (2007)            | 10 ms |

Die stark schwankenden Angaben zu den Ballkontaktzeiten sind zum einen auf unterschiedliche Messverfahren mit ihren jeweiligen Messungenauigkeiten zurückzuführen. Zum anderen sind in dieser Bandbreite auch unterschiedliche Schussausführungen ein zu beachtender Aspekt.

TOGARI et al. (1972) erkennen Tendenzen einer geringfügig längeren Kontaktzeit des Systems Fuß/Schuh und Ball, wenn höhere Ballgeschwindigkeiten erzielt werden. Jedoch berichten die Autoren von großen intraindividuellen und interindividuellen Unterschieden ihrer Probanden (drei technisch gut versierte Probanden, sechs technisch weniger versierte Probanden). Sie vermuten, dass ihre Beobachtungen in Flexionsbewegungen und Extensionsbewegungen im oberen Sprunggelenk der einzelnen Probanden begründet liegen.

ASAMI und NOLTE (1983) beschreiben hingegen das Gegenteil. Sie erklären, dass höhere Ballgeschwindigkeiten mit kürzeren Ballkontaktzeiten korrelieren ( $r = -0,89$ ;  $p < 0,01$ ).

#### 2.4.1.4 Effektive Masse und Rigidität des Fußes

ASAMI und NOLTE (1983) erklären eine hohe Fußrigidität im Vorfuß und Mittelfußbereich für bedeutsamer als eine starke Fixierung des Sprunggelenkes zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit. Hier gilt es, den optimalen Treffpunkt am Fuß in Betracht zu ziehen. Die Autoren stellen fest, dass die passive, erzwungene Plantarflexion der Fuß/Schuh Einheit (LEES 1993) stark abhängig von der Trefffläche am Fuß ist. Dies bedeutet, dass ein Treffpunkt weiter distal im Bereich der Zehengrundgelenke die passive Plantarflexion während des Ballkontakts verstärkt, verglichen mit einem Treffpunkt weiter proximal in Richtung des Sprunggelenks. Die Fußanatomie lässt weiter distal eine größere Bewegungsamplitude zu als proximal. Hierdurch wird klar, in wie weit eine saubere technische Ausführung des Vollspannstoßes das Schussergebnis über den Zusammenhang von Treffpunkt, passiver Plantarflexion und erzielter Ballgeschwindigkeit nachhaltig beeinflussen kann. Es wird auf den starken negativen Zusammenhang der maximalen Winkelveränderung des Fußes in Richtung Plantarflexion und der Ballgeschwindigkeit verwiesen. Ein starker positiver Zusammenhang bestehe hingegen zwischen der maximalen Winkelveränderung und der Ballkontaktzeit. In diesem Zusammenhang kann eine große Winkelveränderung im oberen Sprunggelenk in Richtung Plantarflexion aus der Perspektive der Leistungsoptimierung als eine Art ungewollter Stoßdämpfungsmechanismus aufgefasst werden.

Natürlicherweise hängt die effektive Masse des Fußes stark von den zu Grunde liegenden Körperdimensionen des Schützen ab. Einen Überblick über die zu erwartenden Dimensionen geben DEMPSTER und GAUGHRAN (1967) in ihrer Kadaverstudie zu Eigenschaften von Körpersegmenten. Sie beziffern für ihr Kadaverkollektiv das reine Gewicht des Fußes auf  $884 \pm 178$ gm, des Unterschenkels auf  $2852 \pm 695$ gm und des Oberschenkels auf  $6096 \pm 985$ gm.

Die effektive Masse des Schussfußes wird je nach Autor zwischen 1,0 und 3,9kg angegeben. Je nach verwendeter Schusstechnik verändert sich auch die effektive Masse des Schussfußes. Dies hängt mit der unterschiedlichen Qualität der Fußfixierung in den jeweiligen technikspezifischen Fußstellungen zusammen. So werden beispielsweise Stöße mit der Picke mit einer geringeren Fußrigidität ausgeführt (BULL ANDERSEN et al. 2005).

#### **2.4.1.5 Der Fußballschuh**

In der Literatur sind zwei Publikationen (HENNIG und ZULBECK 1999, AMOS und MORAG 2002) zu finden, die sich mit dem Fußballschuh als Einflussfaktor für die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß beschäftigen. Diese können somit als die öffentlich zugänglichen Pionierarbeiten zur Thematik und als Inspiration für die vorliegende detaillierte Untersuchungsreihe zum Einfluss des Fußballschuhs auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß angesehen werden.

In weiteren Publikationen findet der Faktor Fußballschuh hinsichtlich der Untersuchung von Schussaktionen im Fußball keine methodische Beachtung. Dies ist erstaunlich, da es unvermeidbar erscheint, dass ein Schuh mit seinen spezifischen Eigenschaften am Fuße des Sportlers auf dessen sportmotorische Leistung einen gewissen Einfluss ausübt. So stellen NUNOME et al. (2002) explizit fest, dass ein Schuhgewicht von 200g für ihre Untersuchungen bedeutungslos sei. Dies ist für die Thematik ihrer Untersuchung, einer vergleichenden kinetischen Analyse zwischen dem Innenseitstoß und dem Vollspannstoß auch nachvollziehbar.

Zu erwähnen ist die Beobachtung von PLAGENHOEF (1971), der die These in den Raum stellte, ein Fußballschuh würde generell einen eher contraproduktiven Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ausüben. Der wissenschaftliche Beleg für diese Aussage wurde jedoch in diesem Zusammenhang nicht erbracht.

In ihrer Untersuchung analysierten HENNIG und ZULBECK (1999) das Verhalten von fünf auf dem damaligen kommerziellen Markt erhältlichen Fußballschuhmodellen beim Vollspannstoß. Sie untersuchten die Ballgeschwindigkeit, die tibiale Stoßbelastung sowie die Deformation und die Deformationsgeschwindigkeit der Außensohle in Abhängigkeit der jeweiligen Schuhmodelle beim Vollspannstoß. Dem Untersuchungsdesign lag unter anderem die Idee zu Grunde, dass die spezifischen



Biegeeigenschaften der Außensohle für einen Energy Return Effekt sorgen könnten. 20 technisch versierte Fußballspieler absolvierten je fünf Vollspannstöße nach einem 4-Schritt-Anlauf pro Fußballschuhmodell mit der Zielvorgabe, eine möglichst hohe Ballgeschwindigkeit zu erzielen (ZULBECK 1998). Die Ballgeschwindigkeit wurde mittels einer Lichtschrankenkonstruktion gemessen, die tibiale Stoßbelastung mittels eines Beschleunigungsaufnehmers. Die Deformationseigenschaften der Schuhaußensohle wurden durch ein federgelagertes Längenpotentiometer gemessen, welches zwischen den Stollen im Fersenbereich befestigt wurde. Ein dünner Stahlfaden verlief vom Potentiometer zur Schuhspitze und so konnten die Deformationseigenschaften der Außensohle vor und während des Ballkontaktes als zeitliche Funktion erfasst werden.

Die gewonnenen Resultate beschreiben statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den einzelnen Fußballschuhmodellen, für die Ballgeschwindigkeit ( $p < 0,01$ ), für die tibiale Beschleunigung ( $p < 0,05$ ), für die Deformation der Außensohle ( $p < 0,01$ ) und für die Deformationsgeschwindigkeit der Außensohle ( $p < 0,01$ ). Damit wird erstmals der Einfluss, den unterschiedliche Fußballschuhmodelle auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ausüben (min. 83,8 zu max. 86,5km/h), dargestellt.

Weiterhin belegt diese Studie, dass Fußballschuhmodelle als Einflussfaktor der tibialen Stoßbelastung beim Vollspannstoß angesehen werden müssen.

Regressionsanalysen zwischen den genannten Parametern ergaben jedoch keinen sachlogischen und kausalen Zusammenhang zwischen den erhobenen Parametern, so dass eine funktionale biomechanische Begründung für die unterschiedlich hohen Ballgeschwindigkeiten ausbleiben musste.

AMOS und MORAG (2002) untersuchten sehr kontrolliert den Einfluss des Schuhgewichts auf die Ballgeschwindigkeit, die Fußgeschwindigkeit und auf das muskuläre Aktivierungsmuster des Spielbeins (M. tibialis anterior, M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. semitendinosus, M. biceps femoris) beim Vollspannstoß. So analysierten sie den Vollspannstoß von 14 technisch versierten Probanden in fünf eigens für diese Studie unterschiedlich schwer konstruierten Fußballschuhen des gleichen Modells (215g, 344g, 381g, 431g und 482g). Die Probanden führten jeweils drei maximale Vollspannstöße pro Schuhbedingungen nach einem 2-Schritt-Anlauf durch.

In den Vorüberlegungen dieser Studie spielte die Fußgeschwindigkeit des Spielbeins sowohl als Einflussfaktor für eine hohe Ballgeschwindigkeit, und auch als eine

wichtige, eigenständige Größe eine Rolle. Eine höhere Fußgeschwindigkeit in 50/50 Situationen kann Spielern den entscheidenden Vorteil verschaffen, einen Ball vor ihren Gegenspielern passen oder schießen zu können.

Die Studie von AMOS und MORAG (2002) zeigt, dass leichteres Schuhwerk eine höhere Fußgeschwindigkeit (Spannbreite max. zwischen den fünf Schuhbedingungen: 1m/s) beim Vollspannstoß nach sich zieht ( $p < 0,01$ ). Diese höhere Fußgeschwindigkeit wirkt sich jedoch nicht im Sinne einer höheren Ballgeschwindigkeit aus, welche sich statistisch gesehen nicht in Abhängigkeit der unterschiedlichen Schuhbedingungen verändert hat ( $p = n.s.$ ). Hier scheint die geringere Schuhmasse auch eine niedrigere effektive Masse des Schussfußes mit sich zu bringen, was letztendlich die gemessene höhere Fußgeschwindigkeit in ihrer Wirkung reduziert.

Das muskuläre Aktivierungsmuster des Spielbeins zeigte während der Studie keine Unterschiede, die auf eine unterschiedliche Bewegungsausführung schließen lassen.

Die Autoren halten fest, dass leichtere Schuhe die Fußgeschwindigkeit erhöhen und damit vermutlich auch die Bewegungsdynamik der Spieler allgemein. Es wurden in dieser Studie keine nachteiligen Eigenschaften des geringeren Schuhgewichts festgestellt.

## **2.5 Schussgeschwindigkeit unterschiedlicher Versuchsgruppen**

In der Literatur findet sich eine Reihe von Studien, in denen die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß für Probandenkollektive unter verschiedenen Rahmenbedingungen und Gesichtspunkten messtechnisch erfasst worden ist. Nachfolgend sind selektierte Studien in Tabellenform nach Studienjahr und Erstautor geordnet aufgelistet (Tab. 2-3). Es wird dabei die erzielte Ballgeschwindigkeit und je nach Verfügbarkeit die Streuung der Ballgeschwindigkeit innerhalb eines Probandenkollektivs entweder durch den Range oder durch die Standardabweichung angegeben.

Hinsichtlich der Probandencharakteristik wurde die Einteilung in drei Spielklassen gewählt, um die Einordnung des verwendeten Probandenkollektivs zu vereinfachen. Die drei zugeordneten Spielklassen sind: hohes Niveau, mittleres Niveau und niedriges Niveau. Dabei entspricht das hohe Niveau dem Spitzensport, das mittlere

---

Niveau dem ambitionierten Sport mit technisch korrekten Bewegungsausführungen und das niedrige Niveau einem Sport, bei welchem technische Mängel hinsichtlich der Bewegungsausführung vorliegen können. Eine Einteilung bezüglich des professionellen Status der Spieler in Berufs- und Amateurspieler erscheint nicht sinnvoll, da die Thematik der vorgestellten Studien sich ausschließlich auf den bewegungswissenschaftlichen Bereich konzentriert.

Bei nicht anderweitiger Kennzeichnung handelt es sich bei der verwendeten Schusstechnik um den Vollspannstoß. Wenn nicht anders angegeben, setzen sich die Probandenkollektive aus erwachsenen, männlichen Sportlern zusammen.

Hinsichtlich der weltweit maximal erzielten Ballgeschwindigkeit verweist Luhtanen (2005) zudem auf Berechnungen an Hand von Fernsehbildern anlässlich der Fußballweltmeisterschaft 1990 in Italien. Danach konnten Weltklassemannschaften Ballgeschwindigkeiten von 32-35m/s erzielen.

Bei der Betrachtung der Tabellenangaben wird deutlich, dass die Vergleichbarkeit von derartigen Studien Schwierigkeiten mit sich bringt. So ist eine allgemeingültige Einteilung der Probandenkollektive hinsichtlich ihres Spielniveaus nicht möglich. Die Angaben zum Spielniveau können daher nur als Anhaltspunkt angesehen werden. Des Weiteren ist die verwendete Messtechnik ein Aspekt, welcher die Vergleichbarkeit derartiger Studien in Frage stellt. Über die Jahre hinweg werden unterschiedliche Messsysteme mit unterschiedlicher Genauigkeit eingesetzt. Dies gilt es gerade bei Vergleichen von Studien, welche zeitlich weit auseinander liegen, zu beachten.

Ebenso ist für die Interpretation von hoher Bedeutung, den methodischen Ablauf der einzelnen Studien sowie die jeweilige Auswertungsprozedur zu kennen. Hier spielt es eine wichtige Rolle, ob beispielsweise die Schussversuche eines Probanden gemittelt in die Auswertung einfließen oder ob beispielsweise der Schuss mit der höchsten Geschwindigkeit zur Auswertung herangezogen wurde. Beide Vorgehensweisen sind je nach spezifischer Fragestellung der Studien sinnvoll. Hinsichtlich der Vergleichbarkeit der erzielten Ballgeschwindigkeiten unterschiedlicher Studien müssen sie jedoch bekannt sein und beachtet werden.

Wie dargestellt befasst sich eine Vielzahl von Studien mit der Schussgeschwindigkeit unterschiedlicher Versuchsgruppen. Im Anschluss an die tabellarische Übersicht werden einzelne dieser Studien herausgegriffen und kritisch betrachtet.

Autoren/ Jahr	Ballgeschwindigkeit [m/s]		Anzahl der Probanden	Probandencharakteristik/ Schusscharakteristik
	Mittelwert	Streuung		
TOGARI 1970	29,1 m/s 22,2 m/s	25,8 – 30,8 m/s 21,2 – 23,1 m/s	n = 4 n = 4	hohes Niveau mittleres Niveau
ASAMI und NOLTE 1983	29,9 m/s	21,5 – 34,0 m/s	n = 4	hohes Niveau
ANJOS und ADRIAN 1986	25,9 m/s 23,4 m/s	± 0,56 m/s ± 0,82 m/s	n = 9 n = 9	mittleres Niveau niedriges Niveau
LUHTANEN 1988	22,2 m/s 18,4 m/s 14,9 m/s	± 2,3 m/s ± 2,3 m/s ± 1,7 m/s	n = 13 n = 8 n = 8	Alter: 17,1 ± 2,3 Jahre Alter: 13,4 ± 1,1 Jahre Alter: 10,3 ± 0,9 Jahre
LEVANON und DAPENA 1998	28,6 m/s 22,5 m/s	± 2,2 m/s ± 1,8 m/s	n = 6 n = 6	mittleres Niveau, Vollspannstoß mittleres Niveau, Innenseitstoß
OPAVSKY 1988	30,8 m/s 23,5 m/s		n = 6 n = 6	mittleres Niveau, mit Anlauf mittleres Niveau, ohne Anlauf
BARFIELD 1995	26,4 m/s 24,3 m/s	21,5 – 30,0 m/s 21,0 – 28,6 m/s	n = 18 n = 18	mittleres Niveau, dominantes Bein mittleres Niveau, nicht dominantes Bein
BARFIELD et al. 2002	25,3 m/s 21,5 m/s 23,6 m/s 18,9 m/s	± 1,51 m/s ± 2,44 m/s ± 1,57 m/s ± 2,05 m/s	n = 2 n = 6 n = 2 n = 6	hohes Niveau, männlich, dominantes Bein hohes Niveau, weiblich, dominantes Bein hohes Niveau, männlich, nicht dominantes Bein hohes Niveau, weiblich, nicht dominantes Bein
DORGE et al. 2002	24,7 m/s 21,5 m/s	20,3 – 28,4 m/s 19,0 – 24,5 m/s	n = 7 n = 7	mittleres Niveau, dominantes Bein mittleres Niveau, nicht dominantes Bein
NUNOME et al. 2002	28,0 m/s 23,4 m/s	25,9 – 30,9 m/s 21,1 – 25,4 m/s	n = 5 n = 5	mittleres Niveau, Vollspannstoß mittleres Niveau, Innenseitstoß
NIELSON und JONES 2005	27,1 m/s 23,5 m/s 20,9 m/s	± 2,2 m/s ± 2,3 m/s ± 3,1 m/s	n = 25 n = 25 n = 25	hohes Niveau, Vollspannstoß hohes Niveau, Innenseitstoß hohes Niveau, Außenseitstoß
APRIANTONO et al. 2006	28,4 m/s 26,8 m/s	± 1,6 m/s ± 1,1 m/s	n = 7 n = 7	mittleres Niveau, nicht ermüdet mittleres Niveau, ermüdet

Tab. 2-3: Literaturüberblick Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß

### 2.5.1 Schussgeschwindigkeit bei unterschiedlichem Technikniveau

TOGARI et al. (1972) berichten über Untersuchungen, in denen technisch versierte (hohes Niveau) und technisch mittelmäßig versierte (mittleres Niveau) Probanden mittels des Vollspannstoßes versuchten, eine möglichst hohe Schussgeschwindigkeit zu erzielen. Die Autoren zeigen einen hohen Zusammenhang zwischen der Fußgeschwindigkeit des Schussbeins und der Ballgeschwindigkeit für beide Versuchsgruppen. Der Schwung des Schussbeins wurde dabei bis zum Ballkontakt beschleunigt. Dieser Mechanismus war bei den Probanden des hohen Niveaus deutlicher zu erkennen als bei den Probanden des niedrigen Niveaus.

ANJOS und ADRIAN (1986) untersuchten ebenfalls die mittlere Ballgeschwindigkeit sowie zusätzlich die Bodenreaktionskräfte des Standbeins beim Vollspannstoß von technisch versierten und technisch unversierten Spielern. Die jeweiligen Probandenkollektive wiesen homogene Werte in Bezug auf ihre anthropometrischen Daten, unter anderem der Länge ihrer Oberschenkel und Unterschenkel auf. Es stellte sich heraus, dass die technisch versierten Probanden (mittleres Niveau) mit 25,9m/s eine höhere Ballgeschwindigkeit ( $p < 0,05$ ) erzielen konnten als die technisch unversierten Probanden (niedriges Niveau) mit 23,4m/s.

Zudem erzeugten in dieser Studie die technisch versierten Probanden beim Standbeinaufsatz höhere Bodenreaktionskräfte in vertikaler sowie in beiden Komponenten der horizontalen Richtung. Die Autoren geben die maximalen vertikalen Bodenreaktionskräfte mit dem vierfachen Körpergewicht für technisch versierte Spieler gegenüber dem dreifachen Körpergewicht für technisch unversierte Spieler an ( $p < 0,01$ ). Typische Bodenreaktionskraftkurven zeigen weiterhin, dass technisch versiertere Probanden mit 250ms eine kürzere Verweildauer auf dem Standbein haben als technisch unversiertere Probanden, bei denen die Bodenreaktionskraftkurven langsam auslaufen und auch nach 600ms noch zeigen, dass das Standbein noch Bodenkontakt hat. Dies deutet auf einen weniger dynamischen Schussvorgang der technisch unversierten Spieler hin.

In diesem Zusammenhang stellen die von STERZING und HENNIG 2005 mittels plantarer Druckverteilung durch ein Einzeldrucksensorsystem Halm PD-16 (HENNIG und MILANI 1994) ermittelten Bodenkontaktzeiten des Standbeins beim Vollspannstoß von technisch versierten Probanden einen guten Anhaltspunkt dar. Es

ergab sich dabei eine Verweildauer auf dem Standbein von 279ms, was die Erkenntnisse von ANJOS und ADRIAN (1986) bestätigt.

Die höheren Bodenreaktionskräfte sowie die höheren Kraftanstiegsraten beim Einstemmen des Standbeins von technisch versierteren Probanden belegen ein stärker akzentuiertes Bewegungsverhalten zur Vorbereitung auf die Hauptaktion des Vollspannstoßes. Hingegen weisen beide Probandengruppen zum Zeitpunkt des Ballkontakts keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich der vertikalen und lateralen (anterior-posterior) Bodenreaktionskraft auf. Die sich aus dieser Studie von ANJOS und ADRIAN (1986) ergebende Schlussfolgerung ist, dass die durch das Einstemmen des Standbeins erzeugte Bodenreaktionskraft als Indikator für die im weiteren Verlauf der Schussaktion erzielte Ballgeschwindigkeit gelten kann. So ziehen höhere Bodenreaktionskräfte zum Startpunkt der kinetischen Kette des Vollspannstoßes höhere Ballgeschwindigkeiten nach sich.

Interessant erscheint in diesem Zusammenhang, dass eine Korrelationsanalyse von ANJOS und ADRIAN (1986) einen Zusammenhang zwischen der vertikalen ( $r=0,68$ ;  $p<0,01$ ) und der lateralen Bodenreaktionskraft in anterior-posterior Richtung ( $r=0,51$ ;  $p<0,01$ ) und der erzielten Ballgeschwindigkeit für die technisch versierte Probanden aufzeigt. Ein solcher Zusammenhang hingegen ist für die technisch unversierten Probanden nur sehr schwach und auch nur in vertikaler Richtung ( $r=0,29$ ;  $p<0,05$ ) zu erkennen.

Als Ursache für die höheren vertikalen Bodenreaktionskräfte und die stärkeren Korrelationswerte der versierten Probanden ist ein besser automatisierter Anlauf der Probanden denkbar, welcher eine höhere Anlaufgeschwindigkeit sowie ein abrupteres Abbremsen zur Schussausführung ermöglichen könnte. Diese Hypothese ist durch die bessere sportartspezifische Koordination der technisch versierten Probanden logisch zu begründen, welche sich auch in einer geringeren Bewegungsvariabilität niederschlagen würde.

Im Gegensatz zu den Erkenntnissen von ANJOS und ADRIAN (1986) berichten ASAMI und NOLTE (1983), dass innerhalb ihres technisch versierten Probandenkollektives keine Zusammenhänge zwischen der mittleren vertikalen Bodenreaktionskraft und der erzielten Ballgeschwindigkeit zu verzeichnen waren.

Allgemein verweist BARFIELD (1998) darauf, dass technisch versiertere Schützen eine bessere Gesamtkoordination des Bewegungsablaufs aufweisen. Im Gegensatz zu weniger versierten Schützen legen sie das Hauptaugenmerk auf den Rückschwung

und den Vorschwung des Spielbeins, um ihren Bewegungsablauf zu charakterisieren. Technisch weniger versierte Schützen legen ihr Hauptaugenmerk eher auf die Phase des Anlaufs.

### 2.5.2 Schussgeschwindigkeit und Dominanz des Spielbeins

BARFIELD (1995) untersuchte den Zusammenhang zwischen kinetischen und kinematischen Parametern in Bezug zur erzielten Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß unter besonderer Berücksichtigung der Vorgänge am dominanten und nicht dominanten Spielbein der Probanden.

Dazu untersuchte er den biomechanischen Bewegungsablauf der Probanden beim Vollspannstoß sowie die erzielte Ballgeschwindigkeit von 18 erfahrenen Fußballspielern. Diese stellten eine homogene Gruppe bezüglich ihrer anthropometrischen Daten dar und wiesen keine bedeutsamen Unterschiede hinsichtlich ihren dominanten im Vergleich zu ihren nicht dominanten Körperseiten auf. Es zeigte sich, dass bei den Probanden die mittlere erzielte Ballgeschwindigkeit des dominanten Beines (26,4m/s) gegenüber dem nicht dominanten Bein (24,3m/s) höher war ( $p < 0,05$ ).

DÖRGE et al. (2002) untersuchten ebenso biomechanische Unterschiede bei Vollspannstößen mit dem dominanten gegenüber dem nicht dominanten Bein. Ihre Probandengruppe bestand aus sieben technisch versierten Probanden, die aus einer Testgruppe von 30 Spielern vorselektiert wurden. Selektionskriterium war hier die Fähigkeit, sehr konstante maximale Ballgeschwindigkeiten mit beiden Beinen erzielen zu können. Dies stellt eine sinnvolle Vorselektion der Probandengruppe dar, weil eine konstant hohe maximale Ballgeschwindigkeit auf eine reproduzierbare, automatisierte Bewegungsausführung schließen lässt. Auch hier konnten höhere Ballgeschwindigkeiten mit dem dominanten Spielbein (24,7m/s) gegenüber dem nicht dominanten Spielbein (21,5m/s) aufgezeigt werden ( $p < 0,05$ ).

Die Autoren geben als Hauptgrund dafür eine höhere Fußgeschwindigkeit (18,6 zu 17,0m/s;  $p < 0,05$ ), eine höhere Winkelgeschwindigkeit des Unterschenkels (28,1 zu 25,9rad/s;  $p < 0,05$ ) sowie einen höheren Restitutionskoeffizienten (0,58 zu 0,50;  $p < 0,05$ ) zum Zeitpunkt des Ballkontaktes an. Sie fassen diese Beobachtungen als das Vorherrschen eines besseren intersegmentalen Bewegungsmusters beim Schießen

mit dem dominanten Spielbein zusammen. Dies führe zu höheren Fußgeschwindigkeiten, sowie einem besseren Transfer der Fußgeschwindigkeit auf den Ball. Als energetischer Ausgangspunkt wird dabei von den Autoren die, absolut gesehen, größere Arbeit des Oberschenkels des dominanten Spielbeins genannt.

### **2.5.3 Schussgeschwindigkeit beim Schießen ohne und mit Anlauf**

Hinsichtlich der Ballgeschwindigkeiten konnten sechs Probanden mit 30,8 zu 23,5m/s eindeutig höhere Werte beim Schießen mit Anlauf erzielen (OPAVSKY 1988). Untersuchungen zur Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit sollten daher in ihren jeweiligen Studiendesigns auf Schüsse mit Anlauf zurückgreifen.

### **2.5.4 Schussgeschwindigkeit vor und nach muskulärer Ermüdung**

APRIANTONO et al. (2006) untersuchten systematisch die Ballgeschwindigkeit und verschiedene kinetische und kinematische Parameter des Vollspannstoßes bei Probanden vor und nach induzierter muskulärer Ermüdung.

Sie konnten dabei eine statistisch signifikant geringere Ballgeschwindigkeit der Probanden im ermüdeten Zustand nachweisen (26,8 zu 28,4m/s;  $p < 0,05$ ). Gleichzeitig konnten sie durch eine hochsignifikant verringerte maximale Lineargeschwindigkeit der Spielbeinzehen (26,0 zu 27,1m/s;  $p < 0,01$ ) und eine signifikant verringerte maximale Winkelgeschwindigkeit des Unterschenkels (35,7 zu 37,1rad/s;  $p < 0,05$ ) die entscheidenden Einflussgrößen benennen. Keine Veränderung zeigte sich für die maximale Winkelgeschwindigkeit des Oberschenkels (16,5 zu 16,6rad/s;  $p = n.s.$ ). Die Autoren schlussfolgern, dass die Schützen im ermüdeten Zustand nur eine reduzierte Qualität der Kontaktphase erzielen und verweisen auf eine schlechtere intersegmentale Koordination, welche sich gerade in der finalen Phase des Schusses auswirkt.

Zusätzlich verweisen die Autoren auf die vermutlich höhere Verletzungsgefahr der Schützen bei zunehmender Ermüdung. Die nachfolgende Abbildung zeigt, inwiefern sich die muskuläre Ermüdung auf den Parameter der



Zehengeschwindigkeit und nachfolgend auf die Ballgeschwindigkeit sowie den Zusammenhang dieser beiden Parameter zueinander auswirkt (Abb. 2-14).

APRIANTONO et al. (2006) fassen zusammen, dass Ermüdung beim Vollspannstoß die Qualität des Ballkontaktes, die Zehengeschwindigkeit unmittelbar vor dem Ballkontakt und die Winkelgeschwindigkeit des Unterschenkels reduziert. Diese Mechanismen wirken sich in einer Verringerung der erzielten Ballgeschwindigkeit aus.

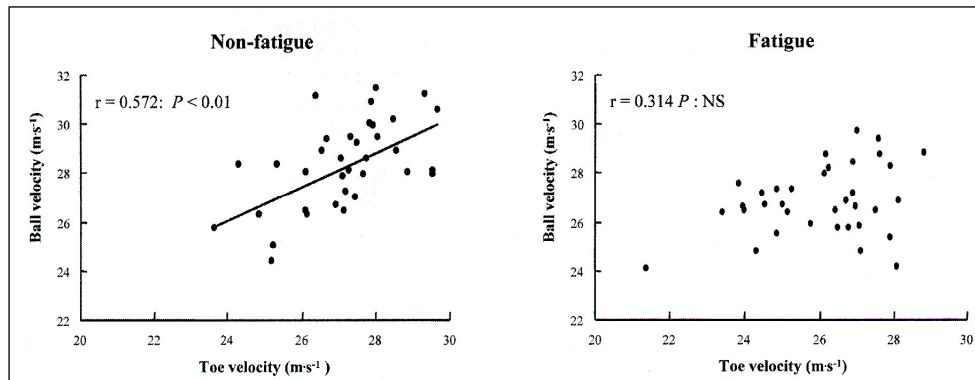


Abb. 2-14: Zehengeschwindigkeit und Ballgeschwindigkeit (APRIANTONO et al. 2006)

### 2.5.5 Schussgeschwindigkeit von Männern und Frauen

BARFIELD et al. (2002) untersuchten an Hand von zwei Männern und sechs Frauen Unterschiede im Vollspannstoß zwischen den Geschlechtern.

Sie fanden sowohl unterschiedliche Ballgeschwindigkeiten, als auch eine Reihe unterschiedlicher kinematischer Variablen zwischen den Geschlechtern vor, wie die maximale Zehengeschwindigkeit, die Zehengeschwindigkeit bei Ballkontakt, die mittlere Zehengeschwindigkeit, die mittlere Zehenbeschleunigung sowie die Winkelgeschwindigkeit bei Ballkontakt.

Zusammengefasst lässt sich sagen, dass Männer höhere Ballgeschwindigkeiten erreichen als Frauen. Dies gilt im Allgemeinen sowohl für das dominante als auch für das nicht dominante Bein. Gleichwohl gab es auch in dem vorliegenden Probandenkollektiv eine Ausnahme. Eine Frau erzielte höhere Ballgeschwindigkeiten als die beiden Männer, was sich auch mit ähnlich hohen oder sogar höheren Werten der kinematischen Daten unterlegen ließ. Diese Beobachtung

lässt darauf schließen, dass bei aller Notwendigkeit allgemeingültige Aussagen zu erzeugen es notwendig ist, Daten auch individuell zu interpretieren.

Für allgemeingültige Aussagen ist das in dieser Studie verwendete Probandenkollektiv nicht groß genug. Zu beachten ist bei derartigen Untersuchungen, dass die anthropometrischen Daten der zu vergleichenden Probandenkollektive normalerweise nicht übereinstimmen.

## 2.6 Erfassung von Schussgeschwindigkeit

In der Literatur finden sich unterschiedliche Messmethodiken zur Erfassung der Ballgeschwindigkeit bei Schussversuchen. Diese werden nachfolgend vorgestellt und hinsichtlich ihrer Eignung beziehungsweise ihren Fehlerquellen kritisch beleuchtet.

NARICI et al. (1987) maßen die Zeitspanne zwischen dem Geräusch beim Impact des Fußes mit dem Ball sowie dem Geräusch beim Impact des Balles mit einer zu treffenden Mauer zur Bestimmung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Aus der Zeitspanne und der Flugdistanz des Balles kann so die vorliegende mittlere Ballgeschwindigkeit berechnet werden. Eine zu erwähnende Fehlerquelle innerhalb dieser Messmethodik ist die nicht exakt zu bestimmende Wegstrecke des Balles, die sich, sobald sie von ihrer orthogonalen Richtung zur Mauer nach rechts oder links beziehungsweise nach oben abweicht, verlängert.

ANJOS und ADRIAN (1986) befestigten ein Band am Ball und berechneten mit der Länge des Bandes und der Zeit bis zu dessen vollständiger Spannung die mittlere Ballgeschwindigkeit. Diese Vorgehensweise ist im Gegensatz zu der von NARICI et al. (1987) nicht fehlerbehaftet in Bezug auf die exakte Flugrichtung des Balles und dieser daher vorzuziehen.

Bei beiden Messmethodiken gilt es Fehlerquellen zu bedenken. Diese kommen im ersten Fall dadurch zu Stande, dass die genauen Zeitpunkte der Treffpunkte des Fußes mit dem Ball und des Balles mit der Mauer nur ungenau zu ermitteln sind. Im zweiten Fall gilt dies für die Ermittlung des Zeitpunktes des Treffpunktes von Fuß und Ball sowie des Zeitpunktes, an dem das Band vollständig gespannt ist.

Eine modernere Messmethodik stellt die Verwendung von Radarpistolen dar. Dieser Vorgehensweise bediente sich BARFIELD (1995) mit der Verwendung einer

Radarpistole. Auch DÖRGE et al. (2002) nutzen die Radarpistole und damit das Prinzip des Doppler Effekts.

Die Messmethodik auf Basis des Doppler Effekts ist jedoch auch fehlerbehaftet hinsichtlich der Flugbahn des Balles. Eine in den Grenzen des Systems exakte Bestimmung der Ballgeschwindigkeit kann nur dann erfolgen, wenn der Ball sich entweder direkt auf die Radarpistole zu oder von ihr weg bewegt. Da dies im Einzelfall nicht immer zuverlässig gewährleistet werden kann, sind für vergleichende Messungen je nach Fragestellung methodische Überlegungen notwendig, um diese Fehlerquelle innerhalb der Messdaten auszugleichen.

Eine weitere moderne Messtechnik stellt die Benutzung von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen dar (unter anderem: TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY 1996, SHINKAI et al. 2007). Die Ermittlung der Ballgeschwindigkeit erfolgt dabei über die Messung der zurückgelegten Wegstrecke des Balles an Hand eines Referenzkoordinatensystems sowie über die Anzahl der Bilder in denen diese Wegstrecke zurückgelegt wird. Mit Hilfe der Aufnahme Frequenz kann dann die Ballgeschwindigkeit berechnet werden.

Die Verwendung von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen stellt sicher eine der zuverlässigsten Vorgehensweisen zur Bestimmung der Ballgeschwindigkeit dar. Je nach Studiendesign ist diese Vorgehensweise nicht immer praktikabel, da bei der Aufnahme von vielen Schüssen dieses Verfahren sehr zeitaufwendig ist. Bei der Verwendung von Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen ist die verwendete Aufnahme Frequenz zu beachten. Es gilt, je höher die Aufnahme Frequenz umso exakter auch die Bestimmung der Ballgeschwindigkeit.

HENNIG und ZULBECK (1999) benutzten ein Lichtschrankensystem, welches durch die Anordnung seiner Photozellen in der Lage war, unabhängig vom Steigungswinkel des Balles, exakte Werte hinsichtlich des Balldurchflugs durch die Lichtschranke zu messen. Eine Beachtung der Flugstrecke bei steigenden Bällen fand bei diesen Messungen jedoch nicht statt.

## **2.7 Maßnahmen zur Erhöhung der Schussgeschwindigkeit**

Die Erhöhung der Schussgeschwindigkeit stellt ein Ziel dar, welches sowohl für die Trainingspraxis als auch für den Bereich der Ausrüstungsgegenstände von

Bedeutung ist. In diesem Kapitel soll daher der Einfluss von Trainingsmaßnahmen sowie der Einfluss des Schuhmaterials in Bezug zur Thematik erörtert werden.

### 2.7.1 Trainingsmaßnahmen

ANDERSON und SIDAWAY (1994) untersuchten die Ausführung des Schusses, einer koordinativ hoch anspruchsvollen Bewegung, vor und nach 20 regelmäßig abgehaltenen Trainingseinheiten, in denen die Schussbewegung erlernt und trainiert wurde. Sie zeigten mittels der Technik der Bewegungsanalyse, dass ihre sechs Fußballanfänger innerhalb dieser Trainingseinheiten ihre maximale lineare Fußgeschwindigkeit signifikant erhöhen konnten. Zudem konnten sie zeigen, dass sich das Timing der Hüftgeschwindigkeit und Kniegeschwindigkeit im Zuge der Trainingseinheiten dem Timing der erfahrenen Probanden annähert. Die reale Veränderung der erzielten Ballgeschwindigkeit wurde von den Autoren nicht untersucht. Sie ist jedoch als wahrscheinlich anzunehmen.

NARICI et al. (1987) zeigten einen positiven Zusammenhang zwischen der maximalen Ballgeschwindigkeit und der isokinetischen Kraftfähigkeit der Hüftflexoren sowie der Knieextensoren. Sie suggerieren, dass ein Krafttraining zur Verbesserung des Vollspannstoßes auf die Hüftflexoren ausgerichtet sein sollte.

AAGAARD et al. (1993) untersuchten den Effekt eines Trainings der Knieextensoren unter anderem auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Dabei zogen sie in Betracht, dass typischerweise die Geschwindigkeit der Kniestreckung beim Schuss im Bereich von 14-16rad/s liegt und bezogen dies in ihr Trainingsprogramm ein. Ein Trainingserfolg konnte dabei jedoch nur in Bezug auf die Muskelkraft festgestellt werden. Hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit konnte allerdings nach keinem ihrer verschiedenen Trainingsprogrammen in der jeweiligen Trainingsgruppe eine Verbesserung gezeigt werden. Dies bedeutet, dass für die Schussbewegung eine alleinige Kräftigung der Kniestrecker nicht ausreicht, um die Ballgeschwindigkeit zu erhöhen. Die Autoren interpretieren, dass gegebenenfalls die Hüftflexoren eine dominierende Rolle spielen. Zudem verweisen sie darauf, dass die Schussbewegung eine komplexe hoch koordinative Bewegung darstellt. So scheint es erforderlich zu sein, ein neurologisch-koordinativ orientiertes Training zur Verbesserung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu absolvieren.

TROLLE et al. (1993) konnten keine Verbesserung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß durch unterschiedliche Krafttrainingsmethoden erkennen. Dabei führten sie ihre Untersuchungen an Fußballern auf höchstem Niveau durch. Die Autoren vermuten, dass Faktoren wie das Timing und eine gut abgestimmte Koordination die wichtigeren Aspekte im Vergleich zur reinen Muskelkraft bezüglich der Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit darstellen. Damit bestätigen sie die Erkenntnisse von AAGAARD et al. (1993).

Im Zusammenhang mit Krafttraining zur Verbesserung des Erfolgs bei der Beschleunigung von Objekten verweist ALEXANDER (1983) darauf, dass sowohl ein Training der Agonisten als auch der Antagonisten notwendig ist, um die gewünschte Bewegung optimal durchführen zu können. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass Körpersegmente, die gerade zu Beginn der kinetischen Kette in Aktion treten auch in Bezug auf die Kraft und das Timing gut koordiniert abgebremst werden müssen.

In Bezug auf den Vollspannstoß beim Fußball ist dies gerade für die ischiokrurale Muskulatur des Oberschenkels von Bedeutung und spiegelt sich in der Verringerung der Oberschenkelgeschwindigkeit während des Vorschwingens des Spielbeins bei der Schussaktion wieder (LEES 1998).

### **2.7.2 Der Fußballschuh**

Neben Trainingsmaßnahmen kann der Fußballschuh als Ausrüstungsgegenstand dazu beitragen, die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu erhöhen.

Bislang weist die wissenschaftliche Literatur nur zwei Beiträge auf, die sich mit dem Zusammenhang von Fußballschuhen und der Geschwindigkeit beim Vollspannstoß beschäftigen. Dabei wird zum einen gezeigt, dass ein geringeres Schuhgewichts (AMOS und MORAG 2002) eine Erhöhung der Geschwindigkeit des Schussfußes bewirkt. Zum anderen zeigen HENNIG und ZULBECK (1999), dass unterschiedliche Schuhmodelle für unterschiedliche Ballgeschwindigkeiten beim Vollspannstoß verantwortlich sind. Ein genaue Ursachenzuschreibung bleibt dabei jedoch aus.

Es wird deutlich, dass der Ausrüstungsgegenstand 'Fußballschuh' bisher bei der bewegungswissenschaftlichen Betrachtung des Vollspannstoßes vernachlässigt worden ist. Innerhalb dieser Arbeit gilt es nun, diese Lücke zu verkleinern.

## 2.8 Der Fußballschuh als Schnittstelle zwischen Fuß und Umwelt

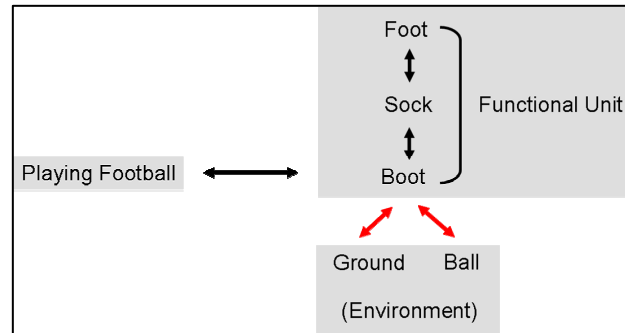
„In football more than in other sports, the footwear plays a fundamental role in influencing the athlete's performance.”

Mit diesem Satz drücken RODANO et al. (1988) allgemein die Wichtigkeit des Ausrüstungsgegenstandes Fußballschuh für den Sportler aus. Über den Fußballschuh interagiert der Fußballspieler charakteristischerweise mit seiner Umwelt.

Es gilt beim Fußballschuh zwischen der Interaktion des Spielers mit seinem Schuh und dem Untergrund sowie der Interaktion des Spielers mit seinem Schuh und dem Ball zu unterscheiden. Gemeinsam ist beiden Interaktionsformen die Steuerung durch den Fuß, welcher ebenfalls eine Schnittstelle mit dem Schuh aufweist. So wird der Fuß mit dem Schuh auch als funktionale Einheit bezeichnet und in diesem Sinne überwiegend als Gesamtsystem betrachtet.

Eine weitere Schnittstelle zwischen Fuß und Schuh stellt der Socken dar, der an dieser Stelle erwähnt aber nicht gesondert hinsichtlich seiner funktionalen Gesichtspunkte behandelt werden soll.

Solche spezifischen Unterscheidungen sind in der Literatur so nicht vorzufinden. Es wird jedoch auf die Schnittstellenfunktion des Fußballschuhs zwischen Fuß und Untergrund hingewiesen (RODANO et al. 1988). In ihren Ausführungen werden die multiplen Anforderungen des Fußballspiels an den Fußballschuh in Bezug auf seine Schnittstellenfunktion bezüglich der Interaktion von Fuß und Untergrund analysiert. Dabei spielen Schuheigenschaften wie Traktion und Stabilität eine vorherrschende Rolle. Erstaunlicherweise bleibt jedoch die Schnittstellenfunktion des Fußballschuhs hinsichtlich der Interaktion mit dem Ball unberücksichtigt. Gerade diese ist es jedoch, die dem Fußballschuh seine Einzigartigkeit in der Welt der Sportschuhe verleiht. Neben den unterschiedlichsten sportartspezifische Bewegungsformen, welche ein Fußballspiel einfordert, soll der Fußballschuh die bestmögliche Behandlung des Balles ermöglichen und ein gutes Ballgefühl vermitteln. Dies ist es, was den Fußballschuh von allen anderen Sportschuhen grundlegend unterscheidet. Die doppelte Schnittstellenfunktion wird in der nach RODANO et al. (1988) erweiterten Abbildung verdeutlicht (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).



**Abb. 2-15: Schnittstellenfunktion des Fußballschuhs  
(modifiziert nach RODANO et al. 1988)**

Im Sinne einer möglichst hochwertigen Konstruktion von Fußballschuhen ist es notwendig, mittels geeigneter Materialien und geeigneter Geometrie der einzelnen Komponenten sowie deren Anordnung, beiden Interaktionsformen gerecht zu werden.

Bezüglich der Thematik der vorliegenden Studienreihe gilt es nun im Verlauf der empirischen Untersuchungen die Schnittstellen zwischen Schuh und Boden sowie Schuh und Ball hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Vollspannstoß zu analysieren.

Interessanterweise wird auch in Überblicksartikeln (BARFIELD 1998) der Einflussfaktor Fußballschuh im Hinblick auf seine Wirkung beim Vollspannstoß nicht erwähnt. Es ist daher geboten zu untersuchen, welche biomechanischen Auswirkungen unterschiedliche Schuhmodelle auf die Bewegungsausführungen von Fußballspielern sowie deren Wahrnehmung haben.

Vor diesem Hintergrund ist auch der weitere, empirische Teil dieser Arbeit zu betrachten. Es soll gezeigt werden, welche Auswirkungen unterschiedliche Schuhmodelle oder spezifische Modifikationen von Fußballschuhen auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ausüben.

---

### 3. Methodik

#### 3.1 Einordnung und Zielstellung der Studienreihe

In der Literaturbesprechung ist der Vollspannstoß im Fußball aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet worden. Dabei wurde die Bedeutung der einzelnen Teilabschnitte und Bewegungskomponenten des Vollspannstoßes für die resultierende Ballgeschwindigkeit in den Vordergrund gerückt. Zudem wurden die erzielten Ballgeschwindigkeiten unterschiedlicher Probandengruppen betrachtet und erörtert.

In der Literatur ist jedoch ein Aspekt hinsichtlich der resultierenden Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß bisher vernachlässigt worden: Die Einflussgröße 'Fußballschuh'. Der überwiegende Teil der wissenschaftlichen Beiträge beschäftigt sich mit der Analyse des Vollspannstoßes, ohne dem verwendeten Schuhmaterial explizite Beachtung zu schenken. Ausnahmen stellen die Beiträge von HENNIG und ZULBECK (1999), sowie von AMOS und MORAG (2002) dar. Bekannt ist jedoch, dass der Zusammenhang zwischen der resultierenden Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß und dem verwendeten Schuhmaterial der Schützen innerhalb der nicht öffentlichen Forschung der Sportartikelhersteller und von akademischen Institutionen große Beachtung findet.

Der Schuh im Sport soll dem Athleten zunächst helfen, die jeweiligen sportartspezifischen Anforderungen bestmöglich bewältigen zu können. Die Verwendung von geeignetem Schuhwerk hilft in den meisten Sportarten, das Leistungsniveau anzuheben. Dabei unterstützt der Schuh den Fuß als spezifisches Werkzeug (SEGESSER und PFÖRRINGER 1987). RODANO et al. (1988) verdeutlichen, wie der Fußballschuh als Schnittstelle zwischen Fuß und Untergrund beim Fußballspielen in vielen Spielsituationen, unter anderem auch beim Vollspannstoß, auf die Aktionen der Spieler einwirkt. Herausgestellt wurde zudem in dieser Arbeit, dass charakteristischer Weise gerade im Fußball dem Schuh auch als Schnittstelle zwischen Fuß und Ball eine wichtige Bedeutung zukommt. Dies wird im Hinblick auf die Vielzahl der fußballspezifischen Pass- und Schusstechniken sowie durch die allgemeine Ballbehandlung deutlich.



Neben der Bedeutung des Fußballschuhs für die Spielleistung soll er den Sportler auch vor Schmerzen und Verletzungen schützen. Diese zwei Aspekte sind unter anderem beim maximalen Vollspannstoß von Bedeutung. MASSON und HESS (1987) verweisen auf die Gefahr der Mikrotraumatisierung des Fußes durch die auftretenden hohen Stoßbelastungen und die damit einhergehende Verformung des Fußes bei der Schussaktion. Explizit sprechen sie in diesem Zusammenhang von degenerativen, arthrotischen Veränderungen der Sprunggelenke sowie der Zehengrundgelenke. So hat der Schuh im Fußball, wie im Sport allgemein, als wichtige Doppelfunktion die Verbesserung der Spielleistung und den Schutz vor Verletzungen zu bewerkstelligen (LEES 1996).

In dieser Arbeit steht die Verbesserung der Spielleistung durch die Erhöhung der maximalen Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß im Vordergrund. Der Schuh in seiner ergonomischen Funktion unterstützt nachweislich den Athleten im Sport in den unterschiedlichsten Bereichen. Die aufgeführten Quellen belegen dies für die jeweiligen spezifischen Erfordernisse: Bequemlichkeit (LEES 1996), Traktion (KRAHENBUHL 1974, STERZING und HENNIG 2006), Stabilität (STERZING und HENNIG 2005).

Eine Verallgemeinerung der unterstützenden Wirkung des Schuhs hinsichtlich Schussaktionen, wird jedoch zumindest hinsichtlich des Football Punt Kicks in Frage gestellt. ADRIAN und COOPER (1995) erklären, dass ein schuhloser Schussfuß beim Schießen dem Schützen einen Vorteil verschaffen würde und verweisen auf die Erkenntnisse der biomechanischen Untersuchung von 22 Schüssen eines technisch herausragenden Punters von BARR und ABRAHAM (1987). Schon PLAGENHOEF (1971) beobachtete den gleichen Effekt bei einem Probanden, der barfüßig etwa zehn Yards weiter schoss als mit Schuh. Einen möglichen Transfer dieser Aussagen auf die Vorgänge beim Vollspannstoß im Fußball gilt es zu überprüfen.

HENNIG und ZULBECK (1999) konnten feststellen, dass das Tragen von verschiedenen Fußballschuhmodellen statistisch signifikante Unterschiede in Bezug auf die erzielte Ballgeschwindigkeit nach sich zog. AMOS und MORAG (2002) stellten fest, dass eine systematische Gewichtsmodifikation eines ansonsten gleichen Schuhmodells keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit bewirkte. Sie zeigten jedoch, dass leichtere Schuhe die Fußgeschwindigkeit des Schussfußes bei der Schussdurchführung erhöhen.

Da der Schuh im Fußball sowohl im Hinblick auf die verschiedenen sportartspezifischen Bewegungsformen bezüglich des Untergrundes als auch bezüglich der Ballbehandlung den entscheidenden Ausrüstungsgegenstand darstellt, sollte seine biomechanische Wirkungsweise auch hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß detailliert untersucht werden. Dies ist daher die zentrale Fragestellung dieser Arbeit.

Die anlässlich dieser Arbeit durchgeführte Studienreihe gliedert sich in neun abgeschlossene Einzelstudien, die jeweils unterschiedliche Teilziele verfolgen. Der spezifische Aufbau der Einzelstudien verfolgt das Ziel, potentielle Einflussfaktoren der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß isoliert zu betrachten. Die Null-Hypothesen der einzelnen Studien besagen dabei jeweils, dass die Modifikationen der jeweiligen Schussbedingungen keinen Einfluss auf die erzielte Ballgeschwindigkeit ausüben. Zur Prüfung der Null-Hypothesen wurde in den Einzelstudien ein Untersuchungsdesign angestrebt, welches bis auf die zu untersuchenden Modifikationen alle übrigen Einflussfaktoren konstant hält.

Das Ziel dieser Studienreihe war, den Einfluss des Fußballschuhs im Allgemeinen als auch den Einfluss einzelner spezifischer Eigenschaften des Fußballschuhs auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu untersuchen.

### 3.2 Übersicht der Studienreihe

Die nachfolgende Übersicht und die im weiteren Verlauf der Arbeit folgenden detaillierten Darstellungen der Einzelstudien geben nicht den chronologischen Verlauf der Studienreihe wieder. Die gewählte Abfolge erleichtert jedoch das Verständnis der gesamten Studienreihe. Bedingt durch Erkenntnisse aus den einzelnen Studien ergaben sich zum Teil weitere Fragestellungen, die nach ihrem Auftreten in die Studienreihe eingegliedert worden sind.

Die Studien I, II und V gelten als *Basisstudien*. In diesen Studien werden fundamentale Prinzipien des Schuheinflusses auf die Schussgeschwindigkeit erforscht. Sie gehören damit der Grundlagenforschung an. Bei diesen Studien steht daher die Evaluation einzelner spezifischer Schuhmodelle im Hinblick auf einen Zusammenhang zu der erzielten Ballgeschwindigkeit im Hintergrund.

---

Die Studien III, IV, VI, VII, VIII und IX gelten als *Anwendungsstudien*. Sie dienen der Erforschung angewandter Fragestellungen zur Schussgeschwindigkeit mit direktem Bezug zu einzelnen Schuhmodellen. In diesen Studien werden aktuelle Fußballschuhmodelle, eigens konstruierte Prototypen sowie modifizierte Fußballschuhmodelle hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit getestet.

Nachfolgend sind die Themen der einzelnen Studien aufgelistet:

- *Studie I:*  
Der Einfluss der Traktion des Standbeins auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
- *Studie II:*  
Der Einfluss des Fußballschuhs am Spielbein auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
- *Studie III:*  
Der Einfluss aktueller Fußballschuhmodelle (Januar 2004) auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
- *Studie IV:*  
Der Einfluss aktueller Fußballschuhmodelle (Juli 2004) und des Schuhgewichts auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
- *Studie V:*  
Der Einfluss unterschiedlicher Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß
- *Studie VI:*  
Der Einfluss der Schuhaußensohlensteifigkeit und der Zehenboxhöhe auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß (a)

- *Studie VII:*  
Der Einfluss der Schuhaußensohlensteifigkeit auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß (b)
- *Studie VIII:*  
Der Einfluss der Schuhaußensohlensteifigkeit auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß (c)
- *Studie IX:*  
Der Einfluss der Schuhaußensohlensteifigkeit auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß (d)

### 3.3 Design der Studienreihe

Die verschiedenen Einzelstudien der Studienreihe weisen im Grundsatz das gleiche Untersuchungsdesign auf und wurden nur gemäß der spezifischen Fragestellung der jeweiligen Studien modifiziert. Aus diesem Grund wird das verwendete Studiendesign zunächst allgemein im Überblick dargestellt. Auf die spezifischen Modifikationen der Einzelstudien wird später dann separat eingegangen.

Die Studienreihe wurde im Biomechaniklabor der Universität Duisburg-Essen, Henri-Dunant-Str. 65, 45131 Essen durchgeführt. Der Zeitraum der gesamten Studienreihe erstreckte sich von Januar 2004 bis August 2005.

Das Labor wurde zu diesem Zweck mit Kunstrasen ausgelegt, um den geforderten fußballspezifischen Schussvorgang in Fußballschuhen mit ihren spezifischen Außensohlen zu ermöglichen. Die Vollspannstöße



**Abb. 3-1: Untersuchungsaufbau**

erfolgten in Richtung eines über die Breite des Labors an der Decke befestigtem Fangnetzes, welches sich in etwa 4m Abstand zum ruhenden Ball befand (Abb. 3-1).

Die Methodik, den ruhenden Ball zu schießen, deckt sich mit der in der Literatur anzutreffenden Vorgehensweise. Diese Vorgehensweise reduziert sowohl die interindividuelle als auch die intraindividuelle Schussvariabilität und vereinfacht so den statistischen Vergleich der zu erhebenden Parameter der Studienreihe. Durch die gestellte Aufgabe, eine möglichst hohe Ballgeschwindigkeit zu erzielen, war tendenziell eine gerade Schussrichtung in Anlaufrichtung durch die Probanden anzustreben. Zusätzlich wurde im Fangnetz eine torähnliche Markierung als Schussrichtungsorientierung eingearbeitet.

An jeder Einzelstudie nahmen etwa 20 Probanden teil, die als erfahrene Fußballspieler langjährige Erfahrung in ihrer Sportart aufwiesen. Die sportmotorische Aufgabe der Probanden war es, in unterschiedlichen Schussbedingungen maximale Vollspannstöße auszuführen. Die alleinige Zielvorgabe bestand darin, eine möglichst hohe Ballgeschwindigkeit zu erzielen. Die Technik des Vollspannstoßes wurde ausgewählt, da mit ihr die höchsten Ballgeschwindigkeiten erzielt werden können (BAUER 1990, LEVANON und DAPENA 1998, NUNOME et al. 2002, NEILSON und JONES 2005). Zudem ermöglicht diese spezifische Schusstechnik den optimalen Krafteinsatz der Muskulatur der unteren Extremität.

Die Probanden wurden im Vorlauf der Untersuchung mit der Laborumgebung und dem jeweiligen Untersuchungsablauf vertraut gemacht. Daraufhin mussten sie ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Studie erklären (Kap. 8.1).

Das Studienprotokoll erforderte dann zunächst ein intensives, allgemeines Aufwärmen der Probanden zur Prävention von Verletzungen und zur Aktivierung des Organismus. Dies stellt zum Abruf der maximalen Leistung beim Vollspannstoß eine zwingende Notwendigkeit dar. Weiterhin absolvierten die Probanden Eingewöhnungsschüsse, um sich zum einen auf die ungewohnte Schusssituation innerhalb eines Labors einzustellen und sich zum anderen technikspezifisch aufwärmen zu können. Die Eingewöhnungsschüsse wurden entweder in den eigenen Fußballschuhen der Probanden oder in einem neutralen Fußballschuhmodell durchgeführt, um potentielle Effekte der Gewöhnung an eine später zu untersuchende Schussbedingung auszuschließen.

Im Sinne einer hohen Bewegungshomogenität der einzelnen Schussversuche wurde in dieser Studienreihe ein 3-Schritt-Anlauf ausgeführt. Dabei entsprach der dritte Anlaufschritt dem Aufsatz des Standfußes neben dem Ball. Der 3-Schritt-Anlauf

wurde gewählt, da er eine realistische, sportartspezifische Schussbewegung beim Vollspannstoß erlaubt und zudem noch eine hinreichende Bewegungshomogenität zwischen den einzelnen Schüssen gewährleistet. Es ist bei solchen Untersuchungen notwendig, keinen motorisch ungewohnten Ablauf der Schussbewegung, beispielsweise durch einen zu stark verkürzten Anlauf, einzufordern. Im Falle dessen können sonst über die Untersuchungsdauer hinweg motorische Lerneffekte auftreten. Diese Lerneffekte schlagen sich dann potentiell auf die Ballgeschwindigkeit nieder und sollten daher vermieden werden. Eine Vorgabe hinsichtlich des Anlaufwinkels und der Anlaufgeschwindigkeit erfolgte nicht. Die Probanden wurden diesbezüglich jedoch aufgefordert, zwischen den Untersuchungsschüssen den Anlauf nicht willkürlich zu variieren. Der individuelle Startpunkt der Probanden für den Anlauf wurde am Boden mittels eines Tapestreifens markiert.

Der eigentliche Testablauf erforderte von den Probanden die Ausführung von sechs maximalen Vollspannstößen des ruhenden Balles pro Schussbedingung. Nach jeweils sechs Schüssen wurde die Schussbedingung gewechselt. Die Schussbedingungen wurden zwischen den einzelnen Probanden randomisiert, um potentiellen Serieneffekten oder Ermüdungseffekten innerhalb der Einzelstudien entgegenzuwirken. APRIANTONO et al. (2006) konnten zeigen, dass bei muskulärer Ermüdung der Schützen sich geringere Ballgeschwindigkeiten beim Vollspannstoß einstellen. Sie konnten dies sowohl auf eine verringerte Schwunggeschwindigkeit des Spielbeins als auch auf eine qualitativ geringwertigere Kontaktphase zurückführen. Zur Vermeidung bedeutsamer Auswirkungen von Ermüdungseffekten wurde eine standardisierte, obligatorische Pausenphase zwischen den einzelnen Schüssen eingefügt. Diese betrug je nach spezifischer Einzelstudie 30 beziehungsweise 60 Sekunden.

Die maximale Schussgeschwindigkeit der einzelnen Schussversuche wurde mittels eines Radarpistolensystems vom Typ *Stalker Pro* (Applied Concepts Inc., Plano, Texas, USA) gemessen.

Die Ausführung der einzelnen Vollspannstöße wurde vom jeweiligen Untersuchungsleiter, einem Fußball Experten, durch Beobachtung kontrolliert. So wurden Schüsse außerhalb der Schussrichtungsmarkierung im Fangnetz und solche, die Unregelmäßigkeiten im Bezug auf die geforderte Schusstechnik aufwiesen, verworfen und wiederholt. Ebenso wurden eindeutige Messfehler des

Radarpistolensystems vom Untersuchungsleiter erkannt und die zugehörigen Schüsse mussten wiederholt werden.

Nach Abschluss aller Schussversuche innerhalb einer Studie gaben die Probanden ein Ranking der verschiedenen Schussbedingungen hinsichtlich ihrer Wahrnehmung der erzielten mittleren Ballgeschwindigkeit der jeweiligen sechs Schüsse ab (Kap. 8.2). Weiterhin sollten sie allgemeine Kommentare zu den einzelnen Schussbedingungen abgeben (Kap. 8.2). Das Ranking der Schussbedingungen hinsichtlich der erzielten mittleren Ballgeschwindigkeit sollte Aufschluss darüber geben, ob Probanden in der Lage sind, ihre erzielten Ballgeschwindigkeiten gemäß den Messwerten einzuschätzen. Dabei bedeutete Rang 1 die Wahrnehmung der höchsten mittleren Ballgeschwindigkeit in der jeweiligen Schussbedingung. Tiefere Ränge bezeichneten dann die Wahrnehmung geringerer mittlerer Ballgeschwindigkeiten in den entsprechenden Schussbedingungen.

Einige Einzelstudien der vorliegenden Studienreihe erforderten die spezifische Erhebung weiterer subjektiv-sensorischer Daten. Auf diese studienspezifischen Wahrnehmungsaufgaben wird dann bei der Darstellung der Einzelstudien gesondert eingegangen.

### 3.3.1 Instrumentarium

#### 3.3.1.1 Kunstrasen

Der verwendete Kunstrasen war vom Typ *DD-Soccer Grass HPF CROWN/DIN 18035 T 7 120  $\mu$ , 8800 dtex, density 30000/m<sup>2</sup>* vom Hersteller Desso DLW Sports Systems B.V., Batavenweg 7, OSS, 5349BC, Niederlande (Abb. 3-2). Es handelt sich dabei um einen nicht verfüllten Kunstrasentyp. Mit doppelseitigem Klebeband wurde er auf dem Boden des Labors verklebt, um die Sicherheit der Probanden zu gewährleisten.



Abb. 3-2: Kunstrasen

### 3.3.1.2 Radarpistolensystem

Zur Messung der Ballgeschwindigkeit wurden Radarpistolen des Typs *Stalker Pro* benutzt (Abb. 3-3). Laut Herstellerangaben (Applied Concepts Inc., 2609 Technology Drive, Plano, TX 75074 – 7467, USA) können damit Geschwindigkeiten von 0 - 480km/h erfasst werden. Sie operieren mit einer absoluten Genauigkeit von 0,16km/h und benötigen zur Zielerfassung 0,01s. Die Arbeitsfrequenz liegt bei 35,1GHz, welche als Ka Band bekannt ist. Im Gegensatz zu Geräten auf Basis niedrigerer Frequenzen weist das Ka Band eine geringere Störanfälligkeit auf. Die Radarpistolen wurden in der vorgegebenen Schussrichtung hinter der Fangnetzkonstruktion positioniert. Diese Ausrichtung ist bei der Anwendung von Radarmessverfahren notwendig, da sie auf dem Doppler Effekt beruhen. Der Doppler Effekt ist fehlerbehaftet, wenn sich die zu erfassenden Objekte nicht direkt auf das Messgerät zu oder von ihm weg bewegen. Dies führt dazu, dass die Geschwindigkeiten solcher Objekte in Abhängigkeit vom Erfassungswinkel unterrepräsentiert werden (Kosinusfehler). Zur Minimierung des natürlichen, durch die geringfügige Richtungsvariabilität der geschossenen Bälle bedingten, Erfassungsfehlers, wurden bei einigen Einzelstudien, soweit verfügbar, zwei Radarpistolen eingesetzt. So konnte über eine anschließende Mittelwertbildung der angesprochenen Erfassungsfehler minimiert werden.



Abb. 3-3: Radarpistole

### 3.3.1.3 Kraftmessplatte

Zur Erfassung der Bodenreaktionskräfte beim Aufsatz des Standbeins wurden zwei Kraftmessplatten des Typs *Kistler 9281* mit einer Gesamtfläche von 40 x 120cm verwendet. Diese befanden sich, eingelassen im Boden des Labors, unterhalb des Kunstrasens (Abb. 3-4). Mit doppelseitigem Klebeband wurde der Kunstrasen auf den Kraftmessplatten rutschfest verklebt.



Abb. 3-4: Kraftmessplatten



Durch die Positionierung des Balles, je nach Schussfuß der Probanden, rechts oder links von der Kraftmessplatte, wurde das zielgerichtete Aufsetzen des Standbeins der Probanden automatisch gesichert. Dies ergibt sich durch die Positionierung des Standbeines in Relation zum Ball mit Abschluss des Anlaufs bei korrekter technischer Ausführung des Vollspannstoßes (PREISS 1992, WANG und WIESEBJORNSTAL 1994).

Neben der Erfassung der Bodenreaktionskräfte diente die Kraftmessplatte bei bestimmten Einzelstudien auch zur zeitlichen Bestimmung des initialen Bodenkontaktes des Standbeines. In Verbindung mit einer Lichtschranke konnte so die Schwungphasenzeit des Spielbeins bestimmt werden.

### 3.3.1.4 Lichtschranke

Eine Lichtschranke wurde bei bestimmten Einzelstudien so positioniert, dass die initiale Bewegung des Balles unmittelbar das Lichtschrankensignal durchbrach (Abb. 3-5). Im Zusammenhang mit dem Aufsatzsignal des Standbeines auf der Kraftmessplatte bei der Einstembewegung zum Abschluss des Anlaufs konnte so die Schwungphasenzeit des Spielbeins während der Schussbewegung ermittelt werden.



Abb. 3-5: Lichtschranke

### 3.3.1.5 Ball

Der in der vorliegenden Untersuchungsreihe verwendete Ball war das Modell *Geo Merlin Vapor* der Firma Nike Inc., ein mit dem offiziellen Logo FIFA APPROVED versehenes Spielgerät (Abb. 3-6). Der Ball hatte die Größe 5, was der regulären Wettspielgröße entspricht. Während der



Abb. 3-6: Ball

Untersuchungsreihe betrug sein Umfang 69,8cm und sein Gewicht 439,4g. Sein

Druck wurde konstant auf 1 bar gehalten, was gleichbedeutend mit  $1020\text{g/cm}^2$  ist. Somit entsprach der Ball während der Studienreihe dem Regelwerk der FIFA und des DFB. Während der Durchführung der Schussversuche wurde auf die Beibehaltung eines konstanten Drucks geachtet, um dies als potentielle Fehlerquelle (ASAMI und NOLTE 1983) hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit auszuschließen.

Der Ball wurde für alle Schussversuche mit seinem Ventil nach unten auf die Ausgangsposition, eine leichte Mulde im Kunstrasen, gelegt, um etwaige Einflüsse der Ventilausrichtung auf die Ballgeschwindigkeit auszuschließen. Dies kann im Sinne von NEILSON und JONES (2005) als methodische Vorsichtsmaßnahme angesehen werden. Die Autoren zeigten, dass unterschiedliche Ventilausrichtungen sich innerhalb eines mechanischen Testverfahrens nicht auf die erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit auswirken.

### **3.3.2 Probanden**

Die Probanden dieser Studienreihe waren technisch versierte Fußballspieler, die den geforderten Vollspannstoß sportmotorisch korrekt ausführen konnten. Entsprechend der Verfügbarkeit der zu untersuchenden aktuellen Fußballschuhmodelle sowie der Prototypen wurden Probanden mit der Schuhgröße US 9 (Nike) rekrutiert. Es wurde versucht, möglichst dasselbe Probandenkollektiv für die verschiedenen Einzelstudien einzusetzen. Bei Ausfällen von Probanden, beispielsweise durch Urlaub oder Verletzungen, wurden zusätzliche Probanden bestellt, um auf die notwendige Probandenanzahl von etwa 20 Personen zu gelangen. Da sich die gesamte Studienreihe über 20 Monate (Januar 2004 - August 2005) hinweg erstreckte, sind Veränderungen im Probandenkollektiv vorzufinden und an den anthropometrischen Daten abzulesen. Die Gültigkeit der einzelnen Studien mit den jeweils getesteten Schussbedingungen bleibt davon unberührt. Die aufgeführten anthropometrischen Daten beziehen sich auf den Zeitpunkt der erstmaligen Teilnahme an der Studienreihe (Tab. 3-1).

<b>Anthropometrischer Parameter</b>	<b>Arithmetisches Mittel</b>	<b>Standardabweichung</b>	<b>Range</b>
Alter [Jahre]	25,4	± 3,3	19 - 34
Größe [cm]	177,6	± 5,3	169 - 192
Gewicht [kg]	75,1	± 7,1	60 - 92

**Tab. 3-1: Anthropometrische Daten Gesamtkollektiv (n=41)**

Die Tabelle gibt einen Überblick über die anthropometrischen Daten aller Probanden der Untersuchungsreihe (n=41). Eine Auflistung der anthropometrischen Daten der Probanden der jeweiligen Einzelstudien befindet sich im Anhang (Kap. 8.4).

Die folgende Tabelle (Tab. 3-2) gibt einen Überblick über die Wettspielklassenzugehörigkeit aller Probanden der Studienreihe.

<b>Spielklasse</b>	<b>Probanden</b>
Sportstudium	4
Freizeitliga	9
Kreisliga A	11
Bezirksliga	10
Landesliga	3
Oberliga	4

**Tab. 3-2: Wettspielklassenzugehörigkeit Gesamtkollektiv (n=41)**

### 3.3.3 Schussbedingungen

Die Schussbedingungen waren je nach spezieller Fragestellung der jeweiligen Einzelstudie unterschiedlich. Eine genaue Beschreibung der verwendeten Schussbedingungen erfolgt bei der Darstellung der Einzelstudien.

### 3.3.4 Neutralschuhmethodik

Zur Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß kann sowohl das Standbein als auch das Spielbein entscheidenden Einfluss nehmen. Diese Überlegung wurde im Untersuchungsdesign berücksichtigt. Um Unterschiede

hinsichtlich der betrachteten Parameter eindeutig ihren Faktoren am Standbein oder am Spielbein zuweisen zu können, wurde innerhalb dieser Studienreihe eine Neutralschuhmethodik eingeführt. Diese verlangt bei Variation der Schussbedingungen am Standbein (Studie I) oder der Schussbedingungen am Spielbein (Studien II bis IX) am jeweils anderen Bein das Tragen eines Neutralschuhs. So können die Vorgänge an dem nicht im Fokus der Untersuchung stehenden Fuß als konstant angesehen werden.

Als Prämisse für diese Art des Studiendesigns muss gelten, dass potentielle Effekte von unterschiedlichen Schussbedingungen am Standbein beziehungsweise Spielbein auf die erfassten Parameter unabhängig von einander auftreten und daher auch unabhängig voneinander betrachtet werden dürfen.

Die Wahl des Neutralschuhs wurde spezifisch für die jeweilige Einzelstudie getroffen. Dabei sollten für die Probanden Untersuchungsbedingungen geschaffen werden, die möglichst keinen störenden Einfluss auf den Testablauf nahmen.

### **3.3.5 Parameter der Studienreihe**

Die in der Untersuchungsreihe erhobenen Parameter gliedern sich in biomechanische und subjektiv-sensorische Parameter. Die biomechanischen Parameter quantifizieren objektiv die Effekte der einzelnen Schussbedingungen bezüglich des Schussvorganges beim Vollspannstoß. Die subjektiv-sensorischen Parameter quantifizieren die Einschätzung der Probanden bezüglich der potentiellen Effekte der jeweils unterschiedlichen Schussbedingungen.

Die nachfolgend vorgestellten Parameter sind jeweils nach spezieller Fragestellung der Einzelstudie und der Verfügbarkeit des Messinstrumentariums erhoben worden.

#### **3.3.5.1 Biomechanische Parameter**

##### **3.3.5.1.1 Ballgeschwindigkeit**

Die Werte der Ballgeschwindigkeit geben die Spitzengeschwindigkeit des geschossenen Balles an. Diese Geschwindigkeit ist unmittelbar nach Beendigung des

Kontaktes zwischen Fuß/Schuh und Ball während der Kollisionsphase zu verzeichnen. Die Ballgeschwindigkeit stellt den Zielparameter dieser Studienreihe dar, den es zu maximieren galt.

### 3.3.5.1.2 Schwunghasenzeit

Die Schwunghasenzeit ist der Zeitraum vom initialen Bodenkontakt des Standbeines beim letzten Anlaufschritt der Schussaktion bis zum initialen Ballkontakt des Spielbeins (Abb. 3-7). Dieser Zeitraum ermöglicht Interpretationen bezüglich der Bewegungsgeschwindigkeit des Spielbeins sowie seiner Bewegungsamplitude. Diese Parameter

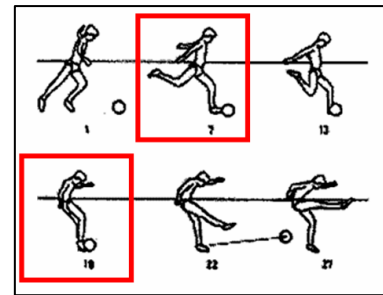


Abb. 3-7: Schwunghasenphase

konnten innerhalb dieser Studienreihe aus messtechnischen Gründen nicht direkt und explizit erfasst werden.

### 3.3.5.1.3 Bodenreaktionskraftparameter

Während der Schussaktion wurden die Bodenreaktionskräfte des Standbeines beim letzten, einstimmenden Anlaufschritt erfasst. Dieser stellt den Ausgangspunkt der bei der Schussaktion wirksam werdenden kinetischen Kette dar, die schlussendlich zur Beschleunigung des Balles führt.

Die Bodenreaktionskraft gliedert sich in die Kraftkomponenten  $F_z$  (Vertikalkraft) sowie  $F_x$  (Horizontalkraft, medio-lateral) und  $F_y$  (Horizontalkraft, anterior-posterior). Aus ihnen werden weitere aussagefähige Parameter berechnet, die in den jeweiligen Einzelstudien zur Anwendung kommen.

---

### **3.3.5.2 Subjektiv-Sensorische Parameter**

#### **3.3.5.2.1 Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit**

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit gibt an, wie Probanden die von ihnen über die jeweils sechs Schussversuche erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schussbedingungen relativ zu einander einschätzen. Die mittlere Ballgeschwindigkeit ist in diesem Falle der entscheidende Parameter, weil zur Untersuchung der Wirkung des Schuhs Ausreißer nach oben oder unten nicht zu stark gewichtet werden dürfen.

#### **3.3.5.2.2 Subjektiv-Sensorische Parameter der Einzelstudien**

Die spezielle Fragestellung bestimmter Einzelstudien erforderte die Erhebung weiterer subjektiv-sensorischer Beobachtungsaspekte. Diese werden in der Darstellung der jeweiligen Einzelstudien erläutert.

#### **3.3.5.2.3 Allgemeine Kommentare**

Die Probanden waren in den jeweiligen Einzelstudien aufgefordert, allgemeine Kommentare zu den einzelnen Schussbedingungen zu vermerken.

### **3.3.6 Statistische Auswertung**

Die Auswertung der biomechanischen Parameter sowie der quantifizierten subjektiv-sensorischen Parameter erforderte eine Mittelwertbildung für die Parameter der jeweiligen Schussversuche einer Bedingung. Die im weiteren Verlauf dieser Arbeit dargestellten Aussagen beziehen sich daher auf die mittleren Parameter der jeweiligen Schussbedingung.

Für die Fragestellungen dieser Studienreihe ist die Interpretation der Mittelwerte zu wählen, da die zu erwartenden Unterschiede hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit in

den verschiedenen Schussbedingungen als eher gering einzuschätzen sind. Darauf deuten die Zahlen der vorgestellten Studien hin (HENNIG und ZULBECK 1999, AMOS und MORAG 2002). Bestätigt wird diese Überlegung durch die im weiteren Verlauf dieser Arbeit vorgestellten Zahlenwerte der vorliegenden Studienreihe.

Der einflussstärkste Faktor zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit ist der individuelle Proband mit seinen sportartspezifischen, motorischen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Daher darf, um verlässlich Schußeigenschaften hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit zu bewerten, eine solche Analyse nicht nur einen, beispielsweise den härtesten, Schuss untersuchen.

Diese Art der Vorgehensweise findet sinnvoller Weise bei der Untersuchung kinetischer und kinematischer Fragestellungen bezüglich des Vollspannstoßes seine Anwendung. Innerhalb der vorliegenden Studienreihe könnte jedoch die herausragende motorische Qualität des Bewegungsablaufes eines Einzelschusses gegebenenfalls nur ausnahmsweise zu einer hohen Ballgeschwindigkeit führen. Dies würde so möglicherweise die realen Einflüsse der verschiedenen Schussbedingungen, als den eigentlich vorliegenden Untersuchungsgegenstand, überlagern.

Im Sinne einer weiteren Reduzierung der Variabilität der in die Auswertung einfließenden Einzelschüsse wurde vor der Mittelwertbildung eine Optimierung der zu selektierenden Versuche der jeweils sechs Schussversuche einer Schussbedingung hinsichtlich ihrer Homogenität vorgenommen.

Das bei den Studien I, II, IV, V, VIII, IX angewendete Verfahren selektierte jeweils die Schüsse einer Schussbedingung, die den niedrigsten Variabilitätskoeffizienten hinsichtlich ihres arithmetischen Mittels aufwiesen. Dabei mussten mindestens vier der sechs Schussversuche einfließen.

Bei den Studien III, VI und VII wurden zum Zwecke einer Reduzierung der Variabilität jeweils der schnellste sowie der langsamste Schuss einer Schussbedingung gestrichen. Aus den verbleibenden vier Schussversuchen einer Schussbedingung wurde dann das arithmetische Mittel gebildet.

Die berechneten Mittelwerte wurden dann einer einfaktoriellem Varianzanalyse für Mehrfachmessungen unterzogen. Bei vorliegender Signifikanz der Varianzanalyse wurde eine Post-Hoc Analyse durchgeführt, um Unterschiede zwischen Parameterwerten der einzelnen Schussbedingungen statistisch abzusichern. Die Post-Hoc Tests wurden auf Basis des Fisher's PLSD durchgeführt, da die zu erwartenden

Unterschiede zwischen den einzelnen Schussbedingungen als gering einzustufen sind. Das Signifikanzniveau der durchgeführten Varianzanalysen sowie der Post-Hoc Tests wird als signifikant für p-Werte  $<0,05$  und als hochsignifikant für p-Werte  $<0,01$  definiert.

Die Darstellung der Ergebnisse gibt das jeweilige arithmetische Mittel der einzelnen Parameter, ihren Standardfehler sowie die Aussage der Varianzanalyse mit ihren gegebenenfalls vorliegenden Signifikanzverhältnissen inklusive der Post-Hoc Tests an.

Die natürliche, hohe interindividuelle Variabilität der einzelnen Parameter dieser Studienreihe ließ die Verwendung der Standardabweichung als Streuungsmaß in den verwendeten Graphiken nicht zu. Als Streuungsmaß wurde daher der Standardfehler gewählt, um die Ergebnisgraphiken übersichtlich zu halten.

Die Skalierungen der einzelnen Graphiken wurden zum Teil aus Gründen der Anschaulichkeit modifiziert. Dies bedeutet, dass der Koordinatenschnittpunkt nicht immer mit dem Nullwert eines Parameters übereinstimmt.

### **3.4 Methodenkritik**

Ohne die Gültigkeit der Studienreihe zu sehr in Frage zu stellen ist an dieser Stelle die Durchführung einer Methodenkritik geboten.

Es ist nicht auszuschließen, dass die Markenkenntnis und das Aussehen der zu testenden Schuhmodelle einen Einfluss auf die subjektiv-sensorischen Bewertungen der Schuhmodelle sowie möglicherweise auch auf die motorische Bewegungskonzeption der Probanden ausüben. Dieser Mechanismus kann in der vorliegenden Studienreihe bei den Einzelstudien II, III, IV und IX, in denen Schuhmodelle der Firmen Adidas und Nike vergleichend untersucht worden sind, zum Tragen gekommen sein. Eine Verblendung der Schuhmodelle hätte die mechanischen Eigenschaften der Schuhmodelle verändern können und wurde daher unterlassen. Die Einzelstudien I, V, VI, VII und VIII wiesen Schuhbedingungen auf, welche die Probanden durch ihre optischen Eigenschaften nicht beeinflusst haben.

Eine spezielle Methodenkritik hinsichtlich des individuellen Designs der jeweiligen Einzelstudien wird im weiteren Verlauf der Arbeit vorgenommen.



## 4. Darstellung der Einzelstudien, Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Allgemeine Ergebnisse der Studienreihe

#### 4.1.1 Ballgeschwindigkeit

Die nachfolgende Tabelle (Tab. 4-1) gibt einen Überblick über die in den verschiedenen Einzelstudien erzielten mittleren Ballgeschwindigkeiten.

Die Verwendung der Einheiten m/s und km/h erleichtern den Vergleich mit den Geschwindigkeitsangaben aus der Literatur. Zudem werden die niedrigsten und höchsten Werte der mittleren Ballgeschwindigkeiten sowie die Spannbreite der einzelnen Schussbedingungen innerhalb der jeweiligen Einzelstudien angegeben.

Der Schuheinfluss bezüglich der mittleren Ballgeschwindigkeit aller Schussbedingungen ergibt sich aus der Spannbreite und wird in Prozent für die jeweiligen Einzelstudien angegeben.

Die p-Werte der einfaktoriellen Varianzanalyse für Mehrfachmessungen geben das statistische Signifikanzverhältnis der jeweiligen Einzelstudie an.

Einzelstudie	Mittlere Ballgeschwindigkeit aller Schussbedingungen		Min/Max	Spannbreite	Schuheinfluss	ANOVA
	[m/s]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[%]	p-Wert
Studie I	26,77	96,35	95,13 - 97,50	2,37	2,46	p < 0,01
Studie II	26,25	94,50	93,84 - 95,26	1,42	1,50	p = 0,05
Studie III	25,23	90,84	89,38 - 91,51	2,13	2,35	p < 0,05
Studie IV	26,73	96,23	95,62 - 97,24	1,62	1,68	p < 0,01
Studie V	26,34	94,84	94,28 - 95,45	1,17	1,23	p = 0,07
Studie VI	25,45	91,61	90,68 - 92,52	1,84	2,01	p < 0,05
Studie VII	26,47	95,28	94,85 - 95,71	0,86	0,90	p = 0,52
Studie VIII	25,46	91,64	91,35 - 92,24	0,89	0,97	p = 0,66
Studie IX	26,89	96,81	95,43 - 98,44	3,01	3,11	p < 0,01

Tab. 4-1: Ballgeschwindigkeit – Gesamtüberblick

Diese Übersicht zeigt anhand der mittleren Ballgeschwindigkeit der Einzelstudien, dass die Studien hinsichtlich der sportmotorischen Leistung mit einem Probandenkollektiv mittleren Leistungsniveaus durchgeführt wurden. Die erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit aller Studien liegt bei 26,18m/s oder 94,23km/h. Dies ist geringfügig langsamer als die gemessenen Ballgeschwindigkeiten von NEILSON und JONES (2005), die für 25 professionelle Fußballspieler eine mittlere Ballgeschwindigkeit von 27,05m/s oder 97,38km/h festgestellt haben.

Hinsichtlich der zu Grunde liegenden Fragestellung der Gesamtuntersuchung ist dies jedoch unbedeutend, da sich zu detektierenden Unterschiede in den Schussbedingungen unabhängig vom absoluten Leistungsniveau zeigen sollten.

Weiterhin zeigt sich, dass für sieben der neun Einzelstudien die Varianzanalysen anzeigen, dass sich das verwendete Schuhkollektiv hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit unterscheidet. Somit belegt diese Studienreihe eindeutig, dass eine Bedeutung des Schuhs für die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß vorhanden ist. In fünf von neun Einzelstudien gibt die ANOVA statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Schuhbedingungen an ( $p < 0,05$  und  $p < 0,01$ ). In weiteren zwei Einzelstudien liegt die ANOVA in einem Bereich ( $p = 0,05$  und  $p = 0,07$ ), in dem sachliche Interpretationen hinsichtlich Unterschieden zwischen den verschiedenen Schussbedingungen gemacht werden dürfen und müssen.

In den übrigen zwei Einzelstudien liegt die ANOVA in einem Bereich abseits jeglicher ernstzunehmender realer Unterschiede zwischen den Schuhbedingungen. Aus dieser aufzählenden Betrachtung wird die Relevanz und wissenschaftliche Notwendigkeit der Gesamtuntersuchung deutlich.

Die unterschiedlichen Spannbreiten der Einzelstudien von 0,86 bis 3,01km/h beziehungsweise der prozentuale Schuheinfluss von 0,90 bis 3,11% weisen darauf hin, dass je nach Fragestellung und verwendetem Schuhkollektiv unterschiedlich große Einflüsse der Schussbedingungen hinsichtlich der resultierenden Ballgeschwindigkeiten aufgetreten sind. Die absolute Einordnung (km/h) des Schuheinflusses erlaubt dabei eine Bewertung des Schuheinflusses hinsichtlich seiner sportpraktischen Bedeutung. Die prozentuale Einordnung des Schuheinflusses erlaubt eine Bewertung hinsichtlich der wissenschaftlichen Bedeutung.

Im Hinblick auf die Sportpraxis würde ein Torschuss aus 20m Torentfernung, der mit einer angenommenen konstanten Geschwindigkeit von 100km/h abgegeben wird, sein Ziel nach 0,72s erreichen. Ein Torschuss, der mit einer angenommenen

konstanten Geschwindigkeit von 103km/h abgegeben würde, wird dies schon nach 0,70s, also 2/100 Sekunden, eher tun. So wird klar, welche Unterschiede in der Reaktionszeit, beispielsweise für den Torwart, allein durch den Schuheinfluss auftreten können. Ein Ball, der mit 103km/h geschossen wird, legt dabei innerhalb 2/100 Sekunden eine Strecke von 0,57m zurück.

Wenn auch im Fußball derartige Situationen auf Grund des Spielcharakters nur selten vorkommen, wird trotzdem deutlich, dass sie spielentscheidenden Charakter besitzen können. Dies gilt insbesondere für Torschussaktionen und wird durch das obige, wenn auch konstruierte, Beispiel verdeutlicht.

Aus sportwissenschaftlicher Sicht betrachtet bedeutet eine legale Leistungssteigerung von bis zu 3,1% nahezu eine Revolution. In einer Zeit, in der beispielsweise leichtathletische Weltrekorde stagnieren (Hochsprung: 2,45m, seit 1993, Verbesserung: 0%) oder nur minimal verbessert werden (100m Lauf: 9,76s, in 2007, Verbesserungen in 1/100 Sekunden Schritten: 0,1%), wird die sportwissenschaftliche Einordnung des in dieser Untersuchungsreihe gemessenen Schuheinflusses klar.

Aus eben dieser prozentualen Betrachtung des Schuheinflusses wird ebenso deutlich, dass der Sportler selbst natürlich über seine sportmotorische Technik den größten Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ausübt. So ist er doch für 97 bis 99% der resultierenden Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß verantwortlich.

#### **4.1.2 Schwungphasenzeit**

Die Schwungphasenzeiten in den Einzelstudien, in denen dieser Parameter erhoben wurde, liegen bei 122,6ms (Studie I), 127,2ms (Studie IV), 118,2ms (Studie V) und 121,9ms (Studie VIII). Sie liegen damit unterhalb der Werte von ANJOS und ADRIAN (1986), die Werte von 135ms ermittelt haben. Abweichungen zu den Werten in der Literatur ergeben sich möglicherweise durch unterschiedliche Messmethodiken. Auch ist es denkbar, dass die jeweiligen Probandenkollektive ein unterschiedliches motorisches Fertigkeiteniveau aufwiesen.

Die Schwankungen innerhalb dieser Untersuchungsreihe ergeben sich zum Teil durch das verwendete Schuhmaterial in den einzelnen Studien sowie durch Unterschiede in der exakten Positionierung der Lichtschranke, welche die initiale

Bewegung des Balles erfassen sollte. So konnte zwar die exakte Vergleichbarkeit der Schwungphasenzeiten innerhalb der jeweiligen Einzelstudien gewährleistet werden, jedoch können die vorhandenen Unterschiede zwischen den Studien in der Messmethodik und dem Messaufbau begründet sein.

#### 4.1.3 Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit

Die Wahrnehmung der resultierenden Ballgeschwindigkeit des Gesamtkollektivs der Probanden zeigt, dass nur in drei von neun Einzelstudien (Studien I, II, IX) das Probandenkollektiv statistisch signifikant zwischen Schussbedingungen unterschieden hat (Tab. 4-2).

Einzelstudie	Ballgeschwindigkeit Ranking ANOVA [p-Wert]	Übereinstimmung mit tatsächlicher Ballgeschwindigkeit
Studie I	p < 0,01	gegeben
Studie II	p < 0,01	nicht gegeben
Studie III	p = 0,07	nicht gegeben
Studie IV	p = 0,10	nicht gegeben
Studie V	p = 0,78	nicht interpretierbar
Studie VI	p = 0,22	nicht interpretierbar
Studie VII	p = 0,24	nicht interpretierbar
Studie VIII	p = 0,17	nicht interpretierbar
Studie IX	p < 0,01	gegeben

**Tab. 4-2: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit – Gesamtüberblick**

In weiteren zwei Einzelstudien (Studien III, IV) ist ein zu interpretierender Trend in der Wahrnehmung des Gesamtkollektivs zu erkennen.

Weiterhin zeigt sich, dass nur in zwei der drei statistisch signifikanten Fälle die Wahrnehmung der Probanden mit der tatsächlich erzielten Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schussbedingungen übereinstimmt. Dies lässt darauf schließen, dass Probanden im Kollektiv im Allgemeinen nicht in der Lage sind, die erzielte Ballgeschwindigkeit korrekt wahrzunehmen. Die Wahrnehmungsaufgabe stellte somit in ihrer eigentlichen Zielsetzung eine Überforderung der Probanden dar. Dies

---

ist im Grunde auch nachvollziehbar, da die Probanden bei jedem Schuss eine maximale sportmotorische Anstrengung vollbringen sollten und so ihre Wahrnehmungsfähigkeiten allgemein als eingeschränkt anzusehen sind. Weiterhin sind in den einzelnen Studien die ermittelten Unterschiede in den Ballgeschwindigkeiten gering, so dass die gestellte Aufgabe auch dadurch schwer zu bewältigen war.

Es liegt der Schluss nahe, dass Probanden sich bei der Einschätzung der Ballgeschwindigkeit von spezifischen visuellen Schuhfaktoren oder anderen Hilfsstimuli leiten lassen. So waren die Modifikationen der Schussbedingungen in Studie I und II deutlich sichtbar und hatten zudem einen großen Einfluss auf das Anlauf- und Schussverhalten der Probanden. Studie IX war hingegen die einzige Studie, in der sich nur ein Schuhmodell deutlich vom weiteren Schuhkollektiv abhob. So sind abschließend betrachtet die statistisch signifikanten Unterschiede in der Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit wahrscheinlich eher auf andere, relativ leicht wahrnehmbare, Faktoren der einzelnen Schussbedingungen zurückzuführen. Dies sollte bei der Interpretation der Wahrnehmungsdaten zur Ballgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

## 4.2 Einzelstudien

Nachfolgend werden die neun Einzelstudien der Studienreihe vorgestellt. Dies geschieht jeweils nach dem gleichen Schema. Zunächst sollen die Einzelstudien dabei eigenständig für sich betrachtet werden.

Zudem sollen die Bedeutung der Einzelstudien im Gesamtzusammenhang und die zum Teil unmittelbare Verknüpfung verschiedener Einzelstudien deutlich werden. Daher erfolgt im Anschluss eine komplexe zusammenhängende Interpretation der vorgestellten Studien.

Das Schema zur Vorstellung der Einzelstudien gliedert sich in die folgenden Abschnitte:

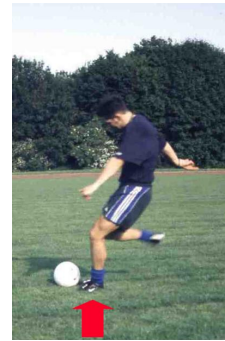
- Ziel
- Hintergrund
- Methodik
- Methodenkritik
- Ergebnisse und Interpretation
- Ergebniszusammenfassung
- Folgerung

#### 4.2.1 Studie I:

##### **Der Einfluss der Traktion des Standbeins auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

###### **Ziel:**

Diese Basisstudie sollte den Einfluss der Traktion des Standbeins (Abb. 4-1) auf die Ballgeschwindigkeit, die Schwunghasenzeit und die Bodenreaktionskräfte beim Vollspannstoß untersuchen und quantifizieren. Weiterhin sollte untersucht werden, wie Probanden ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit und das Traktionsverhalten der einzelnen Schussbedingungen einschätzen.



**Abb. 4-1:**  
**Standbeintraktion**

###### **Hintergrund:**

Im Fußball haben Traktionsverhältnisse eine herausragende, zum Teil spielentscheidende Bedeutung. Die Traktionseigenschaften von Fußballschuhen stellen somit eine Schlüsselkomponente für die Leistung der Sportler dar. Das Traktionsverhalten von Schuhen, insbesondere von Sportschuhen, beeinflusst das Fußaufsatzverhalten bei sportlichen Bewegungen und damit die sportmotorische Leistung in erheblichem Maße. Dies ist für die Sprintleistung von Sportlern allgemein (KRAHENBUHL 1974) und für Fußballspieler im Speziellen gezeigt worden (STERZING und HENNIG 2005, STERZING und HENNIG 2006).

Das Traktionsverhalten von Fußballschuhen wird durch die Stollenanordnung, Stollengeometrie und Stollendimensionen bestimmt. Zudem spielen die Materialeigenschaften, insbesondere die Flexibilität der verschiedenen Sohlenkomponenten des Schuhs eine wichtige Rolle bei der Betrachtung der Traktionseigenschaften.

Für den Vollspannstoß im Fußball ziehen ANJOS und ADRIAN (1986) den Schluss, dass unter anderem höhere Bodenreaktionskräfte beim Standbeinaufsatz für höhere Ballgeschwindigkeiten von technisch versierten im Vergleich zu technisch weniger versierten Probanden verantwortlich sind. Die beim Fußstoß wirksame werdende kinetische beziehungsweise kinematische Kette beginnt mit dem Aufsatz des Standfußes und vollzieht sich dann über das Standbein, den Beckengürtel, den

Spielbeinoberschenkel, den Spielbeinunterschenkel bis hin zum Schussfuß (PREISS 1992). Unterschiedliche Traktionsverhältnisse verschiedener Schuhbedingungen am Standbein können sich über diesen Mechanismus auf die motorische Bewegungsausführung des Vollspannstoßes auswirken. Eine dadurch hervorgerufene biomechanische Veränderung der Kollisionsphase des Systems Fuß/Schuh und Ball wirkt sich gegebenenfalls auf die resultierende Ballgeschwindigkeit aus.

### Methodik:

Die isolierte Modifikation der Traktionsverhältnisse am Standbein geschah durch den Einsatz von vier unterschiedlichen Konfigurationen der Außensole desselben Schuhmodells, einem *Nike Mercurial Vapor II* (Abb. 4-2). So waren alle weiteren Schuheigenschaften identisch und konnten als Einflussfaktoren bezüglich der gestellten sportmotorischen Aufgabe als neutral angesehen werden. Zwei der vier zum Einsatz



Abb. 4-2:  
Ausgangsschuhmodell Studie I

gekommenen Varianten waren die regulären, nicht modifizierten Firm Ground (FG) und Soft Ground (SG) Versionen des Schuhmodells. Zusätzlich wurden zwei spezielle Modifikationen der FG-Version verwendet, bei denen eine systematische Veränderung der Traktionsverhältnisse in Bezug auf die Stollenlänge vorgenommen wurde. Die Stollen des Standbeinschuhs wurden von einem Orthopädienschuhtechniker funktional auf etwa 50% beziehungsweise 0% ihrer Ausgangslänge gekürzt.

Nachfolgend sind die verwendeten Traktionsbedingungen im Überblick abgebildet (Abb. 4-3).

Abb. 4-3: Schuhbedingungen Studie I





- 
- ZFG      NMV    Zero    FG      (Stollenlänge: 0 %      keine Stollen)
  - HFG      NMV    Half    FG      (Stollenlänge: 50 %     halbe Stollen)
  - FFG      NMV    Full    FG      (Stollenlänge: 100 %    Normstollen)
  - FSG      NMV    Full    SG      (Stollenlänge: 100 %    Normstollen)

Es wird deutlich, dass das hier entwickelte Studiendesign einen stark akademischen Charakter aufweist, da zumindest zwei (ZFG und FSG) der vier verwendeten Traktionsbedingungen in der Sportpraxis nicht vorkommen werden.

Da die verwendeten Schuhmodifikationen zum Teil stark in den Bewegungsablauf der Probanden eingriffen, absolvierten die Probanden in dieser Einzelstudie ausreichend Eingewöhnungsschüsse, um sich in den jeweiligen Schuhbedingungen zurecht zu finden.

In Bezug auf das Spielbein wurde die Neutralschuhmethodik angewendet. Am Schussfuß trugen die Probanden während der gesamten Studie denselben Schuh, einen *Nike Mercurial Vapor II* in der regulären FG-Version. Diese Maßnahme stellte sicher, dass die Kollisionsverhältnisse zwischen dem System Fuß/Schuh und Ball bei jeder der vier unterschiedlichen Schuhbedingungen am Standbein identisch waren. Zudem konnten die Probanden den Anlauf durch diese Maßnahme bestmöglich durchführen, da eine analoge Verwendung der Schuhmodifikationen am Spielbein unnötige Schwierigkeiten nach sich gezogen hätte. Dabei wäre dann der Focus dieser Einzelstudie auch auf das gesamte Anlaufverhalten der Probanden ausgeweitet worden.

Die erfassten biomechanischen Parameter dieser Studie waren die Ballgeschwindigkeit, die Schwungphasenzeit sowie die Bodenreaktionskräfte beim Aufsatz des Standbeins. Die erfassten subjektiv-sensorischen Parameter waren die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit und des mittleren Traktionsverhaltens in den einzelnen Schuhbedingungen. Die Wahrnehmung des mittleren Traktionsverhaltens einer jeden Schuhbedingung hinsichtlich der sechs Schussversuche wurde direkt nach Absolvierung der jeweiligen Schusserie von den Probanden auf einer an den Enden verankerten Rating-Skala von 1 (sehr hoch) bis 9 (sehr niedrig) quantifiziert. Es sollte hinsichtlich den Traktionseigenschaften ausschließlich eine Bewertung hinsichtlich der Intensität vorgenommen werden. Eine Bewertung der Eignung der Traktionsverhältnisse erfolgte nicht. Den

Einschätzungen *hoch* und *niedrig* war daher auch keine Bewertung der Art *gut* oder *schlecht* zugeordnet (Kap. 8.3).

#### **Methodenkritik:**

Die Verwendung der Neutralschuhmethodik zieht nach sich, dass in drei der vier Untersuchungsbedingungen der Anlauf mit unterschiedlichen Schuhen in Bezug auf Traktionsverhältnisse und Stollenhöhe am rechten beziehungsweise linken Fuß absolviert werden musste. Trotzdem erscheint die gewählte Vorgehensweise sinnvoll, da sie den Anlauf zwischen den unterschiedlichen Schuhbedingungen insgesamt sehr konstant hält. Eine Verwendung gerade der ZFG und FSG Schuhbedingungen auch am Spielbein hätte den Anlauf der Probanden weitaus mehr beeinträchtigt als der stattdessen gewählte Ablauf. Zudem wurden so potentiell Einfluss nehmende Gewichtsunterschiede des Spielbeinschuhs eliminiert.

Hingegen waren Gewichtsunterschiede der Schuhe am Standbein nicht zu vermeiden. Sie stellen jedoch in dieser Untersuchung verglichen mit den zum Teil extremen Stollenmodifikationen eine vernachlässigbar geringe Intervention dar.

#### **Ergebnisse und Interpretation:**

In der Ergebnisdarstellung wird zunächst die in den verschiedenen Schuhbedingungen erzielte Ballgeschwindigkeit und die jeweilige Schwunghasenzeit dargestellt. Es folgt die Darstellung der Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit sowie der mittleren Traktionsverhältnisse beim Standbeinaufsatz in der jeweiligen Schuhbedingung. Im Anschluss werden die beim Aufsatz des Standbeins erzeugten Bodenreaktionskräfte der verschiedenen Schuhbedingungen mit ihren biomechanischen Parametern dargestellt und im Zusammenhang mit den übrigen Parametern interpretiert.

##### *Ballgeschwindigkeit*

Die von den Probanden in den einzelnen Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeiten weisen statistisch hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) auf (Abb. 4-4). In den Schuhbedingungen HFG (97,1km/h) und FFG (97,5km/h) werden höhere Ballgeschwindigkeiten erzielt als in den Schuhbedingungen ZFG (95,1km/h) und FSG (95,7km/h). Zwischen den Schuhbedingungen HFG zu FFG sowie ZFG zu FSG sind keine statistisch gesicherten Unterschiede zu verzeichnen. Der maximal zu

verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 2,37km/h. Dies entspricht 2,46% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

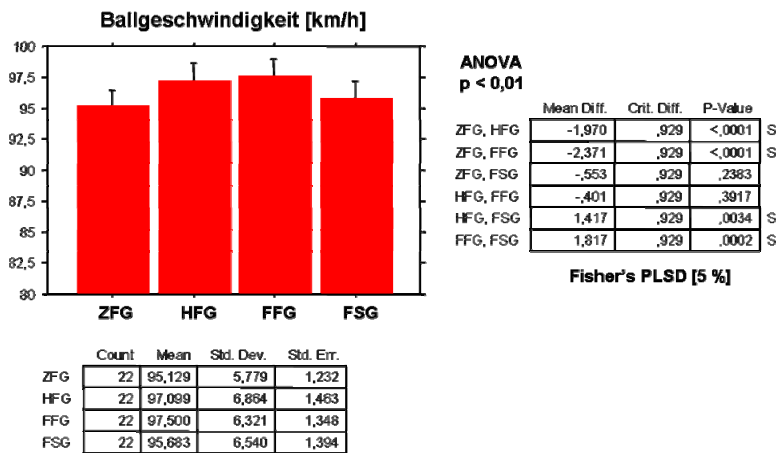


Abb. 4-4: Ballgeschwindigkeit Studie I

### Schwunghasenzeit

Die Schwunghasenzeiten der Probanden in den einzelnen Schuhbedingungen weisen ebenfalls statistisch hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) auf (Abb. 4-5). Die Schwunghasenzeiten der Schuhbedingungen HFG und FFG sind kürzer als die Schwunghasenzeiten der Schuhbedingungen ZFG und FSG. Es gibt keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen den Schuhbedingungen HFG und FFG sowie ZFG und FSG.

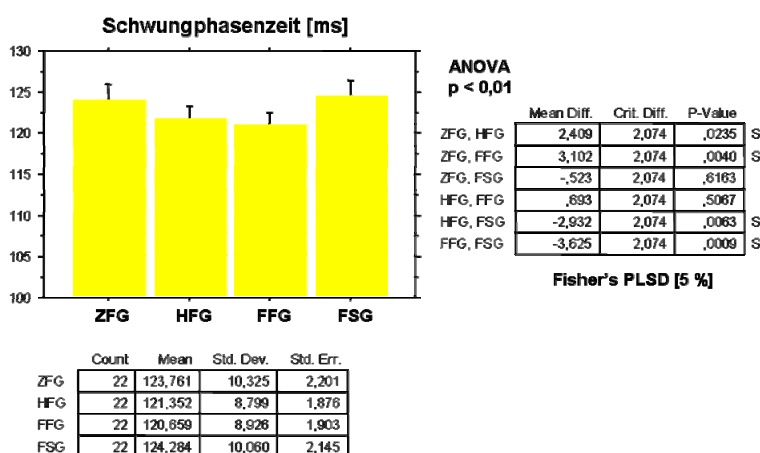


Abb. 4-5: Schwunghasenzeit Studie I

Es liegt ein negativer Zusammenhang zwischen Schwungphasenzeit und Ballgeschwindigkeit vor ( $r^2=0,90$ ;  $p=0,05$ ) (Abb. 4-6). Dies bedeutet, dass eine

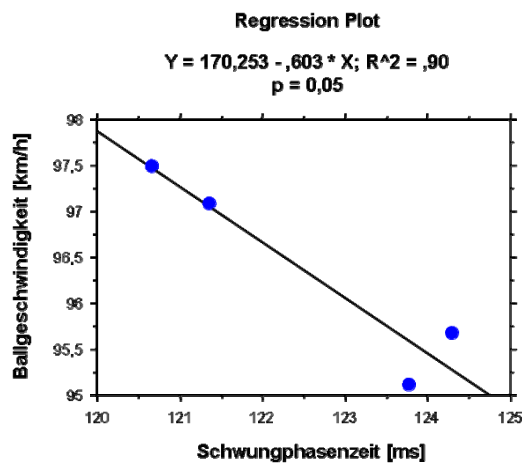


Abb. 4-6: Regression Schwungphasenzeit und Ballgeschwindigkeit Studie I

kürzere Schwungphasenzeit eine höhere Ballgeschwindigkeit nach sich zieht.

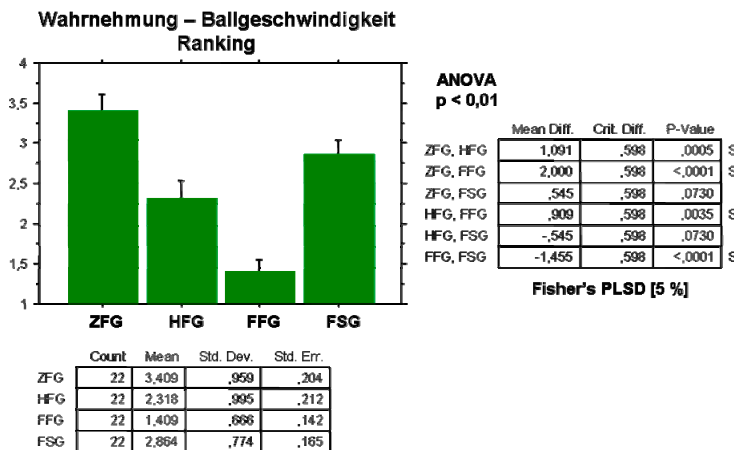
Es liegt nahe, dass schwierige Traktionsverhältnisse sich negativ auf die sportmotorisch maximal erzeugbare Fußgeschwindigkeit auswirken. Da diese nicht direkt gemessen wurde, folgt im Anschluss der Versuch einer Herleitung. Aus der Sportpraxis und dem Alltag ist bekannt, dass unsichere Standverhältnisse zu reduzierten Bewegungsamplituden

verleiten. Wenn diese Annahme auch für die von den Probanden durchgeführten Vollspannstöße zutrifft, bedeutet dies, dass die modifizierten Traktionsverhältnisse der Schuhbedingungen ZFG und FSG zu längeren Schwungphasenzeiten bei einer zudem geringeren Bewegungsamplitude geführt haben. In diesem Falle läge eine niedrigere Fußgeschwindigkeit bei den Schuhbedingungen ZFG und FSG und eine höhere Fußgeschwindigkeit bei den Schuhbedingungen HFG und FFG vor. Die Fußgeschwindigkeit wird in der Literatur als wichtige Einflussgröße für die Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit genannt (ASAMI und NOLTE 1983, LEES 1996), so dass die geschilderten Ergebnisse nachvollziehbar erscheinen.

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit*

Die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit ergibt in der Betrachtung des Gesamtkollektivs statistisch hochsignifikante Unterschiede ( $p<0,01$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-7). So ordnet das Gesamtkollektiv den verschiedenen Schuhbedingungen im Mittel den tatsächlich erzielten Rang bezüglich der Ballgeschwindigkeit zu. Dies steht im Gegensatz zu den erwähnten Erkenntnissen, dass Probanden nicht in der Lage sind, ihre mittlere Ballgeschwindigkeit von unterschiedlichen Schussbedingungen korrekt einzuschätzen. Da die Unterschiede in der Ballgeschwindigkeit in dieser Studie nur geringfügig höher liegen als in anderen Einzelstudien, erscheint die richtige Zuteilung der Ränge auf anderen Faktoren, den so genannten Hilfsstimuli, zu

beruhen. Die starken Modifikationen der Schuhbedingungen mögen das richtige Wahrnehmungsergebnis der Ballgeschwindigkeit ermöglicht haben. So ist zu vermuten, dass ein Transfer der Wahrnehmung des Traktionsverhaltens auf die Wahrnehmung der erzielten Ballgeschwindigkeit vorgelegen hat.



**Abb. 4-7: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie I**

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Traktionsverhalten*

Das Probandenkollektiv unterscheidet eindeutig die unterschiedlichen Traktionsbedingungen beim geforderten Traktionsrating ( $p < 0,01$ ). Bis auf eine Ausnahme (FFG vs. FSG) zeigten alle Post-Hoc Vergleiche zwischen den Schuhbedingungen statistisch signifikante Unterschiede (Abb. 4-8). Die Sichtbarkeit der Traktionsmodifikationen mag hier jedoch auch vorab schon eine bestimmte Erwartungshaltung der Probanden generiert haben.

Auffällig ist, dass beide Normbedingungen (FFG und FSG) statistisch gesehen die gleiche Wahrnehmung der Traktionsverhältnisse hervorrufen. Interessant erscheint, dass im Falle der Schuhbedingung FSG eine Wahrnehmung hoher Traktionsverhältnisse nicht mit der Wahrnehmung einer hohen Ballgeschwindigkeit einhergeht, welche letztendlich mit dieser Schuhbedingung auch nicht erzielt wird.

Vor dem Hintergrund subjektiv-sensorischer Studien, die sich mit den Aspekten Intensität und Präferenz von Produkteigenschaften beschäftigen ist dieses Phänomen gut erklärbar (NSRL 2003). Darin wird deutlich, dass Intensitätsbetrachtungen und Präferenzbetrachtungen in Einzelfällen sowohl gleichlaufende als auch gegenläufige Wahrnehmungen generieren können.

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Wahrnehmung von höheren Traktionsverhältnissen mit der Wahrnehmung höherer Ballgeschwindigkeit lässt sich innerhalb dieser Studie nur in der zusammenhängenden Betrachtung der FG-Versionen, also der verwendeten Schuhbedingungen ZFG, HFG und FFG beobachten.

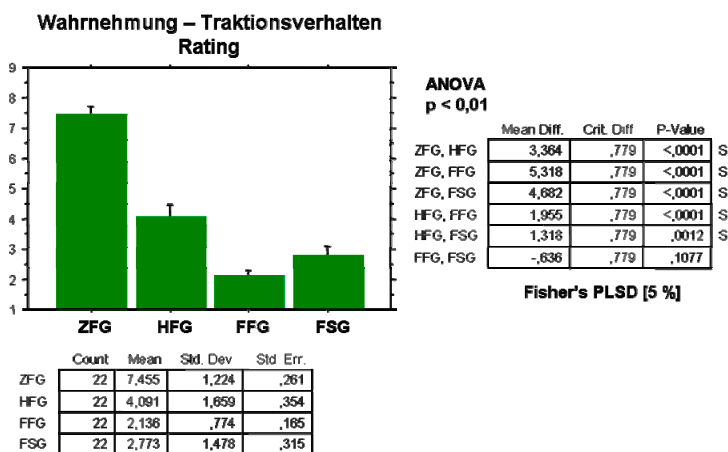


Abb. 4-8: Wahrnehmung Traktionsverhalten Studie I

### Bodenreaktionskräfte

Die einzelnen Komponenten der Bodenreaktionskraft beim Standbeinaufsatz weisen unterschiedliche Charakteristika auf (Abb. 4-9). Die Gesamtkraft weist nur zwischen den Schuhbedingungen ZFG und HFG statistisch gesicherte Unterschiede auf ( $p < 0,01$ ). Dies verhält sich jedoch anders, wenn man die Gesamtkraft in zwei Komponenten, die Vertikalkraft und die Resultierende Scherkraft, unterteilt. Während die Vertikalkraft keine statistisch signifikanten Unterschiede ausweist, zeigen sich in der Resultierenden Scherkraft statistisch signifikante Unterschiede. In den Schuhbedingungen HFG und FFG erzeugen die Probanden höhere Resultierende Scherkräfte als in den Schuhbedingungen ZFG und FSG ( $p < 0,01$ ).

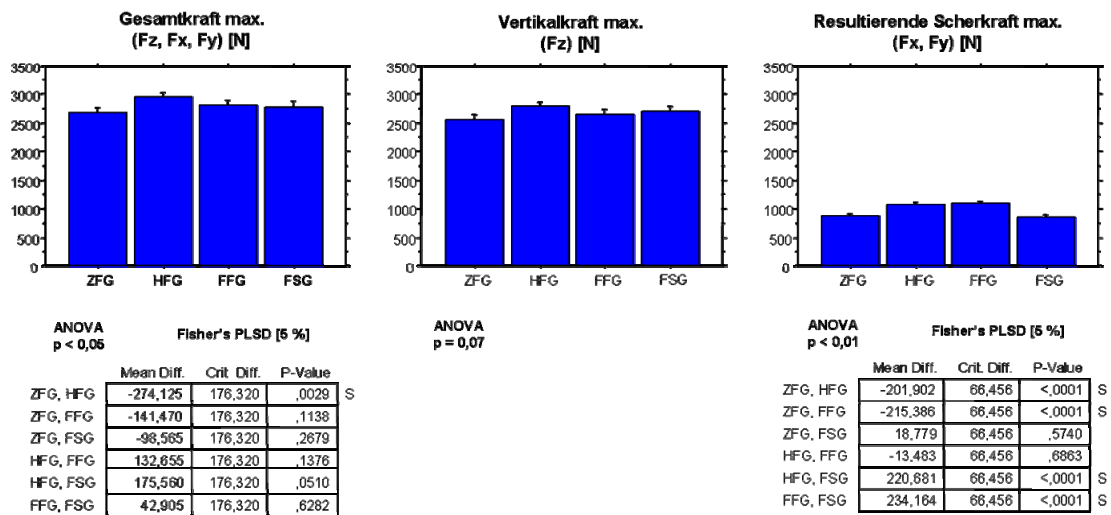


Abb. 4-9: Bodenreaktionskräfte Studie I

*Kraftanstiegsraten*

Die Kraftanstiegsraten der Gesamtkraft und der Vertikalkraft weisen für die vier Schuhbedingungen das gleiche Verhalten auf und zeigen statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) (Abb. 4-10).

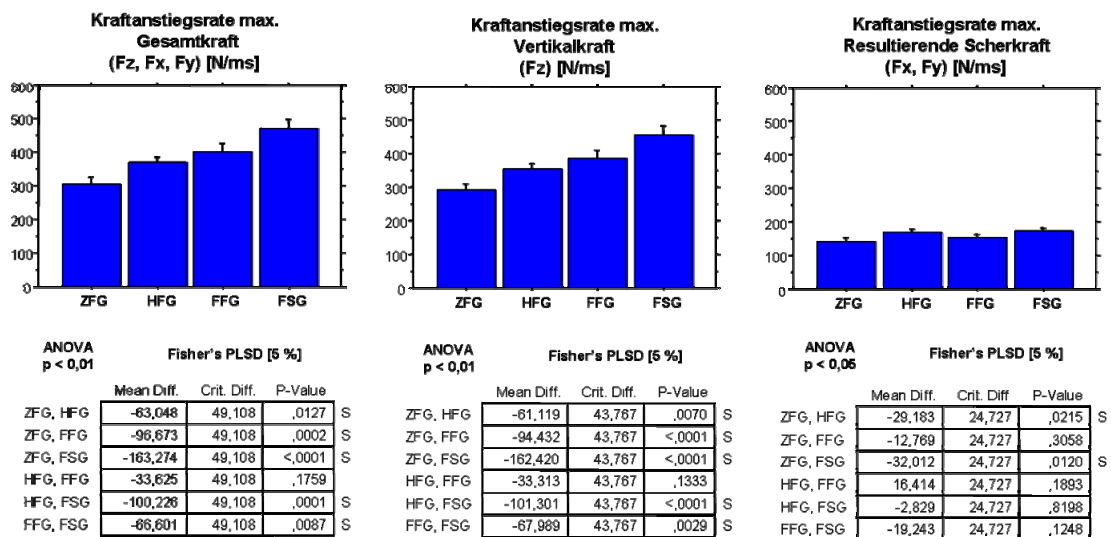


Abb. 4-10: Kraftanstiegsraten der Bodenreaktionskräfte Studie I

So steigen die Kraftanstiegsraten mit größerer Stollenlänge der FG-Versionen der Schuhbedingungen an. Die FSG Bedingung weist die höchste Kraftanstiegsrate hinsichtlich der Gesamtkraft und der Vertikalkraft auf.

Hingegen weist die Kraftanstiegsrate der Resultierenden Scherkraft kein systematisches Verhalten auf, zeigt jedoch statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Schuhbedingungen ( $p < 0,05$ ) (Abb. 4-10). Die extreme Schuhmodifikation ZFG weist hier gegenüber den Schuhbedingungen HFG und FSG eine geringere Kraftanstiegsrate der Resultierenden Scherkraft auf.

Alle weiteren ermittelten Parameter und zusätzliche Angaben, die sich aus der Messung der Bodenreaktionskraft beim Standbeinaufsatz ergeben, finden sich im Anhang (Kap. 8.6).

*Ballgeschwindigkeit, Schwungphasenzeit, Wahrnehmung von Ballgeschwindigkeit und Traktionsverhältnissen sowie Bodenreaktionskräfte – Interpretation im Zusammenhang*

Die Betrachtung der gezeigten Parameter im Zusammenhang geschieht auf der Basis des biomechanischen Verhaltens der FFG Schuhbedingung, da mit ihr zum einen die höchste Ballgeschwindigkeit erzielt wird und sie daher aus Sicht der Zielgröße die am besten geeignete Schuhbedingung darstellt. Zum anderen ist es die Schuhbedingung, die im Zusammenhang mit dem verwendeten Kunstrasen die wohl praxisnächste Bedingung darstellt.

ANJOS und ADRIAN (1986) erklären, dass technisch versierte Probanden höhere Ballgeschwindigkeiten bei gleichzeitig höheren, aufs Körpergewicht normalisierten, Bodenreaktionskräften erzielen. Dabei ist für die Autoren die vertikale Bodenreaktionskraft entscheidend. In der vorliegenden Studie erzielen die Probanden höhere Ballgeschwindigkeiten in den Schuhbedingungen, welche höhere Bodenreaktionskräfte hinsichtlich der Resultierenden Scherkraft aufweisen. Die Ergebnisse der Parameter Ballgeschwindigkeit und Schwungphasenzeit sind analog im Parameter der Resultierenden Scherkraft wieder zu finden. So folgt in dieser Studie auf eine höhere Resultierende Scherkraft eine kürzere Schwungphasenzeit und schließlich eine höhere Ballgeschwindigkeit.

Die biomechanische Messung von Traktion einzelner Schuhbedingungen mit Hilfe von Bodenreaktionskräften geschieht insbesondere durch den Parameter der Resultierenden Scherkraft bei annähernd homogener Vertikalkraft. In der vorliegenden Studie zeigt sich, dass die Probanden in den HFG und FFG Schuhbedingungen ihre Bewegungsgeschwindigkeit deutlich stärker, insbesondere in anterior-posterior Richtung, in der Vorbereitung des Vollspannstoßes reduzieren. Die



Betonung der anterior-posterior Komponente, im Gegensatz zur medio-lateral Komponente, ist durch den von den Probanden gewählten, relativ kleinen Anlaufwinkel, nahe Null, begründet.

So ist die Fähigkeit, den Anlauf zum Vollspannstoß durch den Standbeinaufsatz mit hoher horizontaler Krafterzeugung abzubremesen, ein Merkmal, welches die dann folgende kinetische Kette aus Sicht des Energietransfers erfolgreicher ablaufen lässt. Die weiteren Bodenreaktionskraftparameter Gesamtkraft und Vertikalkraft zeigen keinen direkten Zusammenhang zur erzielten Ballgeschwindigkeit und der Schwungphasenzeit. Es fällt jedoch auf, dass die Schuhbedingungen HFG und FFG tendenziell höhere Gesamtkräfte hervorrufen als die beiden, bezüglich der Ballgeschwindigkeit geringwertigeren, Schuhbedingungen ZFG und FSG.

Die Kraftanstiegsrate der Gesamtkraft wird durch die Kraftanstiegsrate der Vertikalkraft dominiert. Beide Kraftanstiegsraten differenzieren eindeutig zwischen den unterschiedlichen Schuhbedingungen. Eine Analogie zur erzielten Ballgeschwindigkeit lässt sich jedoch nur für die FG-Versionen der verwendeten Schuhmodelle herstellen. Für diese Schuhversionen gilt, dass höhere Kraftanstiegsraten der Vertikalkraft und der Gesamtkraft eine höhere Ballgeschwindigkeit nach sich ziehen. Das Schuhmodell FSG nimmt innerhalb dieser Teilbetrachtung eine Sonderstellung ein und lässt sich zunächst nicht einordnen. Die Kraftanstiegsrate der Resultierenden Scherkraft erweist sich als weniger eindeutig diskriminierend zwischen den Schuhbedingungen. Da jedoch die Resultierende Scherkraft eindeutige Analogien zum Zielparаметer Ballgeschwindigkeit aufweist, ist es geboten, die spezifischen Komponenten der Bodenreaktionskraftparameter trennscharf in Bezug auf ihre Bedeutung für die Ballgeschwindigkeit zu betrachten.

In diesem Zusammenhang sind die subjektiv-sensorischen Parameter Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit und Wahrnehmung des Traktionsverhaltens ebenfalls sehr differenziert zu betrachten. Das reine Traktionsverhalten der Schuhbedingungen stellt nicht die alleinige Grundlage für die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit dar. So weisen die Schuhbedingungen FFG und FSG keine statistisch gesicherten Unterschiede hinsichtlich der Traktionsbewertung im Sinne von hoch und niedrig auf. In Bezug auf die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit wurde die Schuhbedingung FSG jedoch wesentlich schwächer eingeschätzt als die Schuhbedingung FFG. Hier scheinen Fußballer in ihrem Wahrnehmungsverhalten in

der Lage zu sein, die Intensität von Traktionsverhältnissen unabhängig von ihrer Funktionalität neutral zu bewerten.

Zudem können sie allerdings auch gerade den bedeutsamen funktionalen Nutzen hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit identifizieren. So bemerkten sie die grundsätzlich hohen Traktionseigenschaften der Schuhbedingung FSG, erkannten jedoch auch ihr vorsichtigeres Einstemmverhalten in dieser Schuhbedingung. Dieses zeigte sich wiederum biomechanisch in der niedrigeren Resultierenden Scherkraft und schlug sich auch in einer niedrigeren Ballgeschwindigkeit nieder.

Diese Studie ist somit ein weiterer Beleg für die Notwendigkeit, Eigenschaften von Sportschuhen nicht im Sinne einer absoluten Maximierung von Eigenschaften zu verändern, sondern sie im Sinne einer funktionalen Optimierung zu betrachten. Dies muss auf der Grundlage der anatomischen und physiologischen Gegebenheiten des Menschen unter Einbezug der momentan gängigen sportmotorischen Bewegungsausführung geschehen.

Sportler adaptieren zum Teil unbewusst ihre Bewegungsmuster an unterschiedliche Schuhbedingungen. Innerhalb dieser Variationen ist die optimale Konstellation der Interaktion von Athlet, Schuh und Untergrund zu ermitteln. Das sportmotorische Verhalten von Sportlern ist immer auch abhängig von deren Erwartungshaltung in Bezug auf die zu erfüllende sportmotorische Situation. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Sportler bei vorheriger Kenntnis der Bedingungen individuell für sich die bestmögliche Strategie zur Bewerkstelligung der Aufgabe auswählt. Dies wurde innerhalb dieser Studie durch die vorab durchgeführten Eingewöhnungsversuche sichergestellt.

Innerhalb der freien Kommentare der Probanden lassen sich Erklärungen für die Ergebnisse der Studie ableiten. Der Hauptgrund für die trotz hoher Traktionswahrnehmung funktional eher ungeeignete Stollenkonfiguration ist wohl die Stollenlänge und die damit verbundene Instabilität. So berichten Probanden von einem wackeligen und daher unsicheren Gefühl. Ebenso wird die Rutschigkeit der Schuhbedingung ZFG als ausschlaggebend für die gezeigten Ergebnisse genannt.

**Ergebniszusammenfassung:**

- Die Traktion des Standbeins beeinflusst entscheidend die erzielte Ballgeschwindigkeit.
- Die Traktion des Standbeins beeinflusst entscheidend die Schwunghasenzeit.
- Eine höhere Resultierende Scherkraft ist die entscheidende Bodenreaktionskraftkomponente zur Maximierung der Ballgeschwindigkeit über die Traktion des Standbeins.
- Höhere Kraftanstiegsraten der Vertikalkraft und der Gesamtkraft weisen für die modifizierten Stollenkonfigurationen der FG-Versionen des verwendeten Schuhmodells eine Analogie zur erzielten Ballgeschwindigkeit auf.
- Zur Optimierung der Traktionsverhältnisse des Standbeins ist eine funktionale Traktionserhöhung im Gegensatz zu einer maximalen Traktionserhöhung anzustreben.
- Probanden sind in der Lage, den Einfluss der unterschiedlichen Traktionsverhältnisse am Standbein auf die Ballgeschwindigkeit einzuschätzen.
- Die Resultierende Scherkraft ist der am besten geeignete Parameter zur Bewertung eines homogenen Einstimmverhaltens der Probanden beim Vollspannstoß.

**Folgerung:**

Die Ergebnisse dieser Studie belegen die Notwendigkeit der differenzierten Betrachtung von Standbein und Spielbein bei der Untersuchung der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß und bestätigen Erkenntnisse aus der Literatur (ANJOS und ADRIAN 1986, PREISS 1992).

Zusätzlich verweisen sie auf den eindeutigen Effekt der Stollenkonfiguration auf die absoluten und funktionalen Traktionseigenschaften von Fußballschuhen. Sie zeigen weiterhin direkte Auswirkungen auf spezifische sportliche Leistungsparameter.

Ausgehend von den präsentierten Ergebnissen dieser Studie ist es notwendig, bei den folgenden Studien, die sich mit den Geschehnissen am Spielbein befassen, auf homogene Bedingungen am Standbein zu achten. Nur so können Veränderungen in

---

der Schussgeschwindigkeit eindeutig den in den entsprechenden Studien modifizierten Spielbedingungen zugeordnet werden.

Die Umsetzung dieser Forderung geschah in den weiteren Studien durch die Verwendung eines Neutralschuhs am Standbein. Damit sollte die Konstanz des Standbeinaufsatzes und damit homogene Abläufe der beschriebenen kinematischen Kette (PREISS 1992) gewährleistet werden. Als Indikator bezüglich des Erfolgs dieser Vorgehensweise gilt innerhalb dieser Untersuchungsreihe insbesondere der Parameter der Resultierenden Scherkraft, da sich gezeigt hat, dass dieser unmittelbar im Zusammenhang zur erzielten Ballgeschwindigkeit steht.

Der Einfluss unterschiedlicher Traktionsverhältnisse am Standbein auf die erzielte Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß wird durch diese Studie belegt. Wie schon erwähnt, stellen zwei der verwendeten Modifikationen der Traktionsverhältnisse (ZFG und FSG) keine für die Sportpraxis geeigneten Schuhbedingungen dar. Daher wäre eine logisch nachfolgende Überlegung, die Wirkung unterschiedlicher Traktionsverhältnisse von gängigen Fußballschuhmodellen für einen gegebenen Untergrund auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß hin zu untersuchen. Die Beantwortung dieser Fragestellung ermöglicht es, durch die Optimierung der Standbeinreaktion, die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß auch in der realen Sportpraxis zu erhöhen.

#### 4.2.2 Studie II:

##### **Der Einfluss des Fußballschuhs am Spielbein auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

###### **Ziel:**

Diese Basisstudie sollte den generellen Einfluss des Schuhs am Spielbein auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß im Vergleich zum Schießen ohne Schuh untersuchen und quantifizieren. Weiterhin sollte untersucht werden, wie Probanden ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit einschätzen. Zudem ist es auf Grund der in dieser Studie verwendeten Schussbedingungen notwendig gewesen, die Schmerzwahrnehmung der Probanden zu betrachten.

###### **Hintergrund:**

Intuitiv wird davon ausgegangen, dass ein Schuh am Spielbein, im Vergleich zum barfüßigen Schießen, die Ballgeschwindigkeit positiv beeinflusst. Die Überlegung, mit maximaler Geschwindigkeit barfuß gegen einen Fußball zu treten, lässt unwillkürlich Überlegungen hinsichtlich des zu erwartenden Schmerzes aufkommen. Dementsprechend wird zunächst die Überlegenheit des Systems Fuß/Schuh gegenüber dem nackten Fuß angenommen.

Fußball wird jedoch nicht immer mit Schuhen gespielt. Eine offizielle Ausnahme ist das Strandfußballspiel, auch unter dem englischen Begriff *Beach Soccer* bekannt, was deutlich macht, dass schuhloses Schießen im Fußball durchaus seine Bedeutung hat (Abb. 4-11).



**Abb. 4-11: Fußball und Strandfußball**

Es stellt sich daher grundlegend die Frage, wie sich der menschliche Fuß in seiner natürlichen anatomischen Beschaffenheit gegenüber der funktionalen Einheit aus Fuß/Socken/Schuh hinsichtlich seiner unterstützenden Wirkung im Sport positioniert. Dieser Gedanke betrifft sowohl die Schutzfunktion als auch die Leistungsfunktion im Anforderungsprofil von Sportschuhen. Schuhe im Sport sollen zum einen dem Athleten helfen, seine sportliche Leistungsfähigkeit zu verbessern, und zum anderen einen Schutz gegen Verletzungen bieten (LEES 1996, LAKE 2000). MASSON und HESS (1987) verweisen auf arthrotische Veränderungen im oberen und unteren Sprunggelenk sowie in den Zehengrundgelenken am Fuß von Fußballern. Dabei sprechen sie von Mikrotraumen, die auch durch starke Impactbelastungen, wie sie beim Vollspannstoß vorkommen, hervorgerufen werden.

Grundsätzlich betrachtet stellen Schuh und Socken zunächst einmal zusätzliche, künstliche Schnittstellen zwischen dem menschlichen Fuß und der Umwelt dar. Gerade in Bezug auf die Interaktion von Fuß/Schuh und dem Untergrund (Traktion) hat sich Schuhwerk in vielerlei Hinsicht bewährt und leistet hinsichtlich der Leistungsverbesserung sowie der Verletzungsprophylaxe im Sport einen entscheidenden Beitrag. Ein leistungssteigernder Einfluss des Fußballschuhs am Spielbein im Hinblick auf die Maximierung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ist bis heute jedoch nicht nachgewiesen worden.

Für den Punt Kick im Football hingegen verweisen ADRIAN und COOPER (1995) im Gegenteil sogar darauf, dass ein Spieler ohne Schuh am Spielbein im Vorteil bezüglich der Ausführung des Schusses sei. Die Autoren stellen fest, dass der schuhlose Fuß bei der Plantarflexion im oberen Sprunggelenk eine größere Bewegungsamplitude erreichen kann (Abb. 4-12). Dadurch böte der Fuß eine biomechanisch günstigere Trefferfläche. Es heißt dort, das barfüßige Schießen führe zu einer besser geebneten Oberfläche des Fußes in Bezug zum Ball und bewirke zudem, dass die maximale Geschwindigkeit des Sprunggelenkpunktes, mit dem der Ball getroffen wird, gerade vor dem Treffzeitpunkt erzielt werde.

Vorteile des schuhlosen Schießens werden auch schon von PLAGENHOEF (1971) erwähnt. Ein Spieler schoss den Ball in dieser Untersuchung beständig weiter ohne Schuh als mit Schuh. Ein Erklärungsansatz ist dabei die höhere Fußrigidität beim barfüßigen Schießen, welche durch eine größere Plantarflexion des Fußes erreicht wird. Dies erhöht die wirksame effektive Masse des Schussfußes und wirkt sich so

positiv auf die Ballgeschwindigkeit aus. Eine wissenschaftliche Absicherung dieses Gedankenganges ist bislang noch ausgeblieben.

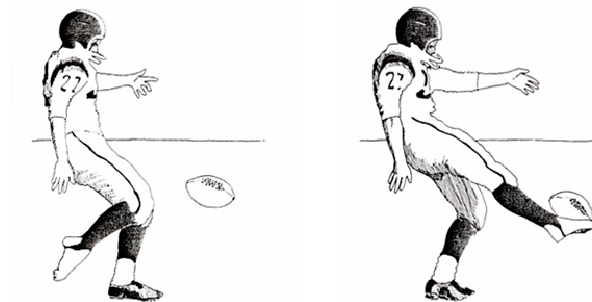


Abb. 4-12: Football Punt Kick Barfuß (PLAGENHOEF 1971)

Aus der Sicht des Fußballsports ist von Interesse, ob diese Überlegungen auch für den dort angewandten Vollspannstoß zutreffen. Dabei ist zwischen dem Einfluss des Schuhs hinsichtlich der Verletzungsprophylaxe und der Schmerzwahrnehmung sowie dem Einfluss des Schuhs auf die mechanischen und biomechanischen Vorgänge während der Kontaktphase beim Vollspannstoß zu unterscheiden. Zu klären ist also, ob der Schuh sich generell positiv, neutral oder negativ hinsichtlich der Maximierung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß verhält.

#### **Methodik:**

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden die abgebildeten Schussbedingungen verwendet (Abb. 4-13).

Die Auswahl der Schussbedingungen geschah auf Grund der nachfolgenden Kriterien. Die Barfußbedingung stellt den Fuß als ursprünglichstes Schusswerkzeug dar. Ihr gilt das primäre Interesse dieser Studie. Die Sockenbedingung sollte insbesondere der dorsalen Fußregion Schutz bieten und den zu erwartenden Hautschmerz der Barfußbedingung weitgehend vermeiden. Dies sollte geschehen, ohne einen mechanischen Einfluss auf die Fußbewegung und die Kollision zwischen Fuß und Ball auszuüben. Der *Adidas Predator Pulse 2 TRX FG* stellt die Schussbedingung dar, mit der in der vorangegangenen Studie (Studie IV) die höchste Ballgeschwindigkeit erzielt wurde. Der *Nike Mercurial Vapor II FG* wurde ausgewählt, da er unter den Schuhbedingungen von seiner geometrischen Passform und hinsichtlich seines geringen Gewichts (200 Gramm) der Barfußbedingung am

nächsten kommt. Der eigene Schuh repräsentiert die individuell gewohnte Schussbedingung des jeweiligen Probanden.

**Abb. 4-13: Schussbedingungen Studie II**

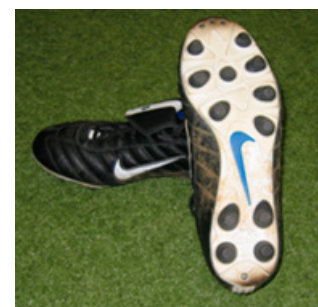


- BAR Barfuß
- SOC Socken
- APP Adidas Predator Pulse 2 TRX FG
- NMV Nike Mercurial Vapor II FG
- OSC eigener Schuh der Probanden

Am Standbein trugen die Probanden gemäß der Neutralschuhmethodik den *Nike Tiempo Premier FG E*, ein Schuhmodell, welches am Spielbein in dieser Studie nicht zum Einsatz kam (Abb. 4-14).

Vor der Durchführung dieser Studie war es zudem notwendig, die allgemeine Durchführbarkeit sicherzustellen. Bei Probeschüssen in der Barfuß- und Sockenbedingung traten Schwierigkeiten derart auf, dass

einige Probanden auf Grund zu hoher Schmerzen am Fußrücken nicht in der Lage waren, die geforderte Anzahl an Schussversuchen mit maximalem Einsatz durchzuführen. Diese Erkenntnisse bestätigten die Erwartungen hinsichtlich des Schutzpotential von Fußballschuhen. Bezüglich der Fragestellung nach dem rein mechanischen Einfluss von Fußballschuhen auf die Ballgeschwindigkeit musste



**Abb. 4-14: Neutralschuh Studie II**



jedoch sichergestellt werden, dass möglichst viele Probanden in der Lage waren, die



**Abb. 4-15: Ball Indoor**

geforderte Anzahl von Schüssen mit maximalem Einsatz zu absolvieren. Dies geschah durch den Einsatz eines Hallenfußballs, der eine Filzbeschichtung aufwies (Abb. 4-15).

Der verwendete Hallenfußball weicht nur in seinem Umfang geringfügig von den im FIFA Regelwerk gestellten Anforderungen ab. Für die vorliegende

Fragestellung ist dies jedoch nicht von Bedeutung. Der in dieser Studie verwendete Ball war das Modell *Indoor Tournament* der Firma Alex Athletics. Der Ball hatte während der Studie einen Umfang von 73,4cm sowie ein Gewicht von 418,6 Gramm. Sein Druck entsprach 1 bar, was gleichbedeutend mit  $1020\text{g/cm}^2$  ist.

Während der Messungen wurde das Schussverhalten der Probanden von der Untersuchungsleiterin, einer Fußballexpertin, qualitativ beobachtet. Modifikationen im Bewegungsablauf der Probanden hinsichtlich eines verletzungsprophylaktischen, submaximalen Krafteinsatzes, insbesondere in der Socken- oder Barfußbedingung, konnten so erfasst werden. Zusätzlich sollten die Probanden selbst wahrgenommene etwaige Technikmodifikationen und Variationen bezüglich des Krafteinsatzes anzeigen. Mit Hilfe dieser Beobachtungen konnten Probanden, welche den adäquaten Untersuchungsablauf nicht gewährleisten konnten, vor Betrachtung der Messdaten von der späteren Datenauswertung ausgeschlossen werden. Mit der beschriebenen Vorgehensweise sollte die Untersuchung des rein mechanischen Einflusses des Fußballschuhs auf die Ballgeschwindigkeit weitgehend unabhängig von der zu erwartenden Schmerzproblematik durchgeführt werden.

Die biomechanischen Parameter dieser Studie waren die Ballgeschwindigkeit und die Bodenreaktionskräfte beim Aufsatz des Standbeins. Die erfassten subjektiv-sensorischen Parameter waren die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit (1 – höchste, 5 – niedrigste) und die Schmerzwahrnehmung (1 – sehr niedrig, 9 – sehr hoch) der jeweiligen Schussbedingung. Hinsichtlich der Wahrnehmung von Schmerzen sollten die Probanden nach jedem einzelnen Schuss ihre Beobachtungen auf einer an den Enden verankerten Rating-Skala quantifizieren (Kap. 8.3).

**Methodenkritik:**

Kritisch anzumerken ist in dieser Studie der Einfluss der unterschiedlichen Anlaufbedingungen. Hier ist zum einen der Höhenunterschied zwischen Standbein und Spielbein beim schuhlosen Schießen zu bedenken. Zum anderen herrschten deutlich unterschiedliche Traktionsbedingungen des Spielbeins beim Anlauf, die insbesondere durch den Wegfall der Außensohle in der Barfuß- und Sockenbedingung zur Geltung kamen. So lagen für die Probanden in der Barfuß- und Sockenbedingung schwierigere Anlaufbedingungen durch die geringeren Traktionsverhältnisse sowie des Höhenunterschieds der beiden Beine vor.

**Ergebnisse und Interpretation:**

In der Ergebnisdarstellung wird zunächst die in den verschiedenen Schussbedingungen erzielte Ballgeschwindigkeit dargestellt. Es folgt die Darstellung der Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit und der Schmerzwahrnehmung. Dann werden die beim Aufsatz des Standbeins erzeugten Bodenreaktionskräfte der verschiedenen Schussbedingungen mit ihren biomechanischen Parametern dargestellt und im Zusammenhang mit den übrigen Parametern interpretiert.

Von den insgesamt 19 Probanden dieser Studie konnten nur die Daten von 13 Probanden bei der Datenauswertung berücksichtigt werden. Die Datensätze der übrigen 6 Probanden wurden nicht in die Auswertung einbezogen. Bei ihnen haben entweder die Untersuchungsleiterin oder die Probanden selbst gravierende qualitative Veränderungen in der Ausführung des Vollspannstoßes in den schuhlosen Schussbedingungen beobachtet. Diese Probanden konnten so die gestellte Bewegungsaufgabe nicht im Sinne des Studiendesigns erfüllen. Der Ausschluss der angesprochenen Probanden erfolgte vor der Einsichtnahme der quantitativ erhobenen Daten. Die Ergebnisse basieren daher auf einer Probandenanzahl von  $n=13$ .

*Ballgeschwindigkeit*

Hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit weist die Barfußbedingung von allen Schussbedingungen den höchsten Wert auf, jedoch liegt die ANOVA exakt an der Schwelle zum statistischen Signifikanzbereich ( $p=0,05$ ) (Abb. 4-16). Mit einem starken Trend weist also die Schussbedingung BAR (95,3km/h) die höchste Ballgeschwindigkeit auf, gefolgt von den Schussbedingungen APP (94,8km/h) und

SOC (94,7km/h). Die Schussbedingungen OSC (93,9 km/h) und NMV (93,8km/h) weisen tendenziell die geringsten Ballgeschwindigkeiten auf. Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 1,42km/h. Dies entspricht 1,50% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

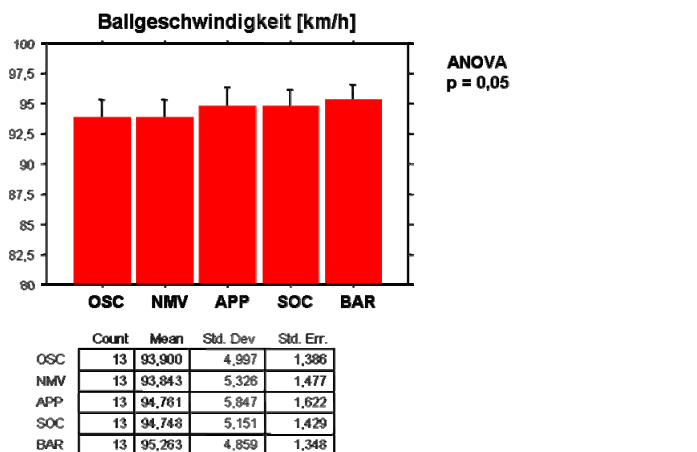


Abb. 4-16: Ballgeschwindigkeit Studie II

#### Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ergab statistisch signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Schussbedingungen ( $p < 0,01$ ) (Abb. 4-17). So wurde die Ballgeschwindigkeit in den Schussbedingungen mit Schuh höher eingeschätzt als in den Schussbedingungen ohne Schuh.

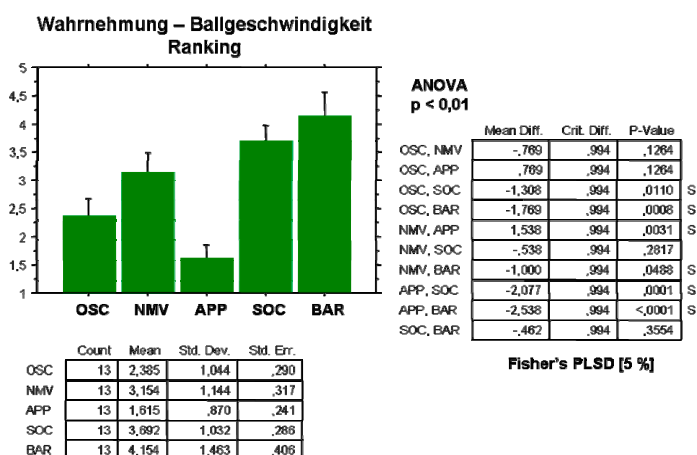
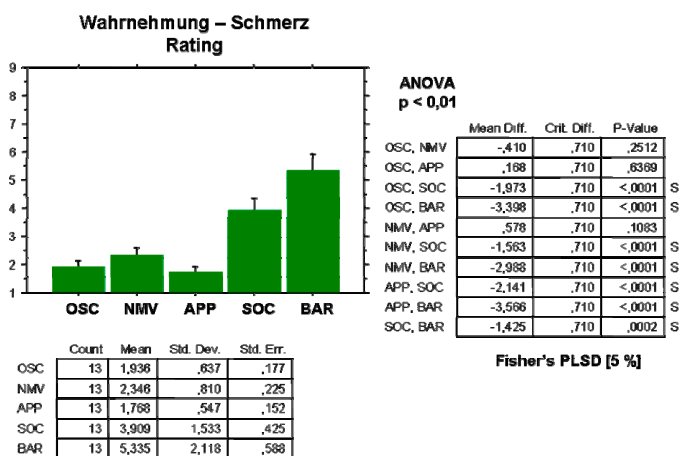


Abb. 4-17: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie II

*Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Schmerz*

Die Schmerzwahrnehmung weist ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Schussbedingungen auf ( $p < 0,01$ ) (Abb. 4-18). Erwartungsgemäß wurden die schuhlosen Schussbedingungen als schmerzhafter wahrgenommen als die Schussbedingungen mit Schuh. Zwischen den Schuhbedingungen gab es keine statistisch gesicherten Unterschiede hinsichtlich der Schmerzwahrnehmung. In den schuhlosen Schussbedingungen hingegen konnte die Sockenbedingung gegenüber der Barfußbedingung die Schmerzwahrnehmung der Probanden eindeutig reduzieren.



**Abb. 4-18: Wahrnehmung Schmerz Studie II**

Interessanterweise weist die Schmerzwahrnehmung der einzelnen Schussbedingungen das gleiche Muster auf wie die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit. Die Regressionsanalyse zwischen den beiden Wahrnehmungsparametern bestätigt, dass die Einschätzung der Ballgeschwindigkeit zu einem hohen Anteil auf die Einschätzung des Schmerzniveaus zurückzuführen ist (Abb. 4-19). Mit niedrigerer Schmerzwahrnehmung verbinden die Probanden eine höhere Ballgeschwindigkeit ( $r^2=0,81$ ;  $p < 0,05$ ). Dies erscheint nachvollziehbar, wenn unterbewusst die Probanden davon ausgehen, dass bei Auftritt von starken Schmerzen die Qualität eines sportlichen Bewegungsablaufs abnimmt.

Die Regressionsanalyse zwischen der tatsächlichen Ballgeschwindigkeit und der wahrgenommenen Ballgeschwindigkeit ( $r^2=0,15$ ;  $p=0,52$ ) zeigt hingegen, dass in dieser Studie kein Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern besteht. Die

tatsächlich erzielte Ballgeschwindigkeit ist daher in dieser Studie kein wirksamer Stimulus für die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit.

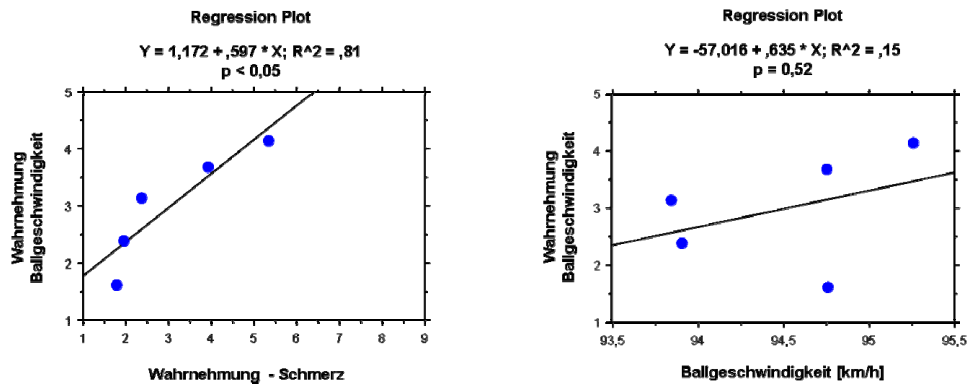


Abb. 4-19: Regressionen Studie II

*Bodenreaktionskräfte – Parameter der Resultierenden Scherkraft*

Mit den Parametern der Resultierenden Scherkraft kann das Einstemverhalten des Standbeins vor dem Vollspannstoß analysiert werden. Das Einstemverhalten lässt wiederum Rückschlüsse auf das Anlaufverhalten zu. Die aufgeführten Parameter deuten drauf hin, dass in den Schussbedingungen ohne Schuh der Anlauf und das Einstemmen vorsichtiger und damit weniger dynamisch abgelaufen ist (Abb. 4-20).

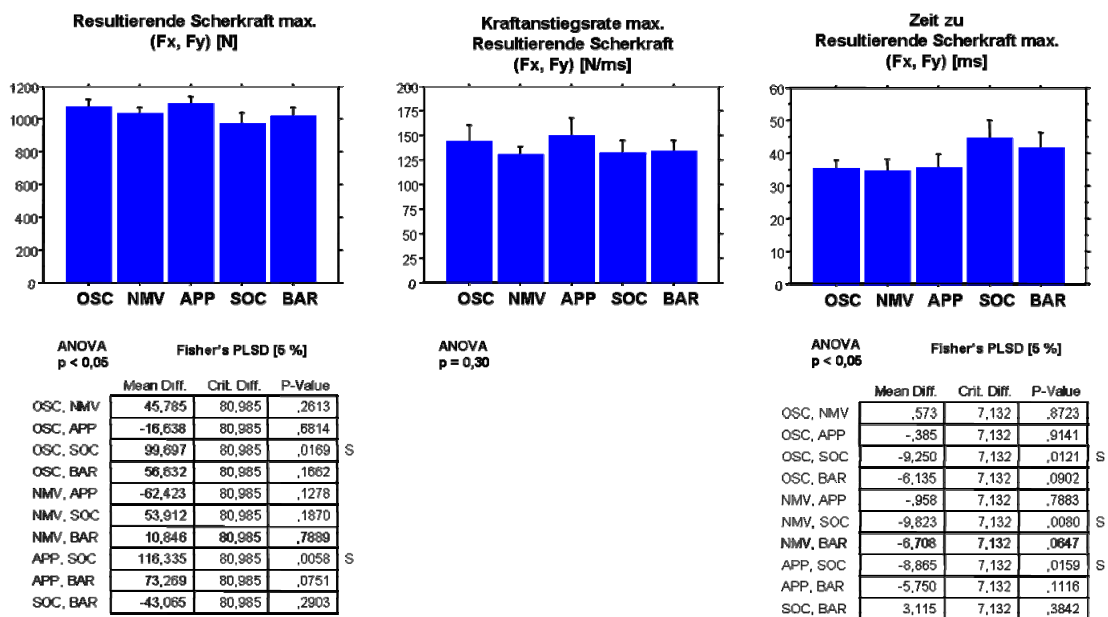


Abb. 4-20: Parameter der Resultierenden Scherkraft Studie II

Dies zeigt sich in einer geringeren Resultierenden Scherkraft ( $p < 0,05$ ), einer wertmäßig geringeren Kraftanstiegsrate der Resultierenden Scherkraft und einer längeren Zeit bis zur Erreichung der Resultierenden Scherkraft ( $p < 0,05$ ).

Das vorsichtiger Einstemverhalten in den schuhlosen Schussbedingungen ist wahrscheinlich auf die Gesamtsituation des Anlaufs zurückzuführen. Zum einen waren die schuhlosen Bedingungen durch schlechtere Traktionseigenschaften am Spielbein gekennzeichnet, zum anderen lagen in diesen Bedingungen unterschiedliche Beinhöhen durch das fehlende Schuhwerk vor. Diese Gesamtsituation hat zu einem weniger dynamischen und damit suboptimalen Anlauf zur Vorbereitung auf den maximalen Vollspannstoß in den schuhlosen Schussbedingungen geführt.

*Ballgeschwindigkeit, Wahrnehmung von Ballgeschwindigkeit und Schmerz sowie Parameter der Resultierenden Scherkraft – Interpretation im Zusammenhang*

Die vorliegende Studie zeigt eindeutig, dass die drei verwendeten Schuhmodelle der Barfußbedingung hinsichtlich der Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit nicht überlegen sind. Mit starker Tendenz weist die Barfußbedingung die höchste Ballgeschwindigkeit auf. Dies ist bemerkenswert, da in dieser Schussbedingung eindeutig und erwartungsgemäß die größten Schmerzen beim Schießen auftraten. Im Normalfall führen Schmerzen jedoch eher zu einer suboptimalen Ausführung sportlicher Bewegungsabläufe, was dann normalerweise mit einer geringeren Ballgeschwindigkeit einhergehen würde. Scheinbar sind innerhalb solcher Versuchssituationen geeignete Probanden in der Lage, diese Schmerzen zumindest hinreichend zu unterdrücken und die Schussversuche wie gefordert maximal durchzuführen.

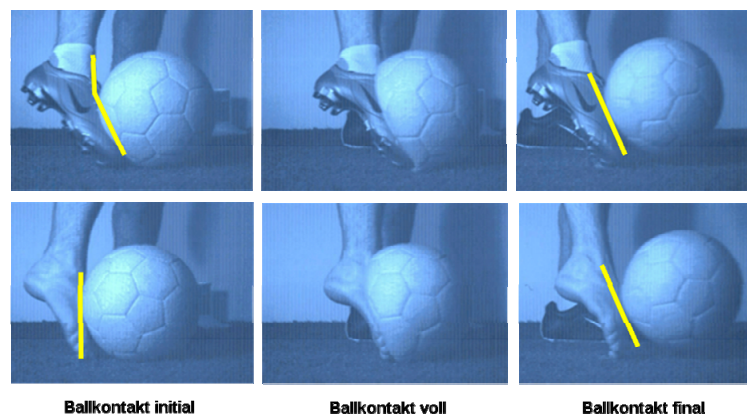
Diese Erkenntnis wird von der Tatsache unterlegt, dass eine signifikant geringere Schmerzwahrnehmung in der Sockenbedingung im Vergleich mit der Barfußbedingung sich ebenfalls nicht in einer höheren Ballgeschwindigkeit niederschlägt.

Es muss an dieser Stelle jedoch offen bleiben, ob sich die schmerzhafteren Schussbedingungen Barfuß und Socken gegenüber den Schuhbedingungen absolut gesehen nicht doch negativ ausgewirkt haben. Auch wenn hinsichtlich des relativen Vergleichs mit den nicht schmerzhaften Schuhbedingungen die Ballgeschwindigkeiten in der Barfuß- und Sockenbedingung sich nicht nachteilig

ausgewirkt haben, ist es durchaus denkbar, dass die absoluten Ballgeschwindigkeiten in den beiden schuhlosen Schussbedingungen durch die Schmerzen reduziert worden sind.

Auch die eher ungünstigen Anlaufbedingungen, die sich aus den schuhlosen Schussbedingungen ergeben und sich in den aufgeführten Parametern der Resultierenden Scherkraft niederschlagen, sollten sich eigentlich leistungsvermindernd auf die Ballgeschwindigkeit ausgewirkt haben.

Es bleibt daher festzuhalten, dass trotz schlechterer Rahmenbedingungen, die Probanden barfuß die höchste Ballgeschwindigkeit erzielt haben. Es ist nun nahe liegend, die Kompensation für die schlechten Rahmenbedingungen innerhalb der Kollisionsphase zu vermuten. Nachfolgend ist die Kollisionsphase des Vollspannstoßes mit und ohne Schuh exemplarisch für einen Probanden mittels Bildern einer Hochgeschwindigkeitsvideokamera dargestellt (Abb. 4-21). Beide Schussversuche erzielten eine Geschwindigkeit von 106km/h und sind daher direkt miteinander vergleichbar.



**Abb. 4-21: Kollisionsphasen: Ball – Fuß/Schuh und Ball – Fuß**

Es wird deutlich, dass kurz vor dem initialen Ballkontakt der Fuß ohne Schuh stärker in der Plantarflexion steht als der Fuß im Schuh. Der Fuß ohne Schuh ist im Vergleich zum Fuß im Schuh in der vollständigen Überstreckung. Zum Ende der Kollisionsphase zeigt sich, dass die Plantarflexion in beiden Schussbedingungen gleich stark ausgeprägt ist. Diese Beobachtungen gehen einher mit den Erkenntnissen von LEES (1993), der auf eine erzwungene Plantarflexion des Fußes während der Kollisionsphase verweist. Die großen Kräfte bei der Ausführung des maximalen Vollspannstoßes bewirken, dass diese erzwungene Plantarflexion ihr individuelles

Extremausmaß für den jeweiligen Schützen erreicht. In diesem Moment ist aus der theoretischen Perspektive die maximale Fußrigidität erreicht.

Für die vorliegende Studie bedeutet dies, dass sich beim Schießen mit Schuh die Plantarflexion während der Kollisionsphase sehr viel stärker vergrößert als beim Schießen ohne Schuh. Dies lässt auf eine geringere mittlere Rigidität des Fußes in den Schuhbedingungen während der Kollisionsphase schließen. Demzufolge bringt der Fuß im Schuh eine geringere effektive Masse durch die reduzierte Kopplung zum Unterschenkel in die Kollision mit dem Ball ein. In diesem Zusammenhang verweisen auch WANG und WIESE-BJORNSTAL (1994) darauf, dass, um eine hohe Ballgeschwindigkeit zu erzielen, ein Nachgeben des Fußes während der Kollisionsphase unbedingt zu vermeiden ist.

Die gezeigten Ergebnisse lassen vermuten, dass die geringere effektive Masse beim Schießen mit Schuh, hervorgerufen durch die unterlegene Kopplung zum Unterschenkel, auch durch das Schuhgewicht nicht kompensiert werden kann. Die exemplarischen Aufnahmen bestätigen die schon früher formulierten Gedanken zu dieser Thematik von PLAGENHOEF (1971).

Im Sinne von MASSON und HESS (1987) erfüllt der Schuh durch die Verhinderung der maximalen willkürlichen Plantarflexion beim initialen Ballkontakt seine Schutzfunktion. Er tut dies durch ein Nachgeben, welches als Mechanismus zur Belastungsreduzierung des Impacts beim Vollspannstoß angesehen werden kann.

Hinsichtlich der Leistungsoptimierung ist das Einwirken des Schuhs, wie gezeigt, jedoch als negativ zu interpretieren. Die aus dieser Studie gewonnenen Informationen zeigen, dass, im Sinne der Maximierung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß, der Fußballschuh als solcher keine funktionale Unterstützung bietet.

Es ist jedoch nicht zu vergessen, dass der Schuh, wie gezeigt, einen überaus wertvollen Schutz vor Schmerzen für den Fuß und den Schützen, gerade beim Vollspannstoß, darstellt.

#### **Ergebniszusammenfassung:**

- Das Studiendesign des schuhlosen Schießens war nur von zwei Dritteln der Probanden umzusetzen.



- Drei verschiedene Fußballschuhmodelle zeigten sich gegenüber der Barfuß- und der Sockenbedingung nicht überlegen hinsichtlich der Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit.
- Probanden sind in der Lage in der Barfußbedingung trotz statistisch gesicherter höherer Schmerzwahrnehmung gegenüber den Schuhbedingungen und der Sockenbedingung höhere Ballgeschwindigkeiten zu erzielen.
- Eine absolute Quantifizierung des Einflusses von Schmerz während der Kollisionsphase beim Vollspannstoß auf die Ballgeschwindigkeit kann innerhalb dieser Studie nicht gegeben werden.
- Ein weniger dynamischer Anlauf in den schuhlosen Schussbedingungen führte in dieser Studie nicht zu einer geringeren Ballgeschwindigkeit.
- Die Wahrnehmung der tatsächlichen Ballgeschwindigkeit innerhalb dieser Studie war den Probanden nicht möglich.
- Mit geringerer Schmerzwahrnehmung geht in dieser Studie die Einschätzung einer höheren Ballgeschwindigkeit einher.
- Beim schuhlosen Schießen entsteht durch die stärkere Plantarflexion des Schussfußes eine höhere effektive Masse. Dies führt zu besseren biomechanischen Verhältnissen in der Kollisionsphase.
- Die Vorstellung der erzwungenen maximalen Plantarflexion des Fußes durch den Impact des Balles ist nur für das Schießen mit Schuhen gültig.

**Folgerung:**

Überlegungen zum funktionalen Design von Fußballschuhen sollten hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß aus einem neuen Blickwinkel getätigt werden. Zunächst muss der Schuh in seiner funktionalen Beschaffenheit das Ballgeschwindigkeitsniveau beim Schießen ohne Schuh erreichen. Die dargestellten Ergebnisse belegen, dass der Fußballschuh hinsichtlich der Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit in seinem momentanen Aufbau eher als Störfaktor einzustufen ist.

Dies steht im Gegensatz zu den meisten anderen Merkmalen von Sportschuhen, wie beispielsweise Traktion oder Stabilität, bei denen der Gedanke der größtmöglichen Leistungserhöhung im Vordergrund steht. Das momentane Design von Fußballschuhen hinsichtlich dieser beispielhaft genannten funktionalen Aspekte ist

vielfach auch schon als leistungsfördernd belegt worden. So gesehen stellt die Fußballschuheigenschaft der Erreichung einer hohen Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß einen Sonderfall innerhalb der Vielzahl verschiedener Fußballschuheigenschaften dar. Der Fuß in seinem natürlichen anatomischen Aufbau hat sich in dieser Studie überlegen gegenüber der Kombination aus Fuß/Schuh erwiesen.

#### **4.2.3 Studie III: Der Einfluss aktueller Fußballschuhmodelle (Januar 2004) auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

##### **Ziel:**

Diese Anwendungsstudie sollte den Einfluss aktueller (Januar 2004) Fußballschuhmodelle am Spielbein auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersuchen und quantifizieren. Weiterhin sollte untersucht werden, wie Probanden ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit einschätzen.

##### **Hintergrund:**

Die Erkenntnisse aus Studie II, dass sich der Fußballschuh als Gesamtkonstruktion eher negativ hinsichtlich der Erzielung maximaler Ballgeschwindigkeit verhält, lassen offen, inwiefern unterschiedliche Fußballschuhmodelle die Ballgeschwindigkeit beeinflussen. Der Aufbau des Fußballschuhs besteht aus vielen Einzelkomponenten, die isoliert und in ihrem Zusammenwirken Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß nehmen können. Fußballschuhe, die sich konstruktionsbedingt als förderlich für hohe Schussgeschwindigkeiten erweisen, stellen für den Athleten einen klaren Ausrüstungsvorteil dar.

HENNIG und ZULBECK (1999) zeigten statistisch hochsignifikante Unterschiede in der erzielten Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß in unterschiedlichen, damalig aktuellen Fußballschuhmodellen auf. Die dargestellten Unterschiede in der Ballgeschwindigkeit betragen bis zu 2,7km/h und bedeuten 3,2% der in dieser Studie über alle Schuhbedingungen erzielten mittleren Ballgeschwindigkeit. Die Ursachenbeschreibung musste jedoch offen bleiben. Es konnten keine weiteren biomechanischen Parameter mit den erfassten Ballgeschwindigkeiten in einen sachlogischen und statistisch abgesicherten Zusammenhang gebracht werden.

Die hier dargestellte Studie dient der Verifizierung und Aktualisierung der Aussage von HENNIG und ZULBECK (1999) und damit der Sicherung der Vermutung, dass schuhspezifische Unterschiede hinsichtlich der maximalen Ballgeschwindigkeit auch innerhalb eines aktuellen Schuhkollektivs bestehen. In diesem Sinne stellt die Durchführung dieser Einzelstudie auch eine Manifestierung der Rechtfertigung der Thematik dieser Arbeit dar.

**Methodik:**

Fünf aktuelle Fußballschuhmodelle (Januar 2004) stellten die unterschiedlichen Schuhbedingungen dieser Studie dar. Nachfolgend sind die verschiedenen Schuhbedingungen im Überblick dargestellt (Abb. 4-22).

**Abb. 4-22: Schuhbedingungen Studie III**

- |   |     |                           |    |       |
|---|-----|---------------------------|----|-------|
| • | ACM | Adidas Copa Mundial       | FG | 288 g |
| • | APM | Adidas PR Mania XTRX      | SG | 304 g |
| • | NTP | Nike Tiempo Premier E     | FG | 315 g |
| • | NAZ | Nike Air Zoom Total 90 II | FG | 271 g |
| • | NMV | Nike Mercurial Vapor II   | FG | 199 g |

**Abb. 4-23:  
Neutralschuh Studie III**

Am Standbein trugen die Probanden als Neutralschuh den *Nike Tiempo Premier E FG* (Abb. 4-23). In dieser Studie erfolgte keine Messung der auftretenden Bodenreaktionskräfte des Standbeins. Sie werden in dieser Studie über die einzelnen Schussbedingungen hinweg als konstant angesehen. Somit ist der Schuh am Spielbein die einzige Modifikation dieser Studie und stellt die alleinige Grundlage der späteren Ergebnisdiskussion dar.

Der in dieser Studie erfasste biomechanische Parameter war die Ballgeschwindigkeit. Der erfasste subjektiv-sensorische Parameter war die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schuhbedingungen.

### Methodenkritik:

Kritisch anzumerken ist in dieser Studie die Verwendung der SG-Version des Schuhmodells *Adidas PR Mania XTRX*. Die SG Stollenkonstruktion in Verbindung mit dem verwendeten Kunstrasen stellte schwierigere Anlaufbedingungen dar als die Kombinationen von FG Stollenkonstruktionen und dem verwendeten Kunstrasen. Dies machte sich teilweise im Anlauf der Probanden bemerkbar und wurde von ihnen auch angezeigt. Eine biomechanische Überprüfung der durch Probandenkommentare erfassten Kritikpunkte konnte nicht vorgenommen werden, da keine Bodenreaktionskraftmessungen durchgeführt wurden.

### Ergebnisse und Interpretation:

#### Ballgeschwindigkeit

Die erzielte Ballgeschwindigkeit zeigt statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-24). Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 2,13km/h. Dies entspricht 2,35% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

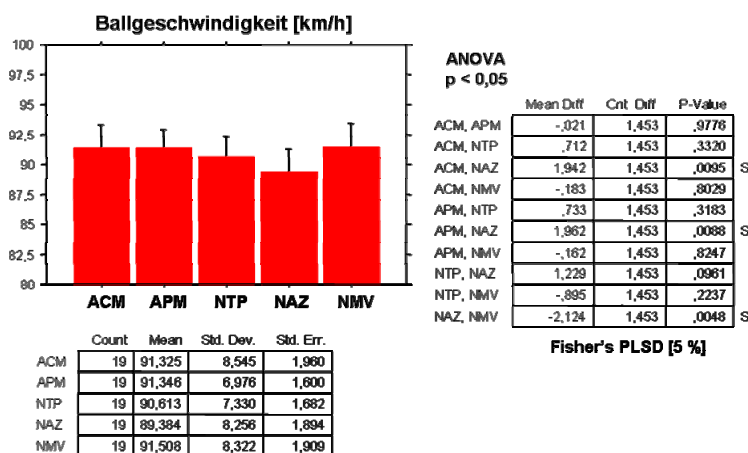


Abb. 4-24: Ballgeschwindigkeit Studie III

Das Schuhmodell NAZ erzeugt geringere Schussgeschwindigkeiten als die vier übrigen Schuhbedingungen, drei dieser Schuhvergleiche sind dabei statistisch hochsignifikant ( $p < 0,01$ ). Zwischen den übrigen Schuhmodellen bestehen keine statistisch gesicherten Unterschiede.

Eine mögliche Ursache für dieses schwächere Abschneiden des NAZ ist seine relativ weite Passform, welche die geforderte Rigidität des Fußes (ASAMI und NOLTE 1983) während der Kollisionsphase weniger unterstützt als die engere Passform der übrigen Schuhmodelle. Dies gilt gerade für den Vorfußbereich und den Mittelfußbereich. Ebenso kann sich das relativ weiche Schuhobermaterial des NAZ negativ auf die Ballgeschwindigkeit ausgewirkt haben, indem es eine, hier nicht erwünschte, Dämpfungswirkung entfaltet und so stärker als die Obermaterialien der anderen Schuhmodelle den Aufprallschock absorbiert.

#### Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit

Die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit weist eine Tendenz ( $p = 0,07$ ) hinsichtlich der Diskriminierungsmöglichkeit zwischen den einzelnen Schuhbedingungen für das Gesamtkollektiv der Probanden auf (Abb. 4-25).

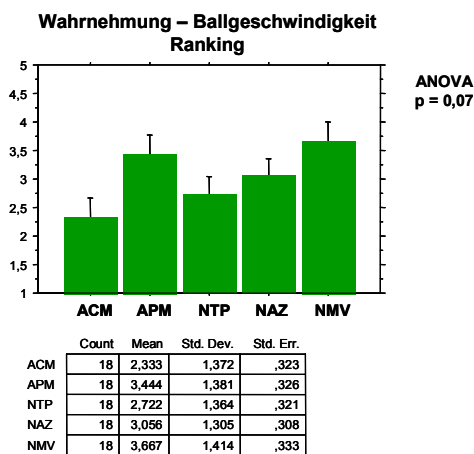


Abb. 4-25: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie III

Jedoch entspricht die Einschätzung des Gesamtkollektivs nicht der tatsächlich erzielten Ballgeschwindigkeit. Die zugehörige Regressionsanalyse zeigt, dass kein Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen und der tatsächlichen Ballgeschwindigkeit besteht ( $r^2 = 0,03$ ;  $p = 0,79$ ). Es ist daher anzunehmen, dass die

Urteilsfindung hinsichtlich der Einschätzung der Ballgeschwindigkeit in anderen Bereichen begründet ist. Dies ist zu vermuten, weil trotz des fehlenden Zusammenhangs zur tatsächlichen Ballgeschwindigkeit, die Varianzanalyse hinsichtlich der Wahrnehmung des Gesamtkollektivs eine relativ starke Tendenz aufweist.

Die Regressionsanalysen der Faktoren Gewicht und Ballgeschwindigkeit ( $r^2=0,42$ ;  $p=0,74$ ) sowie der Faktoren Gewicht und Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ( $r^2=0,35$ ;  $p=0,29$ ) weisen ebenfalls keinen statistisch gesicherten Zusammenhang auf. Bei der vorliegenden Studie fällt jedoch auf, dass die traditionell konstruierten Fußballschuhmodelle ACM und NTP besser gerankt wurden als die eher innovativen Fußballschuhmodelle APM, NAZ und NMV. So ist nicht auszuschließen, dass Probanden bei ihrem Ranking den aus ihrer Sicht bewährten Fußballschuhmodellen den Vorrang gegeben haben. Auch mag die Kritik an der SG-Version des APM zu einem schlechteren Ranking geführt haben.

#### **Ergebniszusammenfassung:**

- Zwischen aktuellen Fußballschuhmodellen (Januar 2004) bestehen statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß.
- Die Wahrnehmung der tatsächlichen Ballgeschwindigkeit innerhalb dieser Studie war den Probanden nicht möglich.
- Der Einflussfaktor Schuhgewicht spielt innerhalb dieser Studie für die erzielte Ballgeschwindigkeit und auch für die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit keine Rolle.

#### **Folgerung:**

Neben der Arbeit von HENNIG und ZULBECK (1999) ist diese Studie ein weiterer Beleg für den vorhandenen Einfluss von spezifischen Fußballschuhmodellen auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. So dienten diese beiden Studien als Ausgangspunkt, sich detailliert mit dem Aspekt der schuhspezifischen Ballgeschwindigkeit an Hand von verschiedenen Einzelstudien zu befassen.

Interessant sind nun Überlegungen, welche spezifischen Konstruktionsmerkmale von Fußballschuhen die Ballgeschwindigkeit beeinflussen. Die vorliegende Studie kann

---

diesbezüglich nur sehr spekulativ Antworten geben, da der Fußballschuh als ein komplexes funktionales Konstrukt mit interdependenter Wirkung seiner einzelnen Komponenten anzusehen ist. So ist eine abschließende Ursachenzuschreibung für die gezeigten Ballgeschwindigkeitsunterschiede nicht möglich gewesen.

Vor diesem Hintergrund ist der methodische Ansatz der im vorherigen und weiteren Verlauf dieser Arbeit dargestellten Studien einzuordnen. Von Bedeutung sind daher Studien, die isoliert spezifische Veränderungen bestimmter Schuhmerkmale auf ihre Wirkung hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersuchen und so möglicherweise direkte Einflussfaktoren identifizieren können.



#### 4.2.4 Studie IV:

##### **Der Einfluss aktueller Fußballschuhmodelle (Juli 2004) und des Schuhgewichts auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

##### **Ziel:**

Diese Anwendungsstudie sollte den Einfluss aktueller (Juli 2004) Fußballschuhmodelle am Spielbein auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersuchen und quantifizieren. Zudem sollte kontrolliert der Einfluss des Schuhgewichts überprüft werden. Weiterhin sollte untersucht werden, wie Probanden ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schuhbedingungen einschätzen.

##### **Hintergrund:**

Mit dieser Studie sollte nochmalig, wie schon in Studie III und bei HENNIG und ZULBECK (1999), belegt werden, dass unterschiedliche Schuhmodelle sich auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß auswirken. Aus diesem Grunde kamen zwei weitere Schuhmodelle (APP und NAT) zum Einsatz.

Weiterhin sollte überprüft werden, ob sich eine systematische Gewichtserhöhung des gleichen Schuhmodells auf die Ballgeschwindigkeit und die Schwungphasenzeit beim Vollspannstoß auswirkt. Durch eine Gewichtserhöhung kann möglicherweise die effektive Masse des Systems aus Schussfuß und Schuh erhöht werden. Bleiben alle weiteren Einflussfaktoren gleich, sollte sich dies in einem größeren Impuls in der Kollisionsphase niederschlagen.

AMOS und MORAG (2002) konnten in einer Studie zur gleichen Thematik keine Veränderung der Ballgeschwindigkeit, wohl aber eine Erhöhung der Fußgeschwindigkeit, einhergehend mit geringerem Schuhgewicht, feststellen. Sie schlossen daher für ihr Studiendesign auf einen Kompensationsmechanismus zwischen Fußgeschwindigkeit und effektiver Masse des Fußes während der Schussaktion. Innerhalb der vorliegenden Einzelstudie kann durch die Ermittlung der Schwungphasenzeit eine Abschätzung der Fußgeschwindigkeit der Probanden vorgenommen werden.

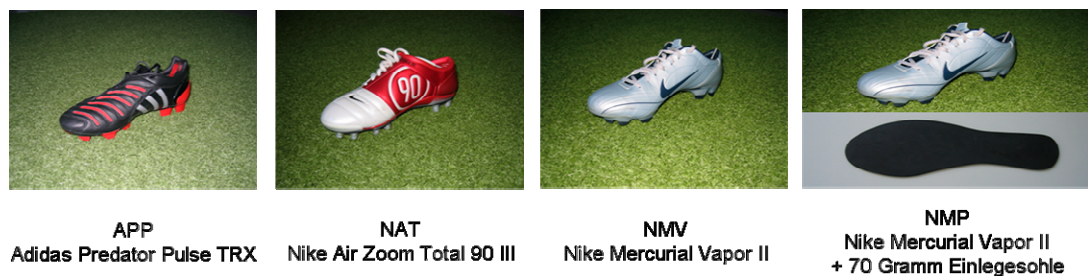
Generell zeigt sich das Schuhgewicht als ein interessanter Untersuchungsaspekt in der Sportschuhforschung. So konnte FREDERICK (1983) für das Ausdauerlaufen nachweisen, dass mit geringerem Schuhgewicht das Volumen der Sauerstoffaufnahme von Läufern bei gleicher Laufleistung sinkt. STERZING und

HENNIG (2006) konnten hingegen hinsichtlich der Sprintzeiten durch einen Geschwindigkeitsparcours für ansonsten gleiche Schuhmodelle mit 70 Gramm Gewichtsunterschied keinen Einfluss auf die erzielten Sprintzeiten feststellen. So bleibt festzuhalten, dass das Schuhgewicht als Einflussfaktor für sportliche Leistung immer aktionsspezifisch untersucht werden muss und pauschale Urteile zu vermeiden sind.

### Methodik:

Drei aktuelle Fußballschuhmodelle (Juli 2004) stellten die zu untersuchenden Schuhbedingungen dieser Studie dar. Ein Schuhmodell (NMP) wurde als weitere Schuhbedingung mit einer gummierten Einlegesohle bestückt, um das Schuhgewicht zu erhöhen. Nachfolgend befinden sich die verschiedenen Schuhbedingungen im Überblick (Abb. 4-26).

Abb. 4-26: Schuhbedingungen Studie IV



- |       |                             |    |                         |
|-------|-----------------------------|----|-------------------------|
| • APP | Adidas Predator Pulse 2 TRX | FG |                         |
| • NAT | Nike Air Zoom Total 90 III  | FG |                         |
| • NMV | Nike Mercurial Vapor II     | FG |                         |
| • NMP | Nike Mercurial Vapor II     | FG | + 70 Gramm Einlegesohle |



Abb. 4-27:  
Neutralschuh Studie IV

Am Standbein wurde in dieser Studie der *Nike Tiempo Premier E FG*, gemäß der Neutralschuhmethodik, getragen (Abb. 4-27).

Die in dieser Studie erfassten biomechanischen Parameter waren die Ballgeschwindigkeit, die Schwungphasenzeit sowie die Bodenreaktionskräfte beim Aufsatz des Standbeins. Der erfasste subjektiv-sensorische Parameter

war die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schuhbedingungen.

### Methodenkritik:

Kritisch ist bei dieser Studie anzumerken, dass die Gewichtserhöhung der Schuhbedingung NMP durch eine Einlegesohle bewerkstelligt wurde. Dies wiederum hat Auswirkungen auf die Passform und die Höhe des Fußes im Schuh. Um diese Umstände auszugleichen wurde für diese Schuhbedingung ein Schuh mit einer Halbnummer größer (US 9,5) als die ursprüngliche Schuhgröße, verwendet. Es ist hierbei zu beachten, dass bei der Konstruktion der Fußballschuhgrößen Nike US 9,0 und 9,5 sich nur die Maße des Schuhobermaterials hinsichtlich der Passform verändern dabei aber die Sohlenplatte von identischem Ausmaß ist.

### Ergebnisse und Interpretation:

#### Ballgeschwindigkeit

Die erzielte Ballgeschwindigkeit zeigt statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-28). Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 1,62km/h. Dies entspricht 1,68% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

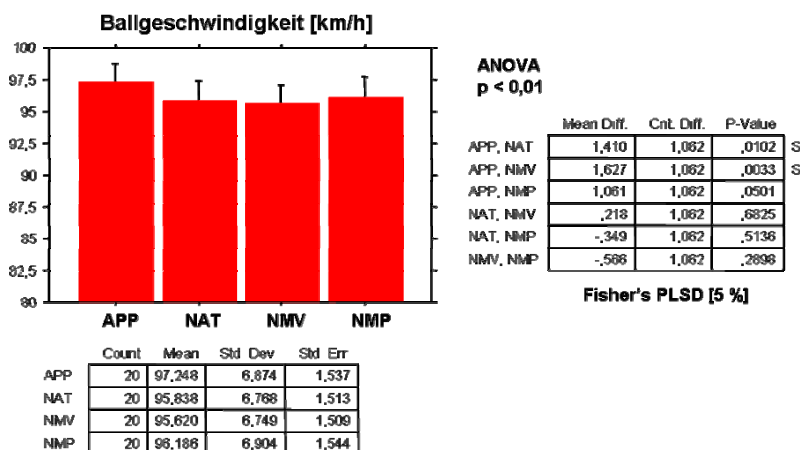


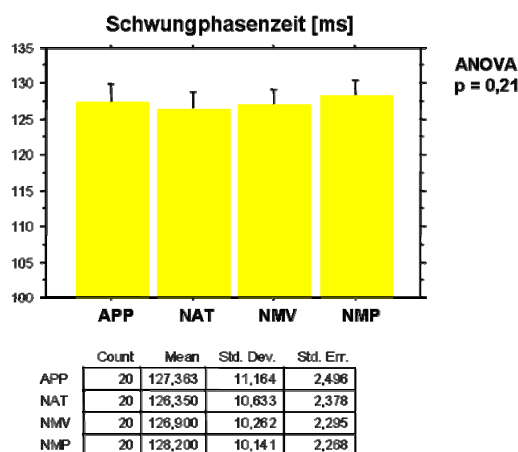
Abb. 4-28: Ballgeschwindigkeit Studie IV

Das Schuhmodell APP erzeugt eine höhere Schussgeschwindigkeit als die drei übrigen Schuhbedingungen ( $p < 0,01$ ). Zwischen den übrigen Schuhmodellen bestehen keine statistisch gesicherten Unterschiede. So wirkt sich das Zusatzgewicht im Schuhmodell NMP gegenüber dem ansonsten gleichen Schuhmodell NMV nicht auf die resultierende Ballgeschwindigkeit aus ( $p = 0,29$ ). Diese Beobachtung bestätigt die Aussage von AMOS und MORAG (2002), wonach ein höheres Schuhgewicht keinen Einfluss auf die erzielte Ballgeschwindigkeit nimmt.

Der unterschiedliche Aufbau der in dieser Studie verwendeten Schuhmodelle lässt keine abschließende Ursachenzuschreibung für die höhere Ballgeschwindigkeit der Schuhbedingung APP zu.

#### *Schwungphasenzeit*

Die Schwungphasenzeit zeigt keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-29).



**Abb. 4-29: Schwungphasenzeit Studie IV**

Daher bleibt festzuhalten, dass sich Gewichtsunterschiede innerhalb der normalen Bandbreite von Fußballschuhen nicht auf die Schwungphasenzeit auswirken.

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit*

Die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit weist keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Schuhbedingungen auf (Abb. 4-30).

Interessanterweise werden die beiden nur im Gewicht differierenden Schuhmodelle vom Typ *Nike Mercurial Vapor II FG* tendenziell als unterlegen gegenüber den anderen Schuhbedingungen eingeschätzt.

Sie stellen die Fußballschuhmodelle in dieser Studie dar, welche von ihrem Design am weitesten vom traditionellen Aufbau von Fußballschuhen entfernt sind.

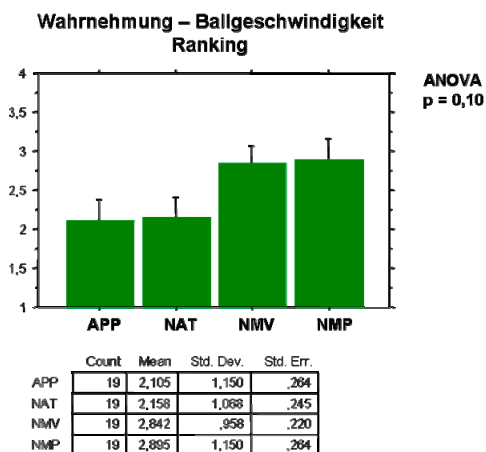


Abb. 4-30: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie IV

#### *Bodenreaktionskräfte*

Die relevanten Bodenreaktionskraftparameter zeigten keine Unterschiede hinsichtlich der Qualität des Anlaufs und des Einstemmverhaltens innerhalb dieser Studie. Im Einzelnen ergab die Varianzanalyse für das verwendete Schuhkollektiv folgende p-Werte für die jeweiligen Parameter: Resultierende Scherkraft ( $p=0,78$ ), Kraftanstiegsrate der Resultierenden Scherkraft ( $p=0,38$ ) und Zeit zur Resultierenden Scherkraft ( $p=0,11$ ).

#### **Ergebniszusammenfassung:**

- Zwischen aktuellen Fußballschuhmodellen (Juli 2004) bestehen statistisch signifikante Unterschiede hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß.
- Eine kontrollierte Gewichtserhöhung derselben Schuhbedingung beeinflusste weder die Ballgeschwindigkeit noch die Schwungphasenzeit.

- 
- Die Wahrnehmung der tatsächlichen Ballgeschwindigkeit innerhalb dieser Studie war den Probanden nicht möglich.
  - Der Anlauf und das Einstemmverhalten der Probanden in dieser Studie weisen anhand der aufgeführten Bodenreaktionskraftparameter keine Unterschiede auf und sind somit als gleich anzusehen. Dies bedeutet, dass die gezeigten Effekte rein auf die Konstruktion des Spielbeinschuhs zurückzuführen sind.

**Folgerung:**

Die Ergebnisse dieser Studie belegen nochmalig die Sinnhaftigkeit der Untersuchung der Thematik dieser Arbeit, da wiederum nachgewiesen wurde, dass unterschiedliche Schuhmodelle unterschiedlich hohe Ballgeschwindigkeiten beim Vollspannstoß bewirken. Mit dem Faktor Schuhgewicht konnte jedoch in dieser Studie ein kontrolliert und isoliert untersuchter potentieller Einflussfaktor in Übereinstimmung mit Erkenntnissen aus der Literatur (AMOS und MORAG 2002) ausgeschlossen werden.

#### 4.2.5 Studie V:

##### **Der Einfluss unterschiedlicher Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

###### **Ziel:**

Diese Basisstudie sollte den Einfluss der Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersuchen und quantifizieren. Weiterhin sollte untersucht werden, wie Probanden ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schuhbedingungen einschätzen können.

###### **Hintergrund:**

Es ist davon auszugehen, dass beim Vollspannstoß zentral getroffene Bälle eine höhere Ballgeschwindigkeit erreichen als dezentral getroffene Bälle, da der Impulstransfer in diesem Fall unter geringerem Energieverlust stattfindet.

Dezentral getroffene Bälle werden nicht nur insgesamt in Bewegung gesetzt, sondern in Abhängigkeit vom genauen Treffpunkt und der Spielbeingeschwindigkeit mehr oder weniger stark um ihre eigene Achse gedreht. Der so genannte Effet, eine Rotation des Balles, wird erzeugt (WANG und WIESE-BJORNSTAL 1994). Dieser ist unter anderem abhängig von den Materialeigenschaften des Schuhobermaterials, welches während der Kollisionsphase mit dem Ball interagiert, der Ausrichtung des Schussfußes relativ zum Ball und von der Geschwindigkeit, mit der sich das System Fuß/Schuh im Treffpunkt bewegt.

In diesem Zusammenhang berichten ASAI et al. (2005) von mittels Computersimulationen erzeugten Daten, die besagen, dass der Effet des Balles weniger von den Reibungseigenschaften zwischen Schuh und Ball als vom Treffpunkt des Balles abhängig ist. Schon 2002 berichteten ASAI et al., dass die Erzeugung einer Ballrotation sogar dann möglich ist, wenn der kinetische Reibungskoeffizient sich auf annähernd Null beläuft. Die Ursache für die Rotation des Balles liegt dabei in der lokalen Deformation des Balles begründet, welche die Rotation des Balles um seine eigene Achse bewirkt.

Weiterhin gilt es zu bedenken, dass bei einem dezentralen Stoß eine reibungsarme Interaktion zwischen Schuhobermaterial und Ball die vorhandene Bewegungsenergie als Wärme verloren gehen lassen kann, während eine reibungsintensive Interaktion

die Bewegungsenergie der funktionalen Einheit aus Fuß/Schuh in Effet des Balles umwandelt.

Zu beachten ist hinsichtlich der dargestellten Überlegungen, dass nach TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996) während der Kollisionsphase das System aus Fuß/Schuh und Ball einen gemeinsamen Weg von etwa 26cm zurücklegt. Auf diesem relativ langen Weg kann Energie transferiert, in Effet umgesetzt oder auch in Wärme umgewandelt werden.

Die Hauptanforderung dieser Studienreihe, die Ausführung eines maximalen Vollspannstoßes, hat zur Folge, dass die Probanden versuchen, ihre Fußgeschwindigkeit zu maximieren. Dies kann dazu führen, dass die Exaktheit des Treffpunktes beeinträchtigt wird und der Ball dezentral getroffen wird. Aus sportmotorischer Sicht weisen Bewegungen von hoher Genauigkeit einen submaximalen Geschwindigkeitscharakter auf. Die Zentralität des Treffpunktes ist mit dem in dieser Studienreihe verwendeten Untersuchungsdesign jedoch nicht festzustellen. Der nicht exakt zentrale Treffpunkt ist ein Vorgang, der in der Sportpraxis fortwährend vorkommt und es ist davon auszugehen, dass nahezu alle Vollspannstöße zumindest minimal dezentral getroffen werden.

Diese Studie sollte daher untersuchen, ob ein systematischer Einfluss von unterschiedlichen Reibungseigenschaften verschiedener Schuhobermaterialien auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß vorliegt.

#### **Methodik:**

Zur kontrollierten Modifikation der Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials wurden speziell gefertigte Kappenkonstruktionen verwendet. Um alle weiteren Schuheigenschaften konstant zu halten wurde als Basis in dieser Studie jeweils dasselbe Schuhmodell verwendet, der *Nike Mercurial Vapor II FG* (Abb. 4-31).

Die Kappenkonstruktionen waren zunächst aus einem neutralen Träger gefertigt (Abb. 4-32). Dieser diente der Befestigung der Gesamtkonstruktion, einschließlich der darauf aufgetragenen unterschiedlichen Obermaterialien, am Fußballschuh.



**Abb. 4-31:**  
**Schuhbasis Studie V**





**Abb. 4-32: Kappenkonstruktion – neutraler Träger**

Die ausgewählten Obermaterialien wiesen jeweils unterschiedliche Reibungseigenschaften in der Interaktion mit dem verwendeten Ball, dem *Nike Geo Merlin Vapor*, der Firma Nike, Inc. auf.

Die Kappenkonstruktionen wurden von einem Orthopädienschuhtechniker angefertigt. Zuvor wurde eine Vielzahl verschiedener Materialien aus den unterschiedlichsten Bereichen, beispielsweise Beläge von Tischtennisschlägern, Antirutschbeläge aus dem Segelsport, spezifische Werkstoffe aus der Orthopädienschuhtechnik sowie weitere Textilien auf ihre Reibungseigenschaften in der Interaktion mit dem Ballobermaterial getestet. So konnte eine gestaffelte Bandbreite von Schuhmodifikationen bezüglich der Reibungseigenschaften verwendet werden. Innerhalb dieses Testverfahrens wurden auch die in der Fußballschuhkonstruktion verwendeten Materialien Känguruleder und das Synthetikmaterial KNG 100 G hinsichtlich ihrer Reibungseigenschaften getestet. Dies stellte sicher, dass die Bandbreite der verwendeten Testmaterialien die momentan produzierten Reibungseigenschaften von Fußballschuhen einschloss.

Die Reibungstests wurden mittels eines Kistler Quarzes vom Typ 9321 A mit einer Empfindlichkeit von 3,99pC/N und einem Messbereich von  $\pm 10000$  Newton durchgeführt. Sie bestanden aus Zugversuchen eines mit Gewicht beschwerten, losgelösten Stück der Oberfläche des verwendeten Balltyps auf den jeweiligen Testmaterialien. Je höher die Kraft, die aufgewendet werden musste, um das beschwerte Stück Ballmaterial zu bewegen, desto höher die interaktive Reibung mit dem jeweiligen Testmaterial.

Als geeignet zur Erzeugung niedriger Reibungseigenschaften stellten sich Beläge aus dem Bereich der Orthopädienschuhtechnik heraus, KR1 und KR2. Als geeignet zur Erzeugung hoher Reibungseigenschaften erwiesen sich Beläge für Tischtennisschläger, welche in den Schuhbedingungen KR3 und KR4 zur Anwendung kamen. Alle verwendeten Materialien wiesen eine unprofilierte

Oberfläche auf, um so den Einfluss unterschiedlicher geometrischer Oberflächenbeschaffenheit auszuschließen. Die Schuhbedingungen sind nachfolgend im Überblick abgebildet (Abb. 4-33).

**Abb. 4-33: Schuhbedingungen Studie V**



- KR1 geringe Reibung (geringere Reibung als reguläres Schuhobermaterial)
- KR2 reguläre Reibung (ähnliche Reibung wie reguläres Schuhobermaterial)
- KR3 hohe Reibung (höhere Reibung als reguläres Schuhobermaterial)
- KR4 sehr hohe Reibung (viel höhere Reibung als reguläres Schuhobermaterial)

Das Schuhmodell *Nike Mercurial Vapor II FG* wurde innerhalb dieser Studie auch als Neutralschuh am Standbein der Probanden verwendet.

Die in dieser Studie erfassten biomechanischen Parameter waren die Ballgeschwindigkeit, die Schwungphasenzeit sowie die Bodenreaktionskräfte beim Aufsatz des Standbeins. Der erfasste subjektiv-sensorische Parameter war die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schuhbedingungen.

#### **Methodenkritik:**

Kritisch ist bei dieser Studie anzumerken, dass eine nicht zu bestimmende Interaktion zwischen dem Schuh und den verwendeten Kappenkonstruktionen nicht vollständig auszuschließen ist. Minimale Unterschiede hinsichtlich der Passgenauigkeit der vier verwendeten Kappenkonstruktionen können die Interaktion zwischen dem System Fuß/Schuh und Ball verändern.

Zudem mag es minimale Unterschiede in Bezug auf die stoßabsorbierenden Eigenschaften der verwendeten Materialien geben. Diese waren jedoch nicht quantifizierbar.

Es ist auch denkbar, dass sich die Reibungseigenschaften der verschiedenen Materialien über die Studie hinweg durch die hohe Anzahl von Schüssen verändert

haben. Hierfür zeigten sich vor allem die Materialien der Schussbedingungen KR3 und KR4 anfällig. Daher wurden für diese Reibungsbedingungen jeweils zwei Kappenkonstruktionen gefertigt, so dass nach der Hälfte der Messungen die Kappenkonstruktionen ausgetauscht werden konnten.

Insgesamt ist jedoch davon auszugehen, dass diese kritisch angemerkten Aspekte weniger Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit ausübten als die stark unterschiedlichen Reibungseigenschaften.

### Ergebnisse und Interpretation:

#### *Ballgeschwindigkeit*

Die unterschiedlichen Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials unterschieden sich nicht statistisch signifikant bezüglich der erzielten Ballgeschwindigkeit ( $p=0,07$ ) (Abb. 4-34). Tendenziell wies jedoch die Schuhbedingung KR2 die höchste Ballgeschwindigkeit auf.

Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 1,17km/h. Dies entspricht 1,23% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

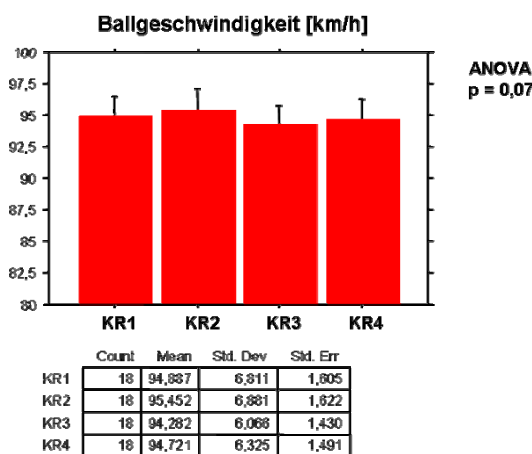


Abb. 4-34: Ballgeschwindigkeit Studie V

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit*

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ergab zwischen den einzelnen Schuhbedingungen keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,78$ ) (Abb. 4-35).

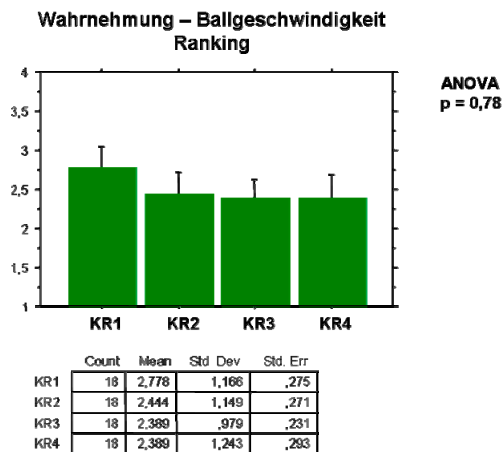


Abb. 4-35: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie V

#### *Schwunghphasenzeit*

Die Schwunghphasenzeit wies, wie in dieser Studie beabsichtigt und auch erwartungsgemäß, keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Schuhbedingungen auf ( $p=0,77$ ).

#### *Bodenreaktionskräfte*

Die relevanten Bodenreaktionskraftparameter zeigten ebenfalls keine Unterschiede hinsichtlich der Qualität des Anlaufs und des Einstemmverhaltens innerhalb dieser Studie. Im Einzelnen ergab die Varianzanalyse folgende Werte für die jeweiligen Parameter: Resultierende Scherkraft ( $p=0,80$ ), Kraftanstiegsrate der Resultierenden Scherkraft ( $p=0,94$ ) und Zeit zur Resultierenden Scherkraft ( $p=0,70$ ).

#### **Ergebniszusammenfassung:**

- Unterschiedliche Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials haben keinen statistisch signifikanten, jedoch einen tendenziellen, Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit.
- Tendenziell erzielen Probanden mit der Schuhbedingung die höchste Ballgeschwindigkeit, die am nächsten am regulär verwendeten Schuhobermaterial hinsichtlich ihrer Reibungseigenschaften liegt.

**Folgerung:**

Die Beschaffenheit der Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials kann nicht eindeutig als entscheidender Einflussfaktor hinsichtlich der Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit angesehen werden. Innerhalb dieser Studie wurde dies jedoch nur für unstrukturierte Oberflächen geprüft. Eine Aussage bezüglich geometrisch unterschiedlicher Schuhobermaterialien mit differierenden Materialprofil kann daher auf Basis dieser Studie nicht getroffen werden und sollte in einer weiteren Studie untersucht werden.

#### 4.2.6 Studien VI-IX:

##### **Der Einfluss der Schuhaußensohlensteifigkeit auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß**

Das nachfolgende Kapitel behandelt die Einzelstudien VI, VII, VIII und IX gemeinsam. Alle Studien basieren auf dem gleichen Grundgedanken, der Beeinflussung der Ballgeschwindigkeit durch die Modifikation der Steifigkeit der Schuhaußensohle. Aus diesem Grunde werden die Abschnitte: Ziel, Hintergrund, Methodik und Methodenkritik für alle vier Einzelstudien gemeinsam vorgestellt. Zum besseren Überblick werden dann in diesem Kapitel die verwendeten Schuhbedingungen direkt angelehnt an die Ergebnisse und Interpretation vorgestellt. Die Abschnitte 'Schuhbedingungen, Ergebnisse und Interpretation', Zusammenfassung und Folgerung werden dann für die jeweilige Einzelstudie separat dargestellt. Abschließend erfolgt eine komplette Zusammenfassung der Thematik Schussgeschwindigkeit und Schuhaußensohlensteifigkeit sowie die Folgerung aus den vier vorgestellten Einzelstudien als Gesamtinterpretation.

#### **Ziel:**

Diese Serie von Anwendungsstudien sollte den Einfluss unterschiedlicher Steifigkeiten der Schuhaußensohle der Fußballschuhmodelle am Spielbein auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersuchen und quantifizieren. Weiterhin sollte untersucht werden, wie Probanden ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit einschätzen.

#### **Hintergrund:**

Die Notwendigkeit der Untersuchung unterschiedlicher Außensohlensteifigkeiten ergibt sich unter anderem aus dem Literaturbeitrag von HENNIG und ZULBECK (1999). Die Autoren entwickelten eine Messtechnik, die es erlaubt, die Deformation der Außensohle während der Kollisionsphase beim Vollspannstoß zu erfassen. Für unterschiedliche Fußballschuhmodelle (M-01 bis M-05) zeigten sie unterschiedlich starke Deformationen der Schuhaußensohle auf. Ebenso ermittelten sie unterschiedliche Ballgeschwindigkeiten innerhalb des verwendeten Schuhkollektivs (Abb. 4-36). Ein Zusammenhang zwischen der erzielten Ballgeschwindigkeit und der Deformation der Außensohle konnte jedoch nicht hergestellt werden.

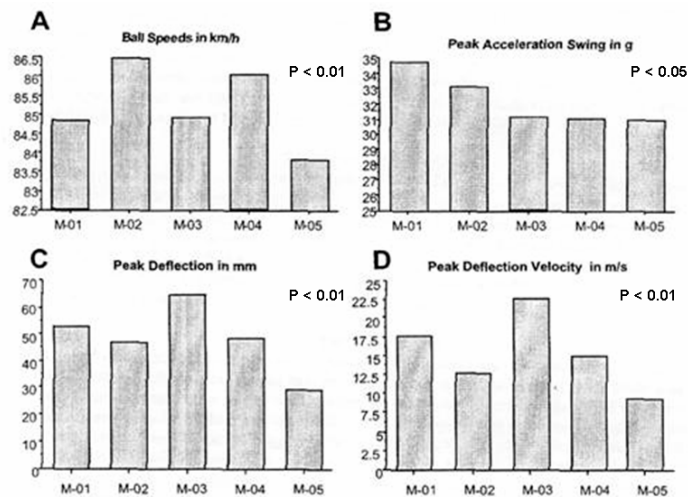


Abb. 4-36: Vollspannstoßparameter (HENNIG und ZULBECK 1999)

Nichtsdestotrotz ist ein inhaltlicher Zusammenhang zwischen den beiden erwähnten Parametern, losgelöst von bisher existierenden Daten, rein inhaltlich durchaus zu begründen.

Aus mechanischer Sichtweise sind dabei vier verschiedene Wirkungsweisen denkbar:

- Eine sehr steife Außensohle mit geringer Nachgiebigkeit könnte die Verformung und damit den Energieverlust innerhalb des Systems aus Fuß/Schuh während der Kollisionsphase verhindern und daher die resultierende Ballgeschwindigkeit erhöhen.
- Andererseits könnte eine sehr steife Außensohle auch die initiale Plantarflexion des Fußes zu Beginn der Kollisionsphase behindern und so eine geringere Rigidität des Schussfußes zur Folge haben. Dies könnte die resultierende Ballgeschwindigkeit verringern.
- Eine sehr flexible und biegsame Außensohle mit hoher Nachgiebigkeit könnte eine größere aktive Plantarflexion im oberen Sprunggelenk vor der Kollisionsphase zwischen dem System aus Fuß/Schuh und Ball ermöglichen und so zu weniger Energieverlust während der Kollisionsphase führen. Die höhere willkürliche Plantarflexion zu Beginn der Kollisionsphase könnte dazu beitragen, die resultierende Ballgeschwindigkeit zu erhöhen.

- Genauso könnte diese höhere Flexibilität der Schuhaußensohle sich in der Kollisionsphase negativ durch eine stärkere Verformung auswirken, was wiederum zu Energieverlust führen würde und in dessen Konsequenz die resultierende Ballgeschwindigkeit verringern würde.

Eine ganz andere Überlegung wäre, dass ein gewisser Rückstellmechanismus des Schuhs über seine mechanische Beschaffenheit der Außensohle die biologischen Strukturen des Unterschenkel/Fuß Komplexes während der Kollisionsphase hinsichtlich der Beschleunigung des Balles unterstützt. Dieser Mechanismus ist dann mit der Wirkungsweise der Besaitung eines Tennisschlägers beim Schlagen von Tennisbällen vergleichbar.

Eine Problematik der Untersuchung dieser Thematik liegt in der kontrollierten Herstellung der benötigten Schuhtypen begründet. Die Herstellung von gradierten Schuhaußensohlensteifigkeiten, welche sich homogen über die gesamte Sohlenfläche hinweg ziehen, stellt eine Herausforderung auch für die etablierten Schuhhersteller dar.

Eine weitere Problematik liegt in der validen Messbarkeit der Deformation der Außensohle. Diesbezüglich erscheinen die gemachten Angaben zur Deformation der Außensohle von bis zu 65mm, in absoluten Zahlen, nach HENNIG und ZULBECK (1999) zu hoch und nicht realistisch. Es ist hier anzumerken, dass bei solch hochfrequenten Abläufen, wie sie während der Kollisionsphase beim Vollspannstoß auftreten, durch die aktuell vorhandene biomechanische Messtechnik, methodische Grenzen gesetzt werden.

### **Methodik:**

Die Methodik dieser verschiedenen Einzelstudien zur Außensohlensteifigkeit war analog zu der allgemein vorgestellten Methodik der gesamten Untersuchungsreihe dieser Arbeit. Sie wird demzufolge nicht nochmals detailliert erläutert. In der Ergebnisdarstellung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur auf die jeweils relevanten erhobenen Parameter eingegangen.

Da auf Grund der Beschaffenheit der verwendeten Prototypen die Stollenkonfiguration der einzelnen Schuhbedingungen nicht verändert worden ist, wurde innerhalb dieser Studienreihe auf die Verwendung der Neutralschuhmethodik



verzichtet. Die Probanden trugen daher komplette Paare der jeweiligen Schuhmodelle.

Für alle dieser vier Studien gilt die Annahme, dass sich das Anlaufverhalten der Probanden nicht verändert hat, was auf Grund der homogenen Schuhkollektive auch nicht zu erwarten gewesen ist. Messtechnisch konnte dies jedoch nur für die Studien VIII und IX mittels Bodenreaktionskraftmessungen und der Messung der Schwungphasenzeit belegt werden. In den Studien VI und VII wurden diese Parameter nicht erhoben. Auf eine graphische Darstellung der genannten Parameter wird innerhalb dieser Arbeit verzichtet.

Der in dieser Studie erfasste biomechanische Parameter war die Ballgeschwindigkeit. Der erfasste subjektiv-sensorische Parameter war die Wahrnehmung der mittleren Ballgeschwindigkeit in den einzelnen Schuhbedingungen.

#### **Methodenkritik:**

Kritisch an der Durchführung dieser vier einzelnen Studien ist anzumerken, dass, auch auf Grund fehlender gesicherter Erkenntnisse aus den jeweiligen Studien, keine grundlegende Systematik innerhalb der vier Studien deutlich werden kann. Auf Grund der messtechnischen Limitationen der Thematik der Außensohlensteifigkeit konnte dies jedoch auch nicht mittels weiterführenden biomechanischen Messdaten erfolgen.

#### **Studie VI:**

##### **Schuhbedingungen, Ergebnisse und Interpretation:**

Die Schuhbedingungen dieser Studie waren Prototypen des *Nike Mercurial Vapor III FG* und unterschieden sich in der Steifigkeit der Außensole. Die verschiedenen Steifigkeiten sind nicht mechanisch oder materialtechnisch quantifiziert worden. Zusätzlich wurde das aktuelle Schuhmodell *Nike Mercurial Vapor II FG* getestet. Die Schuhbedingungen waren wie folgt:

- |           |                                   |                                 |
|-----------|-----------------------------------|---------------------------------|
| • 8798-Z  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | geringe Außensohlensteifigkeit  |
| • LV23H-Z | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | mittlere Außensohlensteifigkeit |
| • LC3H-Z  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | hohe Außensohlensteifigkeit     |
| • NMV     | Nike Mercurial Vapor II           | aktuelles Schuhmodell           |

Zu den Produktionsbedingungen der Außensole der einzelnen Schuhbedingungen können keine weiteren Angaben gemacht werden.

Neben der jeweils unterschiedlichen Außensohlensteifigkeit unterschieden sich die drei Prototypen vom aktuellen Schuhmodell durch eine größere Zehenboxhöhe (Abb. 4-37). Dies ist aus der Perspektive der Schuhorthopädie eine deutliche Veränderung der Schuhkonstruktion. Für den unbelasteten Zustand bedeutet dies eine Anhebung der Zehen. Es entsteht ein kleinerer dorsaler Zehengrundgelenkwinkel ( $<180^\circ$ ). Für den Belastungszustand wurden keine Parameter zur Quantifizierung einer solchen Veränderung in der Schuhkonstruktion erhoben.



Abb. 4-37: Schuhbedingungen Studie VI

### Ballgeschwindigkeit

Die erzielte Ballgeschwindigkeit zeigt statistisch signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen. Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss der Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 1,84km/h (Abb. 4-38).

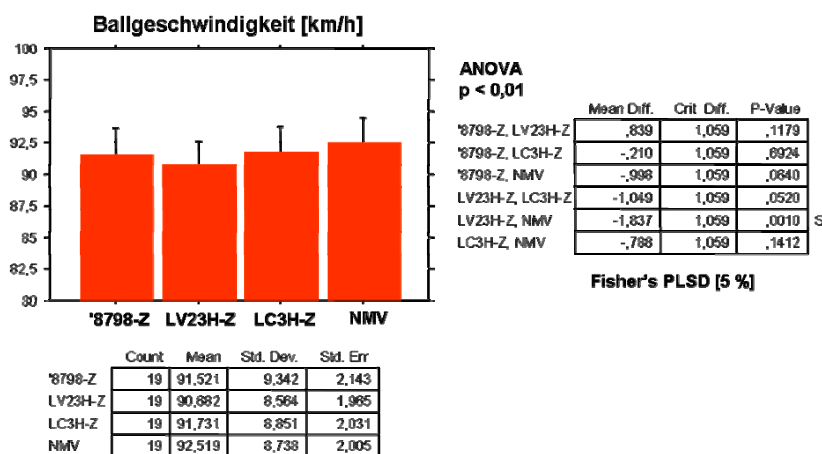


Abb. 4-38: Ballgeschwindigkeit Studie VI

Dies entspricht 2,01% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeiten. Das Schuhmodell NMV erzeugt dabei eine statistisch signifikant höhere Schussgeschwindigkeit als das Schuhmodell LV23H ( $p < 0,05$ ) und eine tendenziell höhere Schussgeschwindigkeit gegenüber den anderen Schuhbedingungen. Zwischen den Prototypen bestehen keine statistisch gesicherten Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit.

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit*

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ergab zwischen den einzelnen Schuhbedingungen keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p = 0,22$ ).

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Schuhmodelle*

In den Kommentaren zu den einzelnen Schuhmodellen fällt auf, dass 12 von 19 Probanden die größere Zehenboxhöhe der einzelnen Prototypen bemerkten. Dabei assoziierten sie diese mit höheren plantaren Druckwerten im Vorfußbereich und empfanden sie letztlich als negativ. Verteilt auf die drei Prototypen wurden insgesamt 22 derartiger Kommentare abgegeben. Dies deutet darauf hin, dass die Prototypen im Gegensatz zum aktuellen Schuhmodell als weniger bequem eingestuft werden. Es liegt daher nahe, die geringere Bequemlichkeit als solche und/oder die größere Zehenboxhöhe als mechanischer Aspekt als Grund für die geringere Ballgeschwindigkeit dieser Schuhbedingungen in Betracht zu ziehen.

#### **Ergebniszusammenfassung:**

- Im Vergleich zum aktuellen Schuhmodell erzielen die Prototypen geringere Ballgeschwindigkeiten.
- Innerhalb des Kollektivs der Prototypen haben die unterschiedlichen Steifigkeiten der Außensohle keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die resultierende Ballgeschwindigkeit ausgeübt.
- Mögliche Ursachen für die geringere Ballgeschwindigkeit in den Prototypen sind zum einen ein geringeres Bequemlichkeitsempfinden und zum anderen die schuhmechanische Vergrößerung der Zehenboxhöhe.

**Folgerung:**

Aus dieser Studie lassen sich keine systematischen Erkenntnisse bezüglich des Einflusses von unterschiedlichen Außensohlensteifigkeiten hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß gewinnen.

Erklärungsansätze für das biomechanische Verhalten der Schuhmodelle in Bezug auf Bequemlichkeit und vergrößerte Zehenboxhöhe in dieser Studie lassen sich später im Zusammenhang mit den Erkenntnissen der Studie II ziehen.

**Studie VII:****Schuhbedingungen, Ergebnisse und Interpretation:**

Die Schuhbedingungen dieser Studie waren Prototypen des *Nike Mercurial Vapor III FG* und unterschieden sich in der Steifigkeit der Außensohle. Die verschiedenen Steifigkeiten sind nicht mechanisch oder materialtechnisch quantifiziert worden. Zusätzlich wurde das aktuelle Schuhmodell *Nike Mercurial Vapor II FG* getestet. Die Schuhbedingungen waren wie folgt:

• 8798	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	geringe Außensohlensteifigkeit
• L20G	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	mittlere Außensohlensteifigkeit
• LV23H	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	erhöhte Außensohlensteifigkeit
• LC3H	Nike Mercurial Vapor III Prototyp	hohe Außensohlensteifigkeit
• NMV	Nike Mercurial Vapor II	aktuelles Schuhmodell

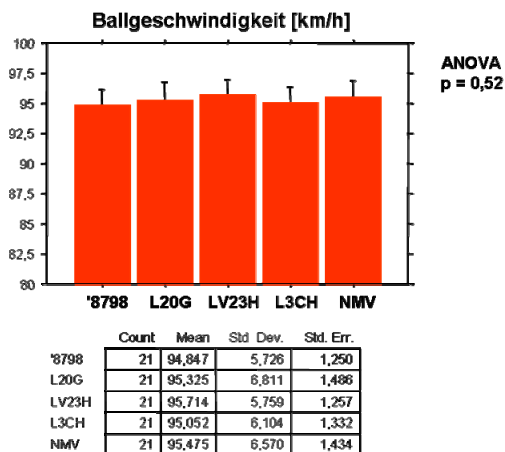
Für diese Studie können keine Angaben zu den Produktionsbedingungen der einzelnen Schuhe gemacht werden. Im Gegensatz zu den Prototypen der Studie VI wiesen die in dieser Studie VII verwendeten Prototypen die gleiche reguläre Zehenboxhöhe wie das aktuelle Schuhmodell auf (Abb. 4-39).



**Abb. 4-39: Schuhbedingungen Studie VII**

*Ballgeschwindigkeit*

Die erzielte Ballgeschwindigkeit zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,52$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-40). Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei 0,86km/h. Dies entspricht 0,90% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.



**Abb. 4-40: Ballgeschwindigkeit Studie VII**

*Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit*

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ergab zwischen den einzelnen Schuhbedingungen keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,24$ ).

*Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Schuhmodelle*

In den Kommentaren zu den einzelnen Schuhmodellen gibt es keine Anzeichen für eine höhere oder niedrigere Präferenz bezüglich eines bestimmten Schuhmodells innerhalb dieser Einzelstudie.

**Ergebniszusammenfassung:**

- Die verwendeten Prototypen dieser Studie weisen keinen Unterschied hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit im Vergleich zum verwendeten aktuellen Schuhmodell auf.

- Innerhalb des Schuhkollektivs dieser Einzelstudie haben die unterschiedlichen Steifigkeiten der Außensohle unter den verwendeten Prototypen keinen Einfluss auf die resultierende Ballgeschwindigkeit.

### **Folgerung:**

Aus dieser Studie lassen sich keine systematischen Schlüsse bezüglich des Einflusses von Außensohlensteifigkeiten hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ziehen. Diese Studie sagt, dass die verwendeten unterschiedlichen Außensohlensteifigkeiten die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß nicht beeinflussen.

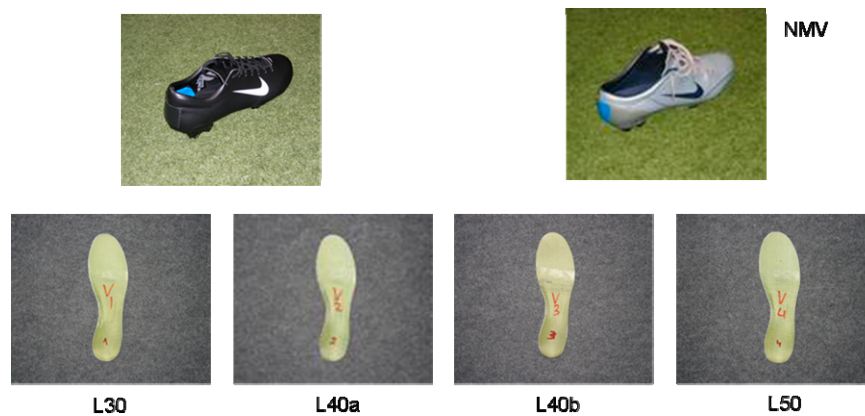
Im Zusammenhang mit der Einzelstudie VI erlauben die Ergebnisse dieser Studie eine besser fundierte Interpretation des Aspekts der Auswirkung der unterschiedlichen Zehenboxhöhe. So scheint eine größere Zehenboxhöhe über den Mechanismus der geringeren Bequemlichkeit oder über unterlegene biomechanische Eigenschaften die resultierende Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu verringern. Eine reguläre Zehenboxhöhe aller verwendeten Schuhmodelle in dieser Studie VII resultierte in statistisch gleichen Ballgeschwindigkeiten

### **Studie VIII:**

#### **Schuhbedingungen, Ergebnisse und Interpretation:**

Die Schuhbedingungen dieser Studie waren Prototypen des *Nike Mercurial Vapor III FG* und unterschieden sich in der Steifigkeit der Außensohle. Die verschiedenen Steifigkeiten sind nicht mechanisch oder materialtechnisch quantifiziert worden. Zusätzlich wurde das aktuelle Schuhmodell *Nike Mercurial Vapor II FG* getestet. Die Schuhbedingungen waren wie folgt:

- |        |                                   |                                   |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| • L30  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | geringe Außensohlensteifigkeit    |
| • L40a | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | mittlere Außensohlensteifigkeit a |
| • L40b | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | mittlere Außensohlensteifigkeit b |
| • L50  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | hohe Außensohlensteifigkeit       |
| • NMV  | Nike Mercurial Vapor II           | aktuelles Schuhmodell             |



**Abb. 4-41: Schuhbedingungen Studie VIII**

Die Konstruktionsbedingungen der in dieser Studie verwendeten Prototypen unterschieden sich in der Schichtenanzahl der eingesetzten Karbonfasern der Strukturplatte in der Schuhaußensohle (Abb. 4-41). Verwendet wurden drei Schichten (L30), vier Schichten (L40a, L40b) und fünf Schichten (L50).

Zudem unterschied sich das Kollektiv der in dieser Studie verwendeten Prototypen vom aktuellen Modell des *Nike Mercurial Vapor II FG* durch eine innovative Gestaltung des Fersenbereichs. Bei den Prototypen wurde die Ferse der Schuhmodelle von innen im Bereich des Achillessehnenansatzes mit weichem Material ausgepolstert. Das Ziel dieser Auspolsterung war es die Schuheigenschaften Passform und Bequemlichkeit in diesem Bereich zu erhöhen.

Zur Überprüfung der Wirkungsweise dieser Maßnahme wurde in dieser Studie zusätzlich der subjektiv-sensorische Parameter der Bequemlichkeit erhoben. Dies ermöglichte auch eine grundsätzliche Betrachtung des Einflusses von Bequemlichkeit auf den Parameter der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Die Wahrnehmung der mittleren Bequemlichkeit einer jeden Schuhbedingung hinsichtlich der sechs Schussversuche wurde direkt nach Absolvierung der jeweiligen Schusserie von den Probanden auf einer an den Enden verankerten Rating-Skala von 1 (sehr bequem) bis 9 (sehr unbequem) quantifiziert (Kap. 8.3).

#### *Ballgeschwindigkeit*

Die erzielte Ballgeschwindigkeit zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,66$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-42). Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei

0,89km/h. Dies entspricht 0,97% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

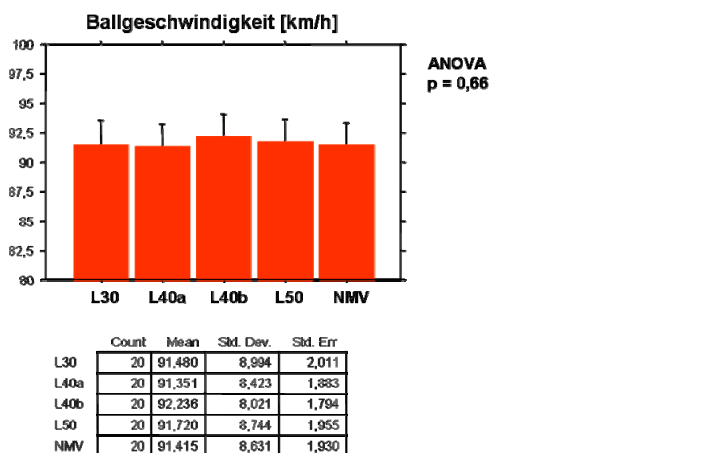


Abb. 4-42: Ballgeschwindigkeit Studie VIII

#### Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ergab zwischen den einzelnen Schuhbedingungen keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p=0,17$ ).

#### Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Bequemlichkeit

Die Wahrnehmung der Bequemlichkeit ergab statistisch hochsignifikante Unterschiede zwischen den Schuhbedingungen ( $p<0,01$ ) (Abb. 4-43).

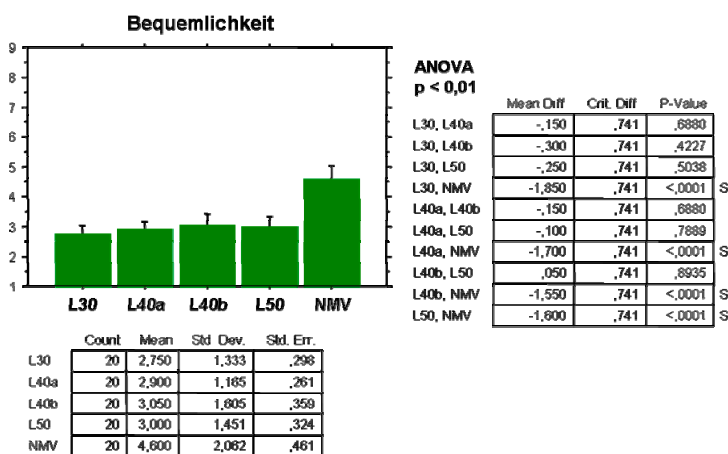


Abb. 4-43: Wahrnehmung Bequemlichkeit Studie VIII



Alle Prototypen wurden gegenüber dem aktuellen Schuhmodell *Nike Mercurial Vapor II FG* als bequemer wahrgenommen ( $p < 0,01$ ). Zwischen den einzelnen Prototypen gab es keine signifikanten Unterschiede zu verzeichnen.

#### *Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Schuhmodelle*

Es wurden keine weiteren erwähnenswerten Kommentare hinsichtlich der einzelnen Schuhmodelle dieser Studie seitens der Probanden abgegeben.

#### **Ergebniszusammenfassung:**

- Die verwendeten Prototypen dieser Studie weisen keine Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit im Vergleich zum verwendeten aktuellen Schuhmodell auf.
- Innerhalb des Schuhkollektivs dieser Einzelstudie haben die unterschiedlichen Steifigkeiten der Außensohle unter den verwendeten Prototypen keinen Einfluss auf die resultierende Ballgeschwindigkeit.
- Die innovative Fersenauspolsterung der in dieser Studie verwendeten Prototypen steigerte eindeutig die Bequemlichkeit der Schuhe gegenüber dem aktuellen, verwendeten Schuhmodell.
- Die höhere Bequemlichkeit der Prototypen wirkte sich nicht in einer höheren Ballgeschwindigkeit aus.

#### **Folgerung:**

Aus dieser Studie lassen sich keine systematischen Erkenntnisse bezüglich des Einflusses von Außensohlensteifigkeiten hinsichtlich der resultierenden Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ziehen. Der Aspekt der Außensohlensteifigkeit hat auch hier keinen Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß ausgeübt. Eine Verbesserung der Bequemlichkeitseigenschaften im Fersenbereich von Fußballschuhen hat keinen Einfluss auf die von Fußballern erzielte maximale Ballgeschwindigkeit.

**Studie IX:****Schuhbedingungen, Ergebnisse und Interpretation:**

Die Schuhbedingungen dieser Studie waren Prototypen des *Nike Mercurial Vapor III FG* und unterschieden sich in der Steifigkeit der Außensohle. Die verschiedenen Steifigkeiten sind nicht mechanisch oder materialtechnisch quantifiziert worden. Zusätzlich wurde das aktuelle Schuhmodell *Adidas Predator Pulse 2 TRX FG* getestet. Dieses Schuhmodell hat in der Einzelstudie IV die statistisch signifikant höchste Schussgeschwindigkeit erzielt und ist als das bisher beste getestete Schuhmodell hinsichtlich der Fragestellung dieser Arbeit anzusehen. Die Schuhbedingungen waren wie folgt (Abb. 4-44):

- |        |                                   |                                   |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| • L30  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | geringe Außensohlensteifigkeit    |
| • L40a | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | mittlere Außensohlensteifigkeit a |
| • L45  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | höhere Außensohlensteifigkeit     |
| • L50  | Nike Mercurial Vapor III Prototyp | hohe Außensohlensteifigkeit       |
| • APP  | Adidas Predator Pulse 2 TRX FG    | aktuelles Schuhmodell             |



**Abb. 4-44: Schuhbedingungen Studie IX**

Die Konstruktionsbedingungen der in dieser Studie verwendeten Prototypen unterschieden sich in der Schichtenanzahl der eingesetzten Karbonfasern der Strukturplatte in der Schuhaußensohle. Verwendet wurden drei Schichten (L30), vier Schichten (L40a), 4,5 Schichten (L45) und fünf Schichten (L50).

*Ballgeschwindigkeit*

Die erzielte Ballgeschwindigkeit zeigte statistisch hochsignifikanten Unterschiede ( $p < 0,01$ ) zwischen den einzelnen Schuhbedingungen (Abb. 4-45). Der maximal zu verzeichnende Schuheinfluss dieser Studie auf die Ballgeschwindigkeit liegt bei

3,01km/h. Dies entspricht 3,11% der im Mittel aller Schuhbedingungen erzielten Ballgeschwindigkeit.

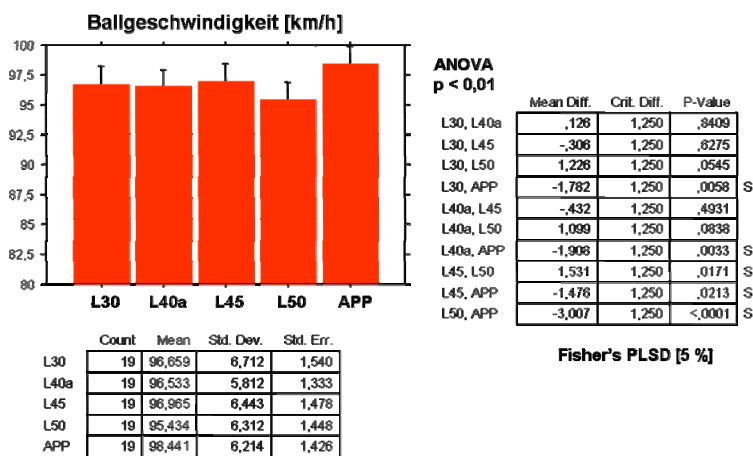


Abb. 4-45: Ballgeschwindigkeit Studie IX

Es fällt auf, dass das Schuhmodell APP gegenüber allen andern Schuhbedingungen statistisch signifikant deutlich höhere Ballgeschwindigkeiten erzielt ( $p < 0,05$  und  $p < 0,01$ ).

Innerhalb der Prototypen erzielt nur die Schuhbedingung L45 gegenüber der Schuhbedingung L50 eine statistisch gesicherte höhere Ballgeschwindigkeit ( $p < 0,05$ ). Es ist erstaunlich, dass gerade dieser Vergleich statistisch signifikant ausfällt, da die beiden Schuhbedingungen bezüglich der einzigen Modifikation Außensohlensteifigkeit innerhalb des Kollektivs der Prototypen eng beieinander liegen.

Es bleibt festzuhalten, dass die Schuhbedingung mit der höchsten Steifigkeit der Außensohle die geringste Ballgeschwindigkeit erzeugt. Weiterhin lässt sich vermuten, dass das Optimum der Schuhaußensohlensteifigkeit für die Ballgeschwindigkeit innerhalb des zur Verfügung stehenden Bereiches der verwendeten Schuhbedingungen liegt. Dies bedeutet, dass weder sehr geringe Steifigkeiten noch sehr hohe Steifigkeiten die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß maximieren können.

### Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit ergab zwischen den einzelnen Schuhbedingungen statistisch hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,01$ ) (Abb. 4-46).

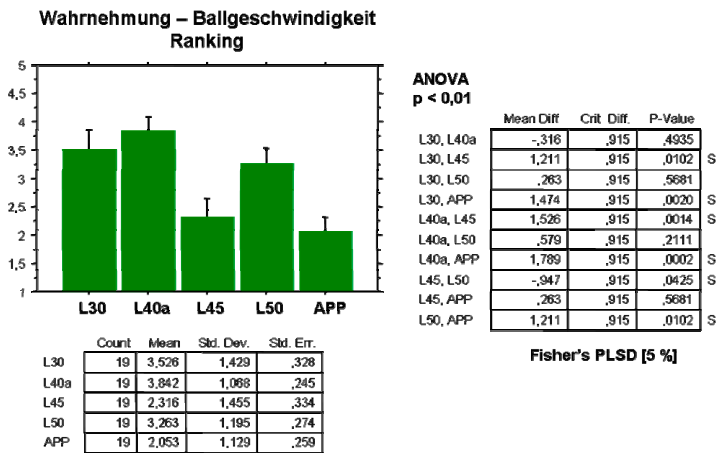


Abb. 4-46: Wahrnehmung Ballgeschwindigkeit Studie IX

Die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit des Gesamtkollektivs stimmt mit den Ergebnissen der tatsächlichen Ballgeschwindigkeit überein. So wurde das Schuhmodell APP vor dem Schuhmodell L45 als bestes gerankt.

Die Einzelvergleiche zwischen APP und L45 gegenüber den anderen Schuhmodellen sind allesamt statistisch signifikant ( $p < 0,05$  und  $p < 0,01$ ). Die Ergebnisse der Wahrnehmungsaufgabe dieser Studie sind bemerkenswert, da zwischen den Prototypen ansonsten keine Unterschiede von den Probanden während der Untersuchungsdurchführung bemerkt worden sind.

### Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Schuhmodelle

Hinsichtlich der einzelnen Schuhmodelle dieser Studie wurden keine bemerkenswerten Kommentare seitens der Probanden abgegeben.

### Ergebniszusammenfassung:

- Die verwendeten Prototypen dieser Studie weisen alle statistisch signifikant geringere Ballgeschwindigkeiten auf als der *Adidas Predator Pulse 2 TRX FG*.

- Innerhalb der Prototypen dieser Einzelstudie weist die Schuhbedingung L50 mit der höchsten Steifigkeit der Außensohle die geringste Ballgeschwindigkeit auf. In Bezug zum Schuhmodell L45 ist dies als einziger Vergleich unter den Prototypen statistisch abgesichert. Ein allgemeingültiger Einfluss der Außensohlensteifigkeit kann in dieser Studie jedoch nicht festgestellt werden.
- Zu vermuten ist, dass eine zu hohe, genauso wie eine zu niedrige, Steifigkeit der Außensohle sich ungünstig hinsichtlich einer hohen Ballgeschwindigkeit auswirkt.

**Folgerung:**

Aus dieser Studie lassen sich keine systematischen Erkenntnisse bezüglich des Einflusses von Außensohlensteifigkeiten hinsichtlich der resultierenden Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß gewinnen. Es bestätigte sich wiederum, dass unterschiedliche Fußballschuhmodelle, statistisch gesichert, unterschiedliche resultierende Ballgeschwindigkeiten beim Vollspannstoß erzeugen.

**Gesamtinterpretation der vier Einzelstudien zur Außensohlensteifigkeit:**

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass diese Serie von Einzelstudien es nicht abschließend erlaubt, der Steifigkeit der Außensohle einen Einfluss auf die resultierende Ballgeschwindigkeit zuzuschreiben. Innerhalb von vier Studien mit jeweils drei oder vier Schuhbedingungen, welche sich nur durch die isolierte Modifikation der Außensohlensteifigkeit unterschieden, konnte nur ein statistisch signifikant diskriminierender Einzelvergleich (Studie IX) gezeigt werden. Daher muss das Konzept der Maximierung der resultierenden Ballgeschwindigkeit durch die Variation der Außensohlensteifigkeit nach den vorliegenden Daten als nicht geeignet bewertet werden.

Im Zuge der durchgeführten Untersuchungen können jedoch aus der Studienserie weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Eine Vergrößerung der Zehenboxhöhe wirkt sich sehr wahrscheinlich negativ auf die resultierende Ballgeschwindigkeit aus (Studie VI). Belegt wird dies zudem durch die Studie VII, in der die Rücknahme der Zehenboxhöhe auf die regulären Werte bei ansonsten gleichen Schuhmodellen der Studie VI zu einer Angleichung der Ballgeschwindigkeit zum Referenzmodell führt.

---

Zu klären ist hier, ob dies durch die als geringer wahrgenommene Bequemlichkeit der jeweiligen Schuhbedingungen begründet ist oder ob ein biomechanischer Einfluss vorliegt, welcher dann entscheidend in die Vorgänge während der Kollisionsphase des Vollspannstoßes eingreift.

Im Zusammenhang dazu sind die Ergebnisse aus Studie VIII zu betrachten. Hier konnte gezeigt werden, dass eine Verbesserung der Bequemlichkeit im Fersenbereich sich nicht auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß auswirkt. Dieses Erkenntnis verstärkt die Interpretation der Studie VI, dass die dortige Erhöhung der Zehenbox sich rein biomechanisch auf den Schussvorgang ausgewirkt hat und als Grund für die verringerte Ballgeschwindigkeit in dieser Studie angesehen werden muss.

Zudem ist festzuhalten, dass sich in Studie IX zeigt, dass ein Schuhmodell (APP) eindeutig höhere Ballgeschwindigkeiten beim Vollspannstoß erzeugt als andere. Jedoch bleibt der hier zu Grunde liegende Mechanismus weiterhin ungeklärt.

## 5. Ergebnisinterpretation im Zusammenhang

### 5.1 Allgemeine Erkenntnisse

Im Folgenden werden die zuvor separat dargestellten Erkenntnisse der jeweiligen Einzelstudien im Zusammenhang interpretiert. Auch wenn es aus methodischer Sicht notwendig war, die verschiedenen potentiellen Einflussfaktoren zur Beeinflussung der Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß isoliert zu betrachten, gibt es zwischen den Studien inhaltliche Abhängigkeiten und Überschneidungen, die es an dieser Stelle deutlich zu machen gilt.

Zunächst einmal zeigt diese Studienreihe, dass der Schuh als Einflussfaktor auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß einen eindeutig zu beachtenden Faktor darstellt. So wiesen hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß fünf von neun durchgeführten Einzelstudien statistisch signifikante oder hochsignifikante Unterschiede zwischen den jeweils verwendeten Schuhbedingungen auf. Weitere zwei Einzelstudien wiesen Unterschiede zwischen ihren jeweiligen Schussbedingungen auf, bei denen es sinnvoll erscheint, diese auf sachliche Aspekte hin zu interpretieren. Durch die Erkenntnisse dieser Studienreihe werden die Feststellungen von HENNIG und ZULBECK (1999) bezüglich verschiedener, zum damaligen Zeitpunkt aktueller, Fußballschuhmodelle bestätigt und die Relevanz des Untersuchungsgegenstandes aufgezeigt.

Die Höhe des Fußballschuheinflusses lässt sich an Hand der vorliegenden Studienreihe je nach Einzelstudie auf 0,86 bis 3,01km/h bei einer durchschnittlichen Ballgeschwindigkeit aller Probanden im Mittel aller Studien von 94,23km/h beziffern. Dies entspricht prozentual, je nach Einzelstudie, 0,90 bis 3,11% der erzielten mittleren Ballgeschwindigkeit der teilnehmenden Probanden.

Im Vergleich zu Leistungssteigerungsraten im heutigen Sport allgemein sind Zuwachsraten von bis zu 3,1% eher eine Seltenheit. Somit ist der zu erzielende Nutzen durch die Verwendung des optimalen Schuhwerks als wissenschaftlich bedeutsam einzuschätzen.

Im Vergleich zu Studien in der Literatur, in denen unterschiedliche Versuchsgruppen oder teilweise nur einzelne Versuchspersonen hinsichtlich ihrer erzielten Ballgeschwindigkeit vergleichend untersucht worden sind, erscheinen die erfassten

Unterschiede von bis zu 3,01km/h oder 3,11% eher gering. Dies verweist auf die Tatsache, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Faktoren aus dem biologischen, anatomischen, physiologischen, sportmotorischen und technischen Bereich sich sowohl qualitativ als auch quantitativ auf den Erfolg, in diesem Fall die Ballgeschwindigkeit, des Vollspannstoßes auswirkt. Es bleibt daher ebenso festzuhalten, dass der entscheidende Einflussfaktor für den Erfolg und damit auch für die Geschwindigkeit beim Vollspannstoß der Schütze selbst ist, mit seiner komplexen und ganzheitlichen jedoch individuellen Ausprägung.

Aus den genannten Gründen ist es schwierig, Studien zur Schussgeschwindigkeit verschiedener Autoren zu vergleichen. Unterschiedliche Versuchsgruppen und Probandenkollektive lassen Vergleiche zwischen Studien nur in sehr spezifischen Ausnahmefällen zu. Die Verwendung unterschiedlicher Messinstrumentarien birgt eine weitere Schwierigkeit bei Vergleichen unterschiedlicher Studien. Aus diesem Grunde sollten Studien zunächst für sich interpretiert werden. Danach können dann die gewonnenen allgemeingültigen Erkenntnisse mit Aussagen anderer Studien aus der Literatur im Zusammenhang interpretiert werden.

Für die einzelnen Studien der vorliegenden Studienreihe ist eine vergleichende Analyse sehr viel eher möglich, da im Grunde bei allen die gleiche methodische Vorgehensweise angewendet wurde. Es zeigt sich jedoch auch, dass durch die Verwendung von zum Teil unterschiedlichen Probandenkollektiven sich die Absolutgeschwindigkeiten der in den einzelnen Studien erfassten Ballgeschwindigkeiten deutlich unterscheiden können.

## **5.2 Spezifische Erkenntnisse**

Es bleibt also festzuhalten, dass der Schuheinfluss für die Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit vorhanden ist. Seine Relevanz mag dabei in Bezug auf die Sportpraxis und den potentiellen sportpraktischen Einfluss auf den Ausgang eines bestimmten Fußballspiels sowie auf die Gesamtheit der Fußballspiele kontrovers diskutiert werden. Unbestritten ist jedoch die wissenschaftliche und akademische Relevanz der gezeigten Unterschiede sowie der gewonnenen Erkenntnisse dieser Studienreihe hinsichtlich des Sportlers in der Interaktion mit seiner Umwelt.



Neben dem Parameter der Ballgeschwindigkeit zeigte sich, dass sich auch der Parameter Schwungphasenzeit in Abhängigkeit der Schuhbedingung am Standbein als veränderbar erweist. Da eine funktional bessere Traktionssituation des Standbeins die Schwungphasenzeit des Spielbeins beeinflusst, müssen die Auswirkungen unterschiedlicher Schuhmodelle für das Standbein und das Spielbein als unabhängig voneinander betrachtet werden. Dies hat entscheidende Konsequenzen für die methodische Studiengestaltung zur Untersuchung des Einflusses von unterschiedlichen Fußballschuhmodellen am Spielbein. Innerhalb dieser Studienreihe ist aus diesem Grund die Neutralschuhmethodik am Standbein entwickelt und eingeführt worden. Im umgekehrten Fall bedeutet dies, dass für Untersuchungen zum Einfluss des Fußballschuhs am Standbein der Schuh am Spielbein gemäß der Neutralschuhmethodik ausgewählt werden muss.

Diese Überlegungen wurden innerhalb dieser Studienreihe bei ihrer Konzeption zunächst theoretisch entwickelt und auch methodisch berücksichtigt. Sie haben sich durch die Ergebnisse verschiedener Studien (Studie I, II) als richtig und zwingend notwendig für eine methodisch korrekte Durchführung dieser Studienreihe erwiesen. Bezogen auf den Standbeinaufsatz konnte über die dabei ermittelten Bodenreaktionskräfte der Probanden nach einem 3-Schritt-Anlauf gezeigt werden, wie sich die Dynamik des Einstemmvorgangs zunächst auf die Schwungphasenzeit des Spielbeins, nachfolgend auf die biomechanischen Vorgänge während der Kollisionsphase und schlussendlich auf die Ballgeschwindigkeit auswirkt.

Ein stärker akzentuiertes Einstemmverhalten kann durch Schuhmodifikationen ermöglicht werden, indem die funktionalen Traktionseigenschaften verbessert werden. Funktional bedeutet in diesem Falle, dass die Traktionsverhältnisse es dem Schützen ermöglichen sollen, eine ideal hohe Anlaufgeschwindigkeit kontrolliert in Vorbereitung auf die eigentlich Schussaktion abbremsen zu können. Dabei darf dem Schützen die vollständige Kontrolle über sein Spielbein und die auszuführende Schussbewegung nicht verloren gehen. Im Sinne von biomechanischen Parametern zeigt sich dies in erster Linie in höheren Werten der Resultierenden Scherkraft. Hingegen erwiesen sich die Kraftanstiegsraten der Bodenreaktionskraft als nicht aussagefähig hinsichtlich der funktionalen Eignung von unterschiedlichen Traktionssohlen mit ihren jeweiligen Stollenkonfigurationen.

Eine gute funktionale Traktion ist gekennzeichnet durch einen Maximalwert der Resultierenden Scherkraft sowie durch einen Optimalwert der Kraftanstiegsrate der

Resultierenden Scherkraft innerhalb des Kollektivs der verwendeten Schuhmodelle. Dies ergibt sich zum einen aus der höheren Resultierenden Scherkraft derjenigen Schuhbedingungen, in denen höhere Ballgeschwindigkeiten erzielt wurden. Zum anderen ergibt sich dies aus den entweder sehr niedrigen oder sehr hohen Kraftanstiegsraten der Resultierenden Scherkraft derjenigen Schuhmodelle, welche sich als ungünstig zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit erwiesen haben.

Innerhalb der einzigen Studie zur Untersuchung des Fußballschuheinflusses am Standbein auf die resultierende Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß (Studie I) konnte die Notwendigkeit einer funktionalen Traktionssituation dargelegt werden. Auf Grund der notwendigen unabhängigen Betrachtung von Standbein und Spielbein bleibt die Studie I dieser Studienreihe somit inhaltlich allein stehen. Methodisch liefert und begründet sie jedoch eindeutig das erwähnte Konzept der Neutralschuhmethodik.

Nachfolgend werden die weiteren Einzelstudien im Zusammenhang interpretiert. Hinsichtlich einer Schlüsseleigenschaft, die den Ball beim Vollspannstoß im Fußball schneller macht, brachte die vorliegende Studienreihe keine abschließende oder hinreichende Erkenntnis. Somit sind die Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit möglicherweise auf einen Faktor zurückzuführen, der noch nicht mit in die Überlegungen einbezogen worden ist. Wahrscheinlicher erscheint jedoch, dass eine Vielzahl kleinerer Einflussfaktoren in ihrem Zusammenspiel zu einem diesbezüglich wirksamen Mechanismus werden. Diese Einflussfaktoren gilt es nun herauszuarbeiten.

Aus der Studie II geht hervor, dass Probanden mit dem nackten Fuß im Vergleich zu unterschiedlichsten Schuhbedingungen schnellere Ballgeschwindigkeiten erzielen. Der Fußballspieler wird dennoch in einem regulären Wettspiel auf Grund der Regelkonformität sowie auf Grund der Vielzahl an funktionalen Vorteilen des Schuhs gegenüber dem nackten Fuß, beispielsweise in Bereichen der Bequemlichkeit, der Traktion oder der Stabilität sowie nicht zuletzt der Verletzungsprophylaxe, nicht auf sein Schuhwerk verzichten wollen und können. Daher ist es bei der Interpretation der Studie II entscheidend, die biomechanische Bedeutung der gewonnenen Erkenntnisse für die Optimierung des Parameters Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu erkennen.

Im Allgemeinen soll die Sportausrüstung den Sportler bei der Ausübung seiner Sportart bestmöglich unterstützen. Für die spezifische Anforderung 'Maximierung

der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß im Fußball' ist dies momentan für den Fußballschuh am Spielbein, wie gezeigt, nicht der Fall. Beim aktuellen Kenntnisstand müssen daher die Bestrebungen der Schuhkonstrukteure zunächst darauf abzielen, dem Spieler trotz des Tragens eines Schuhs zu ermöglichen, die gleiche Ballgeschwindigkeit wie beim barfüßigen Schießen zu erzielen. Im Anschluss daran sollte versucht werden, diesen dann neuen Standard weiter anzuheben. Dies wäre als eine systematische Vorgehensweise auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen anzusehen.

Bereits früh forderten ASAMI und NOLTE (1983) eine hohe Fußrigidität zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit. Dieser Forderung verleiht die Studie II Nachdruck, in welcher der stärker plantarflektierte und damit rigidere Fuß in der Barfußbedingung höhere Ballgeschwindigkeiten erzeugte als der Fuß in den verschiedenen verwendeten Schuhmodellen.

Rückblickend auf die Studie II ist es interessant inwiefern deren Erkenntnisse durch die Studie VI unterlegt werden können. Studie VI zeigt eindeutig, dass eine Anhebung der Zehenbox des Fußballschuhs eine Verringerung der erzielbaren Ballgeschwindigkeit nach sich zieht. Die Anhebung der Zehenbox resultiert in einem kleineren dorsalen Zehengrundgelenkwinkel ( $<180^\circ$ ). Die Analogie zur Studie II liegt darin, dass durch eine starke Flexion der Zehen mit einem vergrößerten Zehengrundgelenkwinkel ( $>180^\circ$ ) zu Beginn der Kollisionsphase die Fußrigidität unterstützt wird. Zudem trägt diese Zehenflexion zu einer stärkeren Plantarflexion des Fußes im oberen Sprunggelenk bei. Es ist somit abzuleiten, dass bei der willkürlichen Überstreckung des Fußes vor Beginn der Kollisionsphase der Widerstand des Schuhs gegenüber den Zehenflexion schon in der Normsituation vorhanden ist. Durch die Anhebung der Zehenbox wird dieser Widerstand dann sogar noch erhöht.

Der auftretende Mechanismus während der Kollisionsphase in der Schuhbedingung mit erhöhter Zehenbox bewirkt, dass die Wegstrecke zur Erreichung der erzwungenen maximalen individuellen Plantarflexion des Fußes verlängert wird. Somit verlängert sich auch die Zeit zum Erreichen der maximalen Fußrigidität. Währenddessen geht Energie verloren, die dann nicht mehr auf den Ball transferiert werden kann. Dies wirkt sich in der Folge in einer Verringerung der Ballgeschwindigkeit aus.

Einen weiteren Beleg für die Notwendigkeit einer hohen Fußrigidität liefert die Studie III. In dieser Studie wies ein Schuh mit einer eher weiten Passform die geringste Ballgeschwindigkeit auf. Es darf vermutet werden, dass eine engere Passform die Fußrigidität erhöht, indem er die Bewegungsfreiheit der einzelnen Fußsegmente zueinander sowie die Relativbewegung zwischen Fuß und Schuh einschränkt. Diese Annahme gilt es durch weitere Studien zu bestätigen.

BARFIELD et al. (2002) beschreiben die Interaktion zwischen Fuß und Unterschenkel als festgestellt und hochgradig plantarflektiert. Dabei verweisen BARFIELD et al. (2002) zudem auf Erkenntnisse von CHYZOWYCH (1978), HAY (1985) sowie TSAOUSIDIS und ZATSIORSKY (1996). Die in dieser Studienreihe gewonnenen Erkenntnisse zeigen jedoch, dass die Feststellungen von BARFIELD (2002) theoretischer Natur sind und nicht detailgetreu die realen Vorgänge während der Kollisionsphase wiedergeben. Bevor es zu dieser starren und sehr starken Plantarflexion kommt, wird der Fuß erst durch die auftretenden Kräfte während der Kollisionsphase gezwungen, in seine individuell maximale Plantarflexion zu gehen (LEES 1993).

In Bezug auf die Erkenntnisse der Studie II muss zudem beachtet werden, dass auch die Fersenkappe des Schuhs aus rein mechanischen Gesichtspunkten ein stärkeres aktives Überstrecken des Fußes im Sprunggelenk beim Schießen mit Schuh verhindert.

Kritisch sollte diskutiert werden, ob die Anhebung der Zehenboxhöhe der alleinige, entscheidende Faktor für die reduzierte Ballgeschwindigkeit in den jeweiligen Schuhmodellen der Studie VI gewesen ist, da aus den Probandenkommentaren deutlich wurde, dass die dort verwendeten Prototypen als unbequemer wahrgenommen wurden als der benutzte Referenzschuh. Somit kann auch der Aspekt der Bequemlichkeit in dieser Studie der ausschlaggebende Faktor gewesen sein.

In Studie II erwies sich die Barfußbedingung mit Abstand als schmerzhafter im Vergleich zu den Schuhbedingungen. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, zwischen Schmerz- und Bequemlichkeitswahrnehmung zu unterscheiden. Während die Schmerzwahrnehmung deutlich akzentuierter und eindeutig wahrgenommen wird, ist die Bequemlichkeitswahrnehmung, so lange sie innerhalb eines erträglichen Bereichs liegt, eher subtiler Art. So ist ein großes Ausmaß Unbequemlichkeit von Nöten, um in den Bereich der Schmerzwahrnehmung zu gelangen. Es ist in diesem Zusammenhang durchaus erklärbar, dass, im Rahmen der Ausnahmesituation

Vollspannstoß in der Barfußbedingung, Probanden in der Lage sind, für die Dauer der Untersuchung die zu erwartenden und auch tatsächlich auftretenden Schmerzen auszublenden oder sich von ihnen zumindest nicht weiter beeinflussen zu lassen. Dies hat sich für einen Teil der Probanden der Studie II gezeigt. Im Gegensatz dazu könnten subtil wahrgenommene negative Eigenschaften eines Schuhs, wie eine leichte Unbequemlichkeit in Studie VI, dazu führen, dass Bewegungsausführungen auch unbewusst qualitativ geringwertiger durchgeführt werden.

Der Einfluss des Schuhgewichts ist von AMOS und MORAG (2002) als nicht entscheidend für die Ballgeschwindigkeit, wohl aber als entscheidend für die Fußgeschwindigkeit des Spielbeins, klassifiziert worden. Sie stellten fest, dass mit leichterem Schuh eine höhere Fußgeschwindigkeit des Spielbeins beim Vollspannstoß zu verzeichnen ist. Auf Grund der vorliegenden Studienreihe lassen sich die folgenden Aussagen zum Einfluss des Schuhgewichts beim Vollspannstoß machen. Eine gleichmäßig verteilte Erhöhung des Schuhgewichts um 70 Gramm in Studie IV zeigte keine Unterschiede hinsichtlich der erzielten Ballgeschwindigkeit sowie der Schwungphasenzeit. Somit konnten die Erkenntnisse von AMOS und MORAG (2002) bestätigt werden.

Die Studie III konnte ebenfalls keine Unterschiede in der erzielten Ballgeschwindigkeit von Schuhen mit unterschiedlichem Gewicht nachweisen. Hier ist jedoch zu bedenken, dass diese Studie das Schuhgewicht weitaus weniger kontrolliert untersucht hat als die Studie IV. In der Studie III war das Schuhgewicht eher als ein Sekundärmerkmal der verwendeten Schuhbedingungen anzusehen. Die Hauptunterschiede zwischen den dort verwendeten Schuhbedingungen lagen im allgemeinen Aufbau der Schuhe mit ihrer Vielzahl von unterschiedlichen Schuheigenschaften. Innerhalb der Studie III kann es daher sein, dass die weiteren Eigenschaften der fünf verwendeten Fußballschuhmodelle, welche einen komplett unterschiedlichen Aufbau hatten, einen möglichen Einfluss des Schuhgewichts überdeckt haben. Nichtsdestotrotz kann auch diese Studie als ein weiterer, vorsichtiger Beleg für eine nicht vorhandene Relevanz des Schuhgewichts zur Maximierung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß herangezogen werden.

Bei der Betrachtung der Studie II, in der die Barfußbedingung als die Schussbedingung mit dem geringst möglichen Gewicht von Null Gramm die höchste Ballgeschwindigkeit hervorgerufen hat, können Überlegungen aufkommen, dass eine extreme Verringerung des Schuhgewichts eine Erhöhung der Ballgeschwindigkeit

bewirkt. In Anbetracht der Interpretation der Studie II hinsichtlich der Fußrigidität erscheinen diese Überlegungen allerdings nur hypothetischer Natur zu sein und nicht den realen Grund für die höhere Ballgeschwindigkeit auszumachen.

Zusätzlich ist zu überlegen, dass durch die Wegnahme jeglichen Gewichts am Spielbein eine höhere Fußgeschwindigkeit und damit eine kürzere Schwungphasenzeit zu Stande kommen kann. In Analogie zur Interpretation von AMOS und MORAG (2002), die argumentieren, eine höhere Fußgeschwindigkeit in Schuhen mit geringerem Gewicht kompensiere das niedrigere Gewicht des Systems Fuß/Schuh, können die Daten aus Studie II wie folgt interpretiert werden. Unter der Annahme, dass das geringere, in dem Fall nicht vorhandene, Schuhgewicht dem Schützen zu einer höheren Fußgeschwindigkeit verhilft, ist es denkbar, dass hier durch das fehlende Gewicht und die dadurch gegebenenfalls geringere effektive Masse durch die Fußgeschwindigkeit überkompensiert wird. Auf Grund der fehlenden, für diese Betrachtung notwendigen Messparameter ist dies innerhalb dieser Studienreihe nicht zu belegen.

Außer den erwähnten Studien lassen die übrigen Studien keinerlei Rückschlüsse auf den Einfluss des Schuhgewichts auf die Geschwindigkeit beim Vollspannstoß zu, da es sich um Studien mit Schuhbedingungen handelt, welche ein konstantes Schuhgewicht aufwiesen.

Die in dieser Arbeit durchgeführte Studie V zum Einfluss der Reibungseigenschaften des Schuhobermaterials auf die Ballgeschwindigkeit deutete an, dass die momentan verwendeten Reibungsbedingungen als am besten geeignet erscheinen. Eine Betrachtung von profilierten Obermaterialien blieb in dieser Studienreihe jedoch außen vor, so dass zu dieser Variante keine Angaben gemacht werden können.

Der Einfluss der Schuhbequemlichkeit wurde innerhalb dieser Studienreihe indirekt in Studie VI und direkt in Studie VIII untersucht. In Studie VI konnte ein diffuses Empfinden von Unbequemlichkeit in Verbindung mit einer geringeren Ballgeschwindigkeit gebracht werden. Die Unbequemlichkeit wurde in dieser Studie durch die Anhebung der Zehenbox induziert und durch Kommentare der Probanden eher zufällig erfasst. Allerdings konnte in diesem Fall die erzeugte Unbequemlichkeit nicht alleinig für die geringere Ballgeschwindigkeit in den betreffenden Schuhmodellen verantwortlich gemacht werden.

In Studie VIII erwies sich ein Schuhmodell, welches als unbequemer empfunden wurde als die übrigen Schuhmodelle dieser Studie, nicht unterlegen hinsichtlich der

erzielten Ballgeschwindigkeit. Die Unbequemlichkeit des betreffenden Schuhmodells lag in diesem Fall in der Konstruktion der Fersenkappe begründet und wurde explizit durch eine subjektiv-sensorische Befragung erfasst.

Durch die widersprüchlichen Aussagen aus den beiden erwähnten Studien lässt sich hinsichtlich des Einflusses der Bequemlichkeit keine allgemeingültige Aussage in Bezug auf die erzielte Ballgeschwindigkeit machen. Es ist hinsichtlich des Einflusses der Bequemlichkeit notwendig zu beachten, an welcher Stelle des Schuhs sich eine Schuhbedingung als unbequem erweist.

Ein Einfluss der Außensohlensteifigkeit auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß konnte innerhalb dieser Studienreihe nicht aufgezeigt werden. Weder sehr weiche noch sehr harte Außensohlensteifigkeiten ließen die Probanden systematisch höhere Ballgeschwindigkeiten erzielen.

Im Zusammenhang mit Studie II könnte man meinen, eine sehr flexible Außensohle wäre für den Schützen von Vorteil, da er die willkürliche Plantarflexion des Fußes gegenüber einem geringeren Widerstand durchführen kann. Diese Überlegungen haben sich so nicht bestätigen lassen. Auch eine möglichst harte Außensohle, welche den Schussfuß in seiner Rigidität unterstützen könnte, erwies sich in dieser Studienreihe gegenüber anderen Sohlensteifigkeiten als nicht überlegen. Ein Sohleneinfluss, so fern er trotz der fehlenden Ergebnisse dieser Studienreihe vorhanden ist, sollte jedoch wahrscheinlich einen Optimaltrend hinsichtlich der Außensohlensteifigkeit aufweisen. Eine Orientierung an den Extremländern der Außensohlensteifigkeit ist nicht als Erfolg versprechend anzusehen.

Das umseitige Schaubild gibt abschließend einen Überblick über die innerhalb dieser Studienreihe gewonnenen Erkenntnisse und zeigt die Interdependenz der unterschiedlichen Mechanismen, die bei der Betrachtung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß von Bedeutung sind (Abb. 5-1).

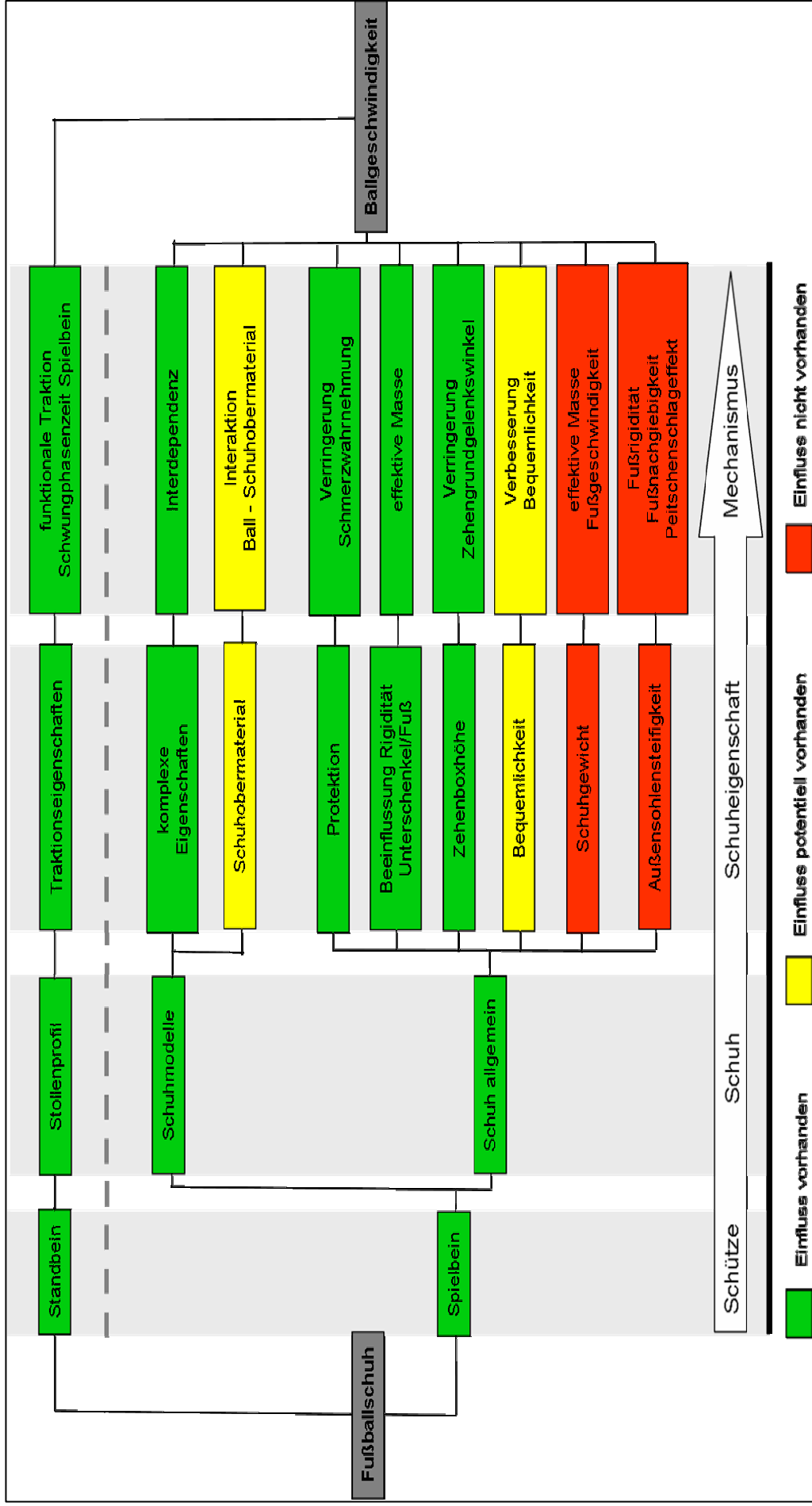


Abb. 5-1: Einflussgrößen des Fußballschuhs für die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß



Ein weiterer, nicht zu vernachlässigender Aspekt dieser Studienreihe ist die Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit gewesen. Dies stellt eine subjektiv-sensorische Testkomponente dieser Studienreihe dar.

Es hat sich gezeigt, dass Probanden nicht in der Lage sind, ihre erzielte mittlere Ballgeschwindigkeit gemäß den Messergebnissen einzuschätzen. Studien mit gravierenden Eingriffen in die jeweiligen Schussbedingungen haben jedoch gezeigt, dass das Gesamtkollektiv der Probanden seine Wahrnehmungsaufgabe in diesen Einzelstudien relativ einheitlich durchgeführt hat. Wahrnehmungsaufgaben werden in der wissenschaftlichen Betrachtung als hochindividuell eingeschätzt. Daher gilt es, einheitliche Ergebnisse in der Wahrnehmung eines Kollektivs zu hinterfragen.

So sind speziell in Studie I und Studie II statistisch hochsignifikante Unterschiede bei der Einschätzung der Ballgeschwindigkeit zu verzeichnen gewesen. Diese haben in Studie I die gemessenen Ergebnisse bei der Ausführung des Vollspannstoßes wiedergegeben. In Studie II hingegen gibt es einen negativen Zusammenhang mit den gemessenen Ergebnissen. Dies verdeutlicht, dass gerade bei extremen Eingriffen in die Schussbedingungen dieser Studienreihe die subjektiv-sensorische Einschätzung der Probanden hinsichtlich der Ballgeschwindigkeit auf Hilfsstimuli beruht. Diese müssen dabei nicht unbedingt auf die reale Ballgeschwindigkeit verweisen.

In der Studie I haben solche Hilfsstimuli zu dem gleichen Ergebnis geführt, wie es die biomechanischen Daten bezüglich der Ballgeschwindigkeit und der Schwungphasenzeit ausweisen. In Studie II haben solche Hilfsstimuli, bezogen auf die Einschätzung der Probanden, eine gegenteilige Wahrnehmung von dem erzeugt, was biomechanisch gemessen wurde. Es ist daher festzuhalten, dass zur Quantifizierung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß immer objektive Messmethoden von Nöten sind.

### **5.3 Konkretisierung der Erkenntnisse**

Es muss eingeräumt werden, dass die vorliegende Studienreihe keine genaue Ursachenzuschreibung hinsichtlich der entscheidenden Faktoren zur Erhöhung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß vornehmen kann. Jedoch lassen sich die Anforderungen an einen Fußballschuh zur Erzielung der maximalen

---

Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß auf Basis der durchgeführten Studienreihe klar umreißen. Ein derartiges Fußballschuhmodell sollte zunächst folgendermaßen konstruiert sein:

- Der Fußballschuh sollte hinsichtlich seiner Funktion am Standbein optimale Traktionsbedingungen gewährleisten, um das Einstimmen zur Vorbereitung der eigentlichen Schussaktion so effizient wie möglich zu gestalten. In diesem Sinne ist eine Betrachtung der Traktionsverhältnisse aus funktionalen Gesichtspunkten notwendig. Eine Definition der Traktionsverhältnisse im Sinne von hoch oder niedrig ist nicht ausreichend zur Bewertung der Eignung von Traktionsverhältnissen für die Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß.
- Der Fußballschuh am Spielbein sollte eine Konstruktion aufweisen, welche die Ausnutzung der maximalen willkürlichen Plantarflexion des Fußes ermöglicht, um somit die Fußrigidität insbesondere im oberen Sprunggelenk zu erhöhen. Zudem sollte er aus dem gleichen Grund die maximale willkürliche Plantarflexion der Zehen vor Beginn der Kollisionsphase ermöglichen.
- Das Oberflächenmaterial des Fußballschuhs sollte sich hinsichtlich seiner Reibungseigenschaften in der Interaktion mit dem Ball an den momentan gängigen Reibungswerten orientieren, um eine maximale Ballgeschwindigkeit zu erzielen.
- Der Fußballschuh sollte insbesondere im dorsalen Fußbereich seine Schutzfunktion erfüllen. Dies ist im Hinblick auf die ungeklärten Auswirkungen des Schmerzempfindens auf die absolute Ballgeschwindigkeit beim barfüßigen Schießen notwendig. Zudem ist es auch für die Nutzung des Schuhs in der Sportpraxis ein nicht wegzudenkender Aspekt.
- Der Fußballschuh sollte zudem ein gewisses Bequemlichkeitsniveau nicht unterschreiten. Auch wenn innerhalb dieser Studienreihe der Einflussfaktor

Bequemlichkeit sich als nicht eindeutig entscheidend für die Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit herausgestellt hat, sollte dieser Aspekt nicht vollständig vernachlässigt werden.

- Die Zehenboxhöhe des Fußballschuh sollte einem regulären Ausmaß entsprechen, um nicht durch eine Anhebung als zusätzlicher Dämpfungsmechanismus für den Impact bei der Kollision von Fuß/Schuh und Ball wirksam zu werden.

Neben diesen Forderungen an den Fußballschuh im Hinblick auf seine Eignung zur Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß gibt es weitere Aspekte, die im nun folgenden Kapitel ausblickend thematisiert werden.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Studienreihe untersuchte an Hand von neun Einzelstudien den Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Es wurde deutlich, dass es bei dieser Fragestellung zwischen den Vorgängen am Standbein und am Spielbein zu unterscheiden gilt. So wurden sowohl Auswirkungen veränderter Schussbedingungen am Standbein als auch am Spielbein dargestellt. Die jeweiligen Auswirkungen sind dabei als unabhängig und additiv wirksam zu betrachten.

Es hat sich gezeigt, dass sich die Traktionsverhältnisse des Standbeins eindeutig auf den Ablauf des Vollspannstoßes niederschlagen. Es gilt zum einen die richtige Stollenkonfiguration für den jeweiligen Untergrund und zum anderen die richtige Stollenlänge zu wählen. Eine funktional günstigere Traktion bewirkt eine höhere Ballgeschwindigkeit und ermöglicht einen dynamischeren und sehr wahrscheinlich schnelleren Vorschwung des Spielbeins. Durch eine funktional günstigere Traktion findet ein im Sinne der kinetischen Kette besserer, weil stärker akzentuierter, Fußaufsatz statt. Dies lässt sich vor allem an den höheren Werten der Resultierenden Scherkraft ablesen.

Fußballer sind in der Lage, als Probandenkollektiv unterschiedliche Traktionsverhältnisse eindeutig zu erkennen und im Hinblick auf ihre Intensität und ihre Auswirkungen auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß zu bewerten. Dabei stehen ihre subjektiv-sensorischen Bewertungen im Einklang mit den gemessenen biomechanischen Parametern.

Aus methodischer Sicht zeigen die gewonnenen Ergebnisse die Notwendigkeit der Verwendung eines Neutralschuhs am Standbein, wenn, wie in den weiteren Studien dieser Studienreihe, der Einfluss des Fußballschuhs am Spielbein untersucht werden soll.

Aus dieser Studie zur Traktion innerhalb der vorliegenden Studienreihe ergibt sich die Notwendigkeit, die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Wirkung unterschiedlicher Traktionsverhältnisse in einer Anwendungsstudie weiter zu untersuchen. Der akademische Charakter der Studie lässt die Auswirkungen von unterschiedlichen Stollenkonfigurationen aktueller regulärer Schuhmodelle auf das Einstemmverhalten, den Bewegungsablauf und die erzielte Ballgeschwindigkeit

beim Vollspannstoß offen. Es sollte auch untersucht werden, inwiefern Unterschiede zwischen regulären unterschiedlichen Schuhmodellen dann noch von Fußballern wahrgenommen und bewertet werden. So ist eine weitere Studie zum Vergleich unterschiedlicher Stollenkonfigurationen, welche für den gleichen Bodentyp bestimmt sind, notwendig, um zu untersuchen, inwiefern sich auch geringere Modifikationen der Stollenkonfiguration auf die Durchführung des Vollspannstoßes auswirken.

Der Schuh am Spielbein hat ebenfalls eine wichtige Bedeutung für die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Unbestritten erhöht er zunächst einmal modellunabhängig mit seinem Eigengewicht das absolute Gesamtgewicht des Unterschenkel/Fuß/Schuh Komplexes. Die Auswirkungen auf die beim Vollspannstoß wirksam werdende effektive Masse sind jedoch ungeklärt. So ist sowohl eine Erhöhung der effektiven Masse durch das Zusatzgewicht als auch eine Verringerung der effektiven Masse durch eine schwächere Kopplung zum Unterschenkel denkbar. Letztere kommt gegebenenfalls durch eine durch den Schuh bedingte geringere muskuläre Verspannung des Unterschenkel/Fuß Komplexes mit seiner Vielzahl von Gelenken zu Stande.

Aus der durchgeführten spezifischen Studie zum Schießen mit und ohne Schuh ergibt sich, dass in der Gesamtbetrachtung sich der Schuh leistungsvermindernd auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß auswirkt. Dies ist umso bemerkenswerter, da sich das Schießen ohne Schuh als sehr schmerzhaft für die Probanden dargestellt hat. Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen zeigen eine stärkere Plantarflexion des Fußes beim Schießen ohne Schuh, was zu der erwähnten höheren muskulären Verspannung des Unterschenkel/Fuß Komplexes am Spielbein führt. Die hohe Schmerzwahrnehmung führte, im Gegensatz zu den gemessenen Ballgeschwindigkeiten, bei den Probanden zu dem Eindruck einer geringeren mittleren Ballgeschwindigkeit in der Barfußbedingung.

Zu erwähnen ist zudem die Schutzfunktion, die der Schuh gerade beim Vollspannstoß dem Fuß an seiner dorsalen Seite bietet.

Eine stärkere Plantarflexion des Fußes beim initialen Ballkontakt wirkt sich also positiv auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß aus. Begründet wird dies mit einer höheren Fußrigidität und dem dadurch geringeren Energieverlust während der Kollisionsphase. Aktuelle Fußballschuhkonzepte, die teilweise eine Entkopplung von Vorfuß und Rückfuß beinhalten, können verwendet werden, um die getätigten

Interpretationen zu verifizieren. Dabei kann dann auch überprüft werden, ob die bei Fußballschuhen eher steife Außensohle der, für den maximalen Vollspannstoß günstigen, starken Plantarflexion entgegensteht.

Ebenso sollte der Einfluss der Fersenkappe, durch Verwendung von Prototypen mit und ohne Fersenkappe, auf die maximale willkürliche Amplitude der Plantarflexion des Fußes von Fußballern beim Vollspannstoß untersucht werden.

Die Reibungseigenschaft des Schuhobermaterials in der Interaktion mit dem Material des Balles während der Kollisionsphase konnte nicht abschließend als Einflussfaktor definiert werden. Die durchgeführte Einzelstudie verweist darauf, dass wahrscheinlich eine sehr geringe Reibung des Schuhobermaterials mit dem Ball, genauso wie eine sehr hohe Reibung, als ungünstig zur Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß anzusehen ist. Die besten Ergebnisse hinsichtlich einer hohen Ballgeschwindigkeit konnten mit einem Schuhobermaterial erzielt werden, welches bezüglich des Reibungskoeffizienten im Bereich der aktuell verwendeten Schuhobermaterialien für Fußballschuhe liegt. Eine niedrigere Reibung führt möglicherweise zu einem geringfügigen Ausgleiten des Schuhs gegenüber dem Ball bei einem dezentralen Treffpunkt, was mit Energieverlust einhergehen würde. Eine zu hohe Reibung bei einem dezentralen Treffpunkt erzeugt einen in diesem Falle nicht beabsichtigten zusätzlichen Effekt des Balles. Dies führt ebenfalls zu einem Energieverlust im Sinne der Erzielung der maximalen Ballgeschwindigkeit.

Eine Optimierung der Studienmethodik dieser Einzelstudie kann dadurch geschehen, dass die Schuhobermaterialien nicht mittels einer zusätzlichen Trägerkonstruktion variiert werden, sondern die unterschiedlichen Materialien direkt im Schuhherstellungsprozess eingearbeitet werden.

Auch ist eine Ausweitung dieser Versuchsanordnung auf weitere Materialtypen denkbar. Hier bieten sich auch Materialien an, welche ein gewisses Oberflächenprofil aufweisen. So kann dann der Einfluss einer Profilierung des Schuhobermaterials auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersucht werden. Weiterhin sollten innovative Materialien, die einen gewissen Reboundeffekt erzeugen können, mit in derartige Untersuchungen einbezogen werden. Die Auswirkung solcher Materialien auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß sollte ebenfalls ein interessantes Untersuchungsthema sein.

Zwei Studien der vorliegenden Studienreihe zeigen, dass aktuelle Fußballschuhmodelle von unterschiedlichen Herstellern und unterschiedlicher

Konstruktionsweise beim Tragen am Spielbein die erzielte Ballgeschwindigkeit beeinflussen. Diese Erkenntnis begründet somit zunächst einmal die bearbeitete Thematik als wissenschaftlichen Untersuchungsgegenstand. Die Vielzahl an unterschiedlichen Konstruktionsaspekten im Hinblick auf Schuhmaterialien und Schuhgeometrie der verschiedenen getesteten Schuhmodelle erlaubt jedoch keine genaue Ursachenzuschreibung für die vorhandenen Unterschiede in der Ballgeschwindigkeit.

Der Einflussfaktor Schuhgewicht konnte dabei als nicht bedeutsam für die Erzielung unterschiedlicher Ballgeschwindigkeiten und Schwungphasenzeiten herausgestellt werden. Ob das Schuhgewicht andere biomechanischen Parameter der Schussausführung beim Vollspannstoß beeinflusst, ist in der vorliegenden Studienreihe nicht zu klären gewesen.

Der Einflussfaktor Außensohlensteifigkeit konnte ebenfalls als nicht bedeutsam für die Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit herausgestellt werden.

Als negativer Einflussfaktor in Bezug auf eine hohe Ballgeschwindigkeit konnte die Anhebung der Zehenbox identifiziert werden. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Erkenntnis der Barfußstudie, die eine stärkere Plantarflexion des Fußes beim initialen Ballkontakt fordert. Diese wird durch die Anhebung der Zehenbox entscheidend behindert.

Auch scheint das Gefühl der Unbequemlichkeit des Fußballschuhs im plantaren Vorfußbereich einen negativen Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß auszuüben. Diese relativ vorsichtige Aussage ist auf die nicht methodisch einheitlich vorgenommene Datenerhebung bezüglich der Schuhbequemlichkeit in der betreffenden Studie zurückzuführen.

Hingegen erwies sich die Bequemlichkeit im Bereich der Fersenkappe des Schuhs als unbedeutend für die Erzielung einer hohen Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß. Allgemein war für die Probanden die vergleichende subjektiv-sensorische Wahrnehmung ihrer mittleren Ballgeschwindigkeit in den jeweiligen Schussbedingungen sowohl individuell als auch im Gesamtkollektiv in Übereinstimmung mit den gemessenen Ballgeschwindigkeiten nicht möglich. Wenn es den Probanden in einzelnen Studien als Gesamtkollektiv gelang, ihre mittlere erzielte Ballgeschwindigkeit richtig einzuschätzen, sind diese Ergebnisse eher indirekt durch die spezifischen Rahmenbedingungen der jeweiligen Studie als durch

die direkte Wahrnehmung der Ballgeschwindigkeit zu erklären. Hier spielen die Hilfsstimuli eine entscheidende Rolle in der Urteilsfindung der Probanden.

Abgesehen von einer tiefer gehenden Analyse der bereits untersuchten Einflussfaktoren bieten sich zur Fortführung oder Ergänzung der durchgeführten Studienreihe weitere Basisstudien an. So sollte der Einflussfaktor Bequemlichkeit isoliert und methodisch exakt betrachtet werden, da dieser innerhalb dieser Studienreihe als Nebenprodukt mitbetrachtet worden ist. Die Schwierigkeit dieser Basisstudie liegt auf der Hand; so ist die Konstruktion von Prototypen des gleichen Basismodells mit unterschiedlichen Bequemlichkeitswerten als sehr schwierig anzusehen, wenn die übrigen mechanischen Eigenschaften des Schuhs gleich bleiben sollen. Zusätzlich ist Bequemlichkeit als ein hoch individueller menschlicher Parameter anzusehen und stellt somit schon für sich bezüglich der subjektiv-sensorischen Testung eine methodische Herausforderung dar.

Als weitere Basisstudie erscheint eine isolierte Betrachtung der Auswirkungen unterschiedlicher Passformen sinnvoll. Bei der Fragestellung des Einflusses der Passform auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß kommt der Aspekt der Fußrigidität zum Vorschein. Es stellt sich die Frage, inwiefern eine engere Passform die Fußrigidität erhöht und ob Fußrigidität durch eine weiter werdende Passform reduziert werden wird.

Im Gegensatz dazu kann eine zu weite Passform auch als Stoßabsorptionsmechanismus interpretiert werden. In diesem Falle hat die fußmorphologische Passform möglicherweise Auswirkungen auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß.

Sinnvoll erscheint es, bei einer Fortführung der vorliegenden Studienreihe weitere biomechanische Parameter mit ins Studienprotokoll aufzunehmen. So sollte neben der Schwunghasenzeit auch die Fußgeschwindigkeit des Spielbeins und seine Bewegungsamplitude berücksichtigt werden. Weiterhin ist es notwendig, die Ausrichtung des Spielbeinfußes während der Kollisionsphase zu dokumentieren, da hier Potential für die Veränderung der biomechanischen Vorgänge während der Kollisionsphase beim Vollspannstoß liegt.

Als Anschlussstudien zur dargestellten Studienreihe zur Maximierung der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß sind die nachfolgenden Studienaspekte wünschenswert:



- 
- Hinsichtlich der Traktionsbedingungen des Standbeins sollten verschiedene gängige Stollenkonfigurationen auf ihre Wirkung bezüglich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß untersucht werden. Damit würde der akademische Charakter dieser Thematik als Basisstudie innerhalb dieser Untersuchungsreihe in eine Anwendungsstudie überführt werden. Im Anschluss an eine solche Studie können dann genauere Empfehlungen für eine Feinabstimmung der Stollenkonfiguration hinsichtlich der Verbesserung der bewegungswissenschaftlich geeigneten Einstemmcharakteristika gegeben werden.
  - Zur Erhöhung der Fußrigidität sollten Schuhkonstruktionen getestet werden, welche keine oder nur eine sehr flexible Fersenkappe besitzen. Mit dieser Art von Schuhkonstruktion kann die Wirkung von verschiedenen Fersenkappenkonstruktionen auf die maximale willkürliche Plantarflexion des Fußes zum Zeitpunkt des initialen Ballkontaktes und nachfolgend auf die Ballgeschwindigkeit überprüft werden. Weiterhin sollte versucht werden, durch eine vollständige Entkopplung von Vorfuß und Rückfuß die Mechanismen der Plantarflexion der Zehen zu Beginn der Kollisionsphase besser zu verstehen.
  - In Bezug auf die Zehenboxhöhe ist eine Untersuchung sinnvoll, in der eine abgesenkte Zehenbox auf ihre Wirkung bezüglich der Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß hin untersucht wird. Gegebenenfalls kann eine solche Absenkung dazu führen, dass eine stärkere Plantarflexion im Zehenbereich die Fußrigidität während der Kollisionsphase erhöht und sich somit positiv auf die resultierende Ballgeschwindigkeit auswirkt.
  - Zur weiteren Überprüfung des Einflusses des Schuhgewichts sollten punktuelle Gewichtsveränderungen vorgenommen werden, nachdem eine gleichmäßige Verteilung von Zusatzgewicht sich sowohl in der Literatur als auch innerhalb dieser Studienreihe nicht auf die Ballgeschwindigkeit ausgewirkt hat. Dabei wäre die Bestückung der Schuhe mit Zusatzgewichten an der Ferse und am Vorfuß zu überlegen.

- 
- Hinsichtlich des Obermaterials sind Nachfolgestudien zur vorliegenden Studienreihe wünschenswert. Hier sollten dann Schuhe verwendet werden, deren Obermaterial direkt aus den zu untersuchenden Materialien besteht, um die Limitation der in dieser Studienreihe verwendeten Kappenkonstruktion zu eliminieren.
  - Hinsichtlich der Überlegungen zur Interaktion des Schuhobermaterials mit dem Ball sollten auch profilierte Schuhobermaterialien eine Rolle spielen.
  - Eine weitere Möglichkeit, die Ballgeschwindigkeit über das Schuhobermaterial zu beeinflussen, stellt die Verwendung von innovativen Materialien dar. Es sollte untersucht werden, inwiefern Materialien mit speziellen Rückstellmechanismen die Kollisionscharakteristika mit dem Ball beeinflussen und gegebenenfalls in der Lage sind, zusätzlich Energie auf den Ball zur Erhöhung seiner Geschwindigkeit zu transferieren.
  - Der Einfluss von Schmerz auf die Ballgeschwindigkeit sollte genauer untersucht werden. Hierzu ist es notwendig Schussbedingungen zu konstruieren, welche einen gleichen Aufbau hinsichtlich der verwendeten Schuhkonstruktionen beinhalten, jedoch unterschiedliche Schmerzzustände generieren.
  - Bezüglich der Bequemlichkeit liegt in der vorliegenden Studienreihe keine systematische Untersuchung vor. Dies sollte als Basisstudie nachgeholt werden, auch um die Grauzone zwischen Unbequemlichkeit und Schmerz mit ihrem Einfluss auf die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß hin zu untersuchen.
  - Als weitere Basisstudie sollte der Einfluss der Passform auf die Ballgeschwindigkeit untersucht werden. Hier ist es denkbar, dass Unterschiede in der Passform zu größeren Relativbewegungen zwischen Fuß und Schuh führen und die funktionale Einheit aus Fuß und Schuh so weniger leistungsfähig ist.

- 
- Grundlegend sollte der Einfluss des Fußballschuhs auf die Ballgeschwindigkeit bei weiteren fußballspezifischen Schusstechniken untersucht werden. Dies stellt methodisch eine weitere Herausforderung dar, da diese Schusstechniken von ihrer Anlage her nicht dazu gedacht sind, maximale Ballgeschwindigkeiten zu erzeugen.
  - Weiterhin stellt sich die Frage inwiefern unterschiedliche Fußballschuhmodelle neben der Ballgeschwindigkeit die vielen weiteren biomechanischen Parameter bei Schussaktionen im Fußball beeinflussen. Zur Beantwortung dieser Fragen sind weitere umfangreiche Untersuchungen mit höherem Aufwand hinsichtlich des zu verwendenden Messinstrumentariums notwendig.

Es wird deutlich, dass mit der vorliegenden Studienreihe die Thematik dieser Arbeit, auch auf Grund ihres Umfangs, nicht vollständig und wissenschaftlich abschließend bearbeitet werden konnte. Dies ist im vorhinein so auch nicht zu erwarten gewesen. In diesem Ausblick wurden eine Reihe von Vorschlägen gemacht, sich auch zukünftig nach wissenschaftlichen Gesichtspunkten mit dem Einfluss des Fußballschuhs auf die Ballgeschwindigkeit beim Fußball zu beschäftigen. Just do it!

---

## 7. Literaturverzeichnis

- Aagaard, H., M. Trolle, et al. (1993). High speed knee extension capacity of soccer players after different kinds of strength training. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 92-94.
- Adams, A., W. Brehm, et al. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behaviour* 3: 111-150.
- Adrian, M. J. and J. M. Cooper (1995). *Biomechanics of Human Movement*. Madison, Wisconsin, USA, WCB Brown & Benchmark Publishers.
- Alexander, M. J. (1983). The pattern of body segment movement in high speed sports skills. *Coaching Science Update*: 15-19.
- Amos, M. and E. Morag (2002). Effect of shoe mass on soccer kicking velocity. 4. *World Congress of Biomechanics*, Calgary, Alberta, Canada.
- Anderson, D. I. and B. Sidaway (1994). Coordination changes associated with practice of a soccer kick. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 65(2): 93-99.
- Anjos dos, L. A. and M. J. Adrian (1986). Ground reaction forces during kicks performed by skilled and unskilled subjects. *Revista Brasileira De Ciencias Do Esporte* 8(1): 129-133.
- Apriantono, T., Y. Ikegami, et al. (2004). Effect of leg muscle fatigue on instep soccer kick. 22. *International Symposium on Biomechanics in Sports*, Ottawa, Quebec, Canada.
- Apriantono, T., H. Nunome, et al. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *Journal of Sport Sciences* 24(9): 951-960.
- Asai, T., M. J. Carré, et al. (2002). The curve kick of a football I: Impact with the foot. *Sports Engineering* 5: 183-192.
- Asai, T., H. Nunome, et al. (2005). Computer simulation of ball kicking using the finite element skeletal foot model. *Science and Soccer V*. T. Reilly, J. Cabri and D. Araújo. London, Routledge Taylor & Francis Group: 77-82.
- Asami, T. and V. Nolte (1983). Analysis of powerful ball kicking. *Biomechanics VIII-B*. H. Matsui and K. Kobayashi. Champaign, Illinois, Human Kinetics: 695-700.
- Barfield, W. R. (1995). Effects of selected kinematic and kinetic variables on instep kicking with dominant and nondominant limbs. *Journal of Human Movement Studies* 29: 251-272.
- Barfield, W. R. (1998). The biomechanics of kicking in soccer. *Clinics in Sports Medicine* 17(4): 711-728.

- 
- Barfield, W. R., D. T. Kirkendall, et al. (2002). Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine* (1): 72-79.
- Barr, R. F. and L. D. Abraham (1987). The punter's profile – a biomechanical analysis. *SOMA (Engineering for the human body)*.
- Bauer, G. (1983). *richtig fuballspielen*. München, BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Bauer, G. (1990). *Lehrbuch Fußball*. München, BLV Verlagsgesellschaft mbH.
- Bisanz, G. and G. Gerisch (1999). *Fussball*. Reinbek, Rowohlt.
- Bloomfield, J., B. C. Elliot, et al. (1979). Development of the soccer kick: A cinematographical analysis. *Journal of Human Movement Studies* (5): 152-159.
- Bollens, E. C., E. De Proft, et al. (1987). The accuracy and muscle monitoring in soccer kicking. *International Congress of Biomechanics X - A*, Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.
- Brggemeier, F.-J., U. Borsdorf, et al., Eds. (2000). *Der Ball ist rund. Die Fuballausstellung*. Essen, Klartext.
- Bull Andersen, T., H. C. Drge, et al. (1999). Collisions in soccer kicking. *Sports Engineering* 2: 121-125.
- Bull Andersen, T., L. B. Kristensen, et al. (2005). Coefficient of restitution (COR) in toe and instep soccer kicks. *Science and Football V*. T. Reilly, J. Cabri and D. Araújo. London, Routledge Taylor & Francis Group: 73-76.
- Cabri, J., E. De Proft, et al. (1988). The relation between muscular strength and kick performance. *Science and Football*, E & FN Spon, New York.
- Chyzowych, W. (1978). *The Official Soccer Book of the United States Soccer Federation*. Chicago, New York, San Francisco, Rand McNally & Company.
- Den Hartog, J. P. (1948). *Mechanics*. New York, Dover Publications.
- De Proft, E., J. P. Clarys, et al. (1987). Muscle activity in the soccer kick. *Science and Football*, Liverpool, E & FN Spon.
- Dempster, W. T. and G. R. L. Gaughran (1967). Properties of body segments based on size and weight. *The American Journal of Anatomy* 120: 33-54.
- DFB (1999/2000). *Fußball Regeln*. Frankfurt/Main.
- Drge, H. C., T. Bull Andersen, et al. (1999). EMG activity of the iliopsoas muscle and leg kinetics during the soccer place kick. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 9(4): 195-200.

- Dörge, H. C., T. Bull Andersen, et al. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of Sports Sciences* 20(4): 293-299.
- Dunn, E. G. and C. A. Putnam (1988). The influence of lower leg motion on thigh deceleration in kicking. *Biomechanics XI - B*, Free University Press, Amsterdam, Netherlands.
- Eils, E., M. Streyl, et al. (2004). Characteristic plantar pressure distribution patterns during soccer-specific movements. *The American Journal of Sports Medicine* 32(1): 140-145.
- Elliot, B. C. (1980). Development of the punt kick: A cinematographic analysis. *Journal of Human Movement Studies* 6: 142-150.
- Engin, A. E. and S. T. Tümer (1993). Improved dynamic model of the human knee joint and its response to impact loading on the lower leg. *Journal of Biomechanical Engineering* 115: 137-143.
- FIFA (2005). *Fußball Regeln*.
- Fleischer, H. (1988). *Grundlagen der Statistik*. Schorndorf, Hofmann.
- Frederick, E. C. (1983). The energy cost of load carriage on the feet during running. *Biomechanics IX - B*, Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois: 295-300.
- Gainor, B. J., G. Piotrowski, et al. (1978). The kick: Biomechanics and collision injury. *The American Journal of Sports Medicine* 6(4): 185-193.
- Grant, A., T. Reilly, et al. (1998). Analysis of the goals scored in the 1998 world cup. *Insight, The F. A. Coaches Association Journal* 2(1): 18-20.
- Handwerker, H. (2000). Allgemeine Sinnesphysiologie. *Physiologie des Menschen*. R. Schmidt, G. Thews and F. Lang, Springer: 195-235.
- Hay, J. G. (1985). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- Hennig, E. M. and T. L. Milani (1994). Druckverteilungsanalysen in Sportschuhen. *Medizinisch Orthopädische Technik* 114(1): 22-25.
- Hennig, E. M. and O. Zulbeck (1999). The influence of soccer boot construction on ball velocity and shock to the body. *4. Symposium on Footwear Biomechanics*, Canmore, Alberta, Canada.
- Hoffmann, H. (1984). Zur Kinematik und Dynamik von Fußballspannstößen, unveröffentlicht. Institut für Sportwissenschaften. Frankfurt/M., Universität Frankfurt/M.
- Hohmann, A., M. Lames, et al. (2003). *Einführung in die Trainingswissenschaft*. Wiebelsheim, Limpert Verlag.

- Huang, T. C., E. M. Roberts, et al. (1982). Biomechanics of kicking. *Human Body Dynamics: Impact, Occupational, and Athletic Aspects*. New York, Clarendon Press & Oxford University: 409-443.
- <http://www.coachesinfo.com/category/soccer/106/> (Zugriff: 02.09.2005)
- <http://www.fifa.com/de/regulations/regulation/0,1584,3,00.html> (Zugriff: 18.09.2005)
- [http://www.stalkerradar.com/sports\\_pro.shtml](http://www.stalkerradar.com/sports_pro.shtml) (Zugriff: 17.09.2005)
- Isik, E. (2005). Veränderte Traktionsbedingungen des Standbeins beim Vollspannstoß und ihre Auswirkungen auf die Schussgeschwindigkeit, Examensarbeit. Bildungswissenschaften, Sport- und Bewegungswissenschaften. Essen, Universität Duisburg-Essen.
- Isokawa, M. and A. Lees (1988). A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. *Science and Football*. T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. J. Murphy. London, E & FN Spon: 449-455.
- Kollath, E. (1996). *Bewegungsanalyse in den Sportspielen*. Köln, Sport & Buch Strauß.
- Krahenbuhl, G. S. (1974). Speed of movement with varying footwear conditions on synthetic turf and natural grass. *The Research Quarterly* 45(1): 28-33.
- Kristensen, L. B., T. Bull Andersen, et al. (2005). Comparison of precision in the toe and instep kick in soccer at high kicking velocities. *Science and Football V*. T. Reilly, J. Cabri and D. Araújo. London, Routledge Taylor and Francis Group: 70-72.
- Kroiher, J. (2005). Der Einfluss des Fußballschuhs auf die Schussgeschwindigkeit beim Vollspannstoß, Examensarbeit. Bildungswissenschaften, Sport- und Bewegungswissenschaften. Essen, Universität Duisburg-Essen.
- Lafortune, M. (2001). Measurement and interpretation of biomechanical, perceptual and mechanical variables. *I. Simpósio Brasileiro de Biomecânica do Calçado*, Sociedade Brasileira De Biomecânica, Gramado, Brazil.
- Lafortune, M. (2001). The role of research in the creation of athletic footwear. *I. Simpósio Brasileiro de Biomecânica do Calçado*, Sociedade Brasileira De Biomecânica, Gramado, Brazil.
- Lake, M. (2000). Determining the protective function of sports footwear. *Ergonomics* 43(10): 1610-1621.
- Lees, A. (1993). The biomechanics of football. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 327-334.
- Lees, A. and P. Kewley (1993). The demands on the soccer boot. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 335-340.

- 
- Lees, A. (1996). Biomechanics applied to soccer skills. *Science and Soccer*. T. Reilly, E & FN Spon: 123-133.
- Lees, A. (1996). The biomechanics of soccer surfaces and equipment. *Science and Soccer*. T. Reilly, E & FN Spon: 135-150.
- Lees, A. and L. Nolan (1998). The biomechanics of soccer: A review. *Journal of Sports Sciences* 16(3): 211-234.
- Lees, A. and L. Nolan (2002). Three-dimensional kinematic analysis of the instep kick under speed and accuracy conditions. *Science and Football IV*. W. Spinks, T. Reilly and A. Murphy. London, New York, Routledge: 17-21.
- Lees, A., L. Kershaw, et al. (2005). The three-dimensional nature of the maximal instep kick in soccer. *Science and Football V*. T. Reilly, J. Cabri and D. Araújo. Lisbon, Routledge Taylor and Francis Group: 64-69.
- Levanon, J. and J. Dapena (1998). Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(6): 917-927.
- Lindbeck, L. (1983). Impulse and moment of impulse in the leg joints by impact from kicking. *Journal of Biomechanical Engineering* 105: 108-111.
- Luhtanen, P. (1988). Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. *Science and Football*. T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. J. Murphy. London New York, E & FN Spon: 441-448.
- Luhtanen, P. (2005). Biomechanics of soccer equipment. <http://www.coachesinfo.com>. (Zugriff: 02.09.2005)
- Luhtanen, P. (2005). Kicking. <http://www.coachesinfo.com>. (Zugriff: 02.09.2005)
- Luhtanen, P., J. Vilkki, et al. (1993). Aerodynamics of soccer balls and volleyballs. *Biomechanics in Sports XI*. J. Hamill, T. R. Derrick and E. H. Elliot.
- Masson, M. and H. Hess (1987). Typische Fußballverletzungen – Konsequenzen für den Sportschuhbau. *Der Schuh im Sport*. B. Segesser and W. Pfürringer. Erlangen, perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft: 88-94.
- McCrudden, M. and T. Reilly (1993). A comparison of the punt and the drop-kick. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 362-366.
- McDonald, M. D. (2002). Relative timing of EMG profiles of novice and elite soccer players. *Science and Football IV*. W. Spinks, T. Reilly and A. Murphy. London, New York, Routledge: 22-25.
- McLean, B. D. (1993). Left-right asymmetry in two types of soccer kick. *British Journal of Sports Medicine* 27(4): 260-262.



- Milani, T. L. (2001). Comparison of perceptual and biomechanical measurements. *1. Simpósio Brasileiro de Biomecânica do Calçado*, Sociedade Brasileira De Biomecânica, Gramado, Brazil.
- Mognoni, P., M. V. Narici, et al. (1994). Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer players. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 34(4): 357-361.
- Narici, M. V., M. D. Sirtori, et al. (1987). Maximal ball velocity and peak torques of hip flexor and knee extensor muscles. *Science and Football*, Liverpool, E & FN Spon.
- Neilson, P. J. and R. Jones (2005). Dynamic soccer ball performance measurement. *Science and Football V*. T. Reilly, J. Cabri and D. Araújo. London New York, Routledge Taylor and Francis Group: 21-27.
- Nothelle, P. and I. Swoboda (1998). Analyse des Bewegungs- und Spielverhaltens von Fußballspielern. Examensarbeit Fachbereich 2/Sportwissenschaft. Essen, Universität Gesamthochschule Essen.
- NSRL (2003). Product testing and sensory evaluation. *Nike Sport Research Review*. Beaverton, Nike, Inc. 2: 1-8.
- Nunome, H., T. Asai, et al. (2002). Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34(12): 2028-2036.
- Nunome, H., Y. Ikegami, et al. (2002). Three-dimensional kinetics of in-side and instep soccer kicks. *Science and Football IV*. W. Spinks, T. Reilly and A. Murphy. London, New York, Routledge: 27-31.
- Nunome, H., Y. Ikegami, et al. (2004). Kinetic comparison of instep soccer kick between preferred and non-preferred leg in highly skilled players. 22. *International Symposium on Biomechanics in Sports*, Ottawa, Quebec, Canada.
- Nunome, H., Y. Ikegami, et al. (2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred an non-preferred leg. *Journal of Sport Sciences* 24(5): 529-541.
- Nunome, H., M. Lake, et al. (2006). Impact phase kinematics of instep kicking in soccer. *Journal of Sport Sciences* 24(1): 11-22.
- Olson, J. R. (1985). Anatomic and biomechanical analyses of the soccer style free kick. *National Strength Conditioning Association Journal* (7): 50-53.
- Opavsky, P. (1988). An investigation of linear and angular kinematics of the leg during two types of soccer kick. *Science and Football*. T. Reilly, A. Lees, K. Davids and M. W. J. London New York, E & FN Spon: 456-459.
- Phillips, S. J. (1985). Invariance of elite kicking performance. *Biomechanics IX - B*, Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.

- 
- Plagenhoef, S. (1971). *Pattern of Human Motion – a Cinematographic Analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- Poulmedis, P., G. Rondoyannis, et al. (1988). The influence of isokinetic muscle torque exerted in various speeds on soccer ball velocity. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 10(3): 93-96.
- Preiss, R. (1992). Fußball. *Biomechanik der Sportarten: Band 3 Biomechanik der Sportspiele Teil II: Mannschaftsspiele*. R. Ballreich and A. Kuhlow-Ballreich. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag.
- Putnam, C. A. (1983). Interaction between segments during a kicking motion. *Biomechanics VIII-B*. H. Matsui and K. Kobayashi. Champaign, Illinois, Human Kinetics: 688-694.
- Robert, E. M. and A. Metcalfe (1968). Mechanical analysis of kicking. *Biomechanics*. J. Wartenweiler and E. Jokl: 315-319.
- Roberts, E. M., R. F. Zernicke, et al. (1974). Kinetic parameters of kicking. *Biomechanics IV*. Nelson. Baltimore, University Park Press: 157-162.
- Roberts, J. R., R. Jones, et al. (2001). Measurement of contact time in short duration sports ball impacts: An experimental method and correlation with the perceptions of elite golfers. *Sports Engineering*: 191-203.
- Robertson, D. G. E. and R. E. (unknown). Mosher Work and power of the leg muscles in soccer kicking. 533-538.
- Rodano, R., P. Cova, et al. (1988). Designing a football boot: A theoretical and experimental approach. *Science and Football*. T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. J. Murphy. Liverpool, E & FN Spon: 416-425.
- Rodano, R., P. Cova, et al. (1988). Impact characteristics of two types of soccer balls. *Science and Football*. T. Reilly, A. Lees, K. Davids and W. J. Murphy. Liverpool, E & FN Spon: 385-393.
- Rodano, R. and R. Tavana (1993). Three-dimensional analysis of instep kick in professional soccer players. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 357-361.
- Segesser, B. and W. Pförringer (1987). *Der Schuh im Sport*. Erlangen, perimed Fachbuch-Verlagsgesellschaft.
- Shan, G. and P. Westerhoff (2005). Full-body kinematic characteristics of the maximal instep soccer kick by male soccer players and parameters related to kick quality. *Sport Biomechanics* 4(1): 59-72.
- Shinkai, H., H. Nunome, et al. (2007). Ball-foot interaction in impact phase of instep soccer kick. 6. *World Congress on Science and Football*, Antalya, Turkey.
- Slater, K. (1985). *Human Comfort*. Springfield, Charles C Thomas Publisher.

- Smith, N., R. Dyson, et al. (2002). The effects of sole configuration on ground reaction force measured on natural turf during soccer specific actions. *Science and Football IV*. W. Spinks, T. Reilly and A. Murphy. London, New York, Routledge: 44-49.
- Sterzing, T. and E. M. Hennig (2005). Plantare Druckverteilungsanalyse fußballspezifischer Bewegungen und ihre Bedeutung für die Fußballschuhkonstruktion. *Jahrestagung der DGfB/biomechanica V und Jahrestagung der dvs-Sektion Biomechanik*, Hamburg, Deutschland.
- Sterzing, T. and E. M. Hennig (2005). Stability in soccer shoes – the relationship between perception of stability and biomechanical parameters. *Science and Football V*. T. Reilly, J. Cabri and D. Araújo. Lisbon, Routledge Taylor and Francis Group: 21-27.
- Sterzing, T. and E. M. Hennig (2006). Soccer shoe evaluation. 5. *World Congress of Biomechanics*, Munich, Germany.
- Sterzing, T., J. Kroiher, et al. (2006). Barefoot vs. shod kicking in soccer – What's faster? 5. *World Congress of Biomechanics*, Munich, Germany.
- Stoner, L. J. and D. Ben-Sira (not available). Variation in movement patterns of professional soccer players when executing a long range and a medium range in-step soccer kick. 337-342.
- Stumpf, J. and U. Diel (1998). High-Tech für Fußballleinlagen. *Orthopädie Schuh Technik Sonderheft Sport*: 99-100.
- Taiana, F., J. F. Gréhaigne, et al. (1993). The influence of maximal strength training of lower limbs of soccer players on their physical and kick performances. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 98-103.
- Teixeira, L. A. (1999). Kinematics of kicking as a function of different sources of constraint on accuracy. *Perceptual and Motor Skills* 88(3): 785-789.
- Togari, H. (1970). Studies on the velocity of kicked ball and its relation to kicking form, Department of Physical Education, College of General Education, University of Tokyo.
- Togari, H., T. Asami, et al. (1972). A kinesiological study on soccer (1). *Research Journal of Physical Education* 16(5): 259-264.
- Tol, J. L., E. Slim, et al. (2002). The relationship of the kicking action in soccer and anterior ankle impingement syndrome. A biomechanical analysis. *American Journal of Sports Medicine* 30(1): 45-50.
- Trolle, M., H. Aagaard, et al. (1993). Effects of strength training on kicking performance in soccer. *Science and Football II*. T. Reilly, J. Clarys and A. Stibbe. London, E & FN Spon: 95-97.

- 
- Tsaousidis, N. and V. Zatsiorsky (1996). Two types of ball-effector interaction and their relative contribution to soccer kicking. *Human Movement Science* 15: 861-876.
- Valiant, G. (1987). Ground reaction forces developed on artificial turf. *Science and Football*, Liverpool, E & FN Spon.
- Vincent, W. J. (1999). *Statistics in Kinesiology*. Champaign, IL, Human Kinetics.
- Wahrenberg, H., L. Lindbeck, et al. (1978). Dynamic load in the human knee joint during voluntary active impact to the lower leg. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* (10): 93-98.
- Wang, J. and D. Wiese-Bjornstal (1994). Mechanical and anatomical analysis of the soccer instep shot. *Strength and Conditioning* 16(6): 34-38.
- Weineck, J. (1995). *Sportanatomie*. Balingen, PERIMED spitta, Med. Verl.-Ges.
- Wulf, G. (1994). *Zur Optimierung sportmotorischer Lernprozesse*. Schorndorf, Hofmann.
- Zernicke, R. F. and E. M. Roberts (1976). Human lower extremity kinetic relationships during systematic variations in resultant limb velocity. 20-25.
- Zernicke, R. F. and E. M. Roberts (1978). Lower extremity forces and torques during systematic variation of non-weight bearing motion. *Medicine and Science in Sports* 10(1): 21-26.
- Zulbeck, O. (1998). Die Auswirkung verschiedener Schuhkonstruktionen auf den menschlichen Körper und die Ballgeschwindigkeit -dargestellt am Beispiel von Fußballschuhen-. Examensarbeit Fachbereich 2/Sportwissenschaft. Essen, Universität Gesamthochschule Essen.

## 8. Anhang

### 8.1 Einverständniserklärung

(exemplarisch, Text je nach Einzelstudie modifiziert)

*Biomechaniklabor, Universität Duisburg-Essen, Henri-Dunant-Str. 65, 45131 Essen*

### **Biomechanische Untersuchung zur Schussgeschwindigkeit in Fußballschuhen – Januar/Februar 2004**

#### **Versuchspersoneninformation & Einverständniserklärung**

#### **Versuchspersoneninformation** (vertraulich – für statistische Zwecke)

**Bitte leserlich in Druckbuchstaben ausfüllen!**

Name: ..... Vorname: .....

Straße: ..... Plz. – Stadt: .....

Telefon: ..... mobil: .....

Alter [J]: ..... Körpergröße [cm]: .....

Gewicht [kg]: .....

#### **Erklärung und Bedingungen der Studie**

Diese Studie soll die Ballgeschwindigkeit beim Vollspannstoß in fünf verschiedenen Schussbedingungen ermitteln. Zu diesem Zweck sollen die Probanden sechs maximale Vollspannstoße pro Schussbedingung durchführen. Die maximale Ballgeschwindigkeit wird dabei mittels einem Radarpistolensystem gemessen.

#### **Einverständniserklärung & Haftungsausschluss**

Ich habe die Erklärungen und Bedingungen der Studie durchgelesen und möchte als Versuchsperson zur Verfügung stehen. Ich erkläre mich bereit, bei eventuellen Verletzungen, Unfällen oder körperlichen Schäden während der freiwilligen Teilnahme an dieser Studie keine Haftungsansprüche zu erheben.

Weiterhin erkläre ich, gegenüber Dritten keine Auskünfte bezüglich des Studiendesigns (Messapparatur, Schussbedingungen, Bewegungsformen) zu geben.

Datum: \_\_\_\_\_

Unterschrift: \_\_\_\_\_

---

## 8.2 Ranking- und Kommentarbogen

(exemplarisch, Anzahl der Schussbedingungen je nach Einzelstudie modifiziert)

**Code:** \_\_\_\_\_

**Datum:** \_\_\_\_\_

**Bitte geben Sie ein Ranking der verschiedenen Schussbedingungen hinsichtlich der mittleren Ballgeschwindigkeit an (1 – höchste Ballgeschwindigkeit, 5 – niedrigste Ballgeschwindigkeit)!**

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_

**Bitte notieren Sie Auffälligkeiten sowie weitere Bemerkungen zu den einzelnen Schussbedingungen!**

Schussbedingung A: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Schussbedingung B: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Schussbedingung C: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Schussbedingung D: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Schussbedingung E: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 8.3 Spezifische Wahrnehmungsbögen der Einzelstudien

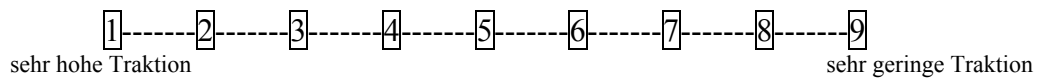
#### Wahrnehmung Studie I

Code: \_\_\_\_\_

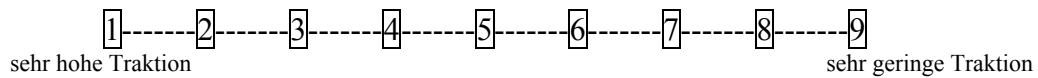
Datum: \_\_\_\_\_

**Bitte tragen Sie in den nachfolgenden Skalen Ihr mittleres Traktionsempfinden in den verschiedenen Schussbedingungen ein!**

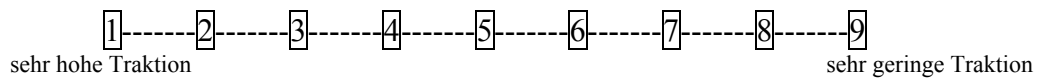
#### ZFG



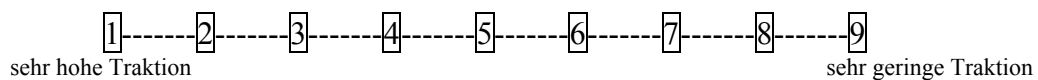
#### HFG



#### FFG



#### FSG



**Wahrnehmung Studie II****Code:** \_\_\_\_\_**Datum:** \_\_\_\_\_

**Bitte tragen Sie in den nachfolgenden Skalen nach jedem Schuss Ihr Schmerzempfinden ein!**

**Schussbedingung:** \_\_\_\_\_

1.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sehr gering	sehr stark
2.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sehr gering	sehr stark
3.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sehr gering	sehr stark
4.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sehr gering	sehr stark
5.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sehr gering	sehr stark
6.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	sehr gering	sehr stark

**Bitte notieren Sie etwaige Modifikationen Ihres Bewegungsablaufs in Abhängigkeit der einzelnen Schussbedingungen!**

**Adidas Predator Pulse 2 TRX FG:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Nike Mercurial Vapor II FG:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Eigener Schuh:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Socken:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Barfuss:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**Wahrnehmung Studie VIII**

Code: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

**Bitte tragen Sie in den nachfolgenden Skalen Ihr  
Bequemlichkeitsempfinden in den verschiedenen Schuhbedingungen ein!**

**L30**

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9  
sehr bequem sehr unbequem

**L40a**

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9  
sehr bequem sehr unbequem

**L40b**

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9  
sehr bequem sehr unbequem

**L50**

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9  
sehr bequem sehr unbequem

**NMV**

1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8-----9  
sehr bequem sehr unbequem

## 8.4 Anthropometrische Daten der Probanden

### Gesamtprobandenkollektiv der Untersuchungsreihe

(n = 41)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	25,4	3,3	19 - 34
Größe [cm]	177,6	5,3	169 - 192
Gewicht [kg]	75,1	7,1	60 - 92

### Probandenkollektive der Einzelstudien

#### Studie I

(n = 23)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	24,6	3,1	21 - 34
Größe [cm]	177,4	4,8	169 - 186
Gewicht [kg]	73,8	5,4	64 - 84

#### Studie II

(n = 19)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	24,7	3,1	21 - 34
Größe [cm]	177,7	5,3	169 - 186
Gewicht [kg]	73,9	5,4	64 - 84

#### Studie III

(n = 19)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	26,6	3,7	19 - 34
Größe [cm]	178,2	5,8	169 - 192
Gewicht [kg]	77,4	7,3	63 - 92

#### Studie IV

(n = 20)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	25,1	3,5	21 - 34
Größe [cm]	179,2	6,5	169 - 192
Gewicht [kg]	75,8	7,3	64 - 92

#### Studie V

(n = 18)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	24,0	2,0	21 - 28
Größe [cm]	177,1	3,7	171 - 184
Gewicht [kg]	74,3	4,9	65 - 83

#### Studie VI

(n = 19)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	27,1	3,3	21 - 34
Größe [cm]	178,7	6,0	169 - 192
Gewicht [kg]	76,9	7,9	63 - 92

#### Studie VII

(n = 21)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	25,3	3,4	21 - 34
Größe [cm]	178,7	6,2	169 - 192
Gewicht [kg]	75,2	6,1	64 - 86

#### Studie VIII

(n = 20)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	25,3	3,4	21 - 34
Größe [cm]	176,9	4,7	169 - 185
Gewicht [kg]	74,2	6,3	60 - 84

#### Studie IX

(n = 19)

Parameter	Mittelwert	Standardabweichung	Range
Alter [Jahre]	24,7	3,1	21 - 34
Größe [cm]	177,5	4,0	170 - 185
Gewicht [kg]	74,4	5,6	65 - 84

## 8.5 Spielklassenzugehörigkeit der Probanden

### Gesamtprobandenkollektiv der Untersuchungsreihe (n = 41)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	4
Freizeitliga	9
Kreisliga A	11
Bezirksliga	10
Landesliga	3
Oberliga	4

### Probandenkollektive der Einzelstudien

#### Studie I

(n = 23)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	1
Freizeitliga	5
Kreisliga A	6
Bezirksliga	7
Landesliga	2
Oberliga	2

#### Studie II

(n = 19)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	1
Freizeitliga	5
Kreisliga A	6
Bezirksliga	5
Landesliga	1
Oberliga	1

#### Studie III

(n = 19)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	2
Freizeitliga	7
Kreisliga A	5
Bezirksliga	4
Landesliga	0
Oberliga	1

#### Studie IV

(n = 20)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	0
Freizeitliga	7
Kreisliga A	5
Bezirksliga	6
Landesliga	1
Oberliga	1

#### Studie V

(n = 18)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	1
Freizeitliga	3
Kreisliga A	5
Bezirksliga	5
Landesliga	3
Oberliga	1

#### Studie VI

(n = 19)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	3
Freizeitliga	8
Kreisliga A	5
Bezirksliga	3
Landesliga	0
Oberliga	0

#### Studie VII

(n = 21)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	1
Freizeitliga	8
Kreisliga A	5
Bezirksliga	5
Landesliga	1
Oberliga	1

#### Studie VIII

(n = 20)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	1
Freizeitliga	5
Kreisliga A	6
Bezirksliga	6
Landesliga	0
Oberliga	2

#### Studie IX

(n = 19)

Spielklasse	Anzahl
Sportstudium	1
Freizeitliga	4
Kreisliga A	6
Bezirksliga	4
Landesliga	3
Oberliga	1

## 8.6 Statistik

### Arithmetisches Mittel, Streuungsmaße, Einfaktorielle Varianzanalyse (Repeated Measures), Post-Hoc Test nach Fisher's PLSD

#### Studie I:

Gesamtkraft max. [N], ANOVA:  $p < 0,05$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.		Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
ZFG	21	2871,512	418,472	91,318	ZFG, HFG	-274,125	176,320	,0029 S
HFG	21	2945,637	400,235	87,338	ZFG, FFG	-141,470	176,320	,1138
FFG	21	2812,982	402,433	87,818	ZFG, FSG	-98,585	176,320	,2679
FSG	21	2770,077	464,407	101,342	HFG, FFG	132,655	176,320	,1376
					HFG, FSG	175,580	176,320	,0510
					FFG, FSG	42,905	176,320	,6282

Zeit zu Gesamtkraft max. [ms], ANOVA:  $p < 0,91$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	21	26,798	13,535	2,954
HFG	21	25,702	10,636	2,321
FFG	21	27,595	18,506	4,038
FSG	21	24,389	24,781	5,403

Kraftanstiegsrate max. zu Gesamtkraft [N/ms], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.		Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
ZFG	21	304,613	98,958	21,594	ZFG, HFG	-63,048	49,108	,0127 S
HFG	21	367,681	70,926	15,477	ZFG, FFG	-96,673	49,108	,0002 S
FFG	21	401,286	110,796	24,178	ZFG, FSG	-163,274	49,108	<,0001 S
FSG	21	467,887	131,274	28,846	HFG, FFG	-33,625	49,108	,1759
					HFG, FSG	-100,226	49,108	,0001 S
					FFG, FSG	-66,601	49,108	,0087 S

Zeit zu Kraftanstiegsrate max. zu Gesamtkraft [ms], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.		Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
ZFG	21	9,774	5,047	1,101	ZFG, HFG	-1,143	2,489	,3620
HFG	21	10,917	7,412	1,617	ZFG, FFG	2,214	2,489	,0802
FFG	21	7,560	4,608	1,005	ZFG, FSG	2,619	2,489	,0395 S
FSG	21	7,155	3,155	,888	HFG, FFG	3,357	2,489	,0090 S
					HFG, FSG	3,762	2,489	,0037 S
					FFG, FSG	,405	2,489	,7461

Vertikalkraft max. [N], ANOVA:  $p = 0,07$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	22	2558,773	393,306	83,853
HFG	22	2784,466	369,946	78,873
FFG	22	2648,244	380,754	81,177
FSG	22	2696,023	449,200	95,770

Zeit zu Vertikalkraft max. [ms], ANOVA:  $p = 0,48$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	22	26,989	14,049	2,995
HFG	22	24,477	10,540	2,247
FFG	22	30,636	22,750	4,850
FSG	22	24,034	23,011	4,906

Kraftanstiegsrate max. zu Vertikalkraft [N/ms], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	22	290,858	92,249	19,668
HFG	22	351,977	72,258	15,406
FFG	22	385,290	111,878	23,810
FSG	22	453,278	131,197	27,971

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
ZFG, HFG	-61,119	43,767	,0070	S
ZFG, FFG	-94,432	43,767	<,0001	S
ZFG, FSG	-162,420	43,767	<,0001	S
HFG, FFG	-33,313	43,767	,1333	
HFG, FSG	-101,301	43,767	<,0001	S
FFG, FSG	-67,989	43,767	,0029	S

Zeit zu Kraftanstiegsrate max. zu Vertikalkraft [ms], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	22	10,227	5,139	1,096
HFG	22	10,807	7,095	1,513
FFG	22	7,511	4,658	,993
FSG	22	6,784	2,108	,449

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
ZFG, HFG	-,580	2,437	,6362	
ZFG, FFG	2,716	2,437	,0295	S
ZFG, FSG	3,443	2,437	,0063	S
HFG, FFG	3,295	2,437	,0088	S
HFG, FSG	4,023	2,437	,0016	S
FFG, FSG	,727	2,437	,5630	

Resultierende Scherkraft max. [N], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	21	874,955	178,229	38,893
HFG	21	1076,857	197,656	43,132
FFG	21	1090,340	217,598	47,484
FSG	21	856,176	159,013	34,699

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
ZFG, HFG	-201,902	66,456	<,0001	S
ZFG, FFG	-215,386	66,456	<,0001	S
ZFG, FSG	18,779	66,456	,5740	
HFG, FFG	-13,483	66,456	,6863	
HFG, FSG	220,681	66,456	<,0001	S
FFG, FSG	234,164	66,456	<,0001	S

Kraftanstiegsrate max. zu Resultierende Scherkraft [N/ms], ANOVA:  $p < 0,05$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	21	139,769	63,133	13,777
HFG	21	168,952	44,000	9,601
FFG	21	152,538	39,572	8,635
FSG	21	171,781	47,355	10,334

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
ZFG, HFG	-29,183	24,727	,0215	S
ZFG, FFG	-12,769	24,727	,3058	
ZFG, FSG	-32,012	24,727	,0120	S
HFG, FFG	16,414	24,727	,1893	
HFG, FSG	-2,829	24,727	,8198	
FFG, FSG	-19,243	24,727	,1248	

Zeit zu Resultierende Scherkraft max. [ms], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	21	30,929	14,871	3,245
HFG	21	28,357	14,261	3,112
FFG	21	34,143	14,611	3,188
FSG	21	49,857	25,588	5,584

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
ZFG, HFG	2,571	8,217	,5337	
ZFG, FFG	-3,214	8,217	,4370	
ZFG, FSG	-18,929	8,217	<,0001	S
HFG, FFG	-5,786	8,217	,1642	
HFG, FSG	-21,500	8,217	<,0001	S
FFG, FSG	-15,714	8,217	,0003	S

Zeit zu Kraftanstiegsrate max. zu Resultierende Scherkraft [ms], ANOVA:  $p < 0,01$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
ZFG	21	20,881	13,103	2,859
HFG	21	14,774	6,534	1,426
FFG	21	15,000	8,929	1,948
FSG	21	13,310	6,098	1,331

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value	
ZFG, HFG	6,107	4,382	,0071	S
ZFG, FFG	5,881	4,382	,0094	S
ZFG, FSG	7,571	4,382	,0010	S
HFG, FFG	-,228	4,382	,9181	
HFG, FSG	1,464	4,382	,5064	
FFG, FSG	1,690	4,382	,4433	

**Studie IV:**

Resultierende Scherkraft max. [N], ANOVA:  $p = 0,78$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
APP	20	1128,030	229,191	51,249
NAT	20	1150,488	241,909	54,092
NMV	20	1104,460	238,472	53,324
NMP	20	1099,402	232,376	51,961

Kraftanstiegsrate max. zu Resultierende Scherkraft [N/ms], ANOVA:  $p = 0,38$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
APP	20	140,897	38,352	8,576
NAT	20	144,438	42,342	9,468
NMV	20	133,930	25,208	5,637
NMP	20	134,232	41,114	9,193

Zeit zu Resultierende Scherkraft max. [ms], ANOVA:  $p = 0,11$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
APP	20	38,775	13,454	3,008
NAT	20	32,750	9,130	2,041
NMV	20	36,100	13,902	3,109
NMP	20	38,462	17,188	3,843

**Studie V:**

Schwungphasenzeit [ms], ANOVA:  $p = 0,77$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
KR1	18	118,681	8,818	2,078
KR2	18	117,486	8,604	2,028
KR3	18	118,069	9,811	2,312
KR4	18	118,389	10,060	2,371

Resultierende Scherkraft max. [N], ANOVA:  $p = 0,80$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
KR1	18	1108,939	153,270	36,128
KR2	18	1119,125	146,621	34,559
KR3	18	1110,658	154,715	36,467
KR4	18	1122,039	156,527	36,894

Kraftanstiegsrate max. zu Resultierende Scherkraft [N/ms], ANOVA:  $p = 0,94$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
KR1	18	168,744	72,772	17,153
KR2	18	171,083	76,234	17,969
KR3	18	170,342	66,281	15,623
KR4	18	173,889	91,007	21,451

Zeit zu Resultierende Scherkraft max. [ms], ANOVA:  $p = 0,70$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
KR1	9	40,806	22,604	7,535
KR2	9	38,111	20,578	6,859
KR3	9	38,417	14,036	4,679
KR4	9	42,444	23,623	7,874

### Studie VI:

Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit, ANOVA:  $p = 0,22$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
'8798	18	2,333	1,085	,256
LV23H	18	2,056	,998	,235
LC3H	18	2,778	1,215	,286
NMV	18	2,833	1,098	,259

### Studie VII:

Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit, ANOVA:  $p = 0,24$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
'8798	20	3,300	1,302	,291
L20G	20	3,550	1,356	,303
LV23H	20	2,600	1,465	,328
L3CH	20	2,650	1,182	,264
NMV	20	2,900	1,651	,369

### Studie VIII:

Wahrnehmung (Gesamtkollektiv) – Ballgeschwindigkeit, ANOVA:  $p = 0,17$

	Count	Mean	Std. Dev.	Std. Err.
L30	20	3,150	1,309	,293
L40a	20	3,450	1,356	,303
L40b	20	2,550	1,605	,359
L50	20	3,350	1,387	,310
NMV	20	2,500	1,277	,286

## 9. Wissenschaftliche Beiträge des Verfassers

### Volltexte

- Sterzing, T., Hennig E. M. (2001). Die Veränderung biomechanischer Kenngrößen während eines 10-km Laufs – eine Feldstudie, *Symposium der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Sektion Biomechanik*, Konstanz, BRD.
- Hennig, E. M., Sterzing, T., Briele, R. (2001). Der Einsatz von Satelliten-Navigationssystemen (GPS, DGPS) im Sport, *Symposium der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, Sektion Biomechanik*, Konstanz, BRD.
- Sterzing, T., Hennig E. M. (2005). Stability in soccer shoes: The relationship between perception of stability and biomechanical parameters, *Science and Football V*, T. Reilly, J. Cabri, D. Araújo, London/New York, Routledge Taylor and Francis Group.
- Sterzing, T., Beierle, T., Uttendorfer, M., Hennig, E. M. (2006). Der Fuß als sensorisches Organ – Reizschwellen der Druck- und Vibrationssensorik, *7. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft*, Bad Sassendorf, BRD.
- Sterzing, T., Hennig, E. M., Milani, T. L. (2007). Biomechanische Anforderungen der Fußballschuhkonstruktion, *Orthopädie Technik*, Verlag Orthopädie Technik, Dortmund, BRD.
- Sterzing, T., Kroiher, J., Hennig E. M. (eingereicht). Kicking Velocity: Barefoot kicking superior to shod kicking?, *Science and Football VI*.

### Konferenzberichte

- Sterzing, T. F., Hennig, E. M. (1999). Measurement of plantar pressures, rearfoot motion and tibial shock during running 10 km on a 400 m track, *4. Footwear Symposium*, Canmore, Alberta, Canada.
- Hennig, E. M., Sterzing, T. F. (1999). The use of global positioning systems (GPS and DPGS) for the tracking of human motion, *17. Congress of the International Society of Biomechanics*, Calgary, Alberta, Canada.
- Sterzing, T., Hennig, E. M., Pearsall, D. (2002). Measurement of inversion and eversion movements of the foot by using a position transducer, *4. World Congress of Biomechanics*, Calgary, Alberta, Canada.
- Pearsall, D. J., Hennig, E. M., Sterzing, T. (2002). The use of skin pre-tension to modify tibial bone acceleration estimates, *4. World Congress of Biomechanics*, Calgary, Alberta, Canada.



- 
- Sterzing, T., Hennig E. M. (2003). Stability in soccer shoes: The relationship between perception of stability and biomechanical parameters, *5. World Congress on Science and Football*, Lisbon, Portugal.
  - Sterzing, T., Uttendorfer, M., Hennig E. M. (2004). Foot mapping of vibration sensitivity thresholds, *13. Biennial Conference of the Canadian Society for Biomechanics*, Halifax, Nova Scotia, Canada.
  - Hennig E. M., Beierle, T., Sterzing, T. (2004). Touch sensitivity thresholds across the dorsal and plantar surfaces of human feet, *13. Biennial Conference of the Canadian Society for Biomechanics*, Halifax, Nova Scotia, Canada.
  - Sterzing, T., Hennig, E. M. (2005). Plantare Druckverteilungsanalyse fußballspezifischer Bewegungen und ihre Bedeutung für die Fußballschuhkonstruktion, *Jahrestagung der DGfB/biomechanica V und Jahrestagung der dvs-Sektion Biomechanik*, G. Huber, E. Schneider, M. Morlock, Hamburg, Deutschland.
  - Hennig, E. M., Sterzing, T., Beierle, T., Uttendorfer, M. (2005). Plantare und dorsale Berührungsempfindlichkeit des Fußes, Wahrnehmungsschwellen für Berührungs- und Vibrationsreize, *Jahrestagung der DGfB/biomechanica V und Jahrestagung der dvs-Sektion Biomechanik*, G. Huber, E. Schneider, M. Morlock, Hamburg, Deutschland.
  - Hennig, E. M., Sterzing, T., Brauner, T., Kroihner, J. (2005). The influence of sock construction on foot climate in running shoes, *7. Footwear Symposium*, Cleveland, Ohio, USA.
  - Sterzing, T., Beierle, T., Uttendorfer, M., Hennig, E. M. (2006). Der Fuß als sensorisches Organ – Reizschwellen der Druck- und Vibrationssensorik, *7. Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft*, Bad Sassendorf, BRD.
  - Sterzing, T., Kroihner, J., Hennig, E. M. (2006). Barefoot vs. shod kicking in soccer – What’s faster?, *5. World Congress of Biomechanics*, Munich, Germany.
  - Sterzing, T., Hennig, E. M. (2006). Soccer shoe evaluation, *5. World Congress of Biomechanics*, Munich, Germany.
  - Sterzing, T., Kroihner, J., Hennig, E. M. (2007). Kicking Velocity: Barefoot kicking superior to shod kicking?, *6. World Congress of Science and Football*, Lara, Turkey.
  - Sterzing, T., Hennig, E. M. (2007). Bestimmung der funktionalen Entkopplung von Vorfuß und Rückfuß mittels Miniatur-Positionsgebern während der Cutbewegung im Fußball, *Deutscher Kongress für Biomechanik, 5. Jahrestagung der DGfB und Jahrestagung der dvs-Sektion Biomechanik*, Köln, BRD.

- 
- Sterzing, T., Hennig, E. M. (2007). The influence of stance leg traction properties on kicking performance and perception parameters, 8. *Footwear Biomechanics Symposium*, Taipei, Taiwan.
  - Sterzing, T., Hennig, E. M. (2007). The influence of friction properties of shoe upper materials on kicking velocity in soccer, 21. *Congress of the International Society of Biomechanics*, Taipei, Taiwan.
  - Brauner, T., Sterzing, T., Hennig, E. M. (2007). The influence of forefoot shoe elevation on vertical jump performance, 8. *Footwear Biomechanics Symposium*, Taipei, Taiwan.
  - Kunde, S., Sterzing, T., Milani, T. L. (2007). The influence of body position and physical activity on foot dimensions measured by a foot scanning system, 8. *Footwear Biomechanics Symposium*, Taipei, Taiwan.
  - Schlee, G., Sterzing, T., Milani, T. L. (2007). Influence of footwear on foot sensitivity: A comparison between barefoot and shod sports, 25. *Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports*, Ouro Preto, Brazil.
  - Sterzing, T., Hennig, E. M. (2007). Fußballschuhtraktion beeinflusst den Erfolg beim Vollspannstoß, *dvs Hochschultag*, Hamburg, Deutschland.

#### **Qualifizierte Abschlussarbeiten**

- Sterzing, T. (1999). Die Wirkung von Ermüdung auf biomechanische Kenngrößen beim Laufen – Eine Analyse der plantaren Druckverteilung, des Pronationsverhaltens und der Stoßbelastung, Examensarbeit, Universität Essen.

#### **Eingeladene Vorträge**

- Sterzing, T. (2004). New developments in soccer shoes, 1. *International Football Medicine Congress – IFOME*, Munich, Germany.
- Sterzing, T., Beierle, T., Uttendorfer, M., Hennig, E. M. (2006). Der Fuß als sensorisches Organ – Reizschwellen der Druck- und Vibrationssensorik, 7. *Gemeinsames Symposium der dvs-Sektionen Biomechanik, Sportmotorik und Trainingswissenschaft*, Bad Sassendorf, BRD.
- Sterzing, T., Hennig, E. M. (2006). Soccer shoe evaluation, 5. *World Congress of Biomechanics*, Munich, Germany.

**10. Erklärung**

Ich versichere, dass ich die Dissertation eigenständig erarbeitet und verfasst habe, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und diejenigen Stellen der Dissertation, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Dies gilt auch für Abbildungen und Tabellen.

Chemnitz, 11. Juni 2007

---

Thorsten Sterzing

## 11. Nachtrag



„Fußballspieler“

Renée Sintenis 1927



„Fußballspieler“

Thorsten Sterzing 2001

...es ist doch erstaunlich, dass die heutige moderne Mess- und Aufnahmetechnik zum Teil Erkenntnisse hinsichtlich menschliche Bewegungsausführungen zu Tage fördert, welche Künstlern zu früheren Zeiten – ohne eben diese Hilfsmittel – nachweislich auch nicht verborgen geblieben sind.

Auf keinen Fall soll dieser Nachtrag dazu führen, die heutigen modernen Forschungsmöglichkeiten zu ignorieren. Vielmehr soll er dazu dienen, sich der ureigenen menschlichen Auffassungsgabe bei der Analyse von menschlichen Bewegungen nicht zu verschließen...